

# Les causes physiques des changements climatiques récents

Le quatrième rapport du GIEC

présenté par: Andrew Ferrone

UCL - ASTR

[andrew.ferrone@uclouvain.be](mailto:andrew.ferrone@uclouvain.be)

APYL 15/02/2008

# Plan

- ◆ Définitions et structure du GIEC
- ◆ Observations et causes des changements climatiques
- ◆ Les projections du climat futur du GIEC
- ◆ Les impacts et les moyens d'atténuations des changements climatiques
- ◆ Expériences personnelles

# Définitions

- ◆ Le **système climatique** se compose de l'atmosphère, des océans, de la cryosphère de la lithosphère et de la biosphère
- ◆ Le **climat** est l'état moyen du système climatique sur une longue période de temps et l'analyse de la variabilité du système autour de cette moyenne.
- ◆ Contrairement à la météo il est possible de **projeter** le climat pour le futur (car il s'agit d'un état moyenné)

# IPCC (GIEC)

- ◆ créé par l'OMM et le PNUE en 1988
- ◆ plus de **2500 chercheurs** y participent (auteurs + relecteurs critiques)
- ◆ Mandat : évaluer les informations scientifiques, techniques et socio-économiques liées à la compréhension des **risques associés aux changements climatiques** (base scientifique, impacts potentiels, prévention et adaptation).
- ◆ publie des **rapports** (1990, 1996, 2001, 2007) (Cambridge University Press) qui font autorité.
- ◆ Web: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) (résumés : [www.climate.be](http://www.climate.be))

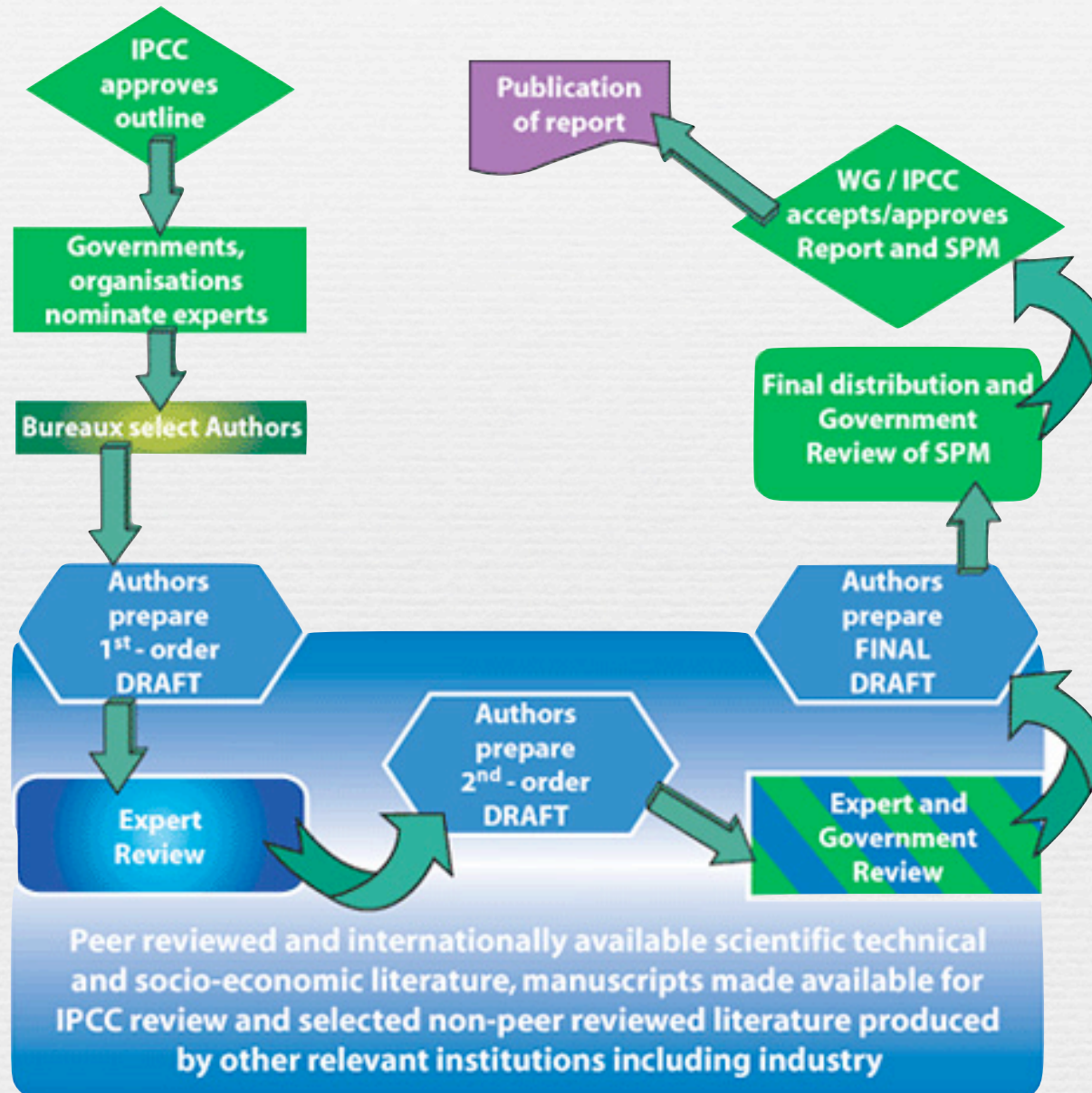
# Structure du GIEC

- ◆ 3 Groupes de travail, 1 Task Force
- ◆ GT 1: Science des changements climatiques
- ◆ GT2: Impacts, adaptation & vulnérabilité
- ◆ GT3: Atténuation (Mitigation)
- ◆ TF: Inventaires d'émissions (méthodologies)



# Cycle d'écriture des rapports

(4 années et 2500 scientifiques)



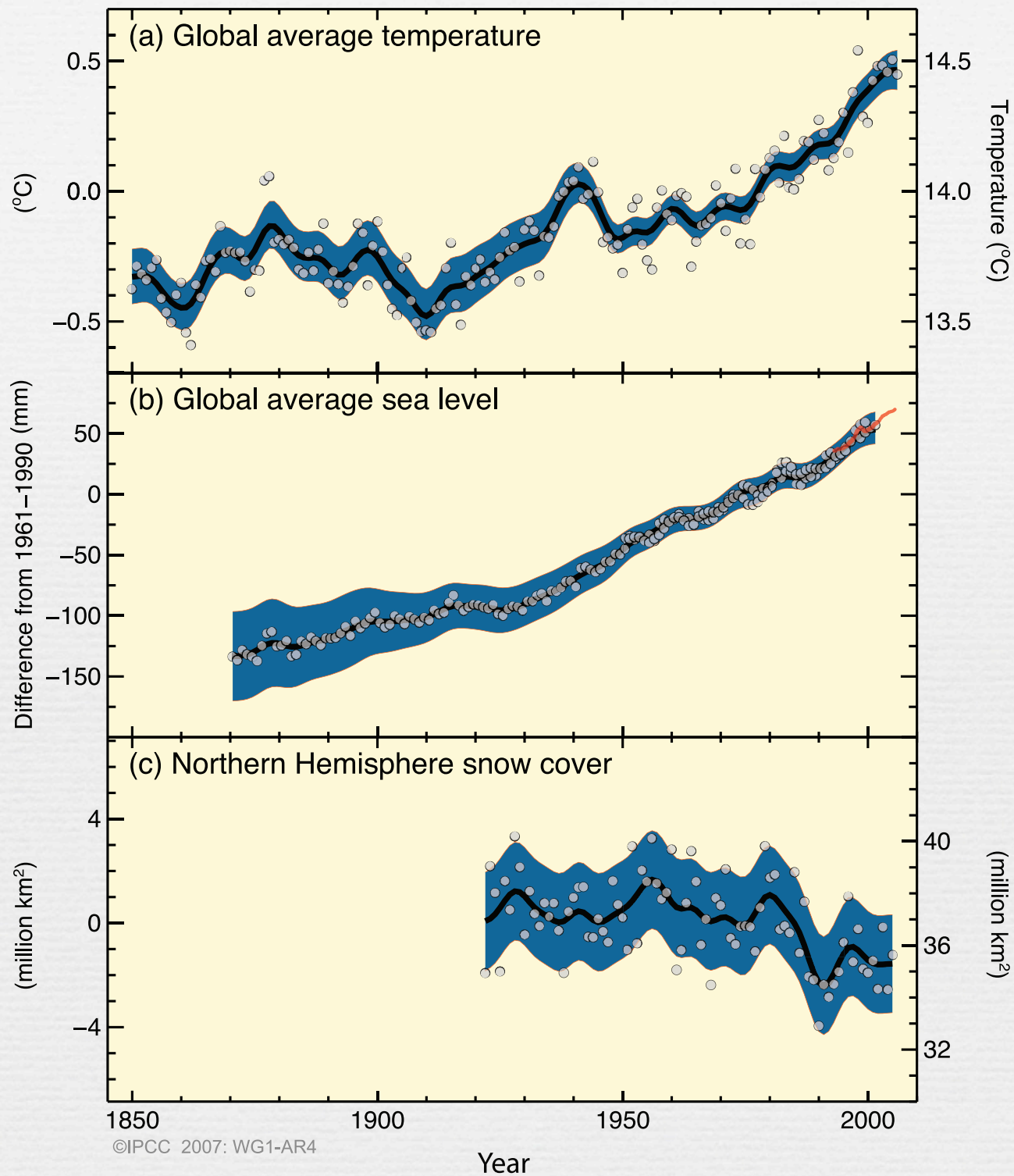
# Les causes des changements climatiques

Source (sauf indication contraire):  
- Rapport GIEC (2007)

# Observations

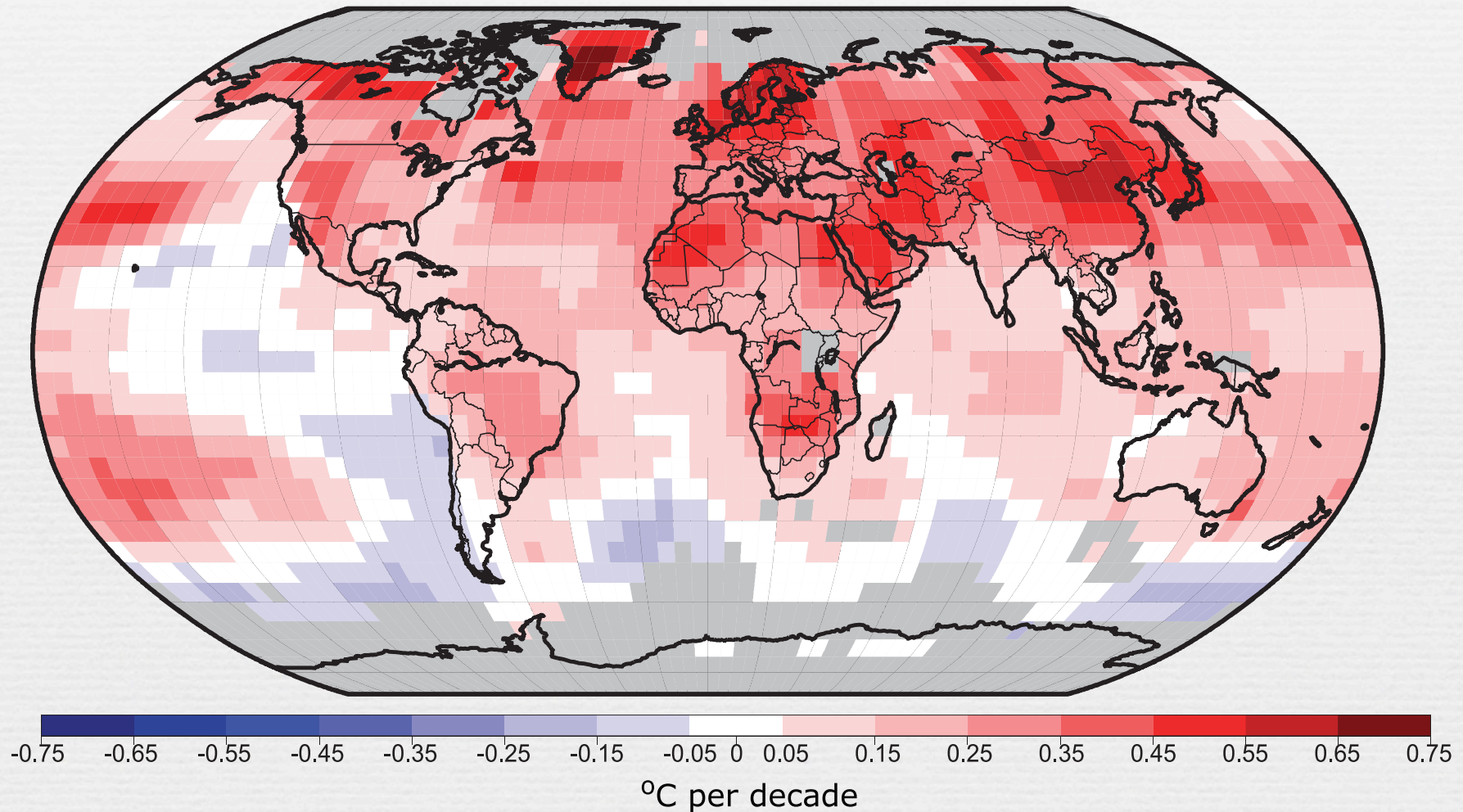
Tous les changements sont relatifs à la moyenne de la période 1961-1990

- ◆ points **gris**: observations annuelles
- ◆ ligne **noire**: moyenne décennale courante
- ◆ surfaces **bleues**: intervalles d'incertitudes
- ◆ ligne **rouge**: observations satellitaires du niveau de la mer



