

TD 11 : construire des modèles climatiques.

Pour prévoir l'évolution du climat futur, les scientifiques s'appuient sur les constats passés. Aujourd'hui avec les moyens technologiques avancés et l'ensemble des données collectées, les scientifiques modélisent le fonctionnement du système climatique pour prévoir son évolution futur.

Problème : comment modéliser le climat futur ?

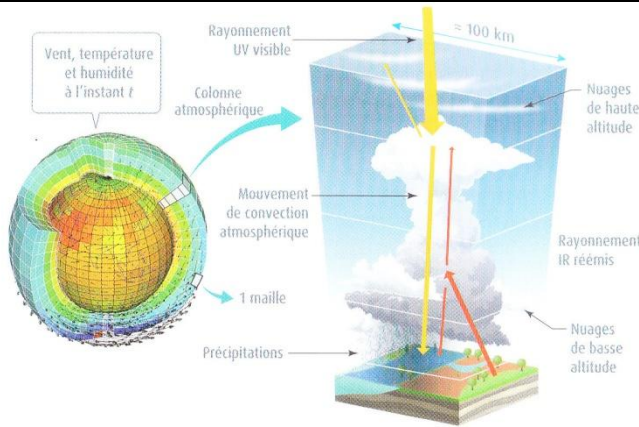
Tâche complexe :

A l'aide des documents fournis et du logiciel SimClimat, expliquer comment les scientifiques établissent les modèles climatiques et les évaluent pour modéliser le climat futur.

Interview de Jean-Louis Dufresne, climatologue au laboratoire de Météorologie Dynamique.
 « un modèle numérique de climat, c'est un programme informatique dont l'objectif est de reproduire le climat d'une Terre virtuelle, c'est-à-dire de simuler les mêmes phénomènes climatiques que sur la vraie Terre. Cette simulation se fait à partir des équations de la physique atmosphérique et océanique mais aussi de la façon dont se comporte la végétation sur les surfaces continentales...
 Toutes ces lois physiques ou chimiques sont mises sous forme d'équations mathématiques avant d'être résolue par des programmes informatiques qui tournent sur des supercalculateurs. Ces programmes informatiques appelés modèles numériques du climat permettent de simuler le climat sur des dizaines voir des centaines de milliers d'années.
 Ces simulateurs diffèrent des simulations météorologiques qui utilisent des modèles comparables mais dont l'objectif est la prévision du temps à court terme. Pour les projections climatiques, il ne s'agit pas de prévoir le temps qu'il fera tel jour dans 100 ans, mais de prédire le climat, c'est-à-dire la distribution statistique des variables météorologiques sur plusieurs décennies.

Document 1 : le principe du modèle climatique numérique.

L'atmosphère est découpée numériquement en un quadrillage tridimensionnel appelé maillage. La modélisation de l'atmosphère consiste à calculer les variables de sortie (vent, température, humidité, etc.) à chaque pas de temps et pour chaque maille. Le pas de temps, durée qui s'écoule entre deux calculs, est de l'ordre de quelques minutes. Il définit la résolution temporelle du modèle tandis que la largeur de la maille définit la résolution spatiale, ici de l'ordre de 100 km. Les phénomènes physiques complexes ayant une échelle inférieure à la taille de la maille (comme la formation des nuages) sont traités de manière statistique. Cette simplification incontournable est une source de variabilité entre les modèles (Unité 3 p. 68).



Interview de Camille Risi, climatologue au Laboratoire de Météorologie Dynamique

Si on avait une puissance de calcul infinie, on réduirait la taille des mailles jusqu'à pouvoir représenter le plus finement possible les processus nuageux. À la résolution actuelle, il faut déjà environ 360 points en longitude, multiplié par 180 points en latitude, que multiplie environ 50 points sur la verticale. Le pas de temps est de l'ordre de quelques minutes (15 min) mais les calculs portent sur plusieurs milliers d'années voire des centaines de milliers d'années... Ça fait $360 \times 180 \times 50 \times 100\,000 \times (365 \times 24 \times 4)$ fois tous les calculs atmosphériques! C'est pourquoi les simulations avec les modèles de climat se font sur des supercalculateurs de centres nationaux et certaines simulations prennent plusieurs mois.

Document 2 : modèle atmosphérique et supercalculateur.

Le supercalculateur Curie, hébergé dans un centre de recherche de la région parisienne, est capable d'effectuer jusqu'à deux millions de milliards (2×10^{15}) d'opérations à la seconde.



