

LMD

Laboratoire de
Météorologie
Dynamique



Estimations des changements climatiques dus aux activités humaines.

Jean-Louis Dufresne

CNRS / IPSL / LMD

dufresne@lmd.jussieu.fr



Les changements climatiques: une prévision théorique

19^{ème} siècle: découverte du rayonnement infrarouge, de “l'effet de serre” de l'atmosphère et du rôle qu'y jouent la vapeur d'eau et le CO₂ (Joseph Fourier, Claude Pouillet, John Tyndall...)

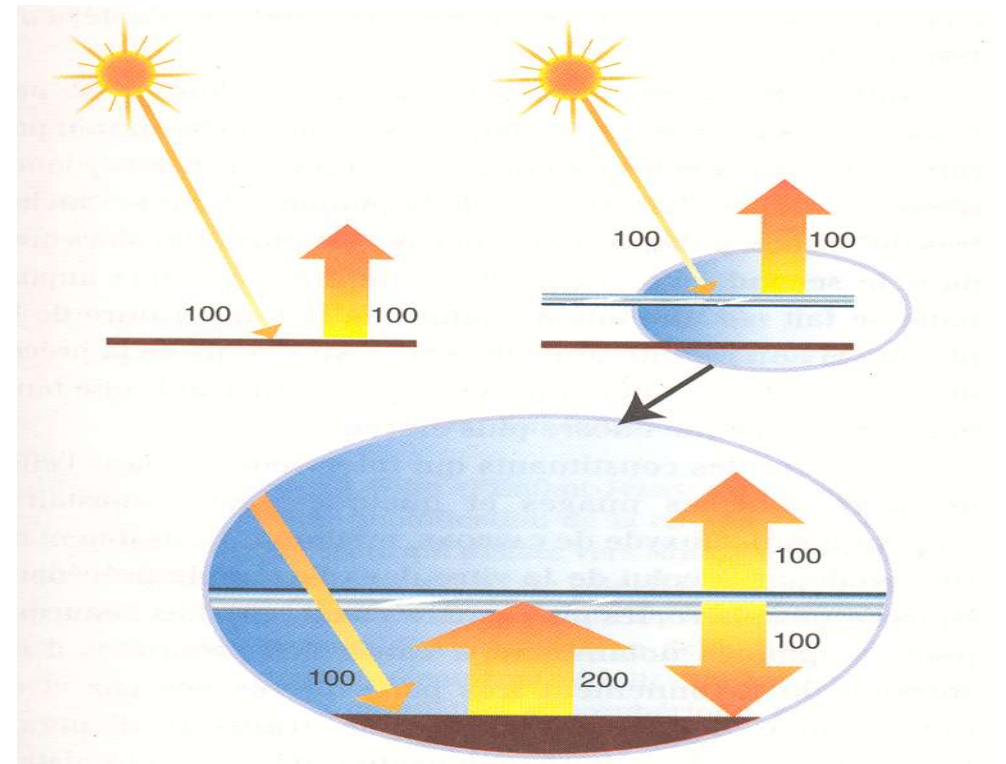
Début du 20^{ème} siècle: des scientifiques (T.C. Chamberlain, Svante Arrhénius, V. Vernadsky...) émettent les hypothèses suivantes:

- 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

Dès que les scientifiques ont établi les lois régissant la température de surface de la Terre, ils ont émis l'hypothèse qu'un accroissement de la concentration des gaz à effet de serre modifie le climat.

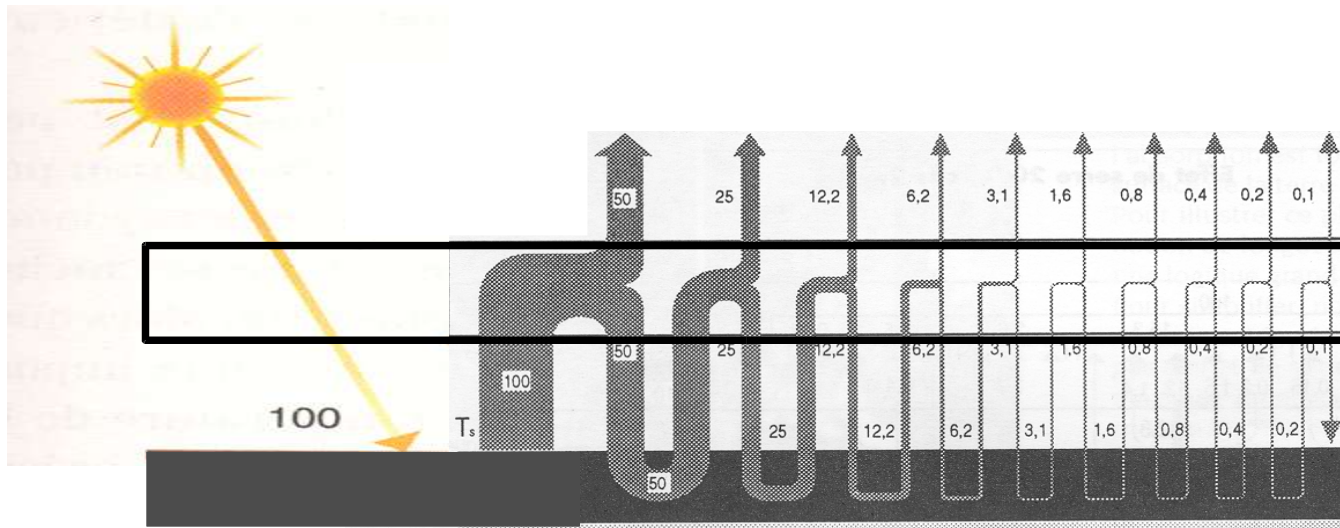
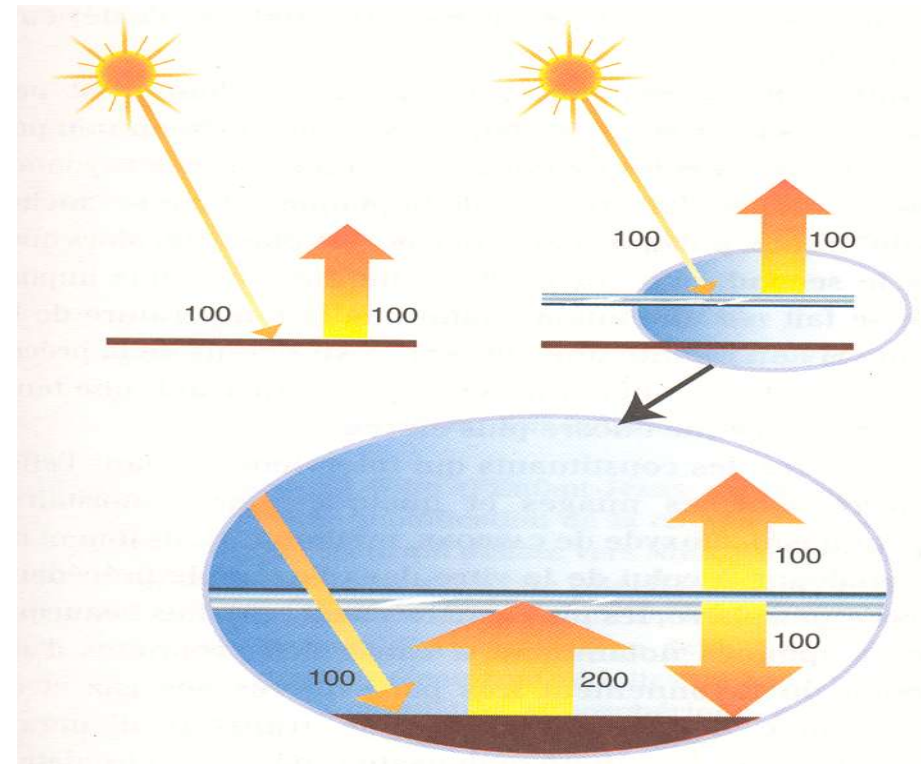
Principe de l'effet de serre

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



Principe de l'effet de serre

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

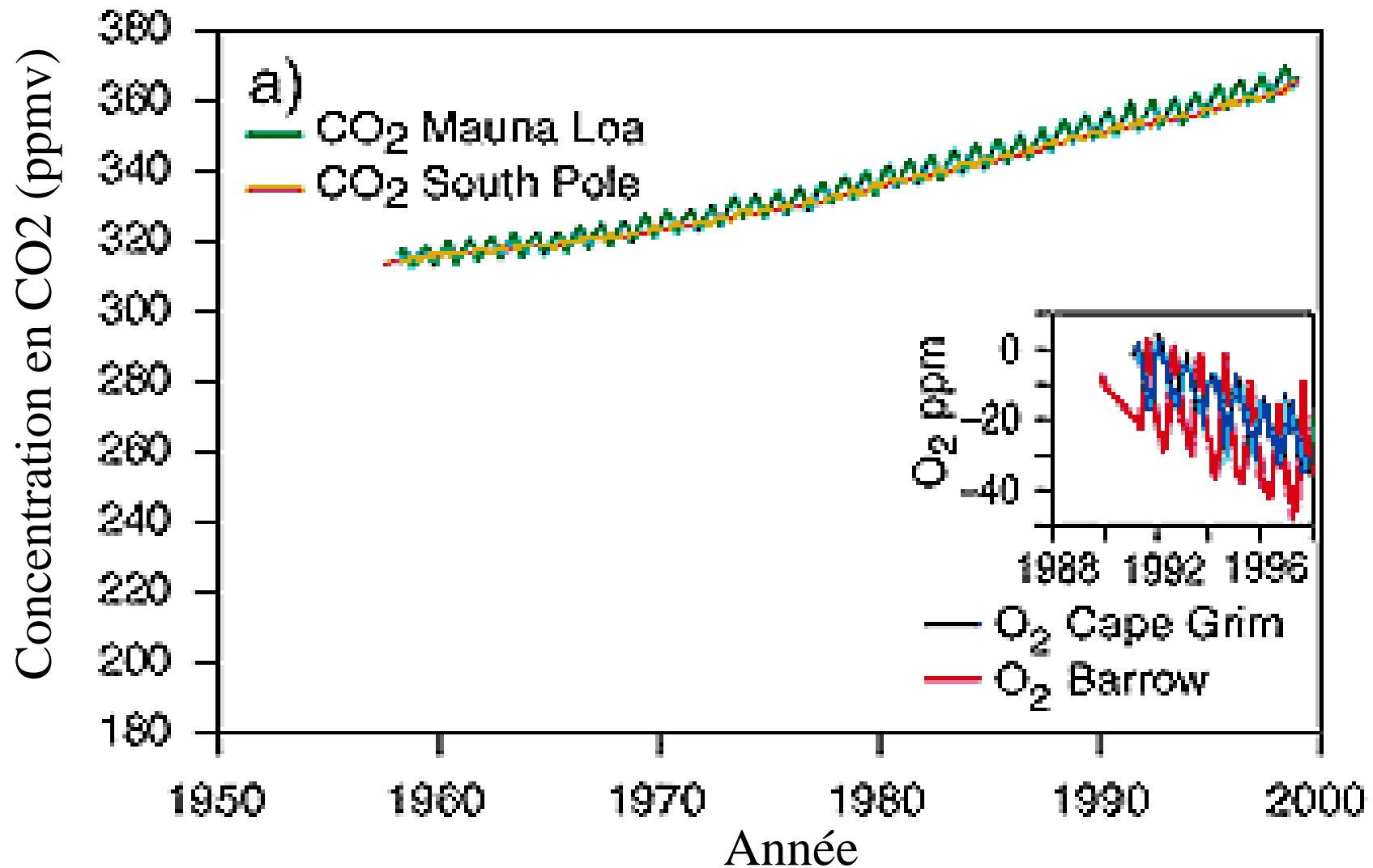


Les changements climatiques: une confirmation très récente

Fin du 20^{ème} siècle:

