



PHYSIQUE DU CLIMAT

1. Le climat et les mouvements de la Terre



Ivar Ekeland et Aïcha Ben Dhia, co-auteur.e.s, ont souhaité faire de cette leçon un bien commun en le plaçant sous licence libre *Creative Commons CC-BY-SA 4.0*. Cela signifie que vous pouvez réutiliser, distribuer, citer, modifier et adapter les contenus de cette leçon comme bon vous semble, y compris à des fins commerciales, tant que :

- 1) Vous l'attribuez de la manière suivante : *“Ivar Ekeland et Aïcha Ben Dhia, avec le soutien de l'Université Paris-Dauphine, la Fondation Madeleine et la société 2050”* ;
- 2) Le contenu que vous créez sur la base de celui-ci est placé sous une licence similaire, c'est-à-dire qu'il n'interdit à personne de réutiliser vos améliorations.

Pour plus de détails, nous vous invitons à consulter la licence complète :
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>

Cette licence ne concerne toutefois pas les illustrations en couverture de chaque leçon ou les travaux référencés, qui demeurent placés sous leur mention légale d'origine.

Introduction

« Il y a deux découvertes fondamentales de la science. La première, c'est que la Terre est ronde, la deuxième c'est qu'elle tourne autour du Soleil. On sait que la Terre est ronde depuis l'Antiquité, mais il a fallu attendre le 16^{ème} siècle pour savoir qu'elle tourne autour du Soleil. Une fois qu'on a compris ces deux mouvements, on a pu en déduire beaucoup de choses sur notre planète.

On a pu, par exemple, expliquer l'alternance des saisons, des étés chauds aux hivers froids, à cause de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport à son plan de rotation, qui fait qu'on ne reçoit pas les rayons du soleil avec le même angle suivant qu'on est d'un côté ou de l'autre de l'orbite. On va revoir ça dans le cours...

Mais on peut aussi expliquer bien d'autres choses encore, comme le régime des vents, indispensable pour naviguer, pour prévoir la météo du jour et pour comprendre... les variations du climat qui nous attendent !

Car le climat change. Si on remonte très loin dans l'histoire de la Terre, on sait qu'il a énormément changé. Pour vous donner une idée de l'ampleur de ces changements, il y a 120 000 ans, New York était sous la banquise !

Le climat changera aussi certainement dans le futur lointain. Ces changements sont liés à des modifications de l'orbite terrestre.

Alors, pourquoi s'inquiéter si le climat change en ce moment ?

C'est qu'il change très vite, beaucoup trop vite. Jusqu'à présent, les changements étaient graduels, car ils suivaient les modifications très lentes de l'orbite terrestre. Ces modifications prennent des dizaines de milliers d'années. Cela laissait aux êtres vivants le temps de s'adapter.

Mais les changements que nous observons aujourd'hui sont concentrés sur quelques dizaines d'années, et les conséquences sont très différentes. C'est un peu comme si vous étiez dans une voiture qui roule à 100 km/h et qui doit s'arrêter : est-ce que vous allez vivre la même expérience si on vous donne 1000 mètres pour freiner, ou 1 mètre ? Dans le premier cas c'est un freinage, dans le second c'est un crash. Il est important que vous gardiez en tête ces ordres de grandeur pour les leçons qui nous attendent car c'est exactement ce qui se passe avec le changement climatique. »

Objectifs de la leçon

À l'issue de cette leçon, vous serez capable de :

- Décrire les deux mouvements astronomiques qui déterminent le climat
- Définir l'atmosphère
- Nommer les trois composantes principales de climat
- Connaître la différence entre météo et climat
- Nommer la méthode permettant de connaître le climat passé sur Terre
- Donner les échelles de temps des changements climatiques passés et en déduire que les changements climatiques qui ont lieu depuis deux siècles ne peuvent pas être dus à l'astronomie



Le mouvement autour du soleil et le cycle des saisons

1.1. Les deux rotations de la Terre

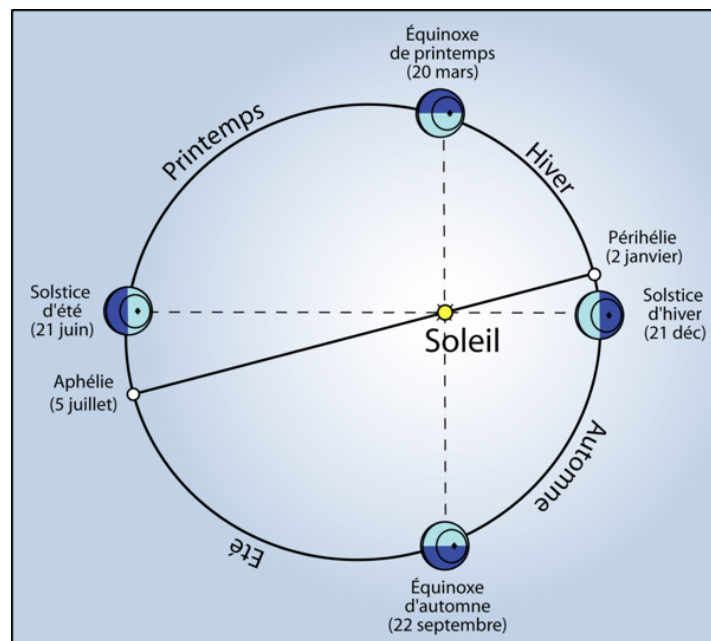
La Terre est animée par deux mouvements principaux. D'une part, elle tourne autour du Soleil. Sa trajectoire est plane (pas comme un papillon de nuit qui tourne autour d'une ampoule en montant et descendant sans cesse).

