

**Le réchauffement global
s'est temporairement ralenti,
mais une crise climatique menace
toujours dans un avenir proche.**

Michael Mann



CLIMAT

le faux espoir

« Les températures sont constantes depuis 15 ans – et personne ne peut l'expliquer. »

Wall Street Journal

« La "pause" du réchauffement climatique pourrait durer encore 20 ans et la glace de la mer Arctique a déjà commencé à se reformer. »

Daily Mail

Les médias populaires abondent de telles déclarations rassurantes sur le climat, mais ils se fourvoient. Le réchauffement climatique se poursuit et demeure un problème urgent.

D'où vient ce malentendu ? La température moyenne à la surface de la Terre a augmenté moins vite durant la dernière décennie qu'au cours de la décennie précédente. On parle communément d'une « pause », mais ce terme est trompeur, car la température a continué de croître ; il s'agit plutôt d'un ralentissement. Que

présage ce ralentissement sur le réchauffement futur ?

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est chargé de répondre aux questions de ce type. Ses prévisions sont publiées tous les cinq ou sept ans. Dans son rapport de 2013 – le cinquième rapport majeur –, il a légèrement abaissé la valeur minimale du réchauffement par rapport à la version de 2007, afin de prendre en compte le ralentissement de la dernière décennie. Les travaux du GIEC font référence et orientent les politiques climatiques dans le monde, de sorte que ce petit changement a suscité le débat sur la rapidité du réchauffement et sur le temps dont nous disposons pour l'arrêter.

J'ai mené plusieurs calculs pour apporter quelques éléments de réponse. Selon ces calculs, si nous continuons à brûler

des carburants fossiles au rythme actuel, la température franchira une limite correspondant à une catastrophe environnementale en 2036. La prétendue pause peut repousser cette échéance de quelques années, mais pas plus.

Un réchauffement inédit depuis plus de 1 000 ans

En 2001, le GIEC a publié une courbe que j'ai élaborée avec d'autres chercheurs, et qui a acquis une notoriété mondiale sous le nom de « crosse de hockey ». Elle représente l'évolution de la température dans l'hémisphère Nord au cours des 1 000 dernières années – aussi loin que nos données remontaient à l'époque. Cette courbe montre que pendant cette période, la température a peu changé jusqu'au milieu du XIX^e siècle (partie correspondant au manche de la crosse) et a



aux niveaux pré-industriels), en supposant que le climat s'est stabilisé ensuite.

La concentration atmosphérique de CO_2 à l'ère pré-industrielle étant d'environ 280 parties par million (ppm), le double vaut à peu près 560 ppm. On s'attend à ce que cette valeur soit atteinte au cours de ce siècle si l'on continue à brûler des carburants fossiles au rythme actuel – un scénario qualifié de *business-as-usual* (« les affaires continuent comme d'habitude »). Plus la température atmosphérique est sensible à une augmentation de CO_2 (plus l'ECS est important), plus vite elle s'élèvera.

Des rétroactions qui compliquent l'analyse

La valeur de la sensibilité climatique à l'équilibre est difficile à déterminer, car le réchauffement est influencé par des mécanismes de rétroaction, qui impliquent par exemple les nuages ou la glace. Les résultats des diverses simulations diffèrent quant à leurs effets précis, en particulier pour la couverture nuageuse. Celle-ci a à la fois un effet refroidissant, en réfléchissant vers l'espace la lumière du soleil, et un effet réchauffant, en absorbant une partie de l'énergie thermique émise par la Terre. Lequel domine ? Cela dépend du type, de la répartition et de l'altitude des nuages – difficilement prévisibles par les modèles climatiques. D'autres facteurs susceptibles d'exercer une rétroaction sont les variations de la quantité de vapeur d'eau (un gaz à effet de serre) dans l'atmosphère et la fonte des glaces océaniques et continentales (la glace renvoie plus d'énergie solaire vers l'espace que l'eau libre ou le sol).