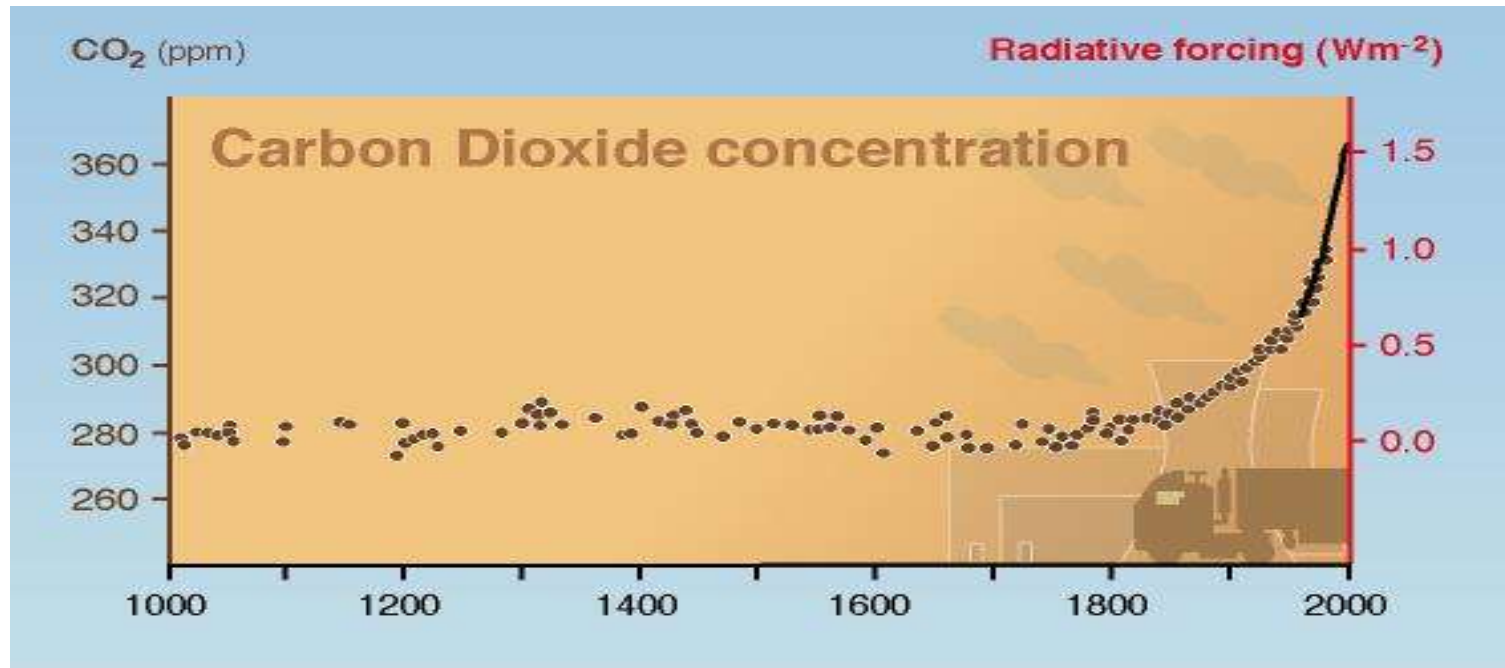
- on observe que la concentration CO₂ atmosphérique croît
- on observe que le climat a changé au cours du 20^{ème} siècle
- les paléo-enregistrements montrent que le CO₂ et le climat ont fortement varié dans le passé
- les modèles climatiques globaux confirment et précisent les résultats théoriques précédents.

Les changements anthropiques: une observation récente

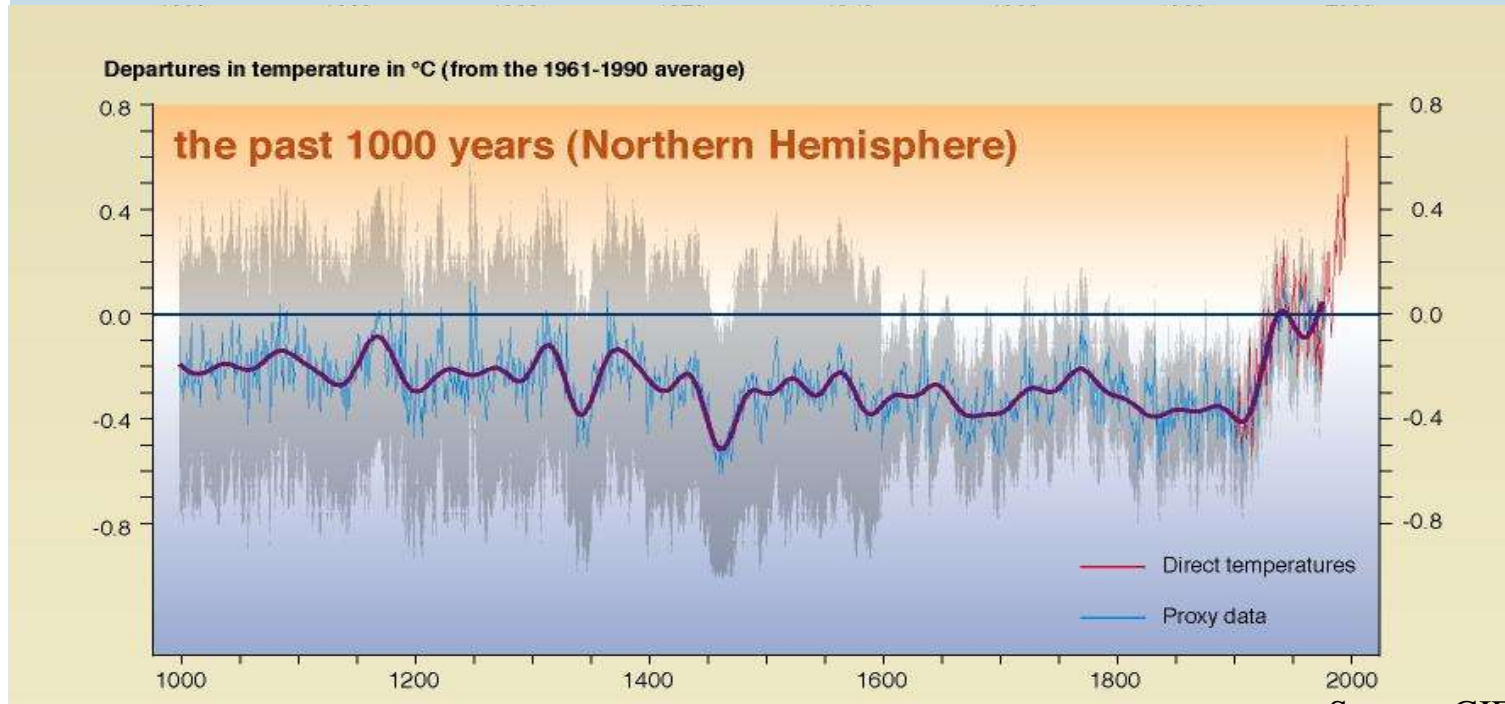


Les 1000 dernières années

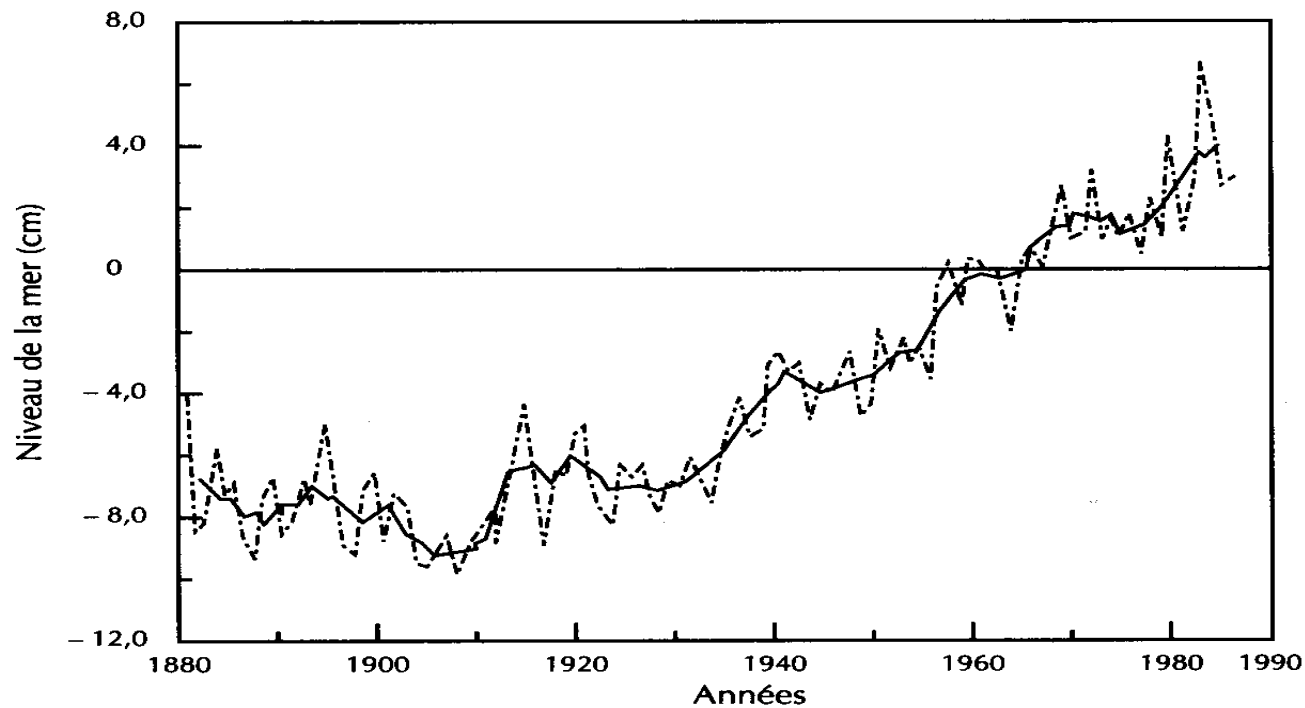
concentration
du CO₂
(ppm)



Anomalie de
la
température
de surface
(°C)



