



IPSL Climate Modelling Centre



Modèles de climat: quelles évolutions et quels progrès depuis le 4^e rapport?

Jean-Louis Dufresne

Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS, UPMC, ENS, X)

Institut Pierre Simon Laplace

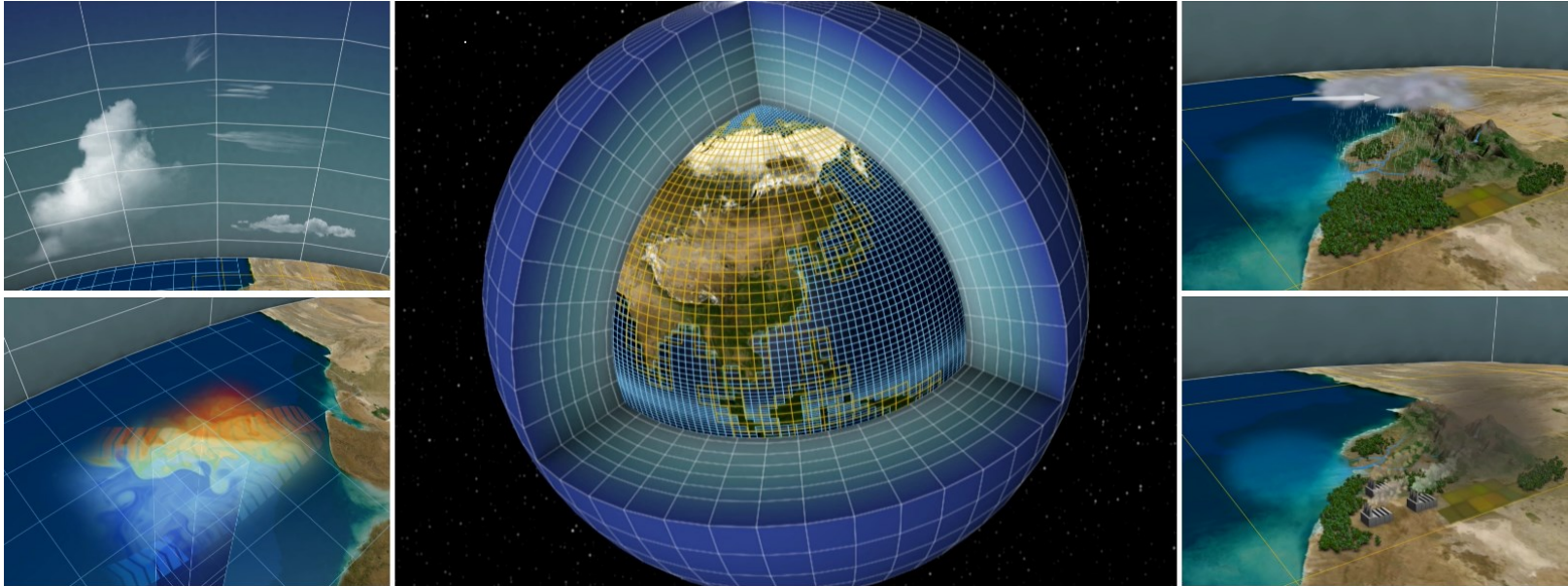
La Science du climat, pour l'action, juin 2014, Paris

Plan

- I. Évolution des modèles de climat et de leur contenu
- II. Évaluation des modèles: avancées et défauts persistants
- III. Projections des climats futurs
- IV. Robustesses et incertitudes de quelques aspects des changements climatiques

Modèle de climat

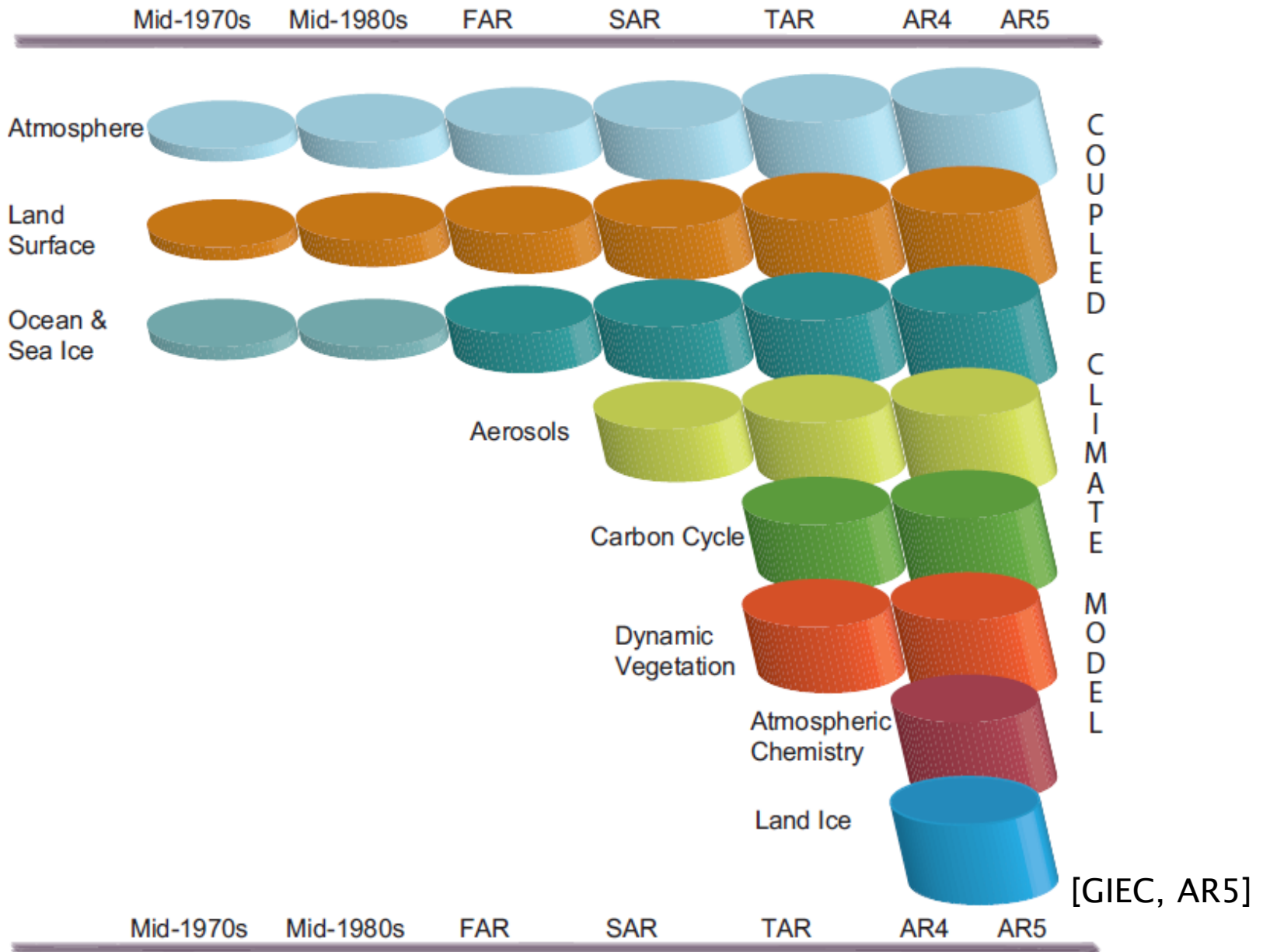
(Modèle de circulation générale)



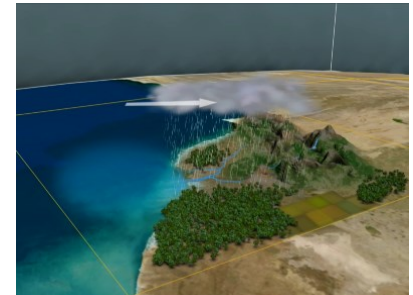
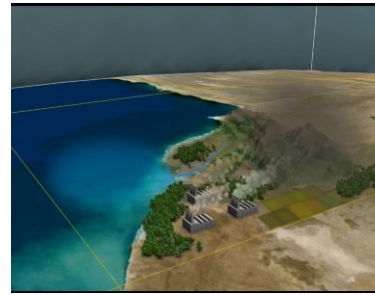
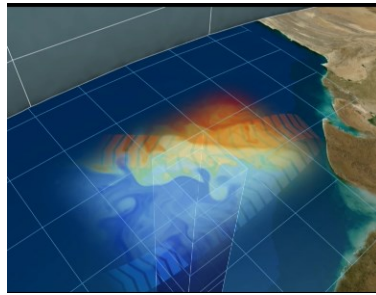
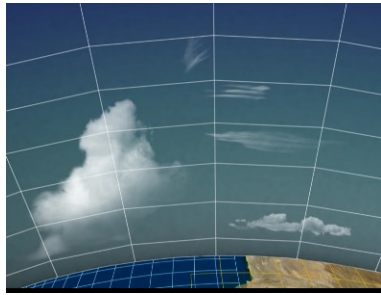
Images issues d'un film présentant la modélisation du climat. Copyright CEA

- Une représentation 3D de l'atmosphère l'océan glaces de mer et surfaces continentales (couplages de différents modèles)
- Une représentation du couplage avec les cycles biogéochimiques dans l'atmosphère l'océan et le continent

Évolution des modèles climatiques: un schéma



Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL



INCA / REPROBUS
(chimie atmosphérique)
(aérosol)

ORCHIDEE
(surfaces continentales)
(végétation)

LMDZ
(atmosphère)

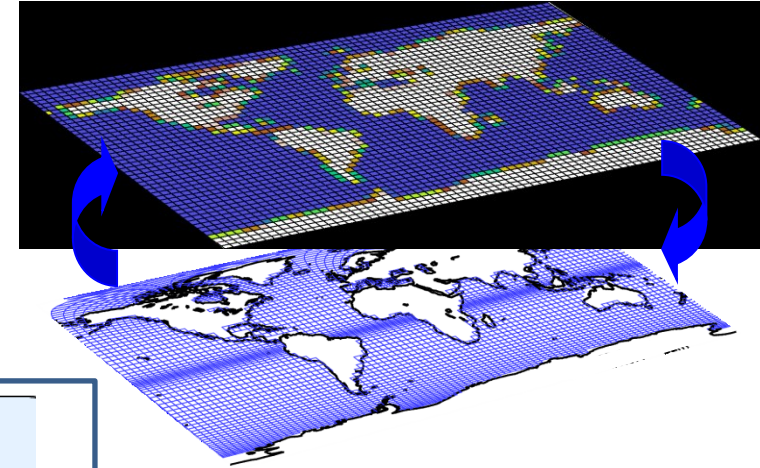
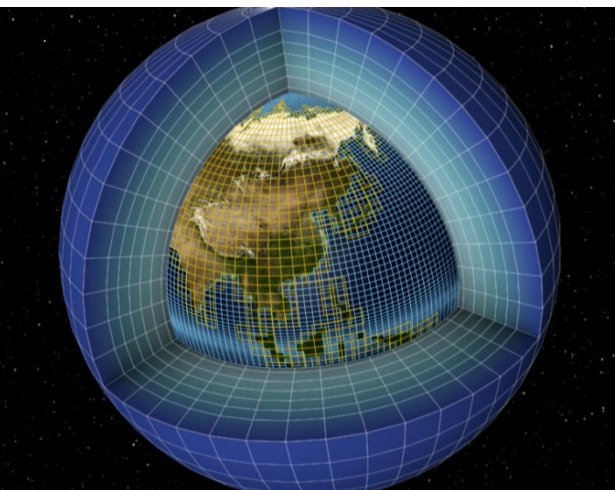
OASIS
(coupleur)

OPA
(océan)

LIM
(glace de mer)

PISCES
(biogéochimie marine)

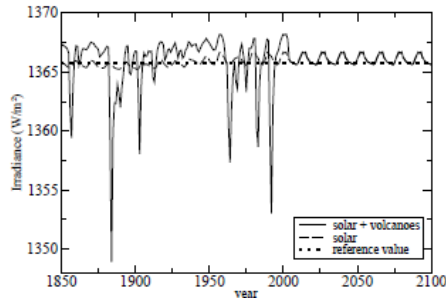
NEMO



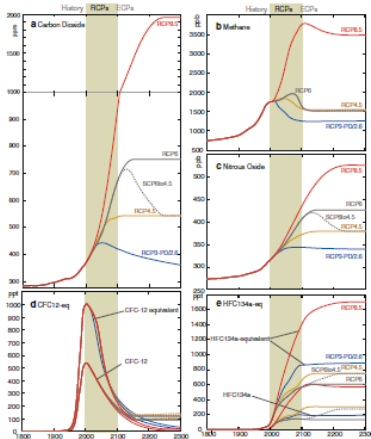
Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL

Forçages naturels et anthropiques

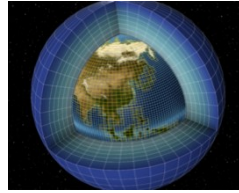
Soleil et volcans



Gaz à effet de serre ou chimiquement actifs



Concentration de CO₂



IPSL-CM5

- Atmosphere (*LMDZ*)
- Land surf. (*Orchidée*)

- Coupler (*OASIS*)

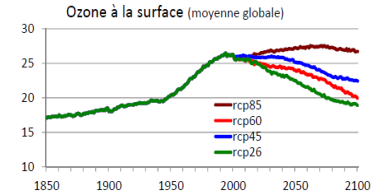
- Ocean (*Nemo*)
- Sea-ice (*LIM*)

Tropo chemistry & aerosols (*INCA*)

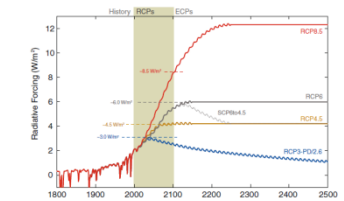
Strato. chemistry (*Reprobus*)

Carbon & CO₂ (*Orchidée, Pisces*)

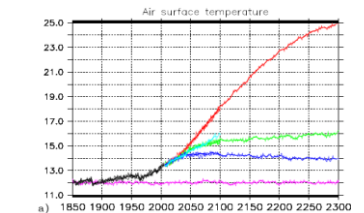
Composition de l'atmosphère



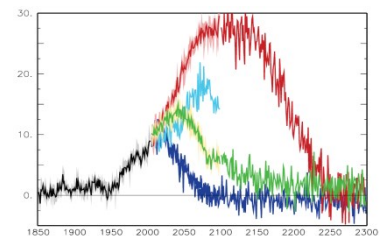
Forçage radiatif



Changement climatique



Émission autorisée de CO₂

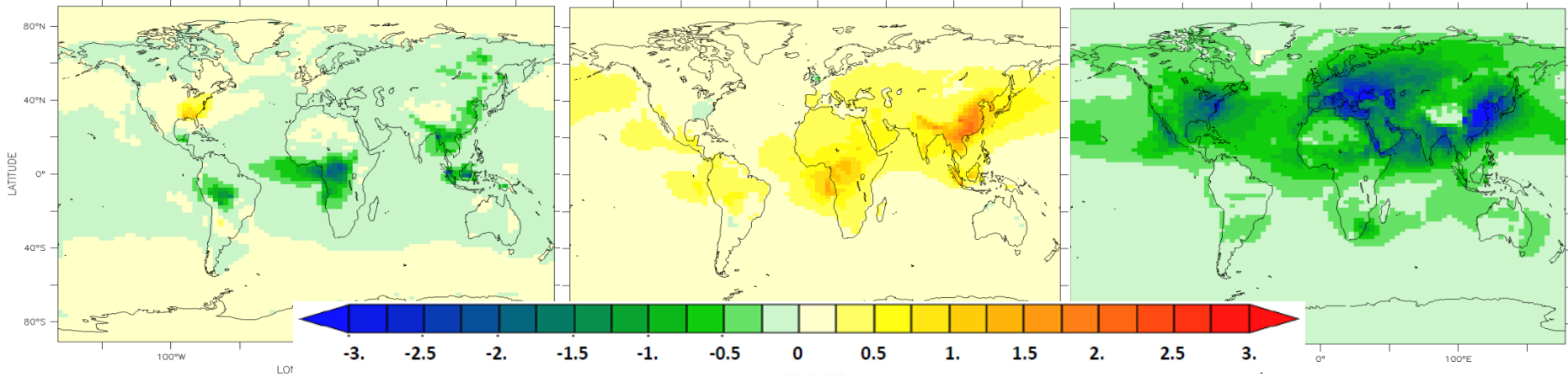


Aérosols en 2100 *Forçage Radiatif (W.m⁻²)*

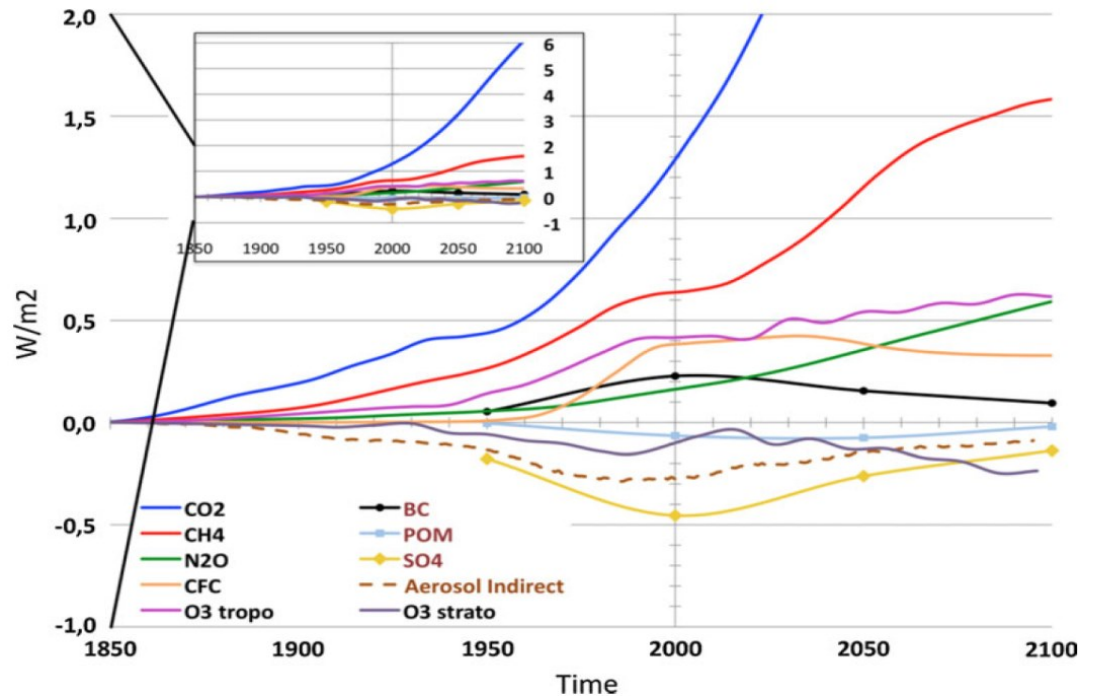
Matière organique

Carbone suie

Sulfates



Forçages radiatifs sur la période 1850-2100
(scénario RCP8.5, modèle IPSL-CM5A-LR)

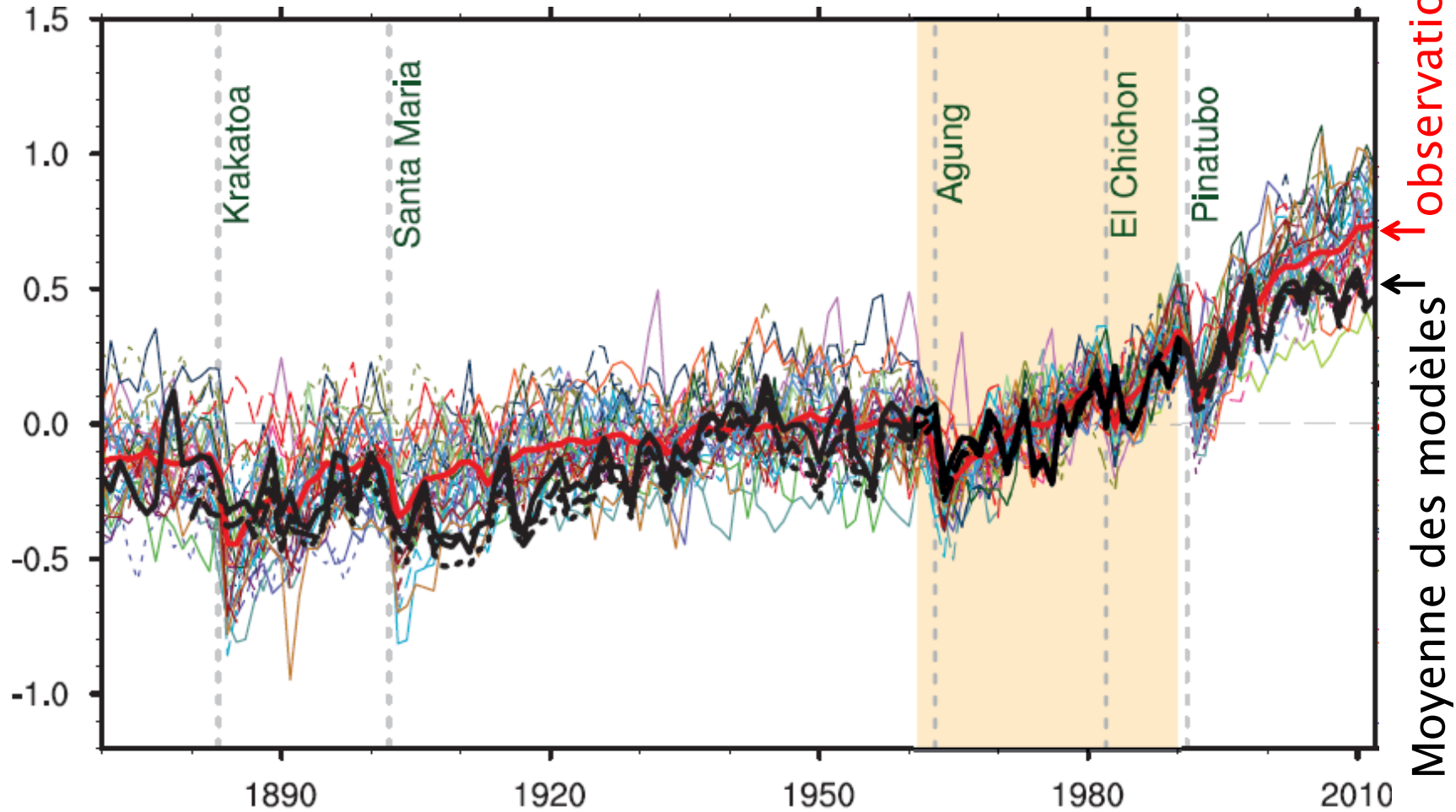


[Szopa et al., 2013]

Simulation de l'évolution récente du climat

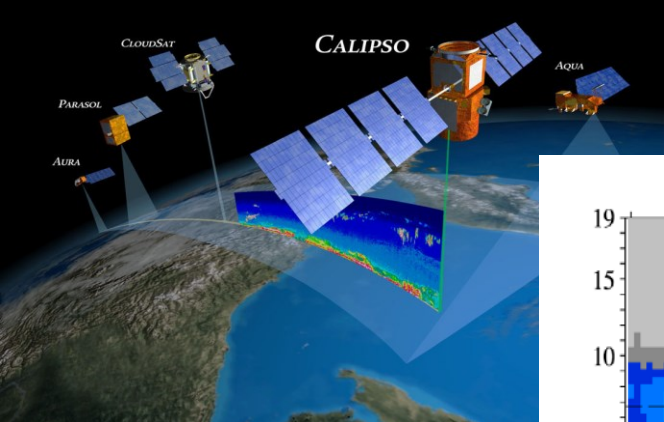
Moyenne des températures de surfaces **observées** et simulées par 40 modèles CMIP5