Au XVI^e siècle, Kepler (1571-1630) découvre que cette trajectoire n'est pas exactement un cercle mais une ellipse, ce qui veut dire qu'il y a un point qui est le plus proche du Soleil, et un point qui est le plus éloigné. Le temps que la Terre met à parcourir l'ellipse est l'année. D'autre part, elle tourne sur elle-même. L'axe de cette rotation passe par les pôles.

Le temps qu'elle met à effectuer une rotation complète est la journée. Chacun de ces mouvements est simple. Si on considère leur combinaison, cela commence déjà à se complexifier.

Pourquoi avons-nous des saisons ? Parce que l'**axe de rotation** de la Terre n'est pas vertical. Il garde toujours la même direction dans l'espace, et cette direction fait un angle d'environ 23° avec la verticale. De ce fait, pendant la moitié de l'année, un des hémisphères sera penché vers le Soleil, et durant l'autre moitié, ce sera l'autre.

Les saisons sont certainement l'exemple qui nous est le plus familier de la dépendance du climat aux mouvements astronomiques.



Rotation de la Terre autour du Soleil et alternance des saisons dans l'hémisphère Nord]

Source : www.soutien.profexpress.com

1.2. L'atmosphère

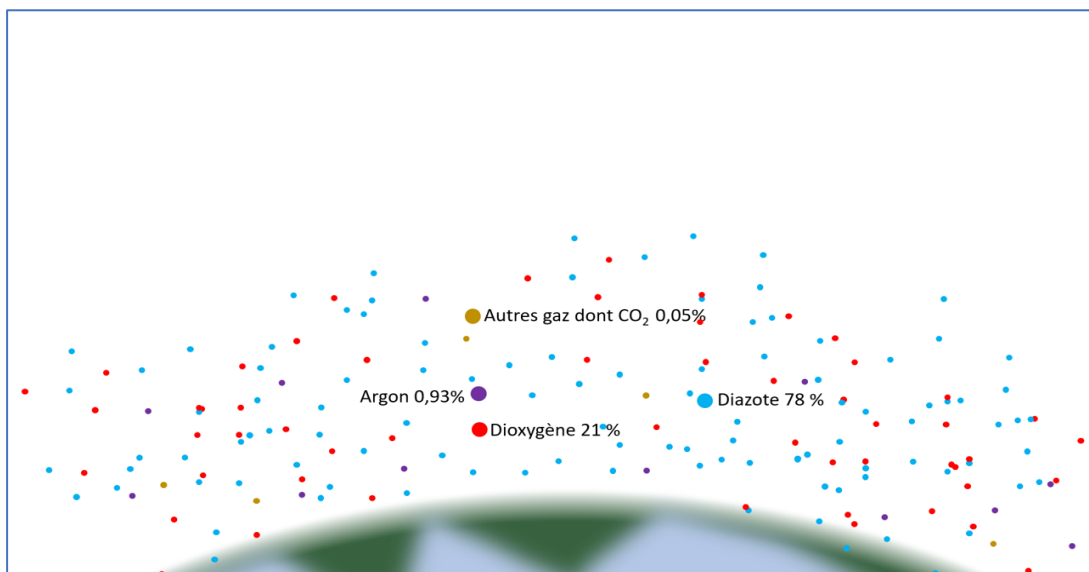
Il faut introduire un dernier facteur-clé pour comprendre le climat. Quelques indices : elle est constituée de molécules en suspension, principalement de diazote (duos d'atomes d'azote), d'une part non négligeable de dioxygène (duos de deux atomes d'oxygène) mais aussi de molécules d'eau, de dioxyde de carbone, de méthane...

Eh oui ! C'est **l'atmosphère**.

L'atmosphère est une couette gazeuse qui entoure la Terre, constituée à 78% de molécules de diazote, à 21% de dioxygène, 0,93% d'argon, et moins de

0,05% d'autres gaz comme le dioxyde de carbone (le fameux CO₂).

Beaucoup de planètes du système solaire ont des atmosphères. Mais leurs compositions sont très différentes de celle de la Terre. Par exemple, l'atmosphère de Mars contient principalement des molécules de dioxyde de carbone et presque pas du tout de dioxygène. Celle de Vénus est surtout faite de dioxyde de carbone. Sur l'une comme sur l'autre, impossible aux animaux terrestres de respirer.



En résumé

Atmosphère, rotation de la Terre autour du Soleil, et rotation inclinée de la Terre sur elle-même : voilà les facteurs astronomiques qui déterminent le climat terrestre.

2

Le brassage de l'atmosphère par les vents

Si vous demandez la météo de demain à Paris, quelles informations souhaitez-vous obtenir exactement ? La **température** au sol bien sûr. C'est le premier élément de la météo. Quel est le second ? Le **vent**.

Qu'est-ce que le vent ? Rien d'autre que les fameuses molécules en suspension (diazote, dioxygène...) qui se déplacent ensemble dans l'atmosphère. Mais cela, nous direz-vous, ne dépend pas des mouvements astronomiques ! Et pourtant si.

