



IPSL Climate Modelling Centre

*Nouvelles simulations climatiques réalisées
dans le cadre du projet international CMIP5:
motivations et résultats*

Jean-Louis Dufresne

& centre de modélisation du climat de l'IPSL

Laboratoire de Méétéorologie Dynamique

Institut Pierre Simon Laplace

Colloque de l'Orme, 10 octobre 2013

Plan

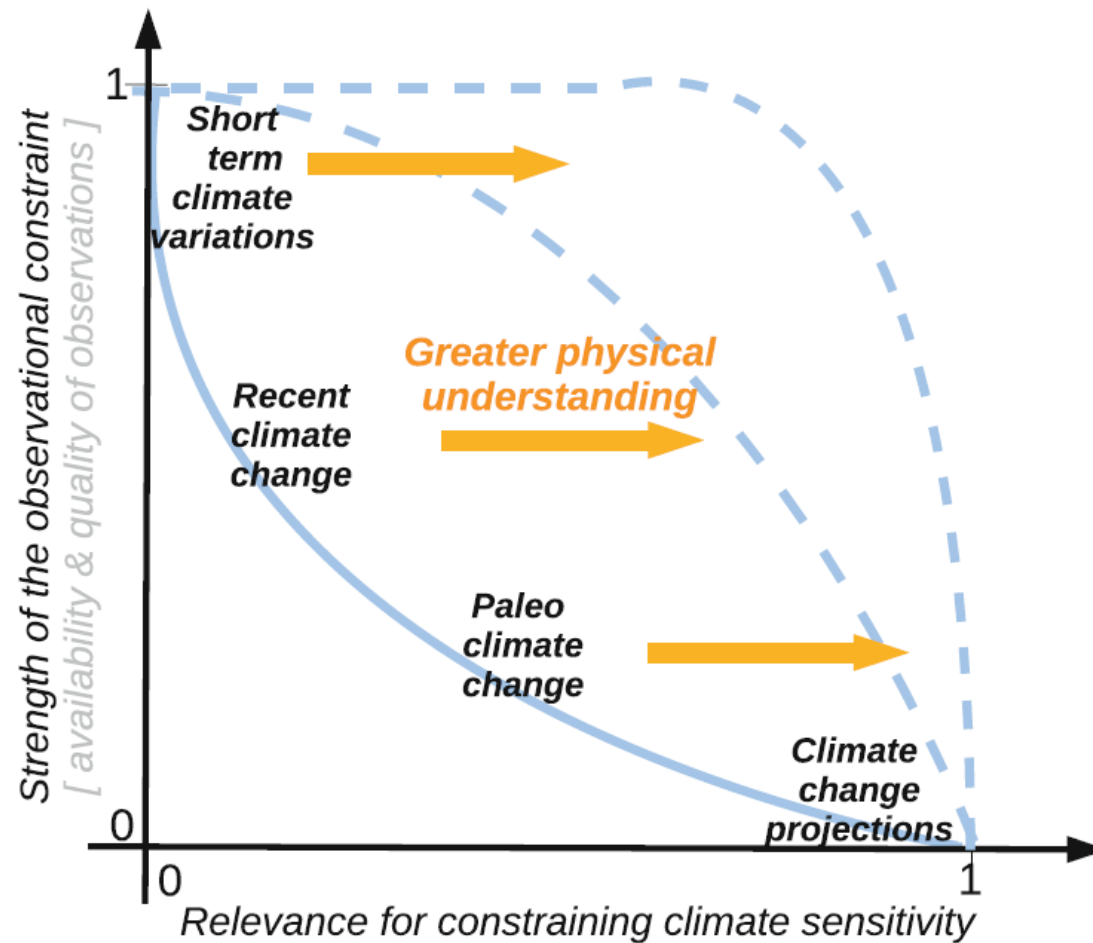
- I. Contexte et aperçu du projet CMIP5
- II. Aperçu général des résultats
- III. Changements climatiques
 - a) Précipitations
 - b) Cycle du carbone
 - c) Amplitude du réchauffement
- IV. Conclusion

Etudes des changements anthropiques du climat

Quelques spécificités

- Une question d'anticipation, d'étude de risque
- Une réponse à une perturbation de faible amplitude (1% flux entrant)
- Un système chaotique, complexe, difficile à mesurer
- Un système naturel, unique

Etudes des changements anthropiques du climat



[Bony et al., 2013]

Ce qui est mesurable n'est pas directement pertinent
Ce qui serait pertinent n'est pas directement mesurable

Etudes des changements anthropiques du climat

Méthodologie

- Analyse multi-modèle
- Ensemble de simulations
- Différentes configurations de modèle

Besoins contradictoires

Complexifier pour
être plus réaliste



Simplifier pour
comprendre

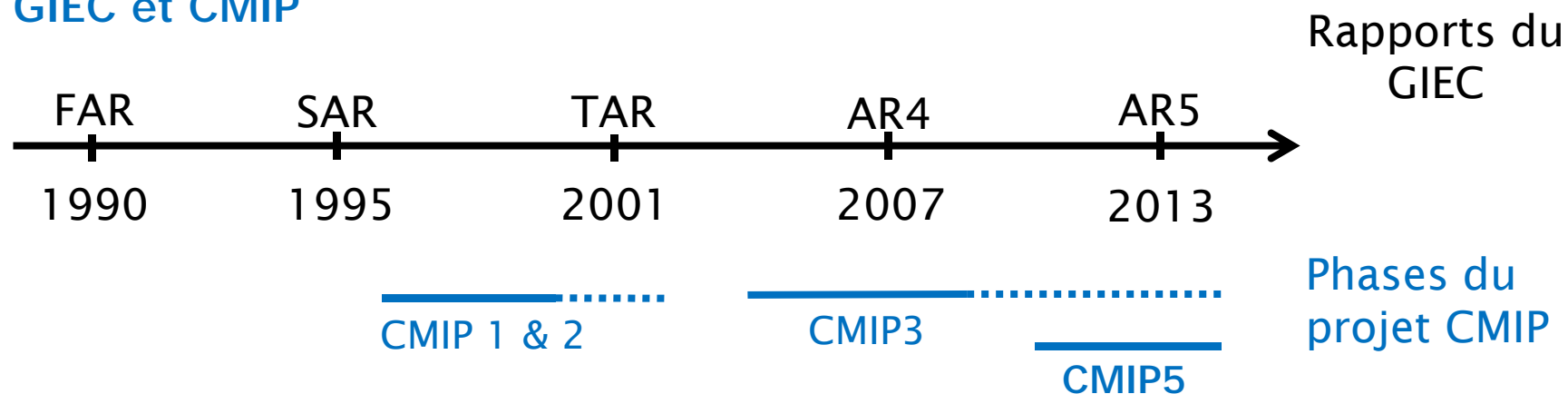
CMIP

Coupled Model Intercomparison Project

Un projet de comparaison de résultats de modèles climatiques

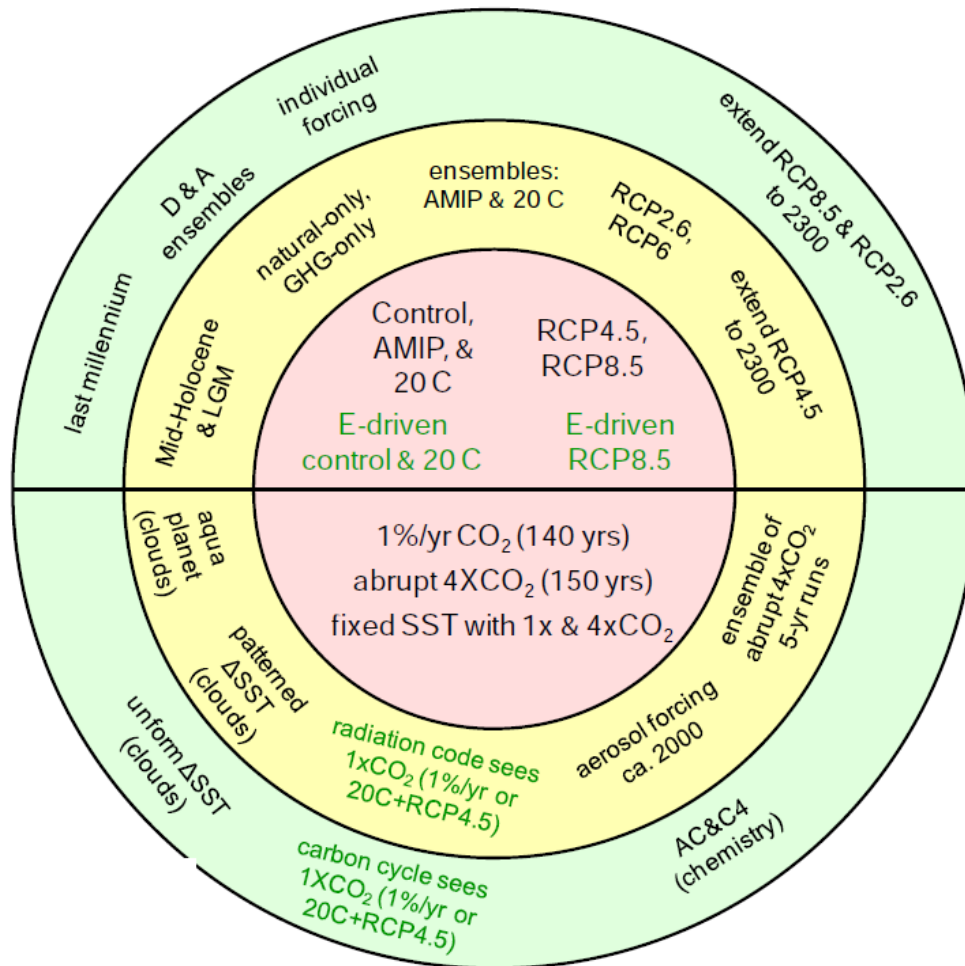
- Modèle couplé Atmosphère - Continent - Océan - Glace
- Simulations numériques en respectant un protocole défini
- Mise à disposition des résultats selon un protocole défini
- Publications scientifiques décrivant le modèle et ses résultats
- Piloté par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat

GIEC et CMIP

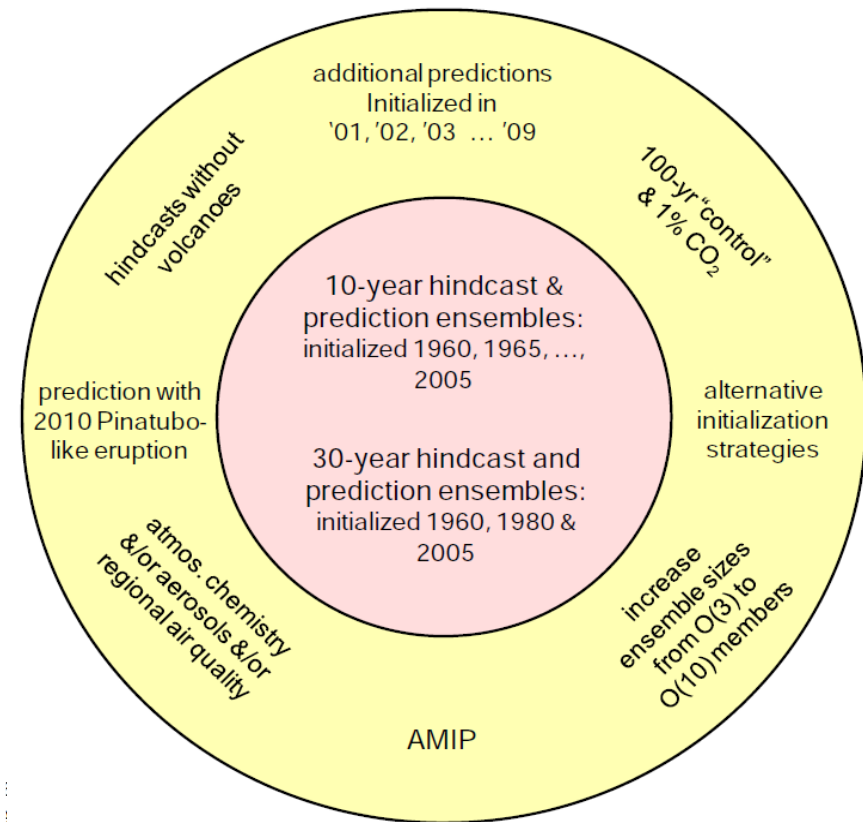


Simulations proposées par CMIP-5

Long terme (centennal)

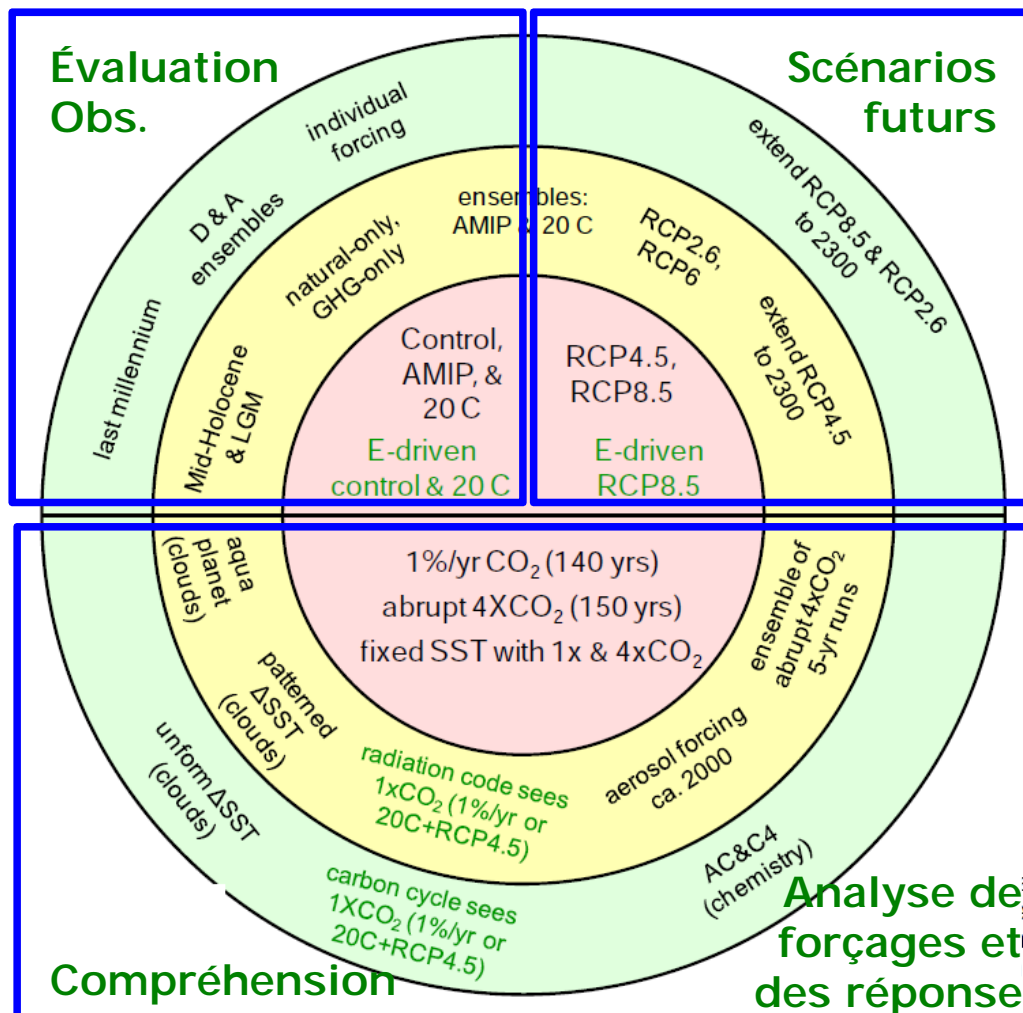


Court terme (décennal)

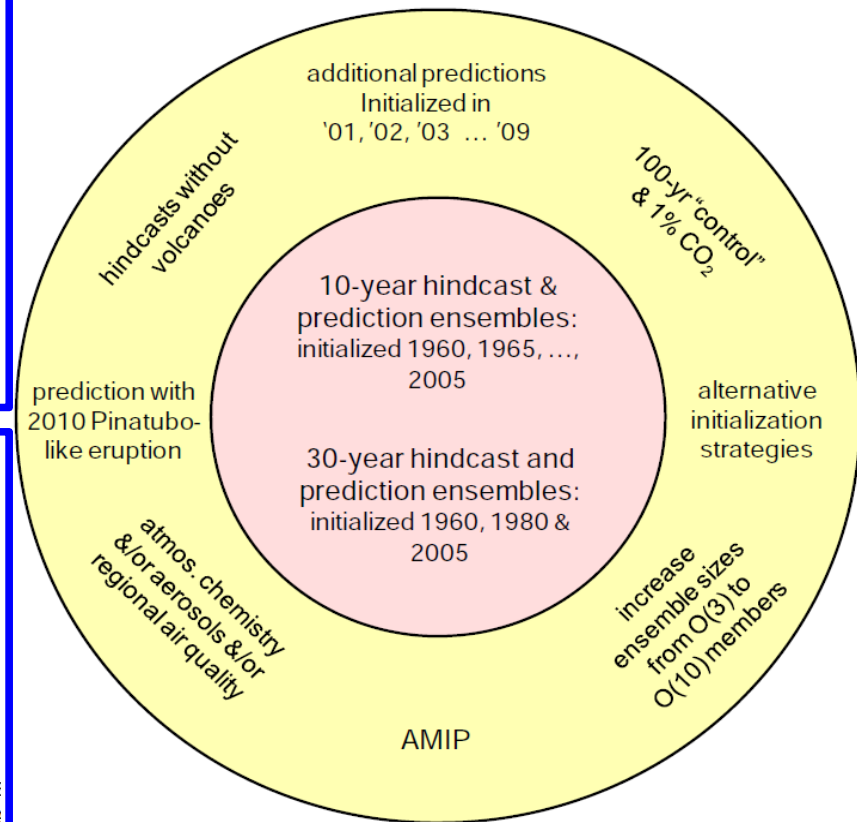


Simulations proposées par CMIP-5

Long terme (centennal)



Court terme (décennal)



Simulations proposées par CMIP-5

Thématiques d'intérêt pour l'IPSL

Climat-carbone

(C4MIP)

Nuages

(CFMIP)

Paléoclimat

(PMIP)

Aérosols

(AEROCOM)

Emissions

(GEIA)

Ozone

(CCMVal)

