

MENS

DOSSIER

Les pièges du débat sur le climat

Avant-propos



Cher lecteur,

Il s'agit presque d'une « routine »...à chaque nouvelle échéance d'un rapport sur l'état de notre climat issu du GIEC (Groupement Intergouvernemental sur l'étude du Climat), nos médias fleurissent de déclarations tapageuses dénigrant les travaux de cet organisme international qui regroupe l'expertise de plusieurs milliers de scientifiques à travers le monde au travers de presque 10.000 publications revues par des pairs, synthétisées et relues par plus de 600 auteurs. Piratage d'emails de scientifiques, chasse aux coquilles de rédaction, interviews dans les médias, workshops à l'Académie des Sciences de Belgique, publications d'ouvrages révélant les supposées aberrations scientifiques du rapport.

Il faut le reconnaître le contexte scientifique est complexe et difficilement accessible au non-spécialiste. Comme pour tout autre problème fondamental de société, le débat fait rage. Cependant, comme le dit l'adage, il y a « climatosceptique » et « climatossceptique »...Par définition, les scientifiques sont « sceptiques », puisque la remise en question des idées reçues et la validation de nouvelles hypothèses constituent la base du progrès scientifique. Il existe donc d'honnêtes « climatosceptiques » qui font leur travail de scientifique en leur âme et conscience et, tout simplement, ne se considèrent pas convaincus par certains des résultats obtenus par leurs pairs...mais il existe aussi, à l'autre extrême du champ

sémantique, une population importante (non par le nombre mais par les dégâts qu'elle cause auprès de l'opinion publique) de scientifiques mus par des motivations autres que purement scientifiques. Il est de notoriété publique que certains d'entr'eux sont rompus aux techniques de la désinformation telles que la falsification de documents, le condensé de l'information, les raccourcis de langage et le discours facile prônant l'absence de changement de comportement. Ce sont les mêmes individus qui clamaient l'inoffensivité du tabac, il y a de cela quelques décennies, qui contestent aujourd'hui l'état des lieux du climat synthétisé par le GIEC et l'impact de la société humaine sur celui-ci.

Que conseiller dès lors à « Monsieur Tout le monde » ?... Faut-il, comme le préconisent certains, faire confiance à l'ingéniosité du genre humain qui a toujours su s'adapter en temps et en heure aux contraintes de son environnement, et s'engager par exemple sur la voie des remédiations à grande échelle de la « géo-ingénierie » du climat, ou au contraire faut-il se rallier au « principe de précaution » et tenter de juguler l'origine anthropique des changements climatiques, et accepter un changement de comportement sociétal et individuel ? Mon choix est fait.

Une chose est sûre... au sein des conventions internationales sur le Climat, l'heure n'est plus au questionnement sur la nature anthropique de ses changements, mais bien aux modalités pratiques de la mitigation et de la remédiation, un autre challenge !

Prof. Dr. Jean-Louis Tison,
Professeur Ordinaire, Université Libre de Bruxelles

Table des matières



En bref : le modèle actuel	4
Le rôle du soleil	11
El Niño: l'histoire d'un Enfant de Noël et de sa sœur	18
Et la terre se réchauffe-t-elle vraiment à présent ?	19
Ce à quoi nous ne voulons plus assister : le maximum thermique du passage Paléocène–Éocène	24
Basculer ou trébucher : dans quelle mesure le mauvais choix est-il néfaste ?	28
Lire, regarder et écouter plus sur le sujet ?	29

Les pièges du débat sur le climat

Prof. Dr. Geert Potters (École supérieure de navigation - Université d'Anvers)

Le climat sur terre a commencé à changer très vite au cours des dernières années. La science recherche la cause de ce changement dans le comportement des hommes, et alors surtout auprès de ceux qui continuent à consommer et gaspiller les réserves de carburants fossiles à toute allure. Les conséquences de ce comportement, selon cette même science ? La température moyenne sur la terre augmente, la calotte glaciaire fond et le niveau de la mer augmente. Comme la terre se réchauffe, les zones climatiques se déplacent elles aussi sur terre, ce qui conduit à sécheresse et la désertification ; l'eau de mer pénètre dans les deltas de rivière fertiles et détruit des terres agricoles indispensables ; il y a d'une part plus de tempêtes et plus de précipitations, et d'autre part, il y a plus de périodes de sécheresse où des morts peuvent survenir ; des animaux et des plantes cherchent une issue de secours, se retrouvent sous pression et des espèces disparaissent. Pas

la moindre belle perspective pour la fin de ce siècle.

Ces prévisions pessimistes pour l'avenir de la planète sont parfois désignées sous le terme changement global : notre terre fait l'objet d'un changement complet, où les conditions de vie pour tous ses habitants vont changer en profondeur. Si la science se lance dans pareilles prévisions, il faudrait toutefois s'attendre à ce que les hommes avec moins d'expérience sur le terrain des sciences du climat se résignent à ces vues. Rien n'est cependant moins vrai. Au sein du grand public, beaucoup de questions sont soulevées et les découvertes des chercheurs sur le climat font naître le trouble.

Aujourd'hui, la science ne doit pas se sentir au-dessus des questions critiques, même si ces questions n'émanent pas de scientifiques. Pouvoir examiner de façon critique et se renseigner sur les données de



chacun ainsi que ses interprétations fait partie en effet des droits les plus fondamentaux (et des obligations) de chaque scientifique. Par ailleurs, il n'y a aucune publication scientifique d'un quelconque niveau qui paraîtra sans être passée par les mains d'un panel de spécialistes dans le sujet (restés complètement anonymes ou pas). Ces hommes et ces femmes sont estimés parcourir le texte qu'ils ont à lire de manière objective et approfondie, à la recherche d'erreurs éventuelles. C'est ce que l'on appelle peer review. Via le courrier des lecteurs également adressé aux revues scientifiques, ou par des questions posées lors de congrès, chaque scientifique peut mettre sur la sellette chacun de ses collègues, du plus jeune étudiant en doctorat au candidat au prix Nobel plus vénérable. Est-il possible de faire plus démocratique ? Attention, la vérité ne se laisse naturellement pas déterminer par un simple vote, et la majorité n'a pas toujours raison. Tout doit être testé, à la lumière des données dont on dispose et de leur meilleure interprétation. Mais lorsqu'un argument déterminé (pour ou contre) est réfuté, il doit aussi être traité comme tel. Le fait de continuer à répéter les mêmes raisonnements erronés ne les rend pas plus exacts.

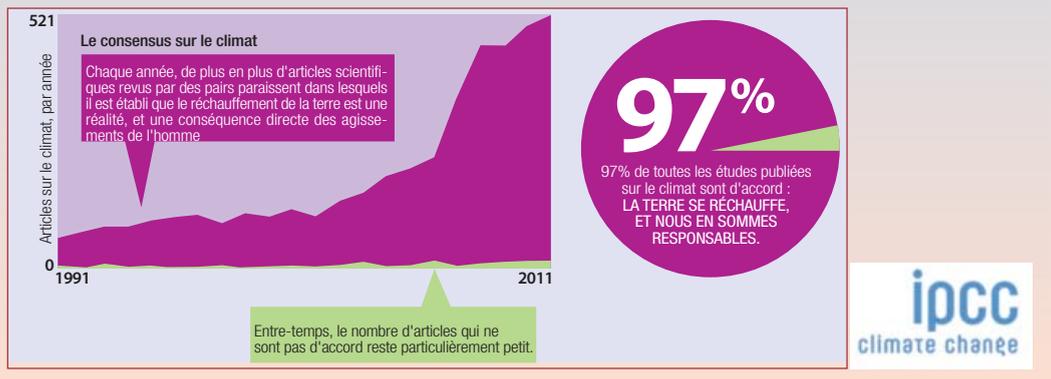
Cela vaut tout autant pour les discussions sur les forums publics (par ex. dans les médias). Nous y établissons uniquement que les citoyens bien pensant et soucieux ne sont pas les seuls à s'interroger sur les résultats des chercheurs. Une partie du public se défend corps et âme, via blogs et forums de presse contre la théorie que cette terre se réchauffe lentement, et surtout, que l'homme en est le principal responsable. Chaque aspect des théories actuelles sur le climat est finement décortiqué, beaucoup décrié et rejeté. Cette partie du public est souvent particulièrement hostile à l'encontre de la contribution des experts climatiques (comme l'IPCC), et croit dur comme fer qu'elle a personnellement raison. Selon cette minorité particulièrement bruyante, les scientifiques climatologues ne sont qu'un tas de menteurs incompetents qui complotent à l'aide de l'opinion dominante actuelle ("la terre se réchauffe par la faute des hommes") pour protéger leur propre position et leur salaire, une série de bandits qui tient une tiède décoction de vraie science ("ce que le public pense") en haute estime sur la tête du pauvre contribuable. Peut-être aussi parce que nous, scientifiques, avons déjà quitté à tort ce champ de bataille depuis longtemps – ce discours prend le dessus çà et là.

Contre-argument :

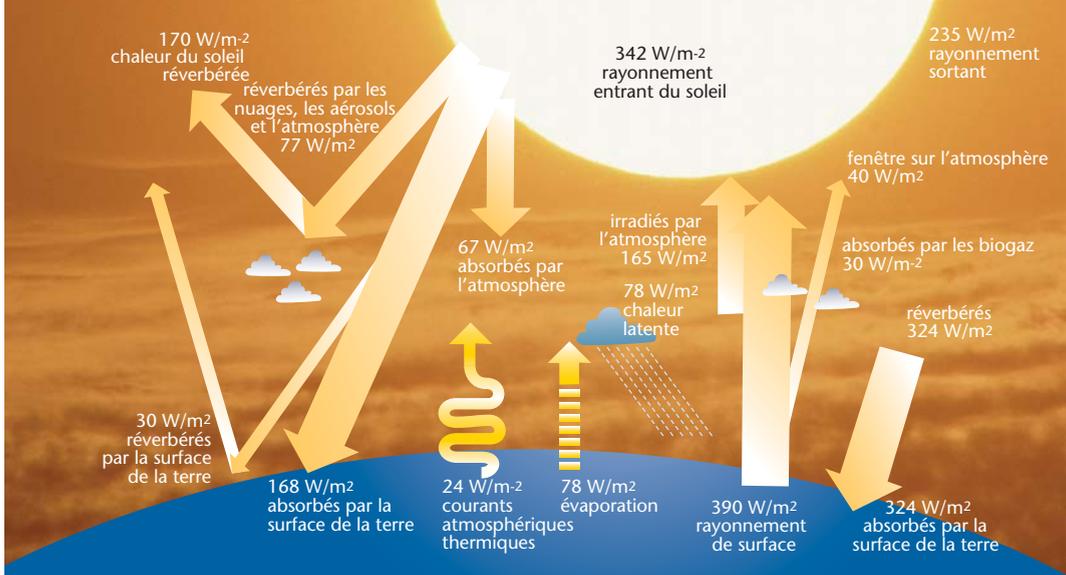
les scientifiques climatologues ne sont même pas tous d'accord sur le réchauffement de la terre.

Breve réponse : 97% de tous les experts du climat sont convaincus par les données que nous avons sous les yeux, et 99% des publications sur le climat dans les grandes revues professionnelles se basent sur les théories de l'International Panel on Climate Change (IPCC), l'institut international vainqueur du prix Nobel qui analyse toutes les données scientifiques disponibles concernant l'évolution du climat sur terre et les convertit en recommandations politiques.

Source : Cook et al., article sur stacks.iop.org/ERL/8/024024



La balance énergétique à la surface de la terre. Calculons, nous sommes en équilibre.



Néanmoins... il y a peu de théories scientifiques qui sont étudiées de manière aussi approfondie, depuis des années déjà, par des cerveaux partout dans le monde (voir encadré). Bon nombre d'arguments ont déjà depuis longtemps fait l'objet d'une réponse honnête et claire. Dans ce dossier, MeNS jouera aussi son rôle habituel : nous voulons opposer des résistances aux plus grosses bêtises qui sont racontées sur

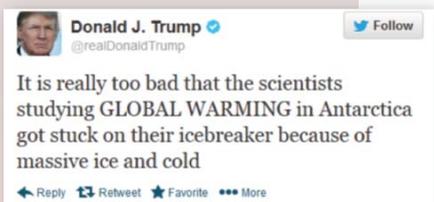
le climat et le changement global, de sorte que chacun qui souhaite plus de clarté puisse retrouver rapidement les informations exactes et récentes dans ce dossier. En tant qu'antidote contre le courant de désinformation qui menace de nous submerger, et comme support dans le dos pour quiconque veut faire un essai honnête de voir l'histoire du climat dans la bonne perspective.

