

Quinze mille ans d'archives climatiques dans les lacs du Jura

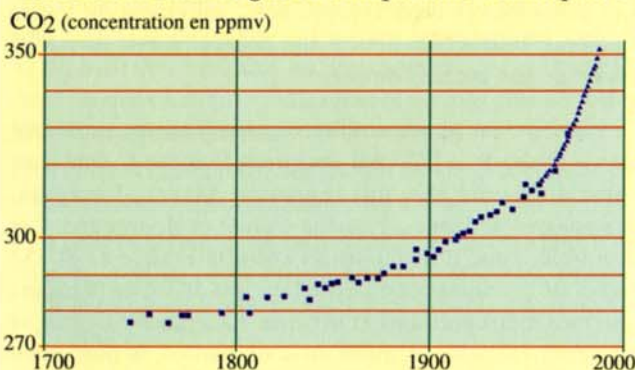
Michel Magny*

Quel avenir pour notre climat ? La question d'un réchauffement global lié à un renforcement de l'effet de serre par les activités humaines est depuis quelques années au centre des préoccupations de nombreuses équipes de chercheurs à travers le monde. Les multiples données dont nous disposons indiquent que, depuis 1850, la température moyenne à la surface du globe s'est élevée d'environ 0,5° C. En témoigne, par exemple, le recul important des glaciers dans les Alpes depuis un siècle.

Il y a 20 ans, les paléoclimatologues étaient parvenus à établir que, depuis plus de deux millions d'années, notre planète est périodiquement envahie par d'importantes calottes glaciaires. L'origine astronomique de ces glaciations qui se répètent environ tous les 100 000 ans leur permettait de prévoir un refroidissement progressif du climat au cours des prochains millénaires et le début d'une nouvelle glaciation dans 5 000 ans.

Cependant, la forte augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère liée aux activités humaines remet en cause ce scénario et de nombreux chercheurs redoutent désormais un réchauffement important du climat pour les siècles à venir. Notre avenir climatique est devenu incertain.

La concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère



Depuis deux siècles, la concentration de gaz carbonique dans l'air s'accroît selon un rythme de plus en plus rapide. Les valeurs de 1700 à 1960 ont été obtenues à partir de mesures effectuées sur une carotte de glace prélevée en Antarctique. Les valeurs plus récentes ont été observées à Mauna Loa, dans les îles Hawaï. L'allure exponentielle de cette augmentation laisse envisager un doublement de la valeur préindustrielle aux environs de 2030 (d'après Berger, 1992)

© IMAGES de Franche-Comté 1995

Le problème est d'identifier l'origine du réchauffement que l'on observe depuis 1850. Faut-il incriminer l'homme et ses activités polluantes qui provoquent le rejet dans l'atmosphère d'une quantité croissante de gaz carbonique ? Ou, plus simplement, ne s'agit-il que d'un effet de la variabilité naturelle du climat de la Terre ? Si l'on considère le niveau atteint par le réchauffement du climat, il ne semble pas que l'affaire soit très préoccupante : + 0,5° C en un siècle, c'est somme toute relativement peu ! Elle le devient davantage si l'on se tourne vers les prévisions faites par les «modèles». On appelle ainsi des simulations numériques sur ordinateur qui permettent de reconstituer ce que devient notre climat en faisant varier certains paramètres tels que la composition physico-chimique de l'atmosphère. Or, dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, qui pourrait être effective dès le milieu du siècle prochain si son rythme actuel d'augmentation n'est pas ralenti, le réchauffement prévu par les modèles s'inscrit dans une fourchette de 1,9 à 5,2° C. Une telle augmentation des températures pourrait avoir des conséquences importantes sur notre environnement. Une étude récente réalisée en Suisse suggère par exemple que le réchauffement du climat amorcé depuis 1850 pourrait entraîner dès le milieu du siècle prochain la disparition de plus de 80 % des surfaces englacées dans les Alpes suisses !

L'une des urgences qui s'imposent à nous pour identifier les origines de ce réchauffement récent et imaginer avec plus de précision ce que pourrait être le climat de la Terre au cours des prochains siècles est de se tourner vers le passé pour y rechercher les oscillations climatiques qui se sont développées à l'échelle de quelques siècles, en comprendre les mécanismes et en évaluer l'amplitude.

