

**Texte de la 13<sup>ème</sup> conférence de l'Université de tous les savoirs réalisée le 13 janvier 2000  
par Sylvie Joussaume**

**Climats et paysages de l'ère préhistorique**

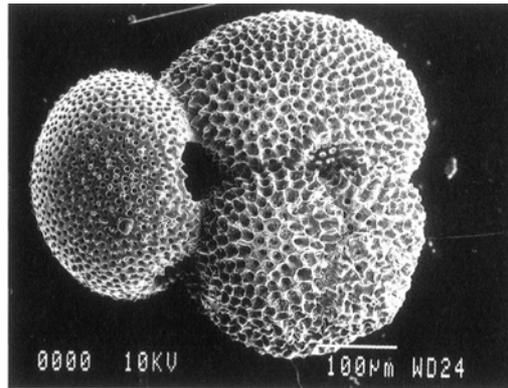
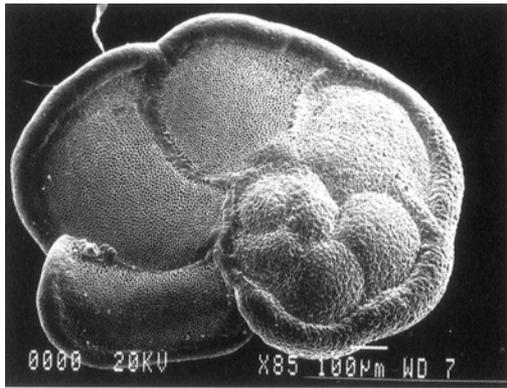
Le climat a connu d'importantes variations au cours du dernier million d'années dont nous comprenons beaucoup mieux les caractéristiques et les mécanismes grâce au développement récent des recherches en paléoclimatologie. Ces variations ont jalonné l'histoire de l'homme et probablement joué un rôle important dans son évolution.

**1. Un climat marqué par une succession de glaciations**

Une grande partie de la préhistoire a été dominée par une succession de glaciations. Celles-ci ont façonné nos paysages, laissant derrière elles des traces géologiques témoins de leur présence. Sur de grandes étendues, au Canada et en Scandinavie, on observe des stries gravées sur la roche dont l'orientation marque la direction de l'écoulement des glaciers qui recouvraient ces régions. La pression exercée par cette masse de glace sur le sol et les pierres entraînées avec elle ont gravé ces sillons dans la roche. Cette pression est telle qu'elle a façonné en forme d'auge les anciennes vallées glaciaires. Elles ont également charrié d'énormes blocs de pierre jusqu'à des centaines de kilomètres de leur lieu d'origine, les abandonnant sur place lors de la fonte des glaces. C'est la présence de ces énormes rochers qui a révélé l'existence des glaciations. En 1837, le Suisse Louis Agassiz émit l'hypothèse d'un transport de ces blocs par les glaces, bouleversant l'idée communément admise que ces pierres témoignaient du "Déluge" décrit par la Bible. Il supporta alors plus de vingt-cinq années de polémiques avant de voir sa théorie acceptée par tous.

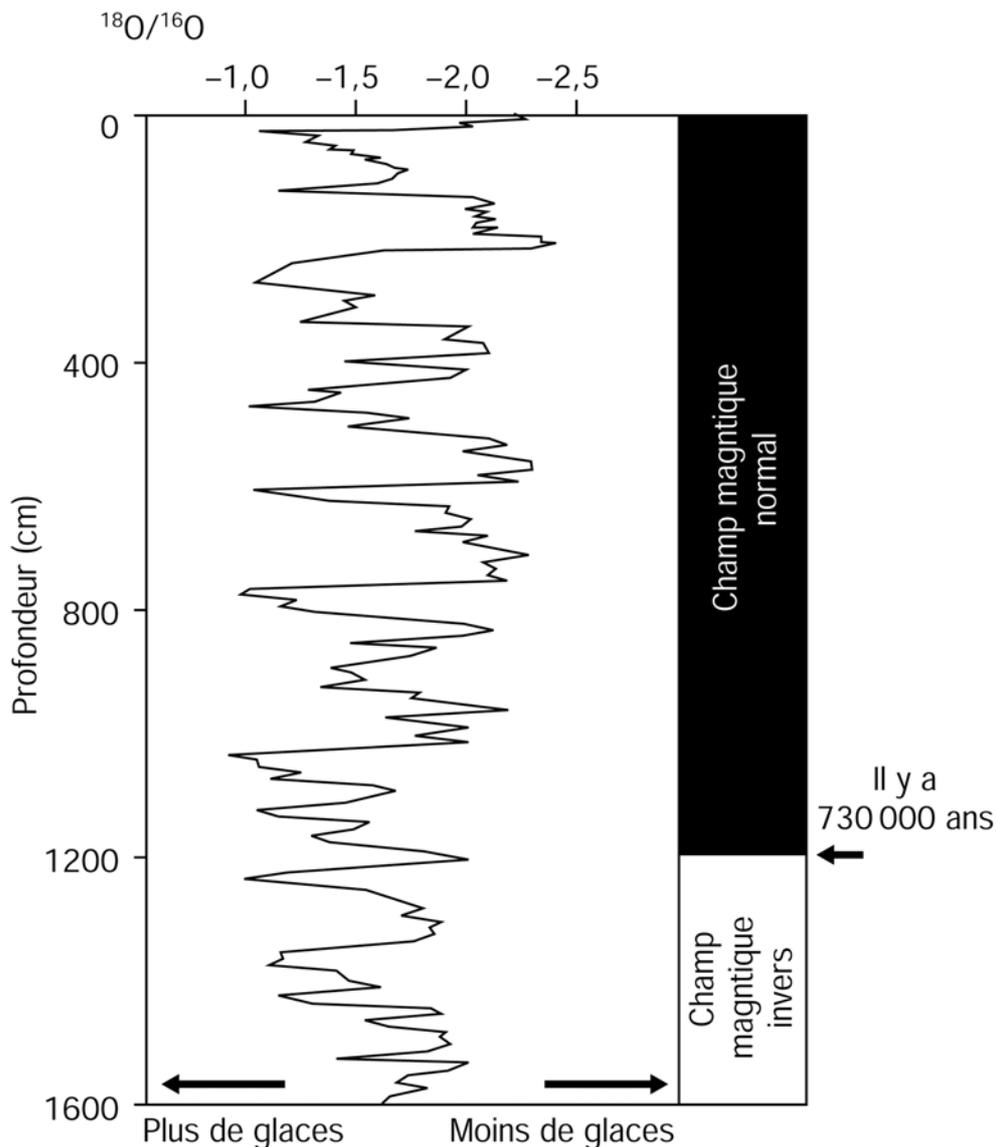
Jusqu'au milieu de notre siècle, les géologues avaient ainsi repéré quatre grandes glaciations. Cependant, chaque nouvelle glaciation a entraîné une avancée des glaciers qui a détruit la plupart des indices géologiques de la glaciation précédente. Il faut attendre le milieu du 20<sup>ème</sup> siècle pour progresser dans notre connaissance des glaciations, grâce à l'étude de la composition des sédiments déposés au fond des océans.

