Secrétariat général pour l'investissement

WEBINAIRE TRACCS

TRANSFORMER LA MODÉLISATION DU CLIMAT POUR LES SERVICES CLIMATIQUES

PC6 : calibration des modèles de climat

Julie Deshayes
et beaucoup d'autres collègues
IPSL et MF-CNRM

→ Vendredi 31/05/2024

Sommaire

1. **En quoi consiste la calibration (ou tuning) des modèles de climat ?**

Définition

Exemples

Les nouveaux modèles de climat (IA) sont-ils concernés ?

2. **Comment calibrer (tuner) les modèles ?**

Méthode ad-hoc

Méthode semi-automatique

Autres méthodes

3. **Conséquences**

Exemple de la sensibilité climatique

Contraintes observationnelles

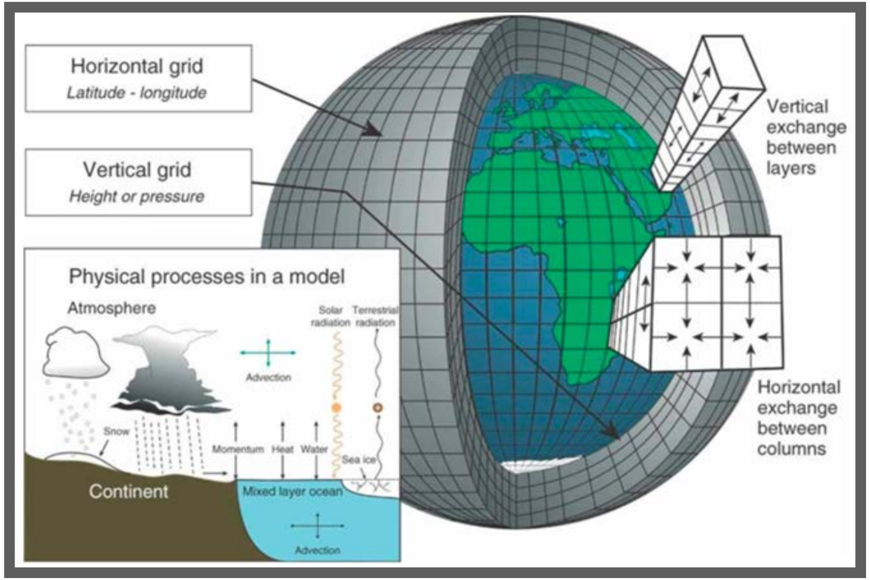
PC6-QUINTET !

1. Pourquoi tuner les modèles de climat ?

Les modèles de climat

océan, atmosphère = fluides géophysiques

- ➔ équations mathématiques
- ➔ approximations physiques
- ➔ algorithmes de discrétisation spatio-temporelle
- ➔ programmes informatiques
- ➔ exécution sur calculateurs numériques
- ➔ simulations climatiques !



Les paramétrisations dans les modèles de climat

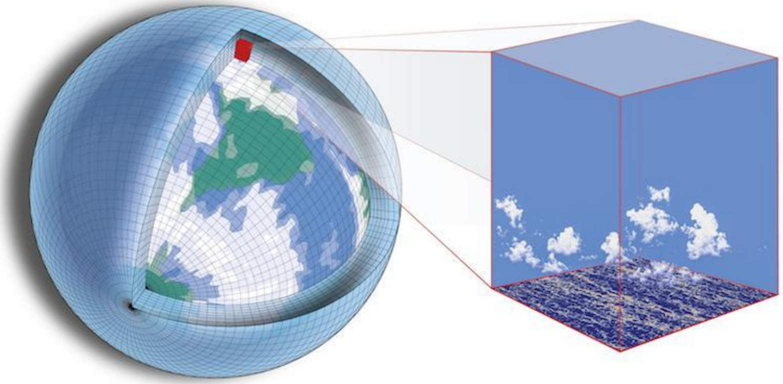
Quelle que soit la résolution spatiale, certains processus ne sont pas explicitement résolus

➔ identifier la résolution effective, spatiale et temporelle

➔ déterminer les processus non résolus

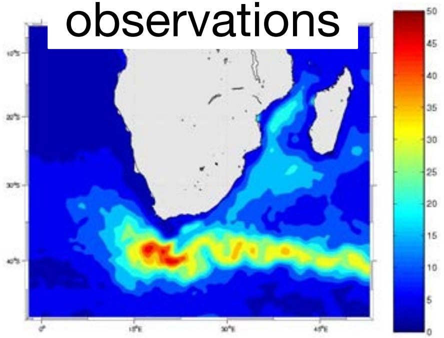
➔ représenter leurs effets à plus grande échelle à partir d'autres modèles, d'observations, ou de concepts théoriques

➔ ajuster le(s) coefficient(s) intervenant dans la formule numérique



+ paramétrisations qui compensent des limites de complexité (ex : calottes continentales)