Ces rétroactions présentent plusieurs incertitudes : quelle quantité de vapeur d'eau stockera une atmosphère plus chaude ? À quelle vitesse fondront les glaces ? De ce fait, le GIEC fournit une fourchette de valeurs pour la sensibilité climatique à l'équilibre, et non un seul nombre. Selon le rapport de septembre 2013, le réchauffement serait ainsi compris entre 1,5 et 4,5 °C pour un doublement de la quantité de CO_2 atmosphérique. La valeur inférieure a été abaissée par rapport au quatrième rapport, publié en 2007, qui l'estimait à 2 °C. Cette modification ne repose que sur un élément, peu fiable : le ralentissement du réchauffement lors de la dernière décennie – la pseudo-pause.

Pour nombre d'experts du climat – y compris moi-même –, une seule décennie



© Shutterstock.com/Antanov Roman

brusquement augmenté un peu plus tard (la lame de la crose).

Cette courbe a été très utilisée dans le débat sur le changement climatique. Dans son rapport de septembre 2013, le GIEC est remonté encore plus loin dans le temps et a conclu que le réchauffement récent est sans précédent depuis au moins 1 400 ans.

L'ampleur du réchauffement à venir dépend de la sensibilité de la température aux émissions anthropiques (c'est-à-dire dues aux activités humaines) de gaz à effet de serre, principalement du dioxyde de carbone. Les chercheurs la quantifient par une valeur standard nommée sensibilité climatique à l'équilibre (*Equilibrium climate sensitivity*, ou ECS) : cette valeur représente le réchauffement prévu à la surface de la Terre à la suite d'un doublement de la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère (considéré ici par rapport

L'ESSENTIEL

- L'augmentation de température à la surface de la Terre a un peu ralenti durant la dernière décennie. Mais le terme de « pause », souvent employé, est inapproprié.
- De nouveaux calculs montrent que si nous continuons à brûler des carburants fossiles au rythme actuel, le réchauffement global atteindra 2 °C en 2036, un niveau jugé dangereux.
- Afin que cette limite ne soit pas franchie, la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone devra rester inférieure à 405 parties par million.

est une période trop brève pour mesurer de façon précise le réchauffement global et le GIEC a accordé trop d'importance à ce phénomène. En outre, d'autres facteurs ont été proposés pour l'expliquer ; ils ne font pas intervenir la sensibilité du climat aux gaz à effet de serre et n'impliquent pas une poursuite du ralentissement.

L'un de ces facteurs est par exemple l'impact cumulé des éruptions volcaniques de la dernière décennie, dont celle du volcan islandais Eyjafjallajökull : l'effet refroidissant des particules projetées dans l'atmosphère pourrait avoir été plus important que ne le préoyaient la plupart des modèles climatiques. Un autre facteur est l'activité solaire, qui a connu une légère baisse et qui n'a pas été prise en compte dans les simulations du GIEC. La variabilité naturelle de la quantité de chaleur absorbée par les océans pourrait aussi avoir joué un rôle. Durant la dernière moitié de la décennie, La Niña (un phénomène climatique périodique, qui se traduit notamment par un refroidissement des eaux de surface à l'Est de l'océan Paci-

