

Le climat du futur

Peut-on prévoir le climat du futur ?

Depuis plusieurs décennies, les scientifiques observent une augmentation de la température moyenne de la Terre. Les canicules, les sécheresses, les incendies ou encore les tempêtes violentes deviennent plus fréquents dans de nombreuses régions du monde. Ces changements inquiètent les populations et soulèvent une question essentielle : comment sera le climat dans quelques dizaines d'années ?

Pour tenter de répondre à cette question, les climatologues utilisent des modèles numériques capables de simuler le fonctionnement du système climatique terrestre. Ces modèles s'appuient sur des données mesurées, sur des lois scientifiques connues et sur de puissants calculs informatiques. Ils permettent ainsi d'établir des projections climatiques pour les décennies et les siècles à venir.

Cependant, prévoir le climat est complexe car de nombreux paramètres interviennent et plusieurs scénarios sont possibles selon les choix réalisés par les sociétés humaines.

Comment les modèles climatiques permettent-ils de prévoir le climat futur et de démontrer la responsabilité humaine dans le réchauffement climatique ?

I. Les modèles climatiques permettent de simuler le fonctionnement du système Terre

Le climat terrestre dépend d'interactions complexes entre l'atmosphère, les océans, les continents, les glaces et les êtres vivants. De nombreux paramètres interviennent dans son fonctionnement, comme la température, l'humidité de l'air, les courants océaniques, les vents ou encore la concentration en gaz à effet de serre. L'ensemble de ces phénomènes évolue constamment au cours du temps.

Pour étudier ce système complexe, les scientifiques construisent des modèles climatiques numériques. Un modèle climatique est une représentation simplifiée du système climatique réalisée à l'aide d'équations mathématiques. Ces équations traduisent les lois physiques, chimiques et biologiques connues qui gouvernent le fonctionnement de la planète.

Afin de réaliser les calculs, la surface de la Terre et l'atmosphère sont découpées en mailles. À l'intérieur de chaque maille, les scientifiques calculent l'évolution de différents paramètres climatiques. Plus les mailles sont petites, plus les résultats sont précis : on parle alors d'une meilleure résolution spatiale. Cependant, cela nécessite une puissance de calcul très importante. Les calculs sont donc réalisés grâce à des supercalculateurs.

Les modèles climatiques possèdent également une résolution temporelle, c'est-à-dire le temps qui sépare deux calculs successifs. Plus cette résolution est fine, plus les simulations sont détaillées.

Il n'existe pas un seul modèle climatique mais de nombreux modèles développés par différentes équipes scientifiques dans le monde. Chaque modèle utilise des hypothèses et des méthodes légèrement différentes. Cette diversité explique que les projections climatiques ne soient pas exactement identiques d'un modèle à l'autre.

II. Les modèles climatiques sont validés grâce aux observations

Pour vérifier qu'un modèle climatique est fiable, les scientifiques comparent ses résultats aux observations réelles. Les simulations produites sont confrontées aux données météorologiques actuelles, aux mesures réalisées par les satellites ainsi qu'aux informations concernant les climats passés, appelées données paléoclimatiques.

Un modèle est considéré comme pertinent s'il est capable de reproduire correctement l'évolution du climat observée dans le passé et dans le présent. Cette étape de validation est essentielle pour améliorer les modèles et corriger leurs limites.

Les scientifiques utilisent également les modèles climatiques pour distinguer une simple corrélation d'un véritable lien de causalité. En effet, les observations montrent qu'au cours des deux derniers siècles, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre s'accompagne d'une hausse importante de la température moyenne mondiale. Cependant, une corrélation ne suffit pas à prouver qu'il existe une relation de cause à effet.

Pour résoudre ce problème, les climatologues réalisent différentes simulations. Lorsque les modèles prennent en compte les émissions humaines de gaz à effet de serre, ils reproduisent correctement le réchauffement observé. En revanche, lorsque ces émissions ne sont pas intégrées, les modèles ne parviennent pas à expliquer l'augmentation récente des températures. Les scientifiques peuvent donc conclure que les activités humaines sont la principale cause du réchauffement climatique actuel.