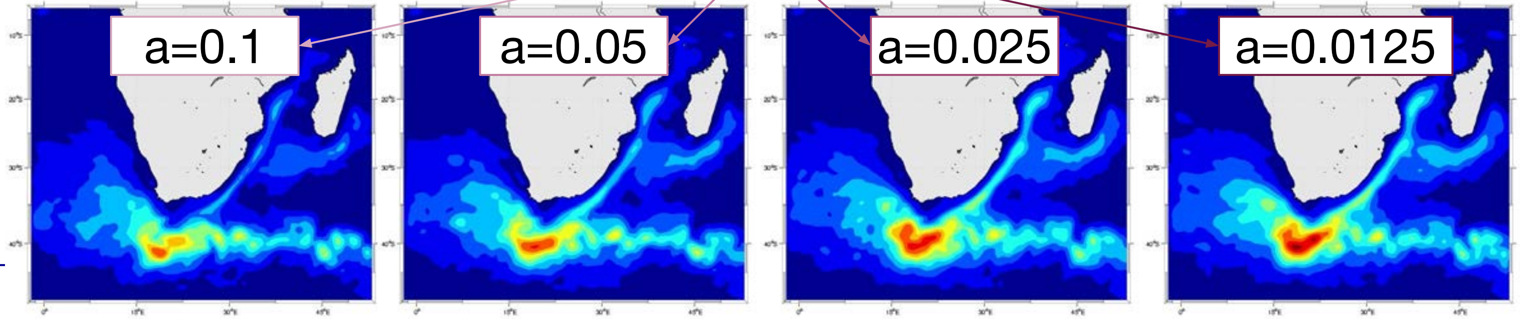
Exemple 1 : Paramétrisation de la viscosité océanique



observations (satellite, à gauche) et simulations numériques (modèle ROMS, ci-dessous) de la variance de la hauteur d’eau autour de l’Afrique Australe, en fonction de la viscosité, par P. Penven (IRD)

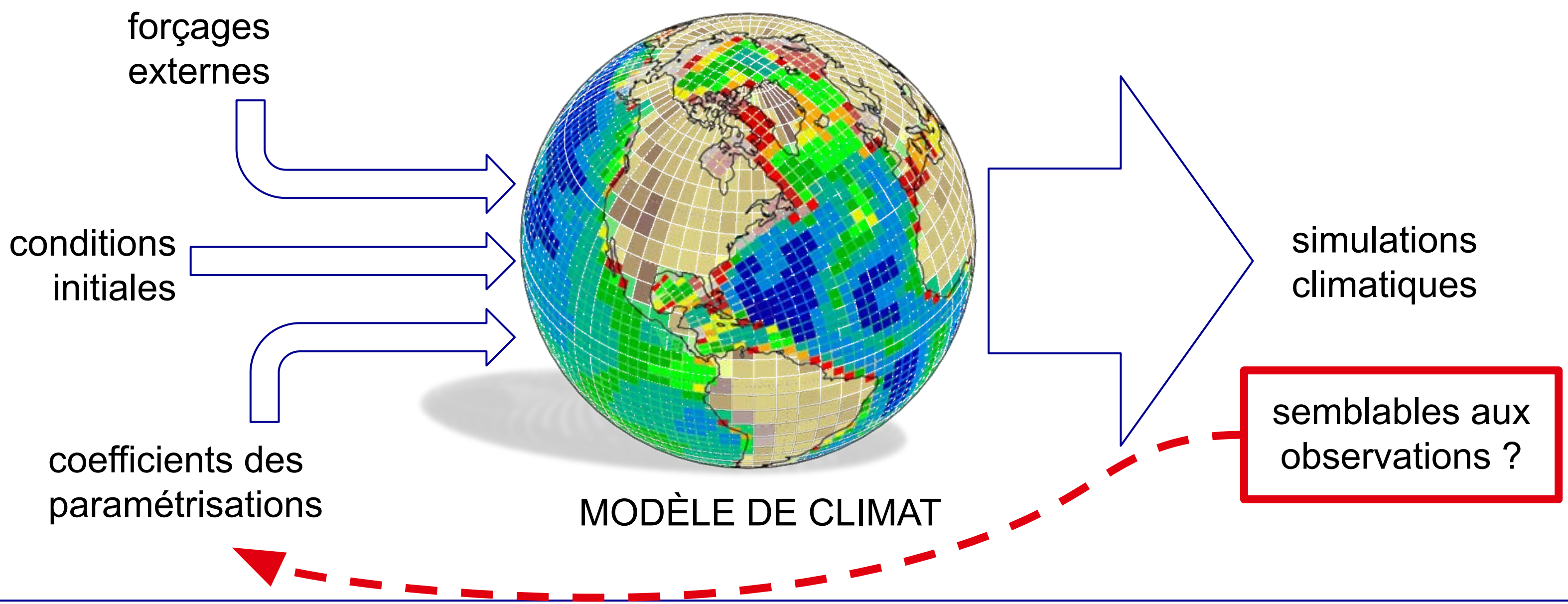
représentation de la viscosité comme Smagorinsky

$$A_h = \mathbf{a}\frac{\Delta x \Delta y}{2}|D| \qquad D^2 = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + 0.5\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2$$



Calibration des modèles de climat

Hourdin et al. (2017) : The art and science of climate model tuning



Et après ?