Si l'on monte dans un satellite et qu'on observe les grands déplacements d'air à l'échelle planétaire pendant une année, on va s'apercevoir qu'il y a une **grande régularité** et que ces déplacements peuvent être expliqués par les mouvements astronomiques de la Terre.

Vous aussi, vous connaissez certainement des mouvements d'air réguliers et prédictibles.

Dans un sauna par exemple, est-ce que l'air chaud monte ou est-ce qu'il descend ? Il monte !

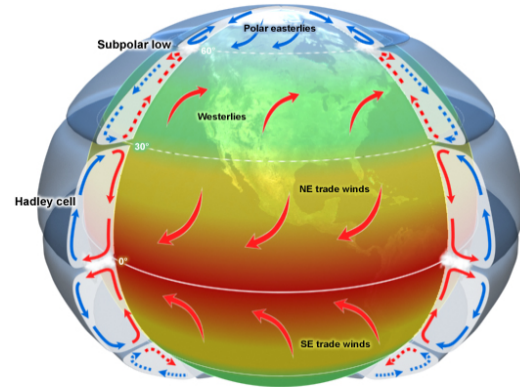
Et lorsque vous faites bouillir de l'eau liquide dans une casserole (c'est-à-dire qu'en chauffant des molécules d'eau sous forme liquide, vous les faites passer sous forme gazeuse), que se passe-t-il ? Les molécules se détachent les unes des autres et l'eau liquide se transforme en eau gazeuse, aussi appelée vapeur d'eau. Dans quelle direction vont ces molécules d'eau sous forme gazeuse ? Vers le haut ! Car dans un gaz, ce qui est chaud monte et ce qui est froid descend.

Voici un dernier exemple pour illustrer l'importance de la rotation de la Terre sur le sens des vents : si vous tenez votre casserole bouillante sur le bord d'un manège qui tourne vite, est-ce que la vapeur d'eau qui se dégage en hauteur va vous chauffer les yeux ou bien viendra-t-elle se déposer sur le visage de votre voisin de derrière ? À cause du manège qui tourne, elle va atterrir sur la personne derrière vous dans le manège.

Ce genre de règles mécaniques s'applique aussi à l'échelle planétaire (les courants d'air chaud montent, ils sont déviés vers l'Ouest car la Terre tourne comme un manège d'Est en Ouest, etc.). Cela explique pourquoi les vents soufflent régulièrement d'un point à l'autre du globe.

La figure suivante donne une représentation schématique du régime des vents sur la Terre, avec

les flux chauds en rouges et les flux froids en bleus. L'essentiel ici n'est pas de connaître chacun des mouvements mais de comprendre que ces mouvements d'air sont aussi prédictibles et réguliers que l'air chaud qui monte dans un sauna.



Orientation des vents atmosphériques

Source : The COMET Program

Arrêtons-nous un instant pour noter un second point capital. Cette figure montre que l'atmosphère terrestre est **brassée en permanence**. Cela veut dire que si l'on envoie une molécule persistante en suspension dans l'atmosphère, elle restera en suspension mais ne restera pas sur place. Elle sera déplacée d'un point à l'autre du globe au gré des vents.

Ainsi si une entreprise émet du CO₂, le gaz émis ne stagne pas au-dessus d'elle. Si tel était le cas, elle en souffrirait elle-même, et elle prendrait sans doute bien vite les mesures nécessaires pour y remédier. C'est parce que le gaz est dispersé qu'elle peut le négliger et le laisser se répandre sur la planète. Faute d'être réglé localement, la pollution devient alors un problème global.

Pour en savoir plus sur les alizés

C'est parce que la Terre tourne sur elle-même qu'il y a des vents d'Est à l'équateur. Ce sont ces vents (qu'on appelle les alizés), très constants en force et en direction, bien connus des navigateurs, qui ont poussé Christophe Colomb vers l'Amérique. Ils sont là parce que l'air chaud de l'équateur monte et en montant il se refroidit. Chassé par les courants chauds qui continuent de remonter de l'Équateur, l'air s'éloigne vers les tropiques : soit au Nord, soit au Sud. Et en se refroidissant, il commence à retomber.

Une navigatrice voguant dans la partie Nord de l'Océan atlantique voit donc arriver une colonne d'air froid qui retombe. Mais la Terre, comme le manège, tourne sur elle-même. Ce flux d'air froid va donc arriver sur le visage de la navigatrice en venant... de l'Est ! C'est « l'effet manège ».

En poussant le raisonnement, on peut montrer que les vents au-dessus des tropiques vont se structurer d'une certaine façon, prédictible et régulière. Ainsi, par exemple, l'anticyclone des Açores est une conséquence de la rotation de la Terre.

En résumé

Les vents terrestres sont régis par les mouvements astronomiques de la Terre. Ils suivent des déplacements prédictibles et réguliers.

L'atmosphère est brassée en permanence : toute molécule qui se maintient en suspension voyage d'un point à l'autre du globe.

3

L'eau

Température au sol, force et direction des vents. Que manque-t-il à ce bulletin météo pour savoir si vous devez organiser un pique-nique ou une sortie au cinéma ?

L'eau bien sûr !

