

Les effets des activités humaines sur le climat

Jean-Louis Dufresne

Pôle de modélisation de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)
Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)

dufresne@lmd.jussieu.fr
www.lmd.jussieu.fr/~jldufres

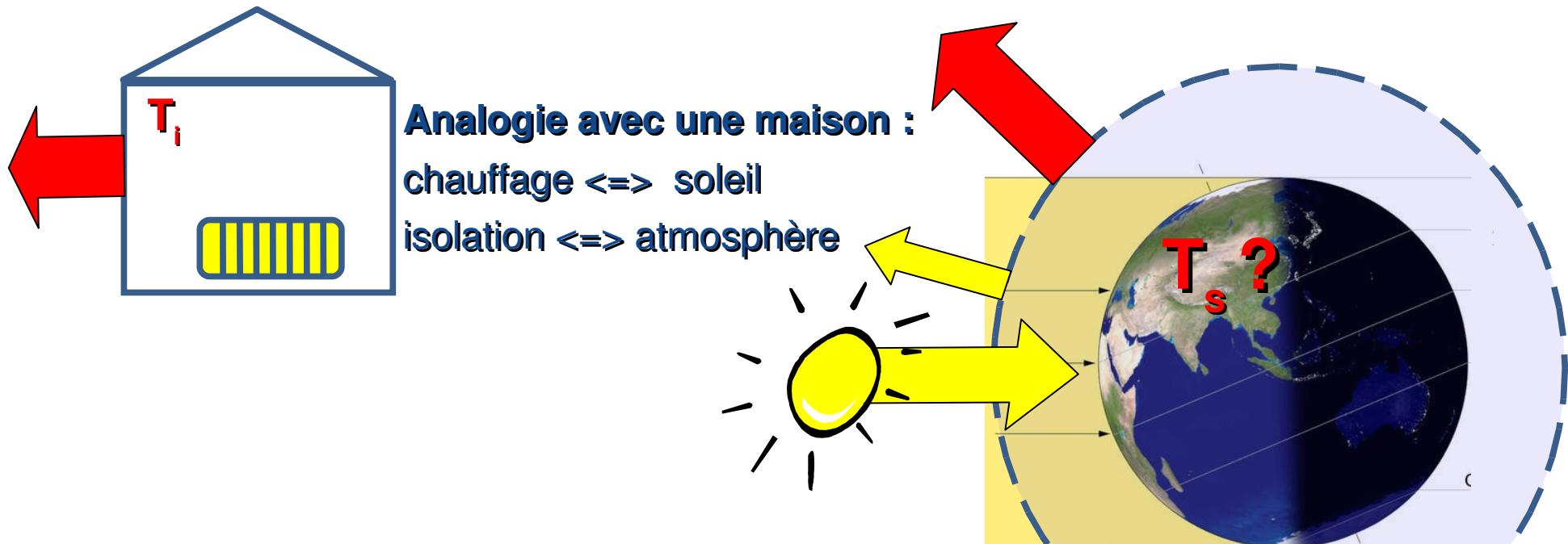
Les changements climatiques: une prévision théorique

19^{ème} siècle: découverte de “l'effet de serre” de
l'atmosphère



J. Fourier

Température moyenne T_s à la surface de la terre



Les changements climatiques: une prévision théorique ancienne

19^{ème} siècle: découverte de “l'effet de serre” de l'atmosphère



J. Fourier

Début du 20^{ème} siècle: hypothèses:

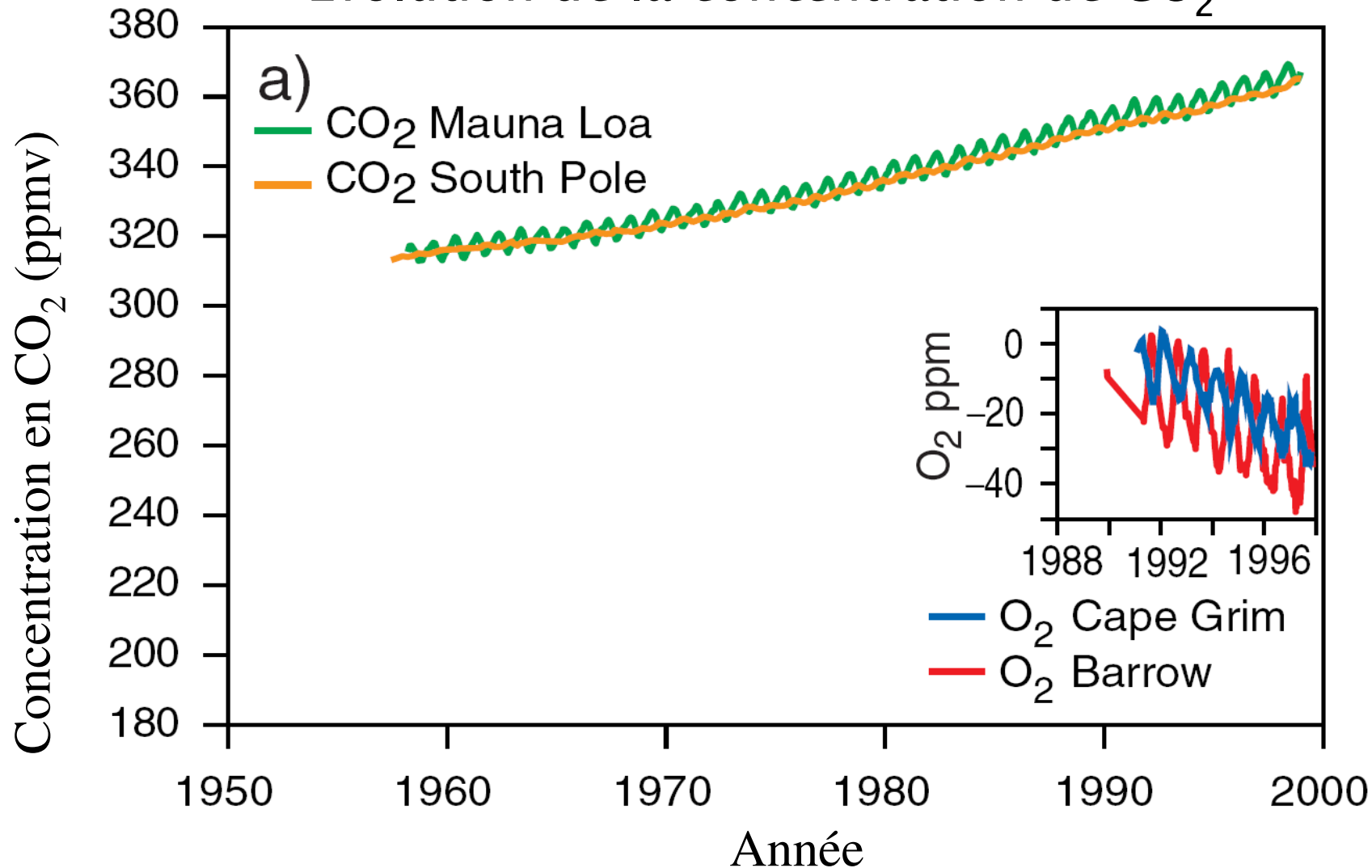
- les changements du CO₂ dans le passé ont pu influencer le climat
- les activités humaines peuvent entraîner un accroissement du CO₂ atmosphérique, ce qui modifiera le climat



S. Arrhenius

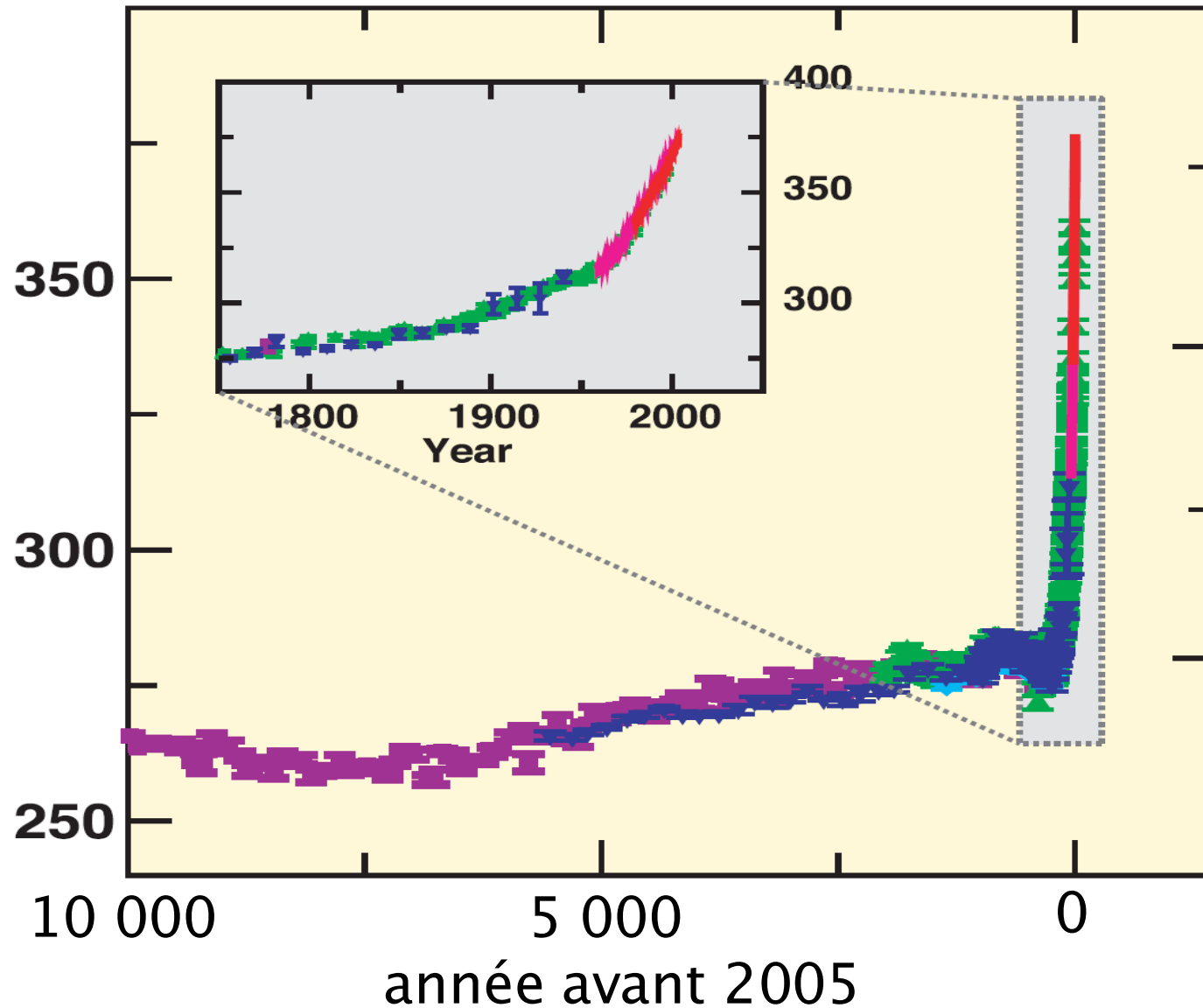
Les changements dues aux activités humaines: une observation récente

Évolution de la concentration de CO₂

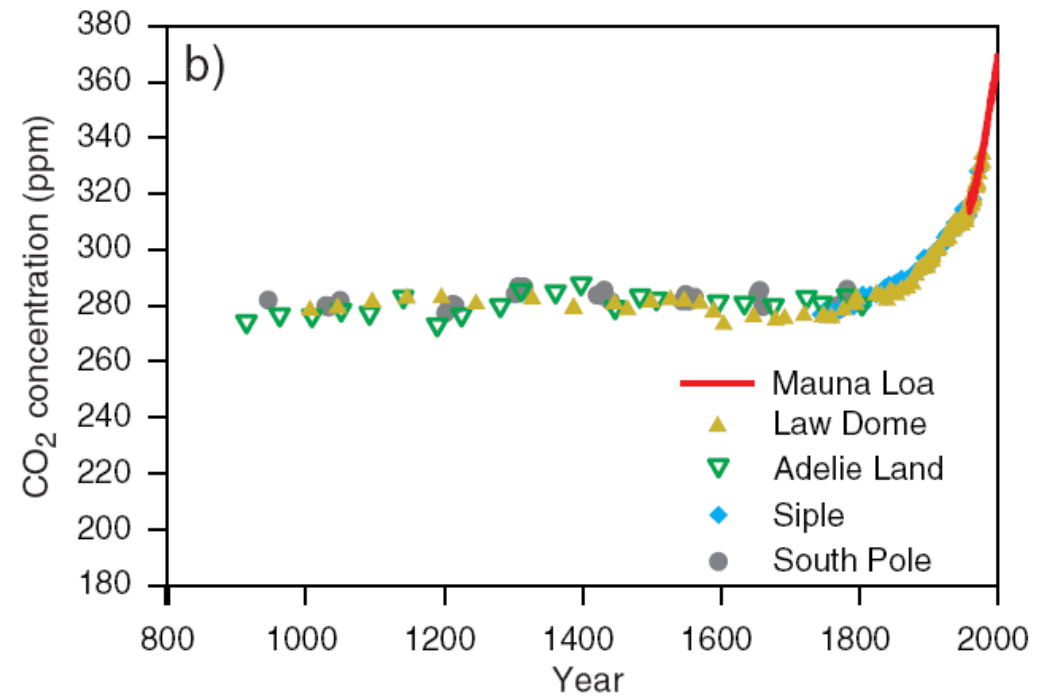
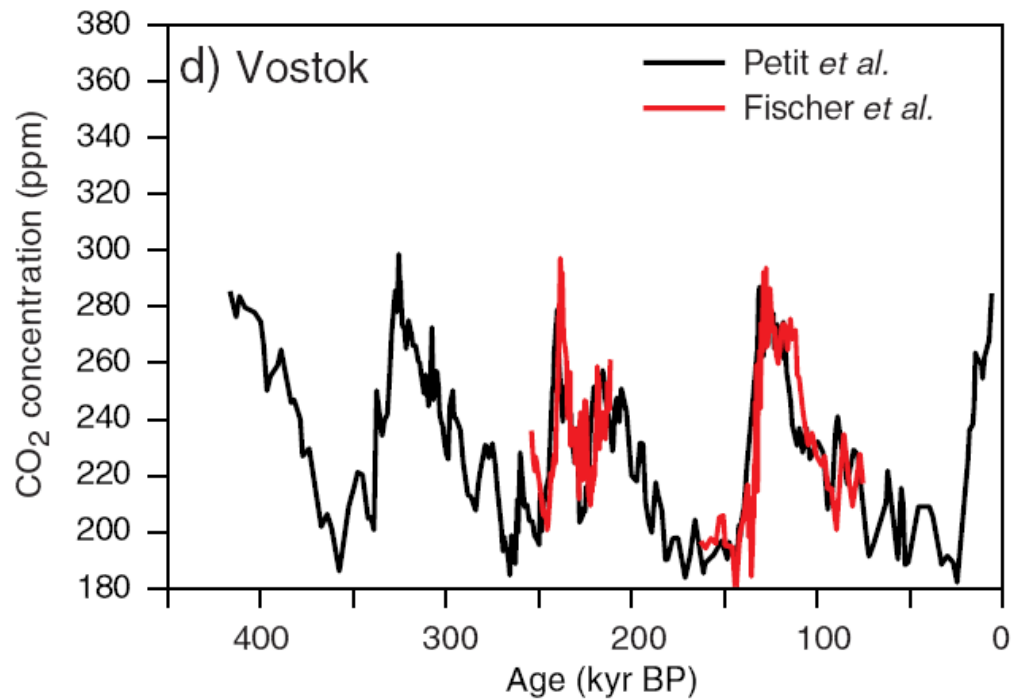


Les changements dues aux activités humaines: une observation récente

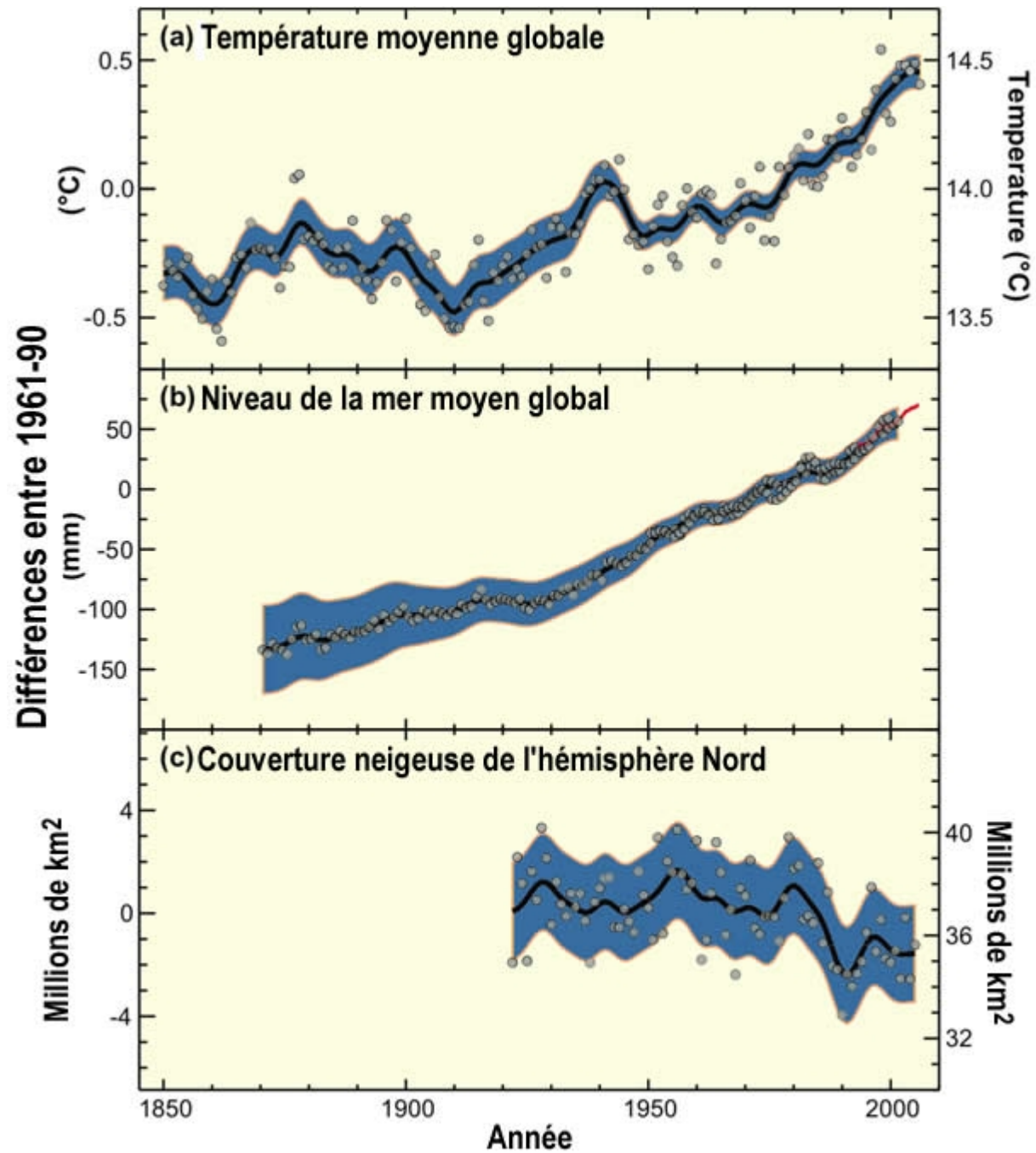
Évolution de la concentration de CO₂



Les variations récentes aux regards des variations passées.

