

Les glaces : témoins des variations climatiques récentes

Document 1 : les glaces témoignent des époques passées.



▲ Photographie a : dans le glacier de Quelccaya au Pérou, les couches de glace correspondant aux précipitations hivernales sont séparées par des lits plus sombres (fines poussières d'origine volcanique, organique ou chimique) déposées pendant les saisons sèches. Chaque couche représente donc une année. Une telle lisibilité directe est exceptionnelle.

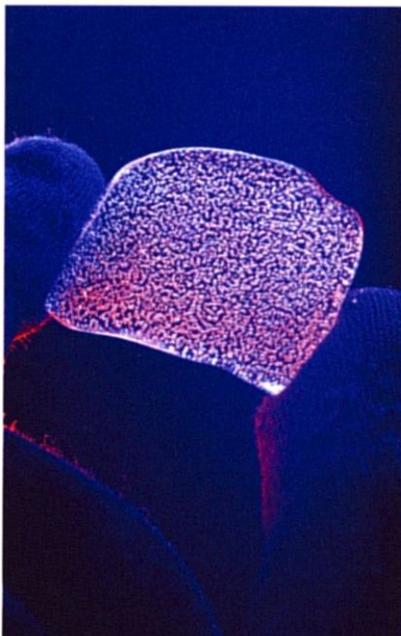
La neige est un assemblage très aéré de cristaux de glace. En s'accumulant, cette neige se tasse peu à peu sous l'effet de son propre poids. En l'espace de quelques mois, les cristaux se transforment en fins granules qui finissent par se souder pour former de la glace compacte. Dans les régions polaires ou dans la zone des neiges éternelles des chaînes de montagnes, la neige va donc, année après année, constituer des couches successives de glaces.

Depuis plusieurs décennies, des forages ont été réalisés dans les calottes polaires et les glaciers de montagne. Le carottage le plus profond a été réalisé en plein cœur de l'Antarctique (site de Vostok) par des chercheurs franco-russes qui ont atteint une profondeur de plus de 3,5 km. Ils ont ainsi pu accéder à des couches de glace vieilles de près de 420 000 ans.

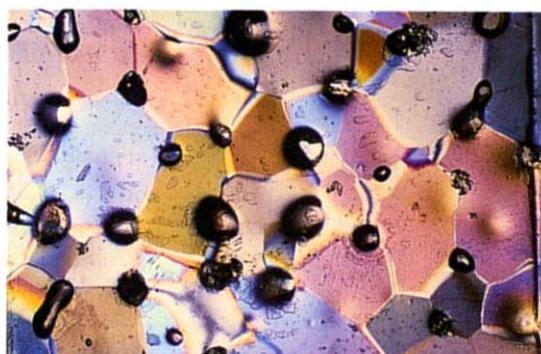
Ce forage a exigé vingt ans d'efforts, par des températures variant entre -60 et -40 °C. Il a été interrompu en 1998, afin d'éviter la contamination d'un immense lac sous glaciaire (trois fois le lac Léman !), situé 120 m plus bas et qui serait susceptible de contenir des formes inconnues de vie.



Document 2 : les bulles d'air piégées dans la glace.



Les cristaux de neige, en s'accumulant, piègent entre eux un peu d'air. Quand le tassement est suffisamment important, les pores de la neige se ferment et des bulles d'air se retrouvent incluses dans la glace. Elles peuvent représenter environ 10 % du volume de la glace et emprisonnent l'air ambiant au moment de la chute de neige, air qui est ainsi « fossilisé ». L'analyse des bulles permet d'avoir une idée de la composition de cet air fossile : teneur en O_2 mais aussi en gaz à effet de serre, tels que le CO_2 ou le CH_4 .



Photographies :
a - observation à l'œil nu.
b - observation au microscope en lumière polarisée. Les « billes » noires sont des bulles d'air emprisonnées dans la glace.

Document 3 : les isotopes de l'oxygène et le $\delta^{18}\text{O}$.

L'élément oxygène existe sous deux formes isotopiques : ^{16}O et ^{18}O . L'eau est donc un mélange de molécules H_2^{16}O (99,8 %) et de molécules H_2^{18}O (0,2 %).

On a constaté que le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dans les chutes de neige actuelles (ou plus exactement le $\delta^{18}\text{O}^*$) dépend de la température atmosphérique au moment de la chute (voir graphique). Tout laisse penser que cette corrélation était la même dans le passé ; on peut donc considérer que ce $\delta^{18}\text{O}$ est un bon « paléothermomètre ». Il suffit donc de mesurer le $\delta^{18}\text{O}$ dans une glace ancienne pour en déduire la température qui régnait à l'époque de formation de cette glace.

