

Gilles Ramstein  
Sylvestre Huet

# LE CLIMAT

en 100 questions



Tallandier



LE CLIMAT  
en 100 questions

## DES MÊMES AUTEURS

Gilles Ramstein

*Le Méthane et le Destin de la Terre. Les hydrates de méthane : rêve ou cauchemar ?*, avec Gérard Lambert, Jérôme Chapellaz et Jean-Paul Foucher, Les Ulis, EDP Sciences, 2006.

*Voyage à travers les climats de la Terre*, Paris, Odile Jacob, 2015.

*La Glace et le Ciel*, avec Luc Jacquet, Claude Lorius, Jérôme Chappellaz, Paris, éditions Paulsen, 2015.

Sylvestre Huet

*Sciences. Les Français sont-ils nuls ?*, avec Jean-Paul Jouary, Bruxelles, Jonas éditeur, 1989.

*Quel climat pour demain ?*, Paris, Calmann-Lévy, 2000.

*Climax. Un climat sous influence*, Paris, Éditions Adam Biro, 2003.

*L'imposteur, c'est lui. Réponse à Claude Allègre*, Paris, Stock, 2010.

*Changement climatique. Les savoirs et les possibles*, avec Hervé Le Treut, Olivier Godard et Jérôme Chapellaz, Montreuil, La ville brûle, 2010.

*Nucléaire. Quels scénarios pour le futur ?*, avec Michel Chatelier, Patrick Criqui et Daniel Heuer, Montreuil, La ville brûle, 2012.

*Les Dessous de la cacophonie climatique*, Montreuil, La ville brûle, 2015.

*Fessenheim, visible/invisible*, avec le photographe Éric Dexheimer, Paris, Loco éditions, 2017.

Gilles Ramstein  
Sylvestre Huet

LE CLIMAT  
en 100 questions

TALLANDIER

Collection « en 100 questions »  
créée par François-Guillaume Lorrain

Cartographie : © Légendes cartographie/  
Editions Tallandier 2020

© Éditions Tallandier, 2020  
48, rue du Faubourg-Montmartre – 75009 Paris  
[www.tallandier.com](http://www.tallandier.com)

ISBN : 979-10-210-4108-0

## Introduction

Le changement climatique en cours interroge, alarme, mobilise. Il participe à l'émergence de l'Anthropocène, cette nouvelle ère géologique créée par l'action de l'espèce humaine sur la Terre, et constitue l'un des défis majeurs de l'Humanité, car les bouleversements rapides du climat que nous provoquons vont mettre à rude épreuve nos sociétés. Elles doivent se réorganiser pour réduire cette menace en limitant leurs émissions de gaz à effet de serre, la cause de ce changement, et en s'adaptant à sa part inéluctable.

L'incapacité actuelle des sociétés humaines à relever ce défi pose nombre de questions, dont celle-ci : « Puisque nous savons, pourquoi n'agissons-nous pas ? »

Ce savoir plonge dans un passé déjà lointain. Dès 1896, le prix Nobel de chimie suédois Svante Arrhenius comprend que le charbon de la révolution industrielle a le pouvoir de changer le climat de la Terre. Il calcule qu'un doublement de la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique – celui émis par la combustion du charbon – pourrait réchauffer la planète d'environ 4 °C... mais en

quelques milliers d'années. Après la Seconde Guerre mondiale, l'usage du charbon, du pétrole et du gaz explose. C'est le moment où l'Américain Charles Keeling installe au sommet du volcan Mauna Loa, dans l'île de Hawaï, un capteur de CO<sub>2</sub> pour en mesurer la teneur atmosphérique. Année après année, il la voit augmenter, confirmant qu'une part de nos émissions demeure dans l'atmosphère et ne disparaît pas dans les océans ou les sols. À la fin des années 1970, les premiers modèles numériques du climat confirment le calcul préliminaire d'Arrhenius en aboutissant à un résultat similaire, mais sur une durée beaucoup plus courte (rapport de Jule Charney pour l'Académie des Sciences américaine en 1979<sup>1</sup>). Puis, en 1987, des équipes françaises analysent les glaces forées sur près de deux kilomètres de profondeur en Antarctique, à la station soviétique Vostok. Elles montrent qu'une modification, même légère en apparence, de la teneur de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> joue un rôle amplificateur lors des bascules climatiques entre une ère glaciaire et deux ères chaudes depuis 150 000 ans, un résultat étendu par la suite sur les 800 000 dernières années.