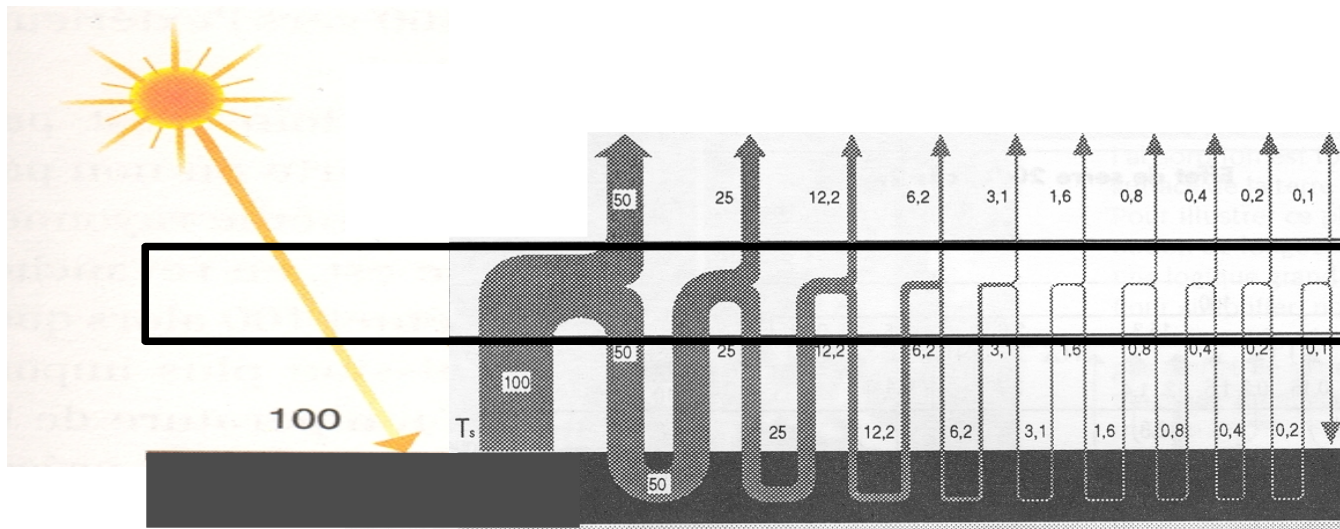
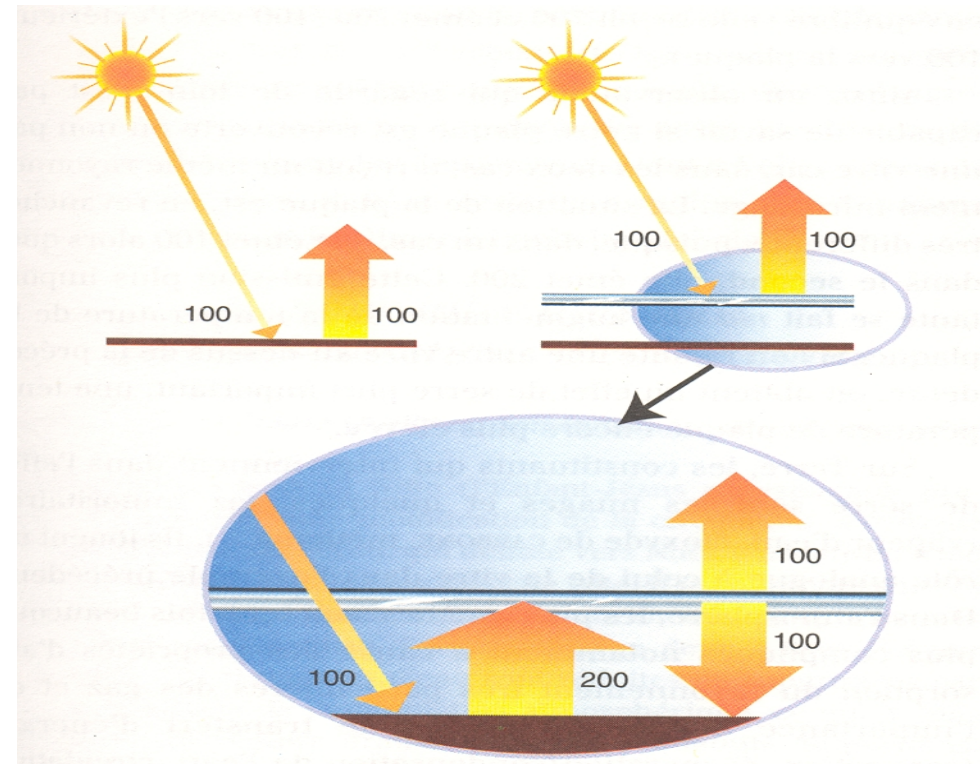


Variations climatiques à l'échelle globale



Principe de l'effet de serre

Une vitre opaque au rayonnement infrarouge couvre une surface éclairé par le soleil

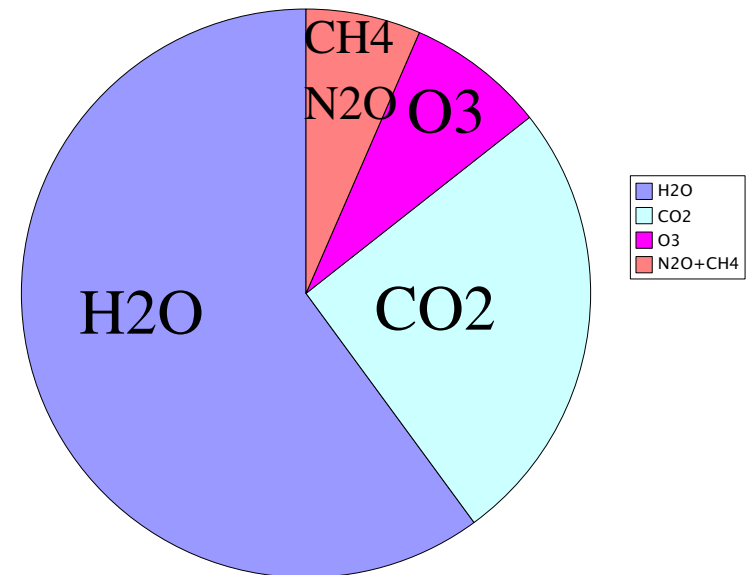


Principaux gaz à effet de serre

Effet de serre ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$):

Vapeur d'eau	75	60%
CO_2	32	26%
ozone	10	8%
$\text{N}_2\text{O}+\text{CH}_4$	8	6%

Contribution à l'effet de serre



Pourquoi utiliser des modèles climatiques ?

Réchauffement global:

- une prévision théorique
- une indication des observations
- y a-t-il encore vraiment des questions?

=> ***Quels changements climatiques accompagnent ces changements de température?***

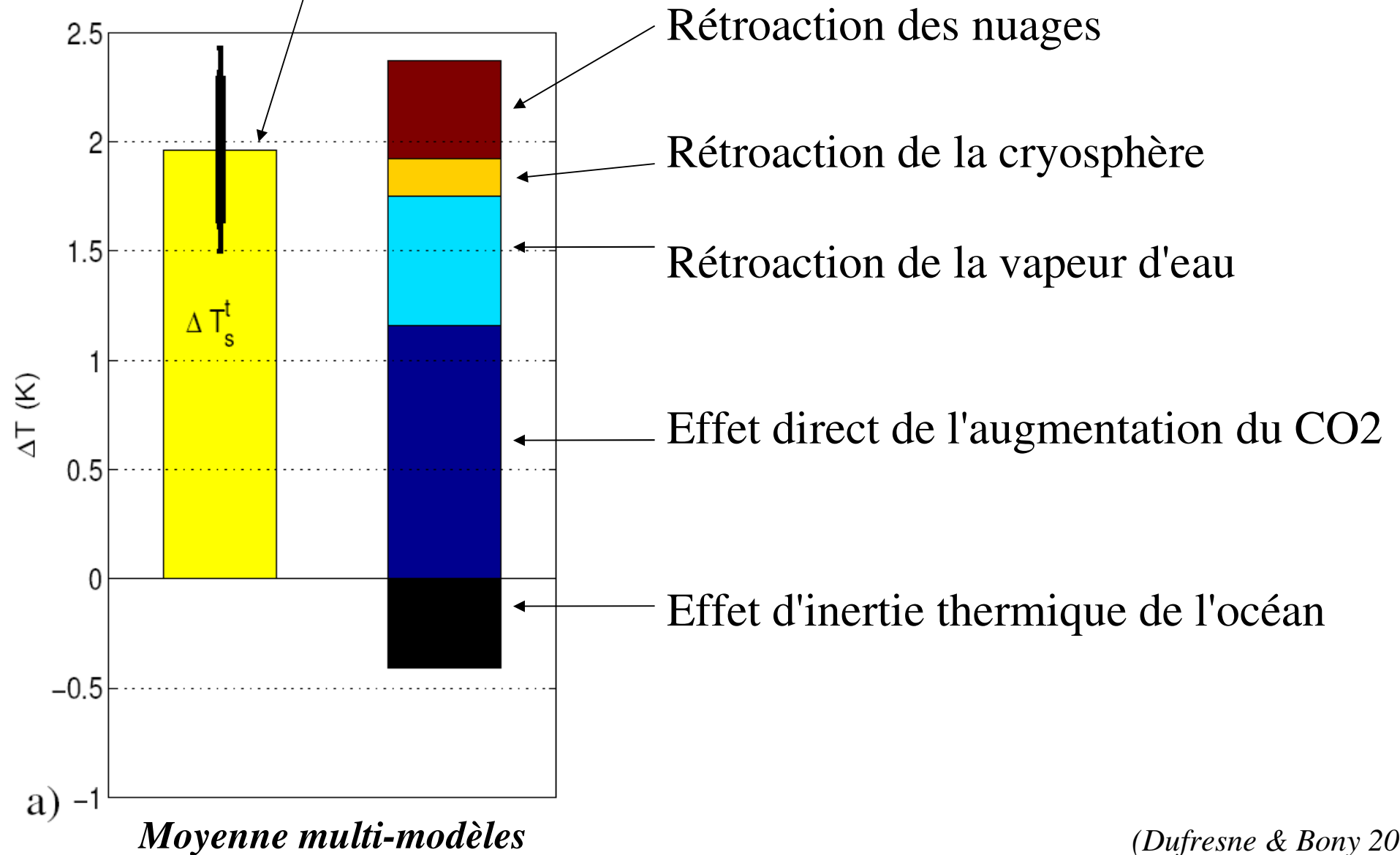
=> La théorie de l'effet de serre est simple... ***si le climat ne change pas.***

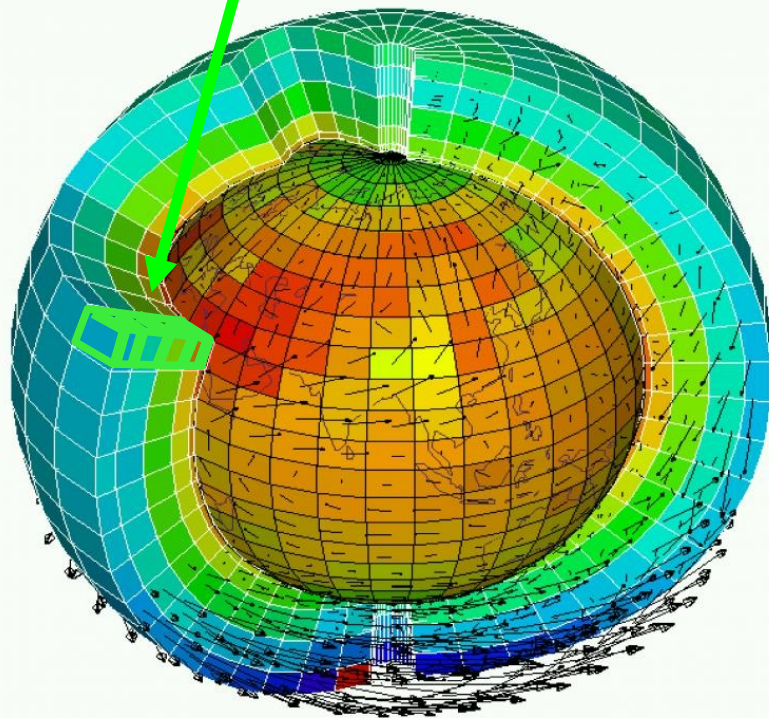
Par exemple, accroissement de température dû à une doublement de CO₂:

- si l'humidité *absolue* de l'atmosphère reste constante: 1.2°C
- si l'humidité *relative* de l'atmosphère reste constante: $\approx 2.5^\circ\text{C}$

Importances des rétroactions

Réchauffement global pour un doublement de CO₂





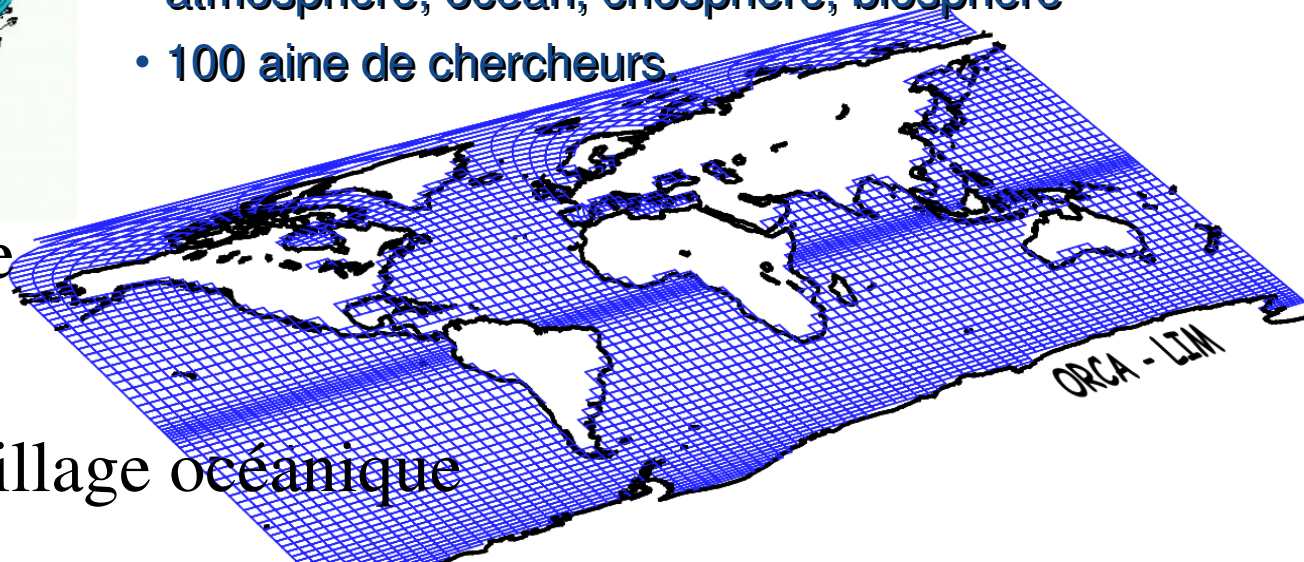
Maillage atmosphérique

Modélisation numérique du climat :

- basée sur les équations de la physique
- mise en oeuvre sur un ordinateur (dimension finie)
- Importance des processus sous-maille (nuages, ...)

