Mediachimie
Donner matière à l'avenir

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

REGARDER NOTRE PASSÉ DANS LA GLACE

Emmanuel Durocher, Noël Baffier, Jean-Claude Bernier

D'après l'article *La chimie de la glace : une archive de notre environnement passé* de Michel Legrand publié dans l'ouvrage « Chimie et changement climatique », EDP Sciences, 2016, ISBN : 978-2-7598-2035-1

Les « archives climatiques » disponibles sont nombreuses : les sédiments lacustres ou marins, les anneaux d'arbre, les coraux. L'analyse chimique de la glace permet également d'accéder à des paramètres de l'atmosphère passée et à son évolution.

COMMENT LA GLACE ARCHIVE-T-ELLE NOTRE ENVIRONNEMENT PASSÉ ?

Les sites de forage de la glace

En forant la glace, on accède aux couches successives déposées au cours des temps passés. Les sites de forage se trouvent essentiellement en Antarctique et au Groenland (figure 1) où les températures sont très basses et la neige s'accumule sans aucune fusion sur de très longues périodes. Au centre de l'Antarctique, il fait en moyenne annuelle – 55 °C, et il ne tombe que 10 cm de neige par an – l'équivalent de 3 cm d'eau par an. La calotte de glace fait 3 000 mètres d'épaisseur ; cela permet un enregistrement de données climatiques de qualité correspondant à une très longue durée. Les périodes de temps accessibles dépassent 100 000 ans au Groenland, et atteignent pratiquement 800 000 ans en Antarctique. Aux moyennes latitudes, il existe aussi des glaciers dits « froids » au-dessus de 4 000 m environ, la température moyenne annuelle y est inférieure à – 10 °C et sans fusion. Avec quelques centaines de mètres d'épaisseur, ces glaciers archivent jusqu'aux 1 000 dernières années selon les situations ; ce qui permet de documenter l'entrée dans la période liée aux activités humaines dite « Anthropocène ».

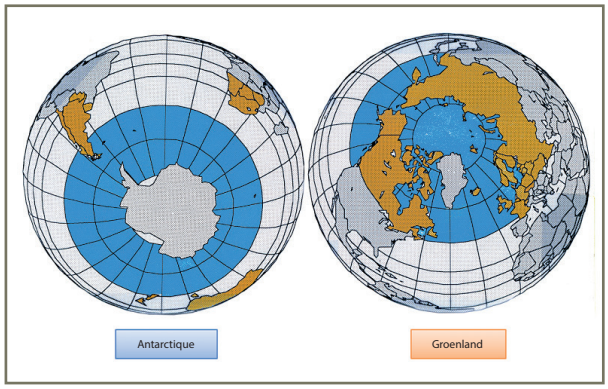

Figure 1 : Les calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland : zones d'archive du climat et de l'atmosphère (jusqu'à près de 1 million d'années).

Dater la glace

On peut dater la glace par trois types de méthodes :

- la *stratigraphie* ou l'étude des couches successives qui sont un reflet de l'état de l'atmosphère au moment de la formation du flocon, donc des paramètres saisonniers : composition isotopique de l'eau (passage de l'été à l'hiver), concentration en eau oxygénée H_2O_2 (1) (maximale en été), teneur en aérosols atmosphériques présentant des fluctuations saisonnières (NH^{4+} maximum en été, Na^+ en relation avec l'intensité des tempêtes). Cette méthode de stratigraphie est cependant très dépendante de l'action du vent qui peut parvenir à mélanger les couches été-hiver (figure 2) ;
- le *recours aux « horizons repères »* tels que les **éruptions volcaniques** (l'activité du volcan se traduit par l'émission dans l'atmosphère de

