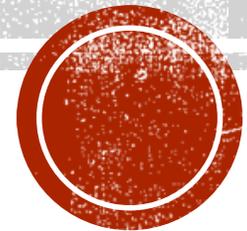
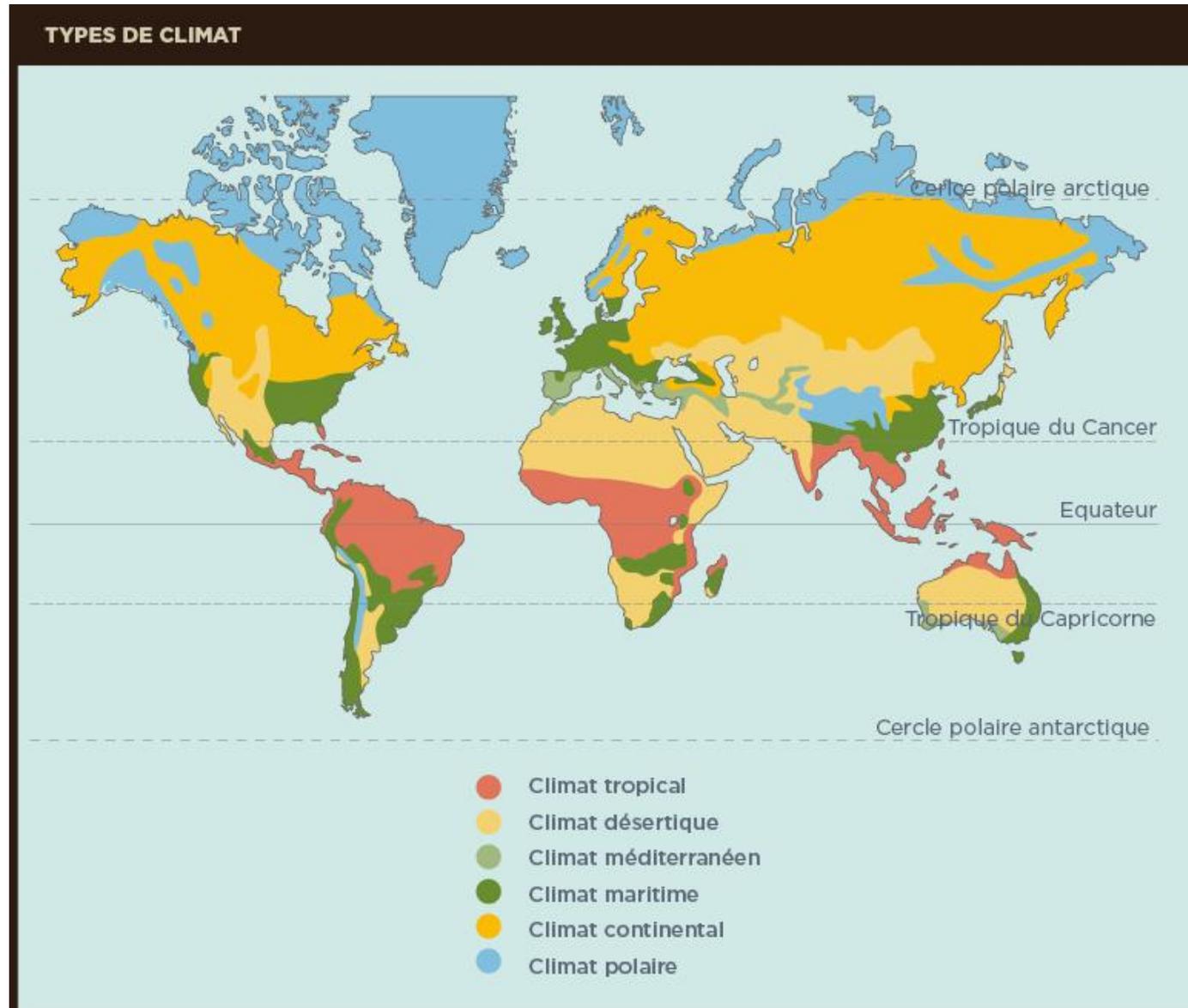


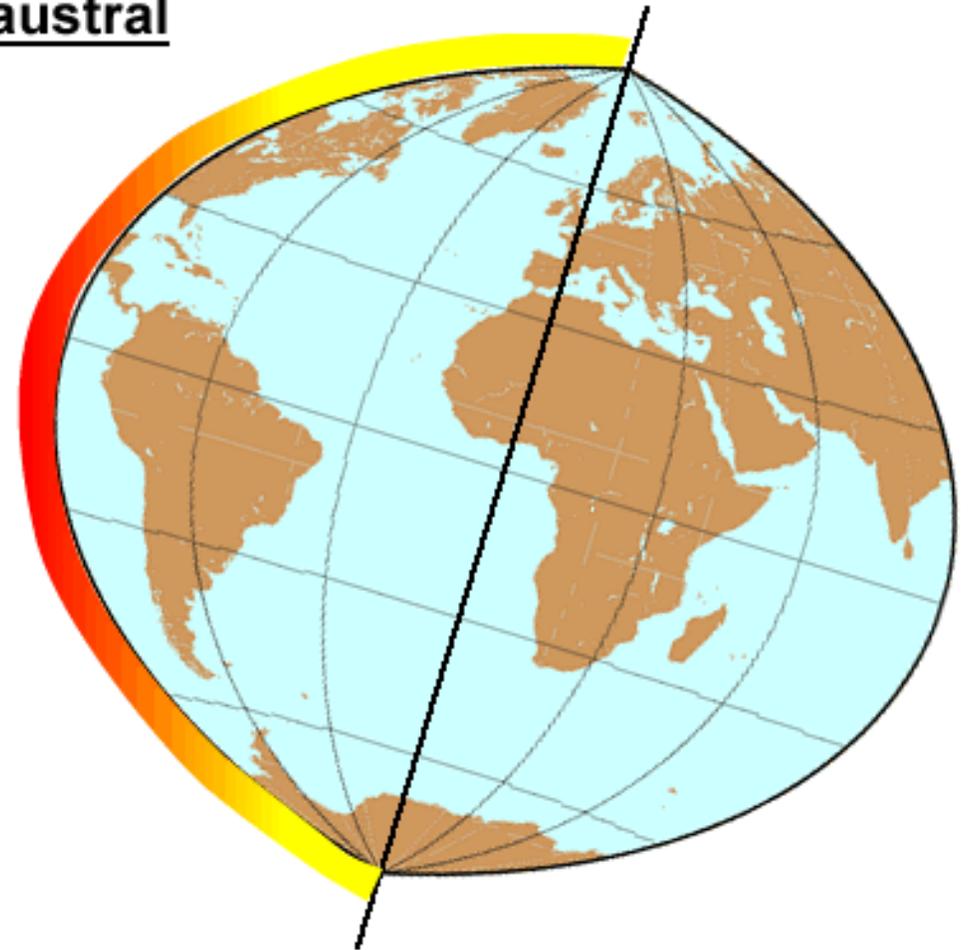
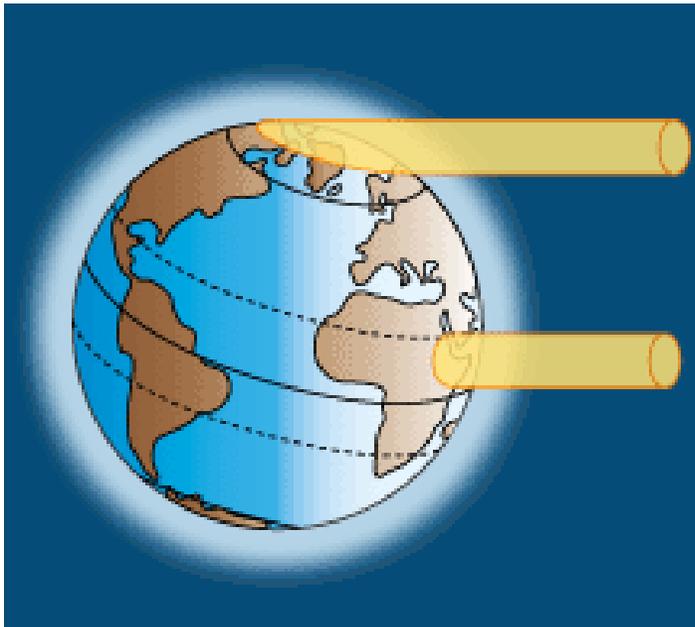
CHAPITRE 2 : LES MARQUEURS DE L'ÉVOLUTION DU CLIMAT AU COURS DES TEMPS GÉOLOGIQUES.

