

Estimation des changements climatiques dus aux activités humaines.

Jean-Louis Dufresne

CNRS / IPSL / LMD

dufresne@lmd.jussieu.fr

<http://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

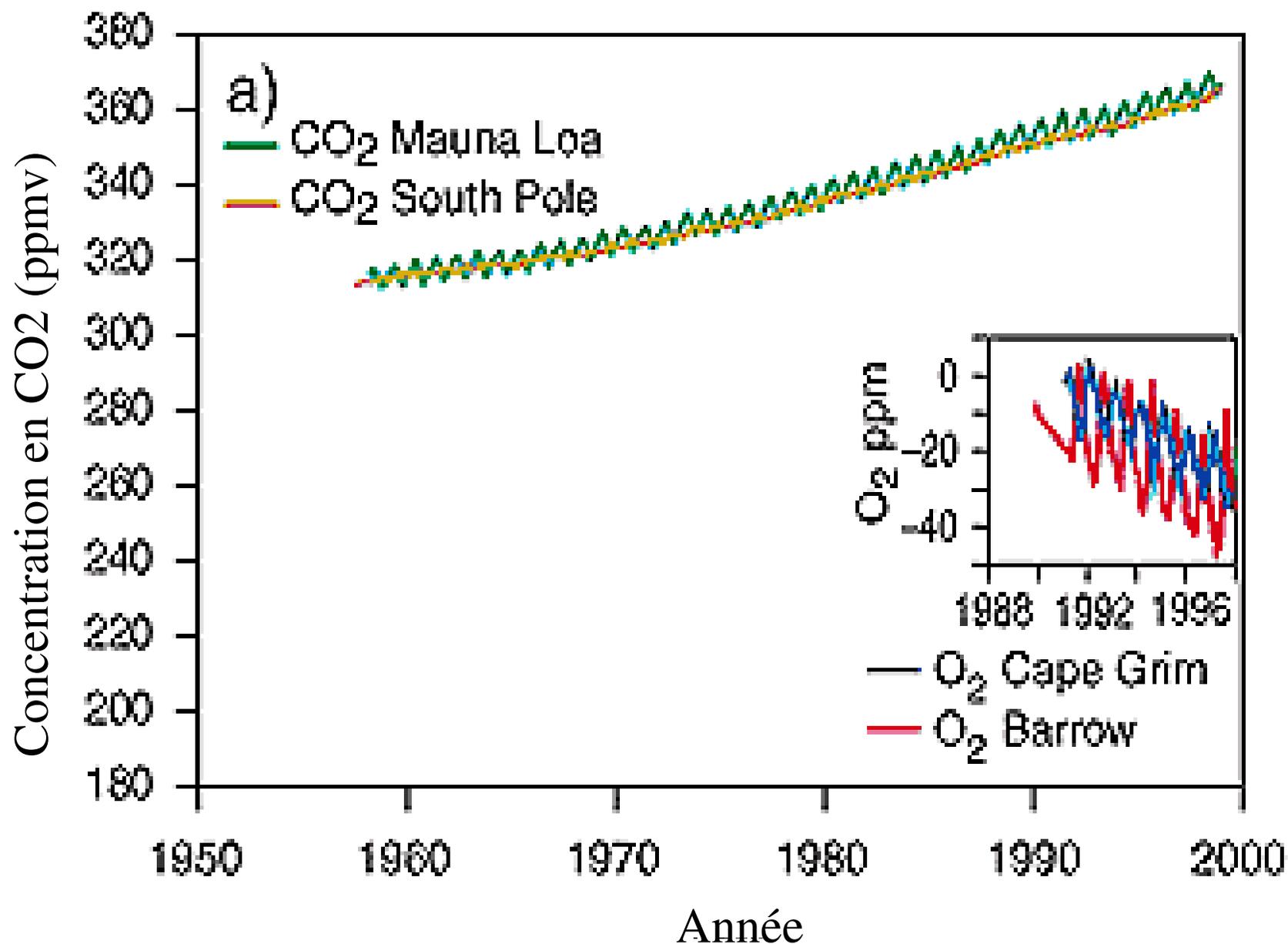
Début du 20^{ème} siècle: hypothèses:

- 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

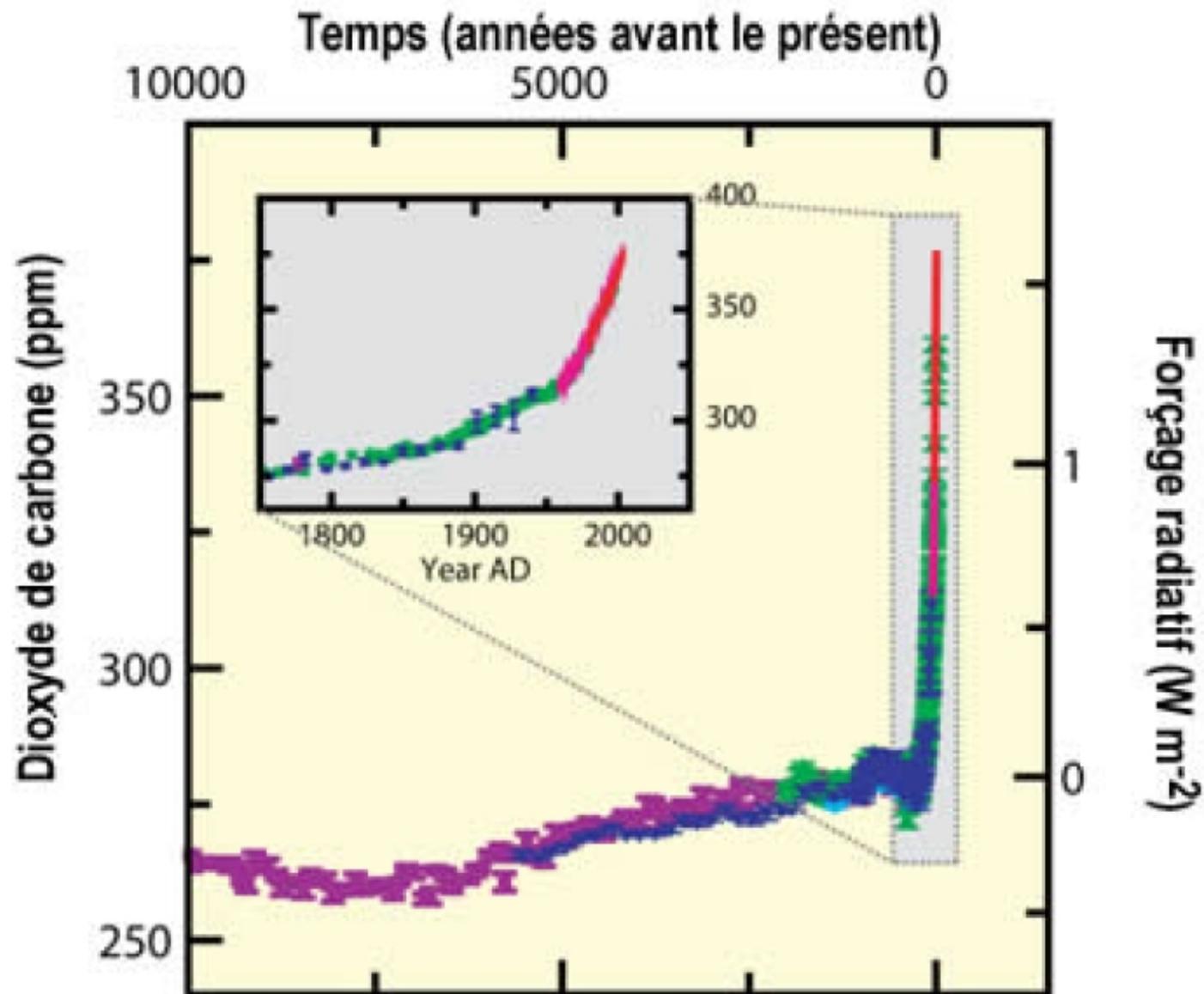


S. Arrhenius

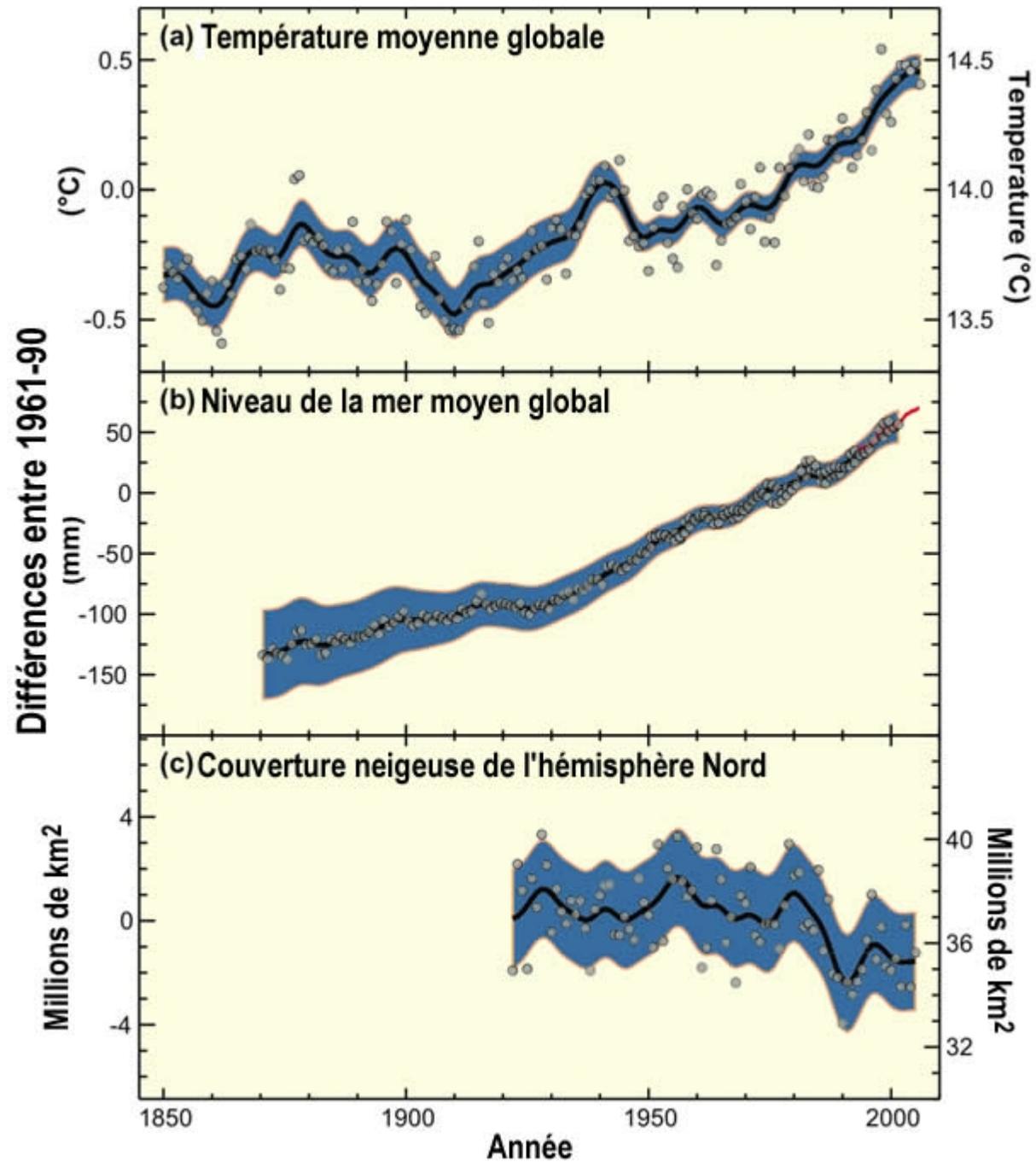
Les perturbations anthropiques: une observation récente



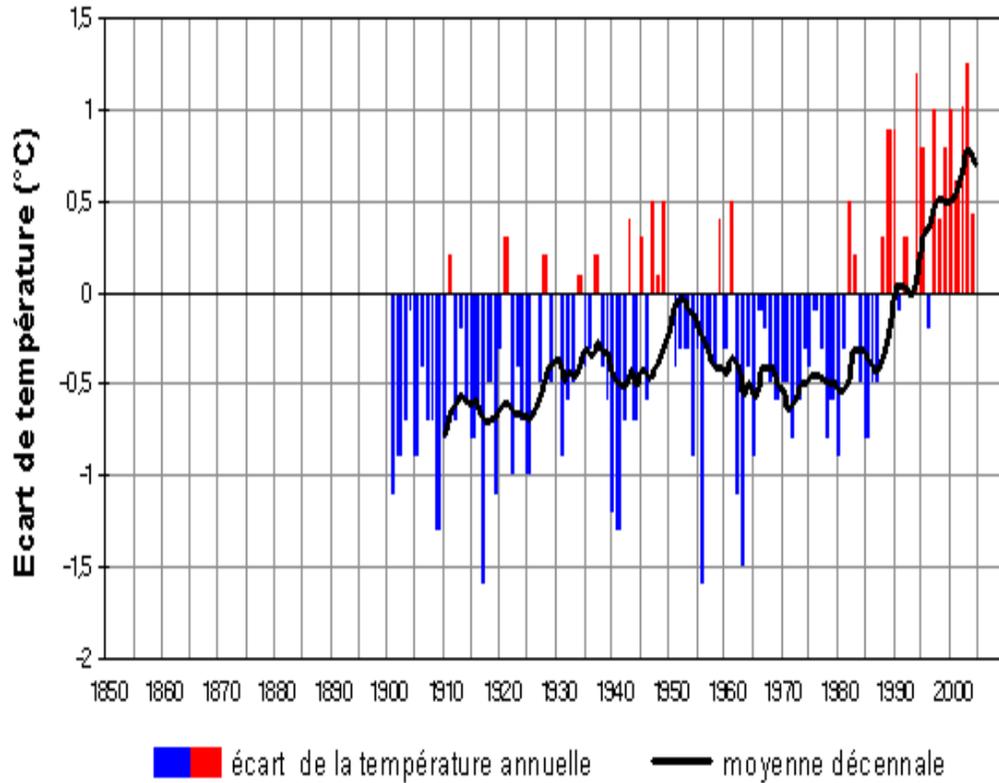
Les perturbations anthropiques: des variations sans précédents récents



