

Le changement climatique: une prévision théorique

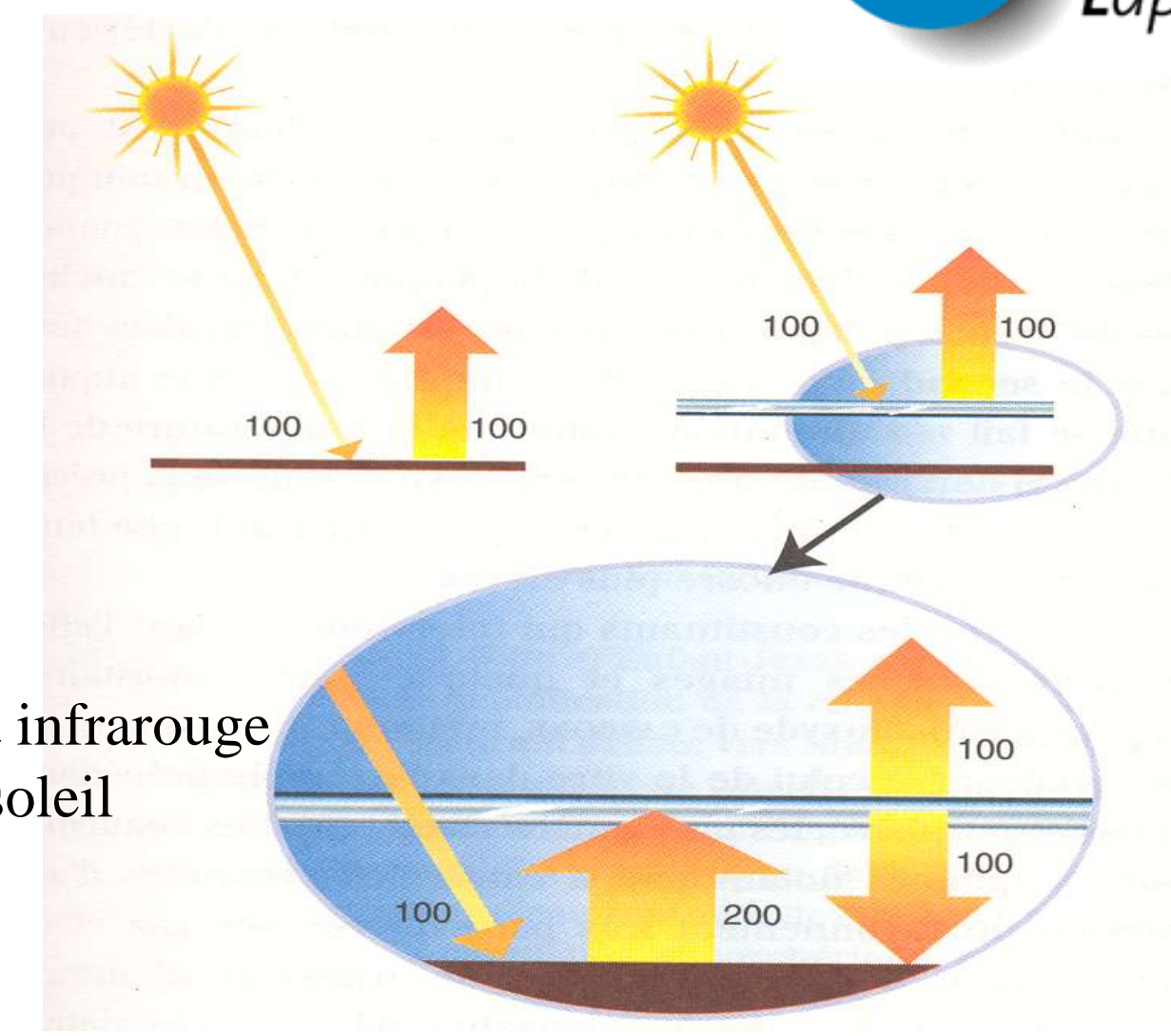
19^{ème} siècle: découverte du rayonnement infrarouge, de "l'effet de serre" de l'atmosphère et du rôle qu'y jouent la vapeur d'eau et le CO₂ (Joseph Fourier, Claude Piollet, John Tyndall...)

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 influencera le climat

Fin du 20^{ème} siècle: développement de modèles de circulation générale et de modèles climatiques globaux. Les résultats de ces modèles confirment et précisent les résultats théoriques précédents.

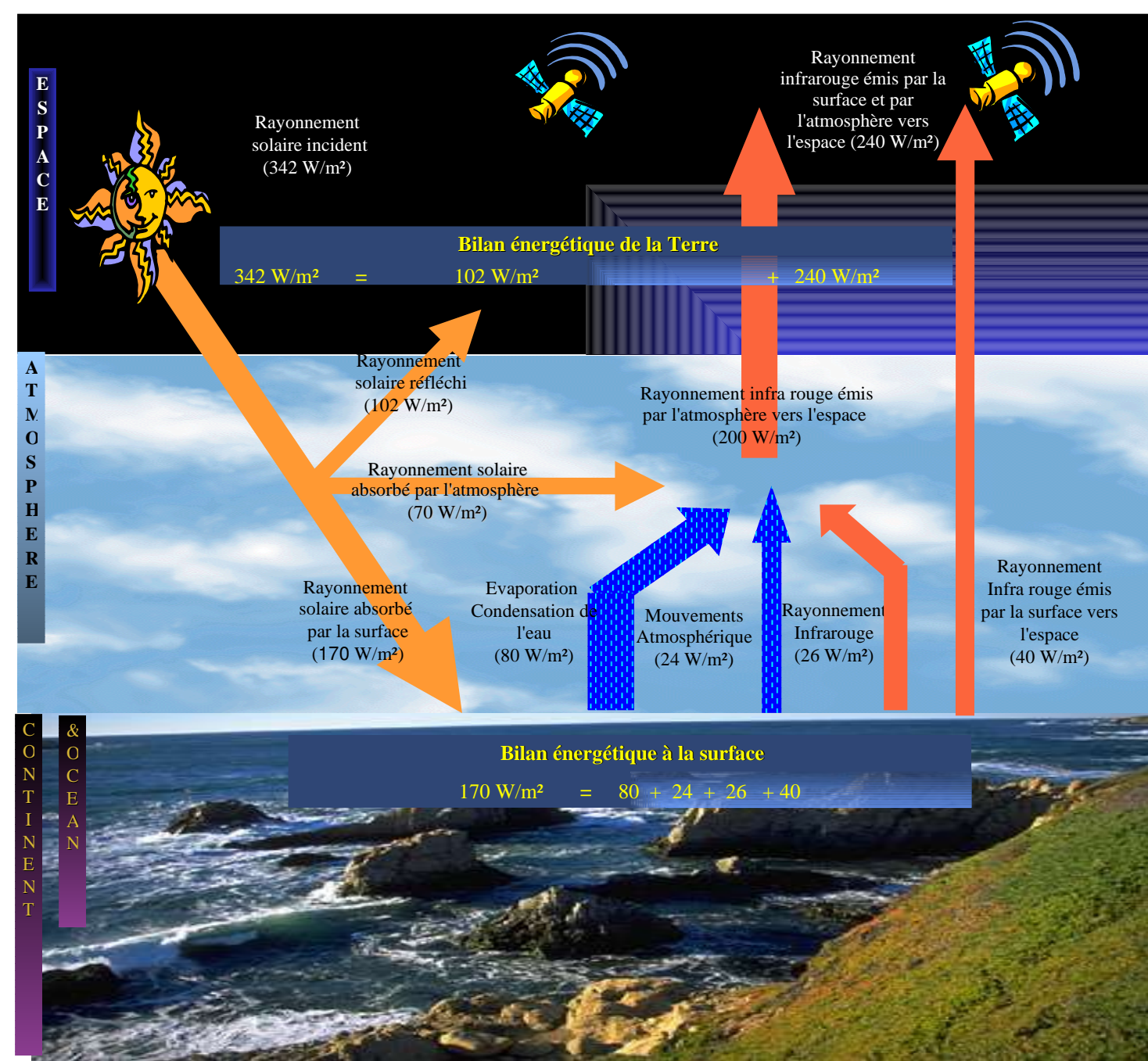
Principe de l'effet de serre



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

- › La plaque, ou l'ensemble "vitre-plaque" perdent autant d'énergie qu'ils en reçoivent.
 - › Vu depuis "l'espace", l'énergie émise est la même
 - › Sans effet de serre, la plaque émet 100
 - › Avec effet de serre, la plaque émet 200
 - › Pour émettre 200, la température de la plaque est plus élevée que pour émettre 100
 - › **Effet de serre:** modification du transport d'énergie (par rayonnement) entre l'endroit où l'énergie est gagnée (rayonnement solaire absorbé) et l'endroit où elle est perdue (par rayonnement infrarouge)
- Effet de serre:** $G = F^+_{\text{surface}} - F^+_{\text{sortant}}$

