

L'apport des sédiments lacustres

Les lacs occupent souvent des dépressions creusées, puis abandonnées par les glaciers lors de la dernière glaciation, comme en Scandinavie ou encore dans la zone péréalpine et dans le Jura ; les recherches paléoclimatiques en milieu continental s'appuient aussi sur l'analyse des sédiments qui s'y déposent.

Les archives climatiques contenues dans ces cuvettes lacustres ne permettent pas de remonter aussi loin dans le temps que les carottes glaciaires et marines : les sédiments accumulés au fond des lacs du Jura ne documentent qu'une période d'environ 20 000 ans contre 450 000 ans pour les glaces polaires, ou plusieurs millions d'années pour les dépôts marins. Toutefois, les lacs présentent un intérêt majeur pour la reconstitution des climats du passé : la vitesse moyenne d'accumulation annuelle de sédiments y est particulièrement importante (un à deux mètres de dépôts par millénaire). Grâce à cette haute résolution chronologique, les géologues peuvent reconstituer dans le détail les oscillations du climat survenues depuis la dernière glaciation.

Outre l'analyse de la composition isotopique des dépôts et l'étude des

pollens fossiles qui documentent l'histoire de la végétation, les carottes extraites des remplissages lacustres témoignent des fluctuations passées du niveau de l'eau dans ces cuvettes. Les oscillations du climat ont en effet déterminé des changements dans l'alimentation et dans le bilan hydrique de ces lacs, entraînant des variations de leur niveau. Ces variations sont enregistrées par des changements dans les types de sédiments accumulés au bord des lacs (alternance de couches de tourbes, de craie lacustre, d'oncolithes...)

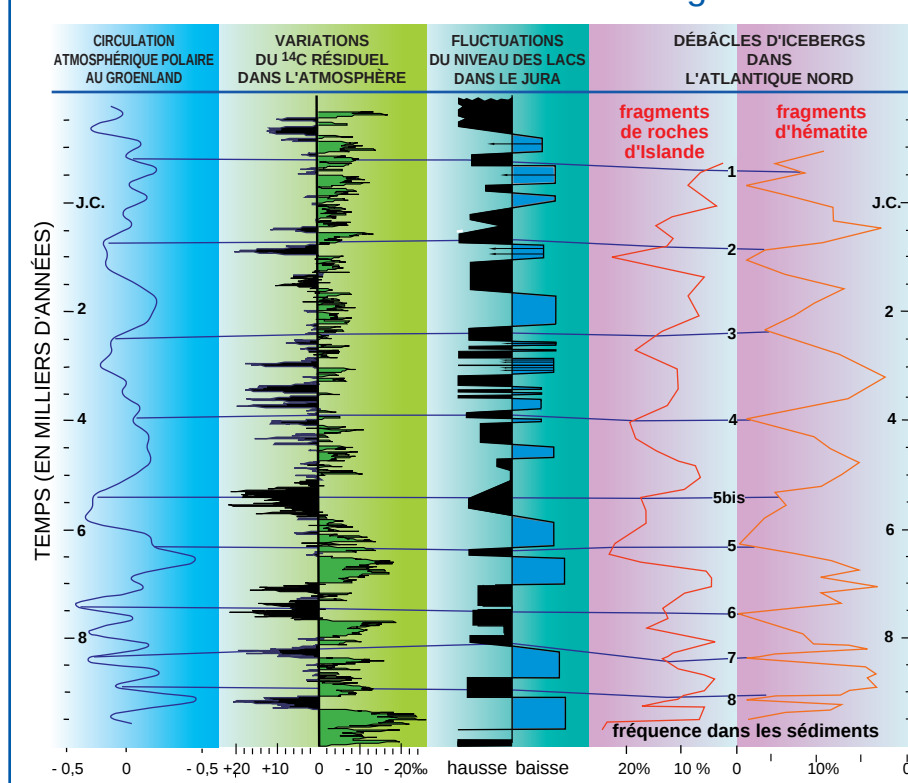
Depuis 15 ans, une équipe du Laboratoire de chrono-écologie, à Besançon, travaille à la reconstitution des fluctuations passées des niveaux lacustres dans le Jura et la zone péréalpine. L'étude des remplissages sédimentaires de plus de vingt cuvettes retrace l'histoire de ces plans d'eau depuis les débuts de l'Holocène. La comparaison de ces résultats avec ceux obtenus par les palynologues et les glaciologues suisses et autrichiens, révèle que les périodes de hausse des plans d'eau dans le Jura coïncident avec les phases de refroidissement, lesquelles sont marquées dans les Alpes par une avancée des glaciers et un abaissement de la limite forestière.