Anomalie de température
par rapport à la moyenne 1960-1990

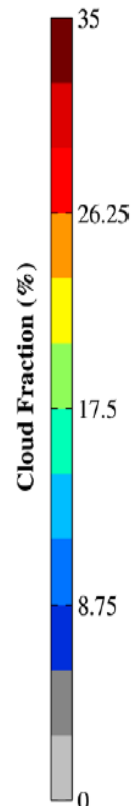
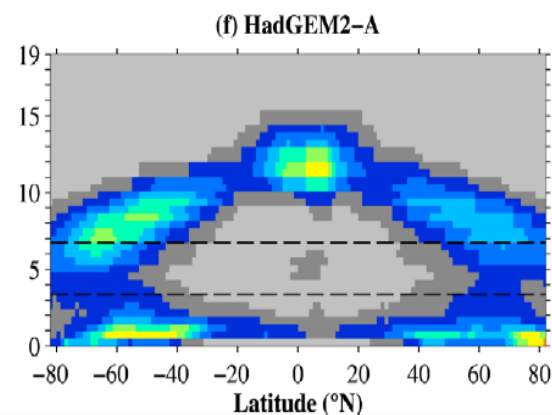
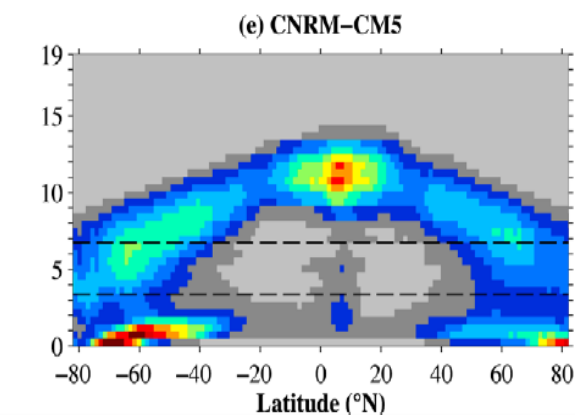
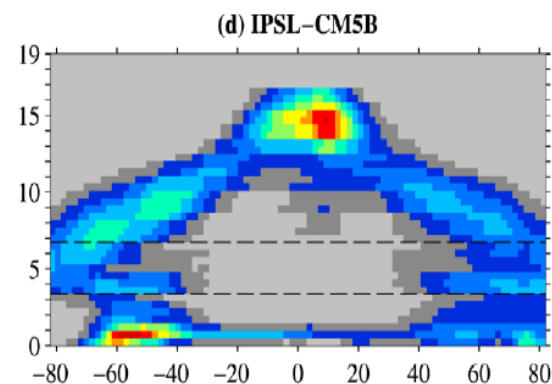
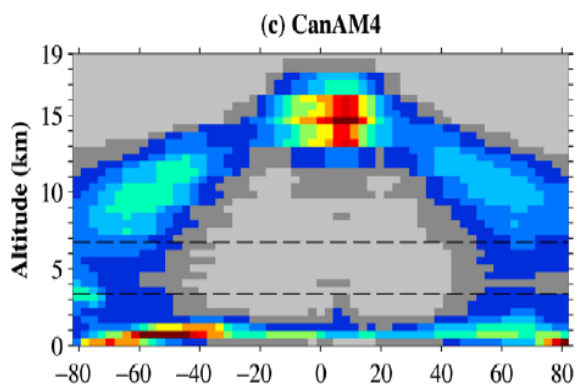
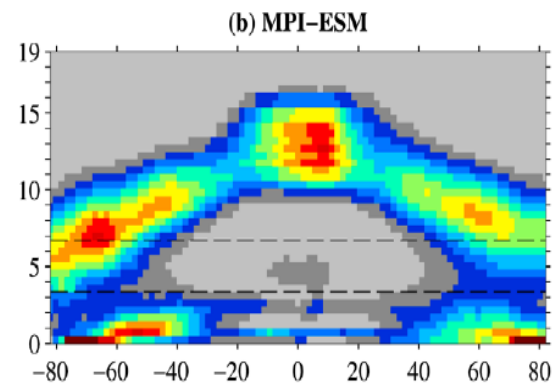
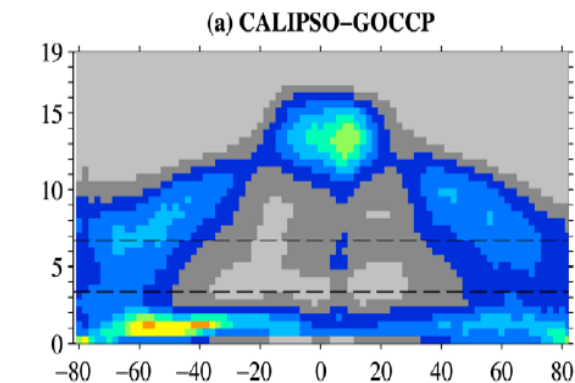


↑ observations
↑ Moyenne des modèles

Simulateurs d'observables



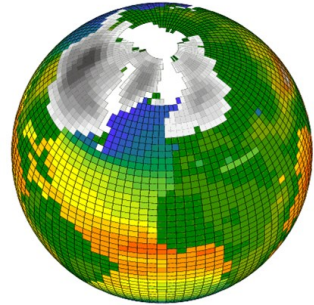
Moyenne zonale
de la distribution
verticale des
nuages observés
par Calipso et
simulés par des
modèles +
simulateur COSP



[Cesana & Chepfer, 2012]

Land-sea contrasts and polar amplification in past and future climates

Last Glacial Maximum main forcings



Ice-sheets



Greenhouse gases

CO₂: 185 ppm,

CH₄: 350 ppb ...



LGM climate reconstructions

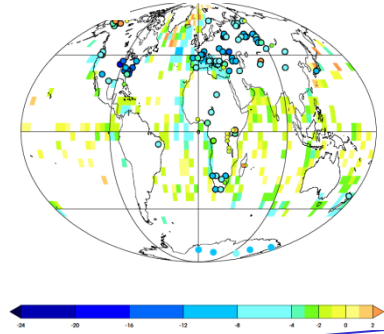
Land data

(pollen and plant macrofossils):
Bartlein et al, Clim Dynam 2011

Ocean data (multi proxy):
MARGO, NGS 2009

Ice-core data:

Masson-Delmotte et al pers. comm

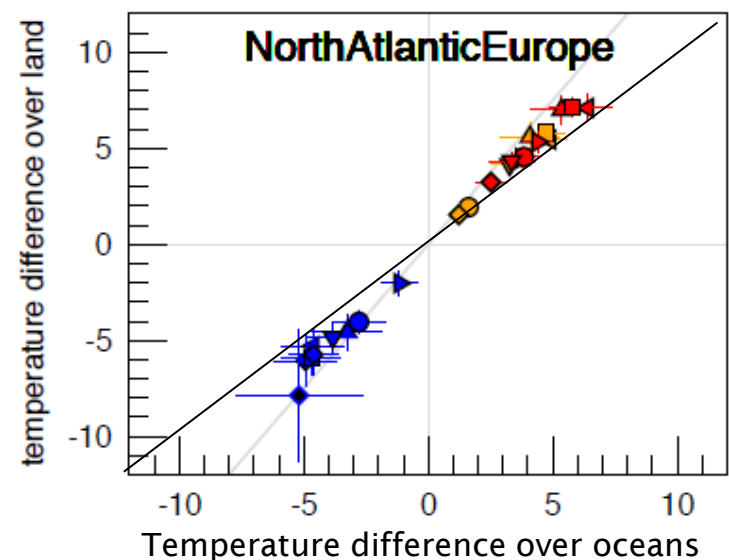
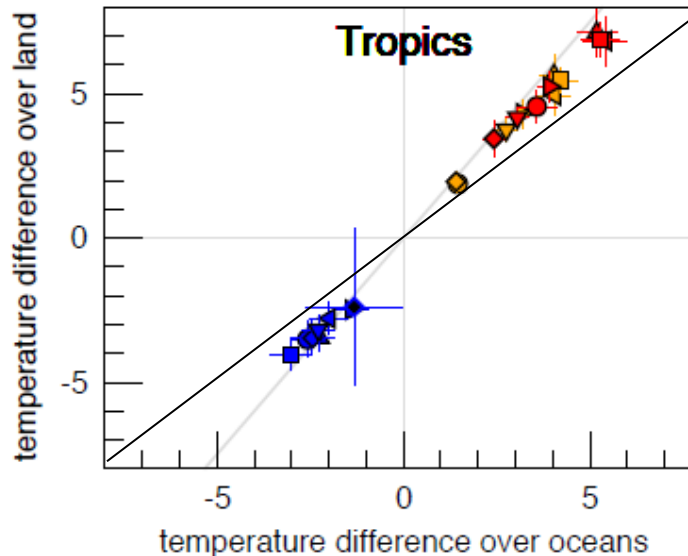


Relationships between LGM vs higher CO₂ climates?

Are the large scale relationships stable? Can we evaluate them from paleodata ?

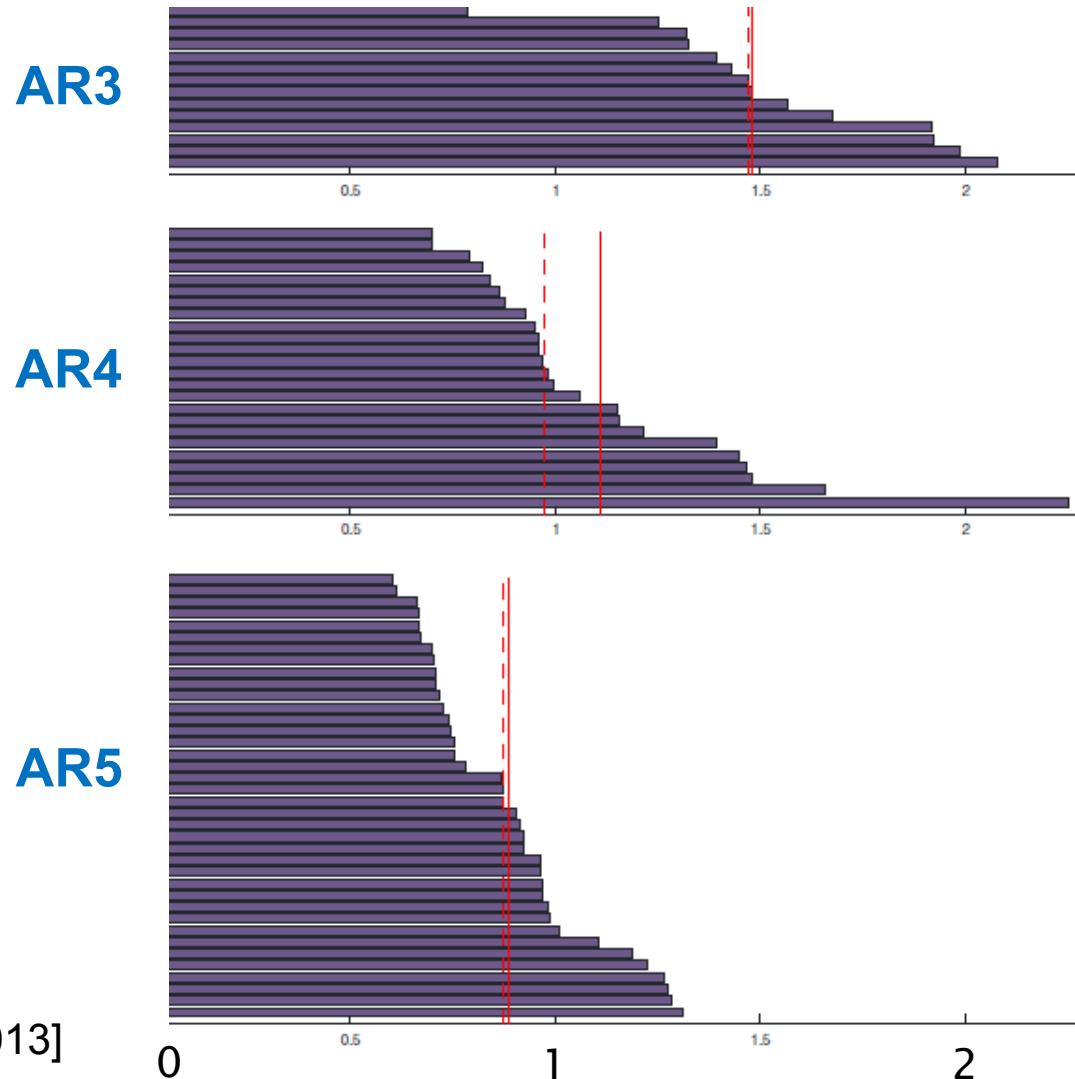
Example: Land sea contrasts

Note: all model averages calculated from grid points where LGM data is available



Evolution de la « performance » des modèles

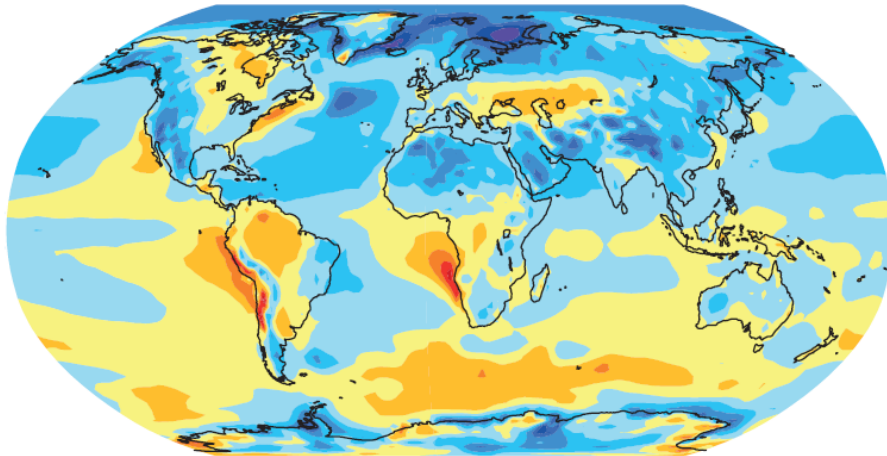
Distance normalisée de la climatologie de la température de surface et des précipitations



