

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES VUS SOUS UN JOUR NOUVEAU DES ÉTUDES ISOTOPIQUES OUVRENT UNE FENÊTRE SUR LE PASSÉ

JOHN GIBSON ET PRADEEP AGGARWAL

Au début de l'année, des chercheurs ont averti que "des observations de plus en plus nombreuses révèlent collectivement un réchauffement planétaire et d'autres modifications du système climatique". Cette conclusion émanait du troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Il est aujourd'hui largement admis que le récent réchauffement est largement dû aux concentrations accrues, dans l'atmosphère, de gaz à effet de serre provenant de la combustion postindustrielle de combustibles fossiles et de biomasse. Une grande incertitude demeure cependant quant aux relations de cause à effet qui existent entre certains paramètres et les phénomènes climatiques, et les effets des changements climatiques sur le cycle hydrologique terrestre.

L'eau est un besoin fondamental de l'espèce humaine; or, même dans les conditions climatiques actuelles, l'eau douce est une ressource très limitée. Moins de 0,01 % de l'eau terrestre est de l'eau douce consommable par les humains. Les effets des changements climatiques sur les ressources en eau douce auront d'importantes incidences sur le développement humain.

S'il est probable que les vastes problèmes écologiques que sont la fonte des glaces océaniques et des glaciers, l'élévation des températures de

l'air de surface, l'intensification des phénomènes climatiques, la perturbation des écosystèmes et l'élévation du niveau des océans auront, dans un climat plus chaud, des incidences sur les ressources en eau douce, il est plus difficile de prédire l'ampleur de ces changements.

Le rapport du GIEC conclut que, ces dernières années, le régime des précipitations a changé du fait du réchauffement planétaire. Au XX^e siècle, les précipitations ont probablement augmenté de 0,5 % à 1 % par décennie à la plupart des latitudes moyennes et élevées des continents de l'hémisphère Nord, et de 0,2 % à 0,3 % par décennie au niveau des zones terrestres tropicales (10°N à 10°S). Par contre, certaines régions d'Asie et d'Afrique ont connu des sécheresses plus intenses, ce qui révèle un schéma plus complexe et variable de changements régionaux.

Pour comprendre les changements complexes, il faut d'abord comprendre que le climat et les cycles hydrologiques terrestres sont fondamentalement liés. Le moteur thermique de l'atmosphère est mu principalement par l'échange d'énergie lié à la condensation de l'eau. La vapeur d'eau est aussi l'un des gaz à effet de serre les plus abondants et importants de l'atmosphère, parallèlement à d'autres gaz traces tels que le dioxyde de carbone, qui sont plus directement imputables à l'activité humaine.

Il faut aussi comprendre qu'il sera peut-être difficile

d'atténuer ou d'inverser ces changements complexes en raison de l'interdépendance des changements climatiques qui se sont produits sur de longues périodes précédant l'activité industrielle humaine. Les changements climatiques ne sont pas un phénomène nouveau, même si l'ampleur des changements actuels semble sans précédent. D'importants changements du climat terrestre se sont produits par le passé et se produiront probablement à l'avenir.

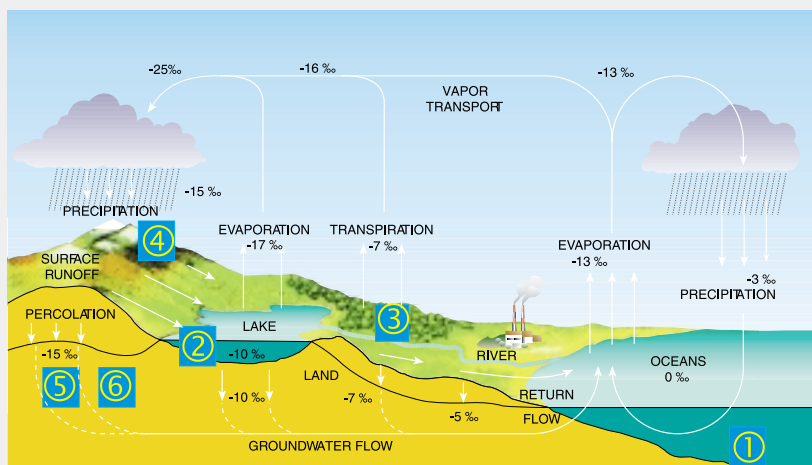
L'une des priorités recensées dans le rapport du GIEC est la nécessité d'améliorer la reconstitution des périodes climatiques passées. Comprendre les causes des changements climatiques passés est, par conséquent, un élément important de la recherche sur ces changements et le seul moyen direct de distinguer les activités industrielles et préindustrielles de régulation du climat. Le passé devient ainsi, dans l'étude des changements climatiques, la clé du présent.