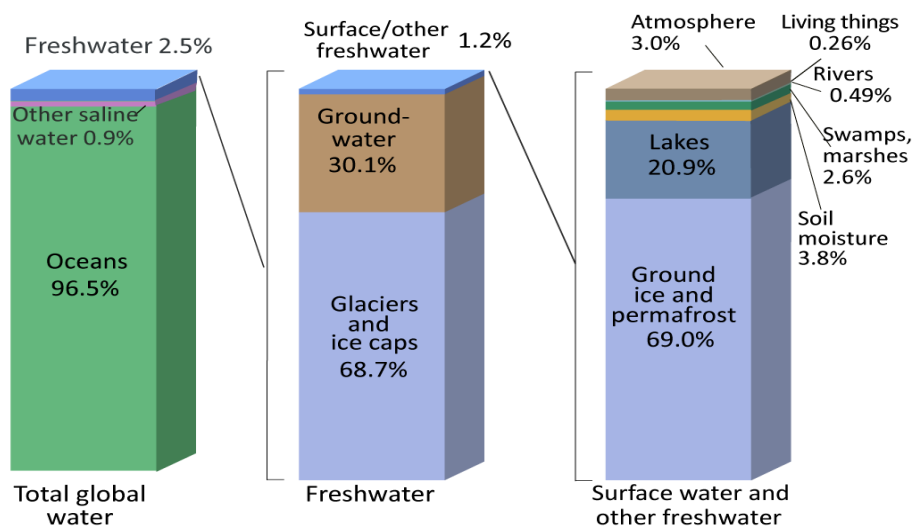
L'eau, c'est-à-dire : les nuages, la pluie, la neige, la grêle, la glace. La planète Terre est la seule du système solaire où les températures sont assez clémentes pour que l'on y trouve l'eau sous ses trois formes : solide, liquide, gazeuse. L'immense majorité de l'eau sur Terre se trouve sous forme liquide, dans l'océan (97%), dans les rivières, dans la végétation et le sol. Elle se trouve ensuite sous forme solide, dans

les calottes glaciaires (2%) c'est-à-dire essentiellement la banquise.

Il y en a moins de 0,001% sous forme gazeuse : c'est la **vapeur d'eau** de l'atmosphère.

Elle représente une proportion infime de l'eau présente sur la Terre, mais elle joue un rôle capital pour le climat local, comme nous le verrons plus tard.

Pour l'instant, contentons-nous de constater qu'elle est extrêmement visible, sous forme de nuages ou de précipitations, et que l'humidité est, avec la température et les vents, la troisième donnée essentielle de la météorologie.



Where is Earth's water?

Source: Igor Shiklomanov dans "Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources.", Peter H. Gleick

4

Le climat

Température, humidité, vent en un point donné à un instant donné : voilà les trois composantes de la **météo**.

Ces composantes varient d'instant en instant et de place en place. Mais si vous enregistrez ces variations sur plusieurs journées, et cela pendant des mois, vous verrez qu'elles suivent des **cycles périodiques**. La plupart de ces cycles nous sont devenus très familiers (on sait tous que dans l'hémisphère Nord, il fait quasiment toujours plus

chaud en juillet qu'en mars, et en mars qu'en décembre ; ou bien encore qu'il pleut plus en novembre qu'en juin).

C'est pourquoi on peut faire des moyennes sur plusieurs années et parler du « **climat** » d'un endroit donné sans spécifier une année en particulier. Ces **moyennes** sont en général prises sur trente ans, et dépendent de l'endroit où l'on se place.

Ce sont ces moyennes de températures, vents et précipitations qui constituent le « climat ».

En résumé

Une très faible proportion de l'eau sur terre est sous forme gazeuse, en suspension dans l'atmosphère (nuage, humidité, brouillard), mais elle joue localement un rôle important sur le climat.

Le climat en un point est la donnée moyenne de la température, des vents et des conditions d'humidité en ce point. Les moyennes sont généralement faites sur trente années d'observation.

5

Les changements climatiques au cours de l'histoire de la Terre

5.1. Le climat change. Comment le sait-on ?

Logiquement, si les facteurs astronomiques, comme l'orbite terrestre ou l'inclinaison de l'axe, changent, le climat change.

A l'heure actuelle, l'orbite terrestre est une ellipse presque circulaire : si elle s'aplatit et si les solstices se rapprochent du Soleil, alors les hivers s'en éloigneront, et on aura des étés plus chauds et des hivers plus froids. De même, si l'axe s'écarte davantage de la verticale, les jours d'été rallongeront et les jours d'hiver raccourciront car les saisons seront encore plus marquées.

Effectivement, tous ces facteurs changent, suivant des cycles réguliers : de l'ordre de 400 000 ans pour l'orbite, de 40 000 pour l'inclinaison, et de 26 000 pour les solstices. Naturellement, le climat change avec. Comment le prouve-t-on ? Comment arrive-t-on à remonter le temps et reconstituer les climats

passés ?

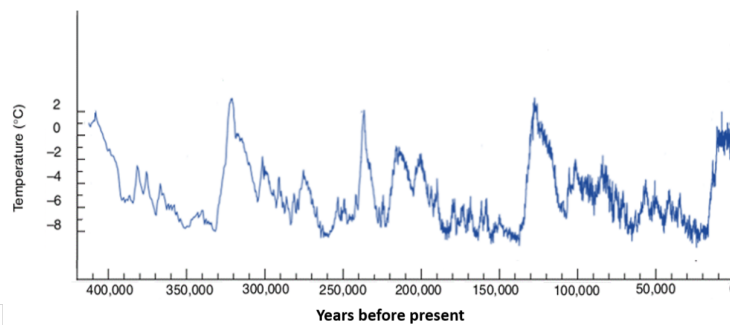
Il reste des traces des changements climatiques passés dans les fossiles, les pollens par exemple, qui permettent de reconstituer la végétation. Mais la grande avancée est due aux **forages polaires**.

