

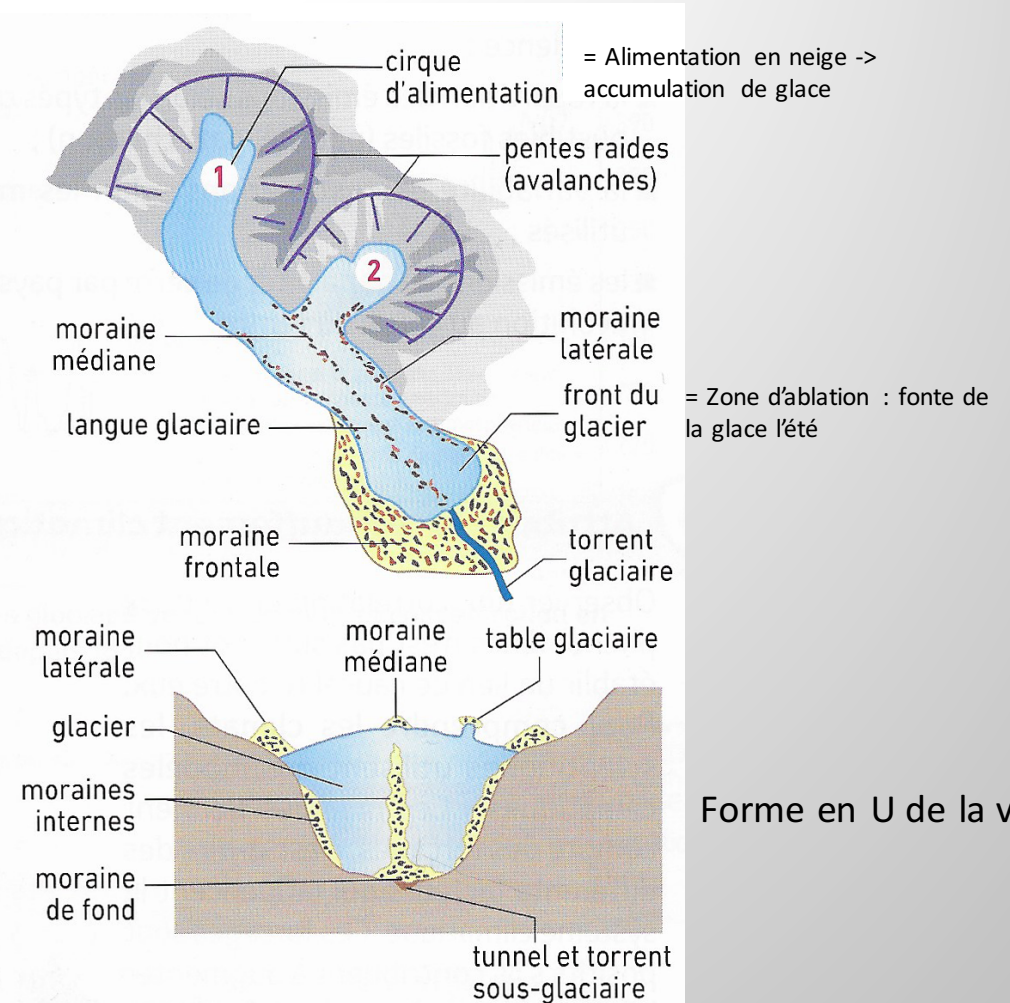
## Les indices géologiques glaciaires

## Les traces géologiques laissées par les glaciers

Un glacier est une masse de glace formée par accumulation et compaction de nombreuses couches de neige, année après année. Cette glace s'écoule lentement par gravité, constituant une langue glaciaire capable d'éroder les roches les plus dures, et de transporter des blocs de toutes tailles. Poussés vers l'aval, ces matériaux rocheux se déposent, formant d'énormes pierriers, les moraines, notamment au front du glacier (A) et (B). Sur son passage, le glacier use et polit la roche, lui donnant un aspect « moutonné » et strié. Lors de sa fonte (ou retrait), le glacier dépose les roches qu'il transportait. Les plus grosses d'entre elles forment ce qu'on appelle les blocs erratiques.