Devant ces découvertes, les gouvernements demandent aux scientifiques de s'organiser pour leur fournir une expertise sur les risques du changement climatique que provoquerait l'usage sans restriction des énergies fossiles au cours du XXI<sup>e</sup> siècle et les moyens d'y remédier. Elle est lancée en 1988, avec la création du GIEC<sup>2</sup>. Son premier rapport leur est remis en 1990.

---

1. Voir la question 57, « Comment a été créé le GIEC ? », p. 213.

2. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.



## INTRODUCTION

Les mêmes gouvernements signent, dès 1992, la Convention Climat de l'ONU, affirmant leur volonté d'éviter un changement climatique « dangereux » pour les générations actuelles et futures. On pouvait donc croire, à l'époque, que cette menace, identifiée, allait être prévenue.

Les prévisions des climatologues se sont réalisées. La température de la planète s'est élevée de 1,2 °C en un siècle. Le niveau marin planétaire augmente sous l'effet du réchauffement des eaux et de la fonte des glaces continentales. Les vagues de chaleur battent record après record, comme en France durant l'été 2019. La faune et la flore, sauvages et domestiquées, réagissent déjà à cette transformation climatique d'une rapidité sans équivalent dans le passé de la Terre, excepté les rares crises provoquées par des cataclysmes cosmiques comme la chute d'une comète.

Ces changements sont dus à nos émissions de gaz à effet de serre qui suivent la pire des trajectoires imaginées en 1990 dans le premier rapport du GIEC. En 2018, les émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, le principal gaz à effet de serre d'origine anthropique, affichaient un nouveau record de 33 milliards de tonnes pour les seuls usages du charbon, du pétrole, du gaz et de la fabrication du ciment. Pourquoi, alors, les sociétés et les gouvernements tardent-ils tant à agir ? À atténuer la menace climatique en diminuant ces émissions, et à se préparer aux changements à venir, pour une part inéluctables ?

Plusieurs réponses sont possibles à cette interrogation qui inquiète tant certains jeunes qu'ils lancent des manifestations, font la « grève scolaire », pour exiger de leurs gouvernements qu'ils agissent enfin. L'une d'elles consiste à se demander si les citoyens en savent assez sur le sujet

pour revendiquer des mesures efficaces aux pouvoirs politiques et économiques, même si les prises de conscience se multiplient. Ce n'est pas le cas montrent la plupart des enquêtes sociologiques. Or, en démocratie, les gouvernements sont censés se former sur la base de la volonté populaire, exprimée lors des élections. Si cette volonté populaire est défaillante, si elle n'est pas en capacité de dépasser un vague slogan – « Sauvons le climat » – pour exiger des mesures précises, il n'est pas si étonnant que les gouvernements ne s'y plient pas. En outre, les politiques climatiques efficaces ne sont pas faciles à mettre en place. Parce que les énergies fossiles représentent 80 % de l'énergie utilisée par les populations, ces politiques réclament des transformations économiques, sociales, culturelles et technologiques de grande envergure, heurtent des intérêts puissants, mettent en cause des modes de consommation aujourd'hui bien ancrés dans les populations des pays développés.