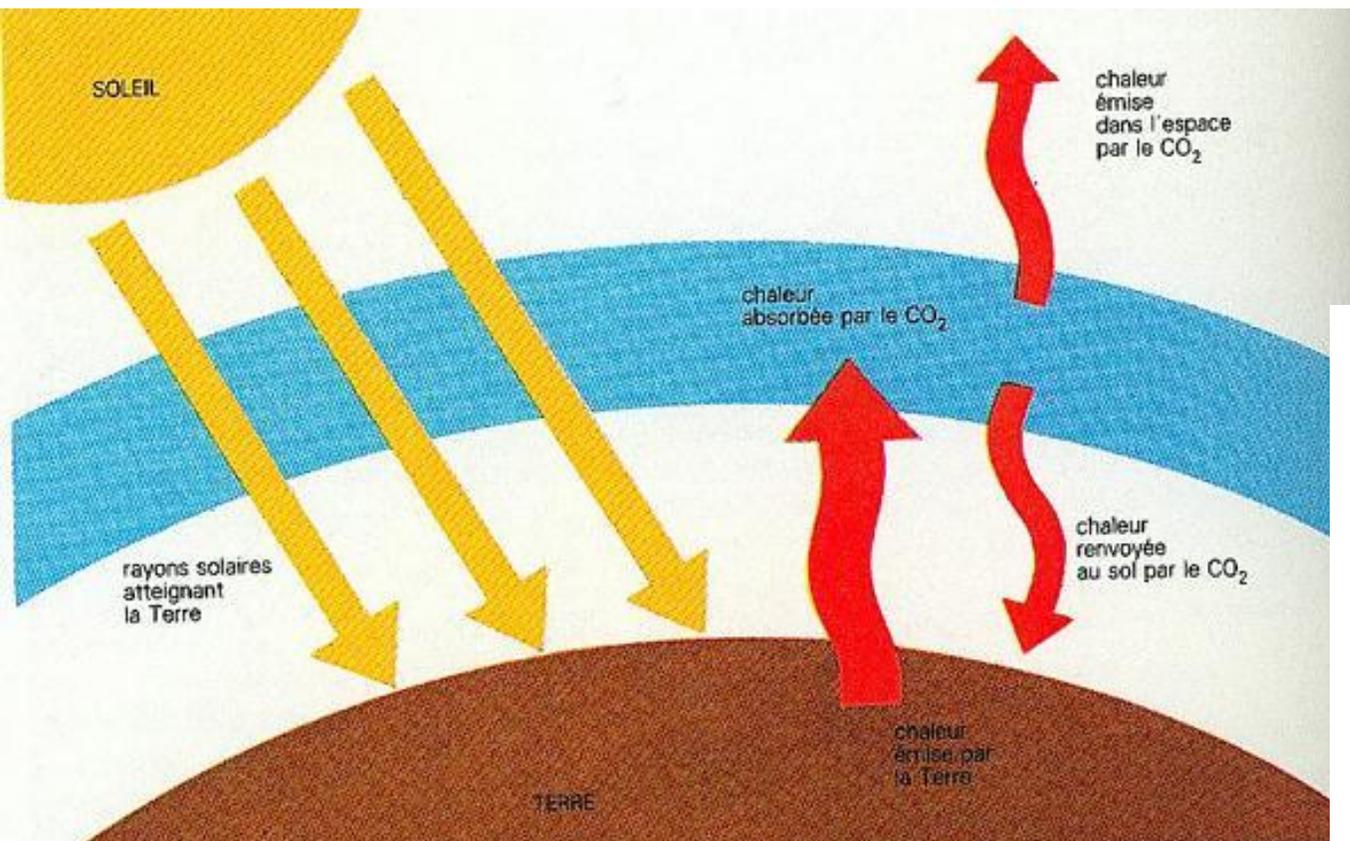


INTRODUCTION :

