## Qu’est-ce qu’un modèle de climat ?

Un modèle de climat est une modélisation mathématique du climat basée sur les lois fondamentales de la physique, de la thermodynamique, du mouvement des fluides et de la chimie. (*Modèle climatique* 2021).

Un modèle peut être global (représentation de l’ensemble du climat terrestre) ou bien régional (modélisation ciblée sur une région donnée du globe avec des conditions aux limites). Dans les deux cas, un maillage de la zone d’étude est réalisé dans les trois dimensions de l’espace (Figure 1). Chaque maille est considérée comme une zone homogène. « Exécuter » le modèle revient alors à regarder comment évoluent les grandeurs climatiques d’intérêts (température, humidité, vent, etc…) au fur et à mesure de la simulation des interactions entre les différentes mailles. La taille des mailles est un critère important, plus elle est petite, plus la modélisation sera précise mais plus elle sera couteuse à exécuter du fait de l’explosion combinatoire des interactions entre mailles.



Figure 1: Schematic for Global Atmospheric Model.(Cintra, de Campos Velho, Cocke 2016)

## Qu’est-ce que les expériences CMIP ?

L’objectif des expériences CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) est de mieux comprendre les changements climatiques passés, présents et futurs découlant de la variabilité naturelle du climat ou en réponse aux changements du forçage radiatif (*CMIP* 2021). Cette compréhension comprend l’évaluation du rendement du modèle au cours de la période historique et la quantification des causes de l’écart dans les projections futures. L’un des objectifs importants du PIMC est de rendre les résultats multi modèles accessibles au public dans un format normalisé.

Depuis 1995, le CMIP coordonne des expériences de modèles climatiques impliquant plusieurs équipes de modélisation dans le monde entier.

Le projet CMIP6 correspond à la 6ième phase des expériences CMIP. La conception des expériences du CMIP6 est axée autour de trois grandes questions :

* Comment le système Terre réagit-il au forçage ?
* Quelles sont les origines et les conséquences des biais systématiques des modèles ?
* Comment est-il possible d’évaluer les changements climatiques futurs compte tenu de la variabilité du climat mais aussi des incertitudes sur la prévisibilité des scénarios ?

## Quels sont les scénarios pour CMIP6 ?

Différents scénarios sont envisagés dans les expériences CMIP6 afin d’évaluer les différences réponses possibles du climat à différents niveaux de forçage anthropique d’ici la fin du 21ième siècle (O’Neill et al. 2016). Ces scénarios sont nommés SSP (*Shared Socioeconomic Pathways* 2021), les valeurs associées à chaque scénario correspondent à des valeurs de forçages radiatifs (bilan d’énergie montante/descendante exprimé en W/m²) en lien notamment avec la concentration de gaz à effet de serre.

Les différents scénarios sont regroupés en deux catégories (tier1, tier2) voici les quatre scénarios du tier1 (tier2 non évoqué ici) :

* SSP1-2.6 : “Sustainability (Taking the Green Road)”
  + Ce scénario représente l’extrémité inférieure de la gamme des voies de forçage futures. On s’attend à ce qu’il produise une moyenne multi-modèles nettement inférieure au réchauffement de 2°C d’ici 2100 et donc qu’il soutienne des analyses de cet objectif politique.
* SSP2-4.5 : « Middle of the road »
  + Ce scénario représente la partie moyenne des voies de forçage futures. Scénario qui sera souvent utilisé comme expérience de « référence ».
* SSP3-7.0 : “Regional rivalry (A Rocky Road)”
  + Ce scénario représente la partie « moyenne à élevée » de la gamme des voies de forçage futures. Ce scénario est particulièrement intéressant parce qu’il représente un niveau de forçage comparable à celui du SSP2 mais pour lequel les impacts ne sont pas ou peu atténués.
* SSP5-8.5 : “Fossil-Fueled Development (Taking the Highway)”
  + Ce scénario représente l’extrémité supérieure de la gamme des voies de forçage futures. Ce scenario correspond à un forçage radiatif maximal qui pourrait être atteint par un fort développement économique au cours du 21ième siècle dont le moteur serait toujours les énergies fossiles.