L'objectif de ce livre est d'accompagner ses lecteurs devant cette réalité complexe. À transmettre, en cent questions et cent réponses concises, l'essentiel de ce que chaque citoyen doit savoir pour dialoguer avec ses élus sur la politique climatique. Malgré ses dimensions modestes au regard de l'ampleur du sujet, cet ouvrage tente d'en lister les aspects incontournables. Il est écrit, espérons-nous, dans un langage accessible, sans pour autant cacher la complexité du système climatique et des enjeux de société qui y sont liés.

La compréhension du défi climatique exige la maîtrise d'informations très variées. Certaines proviennent des sciences du climat. Mais pour apprécier les risques

## INTRODUCTION

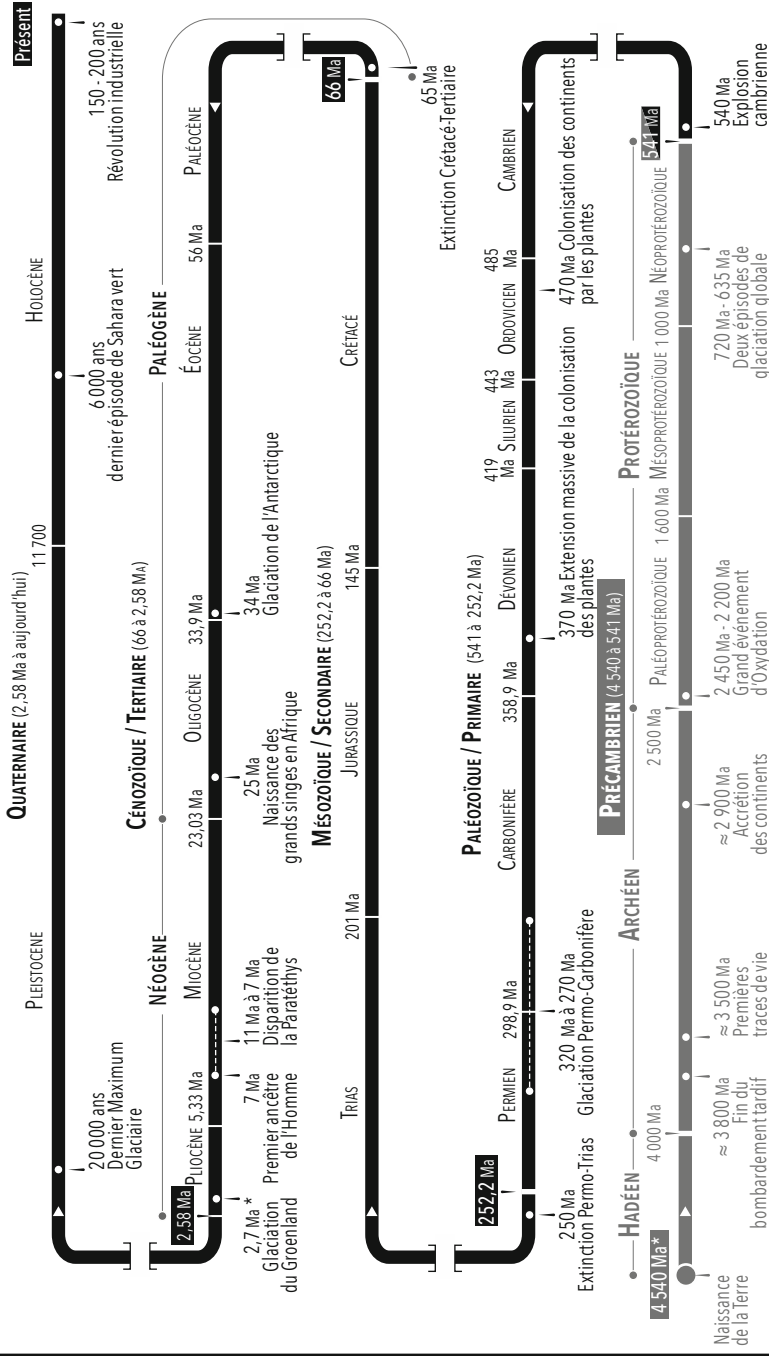
climatiques et les moyens d'y remédier, il faut recourir à d'autres informations sur les ressources naturelles, les énergies, l'économie, les systèmes politiques. C'est pourquoi ce livre résulte d'un travail à quatre mains : il réunit les compétences d'un climatologue et celles d'un journaliste. Une première partie confiée au climatologue dote le lecteur des repères indispensables pour comprendre l'évolution climatique de la Terre, avant et après l'intervention de l'espèce humaine. Puis une seconde partie, rédigée par le journaliste, fournit les clés ouvrant le monde de la Convention Climat de l'ONU, du fonctionnement du GIEC, des risques pour les sociétés humaines, des principales questions énergétiques et économiques qui y sont liées.