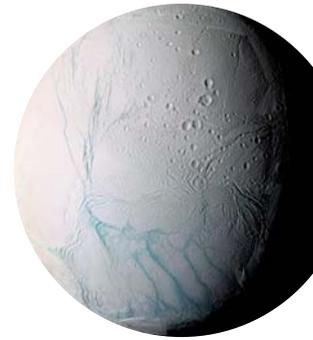
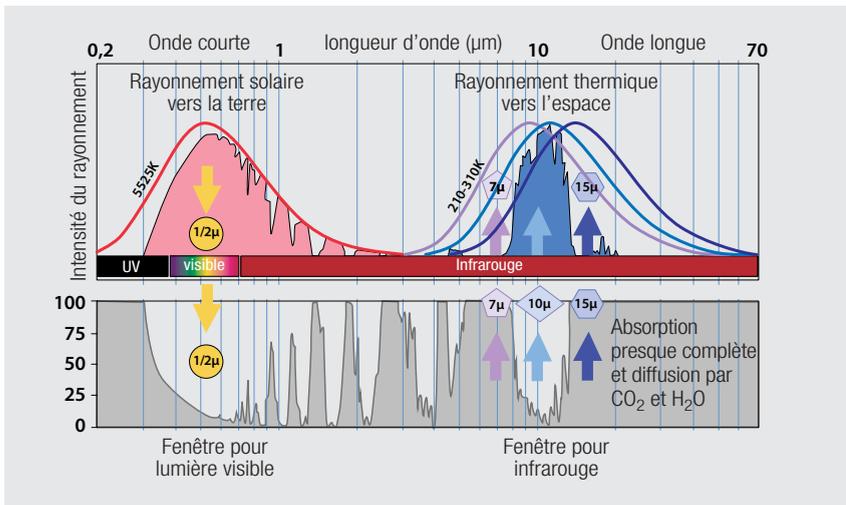
Contre-argument : Vous mentez.

Breve réponse : À ce niveau, nous ne discutons pas : avec des soupçons, tout débat peut être empoisonné. De vrais sceptiques jouent fidèlement le jeu, pas l'homme.

C'est le droit de chacun de poser des questions sur la légitimité des données utilisées : sont-elles correctement traitées, n'y a-t-il pas de vice caché dans la manière avec laquelle elles sont traitées (autrement dit, la méthode utilisée dirige-t-elle l'interprétation des données, l'étude part-elle de certaines idées reçues sans les corroborer, ...). Chacun a également le droit de rechercher des explications alternatives pour les données obtenues dans le cadre d'une étude déterminée, pour autant que ces explications soient soutenues par toutes les constatations. Il est même très positif de présenter les rumeurs qui circulent aux chercheurs intéressés et de leur demander ce qu'ils en pensent ("J'ai entendu dire que la terre se refroidit à nouveau ces dernières années ; qu'en pensez-vous ?") et présenter un deuxième, un troisième avis, ... Bien plus encore, c'est à présent l'essence de la recherche. Dans ce dossier, nous présentons par ailleurs une grande quantité de données, parfois très récentes, en réponse aux questions les plus fréquemment posées et aux contre-arguments.

Mais nous ne réagissons pas aux soupçons, aux données falsifiées, ... l'idée qu'il existe un complot de scientifiques qui avance manu militari une histoire déterminée. Au point "Lire et écouter plus sur le sujet", nous donnons encore quelques exemples de ce type de discussions bidon. Et nous nous taisons du reste sur les petites plaisanteries de ce type. Derrière une très longue barbe.





Enceladus

En bas (dans le gris), vous voyez ce que l'atmosphère absorbe de la lumière entrante et sortante. En haut, vous voyez (à gauche) le spectre du soleil tel qu'il arrive à l'extérieur de notre atmosphère (ligne rouge) et comment c'est perçu sur terre. La plus grande partie passe sans problème au travers de l'atmosphère. À droite, vous voyez le spectre (mauve et bleu) que notre terre produit. De cette production, la majeure partie est absorbée par les gaz à effet de serre.

En bref : le modèle actuel

Nous recevons sur notre boule bleue en moyenne 342 joules par m² et par seconde. Si le soleil est au zénith au-dessus de vous, vous recevez même 1366 J/m² s, soit 1366 W/m² (car 1 watt = 1 J/s). Vous pourriez à présent vous demander pourquoi notre planète ne s'est pas transformée depuis longtemps en un four à chaleur pulsée s'il y a autant d'énergie par seconde qui parvient sur la terre. Vous pouvez en découvrir la raison sur cette figure : une grande partie de l'énergie solaire incidente est réfléchiée au travers des nuages. Une autre partie encore est à nouveau absorbée par la surface de la terre, laquelle va elle-même fournir de l'énergie. Tout l'un dans l'autre, la terre acquiert ou perd à peine une quantité nette d'énergie.

Tous ces 342 W/m² de soleil ne parviennent pas effectivement à la surface de la terre. Environ un tiers du rayonnement (107 W/m²) que le soleil envoie en direction de la terre est réfléchi dans l'espace. Une partie (67 W/m²) est absorbée par l'atmosphère (nuages, poussières dans les couches supérieures de

l'air). La moitié restante des rayons (168 W/m²) parvient effectivement à la surface de la terre (y compris les océans). Une partie de cette énergie assure toutes sortes de phénomènes météorologiques : vent (24 W/m²) et précipitations (78 W/m²). Il s'agit de l'énergie qui fait que le cycle de l'eau (voir plus loin) reste actif sur la terre.

D'autre part, chaque surface sur la terre va réfléchir une partie du rayonnement. Ce phénomène est désigné par le terme 'albédo', et nous exprimons l'ampleur de cet albédo comme le rapport entre le rayonnement réfléchi et incident. La force de cet albédo dépend de la surface elle-même. La terre présente un cycle de l'eau moyen de 37% à 39%, la lune en raison de sa surface faite de roche volcanique est beaucoup plus sombre avec un albédo moyen de 7%. Avec sa couverture de nuages, Vénus a un albédo de 72%. La lune de Saturne Encelade est l'objet le plus clair du système solaire présentant un albédo de pratiquement 90%.

La surface de la terre renvoie elle-même aussi une certaine quantité de rayonnement (au total 390 W/m²). Ce n'est pas surprenant : la physique nous

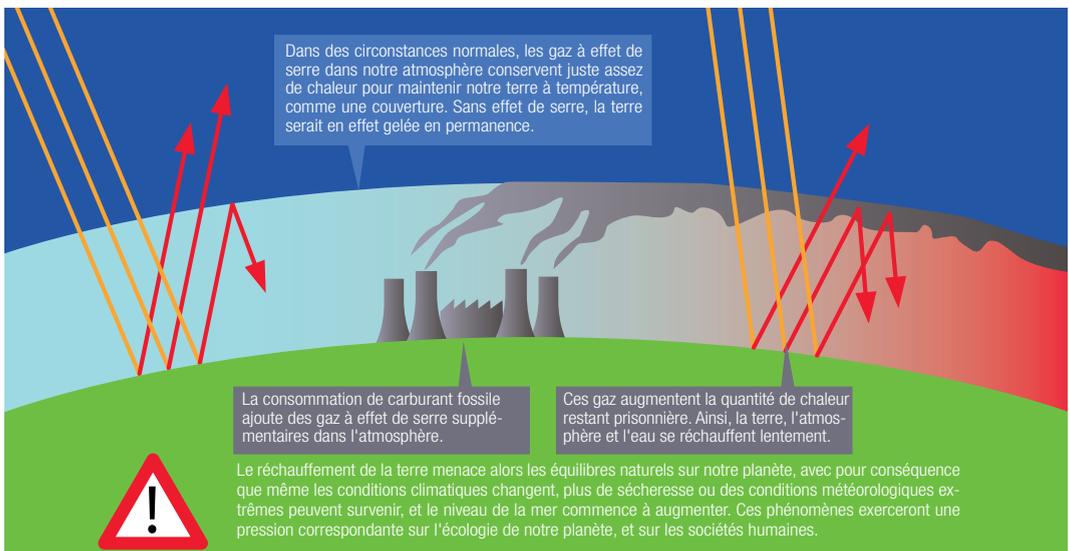
apprend que tous les objets ayant une certaine température T (en K) émettent une certaine quantité d'énergie. Attention – ce que la terre reçoit du soleil, c'est du rayonnement à ondes courtes. Ce que la terre émet, c'est un rayonnement infrarouge à ondes longues. Quelque 235 W/m^2 de celui-ci pénètre effectivement dans l'espace. L'atmosphère réfléchit toutefois encore une partie, et dégage elle-même de la chaleur absorbée.

Et ensuite il se passe encore quelque chose. Certains gaz dans l'atmosphère (appelés gaz à effet de serre : vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane et encore quelques autres moins importants) absorbent ce rayonnement infrarouge. Dès lors, de l'énergie reste en suspension dans notre atmosphère, qui ainsi se réchauffe également (et par conséquent, va à nouveau également émettre un rayonnement). Le tout pris conjointement, quelque 324 W/m^2 d'énergie atteignent la surface de la terre depuis l'atmosphère. Ils enveloppent la terre comme une grosse couverture qui ne laisse passer que les rayons du soleil à ondes courtes, tout en conservant simultanément à l'intérieur les rayons de chaleur à ondes longues. Ce réchauffement n'est pas partout aussi fort dans l'atmosphère : ce sont surtout les couches inférieures, dans lesquels sont rassemblés le plus de gaz à effet

Contre-argument : Le CO_2 et les autres gaz à effet de serre ne sont présents qu'en quantité très limitée. Aujourd'hui (2014), l'atmosphère contient $400 \text{ ppm CO}_2 = 0,04\%$, au début de la Révolution industrielle, en 1750, il ne s'agissait que de $280 \text{ ppm} = 0,028\%$. La concentration de CO_2 n'a donc augmenté que de $0,012\%$ Pourquoi cette différence minime aurait-elle des conséquences si importantes ?

Brève réponse : Au lieu de donner la concentration absolue, vous pouvez aussi examiner l'augmentation relative suite à l'activité humaine (donc, comparée à la concentration de CO_2 dans l'atmosphère en 1750, à savoir, 280 ppm). Nous constatons alors que cette valeur a augmenté de non moins de 42% .

Et apparaît en outre ce qui suit. Normalement, le bilan de carbone entre les grands compartiments dans l'écologie terrestre (terre, atmosphère et océans) est en équilibre. Aujourd'hui, bien que notre production annuelle de 29 gigatonnes de CO_2 soit petite par rapport aux 750 gigatonnes qui se déplacent chaque année dans le cycle du carbone, elle est malgré tout significative attendu que la terre et la mer ne peuvent absorber tout ce CO_2 supplémentaire.



Pour plus de contexte : lire MeNS 22, Le climat dans l'embaras, et MeNS 36, Un petit degré de plus. Quo vadis, la Terre ?

de serre, qui deviennent plus chaudes. Il y a donc plus de chaleur maintenue sur terre que relâchée dans l'espace.

L'effet de serre est par ailleurs un processus naturel. Même sur Vénus, il a joué un rôle pour faire naître le climat qui y règne (bien que cette planète soit complètement cuite, avec une température moyenne de 480°C, selon la NASA). Sur Mars, ça n'a jamais vraiment eu cours. Sur terre, nous connaissons déjà depuis des milliards d'années une température plus ou moins agréable. Globalement, l'effet de serre a

veillé à ce que notre planète connaisse une température moyenne d'environ 15°C, tandis que la température sans gaz à effet de serre aurait été de 20°C sous le point de congélation.

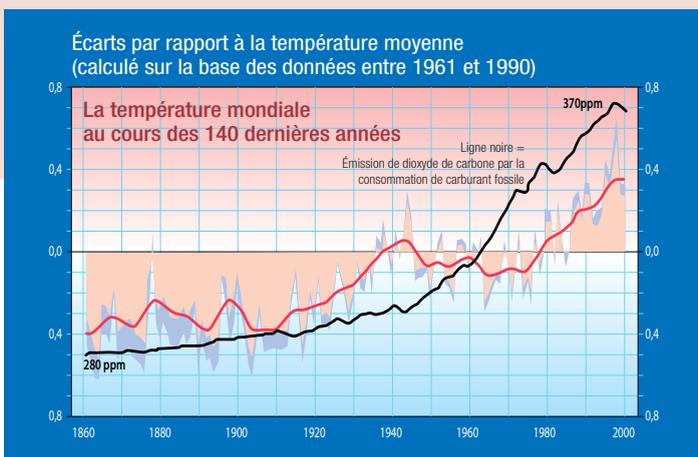
Aujourd'hui, en principe, le système tout entier est en équilibre : terre, espace et atmosphère reçoivent autant d'énergie qu'ils n'en dégagent. Sur la figure en page 3, nous avons représenté le bilan radiatif de la terre. C'est en quelque sorte la 'comptabilité' de tous les rayons entrant et sortant. Mais c'est aussi un équilibre dynamique : lorsque le soleil est plus actif,

Contre-argument : Dans les années 1970, on prévoyait encore une époque glaciaire... aujourd'hui un réchauffement global. Les scientifiques savent-ils ce qu'ils veulent ?

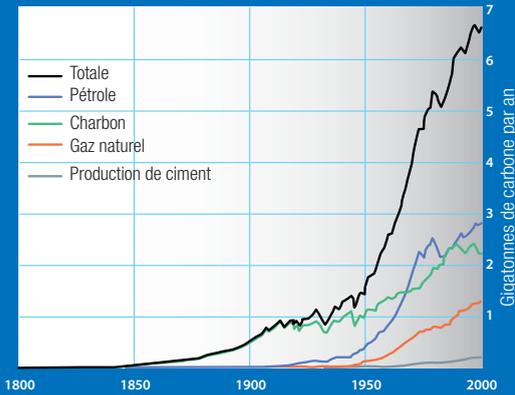
Breve réponse : Durant les trente années qui ont précédé aux années 1970, nous avons convenu sur la base de certaines mesures de température que nous allions vers un refroidissement de la terre, ce qui selon certains scientifiques indiquait une nouvelle période glaciaire. Ce refroidissement était en effet assez important : l'émission considérable de particules de smog et de dioxyde de soufre par le transport et l'industrie a conduit à ce que plus de rayons du soleil soient réfléchis au travers de l'atmosphère. Cette même émission d'oxydes d'azote et de soufre (NOx et SOx) a également été responsable des pluies acides dont ont souffert nos forêts et bâtiments.