III. Les activités humaines sont responsables du réchauffement climatique actuel

Depuis le début de l'ère industrielle, les activités humaines rejettent dans l'atmosphère de grandes quantités de gaz à effet de serre. Ces gaz renforcent l'effet de serre naturel et entraînent une augmentation de la température moyenne de la planète.

Le principal gaz à effet de serre émis par l'être humain est le dioxyde de carbone (CO_2). Il provient principalement de la combustion des énergies fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Les transports, l'industrie, la production de ciment et la déforestation participent également à ces émissions.

Le méthane (CH_4) constitue un autre gaz à effet de serre important. Il est notamment produit par l'élevage bovin, certaines activités agricoles, les décharges ou encore les fuites de gaz naturel et de pétrole.

Le protoxyde d'azote (N_2O) est principalement rejeté par les activités agricoles, en particulier à cause de l'utilisation d'engrais azotés.

Les mesures atmosphériques montrent que les concentrations de ces gaz ont fortement augmenté depuis la révolution industrielle. Dans le même temps, la température moyenne mondiale a augmenté d'environ $1,1\text{ }^\circ\text{C}$ depuis la fin du XIXe siècle. Les modèles climatiques confirment que cette hausse est principalement liée aux activités humaines avec un très haut niveau de certitude scientifique.

IV. Les modèles climatiques permettent de prévoir plusieurs scénarios pour le futur

Les scientifiques utilisent les modèles climatiques pour réaliser des projections du climat futur. Ces projections dépendent de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre appelés scénarios RCP puis SSP dans les rapports les plus récents du GIEC.

Ces scénarios reposent sur différentes hypothèses concernant l'évolution de la population mondiale, de l'économie, des technologies ou encore des politiques environnementales. Selon les choix effectués par les sociétés humaines, les émissions de gaz à effet de serre pourront diminuer, se stabiliser ou continuer à augmenter.

Les modèles climatiques prévoient avec une forte probabilité une augmentation de la température moyenne mondiale comprise entre $+1,5\text{ }^\circ\text{C}$ et $+5\text{ }^\circ\text{C}$ d'ici la fin du XXIe siècle. Cette hausse des températures entraînerait également une élévation du niveau moyen des océans pouvant atteindre environ un mètre à cause de la fonte des glaces et de la dilatation thermique de l'eau.

Les scientifiques prévoient aussi des modifications importantes des régimes de précipitations et une augmentation de la fréquence des événements météorologiques extrêmes comme les sécheresses, les vagues de chaleur, les tempêtes ou les pluies intenses.

Le réchauffement climatique provoque également une acidification des océans car une partie du CO_2 atmosphérique se dissout dans l'eau de mer. Cette acidification perturbe fortement les organismes marins et les écosystèmes océaniques.

Enfin, les modèles prévoient des conséquences majeures sur les écosystèmes terrestres et marins ainsi que sur les sociétés humaines.

V. Les sociétés doivent s'adapter et limiter le réchauffement climatique

Face aux risques liés au changement climatique, les États et les populations cherchent à mettre en place des stratégies d'atténuation et d'adaptation.

Les stratégies d'atténuation visent à limiter le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Cela passe notamment par le développement des énergies renouvelables, la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles, la limitation de la déforestation ou encore l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Les stratégies d'adaptation cherchent quant à elles à réduire les conséquences du changement climatique sur les populations et les territoires. Il peut s'agir de construire des digues contre la montée des eaux, de modifier certaines pratiques agricoles ou d'adapter les villes aux fortes chaleurs.

Les décisions prises aujourd'hui auront donc une influence importante sur le climat futur et sur les conditions de vie des générations à venir.

Synthèse

Les modèles climatiques sont des outils numériques qui permettent de simuler le fonctionnement du système climatique terrestre grâce à des lois scientifiques et à des calculs informatiques complexes. Ils sont validés par comparaison avec les observations actuelles et passées.

Les simulations climatiques montrent que le réchauffement observé depuis le début de l'ère industrielle est principalement causé par les activités humaines et les émissions de gaz à effet de serre.

Selon les différents scénarios étudiés, le XXI^e siècle devrait être marqué par une hausse importante des températures, une montée du niveau des océans, une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes et de fortes perturbations des écosystèmes.

Les sociétés humaines doivent donc mettre en place des stratégies d'atténuation et d'adaptation afin de limiter les conséquences du changement climatique.