## PARTIE I

# Histoire et mécanismes du climat

# PHANÉROZOÏQUE (541 Ma à aujourd'hui)



# GÉNÉRALITÉS





## Climat et météorologie, quelles différences ?

Le climat semble une notion familière à tous. Chacun d'entre nous en a une expérience sensible. Pourtant, à gratter un peu l'écorce de nos connaissances, on découvre beaucoup de confusions et de malentendus.

Le climat se caractérise par l'étude du système Terre sur une durée longue, au moins de trente années. La température, les précipitations, la pression atmosphérique... sont moyennées sur un temps assez long afin de s'affranchir des fluctuations d'une année à l'autre. Si le météorologue peut prévoir le temps d'une localité, le climatologue n'envisage la prévision qu'à l'échelle de la centaine de kilomètres. Alors que le météorologue se concentre sur la basse atmosphère, le climatologue élargit son investigation des flux d'énergie et de chaleur de la surface du globe aux couches élevées de l'atmosphère, jusqu'à 50 kilomètres d'altitude, et pour les océans, des eaux de surface jusqu'aux fonds abyssaux.

La climatologie va donc bien au-delà des préoccupations de la météorologie et de ses prévisions fondées sur la thermique et la dynamique de l'atmosphère à court terme et pour un lieu déterminé. Si les modèles climatiques utilisent

les mêmes processus de physique et de dynamique de l'atmosphère que la météorologie, c'est dans un objectif très différent. C'est en jouant sur la confusion de ces deux termes que de nombreux climatosceptiques ont feint de s'étonner. En effet, comment peut-on prévoir le climat de la fin du siècle, alors qu'on ne sait pas quel temps il fera dans quinze jours ? Les prévisions météorologiques sont limitées dans le temps car, pour deux conditions initiales très proches, la prévision diverge au bout de quelques jours. Même si les modèles météorologiques représentaient exactement l'atmosphère, une infime imprécision sur l'état initial du système conduirait à des prévisions différentes après un certain temps. C'est ce qu'évoquait le scientifique américain Edward Lorenz en 1972 avec cette célèbre question : « Le battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut-il déclencher une tornade au Texas ? »

La météorologie, puisqu'elle s'intéresse aux prévisions d'une heure à quelques jours, peut négliger certaines composantes du système Terre (glace de mer ou calottes polaires\*, végétation, températures des fonds des océans...) qui n'évoluent pas ou très peu dans un si faible laps de temps. Il en va tout autrement pour les simulations numériques du climat. Le climatologue cherche, par leur biais, à prévoir l'évolution statistique du système climatique sur plusieurs décennies, au moins. Il peut s'interroger sur le futur niveau marin sur les rivages, la distribution annuelle des températures et des précipitations, mais aussi la fréquence d'événements extrêmes

---

\* Les mots signalés par un astérisque sont définis dans le glossaire, en fin d'ouvrage.

## GÉNÉRALITÉS

comme les canicules, à la fin du <sup>xxi</sup><sup>e</sup> siècle à l'échelle mondiale ou pour la région Aquitaine. Or, à cette échelle de temps, il faut tenir compte de l'évolution des glaces, de la végétation et des océans. C'est pourquoi ce n'est qu'avec la puissance de calcul des super-ordinateurs des années 1990 que la climatologie a pu s'attaquer aux projections du changement climatique provoqué par nos émissions de gaz à effet de serre.