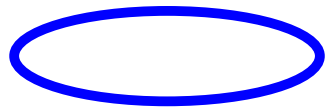
Modèle de climat de l'IPSL :

- atmosphère, océan, cryosphère, biosphère
- 100 aine de chercheurs

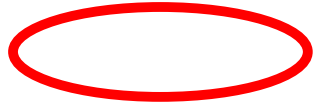


Maillage océanique

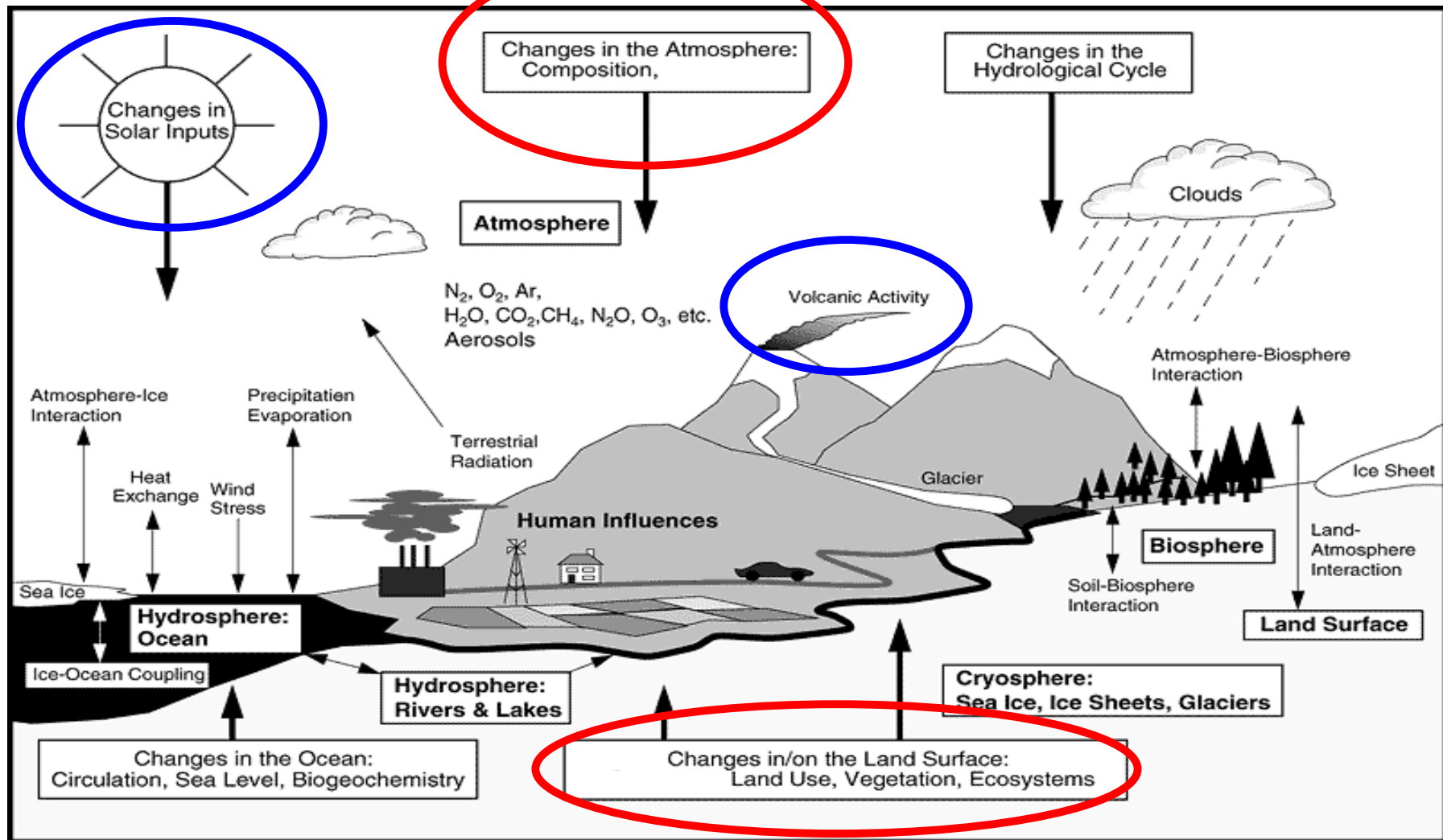
Les perturbations du climat



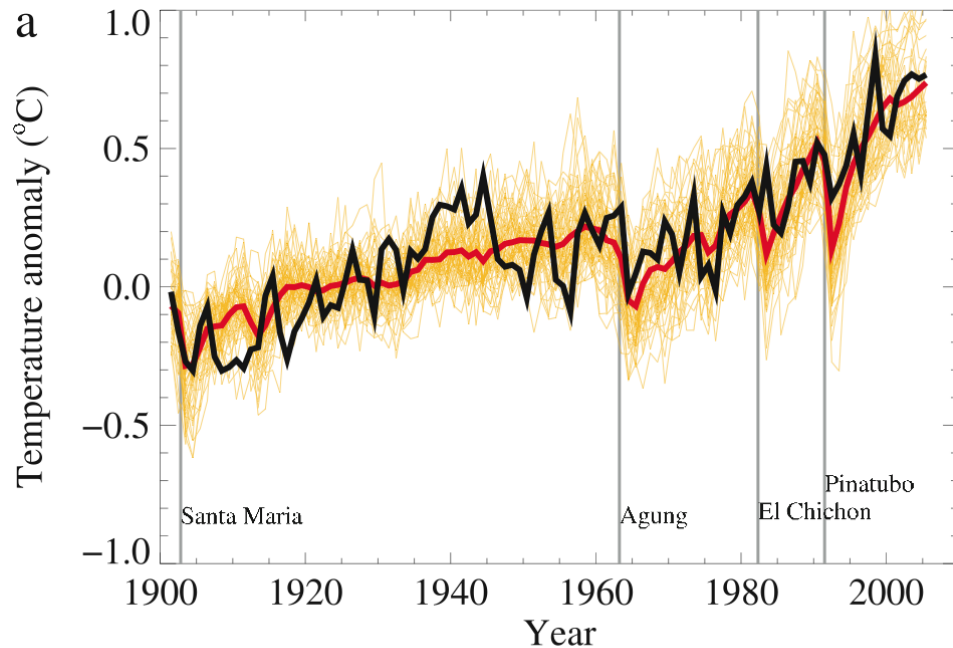
naturelles



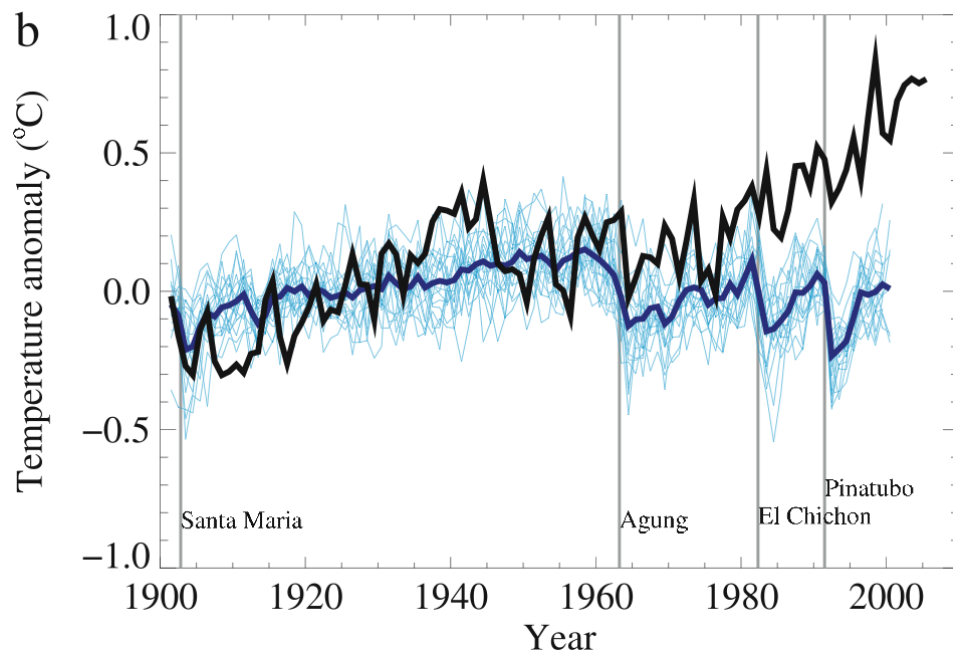
anthropiques



L'homme a-t-il déjà changé le climat ?



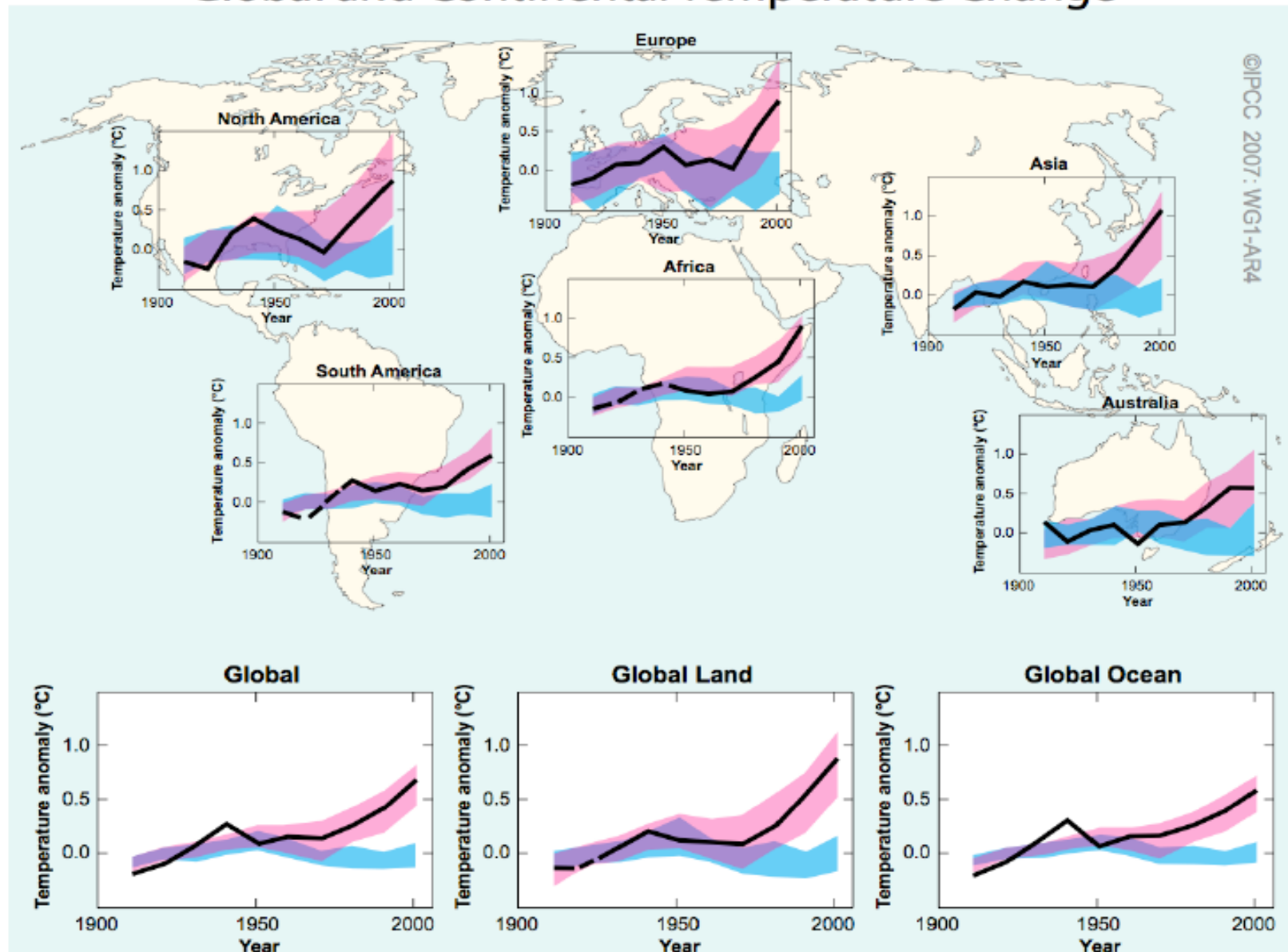
Anomalie de température de la surface de la Terre observée et calculée en prenant en compte les ***perturbations naturelles*** et les ***perturbations dues aux activités humaines*** (accroissement observé de la quantité de ***gaz à effet de serre et des aérosols***)



Anomalie de température de la surface de la Terre observée et calculée en prenant en compte ***uniquement les perturbations naturelles*** (éruptions volcaniques, activité solaire...)

L'homme a-t-il déjà changé le climat ?

Global and Continental Temperature Change



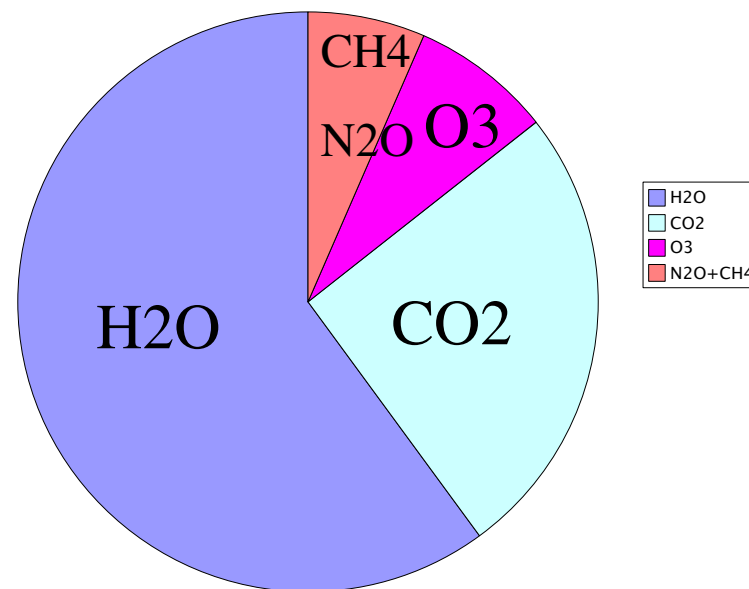
Noir: observations; bleu: forçages naturels; magenta: forçages anthropiques+naturels

Les contributions à l'effet de serre

Effet de serre ($W.m^{-2}$):

Vapeur d'eau	75	60%
CO ₂	32	26%
ozone	10	8%
N ₂ O+CH ₄	8	6%

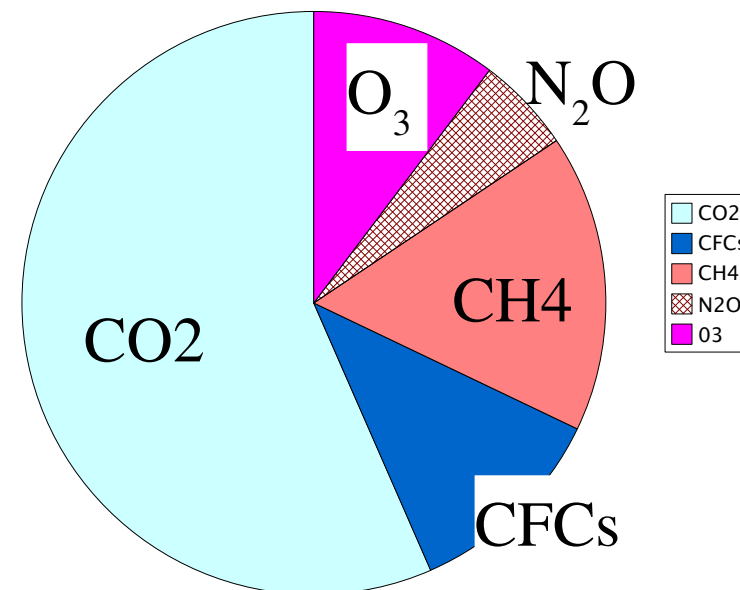
Contribution à l'effet de serre



Contributions à l'accroissement de l'effet dus aux activités humaines:

- CO₂ 56%
- CFCs 12%
- méthane (CH₄) 16%
- ozone (O₃) 11%
- N₂O 5%

Effet de serre du aux activité humaine



Aérosols anthropiques

Les aérosols :

- Réfléchissent le rayonnement solaire
- Modifient la taille des gouttes des nuages
- Modifient la formation des précipitations ?

Figure 7 Effect of aerosol on cloud droplet and reflectance derived from POLDER and AVHRR spaceborne measurements. **a**, Seasonal (March–May 1997) average droplet size in liquid water clouds estimated from the POLDER measurements³¹. **b**, The dependence of the droplet size on the aerosol index, also derived from POLDER over land (red) and ocean (blue). **c**, Analysis of AVHRR data for the dependence of the droplet size (purple) and cloud reflectance (brown and red) on aerosol optical thickness over the Amazon Basin during the dry burning season of 1987 (refs 16, 19). The reflectance of low-level clouds (brown) with reflectance of 0.35 increases with the aerosol concentration and the reflectance of bright clouds (red) decreases.

