



# CAUSES & ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

*Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC « Causes et enjeux du changement climatique ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.*

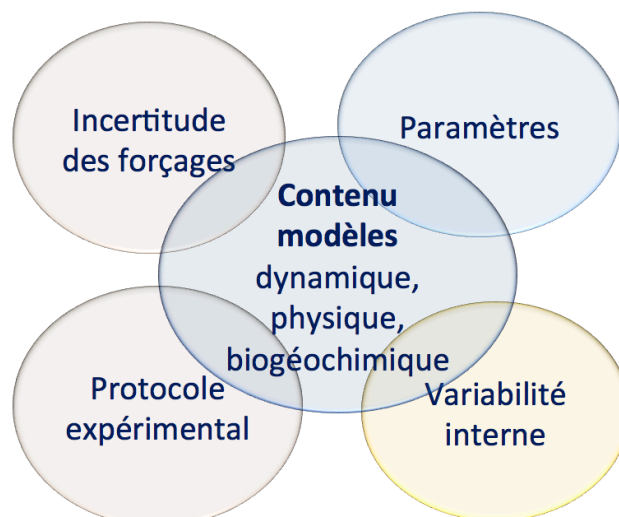
## *Evaluation des modèles climatiques*

**Pascale BRACONNOT**

*Chercheur – CEA*

Nous allons voir dans cette vidéo comment on assoit la crédibilité des résultats des modèles de climats qui sont utilisés pour les projections climatiques futures.

- Alors, il faut savoir avant tout qu'il y a plusieurs facteurs qui vont affecter les résultats des modèles, ça passe dans le contenu lui-même des modèles et la façon dont les équations sont représentées, donc la dynamique, la physique, toutes les interactions avec les cycles biogéochimiques mais ce n'est pas tout, dans les paramétrisations physiques on fait intervenir un certain nombre de paramètres qu'il faut définir et que l'on ajuste afin d'avoir des interactions correctes entre tous les éléments du système.