Au cours du temps, les débris en suspension dans l'eau des océans se déposent sur les fonds marins et forment des couches successives de sédiments. Parmi ces débris se trouvent de nombreux squelettes de micro-organismes marins **[Figure 1]**. En forant les fonds océaniques sur quelques dizaines de mètres, on peut prélever ces couches de sédiment et observer les squelettes d'organismes ayant vécu il y a des milliers, voire des millions d'années. Plus ces fossiles sont enfouis profondément dans le sédiment, plus ils sont anciens et reflètent de ce fait une période climatique lointaine. Les composés carbonatés qui constituent leur squelette sont la clé de notre connaissance des glaciations, notamment grâce aux isotopes de l'oxygène qu'ils contiennent et dont l'analyse permet d'estimer les variations du volume des calottes glaciaires.



Dans la nature, il existe en effet plusieurs sortes d'atomes d'oxygène, appelés isotopes de l'oxygène. L'oxygène de masse atomique 16 est de loin le plus répandu, mais il existe également des atomes de masse atomique 18, isotope stable de l'oxygène dont le noyau comprend deux neutrons supplémentaires. Or, la proportion d'atomes d'oxygène 18 par rapport aux atomes d'oxygène 16 contenue dans le calcaire des coquilles fossiles varie selon la couche sédimentaire. Les paléoclimatologues utilisent ces variations du rapport isotopique oxygène 18/oxygène 16 comme marqueur des glaciations. Lorsque des glaces s'accumulent sur les continents, elles stockent de l'eau faiblement concentrée en oxygène 18 en raison d'une distillation subie au cours du cycle de l'eau dans l'atmosphère. Par compensation, l'océan se retrouve enrichi en isotopes lourds. Par suite, la proportion d'isotopes lourds de l'oxygène augmente dans les squelettes calcaires des organismes microscopiques qui vivent à cette époque. Inversement, lorsque les glaces fondent, cette proportion diminue.

L'analyse isotopique des sédiments marins a permis de mettre en évidence toute une succession de glaciations, au rythme moyen d'une tous les 100 000 ans au cours du dernier million d'années **[Figure 1]**. Elle montre d'ailleurs une prédominance des périodes glaciaires sur les périodes de faible accumulation de glace, les périodes interglaciaires, comme celle que nous vivons actuellement. Ces enregistrements sédimentaires révèlent également une coïncidence quasi parfaite entre le rythme de ces glaciations et celui des variations lentes du mouvement de la Terre autour du Soleil, conduisant à la théorie astronomique du climat.



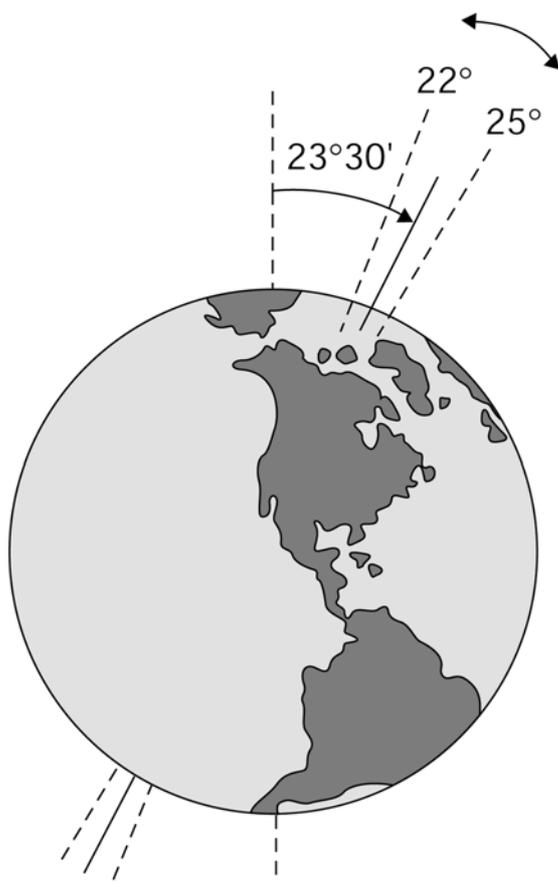
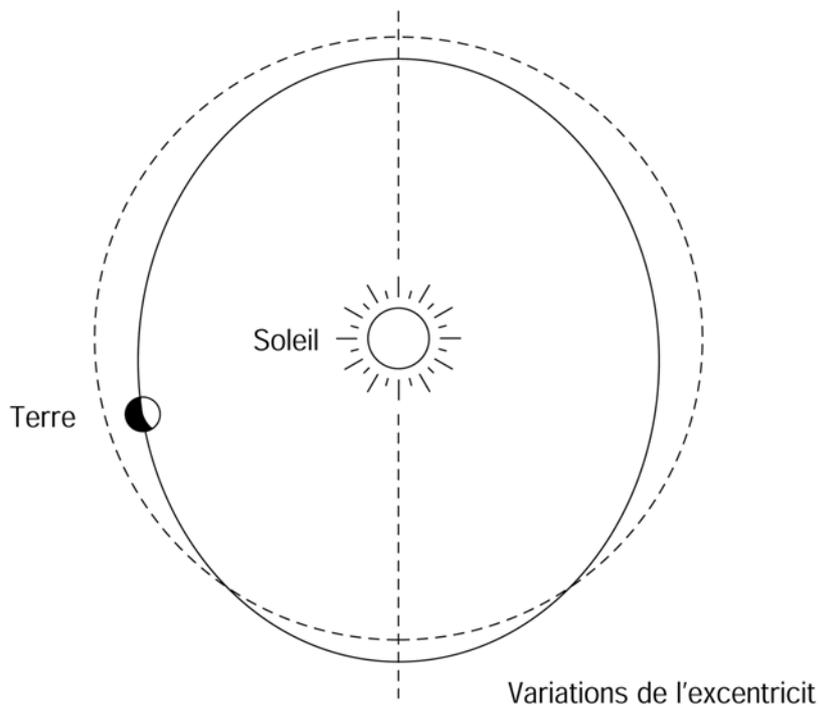
## 2. L'astronomie, moteur des glaciations