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



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

Forme en U de la vallée





Moraine frontale

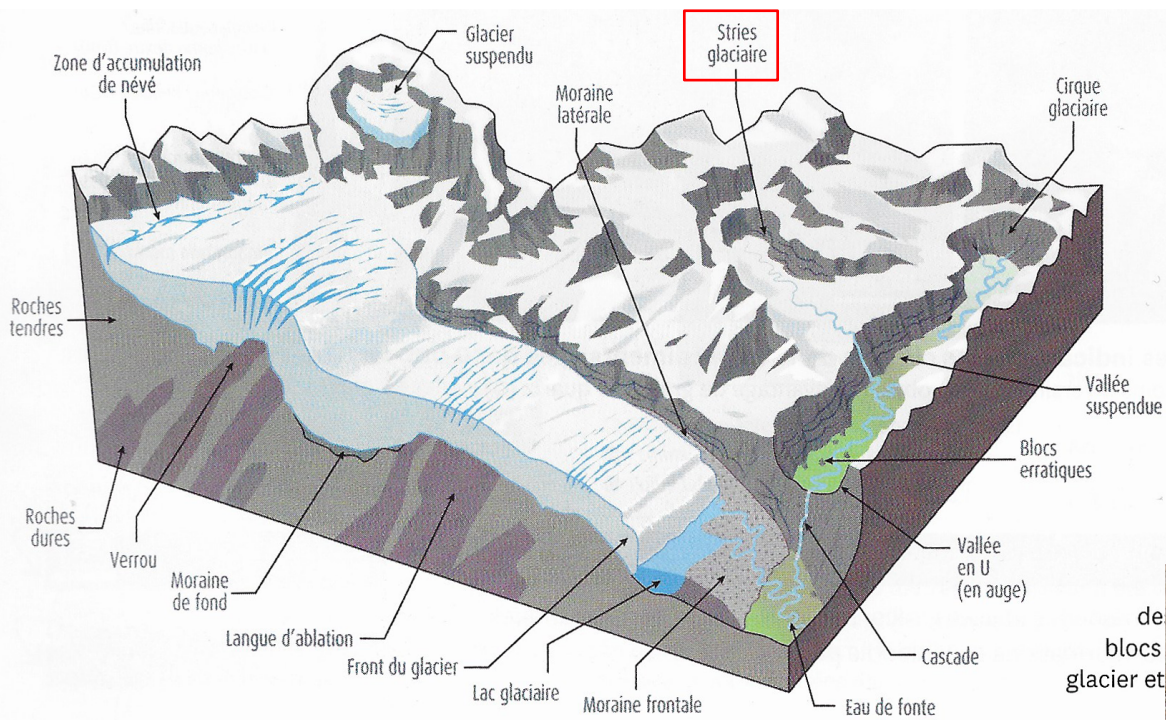


*La moraine est composée de matériaux hétérométriques (ici, dans la moraine latérale de la Mer de Glace)*



Bloc erratique de la Mer de Glace Alpes





## Présence de stries glaciaires sur les roches

### 3 Un paysage glaciaire.

On retrouve en France des traces des glaciers qui recouvraient une grande partie de l'Europe au Pléistocène. L'érosion glaciaire creuse des vallées en U et se manifeste aussi par des surfaces polies arrondies (roches moutonnées) souvent striées par les blocs de roche enchâssés dans la glace lors de son déplacement.