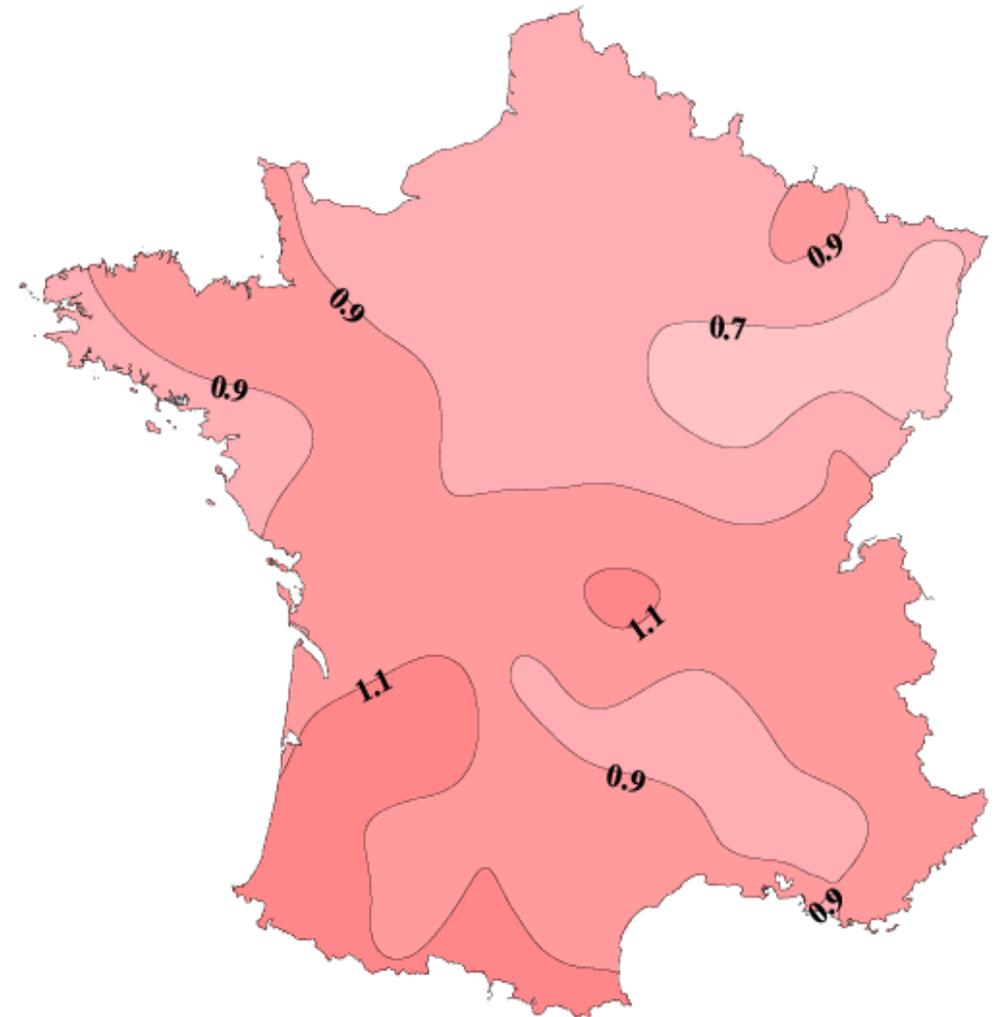
Variations climatiques à l'échelle globale



Changements locaux



La température a augmenté d'environ
1°C en 1 siècle



Changements climatiques:

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

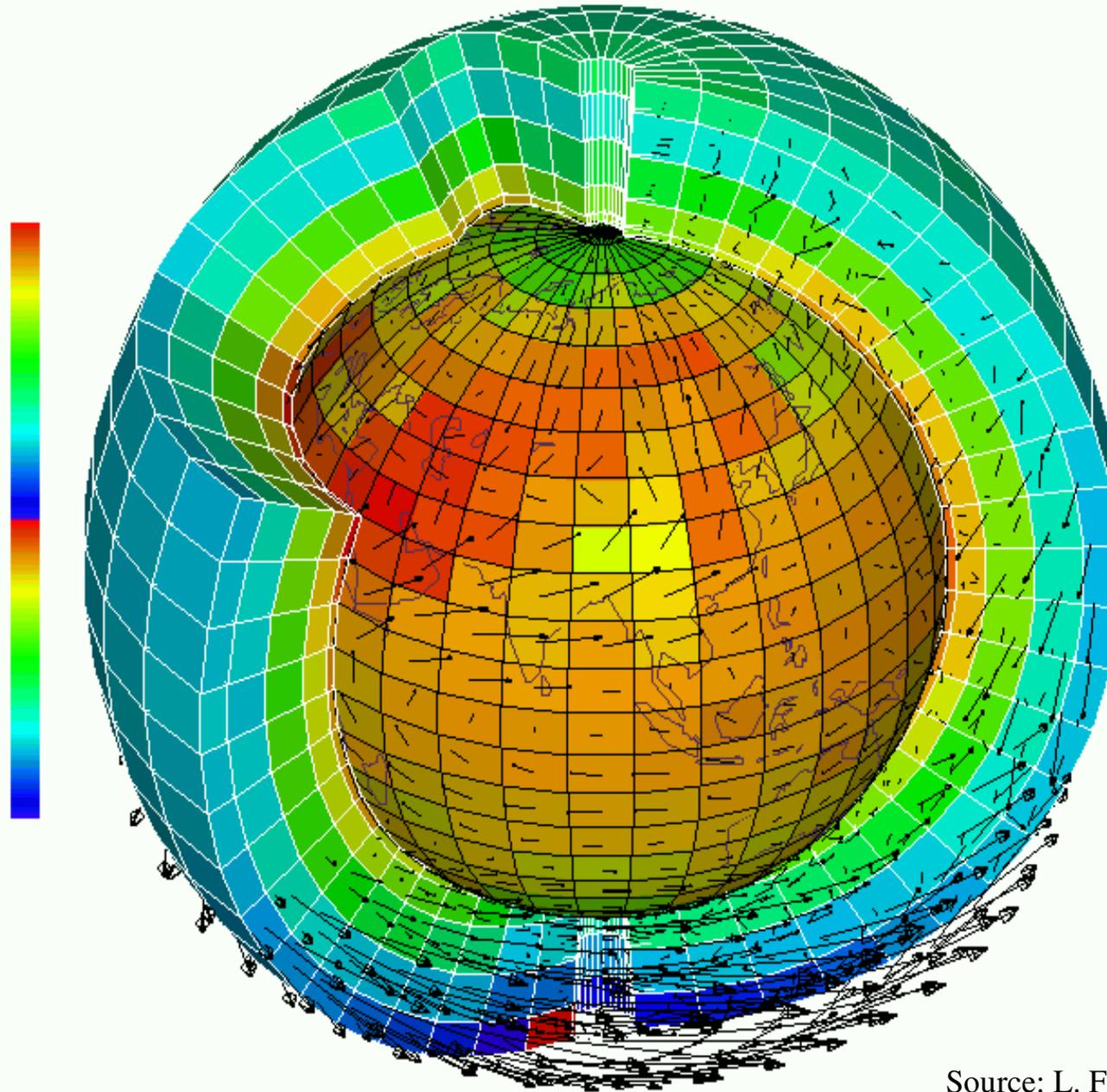
Quels changements climatiques accompagnent ces changements de température?

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

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

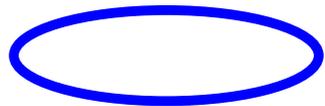
- si l'humidité *absolue* de l'atmosphère reste constante: 1.2°C
- si l'humidité *relative* de l'atmosphère reste constante: $\approx 2.5^\circ\text{C}$

Modélisation numérique 3D du climat

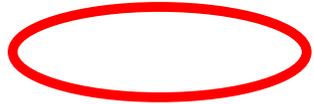


Source: L. Fairhead, LMD/IPSL

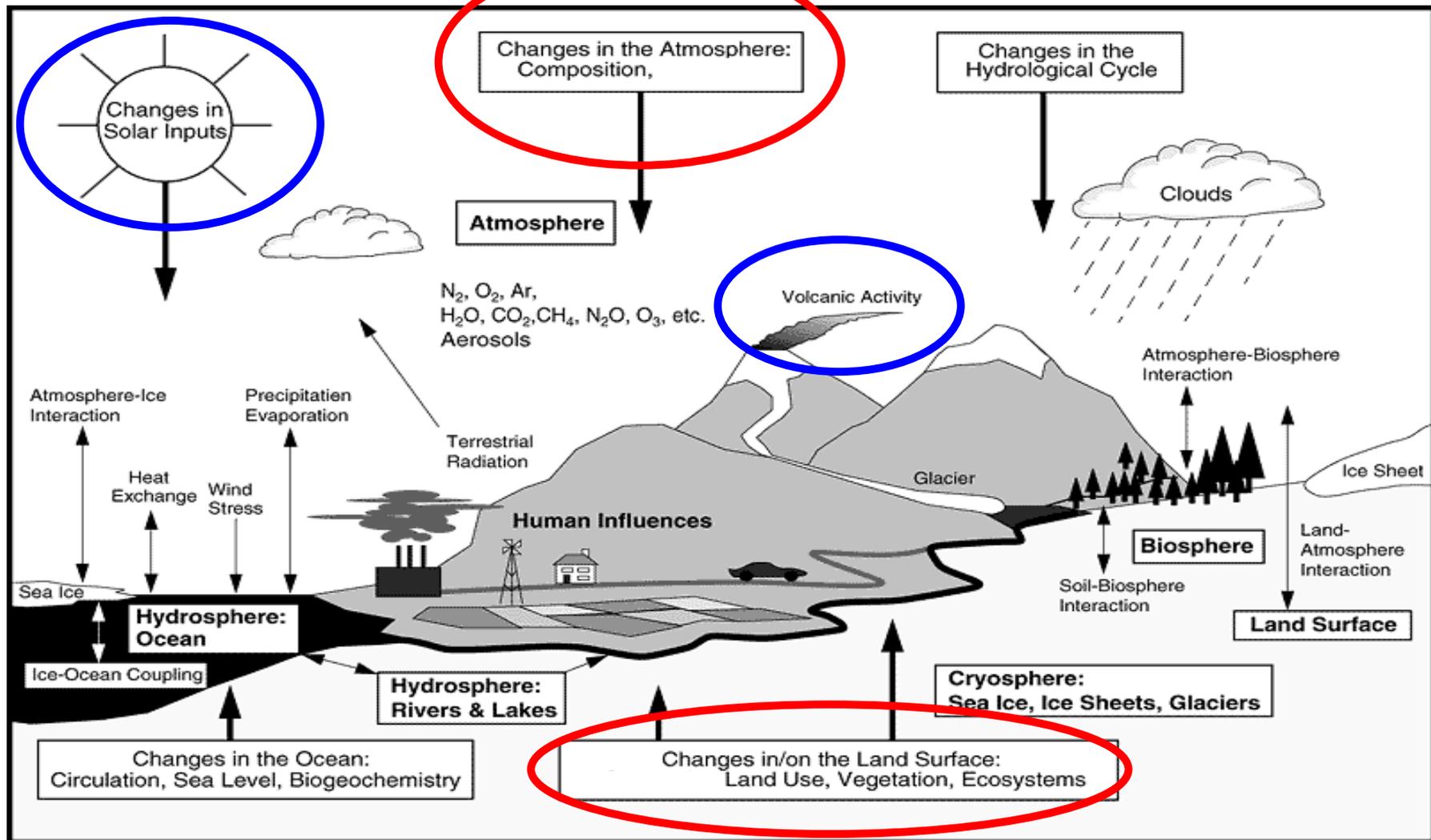
Les perturbations du climat



naturelles

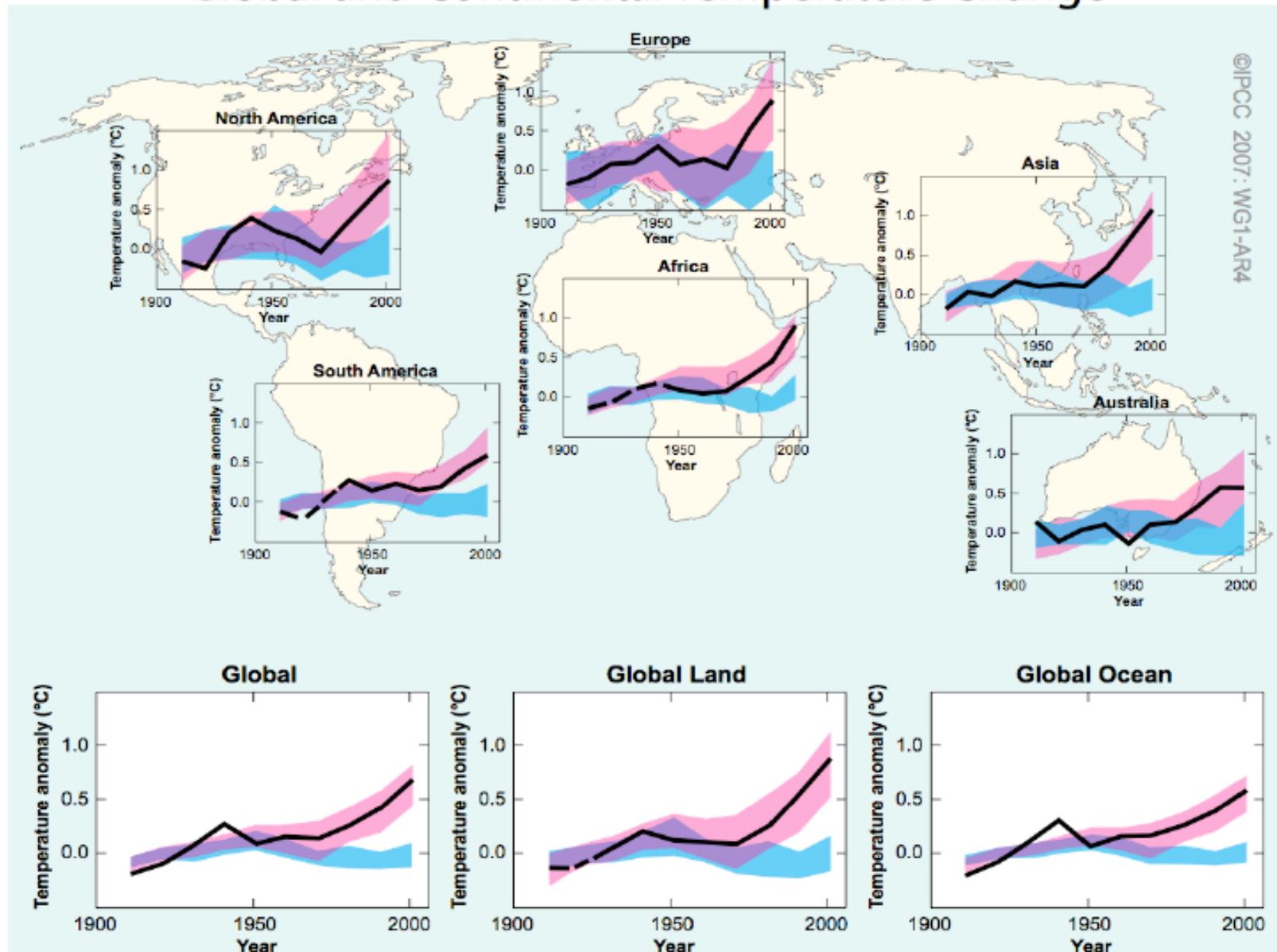


anthropiques



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

Global and Continental Temperature Change



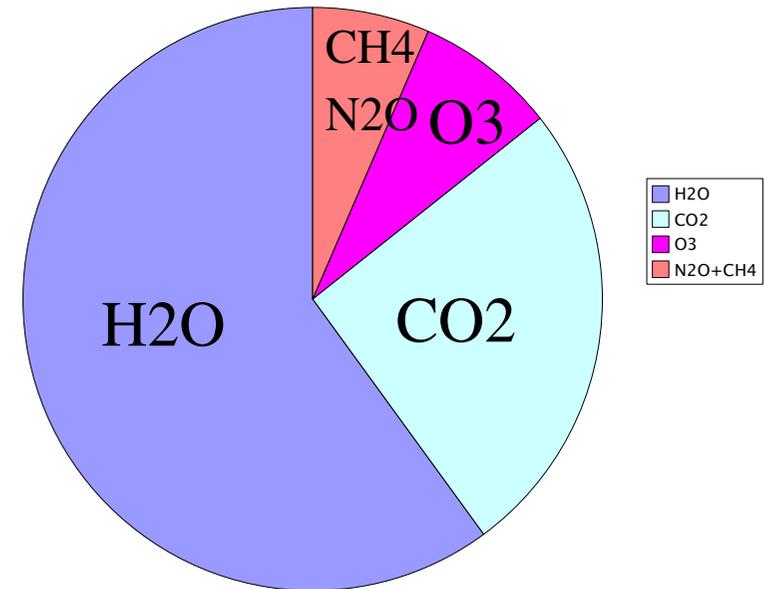
Noir: observations; bleu: forçages naturels; magenta: forçages anthropiques+naturels

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%

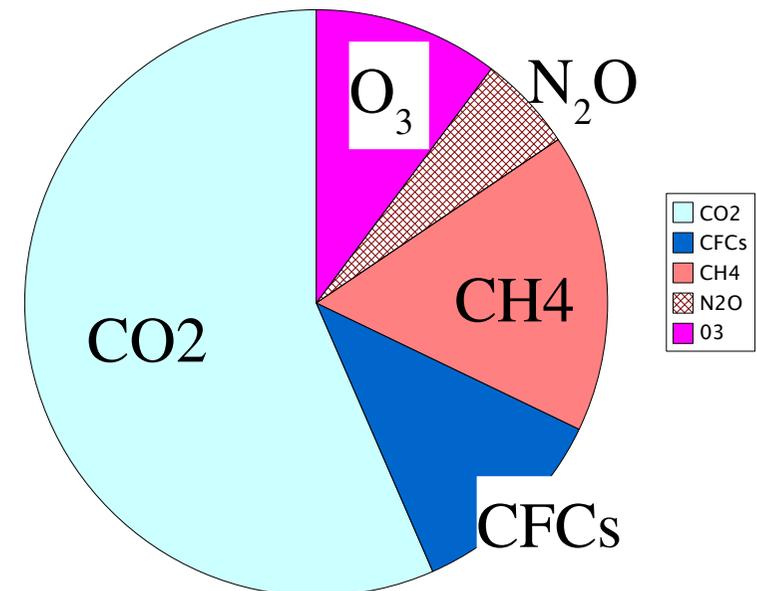
Contribution à l'effet de serre



Effet de serre du aux activité humaine

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

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



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.