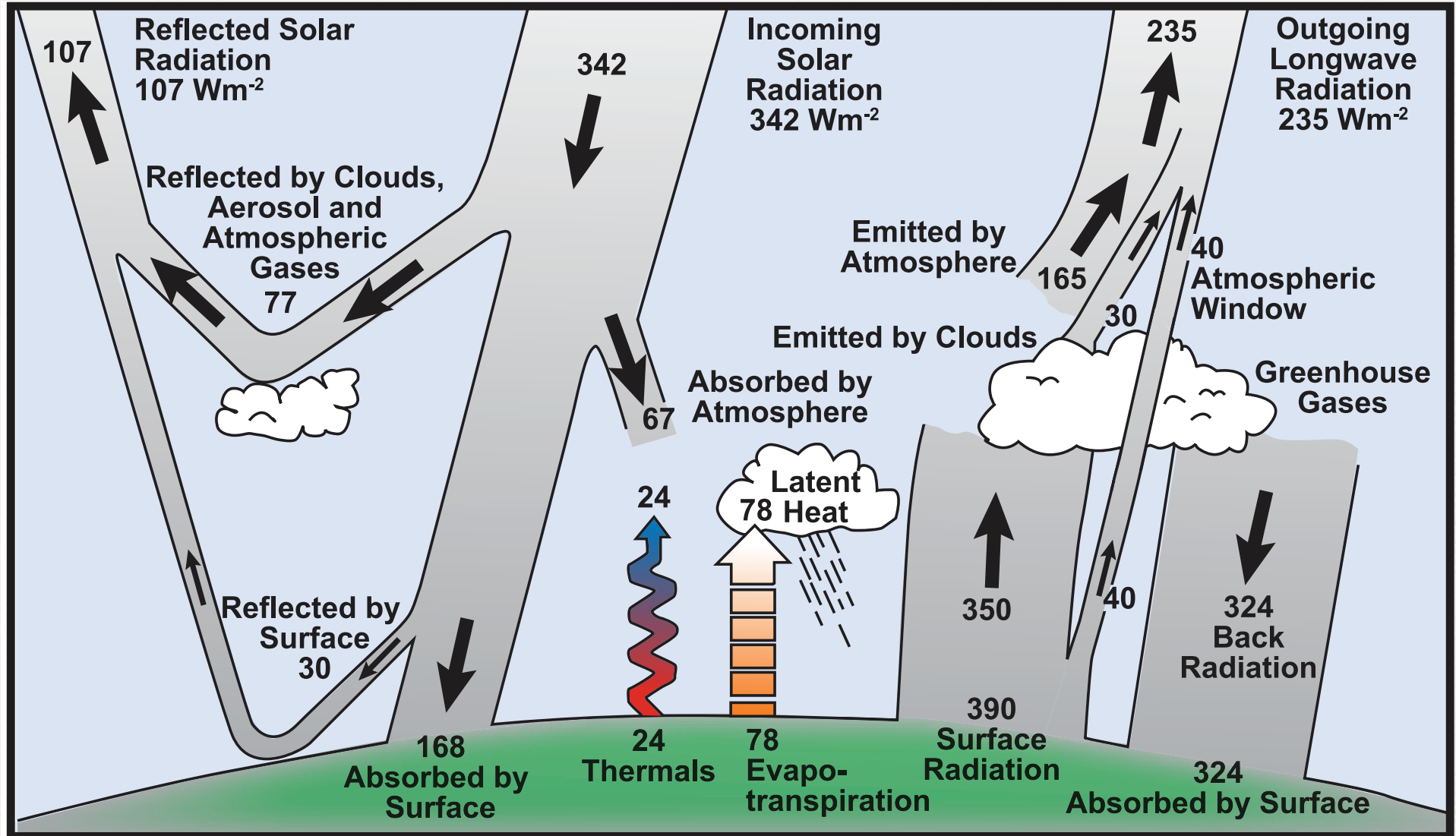


# Tendances des températures globales de surface (1979-2005)

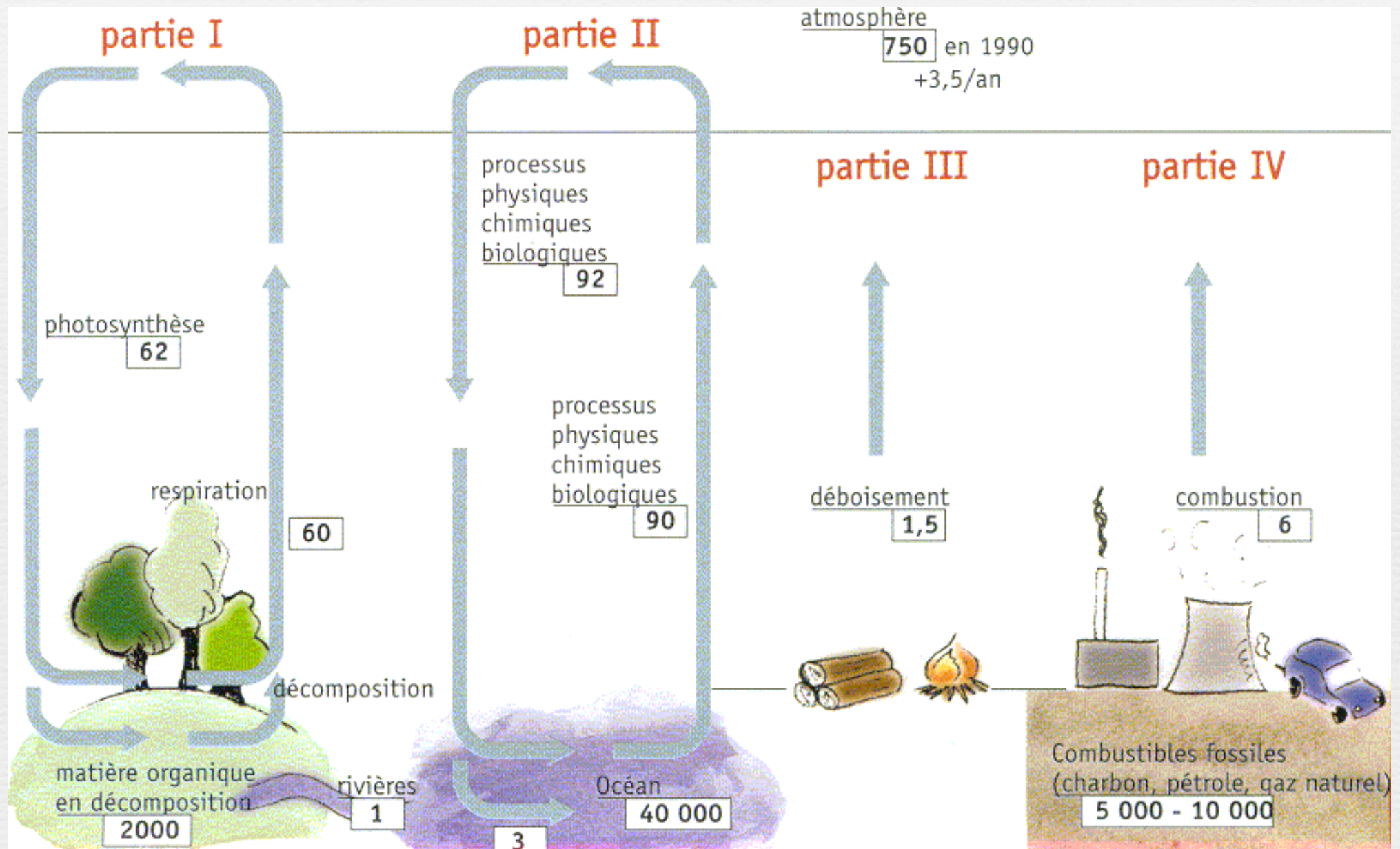


Dans les surfaces grises il n y a pas assez de données

# Le cycle de l'effet et serre



# Le cycle du carbone

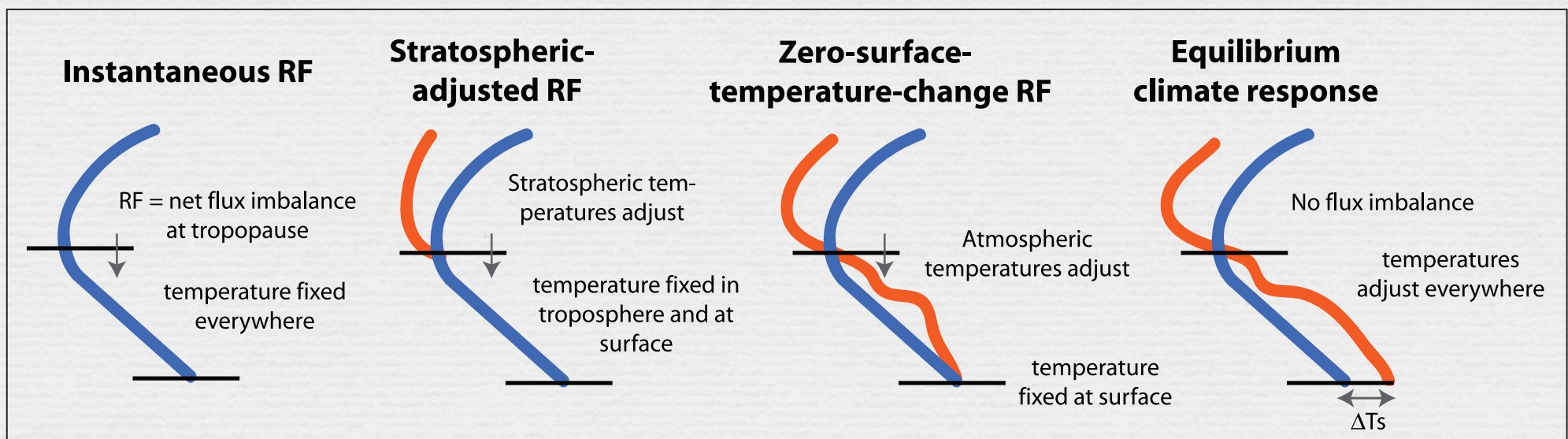


Source: J.P. van Ypersele

# Le forçage radiatif (FR)

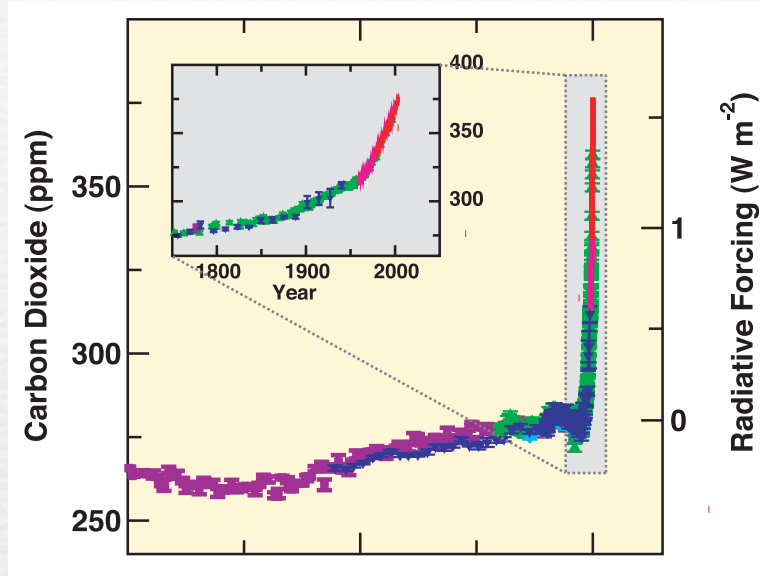
Le forçage radiatif du système surface-troposphère dû à la perturbation ou l'introduction d'un agent (par exemple, une variation de concentration des gaz à effet de serre) est la variation nette (baisse moins hausse) de l'irradiation (solaire et grandes longueurs d'onde, en  $\text{Wm}^{-2}$ ) à la tropopause APRÈS que les températures stratosphériques se soient réajustées à l'équilibre radiatif, mais avec les températures et états de surface et troposphériques gardés constants aux valeurs non-perturbées.

1<sup>ère</sup> approximation:  $\Delta\text{RF} \propto \Delta T_{\text{globale}}$