Évolution du climat au 20e siècle

Évolution du climat au 21e siècle

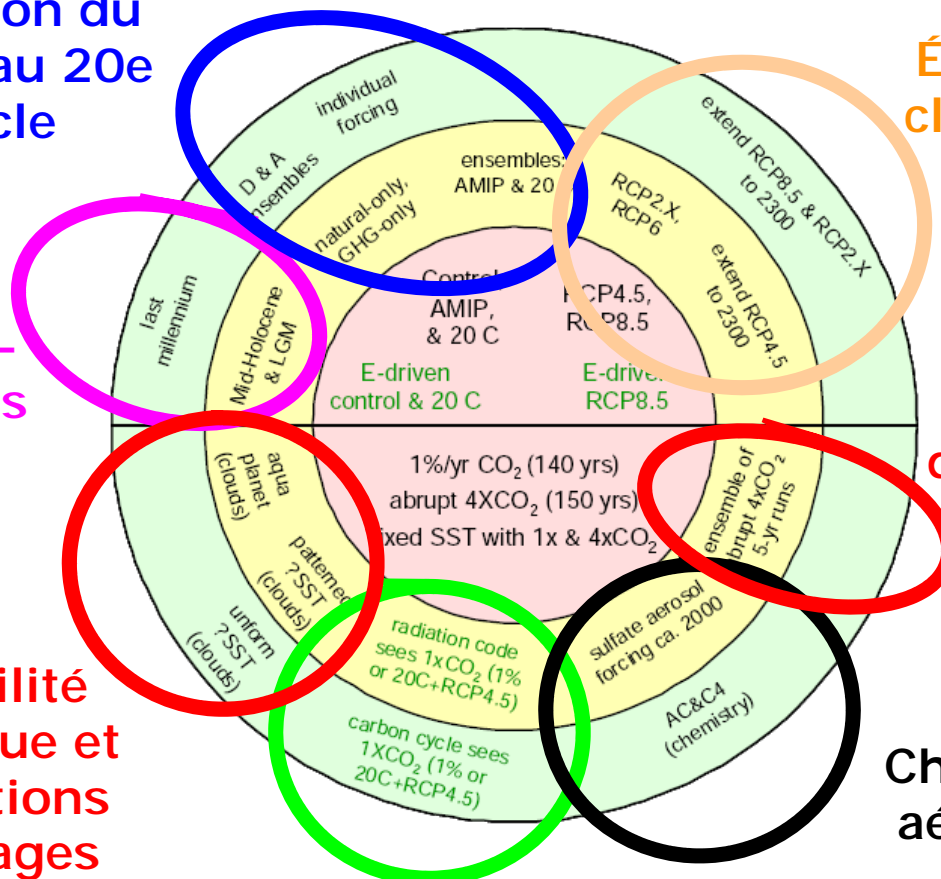
Paléo-climats

Estimation des forçages radiatifs

Sensibilité climatique et rétroactions des nuages

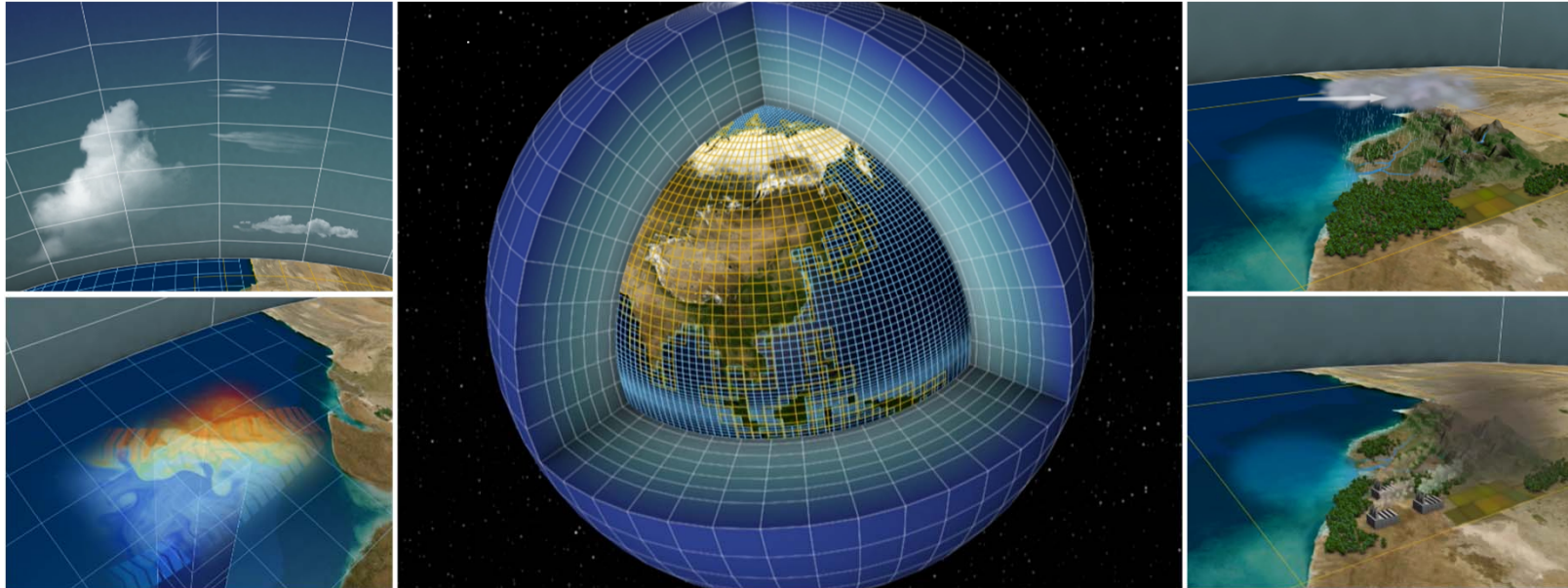
Chimie et aérosols

Couplage climat-carbone



Modèle de climat

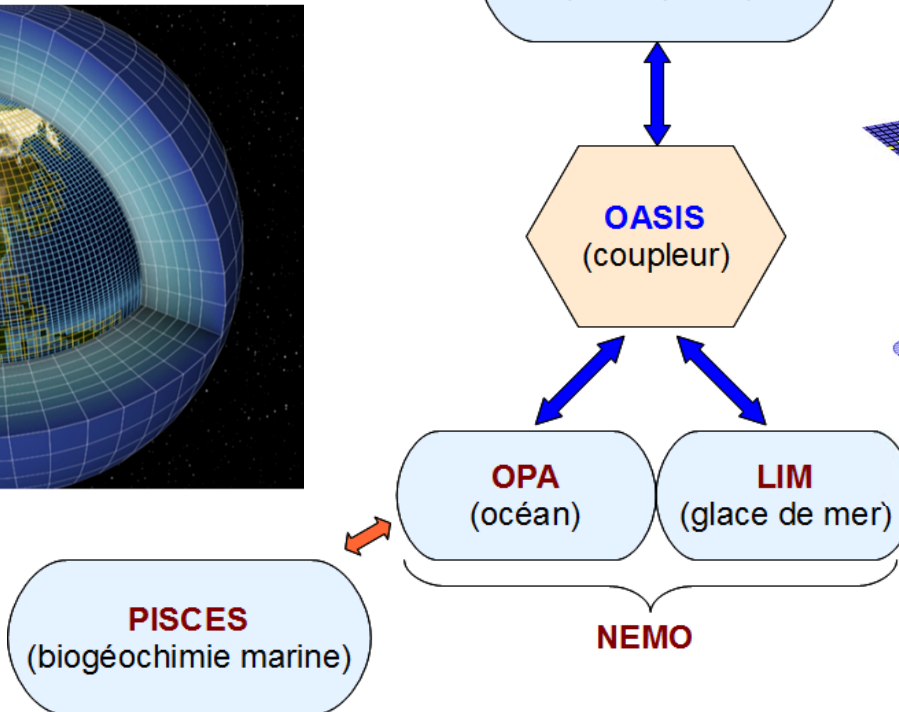
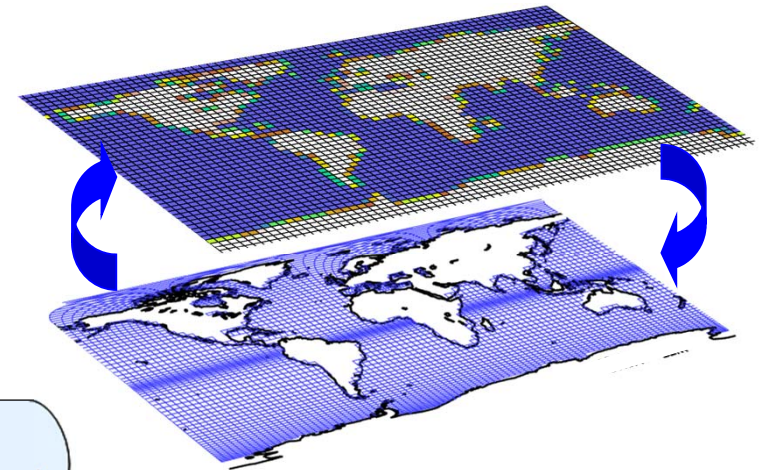
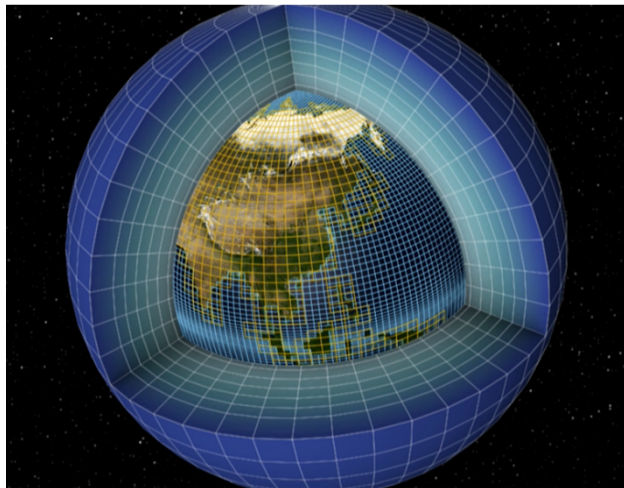
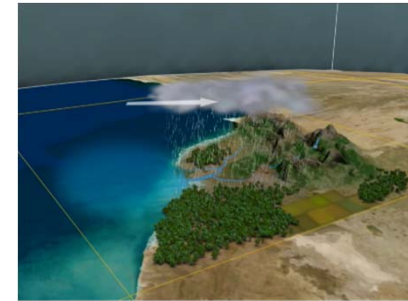
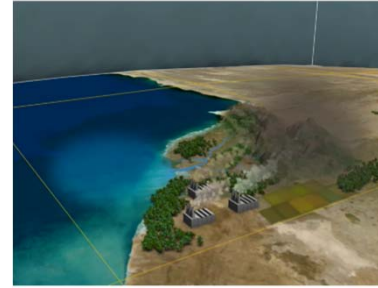
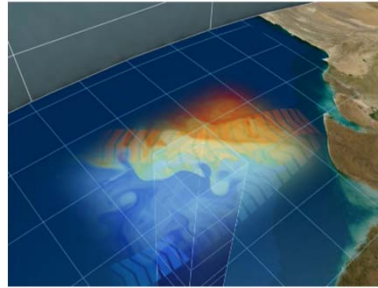
(Modèle de circulation générale)



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

Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL



Modèles de l'IPSL pour CMIP5

LMDZ-ORCHIDEE-ORCA-LIM-PISCES-INCA-REPROBUS-OASIS

IPSL-CM5A

Modèle intégré du système
Terre (ESM)

IPSL-CM5B

Idem IPSL-CM5A, avec modèle
atmosphérique LMDZ5B

IPSL-CM5A-LR

Basse résolution
atm: 3.75° x2° L39
oce: 2° L31

IPSL-CM5A-MR

Moyenne résolution
atm: 2.5° x1.25° L39
oce: 2° L31

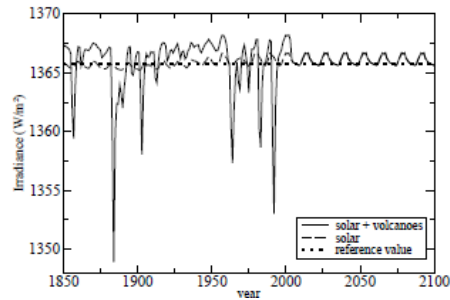
IPSL-CM5B-LR

Basse résolution
atm: 3.75° x2° L39
oce: 2° L31

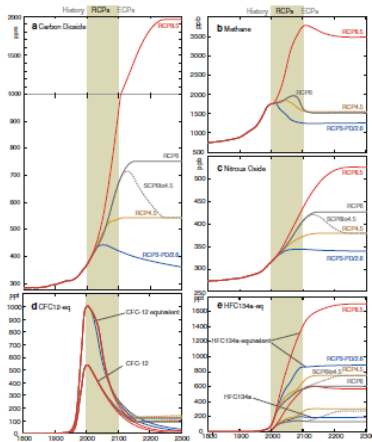
Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL

Forçages naturels et anthropiques

Soleil et volcans

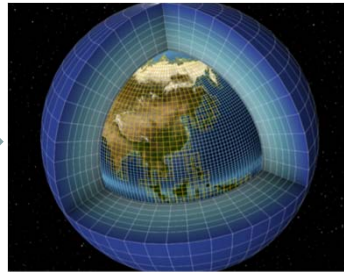


Gaz à effet de serre ou chimiquement actifs

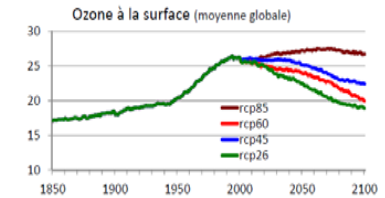


Concentration de CO₂

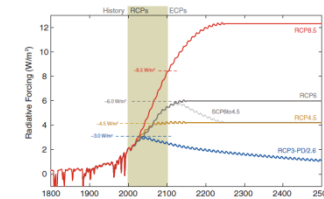
IPSL-CM5A-LR



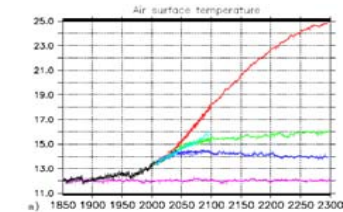
Composition de l'atmosphère



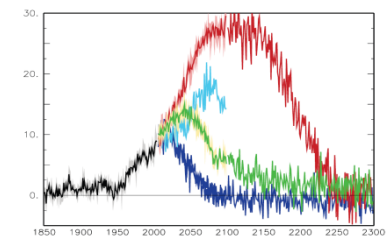
Forçage radiatif



Changement climatique



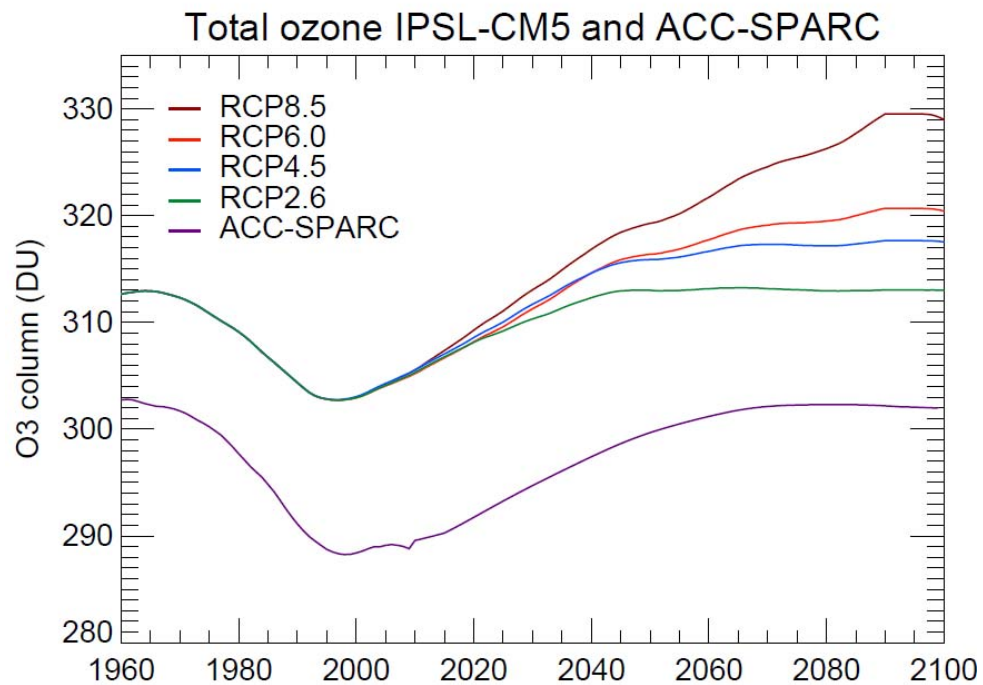
Émission autorisée de CO₂



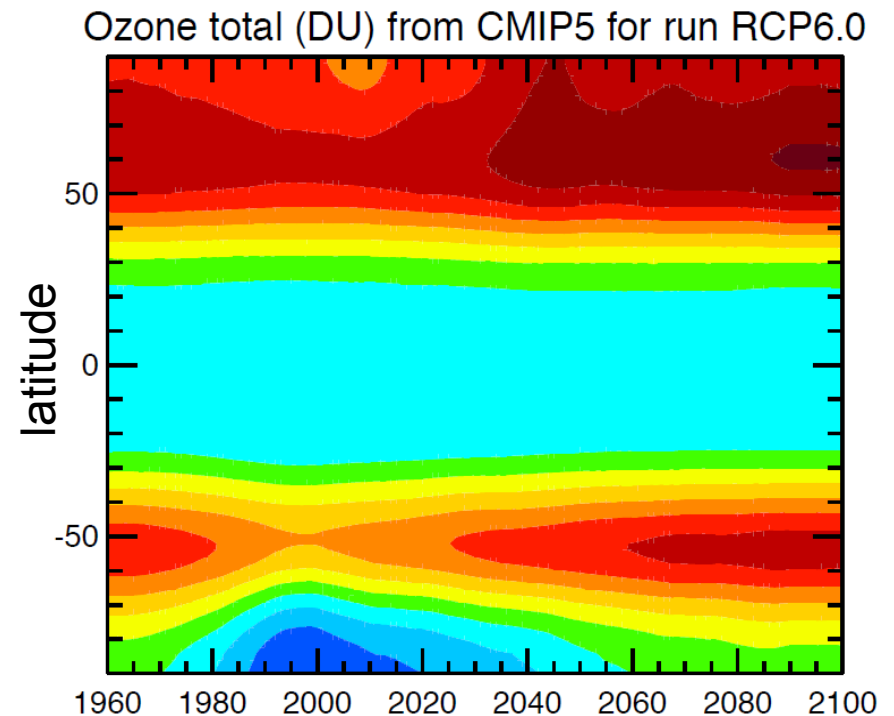
Calcul des champs d'ozone et d'aérosols

- Calcul des concentrations en fonction des émissions des composés réactifs et des changements climatiques
- Projet international dédié: ACCMIP

Moyenne globale de l'ozone



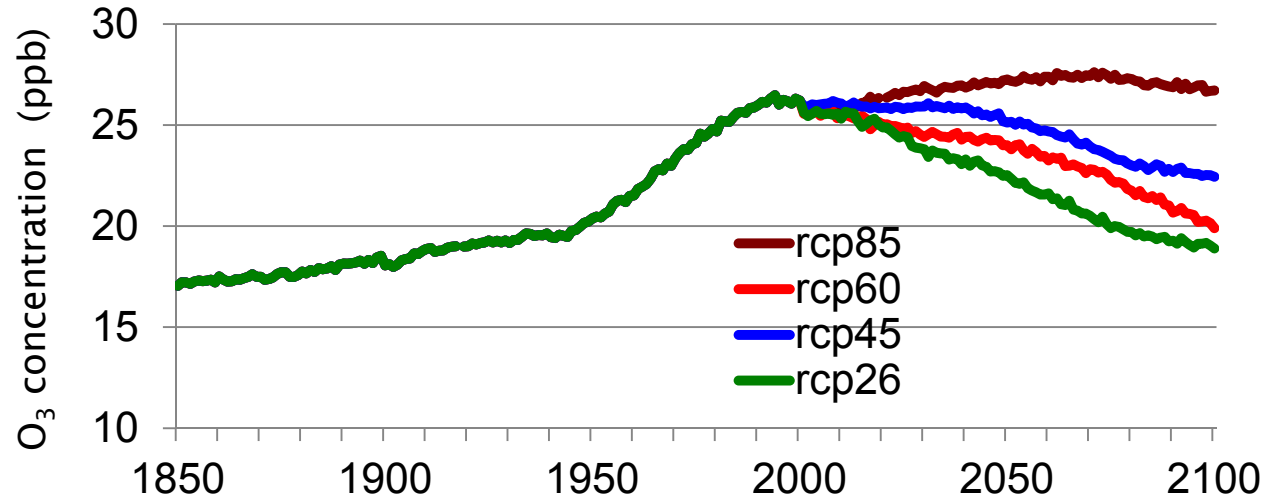
Moyenne zonale de l'ozone



[Bekki et al. 2013]

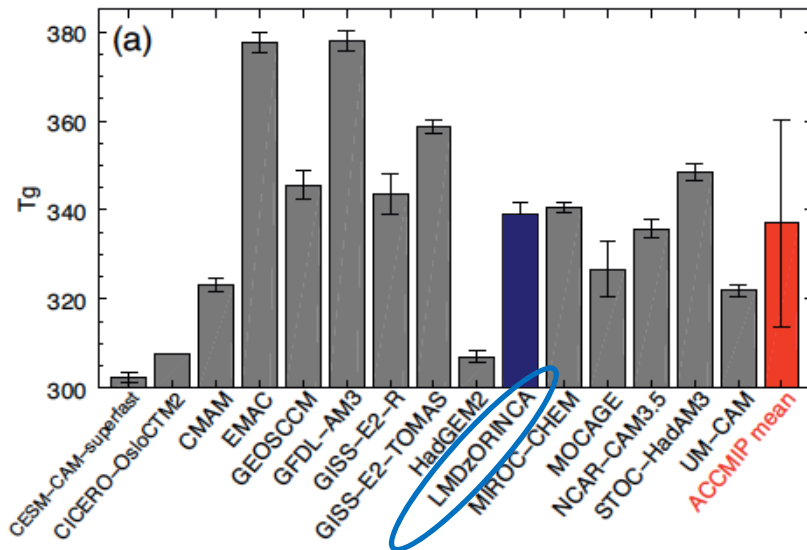
Ozone troposphérique

Ozone à la surface (moyenne globale)