Ce refroidissement a semblé uniquement limité à l'hémisphère nord avec son importante industrialisation. Lorsque ce refroidissement a disparu dès que les émissions de NOx et SOx ont régressé, il s'est avéré qu'il n'était absolument pas question d'une nouvelle période glaciaire. Au même moment, il est apparu par ailleurs que plus d'études s'opposaient à cette idée plutôt que ne la soutenaient. De même, a commencé à apparaître l'idée d'un réchauffement climatique dans différentes publications, où les chercheurs s'attendaient alors à ce que ce réchauffement ait une influence beaucoup plus importante sur la température mondiale que l'éventuel effet de refroidissement.

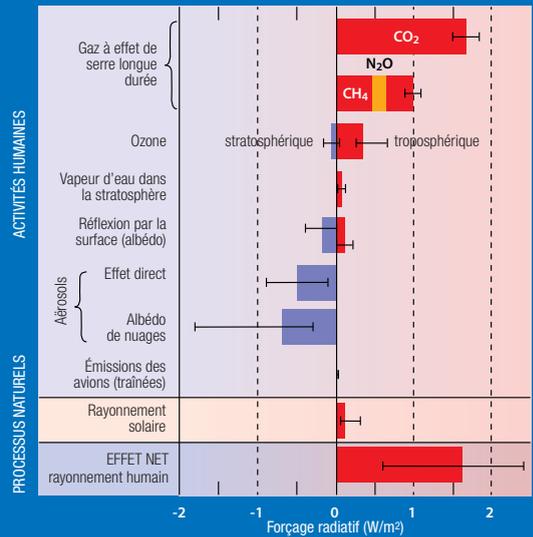
D'autre part, le scénario (spectaculaire) d'un refroidissement excessif ressurgissait dans la presse, impliquant que le public a eu erronément l'impression que l'Europe jusqu'à la frontière linguistique belge, allait respirer sous une calotte glaciaire. Rien de nouveau sous le soleil donc.



Émissions de carbone fossile depuis 1800



Forçage radiatif entre 1750 et 2005



ou lorsque la position de la terre par rapport au soleil change, ça aura une influence sur la température (et le climat sur terre). Et lorsque les volcans soufflent des poussières dans l'atmosphère, ou lorsque notre industrie produit un excès de dioxyde de soufre (comme pendant les années soixante et septante du siècle passé), les rayons du soleil traversent plus difficilement l'atmosphère et la terre se refroidit.

Et lorsque les hommes ont découvert les carburants fossiles, et ont commencé à les utiliser à grande échelle. Après 250 ans d'industrialisation (et donc surtout après les années 60-70 passées, au cours desquelles l'industrialisation a pris un bel envol – voir la figure en haut à gauche) il s'est avéré que la concentration en CO₂ dans l'atmosphère a augmenté de 280 ppm à 400 ppm. De même, d'autres gaz comme le méthane ont doublé en concentration durant cette

période. Simultanément, des chercheurs ont constaté que, entièrement dans la lignée de ce que la théorie de l'effet de serre propose, la température sur terre a également augmenté. Et l'enfer s'est déchaîné.

Tenir compte des contributions du climat : le forçage radiatif

Pour pouvoir exprimer l'influence des contributions naturelles et humaines à ce bilan radiatif, les scientifiques climatologues utilisent le concept du forçage radiatif : la mesure selon laquelle les symptômes atmosphériques ont un effet sur le bilan radiatif et par conséquent, sur la température sur terre. Les gaz à effet de serre dans l'atmosphère assurent un effet positif : des particules de suie et de soufre amoindrissent la lumière du soleil entrante et impliquent ainsi un refroidissement. En outre, l'albédo de la surface de la terre peut être exprimé en termes de *radiative forcing*.

La figure ci-dessus donne quelques valeurs déterminantes pour le forçage radiatif entre 1750 et 2005 pour différents aspects du bilan radiatif.



Les serres contribuent au forçage

L'augmentation de température dT (en Kelvin ou en $^{\circ}C$) sur la terre est directement proportionnelle à l'augmentation de la quantité de rayonnements dF qui atteint la surface de la terre (le forçage radiatif), et dépend encore d'une constante de proportionnalité λ , la sensibilité du climat.

$$dT = \lambda \cdot dF$$

La bonne évaluation de ces paramètres dF et λ est donc déterminante. La contribution au changement du bilan radiatif est différente pour chaque gaz à effet de serre. Pour le CO_2 , le rapport entre les deux aboutit à

$$dF = 5,35 \cdot \ln(c/c_0)$$

où dF correspond au forçage radiatif en Watts par m^2 , c 'est la concentration en CO_2 dans l'atmosphère, et c_0 est la concentration de référence du CO_2 (et pour ce faire, nous utilisons normalement la concentration dans l'atmosphère d'avant la Révolution industrielle, 280 ppm).

D'autres études, nous retirons une estimation pour λ . L'IPCC exprime cette valeur comme l'augmentation

de température à attendre en cas de redoublement de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère. Autrement dit, il s'agit du dT pour $dF = 5,35 \cdot \ln(2) = 3,7 W/m^2$. Pour ce faire, les modèles utilisent différentes séries de données indépendantes, qui toutes cependant font référence à des valeurs entre 2 et $4,5^{\circ}C$. Peu de méthodes de calcul permettent une valeur inférieure, alors que plusieurs méthodes estiment toutefois acceptables statistiquement des valeurs plus élevées. Sur quoi ces méthodes se fondent-elles ?

- Certains scientifiques examinent le passé (le **paléoclimat**) : avec quelle rapidité la planète se remet-elle après une période glaciaire, et quelle était l'ampleur des changements climatiques dans le passé ? Une étude de 2009 a étudié le maximum thermique du passage Paléocène-Eocène (il y a environ 55 millions d'années – voir p24). Sur cette base, les chercheurs intéressés ont pu estimer qu'un redoublement de la concentration de CO_2 conduit vraisemblablement à un réchauffement de $1-3,5^{\circ}C$.
- D'autres s'appuient sur des données d'éruptions volcaniques récentes, comme le Pinatubo en 1991. Dans ce cas également, les chercheurs trouvent des valeurs pour λ entre $1,5$ et $4,5^{\circ}C$.

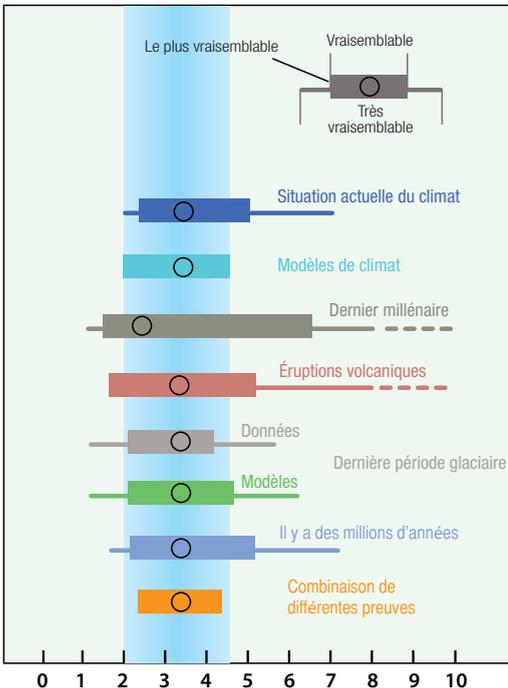




- L'activité du soleil (voir l'encadré et plus loin) est également utilisée pour calculer la sensibilité du climat. La variation annuelle de l'activité solaire telle que nous pouvons la déduire des taches solaires semble correspondre approximativement à une augmentation de 1% par an des gaz à effet de serre. Il en résulte une sensibilité de 2,3 à 4,1°C.

Et il y a ainsi encore différentes possibilités, qui aboutissent toutes à la même gamme de valeurs pour λ . La figure offre un aperçu. Il est clair que les chercheurs ne sont pas partis ici d'une seule nuit de gel, ou n'ont pas pris des mesures à la va-vite.

Différentes évaluations de la sensibilité du climat



Pour connaître l'impact aujourd'hui d'un redoublement du CO_2 sur le bilan radiatif de la terre, nous pouvons appliquer les calculs suivants :

$$\lambda = dT/dF = [2 \text{ tot } 4^\circ\text{C}] / [5,35 \cdot \ln(2) (\text{W}/\text{m}^2)] = 0,5-1,1^\circ\text{C}/(\text{W}/\text{m}^2)$$

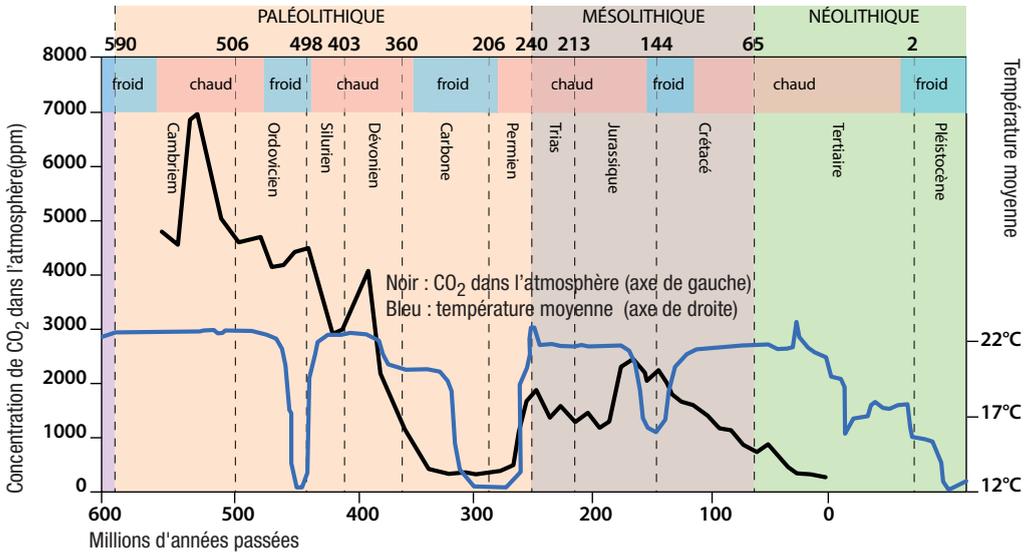
Cela correspond-il avec les valeurs mesurées ? Pas encore. Pour la situation actuelle, nous pouvons calculer que la température sur terre a dû augmenter en raison de l'augmentation du CO_2 d'une moyenne de

$$dT = [0,5-1,1^\circ\text{C}/(\text{W}/\text{m}^2)] \cdot 5,35 \cdot \ln(400/280) = 1-1,9^\circ\text{C}$$

À ce niveau, nous devons faire quelques observations. Pour commencer, la comparaison ci-dessus nous donne la température du climat terrestre en équilibre. Dans la pratique, l'atmosphère et la couche supérieure des océans se réchauffent beaucoup plus vite que les eaux profondes (notamment parce que l'eau chauffe très lentement). Nous revenons encore sur ce fait plus loin. Par ailleurs, nous aboutissons aussi avec la sensibilité nettement moindre que présentent certains sceptiques du climat (d'une valeur de $0,27^\circ\text{C}/(\text{W}/\text{m}^2)$ à un réchauffement de $0,5^\circ\text{C}$). Dans ce cas également, l'augmentation de CO_2 contribue encore pour plus de la moitié au réchauffement mesuré de $0,8^\circ\text{C}$ de la surface de la terre.

Différentes évaluations de la sensibilité du climat. Le cercle indique dans tous les cas la valeur la plus vraisemblable. La zone bleue indique la gamme qui utilise l'IPCC dans ses modèles (2 à $4,5^\circ\text{C}$).

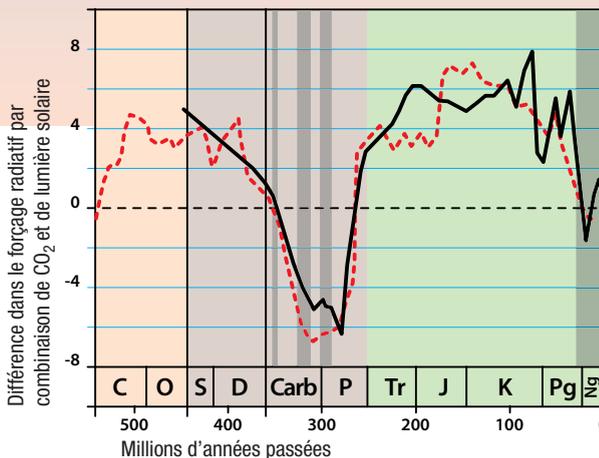
Température et CO₂ sur terre au fil de ces 600 millions d'années.



Contre-argument : Par le passé, les concentrations de CO₂ étaient jusqu'à vingt fois supérieures à aujourd'hui. Pour quoi nous faisons-nous du souci ?

Brève réponse : Comme nous l'avons rapidement admis ailleurs (et à juste titre du reste), le climat est régi par différents facteurs. Étrange il est vrai, alors que dans d'autres argumentations, il prévaut que le soleil constitue une force motrice importante derrière le climat sur terre, l'influence de notre étoile est ici entièrement niée. En effet, la terre avait une atmosphère de plus de 5000 ppm CO₂ pendant le Paléozoïque. C'était uniquement lorsque le soleil était au moins 4% moins actif qu'aujourd'hui (approximativement 1310 W/m² au lieu de 1366 W/m²). L'effet net du rayonnement solaire et le CO₂ s'affichent conjointement sur la figure ci-dessous (avec les périodes glaciaires indiquées comme les zones grises).