L'idée de base est que la composition de la neige et de la glace dépend de la température et de l'insolation au moment où elles se sont formées. En outre, elles emprisonnent des bulles d'air qui témoignent de la composition de l'atmosphère à cette époque. On dispose donc d'archives qui permettent de mettre en parallèle la température et la teneur en dioxyde de carbone (CO₂) et en méthane (CH₄). Les premiers carottages, en Arctique, ont permis de remonter 80 000 ans en arrière, et les carottages réalisés en Antarctique nous permettent de remonter dix fois plus loin !

5.2. Relation entre température et gaz à effet de serre

Ce graphique est une reproduction de la courbe de température d'un article scientifique dont nous allons voir le graphique d'origine plus tard. La courbe

ne donne pas directement une température absolue, elle donne les écarts de température par rapport à une température de référence de -55°C sous la base russe de Vostok en Antarctique.



Evolution de la température au-dessous de la station de Vostok

Source : www.climatedata.info

Exercice d'application

Q1 Quelle est l'unité de l'axe vertical ?

Q2 Repérer la date d'aujourd'hui sur l'axe horizontal.

Q3 Sur les 400 000 dernières années, quelles ont été les températures au-dessous de la station Vostok les plus élevées ? Les plus basses ?

Q4 Y a-t-il une régularité temporelle de ces pics ? Quelle est la durée moyenne approximative d'un cycle ?

Q5 Qu'y a-t-il de remarquable dans les variations de températures au cours de ces 400 000 ans ?

Réponses

R1 : Degrés celsius, pour indiquer des températures.

R2 : Complètement à droite.

R3 : Maximale -53°C , minimale -64°C . Il faut ajouter -55°C aux températures relatives lues sur l'axe vertical.

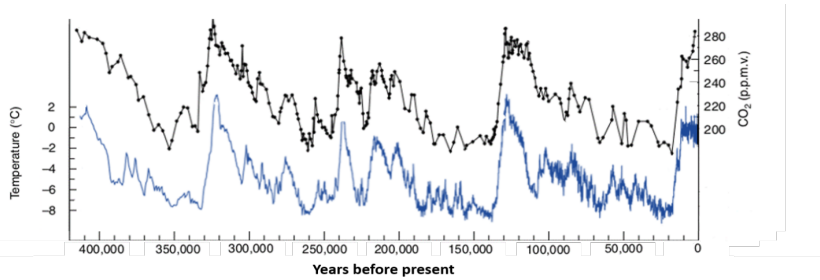
R4 : Oui. Un cycle (entre deux pics maximaux par exemple) dure environ 100 000 ans.

R5 : Elle varie de façon très régulière avec une amplitude de 10 degrés d'écart maximum.

La première remarque à faire est que la température (et donc le climat) change effectivement, mais avec une vitesse très lente qui correspond bien aux variations des paramètres astronomiques. La chute quasiment verticale qu'on observe tous les cent mille ans ou à peu près (et qui correspond à des chutes de température de 10°C environ) s'effectue quand même sur 10 000 ans !

Superposons la courbe de concentration de CO₂ en noir

Comme on l'a vu dans la partie précédente, l'air de l'atmosphère contient très peu de molécules de CO₂, de l'ordre de 0,05%. Pour exprimer la teneur de l'air en CO₂, on n'utilise pas les pourcentages mais les « pour-millions », c'est-à-dire qu'on indique le nombre de molécules de CO₂ par million de molécules d'air. Cela se dit « partie-par-million » et correspond à la notation « ppm ».



Évolution conjointe de la température et de la concentration de CO₂ dans l'air

Source : www.climatedata.info

Q6 Quelles sont les unités des deux axes verticaux ?

Q7 Y a-t-il des similarités entre les deux courbes ?

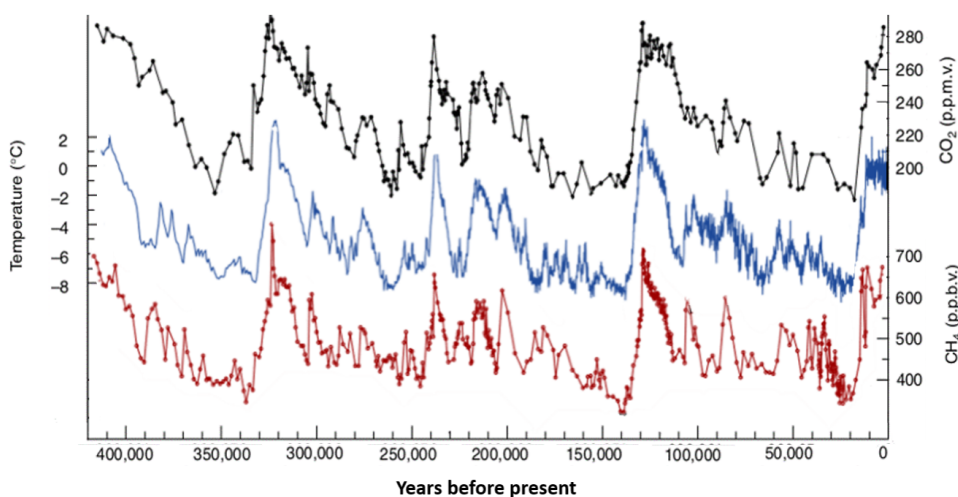
Réponses

R6 : Température relative pour la courbe bleue, Concentration de CO₂ dans l'air pour la courbe noire.