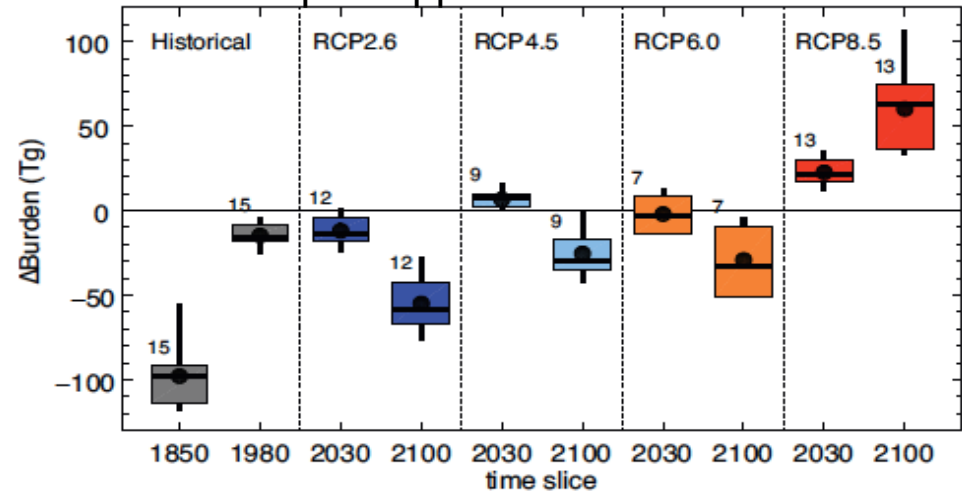


IPSL
 LMDZ-INCA
 [Szopa et al., 2013]

Quantité d'ozone tropo, année 2000



Changement de la quantité d'ozone par rapport à l'année 2000



[Young et al. 2013]

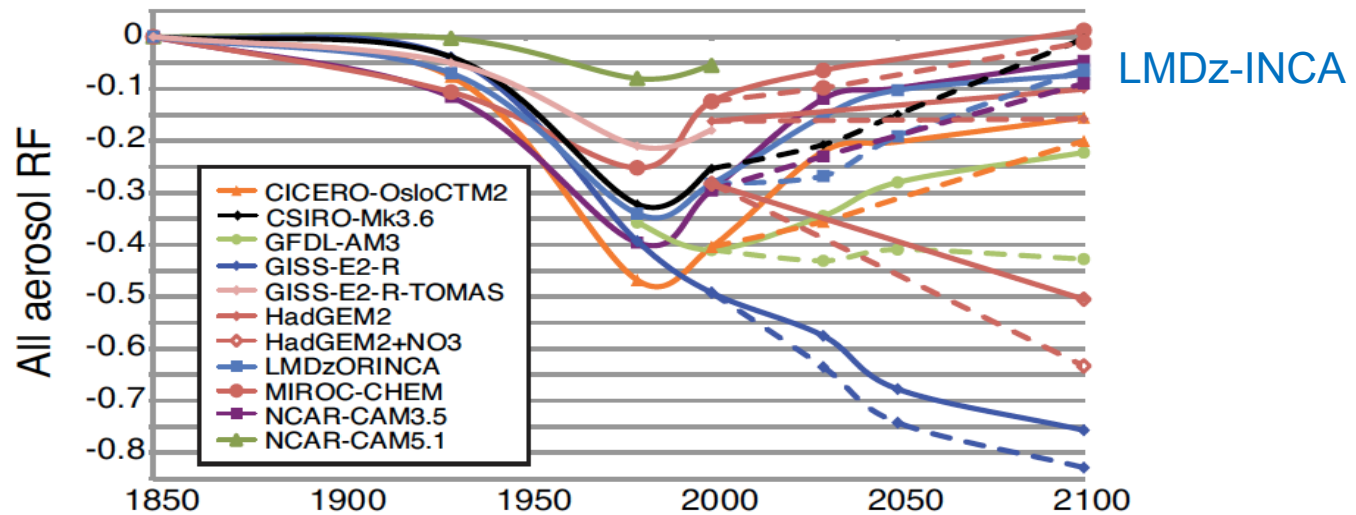
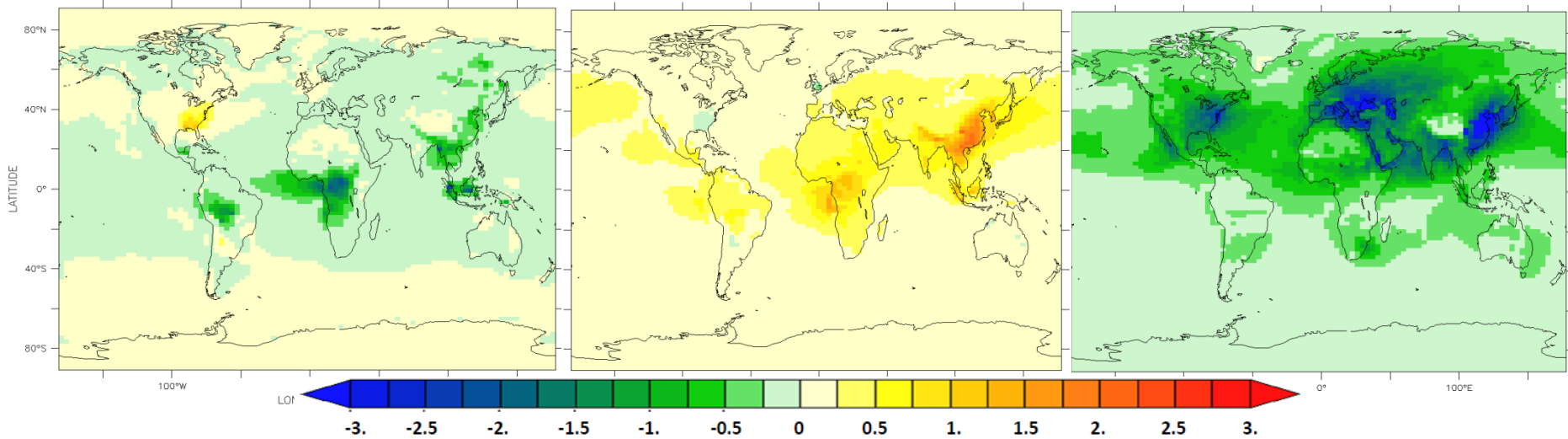
Aérosols

Forçage Radiatif ($W.m^{-2}$)

Matière organique

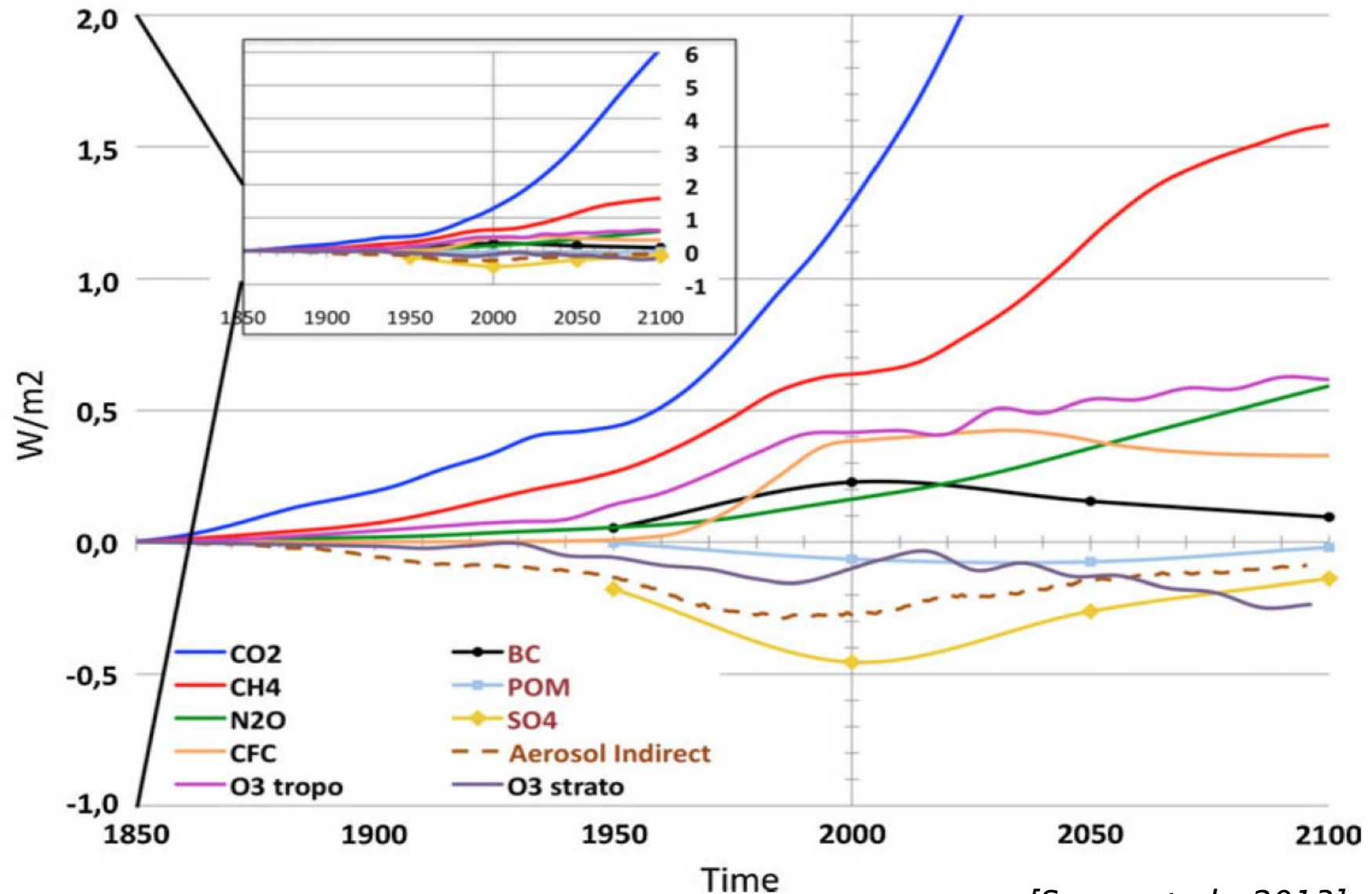
Carbone suie

Sulfates



Shindell et al., 2012

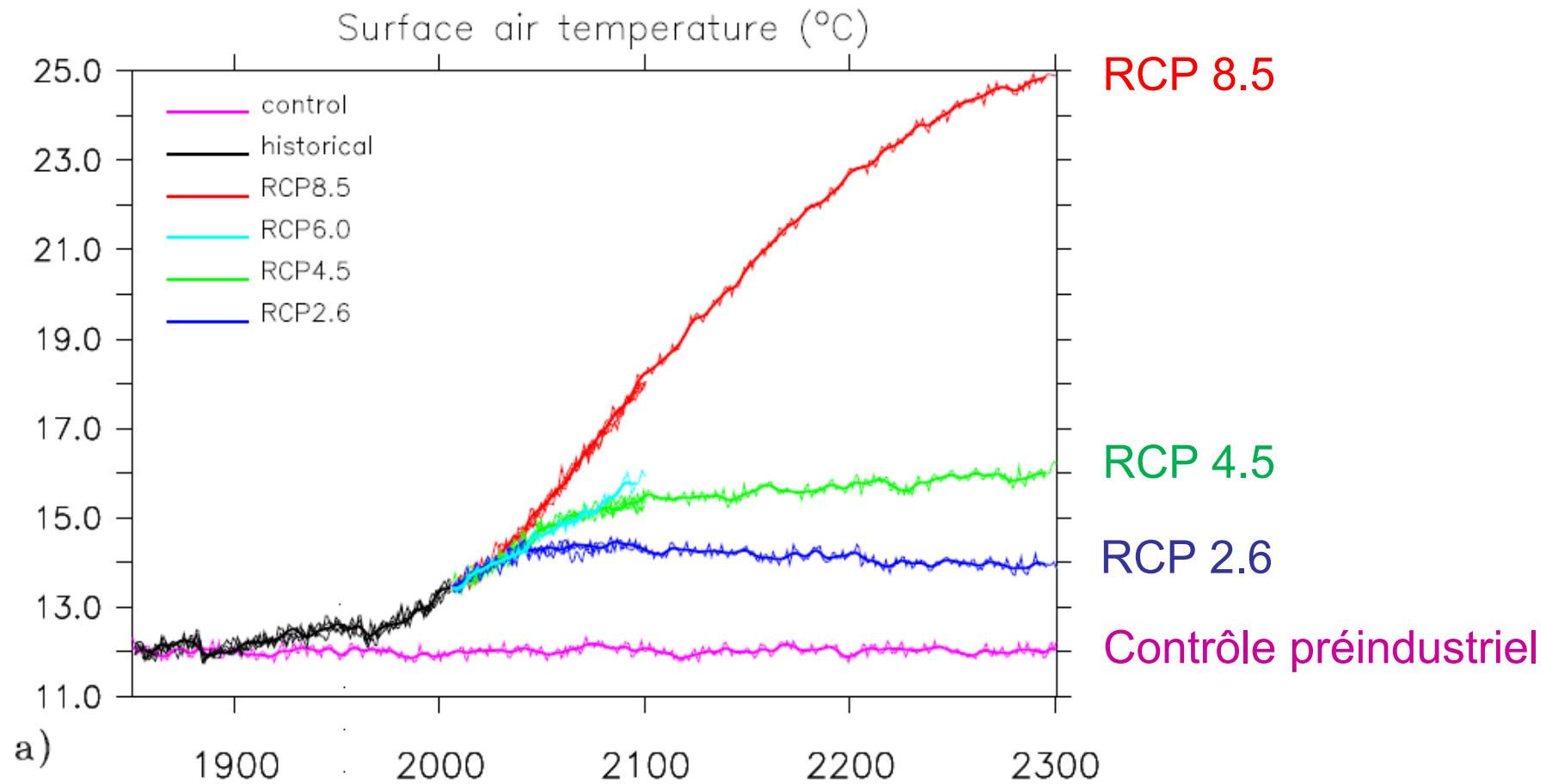
Évolution des forçages radiatifs sur la période historique et future avec le scénario RCP8.5 (modèle IPSL-CM5A-LR)



[Szopa et al., 2013]

Moyenne globale de la température de surface

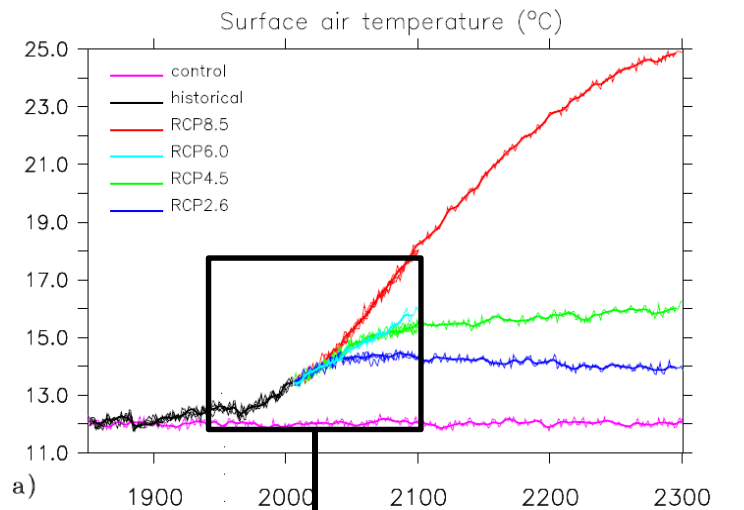
De 1850 à 2300
modèle IPSL-CM5A-LR



[Dufresne et al., 2013]

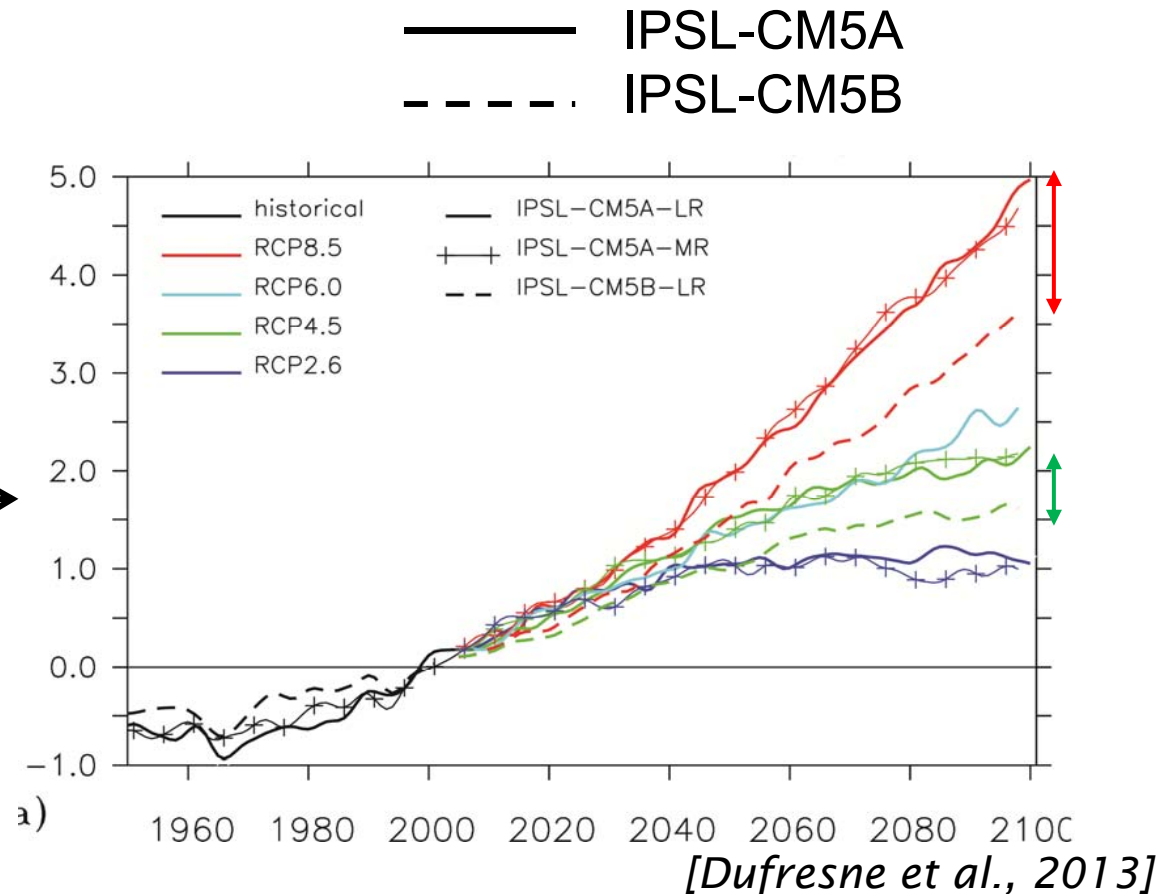
Moyenne globale de la température de surface