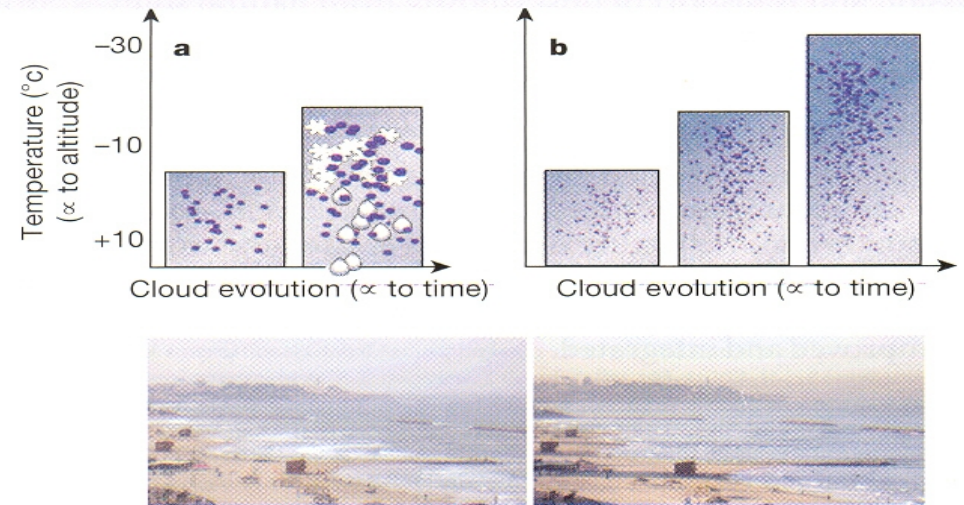
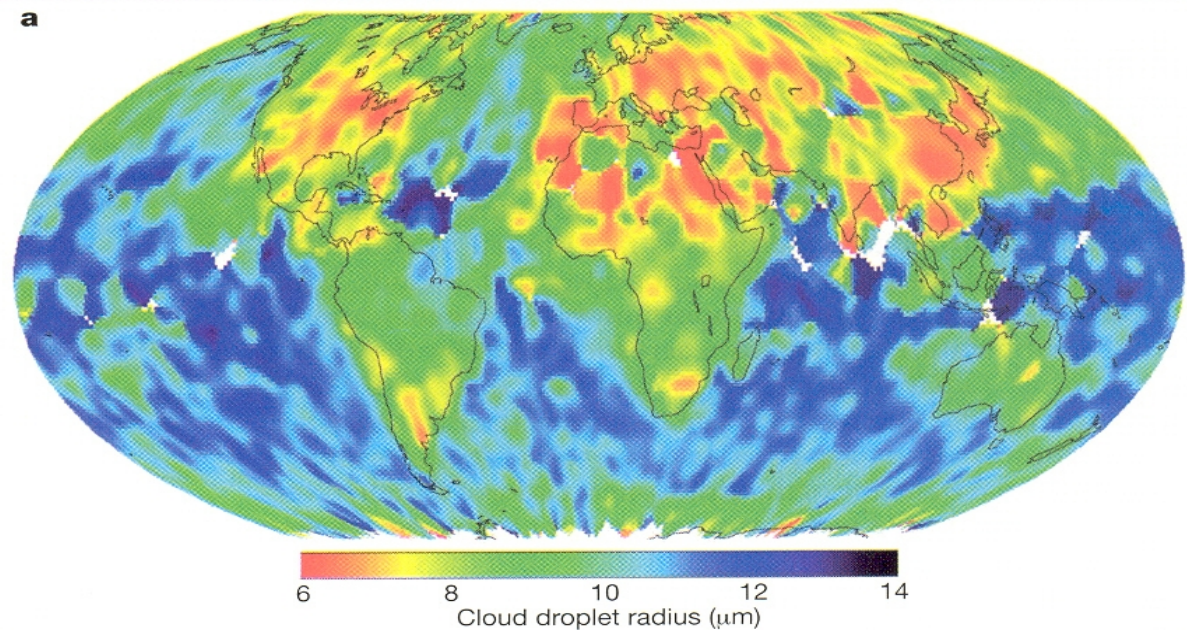
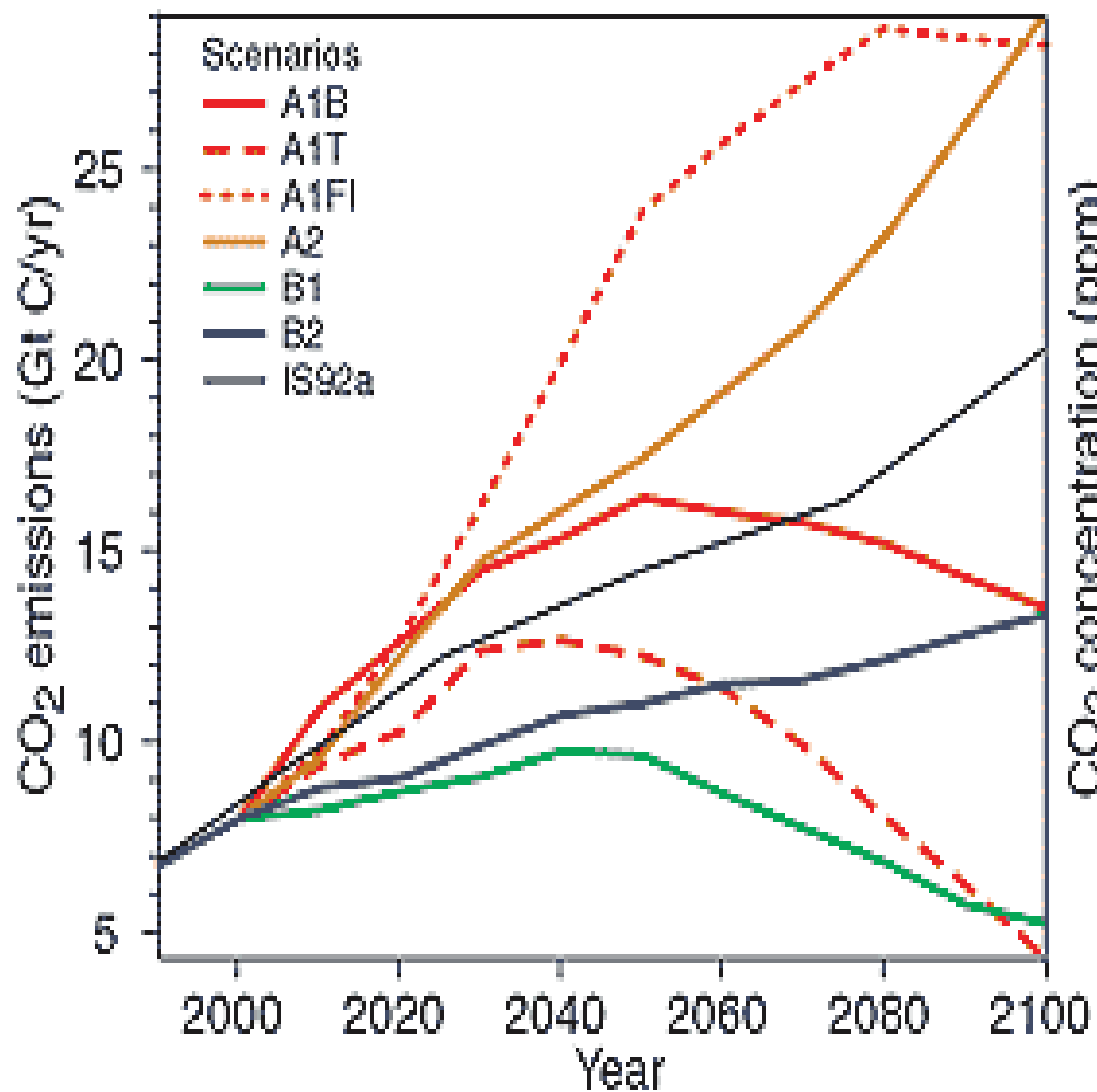


Figure 6 Schematic diagram of cloud formation in a clean and polluted atmosphere. **a**, In a clean atmosphere, the cloud droplet size increases with cloud development until liquid precipitation or glaciation and precipitation take place. **b**, In polluted clouds, the availability of cloud condensation nuclei decreases cloud droplet development. In clouds with strong updrafts the developed cloud can be supercooled with no glaciation down to $-37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. The filled circles show the location of droplets of varying size, the asterisks show the location of ice crystals, and the oval shapes indicate rain drops.