R7 : Les variations sont très semblables.

Superposons enfin la courbe du méthane CH₄ en rouge

Il y a encore moins de particules de CH₄ que de CO₂ dans l'atmosphère. On exprime donc la teneur de l'air en CH₄ en « parties-pour-milliards », en anglais « part-per-billion ». Cela correspond à la notation « ppb ».



Évolution conjointe de la température et des concentrations du CO₂ et CH₄ dans l'air

Source : www.climatedata.info

Q8 La courbe rouge du méthane CH₄ est-elle semblable à la courbe de la température et à celle du CO₂ ?

Réponses

R8 : Pas qu'un peu ! On observe à nouveau des variations quasi-parallèles.

Voici le graphique issu de l'article scientifique d'origine

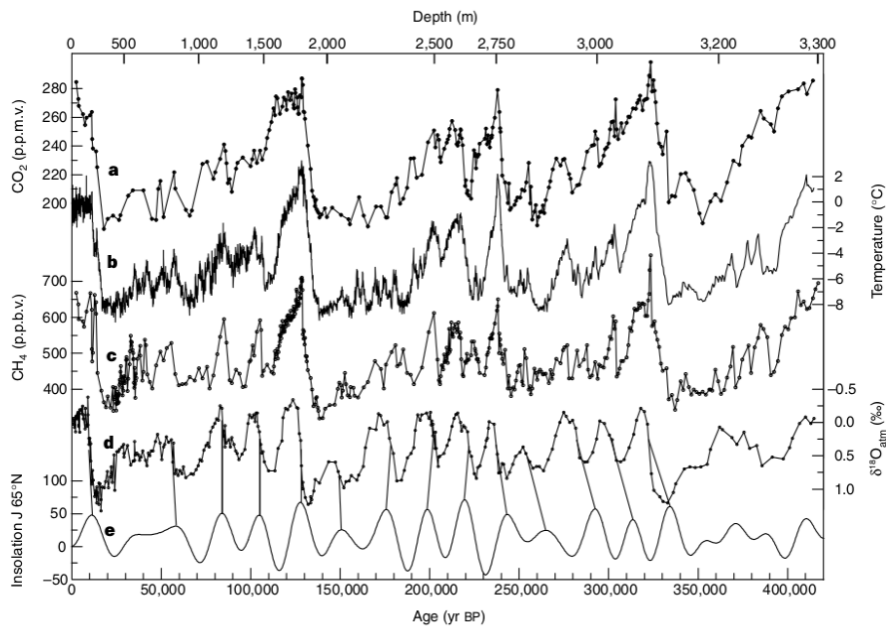


Figure 3 Vostok time series and insolation. Series with respect to time (GT4 timescale for ice on the lower axis, with indication of corresponding depths on the top axis) of: **a**, CO₂; **b**, isotopic temperature of the atmosphere (see text); **c**, CH₄; **d**, δ¹⁸O_{atm}; and **e**, mid-June insolation at 65°N (in Wm⁻²) (ref. 3). CO₂ and CH₄ measurements have been performed using the methods and analytical procedures previously described^{6,9}. However, the CO₂ measuring system has been slightly modified in order to increase the sensitivity of the CO₂ detection. The

thermal conductivity chromatographic detector has been replaced by a flame ionization detector which measures CO₂ after its transformation into CH₄. The mean resolution of the CO₂ (CH₄) profile is about 1,500 (950) years. It goes up to about 6,000 years for CO₂ in the fractured zones and in the bottom part of the record, whereas the CH₄ time resolution ranges between a few tens of years to 4,500 years. The overall accuracy for CH₄ and CO₂ measurements are ±20 p.p.b.v. and 2-3 p.p.m.v., respectively. No gravitational correction has been applied.

Évolution temporelle des paramètres climatiques au-dessous de la station de Vostok

Source : X

Vous avez remarqué la **corrélation** évidente entre la teneur de l'atmosphère en CO₂ et en CH₄ (méthane) et la température. Est-ce que cela implique que la teneur en CO₂ et en CH₄ soit la cause des variations de température ? Sans informations supplémentaires, la réponse rigoureuse à cette question est « pas nécessairement ». A priori cela pourrait être l'inverse (la température plus chaude