## Comment a varié le climat dans l'espace et dans le temps ?

Le climat de la planète change à toutes les échelles de temps et d'espace. Sa variation dans le temps intéresse les historiens et les paléontologues qui tentent de mieux cerner dans quelles conditions vivaient nos ancêtres plus ou moins lointains. On dispose ainsi de descriptions historiques pionnières dont un texte fondateur fut *L'Histoire du climat depuis l'an mil* d'Emmanuel Le Roy Ladurie (1967) ainsi que de travaux décrivant les interactions entre les variations climatiques et le déclin ou l'essor des civilisations (romaine, grecque, égyptienne, maya ou chinoise). Sa variation dans l'espace est étudiée par les géographes qui décrivent les climats tropicaux, tempérés ou polaires des différentes latitudes, comme les climats côtiers ou continentaux, la distance à la mer renforçant l'écart de températures entre étés et hivers. Ce même cycle saisonnier affecte davantage les masses continentales que les océans, ce qui provoque les moussons si importantes pour des centaines de millions d'êtres humains en Asie, Afrique, Amérique du Sud et Australie. Quant aux immenses reliefs du plateau tibétain et de la chaîne

himalayenne, ils modifient les températures et la distribution des précipitations en Asie. Dans une moindre mesure, le rift africain, les Andes et les Rocheuses influencent aussi la circulation atmosphérique et le cycle hydrologique sur les continents.

Les grands mouvements de l'atmosphère trouvent leur origine dans les eaux chaudes équatoriales qui provoquent des mouvements d'air chaud ascendant. Portées par la rotation de la Terre jusqu'aux tropiques, ces masses d'air déversent leur humidité dans les zones tropicales, puis, une fois sèches et refroidies, redescendent. Ce phénomène participe à la formation des déserts, vers 30° nord et sud. À plus haute latitude, vers 45° (comme pour la France), des perturbations se développent d'ouest en est sur des périodes de quelques jours, tandis que les hautes latitudes sont couvertes de calottes de glace en Antarctique et au Groenland, et de banquises plus étendues durant l'hiver pour l'océan Arctique au Nord et l'océan Austral au Sud.

Ces structures qui définissent le climat moyen se modifient sous l'influence de perturbations à toutes les échelles de temps. Le phénomène périodique le plus spectaculaire se produit tous les trois à sept ans dans l'océan Pacifique tropical, peu après Noël (raison de son surnom, El Niño\* pour l'enfant Jésus). Il perturbe fortement les températures du Pacifique équatorial et l'hydrologie des côtes de part et d'autre du bassin océanique. À de plus grandes échelles de temps, de l'ordre de 20 000 ans, les moussons subissent de fortes modulations au cours desquelles la mousson africaine s'intensifie considérablement et se déplace vers le nord, produisant un climat plus humide au Sahara. Lors des périodes chaudes du dernier million

d'années, cette modulation provoque même des épisodes de « Sahara vert ». Des fossiles de faune et flore, voire des peintures rupestres élaborées il y a 8 000 ans, montrent que le cœur du Sahara actuel abritait lacs, savanes et troupeaux d'herbivores. Durant le dernier million d'années, on observe une alternance d'ères froides d'environ 100 000 ans et d'ères chaudes de 15 000 à 40 000 ans. Les périodes froides sont déclenchées par des épisodes de plus faible insolation estivale aux hautes latitudes nord qui permettent à la neige tombée pendant l'hiver de ne pas fondre en été. Cette situation favorise l'établissement d'immenses calottes de glace sur l'Europe du Nord et le Canada, ce qui conduit à une baisse du niveau marin de 120 mètres<sup>1</sup>. À l'époque, pas de Brexit possible puisque la Manche n'est qu'un fleuve.