© Fondation de la Maison de la chimie, 2018

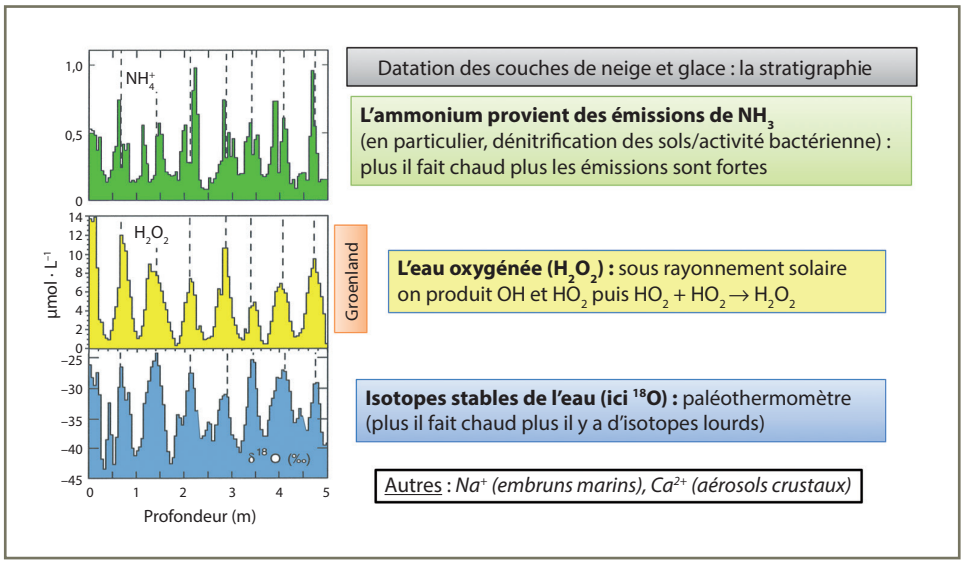

Figure 2 : Datation par stratigraphie de la neige déposée au centre du Groenland sur les cinq premiers mètres de neige : l'enregistrement des paramètres isotopiques de l'eau (en bleu), de l'eau oxygénée (en jaune) et de l'ammoniac (en vert) permet de compter les années. Source : Legrand M., Mayewski P. (1997). Glaciochemistry of polar ice cores: A review, Reviews of Geophysics, 35 : 219-24.

dioxyde de soufre SO_2 qui s'oxyde rapidement en sulfate (2) et est facilement mesuré dans les glaces), les **tests nucléaires** (des rejets radioactifs provenant des essais nucléaires russes et américains, l'accident de Tchernobyl, ont envoyé des produits de fission dans l'atmosphère retrouvés ensuite dans les carottes glaciaires, mais ces horizons repères sont limités à des périodes récentes) ;

- **l'utilisation de modèles mathématiques des écoulements de la glace** dont la validation est assurée notamment par comparaison avec la datation des sédiments marins et des coraux par des méthodes isotopiques (carbone 14 et uranium/thorium)

Sur le terrain, on peut dater la glace par analyse physico-chimique des « carottes de glace ».

Les données archivées dans la glace

Les flocons de neige constituent un véritable paléothermomètre. Il est en effet possible d'en déterminer la composition isotopique. Les atomes H et O qui les constituent ont le même nombre de protons, mais pas le même nombre de neutrons : 1 ou 2 pour H, 8 ou 10 pour O. Il existe trois isomères isotopiques de la molécule d'eau ($H^1_2O^{16}$, $H^1H^2O^{16}$ et H_2O^{18}) dont la masse est différente. Au cours des phénomènes d'évaporation et de condensation de l'eau, une véritable distillation s'installe : la phase vapeur de l'eau s'appauvrit en isomères isotopiques lourds à chaque précipitation.

De cette manière, on a pu montrer que le climat passé a oscillé avec un écart de 10 °C environ entre les périodes interglaciaires chaudes (comme actuellement) et les périodes très froides (comme il y a 20 000 ans). Cette oscillation est en relation directe avec la périodicité des mouvements de l'axe de rotation de la Terre et de l'orbite Terre-Soleil (20 000, 40 000 et 100 000 ans) (4) (figure 3).

