

# Le climat du futur

**Les nombreux modèles climatiques numériques sont basés sur des mesures et sur des calculs physiques, chimiques et biologiques. Ils prennent aussi en compte les activités humaines. Ils prédisent tous une évolution de la température moyenne entre 1,5 et 5 °C d'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Cette augmentation est directement dépendante du niveau de concentration des gaz à effet de serre. Quelles seront les conséquences des activités humaines sur l'évolution actuelle du climat, enjeu majeur pour l'avenir de la planète ?**

## Les modèles climatiques

Les modèles climatiques simulent l'atmosphère et son évolution. Vu la complexité du système climatique, il est impossible de le simuler analogiquement, c'est à dire avec des sortes de maquettes reproduisant la réalité. On utilise donc des programmes informatiques de simulation numérique.

Dans les faits, on met en équations le système climatique selon les lois physiques connues : on choisit les paramètres essentiels qui le caractérisent (température, précipitations, etc.) et on décrit mathématiquement leurs interactions et ce qui contrôle leur évolution. Une simulation est ensuite obtenue à partir de ces données, grâce à un très gros programme informatique. Comme on ne peut pas résoudre les équations à l'échelle de l'atmosphère entière, on découpe celle-ci en de nombreux petits volumes : on réalise ce que l'on appelle un maillage, car ça ressemble à ce que l'on obtiendrait si on entourait la Terre avec un (gros) filet de pêche (en 3 dimensions). Chaque « petit » volume fait ainsi typiquement 200 km × 200 km × 1 km. Un ordinateur résout ensuite les calculs au sein de chaque volume et sur une durée de temps déterminée (par exemple, mois par mois pendant 10 ans). On obtient ainsi une simulation numérique du climat.

Mais attention : l'atmosphère n'étant pas isolée des autres enveloppes terrestres (hydrosphère, biosphère, lithosphère), sa modélisation est couplée à celle des autres enveloppes.

Afin de vérifier que les modèles climatiques décrivent correctement le climat et son évolution – et donc que les simulations obtenues sont valables –, on confronte les résultats de ces dernières aux mesures et observations effectuées « en vrai ». Ainsi, les modèles climatiques sont utilisés depuis des décennies (les premiers datent des années 1960) et ont été validés et affinés au fil du temps.

L'un des grands intérêts de ces modélisations est qu'elles permettent de réaliser des projections climatiques, c'est-à-dire de simuler le climat du futur. On fixe des paramètres correspondant à la situation actuelle, puis on calcule ce que serait le climat dans 10, 50, 100 ans. On peut ainsi comparer l'évolution du climat en fonction de plusieurs scénarios.

## Ce que nous apprennent les modèles : impact de l'humanité sur le climat et prévisions pour le futur

Le réchauffement climatique qui se produit actuellement est unique par sa rapidité. De nombreuses méthodes, comme la glaciologie – l'étude des glaces – ou la paléopalynologie – l'étude des pollens – nous fournissent des informations précieuses sur les variations du climat par le passé, notamment au cours du dernier million d'années.

On sait donc que le réchauffement climatique actuel ne fait pas partie des variations climatiques « habituelles » dues aux modifications cycliques des paramètres astronomiques de la Terre qui font varier l'insolation.

Les modèles numériques permettent d'aboutir au même constat et confirment que notre espèce est responsable de ce réchauffement, notamment à cause de ses émissions de gaz à effet de serre (GES).

Le principal GES produit par les activités humaines est le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : il est responsable à lui seul d'environ 60 % de l'effet de serre supplémentaire depuis 1750 (on parle alors de « contribution anthropique » à l'effet de serre). Sa teneur a augmenté d'environ 30 %, passant de 0,028 % à 0,04 %. (Ces données ont été obtenues grâce aux dosages réalisés dans les bulles d'air emprisonnées dans les glaces anciennes du Groenland ou de l'Antarctique).

La principale source humaine de production de CO<sub>2</sub> est, de loin, la combustion des hydrocarbures d'origine fossile (gaz, pétrole, charbon). Les autres activités qui entraînent un dégagement important de CO<sub>2</sub> sont la déforestation (on brûle ou laisse se décomposer du carbone organique, ce qui le transforme en CO<sub>2</sub>) et la production de ciment (en cuisant à haute température des argiles et du calcaire, on libère du CO<sub>2</sub> en plus de consommer beaucoup de combustibles fossiles).

Le second GES important d'origine humaine est le méthane (CH<sub>4</sub>) : il est responsable d'un peu plus de 30 % de la contribution anthropique à l'effet de serre. Sa teneur dans l'atmosphère est très faible, mais sa capacité à « générer » un effet de serre est 23 fois celle du CO<sub>2</sub>. Sa teneur dans l'atmosphère a presque triplé depuis 1750. La principale source humaine de production de CH<sub>4</sub> est constituée par les fuites de gaz naturel (essentiellement du méthane, environ 20 % des émissions totales), suivie par l'élevage des bovins, ovins et caprins (environ 15 % en raison de la rumination) et la fermentation dans les décharges (environ 12 %) ainsi qu'au fond des rizières (environ 5 %).