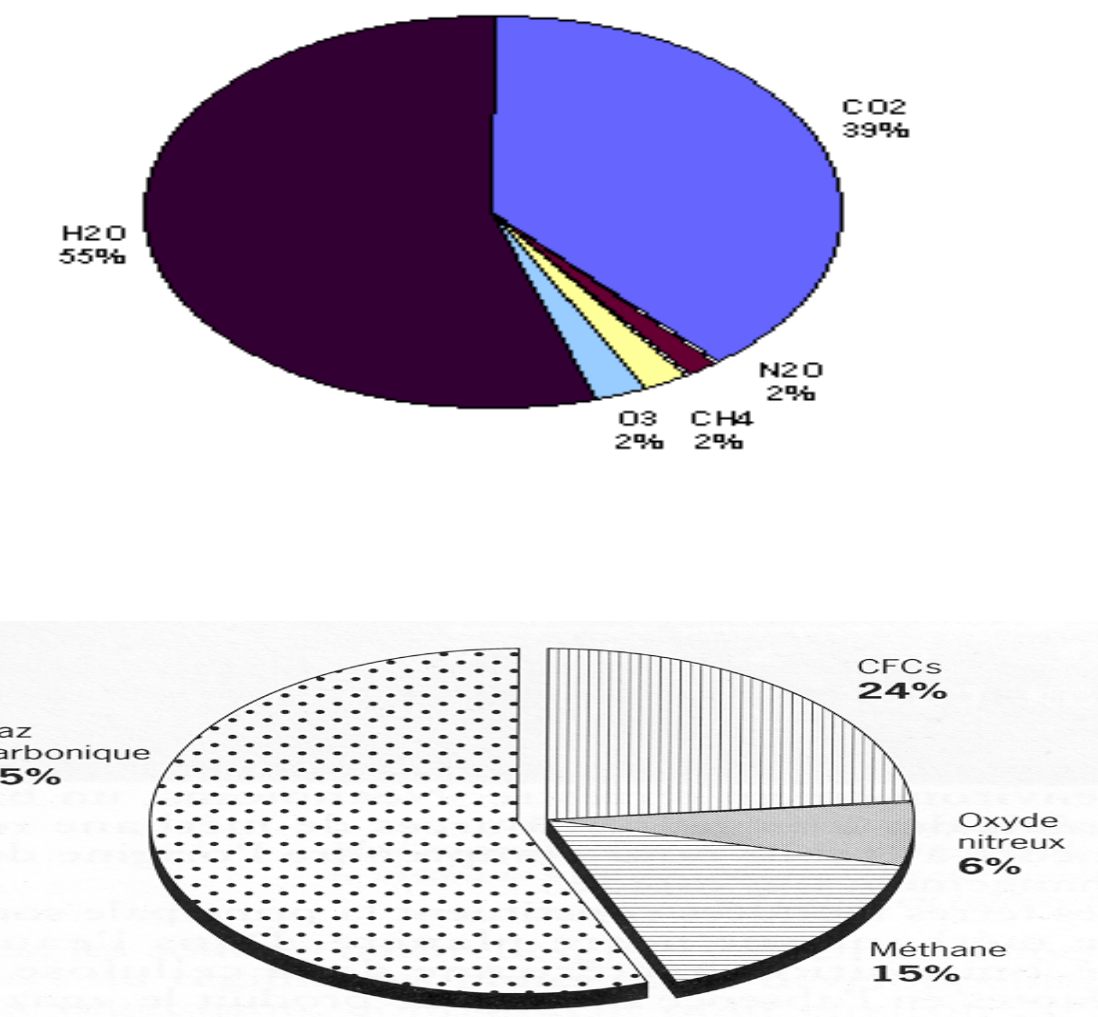
Bilan énergétique de la Terre



Contribution des différents gaz à effet de serres

Effet de serre (W.m⁻²):

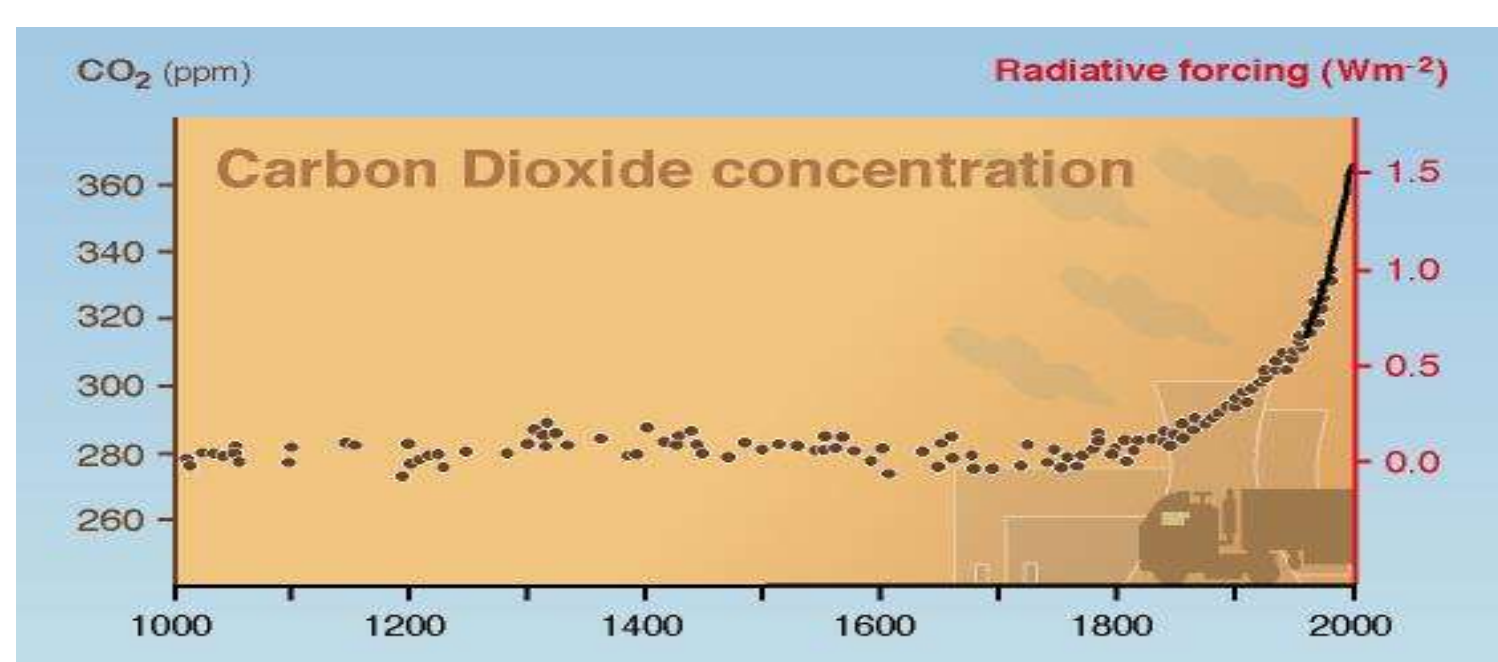
vapeur d'eau	100
gaz carbonique	50
méthane	1,7
ozone	1,3
oxyde nitreux	1,3



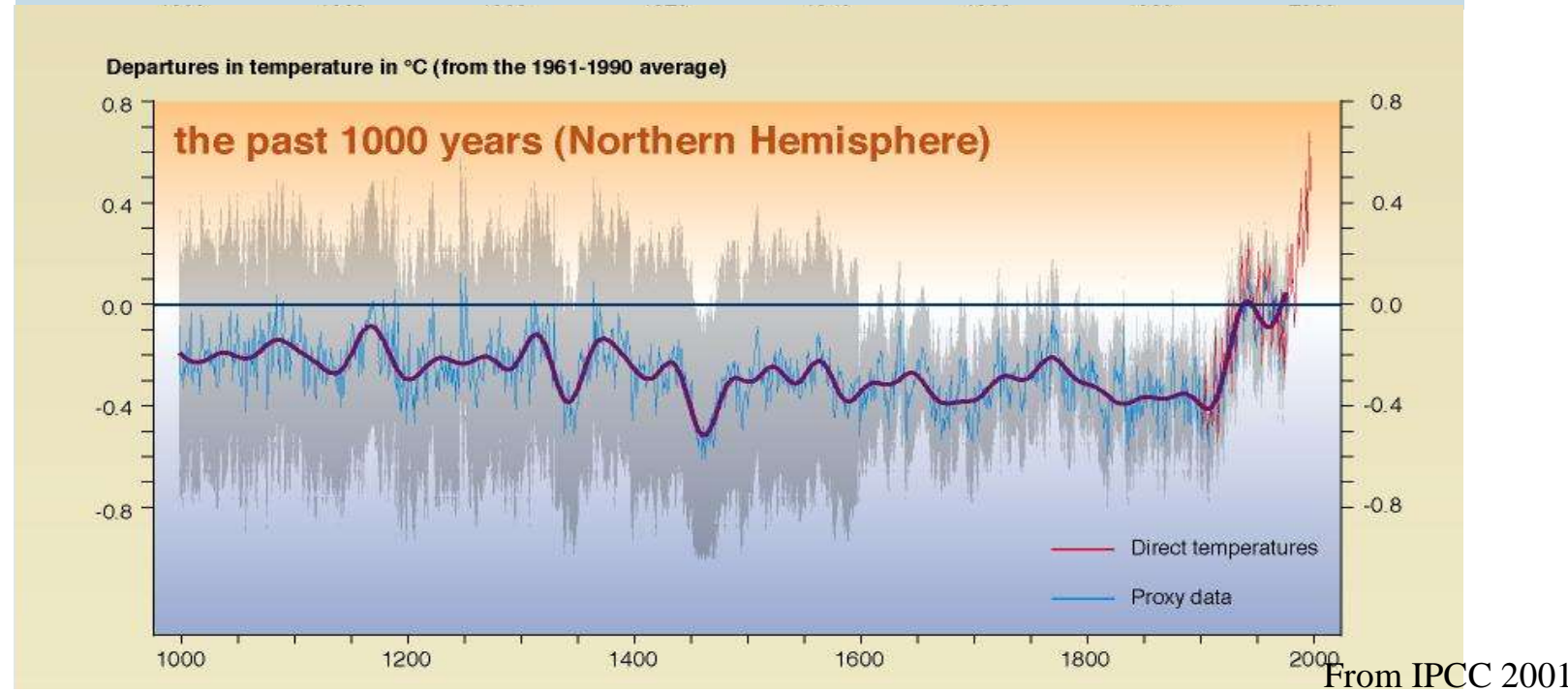
Perturbations anthropiques:

Evolution, durant les 1000 dernières années:

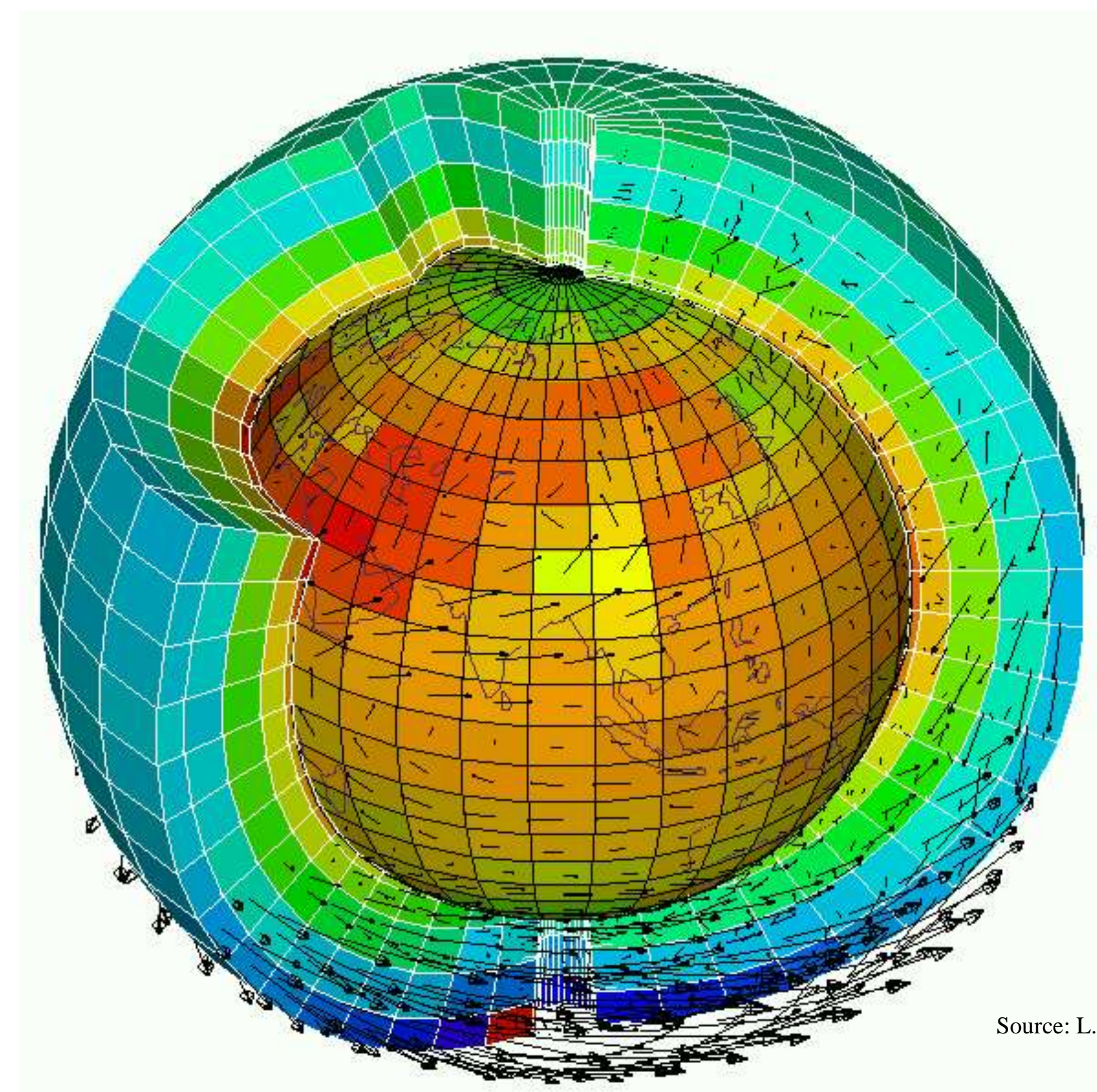
du CO₂ atmosphérique (ppm)



De la température de surface (anomalie, °C)

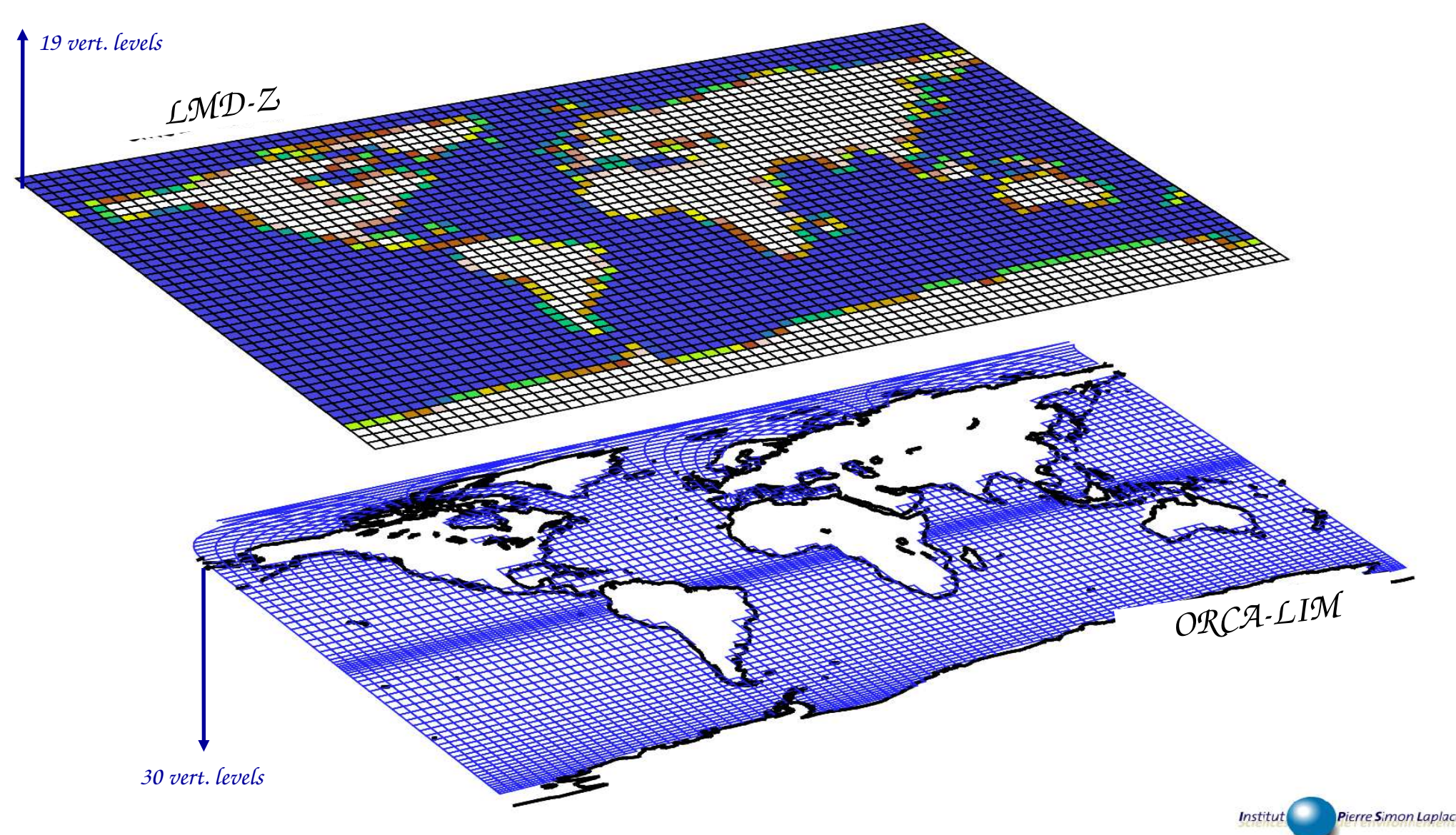


Modélisation numérique 3D du climat

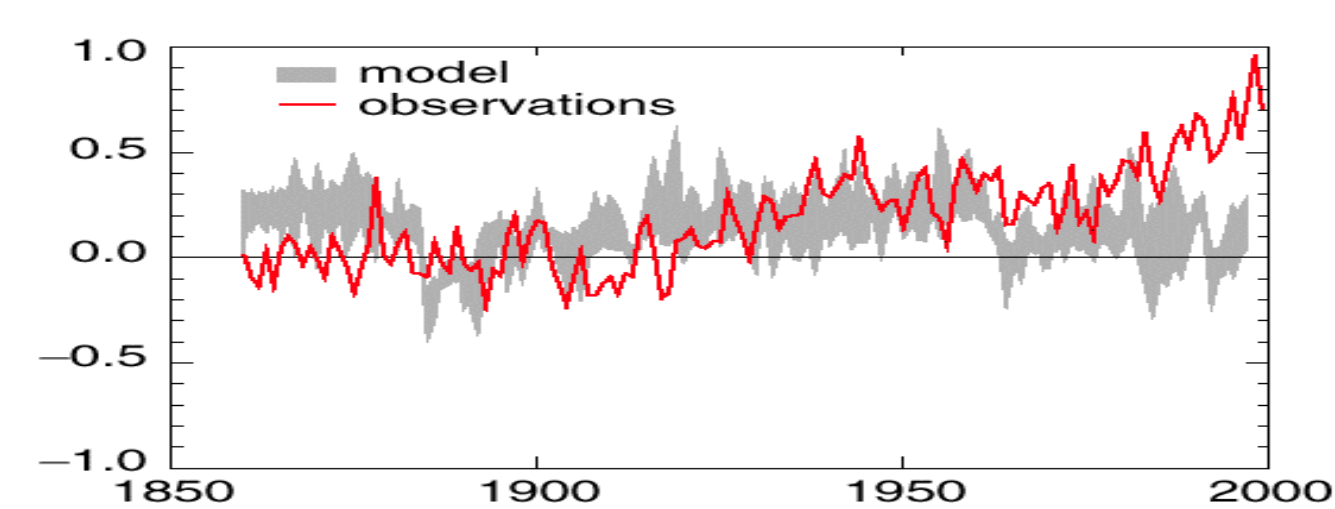


Source: L. Fairhead, LMD/IPSL

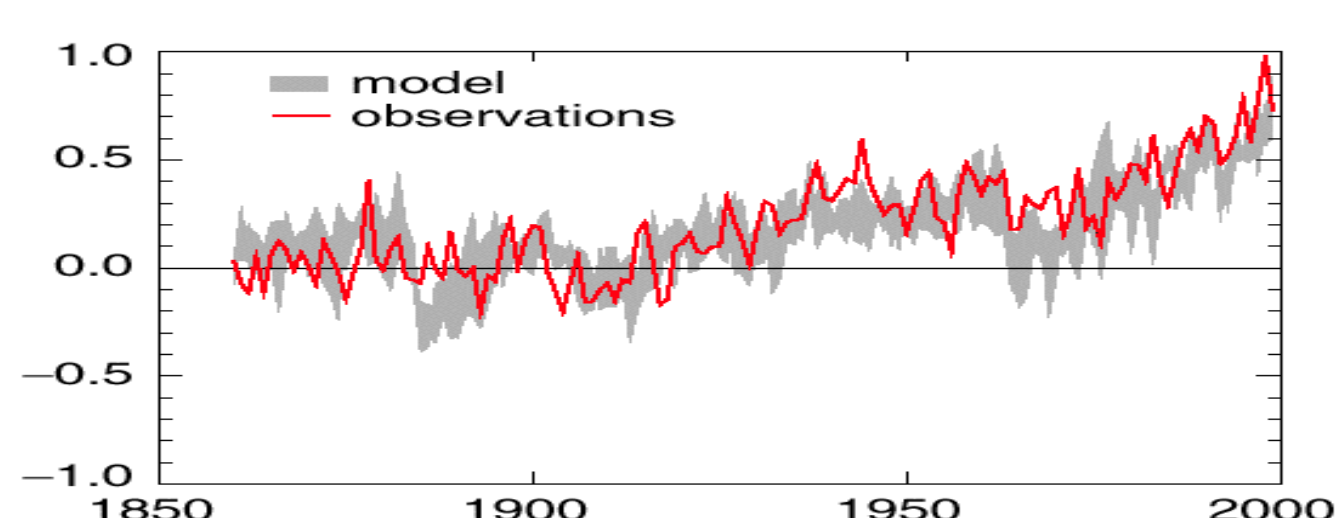
Modèle climatique de l'IPSL



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...)

