

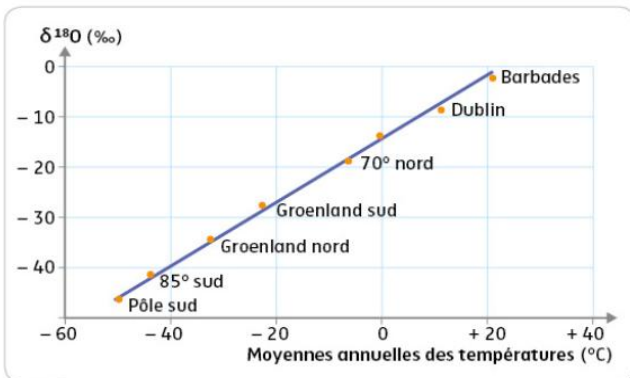
Correction

Les reconstitutions climatiques permises par l'utilisation des indices préhistoriques (peintures rupestres), paléo-écologiques (pollens) ont été mises en relation avec l'évolution de la teneur en GES dans l'atmosphère déterminée par les bulles d'air des glaces.

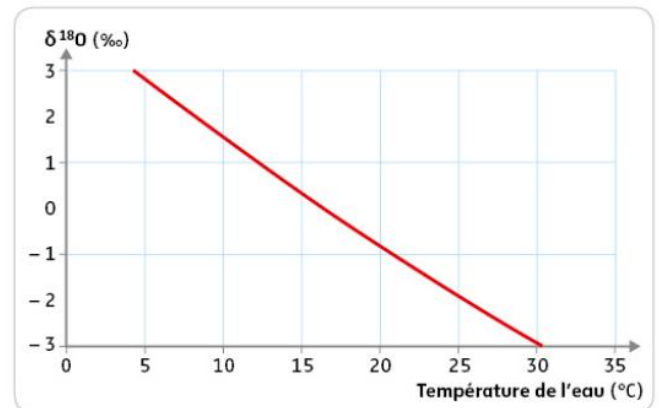
Néanmoins, les mesures de températures directes sont récentes et pour déterminer les variations de température anciennes, au cours du quaternaire, les climatologues ont utilisés **les isotopes de l'oxygène piégés dans les glaces ou les sédiments marins** : ce sont **des thermomètres isotopiques**.

Objectif : On cherche à comprendre comment les isotopes de l'oxygène ont permis de reconstituer les variations de température du globe depuis 800 000 ans.

➔ Les scientifiques ont mesuré le $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations actuelles dans diverses stations du globe



$\delta^{18}\text{O}$ en fonction de la température de l'air. Ces données ont été calculées grâce à des mesures sur des précipitations actuelles (neige ou pluie).



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

Consignes

1- A l'aide des documents ressources, **justifier** pourquoi on peut qualifier le $\delta^{18}\text{O}$ de thermomètre isotopique.

On peut observer qu'il existe une relation linéaire entre la température et le $\delta^{18}\text{O}$, celui-ci dépend de la température de l'eau ou de l'air : le $\delta^{18}\text{O}$ est d'autant plus élevé dans l'eau de pluie (ou neige ou glace des pôles) que la température augmente. Par contre, il est d'autant plus faible dans les tests des foraminifères (donc dans l'eau des océans) que la température est élevée. Il peut donc être qualifié de **thermomètre isotopique**. Le $\delta^{18}\text{O}$ de la glace est donc proportionnel à la température moyenne de la Terre et celui des foraminifères est inversement proportionnel à la température moyenne de la Terre.

2- A l'aide du document 1 de l'annexe, **compléter** le texte et le tableau suivant, en précisant comment évolue le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en fonction des périodes climatiques.

- **En période froide**, l'évaporation est faible. Il y a donc essentiellement du ^{16}O qui part dans les nuages. La proportion de ^{18}O par rapport au ^{16}O est donc **faible** : il y a beaucoup de ^{16}O par rapport au ^{18}O . Ainsi, le $\delta^{18}\text{O}$ des nuages est très **faible**. Quand le nuage arrive aux pôles, il n'a quasiment que du ^{16}O à précipiter, le $\delta^{18}\text{O}$ des glaces est donc très **négatif**.
- **En période chaude**, l'évaporation est **forte**. Il y a donc toujours essentiellement du ^{16}O qui part dans les nuages mais aussi du ^{18}O (car l'énergie de vaporisation est plus facilement franchie quand il fait chaud). Ainsi, le $\delta^{18}\text{O}$ du nuage en période chaude est plus **élevé** qu'en période froide. En arrivant au pôle, le nuage relargue

du ^{18}O mais aussi du ^{16}O puisqu'il en contient. Ainsi, le $\delta^{18}\text{O}$ de la glace sera donc plus **élevé** pendant la période chaude que pendant la période froide.