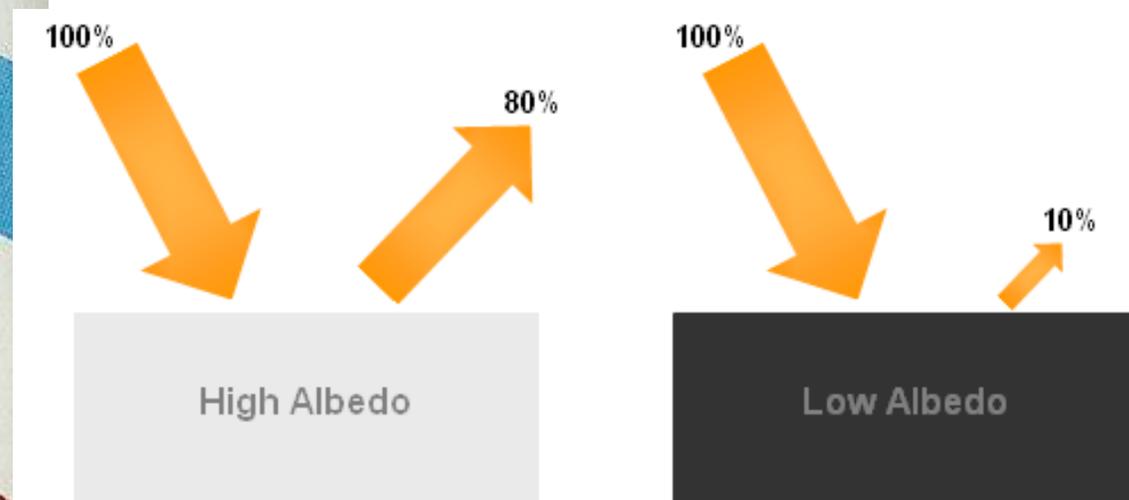


Répartition du flux solaire incident
durant l'été austral





Effet de serre



Albédo



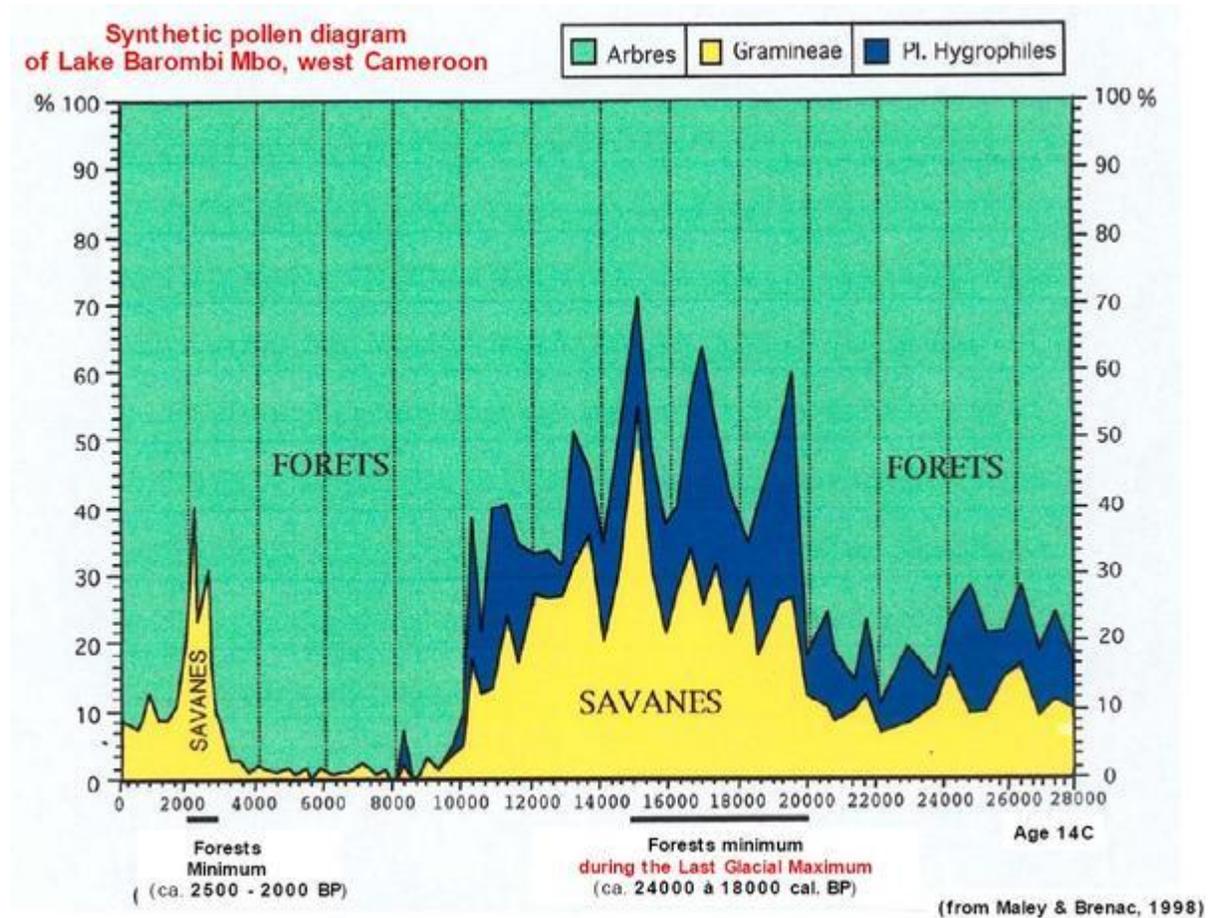
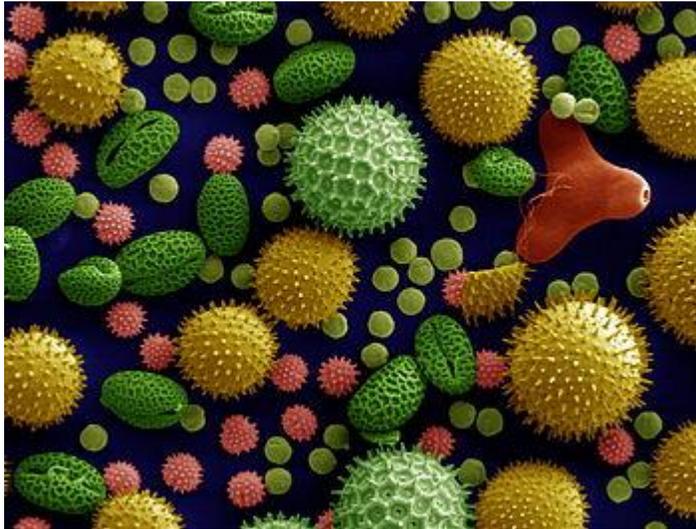
- Le **climat** peut être défini comme étant les données météorologiques moyennes (température, précipitations, vitesse du vent, humidité de l'air et ensoleillement) calculées d'après des observations faites en un endroit précis sur **une période d'au moins 30 ans**.
- Le climat dépend de 3 facteurs : **l'énergie solaire reçue** (dépendant de la distance au Soleil), la façon dont cette énergie est réfléchie ou absorbée par la surface terrestre (**effet de l'albédo**) et la façon dont l'atmosphère redistribue l'énergie réémise par la surface terrestre (**effet de serre**). Etant donné que la Terre est ronde, il y a un surplus d'énergie reçue à l'équateur et un déficit au pôle. Les enveloppes fluides (atmosphère et hydrosphère) redistribuent l'énergie de l'équateur vers les pôles. Les climats ont changées au cours du temps.



***COMMENT FAIT-ON
POUR RECONSTITUER
LES CLIMATS
PASSÉS ?***



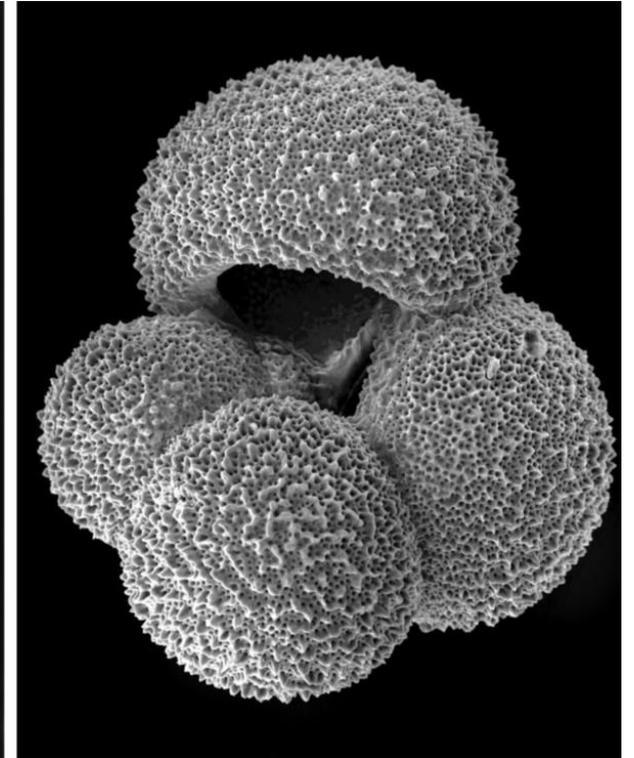
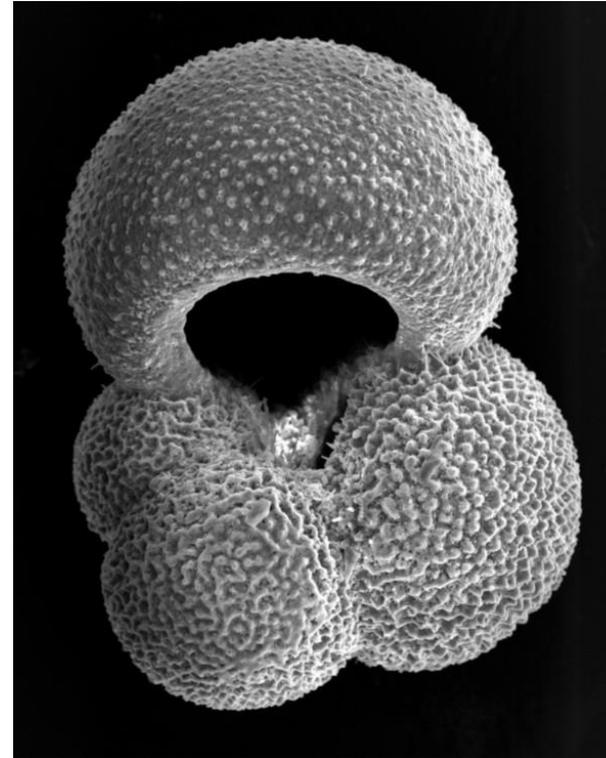
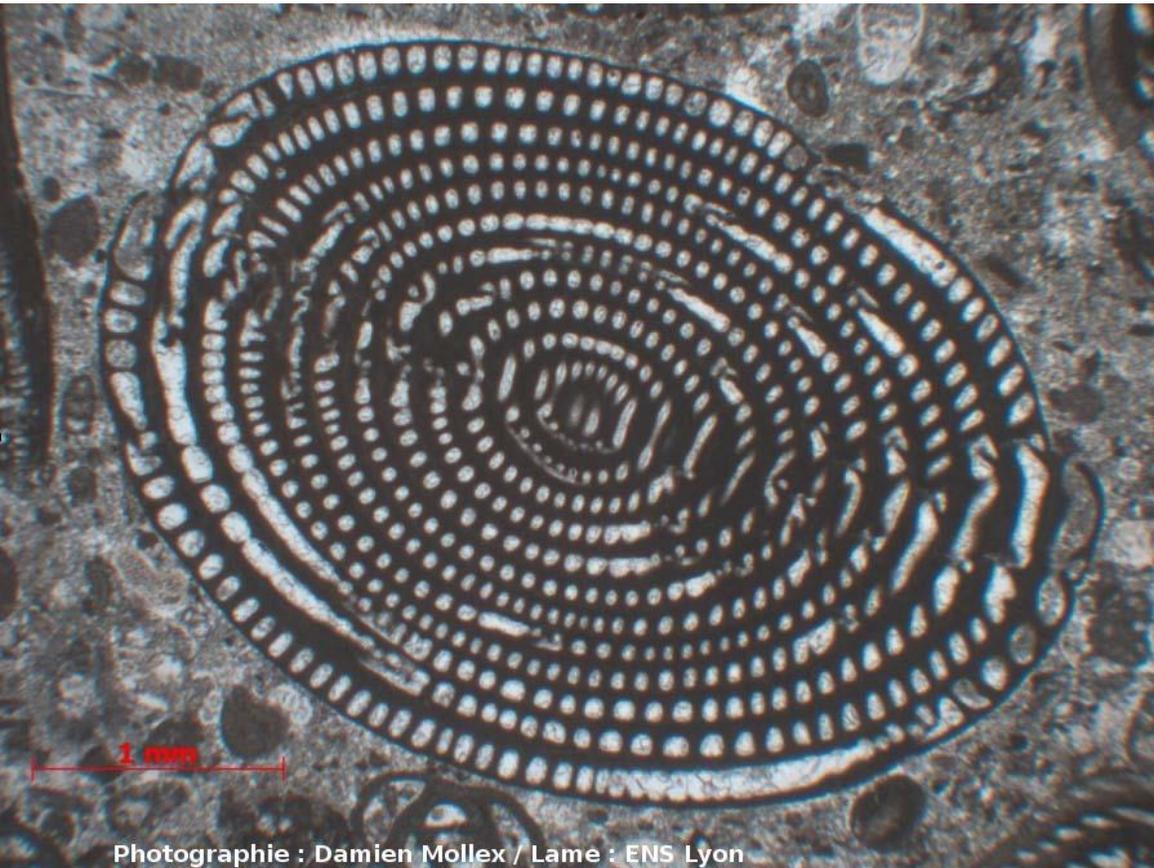
I. LES POLLENS, TÉMOINS DU CLIMAT LOCAL