Autres changements globaux



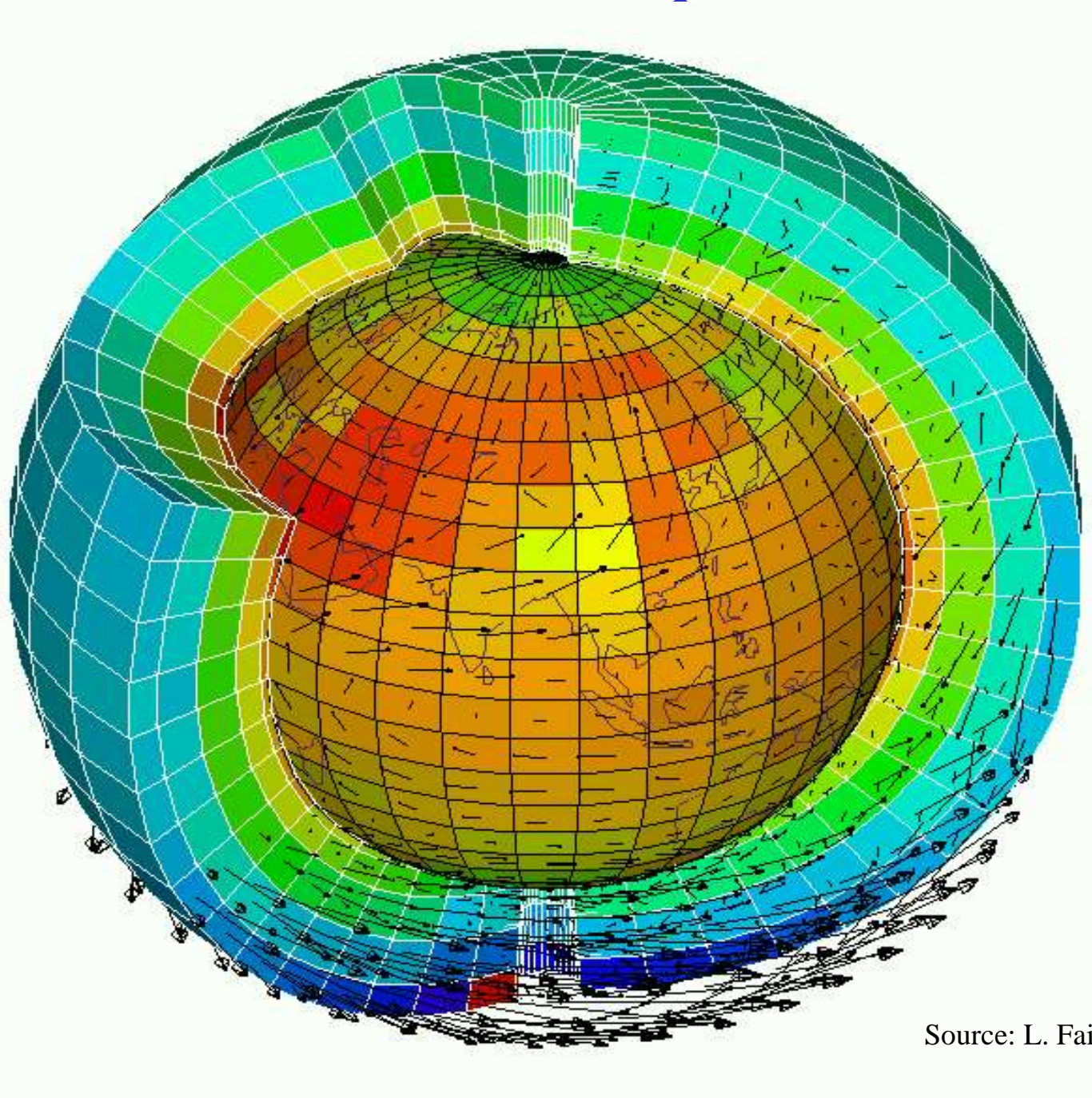
Montée du niveau des mers.

Le taux annuel est en moyenne de l'ordre de 1,15 mm par an.

Retrait général des glaciers montagneux

Changements des périodes de nidifications, de migrations, de floraison

Modélisation numérique 3D du climat

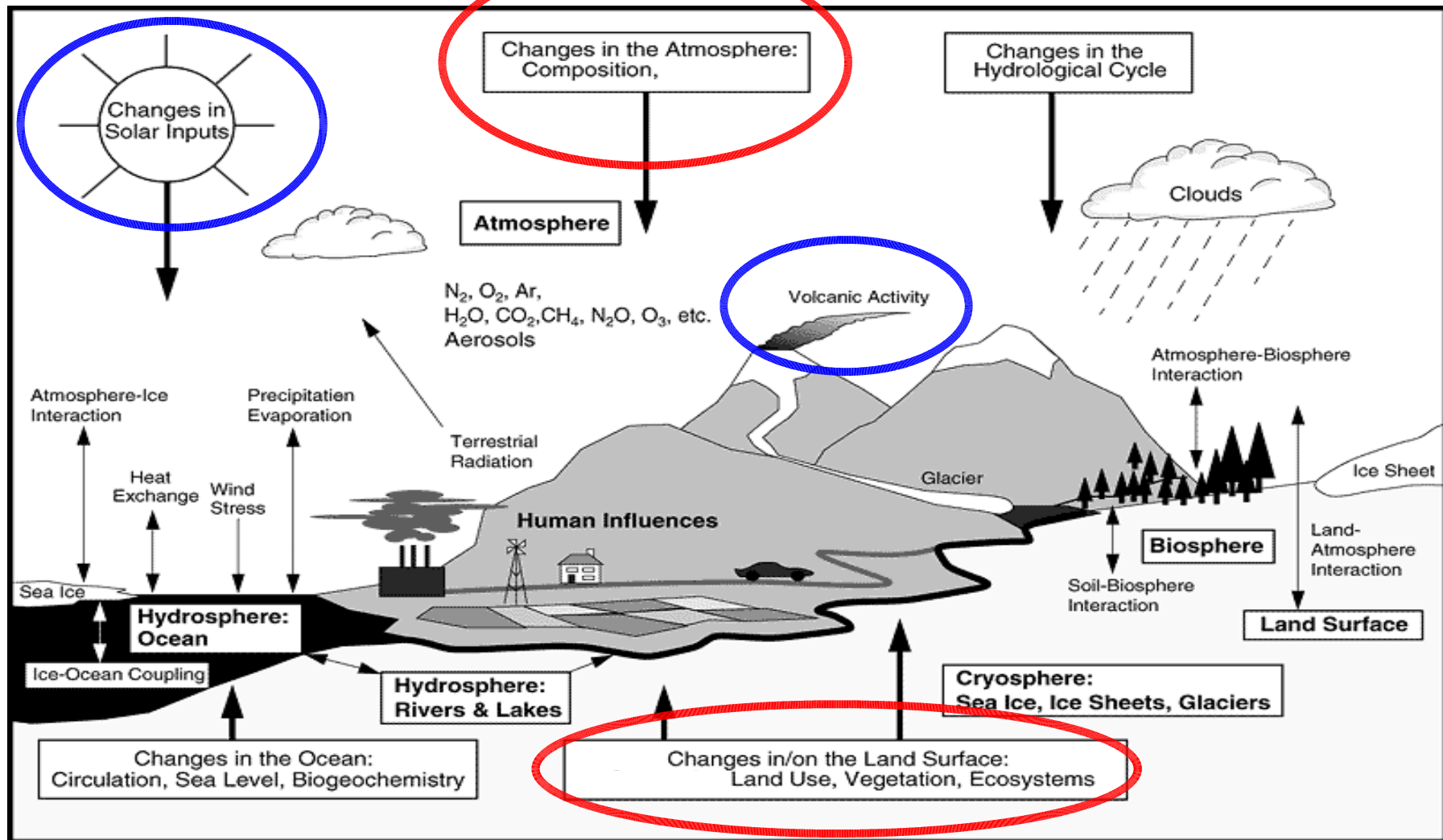


Source: L. Fairhead, LMD/IPSL

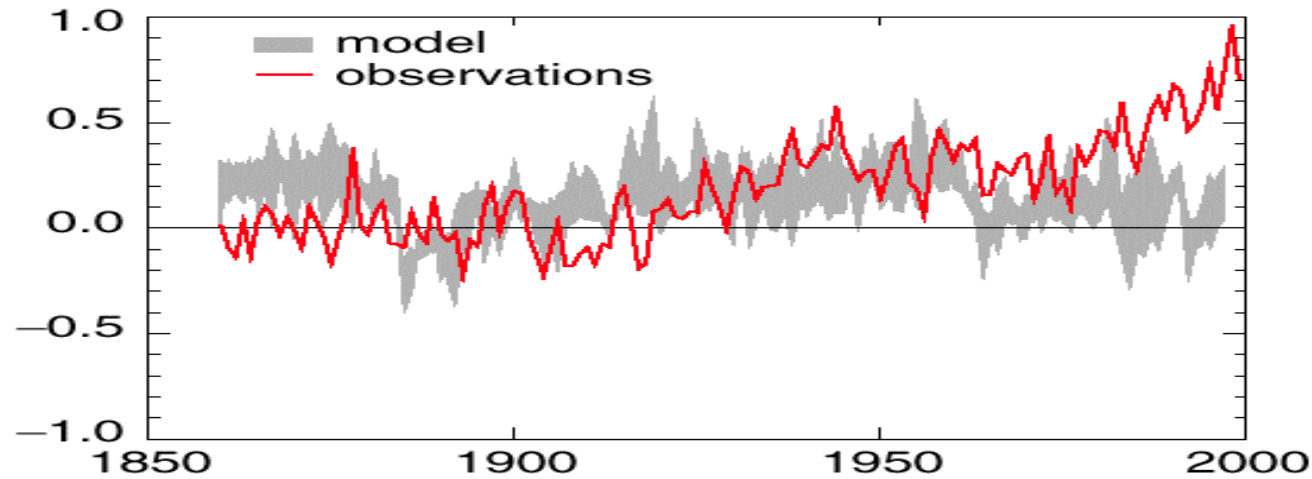
Les perturbations du climat

 naturelles

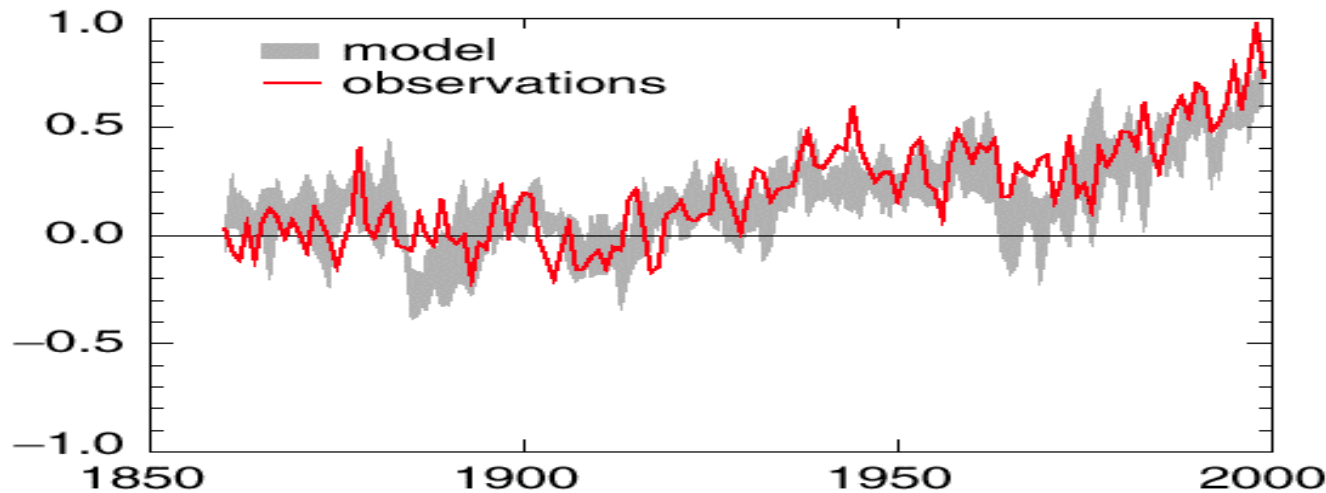
 anthropiques



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 *uniquement les perturbations naturelles* (éruptions volcaniques, activité solaire...)