De 1850 à 2300
modèle IPSL-CM5A-LR

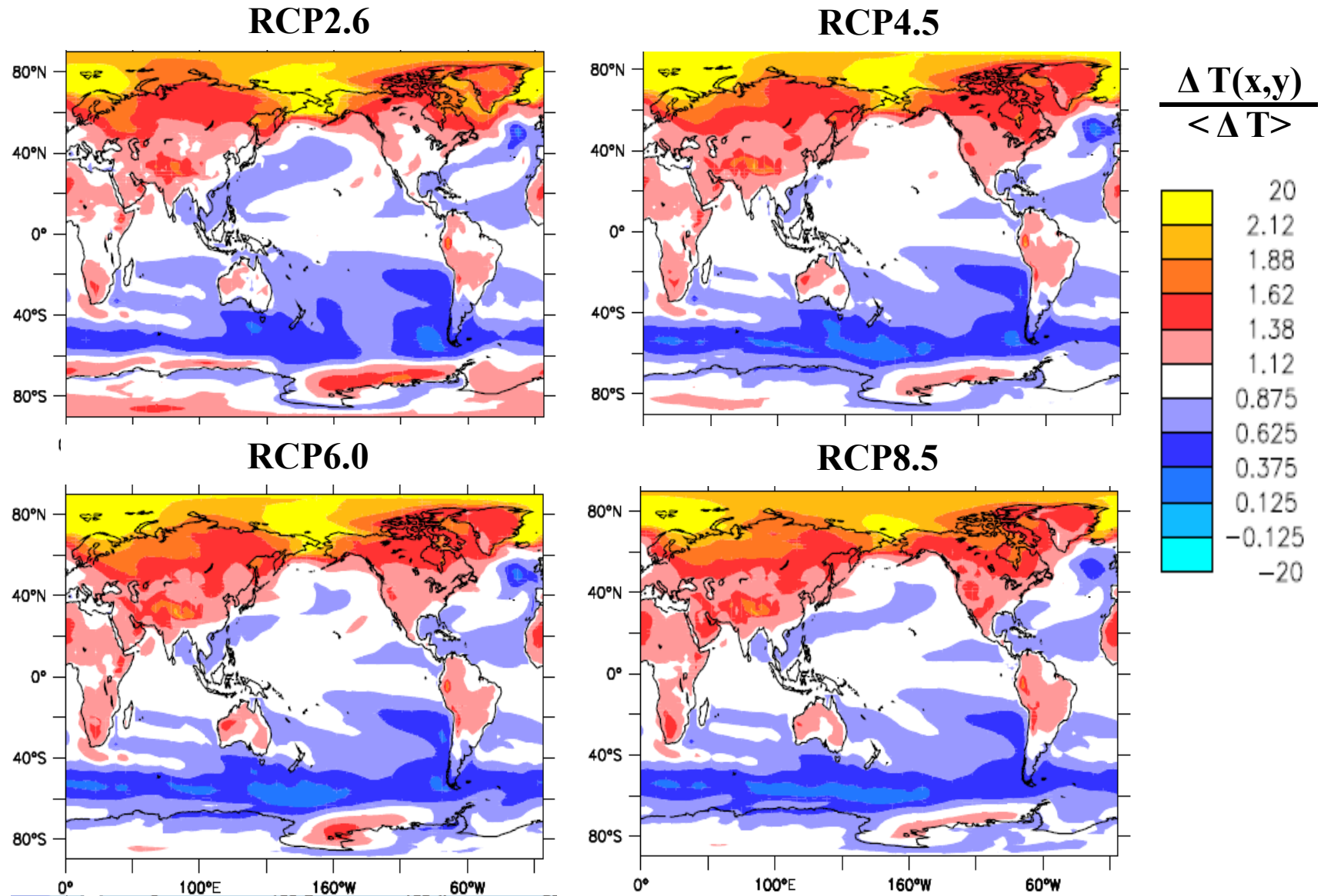


De 1950 à 2100

Anomalie de température par rapport à la période 1985-2015



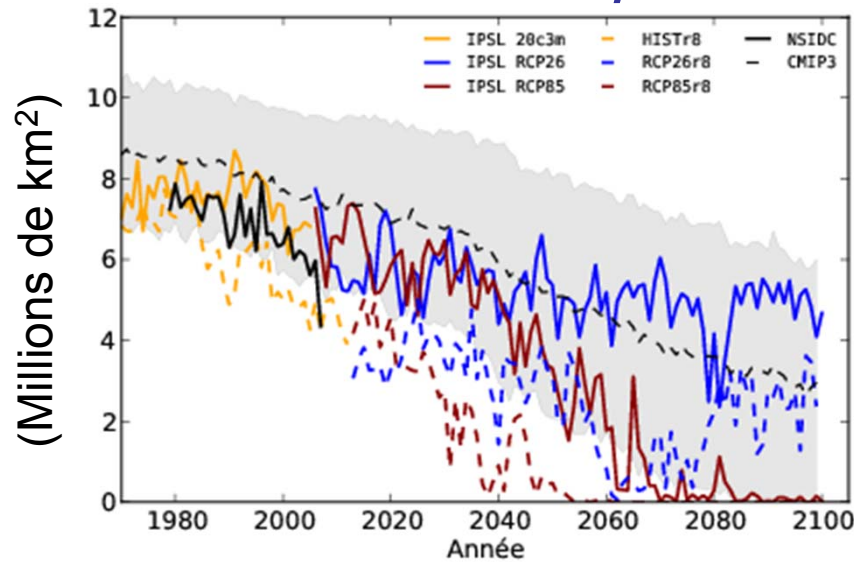
Distribution géographique de la variation normalisée de la température de surface $\Delta T(x,y) / \langle \Delta T \rangle$ en 2100



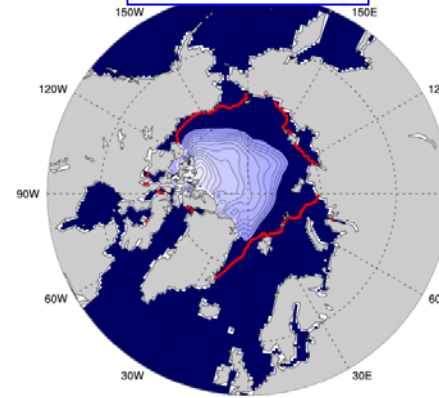
Glace de mer Arctique 1970-2100

Septembre (extension minimale)

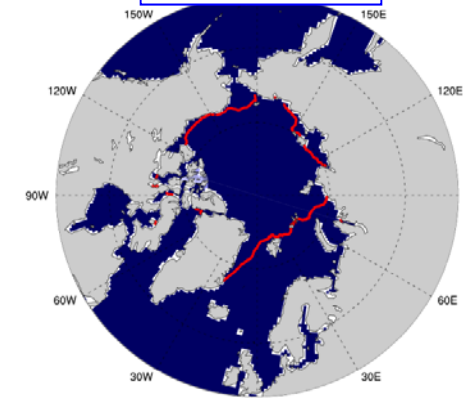
IPSL-CM5A-LR



RCP 2.6

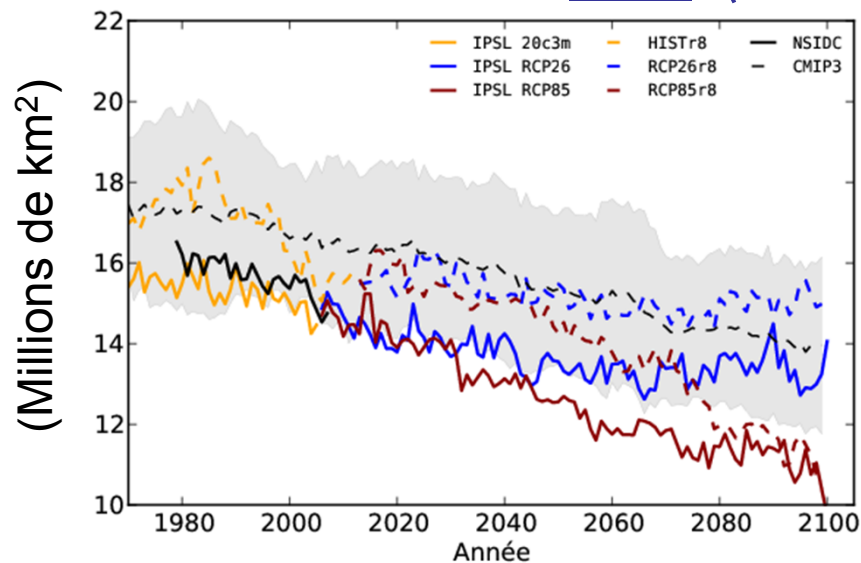


RCP 8.5

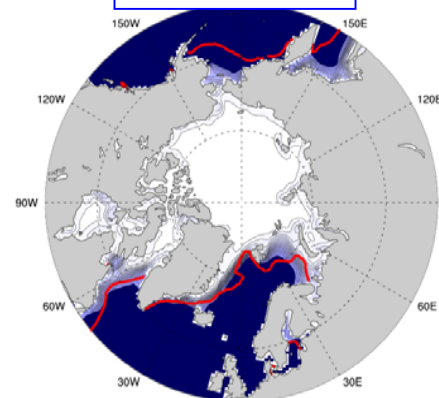


Mars (extension maximale)

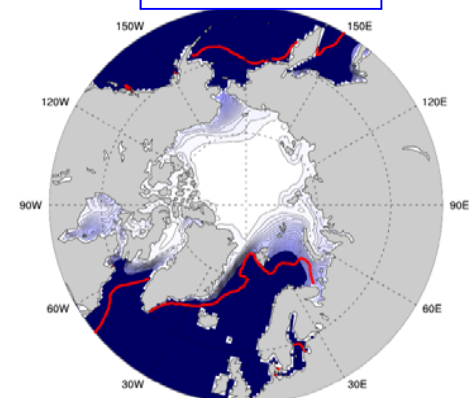
IPSL-CM5A-LR



RCP 2.6



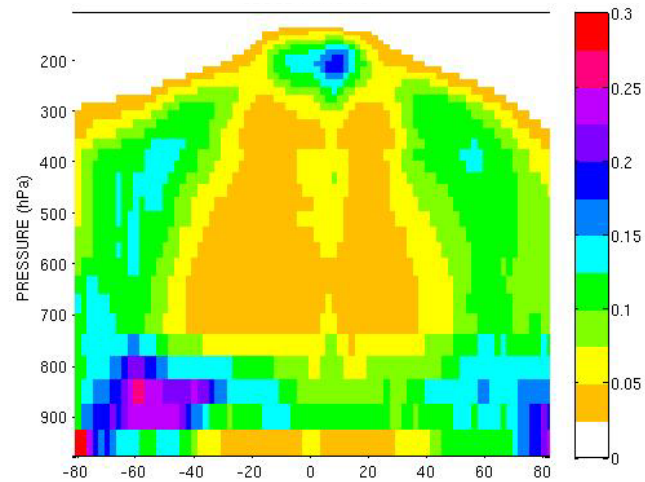
RCP 8.5



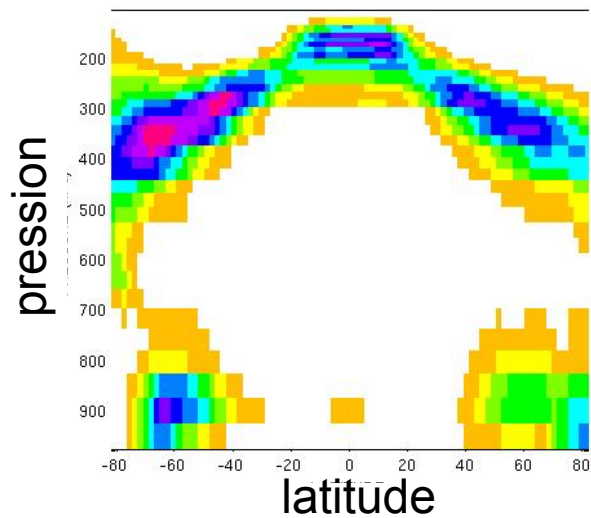
Évaluation de la structure verticale des nuages

CALIPSO – simulateur COSP – projet CFMIP

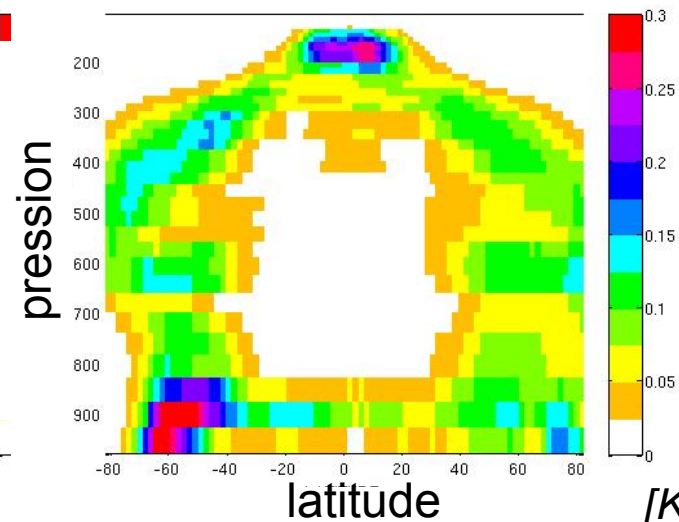
Fraction nuageuse observée (Calipso/GOCCP)



IPSL-CM5A + COSP



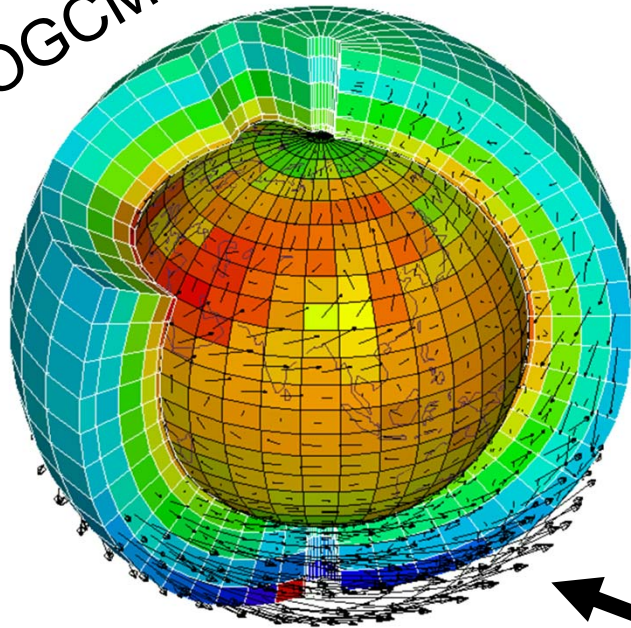
IPSL-CM5B + COSP



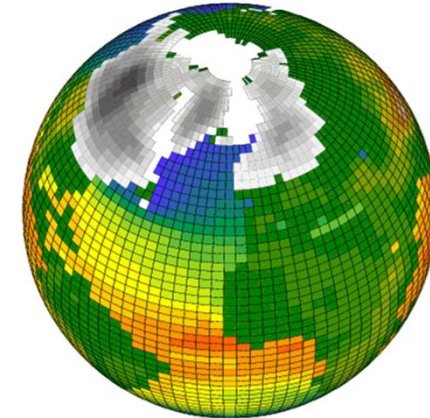
[Konsta et al., smi]

Simulation du climat du Dernier Maximum Glaciaire

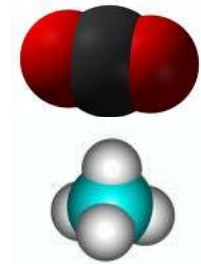
AOGCM



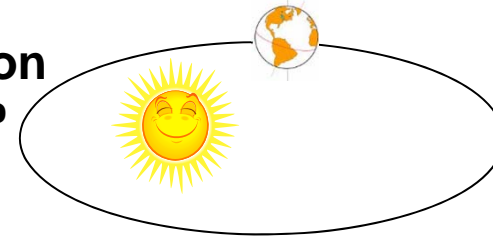
Calottes
glaciaires



Composition
atmosphérique
CO₂: 185 ppm
CH₄: 350 ppb...



Insolation
21ky BP



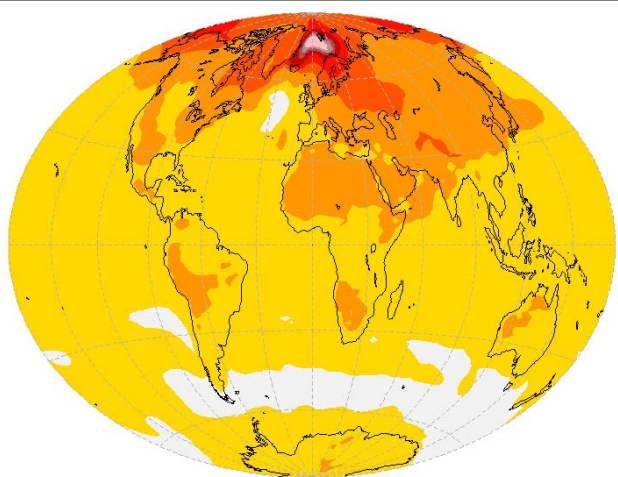
Forçage en gaz à effet de serre ~ climat futur
Autre forçage majeur: calottes glaciaire

Changement de température de surface

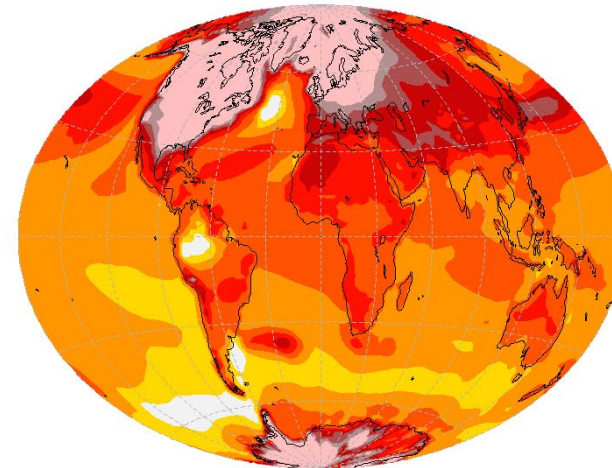
Différence entre 2100 et 1990

IPSL-CM5A-LR

RCP2.6

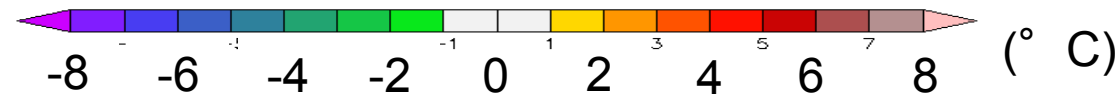
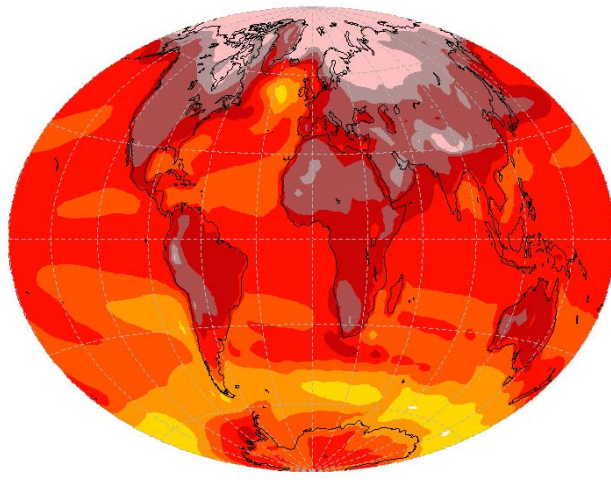


Entre préindustriel et glaciaire



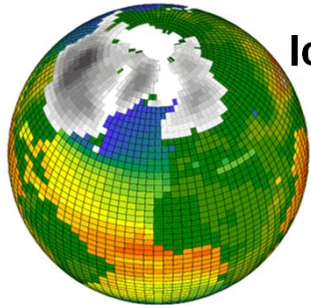
Glaciaire

RCP8.5



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

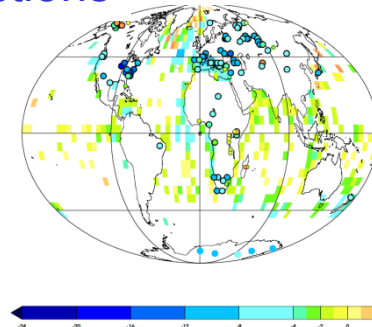
Land data

(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

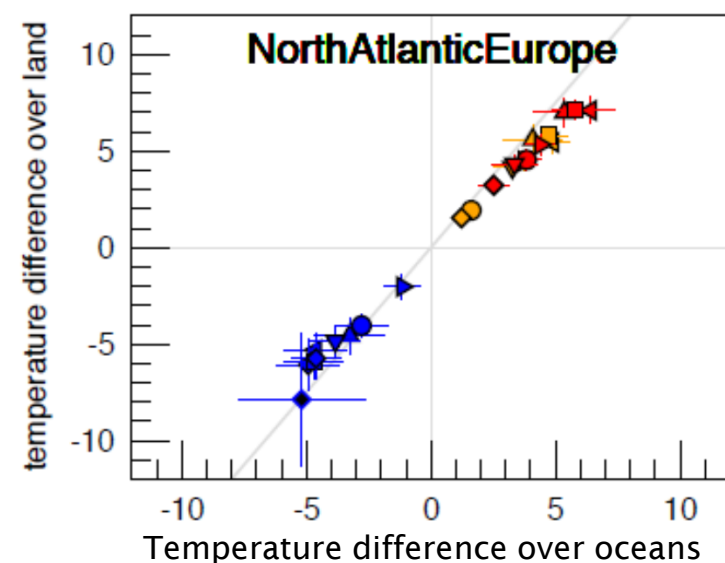
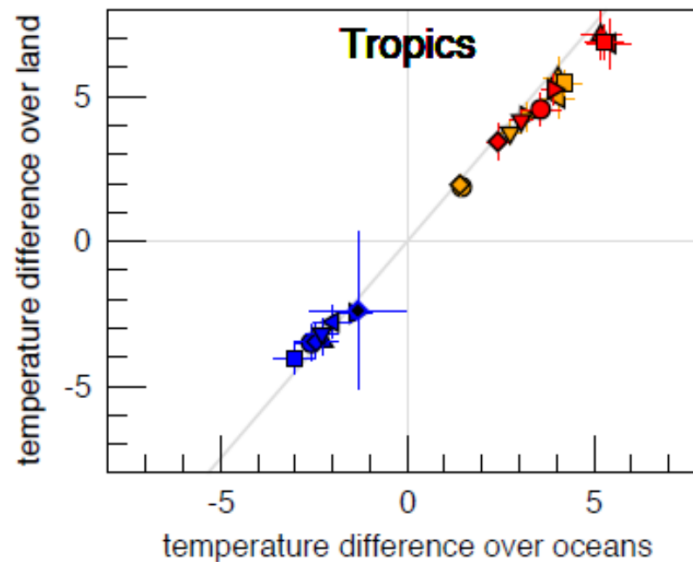


Relationships between LGM vs higher CO₂ climates?