L'étude des changements climatiques passés est compliquée par l'ampleur des échelles temporelles et spatiales concernées. Dans une certaine mesure, on étudie les changements climatiques à l'aide de registres de mesures : températures, humidité, gaz à effet de serre, niveaux de l'eau,

M. Gibson est fonctionnaire à la Section de l'hydrologie isotopique de l'AIEA, que dirige M. Aggarwal.

LE CYCLE HYDROLOGIQUE TERRESTRE

Sont illustrés ci-contre le cycle hydrologique et la répartition des isotopes dans les conditions actuelles. Les nombres correspondent aux stades du cycle hydrologique – 1) sédiments marins, 2) sédiments lacustres, 3) cellulose des cernes d'arbres, 4) neige et glace de glaciers, 5) eaux profondes et 6) dépôts rupestres – où sont conservées des archives isotopiques pouvant être datées pour reconstituer des compositions isotopiques passées et les changements climatiques associés.



glace des glaciers et des océans. Ces registres, aussi importants soient-ils, ne donnent qu'une vue limitée. Ils couvrent rarement plus d'un siècle de changements climatiques en certains endroits ayant fait l'objet d'une surveillance appropriée.

Comme le système terrestre est par nature dynamique et ancien, il est difficile de démêler les fluctuations des tendances à long terme, et en particulier de déterminer les conséquences des activités humaines.

Les isotopes sont un outil important utilisé pour étendre l'analyse spatiale et temporelle des processus climatiques étudiés. Les isotopes tant radio-géniques que stables sont un précieux moyen d'étude des paramètres climatiques : température de l'air de surface, humidité relative de l'atmosphère, volume des précipitations.

En outre, on peut étudier la dynamique, les transports et les mélanges atmosphériques qui régissent les conditions climatiques et les interactions air-mer en mesurant des radio-isotopes. Les isotopes sont des enregistreurs naturels de données ou empreintes digitales présentes au sein de la molécule d'eau et des

substances chimiques et métaux traces dissous dans l'eau.

Parmi les plus importants traceurs figurent les isotopes d'oxygène et d'hydrogène contenus dans la molécule d'eau. Les variations de la proportion de ces isotopes dans l'eau peuvent permettre d'extraire des informations sur l'histoire d'une parcelle d'eau – sur le fait de savoir, par exemple, si elle s'est évaporée, mélangée ou condensée. On constate une corrélation entre les profils isotopiques et les processus hydrologiques actuels. Pour mener cette analyse, la principale source de données a été le Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations (GNIP), programme mixte AIEA/ Organisation météorologique mondiale (OMM).

À certains stades du cycle hydrologique, les signatures isotopiques et leurs variations dans le temps sont conservées dans diverses archives de dépôt (*voir illustration*). Les variations des compositions isotopiques de ces archives révèlent des systèmes hydrologiques et climatiques passés. Les isotopes des sédiments océaniques et lacustres, des cernes, des calottes

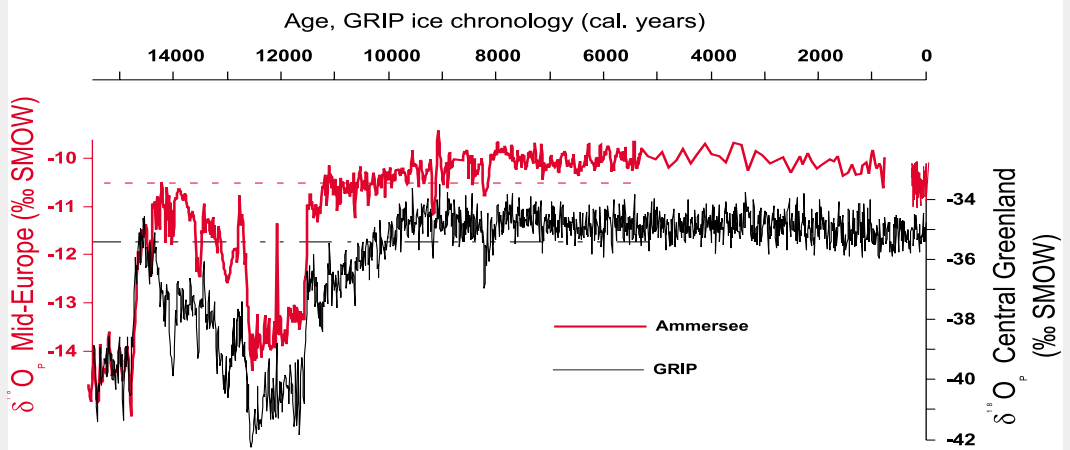
glaciaires, des dépôts rupestres et des eaux souterraines renseignent tous sur la façon dont les systèmes hydrologiques et climatiques évoluent dans le temps.