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (augmentation, diminution)		
Variation climatique	dans la glace (au niveau des pôles)	dans l'eau des océans (foraminifères de surface)
Réchauffement	Augmentation (delta faiblement négatif)	Diminution (delta positif)
Refroidissement	Diminution (delta fortement négatif)	Augmentation (delta négatif)

Evolution du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dans l'eau et la glace en fonction de la période climatique

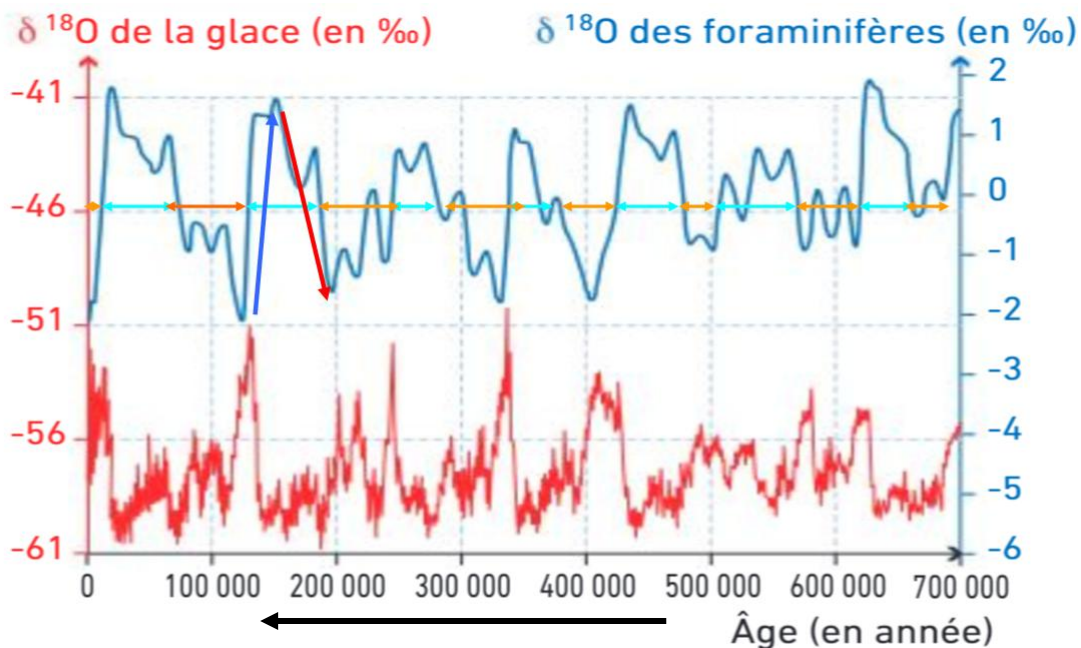
	Entrée en période glaciaire	Entrée en période interglaciaire
Variation de la T°	Diminution	Augmentation
Volume de glace polaire	Augmentation	Diminution
Volume d'eau liquide/niveau marin	Diminution	Augmentation
Variation du delta ^{18}O dans les glaces	Diminution	Augmentation
Variation du delta ^{18}O dans l'eau et les sédiments marins	Augmentation	Diminution

3- A l'aide des documents 2 et 3, **expliquer** comment ce thermomètre peut être utilisé par les scientifiques pour reconstituer le climat passé.

Les scientifiques sont capables de réaliser aussi bien des carottes de sédiments au fond des océans, que des carottes de glaces dans les glaciers (dans les chaînes de montagnes, au Groenland et en Antarctique). Or les sédiments ou la glace prélevés dans ces carottes peuvent s'être formés il y a plusieurs dizaines de milliers d'années. Plus ils sont profonds et plus ils sont anciens. Leur analyse permet de remonter le temps. En analysant les rapports $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de la glace ou des sédiments, il est donc possible de déterminer indirectement la température des périodes correspondantes.

4- Voici les résultats obtenus des analyses des différentes carottes. **Délimiter** sur le graphique, les périodes chaudes, les périodes froides, une phase de refroidissement et une de réchauffement. Puis **décrire** comment a évolué le climat au cours des 700 000 dernières années.