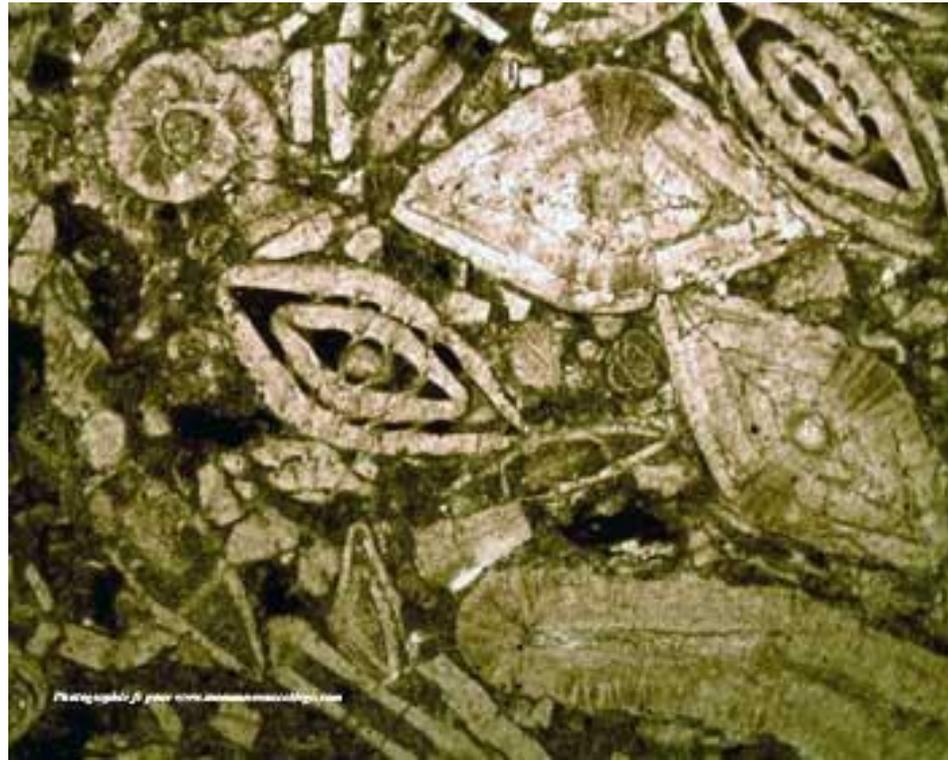
- Chaque espèce végétale peut-être caractérisée par son pollen. Celui-ci possède une paroi résistante qui lui permet de se conserver durant des milliers d'années lorsqu'il est enfoui dans des sédiments.
- L'étude des grains de pollen dans un milieu permet d'établir le diagramme pollinique : il caractérise un peuplement végétal à un moment donné dans un lieu donné. On peut ainsi reconstituer les zones de végétation et avec le **principe d'actualisme**, les associer à des zones climatiques car les espèces végétales possèdent des **exigences climatiques** (elles ne se développent qu'avec une certaine température ou pluviométrie).
- Les steppes (peuplées de graminées et plantes herbacées) sont ainsi liées à un climat froid, les forêts de feuillus à un climat tempéré, les forêts de conifères étant situées entre les deux.
- La palynologie a permis de montrer que l'Europe, depuis 25 000 ans, est passée d'une zone de steppe froide à une forêt de milieu tempéré : il y a eu un réchauffement climatique suite à la dernière glaciation.



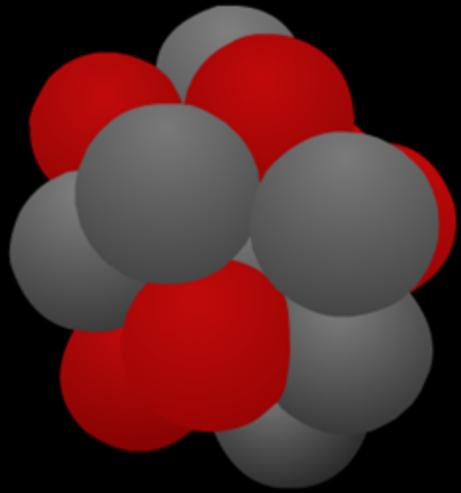
II. LES FORAMINIFÈRES FOSSILES, TÉMOINS DES VARIATIONS CLIMATIQUES



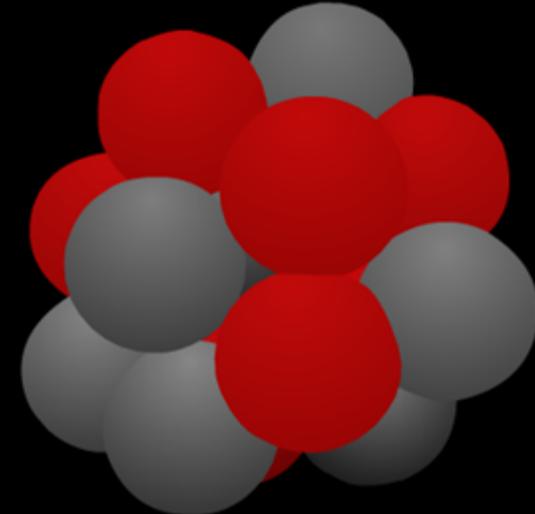
- Les foraminifères ont des exigences climatiques. Selon le type de foraminifère et la quantité de fraction détritique obtenu dans un échantillon d'une carotte de sédiment on peut déterminer le climat de l'époque. Plus il y a de fraction détritique plus il faisait froid.
- On utilise aussi le principe de **l'actualisme** avec les foraminifères.



Noyaux d'oxygène



8 protons
8 neutrons

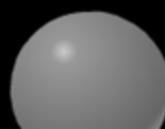


8 protons
10 neutrons

^{16}O

^{18}O

 proton

 neutron

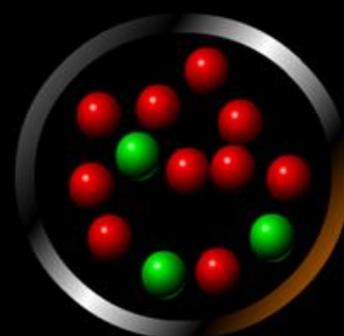
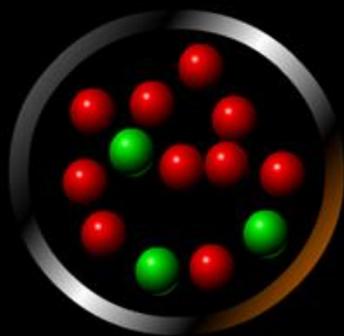
Proportions isotopiques de l'oxygène dans l'eau de mer