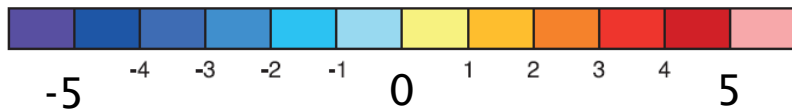
Biais systématiques des modèles

Moyenne multi-modèle de la température de surface simulée

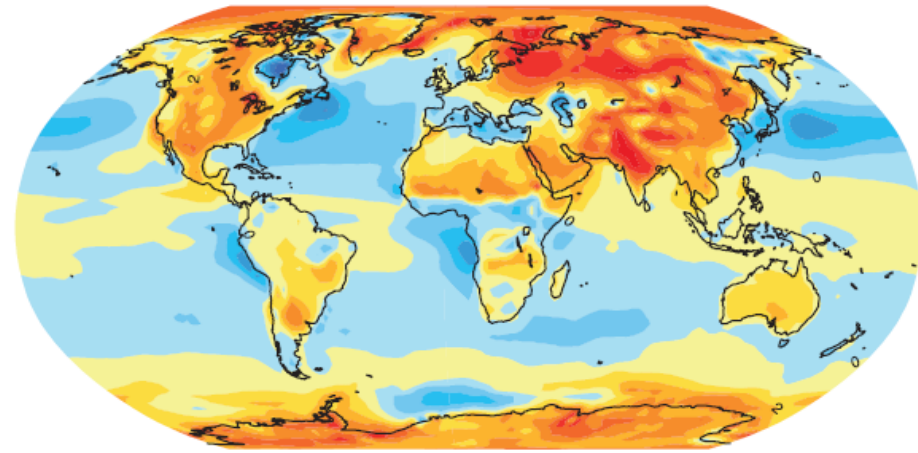
Erreur sur la
moyenne annuelle



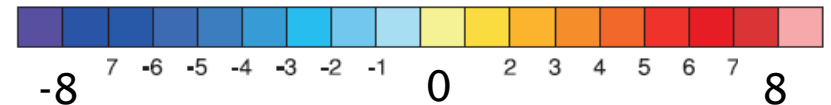
(°C)



Erreur sur le
cycle saisonnier



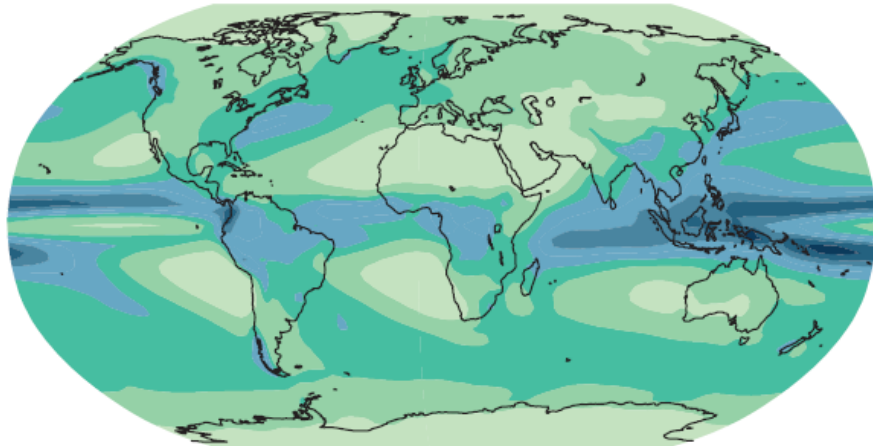
(°C)



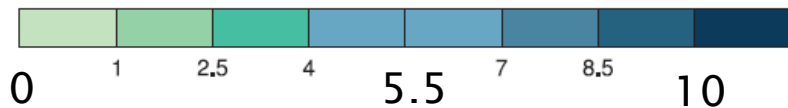
Biais systématiques des modèles

Moyenne multi-modèle des précipitations simulées

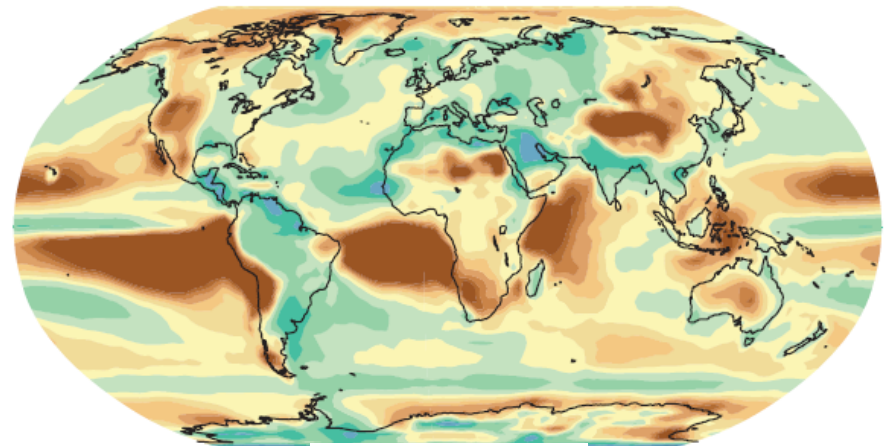
Moyennes annuelles



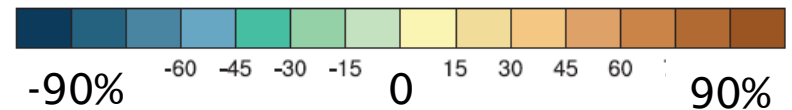
(mm/jour)



Erreur relative



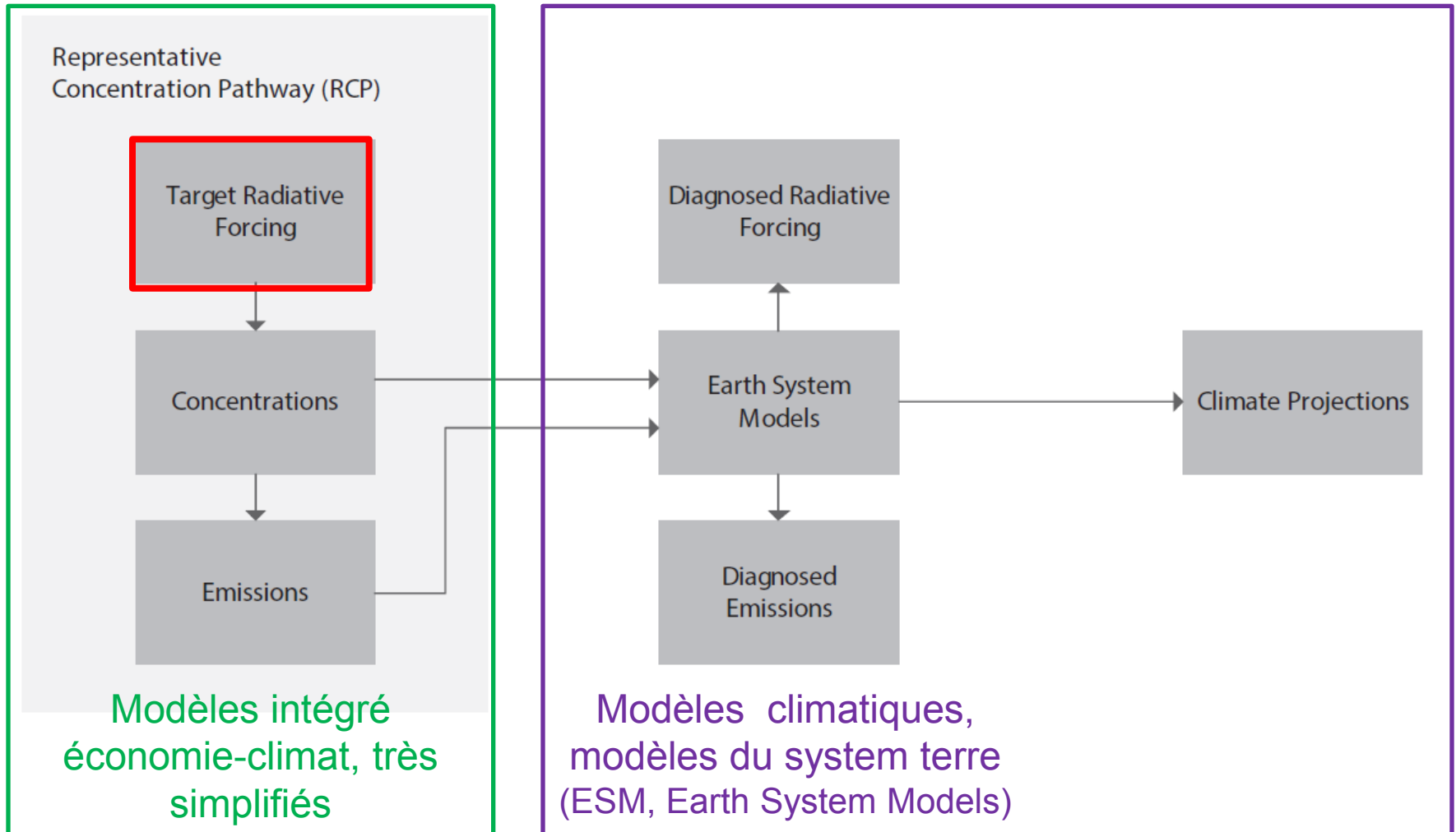
(%)



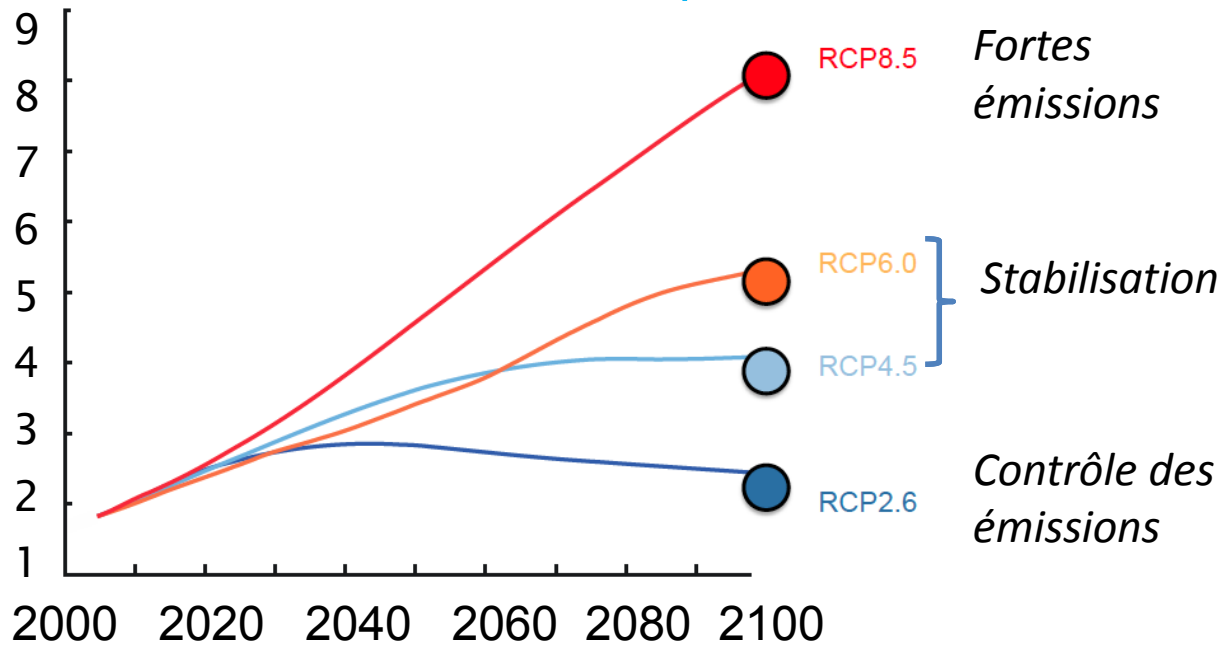
Les projections futures

Les scénarios sont définis en terme d'objectifs de **valeurs de forçage radiatifs ($W.m^{-2}$)**