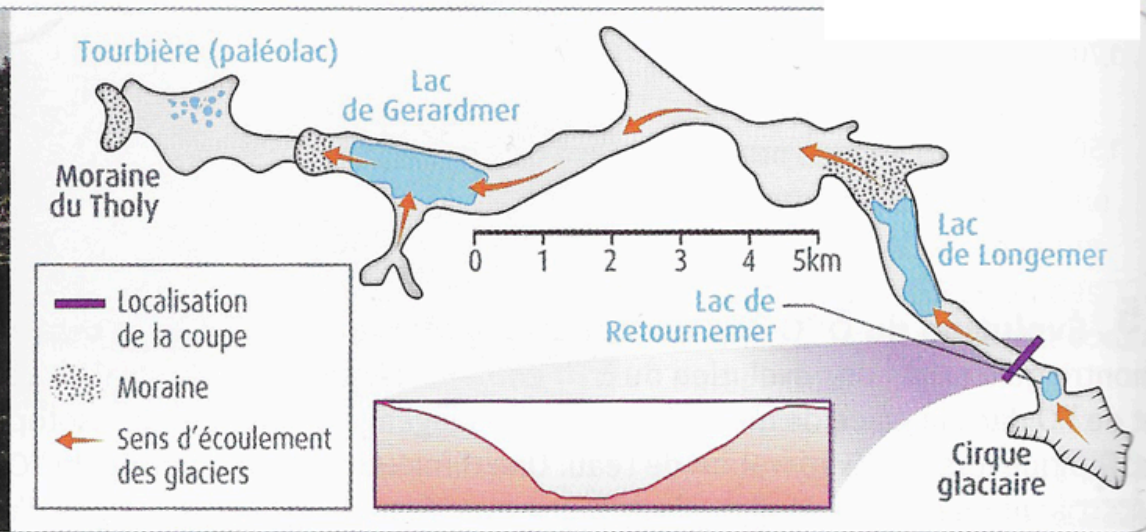
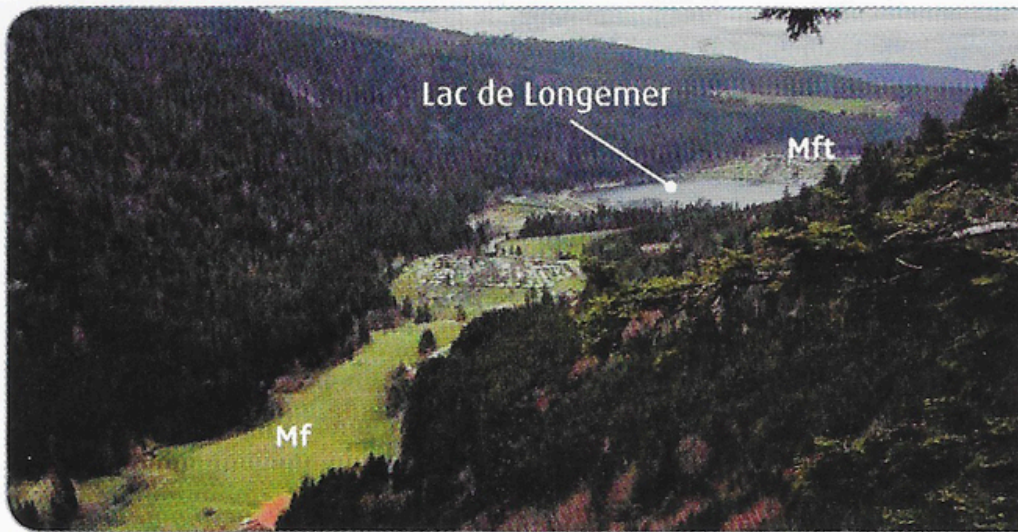
Les surfaces rocheuses sont polies et striées par les blocs de roches enchâssés dans la glace lors de son déplacement

Stries





## Anciennes moraines de la vallée de la Cleulie dans les Vosges



**2** Carte de la vallée de la Cleulie et coupe au niveau de la vallée en auge de Longemer. Le lac de Longemer s'est mis en place dans une dépression creusée par la langue glaciaire après sa fonte. Il est difficile de se rendre compte du volume de glace accumulé entre le cirque glaciaire et la moraine frontale du Tholy lors du dernier maximum glaciaire il y a à peu près 20 000 ans. Il peut être déterminé à partir du volume des vallées. Mft moraine frontale ; moraine de fond : Mf.

## Les indices apportés par les thermomètres isotopiques



## 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).

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{échantillon}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{standard}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}\right)_{\text{standard}}} \times 1\,000$$