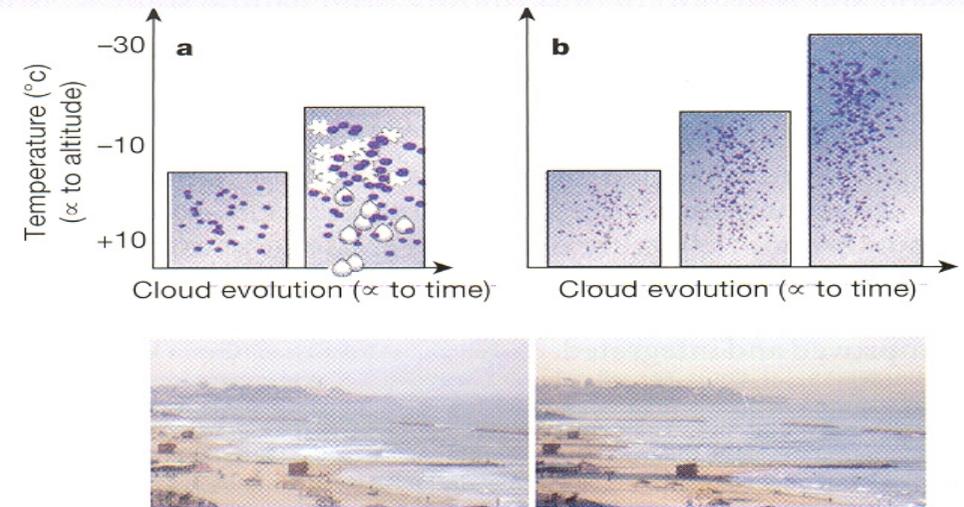
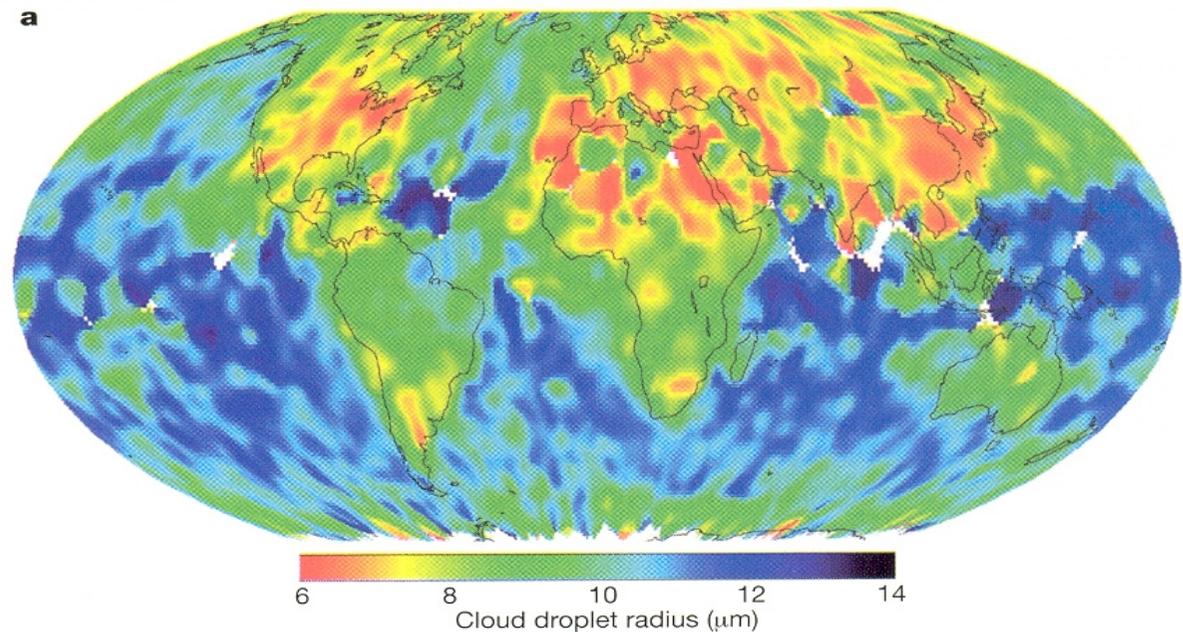
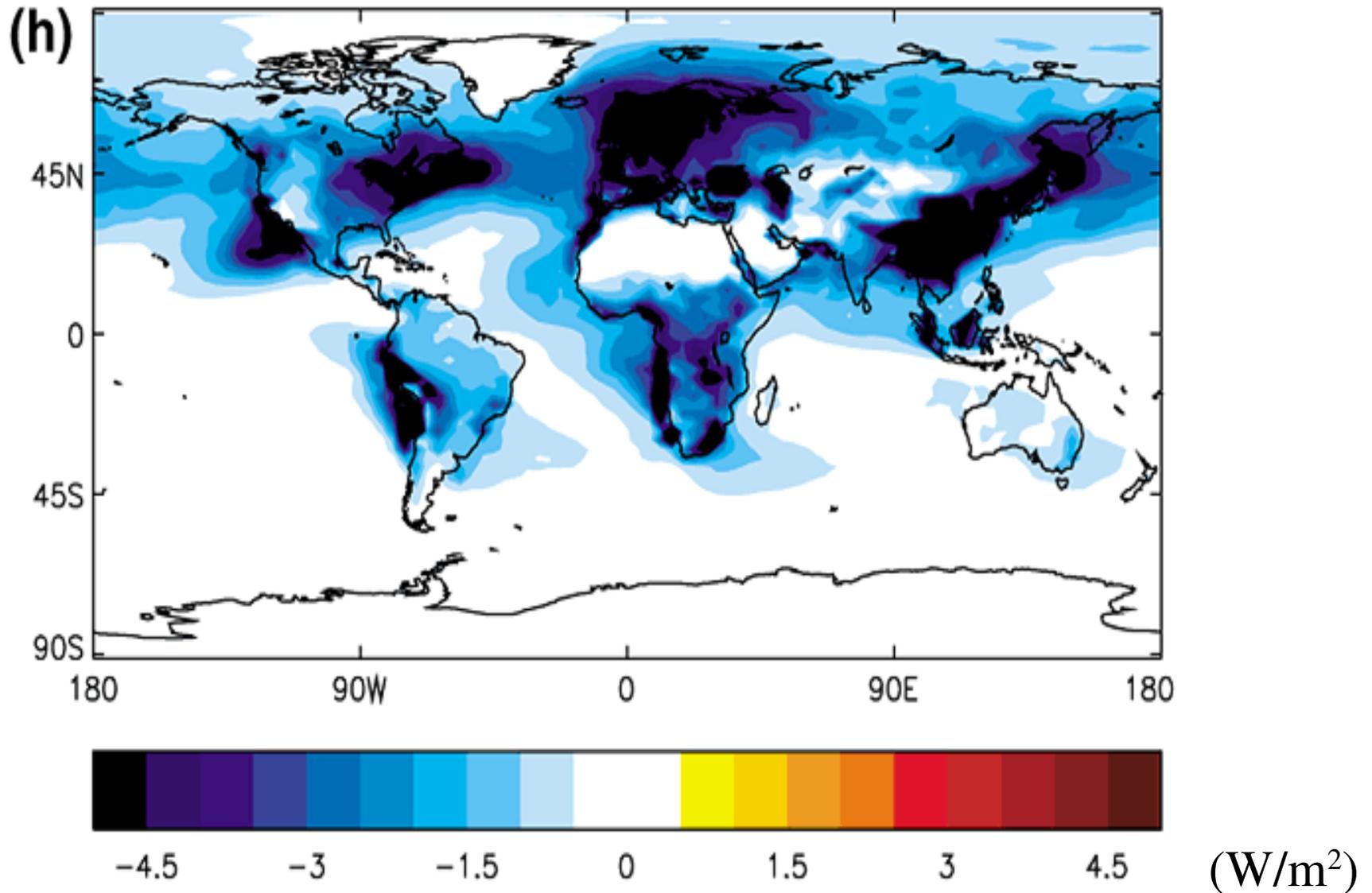


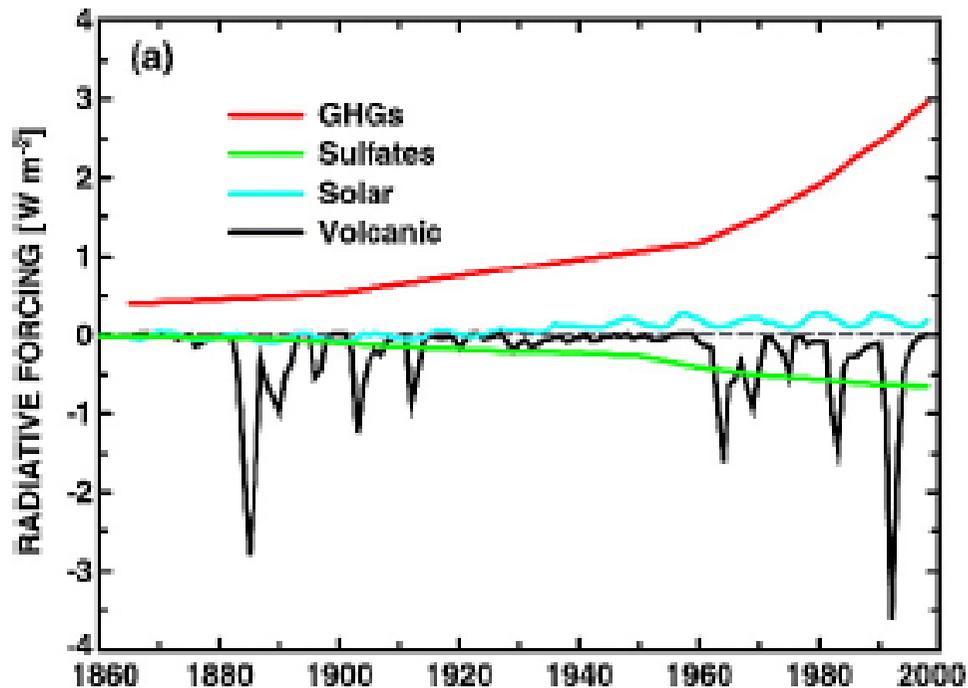
Figure 6 Schematic diagram of cloud formation in a clean and polluted atmosphere. **a**, In a clean atmosphere, the cloud droplet size increases with cloud development until liquid precipitation or glaciation and precipitation take place. **b**, In polluted clouds, the availability of cloud condensation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

Aérosols anthropiques

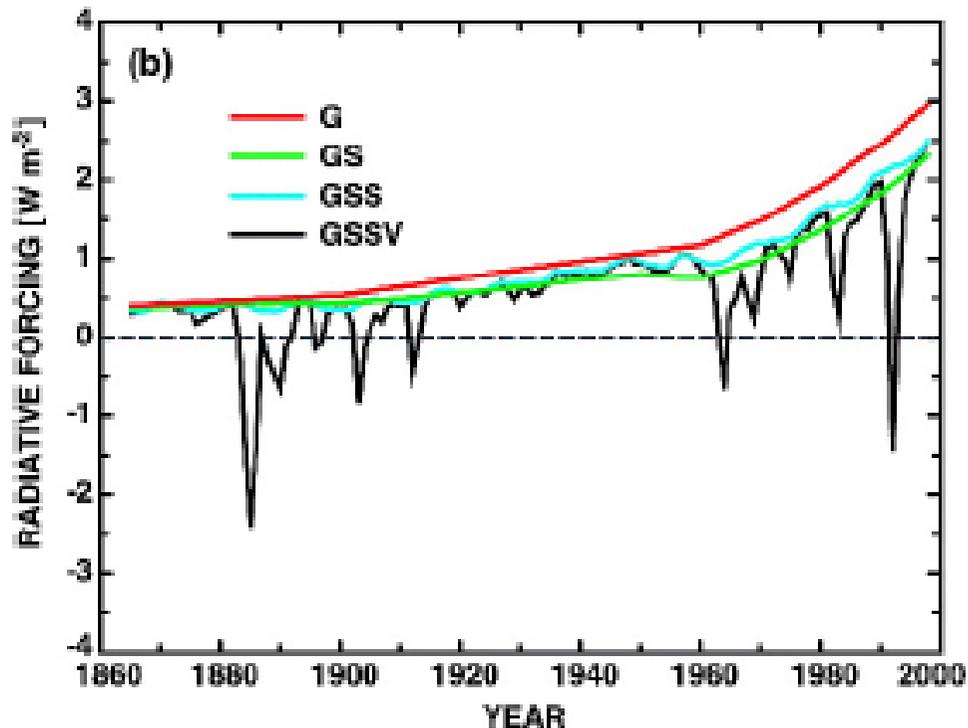
Effet radiatif des aérosols sulfatés (direct et indirect)



Mais aussi carbone suie, poussières minérales...