eau de mer
 H_2O



foraminifère
 CaCO_3



 PERIODE GLACIAIRE

 PERIODE CHAUDE

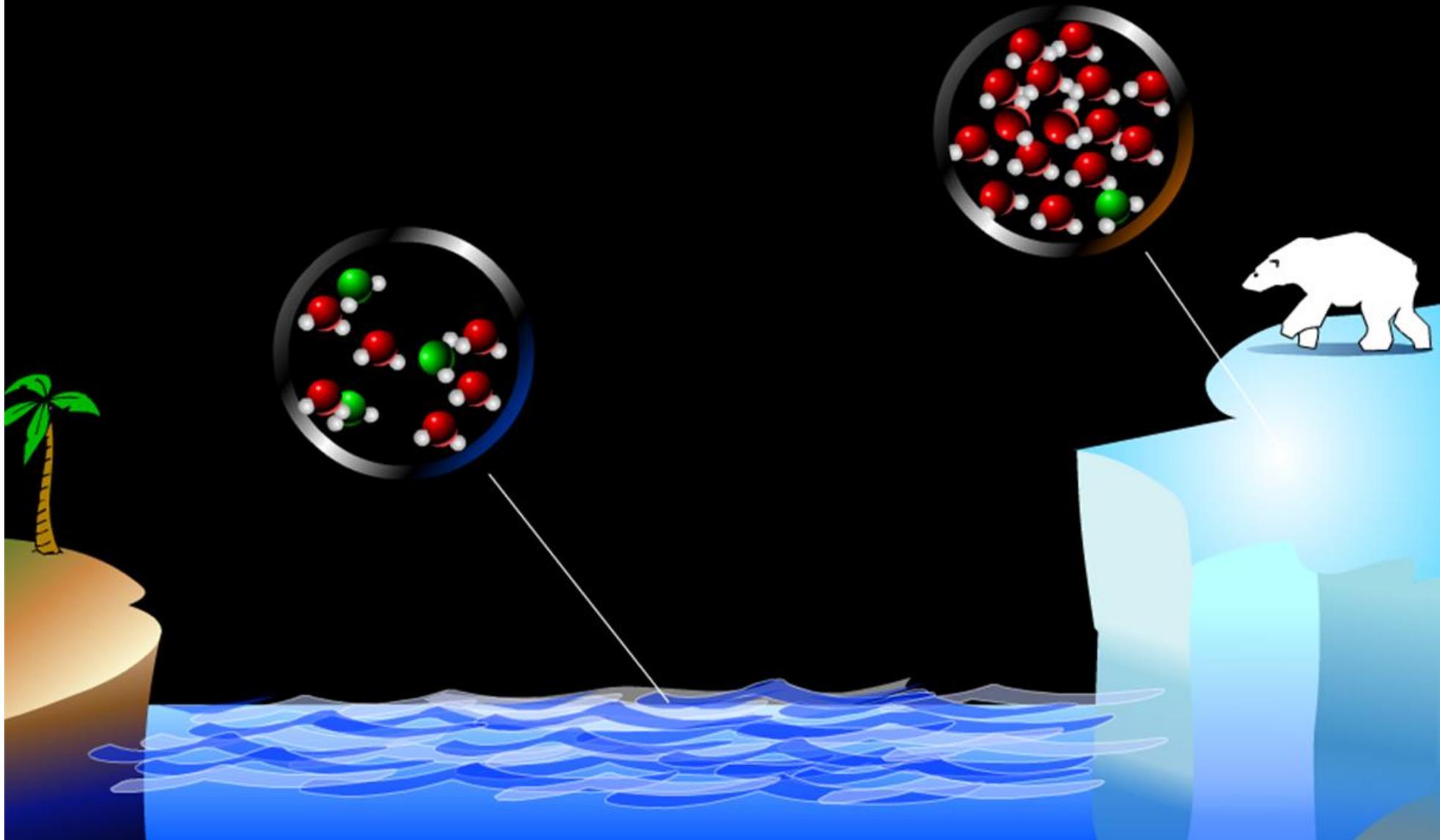
Plus la vapeur d'eau s'éloigne de la zone océanique chaude, moins elle contient d'oxygène 18, qui retourne à l'océan sous la forme de pluies. La neige qui tombe sur les calottes glaciaires contient relativement peu d'oxygène 18.



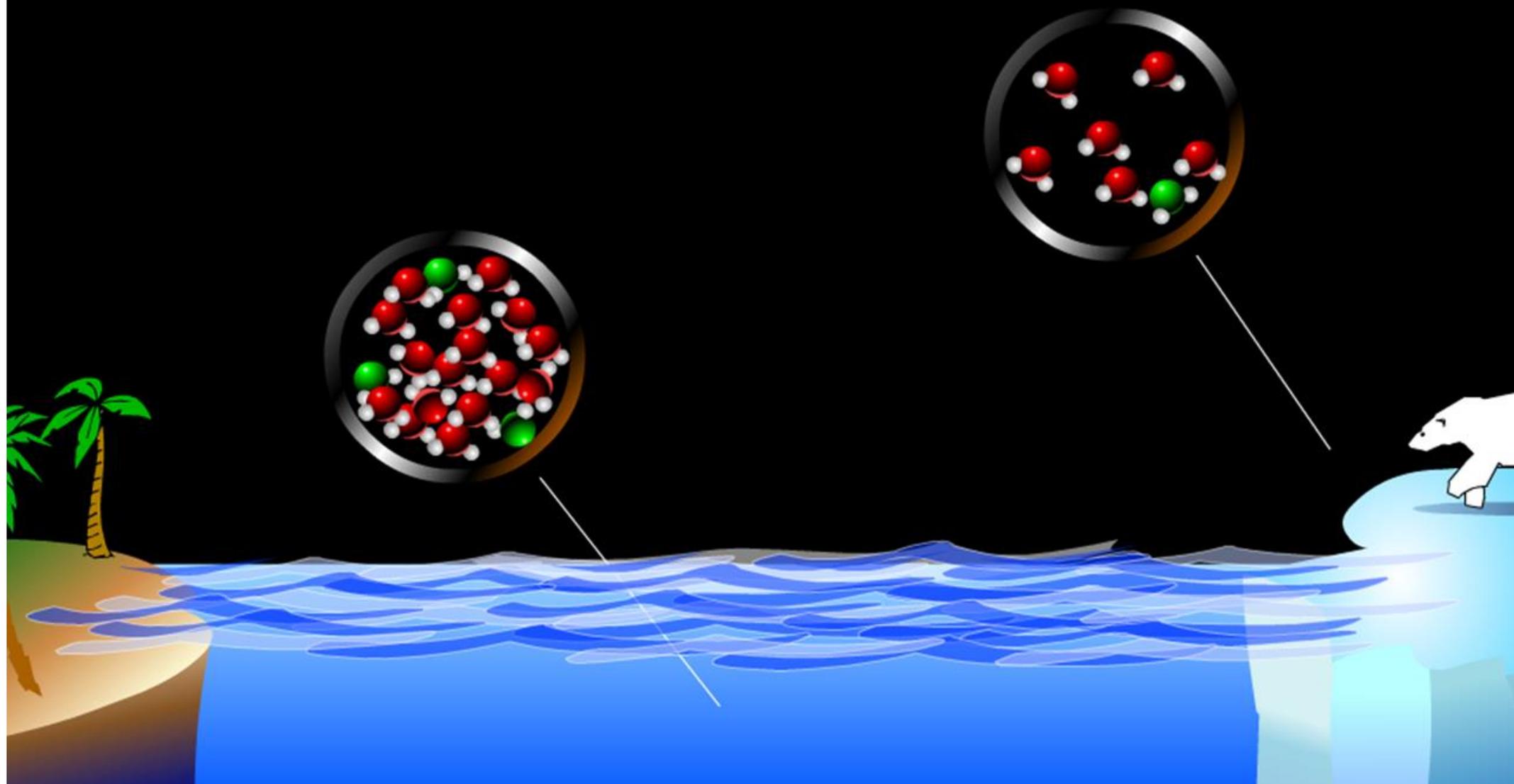
calotte de glace

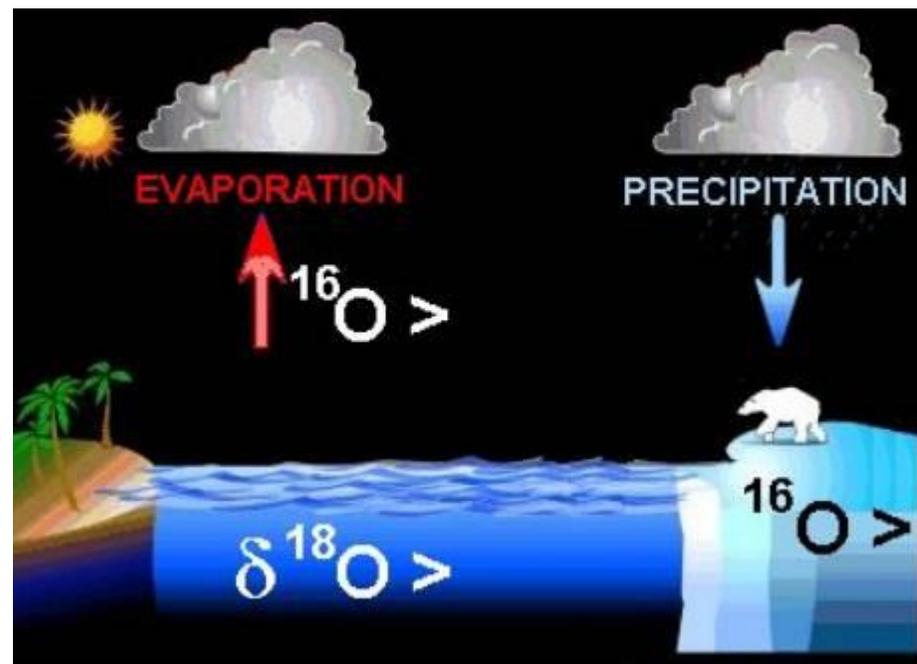


Rapports isotopiques de l'oxygène ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) en période glaciaire (proportions réelles non respectées)