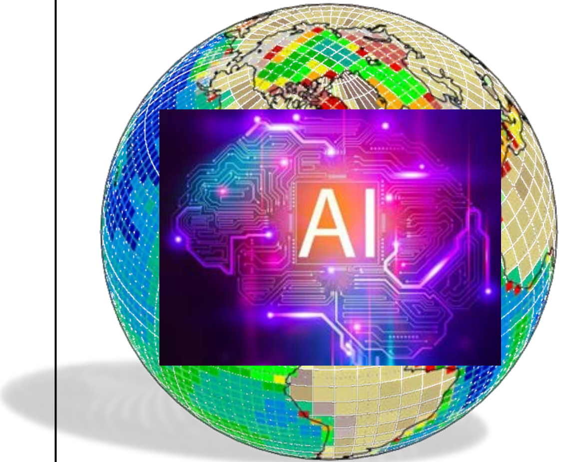
paramètres des architectures IA !

des données seront toujours manquantes (passé, océan profond)

→ contraintes tirées des lois physiques

Google DeepMind About Research Technologies Impact Discover

Overview Blog Events The Podcast Visualising AI



The future of AI for weather

GraphCast is now the most accurate 10-day global weather forecasting system in the world, and can predict extreme weather events further into the future than was previously possible. As the weather patterns evolve in a changing climate, GraphCast will evolve and improve as higher quality data becomes available.

To make AI-powered weather forecasting more accessible, we've open sourced our model's code. ECMWF is already experimenting with GraphCast's 10-day forecasts and we're excited to see the possibilities it unlocks for researchers – from tailoring the model for particular weather phenomena to optimizing it for different parts of the world.

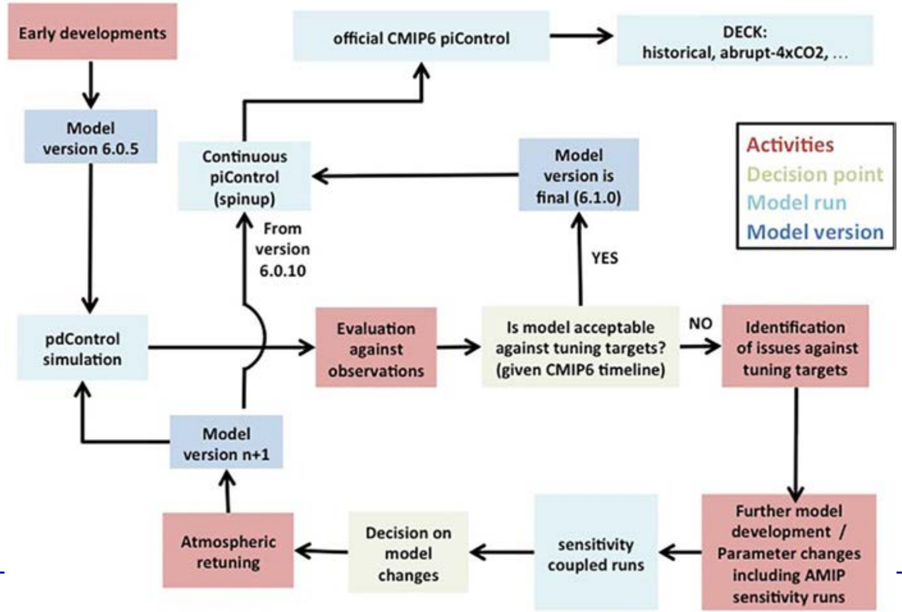
GraphCast joins other state-of-the-art weather prediction systems from Google DeepMind and Google Research, including a regional Nowcasting model that produces forecasts up to 90 minutes ahead, and MetNet-3, a regional weather forecasting model already in operation across the US and Europe that produces more accurate 24-hour forecasts than any other system.

Pioneering the use of AI in weather forecasting will benefit billions of people in their everyday lives. But our wider research is not just about anticipating weather – it's about understanding the broader patterns of our climate. By developing new tools and accelerating research, we hope AI can empower the global community to tackle our greatest environmental challenges.

2. Méthodologies

Méthode ad-hoc

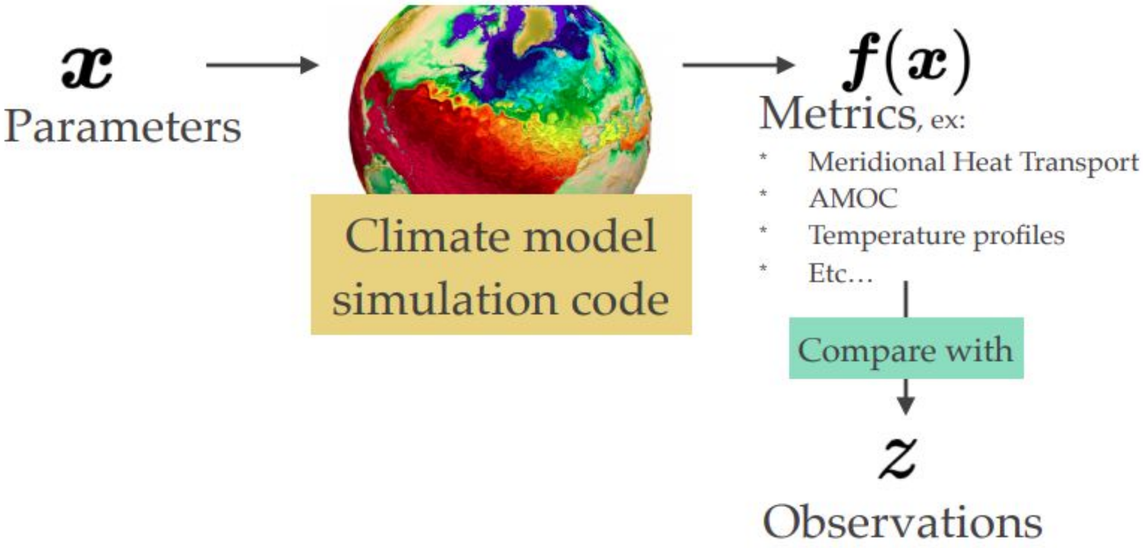
Mignot et al. (2021) : The tuning strategy of IPSL-CM6A-LR