Ainsi, même au cours de cet interglaciaire, le climat est loin d'être parfaitement stable. Refroidissements et réchauffements alternent tout au long de l'Holocène, et le Petit Âge Glaciaire n'est pas exceptionnel. En se fondant sur l'amplitude des mouvements en altitude de la limite forestière dans les Alpes, les chercheurs suisses et autrichiens estiment que ces mouvements reflètent des variations des températures moyennes estivales de l'ordre de 1,5 °C à 2 °C.

Stabilité ou instabilité ?

Une certaine discordance apparaissait donc dans l'évaluation du climat de notre interglaciaire entre les chercheurs travaillant sur les continents et ceux qui analysaient les sédiments marins et les glaces polaires : les premiers identifiaient de multiples oscillations pendant l'Holocène, tandis que les seconds mettaient en avant la monotonie des courbes isotopiques pour cette période. En outre, la faible épaisseur de la période holocène dans les carottes marines où, souvent, les sédiments récents sont perturbés lors des opérations de prélèvement, n'incitait pas à des investigations très approfondies. Le géochimiste français J.-C. Duplessy notait néanmoins,

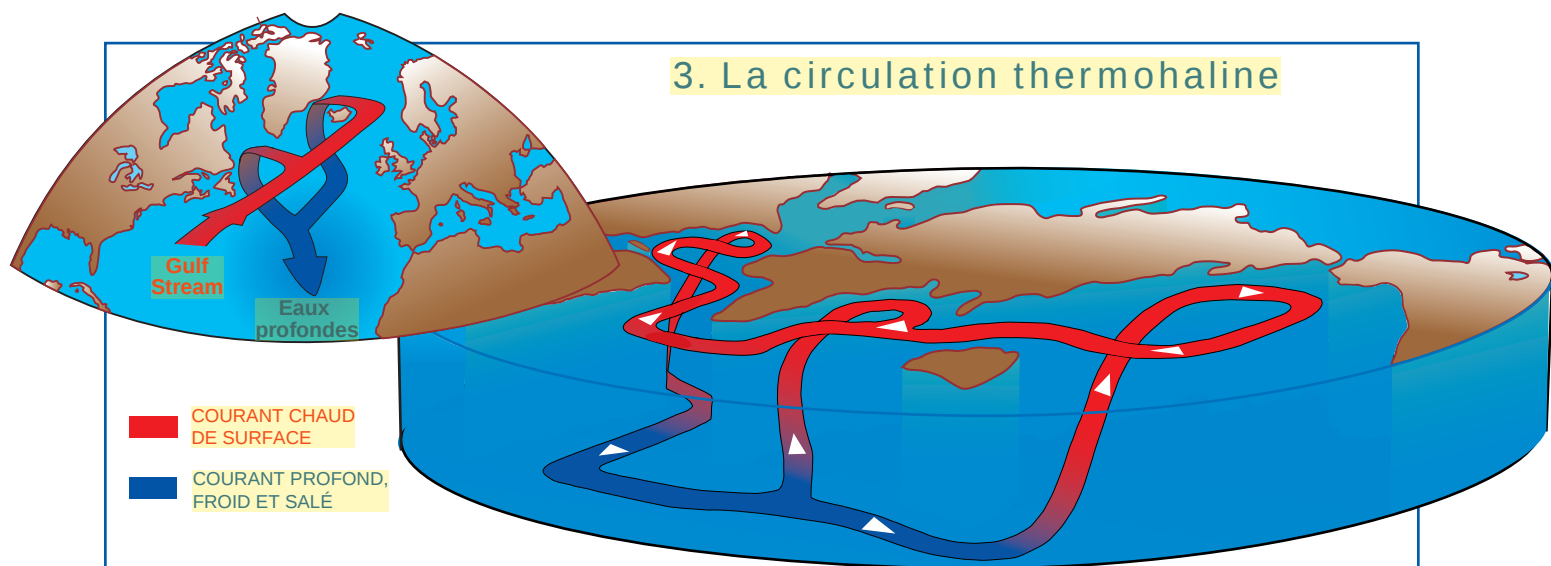
2. Mesures des changements de climat



Les renforcements de la circulation atmosphérique polaire et les débâcles d'icebergs dans l'Atlantique Nord coïncident avec des refroidissements du climat marqués par la hausse des lacs dans le Jura. L'intensité de la circulation atmosphérique polaire est reconstituée à partir de la composition chimique des poussières retrouvées dans les glaces du Groenland, et les débâcles d'icebergs par la concentration en fragments de roches originaires d'Islande, du Groenland et des îles du Spitzberg.