Les moyennes climatiques ne doivent pas cacher les situations rares mais extrêmes. Les précipitations peuvent provoquer des crues exceptionnelles, une par siècle ou moins, mais gigantesques. Des canicules ou des sécheresses prolongées peuvent survenir même sous un climat tempéré. La fréquence de ces situations extrêmes varie elle aussi avec les évolutions climatiques.

---

1. La quantité d'eau est conservée sur Terre. Au fur et à mesure qu'elle se stocke dans les calottes de glace, elle diminue d'autant la hauteur du niveau des océans.

## Quels sont les principaux facteurs qui gouvernent l'évolution climatique de la Terre ?

Un paramètre déterminant pour le climat d'une planète est sa distance par rapport à son soleil qui est son principal pourvoyeur d'énergie. Dans un système solaire, on peut définir une zone habitable, c'est-à-dire l'espace dans lequel on trouve des planètes dont les températures de surface sont compatibles avec l'existence d'eau liquide. Mais ce critère de distance par rapport au soleil est insuffisant pour garantir la pérennité d'eau liquide. Deux autres paramètres interviennent, qui déterminent la manière dont la planète renvoie l'énergie solaire vers l'espace. Le premier est l'albédo\*, c'est-à-dire sa capacité à réfléchir les rayons lumineux. Plus la surface du sol est claire (neige, glace, sols nus) et plus l'atmosphère comporte de nuages, plus la planète et son atmosphère renvoient directement les rayons vers l'espace, et donc l'énergie solaire. Au contraire, plus la surface est sombre (eau, végétation...) et plus l'énergie pénètre dans le système planétaire. Le second paramètre est l'effet de serre de

son atmosphère, qui résulte des molécules de gaz capables de capter le rayonnement de la surface planétaire, émis sous la forme d'infrarouges. Plus une atmosphère contient de telles molécules et plus elle peut conserver l'énergie de ce rayonnement ; au contraire, moins elle en contient et plus cette énergie s'échappe vers l'espace. Le caractère réfléchissant de la surface planétaire et de son atmosphère et la quantité de gaz à effet de serre jouent donc un rôle décisif dans l'établissement d'un climat par l'intermédiaire du bilan radiatif, c'est-à-dire des échanges d'énergie entre le soleil, la planète et l'espace. Ainsi, si la température de surface de la planète Vénus atteint plus de 450 °C, c'est surtout le résultat du très intense effet de serre de son atmosphère. Si Mars est beaucoup plus froide que la Terre, ce n'est pas seulement dû à un éloignement plus important du Soleil, mais surtout à son très faible effet de serre.

Sur Terre, la présence d'eau liquide depuis 4 milliards d'années a favorisé l'apparition et l'essor de la vie : telle qu'on la connaît, celle-ci est née dans l'eau liquide, il y a près de 3,7 milliards d'années. Et, malgré de fortes variations climatiques, les conditions physiques nécessaires à la préservation de l'eau liquide, à côté des glaces et de la vapeur, n'ont jamais disparu. La vie est longtemps restée confinée dans les océans et a colonisé les surfaces continentales il y a seulement 450 millions d'années. Présente dans la cryosphère\* (calottes de glace, glaciers, couvertures neigeuses), dans l'hydrosphère\* (océans, lacs, rivières, aquifères) et sous forme de gaz dans l'atmosphère où sa condensation en fines gouttelettes donne naissance aux nuages, l'eau est partout et joue un rôle essentiel dans la régulation thermique de notre planète.