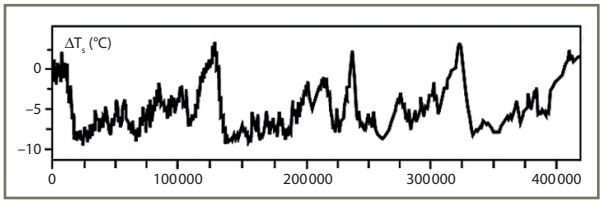

Figure 3 : Oscillations climatiques entre les maximums glaciaires et les stades interglaciaires au centre de l'Antarctique mesurées par le rapport isotopique de la glace. L'amplitude de l'oscillation climatique est d'environ 10 °C.

LE CLIMAT ET LES GAZ À EFFET DE SERRE DANS LE PASSÉ

L'analyse des bulles d'air emprisonnées dans le névé (5) permet de recueillir des informations directes sur l'atmosphère. À titre d'exemple de l'évolution d'un gaz à effet de serre au cours du temps, on voit que, sur la dernière période de mille ans, les émissions de méthane CH_4 sont directement reliées à l'augmentation de la population mondiale dans le même temps (figure 4).

Pour remonter plus loin dans le temps, on peut analyser les concentrations des principaux gaz à effet de serre (oxyde d'azote N_2O, méthane CH_4, dioxyde de carbone CO_2) (6). On s'aperçoit que, sur

© Fondation de la Maison de la chimie, 2018

une période de 800 000 années, les concentrations de ces gaz diminuent clairement dans les périodes glaciaires : a priori, ils sont donc fortement corrélés aux variations de température (figure 5).

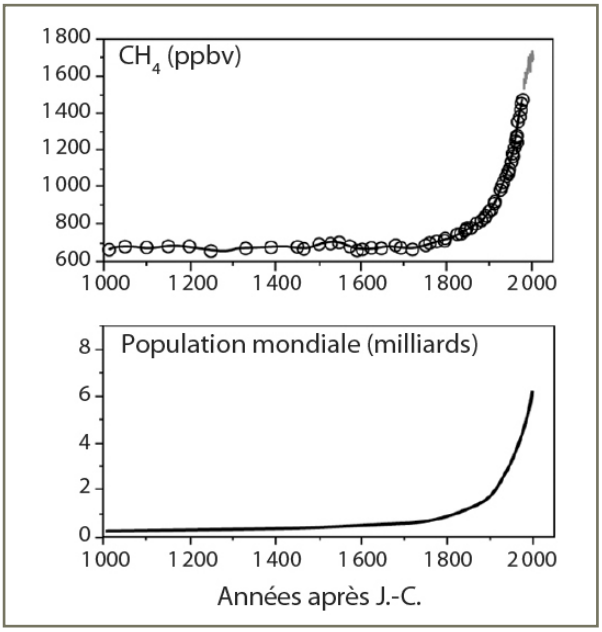

Figure 4 : Les émissions de méthane augmentent depuis les années 1800, et suivent les augmentations de la population mondiale dans le temps. Le méthane a des sources naturelles (30 %) dominées par les zones inondées (tropiques et boréales) et des sources humaines (70 %) dont l'élevage (15 %), la culture de riz (12 %) et l'extraction du charbon/gaz/pétrole (20 %). Source : Legrand M. (2005).

LE RÔLE DES AÉROSOLS ATMOSPHÉRIQUES

Il existe une autre catégorie d'acteurs : les aérosols. Leurs effets sur le climat dépendent de leur taille et de leur composition chimique : certains absorbent des rayonnements et certains diffusent la lumière. Certaines sources d'aérosols sont naturelles, d'autres d'origine humaine ; il y a de gros aérosols comme les embruns marins, les poussières désertiques, les débris végétaux et de tout petits qui sont produits par oxydation de gaz émis, soit par l'homme soit par la végétation (7).