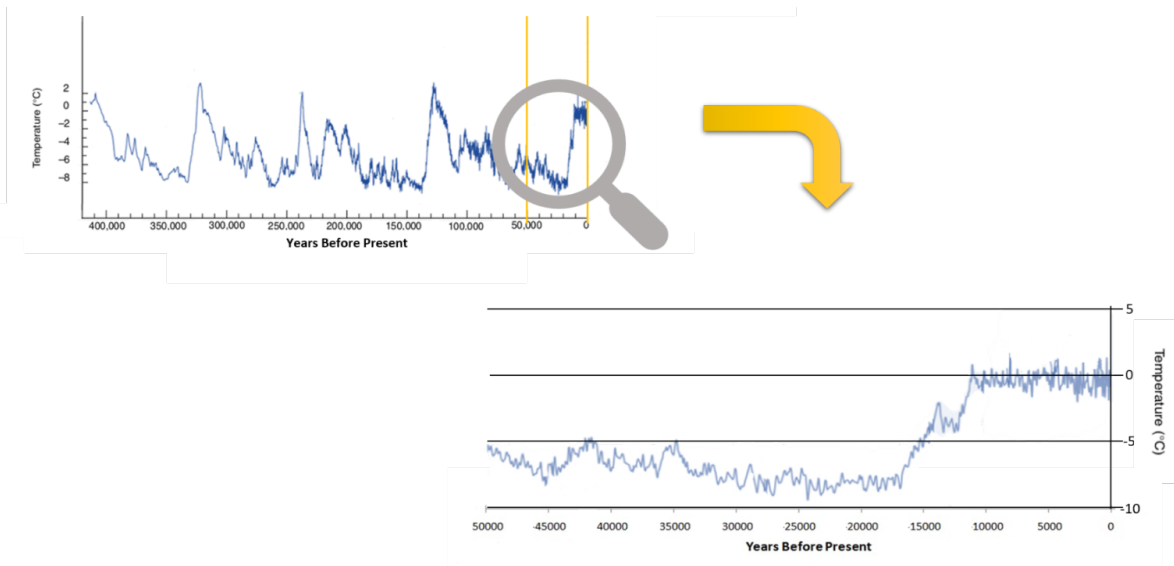
pourrait accroître les quantités de gaz dans l'atmosphère), ou peut-être qu'un autre facteur inconnu influence tous ces paramètres conjointement. Mais à ce stade de l'enquête, une chose est sûre : les périodes où l'atmosphère contient de CO₂ et de CH₄ sont aussi les périodes où il fait le plus chaud.

5.3 Les changements climatiques récents

Terminons cette leçon en revenant à l'image de la voiture et du crash. Quand on voit ces variations, on se dit que la Terre en a vu d'autres ! Peut-être, après tout, n'y a-t-il pas de raison de s'inquiéter si nous traversons à nouveau une zone de turbulence climatique. La Terre, oui, mais l'humain ?

Sur ce long axe du temps, qui n'est encore pas grand-chose à l'échelle de l'âge de la planète Terre, on peut dire approximativement que l'espèce humaine est apparue il y a 10 000 ans. Qu'observez-vous au cours de cette période ?

En zoomant sur les 10 000 dernières années, on observe une stabilité exceptionnelle de la température à des valeurs relativement hautes.



Zoom sur l'évolution de la température sur les 50 000 années les plus récentes

Source : X

Q9 Quelles sont les températures minimales et maximales des 50 000 dernières années ? Et des 10 000 dernières années ?

Q10 Selon vous, de quels ordres de grandeur sont les changements climatiques des deux derniers siècles ?

Réponses

R9 : Sur les 50 000 dernières années : Maximale -54° , Minimale -64° . Sur les 10 000 : Max -54° , Min -56° .

R10 : Du même ordre de grandeur que les variations historiques terrestres, mais 100 fois plus rapide.

En résumé

On connaît les températures et la composition de l'atmosphère passées en effectuant des carottages dans la banquise et les lacs gelés de Sibérie

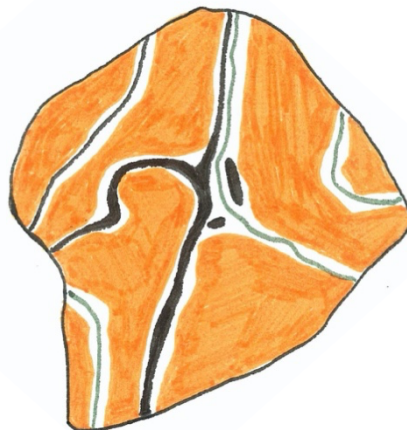
La température sur Terre a varié de façon cyclique, au gré des variations des facteurs astronomiques, sur des échelles temps de l'ordre de la dizaine de milliers d'années.

Les variations de température et les teneurs de l'atmosphère en CO_2 sont très fortement corrélées, ce qui suggère qu'elles sont liées.

Les variations climatiques observées au cours des deux derniers siècles sont du même ordre de grandeur que les variations historiques terrestres, mais sur une échelle de temps 100 fois plus rapide.