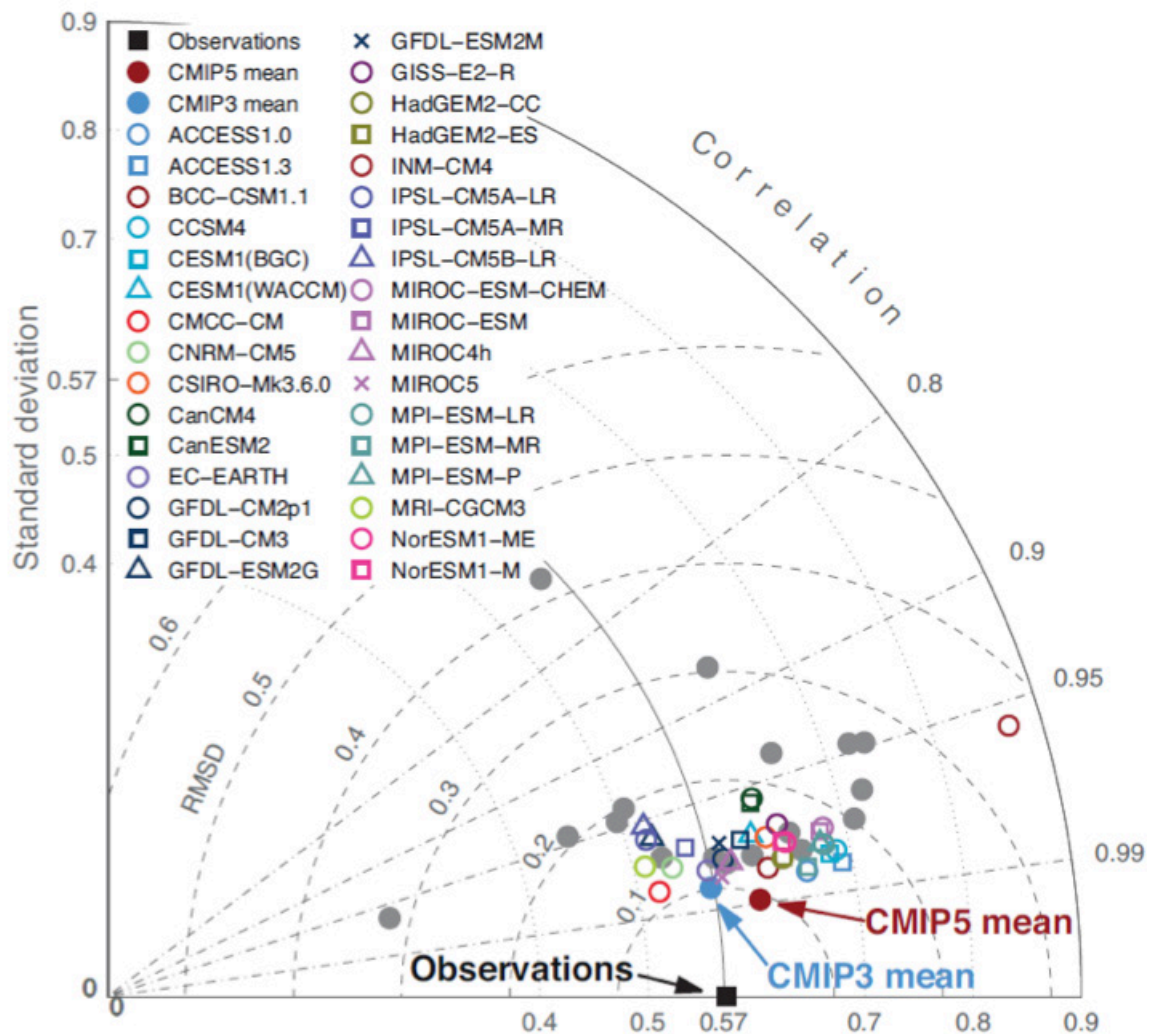


- ⇒ Les petites variations de ces paramètres peuvent éventuellement affecter les résultats.
- De la même manière, faire une simulation, c'est imposer des conditions limites et des perturbations externes que l'on appelle forçage et qui ont aussi leurs propres incertitudes et qui peuvent donc aussi affecter les résultats.
- La façon dont on mène une expérience, le protocole, la façon dont on implémente les forçages dans les simulations peuvent aussi différer d'un modèle à l'autre et affecter donc les résultats.
- Le phénomène assez intrinsèque au climat est tout ce qui est lié à la variabilité et suivant ce que l'on regarde, cette variabilité introduit du bruit et ne facilite pas la comparaison aux observations et il faut en tenir compte dans les comparaisons modèles/ données.
- ⇒ Donc c'est pour ça que l'on développe des évaluations à différents niveaux en s'intéressant aux climatologies et aussi à la capacité des modèles à reproduire un climat différent de l'actuel.

Alors, la première évaluation de base, c'est de s'intéresser à savoir si les climatologies représentées par les modèles sont réalistes ou non en comparant aux nombreuses observations disponibles et on peut faire appel à des tas de résultats de campagnes de mesures sur le terrain ou alors aux données satellites.

- Vous avez un exemple ici par les températures de surface et la carte de gauche vous représente les températures de surface en moyenne annuelle représentées par un ensemble de modèles, c'est la moyenne d'ensemble des modèles et ça reproduit très bien, en premier ordre, les observations.
- ⇒ On aurait une carte très similaire avec les observations.
- Néanmoins, si on fait la différence entre les résultats simulés à droite et les observations, on voit que les modèles ont tendance à être un petit peu trop froids dans l'hémisphère nord et trop chauds dans l'hémisphère sud, l'hémisphère sud plutôt sur les océans.
- Alors, on a la confirmation, si on regarde en moyenne zonale en fonction de la latitude sur la carte de gauche, les différences de températures de la mer simulées et observées et on voit bien sur cette carte que l'on a des simulations trop chaudes dans l'hémisphère Nord et trop froides dans l'hémisphère Sud et on voit aussi une grande disparité entre les résultats des modèles.
- On voit aussi ça le long de l'Équateur, sur la figure de droite, où vous avez au centre l'océan Pacifique, à gauche l'océan Indien et à droite l'océan Atlantique et si on prend à gauche, on voit que tous les modèles ont tendance à petit peu trop de froid dans l'océan Pacifique, mais on voit aussi que certains modèles ont des variations complètement différentes de l'ensemble des modèles en étant trop chauds sur le bassin et particulièrement à l'Est.