- ➔ protocole expérimental pour représenter le climat actuel stationnaire ?
- ➔ quel(s) critère(s) pour décider que le modèle est acceptable ?
- ➔ quelle(s) expérience(s) de sensibilité ?

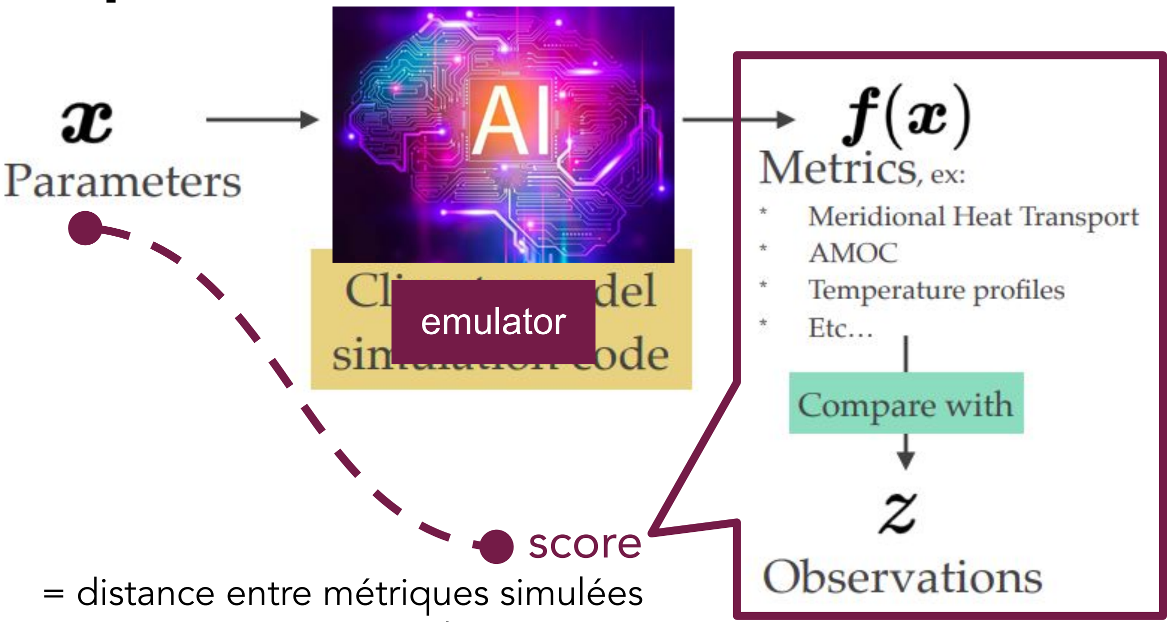
Méthode semi-automatique

Hourdin et al. (2023) :
Toward machine-assisted tuning avoiding the underestimation of uncertainty in climate change projections



Méthode semi-automatique

<u>Hourdin et al. (2023) </u>:
Toward machine-assisted tuning avoiding the underestimation of uncertainty in climate change projections



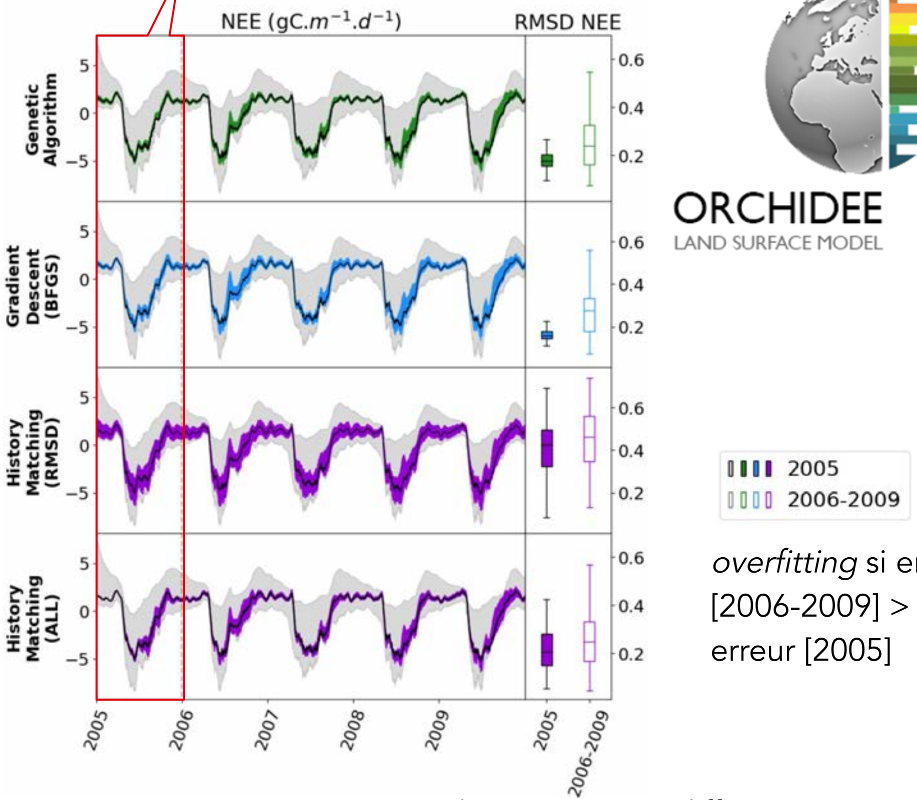
= distance entre métriques simulées et observations,
en tenant compte des incertitudes de part et d'autre