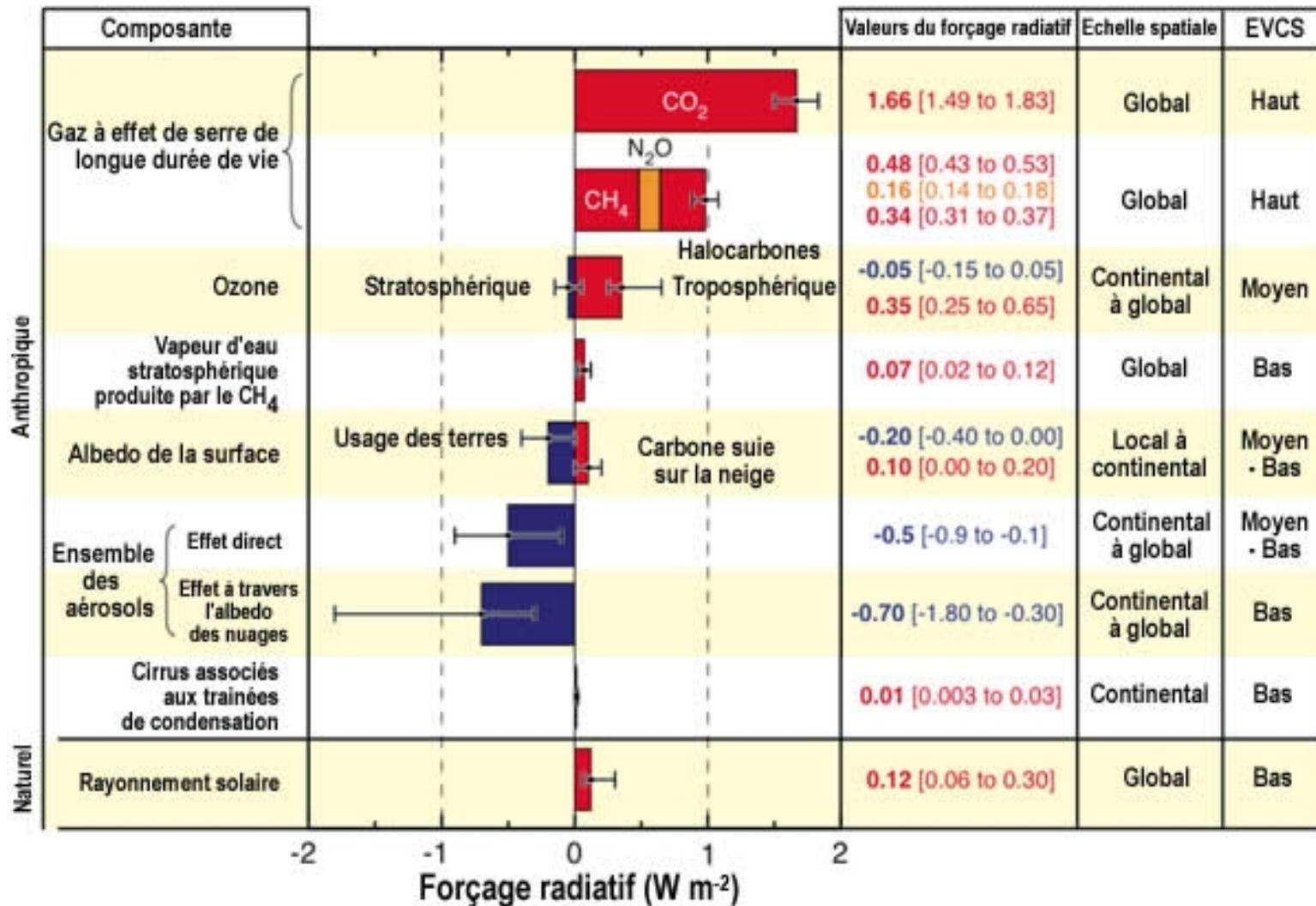


Les différents facteurs externes ayant affecté le climat au cours du 20ème siècle



S'ajoutent au "forçage" solaire (240 W/m²)

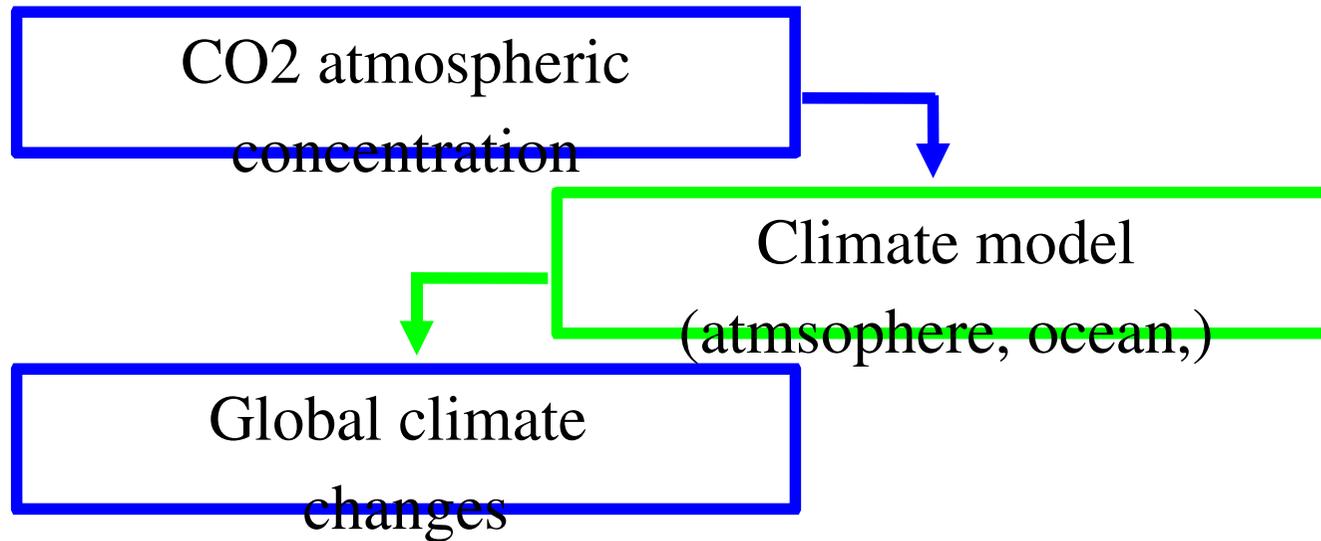
Le forçage des perturbations anthropiques



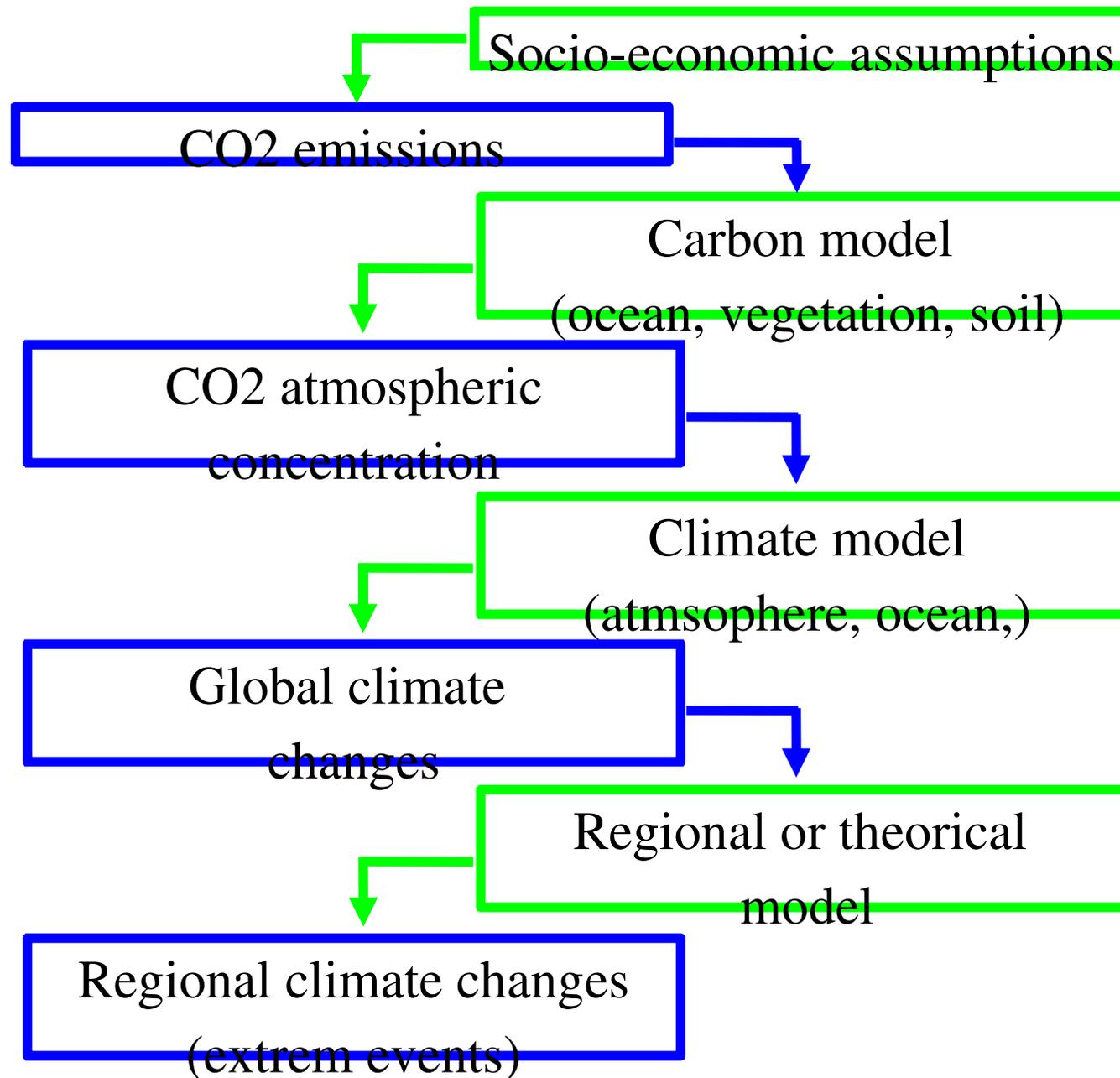
Les aérosols masquent aujourd'hui 1/3 à 1/2 de l'effet de serre additionnel, et leurs effets sont incertains.

Projections pour le futur

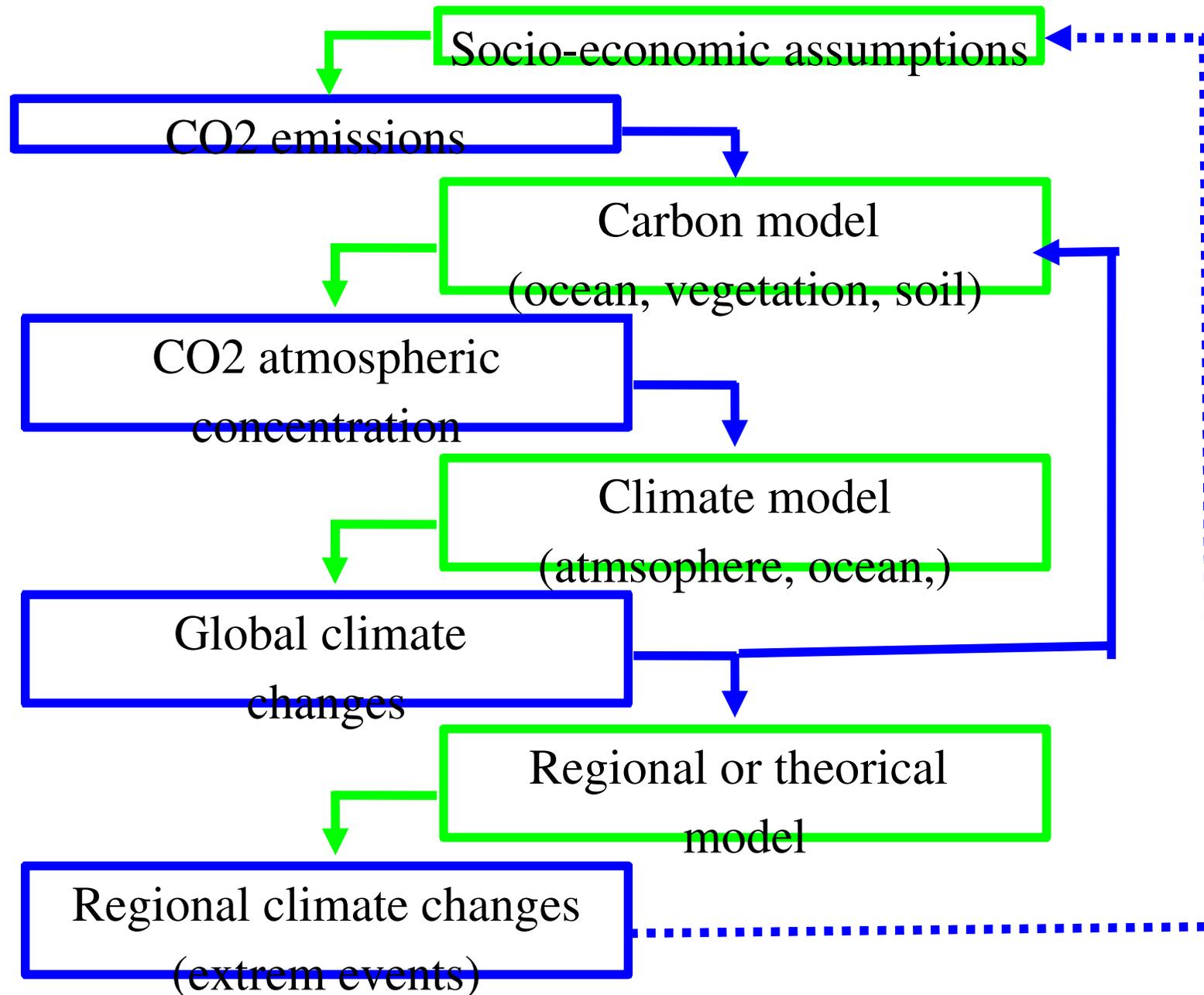
The various steps to estimate the Global climate changes in the futur



