



Institut de Géographie
Université de Lausanne

Le Climat

Histoire et changements

Travail dans le cadre du cours de climatologie
Prof. Jean-Michel Fallot

Claudio Filipponi
Avril 2000

Table des matières

Regards sur le passé, une histoire longue.....	3
L'ère quaternaire	6
L'Ère de l'homme	8
Le Moyen-âge	8
Le petit âge glaciaire	9
De la découverte des grandes glaciations à la formulation de la théorie astronomique des climats.....	10
Conclusion.....	15
Bibliographie.....	15

Regards sur le passé, une histoire longue...

La Terre, perle de l'univers, se condensa il y a 4,7 milliards d'années environ, et l'univers est âgé de 10 à 20 milliard d'années (depuis le big-bang). La Terre, qui était à l'origine une masse brûlante de minéraux liquides, se refroidit lentement et sa surface se couvrit d'une croûte il y a environ 4 milliards d'années. Les métaux lourds sombrèrent dans les grandes profondeurs, où ils forment encore aujourd'hui le noyau de la Terre, dont la température, de 6000 K, correspond à peu près à celle de la surface du Soleil.

L'atmosphère primitive était probablement composée de vapeur d'eau, de gaz carbonique et d'azote. L'oxygène obtenu par la photolyse de la vapeur d'eau fut intégralement utilisé pour l'oxydation du fer. Un effet de serre considérable dut, malgré l'intensité du rayonnement solaire inférieure de 30 % à aujourd'hui, porter les océans à des températures élevées (autour de 70° C). Cependant on ne connaît pas grand chose du climat primordiale, ni où étaient positionnées les océans et les continents, ni lesquelles étaient les composantes de l'atmosphère primitive. En effet les premières roches sédimentaires se sont déposées seulement un milliard d'années après, pendant l'ère précambrienne quand la

température était plus chaude de 10 °C par rapport à celle d'aujourd'hui.

Les premiers êtres vivants connus, dits « sphères de Ramsay », présentent une ancienneté étonnante; on les a découverts en Afrique du Sud sous la forme de microfossiles sphériques et leur âge est estimé à 3,4 milliards d'années, mais leurs restes ne fournissent que peu de trace sur des éventuels changements climatiques. Le carbonate (provenant vraisemblablement des dépôts calcaires d'êtres vivants), dont la composition isotopique suggère l'existence de la chlorophylle et de la photosynthèse, apparut voici 3,2 milliards d'années.

Le Terre s'est formée environ 4,7 il y a millions d'années environ ; cependant on ne connaît pas grand chose du climat primordiale, ni où étaient positionnées les océans et les continents, ni lesquelles étaient les composantes de l'atmosphère primitive. En effet les premières roches sédimentaires se sont déposées seulement un milliard d'années après, pendant l'ère précambrienne quand la température était plus chaude de 10 °C par rapport à celle d'aujourd'hui. Les algues, premières formes de vie, sont apparues 3,5 il y a millions d'années, mais

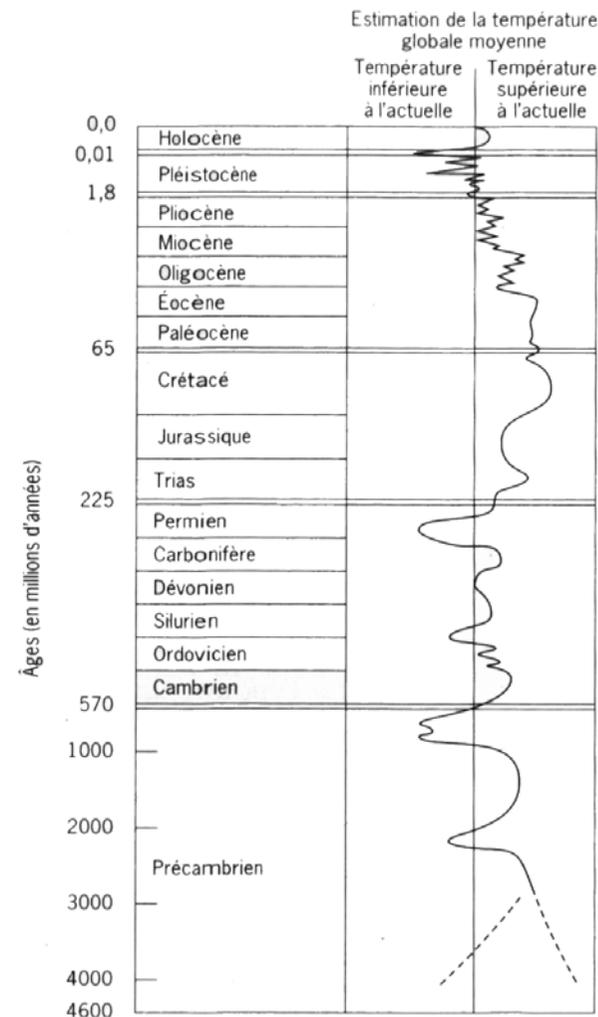


Figure 1: estimation de la température globale moyenne

leurs restes ne fournissent que peu de trace sur des éventuels changements climatiques. Pour reconstituer l'histoire climatique de la Terre au-delà des derniers millions d'années, la géologie

est donc le principal outil d'investigation. La nature des roches, les traces mécaniques de glaciations, les faunes ou flores fossilisées sont aussi de précieux indicateurs climatiques.