- ⇒ Donc on met comme ça en évidence des comportements communs et des comportements spécifiques à certains modèles.
- Alors ce qu'on aime bien aussi, c'est être capable de caractériser très rapidement ces résultats et de savoir si certains modèles sont meilleurs que d'autres ou si les modèles évoluent dans le temps et pour cela, on a recours au diagramme de Taylor.

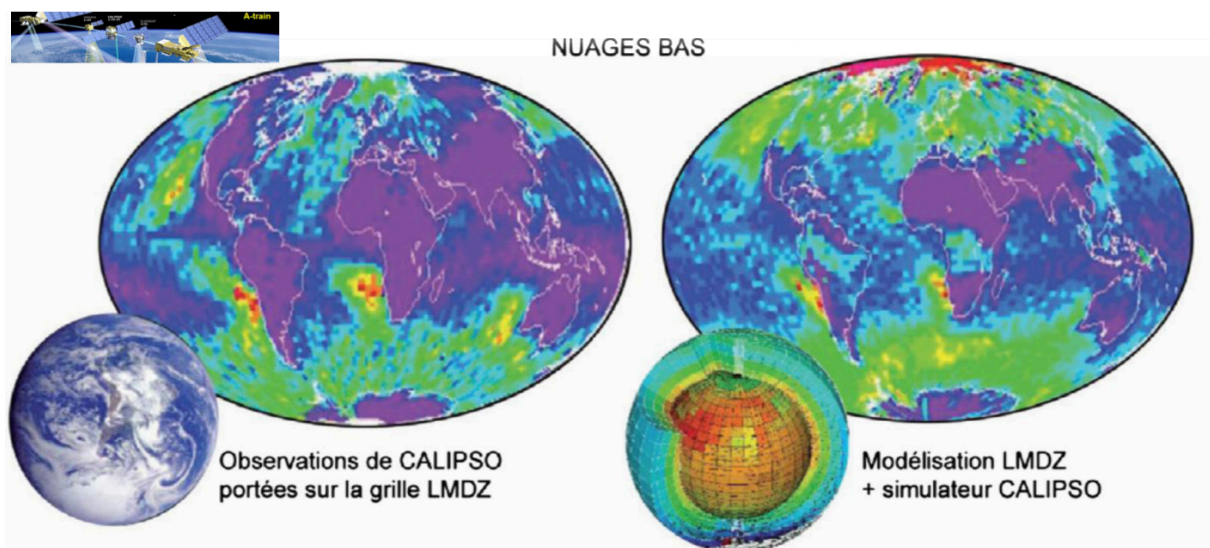


- ⇒ Donc ce diagramme sur l'axe du bas va nous représenter l'amplitude du signal simulé, sur l'arc de cercle on va avoir une mesure de la corrélation entre ce qui est simulé et ce qui est observé, et puis, lorsque l'on compare le point observé, la distance entre le point observé et n'importe lequel des points sur la carte, donc un des points, on va avoir la différence quadratique moyenne qui va donner un écart d'amplitude entre ce qui est simulé et ce qui observé.
- ⇒ Donc plus on est proche du point des observations, meilleurs on est, plus on est loin, moins bons on est et ce diagramme nous permet de savoir si c'est parce que la corrélation est bonne entre modèles et observations ou alors si c'est l'amplitude du champ qui est mal simulée.