The various steps to estimate the Global climate changes in the futur

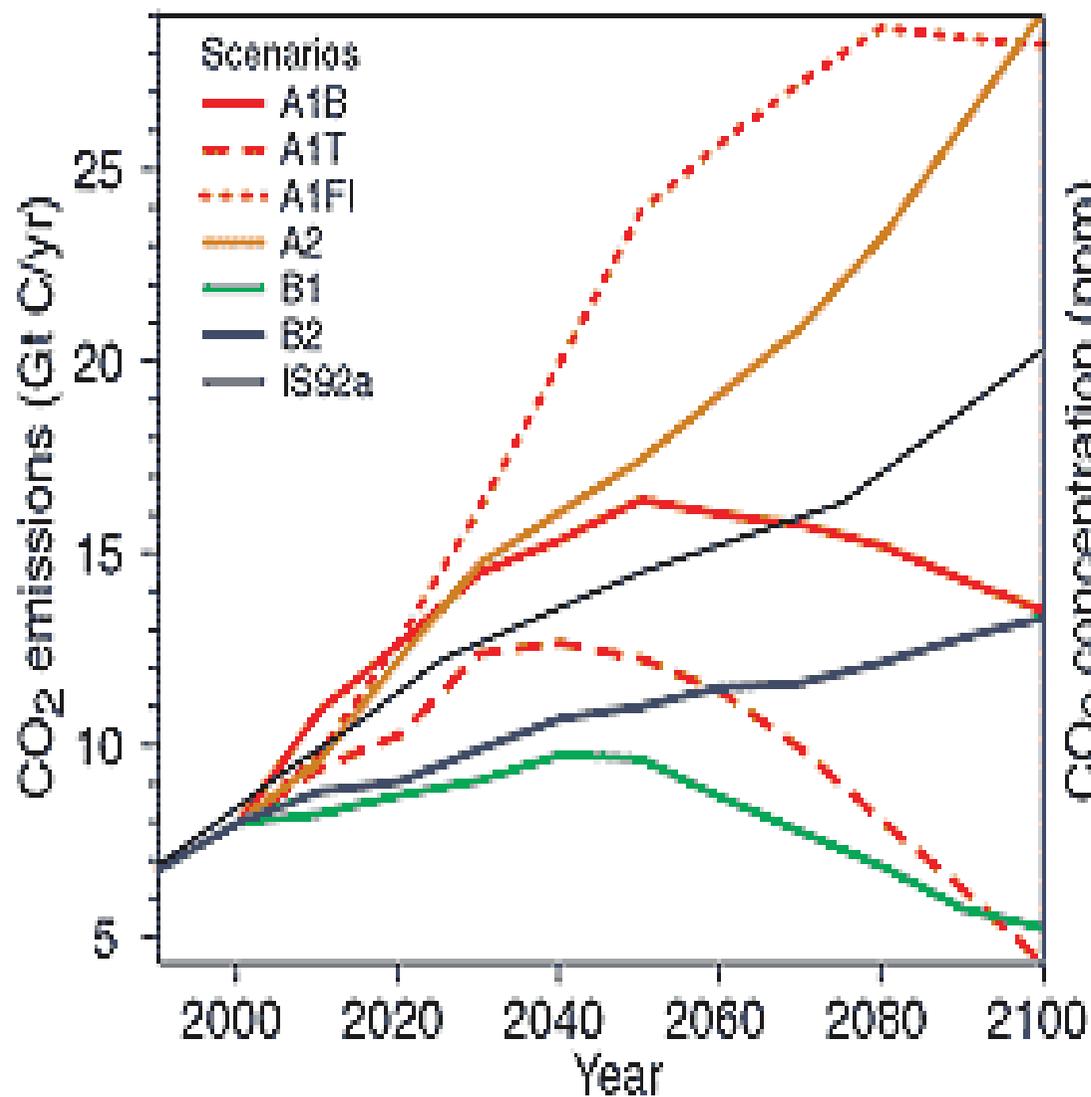


The various steps to estimate the Global climate changes in the futur

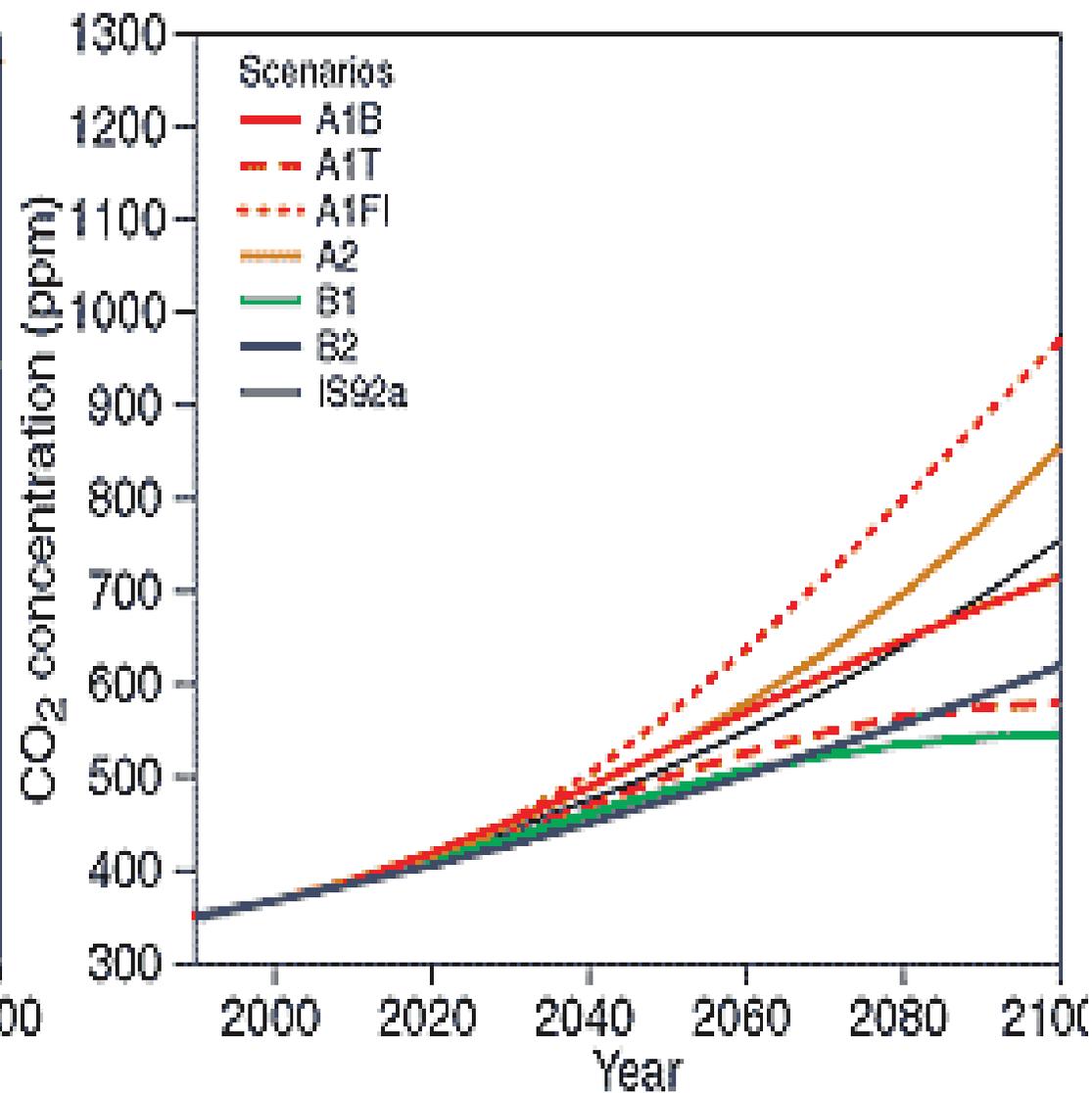


Emissions et concentrations de CO₂: utilisation de scénarios

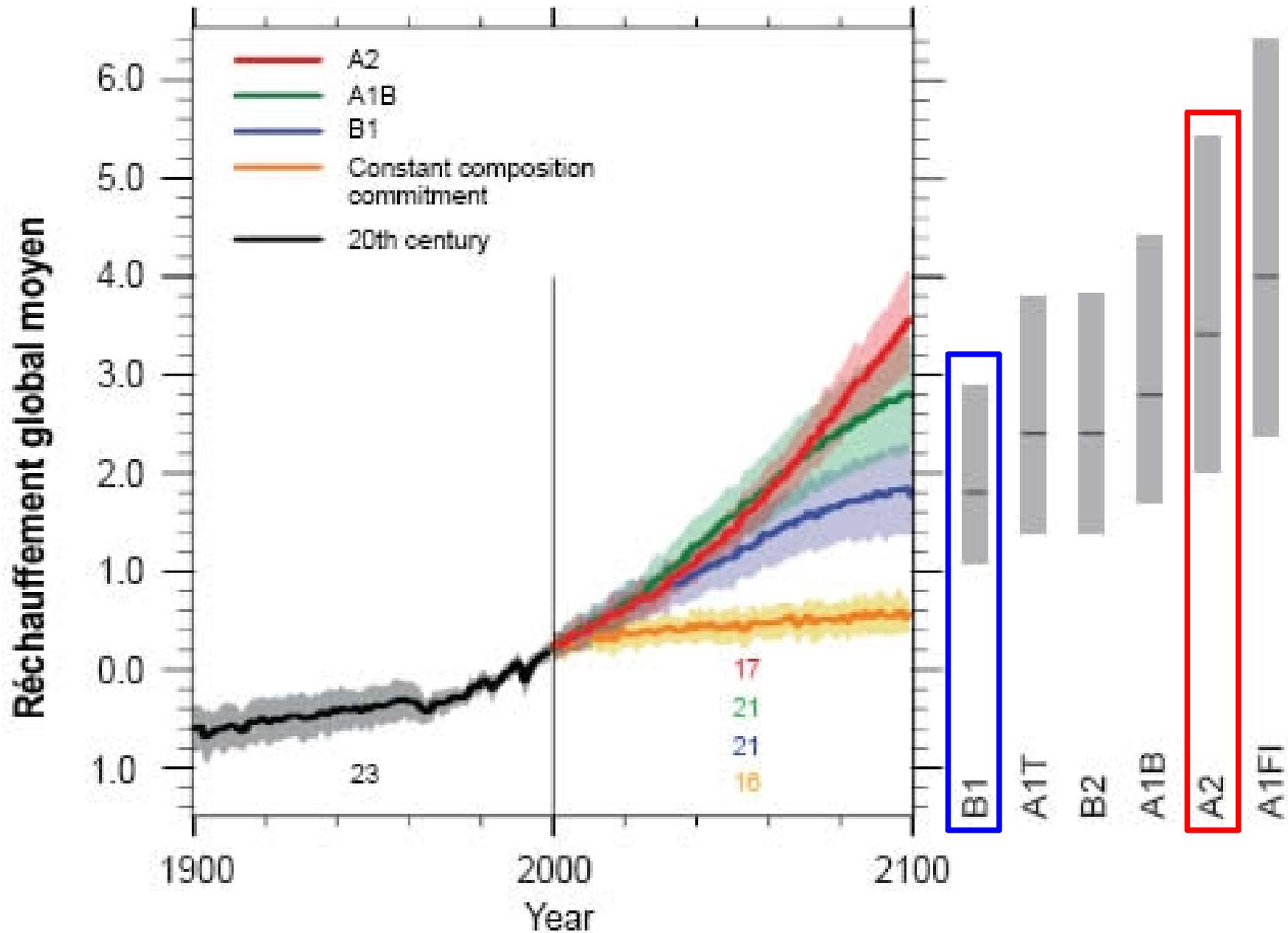
(a) CO₂ emissions



(b) CO₂ concentrations

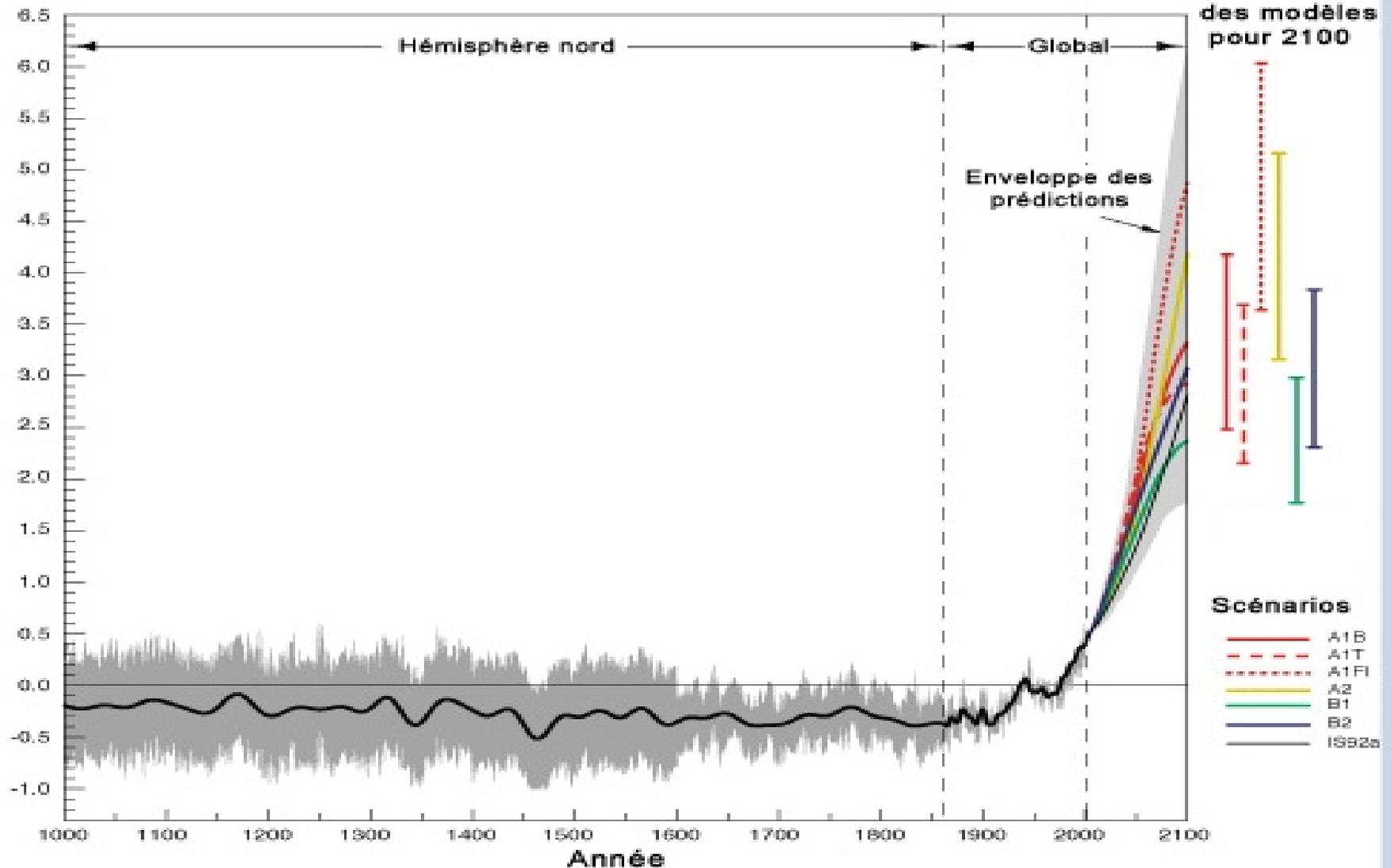


Évolutions de la température globale



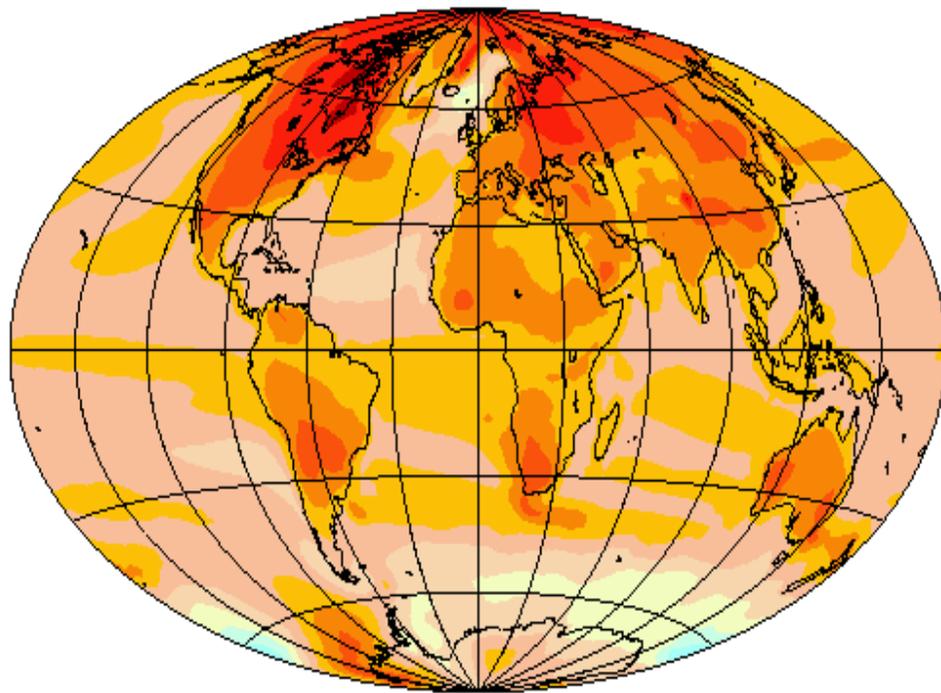
Et dans 100 ans ?