Si nous voulons établir de vraies bonnes comparaisons, il est préférable de prendre des périodes où les autres variables qui régissent le climat sur terre sont du même ordre de grandeur qu'à présent. Pour le CO₂, il s'agit alors de concentrations entre 365 et 410 ppm dans le Pliocène. Le soleil était aussi actif qu'aujourd'hui. La conséquence ? Le pôle Nord était de 11 à 16 degrés plus chaud, la température moyenne de la terre se situait entre 3 à 4 degrés au-dessus de celle d'aujourd'hui, et le niveau de la mer était 25 m plus haut. Si ce n'est pas une preuve de la validité des modèles climatiques...



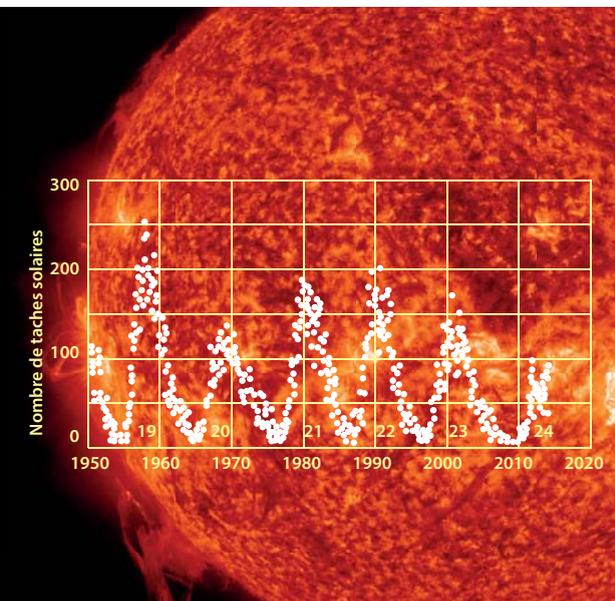
Cette figure indique comment le forçage radiatif a été influencé au fil de l'histoire de la terre par une combinaison de rayonnement solaire et de concentrations de CO₂. Ces deux lignes représentent une estimation avec un autre set de données. Vous voyez ainsi comment des données indépendantes mènent au même résultat.

Le rôle du soleil

Le soleil lui aussi détermine comme il fait chaud sur terre. Son activité est raisonnablement variable, tant à court terme qu'à long terme. Pour pouvoir distinguer clairement l'impact du soleil de l'impact des gaz à effet de serre, il nous faut mieux comprendre combien la relation entre le soleil et notre climat est enchevêtrée.

Taches solaires : moins de nouvelles à court terme

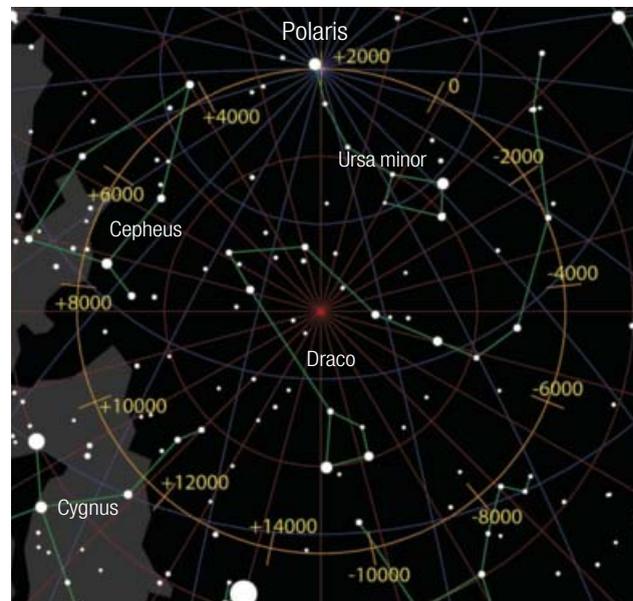
Le soleil connaît un cycle d'activité de 11 ans (voir figure), caractérisé par l'apparition de taches solaires. Ce sont des endroits à la surface du soleil où la température est moins élevée qu'ailleurs : "seulement" env. 4500°C au lieu de 6000°C. Par le contraste avec l'environnement beaucoup plus clair, ces taches semblent brunâtres ou noires. En ce moment, nous sommes dans le 24^e cycle constaté. Il semble que ce soit un cycle avec moins d'activité que normalement, et avec un pic en 2013 (avec aussi moins d'activité que lors des maxima précédents).



L'activité des taches solaires au fil des dernières soixante années. En ce moment, nous nous trouvons dans un cycle et nous attendons un soleil actif, mais pour l'une ou l'autre raison encore inconnue, ce n'est pas vraiment le cas.

Nous pouvons par ailleurs facilement calculer l'impact de cette variation de rayonnement du soleil. Dans le texte, nous établissons déjà que la variation annuelle de l'activité solaire semble correspondre approximativement avec une augmentation de 1% par an des gaz à effet de serre. En termes de rayonnement solaire, la différence entre le minimum et le maximum n'est que de 0,08% des 1366 W/m² que notre planète reçoit comme rayonnement solaire. Cela correspond à nouveau à une différence maximale de 1,1 W/m² au niveau du forçage radiatif. Selon Mike Lockwood de l'Université de Reading (UK) cette valeur est toutefois suffisante pour expliquer les récents hivers rigoureux en Europe : le soleil affichait ces dernières années une activité minimale, et il en résulte que notre planète reçoit moins de rayonnement solaire direct. Cela tire provisoirement tout le bilan radiatif vers le bas.

Un autre exemple de cette influence du soleil est peut-être la période 1645-1715 au cours de laquelle les taches solaires ont pratiquement disparu et l'activité solaire est redevenue forte. Nous appelons cela le minimum de Maunder. Cette période tombe au beau milieu dudit Petit Âge glaciaire (15^e-19^e siècle,



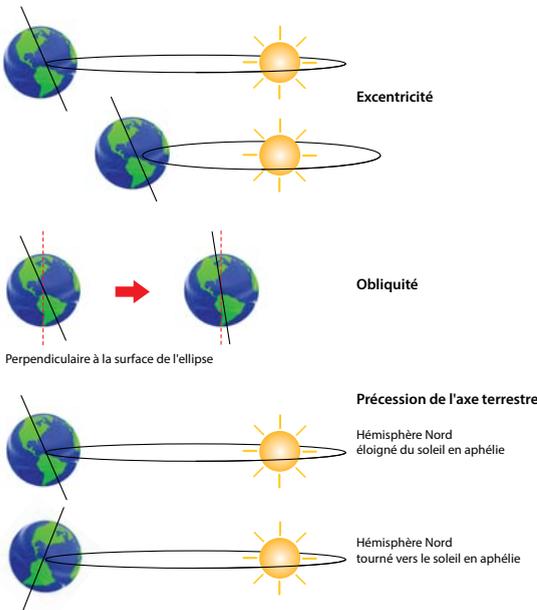
Comment la précession de l'axe terrestre modifie-t-elle notre vue sur le ciel : en ce moment, nous voyons encore pile au nord l'étoile Polaire, mais au cours des 24000 ans à venir, plusieurs autres étoiles viendront à cette place.

avec des températures moyennes en Europe de 1-2 degrés inférieures à aujourd'hui, et partout dans le monde de 0,5-1 degré de moins).

Milankovitch et les périodes glaciaires

Une manière très sérieuse de démontrer combien l'impact du soleil est important sur le climat de notre planète à long terme est constituée par les calculs du scientifique serbe Milankovitch. En élaborant un modèle mathématique de la lumière incidente du soleil sur terre en fonction des mouvements de notre planète, cet homme a pu prévoir de manière très précise les périodes glaciaires. En effet, au fil des millénaires, le trajet de la terre autour de son axe et autour du soleil a subi un grand nombre de changements cycliques. Ces changements sont suffisamment importants pour perturber le bilan radiatif de la terre et avoir pour conséquence une période glaciaire sur terre.

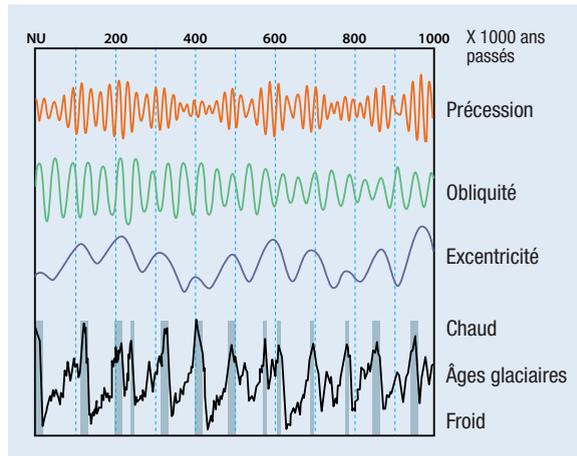
Milankovitch a étudié en particulier l'excentricité orbitale, l'inclinaison de l'axe de la terre et les mouvements de précession de la terre. Chacun de ces phénomènes a sa propre périodicité (l'espace de temps nécessaire pour parvenir à nouveau à la même valeur). Nous expliquons quelque peu ces trois termes.



Les trois mouvements périodiques de l'orbite terrestre dans le modèle de Milankovitch.

Par excentricité, on entend la mesure selon laquelle l'orbite terrestre elliptique diffère d'un cercle. Cet écart fluctue entre 0 et 5% et change avec une périodicité de 100 000 ans et une deuxième de 400 000 ans. En ce moment, l'écart entre le point le plus éloigné de l'orbite terrestre du soleil (l'aphélie) et le point le plus proche (périhélie) est d'environ 3%, et la terre reçoit environ 6% d'énergie solaire en plus que sur le périhélie. Toutefois, lorsque l'orbite de la terre diffère le plus d'un cercle, la différence entre le rayonnement solaire incident est de 20-30% supérieur sur le point de périhélie, suivant le modèle de Milankovitch.

L'inclinaison ou l'obliquité de l'axe de la terre renvoie alors à nouveau à l'angle entre l'axe de la terre et la surface de l'orbite de la terre. Elle s'élève en ce moment à 23,5°. Cet angle varie entre 21,5° et 24,5° en 41 000 ans.



La synergie entre les différents mouvements astronomiques de la terre par rapport au soleil offre une explication parfaite de l'apparition des périodes glaciaires.



Milutin Milankovitch

PRIX DE LA JEUNESSE 2015 BAEKELAND

A gagner
2500 euros
offerts par la
Loterie Nationale



Le climat dans l'impasse ! Qui refroidira la terre ?

*La température moyenne de la terre augmente,
la calotte glaciaire fond, le niveau des mers s'élève.
Nous devons faire face à la sécheresse et la désertification.
Des terres agricoles sont détruites en raison des inondations.
Des animaux et des plantes sont menacés et disparaissent.*



Que faites-VOUS pour y remédier ?

PROPOSEZ UN PROJET pour protéger le monde contre les changements climatiques.

Les organisateurs de l'asbl Bio-MENS et la Faculté des Sciences de l'ULB cherchent des élèves passionnés, créatifs et motivés, issus du **3ème degré de l'enseignement secondaire**, toutes sections confondues. Vous pouvez appréhender un problème au niveau mondial ou vous concentrez sur une région où l'urgence est la plus grande. Tout est possible mais soyez attentifs à la rigueur **scientifique** de votre travail !

Inscrivez-vous pour le 15 février 2015 au plus tard. Vous pouvez envoyer votre travail écrit jusqu'au 15 mars 2015.

Plus d'info ?

www.biomens.eu
kaat@biomens.eu

Bio-MENS asbl, Herrystraat 8b, 2140 Anvers.



www.facebook.com/prixbaekeland
prixbaekeland.tumblr.com



DE JONGE BAEKELAND PRIX DE LA JEUNESSE 2014 BAEKELAND

Le 9 mai 2014, la finale du Prix de la Jeunesse Baekeland/De Jonge Baekeland s'est déroulée au Jardin Botanique à Meise. Dans le matin les finalistes de l'édition francophone pouvaient défendre leur envoi, dans l'après-midi c'était au tour des finalistes de l'équivalent néerlandophone.

Le thème qui marquait le prix cette année, était 'Biomimétisme, la nature comme laboratoire pour des innovations durables'. Les finalistes n'avaient pas seulement préparé d'excellentes présentations, mais ils ont également démontré leur connaissance du sujet et leur éloquence au cours du débat qui s'est ensuivi.



Dans la section francophone, il y avait d'abord les élèves de l'équipe 'Biobac' du Collège Saint-Michel de Bruxelles qui présentaient leur 'ciment vert'.

Les garçons de 'Bellevue' du Collège Notre-Dame de Bellevue de Dinant ont démontré leur village dans le désert qu'ils avaient inventé.



Les deux équipes finalistes et le jury se sont débattus sur le thème du prix.



La Loterie Nationale a offert un montant de 5000 euros aux finalistes.



Les deux finalistes et le jury.

Après la délibération du jury, les élèves du Collège Notre-Dame de Bellevue de Dinant ont été proclamés gagnants de la deuxième édition du Prix de la Jeunesse Baekeland.



Botanic Garden
Meise





Dans la section néerlandophone, les 'Bezige Bijen' de Virgo Sapiensinstituut de Londerzeel ont présenté leur 'Honeycomb wall', un mur basé sur un rayon de miel d'une abeille.