La mesure de rapports isotopiques de l'oxygène dans les carottes polaires antarctiques et les sédiments font apparaître une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires durant les derniers 800 000 ans.



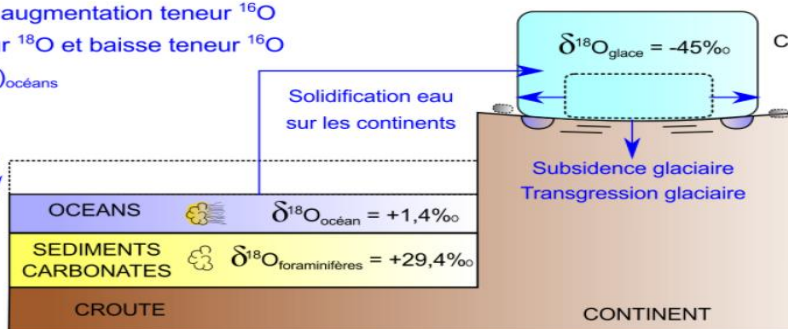
Evolution du $\delta^{18}\text{O}$ ans la glace et les foraminifères au cours des 700 000 dernières années

- Période glaciaire
- Période interglaciaire
- Refroidissement
- Réchauffement

- Glaces : baisse teneur ^{18}O et augmentation teneur ^{16}O
- Océans : augmentation teneur ^{18}O et baisse teneur ^{16}O
- > $\downarrow (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{glaces}}$ et $\uparrow (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{océans}}$
- > $\downarrow \delta^{18}\text{O}_{\text{glaces}}$ et $\uparrow \delta^{18}\text{O}_{\text{océans}}$

Régression marine
0 m
-150 m

REFROIDISSEMENT
PLANETAIRE
> GLACIATION

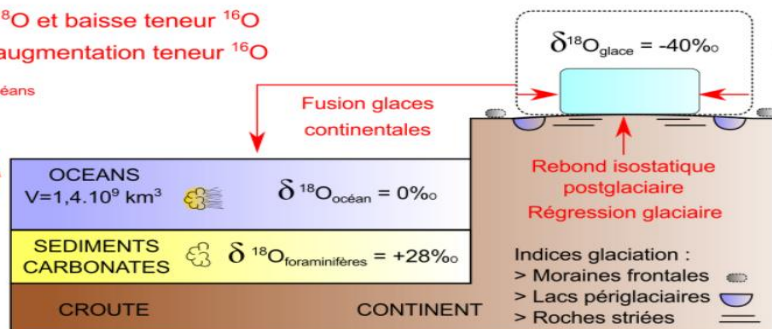


RECHAUFFEMENT
PLANETAIRE
> DEGLACIATION



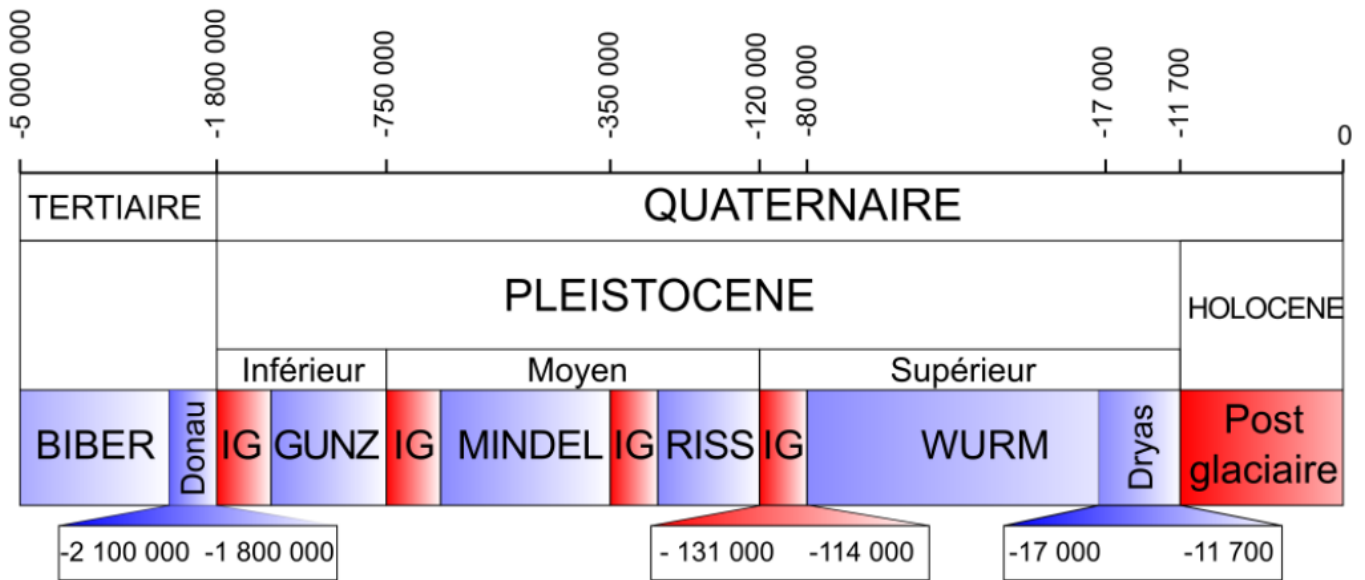
- Glaces : augmentation teneur ^{18}O et baisse teneur ^{16}O
- Océans : baisse teneur ^{18}O et augmentation teneur ^{16}O
- > $\uparrow (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{glaces}}$ et $\downarrow (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{océans}}$
- > $\uparrow \delta^{18}\text{O}_{\text{glaces}}$ et $\downarrow \delta^{18}\text{O}_{\text{océans}}$