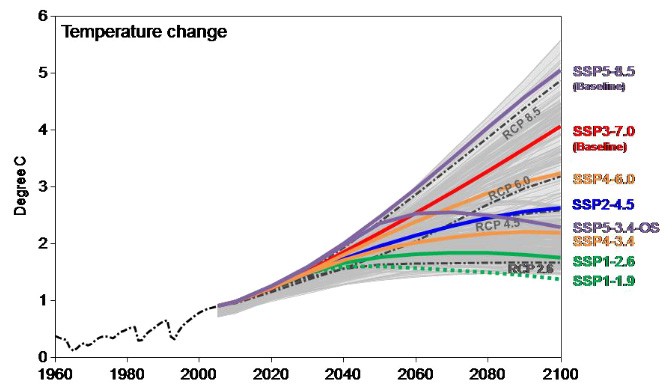


Figure 2: Evolution de la température moyenne globale en fonction des différents scénarios SSP (O’Neill et al. 2016)

## Le modèle IPSL-CM6A-LR

Le modèle que nous avons utilisé dans notre étude est le modèles « IPSL-CM6A-LR » :

* IPSL ⬄ Institut Pierre Simon Laplace
* CM6A ⬄ modèle atmosphérique LMDZ version 6A-LR
* LR ⬄ « Low Resolution »

### Résolution du modèle

Ce modèle global, développé notamment en vue des expériences du CMIP6 possède un maillage de 144 points en longitude (résolution 2,5°), de 142 points en latitude (résolution 1,3°) et 79 points en altitude sur 80km.

Aux latitudes considérées dans notre études (de 0° à 60°) la maille au niveau du sol à une taille moyenne de 240km (longitude) x 140km (latitude).

### Choix du member\_id

Le modèle fournit des résultats pour différents scénarios et différents « member\_id ». Les scénarios correspondent aux différents scénarios SSP évoqués ci-dessus auquel s’ajoute le scenarios « historical » pour les périodes passées.

Les « member\_id » correspondent à différentes manières de paramétrer le modèle. Quatre paramètres sont positionnables donnant au total 32 combinaisons différentes. Les quatre paramètres sont (*CMIP6\_global\_attributes\_filenames\_CVs* 2018):

* « r » ⬄ réalisation
* « i » ⬄ initialisation
* « p » ⬄ physique
* « f » ⬄ forçage

Dans notre étude, nous avons utilisé dans un premier temps le member\_id = r1i1p1f1 correspondant à la première valeur possible pour chaque paramètre. Le fait de récupérer tous les member\_id disponibles, permet de vérifier que les biais observés sont réellement dus au modèle et non à la variabilité interne du climat.

## 

CINTRA, Rosangela, DE CAMPOS VELHO, Haroldo et COCKE, Steven, 2016. Tracking the model: Data assimilation by artificial neural network. In : *2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* [en ligne]. Vancouver, BC, Canada : IEEE. juillet 2016. pp. 403‑410. [Consulté le 22 novembre 2021]. ISBN 978-1-5090-0620-5. Disponible à l’adresse : http://ieeexplore.ieee.org/document/7727227/

CMIP, 2021. [en ligne]. [Consulté le 22 novembre 2021]. Disponible à l’adresse : https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip

CMIP6\_global\_attributes\_filenames\_CVs, 2018. *Google Docs* [en ligne]. [Consulté le 22 novembre 2021]. Disponible à l’adresse : https://docs.google.com/document/d/1h0r8RZr\_f3-8egBMMh7aqLwy3snpD6\_MrDz1q8n5XUk/edit?usp=sharing&usp=embed\_facebook

Modèle climatique, 2021. *Wikipédia* [en ligne]. [Consulté le 22 novembre 2021]. Disponible à l’adresse : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Mod%C3%A8le\_climatique&oldid=182627493

O’NEILL, Brian C., TEBALDI, Claudia, VAN VUUREN, Detlef P., EYRING, Veronika, FRIEDLINGSTEIN, Pierre, HURTT, George, KNUTTI, Reto, KRIEGLER, Elmar, LAMARQUE, Jean-Francois, LOWE, Jason, MEEHL, Gerald A., MOSS, Richard, RIAHI, Keywan et SANDERSON, Benjamin M., 2016. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*. 28 septembre 2016. Vol. 9, n° 9, pp. 3461‑3482. DOI 10.5194/gmd-9-3461-2016.

Shared Socioeconomic Pathways, 2021. *Wikipedia* [en ligne]. [Consulté le 22 novembre 2021]. Disponible à l’adresse : https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Shared\_Socioeconomic\_Pathways&oldid=1054206944