'Puur Natuur' de Sint-Bavohumaniora de Gand avait expérimenté avec un dissolvant eutectique avec lequel ils peuvent par exemple mettre les plantes sur pause au futur.



L'équipe 'AntiBacSlakteam' de Heilige-Drievuldigheidscollege de Louvain avait été inspirée des œufs de l'escargot mauve pour développer une surface antibactérienne.



Les 'Busy B'sss' de Heilige-Drievuldigheidscollege de Louvain avaient inventé un mécanisme de pollinisation, inspiré de celle de l'abeille.

Ellen Droogné de Heilige Drievuldigheidscollege a été proclamé comme gagnante du débat.



Les 'Speurneuzen' de Sint-Maarten Bovenschool de Beveren s'étaient basés sur l'organe olfactif du chien pour le développement de leur montre pour détecter le CO₂.



Le verre d'amitié, finalement, a eu lieu au Palais des Plantes.



Les filles de Sint-Bavohumaniora de Gand ont été proclamé comme gagnants du 6ième édition du Jonge Baekeland. Les Busy B'sss et AntiBacSlakteam de Heilige-Drievuldigheidscollege finissaient sur la 2ième et la 3ième place. Virgo Sapiensinstituut et Sint-Maarten Bovenschool se partageaient la 4ième place.

Voyez, touchez, réagissez !

Expérimentarium de Chimie

Créé en 2011, l'Expérimentarium de Chimie de l'ULB est un espace où tout est conçu pour montrer aux jeunes le rôle fascinant de la chimie.

Lieu de découverte pour les plus jeunes, il permet aux élèves de l'enseignement secondaire d'illustrer et de mettre en pratique des concepts de base de la chimie.

L'objectif est aussi de leur donner un aperçu de la variété de perspectives qu'offre la chimie au quotidien.

La chimie est partout dans notre quotidien mais son image a souvent mauvaise presse, notamment auprès des jeunes. Pourtant, elle peut contribuer à un renouveau écologique et au développement durable. Pour contrer cette image négative, le Département de Chimie de l'ULB a créé en novembre 2011 un Expérimentarium.

L'apprentissage de la chimie en laboratoire nécessite du matériel qui s'entretient, des réactifs qu'il faut entreposer et protéger. Réunir ces conditions n'est pas toujours évident dans un établissement scolaire, d'autant que le coût peut s'avérer important.

L'Expérimentarium de Chimie a ce grand avantage de proposer un lieu équipé, sécurisé, où les groupes d'élèves de primaire et secondaire sont accueillis et encadrés par des étudiants-chimistes de l'ULB motivés. Cet environnement flexible permet de découvrir ou de mettre en pratique les concepts de base importants de la chimie, tout en privilégiant une approche ludique. Les réactions des

profs et des élèves sont particulièrement enthousiastes (voir plus loin). Résultat : les demandes de participation sont de plus en plus nombreuses.

Pour connaître nos activités, n'hésitez pas à consulter le site internet de l'Expérimentarium de chimie ou abonnez-vous à la newsletter INFORSCIENCES afin d'être tenus au courant des nouveautés qui vous seront proposées.

“ *Un vrai labo, du matériel de pro, blouse blanche et lunettes comme dans “Les Experts” à la télé...* ”

“ *C'est en expérimentant qu'on devient expérimentateur ! Qui de mieux que des étudiants motivés pour faire passer le message ?* ”

“ *C'était suffisamment ludique et en rapport avec leur quotidien : bravo !* ”

“ *Plus enrichissant qu'une Journée Portes ouvertes : travail concret, thèmes bien choisis. éveil des vocations ?* ”

www.ulb.be/facs/sciences/chim/Experimentarium.html



POUR LES ÉCOLES

29 SEP > 21 OCT 2014

La stoechiométrie : notion essentielle en chimie !
Atelier pour le secondaire supérieur

30 OCT > 29 NOV 2014

Hygiène et beauté : une question de chimie !
Ateliers pour le primaire et secondaire

9 FÉV > 3 AVR 2015

La chimie des peintures : de l'art rupestre à l'art urbain
Ateliers pour le primaire et secondaire

27 > 30 AVR 2015

Le titrage : notion essentielle en chimie !
Atelier pour le secondaire supérieur

POUR LE GRAND-PUBLIC

SAMEDI 18 OCT 2014

Chimie : réagir vite ou lentement ?
Atelier pour les 8-12 ans
Journée "Place aux enfants"

JEUDI 30 OCT 2014

Nocturne des musées bruxellois
Activités pour le grand public

SAMEDI 29 NOV 2014

Tandem
Ateliers en tandem (grands-parents/petits-enfants) en collaboration avec l'Université Inter-Âges de l'ULB

INFORMATIONS PRATIQUES

24 élèves maximum

Du lundi au vendredi, uniquement sur rendez-vous
2 > 3 heures / atelier

Maximum 5 € / élève

Expérimentarium de chimie
ULB Campus Plaine - Bâtiment A - Niveau 2 - Local A2.239

Encadrement par des étudiants-chimistes de l'ULB

CONTACT ACADÉMIQUE

ExChi@ulb.ac.be

RÉSERVATIONS

Mr Fabian Trillet

Fabian.Trillet@ulb.ac.be

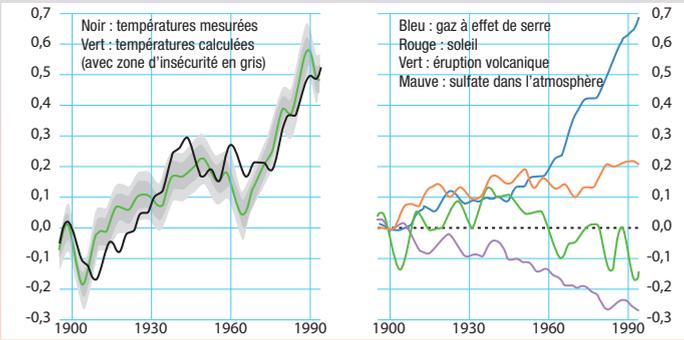
02 650 55 35

02 650 57 67

Contre-argument : "Le soleil a un impact nettement supérieur à l'homme."

Breve réponse : À nouveau, personne ne contestera que le soleil a une grosse influence sur notre climat. C'est une force motrice importante derrière tout ce qui se passe ici sur terre, et cette affirmation est parfaitement démontrée sur les courbes radiatives de Milankovitch. Néanmoins, le soleil n'est pas le seul facteur qui détermine notre climat. La figure ci-dessous présente les paramètres importants qui déterminent la température sur terre : les gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le soleil, la concentration d'ozone, l'activité des volcans et la quantité de composés soufrés dans l'air.

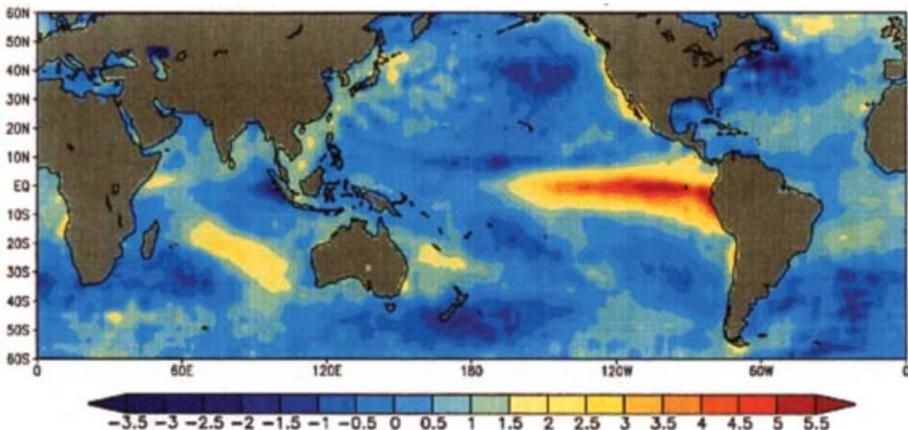
Nous pouvons même simplement évaluer l'effet de l'activité solaire.



Comparaison des valeurs de température mesurées et calculées à gauche avec le forçage radiatif exercé par les facteurs principaux à part. On constate qu'il n'y a une bonne corrélation qu'avec la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Pour finir, il y a encore la précession, soit le changement d'axe de rotation que la terre réalise. Ainsi, change également l'orientation qu'affiche l'axe de la terre. Celle-ci réalise une rotation complète en 24 000 ans de temps, avec des effets complémentaires sur une périodicité de 19 000 et 22 000 ans. Concrètement, l'axe de la terre renvoie en sa face nord à présent vers l'étoile Polaire, mais dans 2000 ans, nous nous orienterons vers un tout autre corps céleste.

Pareils changements dans le mouvement et l'orientation modifient la quantité de rayonnement solaire qui atteint la terre. De même, la répartition de la terre et l'eau sur notre sphère terrestre joue ici encore un rôle : les masses de terre réagissent comme on le sait plus vite à des changements de température que les océans (l'eau a en effet une capacité thermique supérieure à la terre). Il importe donc aussi si l'hémisphère nord riche en terres, ou encore l'hémisphère sud riche en eaux est davantage orienté vers le soleil.



Fluctuations de température de l'eau de l'océan au moment d'un El Niño : de l'eau chaude circule vers les côtes d'Amérique du Sud et y fait grimper la température de 5 degrés au maximum (couleur rouge).

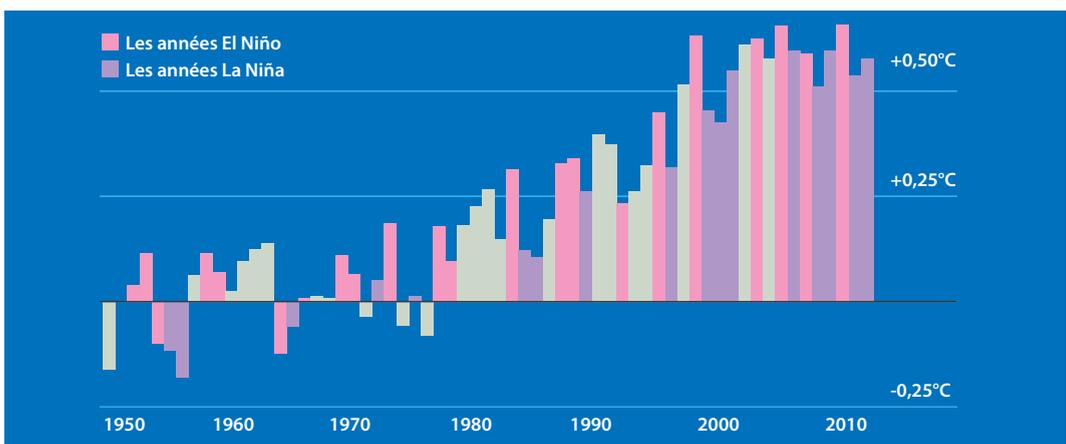
El Niño: l'histoire d'un Enfant de Noël et de sa sœur

Outre les effets astronomiques et atmosphériques sur notre temps et notre climat, il y a aussi un certain nombre de phénomènes moins importants qui influencent notre climat. Le plus important (sauf les saisons) est un phénomène complexe, qui se présente tous les trois à sept ans dans l'Océan Pacifique : El Niño. Ce phénomène est connu depuis longtemps déjà des pêcheurs du Pérou et du Chili, qui voient à ce moment disparaître tous les poissons de leurs eaux côtières. Comme ça se passe toujours durant la période proche de Noël, ils parlent de "l'Enfant de Noël", en espagnol "El Niño".

Qu'est-ce qui s'y passe ? Le vaste Océan Pacifique reçoit plus de lumière du soleil que toute autre région au monde. Une grande partie de cette lumière solaire est entreposée dans l'océan sous la forme de chaleur. Le long de l'Équateur, où se produit El Niño, soufflent les alizés. Ceux-ci proviennent du nord-est (sur l'hémisphère nord) et du sud-est (sur l'hémisphère sud), et obligent l'eau chaude de surface de l'océan à circuler vers l'ouest, vers un endroit situé juste à l'est de l'Indonésie, et au nord-est de l'Australie. Entre-temps, sur le côté est de l'Océan Pacifique, contre les côtes de l'Amérique du Sud, des eaux plus froides dépassent des profondeurs vers le haut. Ainsi, un gradient de température est-ouest survient le long de l'Équateur.

Au début du printemps, sur l'hémisphère nord, ces alizés diminuent provisoirement. Généralement, la mousson d'été asiatique reprend provisoirement le rôle des alizés à ce moment, de sorte que le gradient entre l'ouest et l'est reste maintenu. Parfois, il est toutefois supprimé, et on ne sait toujours pas pourquoi. Par conséquent, l'eau chaude se répand vers l'est et le gradient s'aplanit. En moyenne, les eaux côtières sont alors 3 à 5°C plus chaudes, mais en certains endroits, la température peut atteindre 10 °C en plus que la normale. En outre, l'eau chaude se dilate, ce qui implique que le niveau de l'eau du côté est peut augmenter de quelques cm à quelques dizaines de cm, et au contraire diminuer du côté ouest (où l'eau refroidit). Pendant le El Niño de 1982- 83, cette diminution du niveau de l'eau a eu pour conséquence que les couches supérieures des récifs coralliens tout autour des îles occidentales de l'Océan Pacifique se sont retrouvées à nu et ont été détruites.