## GÉNÉRALITÉS

C'est elle qui lui donne sa couleur bleue, car l'océan couvre plus de 70 % de sa surface. Elle lui apporte une touche blanche par le biais des banquises dont l'étendue varie avec les saisons sur les océans Arctique et Austral, les calottes du Groenland et de l'Antarctique, et par les nuages. Son effet climatique le plus important est invisible. Telle une « couverture chauffante », la vapeur d'eau est en effet le principal gaz responsable de l'effet de serre de l'atmosphère. Sans cet effet de serre, la température globale annuelle moyenne de la Terre serait de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , alors que nous bénéficions d'un doux  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Mais l'eau n'est pas le seul gaz à effet de serre de notre atmosphère. Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) ou le méthane ( $\text{CH}_4$ ) sont des composants bien moins abondants mais très efficaces pour réchauffer notre planète.

En dehors de sa distance au Soleil et de la composition de son atmosphère, deux propriétés spécifiques de la Terre sont fondamentales pour la régulation de son climat à long terme. D'abord, sa Lune. Les calculs astronomiques montrent que sa présence « bloque » les variations de l'obliquité (l'angle que dessine l'axe des pôles avec le plan de la trajectoire de la Terre autour du Soleil) dans une petite fenêtre entre  $22$  et  $24,5^{\circ}$ . L'obliquité terrestre ne peut pas être très élevée, ce qui exclut la situation où la Terre pointerait le Soleil avec l'un de ses pôles. Une telle situation induirait des contrastes climatiques extrêmes. Ensuite, la tectonique des plaques, c'est-à-dire la dérive des continents, en lien avec les mouvements profonds de la Terre. La disposition des continents, et donc des océans, ainsi que les conséquences de leurs déplacements influencent fortement le climat sur de très longues durées, à la mesure de l'extrême lenteur de ces mouvements.

## À quoi sont dus les changements climatiques terrestres ?

Les variations du climat sur Terre peuvent se décrire comme une valse classique à trois temps que l'homme vient de perturber.

*Premier temps de la valse : le milliard d'années.* Au cours de l'histoire de la Terre, déjà longue de 4,6 milliards d'années, la luminosité du Soleil a beaucoup varié. C'est un aspect fondamental du climat terrestre puisque l'astre du jour fournit plus de 99 % de l'énergie disponible à la surface du globe. Notre Soleil est une étoile très ordinaire et son évolution est bien connue. Lorsque notre système solaire se met en place, le jeune Soleil est beaucoup moins lumineux qu'aujourd'hui, de l'ordre de -30 %. Dans un premier temps, sa luminosité croît de 7 % par milliard d'années. Pourtant, l'histoire de notre planète n'est pas celle d'un long réchauffement. En effet, l'augmentation de la luminosité solaire est loin de déterminer à elle seule l'évolution climatique.

*Second temps de la valse : la dizaine de millions d'années.* La tectonique des plaques pilote les variations climatiques à une échelle de quelques dizaines de millions d'années,

par ses effets directs et visibles : la lente dérive des continents, la formation et la déformation des bassins océaniques, l'ouverture et la fermeture de détroits, la sur-rection (élévation de roches par la tectonique des plaques) de chaînes de montagnes... mais aussi par son contrôle de l'érosion qui module la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère et donc l'intensité de l'effet de serre.

*Troisième temps de la valse : les dizaines à centaines de milliers d'années.* À cette échelle de temps, plus courte, la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre suit les variations de son orbite autour du Soleil selon trois paramètres astronomiques. Son excentricité – la trajectoire de notre planète autour de l'étoile se déforme d'une orbite quasi circulaire à une trajectoire un peu plus ovale – qui varie avec deux périodes principales de 400 000 et 100 000 ans (la période d'une oscillation est le temps que met le système à revenir à sa position initiale). Son obliquité – l'angle que fait l'axe des pôles avec le plan dans lequel la Terre se meut autour du Soleil – qui oscille entre  $22^\circ$  et  $24,5^\circ$  avec une période de 41 000 ans. Enfin, la précession des équinoxes – due aux changements de la direction de l'axe de rotation de la Terre par rapport aux étoiles – qui varie avec une période d'environ 20 000 ans. Ce dernier mouvement modifie le rapport entre la position de la Terre sur son orbite et la survenue des saisons. Ainsi, l'été de l'hémisphère Nord peut survenir au moment où la Terre est au plus près du Soleil – en ce cas, l'été est plus chaud et l'hiver plus froid – ou, à l'inverse, au plus éloigné, comme actuellement, ce qui tempère la chaleur de l'été et modère la froidure de l'hiver. Les variations combinées de ces trois paramètres conduisent