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

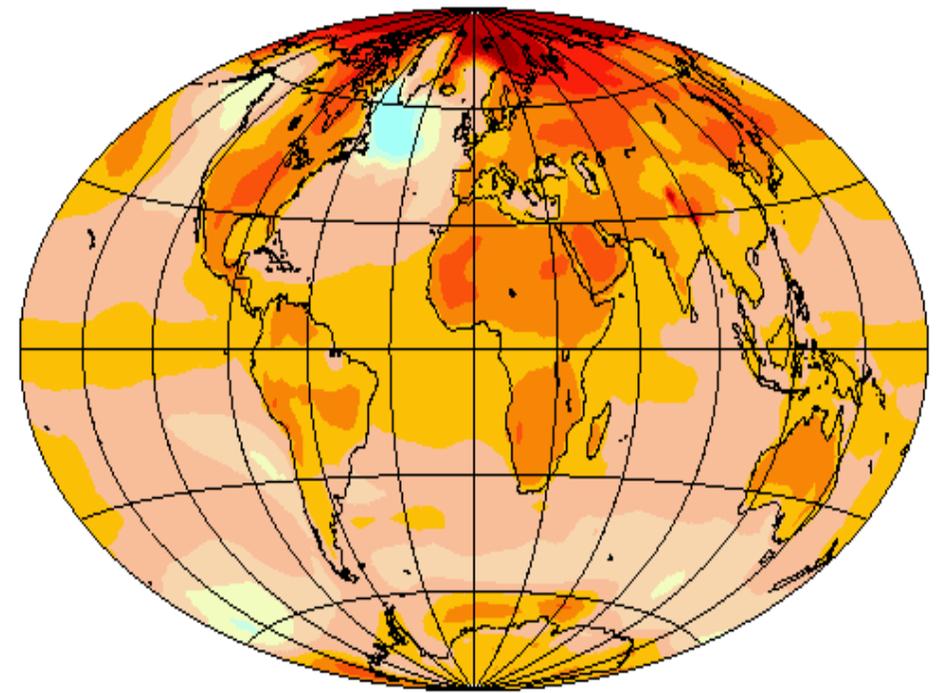


Projection pour l'an 2100

Changement des températures pour le scénario A2



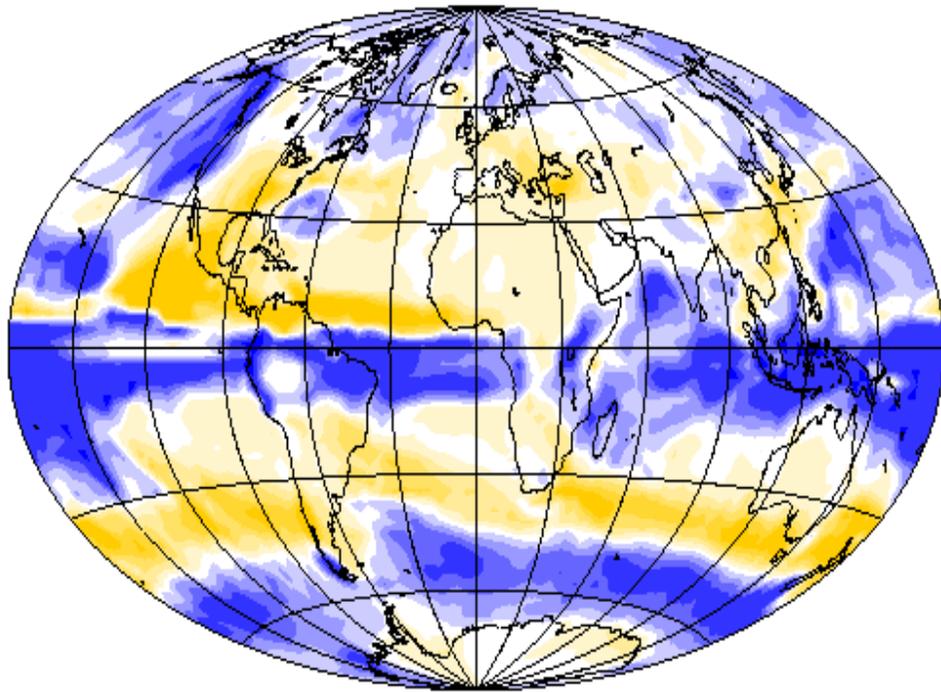
IPCC / IPSL - SRESA2 scenario - Anomalies de la temperature (deg C)
(2090-2099) comparee a (2000-2009)



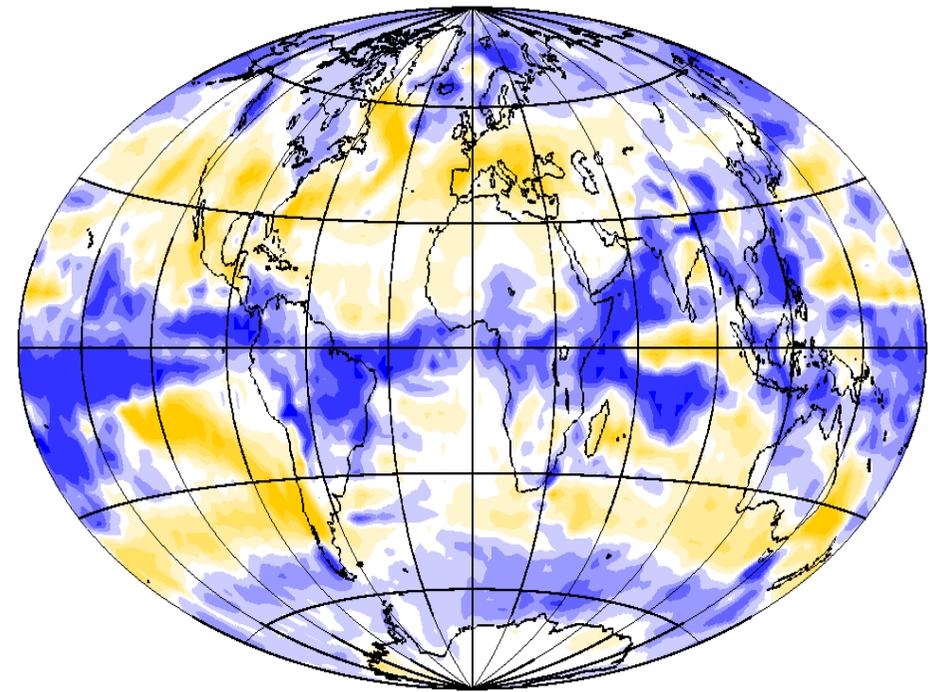
IPCC / CNRM - SRESA2 scenario - Anomalies de la temperature (deg C)
(2090-2099) comparee a (2000-2009)

Projection pour l'an 2100

Changement de précipitations pour le scénario A2

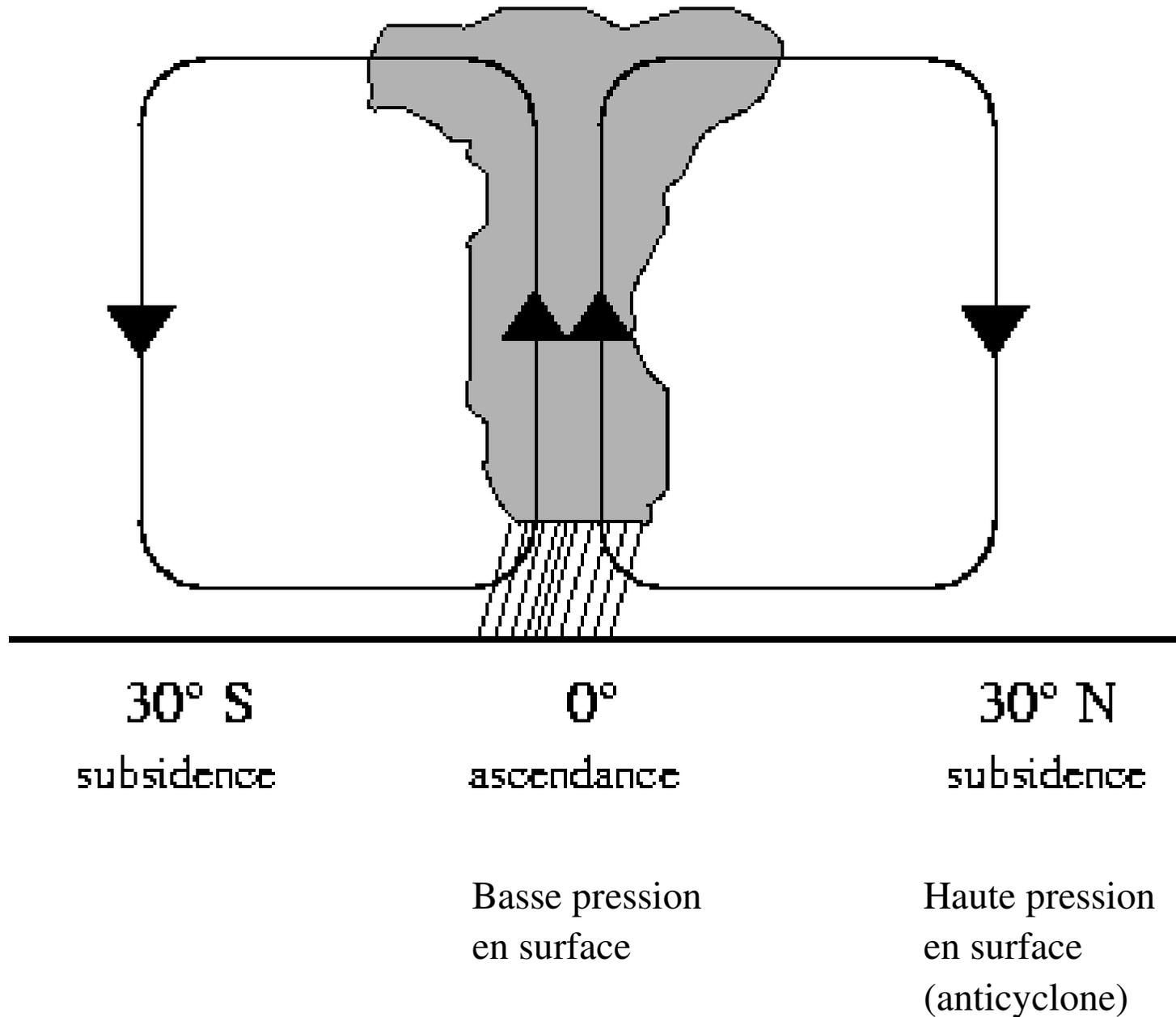


IPCC / IPSL – SRESA2 scénario – Anomalies de la précipitation (mm/jour)
(2090–2099) comparée à (2000–2009)



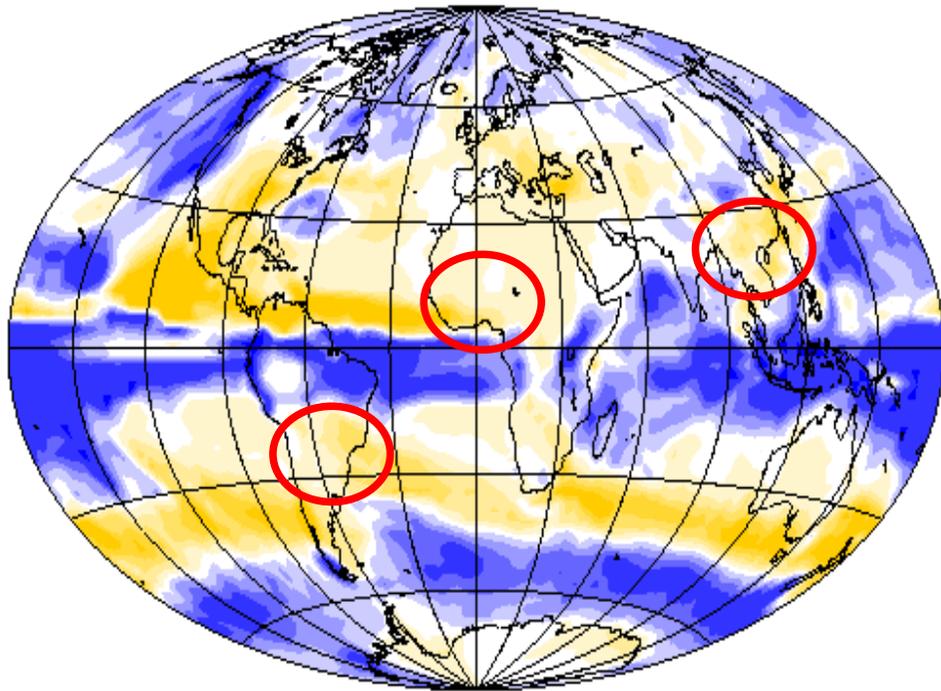
IPCC / CNRM – SRESA2 scénario – Anomalies de la précipitation (mm/jour)
(2090–2099) comparée à (2000–2009)