**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 (B) et (C).

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

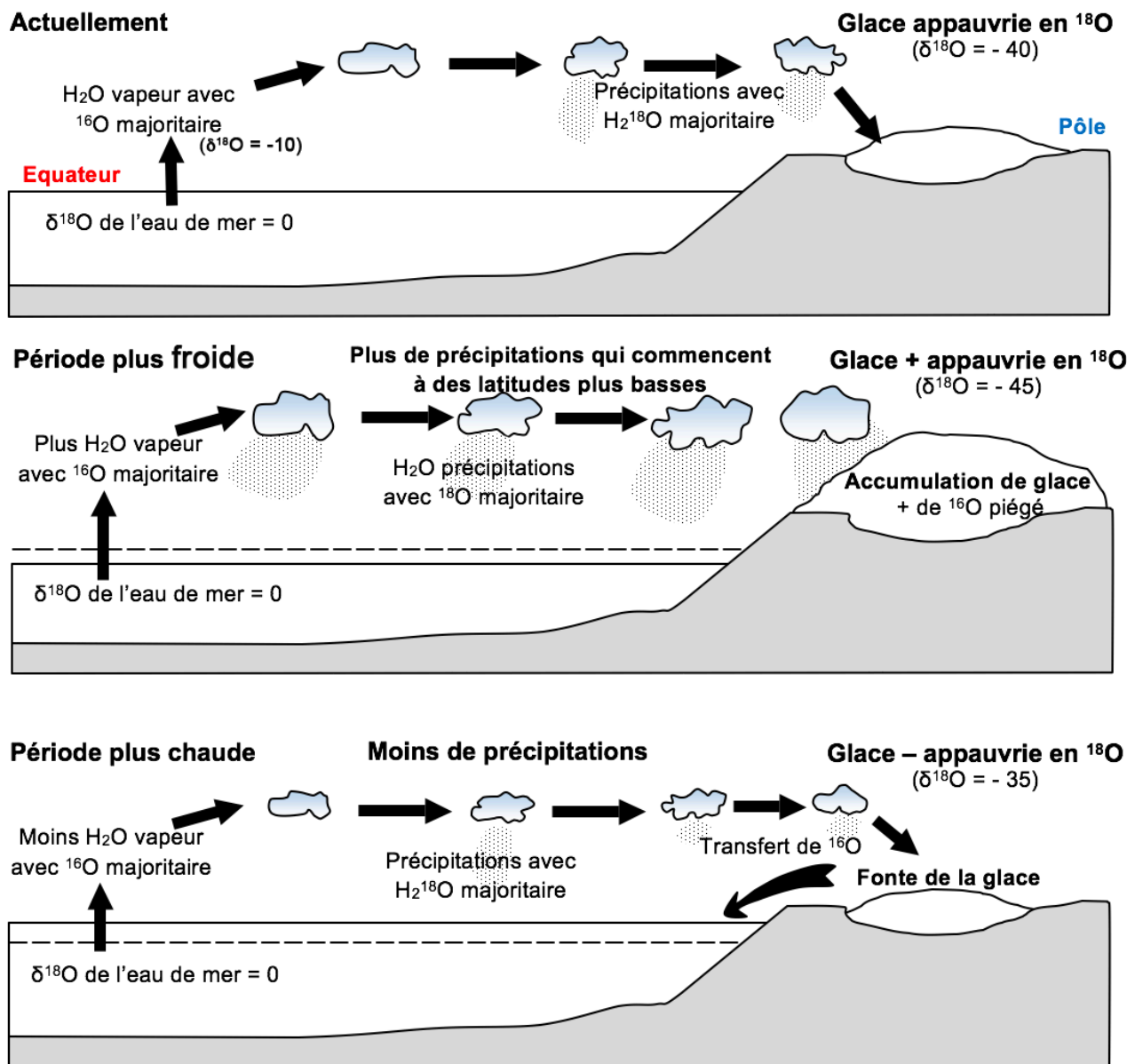
- l' $^{16}\text{O}$  passe préférentiellement dans la phase gazeuse
- l' $^{18}\text{O}$  reste dans la phase liquide (l'eau de mer)

Donc  $\delta^{18}\text{O}$  de la vapeur d'eau plus faible : -10

Les masses d'air se déplaçant vers les 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  $^{18}\text{O}$  :  $\delta^{18}\text{O}$  de la vapeur d'eau de plus en plus négatif

Au final, c'est donc une **neige très appauvrie en  $^{18}\text{O}$  et enrichie en  $^{16}\text{O}$  qui précipite aux pôles .**