Depuis les origines de la formation de la planète, les époques pour lesquelles on a pu

mettre en évidence des marques de glaciation sont peu nombreuses. Les calottes du Groenland et de l'Antarctique sont elles-mêmes très récentes à l'échelle des temps géologiques. Elles se sont formées au cours des 10 à 20 derniers millions d'années.

Au cours des 600 derniers millions d'années, à l'exception de deux glaciations majeures

(il y a environ 450 millions d'années) et au Permo-Carbonifère

(il y a environ 300 millions d'années), les continents n'auraient pas connu des températures

suffisamment hausses pour permettre l'accumulation de calottes glaciaires.

Cette tendance semble être la règle pour les quatre premiers milliards d'années de l'histoire de la Terre, pendant le Précambrien, où les seules phases de glaciations majeures identifiées à nos jours

se situent autour de 2,5 et 0,9-0,6 milliards d'années BP. Néanmoins, plus on s'intéresse à des périodes éloignées dans le temps, plus notre connaissance des climats passés devient partielle. Cette limitation s'applique tout particulièrement à l'ère précambrienne pour laquelle l'érosion a fait disparaître une grande partie des indicateurs géologiques du climat.

La position et la répartition des masses continentales influent nécessairement sur le climat d'une région donnée en modifiant l'ensoleillement reçu. Pour les derniers 600 millions d'années, on constate par ailleurs que la présence de glaciations majeures semble liée à une configuration particulière des continents: les calottes ne se forment que lorsque les régions polaires sont occupées par les terres. Par exemple, on a découvert des traces de glaciation datant de l'Ordovicien, (environ 450 millions d'années) au Sahara, région qui se trouvait à cette époque dans une position proche du pôle Sud. Au Permo-Carbonifère, vers 300 millions d'années, des calottes glaces se sont formées au sud de l'Afrique, de l'Amérique du Sud, de l'Australie, de l'Inde et de l'Antarctique, lorsque ces continents étaient réunis au voisinage du pôle Sud en un seul super-continent, la Pangée.

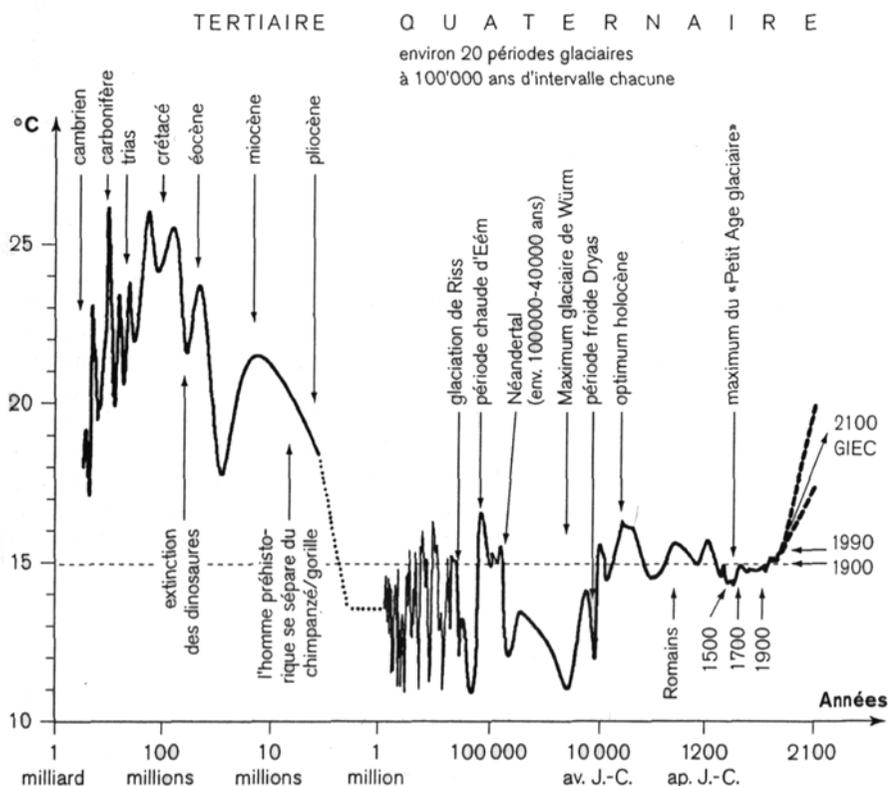


Figure 2: évolution de la température moyenne globale durant les six cents derniers millions d'année

La répartition géographique des continents les uns par rapport aux autres peut également modifier les courants atmosphériques et océaniques et influencer ainsi sur le climat de la Terre. Par exemple, la calotte antarctique n'a commencé à se former que lorsque le continent s'est trouvé suffisamment éloigné du sud de l'Amérique et de l'Australie pour permettre l'établissement dans l'océan austral d'un courant froid circumpolaire isolant thermiquement ce continent.