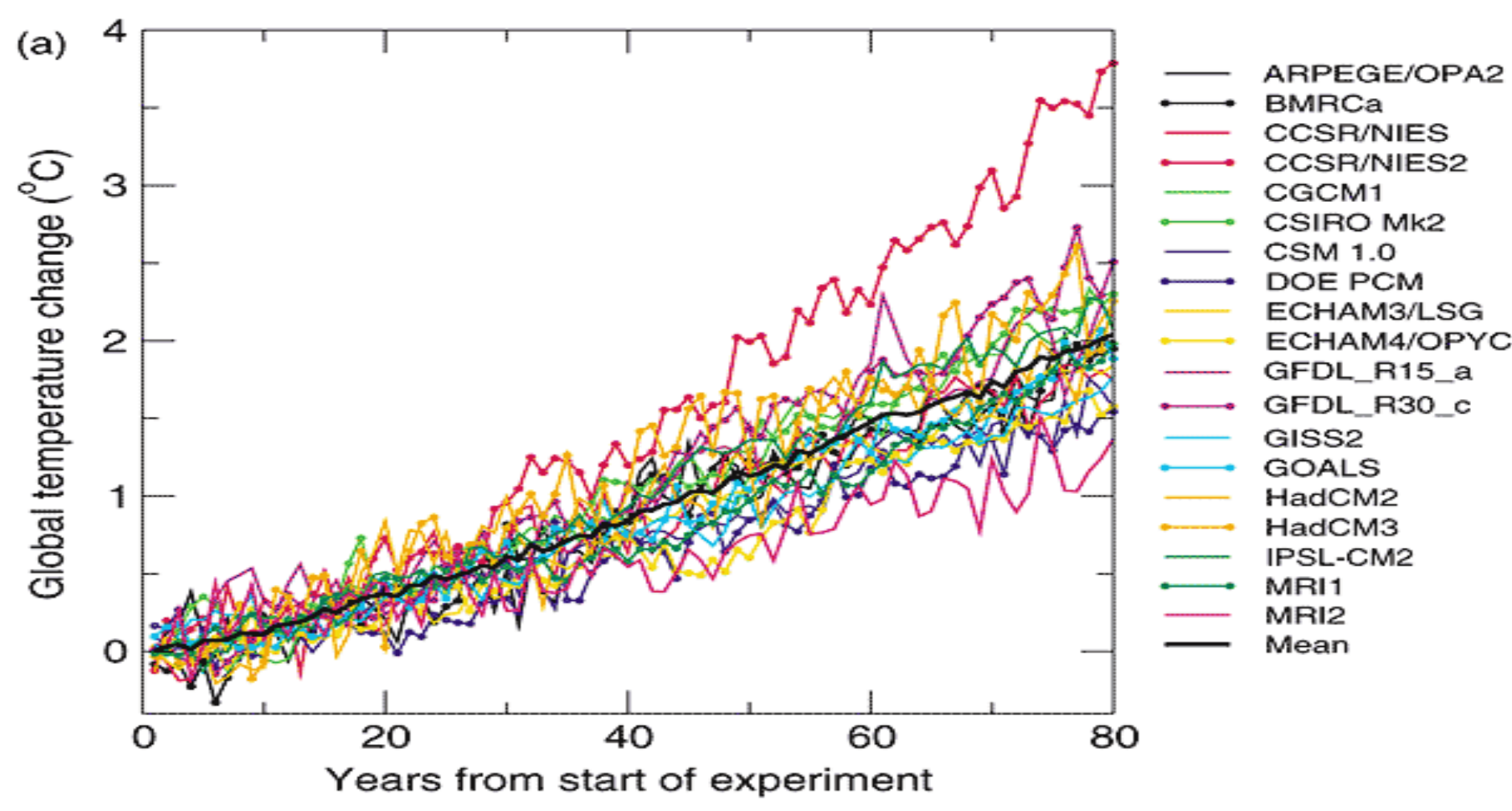


Anomalie de température de la surface de la Terre observée et calculée en prenant en compte les mêmes **perturbations naturelles** et l'accroissement observé de la quantité de **gaz à effet de serre et des aérosols anthropiques**

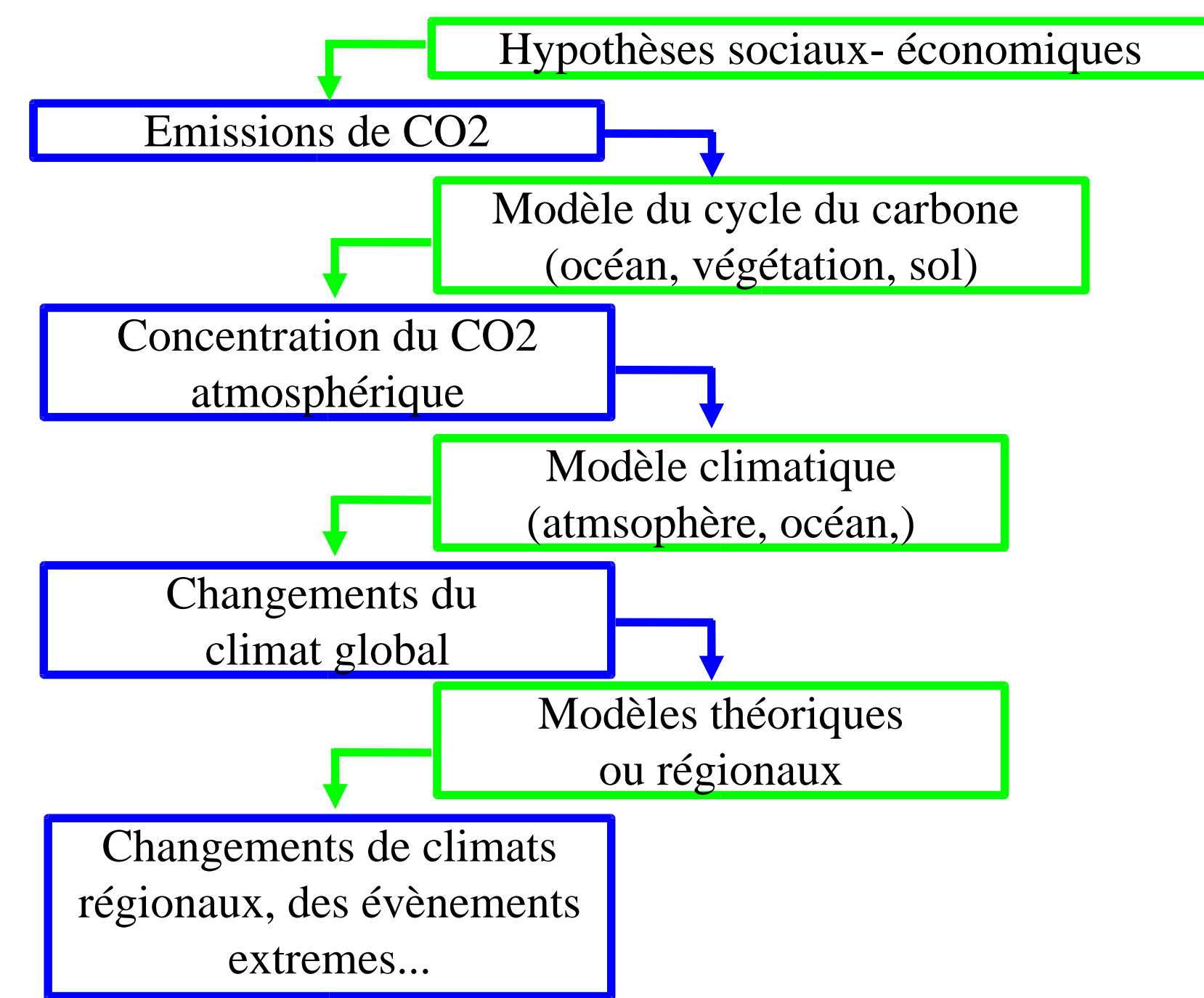
Modèle climatique 3D
(modèle couplé atmosphère- végétation- océan-glace de mer)

Les différentes étapes pour estimer les changements climatiques dans le futur

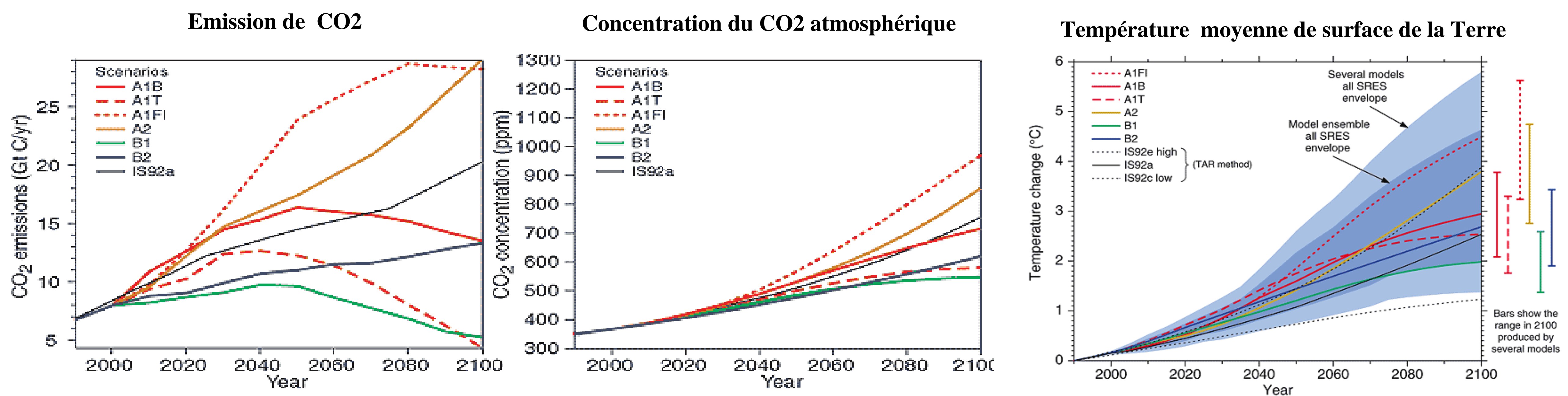
Forçage idéalisé: accroissement de CO₂ de 1% par an.



