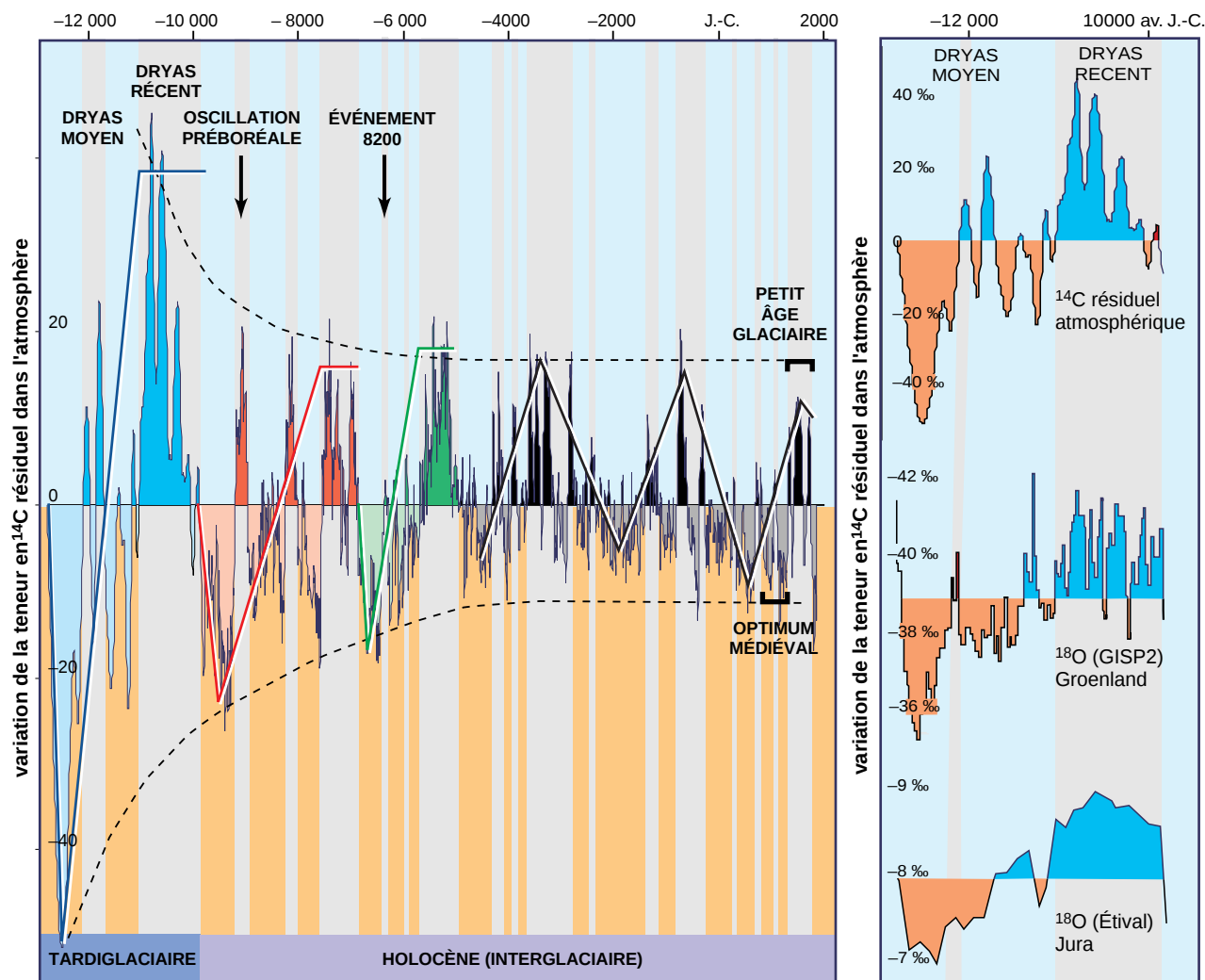


4. Datation au carbone 14 et radiocarbone résiduel



L'âge d'un échantillon est mesuré par le rapport carbone 14 / carbone 12 : tous les 5 730 ans, la quantité de carbone 14 (ou radiocarbone) diminue de moitié. On a longtemps supposé que la teneur de l'atmosphère en carbone 14 restait constante au cours du temps, or ce n'est pas tout à fait le cas. Il faut donc corriger les âges donnés par le radiocarbone. La technique la plus précise consiste à dater par le radiocarbone des bois dont on connaît l'âge précis grâce à la dendrochronologie (étude des cernes de croissance des arbres). Les bois fossiles collectés par différents laboratoires en Amérique du Nord et en Europe ont permis d'établir la courbe des variations de la teneur de l'atmosphère en carbone 14 depuis 9900 avant notre ère. En datant des sédiments composés d'une succession de couches annuelles dans le bassin de Cariaco, au large du Venezuela, les géologues ont prolongé cette courbe jusqu'aux environs de -12500 avant notre ère.