Néanmoins, la dérive des continents ne permet pas d'expliquer les conditions climatiques exceptionnellement chaudes de l'ère secondaire, entre 225 et 65 millions d'années, en particulier l'augmentation des températures de 10 à 15 °C sous les hautes latitudes. L'hypothèse d'une plus grande concentration de gaz carbonique dans l'air à cette époque est le plus souvent avancée pour expliquer un tel réchauffement.

Le niveau des mers crétacées est 300 à 400 m plus élevé que celui de l'océan actuel, inondant 20% des terres qui sont aujourd'hui émergées. Ce niveau des mers élevé n'est pas exclusivement lié à l'absence des glaces continentales. En effet, si de nos jours les calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique fondaient, le niveau des mers ne s'élèverait pas de plus de 80 mètres. Une transgression de plusieurs centaines de

mètres résulte nécessairement d'une modification importante de la forme des bassins océaniques, conséquence de l'activité tectonique qui opère à l'échelle du globe.

Les continents sont alors peuplés de grands reptiles, tels que les dinosaures. Mais brusquement, à la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années environ, de nombreuses espèces animales subissent une extinction massive. Si ce phénomène catastrophique est bien connu à propos des grands reptiles, on oublie généralement de mentionner que plus de la moitié des espèces vivant à l'époque disparaissent au même moment. De nombreuses hypothèses ont été avancées pour expliquer cette catastrophe écologique à l'échelle planétaire. La mise en évidence de teneurs importantes en iridium dans les sédiments argileux déposés à cette époque est à l'origine de ces hypothèses. En effet, une telle concentration d'iridium n'est pas caractéristique de la composition de la croûte terrestre. Une collision de la Terre avec une météorite dont les dimensions ont été évaluées à une dizaine de kilomètres de diamètre pourrait en avoir été la source. Plus récemment, l'hypothèse d'une activité volcanique intense a également été proposée, car certains volcans émettent de l'iridium en quantité importante. Dans les

deux cas le scénario est le même: des feux dévastateurs auraient produit d'immenses nuages de vapeur d'eau et de poussières qui auraient obscurci la surface terrestre, provoquant ainsi cette véritable catastrophe écologique.

L'ère quaternaire

L'existence des glaciations a été longtemps ignorée, il a fallu attendre le milieu du siècle dernier pour que celles-ci furent reconnues. C'est au suisse Louis Agassiz que l'on doit la théorie des glaciations. Il fut le premier, en effet, à voir dans les blocs erratiques que l'on pouvait observer sur les montagnes du Jura, non pas des rochers abandonnés par les eaux, mais des blocs transportés par les glaciers à l'occasion d'une grande ère glaciaire pendant laquelle les glaces, s'écoulant depuis le pôle, avaient envahi toute l'Europe du Nord. L'exposé d'Agassiz devant les respectables membres de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel le 24 juillet 1837 fit scandale, et il a fallu presque 25 ans de polémiques avant de voir cette théorie acceptée par tous. Au début du siècle, entre 1901 et 1909, les deux géographes allemands Albrecht Penck et Eduard Brückner publiaient les trois volumes d'une étude magistrale où ils proposaient de reconnaître une succession de quatre phases glaciaires séparées par des interglaciaires pendant lesquels le climat s'était réchauffé et les glaciers s'étaient retirés. Ils attribuèrent à ces phases glaciaires les noms de quatre affluents du

Danube dont les dépôts leur avaient permis de repérer ces quatre périodes d'avancée des glaces. La théorie monoglaciale d'Agassiz laissait ainsi la place à une théorie pluriglacialiste où l'on distinguait les phases du Günz, du Mindel, du Riss et du Würm. Restait à expliquer l'origine de ces grandes glaciations; en effet chaque nouvelle glaciation a entraîné une avancée des glaciers qui a détruit la plupart des indices géologiques de la glaciation précédente, de sorte que les informations disponibles sur les glaciations se trouvaient limitées. Pour déterminer l'évolution du climat du passé il devenait donc nécessaire d'utiliser

d'autres indicateurs, qui ont été découverts en 1955 par l'Américain Cesare Emiliani qui proposait d'étudier les sédiments marins en relations aux isotopes d'oxygène, aux isotopes radioactifs du carbone et à la méthode potassium-argon. Grâce à ces



Figure 3: l'extension des glaces au dernier maximum glaciaire

méthodes on a put découvrir que la succession des glaciations, qui se sont répétée d'une manière quasi périodique tous les 100'000 ans, pendant le dernier million d'années.

La glaciation la plus récente, celle de Würm, eu son pic maximum il y a environ 18'000 ans. La calotte glaciaire, épaisse jusqu'à trois kilomètres, occupa la majeure partie de l'Amérique septentrionale, toute la Scandinavie jusqu'à la moitié septentrionale de la Grande Bretagne et des Urali*. Dans l'hémisphère sud, une grande partie de la Nouvelle Zélande et de la Patagonie étaient sous la glace, ainsi que les Snowy Mountains au sud de l'Australie et le Drakensberg en Afrique du Sud. Estimé à 50 millions de km³, le volume supplémentaire de glace sur les continents se traduisait par un abaissement du niveau des mers d'environ 120 mètres, ou pouvait ainsi rejoindre à pied la Grande-Bretagne depuis la France et l'Amérique et l'Asie étaient reliés à l'emplacement de l'actuel détroit de Béring. L'analyse des micro-fossiles mous indique que la température était de 6 à 10 °C en moins que les valeurs actuelles. Toutes les régions n'étaient cependant pas soumises au même refroidissement: les océans tropicaux étaient épargnés et gardaient une température chaude voisine de la température actuelle. Pour l'ensemble de la

Terre on estime que le climat de dernier maximum glaciaire correspond à un refroidissement moyen de 4 à 5 °C par rapport au climat actuel.