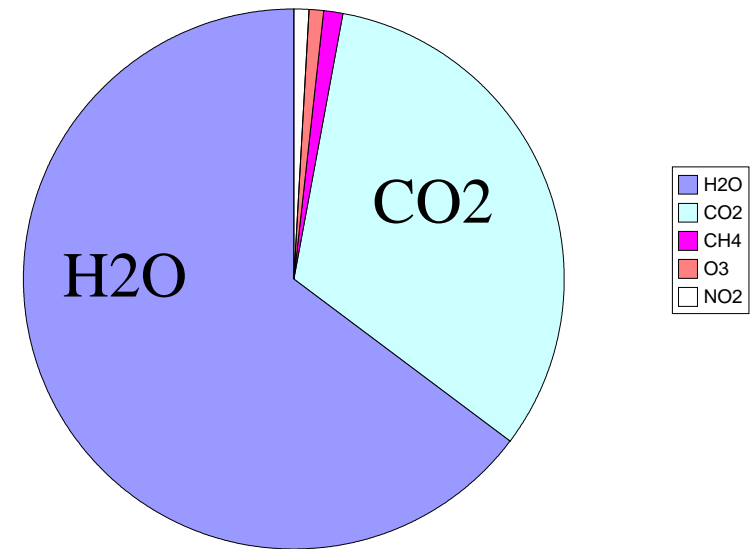


Anomalie de température de la surface de la Terre observée et calculée en prenant en compte les mêmes *perturbations naturelles* et l'accroissement observé de la quantité de *gaz à effet de serre et des aérosols anthropiques*

Les contributions à l'effet de serre

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

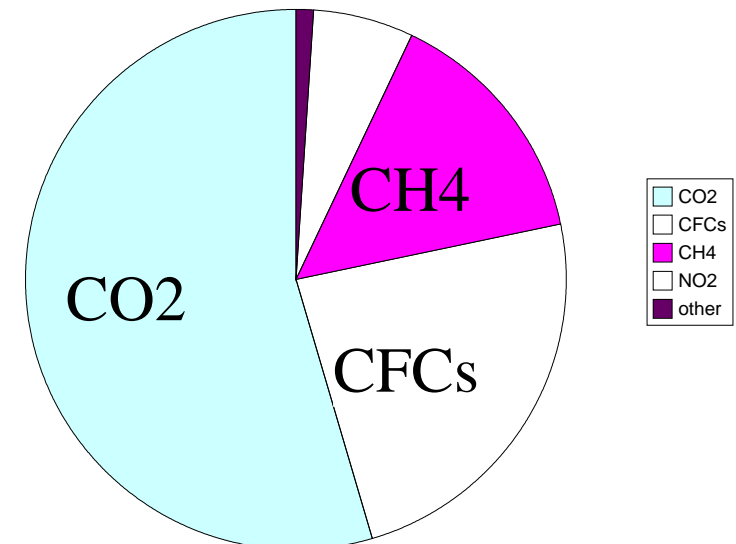
Vapeur d'eau	100	55%
CO2	50	39%
méthane	1,7	2%
ozone	1,3	2%
NO2	1,3	2%



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

•CO2	55%
•CFCs	24%
•méthane (CH4)	15%
•NO2	6%

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 ?

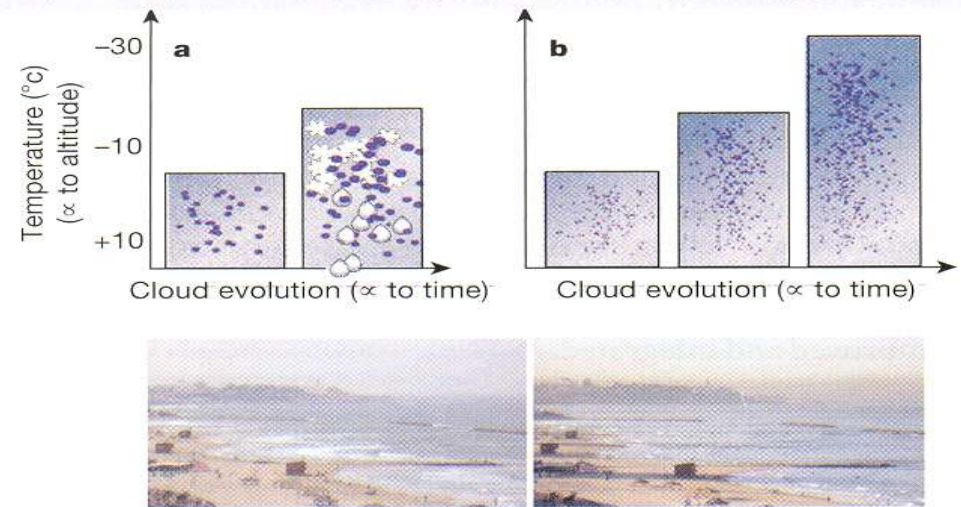
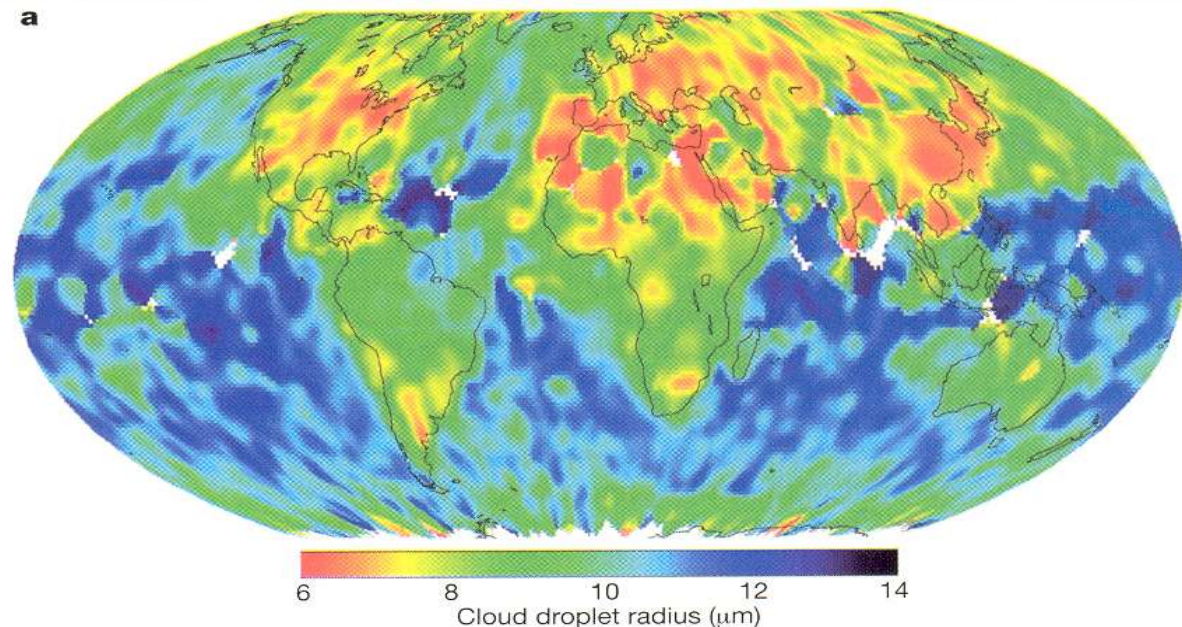


Figure 6 Schematic diagram of cloud formation in a clean and polluted atmosphere. **a**, In a clean atmosphere, the cloud droplet size increases with cloud development until liquid precipitation or glaciation and precipitation take place. **b**, In polluted clouds, the availability of cloud condensation 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.

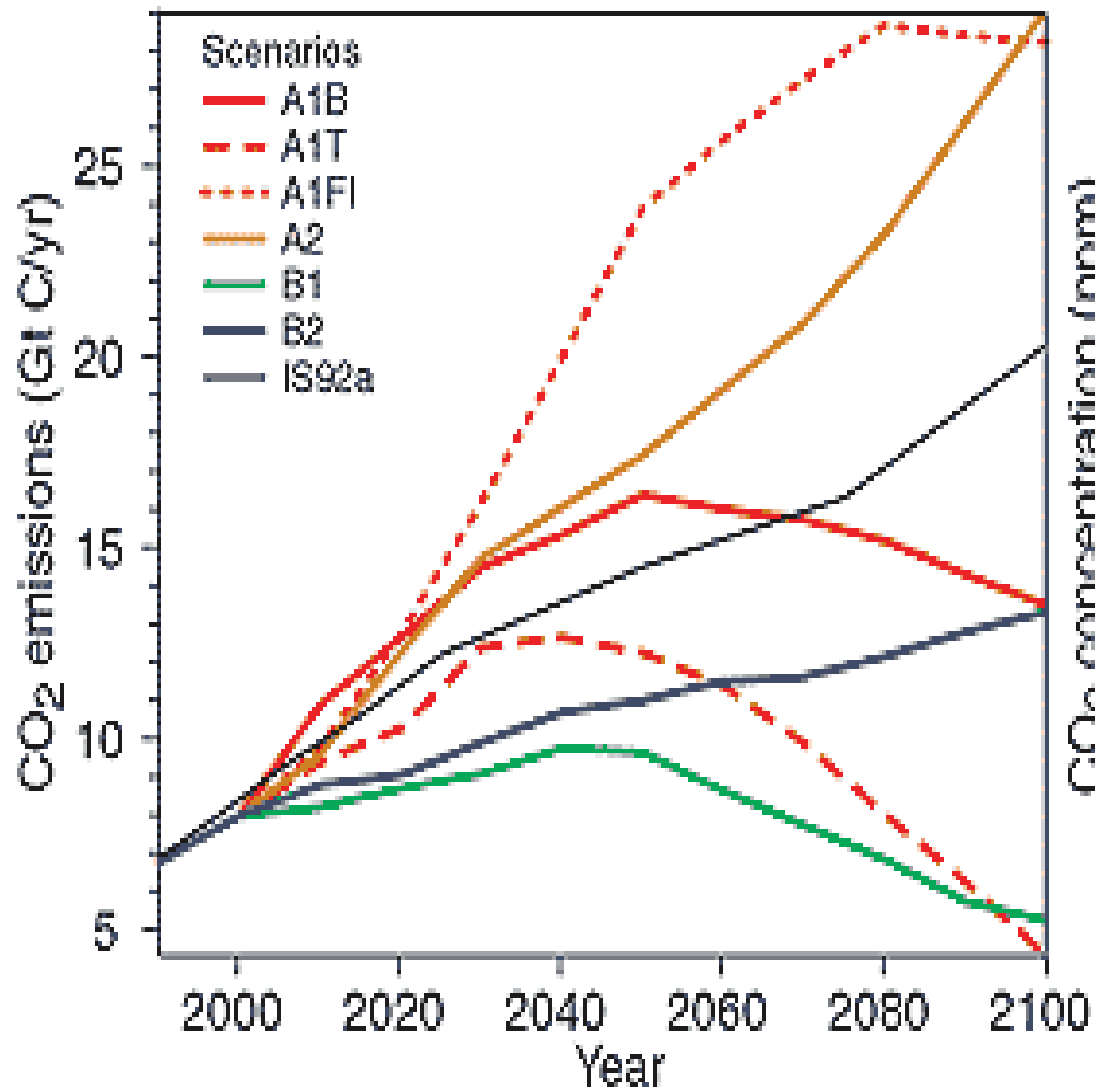
Figure 7 Effect of aerosol on cloud droplet and reflectance derived from POLDER and AVHRR spaceborne measurements. **a**, Seasonal (March–May 1997) average droplet size in liquid water clouds estimated from the POLDER measurements³¹. **b**, The dependence of the droplet size on the aerosol index, also 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.