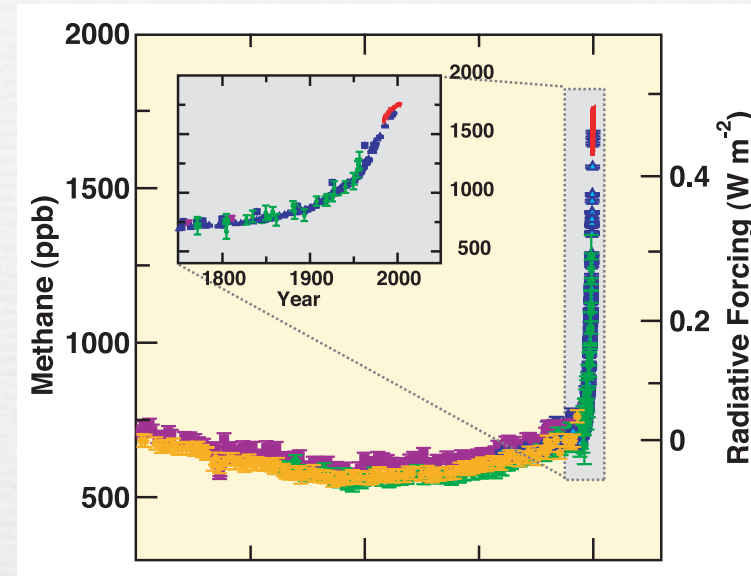


# Concentrations atmosphériques

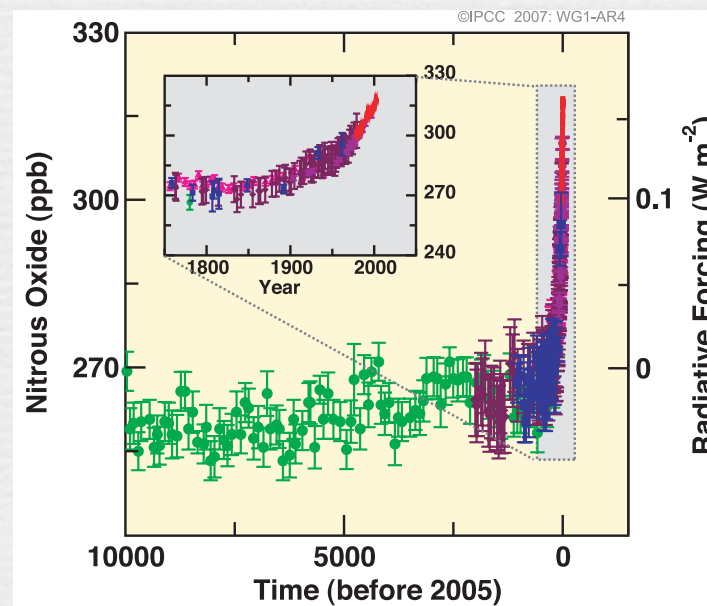
## Dioxyde de carbone



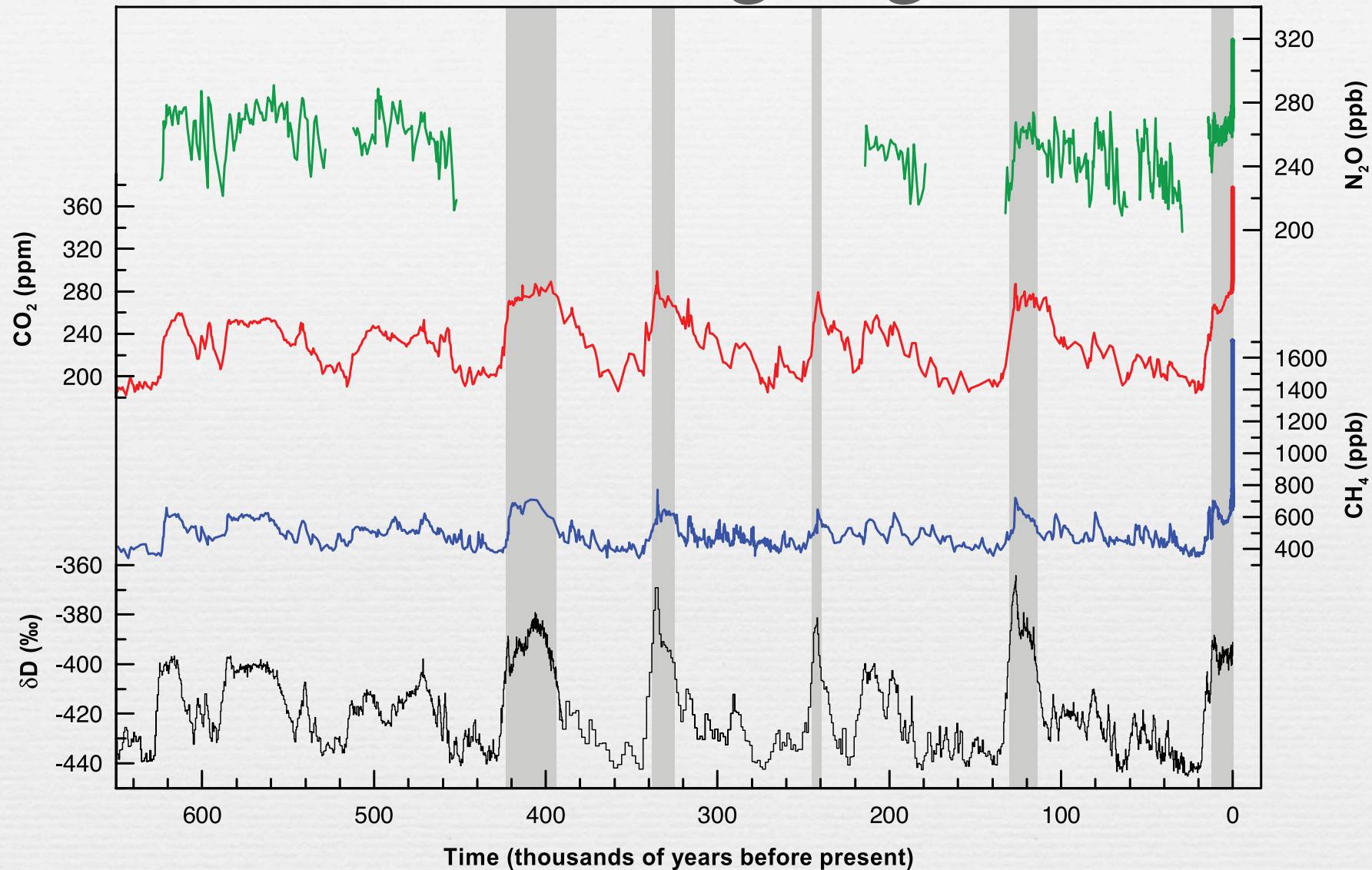
## Méthane



## Oxydes nitreux

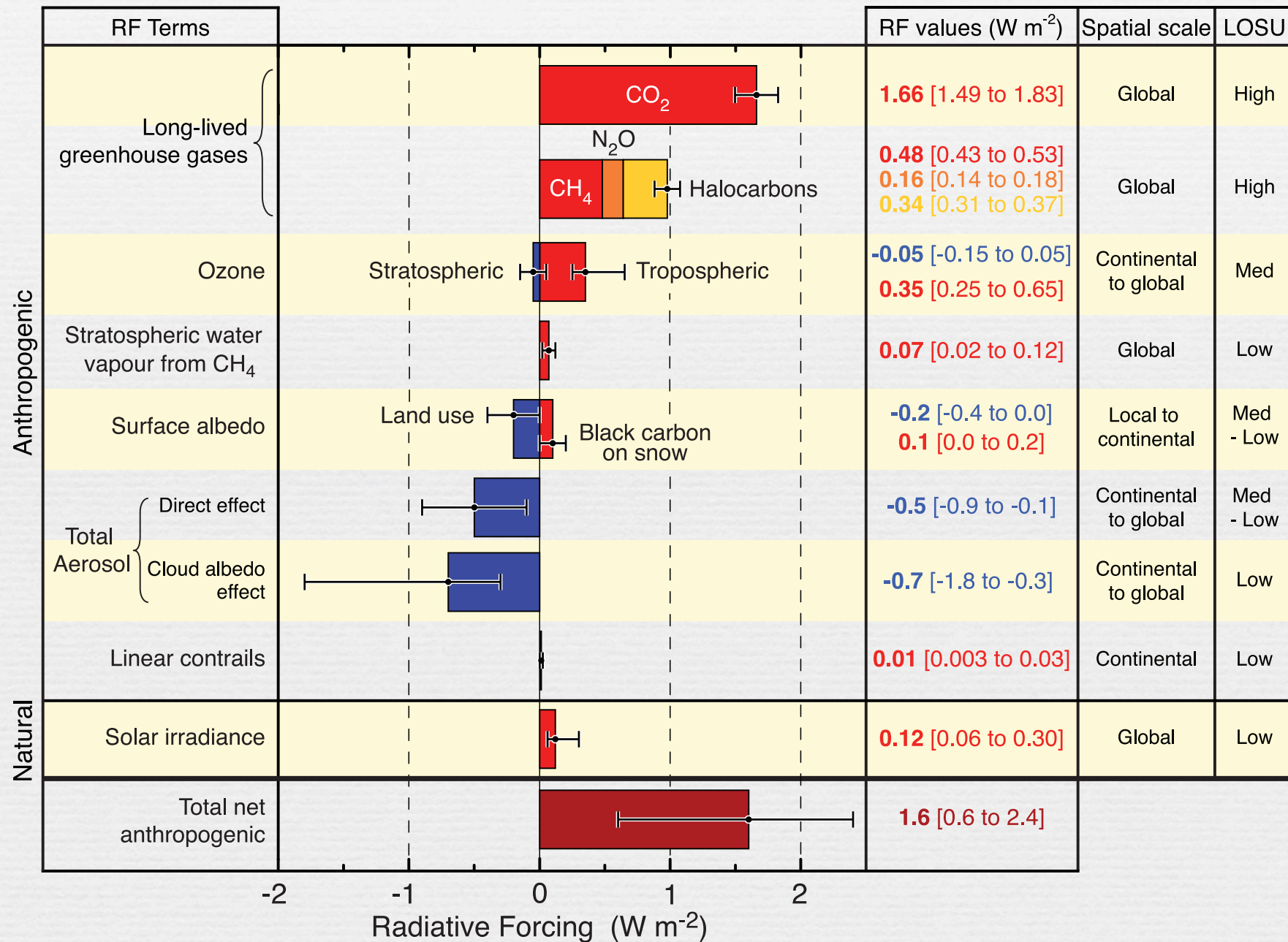


# Données de forages glaciaires

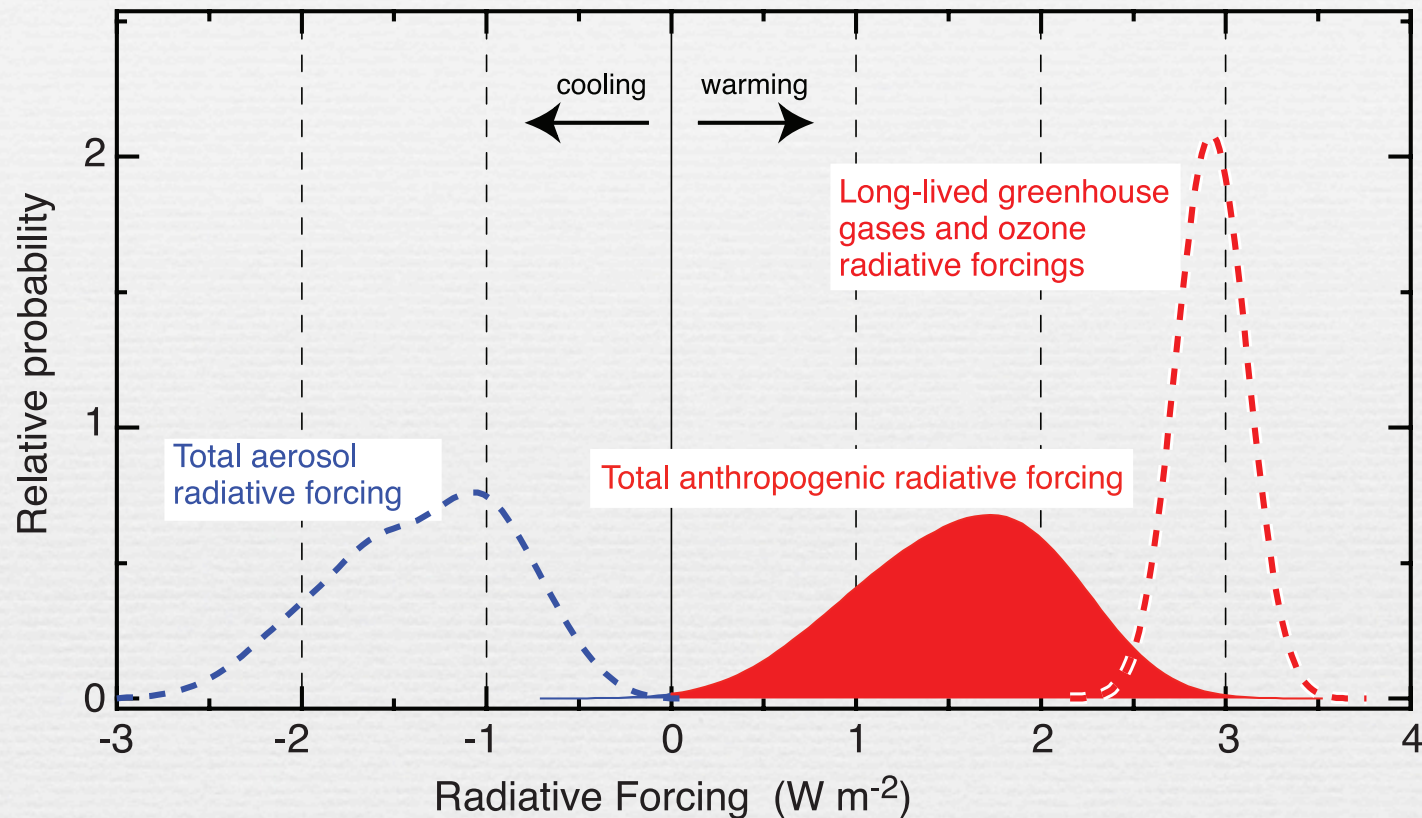


La concentration du dioxyde de carbone en 2005 dépasse de loin les variations naturelles durant les 650 000 dernières années (180 à 300 ppm), déduites des carottes de glace

# Les forçages anthropogéniques



# Distribution de probabilité du FR

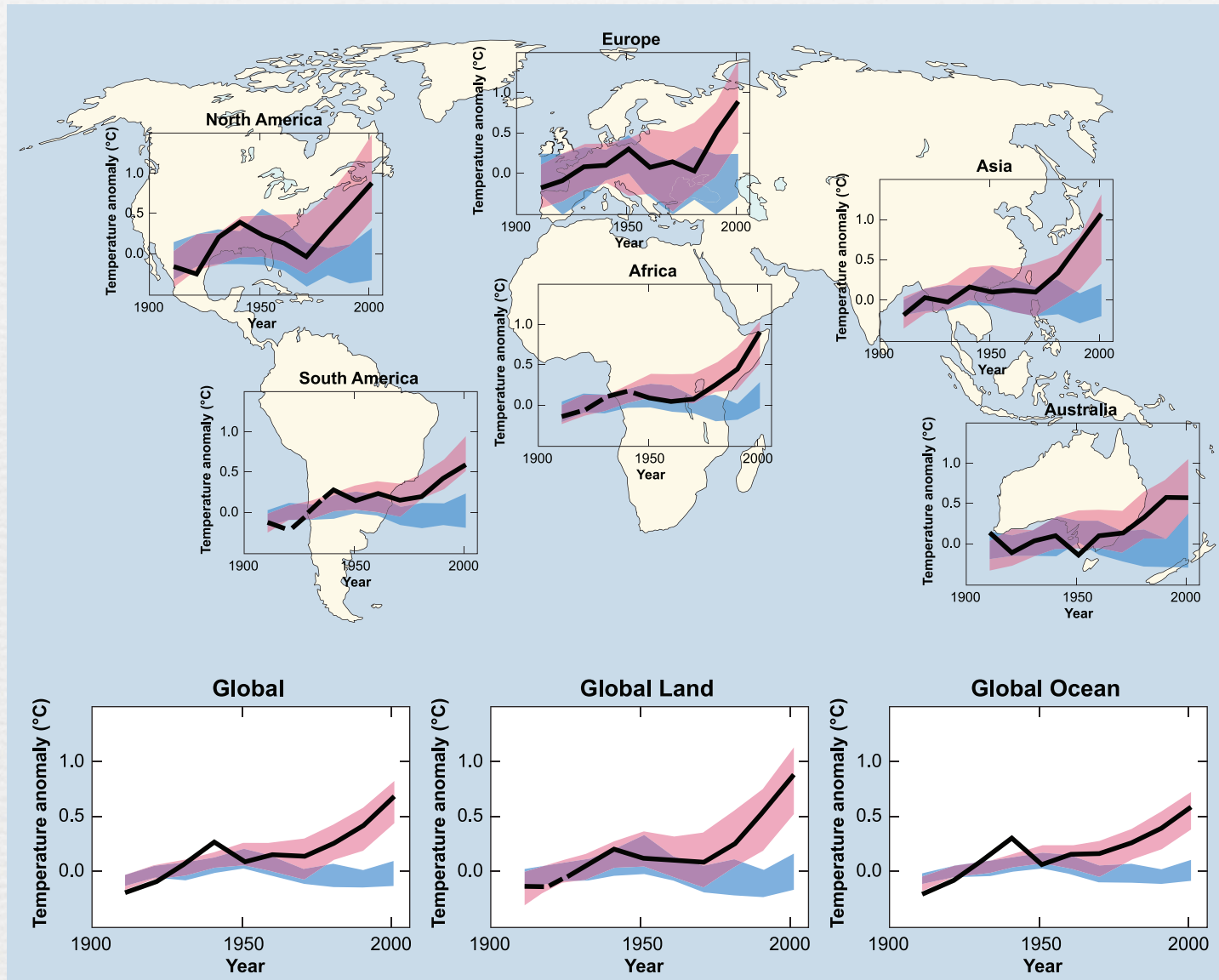


La compréhension des influences humaines sur le **réchauffement** et le **refroidissement** du climat a été améliorée depuis le troisième Rapport d'évaluation, ce qui conduit à une très grande confiance dans le fait que l'**effet moyen global** des activités humaines depuis 1750 a été un effet de **réchauffement** avec un forçage radiatif de  $+1,6$  ( $+0,6$  à  $+2,4$ )  $\text{W m}^{-2}$



# Résultats des modèles globaux

## GLOBAL AND CONTINENTAL TEMPERATURE CHANGE



models using only natural forcings

models using both natural and anthropogenic forcings

observations

# Les projections du GIEC

Le GIEC ne fait pas de **prédictions**, seulement des **projections**, sur la base des scénarios dont les **hypothèses** sont précisées: ‘il se passerait cela si ... ‘

Source (sauf indication contraire):

- Rapport GIEC (2007)

# Les scénarios SRES du GIEC

**A1:** Un mode marqué par une croissance économique rapide et l'introduction rapide de nouvelles technologies plus efficaces

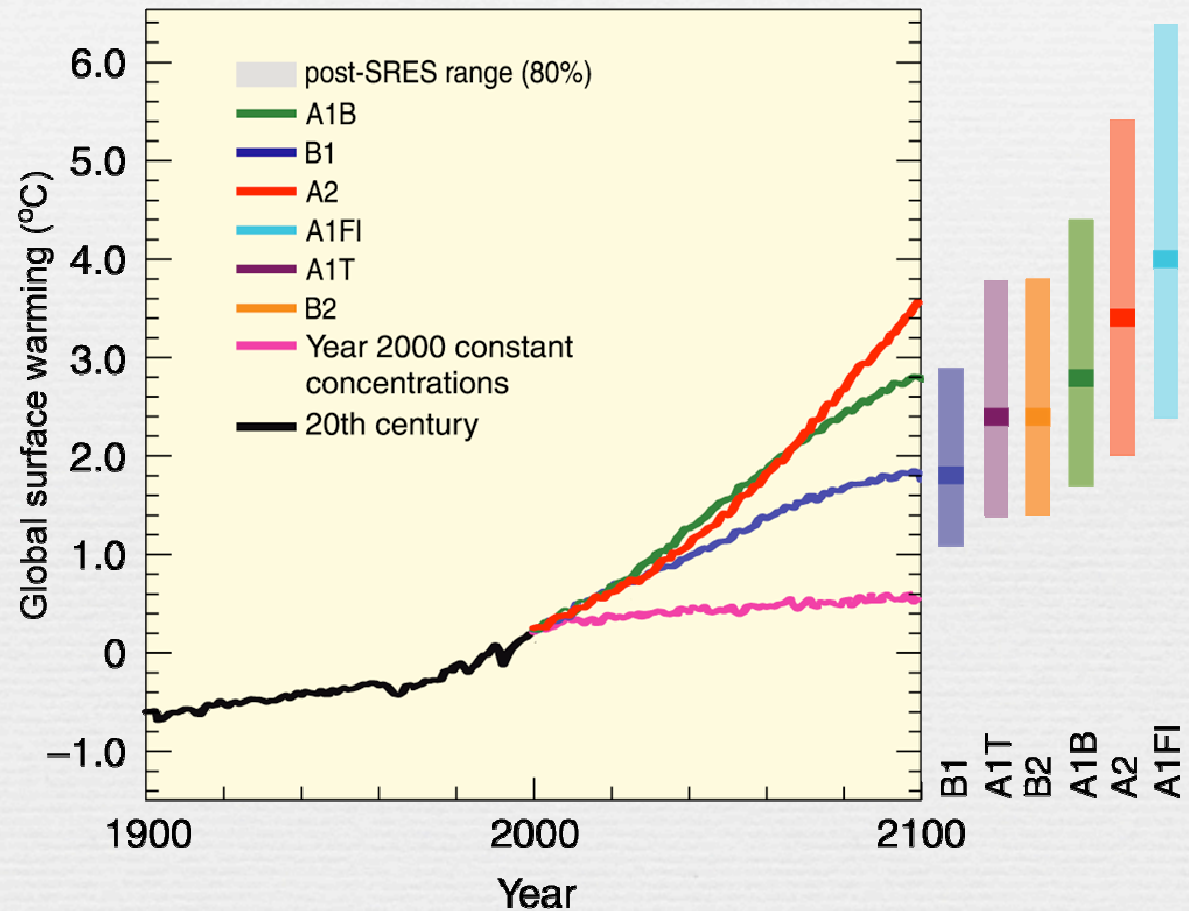
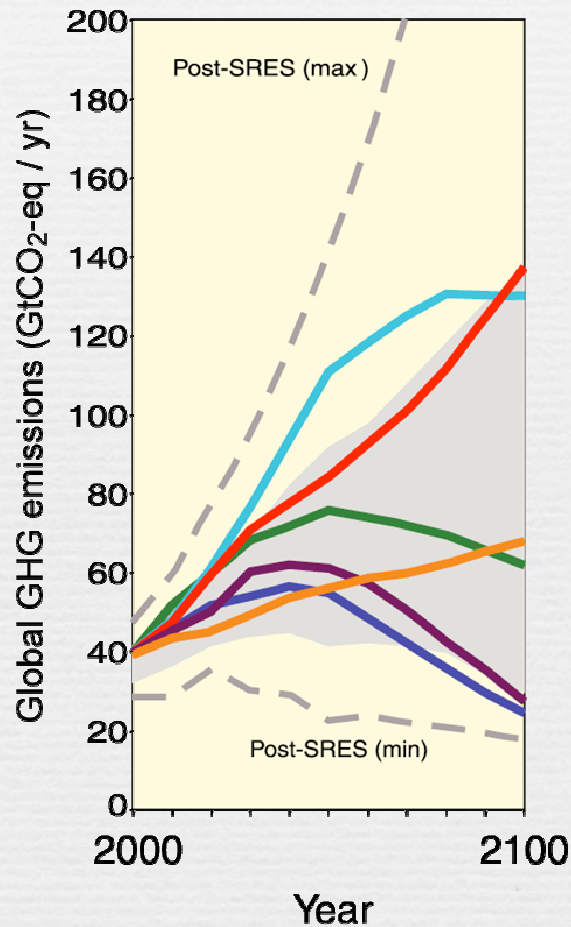
**A2:** Un mode très hétérogène avec un accent sur les valeurs familiales et les traditions locales