Il y a 12'000 ans la température se réchauffa d'une façon imprévue de quasi 7 degrés en moins d'un siècle et environ 7'000 ans BP la glace avait complètement disparue du Canada et de la Scandinavie. La fusion de la calotte glaciaire a fait remonter le niveau de la mer jusqu'au niveau actuel.

Nous vivons maintenant dans l'holocène, période avec un climat tempéré et relativement stable qui dure d'environ 10'000 ans. Il a connu pourtant une phase plus chaude, souvent qualifiée d'optimum climatique entre 8000 et 6000 ans BP. En Europe la température estivale était supérieure d'environ 2/3 °C à ceux observées de nos jours, et c'est justement pendant cette période plus chaude et donc plus humide que le Sahara connaissait une période pluviale marquée.

L'Ère de l'homme

La civilité humaine c'est développé grâce au climat tempéré qui a suivi une période de fréquentes glaciations. Environ 6000 ans BP la température moyenne était de 2 °C supérieure par rapport à celle d'aujourd'hui et les pluies étaient plus abondantes. Ces conditions favorisent le développement de l'agriculture en Egypte et en Mésopotamie, régions que pour la première fois dans l'histoire de l'humanité connurent périodes d'abondante alimentaire. Des grands groupes de personnes ont eu donc la possibilité de vivre ensemble, en fondant les premières villes.

L'importance des variations climatiques dans la diffusion de la culture grecque et son influence sur expansion et la fin de l'Empire Romain est encore aujourd'hui source de controverse. Le climat commença à se refroidir et nombreux témoignages de l'époque attribuent les maigres récoltes à des phénomènes météorologiques défavorables, même si les famines peuvent trouver explications aussi dans la déforestation et dans l'inefficacité des systèmes d'irrigation. Des raisons complexes sont aussi à la base du déclin de la civilité Maya en Amérique centrale, qui

eus lieu entre 800 et 1000 ap. J.-C. Il est vrai que la société maya était déjà en crise à cause de la pression démographique, la dégradation de l'environnement et les conflits entre les villes, pourtant elle avait déjà connu et résolu des problèmes analogues pendant les siècles antérieures. Cependant vers 800 une longue période de sécheresse a soumis la population à ultérieures tensions, probablement cause du déclin définitif.

Le Moyen-âge

En système, entre le X et le XII siècle régnait celui que l'on appelle « optimum climatique médiéval » que en Europe se manifesta avec des températures similaires à celles d'aujourd'hui. Ce fut un climat favorable à la colonisation de l'Islande et de la Groenland et la prospérité culturelle des populations européennes entre le XI et le XIII siècle.

À la fin du 1200 le climat s'apprêta à des nouveaux changements; des vagues de gel et d'étés pluvieux en 1315 et en 1316 furent suivie d'une série d'étés froides. La disparitions de la colonie viking au Groenland et les famines que touchent l'Islande dans les années suivantes sont clairement liées à une dégradation du climat. En Europe la baisse de la température pourrait être une des causes de la contraction démographique (qui était déjà en place bien avant la peste noire de fin '300).