- On voit par exemple ici, si on prend ce qui est marqué CMIP 5 ou CMIP 3 qui sont deux grands ensembles de simulations, on voit que ces deux grands ensembles de modèles ont à peu près le même type de qualité par rapport aux observations.

Alors, souvent ce que l'on modélise, n'est pas directement comparable aux observations.

- Alors c'est le cas par exemple des nuages qui sont des structures de très fine échelle, que l'on représente dans les modèles et que l'on peut maintenant comparer à de nombreuses données satellites.
- Alors, les nuages observés par satellite n'ont pas exactement les mêmes caractéristiques que l'on simule et pour ça, on va développer des petits logiciels pour pouvoir les comparer, qui font comme si un satellite volait dans le modèle et regarde les nuages et les mesure et on va ainsi pouvoir mieux comparer les couvertures nuageuses.

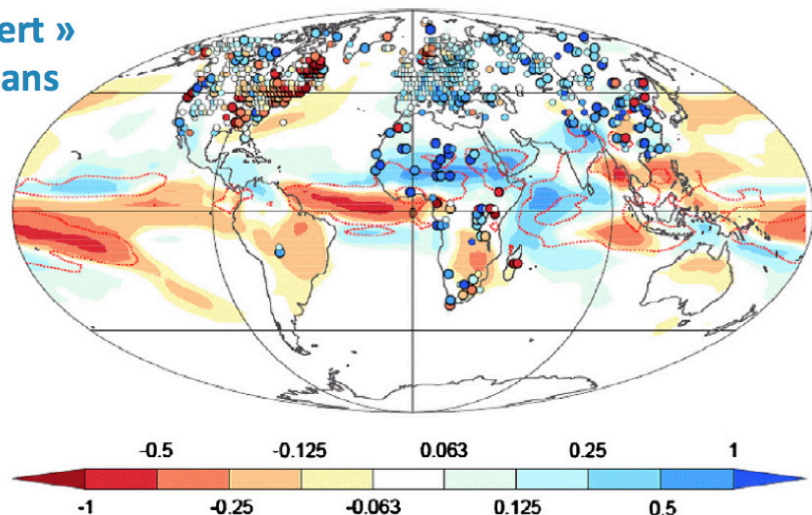


- ⇒ Ce que montre la comparaison de ces deux cartes (vous avez à gauche le résultat des satellites et à droite les résultats des modèles), c'est que ce modèle particulier a tendance à avoir des couvertures nuageuses (donc c'est en jaune sur la figure), qui sont plus importantes dans les moyennes latitudes de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud que ce qui est représenté dans les observations dans les mêmes régions.
- ⇒ Donc on met là en évidence un défaut dans la représentation des nuages bas dans ce modèle.

Alors, pour savoir aussi si un modèle est capable de simuler un climat différent de l'actuel, on peut utiliser de nombreuses expériences menées par la Terre dans les climats passés.

- Donc on utilise aussi les paléoclimats comme tests de notre capacité à représenter ces climats différents et un exemple donné ici pour le climat d'il y a 6000 ans, où j'ai mis sur la figure une reconstitution des précipitations annuelles en millimètres par an qui sont donnés par les petits points.

