

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.

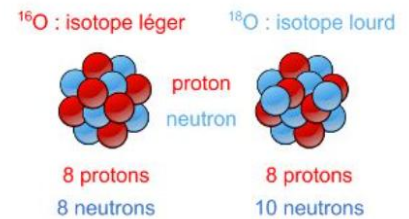
Néanmoins, les mesures de températures directes sont récentes et pour déterminer les variations de température anciennes, au cours du quaternaire, les climatologues ont utilisés **les isotopes de l'oxygène piégés dans les glaces ou les sédiments marins** : ce sont **des thermomètres isotopiques**.

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.

DOCUMENTS RESSOURCE

Les isotopes de l'oxygène : ^{18}O et ^{16}O :

➔ L'atome d'oxygène existe **sous 2 isotopes différents**, ^{16}O et ^{18}O . Ils se différencient par leur nombre de neutrons et donc par leur masse. L'isotope ^{16}O représente 99% de l'oxygène présent à la surface de la Terre.



➔ Il existe donc 2 « types » de molécules d'eau, les molécules « d'eau lourde » qui comportent du ^{18}O (H_2^{18}O) et celles « d'eau légère » qui comportent du ^{16}O (H_2^{16}O).

Du fait que les isotopes n'ont pas la même masse, il est donc possible de mesurer leur proportion dans différents échantillons de glace ou de sédiments marins à l'aide d'un spectromètre de masse.

➔ Ainsi, il est possible d'obtenir le rapport isotopique, ou $\delta^{18}\text{O}$ (delta), qui correspond à la **proportion d'isotope ^{18}O par rapport à l'isotope ^{16}O** . Il peut être calculé à partir **d'échantillon d'eau (liquide ou glace) ou de coquilles calcaires de foraminifères marins****.

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

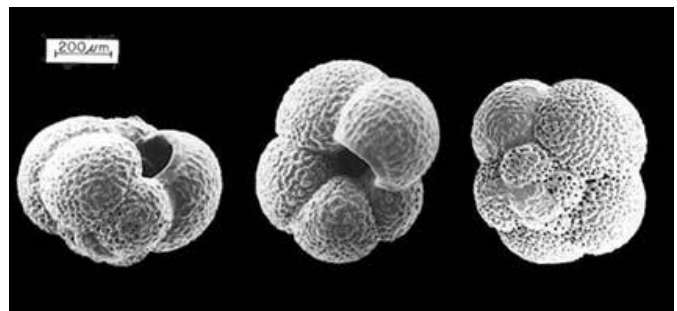
La valeur standard est le **SMOW** :

SMOW (standard main oceanic water) = valeur de référence du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ = rapport moyen de l'eau des océans actuels. Il est de 1/500.

La formule indique que plus la quantité d'isotope ^{18}O est élevée, plus le $\delta^{18}\text{O}$ est élevé.

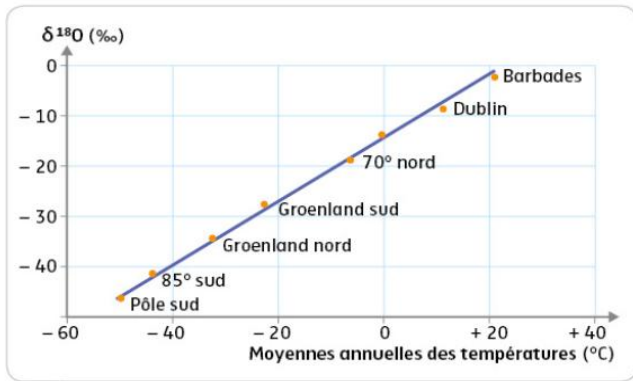
Par souci de simplification, nous utiliserons le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$.

** Les foraminifères sont des organismes unicellulaires marins qui fabriquent une coquille minérale (test) riche en carbonate de calcium (CaCO_3) à partir des ions (HCO_3^-) prélevés dans l'eau de mer. On considère que le $\delta^{18}\text{O}$ d'un test de foraminifère reflète donc le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer au moment où ce test a été fabriqué. **Reconstituer l'évolution du $\delta^{18}\text{O}$ des foraminifères marins au cours du temps permet donc de connaître l'évolution du $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer.**

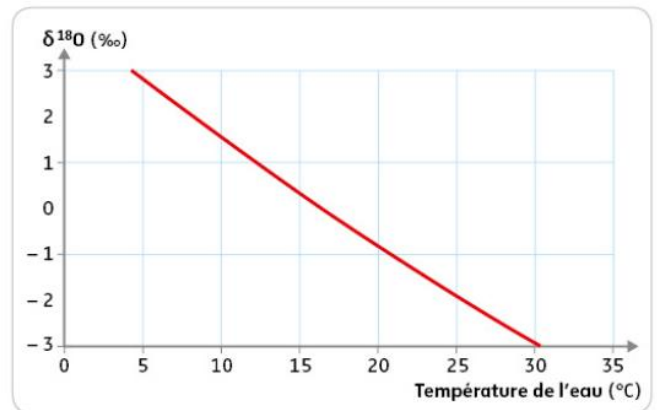


Foraminifères observés au microscope électronique

➔ Les scientifiques ont mesuré le $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations actuelles (pluie ou neige) dans diverses stations du globe et le $\delta^{18}\text{O}$ des coquilles de foraminifères actuels et ont fait le lien avec la température annuelle de l'air ou de l'eau de mer.