**B1:** Un monde marqué par la dématérialisation et l'introduction de nouvelles technologies vertes

**B2:** Un monde marqué par des solutions locales des problèmes de développement durable



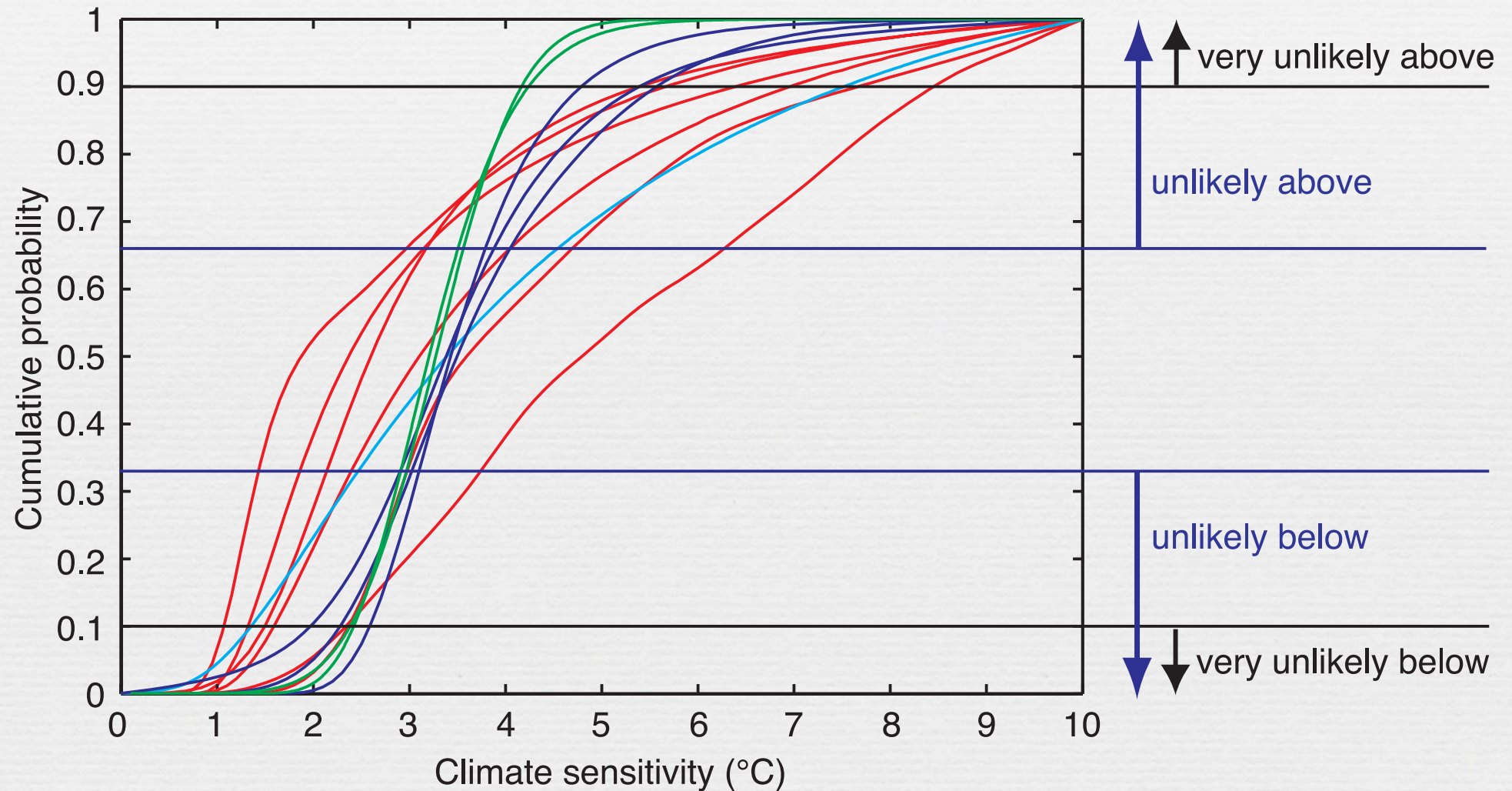
# Des émissions aux augmentations des températures



Fourchette des températures: 1.1 - 6.4°C,  
 de la hausse du niveau de la mer: 0.18 - 0.59 m  
 période de référence: 1980–1999

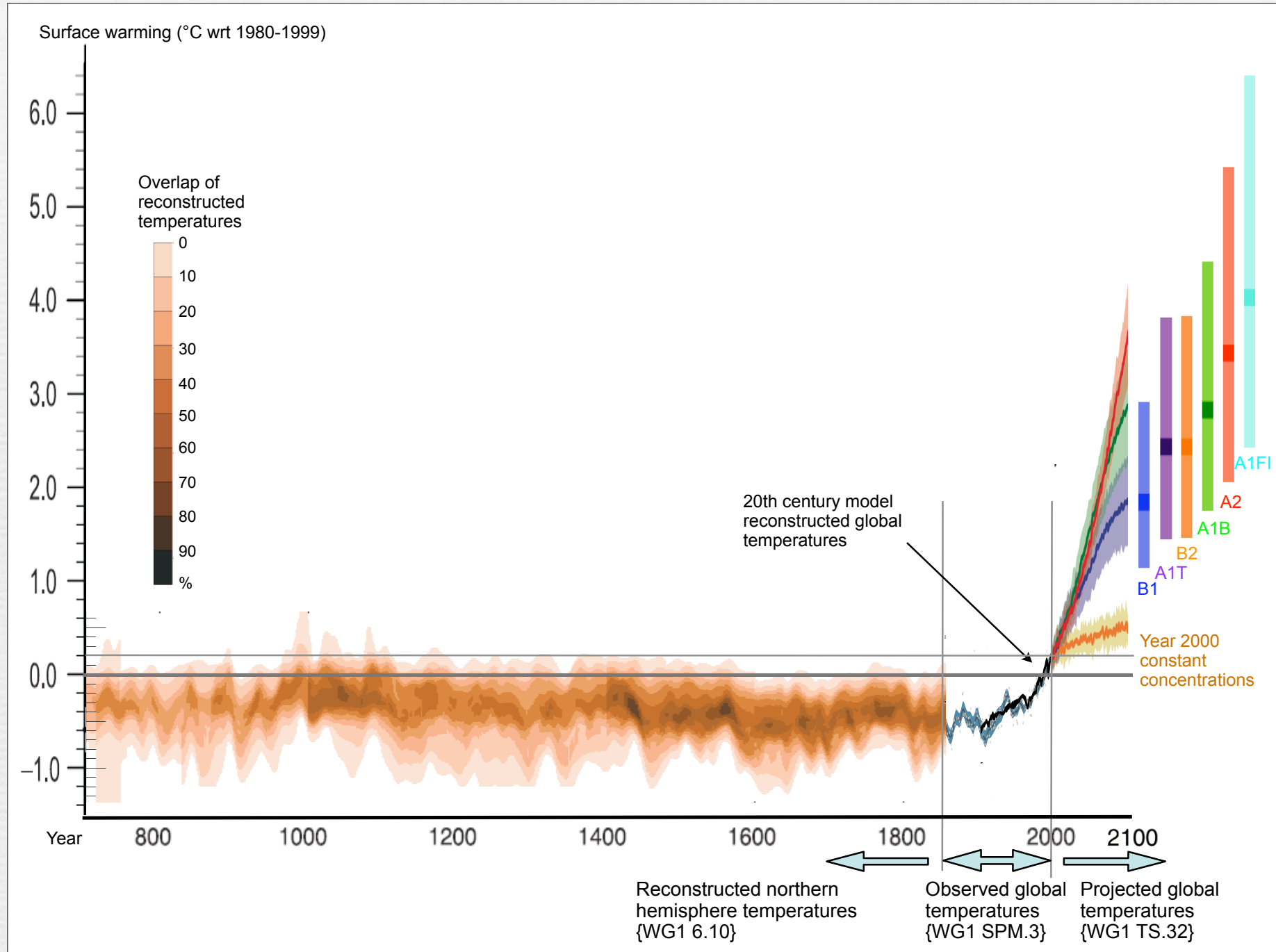
# Sensibilité climatique des modèles

Sensibilité climatique = augmentation de la température moyenne globale pour un dédoublement de concentration de CO<sub>2</sub>

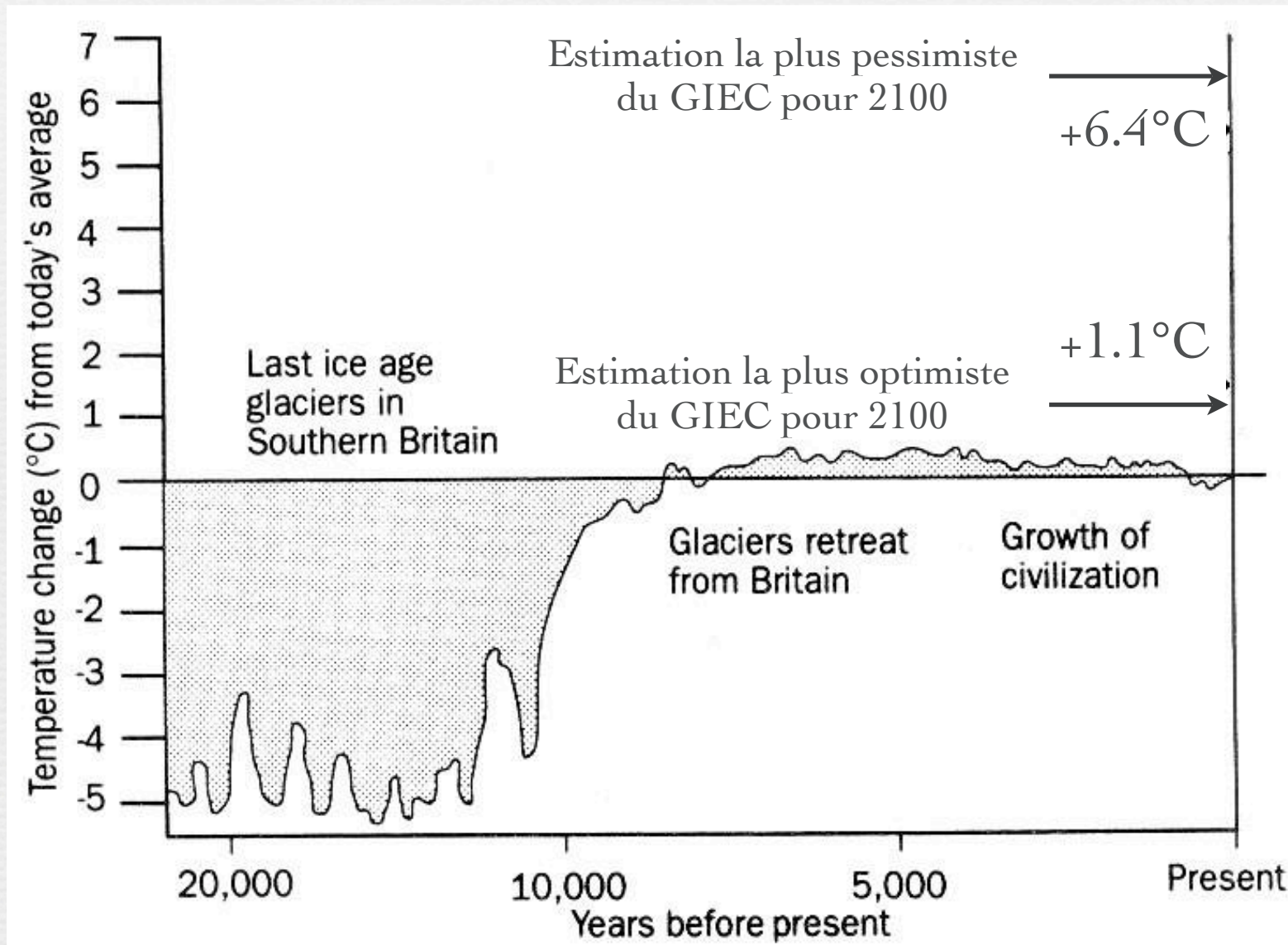


observations, climatologies, proxy, modèles climatiques

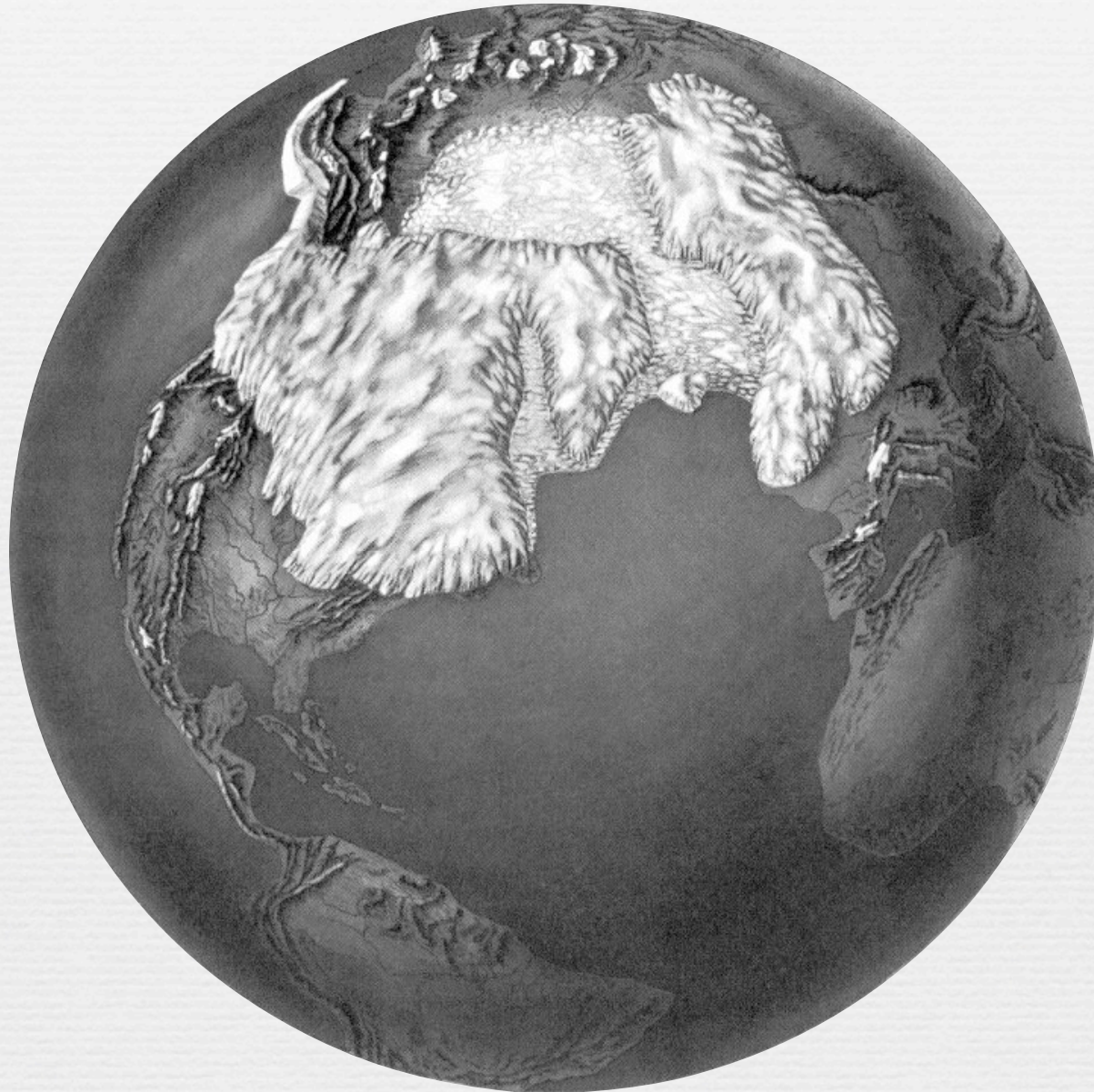
# Comparaison avec le dernier millénaire