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



Plan

I. Contexte et aperçu du projet CMIP5

II. Aperçu général des résultats

III. Changements climatiques

a) Précipitations

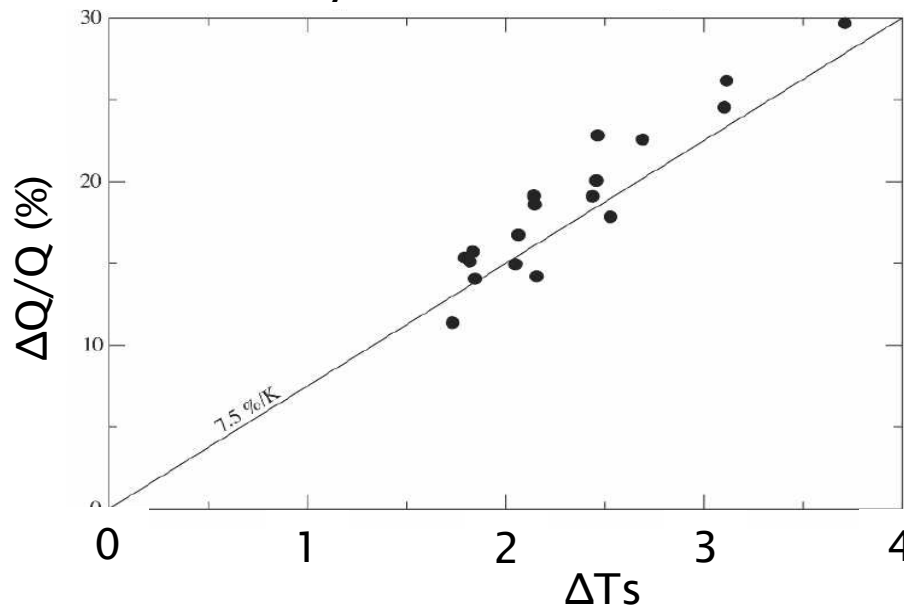
b) Cycle du carbone

c) Amplitude du réchauffement

IV. Conclusion

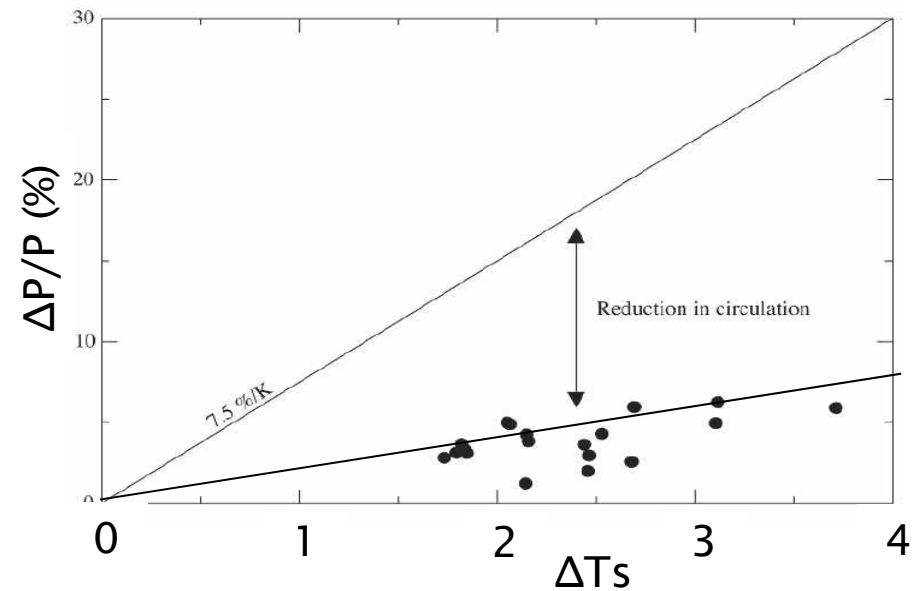
Changement de la moyenne des précipitations

Changement de la quantité de H₂O vs changement de la température moyenne de surface

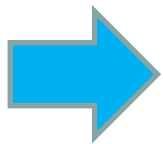


$$\Delta Q/Q (\%) \approx 7.5 \Delta T_s$$

Changement précipitations vs changement de la température moyenne de surface



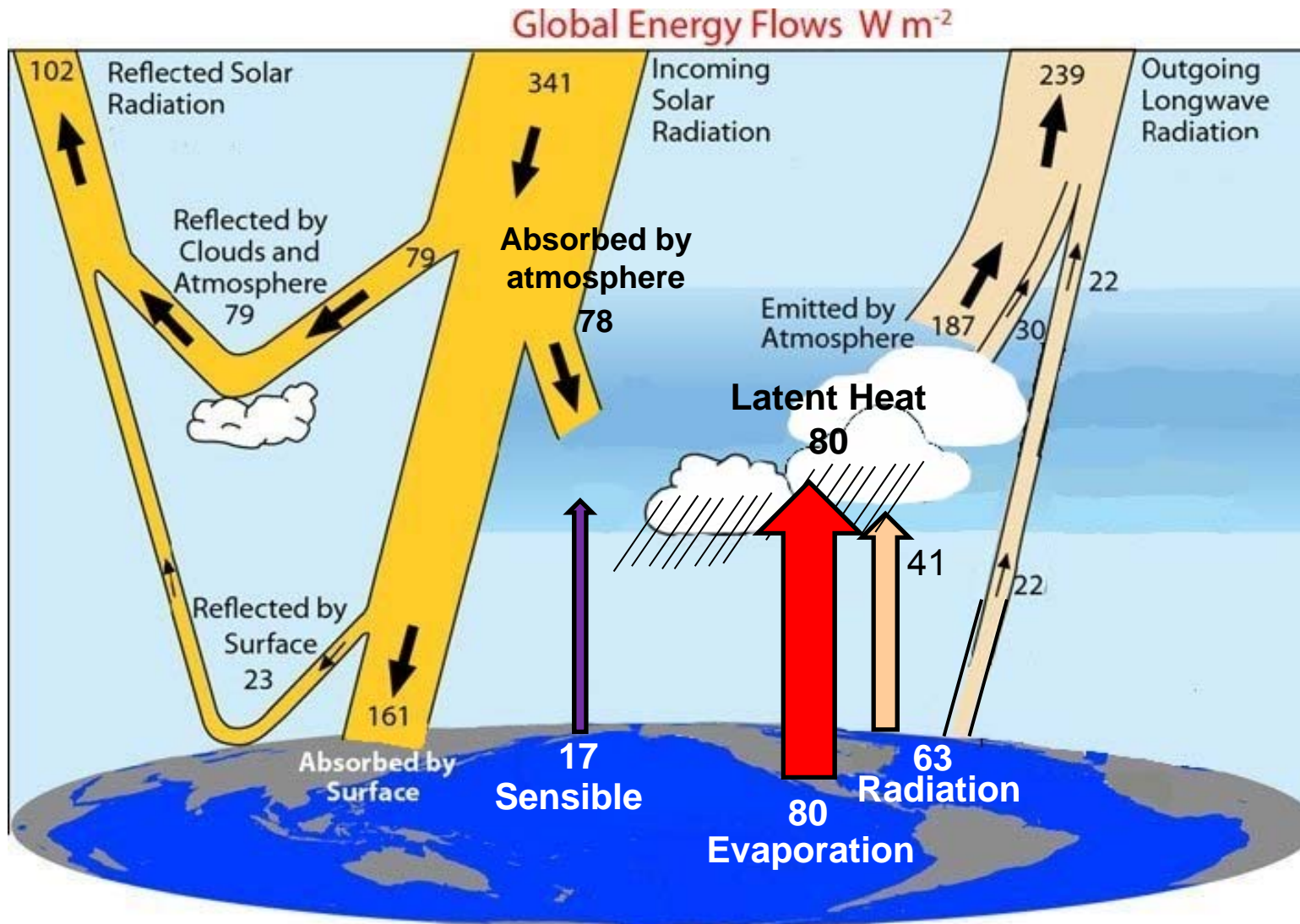
$$\Delta P/P (\%) \approx 1.5 \Delta T_s$$



- Changement moyen de précipitation n'est pas directement relié au changement moyen de vapeur d'eau
- Contrainte énergétique

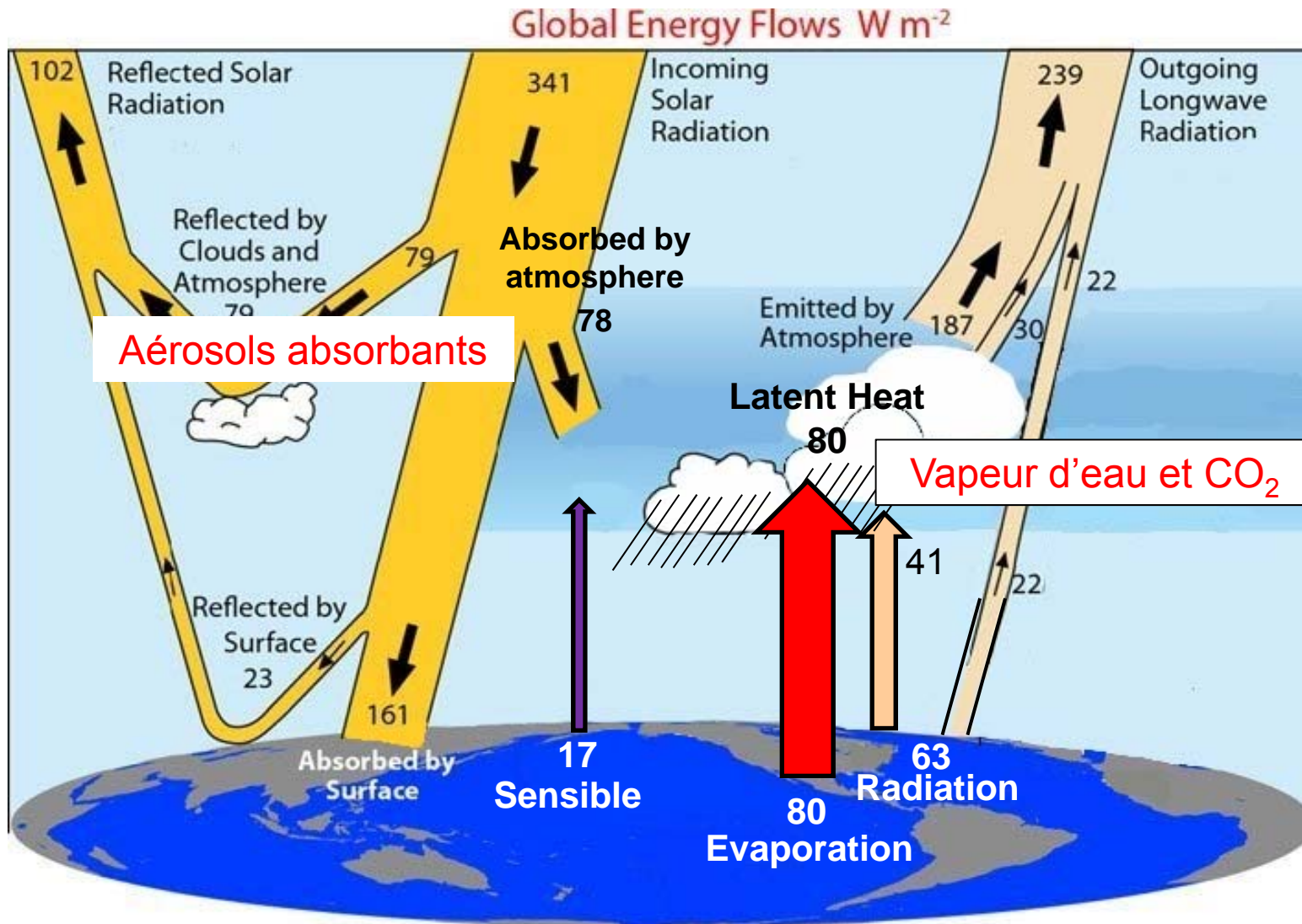
(Vecchi & Soden, 2007)

Changement de la moyenne des précipitations



Adapté de [Trenberth & Fasullo, 2012]

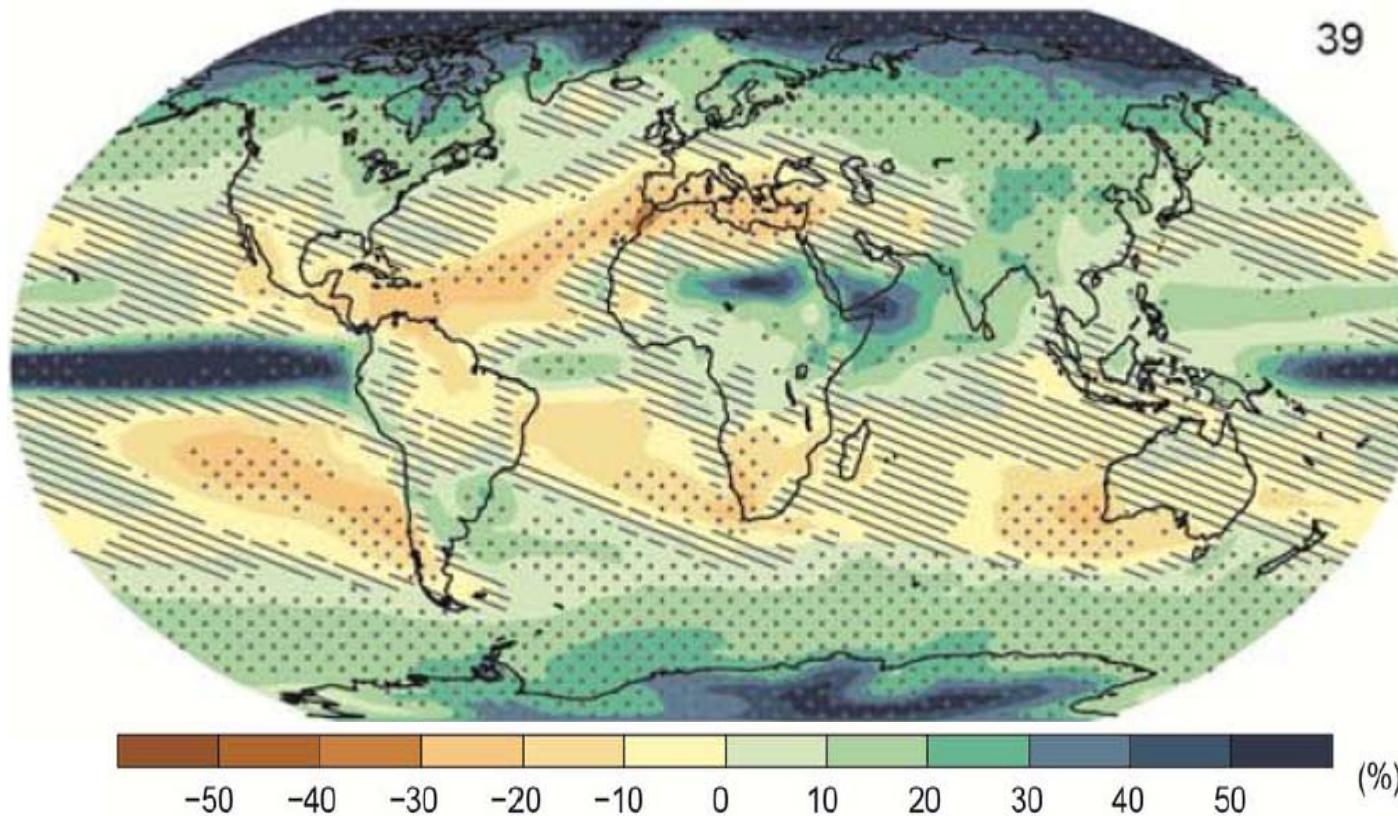
Changement de la moyenne des précipitations



Adapté de [Trenberth & Fasullo, 2012]

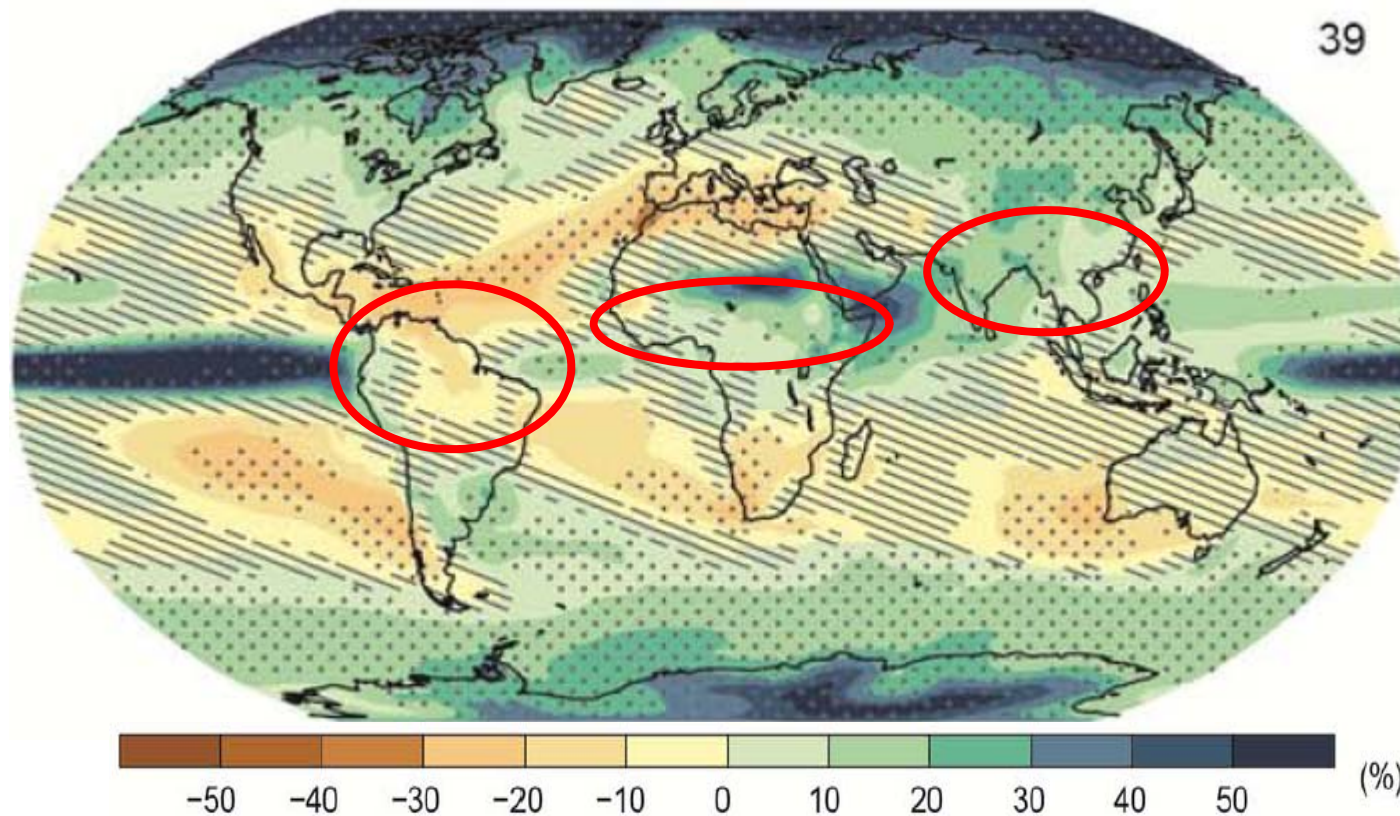
Changements des précipitations: distribution géographique

Changement relatif de précipitation, scénarios RCP8.5 (2081-2100)