Les lacs où s'accumulent les sédiments sont la mémoire du climat

Les chercheurs qui travaillent aujourd'hui à la reconstitution des climats du passé ont deux préoccupations majeures : tout d'abord repérer un milieu qui réagisse avec le maximum de sensibilité aux oscillations du climat, et ensuite s'assurer que ce milieu offre un enregistrement continu de ces oscillations. Trois zones satisfont plus que les autres aux exigences des paléoclimatologues : l'océan au fond duquel



Vue aérienne du Petit lac d'Etival dans le Jura. On reconnaît la plate-forme littorale constituée de craie lacustre (en clair) qui se développe tout autour de la cuvette lacustre. Son avancée progressive vers le centre du lac entraînera, à terme, le comblement de la cuvette et la disparition du lac qui sera alors remplacé par une tourbière. Vers le large, l'extrémité de la plate-forme est soulignée par une ceinture de nénuphars (cliché : M. Magny).



La cuvette lacustre de Cerin (sud du Jura) est actuellement presque entièrement comblée par les craies lacustres. Il n'y a plus qu'un petit lac résiduel au milieu d'une vaste tourbière (cliché : H. Richard).

s'est accumulée de façon régulière et continue une grande épaisseur de sédiments, les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique où les couches de glace formées année après année s'entassent les unes sur les autres sur près de 3 km d'épaisseur à certains endroits, et les lacs qui constituent, sur les continents, autant de pièges à sédiments.

Avec plus de 80 lacs, le Jura apparaît donc comme un champ d'investigation privilégié pour les paléoclimatologues. La plupart de ces cuvettes lacustres ont été creusées par les glaciers qui recouvraient le massif lors de la dernière grande glaciation, il y a 20 000 ans. L'étude des sédiments qui se sont accumulés au fond de ces cuvettes depuis la disparition des glaciers ne permet donc pas de remonter dans le temps

au-delà de 20 000 ans, alors que les forages réalisés au Groenland ou en Antarctique permettent de remonter à 250 000 ans, et ceux effectués au fond de l'océan à plusieurs millions d'années ! Toutefois, les lacs du Jura présentent un intérêt majeur pour la reconstitution des climats du passé : le taux moyen d'accumulation annuelle de sédiments y est particulièrement important ; alors qu'un taux de sédimentation de 10 cm par millénaire est le plus souvent considéré comme élevé en milieu océanique, les lacs du Jura offrent couramment 1 à 2 m de dépôts pour la même durée ! Cette haute résolution chronologique des remplissages sédimentaires des lacs en fait un lieu privilégié pour une étude détaillée des oscillations climatiques qui se sont succédé depuis la fin de la dernière glaciation, il y a plus de 18 000 ans.

Depuis une dizaine d'années, une équipe de chercheurs appartenant au laboratoire de Chrono-Ecologie (Université de Franche-Comté, Besançon) a centré son activité sur la reconstitution des climats du passé à partir de l'étude des sédiments accumulés dans les lacs du Jura. Outre l'étude des pollens fossiles que l'on retrouve dans ces dépôts et qui permettent de retracer l'histoire de la végétation, les analyses ont eu pour principal objectif de reconstituer les fluctuations du niveau de l'eau dans ces cuvettes lacustres ; à l'image des variations saisonnières que l'on peut observer au cours d'une année (étiage estival, hautes eaux hivernales), la reconstitution de ces fluctuations permet, en effet, de suivre les oscillations du climat dans le passé. Enfin, la mesure du rapport entre les isotopes O^{18} et O^{16} dans les sédiments lacustres permet plus particulièrement de retracer les variations qui ont affecté les températures.