■ L'AUTEUR



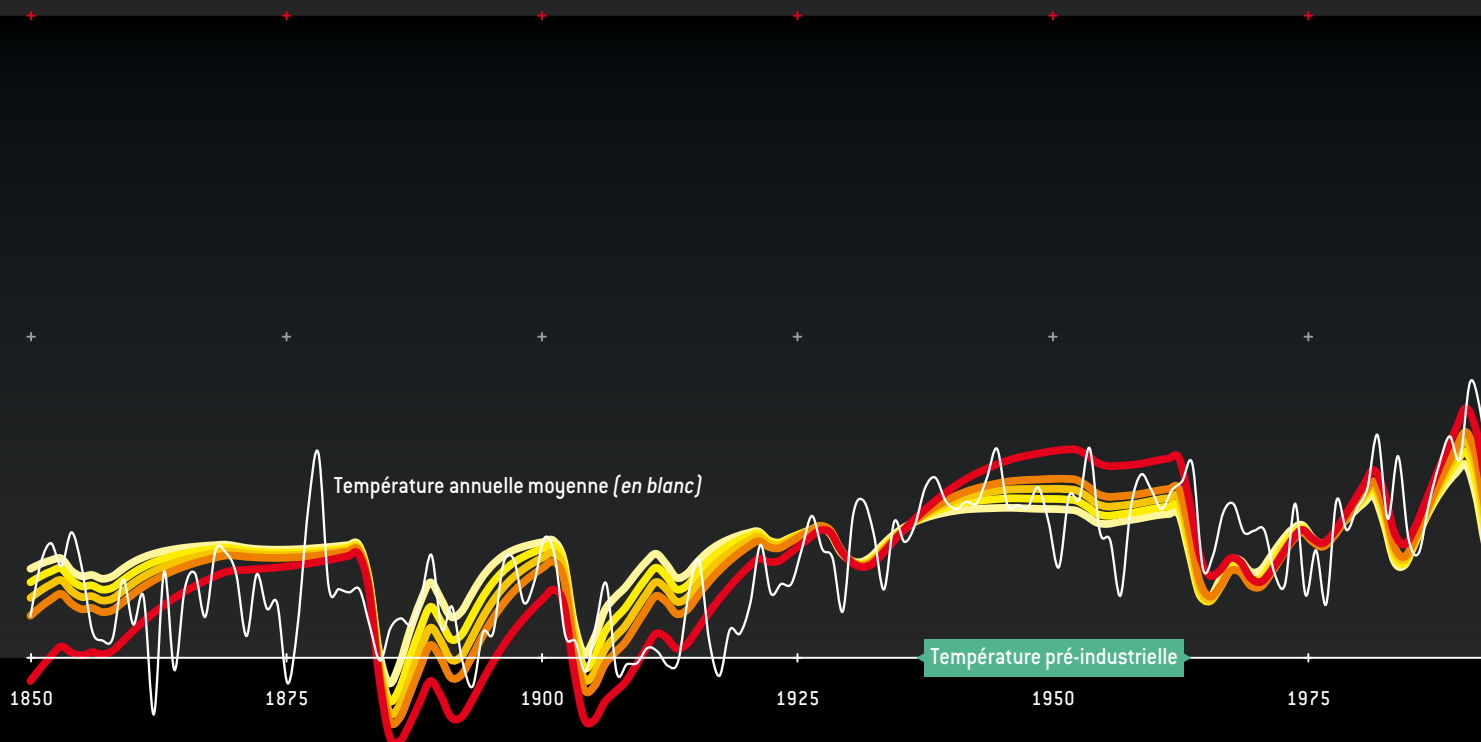
Michael MANN
est professeur
de météorologie
à l'Université
de Pennsylvanie.
Il a contribué

aux travaux du Groupe
intergouvernemental d'experts
du climat (GIEC).

fique) s'est prolongée dans une partie du Pacifique, au niveau des tropiques. Ce phénomène aurait provoqué une baisse globale de $0,1^{\circ}\text{C}$ des températures de surface – un effet mineur par rapport au réchauffement à long terme, mais notable sur une décennie. Enfin, une étude récente suggère qu'un échantillonnage incomplet des températures arctiques a conduit à sous-estimer le réchauffement du globe.

