

**Problème : Comment reconstituer l'évolution du climat dans une région donnée à partir de l'étude des isotopes contenus dans les glaces ?**

### Le principe du thermomètre isotopique

L'élément oxygène existe sous deux formes isotopiques,  $^{16}\text{O}$  et  $^{18}\text{O}$ . Les molécules contenant de l'oxygène, comme l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) des glaces polaires ou les carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ) des coquilles fabriquées par les organismes marins, contiennent ces isotopes dans des proportions qui peuvent être mesurées par des spectromètres de masse\*. On peut alors calculer le rapport isotopique\*  $\delta^{18}\text{O}$  de l'échantillon étudié en comparant son rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  à celui d'un échantillon standard (d'eau ou de carbonate) qui sert de référence, selon la formule (A).

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

**A** Formule du  $\delta^{18}\text{O}$ , exprimée en ‰.

Sur Terre, l'évaporation océanique a lieu essentiellement au niveau de l'équateur. Les masses d'air se déplaçant vers les pôles se refroidissent, ce qui est à l'origine de précipitations sous forme de pluie ou de neige. Lors d'un changement de phase, le comportement d'une molécule d'eau dépend de sa masse, et donc de l'isotope de l'oxygène qu'elle contient. Ainsi, lors de l'évaporation, les molécules d'eau  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ , plus légères, sont davantage concentrées dans la vapeur d'eau que les molécules  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ . Lors de la condensation de la vapeur d'eau, à l'origine des précipitations, c'est le contraire : les molécules  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ , plus lourdes, se condensent en premier. Le  $\delta^{18}\text{O}$  de la pluie ou de la neige va donc varier avec la température.

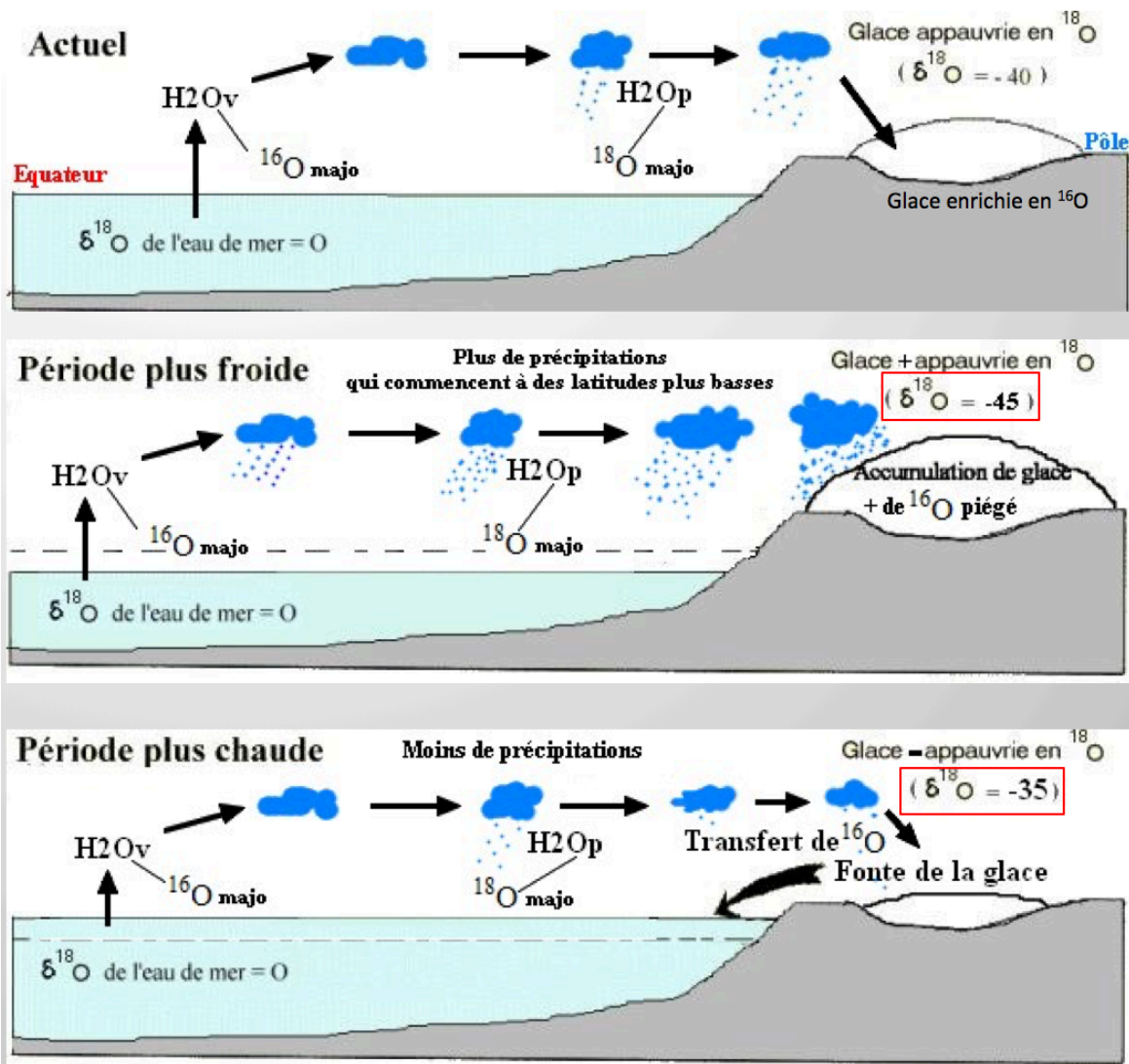
Dans les régions plus proches de l'équateur, au cours de l'évaporation :