# Comparaison avec la dernière ère glaciaire



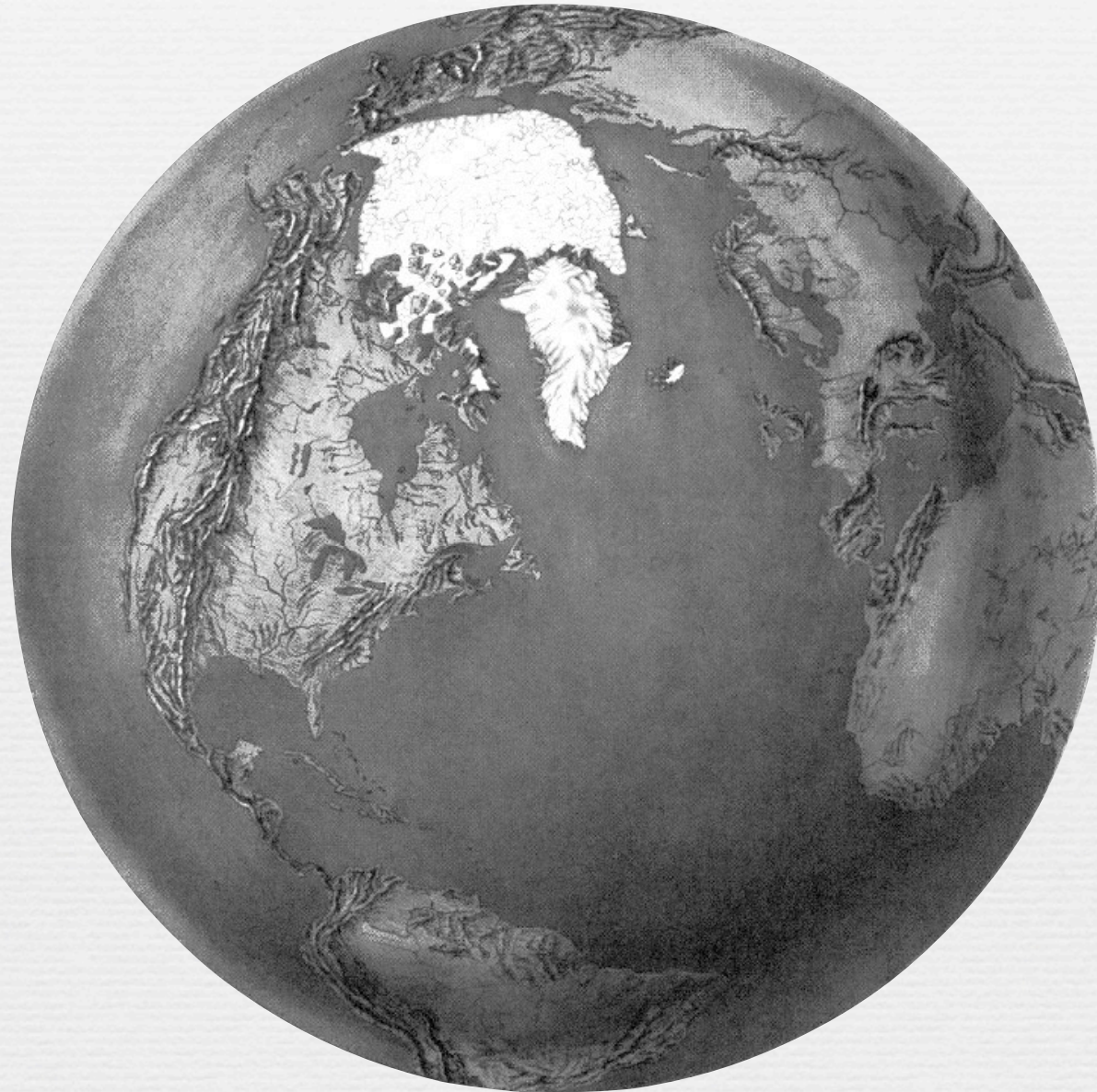
La terre il y a 20 000 années ...



Source: JP van Ypersele



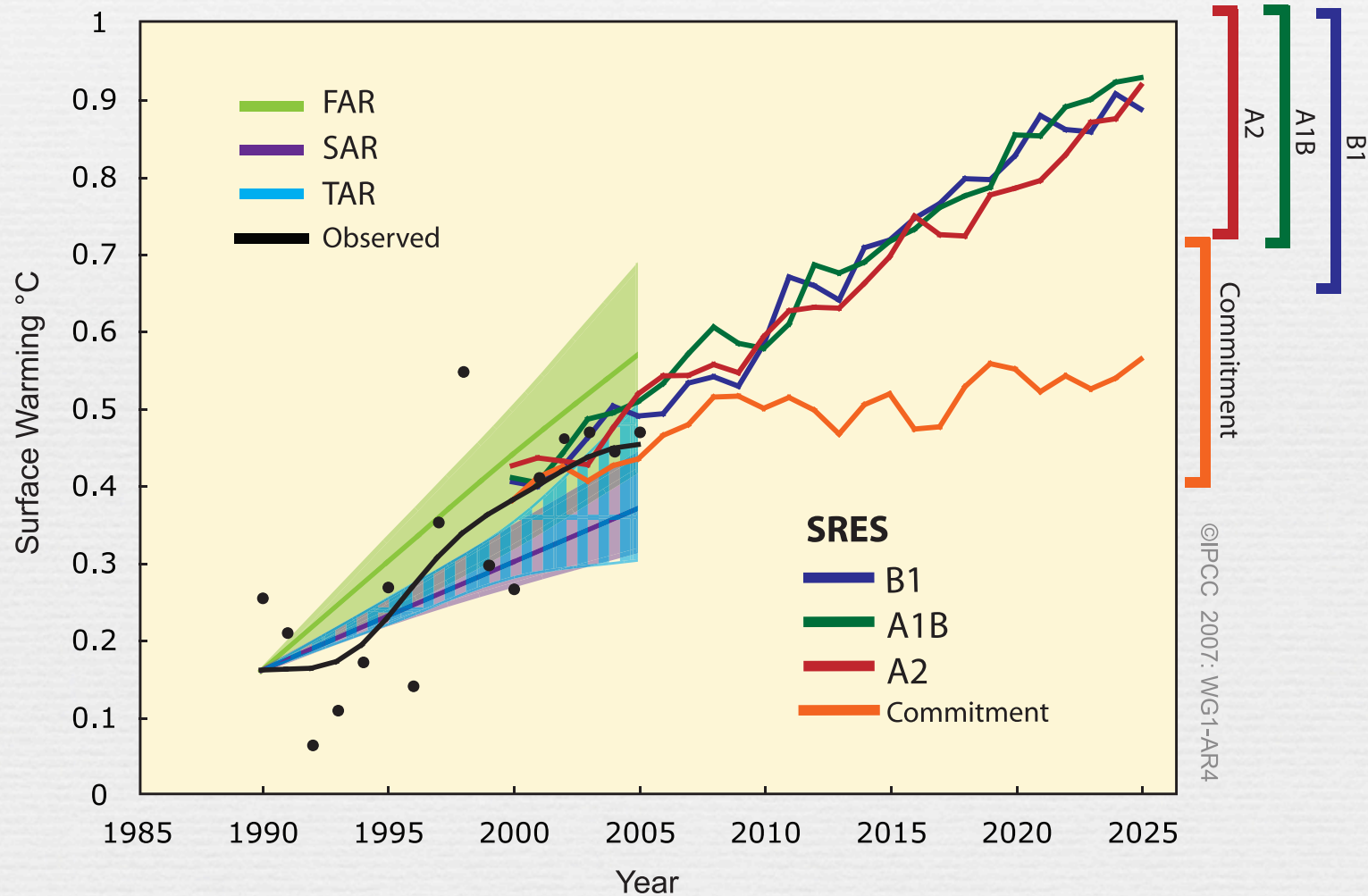
... et maintenant



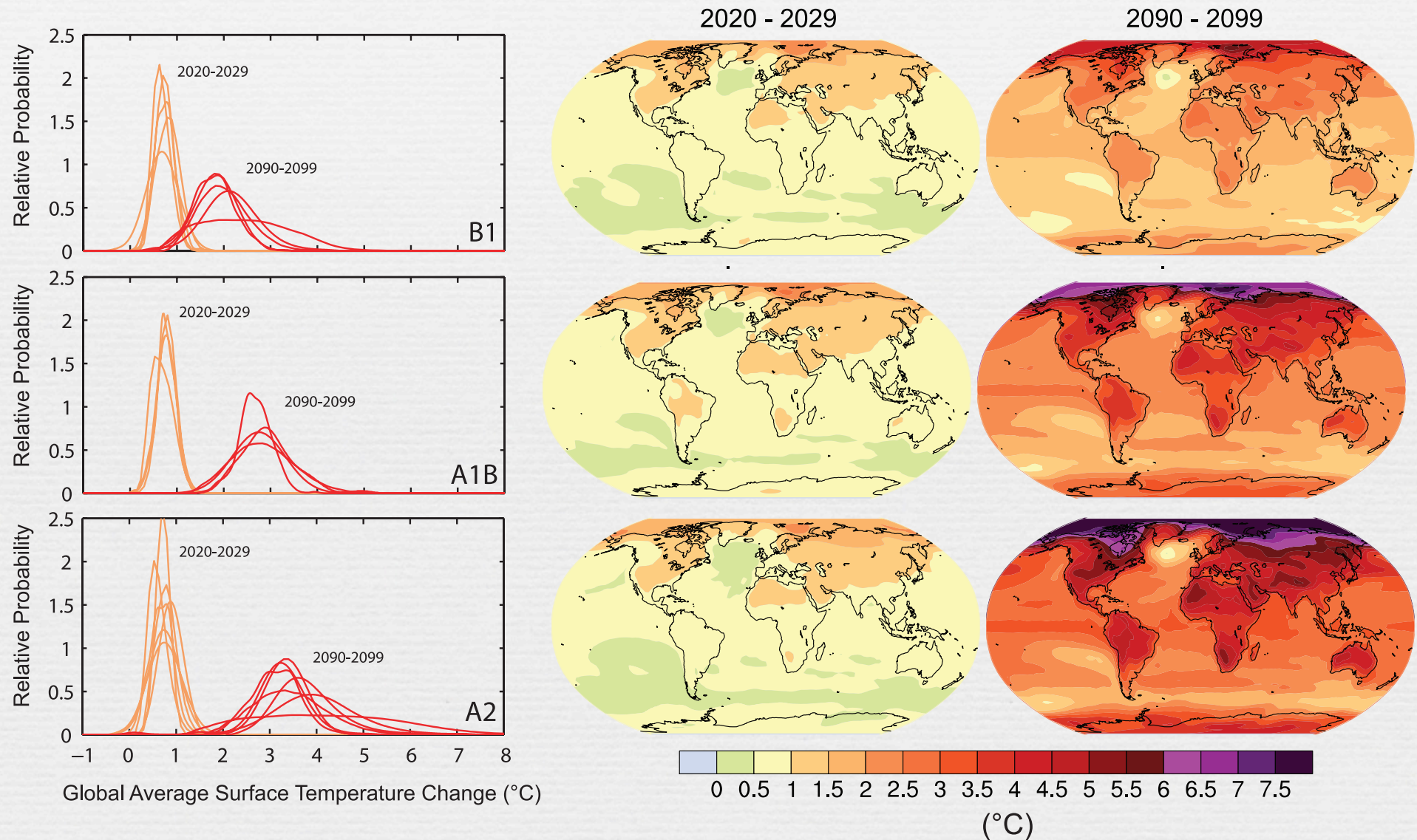
Source: JP van Ypersele

# Le futur des trois premiers rapports du GIEC est maintenant ...

## GLOBAL MEAN WARMING: MODEL PROJECTIONS COMPARED WITH OBSERVATIONS



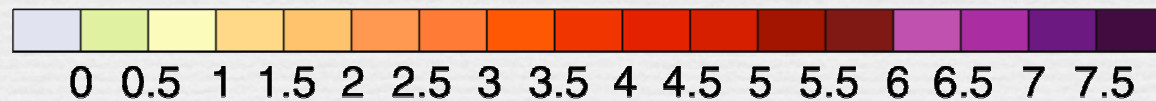
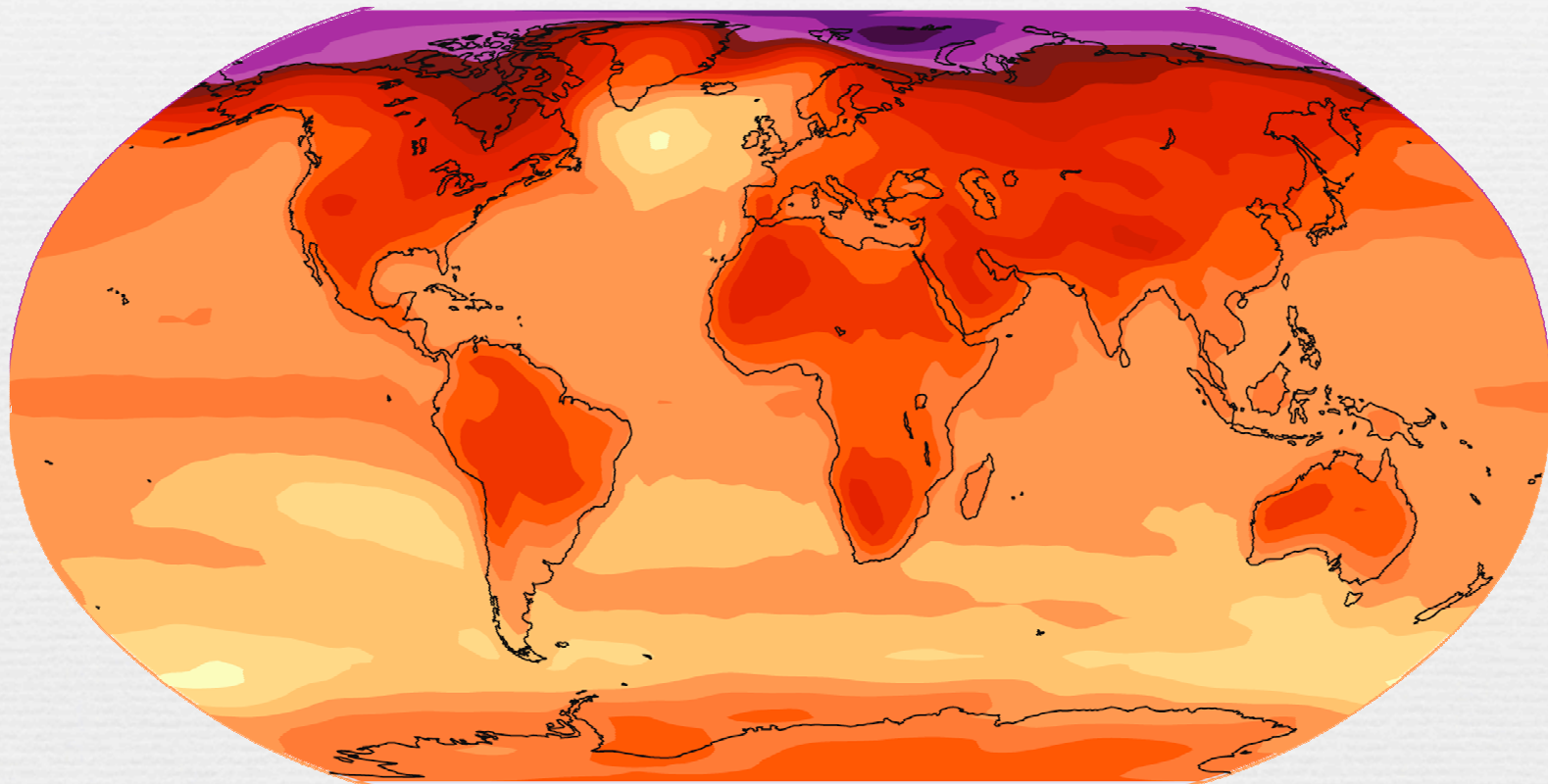
# Projection régionale des températures



période de référence: 1980-1999

# Projection régionale des températures

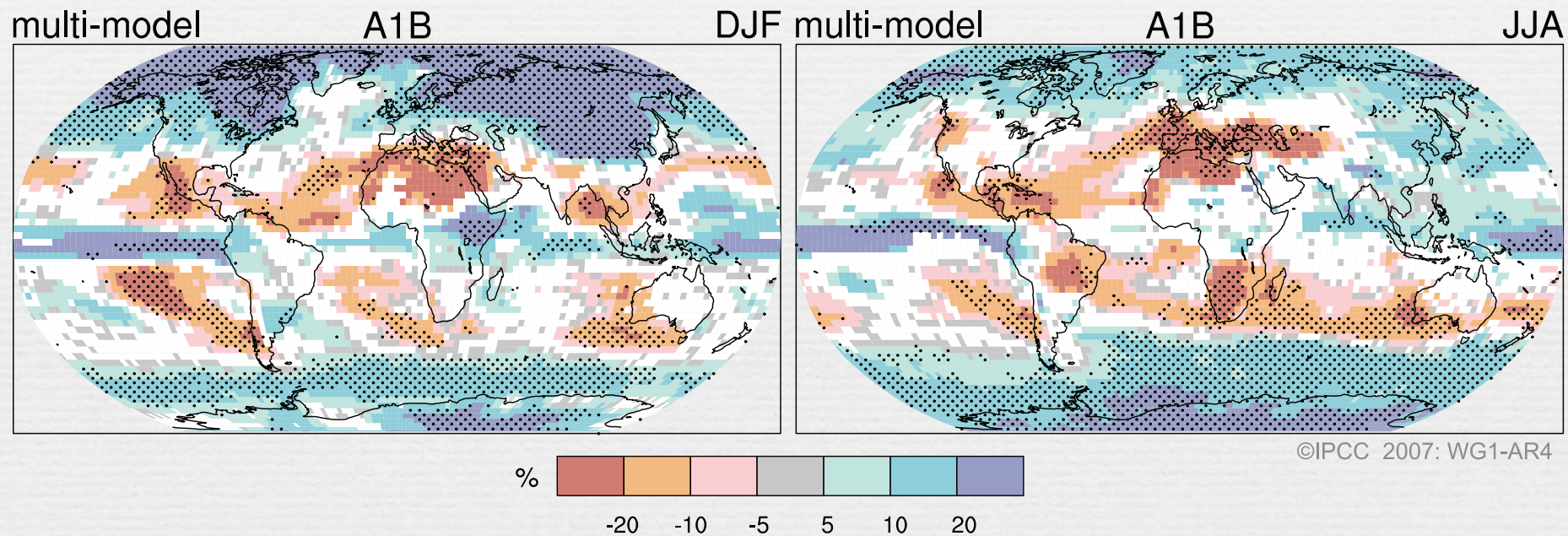
2090-2099 relatif à 1980-1999 (scénario A1B)