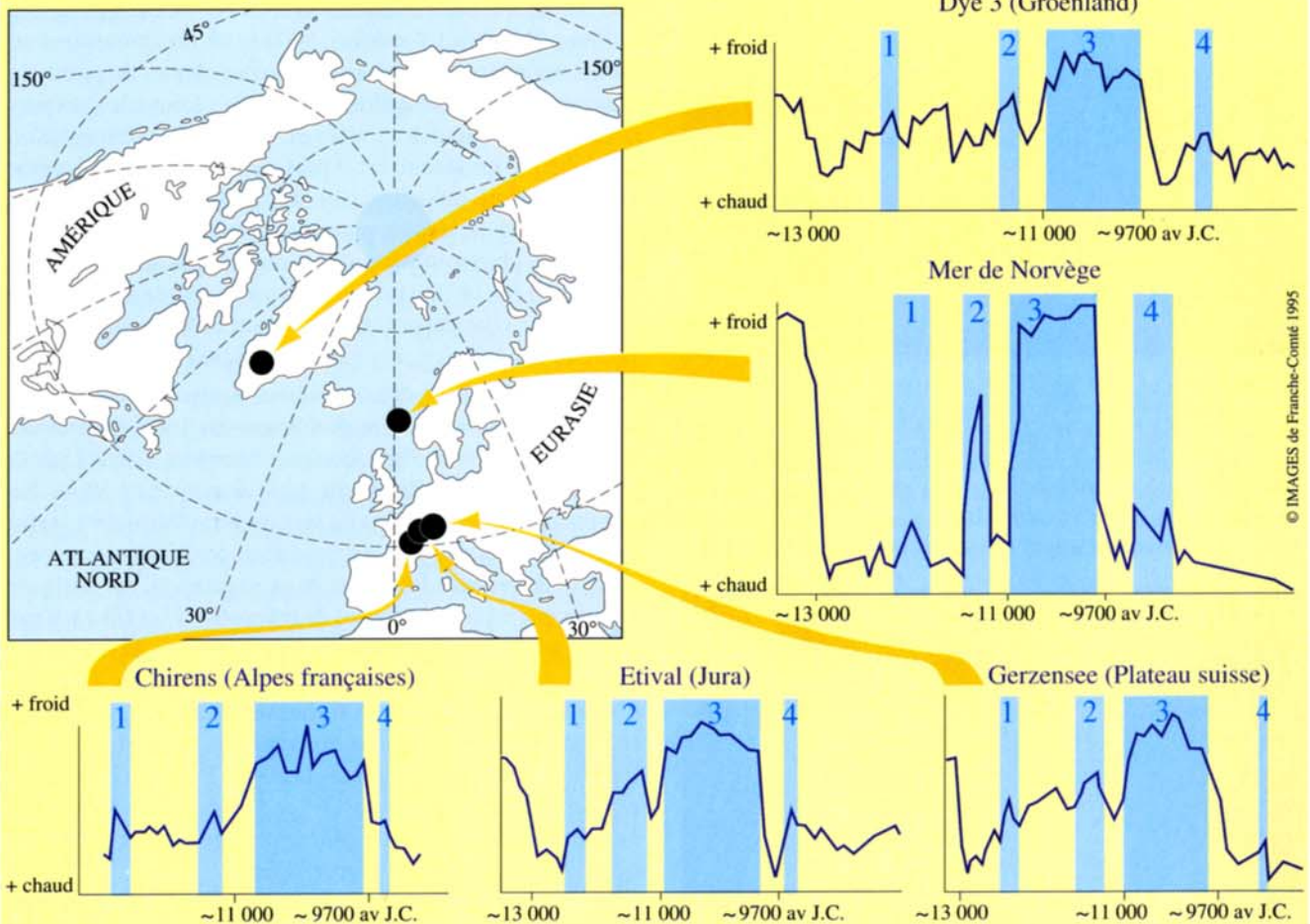
Après dix ans de recherche, les résultats obtenus sont déjà riches et pleins de surprises. Ils couvrent les 15 derniers millénaires.

Variations du niveau moyen des eaux des lacs et oscillations climatiques

Le climat de la Terre est loin d'être stable : même au cours d'une période interglaciaire comme la nôtre, c'est à dire une période de réchauffement séparant deux glaciations, on reconnaît l'alternance de phases de refroidissement et de réchauffement dont la durée va de la centaine d'années à quelques siècles.