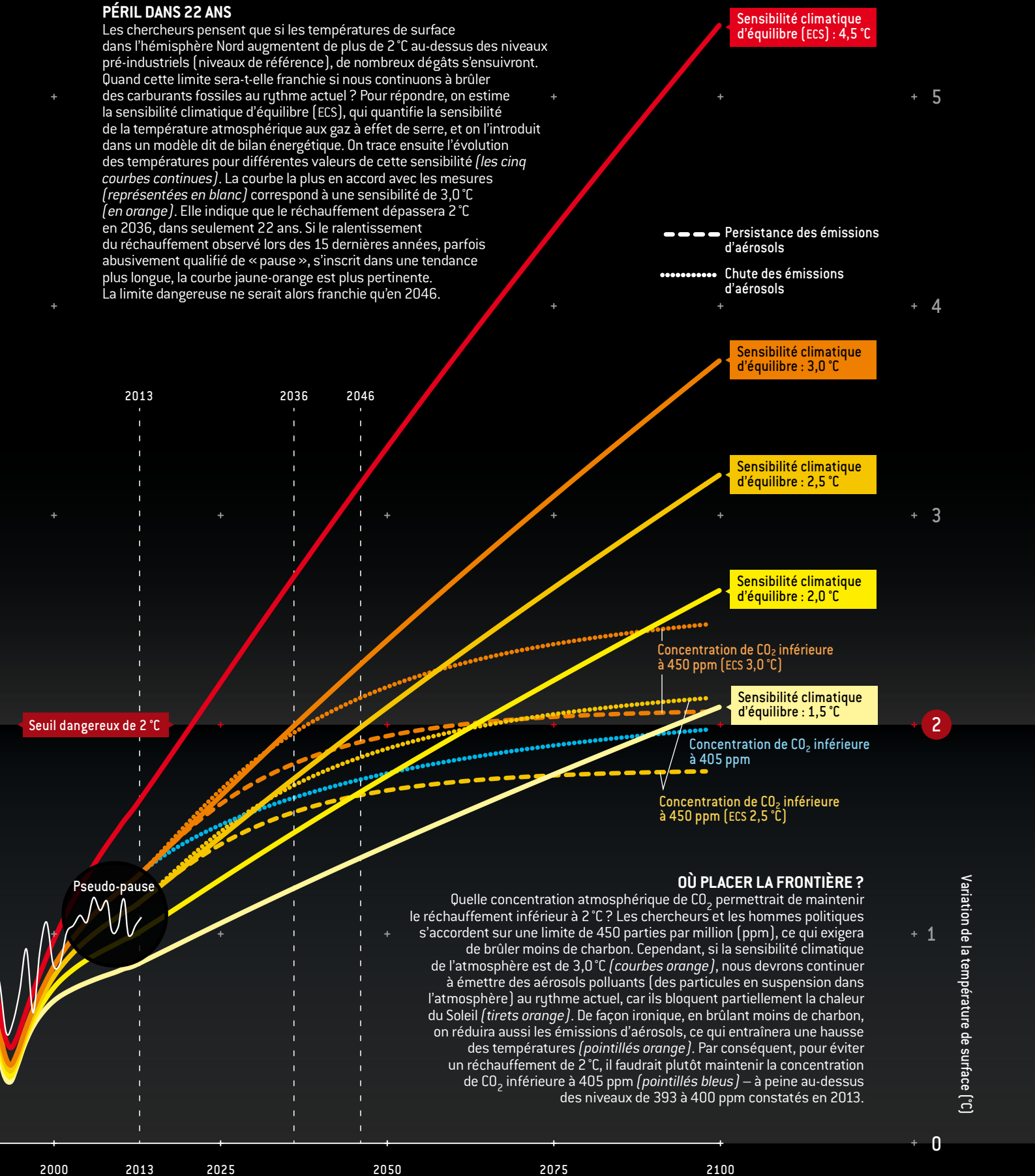
Aucune de ces explications n'implique que le climat est moins sensible aux gaz à effet de serre. D'autres mesures suggèrent que la valeur de $1,5^{\circ}\text{C}$, choisie comme limite inférieure de la sensibilité climatique, est peu probable. Les éléments disponibles plaident plutôt en faveur d'une valeur proche de 3°C . Quand on fait la moyenne des valeurs trouvées par les modèles climatiques utilisés pour le cinquième rapport du GIEC, on trouve d'ailleurs un réchauffement de $3,2^{\circ}\text{C}$ pour un doublement de la quantité de gaz à effet de serre.