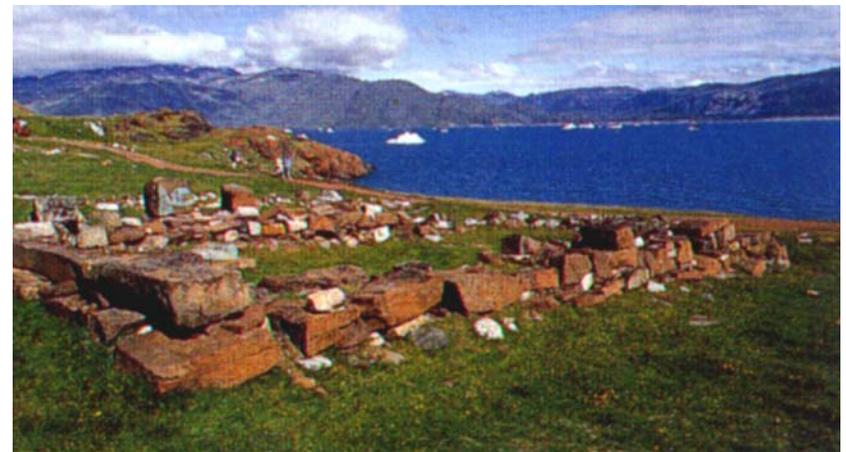


Figure 4: ruines de la civilisation Viking au Groenland

Le petit âge glaciaire

Il n'y a pas de certitude sur l'impact social que détermina, mais du petit âge glaciaire (1450-1850) on trouve dans les archives plusieurs témoignages. Par exemple à Londres la Tamise gela plusieurs fois. Une longue série d'étés froids et humides (surtout autour des années 1590, 1690, 1810) se traduisa en crises alimentaires en toute l'Europe et en l'avancée des glaciers alpins qui se trouvaient jusqu'à 1000 mètres en aval de la position qu'ils occupent aujourd'hui. Pendant cette période la baisse moyenne de la température est estimée à 1 °C, 3 à 4 °C au Pays-Bas et provoqua, outre la fin de la prospérité des Vikings, la disparitions des blés de Norvège et des vignobles d'Angleterre. Il faut toutefois souligner que ces changements climatiques sont modestes en comparaison de ceux survenus lors des grandes glaciations plantaires de l'ère quaternaire.

De la découverte des grandes glaciations à la formulation de la théorie astronomique des climats

Depuis Copernic, on sait que la Terre tourne autour du Soleil. Elle suit une orbite de forme elliptique qu'elle parcourt en quelque 365 jours et qui s'inscrit dans le plan de l'écliptique. L'axe de rotation de la Terre conservant une direction fixe dans l'espace et étant incliné par rapport au plan de l'écliptique, ce mouvement de révolution est à l'origine de la succession des saisons: chaque point à la surface de la planète reçoit une part du rayonnement solaire qui varie en fonction de la position de la Terre sur son orbite. C'est ainsi par exemple que le jour du solstice d'été, en juin, le pôle Nord est incliné vers le Soleil; l'hémisphère Nord reçoit d'avantage de chaleur car les rayons du Soleil sont à la verticale sur le tropique du Cancer. C'est l'été boréal. Six mois plus tard, la situation s'est inversée: c'est le pôle Sud qui pointe vers le Soleil et les rayons du Soleil sont à la verticale sur le tropique du Capricorne; c'est l'été austral tandis que l'hémisphère Nord est plongé dans l'hiver boréal.

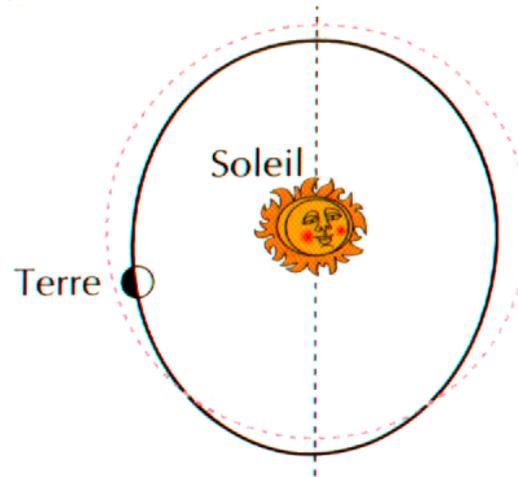


Figure 5: variations de l'excentricité

Pourtant Milankovitch* a montré que, en raison de l'attraction qu'exercent sur elle la Lune et les autres planètes, la révolution de la Terre autour du Soleil n'obéit pas à une périodicité parfaite; elle montre au contraire des variations de trois types:

- Variations de l'excentricité: la forme de l'orbite terrestre varie entre une ellipse et un tracé quasi circulaire.

En conséquence, la distance entre la Terre et le Soleil varie de 18,27 millions de km; cette première variation suit des cycles d'environ 100'000 et 400'000 ans.

- Variations de l'obliquité: l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'écliptique varie selon un angle qui oscille entre 22° et 25°, sa valeur actuelle est de 23°27'. Cette seconde variation suit un cycle de 41'000 ans. Quand l'inclinaison est plus forte, les étés sont plus chauds et les hivers sont plus froids; l'écart thermique entre les saisons s'accroît.
- La précession des équinoxes: l'axe de rotation de la Terre décrit un mouvement circulaire autour d'un axe perpendiculaire au plan de l'écliptique. Ainsi, à un moment donné de l'année, par exemple à l'équinoxe de printemps, la Terre ne se trouve pas toujours au même point de son orbite et sa distance