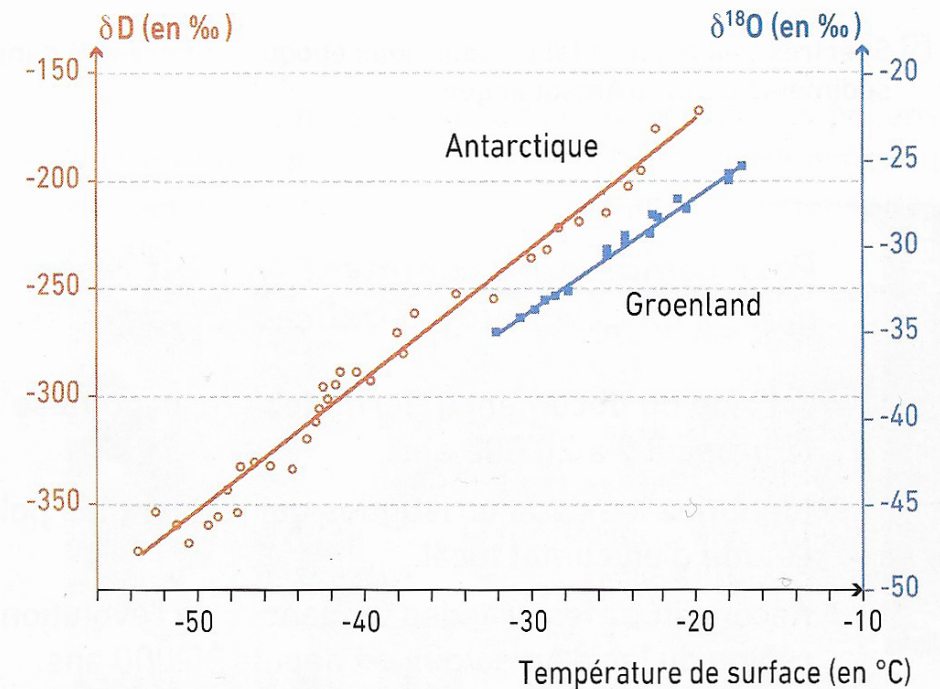
Plus il fait froid plus la masse d'air va se condenser rapidement au cours de son ascension vers les pôles et plus le fractionnement isotopique sera important : la chute des rapports est alors accentuée.





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

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



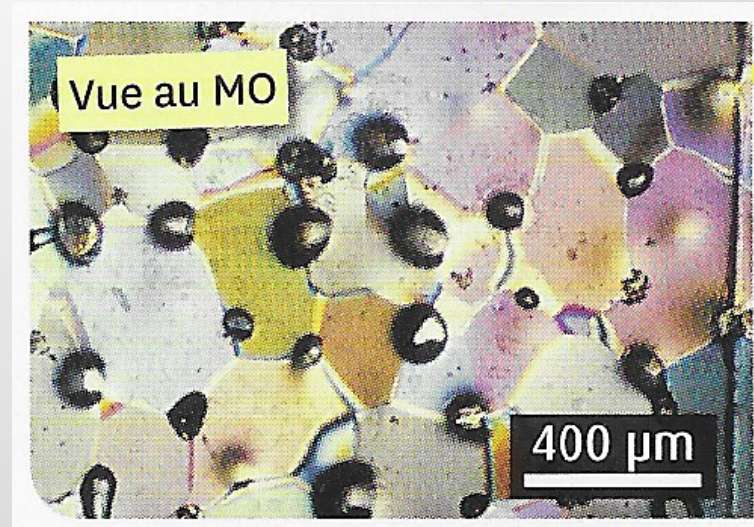
**C**  $\delta D$  et  $\delta^{18}O$  des précipitations neigeuses en fonction de la température moyenne annuelle.

### Carotte de glace vue à l'œil nu et au microscope polarisant.

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.