En d'autres termes, baisser la borne inférieure de 2°C à $1,5^{\circ}\text{C}$ a peu de sens. Et même si la sensibilité climatique était



PÉRIL DANS 22 ANS

Les chercheurs pensent que si les températures de surface dans l'hémisphère Nord augmentent de plus de 2 °C au-dessus des niveaux pré-industriels (niveaux de référence), de nombreux dégâts s'ensuivront. Quand cette limite sera-t-elle franchie si nous continuons à brûler des carburants fossiles au rythme actuel ? Pour répondre, on estime la sensibilité climatique d'équilibre (ECS), qui quantifie la sensibilité de la température atmosphérique aux gaz à effet de serre, et on l'introduit dans un modèle dit de bilan énergétique. On trace ensuite l'évolution des températures pour différentes valeurs de cette sensibilité (*les cinq courbes continues*). La courbe la plus en accord avec les mesures (*représentées en blanc*) correspond à une sensibilité de 3,0 °C (*en orange*). Elle indique que le réchauffement dépassera 2 °C en 2036, dans seulement 22 ans. Si le ralentissement du réchauffement observé lors des 15 dernières années, parfois abusivement qualifié de « pause », s'inscrit dans une tendance plus longue, la courbe jaune-orange est plus pertinente. La limite dangereuse ne serait alors franchie qu'en 2046.



OÙ PLACER LA FRONTIÈRE ?

Quelle concentration atmosphérique de CO₂ permettrait de maintenir le réchauffement inférieur à 2 °C ? Les chercheurs et les hommes politiques s'accordent sur une limite de 450 parties par million (ppm), ce qui exigera de brûler moins de charbon. Cependant, si la sensibilité climatique de l'atmosphère est de 3,0 °C (*courbes orange*), nous devons continuer à émettre des aérosols polluants (des particules en suspension dans l'atmosphère) au rythme actuel, car ils bloquent partiellement la chaleur du Soleil (*tirets orange*). De façon ironique, en brûlant moins de charbon, on réduira aussi les émissions d'aérosols, ce qui entraînera une hausse des températures (*pointillés orange*). Par conséquent, pour éviter un réchauffement de 2 °C, il faudrait plutôt maintenir la concentration de CO₂ inférieure à 405 ppm (*pointillés bleus*) – à peine au-dessus des niveaux de 393 à 400 ppm constatés en 2013.

Variation de la température de surface (°C)

inférieure d'un demi-degré par rapport à ce que l'on pensait précédemment, que faudrait-il en déduire ? Y aurait-il moins de risque à continuer de brûler des combustibles fossiles au rythme actuel ? Quand dépasserait-on un réchauffement critique ?

La plupart des chercheurs s'accordent sur le fait qu'un réchauffement de deux degrés au-dessus de la température de l'ère pré-industrielle affecterait de multiples domaines : l'approvisionnement en nourriture et en eau, la santé, la sécurité, la fourniture d'énergie, la prospérité économique... J'ai récemment calculé l'évolution des températures pour différentes valeurs de la sensibilité climatique, grâce à un modèle (simplifié) dit de bilan énergétique. De tels modèles sont utilisés pour

étudier les divers scénarios climatiques possibles. Ils déterminent l'évolution de la température de surface moyenne en réponse aux changements naturels (éruptions volcaniques, variations de l'activité solaire, etc.) ou anthropiques, tels que l'émission de gaz à effet de serre ou de particules. Bien que critiqués, les modèles climatiques sont notre meilleur outil pour décrire le système climatique en fonction de paramètres physiques, chimiques et biologiques. Et ils ont fait leurs preuves : ainsi, il y a plusieurs décennies, le réchauffement récent a été prédit avec précision par les modèles.

Le calcul considérait des émissions de gaz à effet de serre se poursuivant au rythme actuel (*business-as-usual*). Je

l'ai effectué à plusieurs reprises, pour des valeurs de la sensibilité climatique à l'équilibre allant de la limite inférieure du GIEC (1,5°C) à sa limite supérieure (4,5°C). Les courbes les plus en accord avec les mesures récentes étaient celles correspondant à 2,5°C et 3°C. Les courbes obtenues avec une sensibilité climatique notablement plus basse ou plus haute s'accordaient peu aux mesures, renforçant l'idée qu'elles ne sont pas réalistes.

Sommes-nous près d'un seuil dangereux ?