History Matching approach, derived from Uncertainty Quantification

Autres méthodes

Raoult et al. (2024):
History Matching vs optimisation des paramètres

calibration sur données de 2005 (seulement)



ORCHIDEE
LAND SURFACE MODEL

lignes noires = "observations" (en réalité simulation de référence)

en gris = simulations utilisant différentes valeurs de paramètres (sans calibration)

lignes colorées = simulations après calibration des paramètres (la couleur renseigne sur la méthode de calibration)

overfitting si erreur [2006-2009] > erreur [2005]

NEE = *net ecosystem exchange* (CO_2) = différence entre captation par photosynthèse et émission par respiration

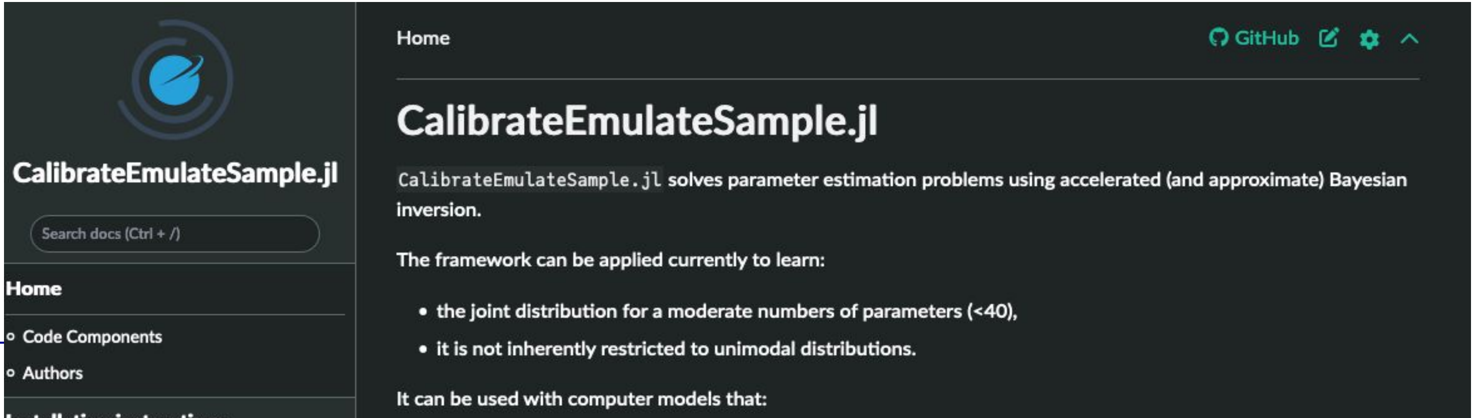
Autres méthodes

Cleary et al. (2021), Dunbar et al. (2021)...

Calibrate (par méthodes de Kalman)

Emulate (les liens entre paramètres et données)

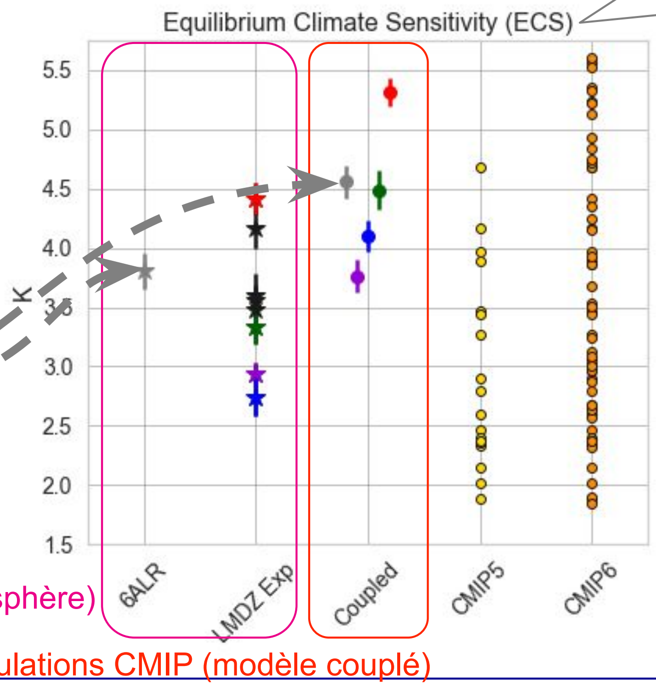
Sample (méthode *Markov Chain Monte Carlo*)



3. Les modèles de climat sont tunés… et alors ?

Et si on avait "choisi" une autre calibration pour IPSL-CM6A-LR ?