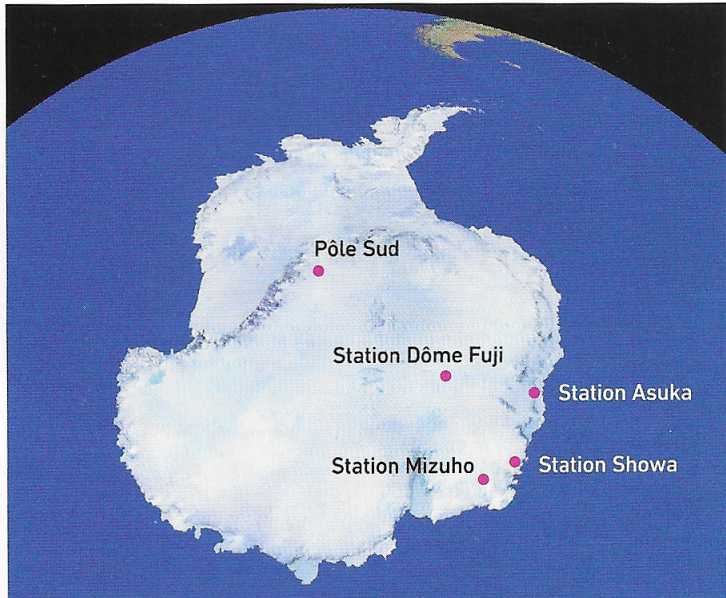
Les glaciologues pratiquent des carottages de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur afin de faire, dans de fines tranches de glace, l'analyse isotopique de la glace et des bulles d'air (ayant emprisonné les gaz atmosphériques de l'époque) qu'elle contient. Plus la glace est profonde, plus elle est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



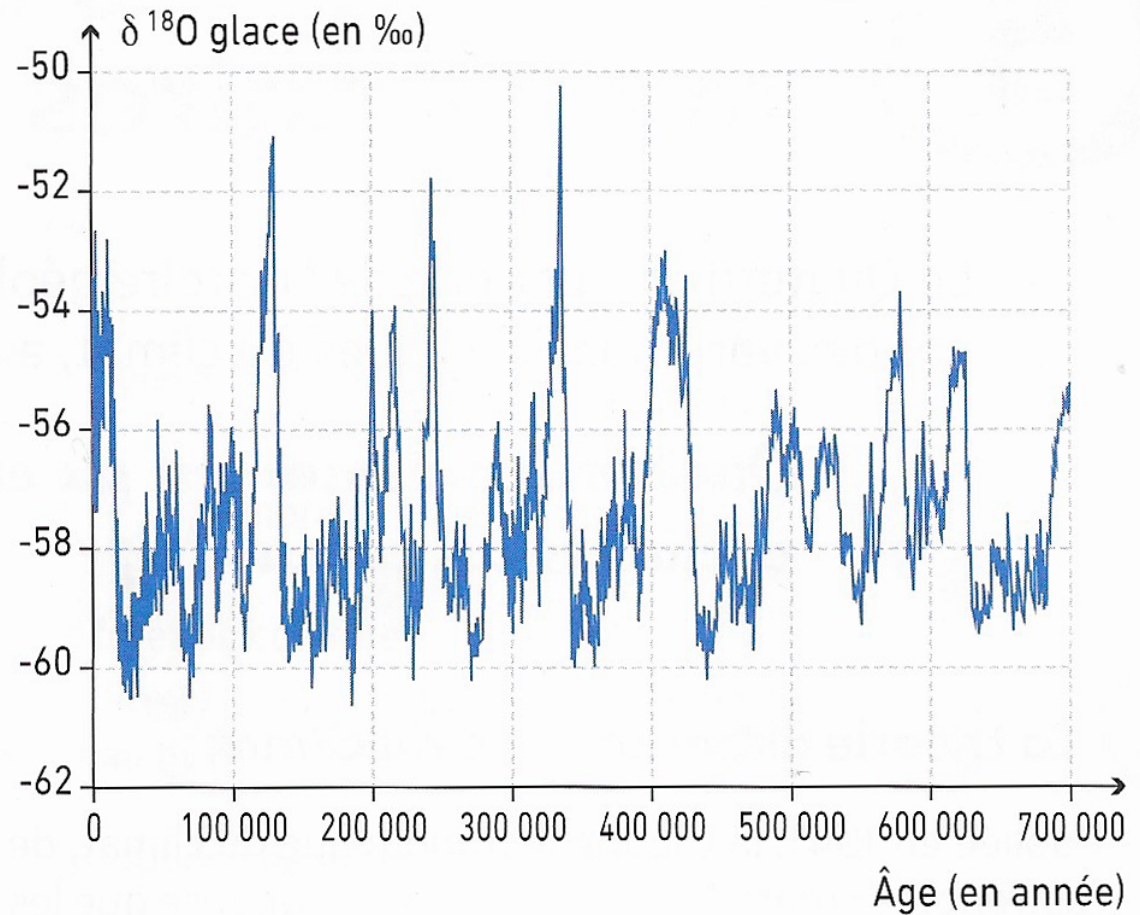
Bulles d'air (en noir) emprisonnées dans la glace (les cristaux de glace apparaissent colorés)  
Microscope polarisant, LPA