(°C)

# Projection des précipitations

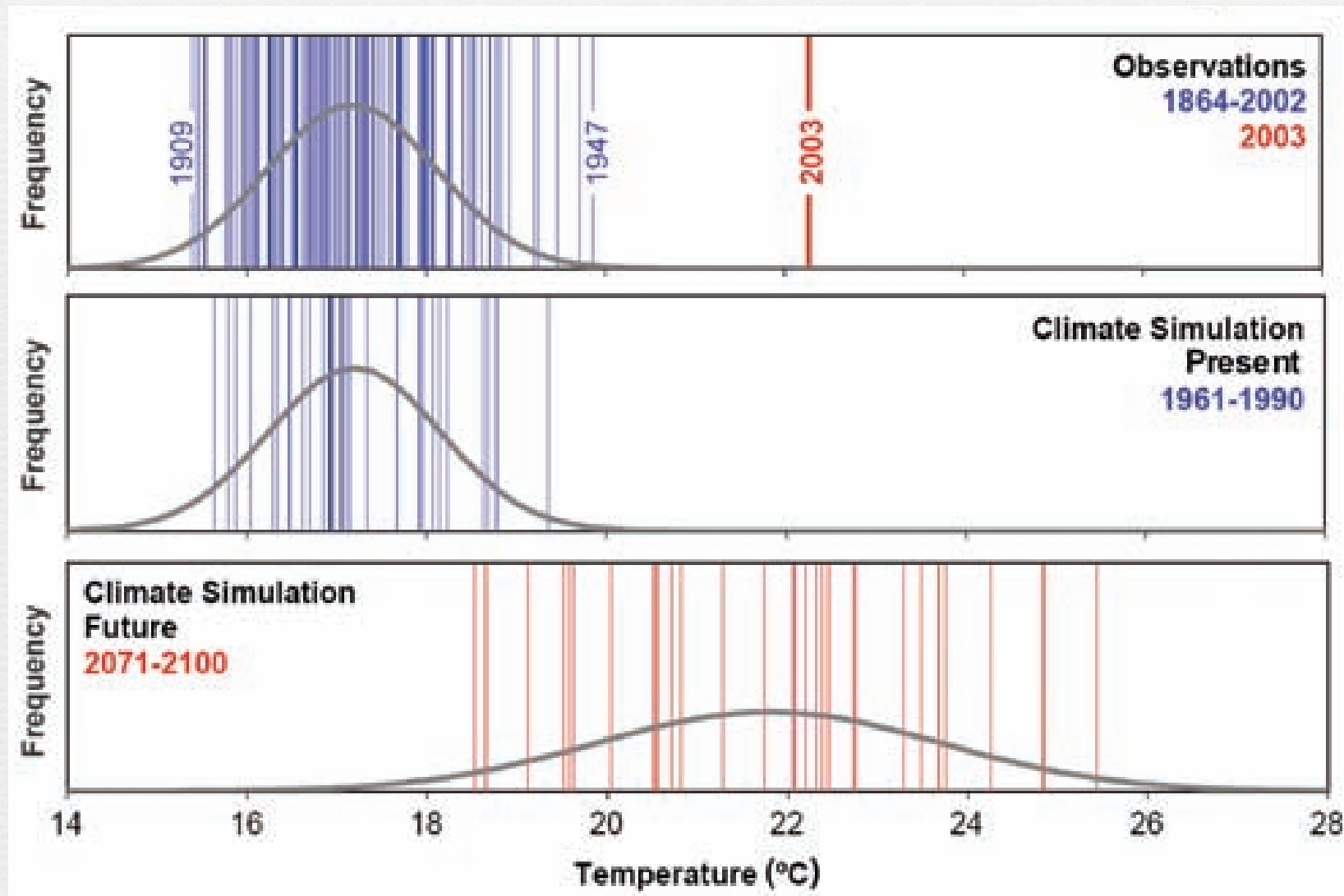
2090-2099 relatif à 1980-1999



Dans les régions blanches moins de 66% des modèles évalués par le GIEC s'accordent sur le signe du changement, dans les régions pointillés plus de 90 % des modèles s'accordent sur le signe du changement

# Augmentation du nombre d'extrêmes météorologiques

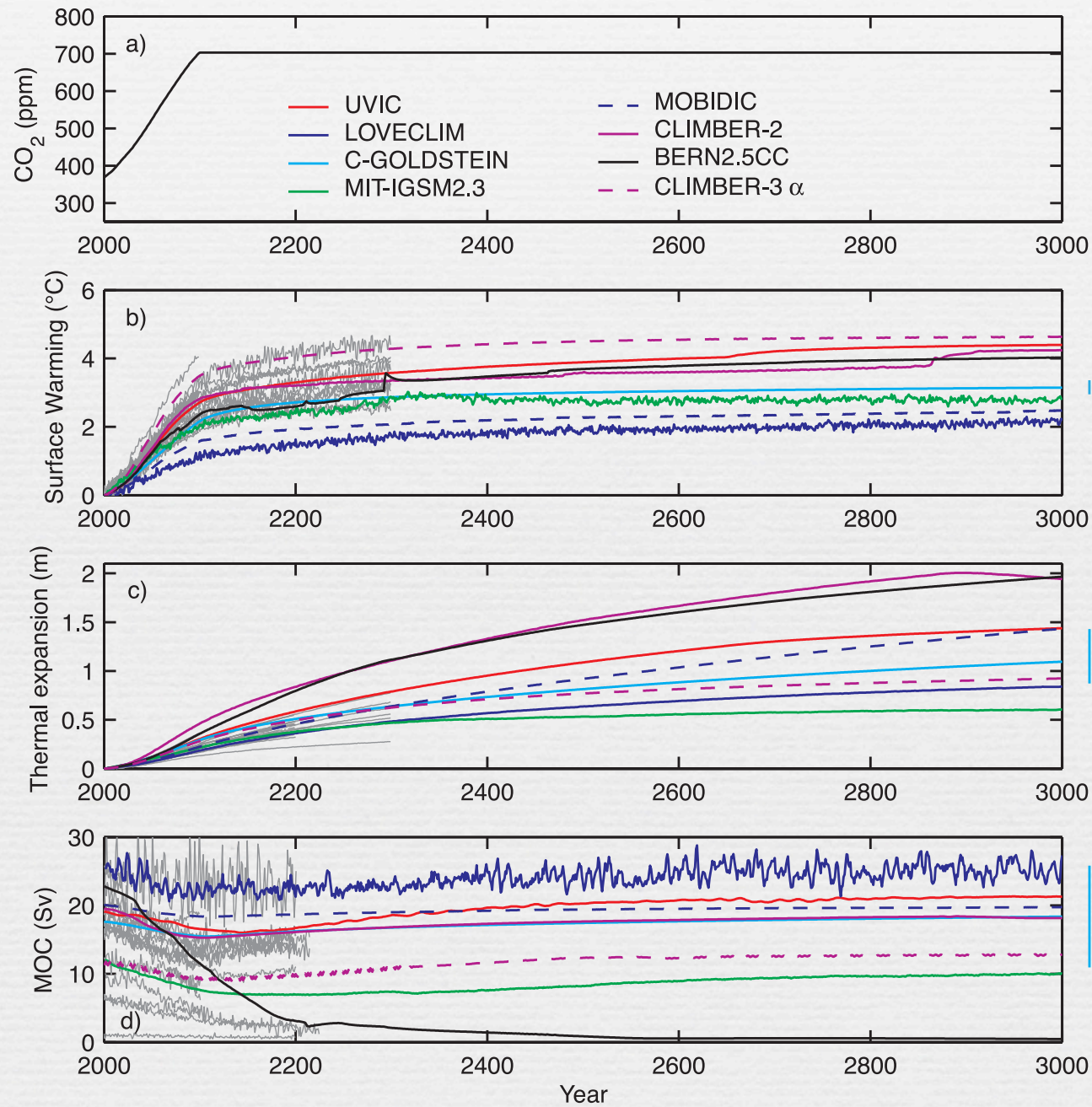
Températures d'été en Suisse



# Les extrêmes observés et attendus

Phenomenon <sup>a</sup> and direction of trend	Likelihood that trend occurred in late 20th century (typically post 1960)	Likelihood of a human contribution to observed trend <sup>b</sup>	Likelihood of future trends based on projections for 21st century using SRES scenarios
Warmer and fewer cold days and nights over most land areas	<i>Very likely<sup>c</sup></i>	<i>Likely<sup>d</sup></i>	<i>Virtually certain<sup>d</sup></i>
Warmer and more frequent hot days and nights over most land areas	<i>Very likely<sup>e</sup></i>	<i>Likely (nights)<sup>d</sup></i>	<i>Virtually certain<sup>d</sup></i>
Warm spells/heat waves. Frequency increases over most land areas	<i>Likely</i>	<i>More likely than not<sup>f</sup></i>	<i>Very likely</i>
Heavy precipitation events. Frequency (or proportion of total rainfall from heavy falls) increases over most areas	<i>Likely</i>	<i>More likely than not<sup>f</sup></i>	<i>Very likely</i>
Area affected by droughts increases	<i>Likely in many regions since 1970s</i>	<i>More likely than not</i>	<i>Likely</i>
Intense tropical cyclone activity increases	<i>Likely in some regions since 1970</i>	<i>More likely than not<sup>f</sup></i>	<i>Likely</i>
Increased incidence of extreme high sea level (excludes tsunamis) <sup>g</sup>	<i>Likely</i>	<i>More likely than not<sup>f,h</sup></i>	<i>Likely<sup>i</sup></i>

# L'inertie du système climatique





# « Certitudes »

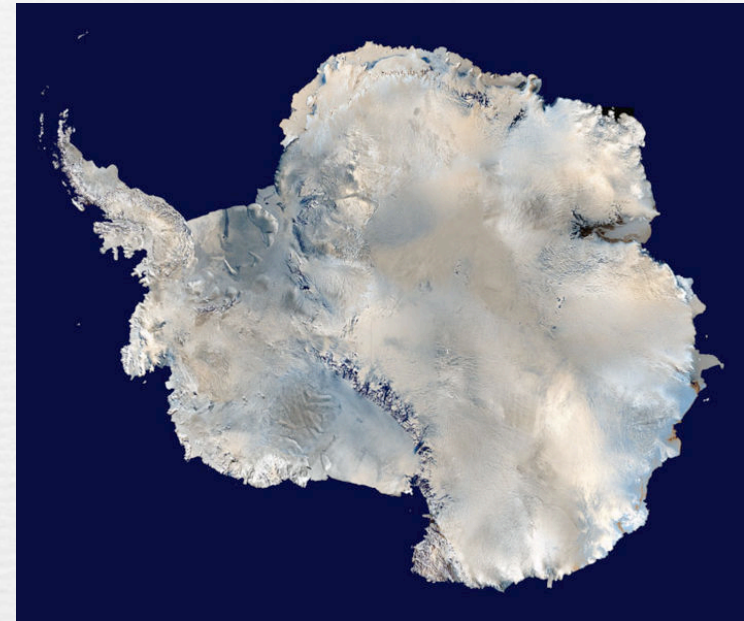
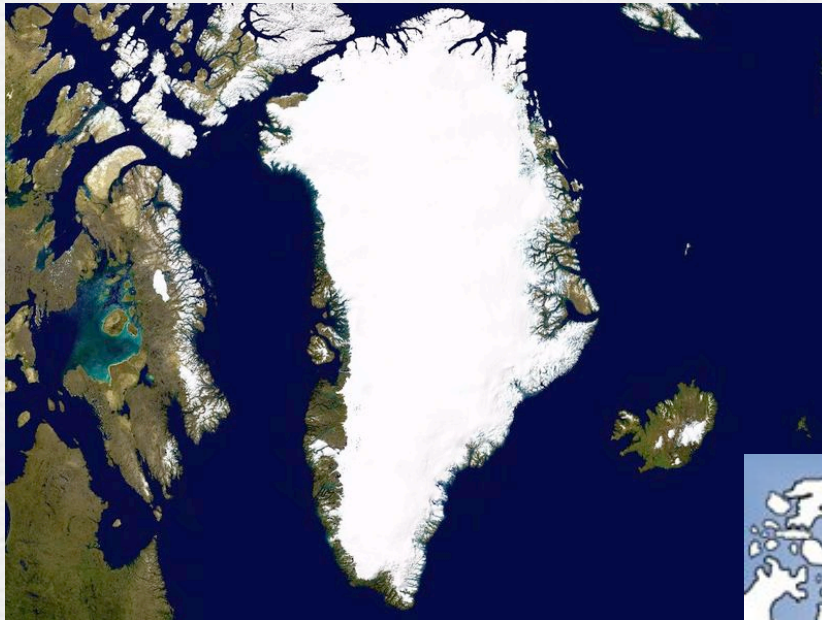
- ◆ Les gaz à effet de serre d'**origine humaine** vont continuer à réchauffer le climat global
- ◆ Même les modèles “optimistes” montrent un **réchauffement sans précédent** au cours des 100.000 dernières années
- ◆ **L'inertie du système** est grande, en particulier pour le niveau des mers
- ◆ Un **stabilisation** du climat requiert importantes réductions des émissions

# Incertitudes

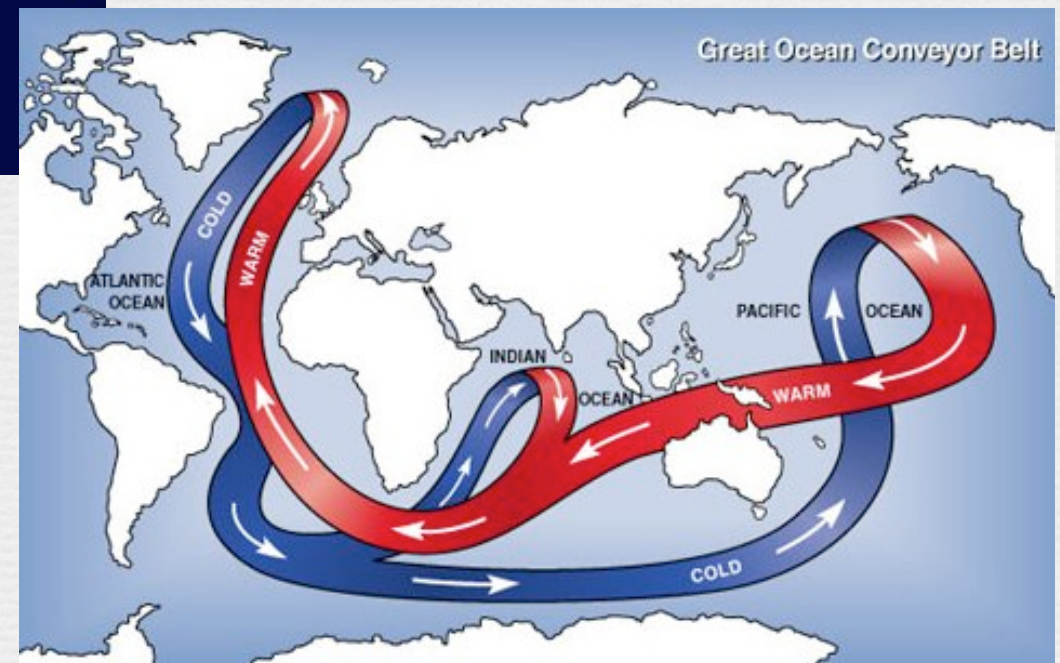
- ◆ Microphysique des nuages
- ◆ Aérosols
- ◆ Interactions biosphère-atmosphère
- ◆ Stabilité de la circulation océanique
- ◆ Distribution des effets sur les pluies
- ◆ Fréquence & intensité des événements extrêmes

# Quels sont les surprises qui peuvent nous attendre?

- ◆ Stabilité des calottes glaciaires



- ◆ Arrêt de la circulation thermohaline



# Les impacts des changements climatiques

Source (sauf indication contraire):

- Rapport GIEC (2007)

# Observations des impacts

Sur la base des faits observés sur tous les continents et dans la plupart des océans, on conclut que de nombreux systèmes naturels sont touchés par les changements climatiques régionaux, particulièrement les augmentations de température.