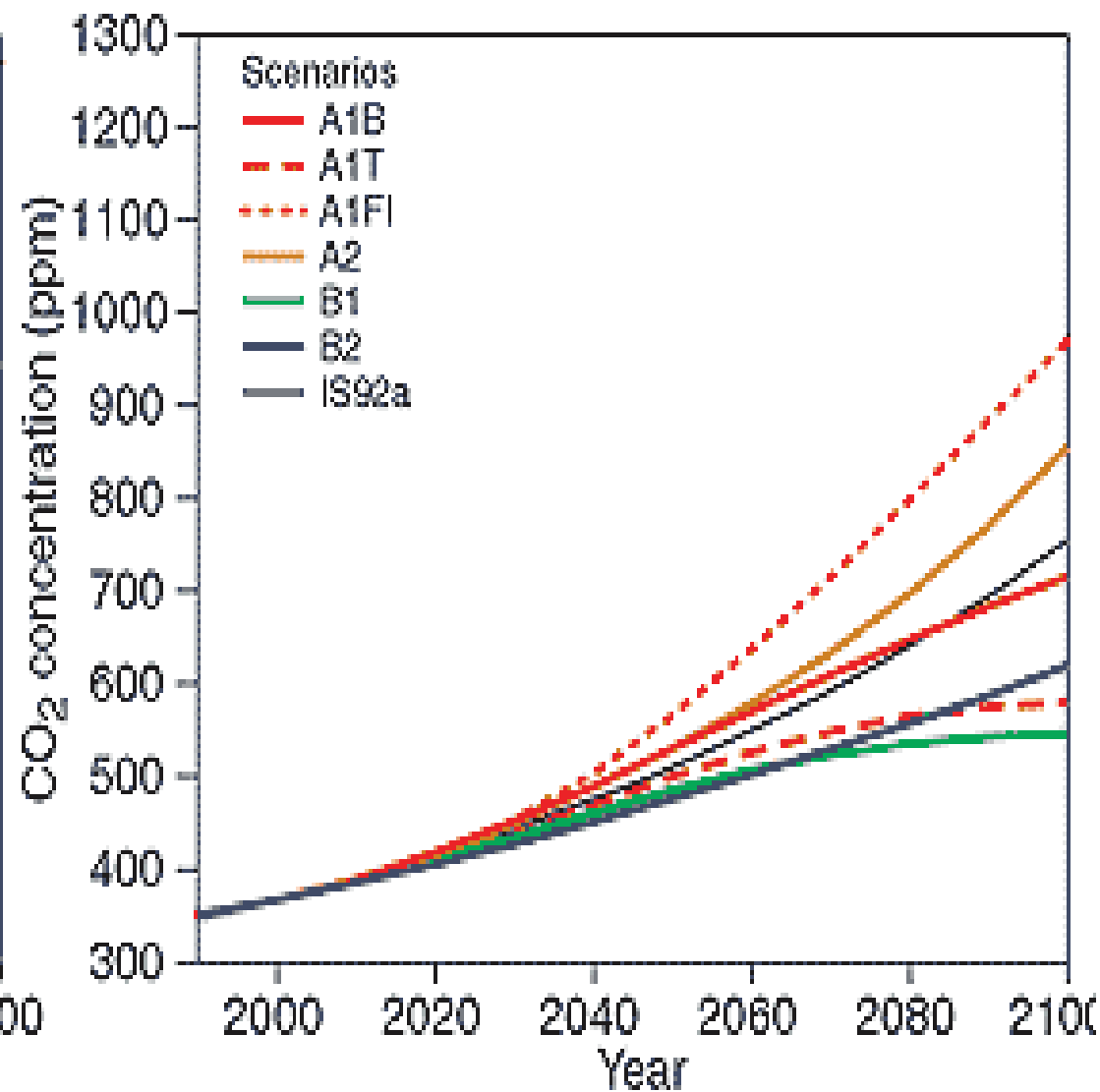
Projections pour le futur

Emissions et concentrations de CO₂: utilisation de scénarios

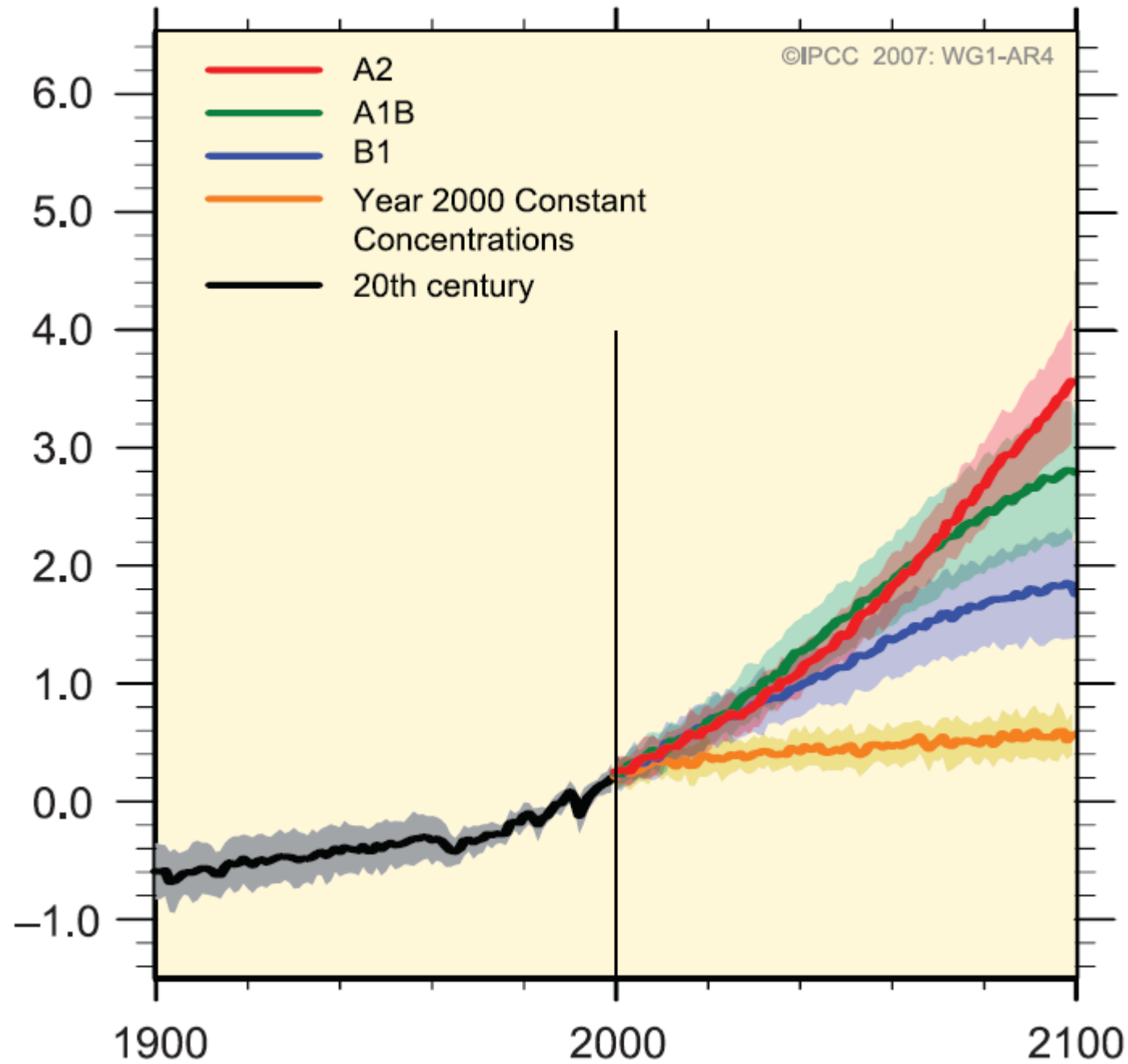
(a) CO₂ emissions



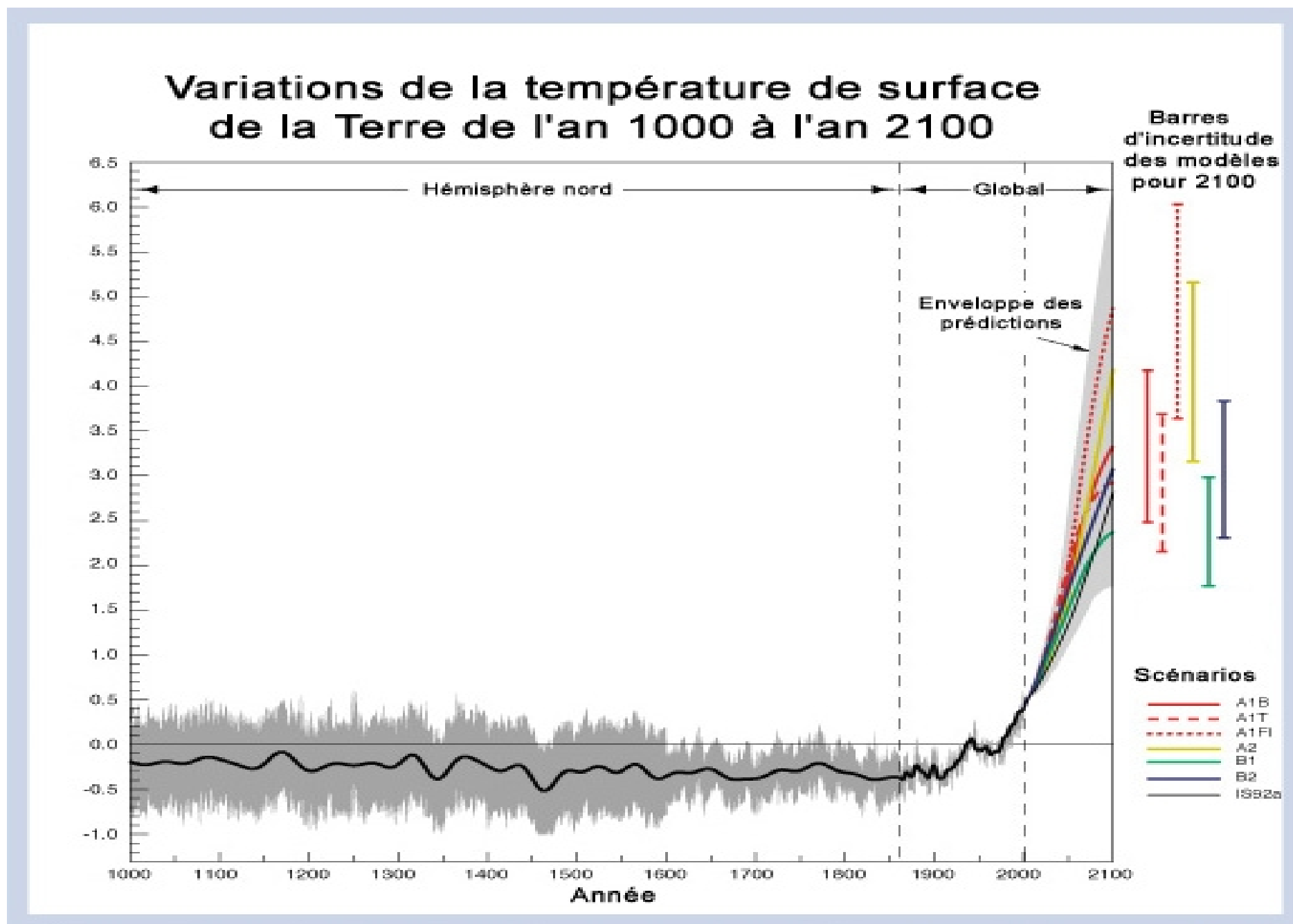
(b) CO₂ concentrations



Evolution récente et future de la température moyenne

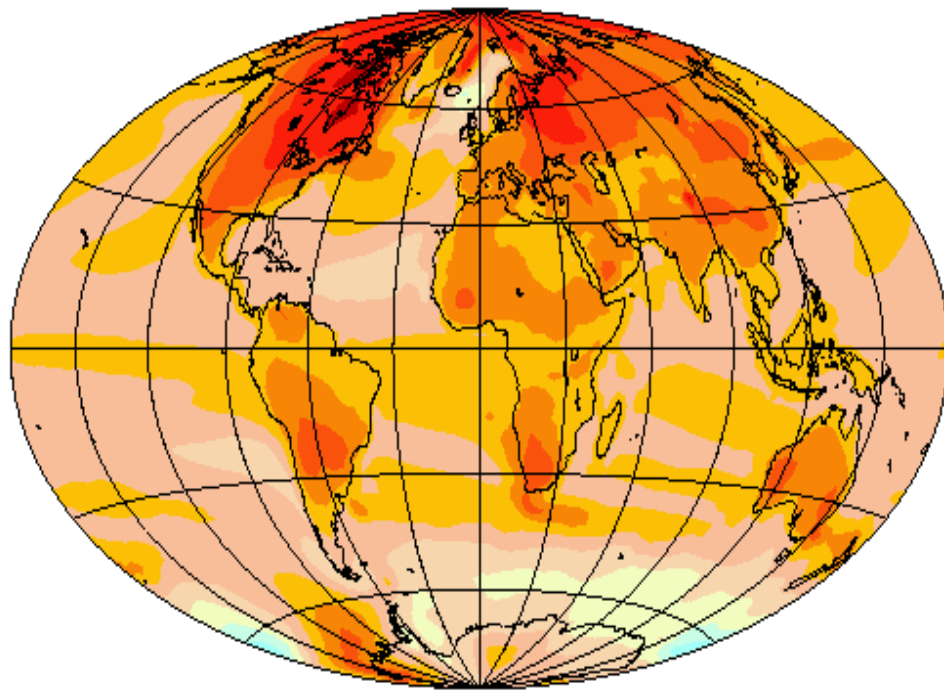


Evolution de la température moyenne à l'échelle de 1000 ans

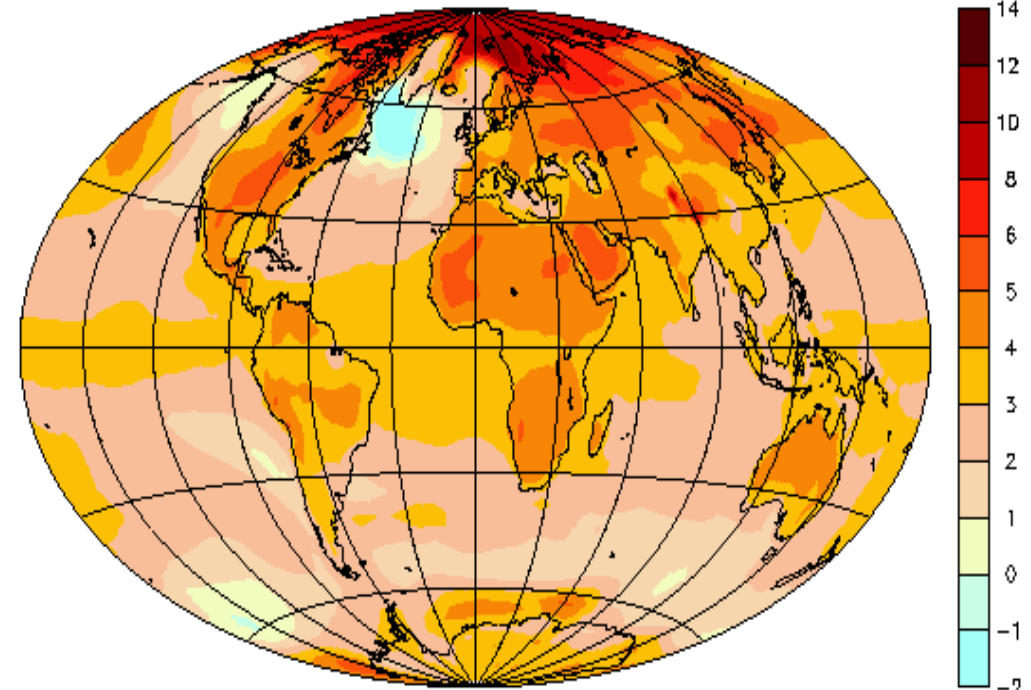


Projection pour l'an 2100

Changement des températures pour le scénario A2



IPCC / IPSL - SRESA2 scenario - Anomalies de la temperature (deg C)
(2090-2099) comparee a (2000-2009)

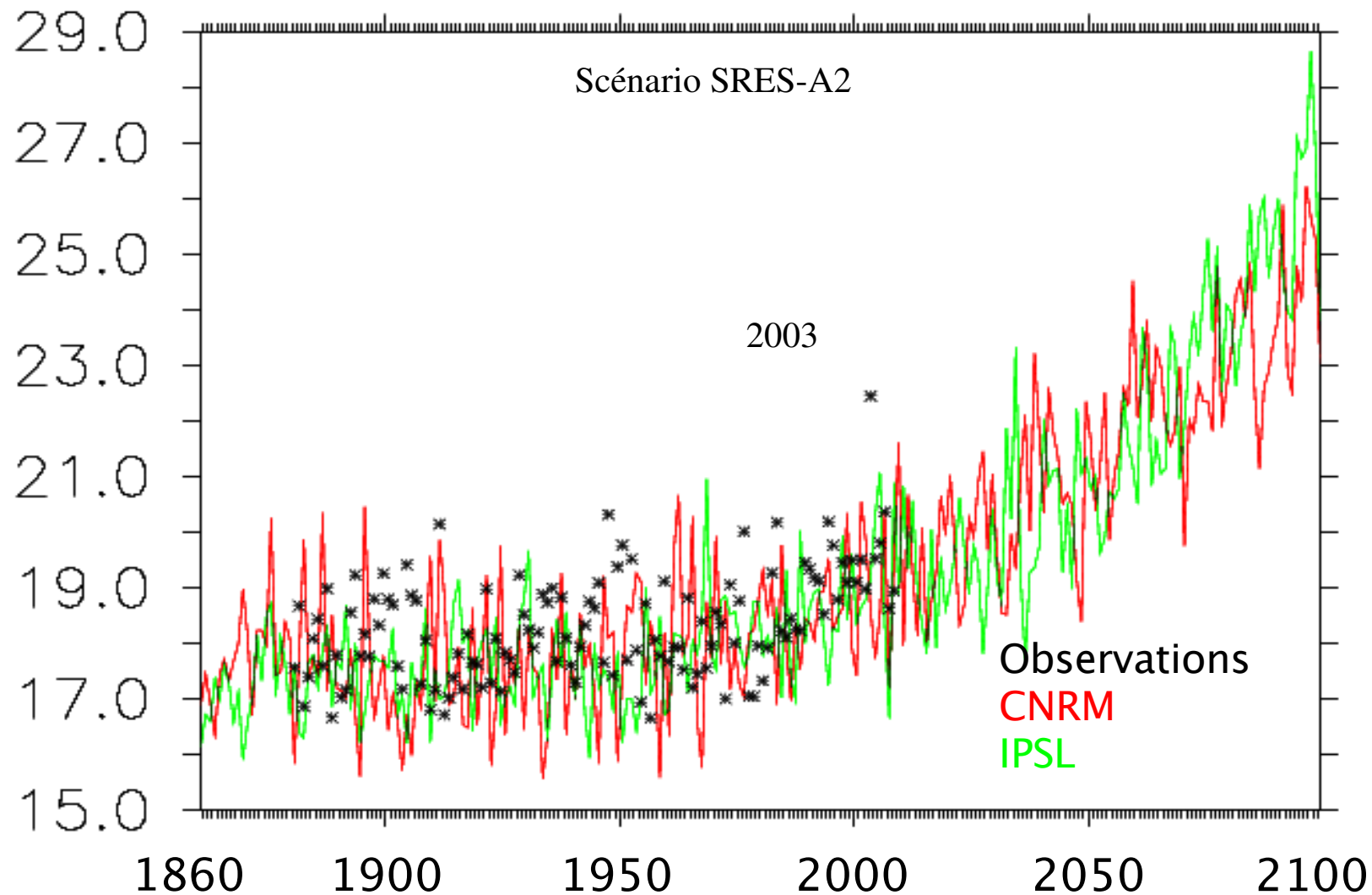


IPCC / CNRM - SRESA2 scenario - Anomalies de la temperature (deg C)
(2090-2099) comparee a (2000-2009)



Que représentent ces changements de température?

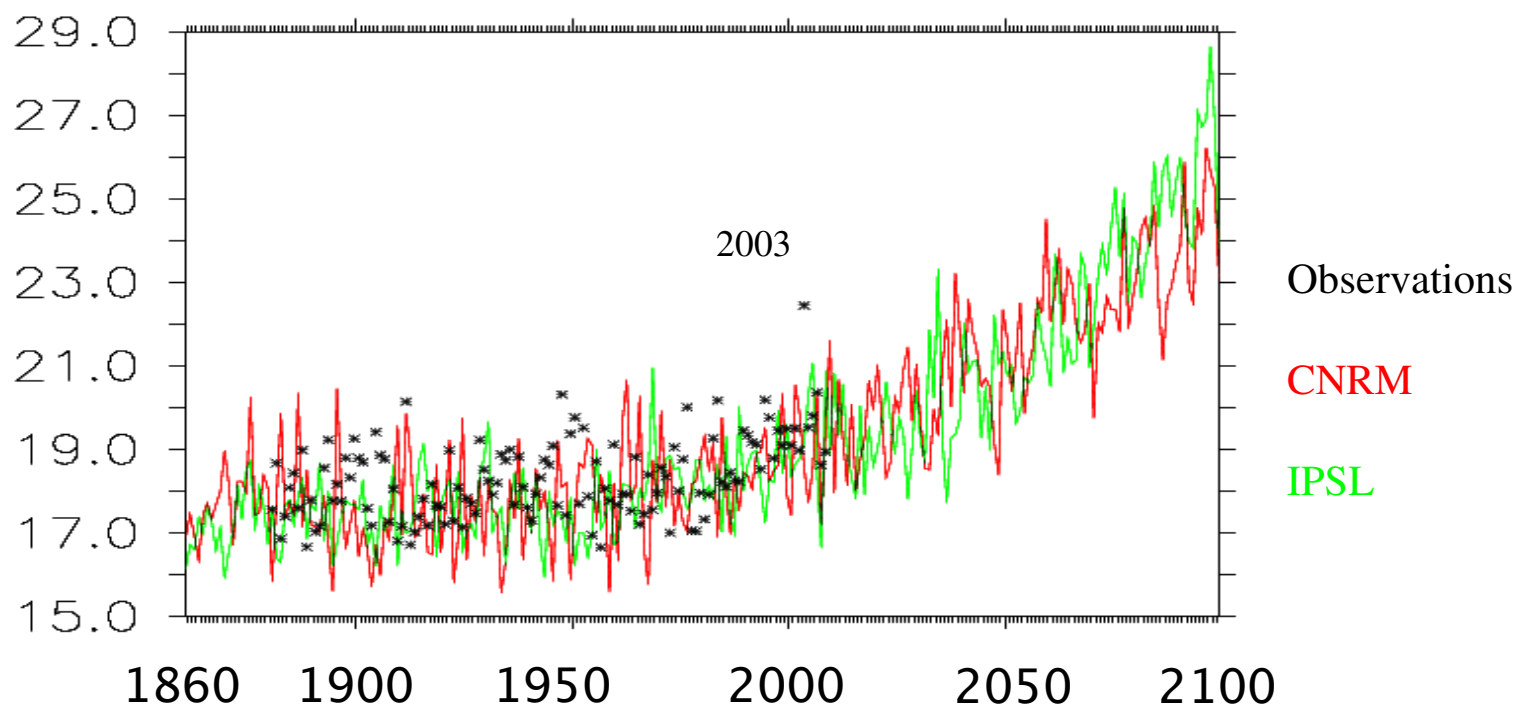
Évolution de la température moyenne en été en France de 1860 à 2100



Température estivale, moyennée sur la France, pour deux scénarios

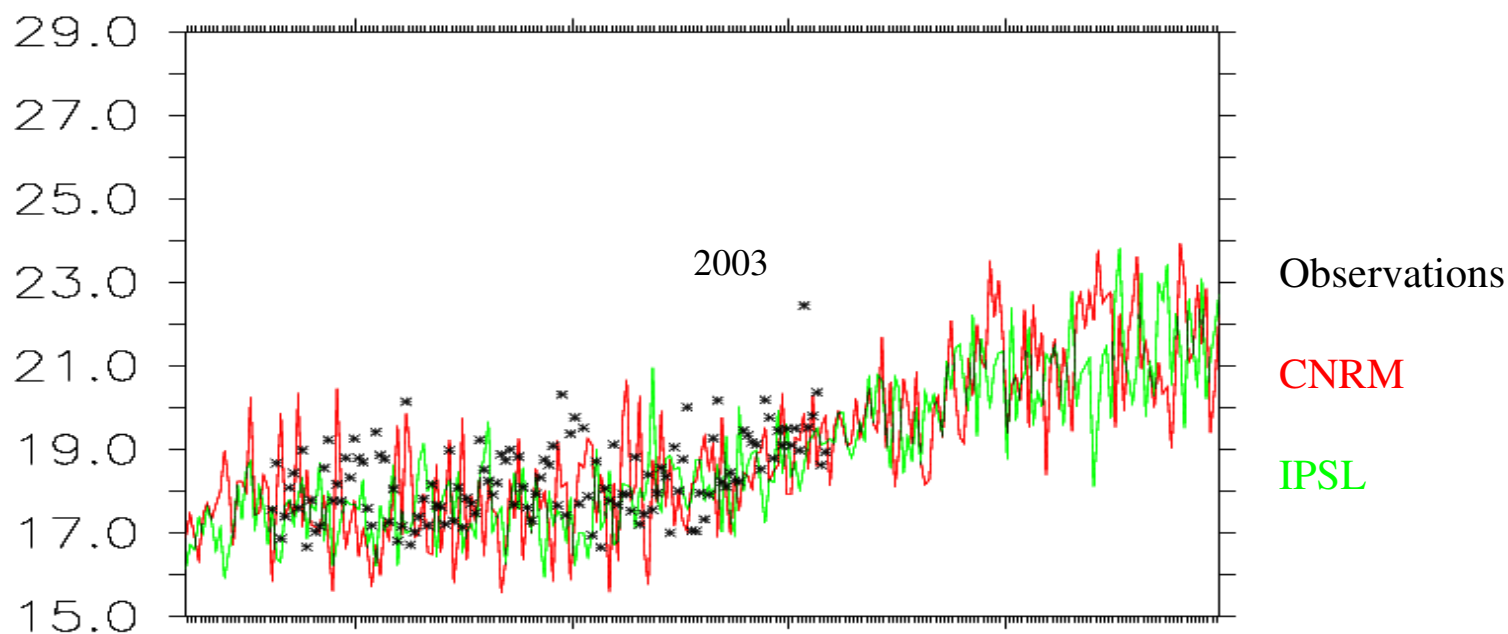
Émissions
croissantes

SRES-A2



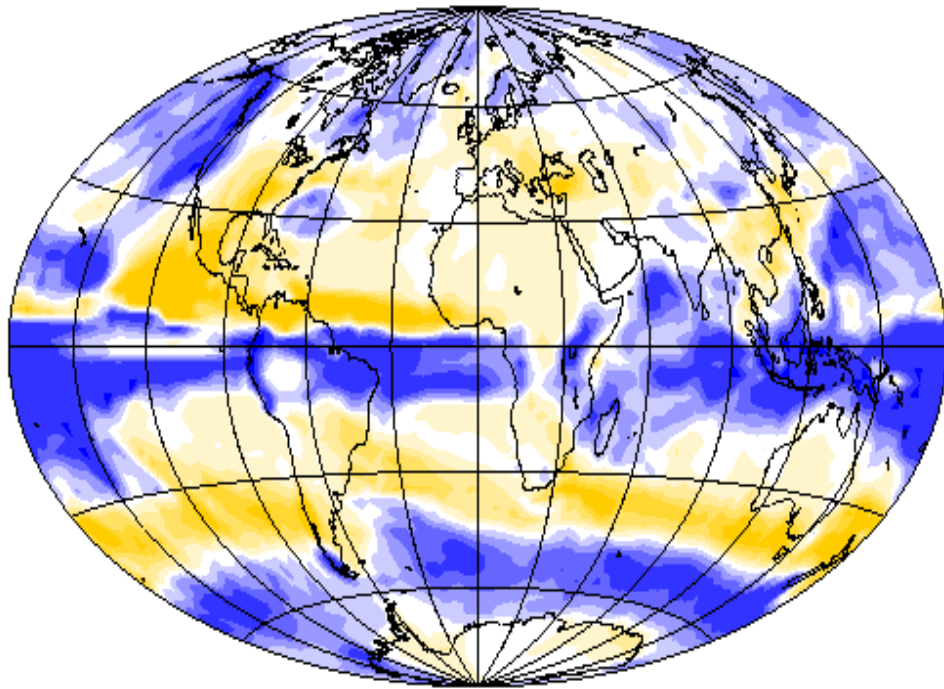
Émissions
« stabilisées »