La circulation de Hadley

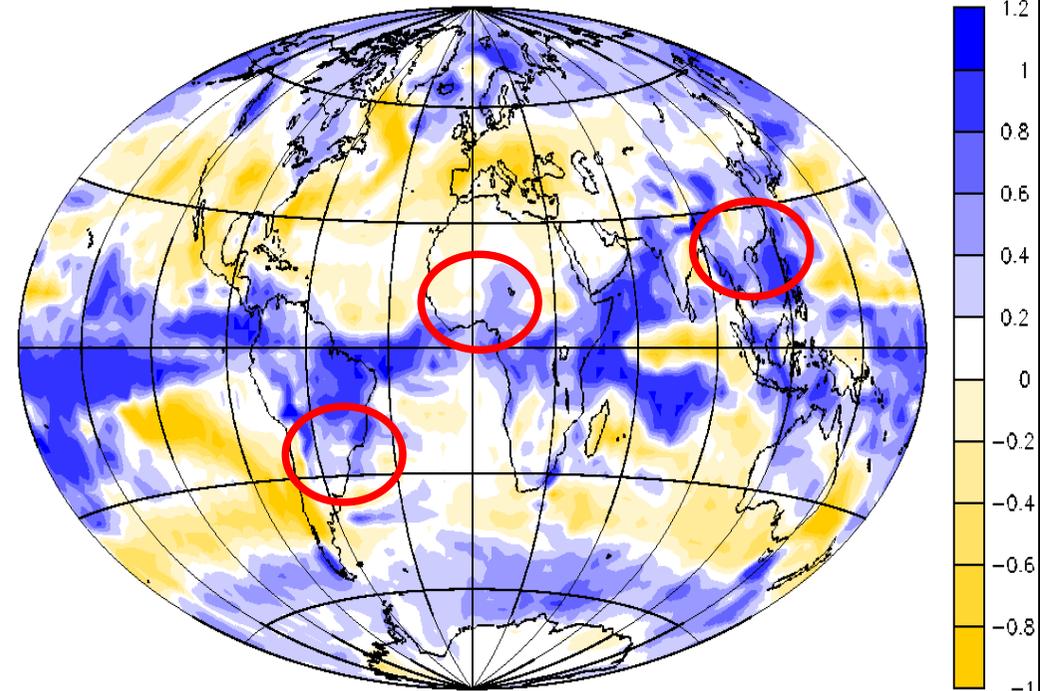


Projection pour l'an 2100

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

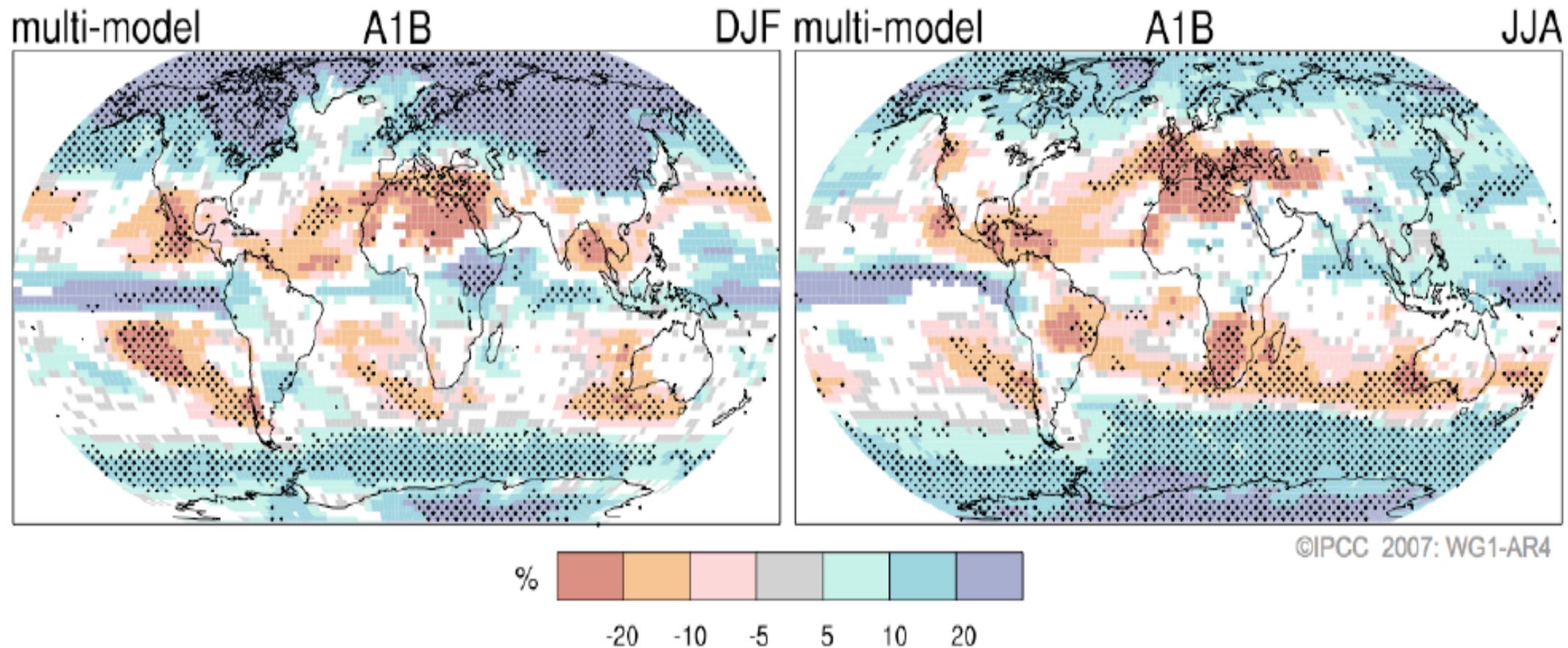


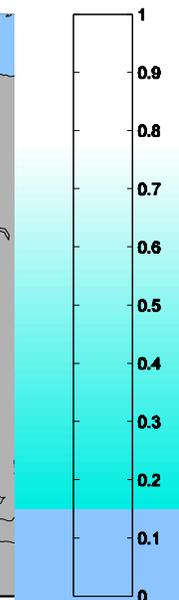
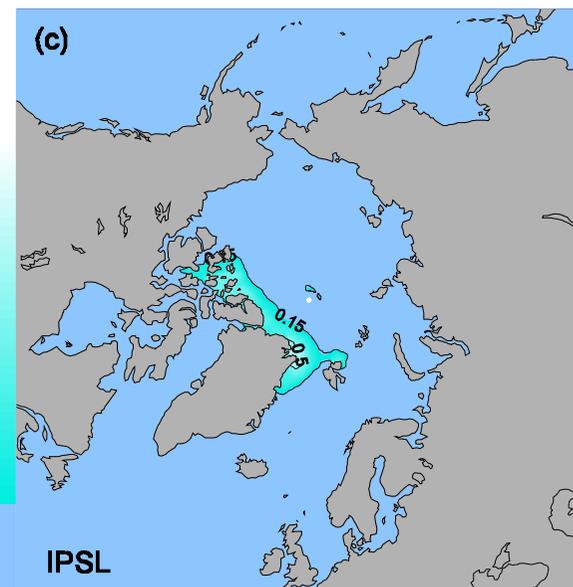
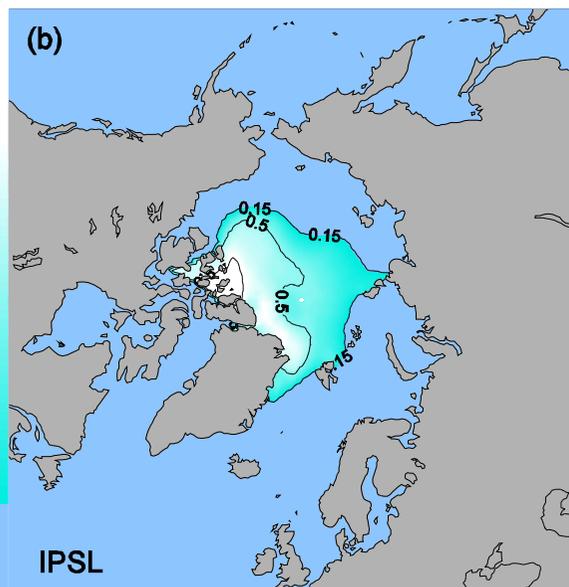
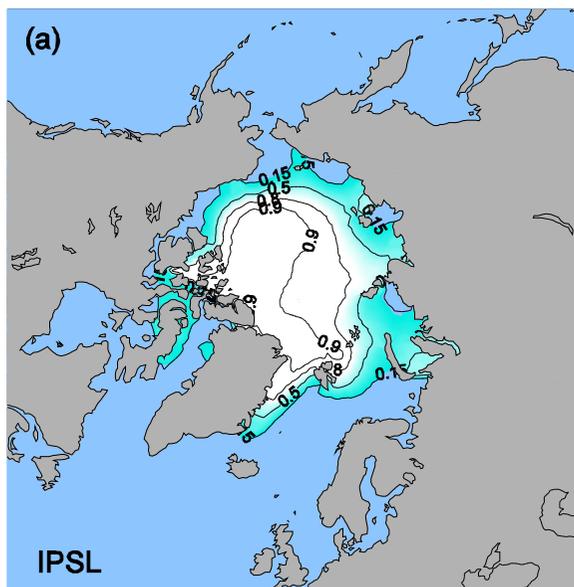
FIGURE SPM-6. Relative changes in precipitation (in percent) for the period 2090–2099, relative to 1980–1999. Values are multi-model averages based on the SRES A1B scenario for December to February (left) and June to August (right). White areas are where less than 66% of the models agree in the sign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

{Figure 10.9}

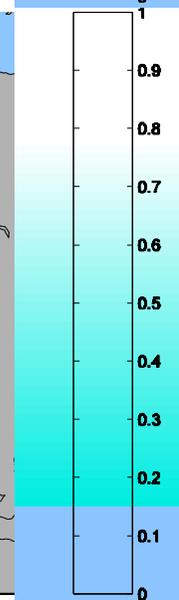
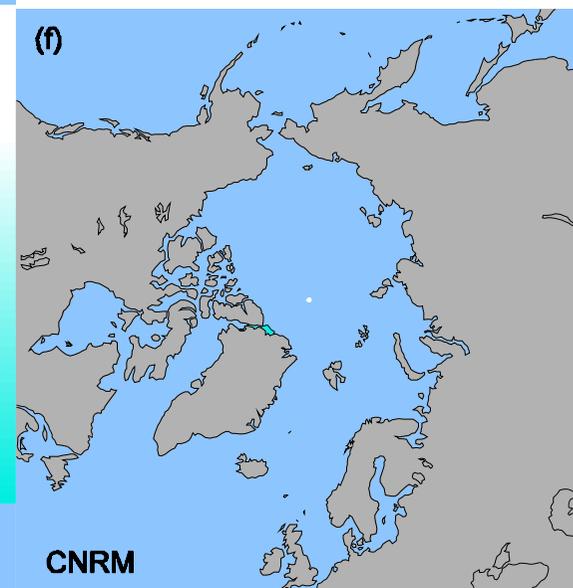
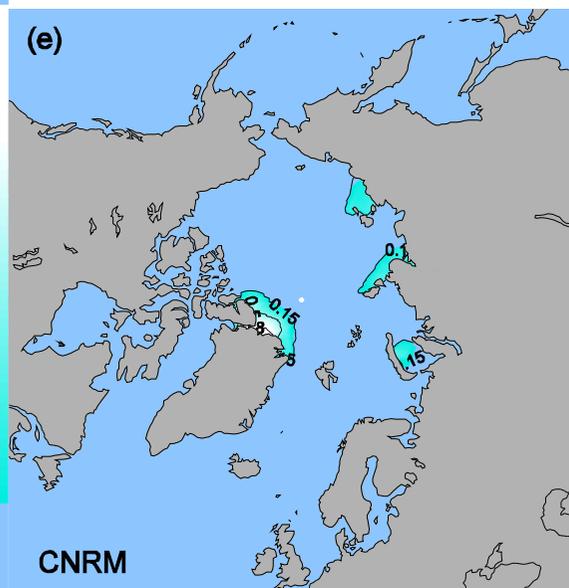
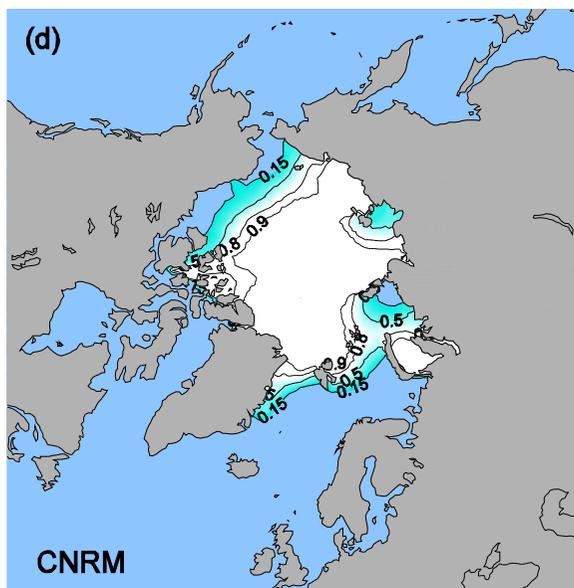
Extension minimale de la glace de mer (été)

Climat 21^e

IPSL



CNRM



1960-1989

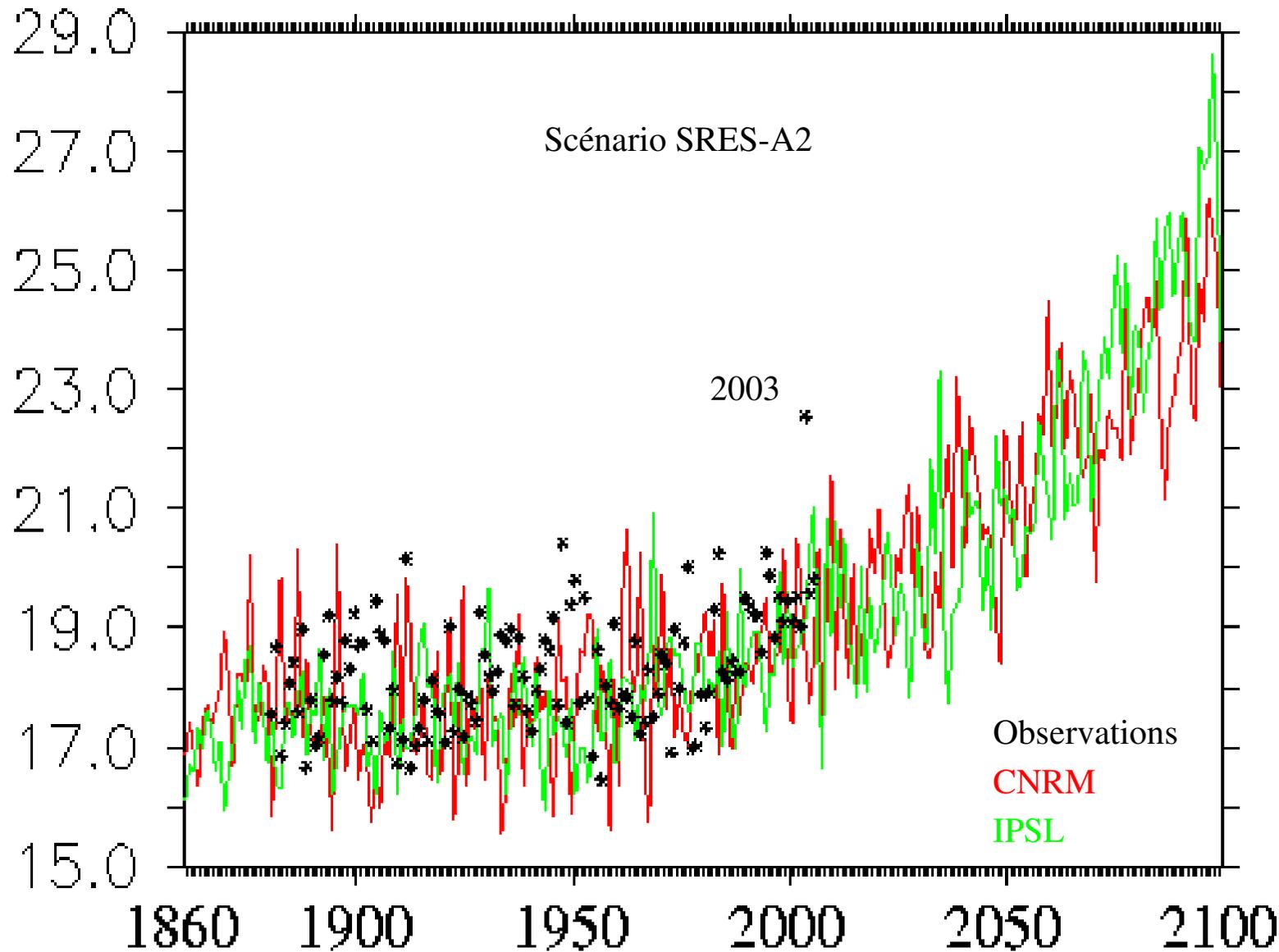
2070-2099; B1

2070-2099; A2

[Dufresne et al., 2006]

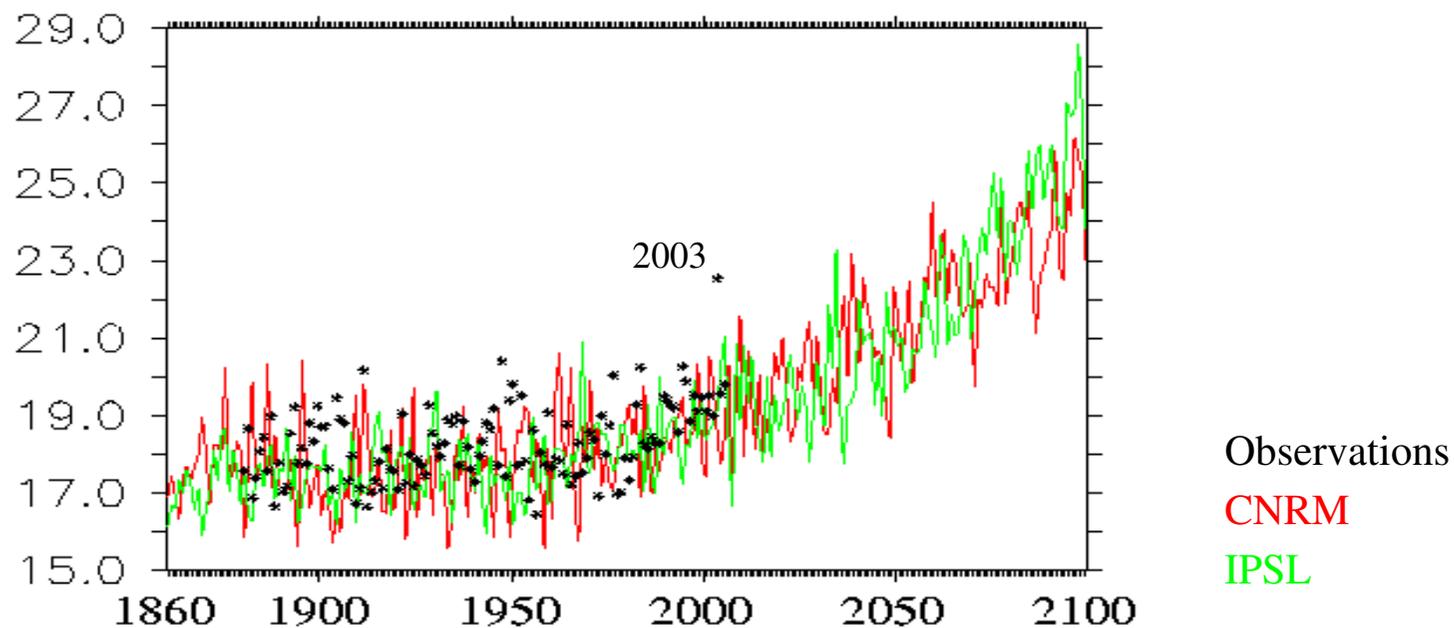
Que représentent ces changements de température?