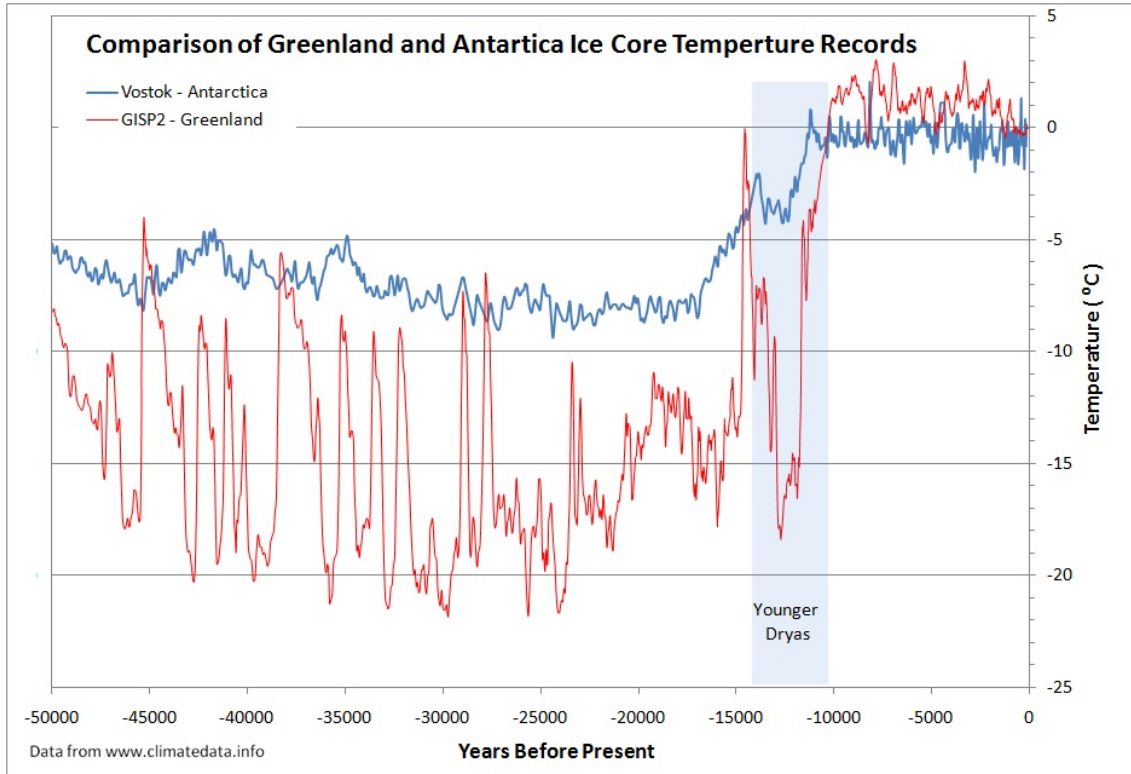
Conclusion

- Atmosphère, rotation de la Terre autour du Soleil, et rotation inclinée de la Terre autour d'elle-même : voilà les facteurs astronomiques qui déterminent le climat terrestre.
- Les vents terrestres sont régis par les mouvements astronomiques de la Terre. Ils suivent des déplacements prédictibles et réguliers.
- L'atmosphère est brassée en permanence : toute molécule qui se maintient en suspension voyage d'un point à l'autre du globe.
- Une très faible proportion de l'eau sur terre est sous forme gazeuse, en suspension dans l'atmosphère (nuages, humidité, brouillard), mais elle joue localement un rôle important sur le climat.
- Le climat en un point est la donnée moyenne de la température, des vents et des conditions d'humidité en ce point. Les moyennes sont généralement faites sur 30 années d'observation.
- On connaît les températures et la composition de l'atmosphère passées en effectuant des carottages dans la banquise et les lacs gelés de Sibérie.
- La température sur Terre a varié de façon cyclique, au gré des variations des facteurs astronomiques, sur des échelles temps de l'ordre de la dizaine de milliers d'années.
- Les variations de température et les teneurs de l'atmosphère en CO_2 sont très fortement corrélées, ce qui suggère qu'elles sont liées.
- Les variations climatiques observées au cours des deux derniers siècles sont du même ordre de grandeur que les variations historiques terrestres, mais sur une échelle de temps 100 fois plus rapide.



Annexes

L'article scientifique d'origine



Source : www.climatedata.info

On y voit deux courbes, correspondant à deux endroits où l'on a réalisé des carottages.

La courbe bleue représente les carottages effectués en Antarctique. C'est en fait un zoom de la courbe que nous avons présentée sur 400 000 ans. On distingue bien la stabilisation de l'holocène sur les 10 000 dernières années.

Mais pourquoi la courbe rouge des carottages effectués au Groenland est-elle aussi instable ? On voit des pics extrêmement brutaux, qui pointent et s'éteignent en quelques dizaines d'années, et dont on ne voit aucun signe dans l'hémisphère Sud. Cela a beaucoup intrigué les glaciologues, qui sont finalement arrivés à la conclusion qu'ils étaient dus aux variations de la température de l'océan autour du Groenland. Et pourquoi changerait-elle si vite ? A cause du Gulf Stream, ce courant chaud qui va prendre l'eau chaude des Caraïbes pour la transporter vers l'Europe du Nord. Ce courant est fragile, il est très sensible à la salinité et à la température de l'eau, et les pics de température

indiquent les périodes où il est établi. Ce que le graphique montre, c'est que s'il venait à être déstabilisé de nouveau, la température en Europe du Nord chuterait considérablement.

C'est un exemple de ce qu'on appelle un phénomène de « seuil » : quelque chose qui peut s'arrêter (ou se déclencher) brutalement, en réponse à des sollicitations qui, elles, peuvent être minimes, et varient régulièrement. Le Gulf Stream est certainement affecté par le climat, il peut être plus ou moins fort, mais il ne peut pas être trop faible : à partir d'un certain moment niveau minimum, il s'arrête, tout simplement. Il n'y aura pas vraiment de déclencheur, ce sera juste une petite variation de trop, comme une barque qu'on charge progressivement de pierres : à chaque pierre, la barque s'enfonce légèrement, sans que ces changements soient perceptibles si on regarde de loin. Mais arrivé un stade critique, une pierre de trop et la barque se renverse, prend l'eau et coule.