SRES-B1

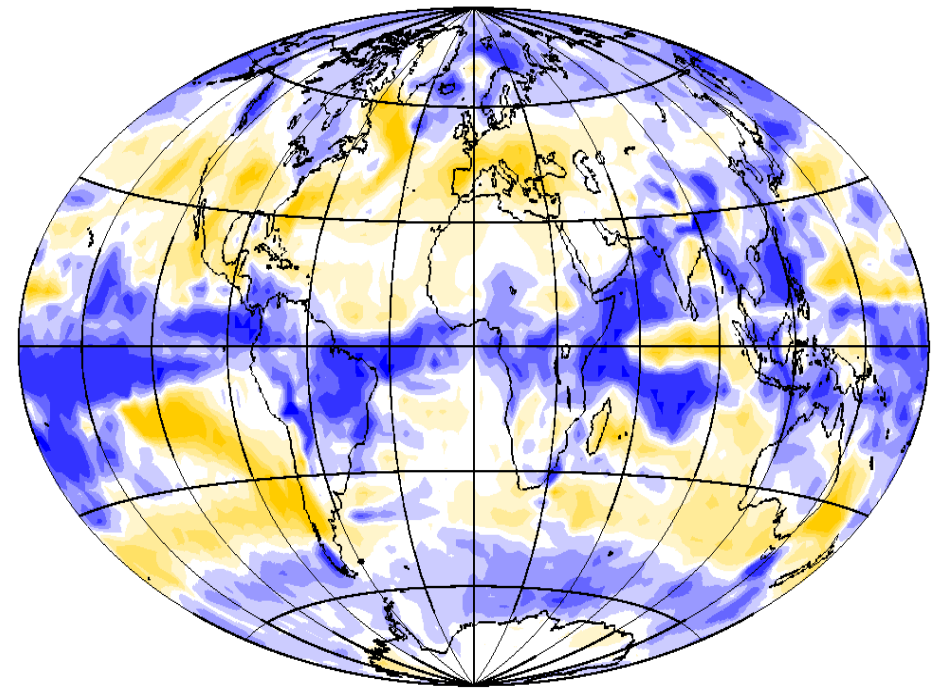


Projection pour l'an 2100

Changement de précipitations pour le scénario A2



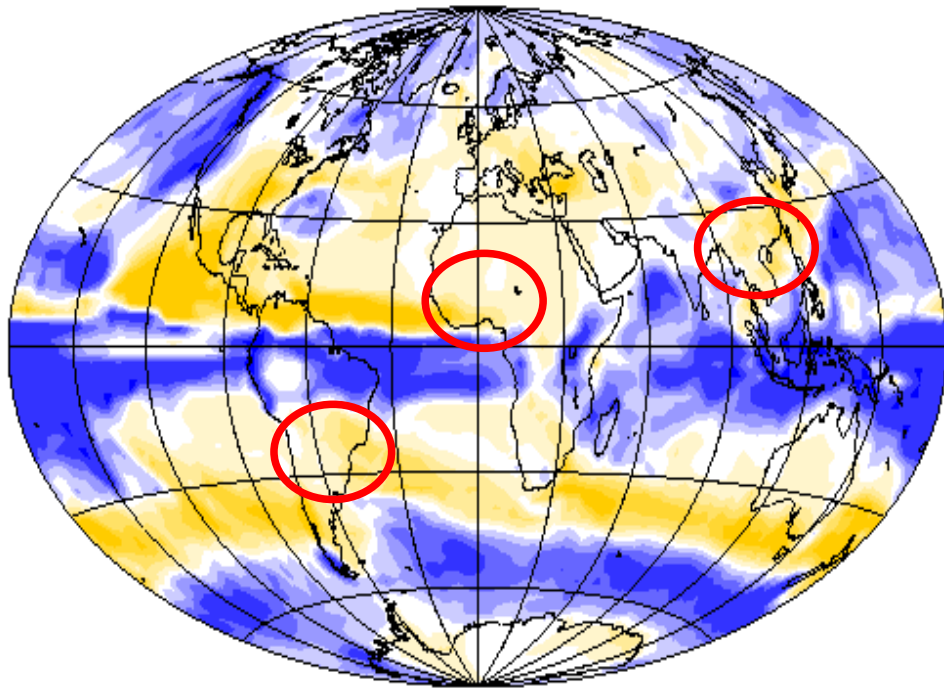
IPCC / IPSL – SRESA2 scénario – Anomalies de la precipitation (mm/jour)
(2090–2099) comparee a (2000–2009)



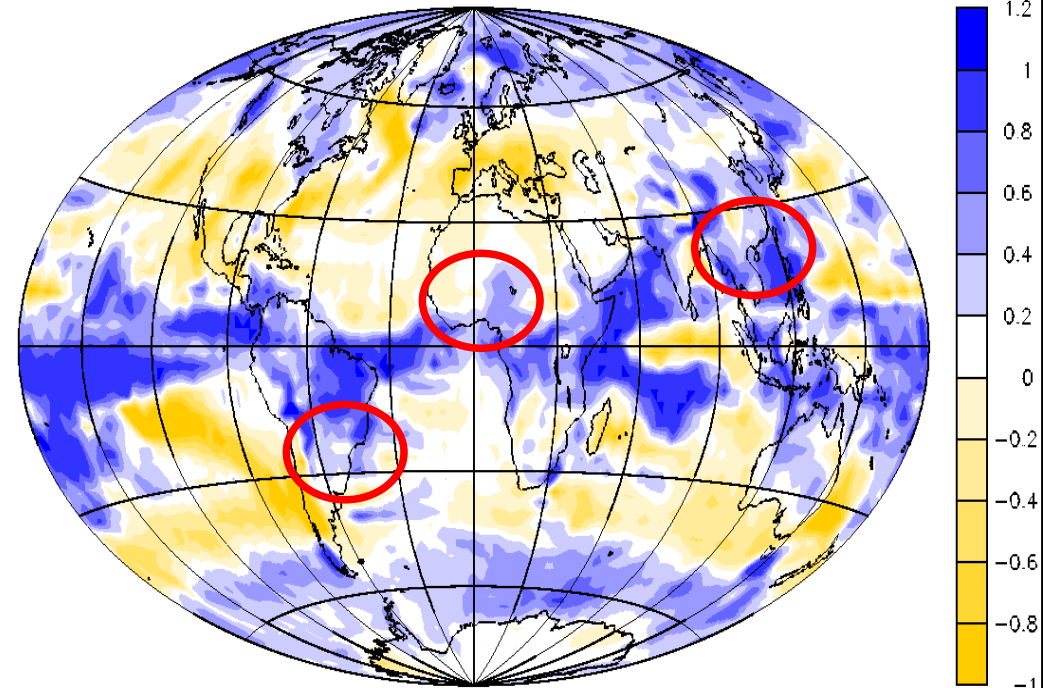
IPCC / CNRM – SRESA2 scénario – Anomalies de la precipitation (mm/jour)
(2090–2099) comparee a (2000–2009)

Projection pour l'an 2100

Changement de précipitations pour le scénario A2



IPCC / IPSL – SRESA2 scénario – Anomalies de la précipitation (mm/jour)
(2090–2099) comparée à (2000–2009)



IPCC / CNRM – SRESA2 scénario – Anomalies de la précipitation (mm/jour)
(2090–2099) comparée à (2000–2009)

Projected Patterns of Precipitation Changes

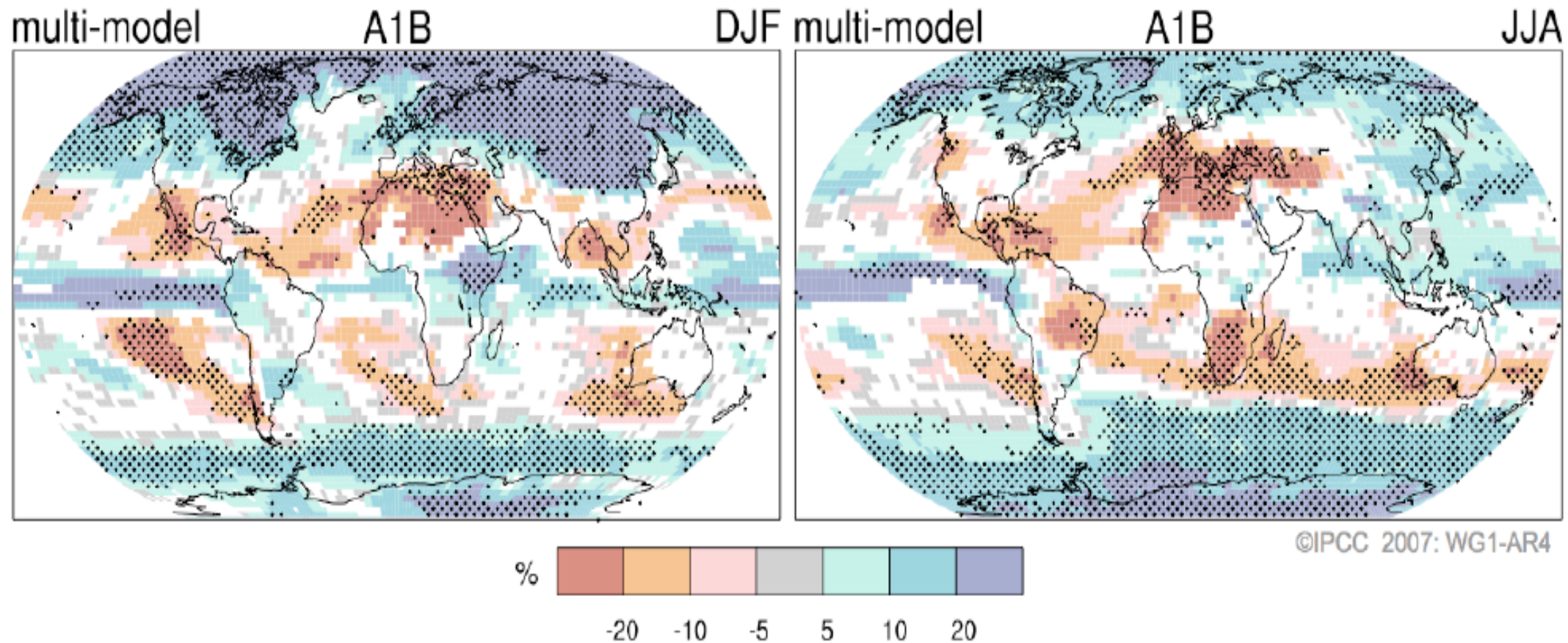


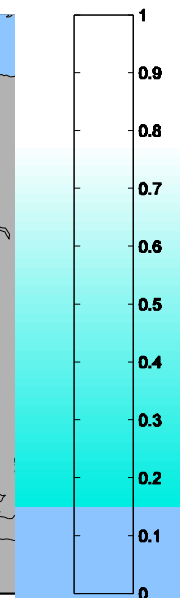
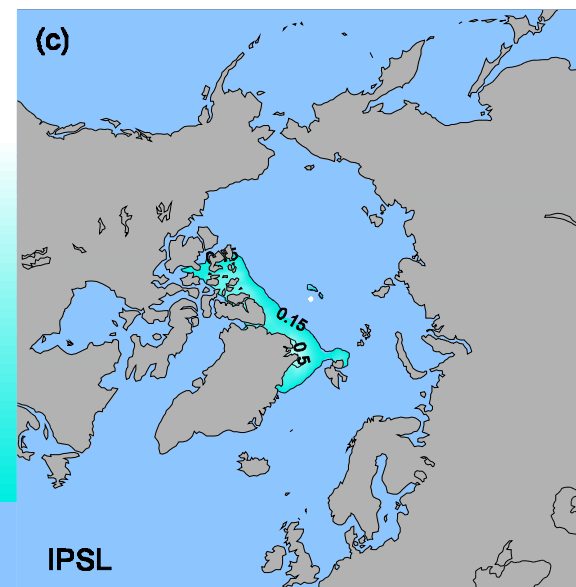
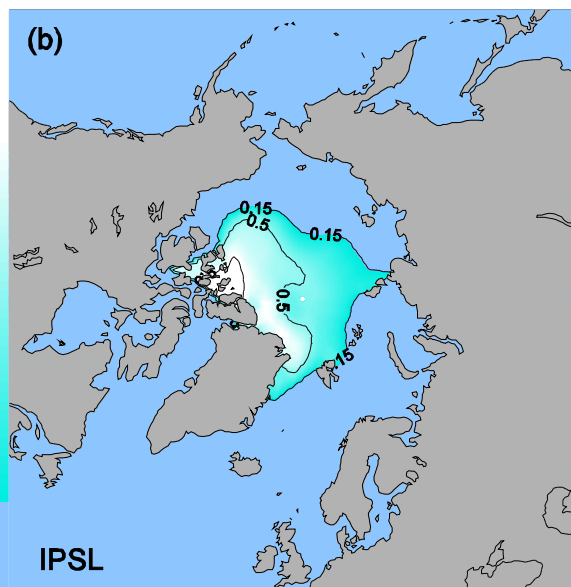
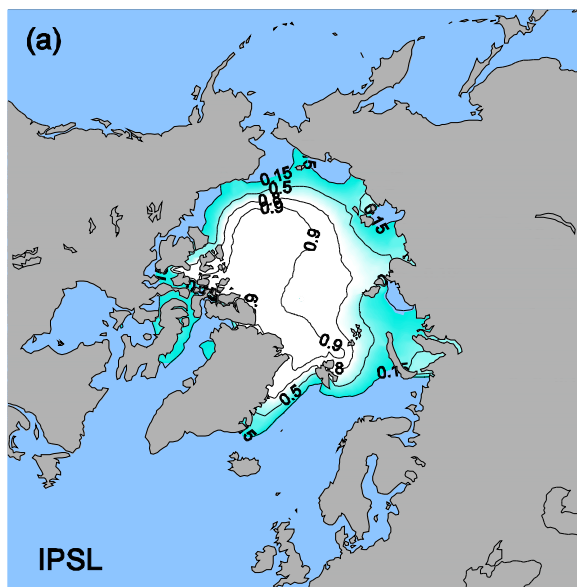
FIGURE SPM-6. Relative changes in precipitation (in percent) for the period 2090–2099, relative to 1980–1999. Values are multi-model averages based on the SRES A1B scenario for December to February (left) and June to August (right). White areas are where less than 66% of the models agree in the sign of the change and stippled areas are where more than 90% of the models agree in the sign of the change.