Les conséquences d'un El Niño se font ressentir dans le monde entier, par les conséquences économiques tragiques et drastiques. Ainsi, un lourd El Niño perturbera le courant-jet sur l'Océan Pacifique occidental vers l'est, ou impliquera des tempêtes hivernales en Californie et au sud des États-Unis, avec les inondations qui s'ensuivent et les glissements de terrain. Par ailleurs, El Niño peut aussi mener à une grave sécheresse en Australie, en Indonésie et dans certaines parties de l'Asie du Sud. Et tandis que pendant un El Niño, le risque d'ouragans diminue dans



Augmentation de la température mondiale au cours de ces 60 dernières années. Les années El Niño sont toujours un peu plus chaudes que les autres.

Consultez aussi quelques vidéos sur El Niño et La Niña :
<http://www.youtube.com/watch?v=7FVZrw7bk1w>
<http://video.nationalgeographic.com/video/environnement/environnement-natural-disasters/landslides-and-more/el-nino/>



l'Océan Atlantique, le risque de cyclones et de typhons dans l'Océan Pacifique augmente.

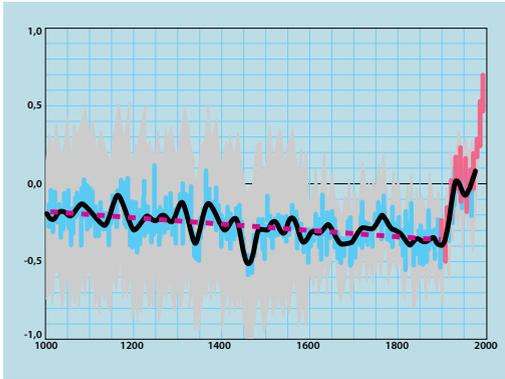
Par ailleurs, El Niño a aussi une petite sœur : La Niña (littéralement La Fille), en tous points de vue le pendant d'El Niño. Ensemble, ils forment le plus vaste modèle climatique El Niño - Oscillation australe (ENOA). Pendant une période de La Niña, la température de surface de l'eau des mers dans l'Océan Atlantique oriental équatorial se situera 3-5°C sous la normale. Lorsque cela se produit pendant au moins 5 mois de suite, on parle de conditions de La Niña.

L'ENAO est un moteur important de notre climat. Pour preuve : les années les plus chaudes que nous avons connues depuis le début des mesures, 2010 et 1998, devaient toutes deux faire face à un El Niño. Les années La Niña de 2011 et 1997 étaient encore considérablement plus fraîches. 2011 et 1997 étaient ex aequo la onzième année la plus chaude depuis le début des mesures (au sein d'une décennie particulièrement chaude par ailleurs).

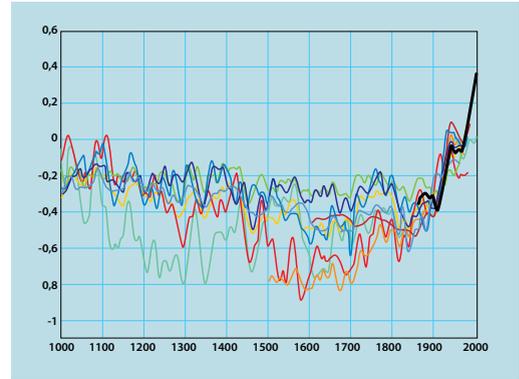
Et la terre se réchauffe-t-elle vraiment à présent ?

Émeutes pour une crosse de hockey

La proposition la plus connue de la température moyenne sur terre au cours des mille à deux mille dernières années découle d'une publication de Mann de 1999. Il s'agit de ce que l'on appelle la figure de la crosse de hockey, qui est surtout fameuse et tristement célèbre par le documentaire Une vérité qui dérange (An Inconvenient Truth) de Al Gore. La courbe retrace la température sur terre au cours des mille dernières années, sur la base des anneaux de croissance des arbres, des rapports des isotopes dans la glace et le bois, la disparition des coraux et autres. Le résultat est tout simplement qualifiable de spectaculaire : après un refroidissement très doux d'un millier d'années, la température sur terre augmente vivement au cours des dernières décennies du vingtième siècle.



La crosse de hockey de Mann. Dans le bleu : les valeurs déduites pour la température dans le passé. Dans le rouge : valeurs effectivement mesurées. L'incertitude concernant les mesures est reproduite dans le gris.



Les séries de données plus étendues, à nouveau analysées, fournissent encore toujours le graphique de la crosse de hockey.

En 2004, ce graphique a mis le feu aux poudres : la méthode statistique utilisée n'était pas correcte, certaines séries de données étaient trop limitées et par conséquent inutilisables, et, il faut le dire, il y avait aussi peu de constatations des périodes plus chaudes pendant le Moyen Âge et le Petit Âge glaciaire qui a suivi. Les méthodes de Mann ont alors aussi été examinées de plus près par le National Center for Atmospheric Research américain, et différentes méthodes statistiques (alternatives et plus récentes) ont alors été appliquées aux données. Les valeurs modifiées sous une certaine lumière au début du 15e siècle, les analyses ont confirmé toutefois les conclusions initiales - que le réchauffement et les températures au cours des décennies écoulées sont incroyablement élevés par rapport aux 600-1000 dernières années. L'ajout de données plus récentes concernant le climat des 1000 dernières années sur la base des dépôts dans les océans et lacs, d'échantillons de carottes, de stalactites, coraux et glaciers ne fait que renforcer l'image initiale.

Mais calculez un peu vous-même : <http://www.skepticalscience.com/trend.php>



Al Gore, vainqueur du Prix Nobel de la paix en raison de ses efforts pour notre climat.

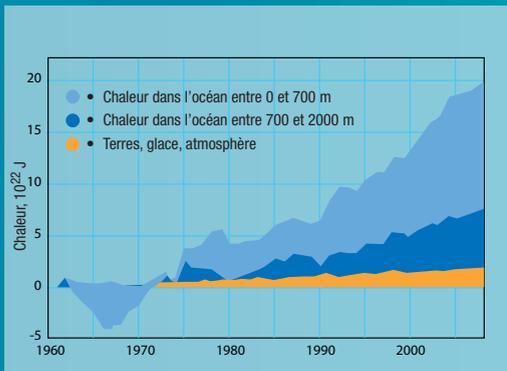
Mais il s'est toutefois rafraîchi au cours de ces dernières années ?

Quiconque examine uniquement la température sur le pays, et ce faisant, tient uniquement compte des températures de la dernière décennie, pourrait en effet en arriver à la conclusion que la terre ne se réchauffe plus. Cependant, on n'évalue pas le climat sur une période de temps si courte, ni sur la base d'un seul paramètre.

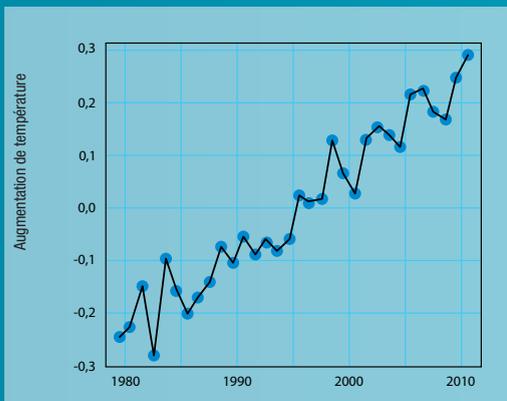
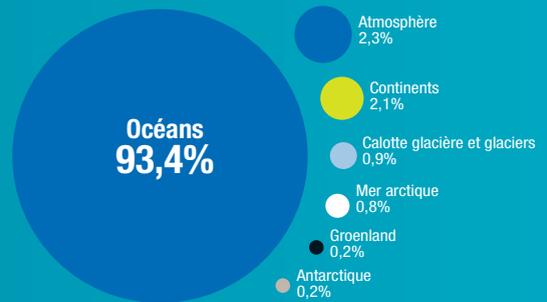
Pour commencer, votre conclusion dépend des données qui sont examinées. Certaines séries de données ne couvrent pas toute la planète, et par ex. si vous ne prenez pas la zone arctique dans votre analyse, vous sous-estimez la température sur terre. Certaines données satellites le font toutefois. Donc si vous voulez obtenir une image complète de la température sur terre, vous devez réunir toutes les sources de données.

Par ailleurs, la durée sur laquelle vous examinez les données joue un rôle important. Plus le délai que vous étudiez est court, et plus un certain nombre de phénomènes périodiques sera important : l'effet de l'activité solaire, El Niño et La Niña, une éruption volcanique éventuelle (le Pinatubo, le Eyjafjallajökull), le fait que ces dernières années, énormément de chaleur a été transportée de l'atmosphère vers

Voyons-nous que ça se réchauffe ?
 Oui. Tout ce à quoi l'on s'attend lors d'un réchauffement de la terre a lieu effectivement.



Où va toute cette chaleur ?



En bref : lorsque nous faisons abstraction de l'influence des volcans, l'ENAO et l'activité solaire, et que nous considérons toutes les valeurs de mesure possibles dans notre analyse, il s'avère alors que les températures sur terre augmentent effectivement beaucoup.

Contre-argument : Les climatologues bricolent avec les données disponibles.

Brève réponse : À première vue, on pouvait s'y attendre étant donné certains termes employés dans l'échange d'e-mails entre les scientifiques climatologues. Des hackers avaient pu mettre la main sur la correspondance entre un certain nombre de grands noms dans la science du climat. Après les contrôles nécessaires, il s'est avéré que l'emploi de la langue de certains scientifiques avait été quelque peu relâché et informel, mais certainement pas leur sérieux méthodologique ni leur intégrité scientifique. Ils sont disculpés de toutes les incriminations.

l'océan, ... En outre, d'autres émissions que les seuls gaz à effet de serre peuvent avoir une influence, comme c'est le cas pour la production d'aérosols (réfrigérants) en Chine, qui a fortement augmenté au cours de ces 16 dernières années. Si nous filtrons pareilles influences à partir des données, la planète se réchauffe toutefois vivement, et même pas moins qu'auparavant. Consultez http://www.skepticalscience.com/pics/FR_11_All.gif pour une simulation.

Examinons enfin quelques autres paramètres. Même en 2010, des scientifiques ont vu dix valeurs clés dans l'étude du climat terrestre changer dans le sens d'une planète qui se réchauffe (voir la figure p21). Et une étude de 2013 indique que le réchauffement de la terre s'est poursuivi plus vivement encore ces quinze dernières années par rapport aux quinze années précédentes. Nous ne le constatons pas directement sur la terre, grâce à l'effet tampon des océans. Plus de 90% de toute la chaleur excédentaire que la terre a eu à traiter sont actuellement stockés dans les océans.

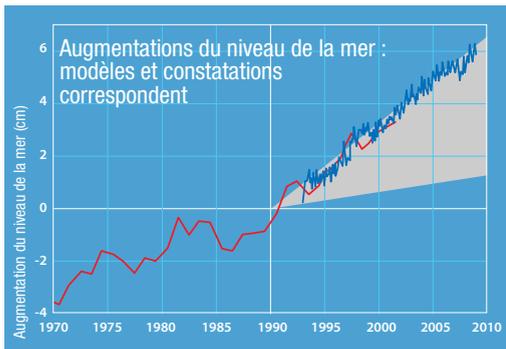
Contre-argument : "...these global warming studies that now we're seeing (are) a bunch of snake oil science." (Sarah Palin)

Brève réponse : Regardez bien autour de vous.

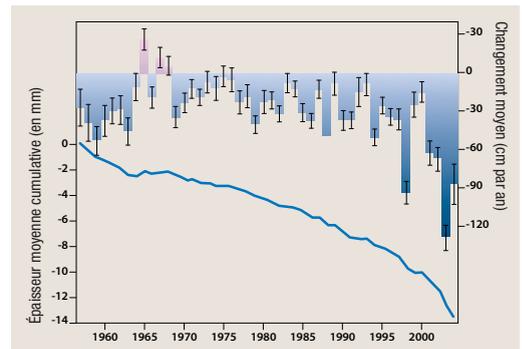
La température n'est pas la seule preuve...

Outre les mesures directes de la température sur terre, il y a encore toute une série d'indications claires que toutes sortes de choses clochent dans notre climat. Pour toutes ces observations, il existe par ailleurs des publications scientifiques (voir <http://www.skepticalscience.com/evidence-for-global-warming-intermediate.htm>)

- La limite supérieure de la troposphère augmente, tandis que la zone supérieure de l'atmosphère refroidit (il parvient moins de chaleur par la face inférieure)
- La zone des tropiques est plus large.
- Les saisons se déplacent.
- Dans les statistiques de météorologie, nous trouvons le double de données de chaleur par rapport aux données plus froides.
- Le permafrost sur terre se réchauffe et commence à se dégeler.



La ligne rouge indique les fluctuations mesurées du niveau de la mer par rapport au niveau de la terre, la ligne bleue indique les mesures satellites. La zone grise indique entre quelles valeurs l'IPCC voyait le niveau de la mer en hausse dans les précédents rapports.