## Mesures du $\delta^{18}\text{O}$ en Antarctique

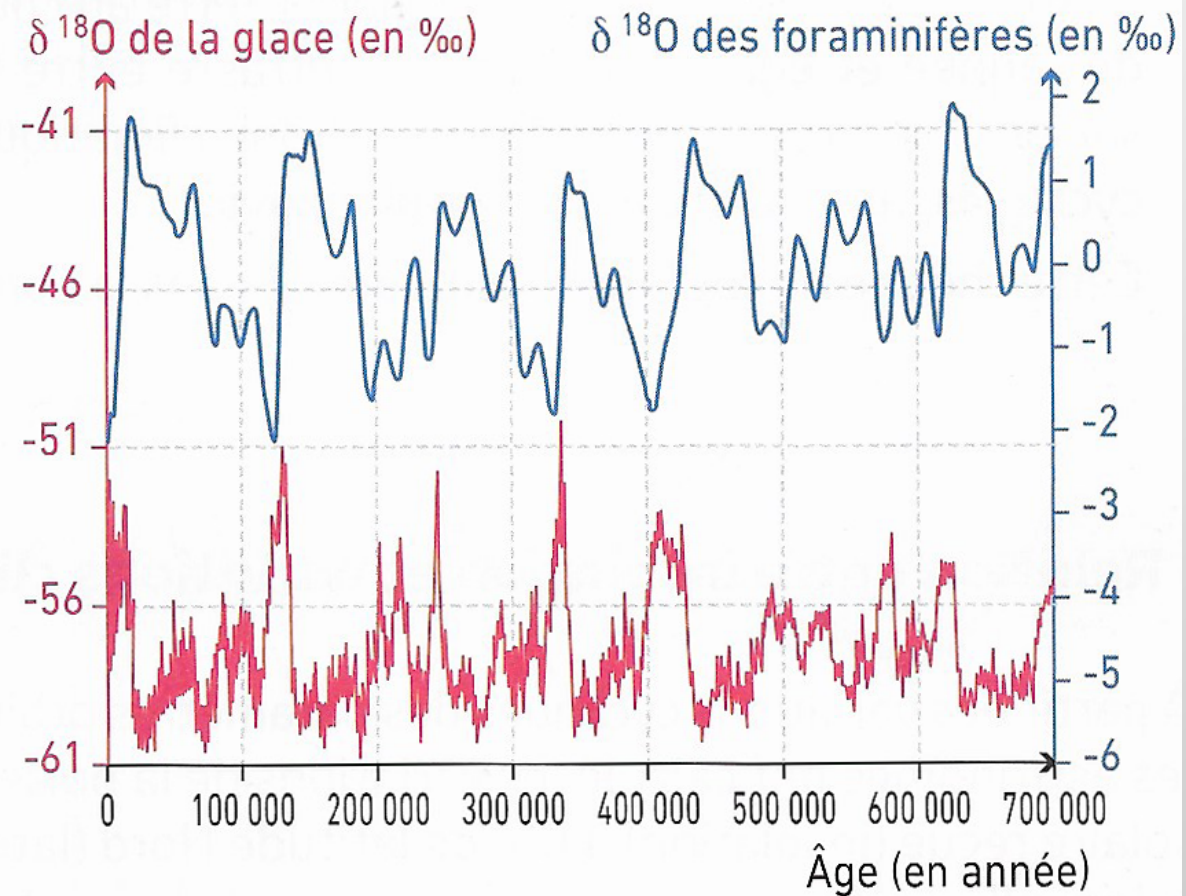


**A** Calotte glaciaire\* en Antarctique.



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

Corrélation entre le  $\delta^{18}\text{O}$  de la glace et le  $\delta^{18}\text{O}$  des sédiments carbonatés (foraminifères) depuis 700 000 ans.



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