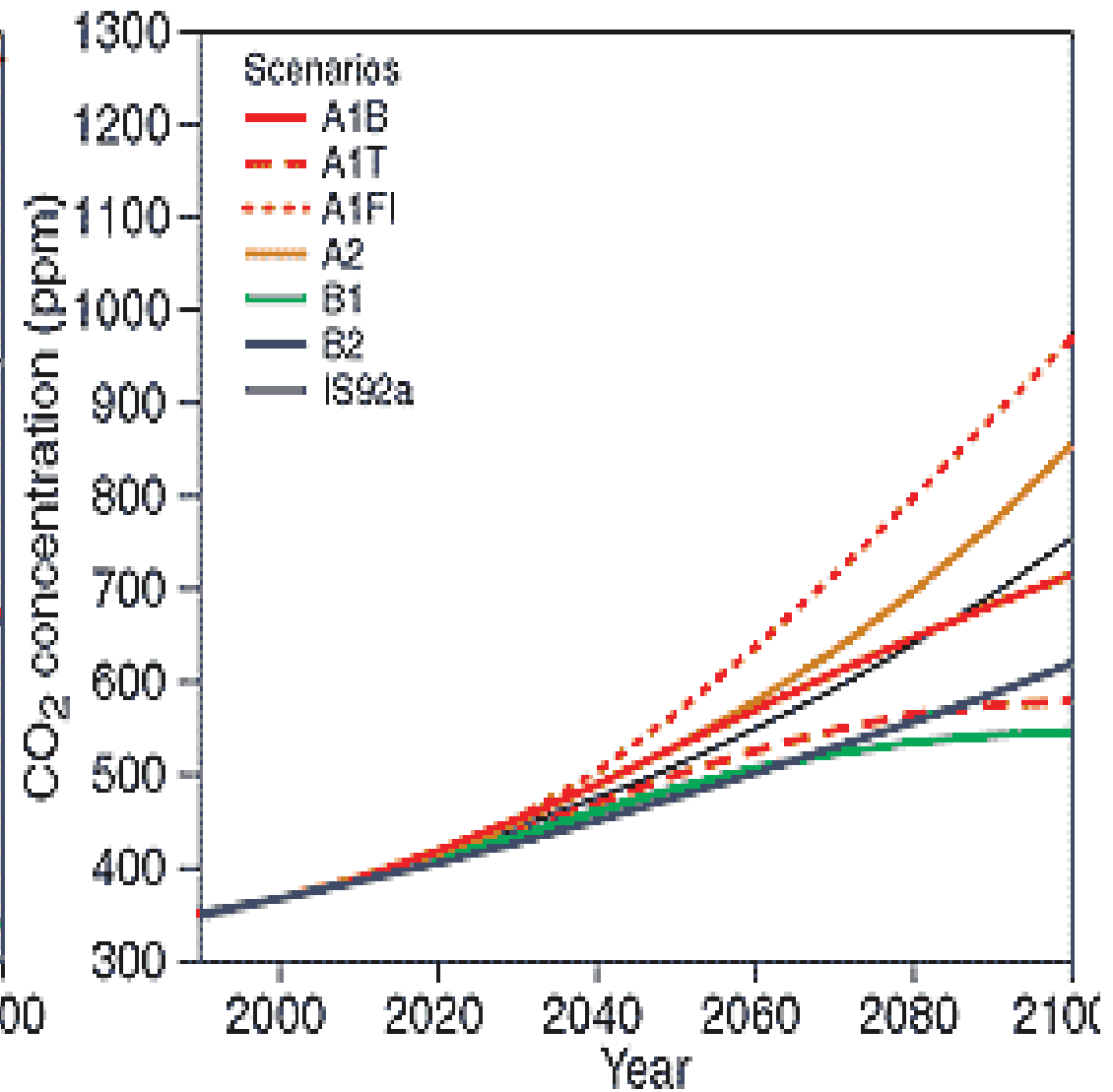
Projections pour le futur

Emissions et concentrations de CO₂: utilisation de scénarii

(a) CO₂ emissions

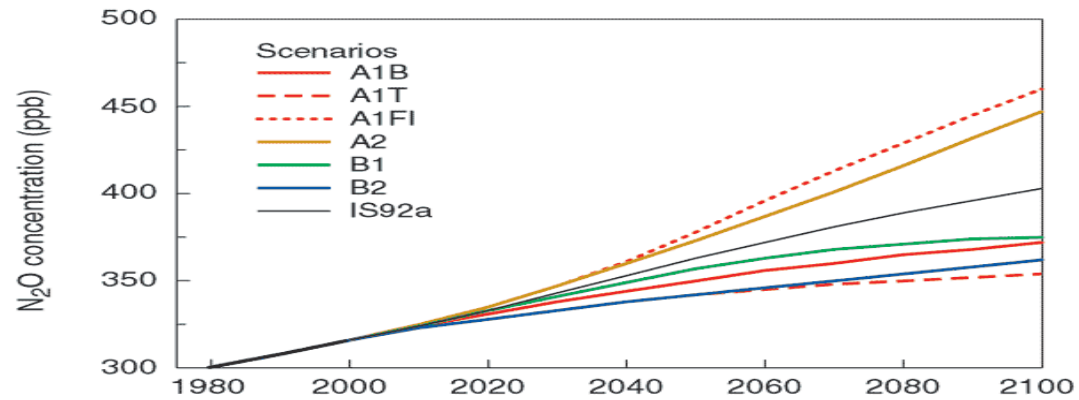
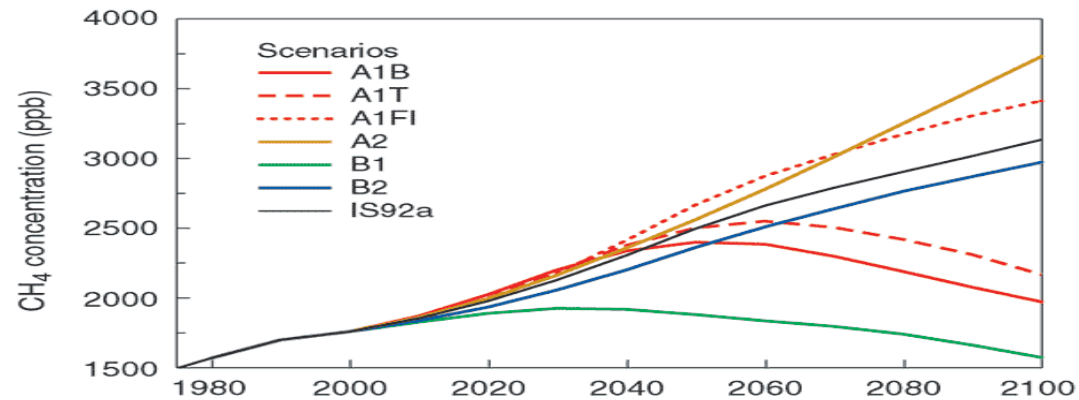
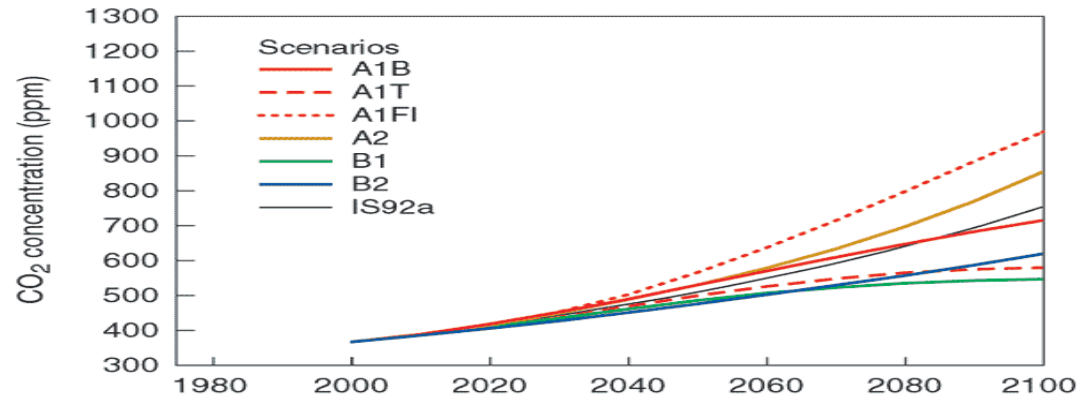


(b) CO₂ concentrations



Et dans 100 ans ?

