



Chapitre 2 - Les modèles climatiques

Activité 1 – Qu'est-ce qu'un modèle climatique ?

Le climat de la Terre est le résultat d'interactions complexes entre de nombreux processus faisant intervenir l'atmosphère, l'océan et les surfaces continentales. Ainsi les modèles de climat résultent de la mise en lien (on parle de couplage) de différents modèles : modèles d'atmosphère, d'océan, de glace de mer, de surfaces continentales, de calottes polaires...

Document 1. Vidéo : la modélisation du climat

Cette vidéo décrit, en 4 minutes, la façon dont on tient compte de différents modèles pour prévoir le climat de la Terre sur toute la planète. Ces différents modèles font appel à des champs scientifiques divers : thermodynamique, mécanique des fluides, biochimie... Et une fois mise en lien, les simulations qu'ils permettent ne sont possibles que grâce à une très grande puissance de calcul (voir document 4).

Même si la vidéo ne l'illustre pas, la comparaison entre les prévisions et les observations faites est aussi un moyen d'améliorer ces modèles et leur couplage.

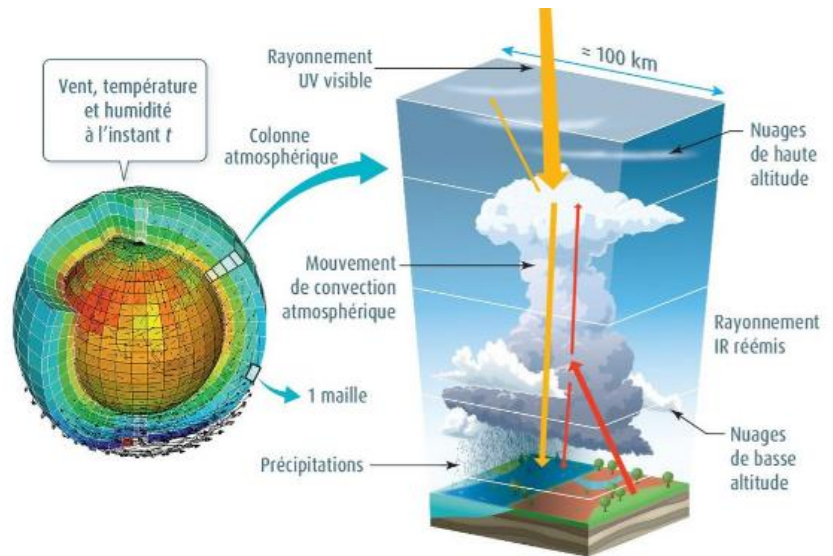
Source : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement



<https://dgxy.link/ipsl>¹

Document 2. Exemple d'un modèle atmosphérique utilisé à l'institut Pierre-Simon Laplace

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.



Source : Manuel Belin – Terminale Enseignement scientifique

Document 3. Puissance de calcul nécessaire

Extrait d'une 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.

¹ Lien natif : <https://www.lsce.ipsl.fr/Phoce/Vidéo/index.php?id=2>

**Document 4. La conception d'un modèle d'océan**

Un modèle d'océan est une représentation simplifiée des processus physiques et biogéochimiques qui se déroulent en son sein et aux interfaces avec les autres milieux (atmosphère, continents...). Il repose sur des lois physiques mises en équations puis résolues par des programmes informatiques. Tout comme pour l'atmosphère, on procède en trois étapes pour construire un modèle d'océan.

La première, celle la modélisation physique, consiste à poser utiliser les lois physiques (ce sont des équations) qui décrivent l'évolution dans le temps des variables à simuler (température, salinité...). Ces équations sont ensuite simplifiées (l'eau de mer est considérée comme quasi-incompressible ; l'océan est traité comme une couche très mince à la surface du globe...).

Il faut ensuite découper l'océan selon un maillage en trois dimensions, chaque maille représentant un cube ou pavé avec un côté de quelques km à plusieurs centaines de km, et une épaisseur allant de 1 à 500 m. Les méthodes mathématiques appliquées permettent alors d'écrire les équations qui relient les variables de chaque maille du modèle. Cependant, à l'intérieur de chaque cube du maillage, il existe des phénomènes que la maille ne « voit » pas (vagues, présence de petites montagnes sous-marines...). La représentation de « phénomènes sous maille » est nécessaire pour prendre en compte la variété des processus océaniques ; elle est aujourd'hui la source principale d'incertitudes et d'erreurs dans les modèles d'océan.

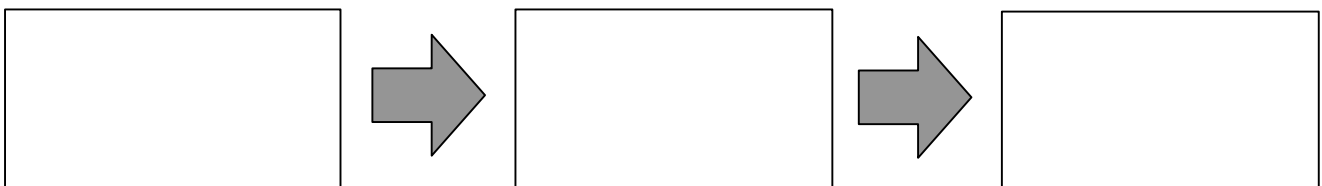
La dernière étape est la modélisation informatique c'est-à-dire la traduction des équations en langage informatique compréhensible par les ordinateurs. Partant d'un état initial observé, le code informatique calcule périodiquement les valeurs des variables à l'intérieur de chaque maille, avec une période ou « pas de temps », de l'ordre de plusieurs minutes. Plus la grille est fine et les équations prises en compte complexes, plus le nombre de calculs à effectuer à chaque pas de temps est élevé. La résolution choisie (la taille de chaque cube, et donc le nombre de cubes nécessaires pour couvrir le globe) est un compromis entre le coût de calcul en termes de nombre d'opérations et la précision recherchée.

Pour l'étude du climat, le modèle d'océan est couplé à d'autres modèles qui représentent la glace de mer, l'atmosphère, les surfaces continentales, les calottes polaires...

La comparaison des résultats du modèle avec les observations océaniques est la clef d'un processus constant d'amélioration du modèle, pour lequel collaborent physiciens, mathématiciens et informaticiens.

Source : « Climat – Modéliser pour comprendre et anticiper » du projet MISSTERRE.

1. Indiquer dans les cadres ci-dessous les trois étapes nécessaires pour construire un modèle d'océan ou d'atmosphère.



2. Que faut-il ajouter en entrée avant de « faire tourner » un modèle d'océan ou d'atmosphère (c'est-à-dire faire une simulation de l'évolution de l'océan et de l'atmosphère à l'aide de ces modèles) ?

- 3. a. Justifier chacun des termes de la multiplication proposée par Camille Risi. On indiquera en particulier pourquoi elle parle de 360 points en longitude et 180 points seulement en latitude.**
b. Sachant que le rayon moyen de la Terre est 6371 km, calculer la taille de la maille dans le cas cité par Camille Risi.
c. Discuter le rôle du maillage sur le nombre de calculs à réaliser et indiquer par combien serait multiplié le nombre d'opérations si on voulait une résolution spatiale deux fois plus petite.

4. Citer la source principale d'incertitudes et d'erreurs dans les modèles d'océan.

5. Expliquer comment les climatologues évaluent la fiabilité d'un modèle (vous pouvez vous appuyer sur l'exemple du document 4).