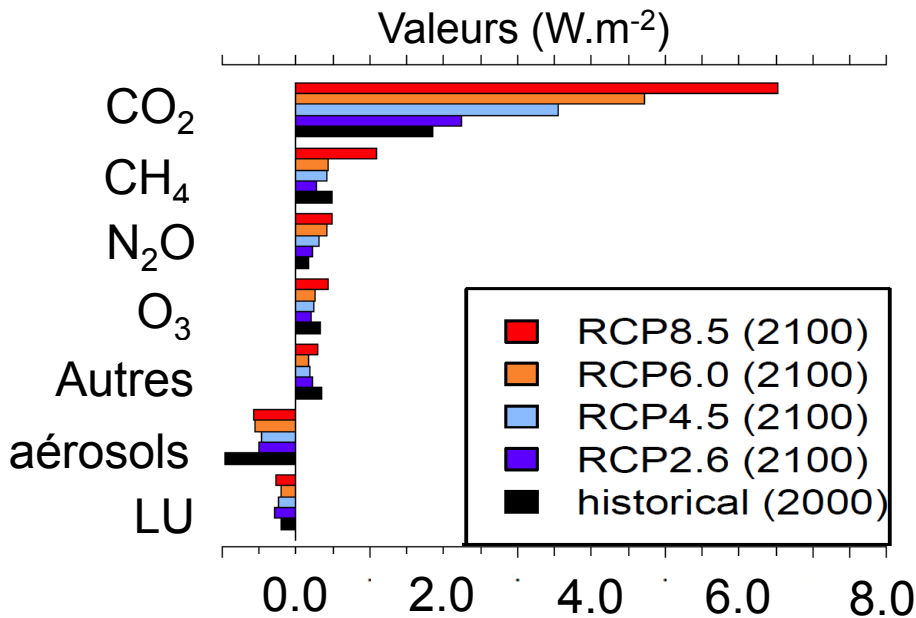
RCP : « Representative concentration pathways »



Scénarios RCP : Representative Concentration Pathways

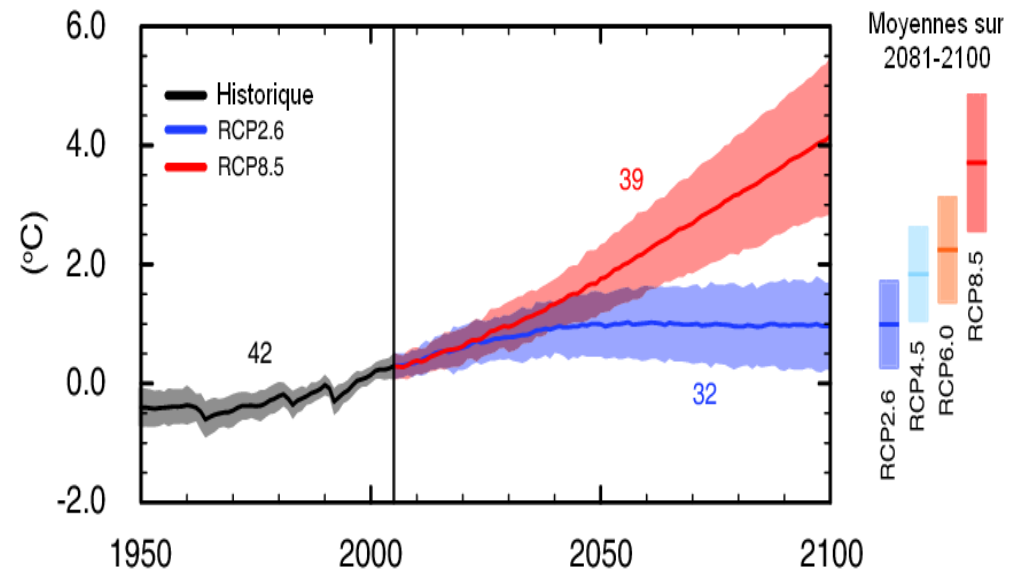


Calculés par les IAMs



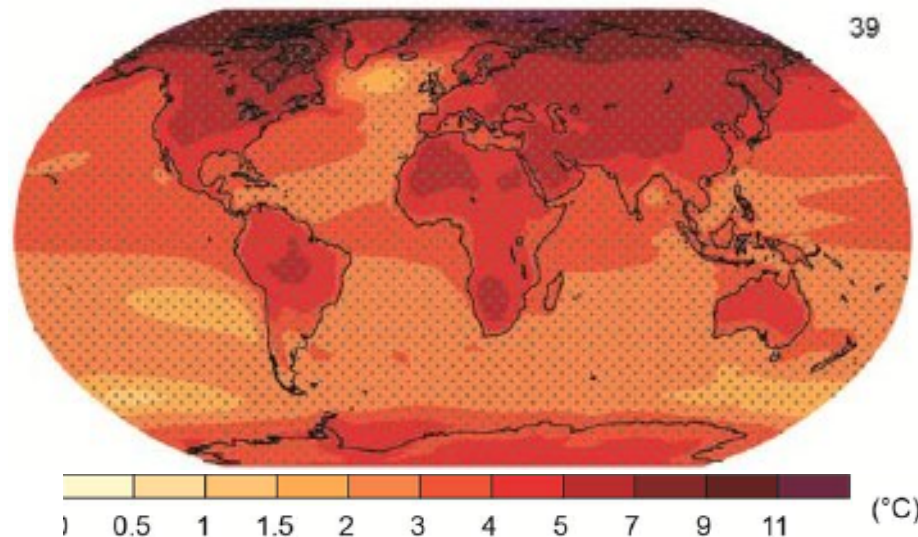
Température de surface

Évolution de la moyenne globale des températures de 1950 à 2100



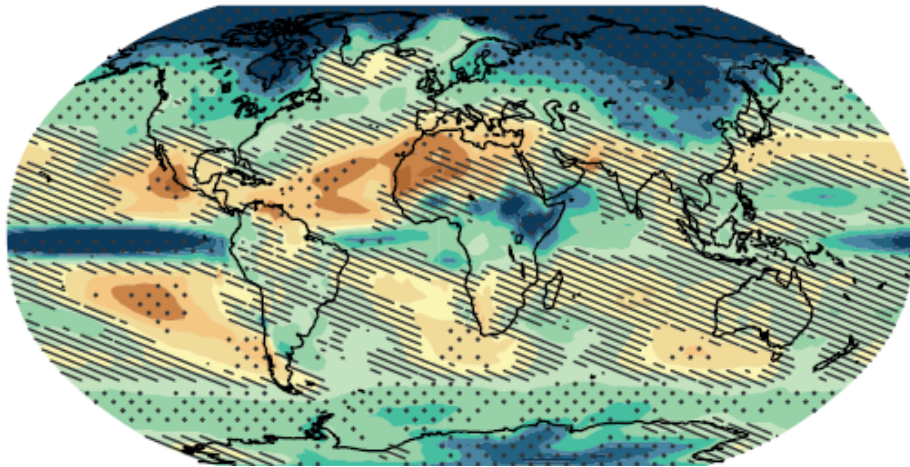
Différence de température 2100-2000 scénario RCP8.5

39 modèles CMIP5

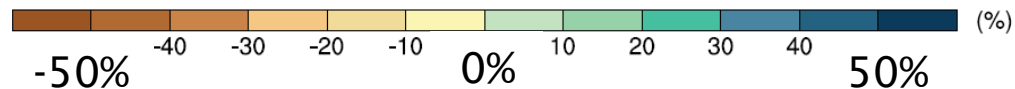
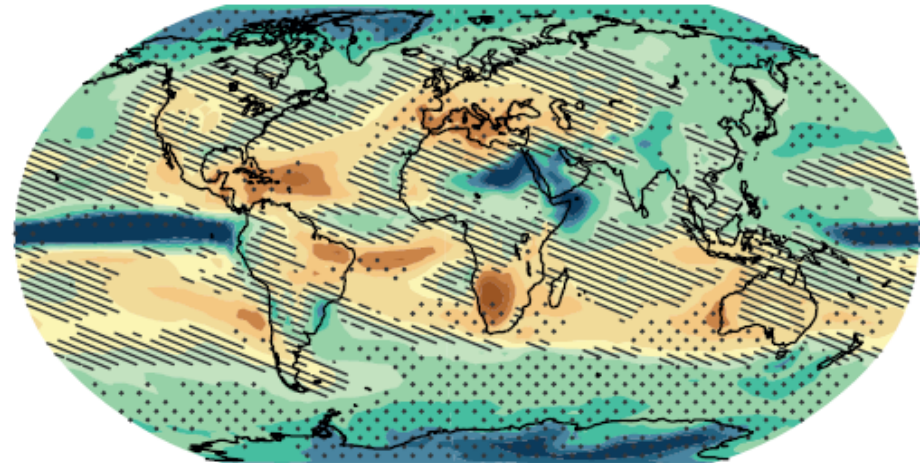


Distribution géographique et saisonnière du *changement relatif des précipitations* entre 2000 et 2100, scénario RCP8.5