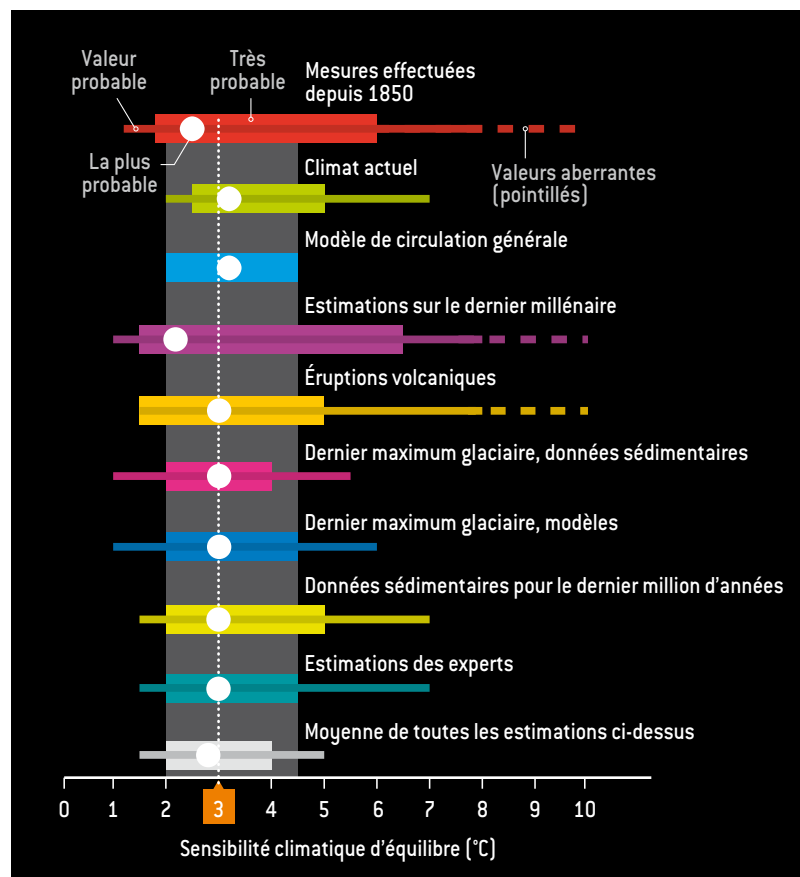
Ces calculs ont montré qu'avec une valeur de 3°C, la planète franchirait la limite dangereuse correspondant à un réchauffement de 2°C dans seulement 22 ans, en 2036. Si la sensibilité climatique n'est que de 2,5°C, cette limite sera atteinte en 2046, soit dix ans plus tard (voir la figure pages 64 et 65). Une moindre sensibilité ne ferait donc que retarder un peu l'échéance – mais ce délai pourrait se révéler précieux pour la lutte contre le réchauffement.

Que faire pour limiter ce dernier à moins de 2°C ? Rappelons que la sensibilité climatique à l'équilibre représente la valeur du réchauffement pour un doublement de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone. Une sensibilité de 3°C signifie que pour garder le réchauffement inférieur à 2°C, la concentration de CO₂ doit rester très inférieure au double du niveau préindustriel (560 ppm). Il faudrait qu'elle ne dépasse pas 450 ppm, voire moins si l'on prend en compte l'effet des aérosols. En brûlant moins de charbon, on réduirait certes les émissions de CO₂, mais aussi la quantité d'aérosols (telles les particules de sulfates) présents dans l'atmosphère ; or ces derniers ont un effet refroidissant, en faisant écran au soleil. La concentration atmosphérique de CO₂ à ne pas dépasser se situerait alors plutôt autour de 405 ppm.

Nous sommes pourtant près de la franchir. En 2013, la concentration de dioxyde de carbone a brièvement atteint 400 ppm pour la première fois depuis le début des enregistrements – et peut-être depuis plusieurs millions d'années, comme le suggère l'analyse des couches géologiques. Pour ne pas dépasser les 405 ppm, nous devrions cesser immédiatement de brûler des carburants fossiles. Une limite de 450 ppm autoriserait quelques années

À QUEL POINT LE CLIMAT EST-IL SENSIBLE AU CO₂ ?