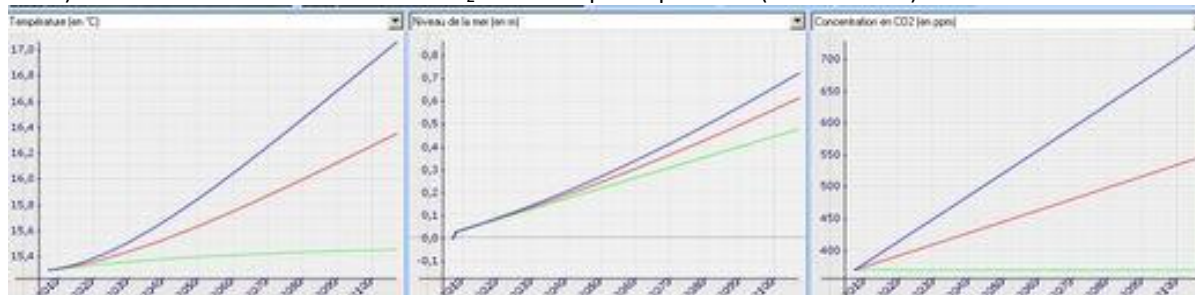
Critères de réussite.
 J'ai répondu à la question « qu'est-ce qu'un modèle climatique numérique ? » .

J'ai indiqué le rôle du maillage et ses conséquences sur la puissance de calcul nécessaire.

Résultats d'une modélisation avec SimClimat.

Protocole suivi :

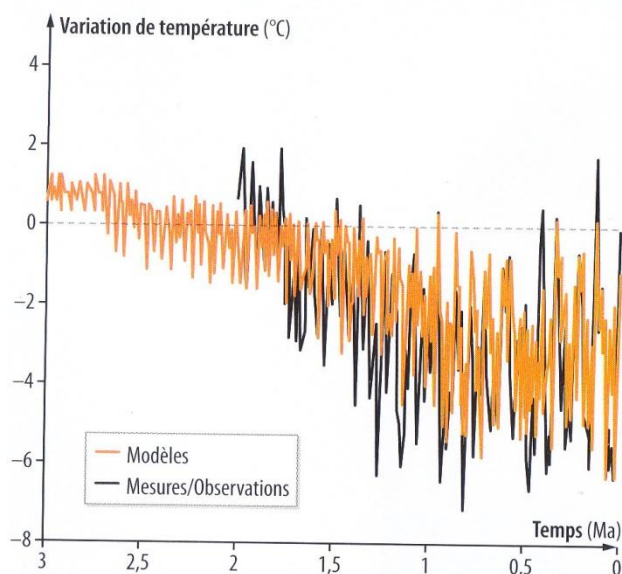
- 1) Simulation basée sur le monde en 2007 pour une durée de 100 ans.
- Plusieurs simulations basées sur différents scénarios sont réalisées :
- 2) Simulation 1 : les émissions de CO₂ continuent au même rythme qu'actuellement (courbe rose).
 - 3) Simulation 2 : les émissions de CO₂ n'augmentent plus (courbe verte).
 - 4) Simulation 3 : les émissions de CO₂ sont multipliées par deux (courbe bleue).



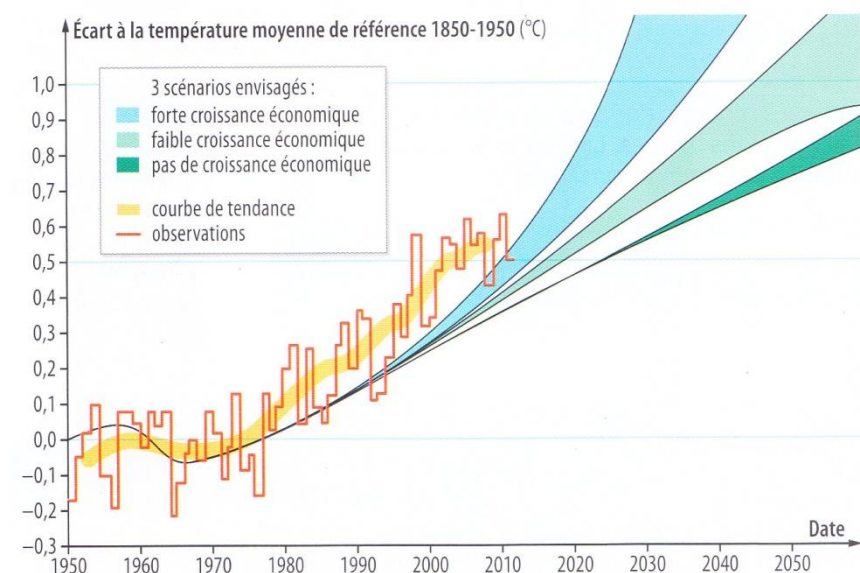
De gauche à droite : température (en °C), niveau marin et concentration en CO₂ (en ppm)

J'ai observé les changements climatiques possibles sur le XXI^{ème} siècle selon 3 scénarii et j'ai relié la température à la concentration en CO₂.

Document 3 : comparaison du climat mondial des trois derniers Ma avec différents modèles.



J'ai montré que les modèles climatiques se sont améliorés et enrichis au cours du temps.



J'ai expliqué pourquoi il y a toujours plusieurs scénarii d'évolution du climat.

Document 4 : confrontation modèle-observation.

Ce modèle climatique de 1981 prend en compte de nombreux paramètres (rayonnement solaire, GES, albédo...) mais pas les aérosols et certains GES dont l'effet est aujourd'hui avéré. Ce modèle est appliqué à 3 scénarii de croissance économique et les simulations sont comparées aux températures mesurées entre 1950 et 2010.

Source : Hansen, *Science*, 1981 et realclimate.org