Décembre à février

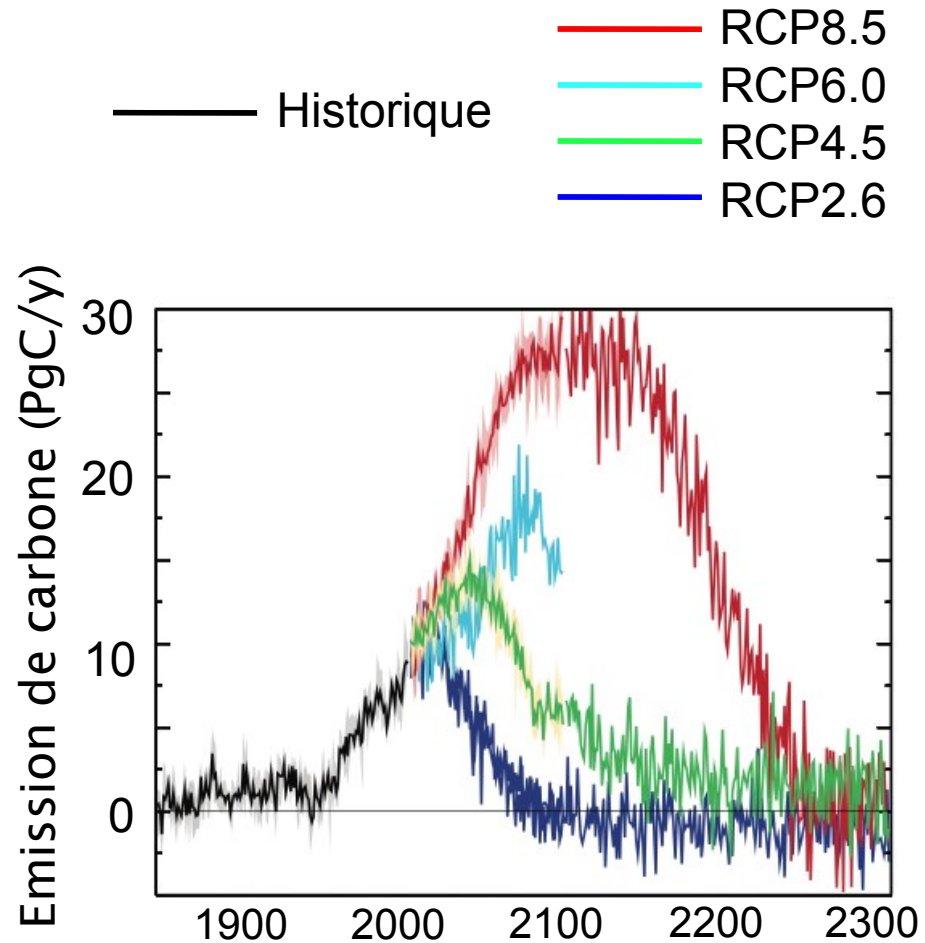
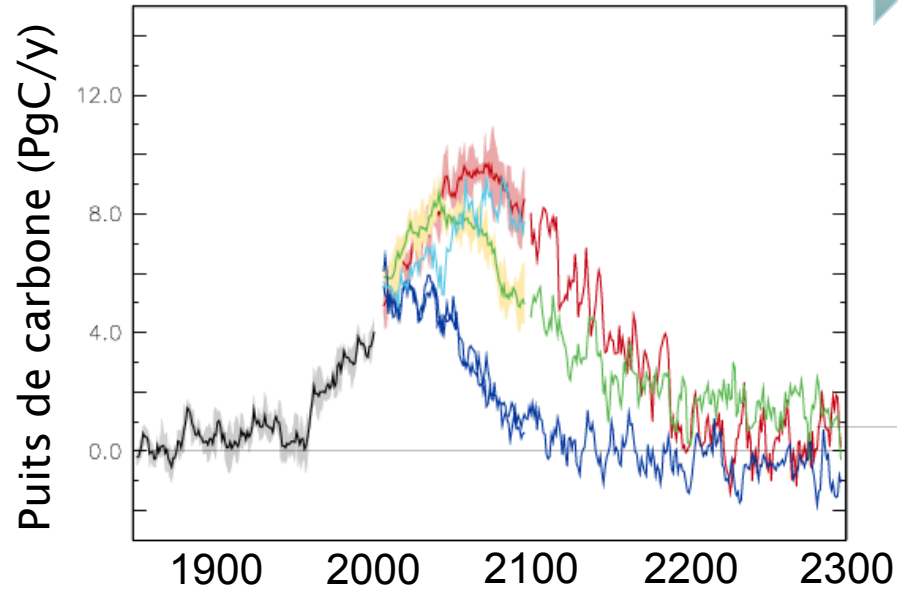
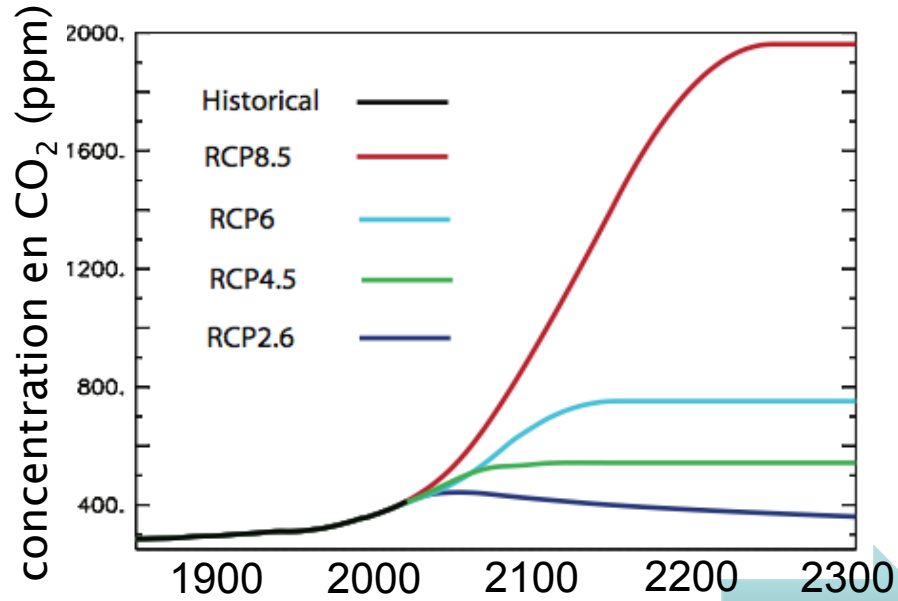


Juin à septembre



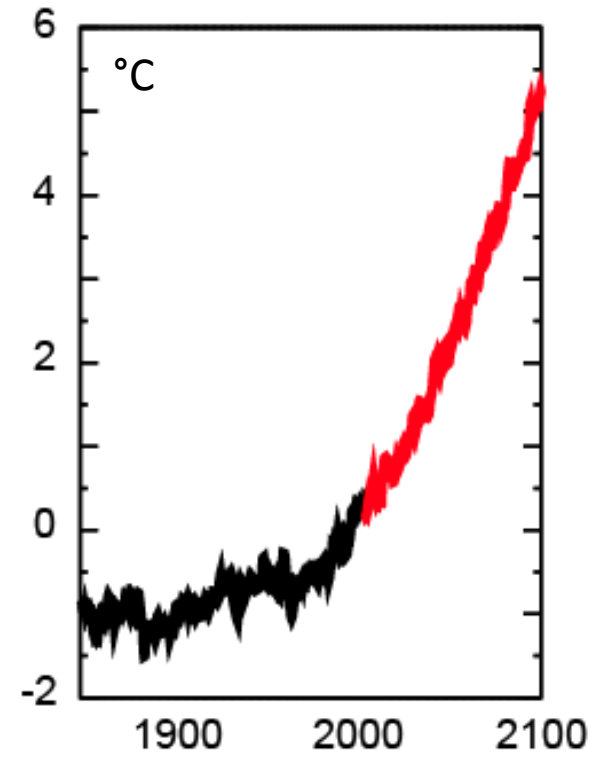
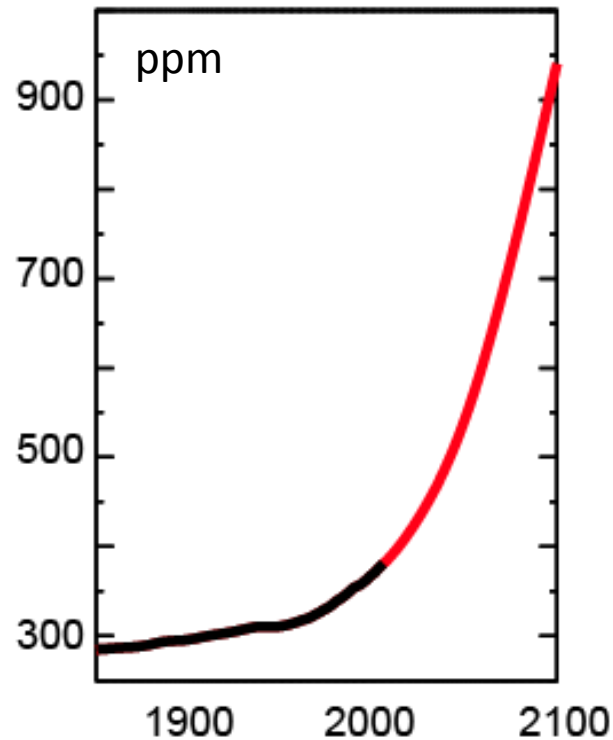
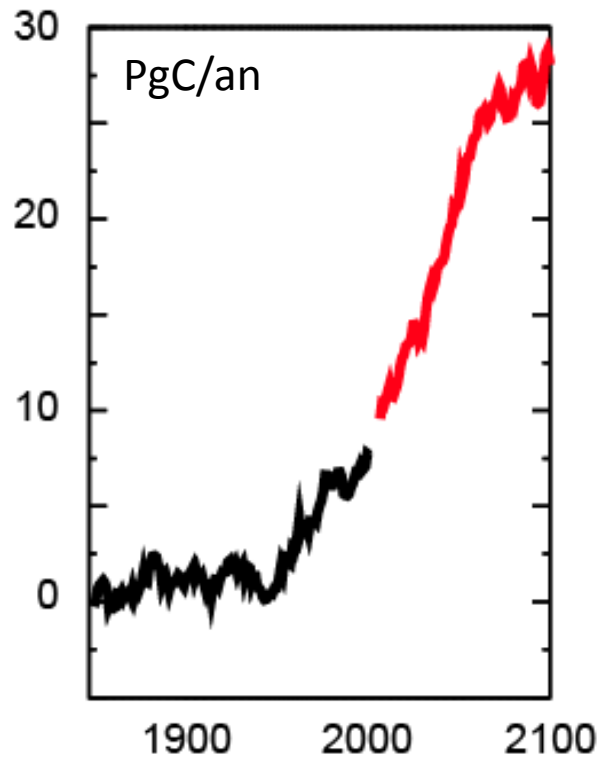
39 modèles CMIP5

Les émissions autorisées de CO₂ avec IPSL-CM5



Emissions de Carbone, Concentrations atmosphérique de CO₂, Température moyenne

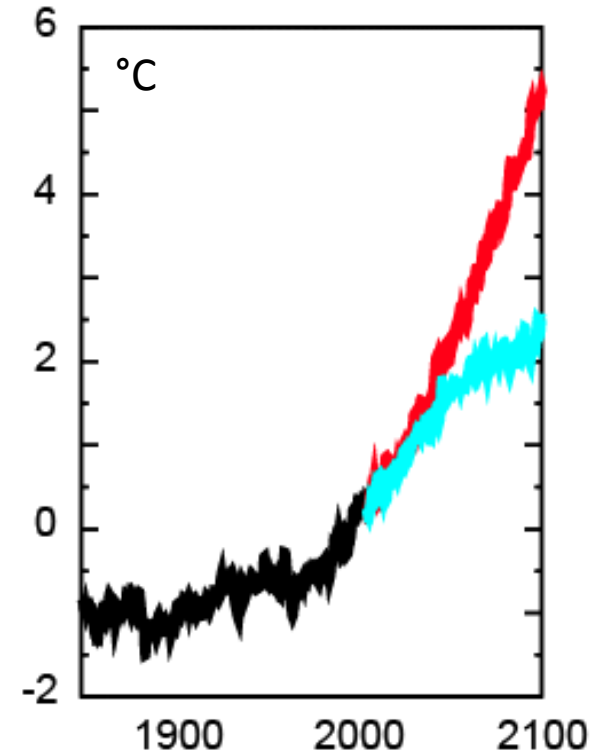
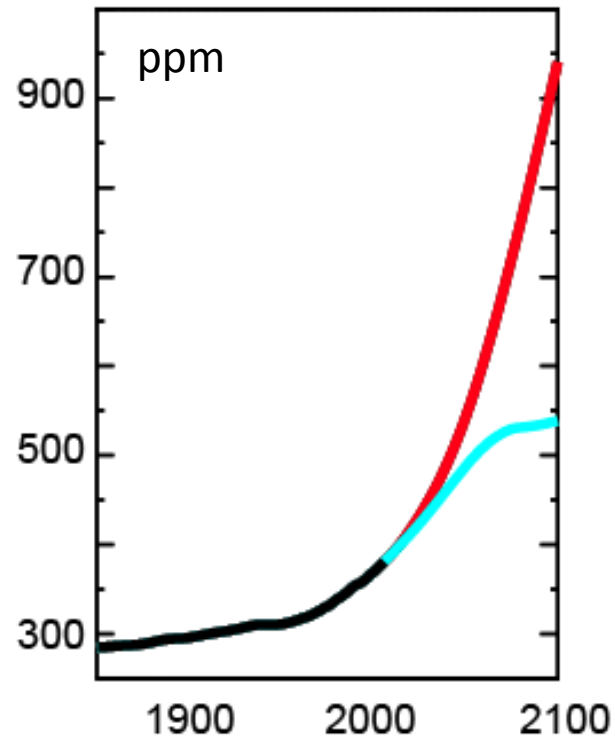
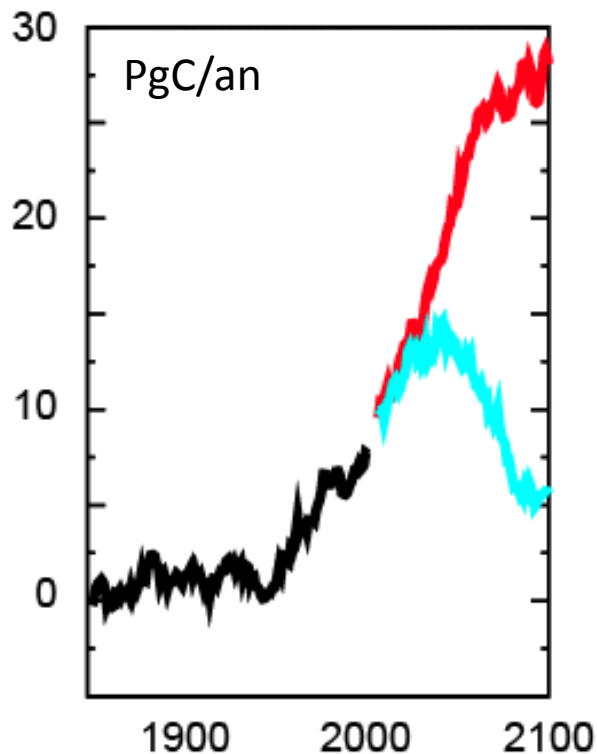
>> **Scénario Haut** : les émissions, les concentrations et les températures augmentent