Par exemple, l'émission de sulfates, directement liée aux secteurs de l'énergie, diminue dès 1980 suite au développement de l'énergie nucléaire et des économies d'énergie réalisées après le choc pétrolier de 1973 (figure 6).

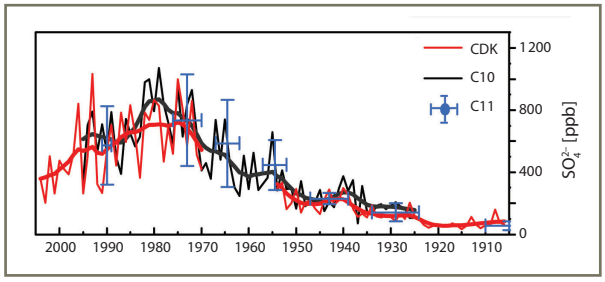

Figure 6 : Évolution de la concentration en sulfate dans les couches d'été dans les Alpes de 1910 à 2005.

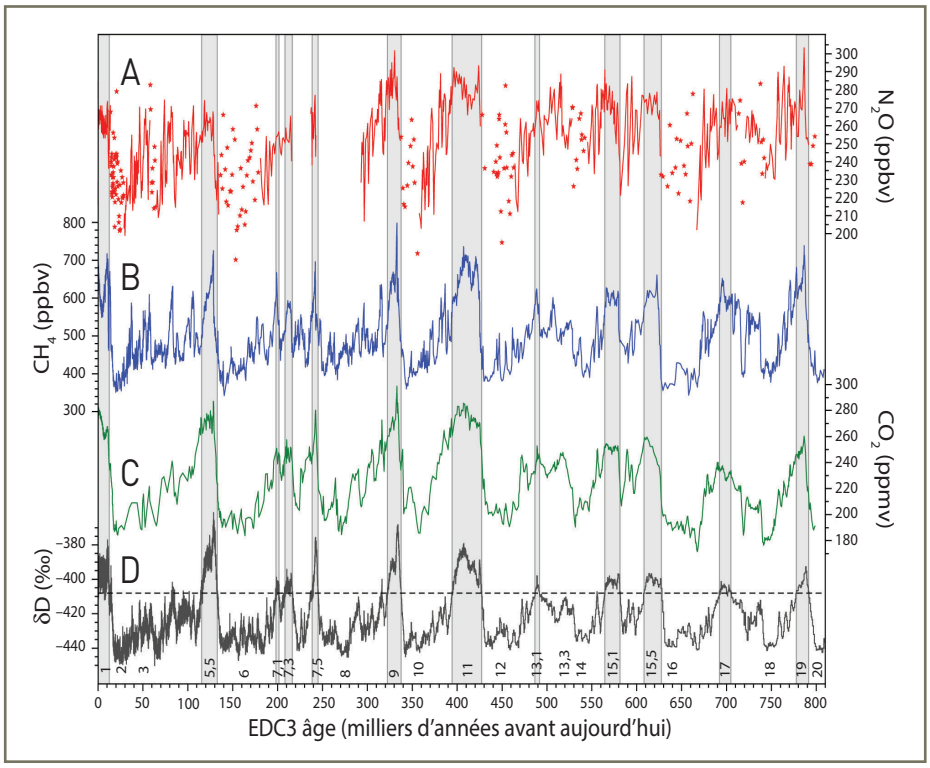

Figure 5 : Les concentrations en gaz à effet de serre au cours des grandes variations climatiques : (A) oxyde d'azote N_2O ; (B) méthane CH_4 ; (C) gaz carbonique CO_2 ; (D) composition isotopique de l'eau (deutérium). Source : Jouzel J. (2013).