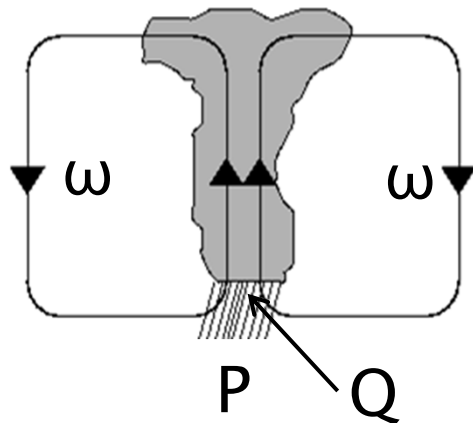
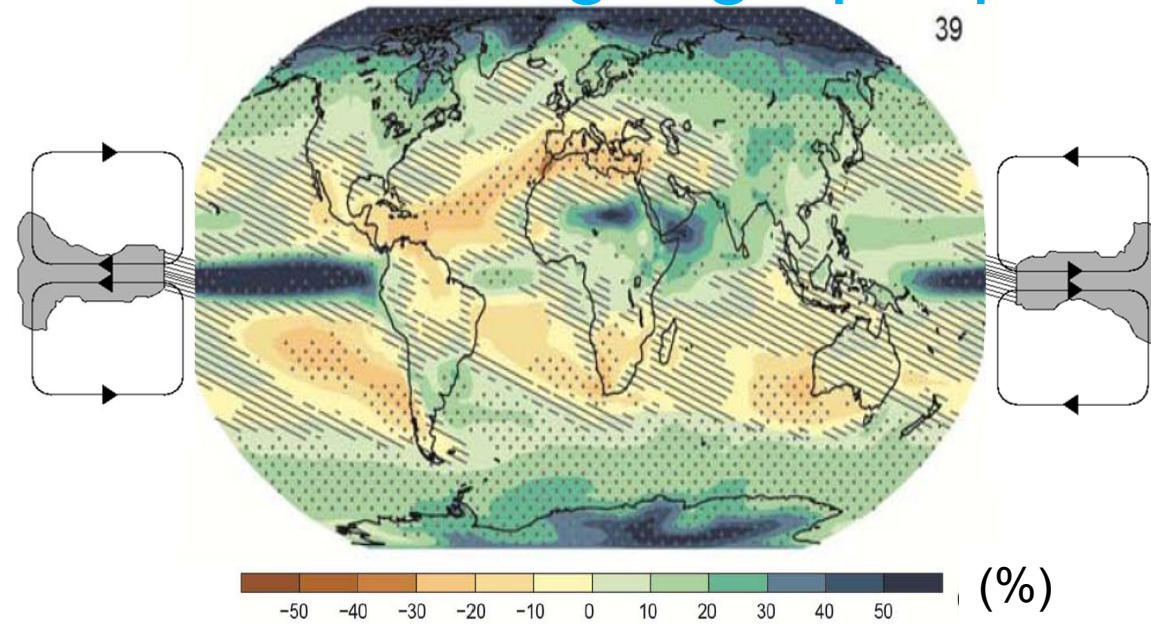


Changements des précipitations: distribution géographique

Changement relatif de précipitation, scénarios RCP8.5 (2081-2100)



Changements des précipitations: distribution géographique



Variation des précipitations

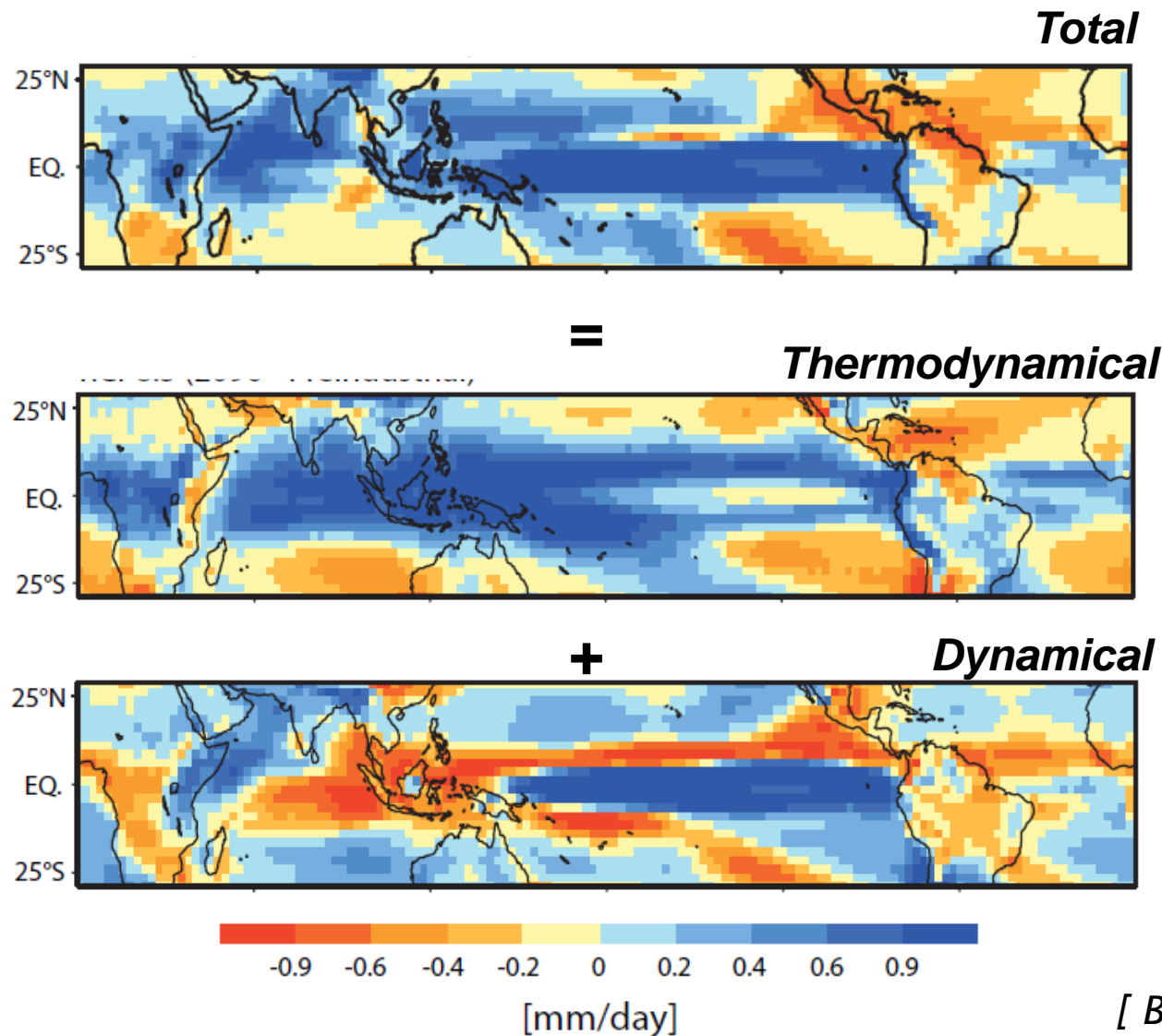
$$\Delta P \approx \omega \Delta Q + Q \Delta \omega$$

Variation
thermodynamique

Variation
dynamique

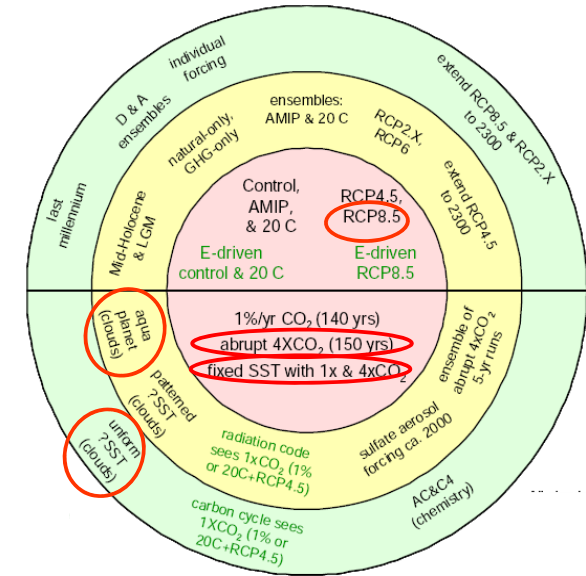
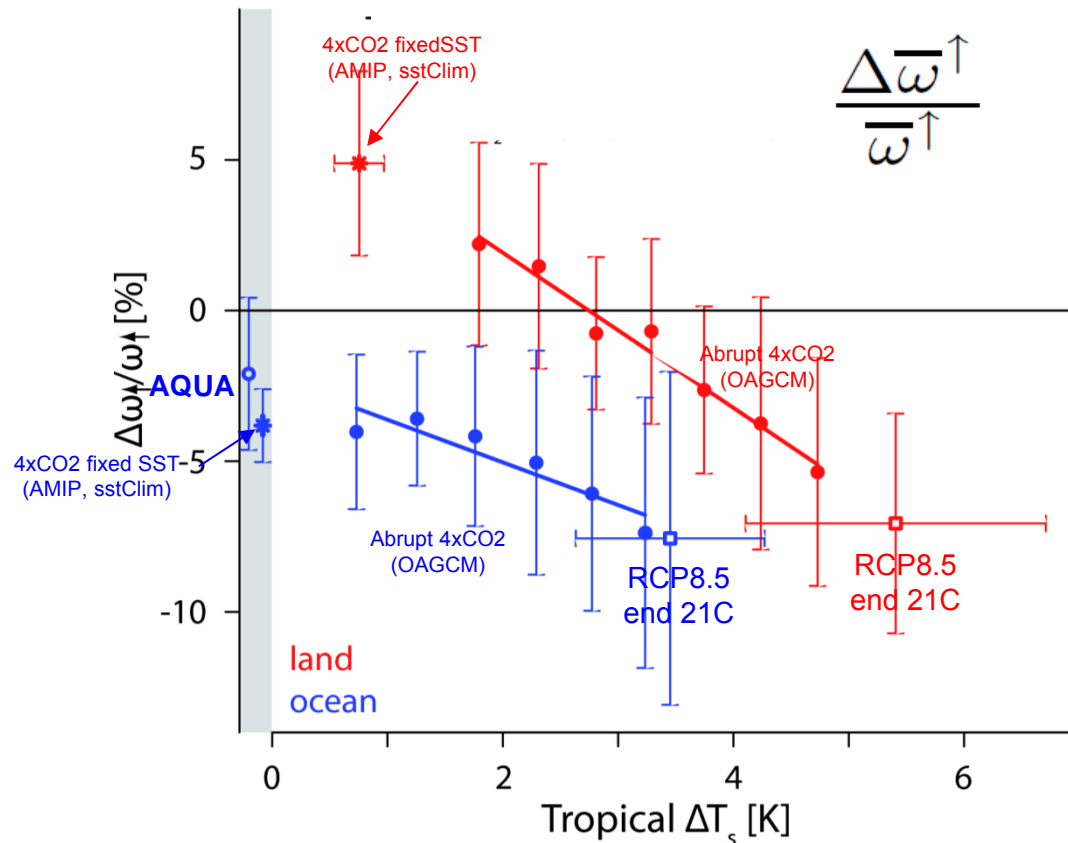
Tropical Precipitation Projections

RCP8.5 scenario at the end 21C
(or idealized abrupt4xCO₂, $\Delta T = 4K$)



Change in circulation (%) predicted by CMIP5 models ... in multiple models, experiments and configurations

Change in large-scale rising motion



- Abrupt 4xCO₂ in coupled ocean-atmosphere GCMs
- RCP 8.5 scenario at 4xCO₂
- * 4xCO₂ in atmosphere-only GCMs
- 4xCO₂ in aqua-planet atmosphere-only GCMs

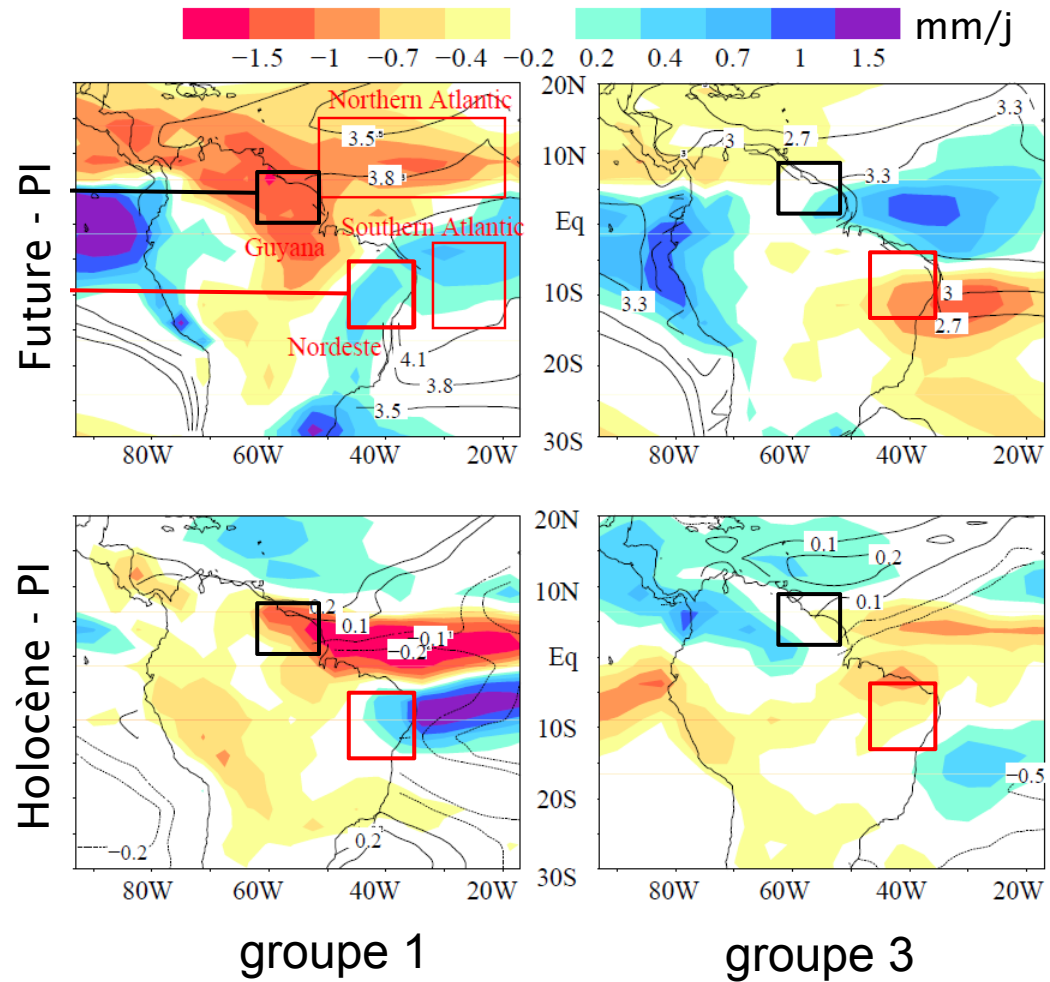
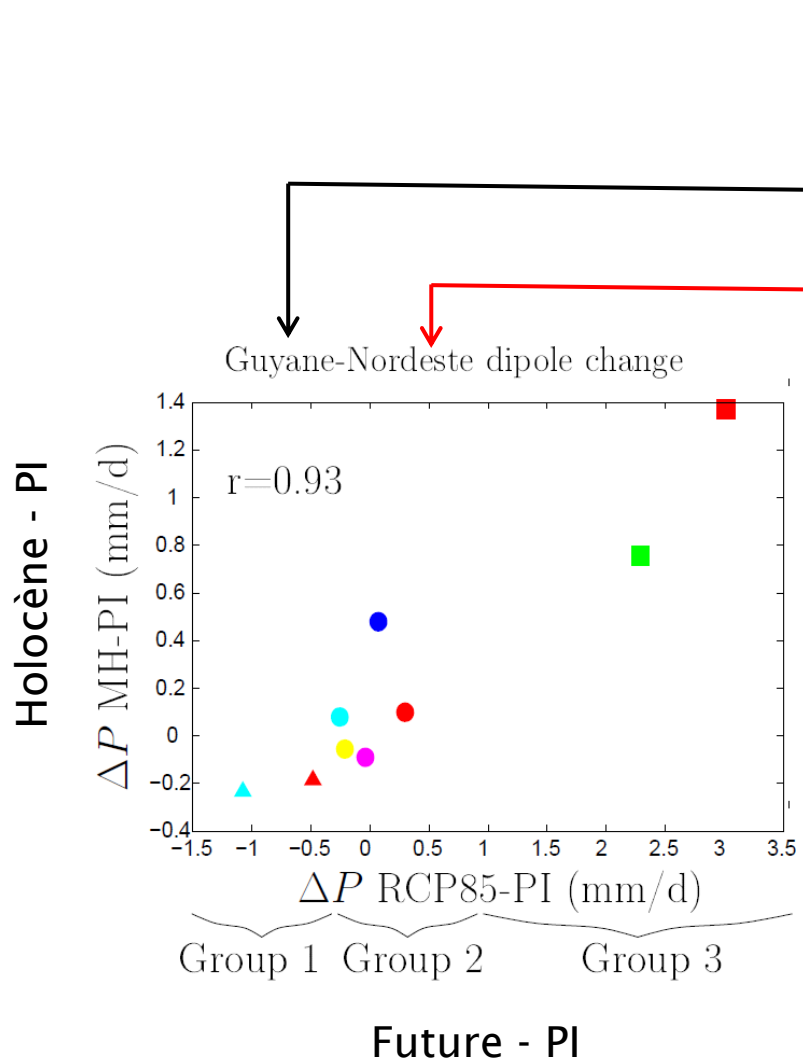
Changement de circulation:

- Réponse directe au CO₂
- Réponse à la température

[Bony et al., 2013]

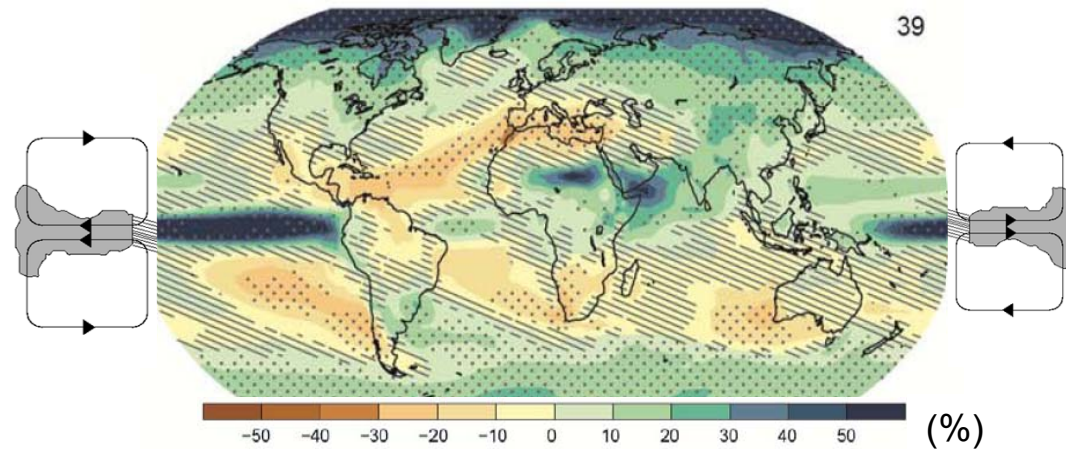
Changement de précipitations

Holocène moyen - préindustriel - future (RCP8.5)

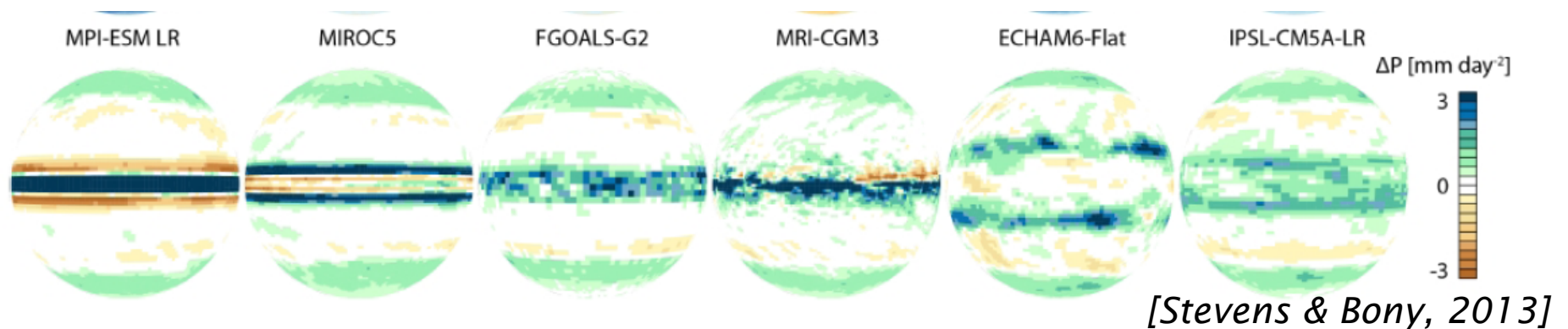


[Schmidt et al, 2013]

Changements de précipitations



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)