Emissions de Carbone, Concentrations atmosphérique de CO₂, Température moyenne

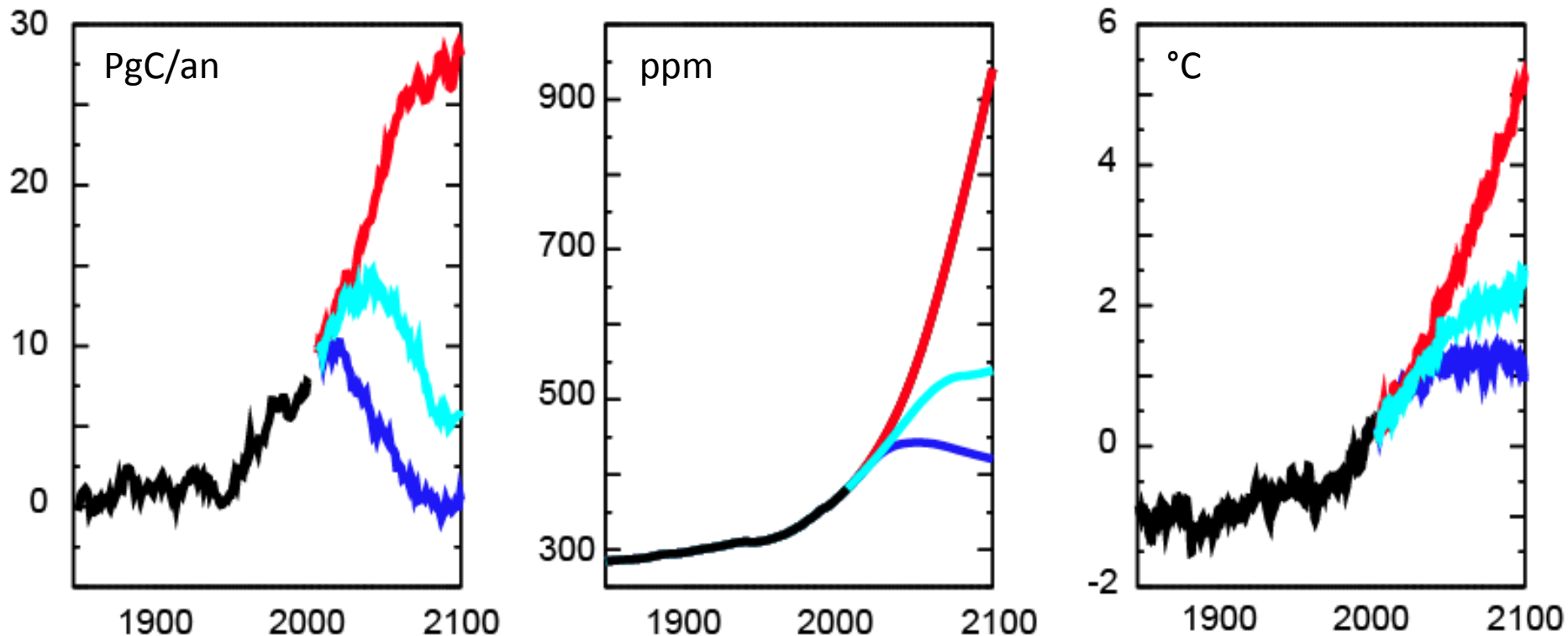
>> **Scénario Haut** : les émissions, les concentrations et les températures augmentent

>> **Scénario Médian** : pour stabiliser les concentrations à 550 ppm, il faut décroître fortement les émissions. Mais les températures continent à augmenter



Emissions de Carbone, Concentrations atmosphérique de CO₂, Température moyenne

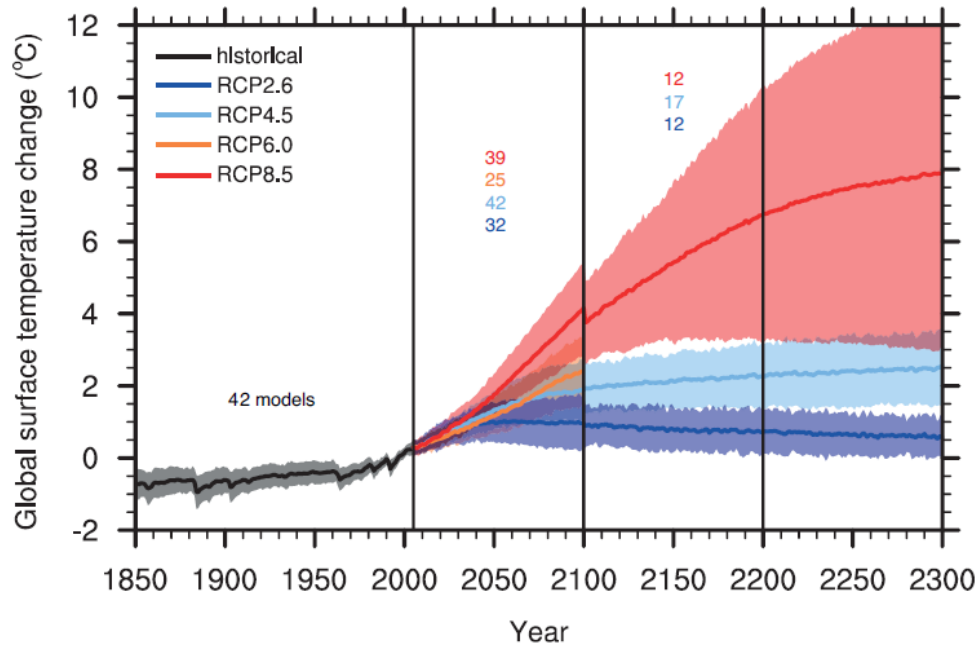
- >> **Scénario Haut** : les émissions, les concentrations et les températures augmentent
- >> **Scénario Médian** : pour stabiliser les concentrations à 550 ppm, il faut décroître fortement les émissions. Mais les températures continent à augmenter
- >> **Scénario Bas** : pour limiter le réchauffement à 2°, il faut limiter la concentration à moins de 450 ppm et amener les émissions à 0 avant la fin du siècle.



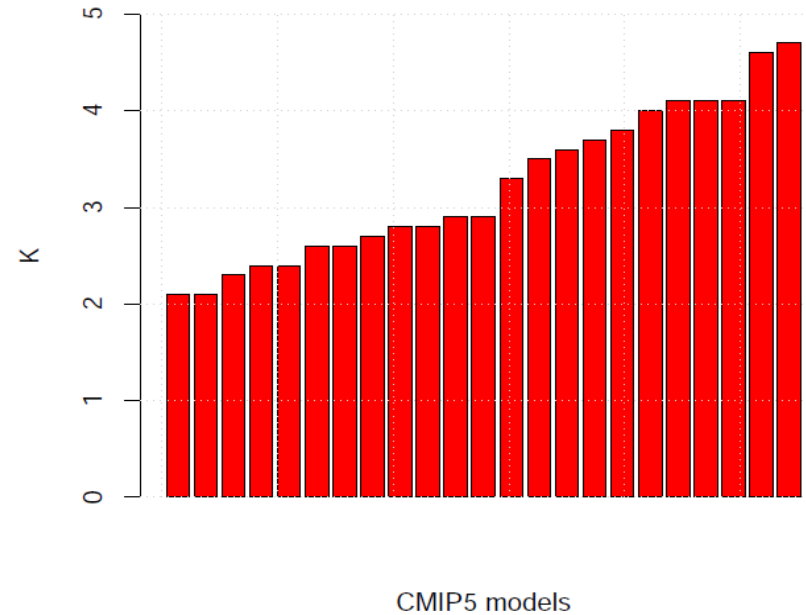
Amplitude du réchauffement Sensibilité climatique

Accroissement de la moyenne des températures de surface

Pour des scénarios « réalistes »