Source: GIEC, 2001



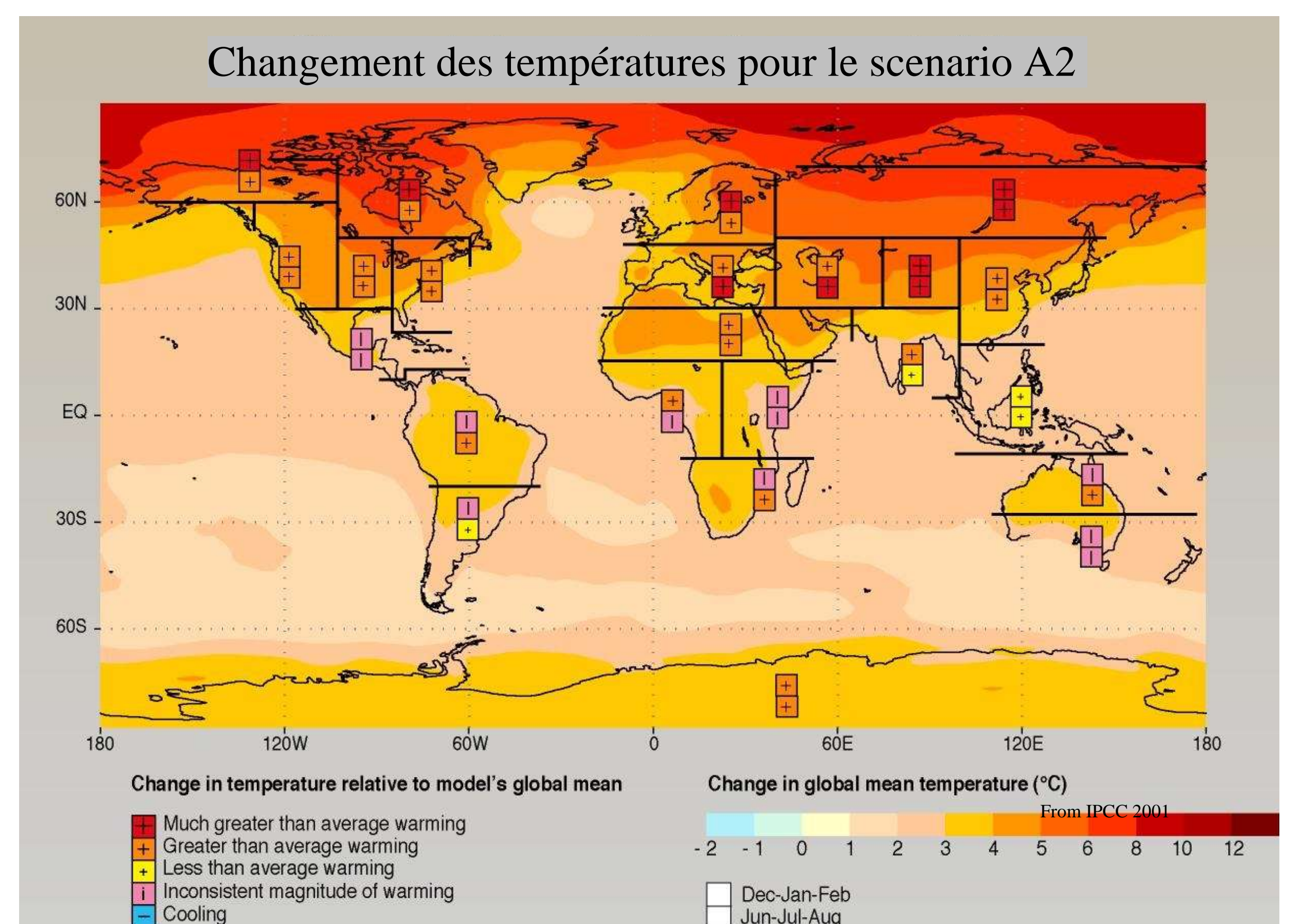
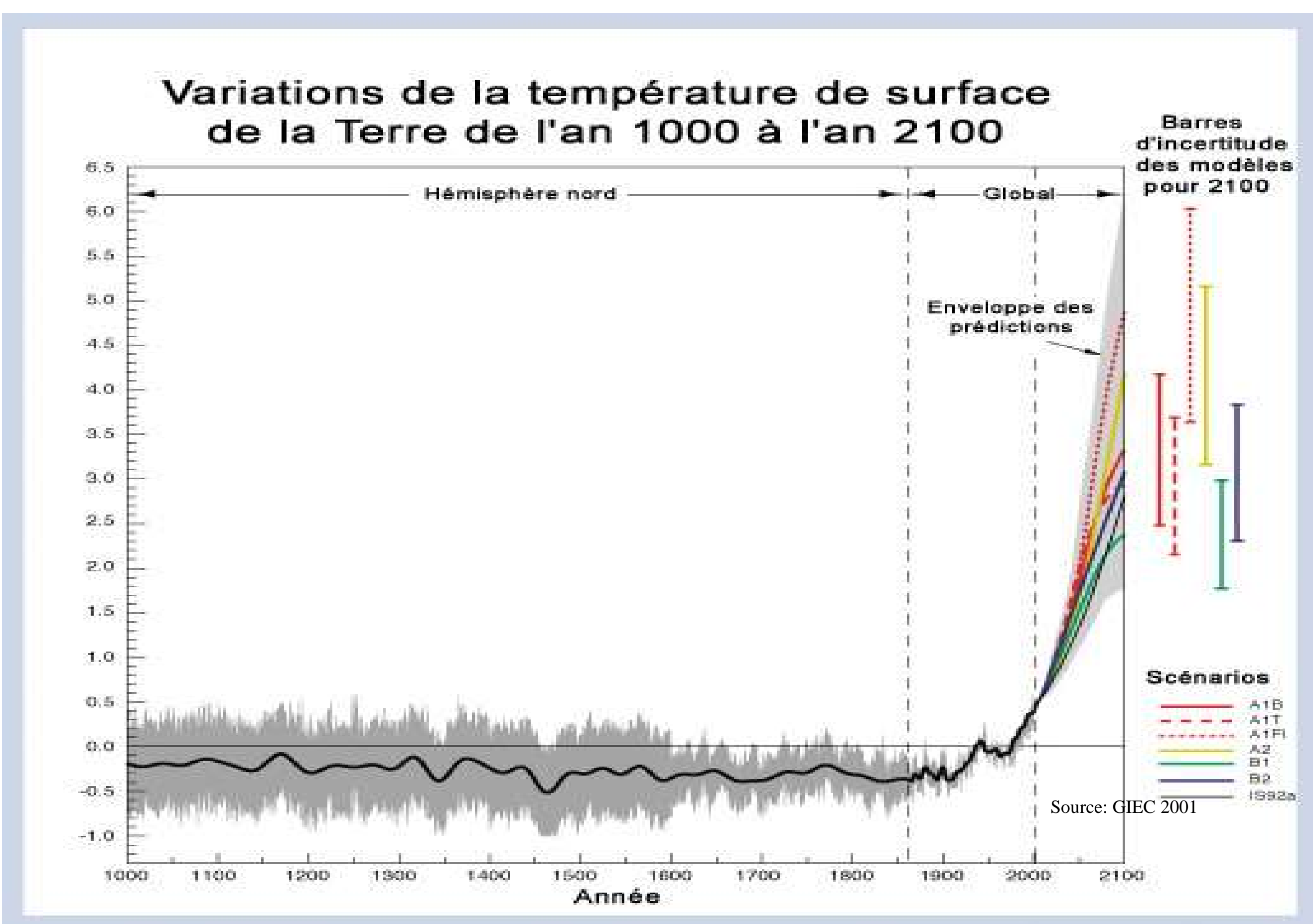
Et dans 100 ans? Utilisations de différents scénarii d'émissions de CO₂