Plan

I. Contexte et aperçu du projet CMIP5

II. Aperçu général des résultats

III. Changements climatiques

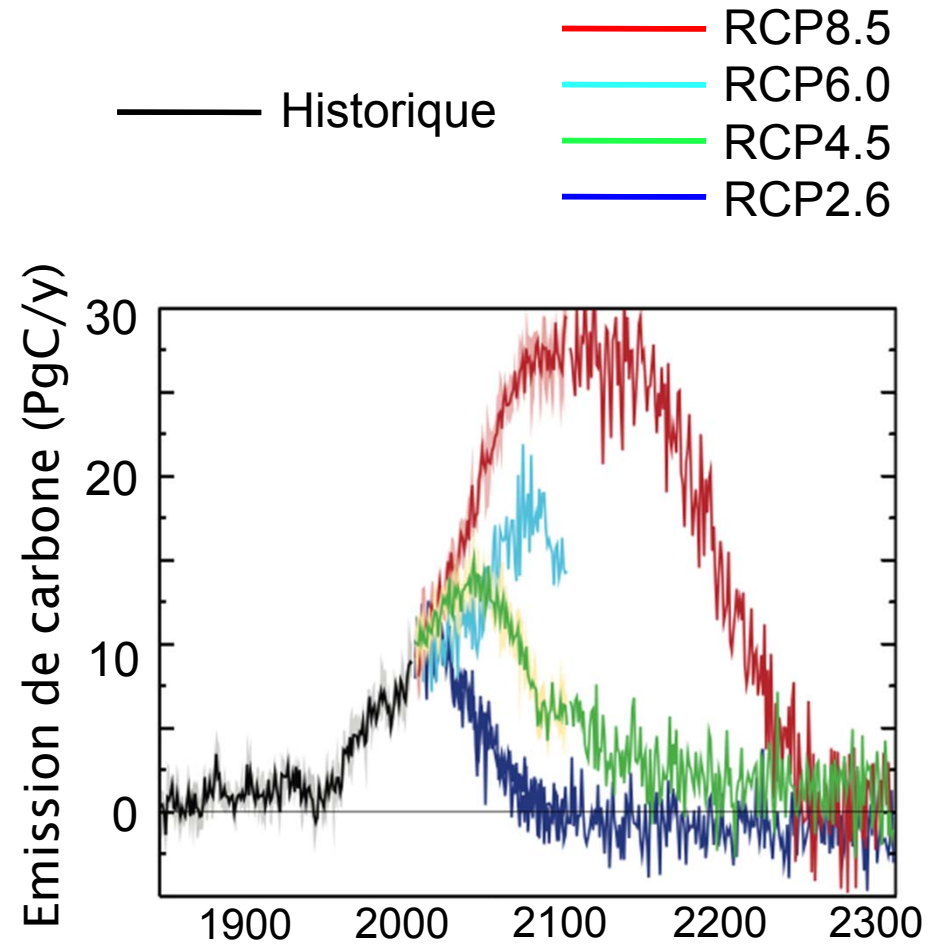
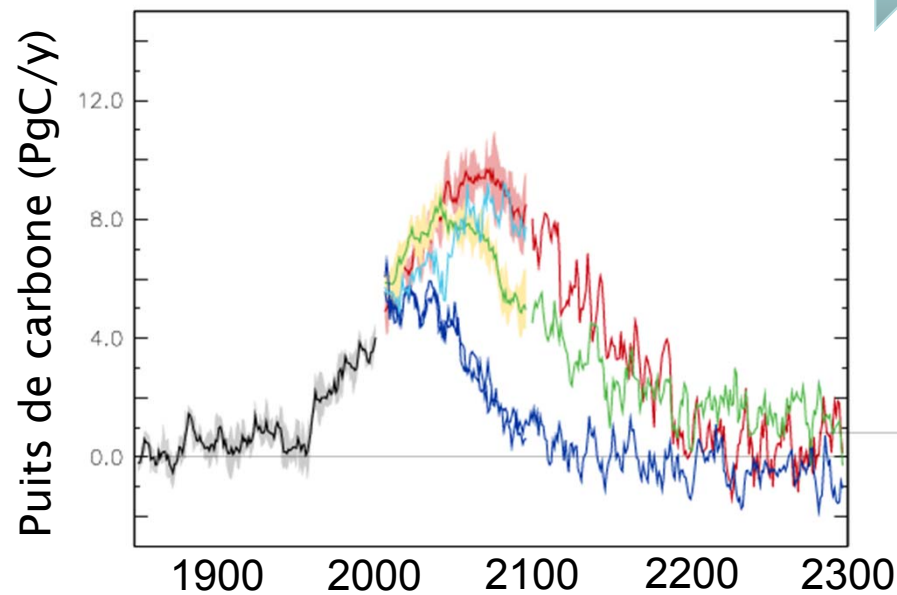
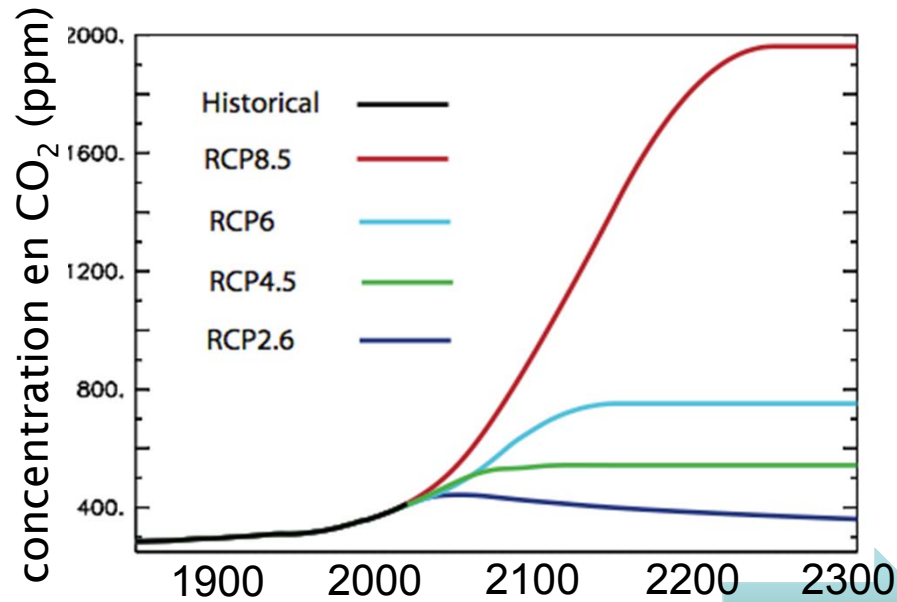
a) Précipitations

b) Cycle du carbone

c) Amplitude du réchauffement

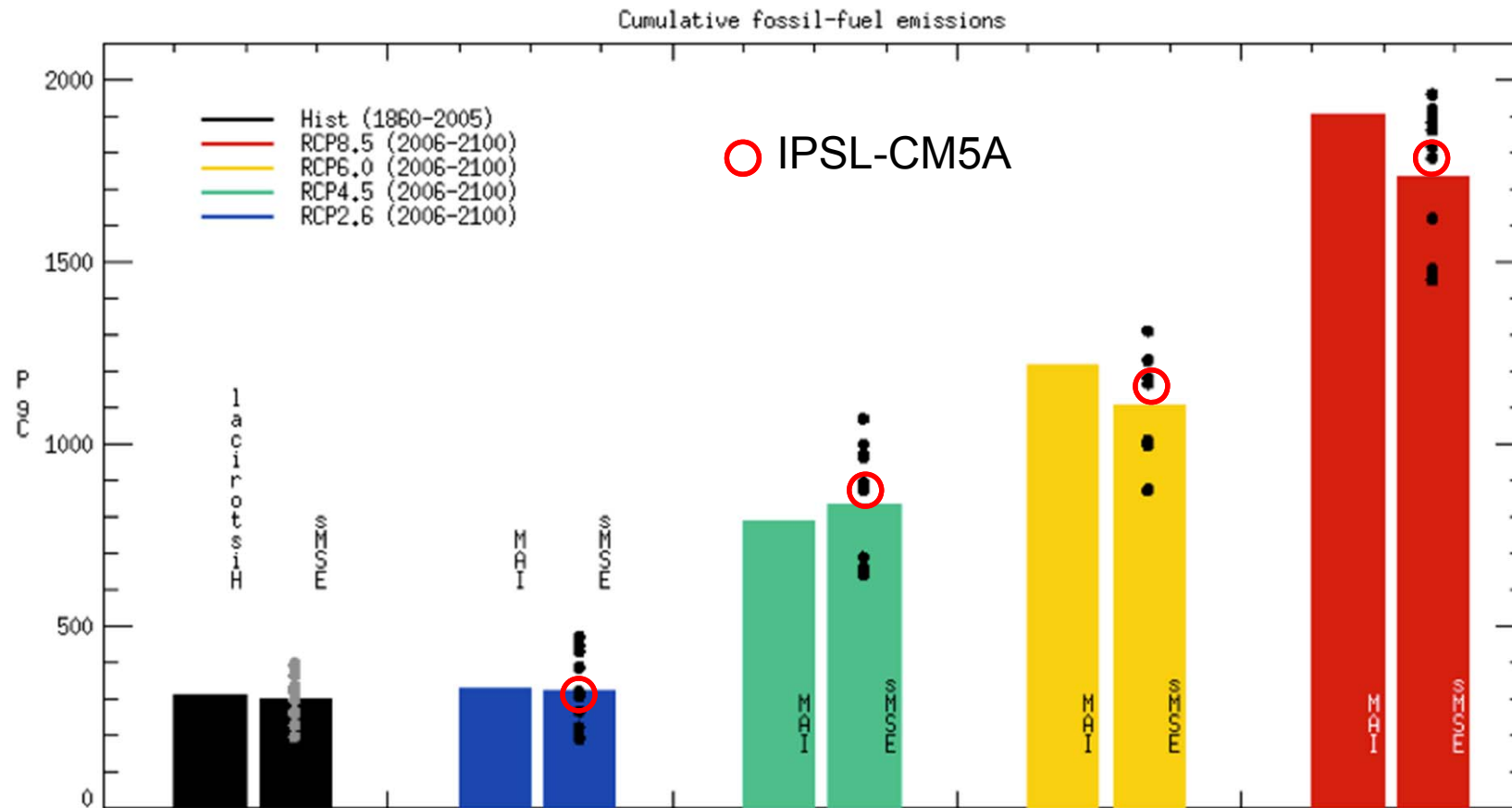
IV. Conclusion

Les émissions autorisées de CO₂ avec IPSL-CM5



Les Emissions autorisées : Multi-modèle

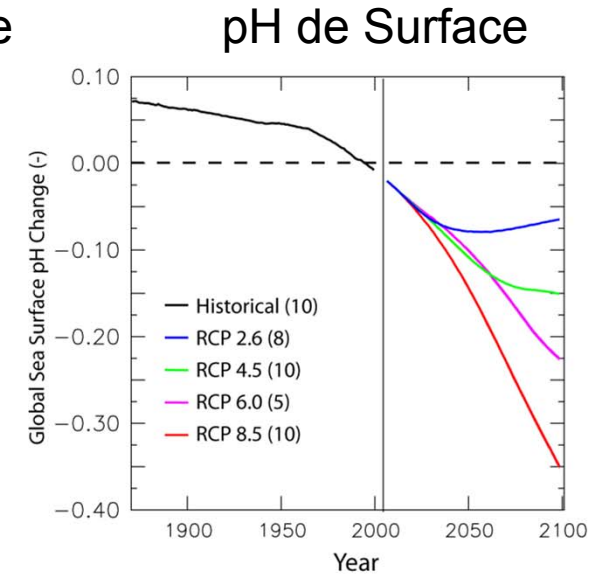
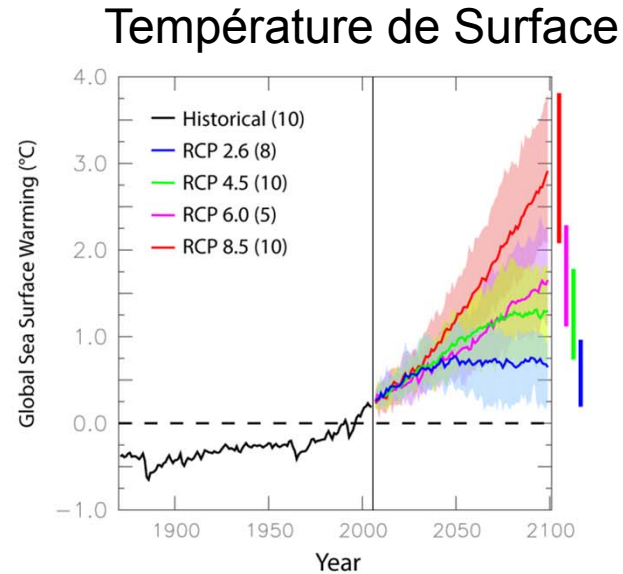
Calcul des émissions autorisées pour les 4 scénarios et 9 modèles système-Terre



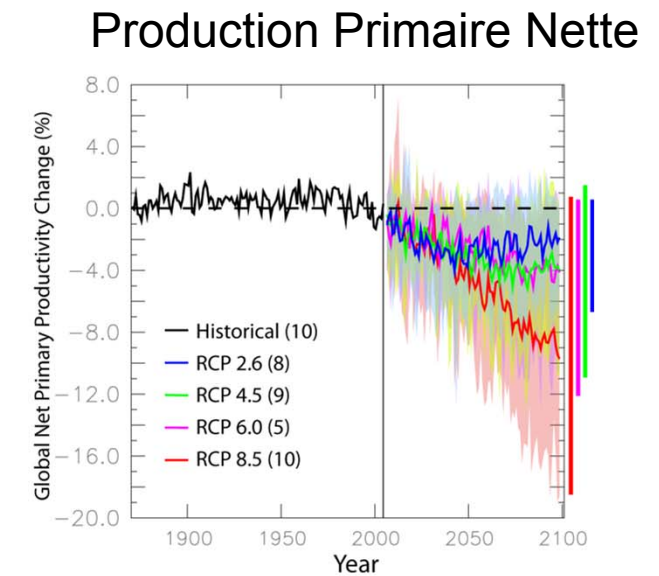
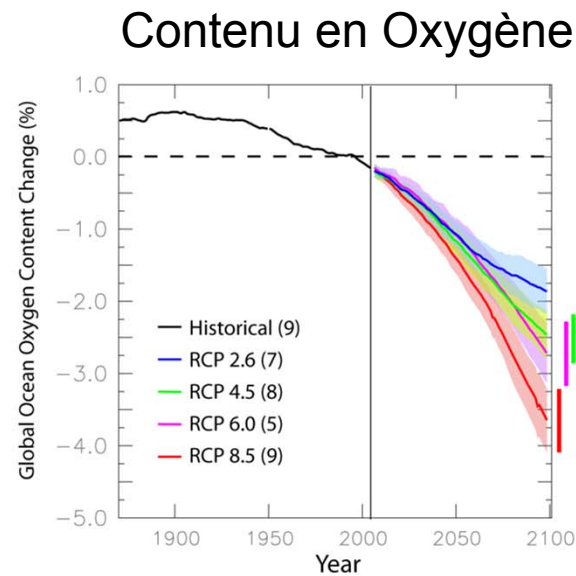
Jones et al. in press

Impacts du changement climatique sur les écosystèmes marins : Multi-modèle

Des eaux de surface plus chaudes...
et plus acides

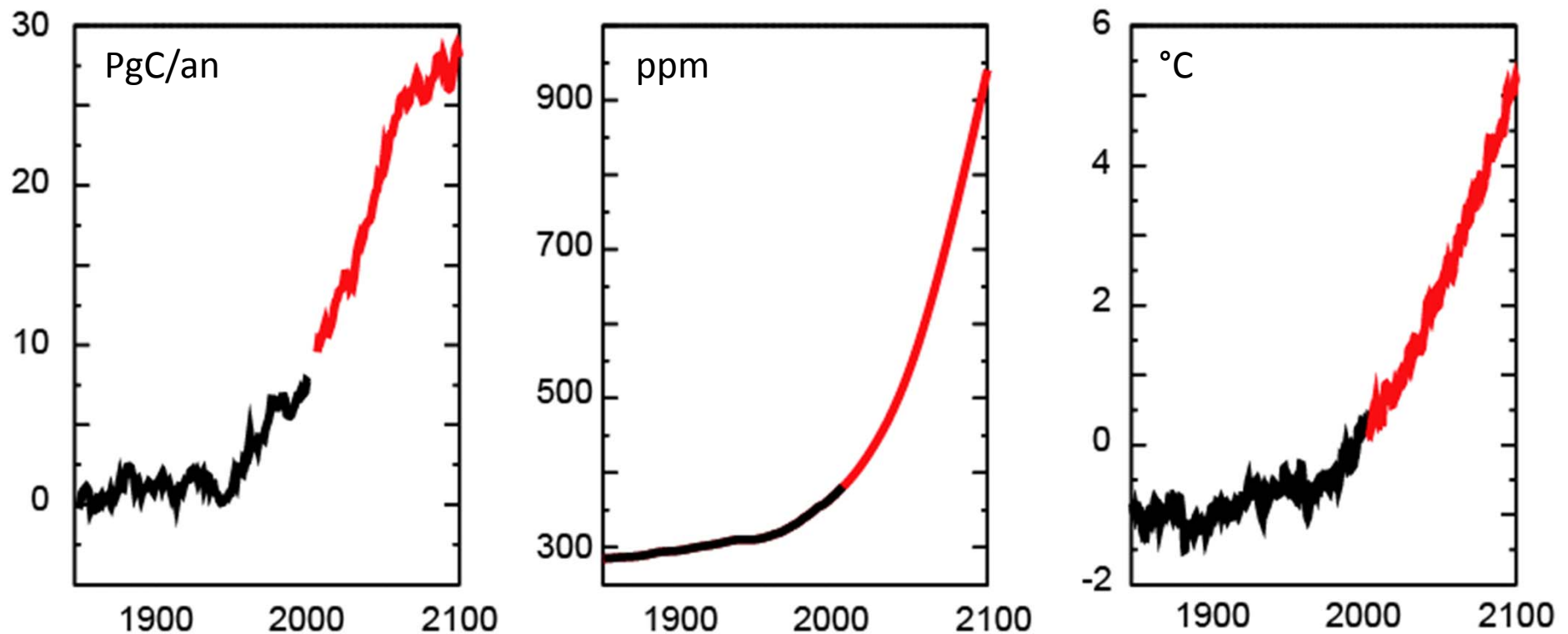


Moins d'oxygène et
moins de production
primaire



Emissions de Carbone, Concentrations atmosphérique de CO₂, Température moyenne

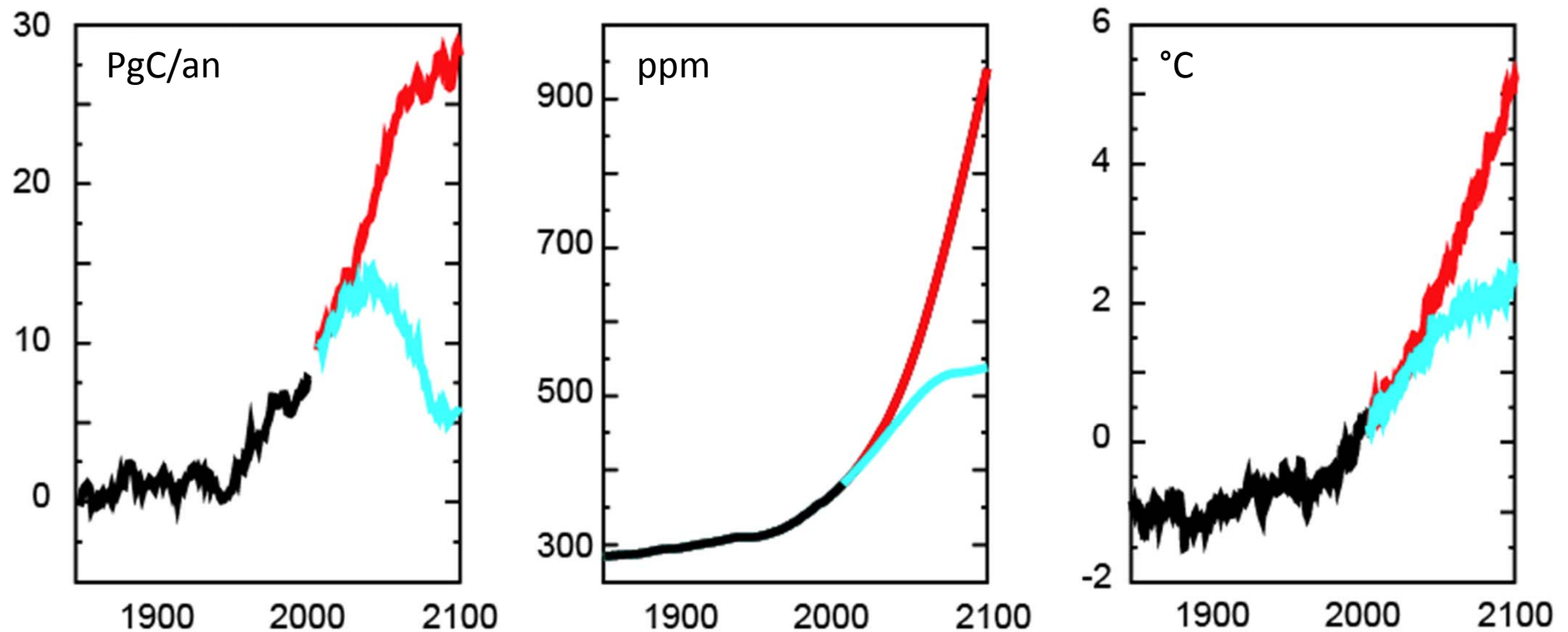
>> **Scénario Haut** : les émissions, les concentrations et les températures augmentent