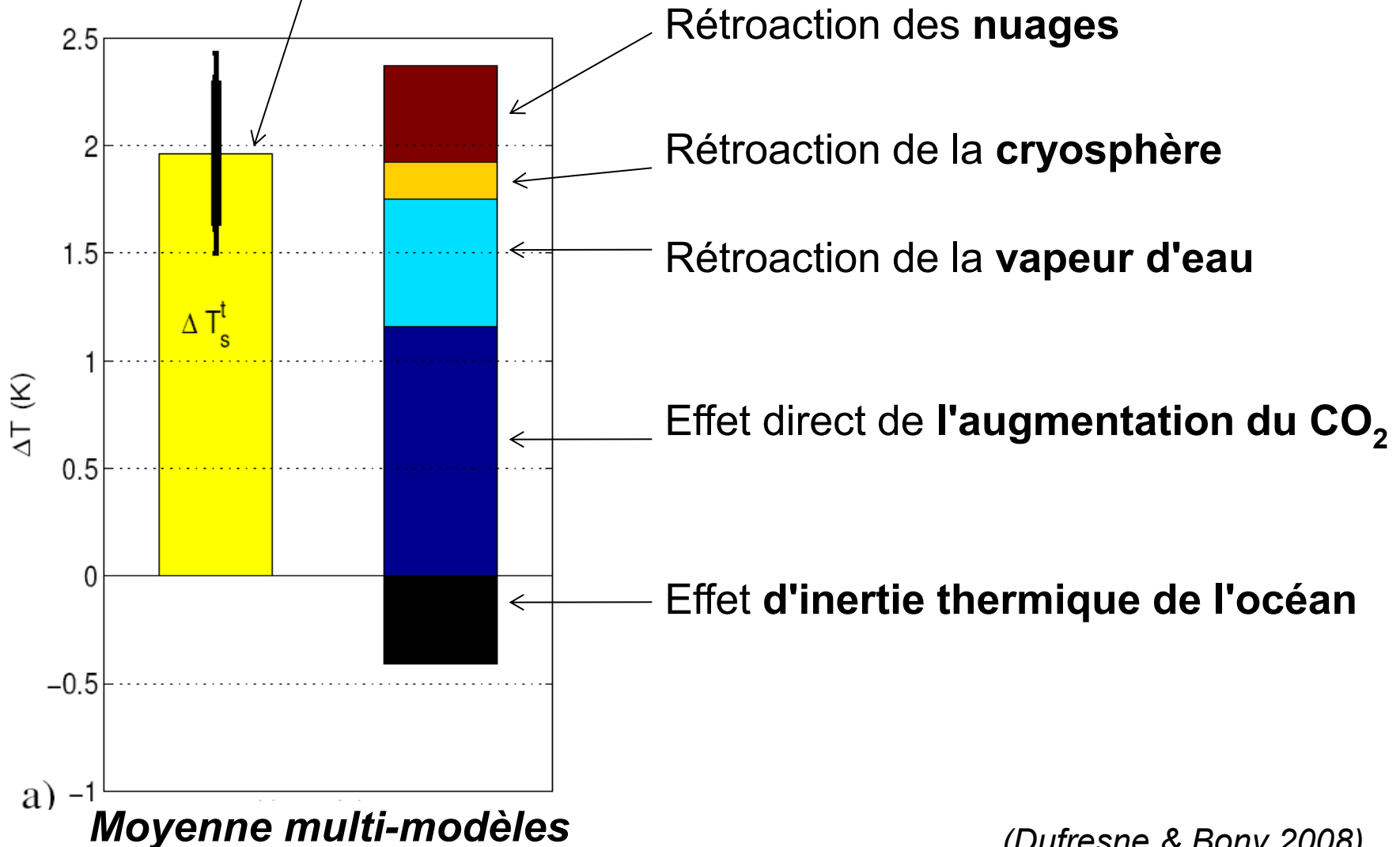


Pour un doublement de CO₂



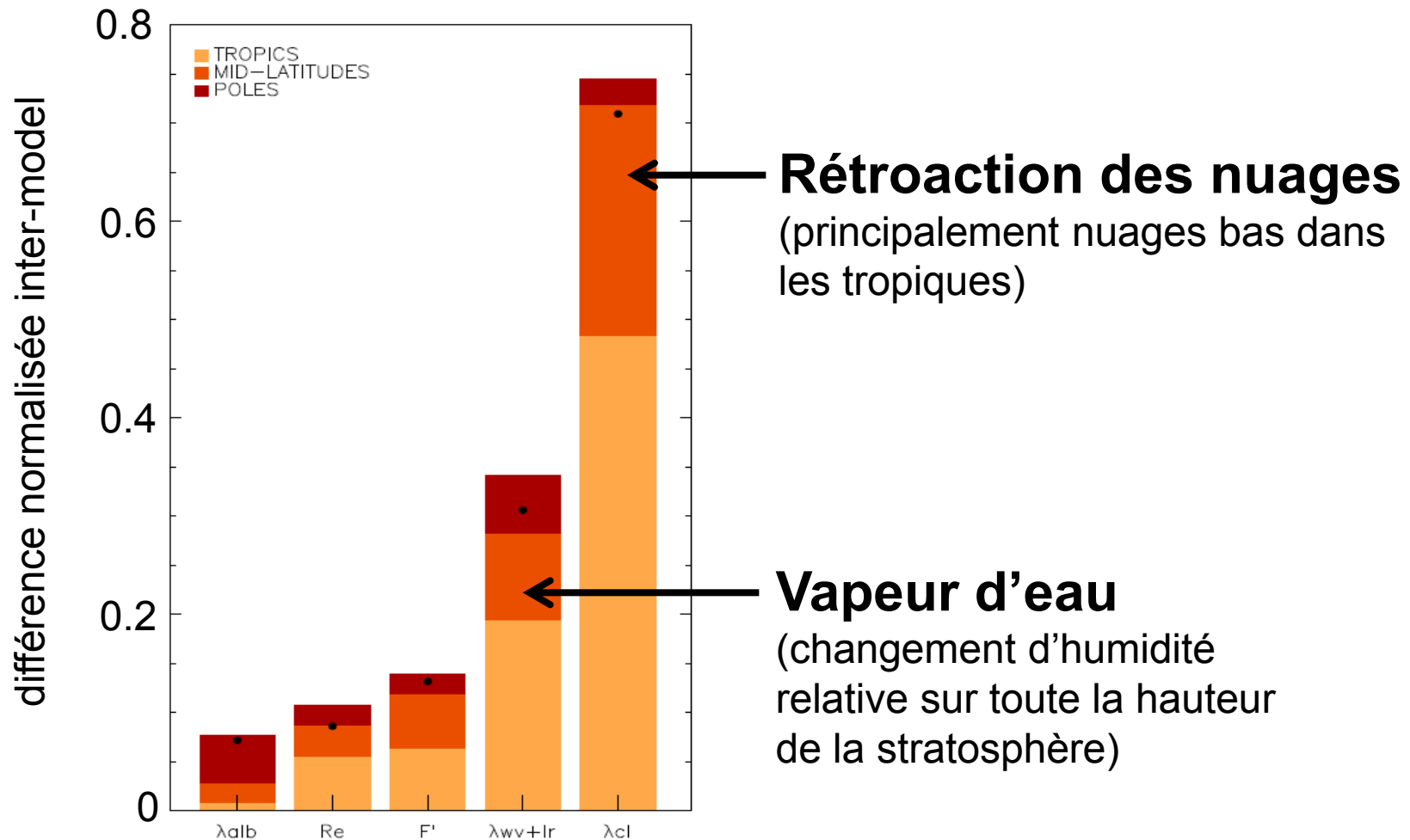
Accroissement de CO₂ et température

Réchauffement global pour un doublement de CO₂ en 70 ans



Accroissement de CO₂ et température

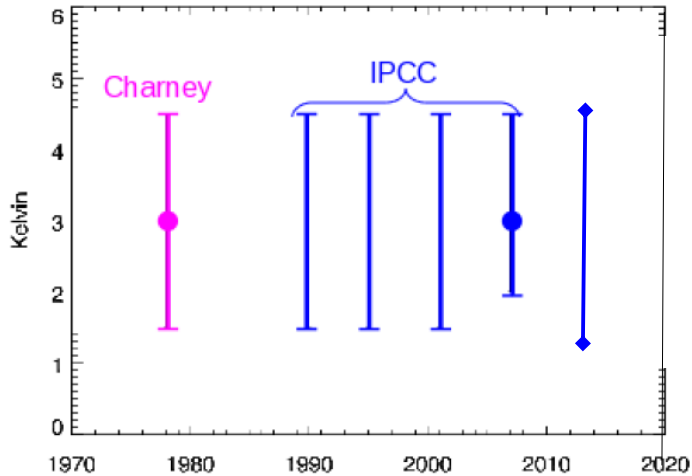
Origines de la dispersion entre les modèles



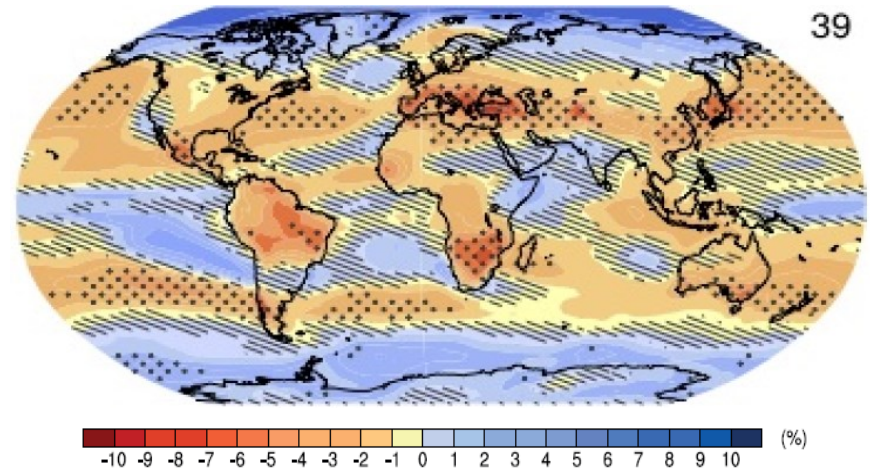
(Vial et al. 2013))

Des incertitudes demeurent: amplitude du réchauffement

Dispersion de l'estimation de la sensibilité climatique

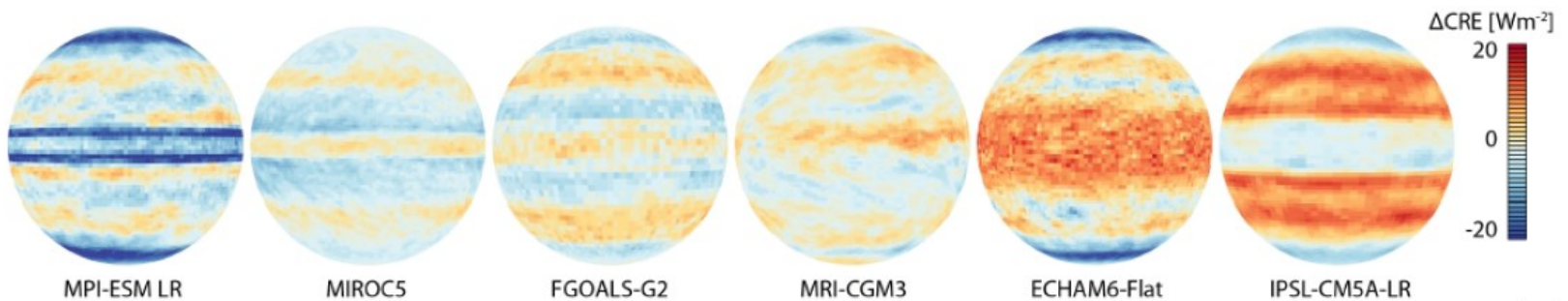


Changement de la fraction nuageuse



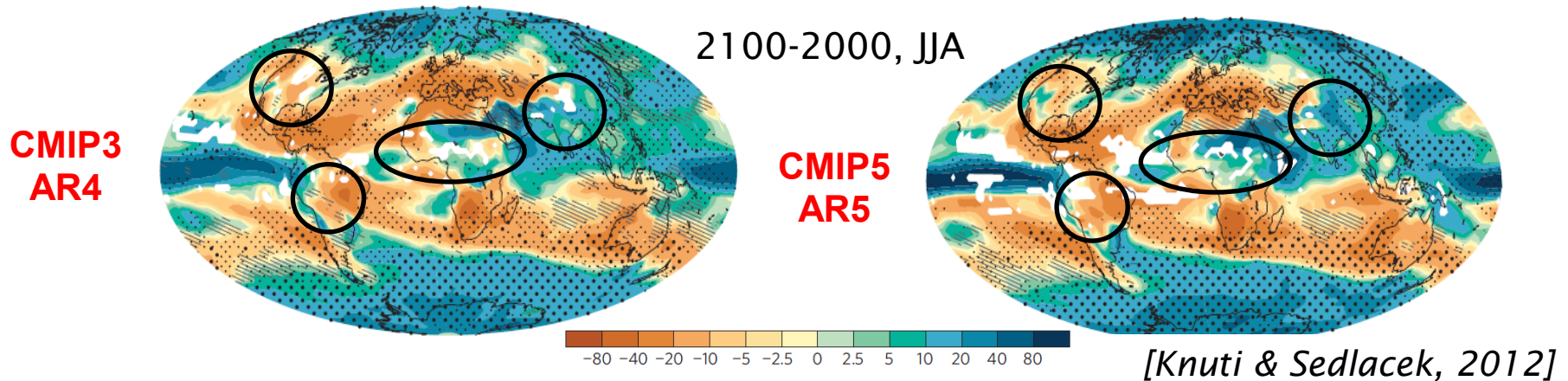
La **dispersion** de l'estimation de la sensibilité climatique **ne s'est pas réduite**

Et dans un monde plus simple? Réponse de l'effet radiatif des nuages à un **accroissement uniforme de température** de 4K pour des **aqua-planètes**



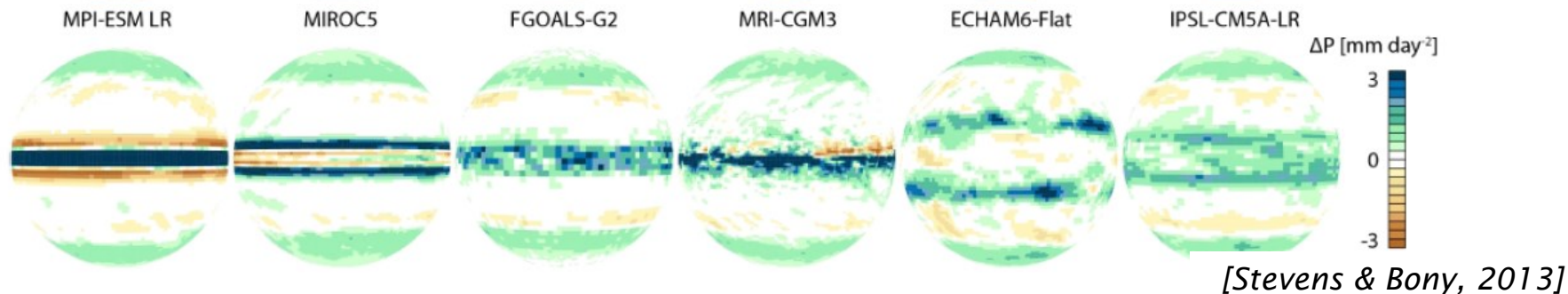
[Stevens & Bony, 2013]

Des incertitudes demeurent: changements de précipitations



La **dispersion** sur les changements de précipitations simulés, notamment sur continent, **s'est peu réduite** de CMIP3 à CMIP5

Et dans un monde plus simple? Réponse des précipitations à un **accroissement uniforme de température** de 4K pour des **aqua-planètes**



Une partie importante de la dispersion des résultats provient de phénomènes physiques « de bases » (interaction circulations – vapeur d'eau – température)

Conclusions

- **Modèles** ont gagné en **cohérence, réalisme, complexité** et permettent d'aborder de **nouvelles questions**
- Davantage de comparaison **modèles-observations**, d'analyse des simulations pour **la compréhension** du climat et de ses variations. **Amélioration de la « performance »** des modèles
- **Richesse sans précédent des résultats de simulations** climatiques (passé, récent, futur, idéalisé...)
- Des **défauts et des biais importants** demeurent
- La **dispersion des projections climatiques** ne se réduit pas, malgré la **progression de leurs « réalismes »**
- Le **manque de compréhension** du système climatique et de ses changements, **limite l'analyse critique et la confiance** dans les résultats

An aerial photograph of a vast, snow-covered mountain range under a clear blue sky. The terrain is rugged and covered in white snow, with some rocky outcrops visible. The text "Merci de votre attention" is centered in the middle of the image in a black, sans-serif font. There are some lens flare artifacts in the upper right and lower left corners.

Merci de votre attention