- l' $^{16}\text{O}$  passe préférentiellement dans la phase gazeuse
- l' $^{18}\text{O}$  reste dans la phase liquide (l'eau de mer).

Les masses d'air remontant aux pôles se refroidissent et l'eau à l'état de vapeur se condense et précipite : l' $^{18}\text{O}$  passe majoritairement dans la phase liquide (la pluie) et cela appauvrit d'autant plus le nuage restant en  $^{18}\text{O}$ . Au final, c'est donc une **neige très enrichie en  $^{16}\text{O}$  qui précipite aux pôles :  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  est très faible.**

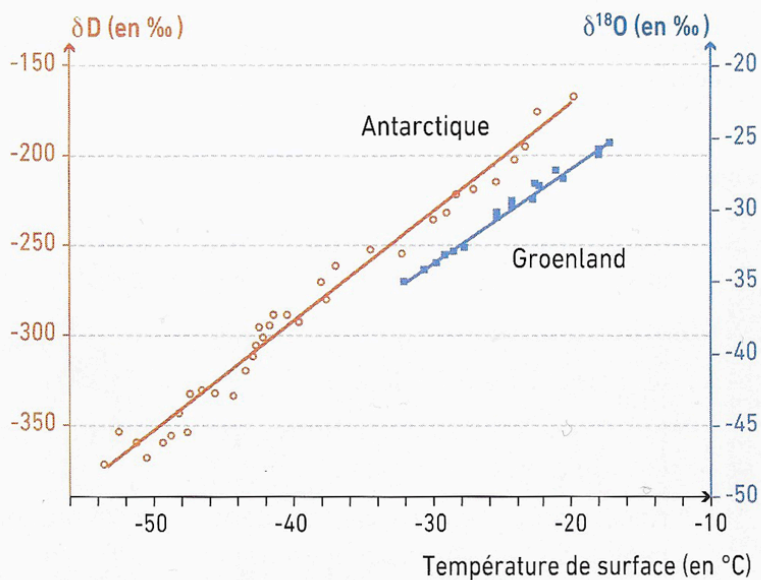
Plus il fait froid plus la masse d'air va se condenser rapidement au cours de son ascension vers les pôles et plus le fractionnement isotopique sera important : la chute des rapports est alors accentuée.

**Le rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  de l'eau de la glace est donc fonction de la température de l'air au moment de la chute de neige : plus il fait froid, plus ce rapport est faible.**



Le  $\delta\text{D}$  est un autre rapport isotopique utilisé par les scientifiques pour déterminer les paléotempératures\*. Il correspond au rapport entre l'isotope  $^1\text{H}$  et  $^2\text{H}$  de la glace, qui varie également en fonction de la température des précipitations (C). Le deutérium (noté  $^2\text{H}$  ou D) est un isotope naturel stable de l'hydrogène.