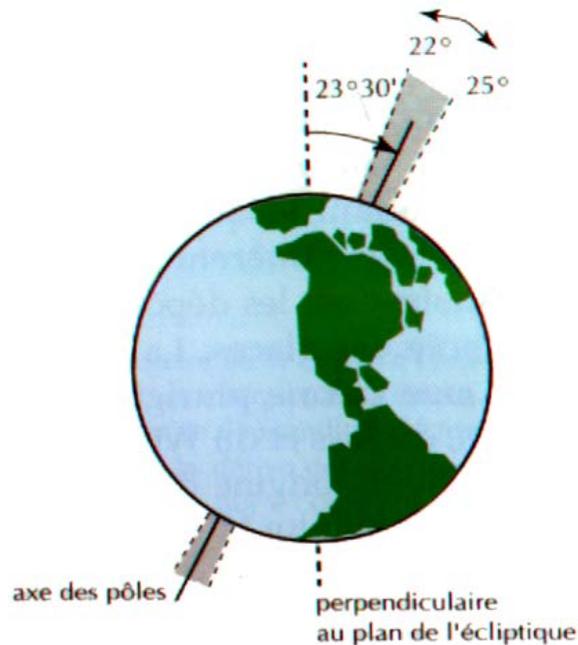


Figure 6: variations de l'obliquité

au Soleil varie. Lorsque le solstice d'été survient au moment où la Terre est au périhélie, c'est-à-dire dans la partie de l'ellipse orbitale la plus proche du Soleil, les étés sont plus chauds et les hivers plus froids; il y a 11'000 ans, cette situation a favorisé la disparition des grands inlandsis édifiés pendant la dernière glaciation. A l'inverse, lorsque le solstice d'été survient quand la Terre est à l'aphélie, c'est-à-dire dans la partie de l'ellipse orbitale la plus éloignée du Soleil, les étés sont plus frais et les hivers plus doux. Cette situation, qui prévaut actuellement, favorise la

croissance des inlandsis. La distance Terre-Soleil à un moment donné de l'année est donc modulée par les variations de l'excentricité et par la précession des équinoxes, selon des cycles de 19'000 et 23'000 ans.

L'intuition de Milankovitch était que le développement ou la disparition des inlandsis dépendait de la quantité et de la distribution d'énergie solaire reçue par la Terre aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord. De 1911 à 1941, il calcula les variations de l'insolation entre 55° et 65° Nord au cours des 600'000 dernières années. La courbe obtenue pouvait être corrélée avec l'histoire des glaciations établie au début du siècle par Penck et Brückner, confirmant ainsi leur origine astronomique.

Tout d'abord bien accueillis, les travaux de Milankovitch furent peu à peu remis en cause au point qu'à la fin des années 1960, ils faisaient l'objet d'une suspicion presque générale. L'origine de cette désaffection tenait principalement à la révolution des techniques de datation avec la mise au point