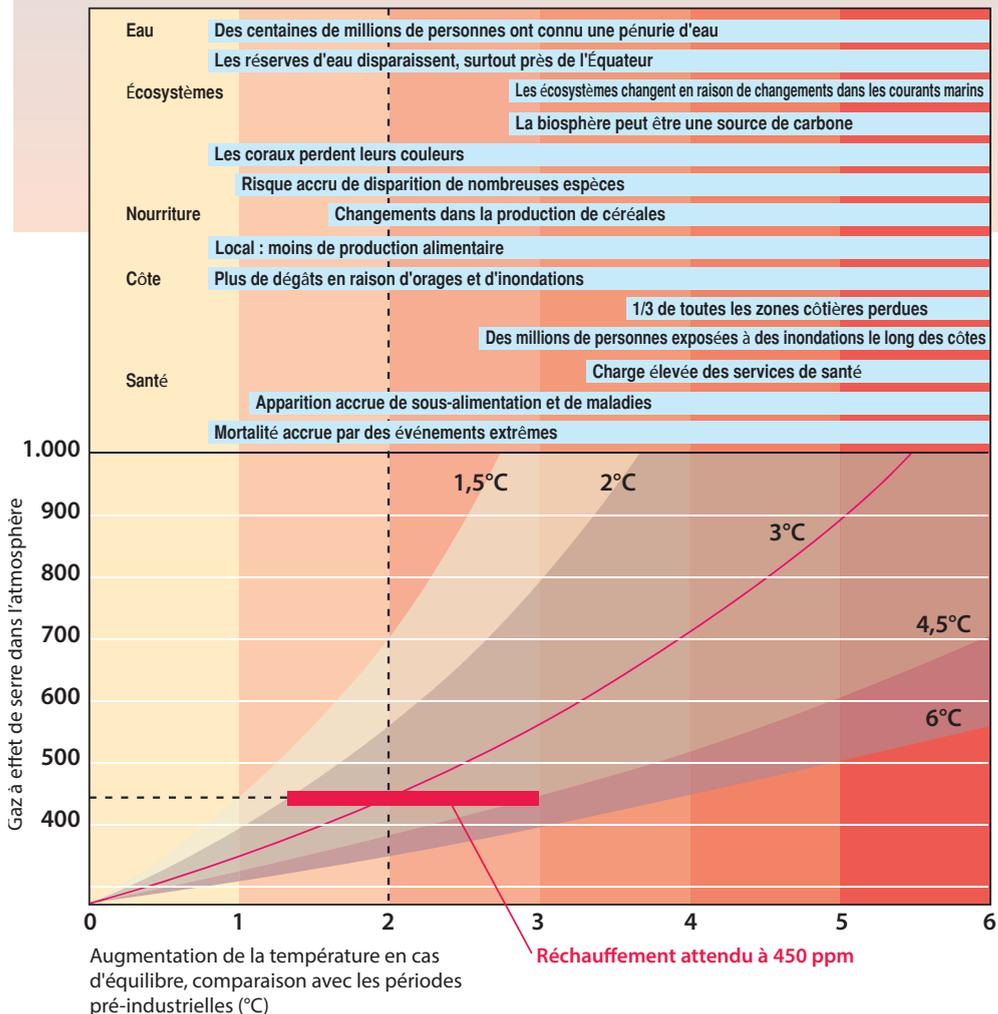
Les petites barres indiquent l'augmentation annuelle (en rose) ou la diminution (en bleu) de l'épaisseur moyenne des glaciers (représentée sur l'axe de droite). La ligne bleue (représentée sur l'axe de gauche) nous indique un résultat total (cumulatif).

Contre-argument : les conséquences du réchauffement pour la terre sont fort exagérées.

Brève réponse : Malheureusement, les conséquences du réchauffement global sont clairement indiquées sur le schéma, comme proposé par l'IPCC... Comparez la figure ci-dessous avec la petite liste ci-jointe.

Pour plus de clarté, la partie inférieure indique quel réchauffement on peut attendre lorsqu'une certaine concentration de CO₂ est atteinte dans l'atmosphère. La zone gris foncé indique la variation la plus probable. En présence de 450 ppm CO₂ la température sur terre évoluera par ex. vers un point d'équilibre plus chaud de 1,3 à 3°C. Chaque degré qui est atteint sur la terre a des conséquences. c'est résumé plus haut : les petites barres grises qui vont jusqu'au jaune clair, expliquent ce qui peut accompagner une augmentation de température d'un seul degré, etc...

Principales conséquences du réchauffement



- Tant au pôle Nord qu'au pôle Sud, la glace fond. Même les glaciers fondent toujours plus vite partout dans le monde. (Il faut le préciser, la prévision dans le rapport IPCC de 2007 indiquant que les glaciers de l'Himalaya auraient disparu d'ici 2035 n'est enregistrée nulle part. Elle est obtenue de textes scientifiques qui n'ont pas obtenu l'aval de pairs.)
- Les animaux et les plantes ont fini de plus en plus tôt leur hivernage, et leur saison de croissance est de plus en plus longue.
- Les animaux et les plantes migrent si possible toujours plus en direction des pôles ou des sommets des montagnes.
- Les agriculteurs en Afrique et en Asie doivent toujours plus faire face aux sécheresses et vagues de chaleur. Cela met leur production alimentaire et leur sécurité alimentaire en danger.

Voir aussi www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/cmb/bams-sotc/2009/bams-sotc-2009-brochure-lo-rez.pdf

Plus encore, une catastrophe climatique semblable est déjà survenue par le passé. Ça vaut la peine d'y jeter un œil dans une dernière partie.

Ce à quoi nous ne voulons plus assister : le maximum thermique du passage Paléocène-Eocène

Une période singulière dans l'histoire du climat de la terre a eu lieu il y a quelque 55 millions d'années, pendant le Paléocène et l'Éocène. Pendant cette période (d'une durée d'environ 200 000 ans), notre planète a subi un réchauffement de 5 à 9 °C. De façon très prosaïque, la période a alors aussi été appelée le maximum thermique du passage Paléocène-Eocène (PETM en anglais).

Au début du PETM, le monde était déjà beaucoup plus chaud que maintenant. Les zones polaires étai-

ent pratiquement sans glace, et étaient peuplées par un ensemble divers de plantes et d'animaux : pendant l'Éocène, des alligators sont apparus jusque dans le cercle polaire !

Le climat au sud de l'Amérique du Nord (à environ trente degrés de latitude nord) était comme dans les tropiques, présentant de hautes températures et beaucoup de précipitations, et avec quelques petites différences entre l'été et l'hiver. Cette phase chaude a débuté au Crétacé et est restée en vogue jusqu'à la fin de l'Éocène. Au début du Tertiaire, les continents se trouvaient déjà dans les positions que nous connaissons actuellement, étant entendu que l'Océan Atlantique était moins large, et le sous-continent indien venait de commencer à se heurter avec le reste de l'Asie. En termes de biodiversité, la terre n'en était qu'à son rétablissement du choc avec la météore à la fin du Crétacé, qui avait détruit différents groupes d'animaux et de plantes, dont les dinosaures, les ptérosaures, les ammonites et les bélemnites, ainsi que de nombreux groupes d'oiseaux, des bivalves, des brachiopodes et des reptiles marins.

Et ainsi, après une dizaine de millions d'années après le début du Tertiaire, la température mondiale est montée de 5-6 degrés sur une période de 20 000 ans. Attendu que la chimie de la mer (et les organismes qui y vivent) est en partie régulée par la température environnante, les sédiments et coquilles fossiles portent un marqueur qui peut nous raconter au jour d'aujourd'hui quelle était la chaleur lorsqu'ils ont été formés. Plus précisément, nous examinons



Contre-argument : Une augmentation du CO₂ suivait par le passé des augmentations de température. Pourquoi un niveau augmenté de CO₂ conduit à présent à une augmentation de température ?

Brève réponse : comme l'indique le récit sur le PETM, il est ici question de la poule ou de l'œuf. En raison de toutes sortes de circonstances encore inconnues, la terre a traversé une période déjà très chaude. Celle-ci a causé la libération du gaz méthane dans les hydrates de méthane, et l'afflux de ce gaz à effet de serre dans l'atmosphère a entraîné une température encore beaucoup plus élevée sur la terre. Les gaz à effet de serre renforcent donc dans ce cas le réchauffement déjà présent.

le rapport entre deux isotopes de l'oxygène, ¹⁸O/¹⁶O. Plus nous retrouvons de ¹⁸O (par rapport au 160), plus ça a dû être froid : chaque augmentation de 0,22 pro mille de δ¹⁸O correspond avec un refroidissement de 1°C, où

$$\delta^{18}O = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{staal}}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{standaard}}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$

et le rapport standard ¹⁸O/¹⁶O est identique au rapport contemporain de 2005,20 ±0,43 ppm.

On peut donc se faire une représentation raisonnablement bonne de comment cette modification du climat très radicale s'est étendue sur toutes les latitudes. On constate une chute de premier ordre (de plus de 1‰) en δ¹⁸O des dépôts de foraminifères, et simultanément, on constate des changements dans leur composition minérale, dans certains liens organiques et dans la composition de leurs communautés – et toutes ces données pointent dans la même direction : une première augmentation vive, et ensuite une chute progressive, pendant 150.000 – 200.000 ans, de la température jusqu'au niveau précédent.

Contre-argument : L'acidification des océans n'est pas un grave problème.

Brève réponse : L'acidification est aussi déjà mesurable aujourd'hui et se poursuit : Aujourd'hui déjà, on constate une calcification réduite chez ces organismes.

Moment	pH	Changement pH	Source
Pré-industriel (1750)	8.179	0.000	Mesures
± Changement de millénaire (1994)	8.104	-0.075	Mesures
2050 (2×[CO ₂] = 560 ppm)	7.949	-0.230	modèle
2100 (selon les estimations de l'IPCC)	7.824	-0.355	modèle

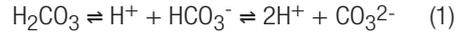
Problème de carbone avant la lettre

Nous comprenons toutefois beaucoup moins bien comment ce changement de climat s'est produit. L'explication la plus vraisemblable est un dégagement massif de méthane des sédiments du fond de la mer, où le gaz était stocké (comme c'est encore le cas aujourd'hui) sous la forme de la matière solide d'hydrate de méthane. Plus l'eau se réchauffe en effet, moins ces hydrates sont stables. Une fois dans l'atmosphère, ce méthane serait rapidement oxydé en dioxyde de carbone. Ces deux gaz sont pourtant des gaz à effet de serre (le méthane est par ailleurs 21 fois plus efficace sur ce plan que le CO₂). Au total, on estime qu'entre 1050 et 2100 gigatonnes (milliards de tonnes) doivent être arrivées dans l'atmosphère. Pour preuve, on constate que ce méthane est raisonnablement pauvre en isotope ¹³C, car il provient des bactéries qui produisent le méthane. Lors du calcul du facteur δ¹³C dans les dépôts aux environs du PETM, les scientifiques ont trouvé que cet isotope doit avoir été présent en très petite quantité dans l'atmosphère depuis le début de cette période chaude. Un

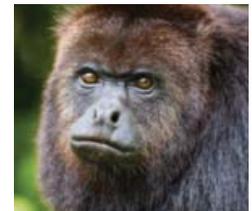
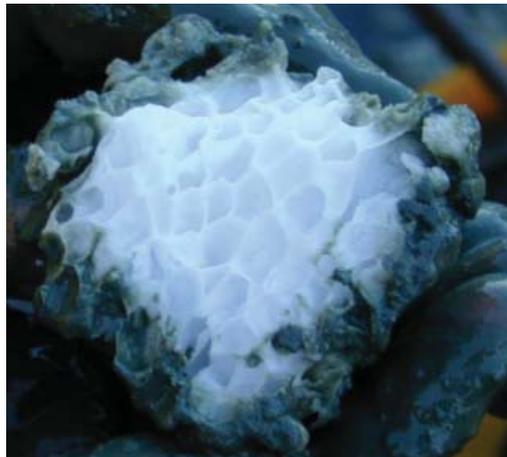
méthane bactérien est par conséquent une source très vraisemblable de tout ce carbone.

Outre un ferme réchauffement de la planète, la grande quantité de CO₂ dans l'atmosphère a causé aussi une vive acidification des océans. Lorsqu'un

gaz carbonique se dissout dans l'eau de l'océan, cela se passe en raison de la formation d' H₂CO₃. Mais bien sûr, c'est un acide, et il se comportera aussi en tant que tel :

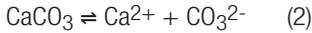


Ère	Période	Étage	Ancienneté (en millions d'années)
CÉNOZOÏQUE	Quaternaire	Holocène	Aujourd'hui - 0,0115
		Pléistocène	0,0115 - 0,128
			0,128 - 2,588
	Néogène	Pliocène	2,588 - 5,332
		Pléistocène	5,332 - 23,03
	Paléogène	Oligocène	23,03 - 33,9
		Éocène	33,9 - 55,8
		Paléocène	55,8 - 65,5
MÉSOZOÏQUE	Crétacé	Fin	65,5 - ...



Hydrates de méthane

Lentement, les océans s'acidifient et ce phénomène a pour conséquence une baisse du pH. L'équilibre 1 se déplace vers la gauche pour écarter cette quantité d'ions acides H⁺ et ainsi la teneur en carbonates va aussi diminuer, et l'équilibre 2 se déplace aussi vers la droite, car un déficit en carbonates est perçu. Cela signifie que le carbonate de calcium doit se dissoudre :



Et ça aussi, les chercheurs l'ont constaté : dans les dépôts géologiques du PETM, le carbonate de calcium n'était en effet pas présent, ou pas présent en quantité suffisante. Cette solubilité accrue du carbonate de calcium est une catastrophe pour les invertébrés et les unicellulaires qui érigent une protection extérieure à partir du CaCO₃, comme les coraux, les coccosphaerales, les foraminifères, les coquilles des mollusques et des crustacés, ...