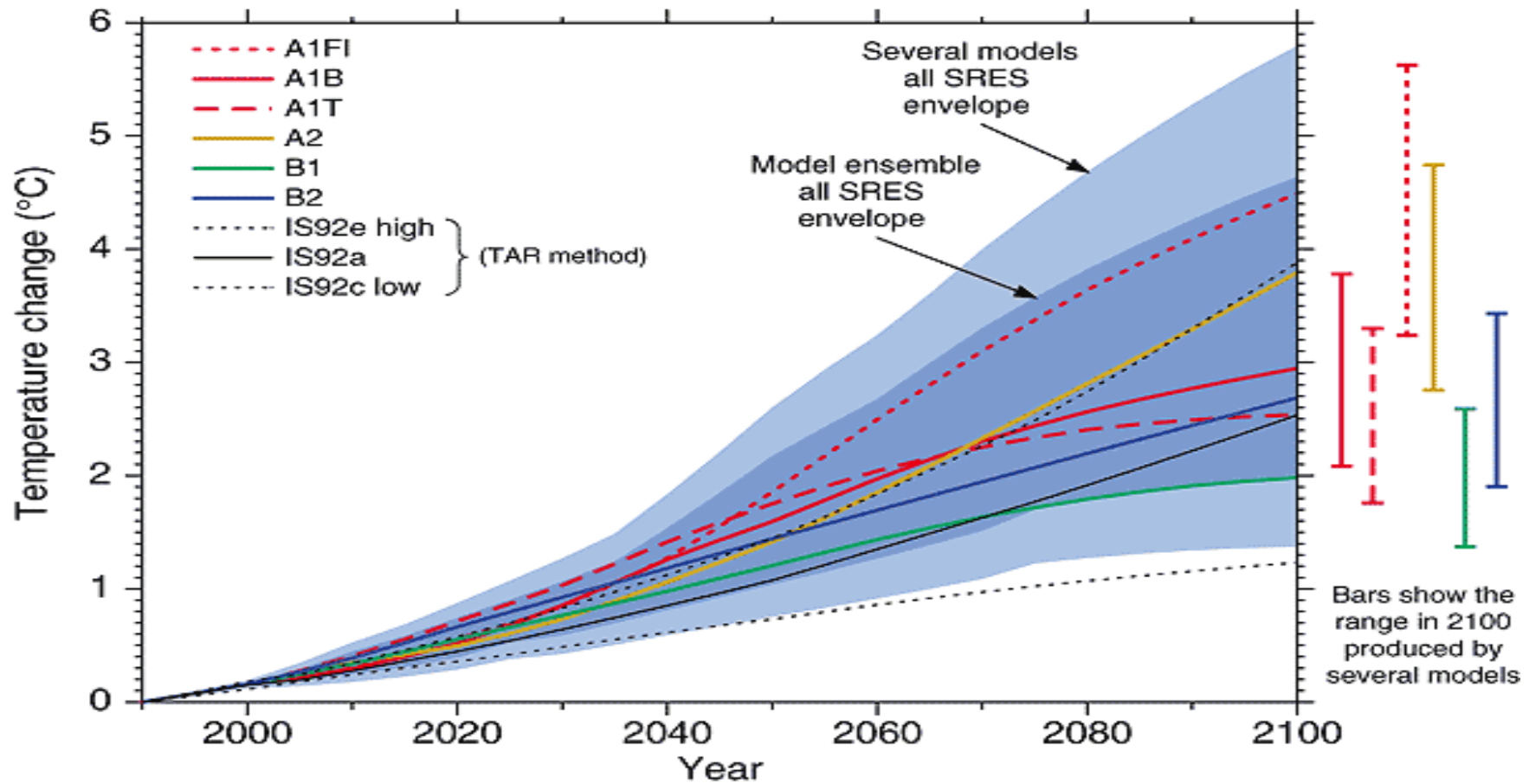
Scénario d'évolution de quelques gaz



Source: GIEC 2001

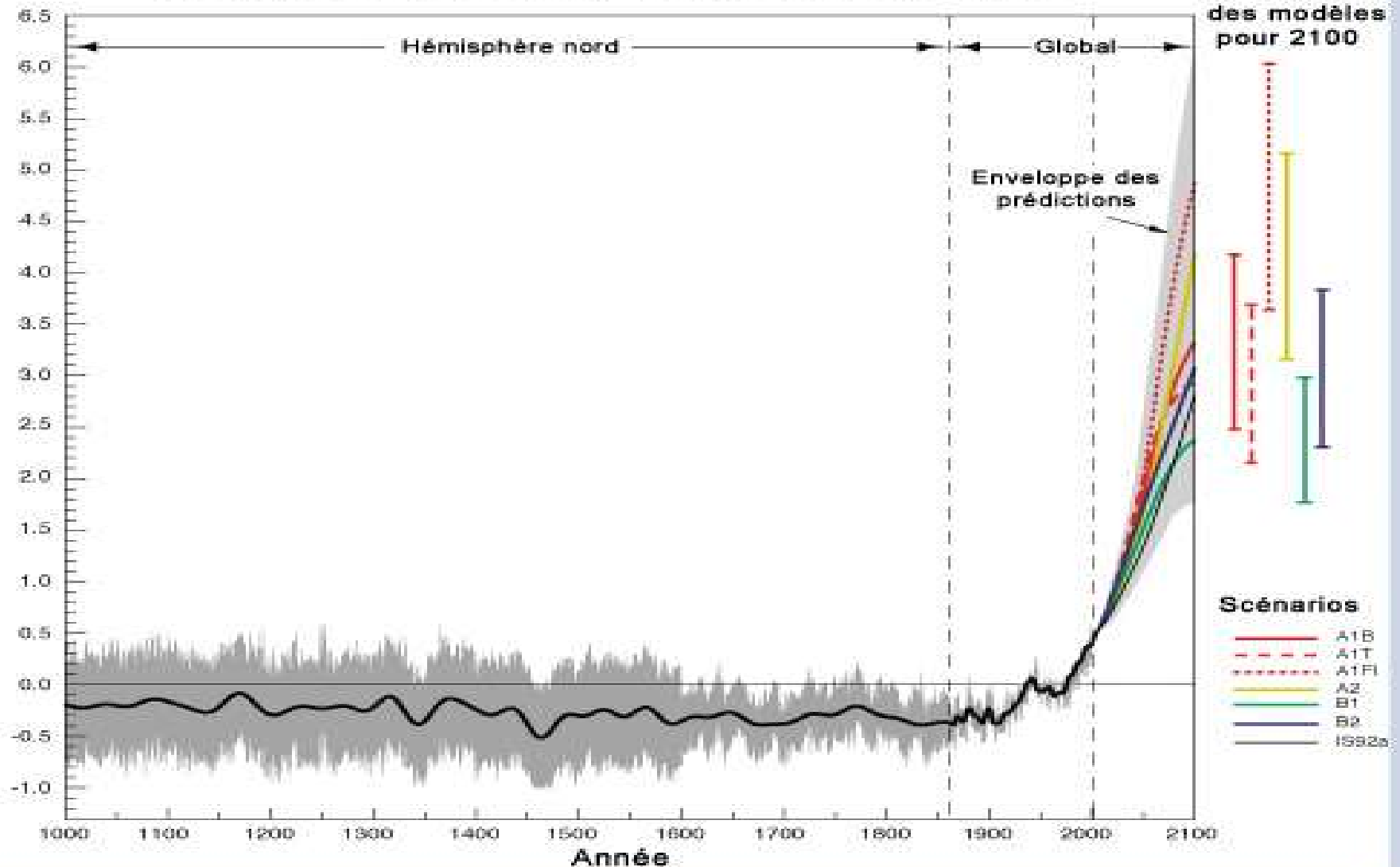
Et dans 100 ans ?

Variation de la température moyenne de surface de la Terre



Et dans 100 ans ?

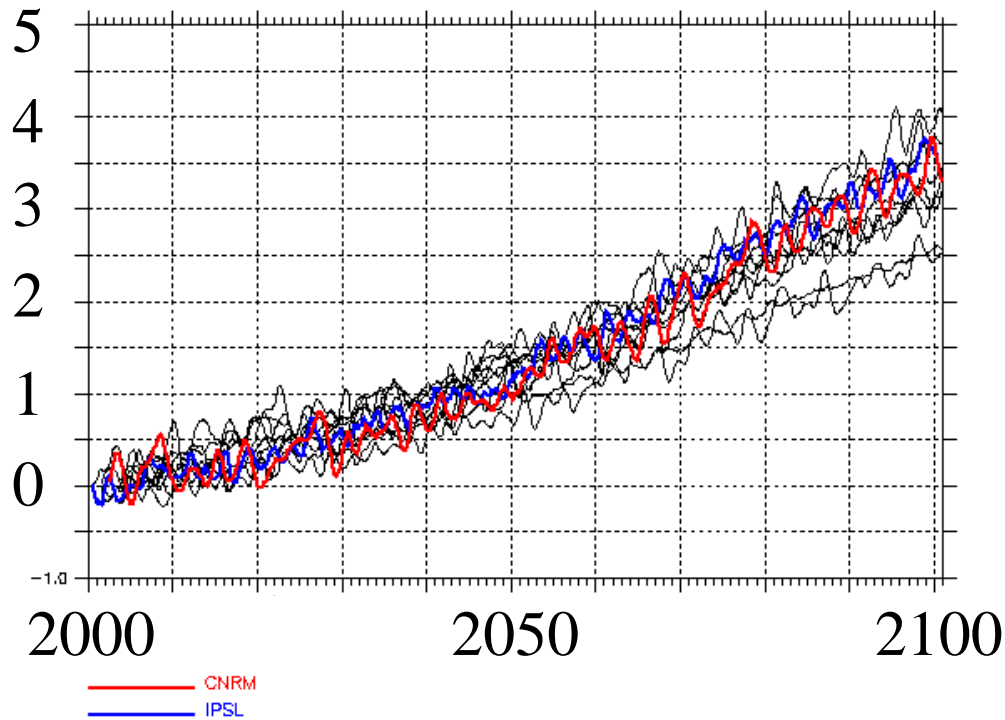
Variations de la température de surface de la Terre de l'an 1000 à l'an 2100



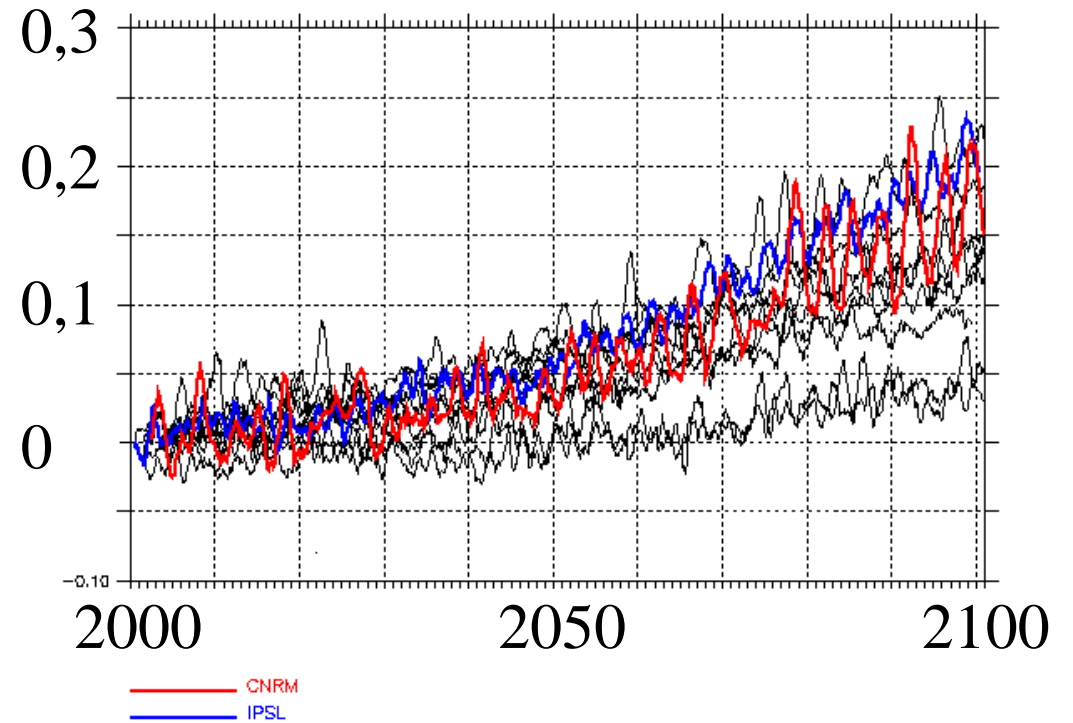
Quelques résultats récents...