Source: GIEC 2001

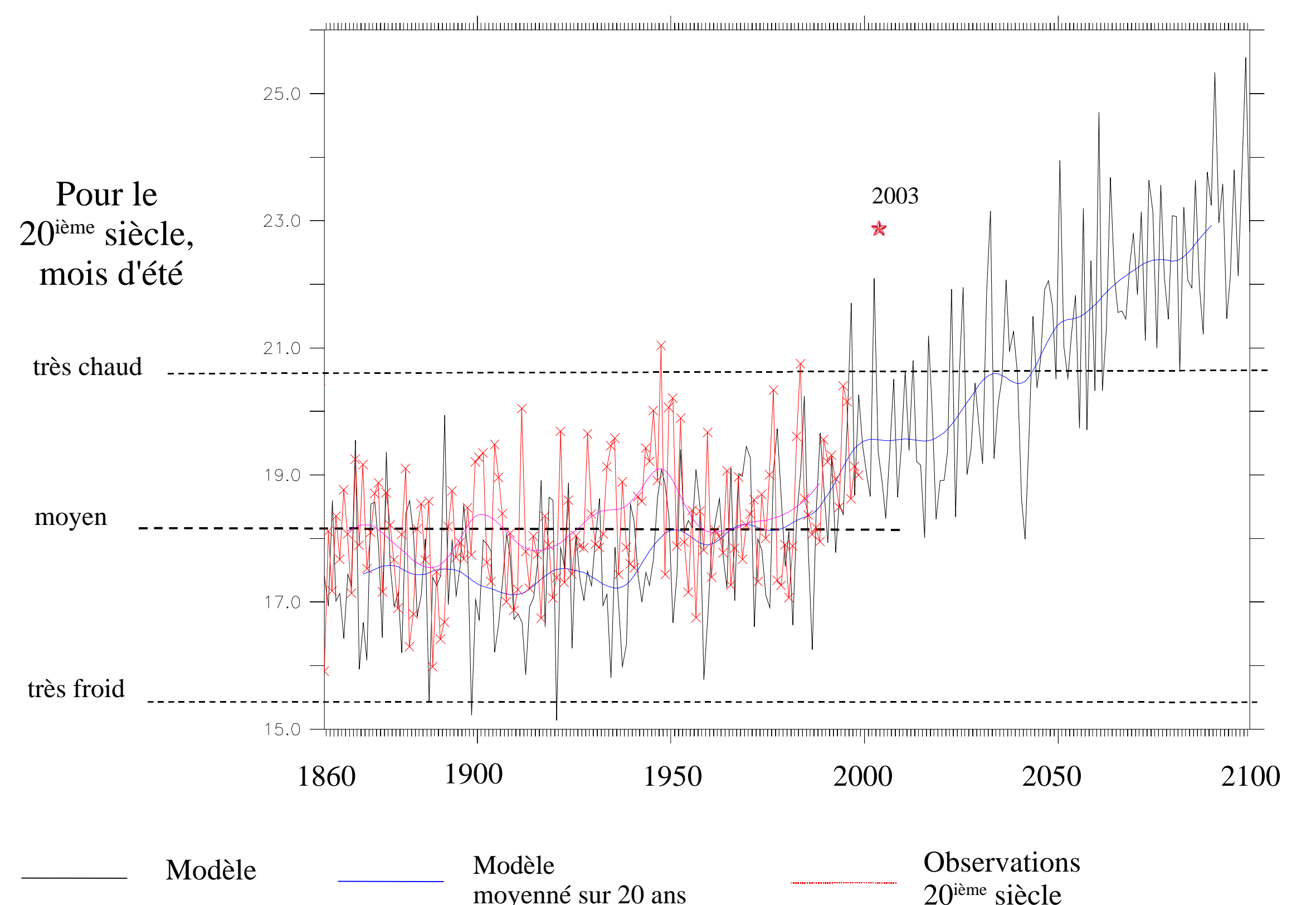
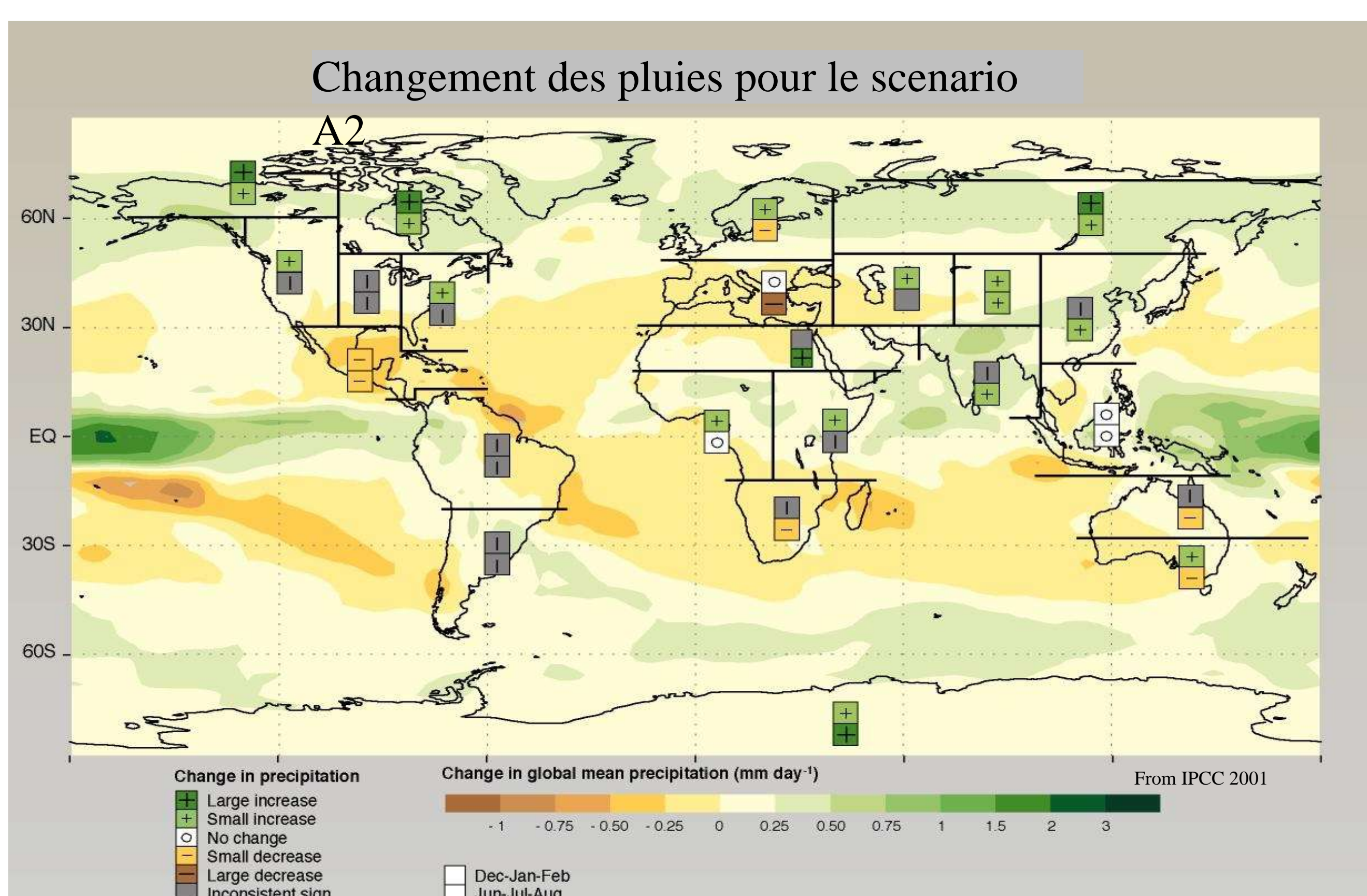
Et dans 100 ans ?

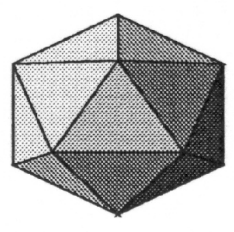
Projection pour l'an 2100



Projection pour l'an 2100

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





LMD

Les changements climatiques dus aux activités humaines (3) Quelques sujets de recherche..

Effets des aérosols

Aérosols anthropiques

Les aérosols :

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

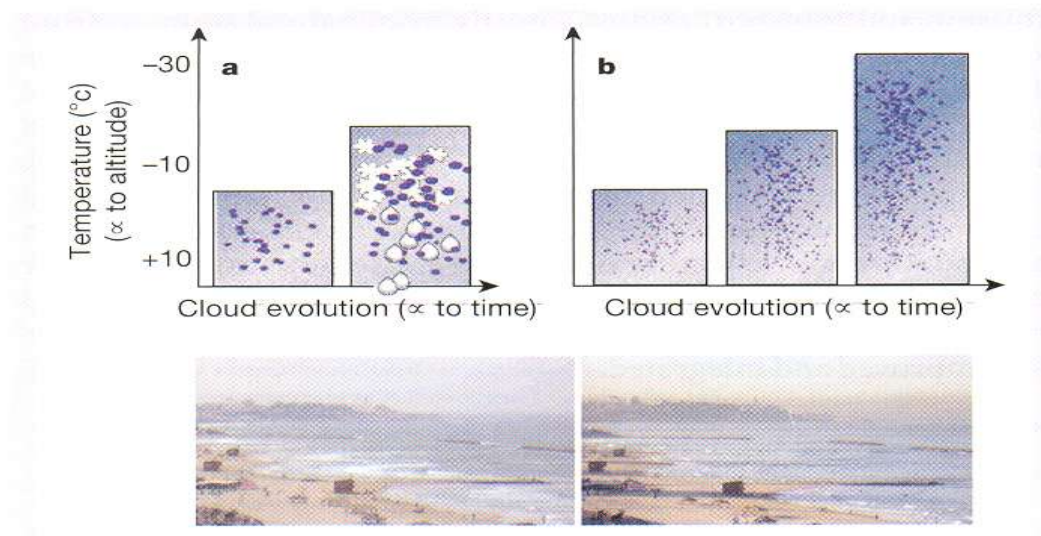
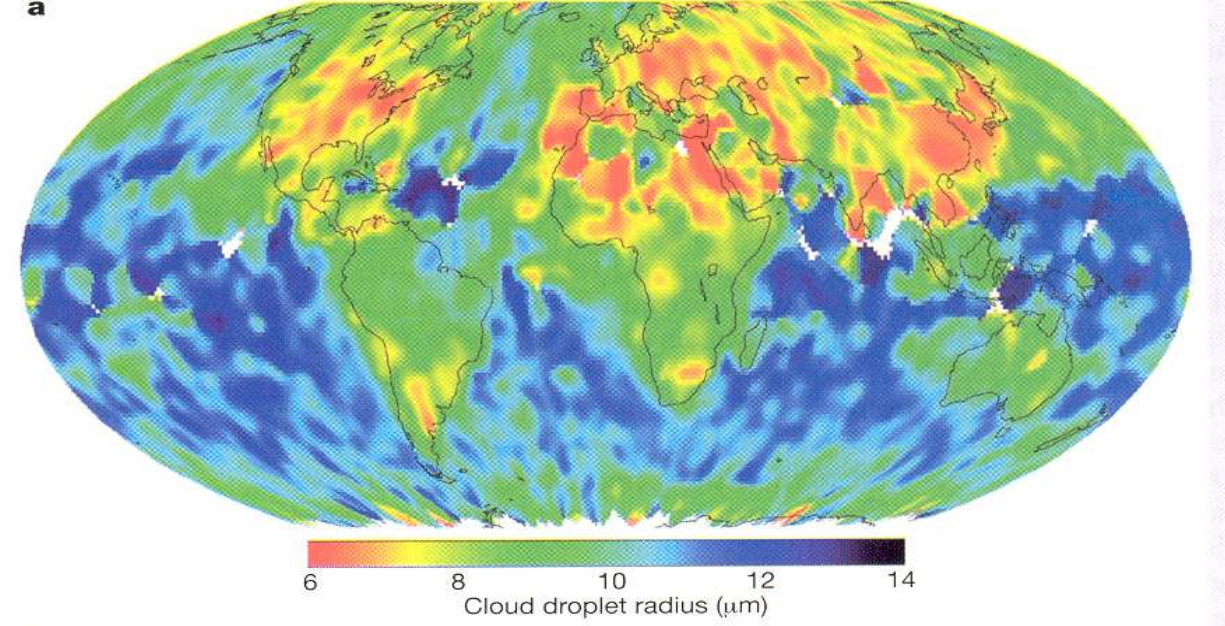


Figure 6 Schematic diagram of cloud formation in a clean and polluted atmosphere. a. In a clean atmosphere, the cloud droplet size increases with cloud development until liquid precipitation or glaciation and precipitation take place. b. In polluted clouds, the availability of cloud condensation nuclei decreases cloud droplet development. In clouds with strong updrafts the developed cloud can be supercooled with no glaciation down to -37.5 °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.

