

une carotte prélevée au Groenland, une chronologie qui s'accorde avec plusieurs mesures indépendantes. En analysant la composition des cendres trouvées dans certaines couches de glace, par exemple, on a identifié les volcans d'où proviennent les cendres, et l'on a comparé les chronologies des glaces aux dates d'éruption : sur plusieurs siècles, on retrouve les mêmes dates par comptage des couches annuelles de glace. Pour les 11 500 dernières années, l'actuelle période chaude interglaciaire, le comptage des couches donne des dates précises à un pour cent près. Bien que la précision soit un peu moins bonne pour la glace plus ancienne des époques plus froides, elle vaut celle d'autres techniques de datation jusqu'à 50 000 ans au moins.

Les déformations de la glace

Au-delà de 100 000 ans, les couches annuelles restent visibles, mais elles sont souvent déformées : les glaciers et les calottes glaciaires s'étalent et s'amincissent sous leur propre poids. Ce mouvement se poursuivant sur des dizaines de milliers d'années, les couches de glace situées près du socle rocheux s'amincissent jusqu'à disparaître et sont plissées par les déplacements du glacier sur le sol. Ainsi, dans les carottes obtenues par l'équipe américaine au Groenland, les couches annuelles étaient successivement, de haut en bas, horizontales, ondulées, marquées d'un pli en forme de Z et, enfin, pour celles de plus de 110 000 ans, inclinées à des angles de plus de 20 degrés. Les carottes prélevées à proximité par les chercheurs européens ont révélé des formes tout aussi complexes, mais différentes.

Ces déformations empêchent le comptage continu des couches annuelles au-delà d'une certaine profondeur et compliquent leur datation. Ainsi, les climatologues qui étudiaient les carottes prélevées par le forage européen avaient annoncé que, lors de la précédente période interglaciaire, l'Éémien, qui s'est terminé il y a environ 120 000 ans, le climat terrestre avait connu des oscillations fréquentes et rapides : c'était très surprenant, car on pensait que les périodes interglaciaires étaient plutôt stables. La comparaison avec les résultats issus du forage américain a rassuré les climatologues : tandis que les deux séries

Steve Starr. SABA

Des tranches de temps

Les carottes de glace obtenues par forage au Groenland ou en Antarctique sont analysées par plusieurs méthodes.



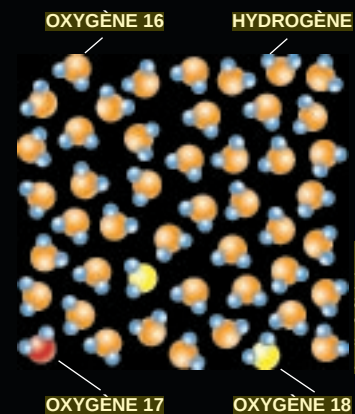
Richard B. Alley

LES COUCHES ANNUELLES de neige indiquent le temps écoulé depuis le dépôt. Souvent visibles à l'œil nu, elles sont généralement horizontales, mais de lents mouvements du glacier les plissent parfois.



Richard B. Alley

DES BULLES D'AIR sont piégées dans la neige lorsque celle-ci se transforme en glace, sous le poids des couches supérieures. Ces échantillons de l'atmosphère du passé montrent l'évolution des concentrations en différents gaz de l'atmosphère, tels le dioxyde de carbone et le méthane.



Jennifer C. Christensen

LES ATOMES D'OXYGÈNE de la glace ont 16, 17 ou 18 nucléons (neutrons et protons). La teneur relative des différents types d'oxygène renseigne sur la température au moment de la précipitation.

d'enregistrements climatiques étaient quasi identiques sur les 110 000 dernières années, elles ne s'accordaient pas pour les périodes antérieures, en raison de déformations différentes des couches de glace. Le socle rocheux perturbe bien plus les couches annuelles qu'on ne s'y attendait initialement ; il avait brouillé les analyses climatiques.