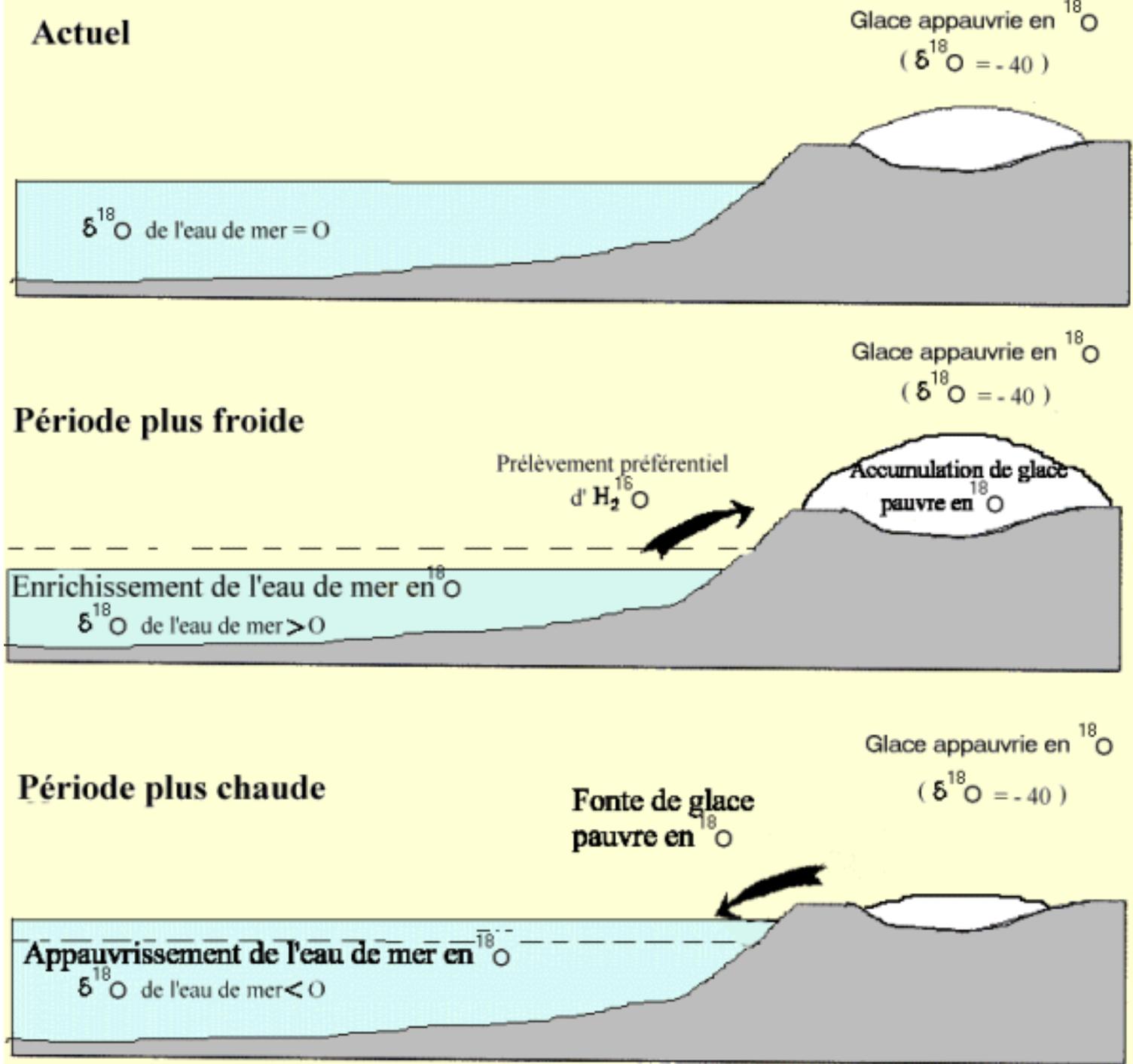


rapports isotopiques de l'oxygène ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) en période de réchauffement climatique
(proportions réelles non respectées)





<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/lycee/perez/clindex/clindex.htm>

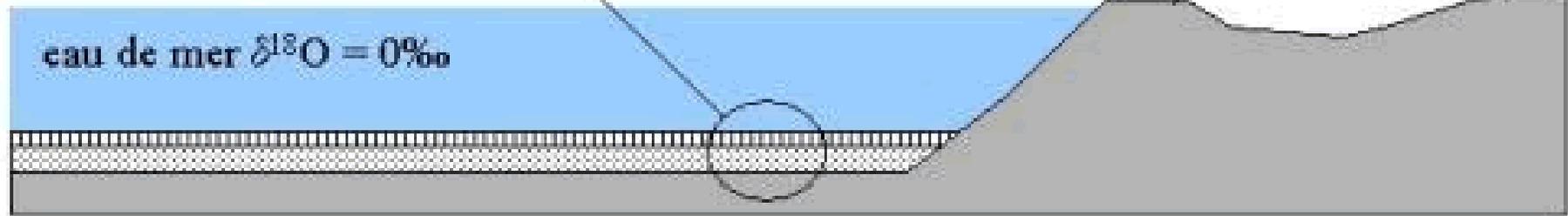


carotte sédimentaire
mesure de la composition
isotopique des tests de
foraminifères benthiques

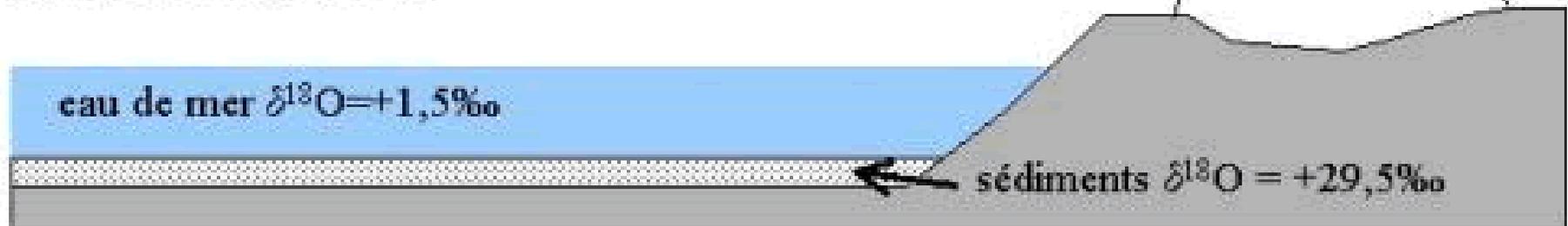
actuel $\delta^{18}\text{O} = +28\text{‰}$