L'ensemble de notre interglaciaire est ponctué par des oscillations du climat où se combinent des périodicités de 2 300 et 1 470 ans. Les corrélations qui apparaissent entre les accidents climatiques et les variations du carbone 14 résiduel ()

3. La circulation thermohaline



L'océan est un rouage essentiel de la machine climatique. Couvrant plus des trois quarts de la planète, il assure environ 50 pour cent du transfert d'énergie des zones excédentaires des tropiques vers les zones déficitaires des pôles. Le Gulf Stream constitue le terme de la circulation thermohaline qui anime l'ensemble des océans du Globe. Les eaux de surface de l'Atlantique Nord plongent sur deux sites principaux, le premier au large du Labrador, et le second en mer de Norvège. Elles s'écoulent ensuite en profondeur jusqu'à vers le Pacifique Nord, où elles refont surface. De là, par un courant chaud de surface, elles rejoignent l'Atlantique Nord. La pompe de ce mouvement est dans la zone du cercle polaire arctique : les eaux polaires sont plus denses en raison de la basse température et du sel que rejette la glace lors de sa formation. En outre, la salinité de l'Atlantique Nord est plus forte que celle du Pacifique.

Ce gigantesque «tapis roulant» océanique fonctionne au profit de l'Europe : le Gulf Stream draine un flux d'eau chaude de 20 millions de mètres cubes par seconde qui, en se refroidissant vers le Nord, libère une forte quantité de chaleur dans l'atmosphère.

Une partie du carbone 14 contenu dans l'atmosphère se mêle aux eaux superficielles de l'océan. Il est entraîné ensuite au fond de l'océan par les eaux qui plongent en mer de Norvège. Dans les abysses, le carbone 14 se désintègre alors en azote 14, et les eaux profondes s'appauvrissent peu à peu en carbone 14. Ainsi, lorsque la circulation thermohaline se renforce, elle accélère le retour en surface, dans le Pacifique, d'un plus grand volume d'eaux profondes déficitaires en carbone 14, ce qui, à terme, affaiblit la concentration atmosphérique en radiocarbone. Et inversement, dans l'hypothèse d'un ralentissement de la circulation océanique.

en 1996, des corrélations possibles entre des phases de faible salinité dans l'Atlantique et des périodes d'assèchement sous les Tropiques.

La situation a rapidement évolué au cours des quatre dernières années. Fin 1995, S. R. O'Brien, de l'Université de Durham, révèle que la concentration en sels marins et la composition chimique des poussières contenues dans le sondage GISP2 du Groenland témoignent des variations du climat pendant l'Holocène. Un second article, publié en 1997, attire l'attention de la communauté des paléoclimatologues sur l'événement 8200 enregistré dans les glaces du Groenland : R. B. Alley et ses collègues de l'Université de Pennsylvanie ne trouvent aucune explication satisfaisante à cet épisode, mais ils soulignent l'amplitude du refroidissement auquel il correspond – vraisemblablement 6 °C au Groenland et près de 2 °C en Europe de l'Ouest.

À la fin de l'année 1997, P. Mayewski et ses collègues de l'Université de Durham approfondissent l'étude de la composition chimique des poussières

contenues dans les glaces du Groenland. Cette composition, qui reflète l'intensité et l'extension de la circulation atmosphérique polaire, montre des variations sensibles tout au long de l'Holocène. La courbe de ces variations révèle des périodicités de 1 450 ans et 2 300 ans, que l'on retrouve dans la courbe du carbone 14 résiduel (voir l'encadré 4). Parallèlement, encouragée par les résultats qu'avait obtenus l'équipe de S. R. O'Brien, une autre équipe, réunie autour de G. Bond, de l'Université de Columbia, entreprend d'étudier en détail deux carottes prélevées dans l'Atlantique Nord, la première au large de l'Irlande et la seconde entre les côtes groenlandaises et islandaises. Pour pallier le faible taux de sédimentation, les échantillons analysés sont prélevés à des intervalles de l'ordre du centimètre ou du demi-centimètre ! Les débris de roches retrouvés dans ces échantillons révèlent l'existence de plusieurs débâcles d'icebergs qui proviennent du Groenland et du Spitzberg et ponctuent l'ensemble de l'Holocène avec une périodicité d'environ 1 470 ans.

Ces débâcles montrent en outre l'invasion d'eaux froides originaires des zones au Nord de l'Islande jusqu'à la latitude de la Grande-Bretagne !

Un consensus se dégage aujourd'hui : sans atteindre bien sûr l'amplitude qu'ils possédaient en période glaciaire, des accidents climatiques ponctuent toute la durée de l'Holocène. Les périodes de circulation atmosphérique polaire forte et intense et les débâcles d'icebergs coïncident avec les phases de refroidissement climatique marquées, dans le Jura, par une hausse des plans d'eau et, dans les Alpes, par une avancée des langues glaciaires. L'histoire du climat de nos régions, au cœur de l'Europe tempérée, apparaît ainsi étroitement déterminée par la dynamique d'un système où interagissent l'océan Atlantique Nord, la calotte glaciaire groenlandaise et la circulation atmosphérique polaire. En outre, le parallélisme entre les variations du carbone 14 résiduel dans l'atmosphère et les accidents climatiques identifiés dans le Jura, dans l'Atlantique et au Groenland, suggère de rap-