### Corrélation entre les mesures du $\delta^{18}\text{O}$ et du $\delta\text{D}$ de la glace



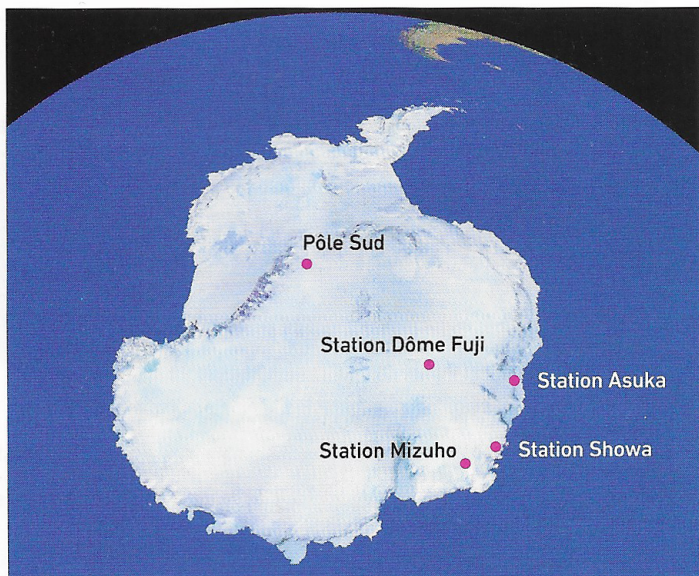
C  $\delta\text{D}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  des précipitations neigeuses en fonction de la température moyenne annuelle.

**A partir des données suivantes mesurées en Antarctique, mettez-en évidence les alternances de périodes glaciaires et interglaciaires au cours des derniers 700 000 ans.**

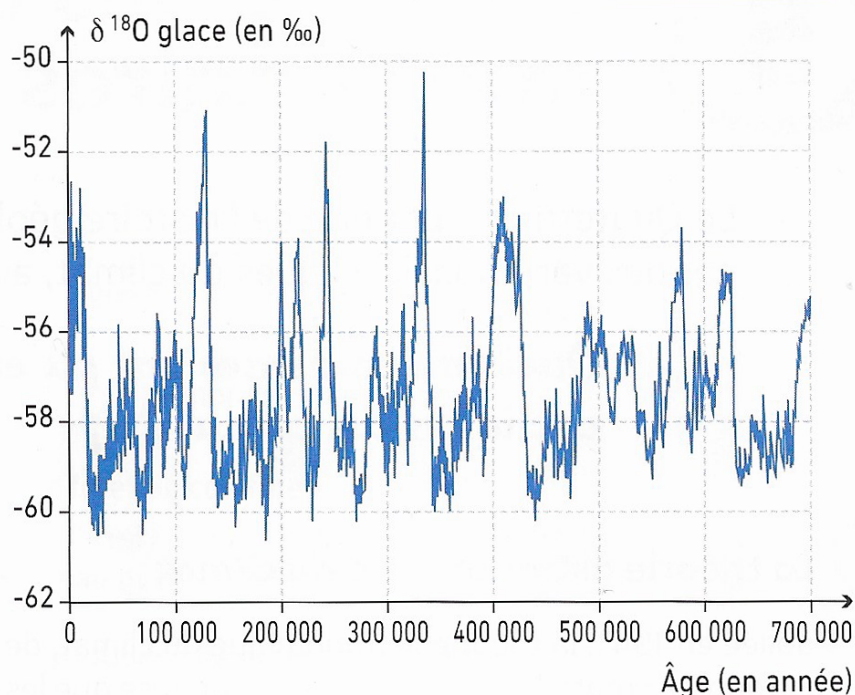
Au niveau des calottes polaires, la neige peut s'accumuler durant des centaines de milliers d'années, formant plusieurs centaines de mètres d'épaisseur de glace.

Au Groenland et en Antarctique, de vastes calottes de glaces continentales (inlandsis) couvrent les terres.

Les glaciologues pratiquent des carottages de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur afin de faire, dans de fines tranches de glace, l'analyse isotopique de la glace et des bulles d'air (ayant emprisonné les gaz atmosphériques de l'époque) qu'elle contient. Plus la glace est profonde, plus elle est âgée.



**A** Calotte glaciaire\* en Antarctique.



**B** Données obtenues en Antarctique à partir de la carotte\* du dôme Fuji.