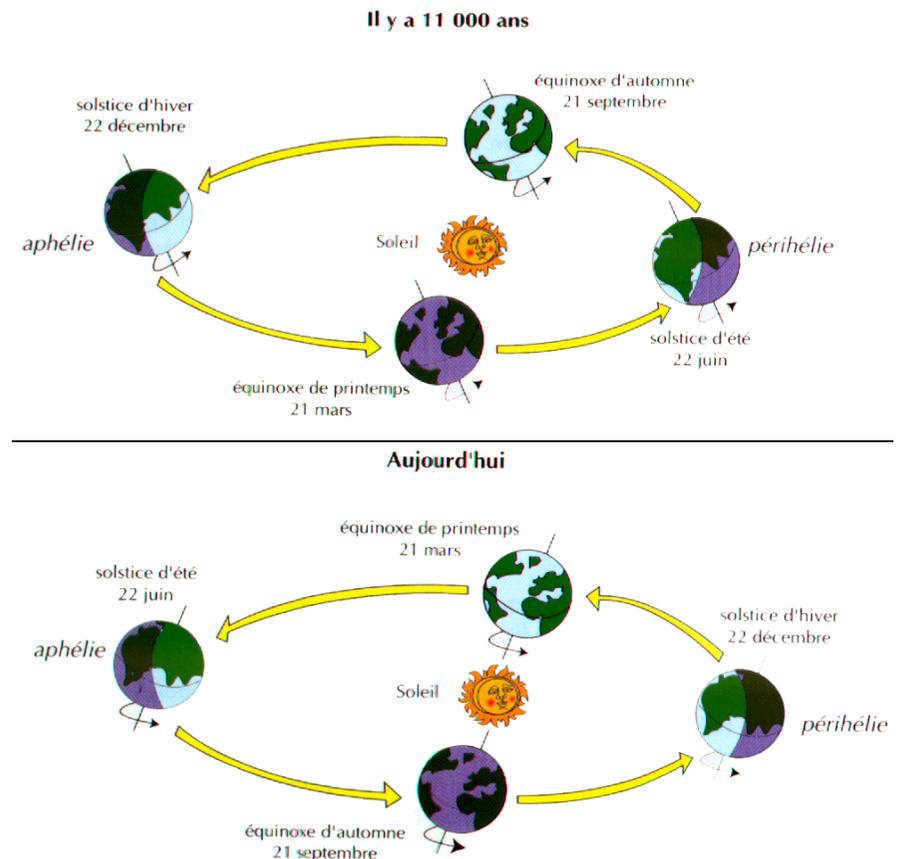


Figure 7: la précession des équinoxes

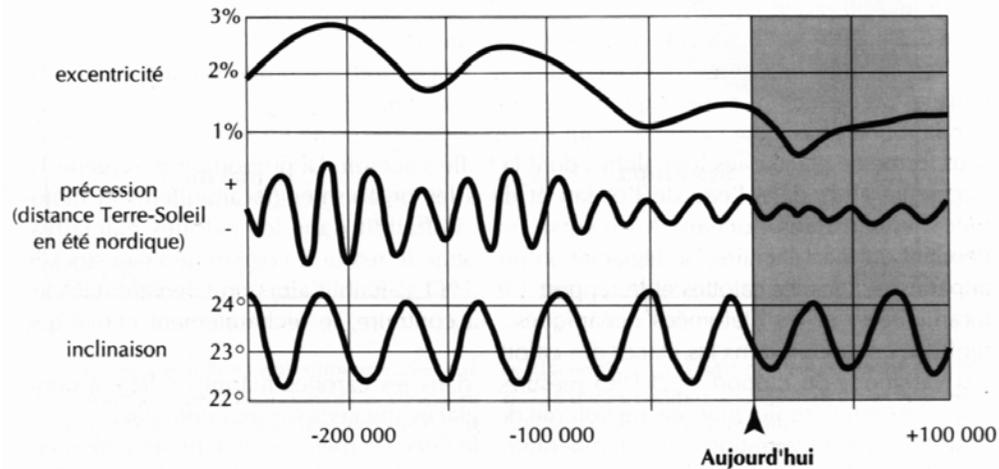


Figure 8: relations entre excentricité, périodicité et inclinaison

par Libby en 1947 de la méthode du carbone 14 (voir encadré p. 52)*. D'après la courbe reconstituée par Milankovitch, le dernier minimum d'insolation était survenu il y a 25'000 ans. Or en utilisant le radiocarbone, les géologues américains parvenaient désormais à situer le dernier maximum glaciaire vers 18'000 ans ; un décalage d'environ 7'000 ans apparaissait entre ces observations et la courbe théorique de Milankovitch. Dans le même temps, les séquences stratigraphiques étudiées par Penck et Brückner faisaient l'objet d'un réexamen, et des couches attribuées à la dernière glaciation livraient des bois auxquels le radiocarbone attribuait un âge inférieur à 10'000 ans. D'autres encore soulignaient le fait que l'amplitude des variations d'insolation paraissait trop faible pour avoir déclenché des glaciations.

En premier lieu l'astronome belge André Berger a repris sur de nouvelles bases les calculs de Milankovitch. Dès le milieu des années 70, il pouvait ainsi reconstituer, mois par mois, les variations de l'insolation aux diverses latitudes pour les trois derniers millions d'années. L'analyse spectrale (voir encadré p. 16)* des courbes obtenues mettait en évidence l'existence de plusieurs périodicités proches de 100'000 ans, de 41'000 ans, 23'000 ans et 19'000 ans qui renvoyaient à celles observées pour les différents paramètres orbitaux de la Terre: l'excentricité, l'obliquité et la précession des équinoxes.

Le développement des recherches océanographiques à partir des années 1950 entraîne par ailleurs un éclatement du vieux cadre chronologique hérité des travaux de

Cependant la théorie astronomique des climats emporte aujourd'hui l'adhésion de presque tous les paléoclimatologues. Le triomphe actuel de Milankovitch est lié à la convergence de plusieurs recherches.

Penck et Brückner Ces recherches bénéficient des nouvelles techniques de datation élaborées à la suite de la découverte de la méthode du radiocarbone. Si le domaine d'application de la méthode du radiocarbone s'arrête au-delà de 40'000 ans, le recours à la méthode basée sur le rapport uranium-thorium permet de remonter à 350'000 ans. Pour les périodes plus anciennes, il est encore possible de se référer au chronomètre offert par les changements de polarité magnétique enregistrés dans les sédiments marins et datés, en milieu continental, par la méthode du potassium-argon. Enfin, et surtout, le milieu marin offre un atout très important: à partir d'une certaine profondeur, la sédimentation, et donc l'enregistrement des événements passés, est continue; au contraire, sur les continents, les sédiments sont souvent attaqués par l'érosion et les séquences stratigraphiques sont de ce fait souvent incomplètes. L'étude du rapport oxygène¹⁸/oxygène¹⁶ (voir encadré p. 15) dans les tests des foraminifères retrouvés dans les carottes marines permet de suivre les phases de développement ou de désintégration des grands appareils glaciaires sur les continents. Pendant les glaciations, la proportion d'¹⁸O augmente dans les coquilles fossiles; à l'inverse, elle

diminue en période de retrait glaciaire et de réchauffement climatique.

En 1972, l'analyse d'une longue carotte marine prélevée dans le Pacifique permet enfin de reconstituer l'histoire des glaciations depuis plus de 700'000 ans. Surprise: la courbe obtenue laisse apparaître 8 phases majeures d'avancée des glaciers pour 730'000 ans. La périodisation établie par Penck et Brückner doit être complètement révisée. En outre, la courbe montre que chacune de ces 8 phases se décompose en plusieurs épisodes secondaires.

Les recherches se multiplient, accumulant les stratigraphies isotopiques marines. Et en 1976, l'analyse spectrale de courbes obtenues dans l'Océan Indien met en évidence l'existence de quatre composantes périodiques rythmant l'histoire des glaciations au cours des 500'000 dernières années, à savoir: 100'000 ans, 43'000 ans, 24'000 ans et 19'000 ans. Ces périodicités renvoient directement à celles établies par André Berger à partir des courbes d'insolation. La théorie de Milankovitch se trouve ainsi vérifiée de façon éclatante!