à des variations d'insolation importantes durant l'été de l'hémisphère Nord. Les impacts climatiques qui en découlent sont spectaculaires au Quaternaire (la période géologique actuelle depuis 2,5 millions d'années), car ces variations déclenchent l'alternance des cycles glaciaires/interglaciaires\*.

C'est l'enchevêtrement de ces trois temps qui explique les variations climatiques de la Terre, en dehors des catastrophes induites par la chute d'astéroïdes ou d'immenses éruptions volcaniques qui se produisent très rarement. Aujourd'hui survient un quatrième temps de cette valse, avec un tempo bien plus fulgurant : l'intervention de l'homme dans le système climatique, par ses émissions massives de gaz à effet de serre depuis 150 ans.

## Comment le climat a-t-il varié depuis la formation de la Terre ?

La chronologie de la Terre a été divisée en plusieurs périodes. La toute première, l'Hadéen (4,6-4 milliards d'années), du nom du dieu grec des Enfers Hadès, est une période plus fantasmée que décrite scientifiquement, tant le nombre de données disponibles est réduit. C'est certainement une ère de très forte activité volcanique pendant laquelle une partie de la chaleur de l'intérieur de la Terre s'évacue vers l'atmosphère. Durant ces 600 premiers millions d'années, les magmas d'une Terre jeune, expulsés par une activité volcanique intense, ont été rapidement submergés par des océans très chauds qui ont pratiquement recouvert toute la planète. Puis s'ouvre l'Archéen (4-2,5 milliards d'années). Quand cette très longue période débute, la Terre doit ressembler à une planète-océan avec quelques îles volcaniques. Les températures des océans sont estimées de 30 °C à 70 °C suivant l'interprétation des indicateurs dont on dispose, à cause de la teneur très élevée du CO<sub>2</sub> atmosphérique et donc d'un effet de serre très intense. On observe peu de traces de glaciations avant la fin de l'Archéen. Mais méfions-nous. L'absence

de preuves pour des périodes si lointaines n'est pas la preuve de l'absence tant les informations sont lacunaires. C'est au cours de cette époque que les continents tels qu'on les connaît aujourd'hui se sont formés et que la tectonique des plaques s'est mise en place. Ces deux événements ont bouleversé le cycle du carbone et le climat. L'érosion des sols a provoqué un transfert de carbone de l'atmosphère vers l'océan, car elle implique le carbone de l'air dans des réactions chimiques au contact des roches qui contiennent beaucoup de silicates. Ce transfert s'est traduit par une diminution de l'effet de serre, et donc par un refroidissement du climat qui a favorisé l'établissement d'une première glaciation.

La fin de l'Archéen et la transition vers la période suivante, le Protérozoïque, sont quant à elles très bien marquées par le Grand Événement d'oxydation (GEO)\* (2,4-2,2 milliards d'années). Cette première augmentation du taux d'oxygène dans l'atmosphère a modifié la composition de cette dernière en réduisant sa teneur en gaz à effet de serre, ce qui a conduit à la première glaciation massive de la planète.

Après cette première phase froide, le Protérozoïque apparaît comme une très longue période chaude, sans trace de glaciation pendant près de 1,5 milliard d'années. Mais à la fin de cette ère, la Terre entre dans une période froide dont l'apogée se conclut par deux épisodes glaciaires massifs.

L'explosion cambrienne\*, il y a 540 millions d'années, marque le début du Phanérozoïque. Elle correspond à une multitude de nouveaux fossiles révélateurs d'une diversification considérable du vivant. Au cours de cette dernière