La grande leçon du PETM

Les scientifiques sont d'accord pour dire que la fonte des hydrates de méthane sur le fond des mers et le dégel du permafrost sur des latitudes élevées ont largement contribué à la réalisation du PETM. Ça peut encore nous arriver aujourd'hui. Nous estimons qu'il y a 500 à 10 000 milliards de tonnes de carbone en tant qu'hydrate de méthane stocké dans les sédiments marins, et encore 7,5-400 milliards de tonnes dans le permafrost. Si le réchauffement actuel devait être comme celui du Paléocène suffisant pour mobiliser ces stocks, alors notre climat pourrait

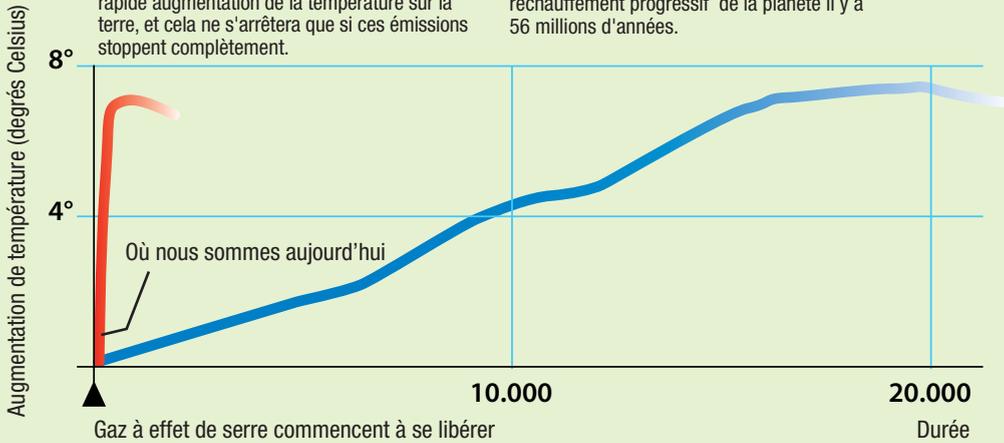
encore faire un bond effrayant en direction d'un réchauffement de 5, 6... degrés (et peut-être plus).

L'impact le plus perturbant pendant le PETM était probablement l'acidification importante des océans et l'impact destructeur qui l'accompagne sur les êtres de calcification comme les foraminifères, les mollusques et les coraux. Cependant, nous ne constatons pas de destruction massive (comme par ex. lors du passage du Cétacé au Tertiaire, 10 millions d'années auparavant), probablement parce que les changements se sont déroulés suffisamment progressivement pour que la vie s'adapte au nouvel environnement (ex. en migrant vers des régions plus froides). Les seules espèces pour lesquelles on peut assurément parler de destruction étaient quelques foraminifères qui vivaient sur les fonds marins. On suppose que ces foraminifères ne peuvent pas s'adapter à la nouvelle chaleur à une telle profondeur (le fond marin a chauffé de 4 à 5°C). Sur la terre, il est apparu que la hausse de température orientait l'évolution biologique dans le sens des individus plus petits, probablement parce qu'il est plus facile pour les petits animaux d'évacuer la chaleur. La hausse des niveaux de CO₂ devrait également avoir joué un rôle à ce niveau. Les ongulés et les tortues apparaissaient auparavant uniquement dans les tropiques, mais sont partis en direction de l'Amérique du Nord et de l'Europe pendant le PETM. À la suite du PETM, se sont d'ailleurs développés quelques-uns des ordres de mammifères actuels : les artiodactyles, les périssodactyles (et alors surtout les chevaux) et les primates.

	PETM	Réchauffement actuel
Cause	Dérive des continents, fonte des hydrates de méthane, fonte du permafrost Une contribution éventuelle des volcans	Combustion de carburants fossiles par les hommes
Émissions de CO ₂	2 Gtonnes par an	Moins de 30 Gtonnes par an
Vitesse du réchauffement	0.025°C par 100 ans	1 tot 4°C par 100 ans

Aujourd'hui : émission élevée de carbone : jusqu'à 25 Pg par an (25 pétagrammes, ou encore $25 \cdot 10^{15}$ g par an, soit 25 millions de milliards de grammes par an). Cela conduit à une rapide augmentation de la température sur la terre, et cela ne s'arrêtera que si ces émissions stoppent complètement.

PETM : émission lente, mais continue : jusqu'à 1,7 Pg de carbone par an (lire $1,7 \cdot 10^{15}$ g par an, soit 1,7 million de milliards de grammes par an). Ce phénomène a conduit à un réchauffement progressif de la planète il y a 56 millions d'années.



Le réchauffement global est-il simplement un phénomène naturel...

Pas entièrement : le récit concernant le PETM démontre surtout que le réchauffement global peut AUCSI être un phénomène naturel. Toutefois, il y a encore une grande différence entre les deux phénomènes : la rapidité avec laquelle le carbone se construit dans l'atmosphère et, simultanément, la rapidité avec laquelle le réchauffement se développe. Au jour d'aujourd'hui, cette vitesse est des dizaines de fois supérieures à celle de l'époque ET se développe tout à fait parallèlement à des gaz à effet de serre d'origine humaine.

Basculer ou trébucher : dans quelle mesure le mauvais choix est-il néfaste ?

Nos modèles sont-ils complets ? Non. Un des gros points d'interrogation auquel il faut encore s'attendre porte sur l'existence de 'tipping points', à savoir, des points dans l'évolution du climat de la terre qui mènent à des changements irréversibles. L'exemple du PETM nous apprend qu'il ne faut pas sous-estimer ce genre de points de basculement, et qu'il est préférable d'entreprendre des actions à temps afin de les éviter si possible. En cas de température trop élevée, il se pourrait en effet que les grandes forêts boréales dans

le nord et les forêts tropicales de l'Amazonie ne commencent à disparaître en raison de la sécheresse et des températures trop élevées. Un climat trop chaud peut aussi mener à la libération du méthane sur le fond du pôle Nord et dans les couches du permafrost en Eurasie. Ce qui se passe aujourd'hui avec la terre ne peut ce jour être représenté par aucun modèle.

Néanmoins, la terre en tant que planète survivra aussi à ces changements, et après une crise de biodiversité qui était déjà sur le point d'éclater sans réchauffement, la vie se fraiera bien un chemin et fleurira comme jamais auparavant. Si l'espèce humaine sera encore présente est une autre question. Mais même notre espèce n'est pas si facile à détruire. Certainement pas les civilisations hautement technologiques du Nord qui ont en effet assez d'argent pour se protéger contre les conséquences les plus graves des changements climatiques (pensez notamment aux travaux au niveau des deltas aux Pays-Bas). Si les milliards de personnes dans l'est et le sud qui souffrent à présent déjà de sécheresses et de famines auront cette chance... c'est une autre question. On peut toujours naturellement se cacher derrière la phrase dénuée de sens qu'il était temps que la population humaine commence à diminuer (toujours plus facile à dire qu'à faire, bien sûr).

Comme d'habitude, notre récit à la fin de ce dossier est encore inachevé. Il y a encore une multitude de questions restées sans réponse, mais le lecteur

intéressé trouvera peut-être encore de nombreuses informations dans des dossiers parus précédemment, le n° 22, Le climat dans l'embaras, et le n° 36, Un petit degré de plus. Quo vadis, la Terre ?, tous deux sont téléchargeables sur www.biomens.eu. Dans ce dossier, nous dressons surtout un relevé purement scientifique : dans quelle mesure la base scientifique de nos connaissances sur le climat est-elle solide, et dans quelle mesure les contre-arguments les plus fréquemment avancés sont-ils sérieux ? À tous égards,

Contre-argument : La terre a déjà été plus chaude (plus froide) auparavant. Quel est le problème aujourd'hui ?

Brève réponse : Personne ne le conteste. Le climat de notre planète est aujourd'hui devenu un ensemble très complexe de circuits de réactions et de feed-back (ce qui le rend par ailleurs si difficile à étudier).

Dans ce dossier, figurent du reste un grand nombre d'exemples sur comment la terre était autrefois plus chaude ou plus froide (et comment les modèles existants contribuent à une meilleure compréhension de l'évolution du climat par le passé).

Le gros problème est la rapidité avec laquelle la terre se réchauffe cette fois. La nature n'a pas le temps de s'adapter : animaux et plantes ne peuvent migrer suffisamment vite vers des régions où ils peuvent se développer de façon optimale, les animaux dans la mer n'évoluent pas assez vite que pour pouvoir maîtriser l'acidification des océans.

il nous semble que les théories de l'IPCC donnent une image bien étayée de la situation où se trouve le climat sur notre planète. Quiconque a posé une question franche à ce propos, a reçu de notre part une réponse franche. Il nous faut à présent rechercher ensemble des solutions durables.

Lire, regarder et écouter plus sur le sujet ?

www.stthomas.edu/engineering/jpabraham/

Pour quiconque veut voir avec ses propres yeux comment certains sceptiques soit ne comprennent rien, soit recherchent activement des informations trompeuses, des affirmations erronées, etc...

palaeo.gly.bris.ac.uk/ocean/Index.html

À propos de l'acidification des océans.

www.realclimate.org

www.skepticalscience.com

www.skepticalscience.com/docs/Guide_Skepticism_French.pdf

Oreskes, Naomi et Conway, Erik M., Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming, Bloomsbury Paperbacks (7 Jun 2012), ISBN10: 1408824833

Et aussi un livre sceptique :

Delingpole, James, Watermelons: How Environmentalists are Killing the Planet, Destroying the Economy and Stealing your Children's Future, Biteback Publishing (11 Sep 2012), ISBN-10: 1849544050



© 2014 Bio-MENS asbl

MeNS est une édition de l'asbl Bio-MENS. A la lumière du modèle de société actuel, elle considère une éducation scientifique objective comme l'un de ses objectifs de base.

www.biomens.eu

Coordination académique

Prof. Dr. Roland Caubergs

Rédacteur en chef et rédaction finale

Dr. Ing. Joeri Horvath, UA

Rédaction centrale

Lic. Karel Bruggemans

Prof. Dr. Roland Caubergs

Dr. Guido François

Prof. Dr. Geert Potters

Dr. Lieve Maesele

Lic. Els Grieten

Lic. Chris Thoen

ir. Marjolein Vanoppen

ir. Ariane Ooms

Prof. Dr. Diane Van Strydonck

Ludwig Callaerts

Coordination communication Bio-MENS

Kaat Vervoort

Herrystraat 8b, 2140 Antwerpen

Tél. +32 (0)3 609 52 30

Fax +32 (0)3 609 52 37

contact@biomens.eu

Coordination

Dr. Sonja De Nollin

Conception et mise en page

Peter Faes - www.odevie.com

Ce dossier a été réalisé en collaboration avec l'Université Libre de Bruxelles

TOUT EST POSSIBLE

Festival NEXT - Akram Khan Cie
CE PROJET EXISTE GRÂCE À VOUS.
 Avec la Loterie Nationale, jouer, c'est aussi soutenir de nombreux projets qui profitent à tous. En 2013, plus de 10 millions d'euros ont été redistribués à des projets culturels comme celui-ci.



GRÂCE À VOUS



PRIX DE LA JEUNESSE BAEKELAND 2015

Le climat dans l'impasse ! Qui refroidira la terre ?

Le climat dans l'impasse ! Qui refroidira la terre ? La température moyenne de la terre augmente, la calotte glaciaire fond, le niveau des mers s'élève. Nous devons faire face à la sécheresse et la désertification. Des terres agricoles sont détruites en raison des inondations. Des animaux et des plantes sont menacés et disparaissent.

Que faites-VOUS pour y remédier ?

C'est le thème 'Le climat dans l'impasse !' qui marque la 7ème édition du Prix de la Jeunesse Baekeland. Les organisateurs cherchent des élèves issus du 3ème degré de l'enseignement secondaire, toutes sections confondues qui peuvent les étonner avec leurs idées créatifs. Inscrivez-vous pour le 15 février 2015 au plus tard.

Plus d'info ? www.biomens.eu



MENS 61

Dossier à venir: Organismes Génétiquement Modifiés partie 1

- ...
- 25 La biomasse : L'or vert du 21ème siècle
- 26 La nourriture des dieux : le chocolat
- 27 Jouer avec les atomes: la nanotechnologie
- 28 L'or bleu : un trésor exceptionnelle !
- 29 Animal heureux, homme heureux
- 30 Des souris et des rats, petits soucis et grands tracas
- 31 Illusions à vendre
- 32 La cigarette (ou) la vie
- 33 La grippe, un tueur aux aguets ?
- 34 Vaccination : bouée de sauvetage ou mirage ?
- 35 De l'énergie à foison
- 36 Un petit degré de plus. Quo vadis, la Terre?
- 37 L'énergie en point de mire
- 38 TDAH, lorsque le chaos domine
- 39 Une société durable... plastiques admis
- 40 Aspects d'évolution - Darwin
- 41 Les maladies sexuellement transmissibles
- 42 La Chimie Verte
- 43 Espèces invasives
- 44 Le cerveau
- 45 Embarquement pour Mars
- 46 Où la piste mène-t-elle ?
- 47 Quand le sang cesse de circuler...
- 48 PVC : durabilité et design en harmonie
- 49 Biodiversité marine
- 50 Biologie systémique
- 51 Le monde des abeilles
- 52 (Sur)Population
- 53 Surpêche
- 54 Manger en conscience
- 55 Bambou
- 56 Cancer
- 57 Biomimétisme
- 58 Ouïe et problèmes d'audition
- 59 Des médicaments