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

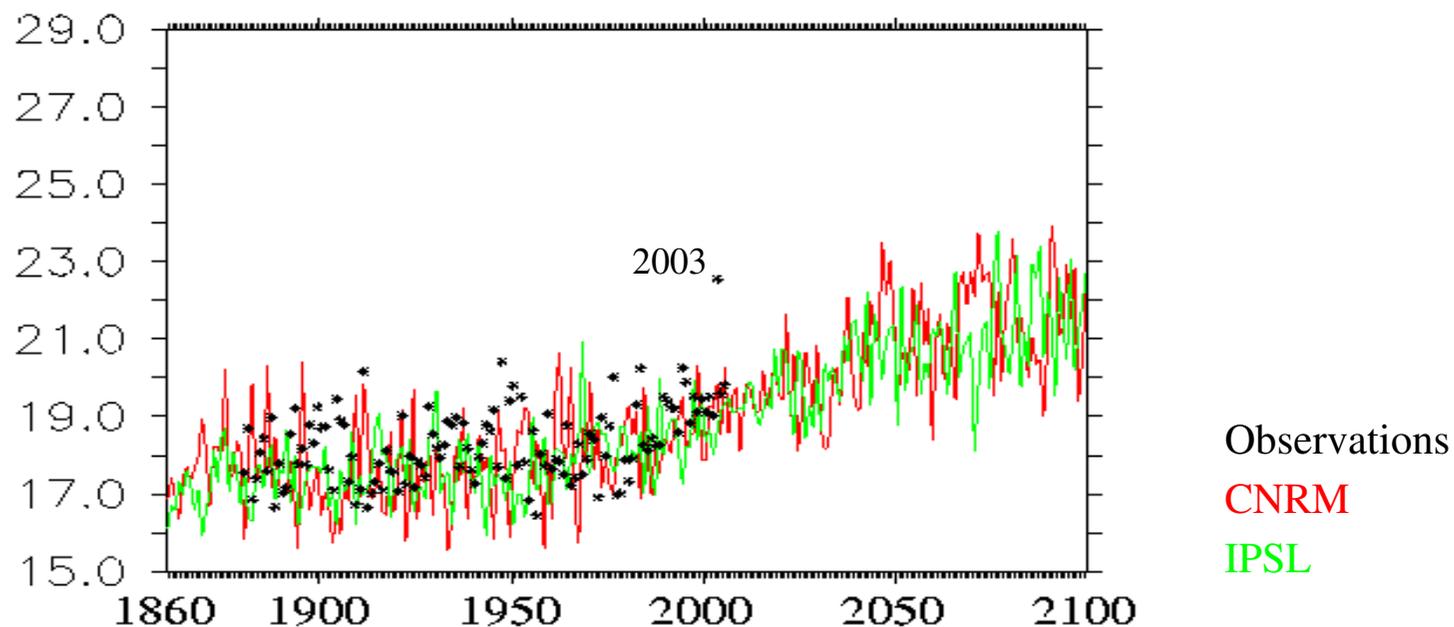


Température estivale, moyennée sur la France, pour deux scénarios

SRES-A2

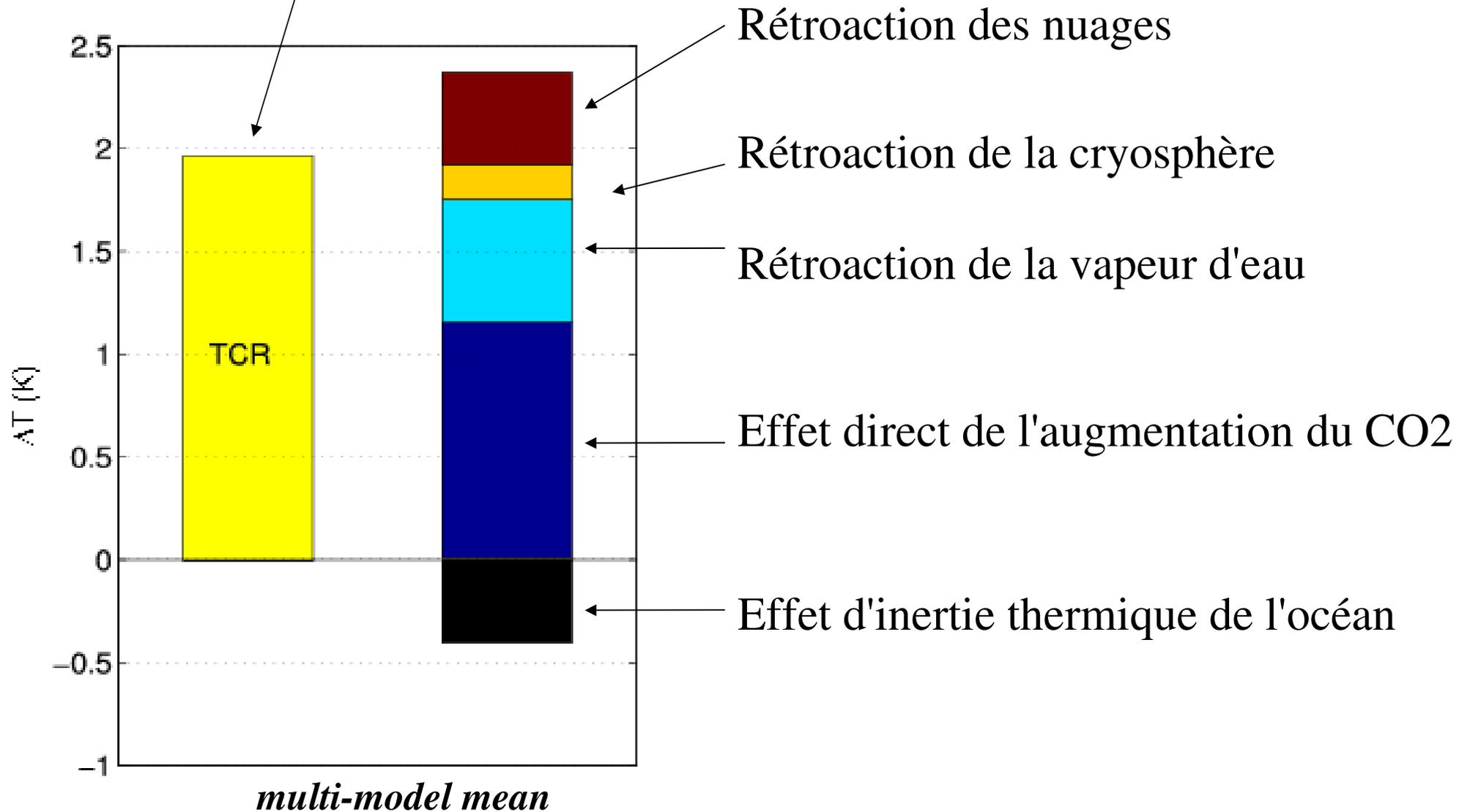


SRES-B1



Importances des rétroactions

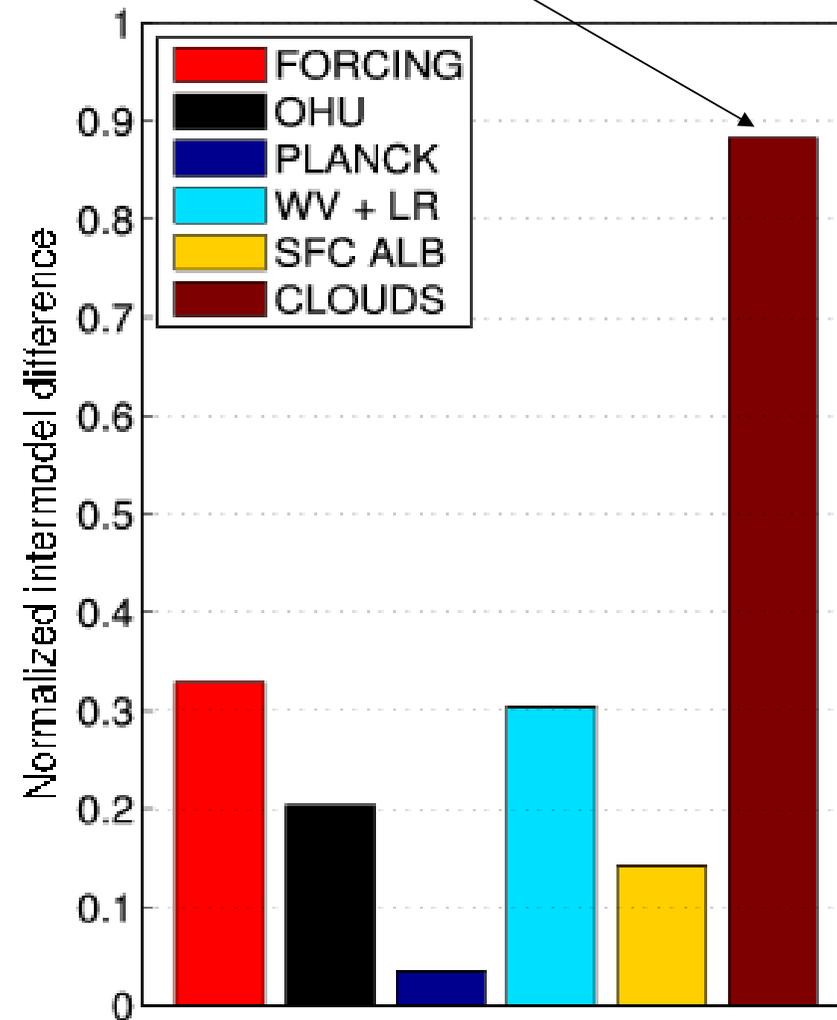
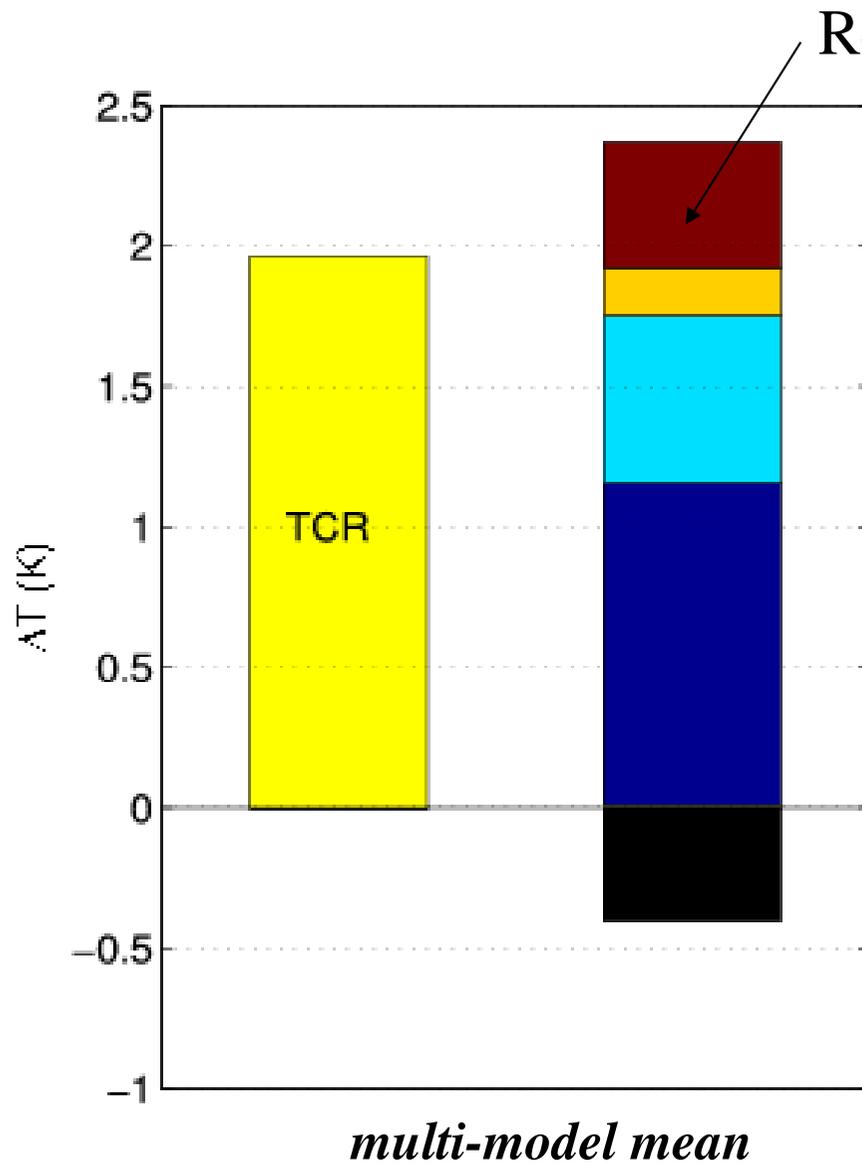
Réchauffement global pour un doublement de CO₂



Importances des rétroactions

Moyenne des modèles

Dispersion entre les modèles



(Dufresne & Bony 2007, submitted)

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?

Bibliographie

- **Le climat est-il devenu fou?**, Robert Sadourny, ed. Le Pommier, Paris, 2002. Un excellent petit livre, simple et clair, qui résume les connaissances scientifiques actuelles sur les conséquences climatiques d'une augmentation des gaz à effet de serre.
- **Le réchauffement climatique.** Robert Kandel, ed. PUF, "Que Sais-je ?", Paris, 2002 (rééd. 2004). Un livre plus complet, mais plus difficile d'accès.
- **Comprendre le changement climatiques.** J-L Fellous et C. Gautier, 298p., Ed. O. Jacob, 2007
- **L'effet de serre. Allons-nous changer le climat ?** Hervé Le Treut, Jean-Marc Jancovici – ed. Flammarion, collection Champs, 2004, 217pp. Un livre qui présente les mécanismes des changements climatiques, les conséquences mais aussi les causes, les pays et les secteurs qui ont les plus fortes émissions...
- **L'effet de serre et l'évolution du climat**, J-L Dufresne, *in Graines de Sciences 8, pp.91-119* , Éd. Le Pommier, 2007.
- **Climat: jeu dangereux**, Jean Jouzel, Anne Debroye, Dunod, Paris, 2004, 212pp.
- **Le réchauffement climatique.** Sciences et Avenir Hors Série N°150, mar-avril 2007.

Sites web

- ♦ www.educnet.education.fr/meteo/default.htm Météorologie et enseignement, pour une pédagogie par la météorologie, site Educnet du Ministère de l'Éducation Nationale
- ♦ Galileo.CyberScol.qc.ca/InterMet/accueil.html, InterMet (Canada), et notamment ses ressources éducatives.
- ♦ www.ens-lyon.fr/Planet-Terre Site Planet-Terre
- ♦ www.cnrs.fr/dossiers/dosclim/index.htm, dossier climat du site du CNRS
- ♦ www.effet-de-serre.gouv.fr Mission Interministérielle de l'Effet de Serre
- ♦ www.ecologie.gouv.fr/Observatoire-national-sur-les.html Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique(ONERC). On y trouve notamment des traductions françaises de textes du GIEC
- ♦ www.ipcc.ch Le site du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). Site essentiellement en anglais.