Transgression marine
0 m
-150 m



Cycles glaciaires : variations du volume des océans, du volume des calottes polaires et des $\delta^{18}\text{O}$

Le Quaternaire a connu depuis 2,58 Ma, 17 cycles glaciaires de 50 à 100 000 ans comprenant chacun une glaciation lente et durable puis une déglaciation (Interglaciaire) rapide et courte



Bilan :

* Les plus anciennes mesures de températures obtenues par des thermomètres datent du XVII^{ème} siècle (1658). En conséquence, les paléoclimatologues reconstituent le climat en se basant **sur des archives naturelles** qui enregistrent **de manière indirecte** les fluctuations climatiques.

* Différents indices sont ainsi utilisés par les climatologues :

- **des indices préhistoriques** : pour les périodes les plus récentes, l'étude des **peintures rupestres** nous informent sur la faune côtoyées par l'Homme et donc sur le climat (grotte Cosquer, Lascaux, Chauvet...).

- **des indices géologiques** : comme l'étude de l'**extension des glaciers et des calottes polaires**. La glace façonne les paysages et, lors de la fonte des **glaciers**, on trouve des traces de leur passage : vallée en U, restes de **moraines**, de **blocs erratiques**, **stries** sur les roches...

- **des indices paléo-écologiques** : l'étude des **pollens fossilisés** dans la tourbe permet de reconstituer la végétation et donc le climat au cours du temps.

* Ces indices attestent **qu'une dernière période glaciaire a commencé il y a 120 000 ans et s'est terminée il y a 11 000 ans**. Cette période est marquée par une **baisse planétaire des températures** qui conduit à une **vaste extension des calottes polaires et des glaciers** (le maximum de la glaciation a été atteint il y a 20 000 ans, le Nord de l'Europe et les Alpes étaient recouverts d'une calotte de glace et le niveau de la mer était 120m plus bas que le niveau actuel).

* Ces reconstitutions sont basées sur le **principe d'actualisme** qui postule que dans la passé les processus opéraient de la même façon qu'actuellement.

* L'étude des **rapports isotopiques de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$)** permet de reconstituer les variations climatiques plus anciennes, **depuis 800 000 ans** :

- la mesure du $\delta^{18}\text{O}$ dans la **glace** (Antarctique) permet de déterminer la **température locale** : **plus il fait froid, plus le $\delta^{18}\text{O}$ est faible et inversement**.
- la mesure du $\delta^{18}\text{O}$ dans les **sédiments océaniques carbonatés (foraminifères)** permet de reconstituer l'évolution de la température de l'océan : **plus il fait froid, plus le $\delta^{18}\text{O}$ est élevé dans les sédiments marins**.

Variation climatique	$\delta^{18}\text{O}$	
	dans la glace (au niveau des pôles)	dans l'eau des océans (foraminifères de surface)
Réchauffement	Augmentation (delta faiblement négatif)	Diminution (delta positif)
Refroidissement	Diminution (delta fortement négatif)	Augmentation (delta négatif)

Evolution du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dans l'eau et la glace en fonction de la période climatique

* La confrontation de tous ces indices montre que le **Quaternaire** (-2.6Ma à aujourd'hui) est caractérisé par une **alternance de cycles glaciaires et interglaciaires** répétés depuis 800 000 ans.