La production de carbone 14 dans la haute atmosphère est modulée par le champ géomagnétique et par l'activité solaire : elle diminue quand l'intensité du champ géomagnétique et l'activité du Soleil se renforcent. En soustrayant les effets induits par le champ géomagnétique, on obtient la courbe des variations de la teneur de l'atmosphère en carbone 14 résiduel. Ces variations reflètent les changements de la circulation océanique, ainsi que la répartition du radiocarbone entre l'atmosphère, la biosphère et l'océan.

À gauche, la courbe du carbone 14 résiduel montre des cycles d'une périodicité d'environ 2 300 ans que l'on retrouve également dans l'histoire de la circulation atmosphérique polaire reconstituée à partir des poussières retrouvées dans les glaces du Groenland.

Ces cycles pourraient être liés à des changements de l'activité solaire, comme le suggère l'observation d'étoiles du même type que le Soleil. Les effets de ces variations de l'activité solaire sur le climat seraient amplifiés par la circulation océanique qui affecte elle-même la répartition du radiocarbone entre atmosphère et océan (voir l'encadré 3).

Les trois premiers cycles (en bleu, rouge et vert) contemporains de la déglaciation ont une forme asymétrique et une amplitude qui contrastent avec la symétrie et l'amplitude plus modeste et plus régulière des cycles suivants.

À droite, les variations de la teneur de l'atmosphère en carbone 14 résiduel se calquent sur les oscillations du climat enregistrées par le rapport oxygène 18/oxygène 16 au site de Summit, au Groenland, ou dans le lac d'Étival, dans le Jura. Les brusques chutes des valeurs du carbone 14 résiduel vers 12500 et 9500 avant notre ère, associées à une réactivation de la circulation thermohaline, ont pour corollaire de brusques réchauffements du climat au Groenland et en Europe.

d'un second Dryas récent qui, à l'image du premier, aurait pu logiquement suivre le second épisode de fonte accélérée après 9500 avant notre ère. Nous avons vu que les refroidissements qui se développent dans le Jura et les Alpes de -8000 à -7000 et -6000 à -5000 pouvaient être les équivalents – en termes de structure, mais bien affaiblis en termes quantitatifs! – du Dryas récent.

Modèles et prévisions

Les simulations numériques réalisées par les Allemands C. Schäfer-Neth et K. Statteger suggèrent qu'à volume égal le contrecoup climatique d'un brusque afflux d'eau douce dans l'Atlantique Nord est nettement plus important si cet afflux provient des côtes européennes que s'il se développe au large des côtes groenlandaises. Combiné avec la diminution progressive du volume d'eau douce mis en jeu dans les trois étapes successives de la déglaciation, ce modèle confirme le violent contrecoup climatique qu'a pu avoir la première phase de la déglaciation, mettant en œuvre un énorme volume d'eau douce arrivant dans l'Atlantique à la fois depuis les côtes européennes et celles d'Amérique du Nord.

Au contraire, la deuxième étape de la déglaciation, où les eaux douces d'origine européenne constituaient un apport secondaire par rapport aux eaux d'origine américaine, et la troisième étape, constituée principalement par de l'eau douce provenant d'Amérique du Nord et de l'Antarctique, sans apport européen, ont eu un contrecoup climatique de plus en plus affaibli.

En définitive, le système climatique semble avoir répondu à la déglaciation par une série d'oscillations dont l'amplitude s'apaise à mesure que la déglaciation s'achève, c'est-à-dire que le volume des afflux d'eau douce dans l'océan se réduit et que la source de ces afflux se déplace et s'éloigne des côtes européennes. La parenté de structure de chacun des cycles climatiques associées aux étapes successives de la déglaciation traduit sans doute le même mode de réponse de l'océan aux perturbations répétées qu'il subit tout au long de cette histoire. Vers 5000 avant notre ère, la déglaciation achevée, le système climatique s'équilibre enfin, ses oscillations étant désormais plus régulières et de moindre amplitude.