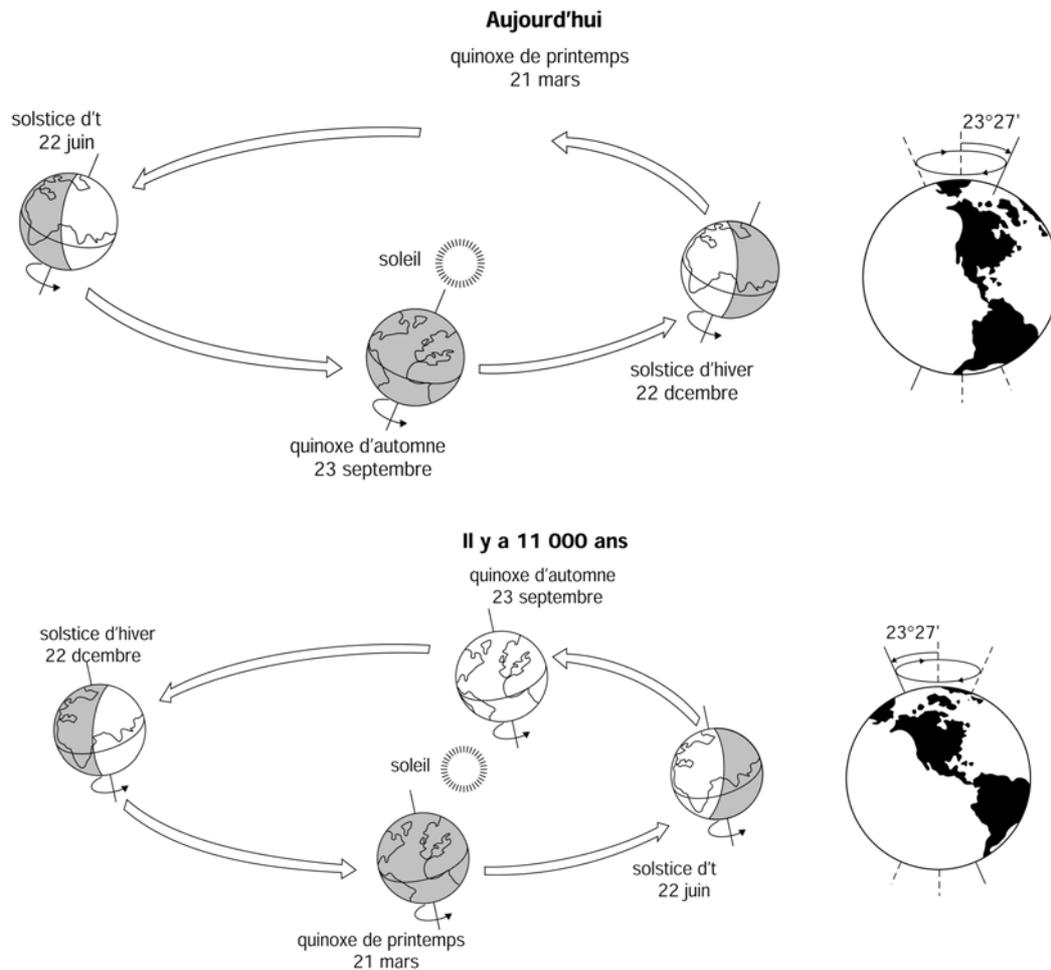
Bien avant que soit connu l'âge précis des glaciations successives, une théorie astronomique du climat avait été proposée dès la fin du siècle dernier. Cette théorie a surtout été développée par le mathématicien serbe Milutin Milankovitch à partir de 1924, d'où le terme de théorie de Milankovitch. Cette théorie est fondée sur le calcul des variations séculaires de l'ensoleillement des différentes régions de la Terre résultant, non pas de fluctuations du rayonnement émis par le Soleil, mais de l'évolution du mouvement de la Terre autour du Soleil.

Au cours d'une année, le mouvement de la Terre décrit une ellipse autour du Soleil. Si aucun astre autre que le Soleil n'exerçait de force d'attraction gravitationnelle sur la Terre, ce mouvement resterait identique au cours du temps. Mais la Lune et les autres planètes du système solaire perturbent le mouvement de la Terre.

Tous les paramètres orbitaux qui caractérisent ce mouvement sont affectés **[Figure 2]**. La forme de l'ellipse tout d'abord, caractérisée par le paramètre d'excentricité, varie d'un cercle parfait à une ellipse légèrement aplatie avec des périodes de 100 000 et 400 000 ans. Ensuite,

l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre) oscille entre  $22^\circ$  et  $25^\circ$  avec une périodicité de l'ordre de 41 000 ans. Ces oscillations modulent la quantité d'ensoleillement reçue aux différentes latitudes suivant les saisons, en particulier la durée de la nuit polaire aux latitudes les plus élevées.