Le changement climatique le plus récent de l'histoire terrestre est celui lié à la dernière période de glaciation, survenue il y a environ 21 000 ans. La température de la surface terrestre a diminué globalement, mais le climat pendant et après la glaciation a fortement varié, avec des réchauffements et des refroidissements intermittents. Les variations climatiques semblent être apparues très rapidement – en quelques décennies, parfois quelques années.

On ne connaît toujours pas pleinement, cependant, l'origine et les causes de ces changements et variations climatiques. Les archives isotopiques conservées dans les carottes glaciaires et sédiments lacustres forment l'un des enregistrements les plus utiles pour reconstituer les changements et variations climatiques de l'époque de la glaciation.

Ces archives montrent que le cycle hydrologique terrestre est profondément lié au système climatique. Les signaux isotopiques émis par une carotte glaciaire du

CHANGEMENTS ISOTOPIQUES OBSERVÉS DANS DES CAROTTES GLACIAIRES ET DES ARCHIVES LACUSTRES



Le graphique ci-dessus montre des exemples de changements isotopiques observés dans une carotte glaciaire du Groenland (GRIP) et une archive lacustre (Ammersee, Allemagne) sur les 16 000 dernières années, interprétés principalement sous forme de signaux de température. Les valeurs delta supérieures de l'oxygène 18 indiquent les climats plus chauds.

Source : adapté de U. v. Grafenstein, H. Erlenkeuser, A. Brauer, J. Jouzel, S. Johnsen (1999): A mid-European decadal isotope-climate record from 15,500 to 5,000 years B.P. - Science 284, 1654-1657.

Groenland et par des sédiments lacustres d'Allemagne donnent à penser que le cycle hydrologique n'a cessé de fluctuer depuis 16 000 ans (voir graphique page 4).

Ces fluctuations renseignent sur l'interdépendance des processus terrestres et aident à mieux comprendre les changements climatiques. Plus précisément, les archives révèlent, il y a environ 11 000 ans, des conditions climatiques plus variables et plus froides (plus de valeurs delta négatives) qu'actuellement, avec des tendances globales remarquablement homogènes au Groenland et en Allemagne. On en conclut que des climats plus stables et plus chauds sont apparus il y a 8 000 ans, une fois les calottes glaciaires de Scandinavie et des Laurentides pratiquement disparues.

La climatologie est une science dynamique. L'AIEA y contribue en coordonnant des études climatiques, en participant à des programmes scientifiques internationaux et en les soutenant, et en diffusant des techniques et appli-

cations isotopiques. Du 23 au 27 avril 2001 s'est tenue à l'AIEA (Vienne) la troisième Conférence scientifique quadriennale sur l'utilisation des isotopes dans l'étude des changements environnementaux. Cette conférence, qui a réuni 150 experts de 38 pays et sept organisations internationales, a été l'occasion de présenter des résultats, d'examiner des idées et des concepts, d'instaurer une collaboration internationale et d'explorer les possibilités de futures recherches.

Ont notamment été abordés les thèmes suivants :

- Des isotopes sont utilisés comme outils de validation pour prédire les effets du déboisement du bassin de l'Amazonie et examiner les signaux isotopiques passés des phénomènes El Niño.

- Les signatures isotopiques de carottes glaciaires prélevées à de faibles latitudes montrent des signaux de température similaires aux carottes de glace polaire, ce qui donne à penser qu'il s'est produit, par le passé, de vastes changements (d'ordre planétaire).

- Des isotopes sont utilisés dans l'Expérience mondiale concernant la circulation océanique pour suivre le mouvement, le mélange et la durée de vie des configurations de circulation océanique. Les variations de cette circulation sont l'un des principaux facteurs qui régissent les variations du climat actuel.

- Des isotopes sont utilisés pour étudier les climats passés à partir d'aquifères d'Europe, d'Asie, d'Australie, d'Afrique et des Amériques.

La recherche isotopique est utile pour comprendre les changements climatiques passés. C'est cette compréhension du passé qui permettra de prédire les changements futurs. Ceux-ci pourront influencer non seulement les températures mondiales, mais aussi les besoins énergétiques et l'offre d'eau douce et d'aliments. En ce sens, les isotopes sont précieux pour aider les chercheurs à "remonter l'avenir" et élaborer des solutions atténuant les effets néfastes de l'instable climat planétaire. □