20 000 ans $\delta^{18}\text{O} = +29,5\text{‰}$

Situation actuelle



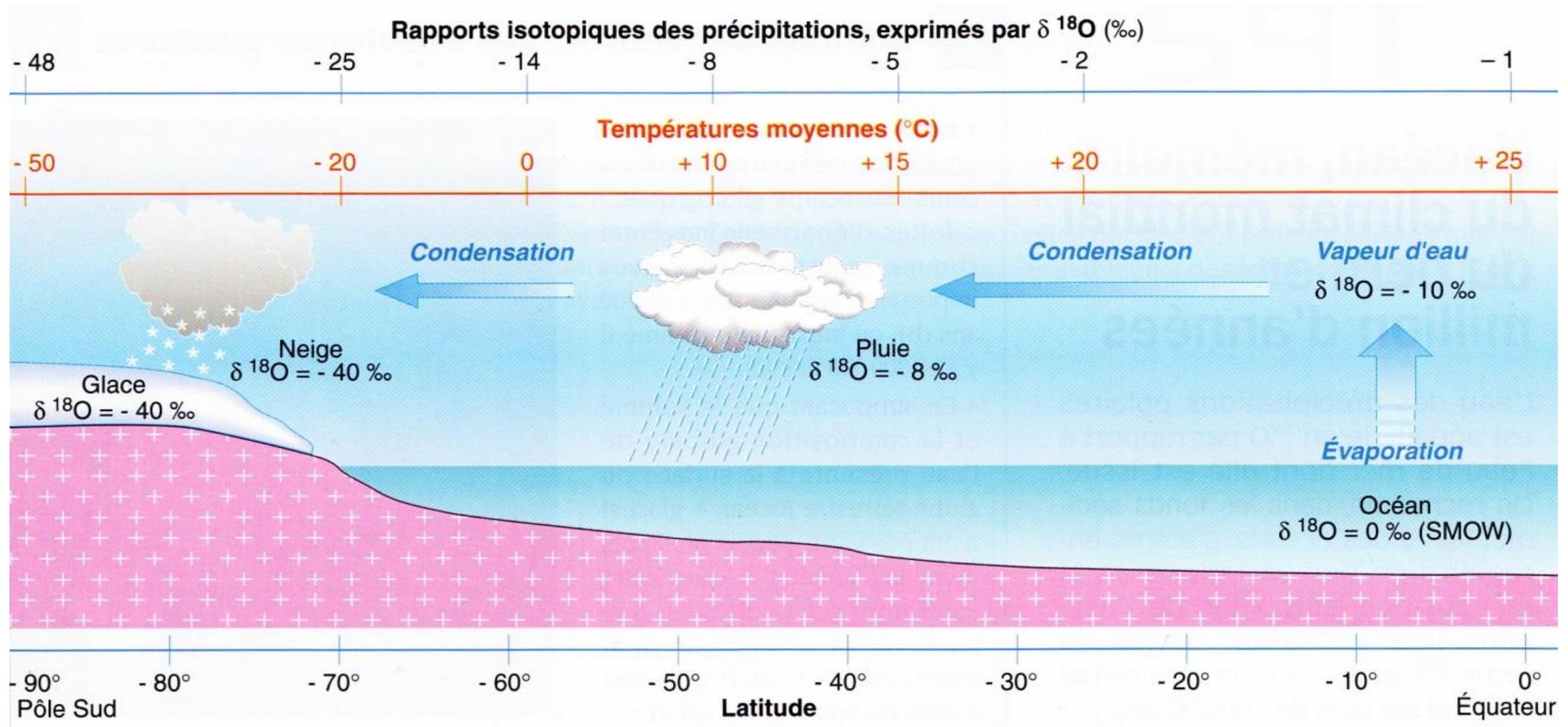
Il y a 20 000 ans
niveau de la mer plus bas



- Les organismes marins qui élaborent leurs coquilles (ou tests) carbonatés à partir d'éléments chimiques présents dans l'eau de mer (notamment le dioxygène), permettent de reconstituer les variations climatiques : le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de ces coquilles augmente dans l'eau de mer lorsque la température globale diminue.
- **En effet, lors des périodes glaciaires, les calottes glaciaires ont un volume plus important : une quantité importante de l'isotope léger (^{16}O) reste donc prisonnier des glaces qui ne fondent pas. Ceci entraîne un enrichissement relatif de l'eau de mer en ^{18}O , enrichissement qui se retrouve chez les organismes qui vivent dans cette eau et y puisent leurs ressources.**
- Les mesures réalisées dans les carottes sédimentaires contenant des foraminifères benthiques (vivants à grande profondeur) permettent donc également de reconstituer les changements climatiques globaux ayant affecté notre planète depuis des centaines de milliers d'années.
- Les forages réalisés au Groenland et en Antarctique permettent de mettre en évidence des alternances de périodes glaciaires (températures de 10°C inférieures aux températures actuelles) et des périodes plus chaudes, dites interglaciaires (températures de 3 ou 4°C supérieures aux températures actuelles) depuis 800 000 ans.