Troisième mouvement, l'axe de rotation de la Terre tourne autour d'un axe perpendiculaire au plan de l'écliptique sous l'effet de l'attraction exercée par le Soleil et la Lune. La position des solstices et des équinoxes se déplace alors lentement le long de l'orbite avec des périodes de 23 000 et 19 000 ans, d'où la dénomination de précession des équinoxes. Or, en raison de la forme elliptique de l'orbite terrestre, la distance entre la Terre et le Soleil varie au cours de l'année et module légèrement l'énergie reçue, la quantité de rayonnement solaire interceptée par la Terre diminuant lorsque la distance augmente. Actuellement, dans l'hémisphère nord, la distance est minimale en hiver et maximale en été, et inversement dans l'hémisphère sud. Nous sommes dans une situation qui adoucit les hivers et refroidit les étés de l'hémisphère nord, alors qu'elle accroît les contrastes saisonniers de l'hémisphère sud. Au contraire, il y a environ 10 000 ans, la Terre passait par le point le plus proche du Soleil au moment du solstice d'été boréal et non au solstice d'hiver comme de nos jours. L'hémisphère nord recevait alors plus d'énergie solaire en été et moins en hiver.

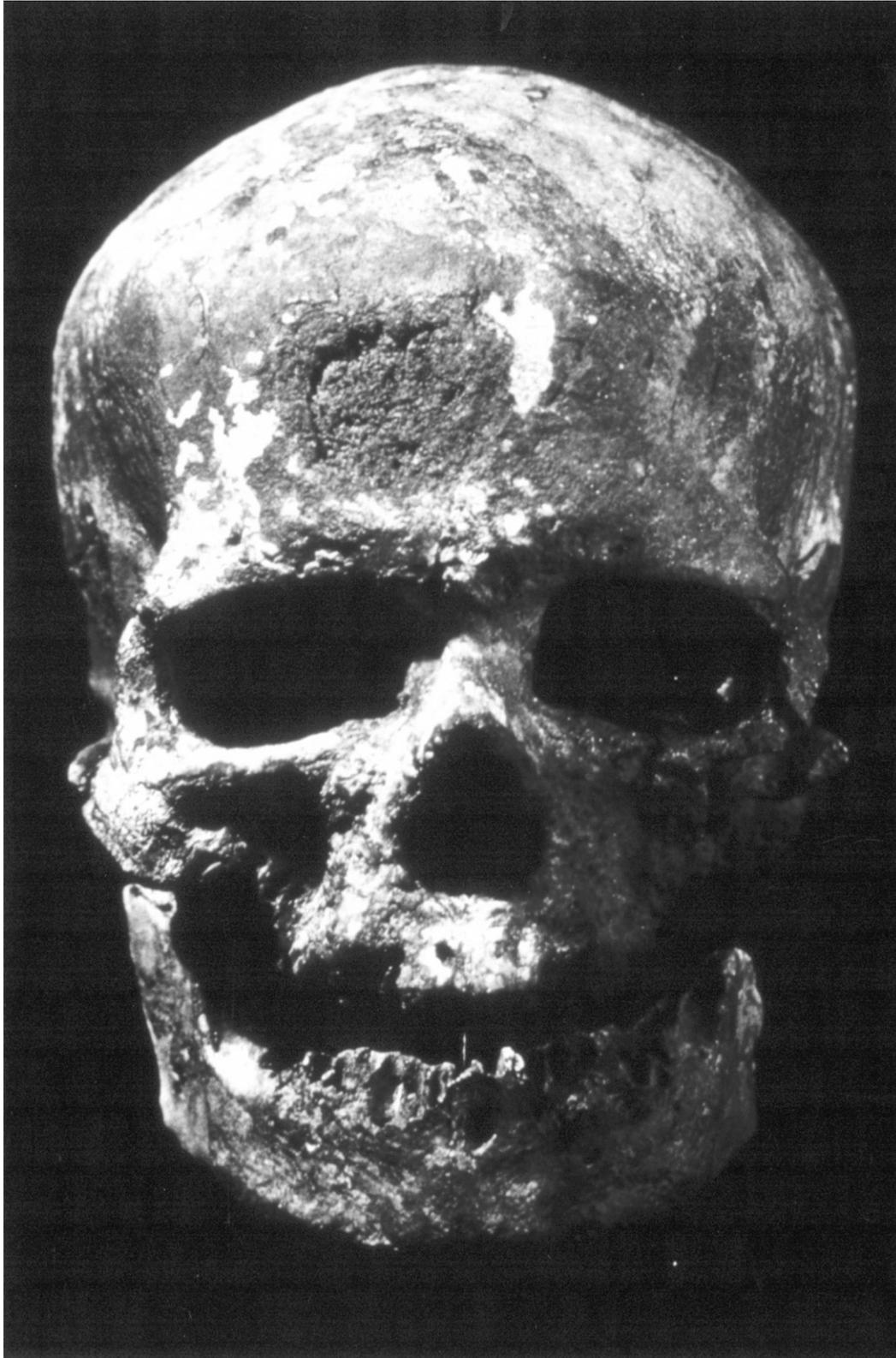
Ces variations du mouvement de la Terre autour du Soleil modulent légèrement la quantité d'énergie solaire reçue à chaque saison par la Terre. D'après Milutin Milankovitch, lorsque l'ensoleillement reçu pendant l'été sous les hautes latitudes de l'hémisphère nord diminue, la neige tombée en hiver ne fond plus complètement pendant l'été et commence à s'accumuler. Or la neige réfléchit fortement le rayonnement solaire ce qui tend à accentuer le refroidissement et permet d'enclencher une glaciation. C'est ainsi que nous sommes rentrés dans la dernière période glaciaire il y a 10 000 ans environ. Cette théorie a cependant

longtemps été contestée et n'a pu être confortée qu'en 1976 lorsque les enregistrements climatiques ont pu être suffisamment bien datés.

### **3. Les paysages de la glaciation**

Avec la glaciation, le climat change et façonne les paysages de la préhistoire. En Europe, les forêts cèdent la place à un paysage de steppe, dominé par la présence d'herbacées. Témoin, les pollens émis par les plantes. Conservés pendant des milliers d'années dans les sédiments qui s'accumulent au fond des lacs et des marécages, ils permettent d'identifier sans équivoque les plantes qui poussaient aux alentours. Or la végétation dépend fortement de la répartition saisonnière des températures et des pluies. En remontant à la végétation passée on peut estimer les conditions climatiques qui régnaient à l'époque, à condition cependant qu'il existe actuellement un analogue de cette distribution passée permettant d'établir la relation climat-type de végétation.