Bien sûr, la convergence observée entre les courbes d'insolation et les courbes

isotopiques n'apporte pas toutes les réponses aux questions que se posent les climatologues sur les mécanismes des grandes glaciations. Elle suggère seulement que les variations d'insolation rythment effectivement les oscillations climatiques selon des périodicités de 100'000, 41'000, 23'000 et 19'000 ans. Il reste encore à cerner avec précision quels sont les facteurs de la machine climatique terrestre qui réagissent à ces variations de l'insolation et quelles sont les rétroactions - positives ou négatives - qui sont à l'œuvre lors du développement ou de la désintégration des grands inlandsis. C'est à quoi travaillent actuellement les climatologues, à l'aide en particulier de modèles numériques (voir encadré p. 19).

L'un des intérêts majeurs de la théorie astronomique des climats réside dans sa capacité de prédire l'histoire des climats, que l'on se tourne vers les deux derniers millions d'années ou, ce qui nous préoccupe davantage désormais, vers le futur. André Berger a ainsi calculé les variations d'insolation à 65° Nord pour les 100 prochains millénaires. Cette courbe constitue une première approche de notre avenir climatique en indiquant quelle sera l'évolution des conditions induites par le forage orbital, c'est à dire par l'influence des

variations de l'orbite de la Terre. En se plaçant dans l'hypothèse d'une absence de toute perturbation anthropique, André Berger et ses collaborateurs se sont efforcés d'aller plus loin dans la prospective en injectant ces données concernant les variations de l'insolation dans un modèle climatique qui intègre l'atmosphère, l'océan et la cryosphère (c'est-à-dire les inlandsis). Capable de reproduire les oscillations à basse fréquence du climat au cours du dernier cycle glaciaire-interglaciaire, ce modèle prévoit que le refroidissement amorcé depuis 6'000 ans se poursuivra jusqu'à un premier maximum glaciaire dans 5'000 ans; le climat se réchauffera ensuite légèrement, avant de plonger enfin vers des conditions glaciaires qui atteindraient un maximum comparable à celui du dernier âge glaciaire dans environ 60'000 ans.

Ces prévisions théoriques présentent un certain nombre de similitudes avec l'image des derniers cycles climatiques (glaciaire-interglaciaire) donnée par les courbes isotopiques:

- La Terre connaît une grande glaciation tous les 100'000 ans environ.
- Par rapport aux périodes glaciaires, les interglaciaires apparaissent relativement courts : leur durée n'excède pas en général 10'000 à 20'000 années.

- Une période glaciaire se développe en plusieurs étapes: les phases froides (stades) alternent avec des phases de réchauffement (interstades).

L'histoire de la végétation en Europe occidentale reconstituée à partir des pollens (voir encadré p. 46)* conservés dans les lacs ou les tourbières confirme que le réchauffement climatique correspondant à notre interglaciaire a atteint son maximum il y a environ 8'000 ans. En Suède, le noisetier s'étend alors jusqu'à 640 Nord tandis qu'aujourd'hui il ne dépasse guère 600 Nord. Depuis cet optimum climatique, le climat est engagé dans une longue tendance au refroidissement que souligne, par exemple, le recul du noisetier dans le Nord de l'Europe, ou encore l'expansion de hêtre, du sapin et de l'épicéa dans le Jura au détriment du chêne, de l'orme et du tilleul.

Conclusion

Ce regard sur le passé nous met face au rythme et à l'ampleur qui sont ceux des processus de changement climatique, et il nous faut dès lors nous interroger sur le caractère supportable de leurs effets. Pour la biosphère, l'évolution climatique du passé s'est avérée tolérable dans la mesure même où elle a survécu. Cela ne signifie pourtant pas que nombre d'espèces animales et végétales n'aient pas disparu à la suite de changements climatiques (comme aussi en raison d'autres causes).

Le climat et ses changements font bien plutôt partie d'un mécanisme de sélection, et si un organisme existe aujourd'hui, c'est qu'il a réussi - entre autres - à passer à travers toutes les «épreuves climatiques». De ce point de vue, les changements climatiques ne sont ni fondamentalement mauvais ni extraordinaires. Un regard sur les 600 millions d'années au cours desquelles la biosphère s'est constituée montre en outre que seuls les trois derniers millièmes de ce laps de temps (quaternaire, 2 millions d'années, cf. figure 8*) étaient relativement plus froids. Il n'y a donc pas de doute qu'un monde plus chaud serait plus agréable pour la biosphère, puisqu'elle s'est bien développée dans de telles conditions.

Où se situe alors la problématique du climat si les changements font partie de la vie et que l'état plus chaud auquel nous tendons pourrait être favorable? Le problème se pose parce que si la biosphère est en mesure de supporter ces changements, l'homme peut-être ne l'est pas...

Bibliographie

Burroughs William J., 1997, Meteorologia, Novara, De Agostani

Sadourny Robert, 1994, Le climat de la Terre, Évreux, Dominos

Kandel Robert, 1998, L'incertitude des climats, Paris, Hachette

Magny Michel, 1995, Une histoire du climat, Paris, Errance

Gassmann Fritz, 1996, Effet de serre, modèles et réalités, Genève, Georg

Le Daois Ed. (?), 1950, Le rythme des climats, Paris, Payot

Foucault Alain, 1993, Climat Histoire et avenir du milieu terrestre, ?, Fayard