Hourdin et al. (2023) : application de la méthode semi-automatique pour la re-calibration des paramètres atmosphériques de IPSL-CM6A-LR



ECS = réchauffement (en degré K) induit par le doublement (2x) de la concentration des Gaz à Effet de Serre dans l'atmosphère

philosophie de History Matching : on rejette les parametres implausibles (~~on conserve les meilleurs parametres~~)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

FRANCE 2030 PROGRAMME DE RECHERCHE CLIMAT

nature

Explore content ⌄ About the journal ⌄ Publish with us ⌄ Subscribe

nature > comment > article

COMMENT | 04 May 2022

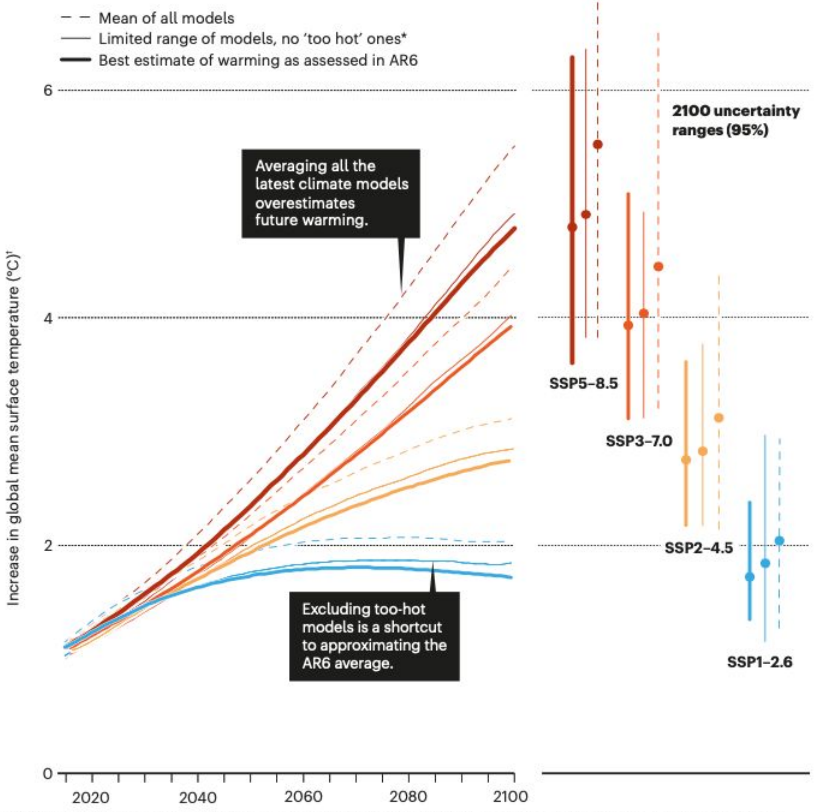
Climate simulations: recognize the 'hot model' problem

The sixth and latest IPCC assessment weights climate models according to how well they reproduce other evidence. Now the rest of the community should do the same.

By Zeke Hausfather, Kate Marvel, Gavin A. Schmidt, John W. Nielsen-Gammon & Mark Zelinka

CLIMATE MODELS: CHOICE MATTERS

The IPCC's Sixth Assessment Report (AR6) assessed dozens of computer models to project global temperature change (four scenarios shown). Some of these projections were 'too hot' when compared with other lines of evidence for climate warming in response to carbon dioxide emissions[8]. Researchers using all these models without the AR6 statistical adjustments could end up overestimating future temperature change.



*Using the transient climate response (TCR) metric in the range 1.4–2.2 °C deemed as "likely" in AR6. (TCR is the amount of global warming in the year in which atmospheric CO_2 concentrations have doubled after having steadily increased by 1% each year.)
†Global mean surface temperatures are relative to a 1850–99 baseline.
IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change; SSP, Shared Socioeconomic Pathway.