En Europe, le changement de paysage se produit il y a environ 80 000 ans, pour atteindre le paroxysme de la glaciation, il y a environ 20 000 ans **[Figure 3]**. En France, les paysages devaient ressembler à ceux de la Laponie actuelle, avec des températures plus froides de 10 à 15°C par rapport à nos jours, voire plus en hiver, et un climat plus sec.

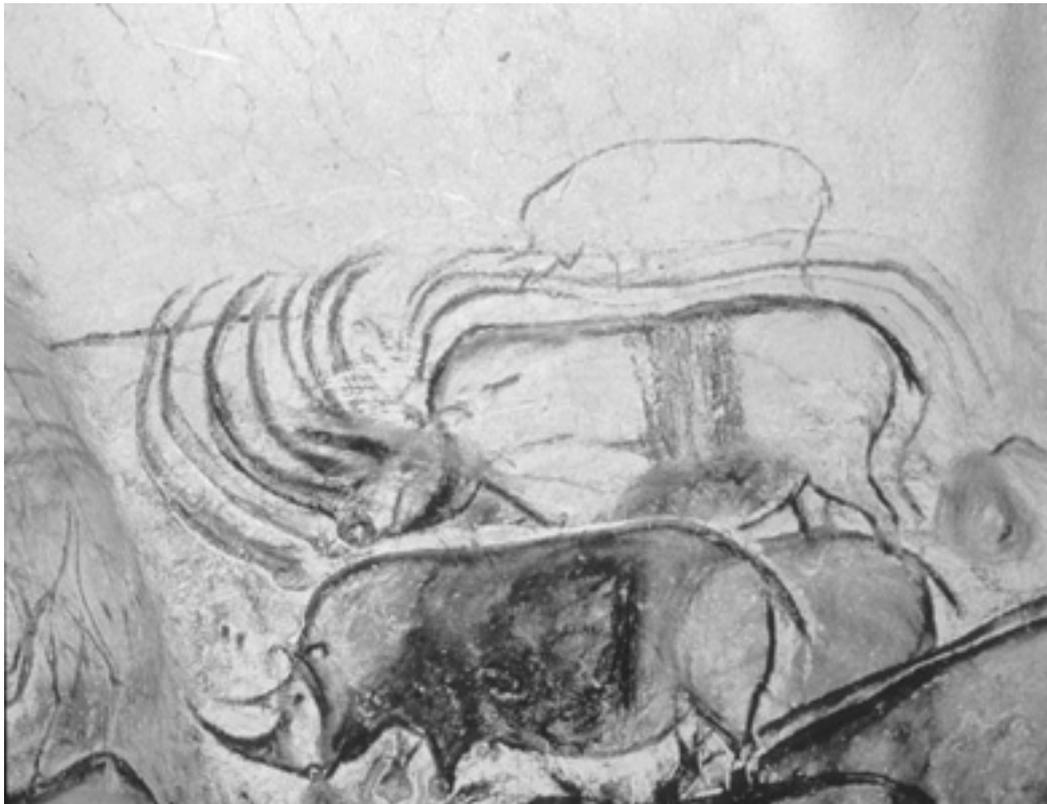


Ces climats rudes étaient cependant favorables aux animaux herbivores comme les rennes et les mammouths, assurant une subsistance aisée des chasseurs-cueilleurs de la préhistoire, hommes de Neandertal puis hommes modernes (homo sapiens sapiens dont l'homme de Cro-Magnon est un représentant) **[Figure 3]**.

Ces glaciations ont cependant isolé l'Europe du reste du monde : elles ont probablement favorisé le développement de l'homme de Neandertal. Ce dernier, très trapu, présente une

morphologie ressemblant davantage aux esquimaux qu'aux autres types de population actuelle, en particulier en ce qui concerne le rapport de proportion entre les membres et le tronc. Les hommes, arrivés en Europe il y a moins d'un million d'années, pourraient s'être progressivement adaptés aux conditions climatiques froides des glaciations successives et avoir conduit à l'homme de Neandertal, que l'on retrouve essentiellement en Europe à partir de 130 000 ans, sous une forme archaïque. Il disparaît il y a 30 000 ans, au paroxysme de la dernière glaciation pour des raisons encore inexplicées mais qui pourraient être liées à la compétition avec l'homme moderne dans les conditions climatiques très rudes du maximum de la glaciation.

L'homme moderne arrive tard en Europe. Il envahit l'Europe d'est en ouest, il y a environ 45 000 à 40 000 ans alors qu'il est déjà présent au Moyen Orient il y a 80 000 à 100 000 ans. Au même moment, le climat connaît un léger redoux, marqué par une recrudescence des pollens d'arbres [Figure 3], ce qui pourrait avoir facilité l'arrivée de l'homme moderne depuis le Moyen Orient. Avec lui, se développent les activités artistiques. Gravures, sculptures, peintures ornent les murs de nombreuses grottes, en France et en Espagne. Il peint surtout des animaux, bisons, mammouths, chevaux, voire pingouins, félins ou rhinocéros découverts récemment dans les grottes Cosquer et Chauvet dans le sud de la France. Par contre, il représente très peu de rennes qu'il consomme pourtant abondamment. Cette richesse artistique de la "civilisation du renne" remonte au moins à 30 000 ans, comme en témoigne la grotte Chauvet [Figure 4], mais décline avec la fin de la glaciation. Tous les grands mammifères, mammouths, rhinocéros laineux, mégacéros disparaissent également à cette époque pour des raisons encore mal connues.



Avec la glaciation, le niveau de la mer se retrouvait abaissé de 120 mètres environ, modifiant le contour des continents et créant des passages entre continents. Par exemple, la grotte Cosquer, près de Marseille, se trouvait à l'air libre, permettant son occupation par les hommes. Le détroit de Béring était également à sec, permettant la traversée des hommes et

des animaux entre l'Asie et l'Amérique. Le peuplement de l'Amérique, généralement situé il y a 15 000 ans pourrait cependant avoir eu lieu plus tôt, il y a 30 à 40 000 ans d'après des datations obtenues en Amérique du Sud, ce qui ne remet pas en cause un passage par le Détroit de Béring dans la mesure où un abaissement du niveau de la mer de 40 mètres suffit pour créer un pont naturel entre les deux continents.