## Période du « Sahara vert » Pluies annuelles 6000 ans BP – Actuel

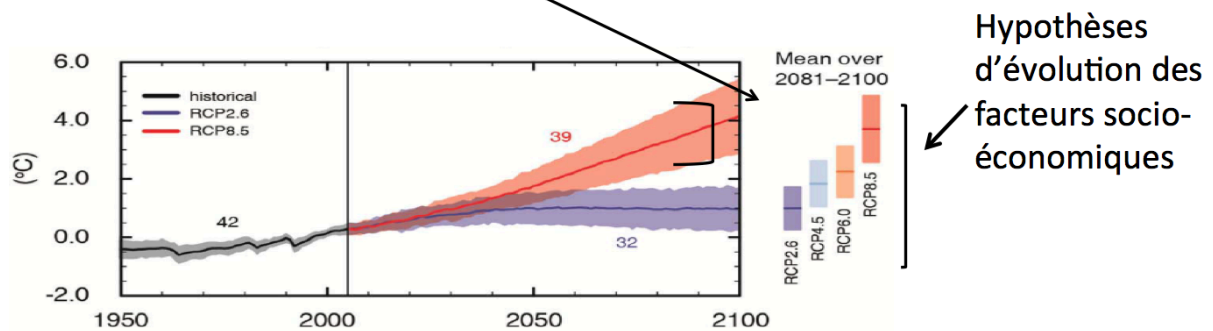


- ⇒ Quand c'est bleu c'est-à-dire qu'il y avait plus de précipitations ;
- ⇒ Quand c'est rouge, ça veut dire qu'il en avait moins là où on avait des données.
- Ce que vous avez sur la carte c'est la moyenne d'un ensemble de modèles, la différence à la période actuelle, pour cette période.
- ⇒ Lorsque c'est bleu, c'est qu'il y avait plus de précipitations ;
- ⇒ Lorsque c'est rouge, c'est qu'il y a moins de précipitations dans les modèles.
- Alors, cette époque est marquée par une variabilité saisonnière plus importante du rayonnement solaire dans l'hémisphère nord et ça, ça induisait des moussons beaucoup plus intenses et c'est pour ça qu'il y a plus de pluies par exemple dans toute la région du Sahara et du Sahel sur cette carte.
- Ce que vous voyez aussi, c'est que si l'on compare les résultats des modèles et des données par les petits ronds de couleur, on voit qu'au premier ordre, les modèles représentent très bien les variations observées, mais lorsque l'on regarde de plus près et si l'on va plus loin dans les analyses, on se rend compte qu'ils ont un petit peu tendance à sous-estimer l'amplitude des changements observés.
- ⇒ Donc les modèles sont satisfaisants et tout à fait crédibles sur leurs grandes lignes et ont quand même des défauts dans la représentation – par exemple pour ce climat -, de l'amplitude des précipitations.

Alors, grâce à ces différentes évaluations, on est aussi capables de mieux caractériser les incertitudes des projections climatiques comme celles que l'on fait pour le prochain siècle.

- Donc vous avez sur cette figure les résultats pour les ensembles de modèles de changements de température en moyenne annuelle pour l'ensemble de la planète, en fonction du temps.

Barre d'erreur estimée à partir de 39 simulations (modèles) : tient compte des différences entre modèles, de la nature chaotique du climat



- Donc on représente la partie 1950 à 2000, c'est le climat actuel, et ensuite, on fait des simulations avec différentes hypothèses de l'évolution socio-économique et donc des émissions de gaz à effet de serre.
- ⇒ Dans des cas où il n'y a pas de mesures qui sont prises, c'est le paquet rouge et dans le cas où des mesures sont prises pour les réductions des émissions, c'est le paquet bleu.
- Cet ensemble de modèles et les comparaisons nous permettent de caractériser les incertitudes liées à la modélisation, donc c'est les barres d'erreur autour des projections pour chacune des couleurs, chacun des paquets.

Mais lorsque l'on s'intéresse aux changements climatiques, les erreurs, les incertitudes provenant des modèles ne sont pas la seule source d'incertitude à prendre en compte, il faut aussi prendre en compte des incertitudes d'autres natures qui font appel aux résultats d'autres communautés, comme par exemple ici, les hypothèses qui sont faites sur l'évolution des facteurs socio-économiques et qui caractérisent les paquets rouges et bleus à l'horizon 2100.

C'est grâce à l'ensemble et la prise en compte de l'ensemble de ces incertitudes que l'on est capables de mieux caractériser les risques pour la société du changement climatique en cours.