$\delta^{18}\text{O}$ 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.
- 2- A l'aide du document 1 de l'annexe, **compléter** le texte et les tableaux suivants, 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 duO qui part dans les nuages. La proportion du ^{18}O par rapport au ^{16}O est donc : il y a beaucoup deO par rapport auO. Ainsi, le $\delta^{18}\text{O}$ des nuages est très Quand le nuage arrive aux pôles, il n'a quasiment que duO à précipiter, le $\delta^{18}\text{O}$ des glaces est donc très
- **En période chaude**, l'évaporation est Il y a donc toujours essentiellement duO qui part dans les nuages mais aussi duO (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 qu'en période froide. En arrivant au pôle, le nuage relargue duO mais aussi duO puisqu'il en contient. Ainsi, le $\delta^{18}\text{O}$ de la glace sera donc plus pendant la période chaude que pendant la période froide.

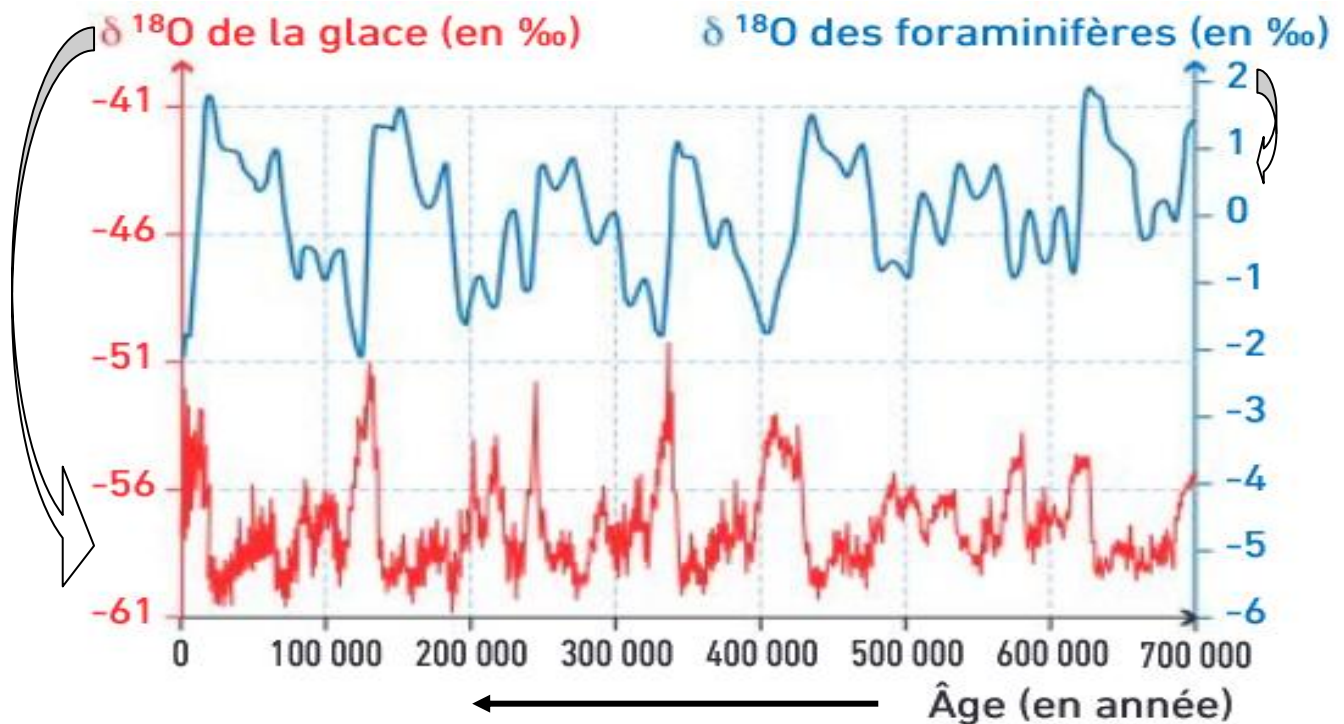
	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (augmentation, diminution)	
Variation climatique	dans la glace (au niveau des pôles)	dans l'eau des océans (foraminifères de surface)
Réchauffement		
Refroidissement		

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°		
Volume de glace polaire		
Volume d'eau liquide/niveau marin		
Variation du delta ^{18}O dans les glaces		
Variation du delta ^{18}O dans l'eau et les sédiments marins		

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

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.



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