La sensibilité climatique d'équilibre est le réchauffement que provoquerait un doublement de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone, après stabilisation du climat. La valeur la plus probable est légèrement inférieure à 3°C. C'est ce que montrent de nombreux calculs indépendants des températures anciennes, ainsi que de multiples modèles climatiques (*barres de couleur*). La moyenne des estimations réalisées est représentée en bas du graphique (*barre grise*).



Source : R. Knutti et G. C. Hegerl, *Nature Geoscience*, vol. 1, novembre 2008

encore d'augmentation des émissions de carbone, qui devraient ensuite décroître de quelques pour cent par an. Si la sensibilité climatique est de 2,5°C, la lutte contre le réchauffement sera un peu moins brutale, mais elle restera difficile.

Ce n'est pas la seule source d'inquiétude. La valeur limite de 450 ppm a été obtenue en ne considérant que les rétroactions dites rapides, résultant par exemple des changements dans les nuages, la vapeur d'eau et la banquise. Mais pour certains experts du climat, dont James Hansen, précédent directeur de l'Institut Goddard de la NASA pour les études spatiales, il existe aussi des rétroactions plus lentes, telles celles provoquées par l'évolution des glaces continentales. Les prendre en compte impliquerait que nous devrions faire redescendre la concentration de CO₂ à son niveau du milieu du XX^e siècle, soit 350 ppm, si nous voulons limiter les dommages liés au réchauffement. Cela nécessiterait de déployer des technologies coûteuses pour capturer le CO₂ atmosphérique.

En outre, l'idée qu'un réchauffement inférieur à 2°C soit sans danger est subjective. Elle est fondée sur une estimation du moment où la majorité du globe sera exposée à des changements climatiques potentiellement irréversibles. Or des modifications destructrices se sont déjà produites dans certaines régions. En Arctique, la fonte de la banquise et le dégel du pergélisol nuisent aux populations indigènes et aux écosystèmes. Les nations insulaires vivant à basse altitude voient leurs terres et l'eau douce disparaître, en raison de la montée du niveau de la mer et de l'érosion. Dans ces régions, le réchauffement – qui va s'aggraver d'au moins 0,5°C avec le CO₂ déjà émis – est dès à présent problématique.

Espérons que la sensibilité climatique correspond à l'estimation probable la plus faible, soit 2,5°C. Cela autoriserait un optimisme prudent quant à la possibilité de prévenir des dégâts irréparables pour la planète. Mais c'est à la condition de réduire la dépendance aux énergies fossiles de façon urgente et notable. ■

■ SUR LE WEB

Détails sur le modèle de bilan énergétique utilisé pour les simulations :
ScientificAmerican.com/
apr2014/mann

■ BIBLIOGRAPHIE

A. P. Schurer *et al.*, **Separating forced from chaotic climate variability over the past millennium**, *Journal of Climate*, vol. 26(18), pp. 6954-6973, 2013.

M. E. Mann, **The Hockey Stick and the Climate Wars**, Columbia University Press, 2012.

M. E. Mann, **Defining dangerous anthropogenic interference**, *PNAS*, vol. 106(11), pp. 4065-4066, 2009.

Climat : comment éviter la surchauffe ?, *Dossier Pour la Science*, n° 54, janvier-mars 2007.

NUIT

EXPOSITION
Jardin des Plantes
12 fév. — 3 nov. 2014

Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire — Paris 5^e

NUIT.MNHN.FR

5 TROIS PARIS REGION JUNIOR ANOUS PARIS 20 LE FIGARO Europe 1

La sélection de livres

■ POUR LA SCIENCE

Mathématiques, astronomie, animaux...
Découvrez notre sélection de livres scientifiques et partez
à la découverte des nanotechnologies, de l'humain,
des catastrophes naturelles... et bien d'autres sujets encore !