Scenario A2

Evolution de la température moyenne (°C)

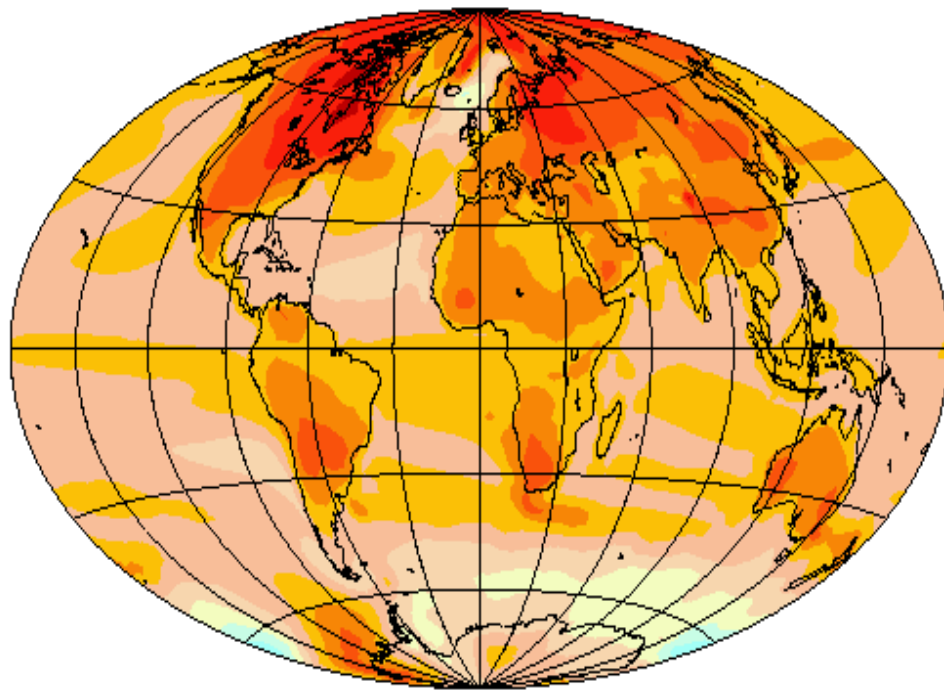


Evolution de la précipitation moyenne (mm/jour)

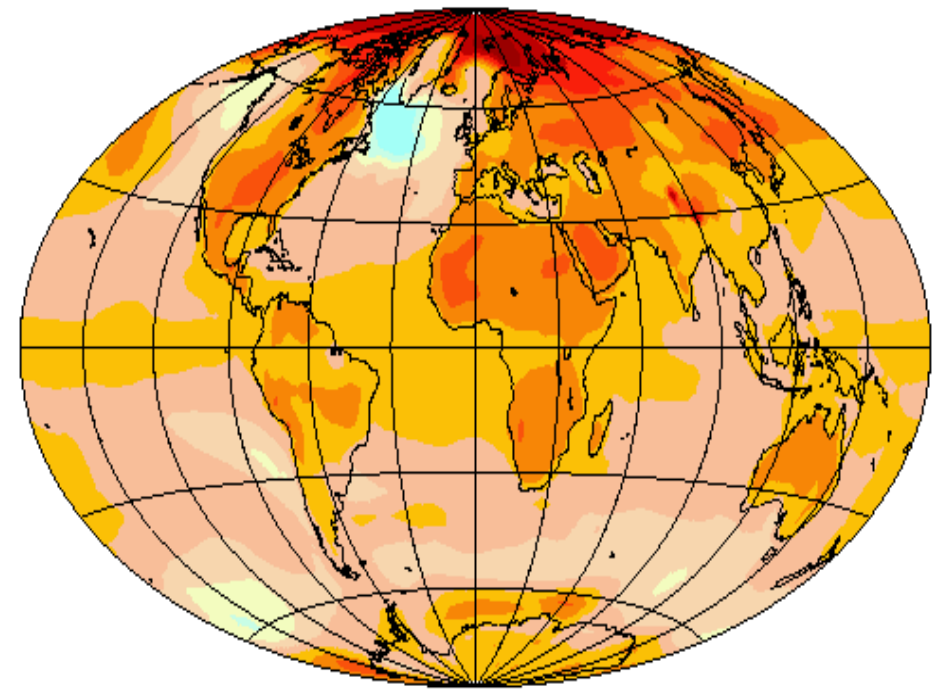


Projection pour l'an 2100

Changement des températures pour le scenario A2



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

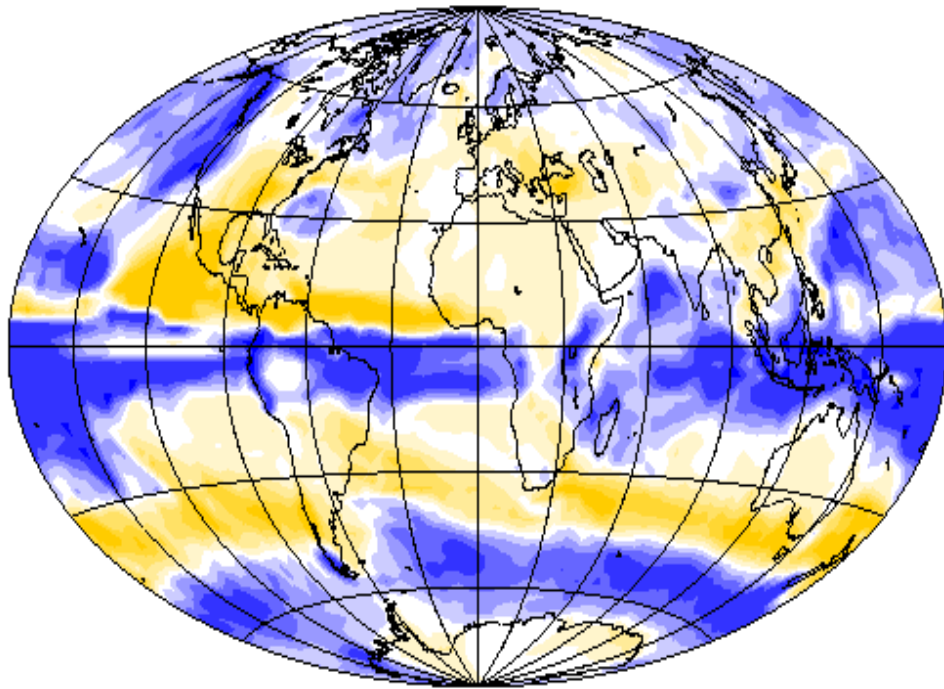


IPCC / CNRM - SRESA2 scenario - Anomalies de la temperature (deg C)
(2090-2099) comparee a (2000-2009)

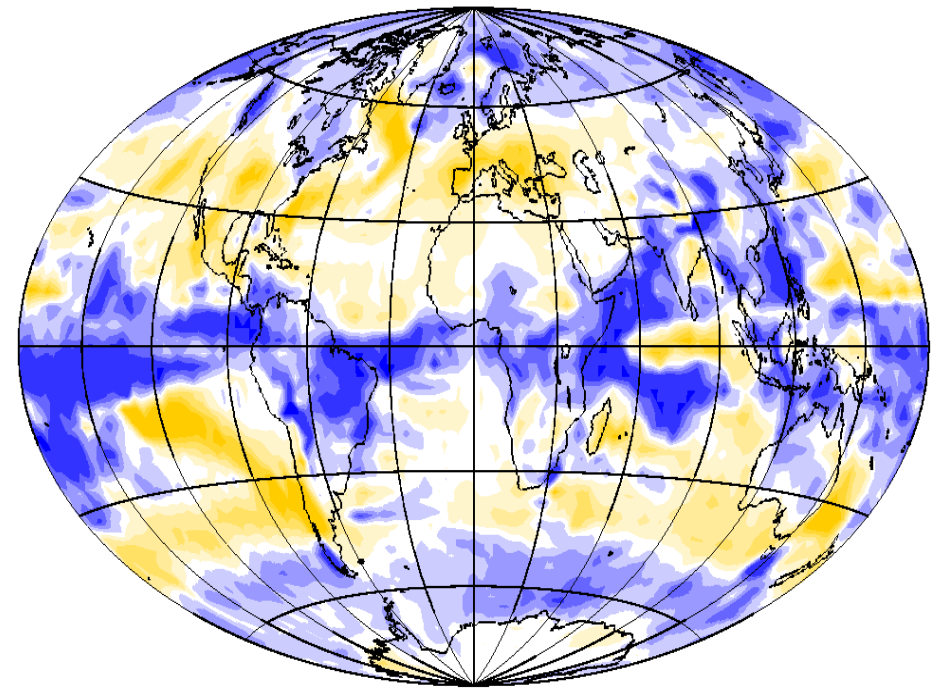


Projection pour l'an 2100

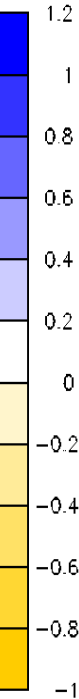
Changement de précipitations pour le scénario A2



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

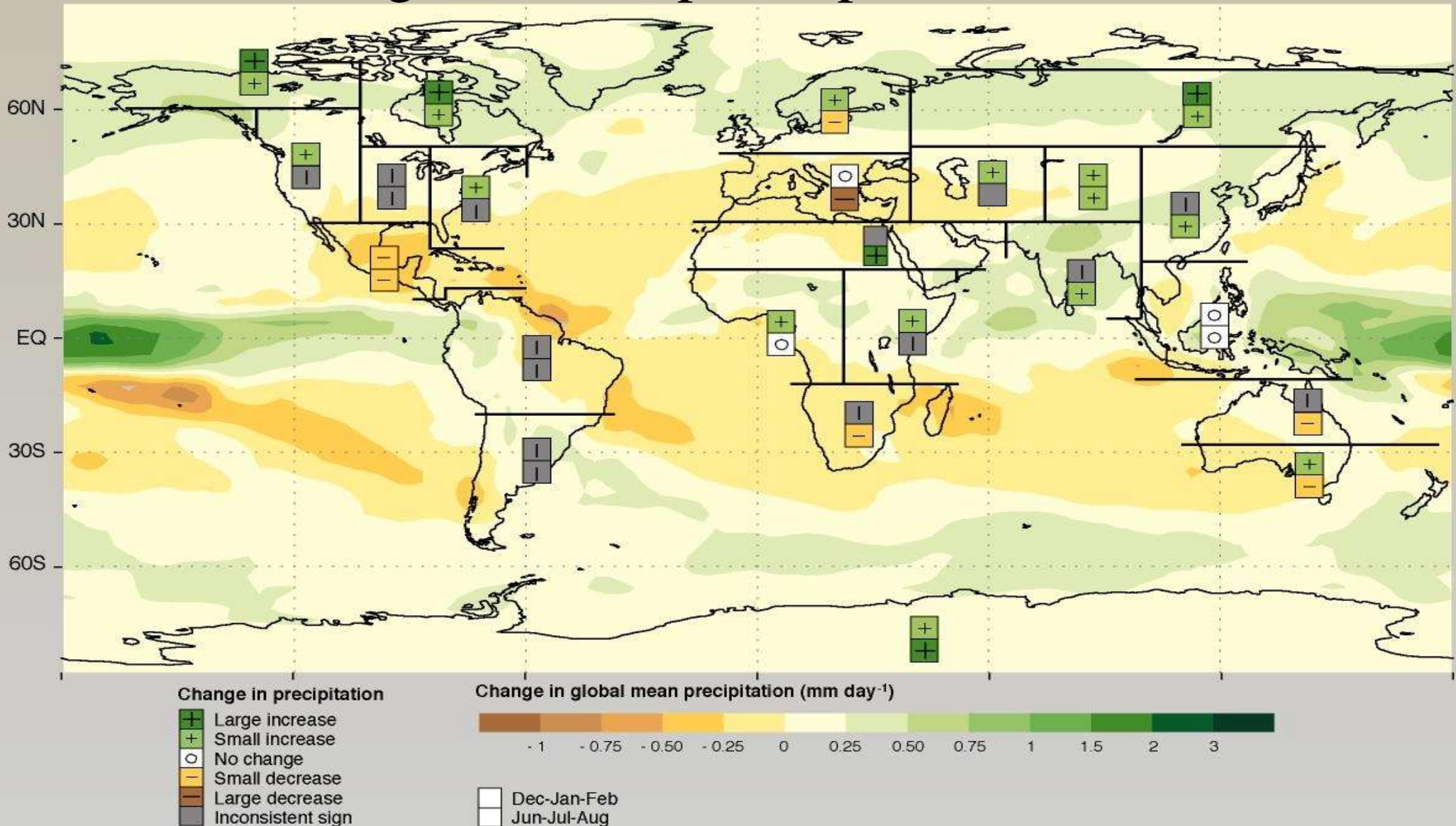


IPCC / CNRM – SRESA2 scénario – Anomalies de la precipitation (mm/jour)
(2090–2099) comparee a (2000–2009)