La phase de refroidissement la plus marquée s'est développée entre 11000 et 9700 avant J.-C. Elle est connue sous le nom de « Dryas récent ». Elle correspond, pour l'essentiel, à un climat rigoureux, froid et sec, qui a entraîné une baisse des plans d'eau dans le Jura. La phase de refroidissement la plus récente s'est développée entre 1250 et 1850 après J.-C. Connue sous le nom de « Petit Age Glaciaire », elle est par-

Les épisodes climatiques reconnus dans la zone de l'Atlantique Nord



© IMAGES de Franche-Comté 1995

La période froide du Dryas récent (3) a été précédée (1 et 2) et suivie (4) par plusieurs épisodes de refroidissement du climat comme le montrent les courbes isotopiques établies dans les lacs des Alpes françaises, du Jura ou de Suisse, ainsi que dans une

carotte de glace prélevée au Groenland. L'étude de micro-organismes fossiles dans des carottes prélevées dans la mer de Norvège a permis de retracer les mêmes épisodes climatiques que sur le continent européen.

faitement documentée par les textes historiques qui indiquent, par exemple, qu'elle correspond en Europe occidentale à une fréquence accrue de vendanges tardives, ou par des documents iconographiques qui montrent qu'elle est associée à une crue des glaciers dans les Alpes. Les tableaux de Brueghel témoignent par ailleurs de la rigueur des hivers que l'Europe a pu alors subir. Les données historiques dont nous disposons en Europe occidentale suggèrent que durant le « Petit Age Glaciaire », les températures moyennes estivales étaient inférieures de 1,5° C à 2° C à celles d'aujourd'hui.

Les résultats obtenus dans les lacs du Jura révèlent que depuis le « Dryas récent » se sont succédé pas moins de 6 phases de refroidissement. Elles se manifestent dans notre région par une remontée du niveau moyen des lacs indiquant

des étés plus frais et plus humides ; les phases de réchauffement intermédiaires sont marquées par un abaissement des plans d'eau, reflet d'étés plus chauds et plus secs.

L'interprétation de ces résultats à la lumière d'autres obtenus ailleurs, que ce soit dans les Alpes, au Groenland ou au fond de l'océan Atlantique, conduit à formuler des hypothèses nouvelles sur l'histoire passée du climat de la Terre et sur son proche avenir.

Niveau des lacs, circulation océanique et activité solaire

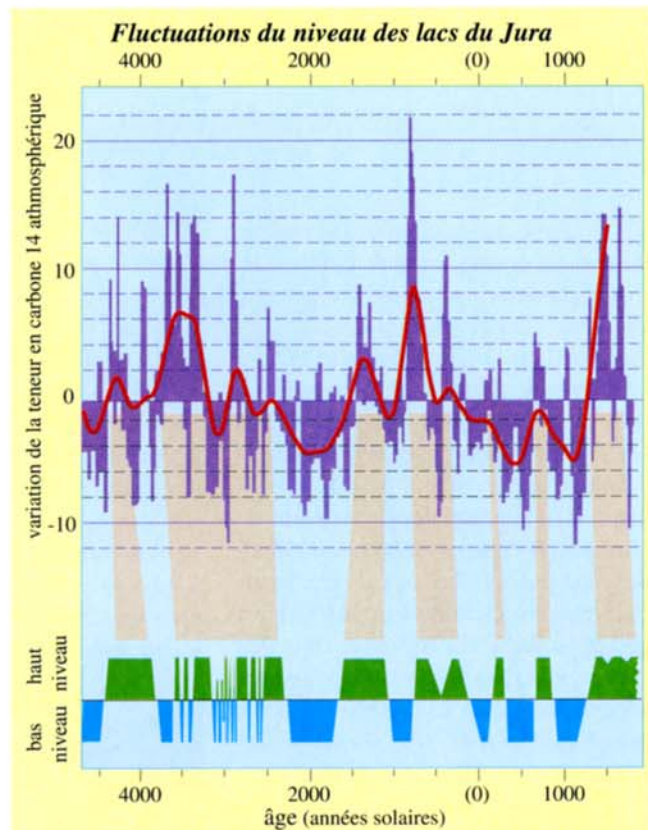
La similarité des courbes paléoclimatiques établies à partir de l'analyse isotopique des sédiments prélevés dans le lac d'Etival (Jura), dans ceux de Chirens (Dauphiné) et de Gerzensee (Suisse), ainsi que dans les glaces du Groenland