#### **4. Un climat glaciaire très instable**

Mais il ne faut pas pour autant imaginer un climat glaciaire identique pendant des dizaines de milliers d'années. Les études des dix dernières années à partir des forages dans les glaces du Groenland et les sédiments marins de l'Atlantique Nord nous présentent une image d'un climat glaciaire très variable en température. Au cœur de ces analyses, on trouve toujours l'oxygène 18 dont la proportion dans les glaces varie suivant la température. Plus le climat est froid, plus la vapeur d'eau qui s'est évaporée sur les océans a subi de condensations dans son transport des tropiques vers les hautes latitudes, s'allégeant à chaque fois en isotopes lourds.

Tous les 7000 à 10000 ans, les glaces du Groenland indiquent un brusque réchauffement de 7 à 10°C en quelques dizaines d'années. Juste avant, lorsque le froid atteint son maximum, les sédiments de l'Atlantique Nord témoignent d'une arrivée massive d'icebergs depuis la calotte Laurentide. Ces événements, découverts par Hartmut Heinrich en 1988, se manifestent par un changement radical dans la composition du sédiment dans lequel des débris rocheux remplacent les squelettes calcaires des faunes planctoniques composant habituellement le sédiment. Les glaces du Groenland montrent que de tels réchauffements se produisent également tous les 1 500 à 2 000 ans, mais plus atténués. Ces événements, dits de Dansgaard-Oeschger, du nom des scientifiques qui les ont mis en évidence, semblent être aussi associés à des débâcles d'icebergs mais en provenance de la calotte scandinave. Les mécanismes qui engendrent ces successions de changements rapides du climat dans l'Atlantique nord restent encore mal compris. Dans ce cas, les changements d'ensoleillement ne peuvent être mis en cause et nous faisons face à une interaction complexe entre l'atmosphère, les océans et les calottes de glace. Il semble que l'arrivée massive d'icebergs bloque, ou du moins affaiblit, la circulation océanique, en particulier le Gulf Stream. Lorsque celle-ci redémarrerait, elle entraînerait brusquement vers les hautes latitudes nord une quantité importante de chaleur restée stockée dans les tropiques.

Quelles répercussions ces événements ont-ils eu sur le climat de l'Europe et la vie des hommes préhistoriques ? Les pollens indiquent des variations de climat mais la correspondance avec les événements de Heinrich et de Dansgaard-Oeschger reste à clarifier. La grotte de Lascaux, par exemple, a été peinte il y a environ 17 000 ans pendant un redoux du climat. Ce redoux résulte-t-il de ces événements abrupts enregistrés dans l'Atlantique Nord et ceux-ci ont-ils joué un rôle favorable dans le développement de l'art, autant de questions passionnantes qui restent à résoudre.

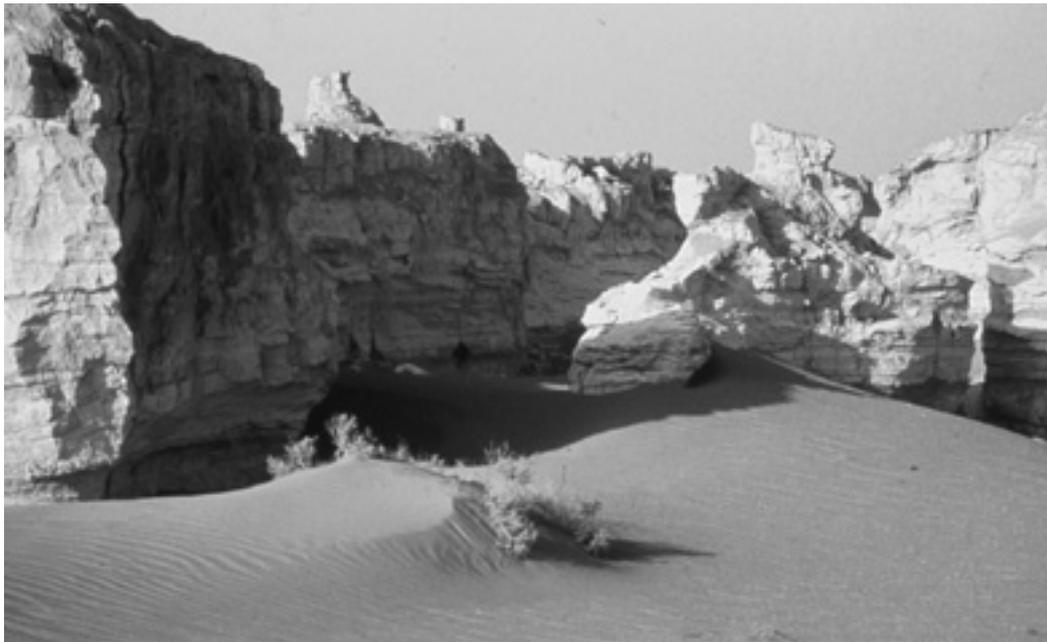
#### **5. L'Holocène, notre interglaciaire**

A partir de 15000 ans s'amorce la déglaciation et la remontée du niveau des mers. Il y a 10 000 ans débute notre interglaciaire, l'Holocène, marqué par des conditions climatiques beaucoup plus stables que celles du climat glaciaire, ce qui a pu aider au développement des civilisations.

Avec le redoux, les forêts commencent à envahir à nouveau l'Europe. C'est à cette époque que se développe l'agriculture au Moyen Orient. Sous un climat propice aux céréales,

l'homme commence à domestiquer sa nourriture, cultivant les céréales sauvages. En Europe la révolution du Néolithique apparaît plus tardivement, s'établissant progressivement par l'est, entre 8000 et 6000 ans, stimulée par une recherche de la nourriture rendue difficile pour les chasseurs dans un environnement de forêts.