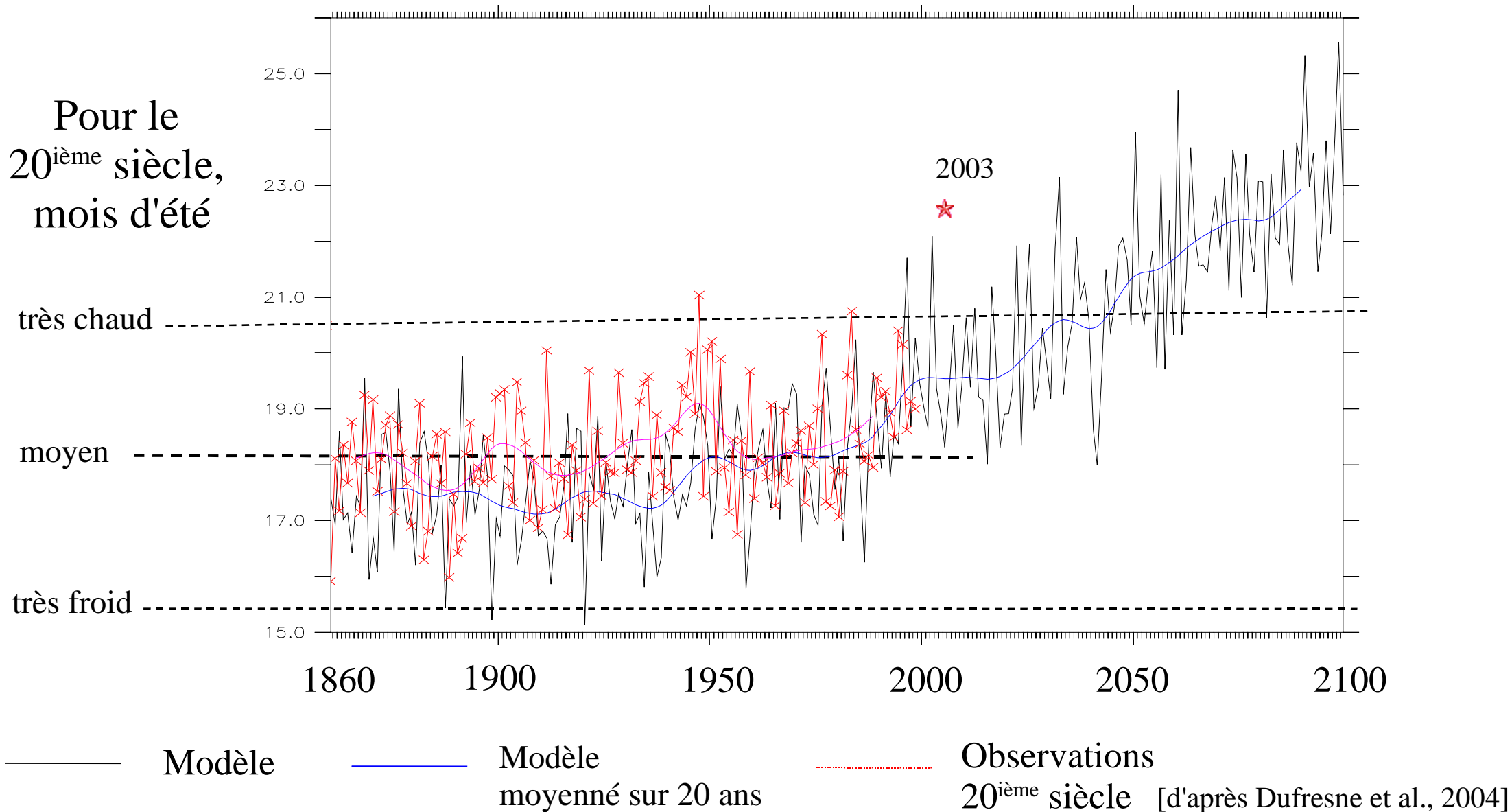
Projection pour l'an 2100

Changement des pluies pour le scenario A2



Que représentent ces changements de température?

Evolution de la température moyenne en été en France de 1860 à 2100
(modèle de l'IPSL, scénario SRES A2, sans aérosols)

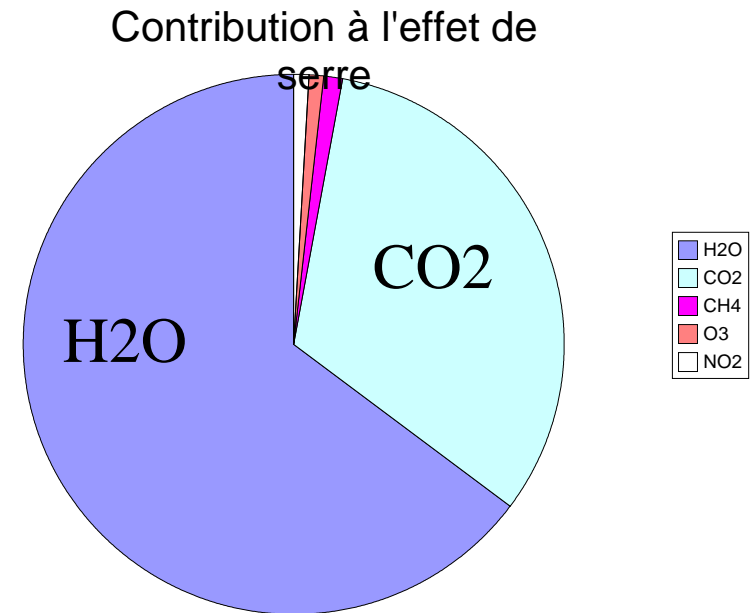


Quelques incertitudes

La rétroaction vapeur d'eau

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

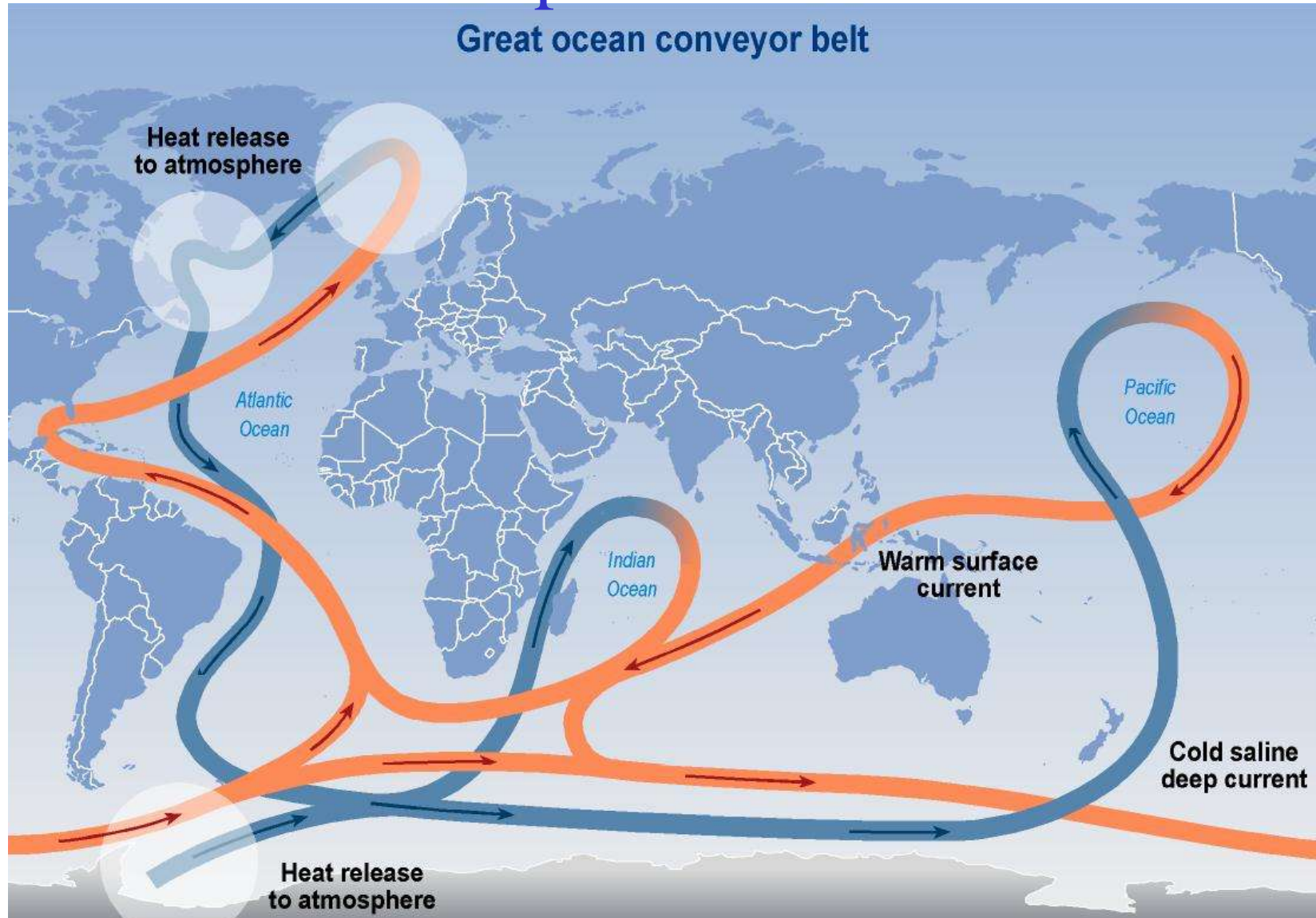
Vapeur d'eau	100	55%
CO2	50	39%
méthane	1,7	2%
ozone	1,3	2%
NO2	1,3	2%



La rétroaction des nuages

Quelques incertitudes

Changement drastique de la circulation de l'océan profond?



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?