Les systèmes naturels touchés sont notamment:

- ◆ les glaciers
- ◆ les récifs coralliens et atolls
- ◆ les palétuviers
- ◆ les forêts boréales et tropicales
- ◆ les écosystèmes polaires & alpins
- ◆ les zones de prairies humides
- ◆ les pâturages naturels résiduels



Argentière, 1850

Le Roy Ladurie



Argentière, 1966

Le Roy Ladurie



Argentières, 2006

Christ Naert



# Les changements climatiques apporteront des avantages ...

Augmentation des **rendements potentiels des cultures** dans certaines régions de latitudes moyennes pour des augmentations de températures inférieures à 2-3°C

Augmentation potentielle de l'**offre mondiale de bois** provenant de forêts gérées de manière appropriée

Augmentation de la **disponibilité de l'eau** pour les populations dans certaines régions où elle est rare, par exemple dans certaines parties du sud-est asiatique

**Mortalité hivernale réduite** aux latitudes moyennes et élevées

Réduction de la **demande d'énergie** pour le chauffage suite aux températures d'hiver plus élevées

# ... mais aussi des inconvénients

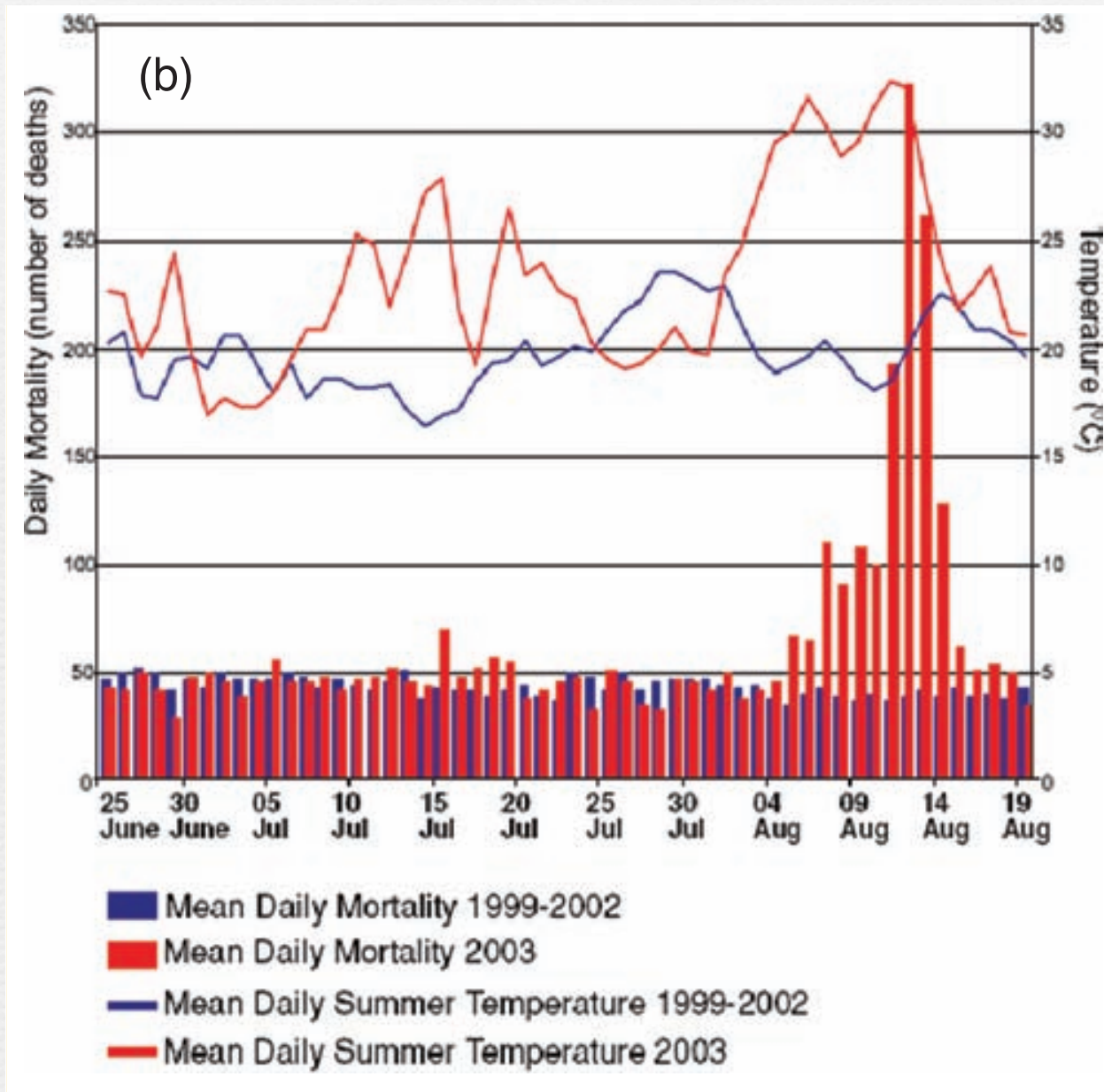
Diminution générale des **rendements potentiels des cultures** dans la plupart des régions tropicales et sous-tropicales

Réduction de la **disponibilité de l'eau** pour les populations dans de nombreuses régions où elle est rare (spécialement : régions sous-tropicales)

Augmentation du nombre de personnes exposées à des **maladies** telles que la malaria ou le choléra, et augmentation de la mortalité due au stress thermique

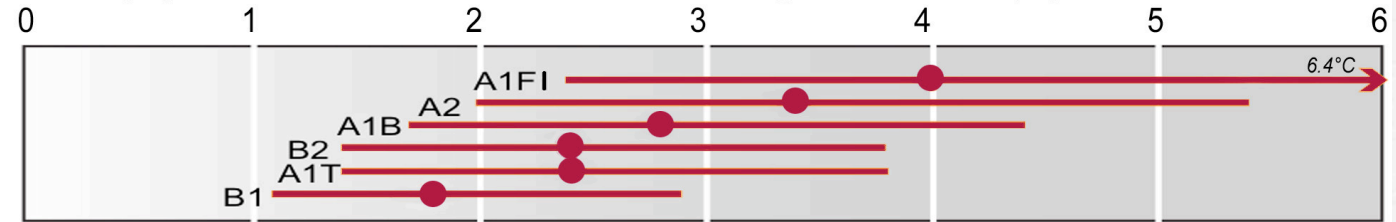
Augmentation très répandue du **risque d'inondations** pour de nombreux établissements humains, suite à l'augmentation des phénomènes de précipitations intenses et à celle du niveau des océans

# Exemple: décès à Paris (2006)



# Impacts dans différents secteurs

Warming by 2090-2099 relative to 1980-1999 for non-mitigation scenarios (°C)



**WATER**

- Increased water availability in moist tropics and high latitudes
- Decreasing water availability and increasing drought in mid-latitudes and semi-arid low latitudes
- Hundreds of millions of people exposed to increased water stress

**ECOSYSTEMS**

- Up to 30% of species at increasing risk of extinction
- Significant<sup>†</sup> extinctions around the globe
- Increased coral bleaching
- Most corals bleached
- Widespread coral mortality
- Terrestrial biosphere tends toward a net carbon source as:
  - ~15% of ecosystems affected
  - ~40% of ecosystems affected
- Increasing species range shifts and wildfire risk
- Ecosystem changes due to weakening of the meridional overturning circulation

**FOOD**

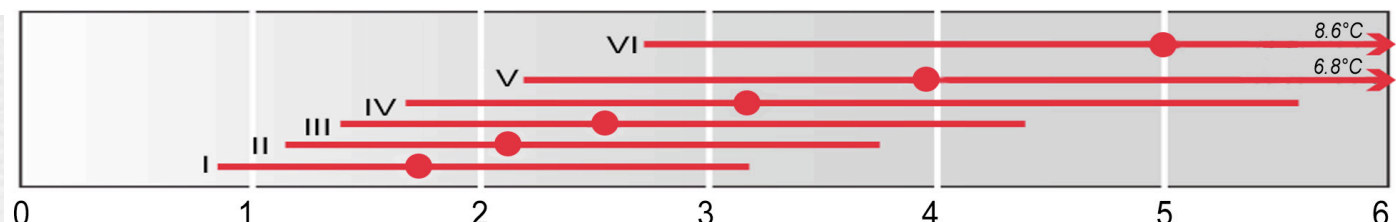
- Complex, localised negative impacts on small holders, subsistence farmers and fishers
- Tendencies for cereal productivity to decrease in low latitudes
- Productivity of all cereals decreases in low latitudes
- Tendencies for some cereal productivity to increase at mid- to high latitudes
- Cereal productivity to decrease in some regions

**COASTS**

- Increased damage from floods and storms
- About 30% of global coastal wetlands lost<sup>‡</sup>
- Millions more people could experience coastal flooding each year

**HEALTH**

- Increasing burden from malnutrition, diarrhoeal, cardio-respiratory, and infectious diseases
- Increased morbidity and mortality from heat waves, floods, and droughts
- Changed distribution of some disease vectors
- Substantial burden on health services



Estimated long-term warming relative to 1980-1999 for AR4 stabilisation categories (°C)

# Les deltas les plus vulnérables



Many millions more people are projected to be flooded every year due to sea-level rise by the 2080s. Those densely-populated and low-lying areas where adaptive capacity is relatively low, and which already face other challenges such as tropical storms or local coastal subsidence, are especially at risk. The numbers affected will be largest in the mega-deltas of Asia and Africa while small islands are especially vulnerable.

# Mesures d'adaptations

L'adaptation sera nécessaire pour répondre aux impacts résultant du réchauffement déjà inévitable en raison des émissions passées.

Les mesures d'adaptations comprennent:

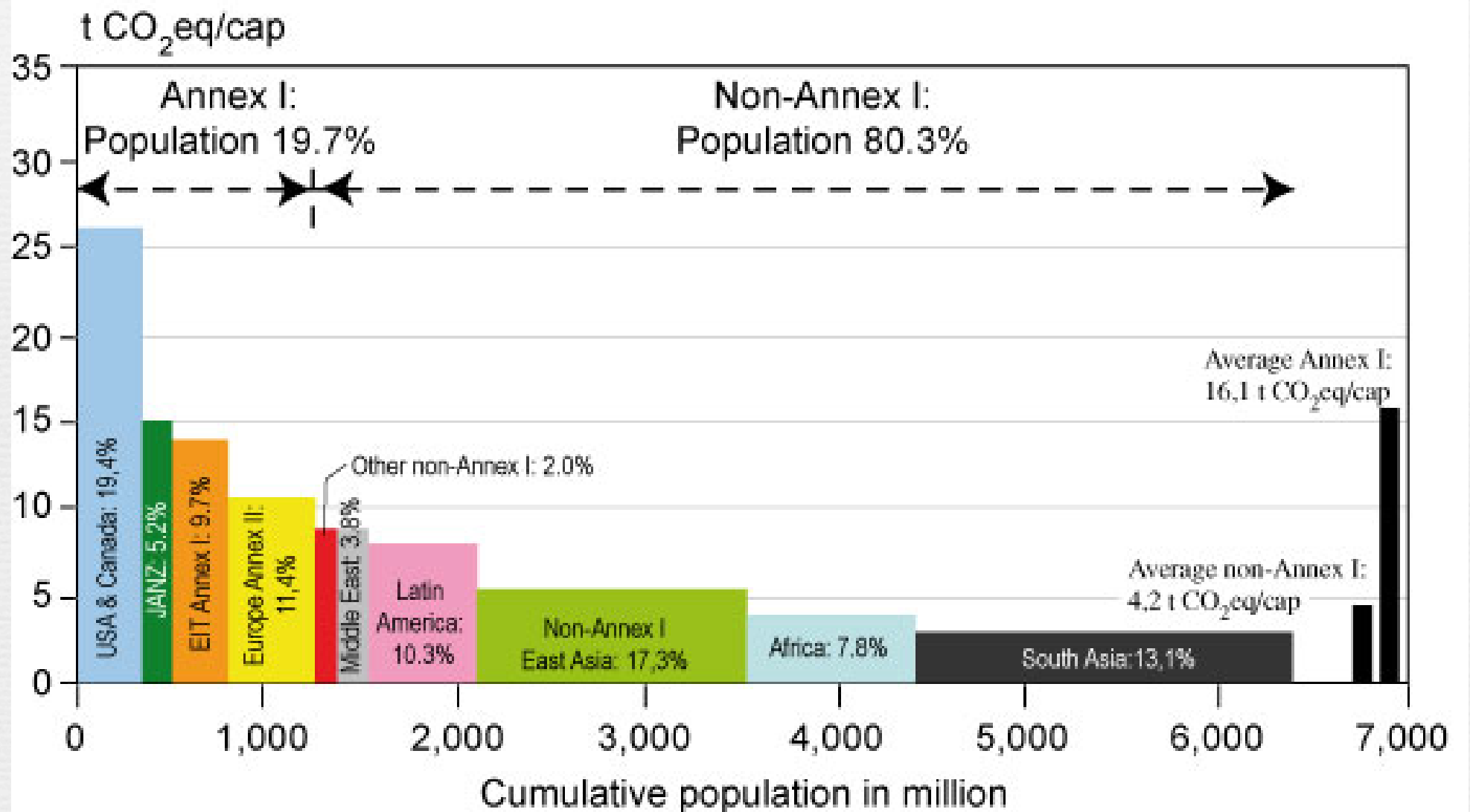
- ◆ des mesures **technologiques** (protections côtières)
- ◆ des changements de **comportements** (changement des choix de produits alimentaires et des activités récréatives)
- ◆ des changements dans la **gestion** (changements de pratiques d'exploitation agricole)
- ◆ des mesures **politiques** (planification)

# Moyens d'atténuer les changements climatiques

Source (sauf indication contraire):