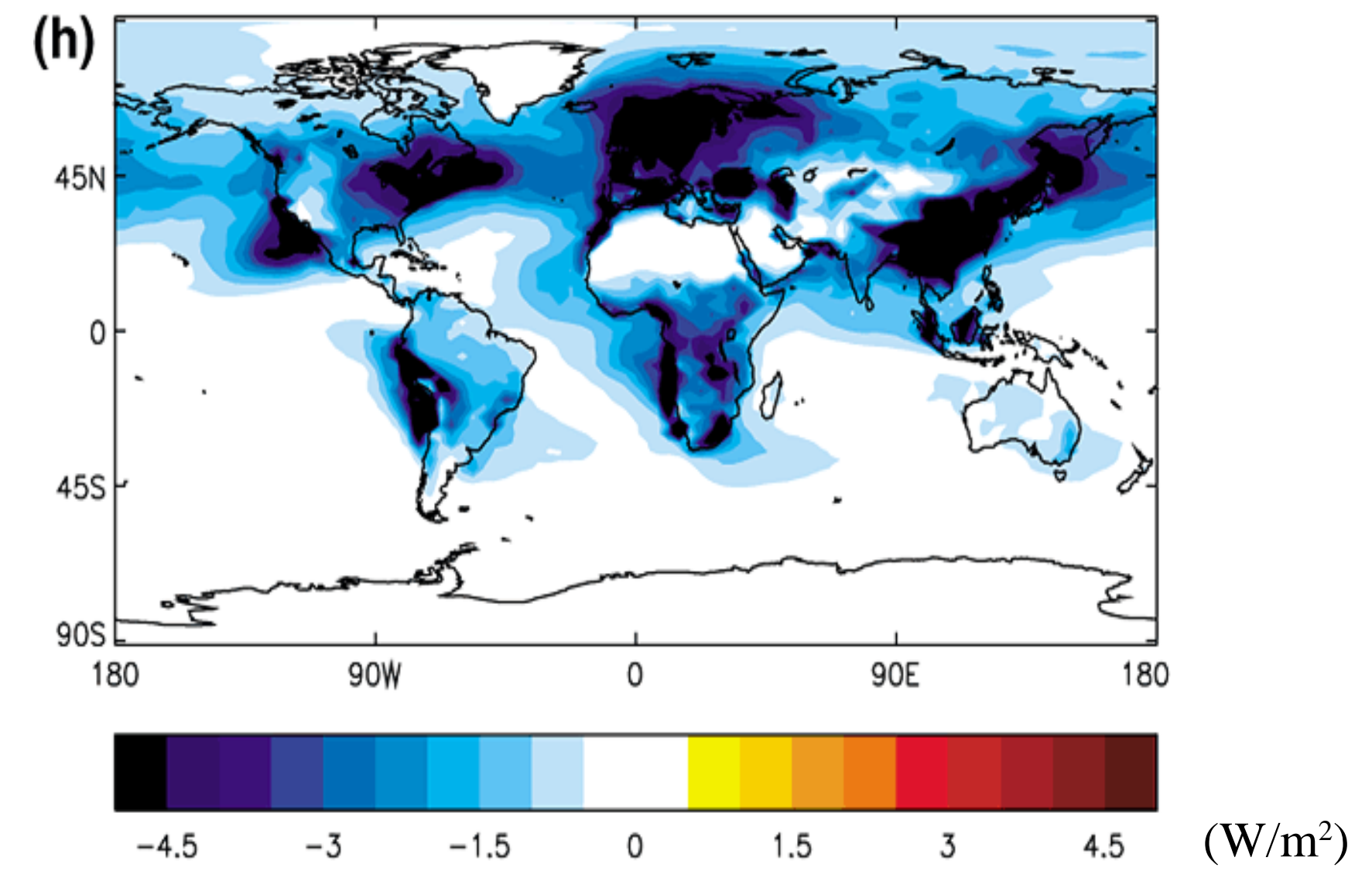
Figure 7 Effect of aerosol on cloud droplet and reflectance derived from POLDER and AVHRR spaceborne measurements. a. Seasonal (March-May 1997) average droplet size in liquid water clouds estimated from the POLDER measurements. b. The dependence of the droplet size on the aerosol index, also derived 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 1997 (see 16, 18). 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.



Source: Bréon et al. 2002

Aérosols anthropiques

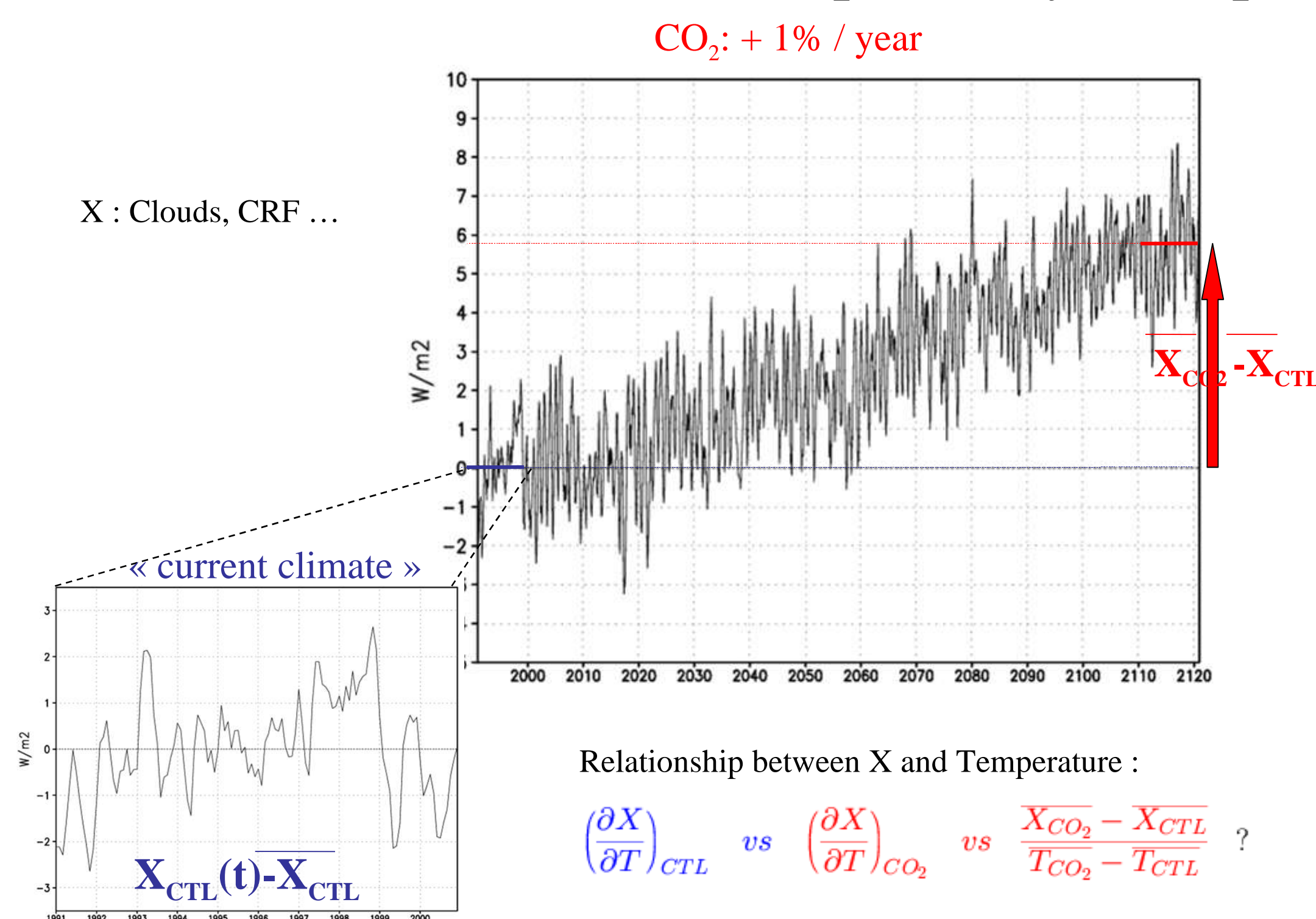
Effet radiatif des aérosols sulfatés (direct et indirect)



Mais aussi carbone suie, poussières minérales...