Enfin, le troisième principal GES produit par l'humanité est le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), responsable d'environ 5 % de la contribution anthropique à l'effet de serre. Sa teneur dans l'atmosphère est extrêmement faible, mais il est 300 fois plus « puissant » que le CO<sub>2</sub> pour produire un effet de serre. Sa teneur dans l'atmosphère a augmenté de 20 % depuis 1750. Il provient principalement de la dégradation des engrais azotés, très utilisés en agriculture et au cours de processus industriels comme la fabrication de certains plastiques.

Les prévisions des modèles climatiques s'accordent sur une augmentation de la température de 1,5 à 5 °C d'ici à la fin du siècle. Une

augmentation de 1,5 °C correspond à un scénario où les émissions humaines de GES seraient immédiatement limitées. Une augmentation de 5 °C correspond à un scénario où l'augmentation des émissions se poursuivrait.

Les conséquences prévisibles du réchauffement climatiques sont nombreuses : une élévation du niveau marin pouvant atteindre un mètre, une augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes (pluies diluviennes, tornades, etc.), une acidification des océans (à cause de l'augmentation de la dissolution de CO<sub>2</sub> dans l'eau des océans) et un impact majeur sur tous les écosystèmes.

## Zoom sur...

### Les apports de la glaciologie à la connaissance des climats du passé

Pour connaître les climats du passé, on utilise plusieurs méthodes, très différentes, dont on compare les résultats afin d'obtenir des résultats fiables.

Une méthode très utilisée - car donnant des résultats très précis - est l'étude des anciennes glaces des inlandsis du Groenland ou de l'Antarctique : les couches les plus profondes de ces immenses glaciers de la taille d'un continent et pouvant faire plusieurs kilomètres d'épaisseur ont plusieurs centaines de milliers d'années. En effet, la glace est formée à partir des précipitations qui, elles-mêmes, proviennent de l'évaporation de l'eau océanique. Or, l'atome d'oxygène de la molécule d'eau existe naturellement sous deux formes (appelées isotopes), l'une composée de 8 protons et 8 neutrons, l'oxygène 16 (<sup>16</sup>O) et l'autre, beaucoup plus rare et plus lourde, composée de 8 protons et 10 neutrons, l'oxygène 18 (<sup>18</sup>O). Il va se produire ce que l'on appelle un fractionnement isotopique : les molécules d'eau comportant un <sup>18</sup>O, plus lourdes que celles comportant un <sup>16</sup>O, vont s'évaporer moins facilement et se retrouver en proportion plus faible dans l'eau des nuages que dans l'eau des océans. Ces molécules plus lourdes vont également avoir tendance à tomber plus facilement (avec les précipitations), avant d'avoir le temps d'arriver à des latitudes élevées et de participer à la formation de la glace en Arctique et en Antarctique. Le résultat est que cette glace est appauvrie en <sup>18</sup>O, et ce d'autant plus que la température globale est basse.

On prélève donc des glaces de différents âges, on y mesure le rapport <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O, ce qui permet d'établir un indice, le δ<sup>18</sup>O (delta O 18). La valeur de ce δ<sup>18</sup>O dans chaque échantillon de glace permet ainsi de connaître la température qui régnait au moment où il s'est formé.

Une technique similaire porte sur les isotopes de l'hydrogène : son isotope lourd étant appelé deutérium, l'indice utilisé s'appelle le delta deutérium (δD).

## Zoom sur...

### Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC)

Le GIEC est un organisme international créé en 1988 afin « d'évaluer, sans parti pris et de façon méthodique, claire et objective, les informations d'ordres scientifique, technique et socio-économique qui nous sont nécessaires pour mieux comprendre les risques liés au réchauffement climatique d'origine humaine, cerner plus précisément les conséquences possibles de ce changement et envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation ». Il est composé de scientifiques et de représentants de nombreux États, et travaille sous l'égide de l'Organisation des Nations Unies (ONU). Le GIEC ne fait pas lui-même de recherches scientifiques sur le climat, mais sa mission est de synthétiser les résultats obtenus dans le monde entier, afin d'informer les décideurs et les citoyens des connaissances actuelles sur le réchauffement climatique et de présenter des scénarios sur les futurs possibles. Il produit pour cela régulièrement des rapports qui portent chacun sur un aspect particulier (en 2019, l'une des publications portait spécialement sur les océans et la cryosphère (les glaces) dans le contexte du réchauffement climatique).