Les variations du climat sont également très importantes au début de l'Holocène au nord de l'Afrique. Il y a 6 à 8000 ans, le Sahara connaît une période pluviale marquée. En plein cœur du désert actuel coulent des rivières et vivent des populations nomades. En témoignent de nombreuses peintures rupestres, des ossements d'éléphants, de girafes et même d'hippopotames, ainsi que des sédiments déposés au fond d'anciens lacs complètement asséchés aujourd'hui [Figure 5].



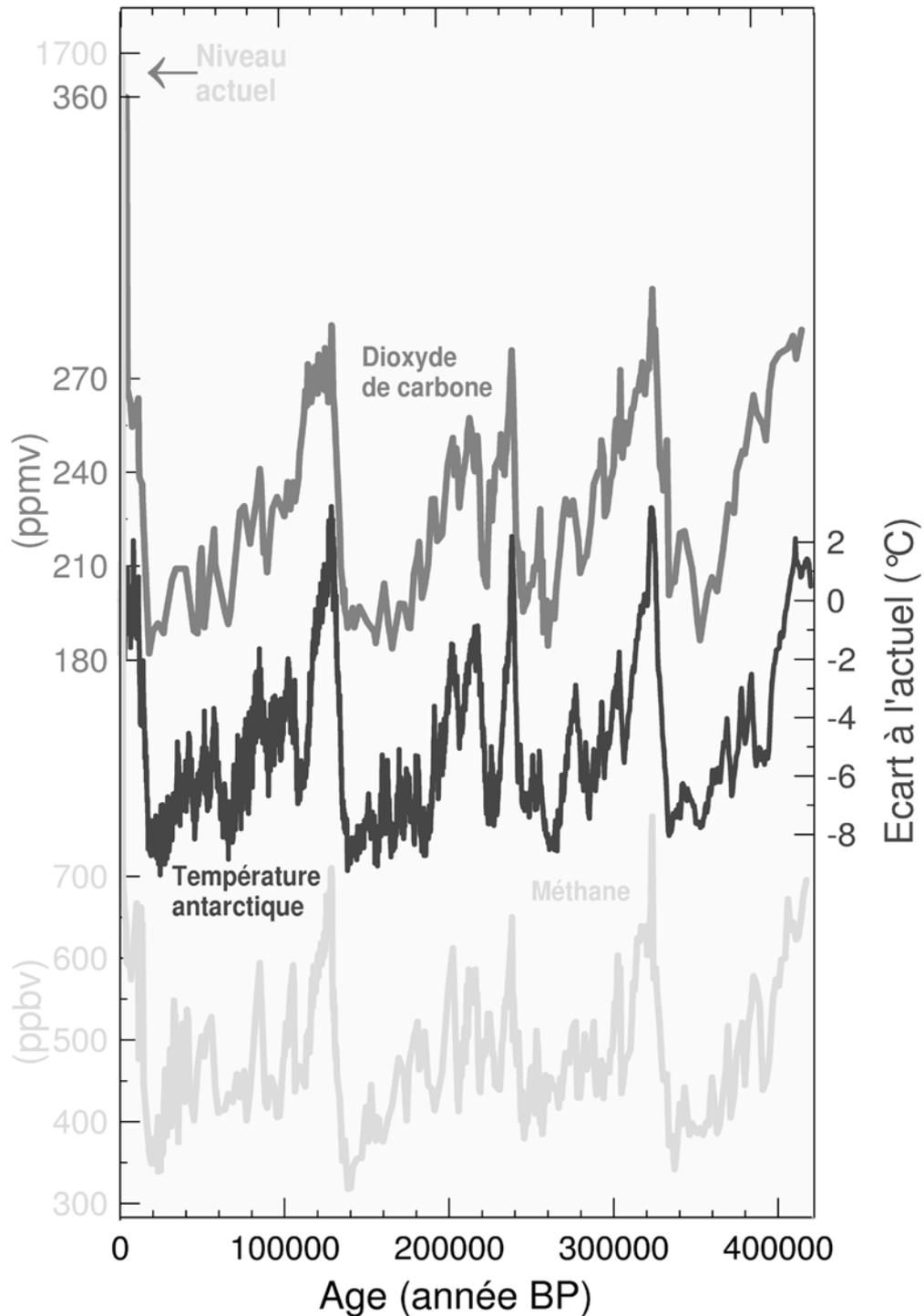
Cette période humide est une conséquence directe des changements d'insolation dus aux variations lentes du mouvement de la Terre autour du Soleil, comme l'ont démontré les modèles de climat. Ainsi, suivant le rythme de précession des équinoxes tous les 20 000 ans environ, les pluies de mousson en Afrique mais également en Inde s'intensifient. En effet, grâce à un apport d'énergie solaire plus important, les étés plus chauds favorisent la pénétration d'air marin sur les continents et permettent d'apporter des pluies dans des régions arides aujourd'hui, illustrant à quel point l'astronomie peut modifier notre climat. Cependant, les fortes pluies s'arrêtent brusquement il y a environ 4 à 5000 ans. Lorsque le désert reprend le dessus, il refoule les populations vers des contrées plus clémentes, telles que les rives du Nil.

## **6. L'homme, un nouvel acteur du climat**

Si les climats du passé semblent avoir joué un rôle dans l'évolution de l'homme et de son mode de vie, nous atteignons actuellement une nouvelle étape. L'homme devient lui-même un acteur dans l'évolution du climat. Par la démographie et le développement économique, il modifie à l'échelle de toute la planète la composition de l'atmosphère en injectant d'importantes quantités de gaz à effet de serre.

Ces modifications sont aussi importantes, voire plus fortes, que les variations naturelles de ces gaz au cours des cycles glaciaires, mais se produisent à un rythme beaucoup plus rapide **[Figure 6]**. Témoin, les bulles d'air emprisonnées dans les glaces de l'Antarctique. Au fur et à mesure que la neige se tasse et se transforme en glace, elle piège des bulles d'air microscopiques dont l'analyse nous offre un moyen unique pour déterminer la composition de l'air du passé. Ainsi, en plein cœur de l'Antarctique, le forage de la station de Vostok a permis de révéler 400 000 ans de l'histoire des variations naturelles de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et de méthane (CH<sub>4</sub>). Ces archives glaciaires montrent que gaz à effet de serre et climat ont varié de concert au cours des cycles glaciaire-interglaciaires. Ces variations de gaz à effet de serre ne sont pas une cause des glaciations mais une conséquence. Cependant, elles amplifient les changements provoqués par l'astronomie, renforçant l'effet de serre en période chaude et l'atténuant en période froide.