Lexique

• $\delta^{18}\text{O}$: grandeur définie par les spécialistes qui comparent le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de la glace à un rapport de référence, le $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ moyen des océans.

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ de la glace}}{\text{de l'eau}} - \frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ des océans}}{\text{moyen}} \right)}{\left(\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ des océans}}{\text{moyen}} \right)}$$

Exprimé en ‰, il varie dans le même sens que le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$.

Document 4 : les autres informations tirées des carottes de glace de l'Antarctique.

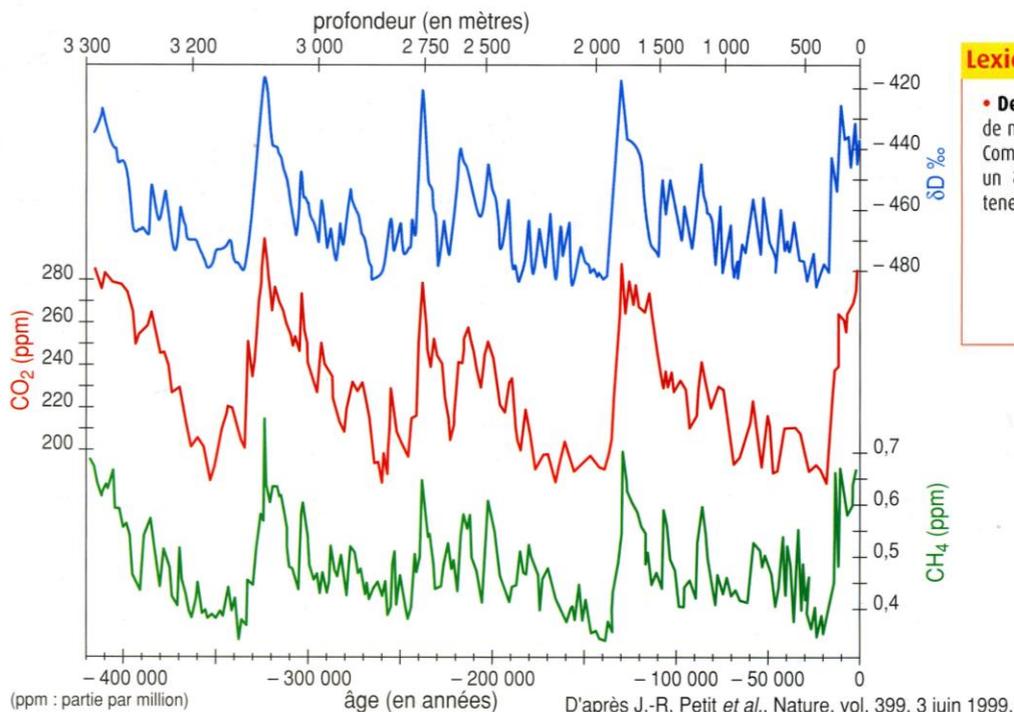


Après le forage, les carottes de glace sont découpées sur le site puis expédiées en conservant la chaîne du froid et en évitant toute contamination vers des laboratoires comme celui de St-Martin d'Hères près de Grenoble.

En général, la carotte est sciée en deux dans le sens de la longueur : une moitié est stockée en chambre froide en vue d'études ultérieures, l'autre moitié est analysée.

Les recherches portent sur les poussières de la glace, le contenu des bulles d'air fossilisées, les isotopes stables de l'eau de la glace (^{18}O et ^{16}O) mais aussi sur le deutérium* (D), isotope lourd de l'hydrogène dont le comportement lors du cycle de l'eau est similaire à celui du ^{18}O (le « signal » δD varie de la même façon que le « signal » $\delta^{18}\text{O}$).

Les graphes ci-dessous présentent les résultats obtenus à Vostok sur 400 000 ans. L'équipe de chercheurs français qui a étudié les carottes a choisi, pour des raisons de fiabilité et de technique, d'utiliser D plutôt que ^{18}O pour analyser l'évolution des isotopes lourds de l'eau de la glace. Les courbes du CO_2 et du CH_4 ont été obtenues par analyse des bulles d'air fossilisées.



Lexique

• **Deutérium** : isotope lourd de l'hydrogène, de masse atomique 2 (^2H) et symbolisé par D. Comme dans le cas de l'isotope ^{18}O , on définit un δD en rapportant le rapport $\text{D}/^1\text{H}$ à la teneur moyenne en D des océans.

D'après J.-R. Petit *et al.*, Nature, vol. 399, 3 juin 1999.

Document 5 : Mesures effectuées à différents endroits du globe.



GISP : Greenland Ice Sheet Project
(équipe américaine)

GRIP : Greenland Ice core Project
(équipe européenne)