Refroidissement lié à l'effet de serre?

Quelles applications pouvons-nous tirer de cette histoire de la déglaciation pour le futur de notre climat? On sait aujourd'hui que la forte augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, liée aux activités humaines («effet de serre additionnel»), est un puissant facteur de déséquilibre du système climatique de la Terre. L'analyse des bulles d'air piégées dans les glaces du Groenland et les observations directes à partir de l'île de Mauna Loa dans les Hawaï montrent en particulier un accroissement accéléré de la teneur en gaz carbonique depuis la révolution industrielle. Elle laisse envisager un doublement de la valeur préindustrielle de cette teneur aux environs de 2030. Dans cette hypothèse, les simulations numériques prévoient un réchauffement allant de 1,9 à 5,2 °C.

Au regard de l'histoire que nous venons de parcourir, il est possible d'envisager la menace que fait peser sur notre climat l'effet de serre additionnel. De nombreux paléoclimatologues craignent que la fonte des glaces polaires entraînée par le réchauffement global ne perturbe et ne ralentisse la circulation thermohaline. Un accroissement des précipitations aux hautes latitudes, corollaire du réchauffement du climat et des eaux océaniques, pourrait renforcer le processus. Certes, si l'on en croit les simulations numériques évoquées plus haut et le modèle grandeur nature offert par les variations du climat pendant la déglaciation, l'absence actuelle de calotte glaciaire sur la Scandinavie écarte le danger du retour d'un épisode identique au Dryas récent. Cependant, un coup de froid du même type que l'événement 8200 n'est pas impossible. Le modèle mis au point par S. Rahmstorf, de l'Université de Postdam, montre la grande sensibilité de la circulation océanique : un brusque apport de 60 000 mètres cubes d'eau douce suffirait à perturber cette circulation. La circulation thermohaline est bien le talon d'Achille de notre système climatique.

Nous voici donc, du fait de la pollution de notre atmosphère, exposés aux mêmes menaces que nos ancêtres de la préhistoire. À cause des phénomènes associés à la déglaciation, ceux-ci ont subi de brusques coups de froid,

alors même que la Terre bénéficiait d'un maximum d'insolation! Le réchauffement global pourrait, à terme, conduire aussi à un refroidissement sensible de notre climat.

Avons-nous au moins le temps de voir venir le danger? La réponse que l'on peut apporter à cette question n'est pas rassurante, car les courbes climatiques les plus précises dont disposent les paléoclimatologues montrent que, le plus souvent, les changements climatiques associés à la déglaciation sont survenus brusquement, en moins d'un demi-siècle. On observe de véritables basculements du climat d'un état d'équilibre à un autre. Ces basculements, vraisemblablement à l'échelle d'une génération humaine, ont dû laisser nos ancêtres préhistoriques pour le moins perplexes.

Les paléoclimatologues s'efforcent depuis plus de vingt ans d'attirer l'attention de l'opinion publique et des politiques sur les menaces que fait peser sur nous l'effet de serre additionnel. Il s'agit d'une question complexe, encore loin d'être entièrement résolue par les scientifiques. Les résultats de simulations numériques réalisées récemment par l'Anglais R. Wood sont plutôt alarmants : ils suggèrent que le site de formation d'eaux profondes du Labrador pourrait se désamorcer au cours des trente prochaines années, c'est-à-dire avant 2029. Dès 1987, W. Broecker posait ouvertement la question de savoir si «nous ne jouons pas à la roulette russe avec le climat sans que personne sache vraiment ce qu'il y a dans le barillet»...

Michel MAGNY est directeur de recherches au Laboratoire de chrono-écologie (UMR 6565), à Besançon.

J.-C. DUPLESSY, *Quand l'océan se fâche. Histoire naturelle du climat*, Odile Jacob, 277 pages, 1996.

M. MAGNY, *Une histoire du climat. Des derniers mammoths au siècle de l'automobile*, Errance, 176 pages, 1995.

S. JOUSSAUME, *Climat, d'hier à demain*, CNRS Éditions, 1993.

U. VON GRAFENSTEIN et al., *A Mid-European Decadal Isotope Climate Record from 15 500 to 5 000 Years BP*, in *Science*, n° 284, pp. 1654-1657, 1999.

R.A. WOOD et al., *Changing Spatial Structure of the Thermohaline Circulation in Response to Atmospheric CO₂ Forcing in a Climate Model*, in *Nature*, n° 399, pp. 572-575, 1999.