Projections contraintes par les observations

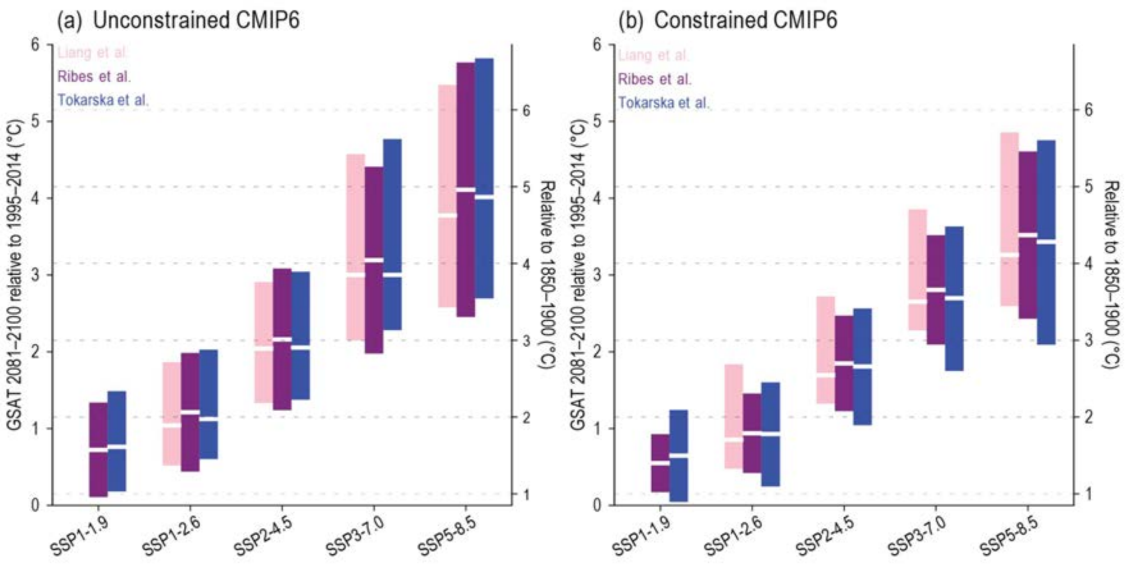
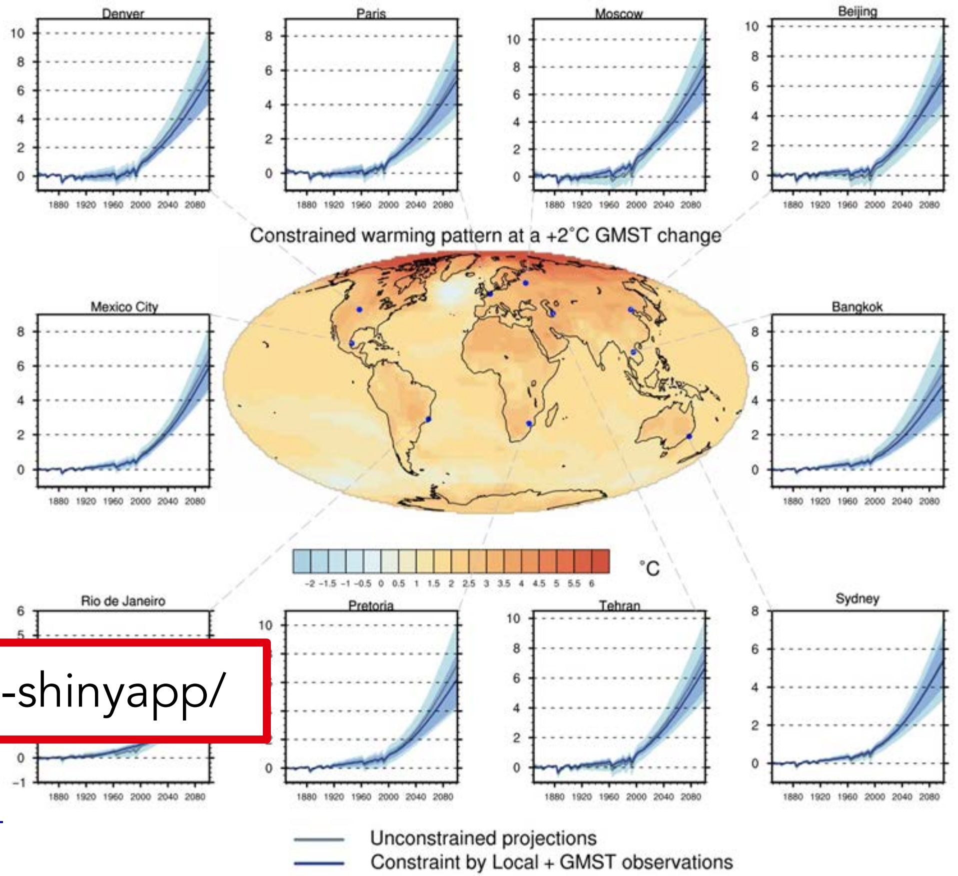


Figure 4.11 : augmentation de la température globale en fonction des scénarios socio-économiques, avant (gauche) et après (droite) contraintes observationnelles

Secrétariat général pour l'investissement

Projections locales contraintes par les observations

Qasmi et Ribes (2024) :
Augmentation des températures locales pour un réchauffement global de +2°C



https://saidqasmi.shinyapps.io/KCC-shinyapp/

Calibration + contraintes par les observations = PC6-QUINTET

Thème 1
Calibrer les modèles pour le climat présent (1-50 ans)

- ➔ évaluer les développements
- ➔ calibrer les fluctuations
- ➔ exploiter la hiérarchie de modèles

CCC1
quelles métriques ?

Thème 3
Quantifier les incertitudes pour le climat transitoire

- ➔ améliorer les contraintes obs.
- ➔ réaliser des ensembles en couplé
- ➔ appliquer contraintes obs. sur CMIP

CCC = Cross Cutting Challenge

PC6-QUINTET

PC5, 7, 8, 9
développements pour CNRM-CM et IPSL-CM

Thème 1
Calibrer les modèles pour le climat présent (1-50 ans)

→ évaluer les développements
→ calibrer les fluctuations
→ exploiter la hiérarchie de modèles

CCC1
quelles métriques ?