SCHÉMA BILAN - LE CLIMAT DU FUTUR

1. LE SYSTÈME CLIMATIQUE, UN SYSTÈME COMPLEXE

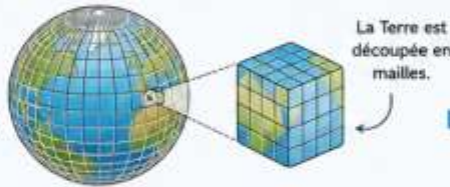
Le climat résulte d'interactions entre de nombreux éléments et paramètres.



Paramètres clés :
température, humidité, vents, précipitations, gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O...), albédo, rayonnement solaire...

2. LES MODÈLES CLIMATIQUES : SIMULER POUR COMPRENDRE

Les scientifiques créent des modèles numériques qui reproduisent le fonctionnement du climat grâce à des lois physiques, chimiques et biologiques.



- **Résolution spatiale :** taille des mailles (petites mailles → plus précis mais plus coûteux)
- **Résolution temporelle :** intervalle de temps entre deux calculs
- **Calculs effectués sur des supercalculateurs**

Il existe plusieurs modèles avec des hypothèses et des méthodes différentes.

3. VALIDATION DES MODÈLES

Les résultats des modèles sont comparés aux observations pour tester leur fiabilité.



Observations actuelles
Données météo, satellites, mesures in situ



Données du passé
Indices paléoclimatiques (carottes de glace, cernes d'arbres, sédiments...)



Amélioration continue
Les modèles sont ajustés et améliorés pour mieux reproduire la réalité.

CORRÉLATION ET CAUSALITÉ

Les observations montrent :

↑ gaz à effet de serre depuis 1850 → ↑ température moyenne globale

Tests avec les modèles

Avec émissions humaines → réchauffement reproduit
Sans émissions humaines → réchauffement non reproduit

CONCLUSION

L'activité humaine est la principale cause du réchauffement climatique depuis le début de l'ère industrielle.

4. LES ACTIVITÉS HUMAINES ÉMETTENT DES GAZ À EFFET DE SERRE

Principaux gaz et sources :



Dioxyde de carbone
Combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), transports, industrie, production de ciment, déforestation...



Méthane
Élevage bovin, rizières, décharges, fuites de gaz naturel et de pétrole...



Protoxyde d'azote
Engrais agricoles, certaines activités industrielles...

Depuis l'ère industrielle : forte augmentation des concentrations en GES → renforcement de l'effet de serre → réchauffement.

5. PROJECTIONS CLIMATIQUES POUR LE XXI^e SIÈCLE

Selon les scénarios d'émissions (RCP / SSP) :



Hausse des températures
+1,5 à +5 °C en moyenne d'ici 2100



Élévation du niveau des océans
Jusqu'à ~1 m d'ici 2100



Événements extrêmes
Plus fréquents et plus intenses : canicules, sécheresses, tempêtes, pluies intenses, vagues de chaleur...



Acidification des océans
Diminution du pH due au CO₂ dissous → impact sur les organismes marins



Impacts sur les écosystèmes
Perte de biodiversité, perturbation des écosystèmes terrestres et marins, conséquences pour les sociétés humaines.

6. AGIR POUR LE CLIMAT

Deux types de stratégies complémentaires :

ATTÉNUATION : limiter le réchauffement

- Réduire les émissions de GES
- Développer les énergies renouvelables
- Améliorer l'efficacité énergétique
- Préserver les forêts et les puits de carbone
- Innover (captage et stockage du CO₂...)



ADAPTATION : réduire les conséquences

- Protéger les populations et les territoires
- Adapter l'agriculture et la gestion de l'eau
- Aménager les villes (îlots de fraîcheur...)
- Construire des infrastructures résilientes



CADRE INTERNATIONAL

Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) évalue les connaissances scientifiques et informe les décideurs.



À RETENIR

Grâce aux modèles climatiques validés par les observations, les scientifiques montrent que le réchauffement actuel est d'origine humaine. Les projections indiquent des changements importants à venir, mais notre avenir dépend des choix que nous faisons aujourd'hui. Comprendre, anticiper et agir : trois clés pour construire un futur durable.