est frappante. Dans chacun des sites étudiés, le refroidissement du « Dryas récent » apparaît précédé par deux oscillations froides secondaires tandis qu'une troisième survient peu après. On retrouve avec un détail étonnant la trace des mêmes oscillations jusque dans le milieu océanique, en mer de Norvège. Ici, un groupe de chercheurs américains a étudié dans une carotte de sédiments marins la fréquence d'une espèce de micro-organisme marin caractéristique des eaux polaires (*Neogloboquadrina pachyderma*). Ces corrélations suggèrent que les variations du climat enregistrées au fond des lacs du Jura sont bien une manifestation régionale d'un phénomène climatique global affectant toute la zone de l'Atlantique Nord. Elles suggèrent aussi que ces oscillations climatiques pourraient résulter des perturbations que subit la circulation océanique, et notamment le Gulf Stream, au cours de la déglaciation, entre 13 000 et 5 000 avant J.C. La déglaciation s'accompagne en effet de la restitution à l'océan d'énormes volumes d'eau stockés sous forme de glace sur les continents pendant la glaciation.

En ce qui concerne les périodes plus récentes, postérieures à la déglaciation, la figure ci-contre montre les corrélations qui apparaissent entre les fluctuations des lacs du Jura et les variations de la teneur de l'atmosphère en carbone 14. Ces variations ont été reconstituées en mesurant les écarts entre les dates données par le radiocarbone et celles données par la dendrochronologie de bois fossiles. Elles sont liées principalement aux variations de l'activité du Soleil ; celle-ci obéit à des cycles de différentes périodes parmi lesquelles celle de 2 300 ans apparaît comme l'une des plus marquées. Les corrélations que l'on observe entre fluctuations lacustres et variations de la teneur en carbone 14 dans l'atmosphère suggèrent que, depuis plus de 6 000 ans, les oscillations du climat reflètent principalement l'inconstance de notre étoile. Le « Petit Age Glaciaire » s'inscrit effectivement dans une période de plus faible activité du Soleil bien marquée par une forte production de carbone 14. Cette réduction de l'activité solaire connue sous le nom de « Minimum de Maunder » est d'ailleurs bien documentée par les premières observations astronomiques modernes qui remontent aux débuts du XVII^e siècle, c'est à dire à la mise au point d'une nouvelle lunette par Galilée.

Si l'on se réfère aux cycles qui modulent l'activité du Soleil tels que les reflètent les variations de la teneur de l'atmosphère en carbone 14, on remarquera que le réchauffement récent s'inscrit dans une phase de renforcement de l'activité solaire qui est donc, au moins en partie, à l'origine du relèvement des températures enregistré depuis 1850.

Cette observation doit être prolongée aussitôt par un autre constat : les refroidissements du climat du type du « Petit Age Glaciaire » correspondent à des minimums d'activité du Soleil qui surviennent selon des cycles d'environ



La comparaison entre les variations de haute fréquence du carbone 14 atmosphérique et les fluctuations du niveau des lacs du Jura montre que tout au long des 7 derniers millénaires, on observe une corrélation assez étroite entre les périodes de forte teneur de l'atmosphère en carbone 14 et les phases de hausse du niveau des lacs du Jura, qui marquent elles-mêmes des refroidissements du climat.

Le lissage de la courbe des variations du carbone 14 atmosphérique (en rouge) fait apparaître l'existence de cycles d'environ 2300 ans qui modulent l'activité du Soleil.

© IMAGES de Franche-Comté 1995

2 300 ans. Le prochain « Petit Age Glaciaire » ne culminera pas avant l'an 3800. Les siècles à venir s'inscrivent donc dans une longue phase de réchauffement du climat qui sépare deux oscillations froides et atteindra son maximum aux environs de l'an 2700. Ces indications ne concernent que les oscillations du climat qui se développent selon un rythme pluriséculaire. Elles doivent être nuancées car les variations de l'orbite terrestre déterminent depuis plusieurs millénaires un refroidissement progressif du climat. Il n'en reste pas moins que, s'agissant de notre avenir immédiat, pour les deux ou trois prochains siècles, il n'y a pas lieu d'espérer qu'un nouveau « Petit Age Glaciaire » vienne compenser l'élévation de la température liée à la pollution de l'atmosphère. Au contraire, au réchauffement induit par l'effet de serre additionnel, s'ajoutera encore celui lié au renforcement de l'activité du Soleil. ■