Thème 3
Quantifier les incertitudes pour le climat transitoire

→ améliorer les contraintes obs.
→ réaliser des ensembles en couplé
→ appliquer contraintes obs. sur CMIP

projections climatiques mieux contraintes par les observations pour
PC1, 2, 3, 4, 10

CCC = Cross Cutting Challenge

PC6-QUINTET

PC5, 7, 8, 9
développements pour CNRM-CM et IPSL-CM

Thème 1
Calibrer les modèles pour le climat présent (1-50 ans)

CCC1
quelles métriques ?

Thème 2
Aborder les longues échelles temporelles (>100 ans) & l'équilibration des modèles

Thème 3
Quantifier les incertitudes pour le climat transitoire

projections climatiques mieux contraintes par les observations pour
PC1, 2, 3, 4, 10

- ➔ **exploiter simus longues pour contraintes paléo.**
- ➔ **accélérer l'équilibration**
- ➔ **mieux initialiser simus historiques**

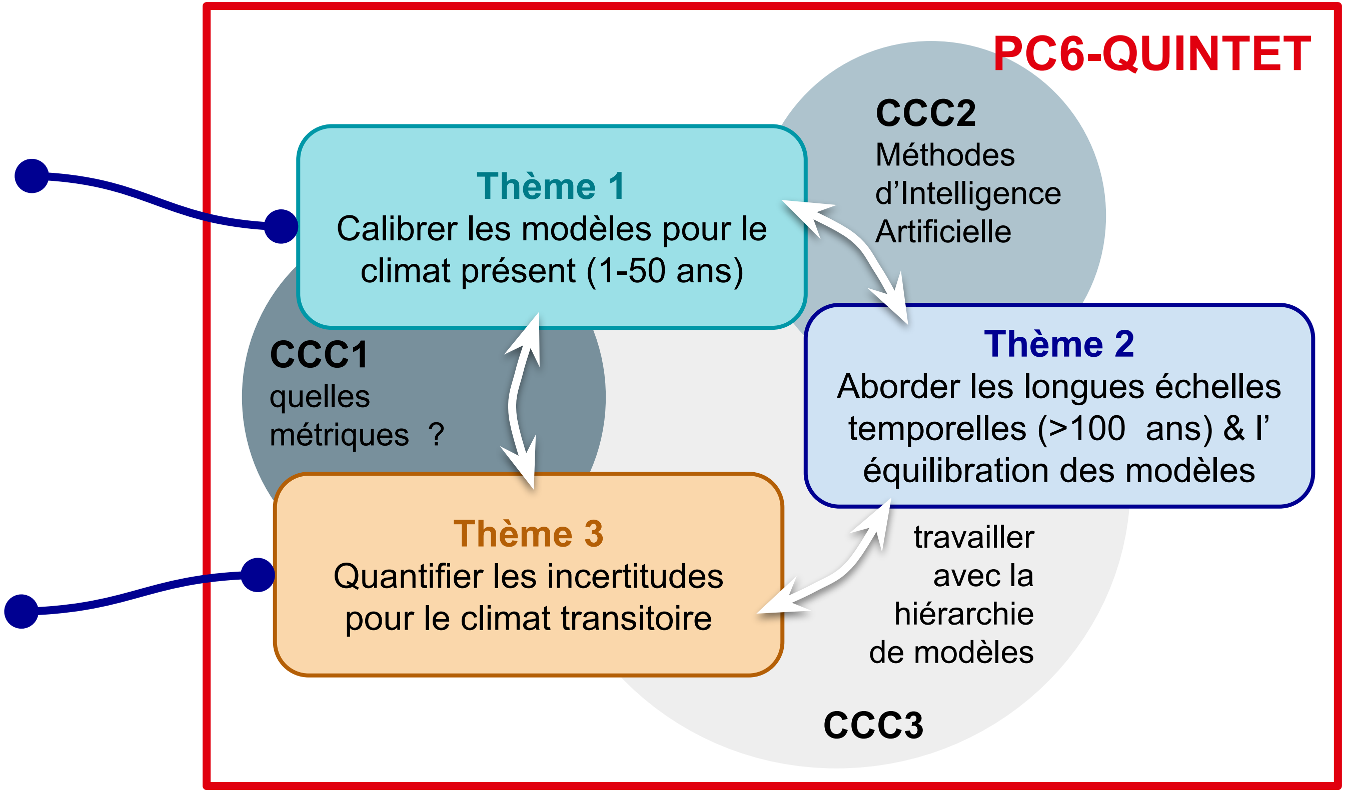
CCC = Cross Cutting Challenge

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

FRANCE 2030 PROGRAMME DE RECHERCHE CLIMAT

PC5, 7, 8, 9
développements pour CNRM-CM et IPSL-CM

projections climatiques mieux contraintes par les observations pour
PC1, 2, 3, 4, 10



CCC = Cross Cutting Challenge

Secrétariat général pour l'investissement

PROGRAMME DE RECHERCHE CLIMAT

Questions & commentaires : julie.deshayes@cnrs.fr

Et abonnez-vous à la newsletter
pour recevoir toute l'actualité TRACCS !

contacts-traccs@listes.ipsl.fr