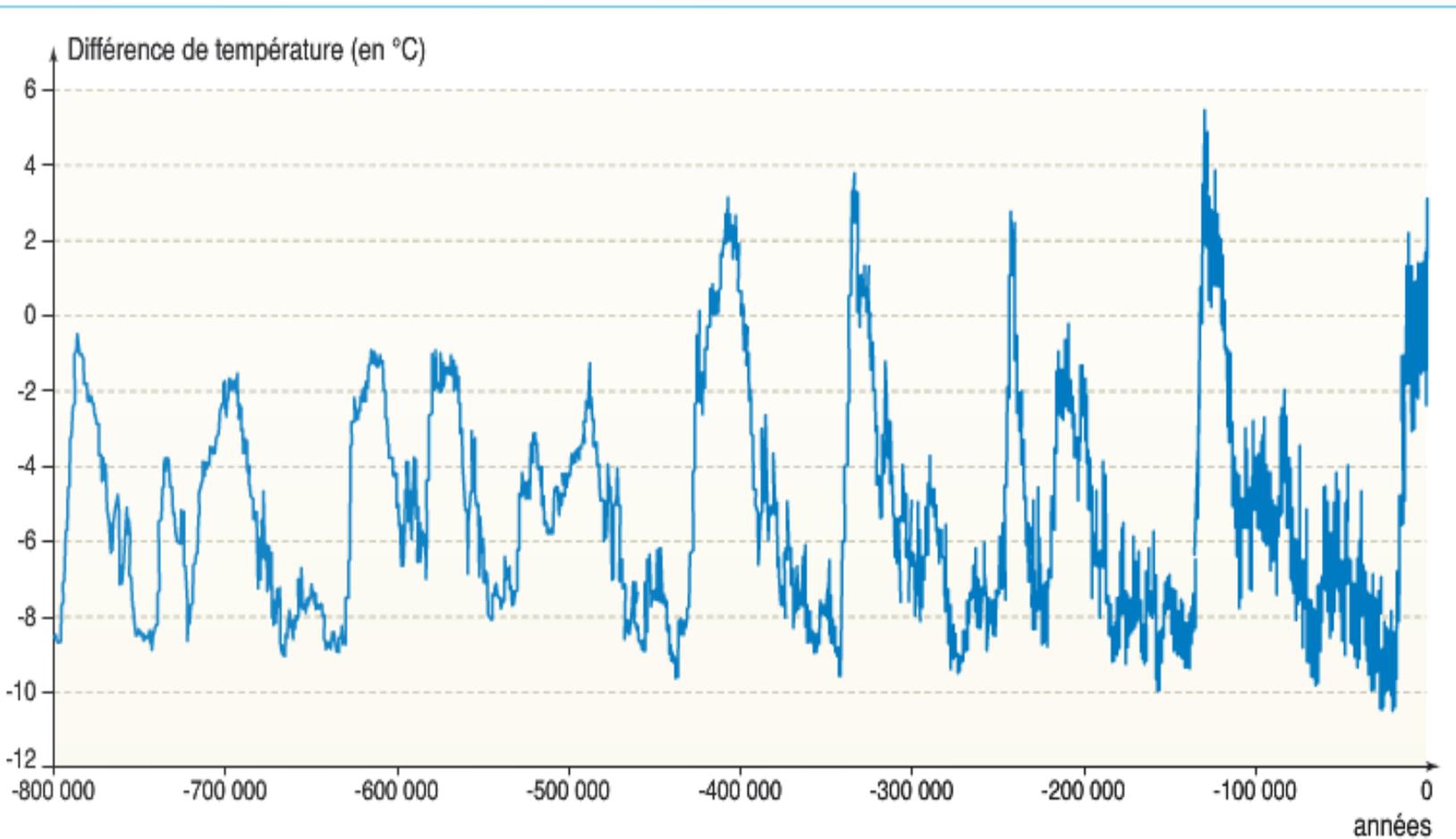


III. LES GLACES POLAIRES, DES ARCHIVES COUVRANT 800 000 ANS



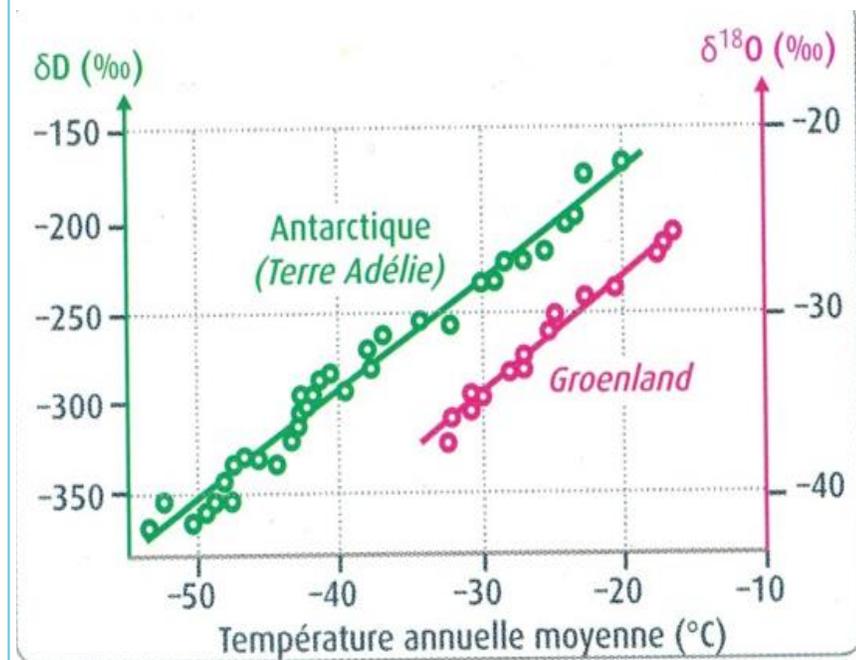
Évolution de la composition isotopique des précipitations en fonction de la latitude.





Ci-dessus, reconstitution des températures en Antarctique depuis 800 000 ans à partir des carottes de glace issues du site

Dôme C. Le graphique représente la différence des températures par rapport à la moyenne des 1 000 dernières années.



Relation entre température des précipitations et composition isotopique de l'eau

Doc. 2 Évolution de la température depuis 800 000 ans (à partir des données du forage Epica, Dôme C).



- Du fait de températures constamment négatives, les calottes glaciaires arctique et antarctique ont accumulé des épaisseurs de glaces pouvant dépasser 3km. On peut en extraire des carottes par forage.
- Au Groenland, ces carottes représentent plus de 100 000 ans d'archives. En Antarctiques, où les précipitations annuelles sont très faibles, un forage a permis de remonter à 800 000 ans.
- En effectuant des mesures sur les précipitations actuelles, on a constaté une relation entre la température à laquelle surviennent ces précipitations et la composition isotopique de l'eau. Pour l'hydrogène on s'intéresse au rapport D (Deuterium ^2H)/ ^1H et pour l'oxygène au rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$.
- Lorsque l'eau de mer s'évapore au niveau de l'équateur, la molécule H_2^{16}O légère passe plus rapidement dans la phase vapeur que la molécule lourde H_2^{18}O . Dès le processus d'évaporation, la vapeur d'eau contient donc un peu moins d' ^{18}O que l'eau des océans. Cette vapeur d'eau s'appauvrit ensuite de plus en plus en ^{18}O à la suite des différentes condensations/précipitations ayant lieu au cours de son trajet en direction des pôles : lors de chaque condensation de la vapeur d'eau, les molécules H_2^{18}O plus lourdes se condensent préférentiellement par rapport aux molécules H_2^{16}O , et le $\delta^{18}\text{O}$ de la vapeur d'eau restante est donc de plus en plus faible (= de plus en plus négatif). Aux latitudes les plus élevées, la neige formée (et donc la glace produite lors de son accumulation) est très pauvre en ^{18}O .
- Le refroidissement de la masse d'air accentue de plus le fractionnement isotopique : les précipitations sont plus riches en ^{18}O si la condensation s'effectue à des températures les plus basses. La neige est donc encore plus appauvrie en ^{18}O lors de périodes froides. **Le $\delta^{18}\text{O}$ des glaces est plus faible lors d'un refroidissement du climat et augmente lors d'un réchauffement climatique.**
- Les glaciologues ont ainsi établi une relation entre la température locale au-dessus des calottes polaires (température à laquelle la glace s'est formée) et le $\delta^{18}\text{O}$ de cette glace. Cette correspondance a permis de reconstruire les variations du climat à l'échelle mondiale car il y a une correspondance entre les données établies entre les 2 pôles. On a ainsi pu reconstituer les paléotempératures à partir des enregistrements isotopiques contenus dans les carottes obtenues par forage des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland.



IV. MISE EN ÉVIDENCE DES VARIATIONS DU CLIMAT AUX PLUS GRANDES ÉCHELLES DE TEMPS.



Tillite



Stries glaciaires



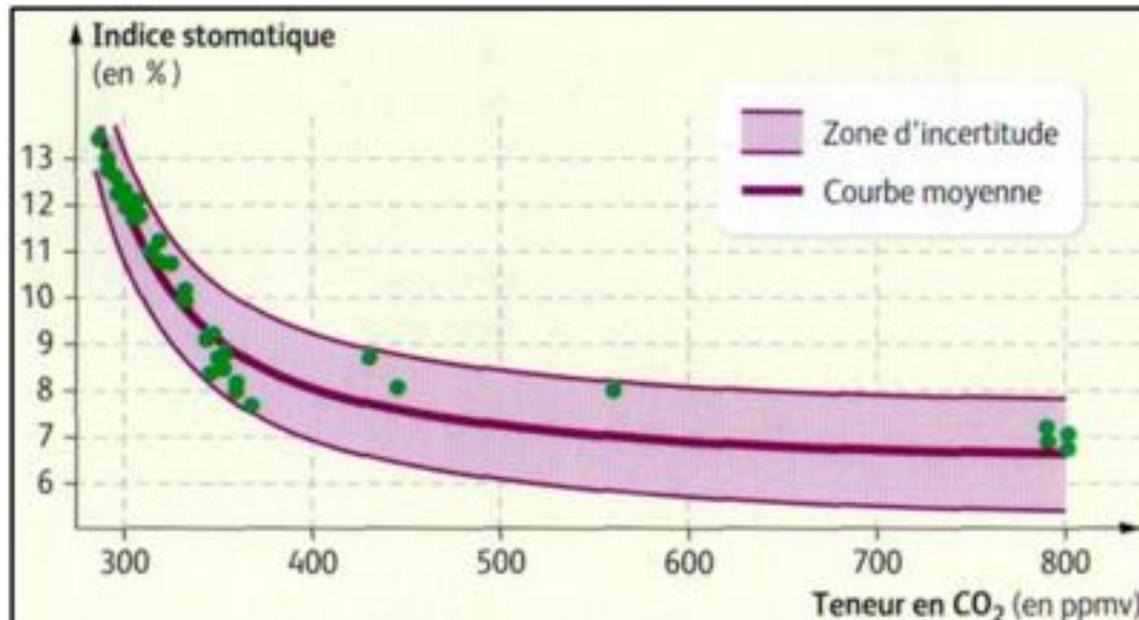
A. DES INDICES SÉDIMENTOLOGIQUES

- Des variations à beaucoup plus grande échelle ont eu lieu au cours des temps géologiques. On retrouve ainsi, pour des roches d'âge différent :
 - des traces de périodes glaciaires (tillites, stries glaciaires, etc.)
 - des traces de périodes chaudes (évaporites, bauxites, fossiles de fougères arborescentes, etc.)



B. DES INDICES PALÉONTOLOGIQUES

- Les variations climatiques aux grandes échelles de temps sont en relation avec des variations importantes dans la teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère, principalement le CO₂. Certains indices comme **l'indice stomatique de feuille** peuvent nous renseigner sur la quantité de CO₂ passé. Les stomates permettent l'absorption du CO₂ : **le nombre de stomates dépend de la concentration atmosphérique en CO₂ : moins le taux de CO₂ est élevé, plus le nombre de stomates et donc l'indice stomatique est important.** Ainsi on peut observer qu'au cours du Crétacé, l'indice stomatique était plutôt faible, indiquant une concentration en CO₂ plus importante que l'actuelle et donc qu'il faisait bien plus chaud.



CONCLUSION :

- Les bulles d'air contenues dans les glaces permettent d'étudier la composition de l'air durant les 800 000 dernières années y compris des polluants d'origine humaine. La composition isotopique des glaces et d'autres indices (par exemple la palynologie) permettent de retracer les évolutions climatiques de cette période.
- Sur les grandes durées (par exemple pendant le dernier milliard d'années), les traces de variations climatiques importantes sont enregistrées dans les roches sédimentaires. Des conditions climatiques très éloignées de celles de l'époque actuelle ont existé.