{Figure 10.9}

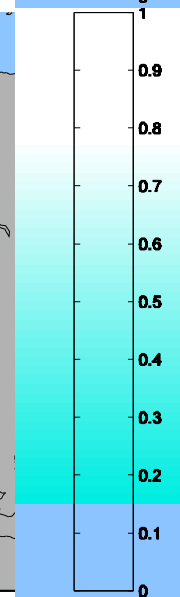
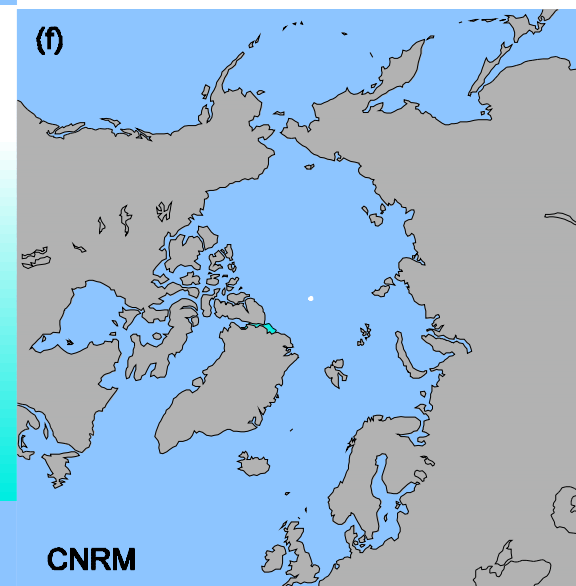
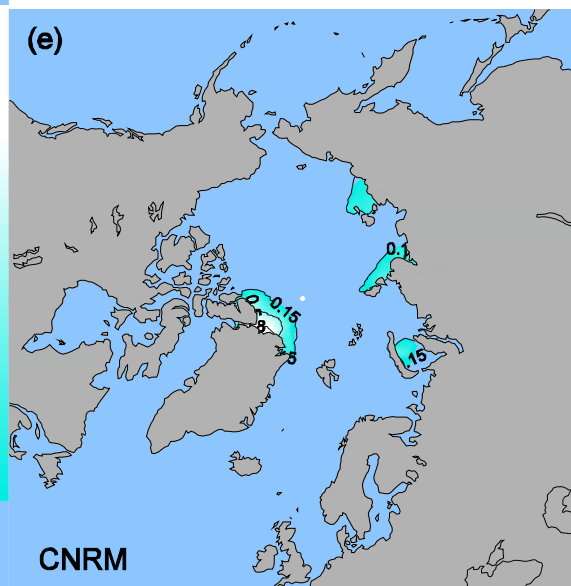
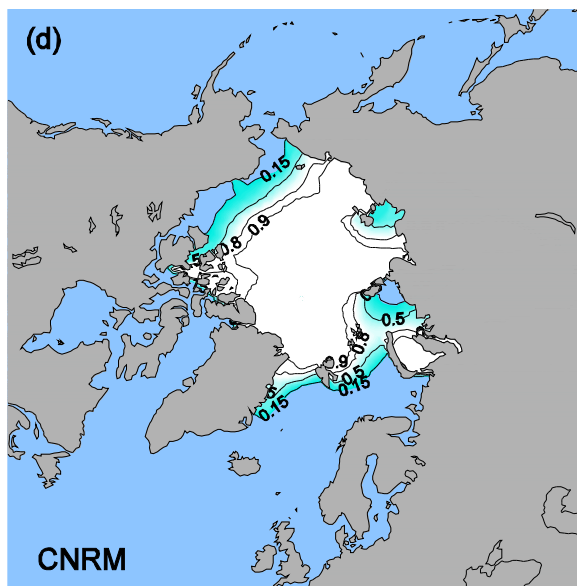
Extension minimale de la glace de mer (été)

Climat 21^e

IPSL



CNRM



1960-1989

2070-2099; B1

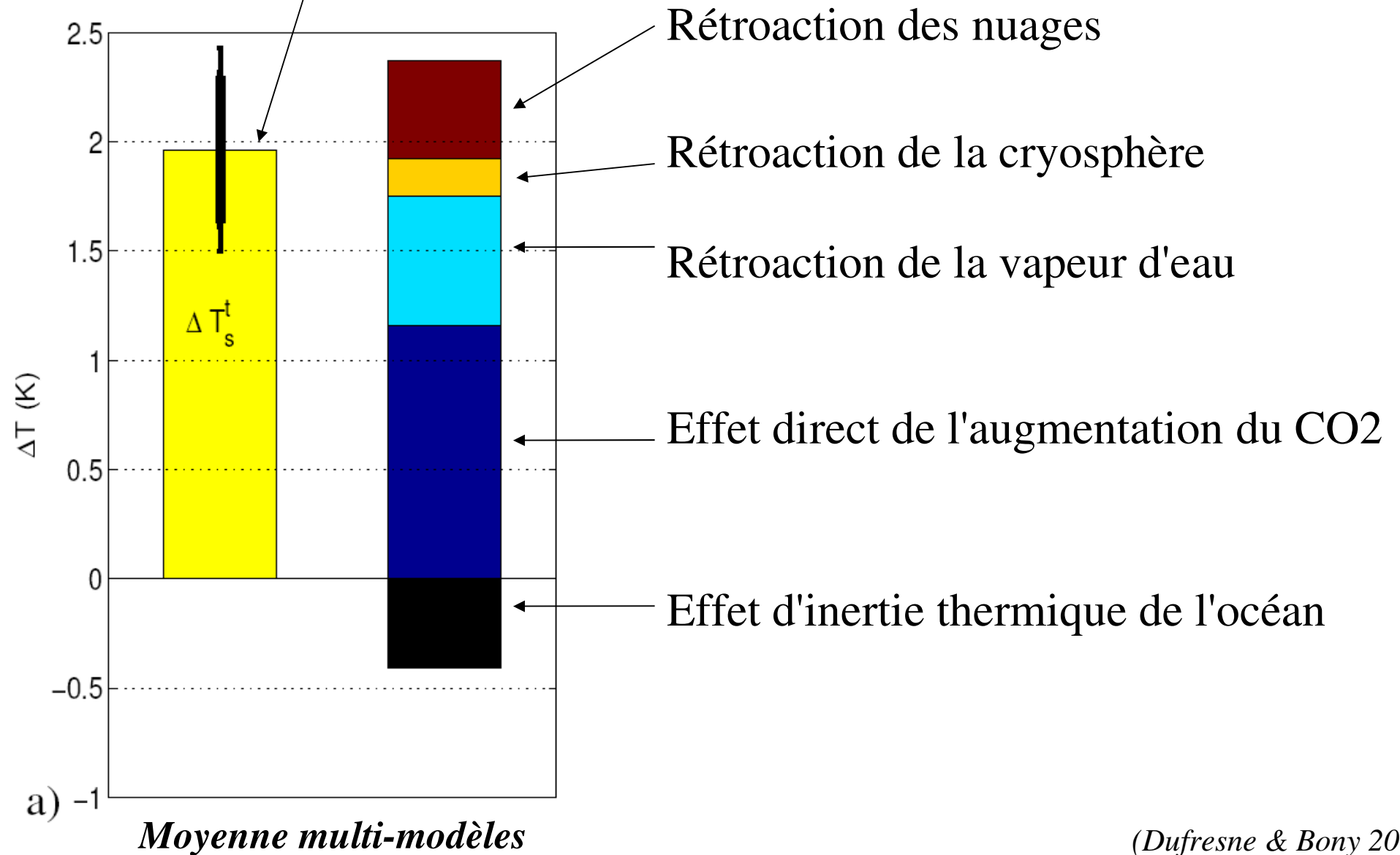
2070-2099; A2

[Dufresne et al., 2006]

**Etats des connaissances:
résultats robustes, questions ouvertes**

Importances des rétroactions

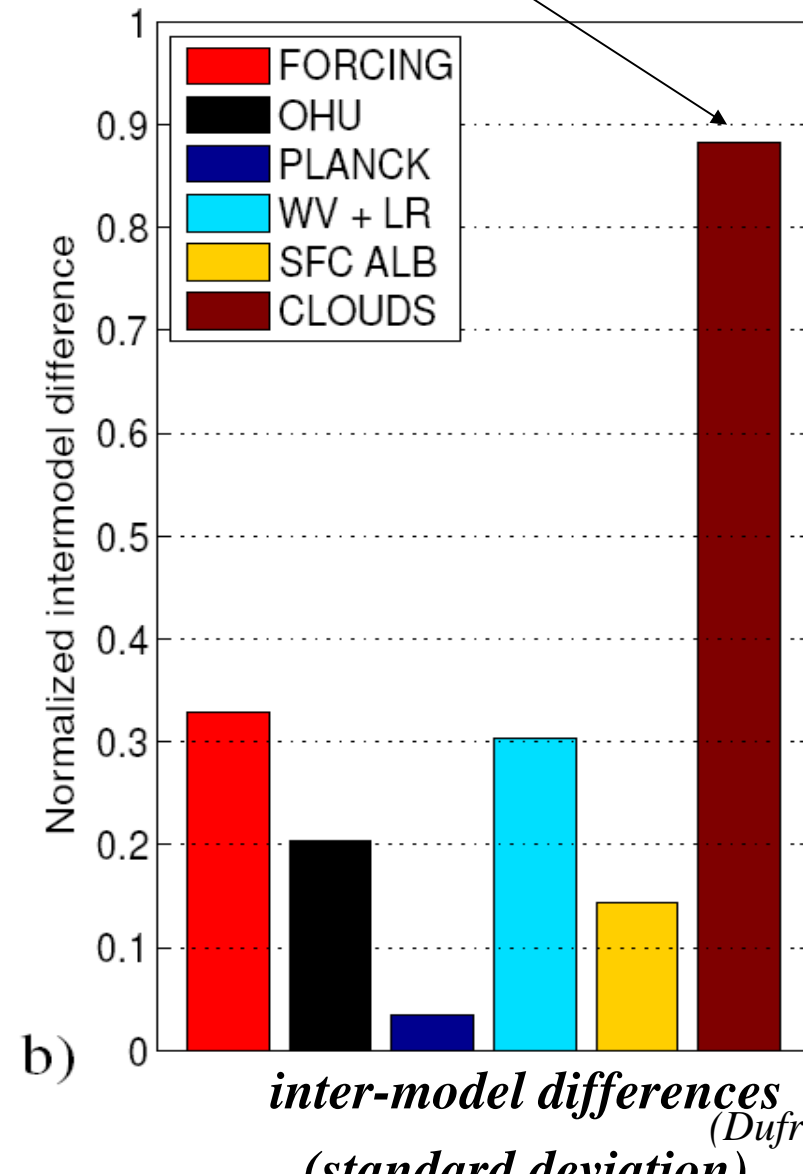
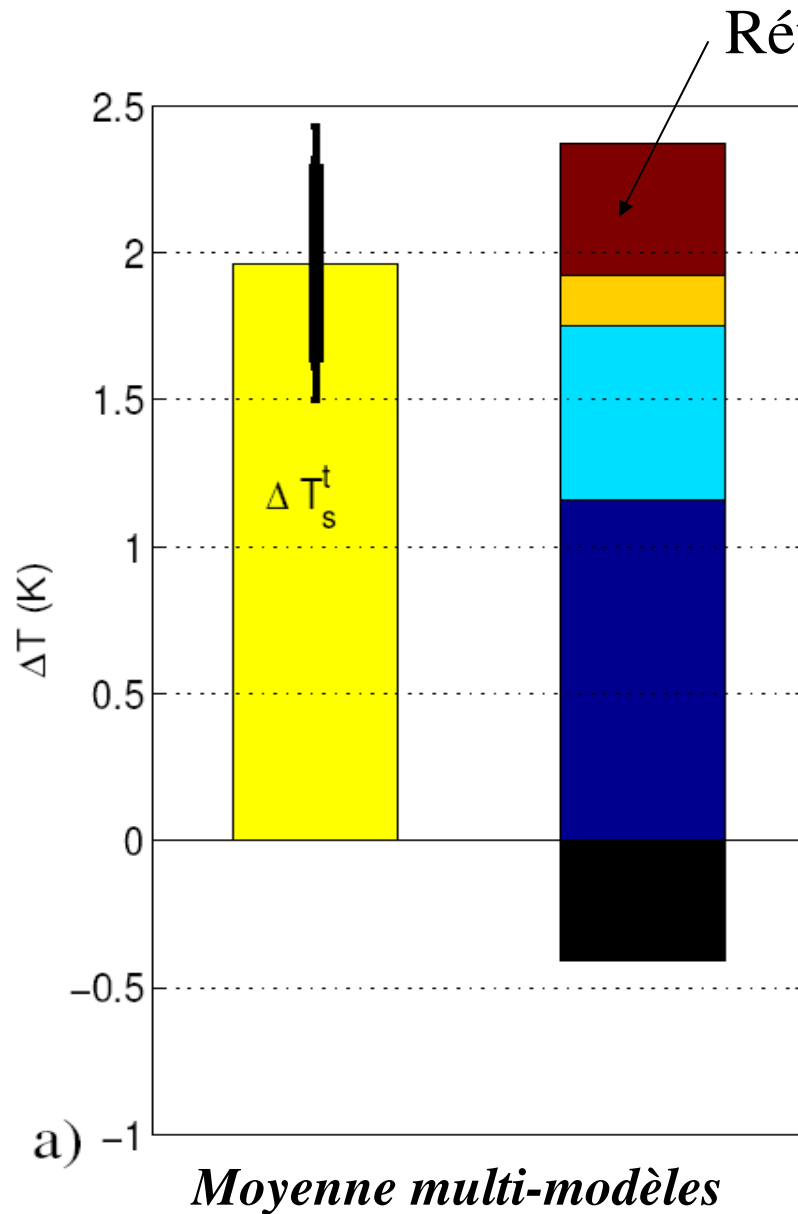
Réchauffement global pour un doublement de CO₂