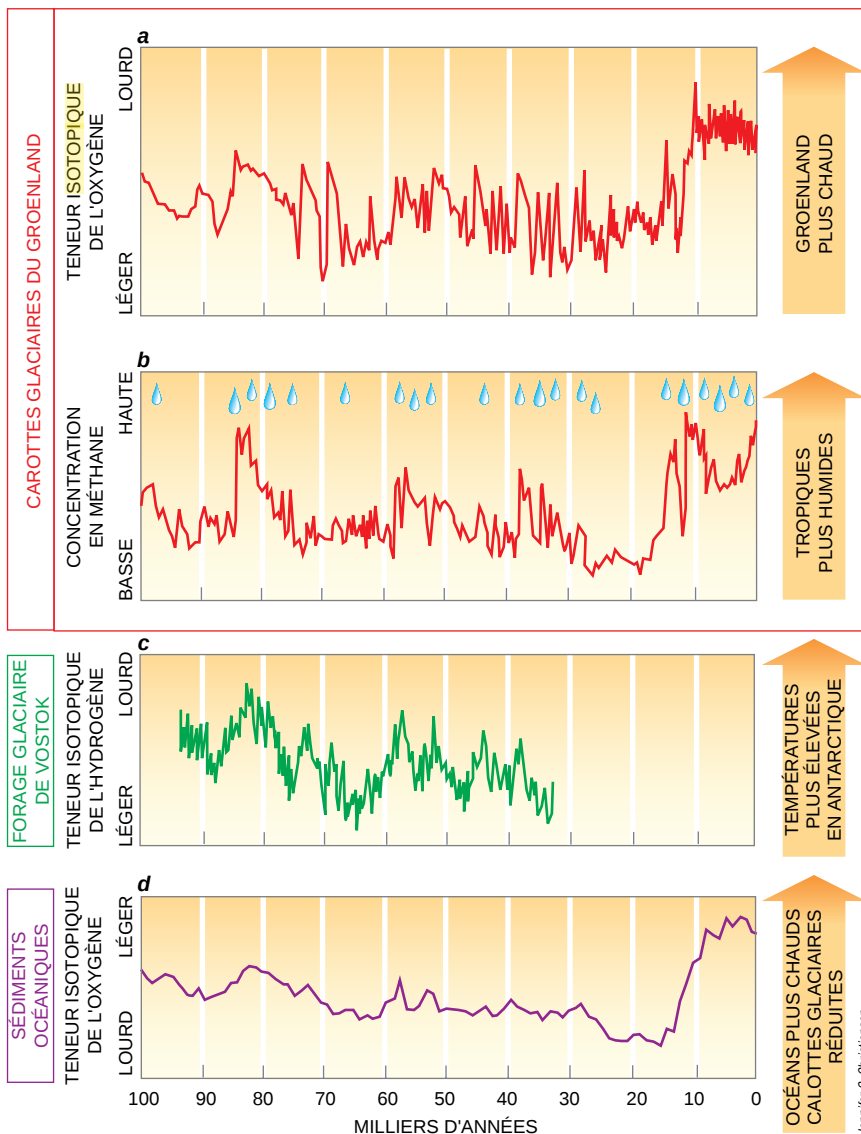
Aujourd'hui, les paléoclimatologues tentent de modéliser informatiquement ces déformations des couches profondes. De surcroît, pour obtenir un enregistrement fiable du climat pendant l'Éémien, l'équipe européenne a entrepris un autre forage, à 340 kilomètres au Nord-Ouest des deux forages précédents. Dans ce nouveau

site, les couches antérieures à 110 000 ans seraient plus loin du socle rocheux que dans les précédents forages : les distorsions dues à l'écoulement de la glace y seraient plus faibles.

Dans les cas où les problèmes de datation sont résolus, on étudie les évolutions climatiques à partir des températures passées. Le principal thermomètre utilisé est la concentration en eau «lourde», dont l'atome d'oxygène contient 17 ou 18 neutrons, au lieu de 16 dans les atomes d'oxygène les plus courants (il existe un autre type d'eau «lourde», utilisée notamment dans les centrales nucléaires, où l'hydrogène est remplacé par sa forme à un neutron, le deutérium). Lorsqu'une masse d'air se

refroidit, l'eau lourde se condense d'abord et précipite (les liaisons «hydrogène» entre les atomes d'hydrogène et les atomes d'oxygène de molécules différentes y sont plus fortes). Ainsi, pendant les périodes plus froides, la neige qui tombe à l'intérieur des terres contient moins d'eau «lourde», parce que celle-ci a déjà précipité, lorsque les nuages étaient au-dessus de l'océan ou des bords de la calotte glaciaire.

La température actuelle de la glace donne d'autres indications. Le phénomène est analogue à celui que l'on observe quand on met un rôti congelé au four : le cœur reste froid longtemps. De même, la glace située à un ou deux kilomètres de profondeur conserve l'enregistrement atténué et déformé des températures extrêmes de la dernière glaciation : elle est plus froide qu'en surface. Ces deux méthodes d'évaluation de la température montrent que



2. LES TEMPÉRATURES (a) et les concentrations en méthane dans l'atmosphère (b) ont été déterminées, pour les 100 000 dernières années, par l'étude des carottes de glace du Groenland. Ces mesures confirment les résultats des études analogues menées sur des carottes glaciaires prélevées à Vostok, en Antarctique (c), et les calculs du

volume total de glace dans le monde réalisés à partir de l'analyse des sédiments marins profonds (d). Le Globe se réchauffe tous les 20 000 ans. Le refroidissement progressif, jusqu'à il y a 20 000 ans, et le réchauffement rapide il y a 20 000 à 10 000 ans suivent un cycle de période plus longue, égale à 100 000 ans environ.