Nouveauté L'exploration des planètes

De Galilée à nos jours... et au-delà

Thérèse Encrenaz et James Lequeux

Réf. 70116195

En retraçant la conquête pacifique du système solaire, ce livre met à la portée d'un large public les démarches et les résultats des générations d'astronomes qui se sont succédé depuis Galilée. Il ouvre sur une nouvelle dimension de la planétologie avec la découverte récente de près d'un millier d'exoplanètes... où peut-être d'autres formes de vie seront détectées ?

Éditions Belin 2014 - 224 pages - 24,50 € - ISBN 978-2-7011-6195-2

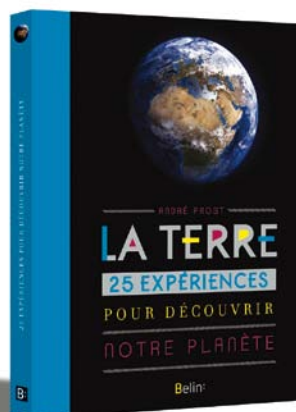
Nouveauté La Terre - 25 expériences pour découvrir notre planète

André Prost

Réf. 70118965

Comment naissent les dunes ? Comment une rivière creuse-t-elle une vallée ? Comment se produit un glissement de terrain ? Pourquoi les pierres se dressent-elles sous l'action du gel ? Etc. Dans ce livre, l'auteur propose 25 expériences ludiques et faciles à réaliser pour comprendre comment le vent, la pluie, la glace, les cours d'eau... modèlent le visage de la Terre.

Éditions Belin 2014 - 128 pages - 18 € - ISBN 978-2-7011-8965-9



Nouveauté La libido déficiente de la licorne

Et autres histoires de science et d'animaux

Sébastien Thorin

Réf. 74650762*

Et si la disparition des licornes était due à leur corne ? Et les rayures du zèbre tout bêtement destinées à camoufler sa tendance à l'obésité ? Faut-il vraiment consommer du steak de kangourou pour sauver la planète ? Une mine d'informations insolites, cocasses - et parfois totalement inventées ! - sur de nombreuses espèces animales... dont la nôtre !

Éditions Le Pommier 2014 - 160 pages - 15 € - ISBN 978-2-7465-0762-3

Dans la peau d'une plante

70 questions impertinentes sur la vie secrète des plantes

Catherine Lenne

Réf. 70118315



Fleur d'un jour, chêne millénaire, brin d'herbe, arbre majestueux : à la ville, au jardin, en promenades, les plantes nous entourent. Mais

sait-on vraiment comment elles vivent ? En 70 questions impertinentes, le lecteur se trouve transporté dans la peau d'une plante : sa vie sexuelle, sa vie sociale, ses problèmes de poids, ses voyages, rien ne lui échappe ! Catherine Lenne, chercheuse en biologie végétale, n'a pas son pareil pour expliquer et faire partager sa passion des plantes. Facile à lire, scientifiquement irréprochable, ce livre comblera tous les curieux de nature et de connaissances !

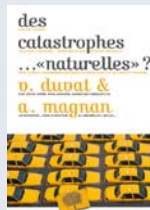
Éditions Belin 2014

256 pages - 23 € - ISBN 978-2-7011-8315-2

Des catastrophes... « naturelles » ?

Virginie Duvat et Alexandre Magnan

Réf. 74650679*



Xynthia, Katrina, Fukushima... Penser que les catastrophes naturelles sont la conséquence des colères de la nature et que nous n'y pouvons

rien, c'est se voiler la face. Tempêtes, tremblements de terre et autres tsunamis ont certes une origine naturelle, mais les dégâts considérables qu'ils provoquent sont à mettre au crédit des sociétés humaines. Nous sommes des fabricants de catastrophes, pour le coup plus si « naturelles » que ça.

Éditions Le Pommier 2014

312 pages - 23 € - ISBN 978-2-7465-0679-4

En partenariat avec les éditeurs

Belin:
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777

Le Pommier

Pour commander ces ouvrages www.pourlascience.fr/librairie*

ou en renvoyant le bon de commande ci-contre.

* Pour commander les titres édités par Le Pommier : www.editions-belin.fr