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

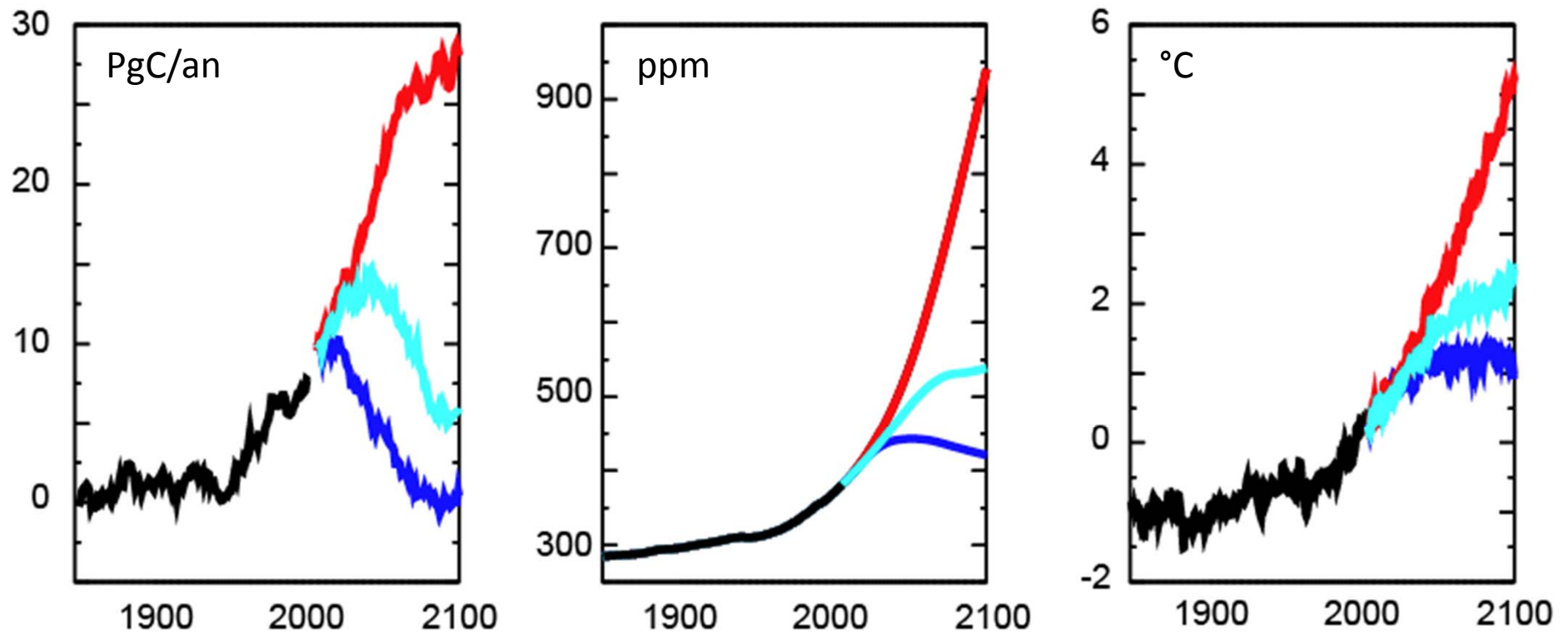


Emissions de Carbone, Concentrations atmosphérique de CO₂, Température moyenne

>> **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 continuent 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.



Plan

I. Contexte et aperçu du projet CMIP5

II. Aperçu général des résultats

III. Changements climatiques

a) Précipitations

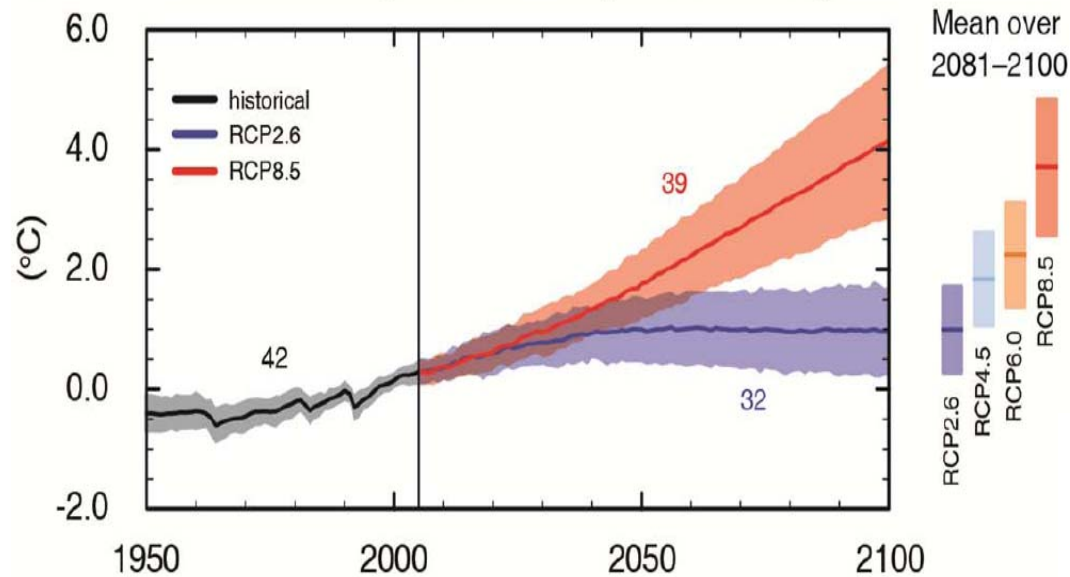
b) Cycle du carbone

c) Amplitude du réchauffement

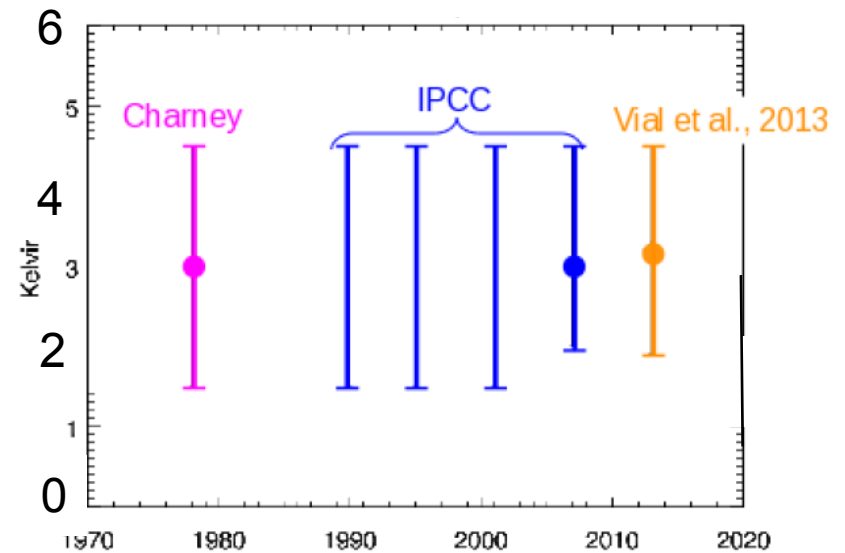
IV. Conclusion

Amplitude du réchauffement

Réchauffement pour différents scénarios



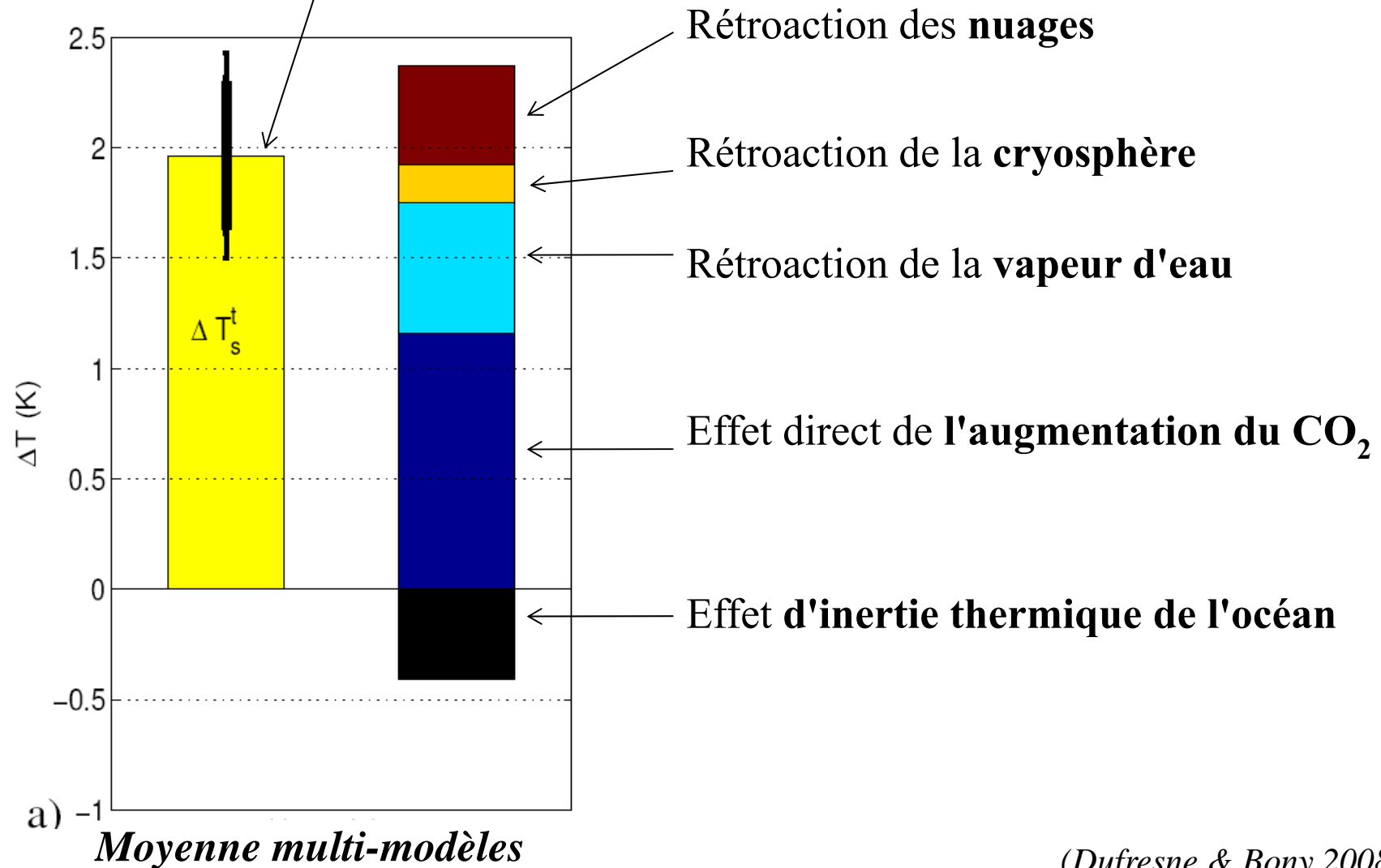
Réchauffement pour un doublement de CO2



L'incertitude de l'amplitude du réchauffement ne se réduit pas malgré l'importance de cette grandeur

Amplitude du réchauffement

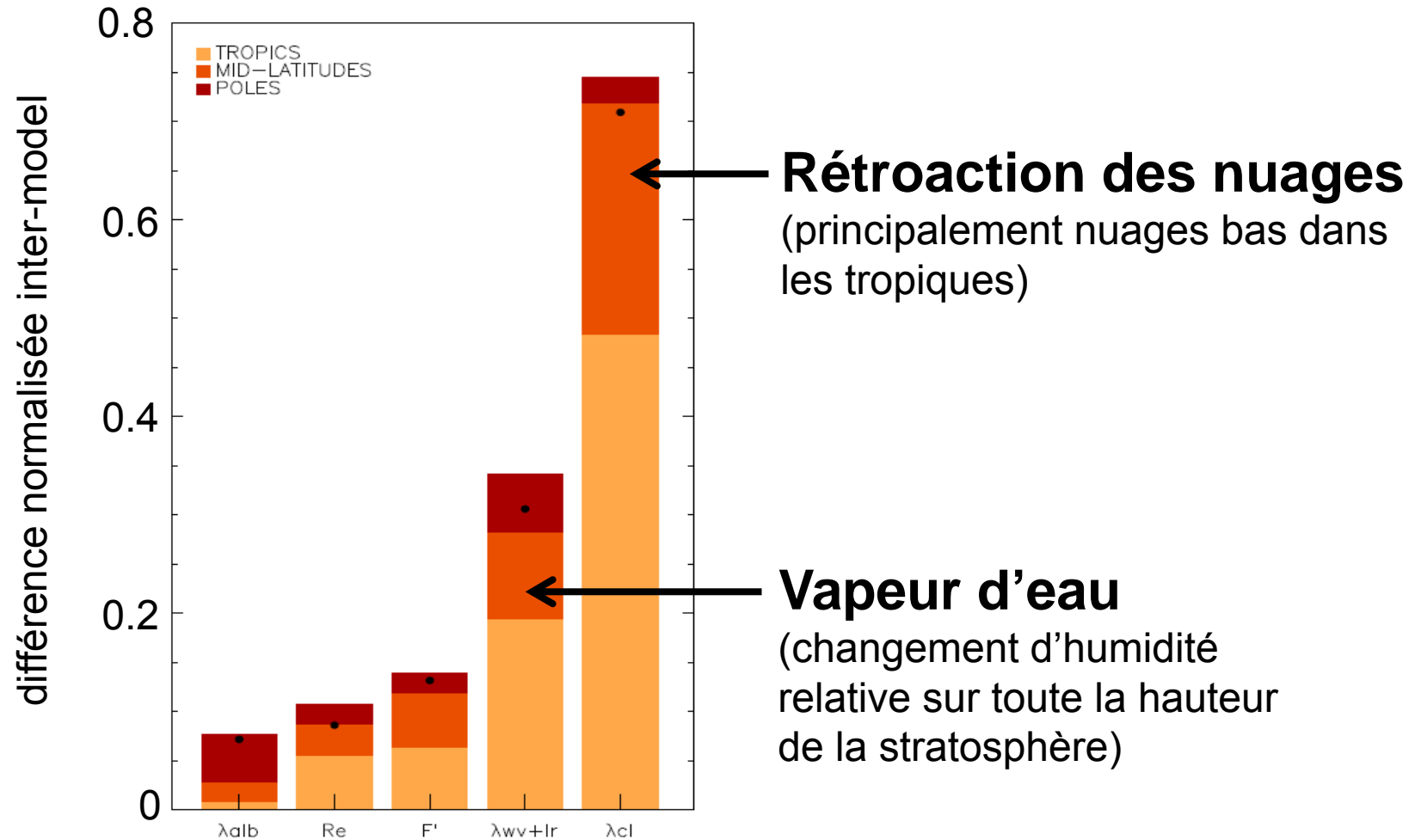
Réchauffement global pour un doublement de CO₂ en 70 ans



(Dufresne & Bony 2008)

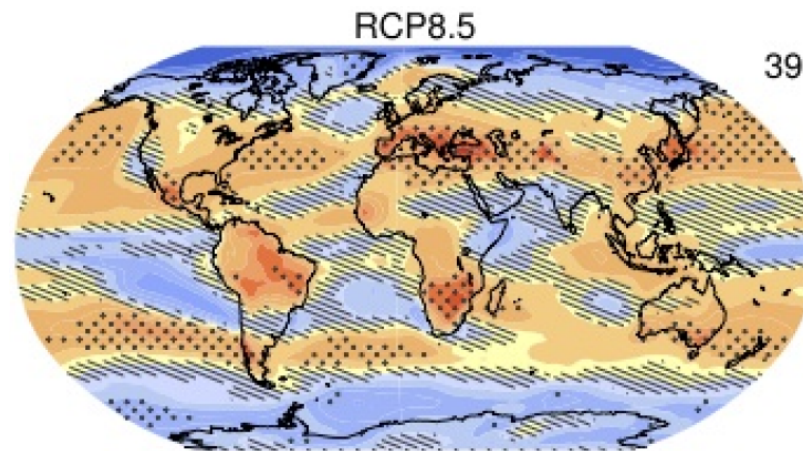
Amplitude du réchauffement

Origines de la dispersion entre les modèles



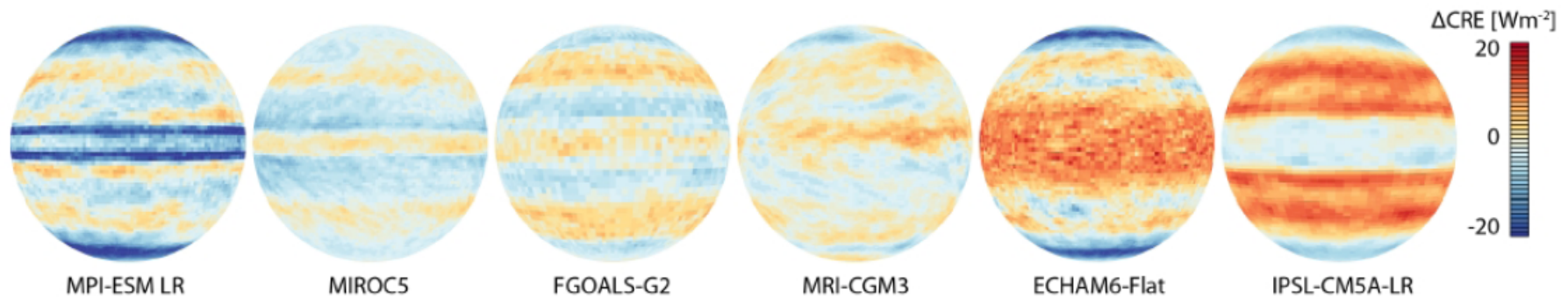
(Vial et al. 2013))

Amplitude du réchauffement



Changement de la fraction nuageuse

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]

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

Conclusion

- La 5^{ème} phase du projet de comparaison de modèles CMIP5 a permis de réaliser un ensemble sans précédent de simulations climatiques
- Expériences et diagnostics dédiés à la comparaison:
 - aux **observations** (dont paléoclimat)
 - à des **modèles théoriques** (configurations idéalisées)
- Passage de l'analyse de 1 (ou quelques) expérience(s) numériques à celle **d'un ensemble d'expériences** (différentes perturbations, configuration de modèles, conditions aux limites...)
 - permet l'identification et à la compréhension des **résultats robustes de ceux incertains**
 - permet d'avancer sur la **compréhension** du système climatique

Conclusion

- La prise en compte de **nouveaux processus ou couplages** permet une approche plus cohérente, la réponse à de nouvelles questions
- Alimentera les communautés scientifiques et des applications commerciales pendant plusieurs années
- **Les exigences et les besoins croissent**
- **De fortes limitations persistent:**
 - **des biais** sur la climatologie de références (des progrès, mais lents)
 - **dispersion sur la réponse** de grandeurs climatiques, même « de base » (amplitude du réchauffement, changements de précipitations...)
- Importance de renforcer les « **fondations** » de la modélisation du climat

An aerial photograph of a vast, snow-covered mountain range under a clear blue sky. The snow is bright white, contrasting sharply with the deep blue of the sky. The mountains are rugged and layered, with some peaks appearing more prominent than others. The text "Merci de votre attention" is centered in the middle of the image in a black, sans-serif font.

Merci de votre attention

Les soutiens qui nous ont permis de réaliser CMIP5

Laboratoires



LSCE

Tutelles



Moyens de calcul



Projets



LEFE- INSU