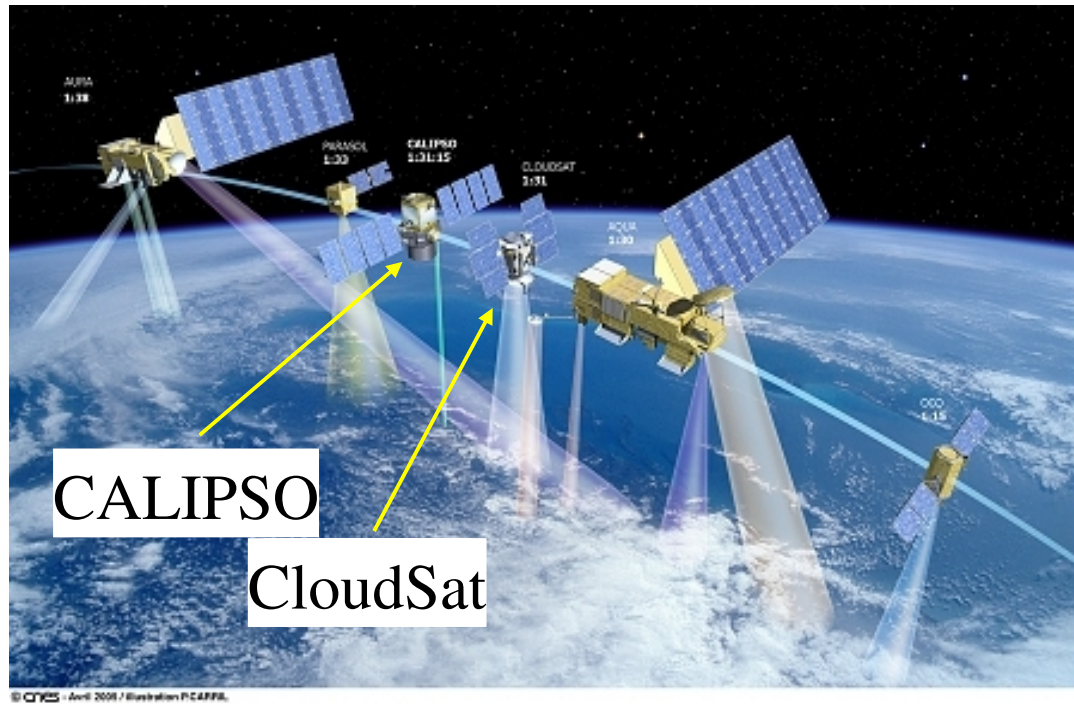
Importances des rétroactions

Moyenne des modèles

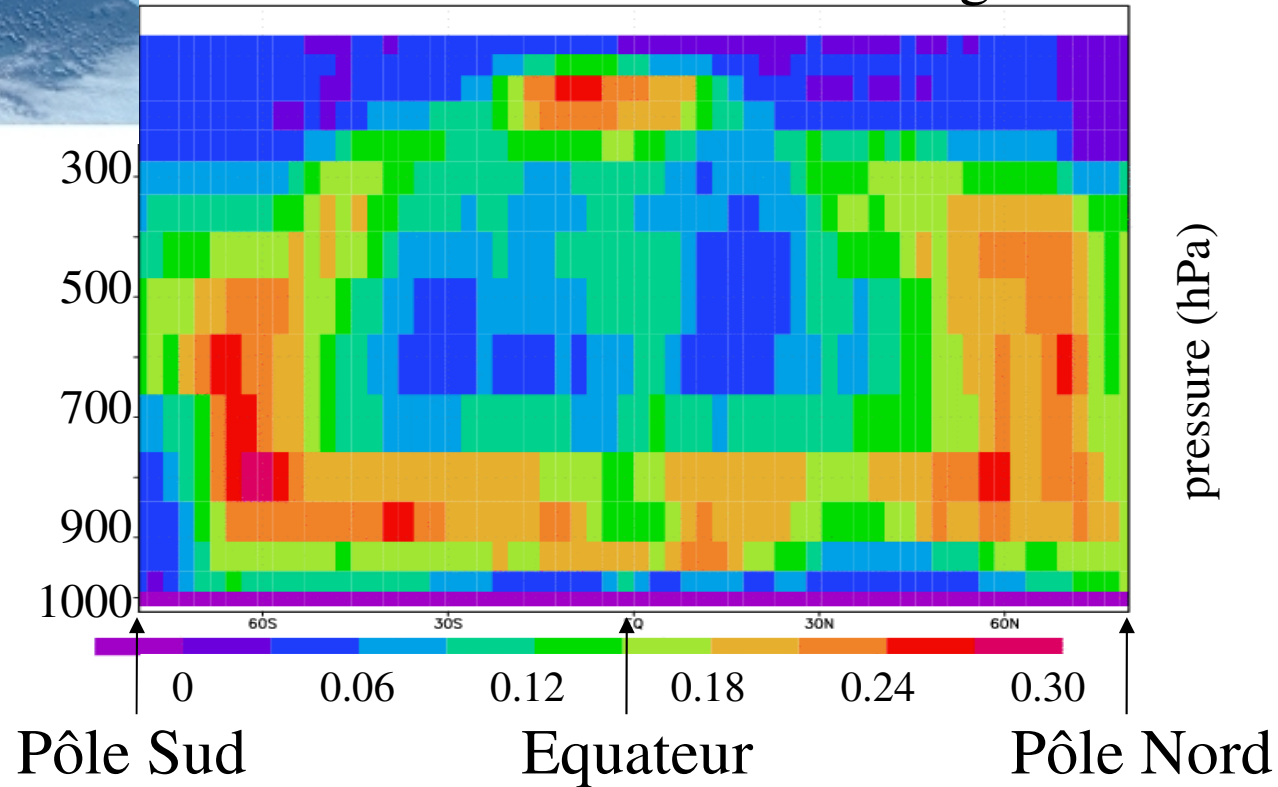
Dispersion entre les modèles



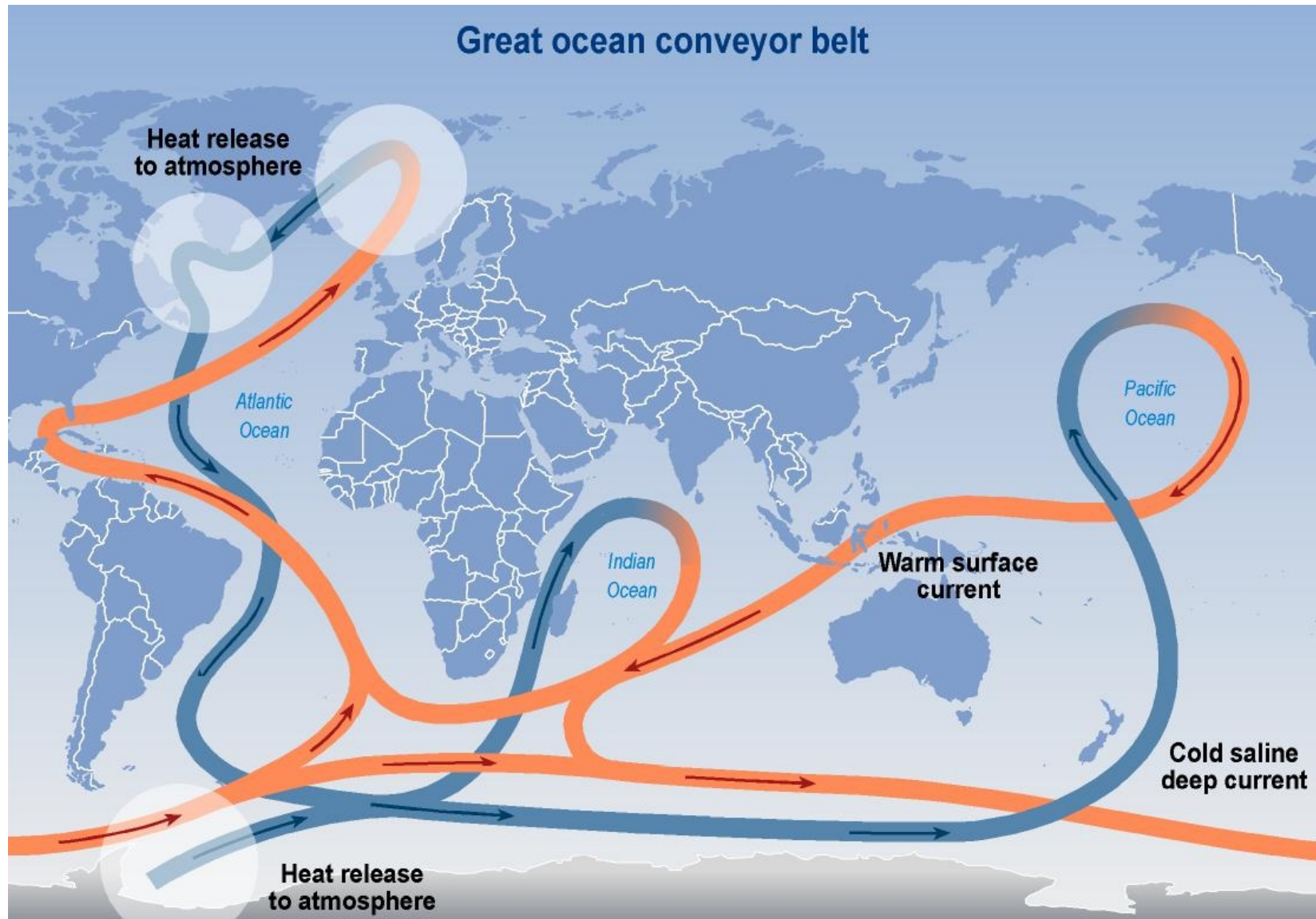
Apport des nouvelles observations satellitaires



Distribution verticale des nuages

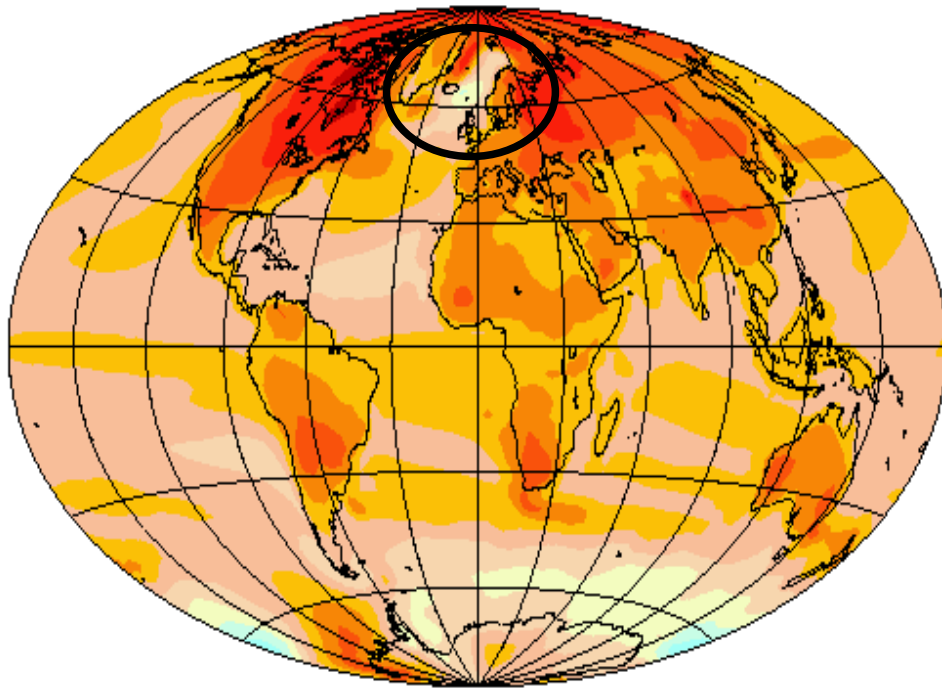


Changement drastique de la circulation de l'océan profond?

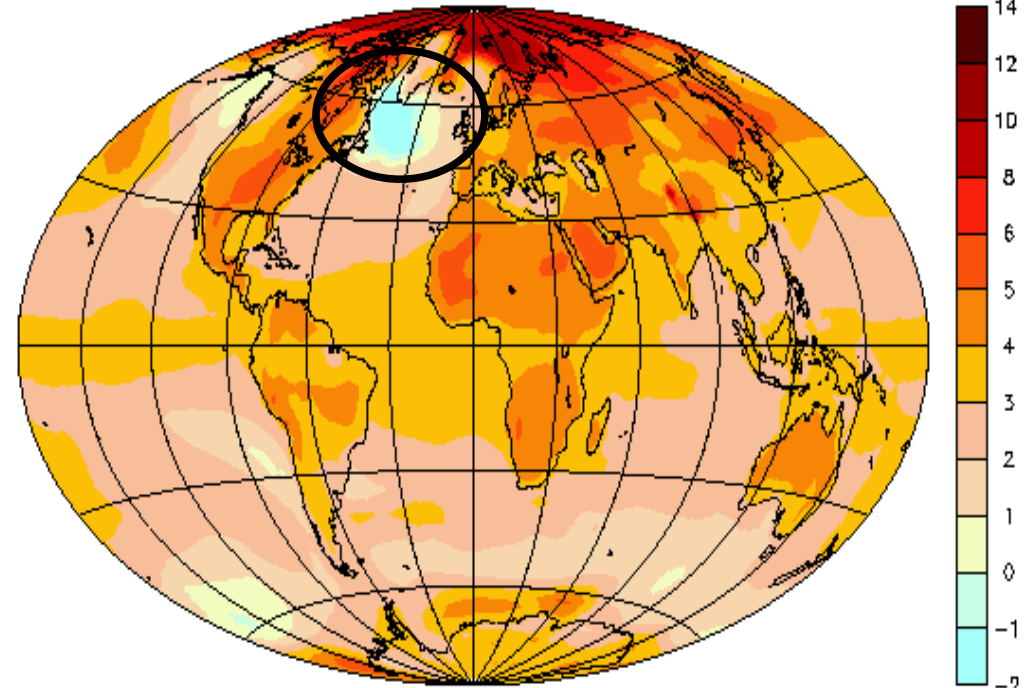


Projection pour l'an 2100

Changement des températures pour le scénario A2



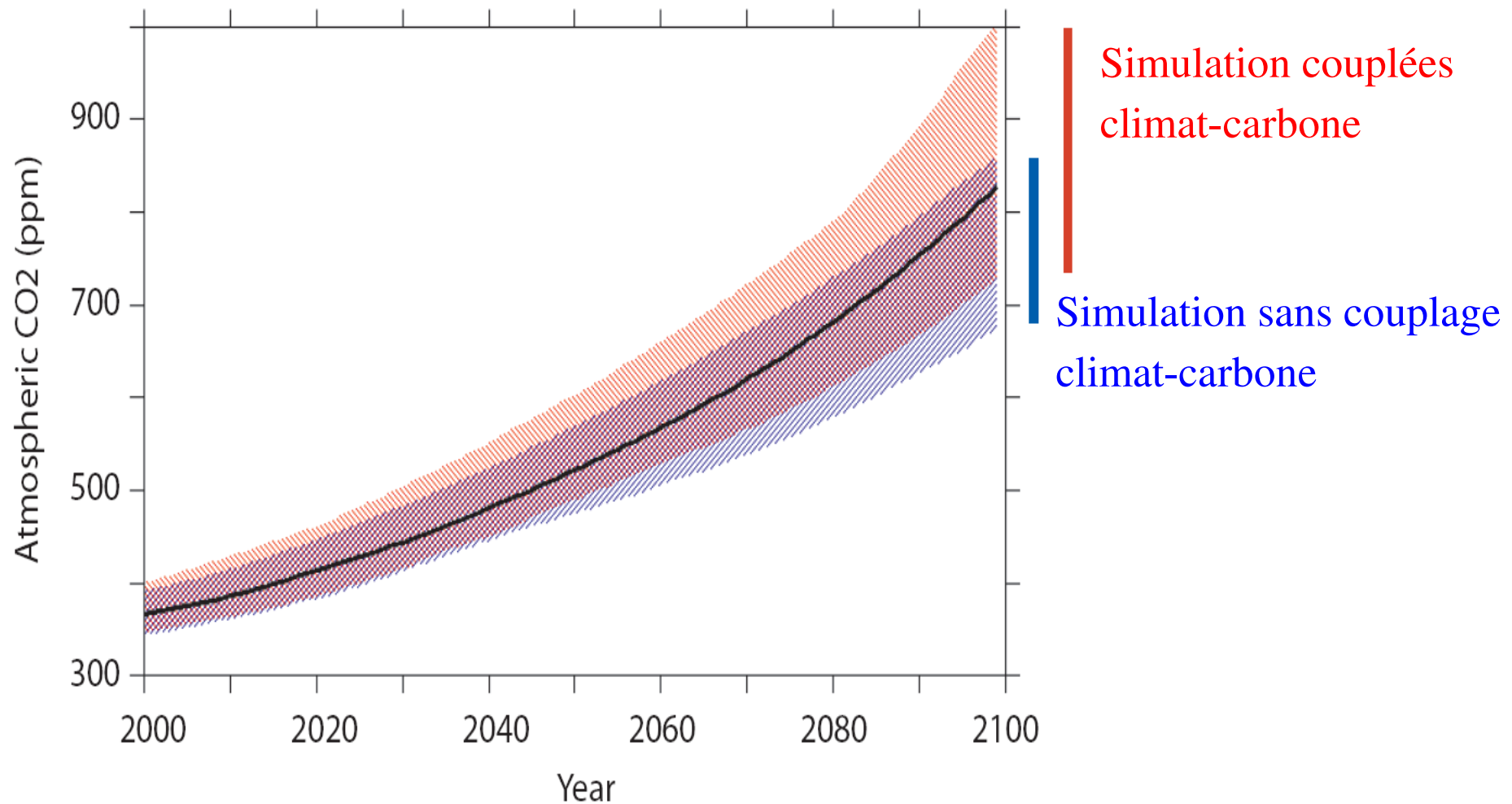
IPCC / IPSL - SRESA2 scenario - Anomalies de la temperature (deg C)
(2090-2099) comparee a (2000-2009)



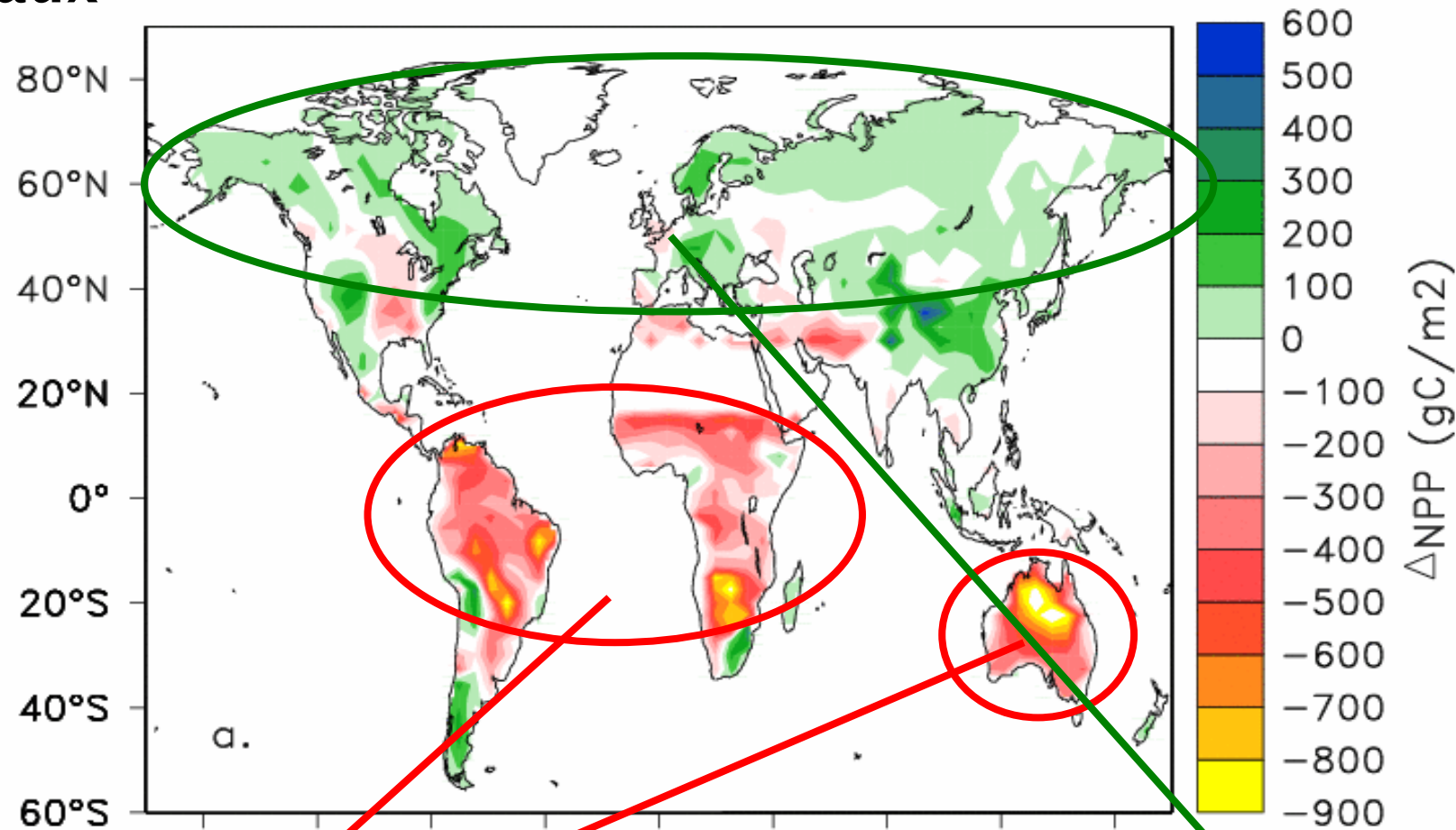
IPCC / CNRM - SRESA2 scenario - Anomalies de la temperature (deg C)
(2090-2099) comparee a (2000-2009)

Incertitudes: le couplage climat-carbone

L'évolution du CO2 dépend aussi de l'évolution du climat



■ Contraste entre la réponse des écosystèmes tropicaux et boréaux



Assèchement des sols

Allongement de la saison de croissance

Conclusions

- Le climat va changer de façon importante si les émissions de CO₂ et d'autres gaz ne sont pas réduites
- la distribution géographique du changement de température est assez bien connue
- ceci n'est pas le cas pour les précipitations
- le stress hydrique des plantes va augmenter (accroissement de l'évaporation)
- le cycle saisonnier de l'eau disponible va changer
- le niveau de la mer va augmenter
- Cyclones? Tempêtes? Orages ?
- L'océan et la végétation continueront-ils à capter la moitié du CO₂ émis par l'homme?

A dramatic landscape photograph featuring a vast, dark sea in the foreground. The sky is filled with heavy, dark grey clouds, with a bright, glowing horizon line where the sun is setting or rising, creating a strong contrast and illuminating the undersides of the clouds. The overall mood is somber and powerful.

Merci