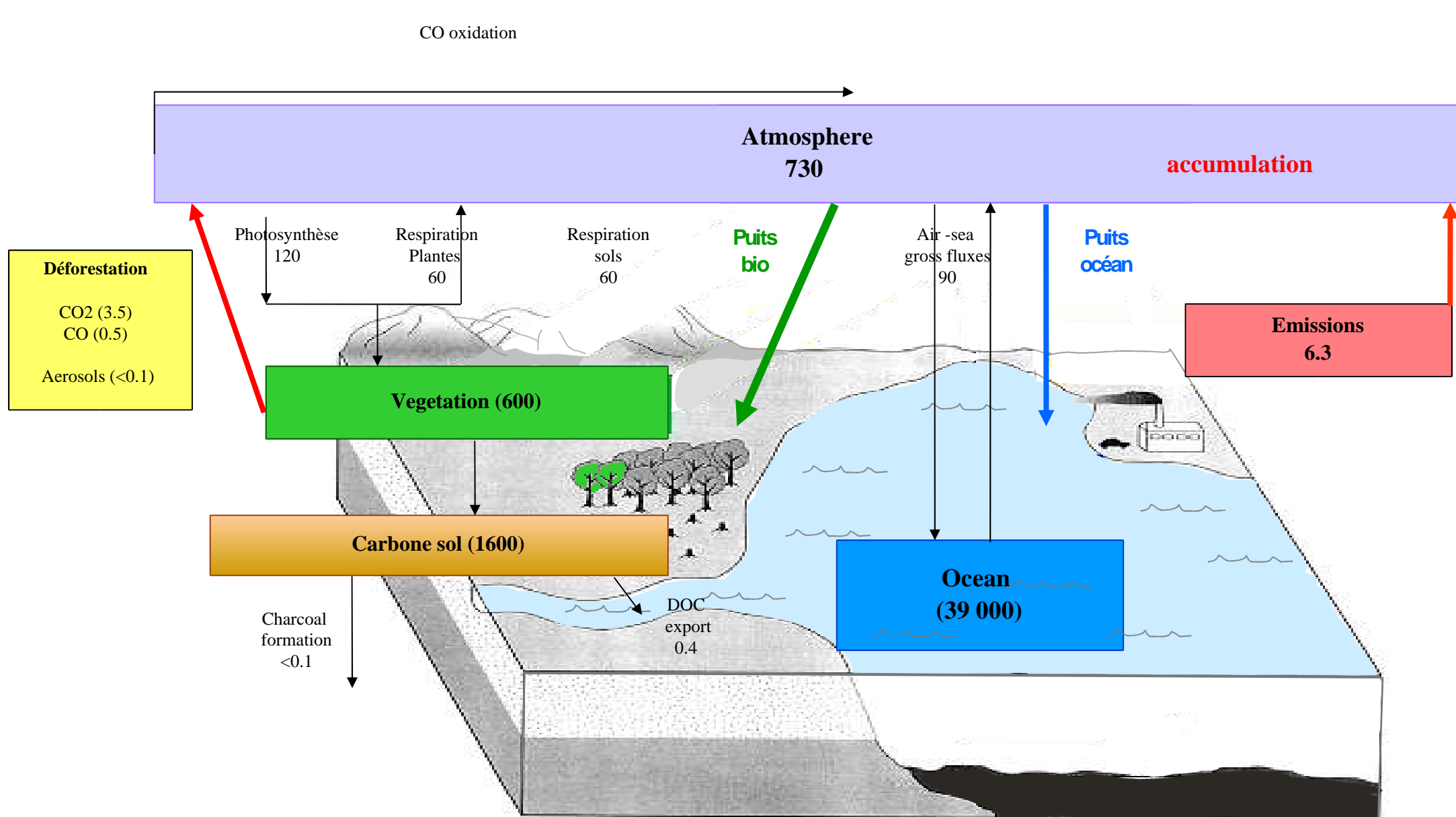
Source: GIEC 2001

Comment utiliser les mesures récentes pour étayer les prévisions futures ?



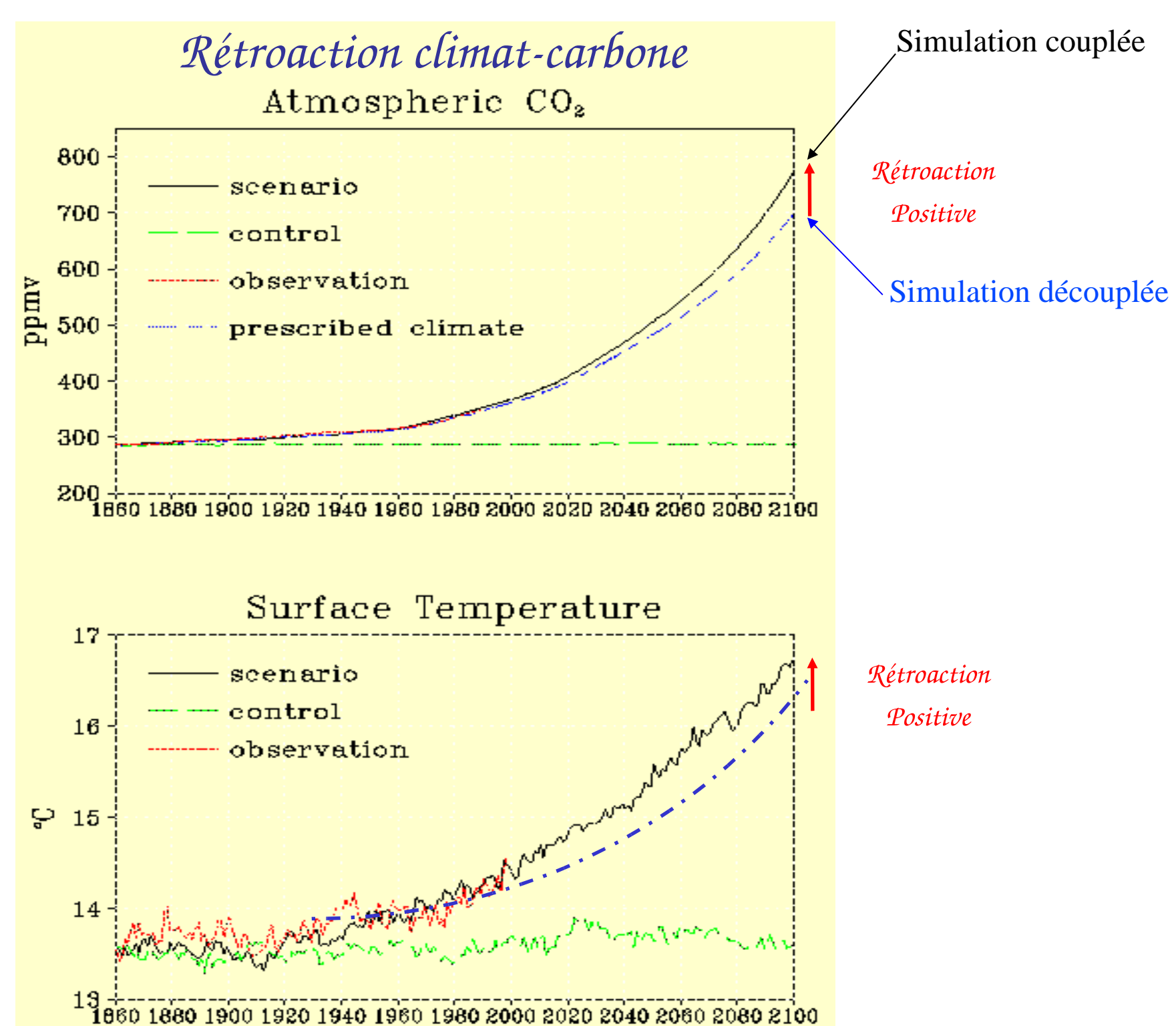
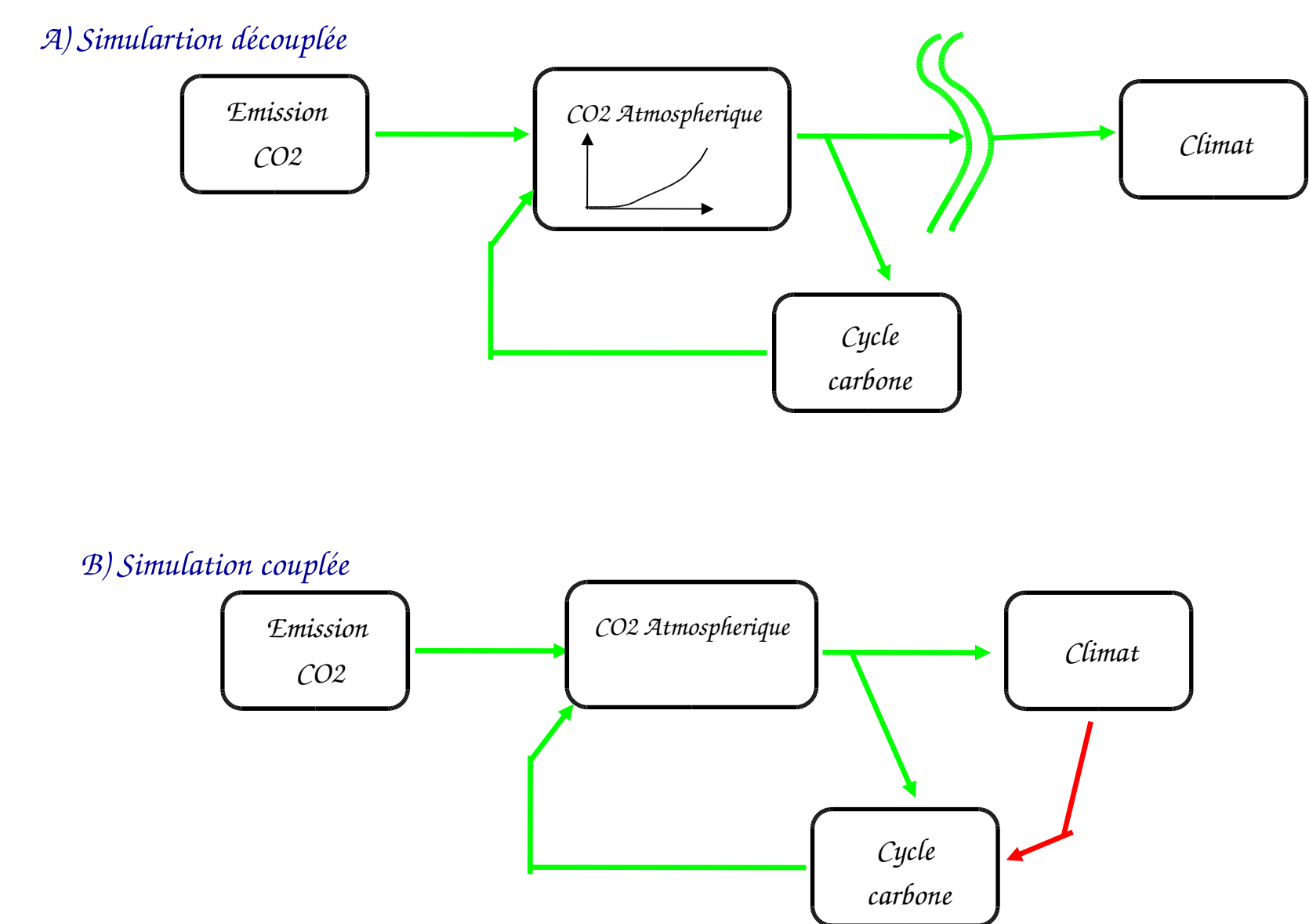
Comment les changements climatiques vont-ils influencer les puits de carbone ?

Le Cycle Global du Carbone



(1 GtC = 10¹⁵ gC)

Simulation couplée climat-carbone



Variation du bilan net de carbone vers 2100