© Fondation de la Maison de la chimie, 2018

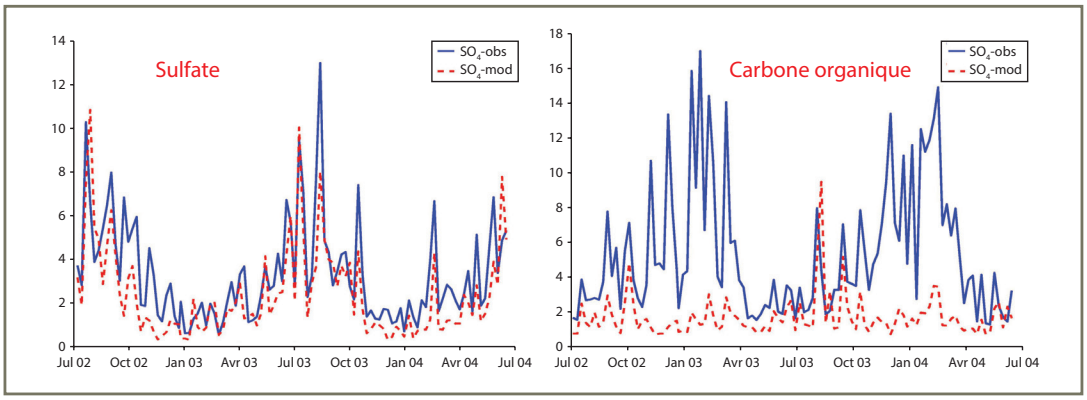

Figure 7 : Comparaison entre observations et simulations des modèles pour le sulfate (à gauche) et l'aérosol organique (à droite) pour l'atmosphère actuelle en Europe (surface Europe ; Aveiro, Portugal). Contrairement au sulfate, les modèles ont déjà beaucoup de mal à simuler cette fraction organique pour l'atmosphère actuelle.

En revanche, la variation entre 1920 et 1990 de la teneur en aérosols organiques actuellement chimiquement identifiés ne reflète pas la courbe de variation observée (figure 7). La cause des tendances observées est ainsi encore mal connue.

En conclusion, le rôle de la chimie est primordial pour connaître les climats du passé (8). L'étude des carottages de glace permet de remonter jusqu'à 800 000 ans d'ancienneté. Les analyses de la composition isotopique de la glace indiquent la variation des températures de la Terre au cours de cette période, l'analyse des bulles d'air permet d'atteindre les concentrations passées en gaz à effet de serre, l'analyse de la composition chimique de la glace renseigne sur l'évolution de l'aérosol atmosphérique. Cependant, une étude plus poussée des composés organiques serait utile pour mieux appréhender l'évolution de l'aérosol organique, lequel joue un rôle important tant sur le climat que sur la qualité de l'air.

POUR EN SAVOIR PLUS

(1) Découverte du peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée)
http://www.mediachimie.org/node/1223
(2) Sulfates (produit du jour de la SCF)
http://www.mediachimie.org/node/525#sulfates
(3) Des clés pour comprendre l'océan : les traceurs chimiques et isotopiques
http://www.mediachimie.org/node/277
(4) Le changement climatique : question encore ouverte ?
http://www.mediachimie.org/node/1328
(5) Chromatographie en phase gazeuse (GC : Gas Chromatography) [vidéo]
http://www.mediachimie.org/node/983
(6) Cette « chère » transition énergétique
http://www.mediachimie.org/node/1163
(7) Chimie atmosphérique et climat
http://www.mediachimie.org/node/1321
(8) À la recherche du temps perdu
http://www.mediachimie.org/node/1307

Noël Baffier, professeur honoraire d'université, ancien directeur des Études de l'École d'Ingénieurs de Chimie Paristech
Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS
Emmanuel Durocher, professeur de physique chimie, formateur dans l'académie de Créteil
Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie

REGARDER NOTRE PASSÉ DANS LA GLACE

© Fondation de la Maison de la chimie, 2018