D'après Petit et al.,  
Nature 399, 429-436, 1999



Tout récemment l'homme, par l'accroissement de la population et le développement industriel, a également modifié la composition de l'atmosphère. Il a injecté autant de gaz carbonique en 200 ans que la nature en plusieurs milliers d'années. Son impact sur le méthane est encore plus important. Or ces changements de composition de l'air provoquent un effet de serre additionnel qui, d'après les prévisions actuelles, va entraîner un réchauffement du climat. On s'attend en 2100 à environ deux degrés de réchauffement à l'échelle de la planète. Ceci représente un changement important au regard de l'histoire

passée de la Terre, où l'on estime à seulement cinq degrés le refroidissement global moyen au paroxysme de la dernière glaciation. En retour, ce réchauffement pourrait bien avoir d'importantes conséquences sur notre vie et provoquer de grands bouleversements.

Remerciements : je remercie Hélène Valladas pour les discussions que nous avons eues sur la préhistoire et tous les documents qu'elle a mis à ma disposition.

## **Bibliographie**

### **Articles de vulgarisation**

Bar-Yosef Ofer et Berbard Vabdermeersch, Les hommes modernes au Moyen-Orient, Dossier sur les origines de l'humanité, Pour la Science, pp 102-108, janvier 1999.

Clottes Jean, Les grottes peintes du Paléolithique, Dossier sur les origines de l'humanité, Pour la Science, pp 126-132, janvier 1999.

Hublin Jean-Jacques, Climat de l'Europe et origine des Néandertaliens, Dossier sur les origines de l'humanité, Pour la Science, pp 82-88, janvier 1999.

Hublin Jean-Jacques, Derniers Néandertaliens et premiers Européens modernes, Dossier sur les origines de l'humanité, Pour la Science, pp 110-118, janvier 1999.

Joussaume, Sylvie et Joël Guiot, Reconstruire les chauds et froids de l'Europe, La Recherche, pp 54-59, juin 1999

Labeyrie Laurent et Jean Jouzel, Les soubresuats millénaires du climat, La Recherche, pp 60-61, juin 1999.

### **Ouvrages généraux :**

Joussaume, Sylvie, « Climat, d'hier à demain », CNRS Editions, nouvelle édition, 2000.

Magny Michel, « Une histoire du climat », éditions Errance, 1995

Duplessy, Jean Claude, « Quand l'océan se fâche, histoire naturelle du climat », Editions Odile Jacob, 1996.

Labeyrie, Jacques, « L'homme et le climat », Points Sciences, 1993.

Leroi-Gourhan, André, « Les chasseurs de la préhistoire », Editions Métailié, 1992.

Lorius, Claude, « Glaces de l'Antarctique, une mémoire, des passions », Editions Odile Jacob, 1991.

« Les premiers hommes, des origines à 10 000 ans avant Jésus Christ », Bordas, 1993

Imbrie John et Katherine Imbrie, « Ice ages, solving the mystery », Harvard University Press, 1979

« The Cambridge encyclopedia of archeology », Cambridge University Press, 1980

### **Illustrations**

Figure 1 : le climat du dernier million d'années a été marqué par une succession de glaciations, comme en témoignent les fossiles calcaires retrouvés au fond des sédiments (à gauche) dont la composition isotopique retrace l'histoire des variations du volume des glaces accumulées sur les continents (à droite) (extraits de « Climat, d'hier à demain », S. Joussaume).

Figure 2 : Les variations lentes du mouvement de la Terre autour du Soleil sont le moteur des glaciations : variations de la forme de l'orbite terrestre avec une période de 100 000 et 400 000 ans ; oscillations de l'axe de rotation de la Terre entre 22 et 25° avec une période de 41 000 ans ; rotation de l'axe de rotation de la Terre autour d'un axe perpendiculaire au plan de l'écliptique, modulant la distance Terre-Soleil au cours des saisons. Il y a 11 000 ans la Terre

passait plus près du Soleil au solstice de l'été boréal alors qu'actuellement elle passe au plus près au solstice de l'hiver boréal ) (extraits de « Climat, d'hier à demain », S. Joussaume).

Figure 3 : Le climat dans les Vosges au cours du dernier cycle climatique. Au cours du dernier cycle glaciaire-interglaciaire (courbe du haut), le climat a varié comme en témoigne l'analyse des pollens extraits du forage dans les tourbes de la Grande Pile dans les Vosges (courbes du bas). Les pollens montrent l'invasion par la steppe (herbacées) en période glaciaire et le recul des forêts (pollens d'arbres autres que les pins) (Données du Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, CNRS, Marseille). Ces conditions climatiques ont jalonné l'histoire de l'homme, homme de Néandertal de La Chapelle aux Saints et homme moderne de Cro-Magnon (clichés Laboratoire d'Anthropologie, Musée de l'Homme, Paris).

Figure 4 : Peinture de la grotte Chauvet, située à Vallon-Pont-d'Arc en Ardèche. Dernière découverte, ses peintures remontent à 30 000 ans (cliché Cliché Ministère de la Culture et de la Communication, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Rhône-Alpes, Service Régional de l'Archéologie )

Figure 5 : En plein cœur du Sahara, on trouve actuellement des buttes calcaires qui se sont formées au fond de lacs il y a 6 à 8000 ans, au moment où le Sahara connaissait une période plus humide (Photo Nicole Petit Maire, CNRS).

Figure 6 : Les glaces prélevées à la station de Vostok, en Antarctique, ont permis de mesurer les variations naturelles de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>, courbe du haut) et de méthane (CH<sub>4</sub>, courbe du bas). Ces variations suivent les changements de température estimés à partir des isotopes de l'eau (courbe du milieu). Tout récemment, l'homme par sa croissance démographique et le développement industriel a modifié la teneur dans ces gaz comme en témoigne le niveau atteint actuellement (sur la gauche) (graphique Jérôme Chappellaz, CNRS, Laboratoire de Glaciologie de Grenoble).