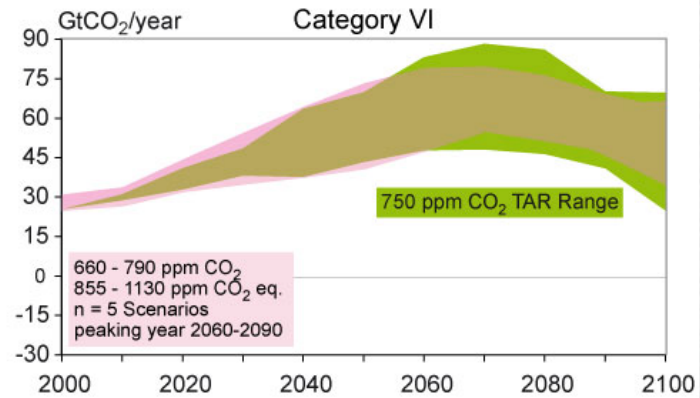
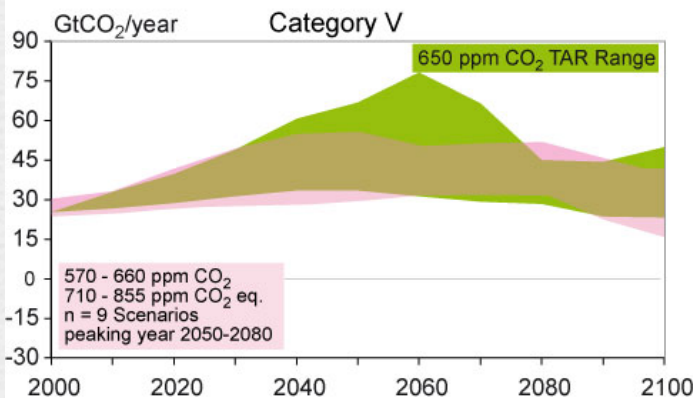
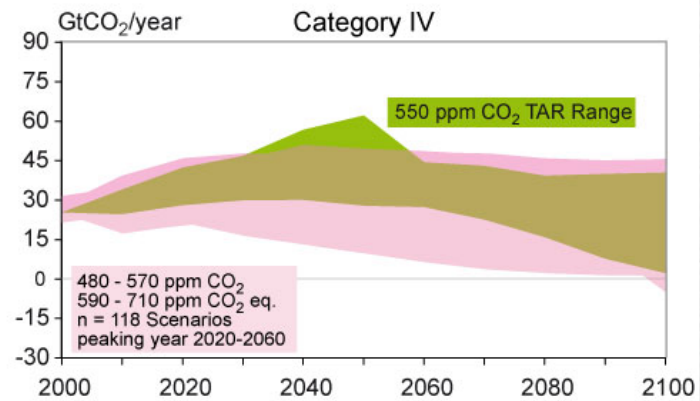
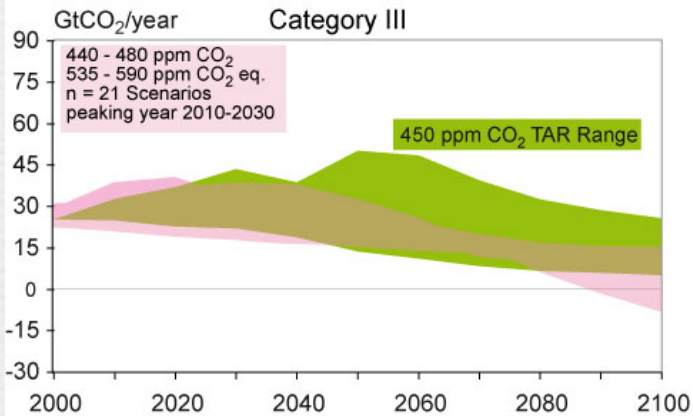
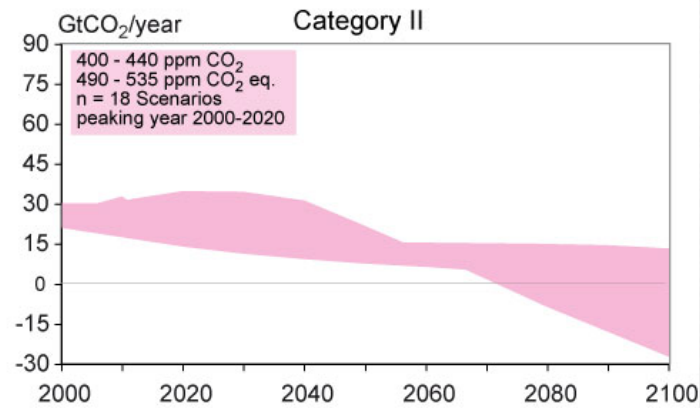
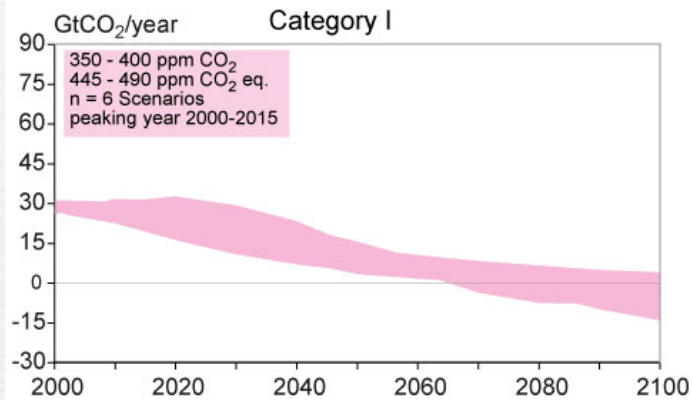
- Rapport GIEC (2007)

# Responsabilités





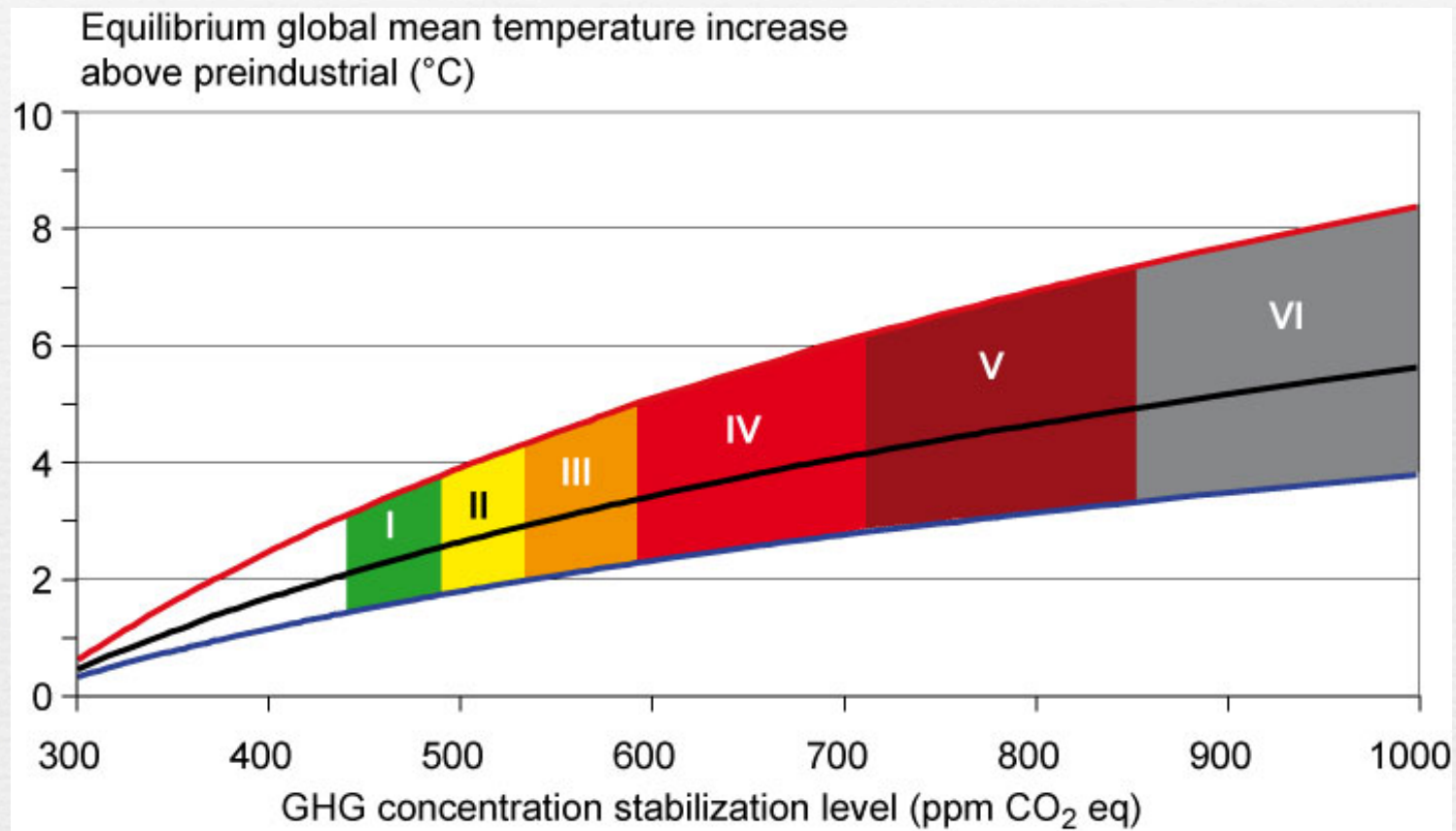
# Scénarios de stabilisation



rose: scénarios  
du 4<sup>ème</sup> rapport

vert: scénarios  
du 3<sup>ème</sup> rapport

# Scénarios de stabilisation

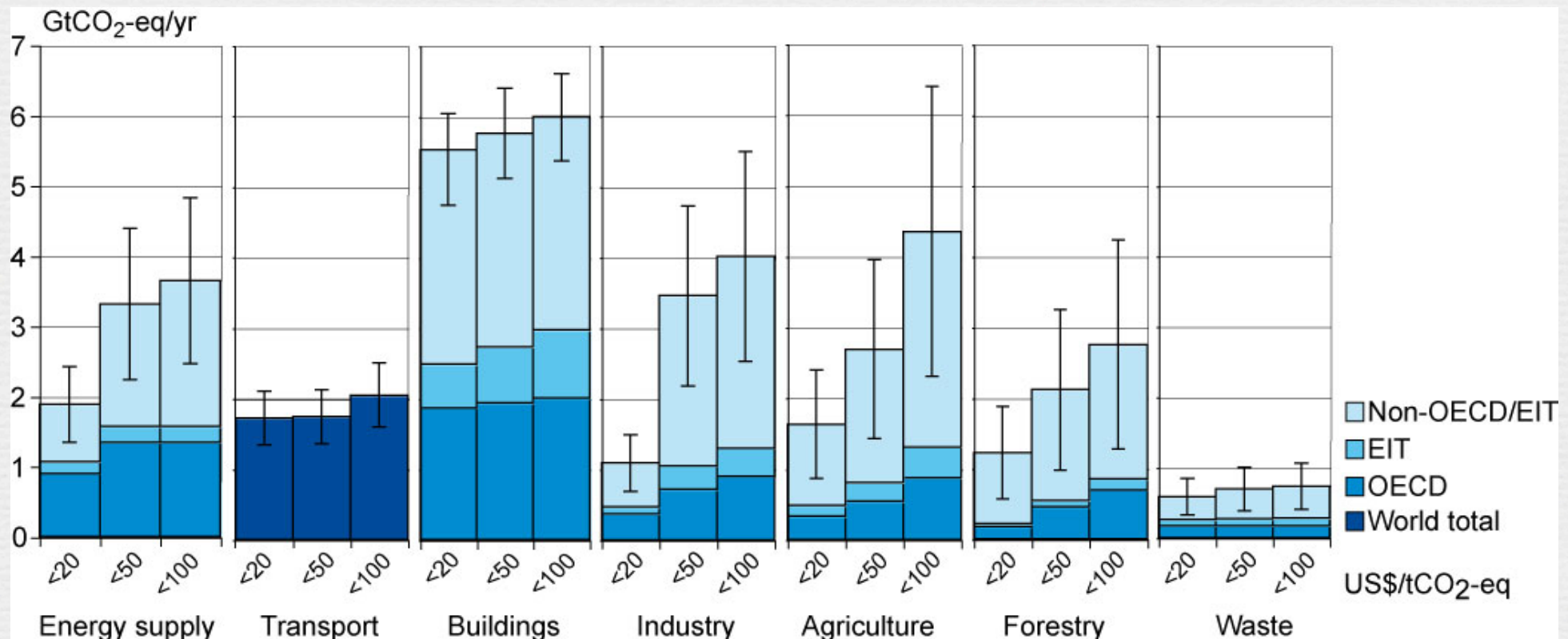


sensibilité climatique:  
- ligne rouge: 4.5°C  
- ligne noire: 3°C  
- ligne bleue: 2.5°C

Afin d'atteindre le but de la Commission Européenne (2°C) il faut que les émissions sont réduites de façon considérable dans les prochaines années

# Moyens de mitigations

En parallèle avec des changements de **mode de vie**, les **technologies** et **politiques** connues sont capable de réduire les émissions de gaz à effet de serre à des **coûts raisonnables**, mais des politiques effectives, incluant un **prix du carbone** effectif sont requis



# Quelques exemples

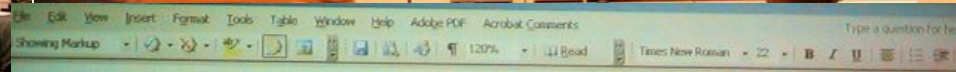
- ◆Energie: Réduction des subventions aux combustibles fossiles
- ◆Transport: Obligation d'économies de carburant et normes en CO<sub>2</sub> pour le transport routier
- ◆Bâtiments: Règles de construction et certification
- ◆Industrie: Permis négociables
- ◆Agriculture: Incitations financières et réglementations pour l'amélioration de la gestion des terres
- ◆Gestion des déchets: Incitations et obligations relatives aux énergies renouvelables

# Expériences personnelles au plénières du GIEC

## Participations:

- plénière du groupe de travail 2 pour adopter le résumé pour décideurs à Bruxelles (avril 2007)
- plénière du GIEC pour adopter le rapport de synthèse du 4<sup>ème</sup> rapport à Valencia (novembre 2007)

# Bruxelles: groupe de travail 2



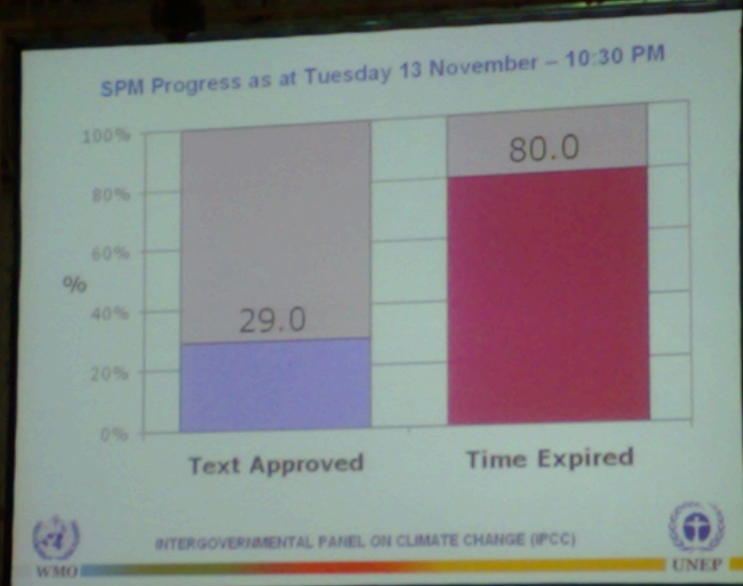
Building on growing evidence, there is high confidence that some types of hydrological systems around the world are also being affected:

~~There is high confidence that many hydrological systems are also being affected, for example:~~

- ~~enhanced~~ increased run-off and earlier spring peak discharge in many glacier- and snow-fed rivers [1.3];
- warming of lakes and rivers in many regions ~~are~~ **warming**, with effects on thermal structure and water quality [1.3, ~~15.2~~].

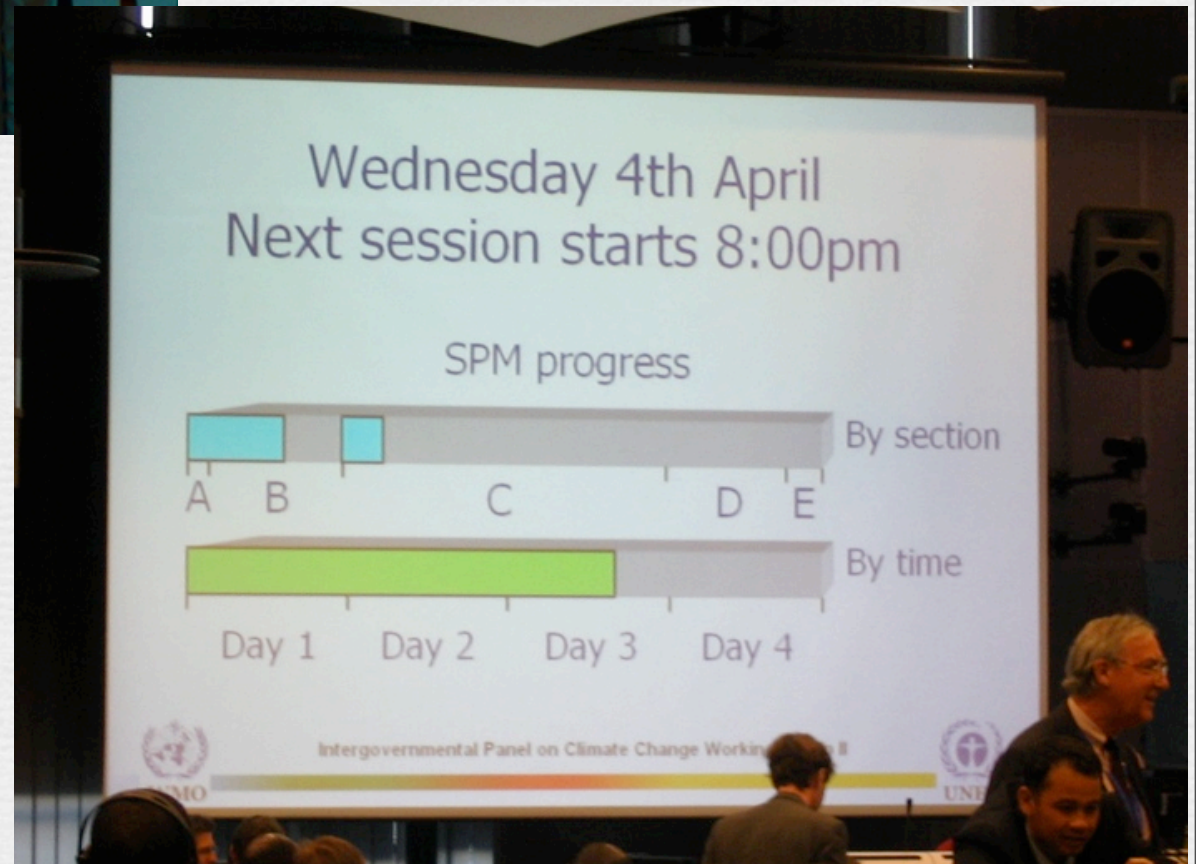
# Valencia: rapport de synthèse





Le temps qui manque toujours ...

Merci pour votre attention





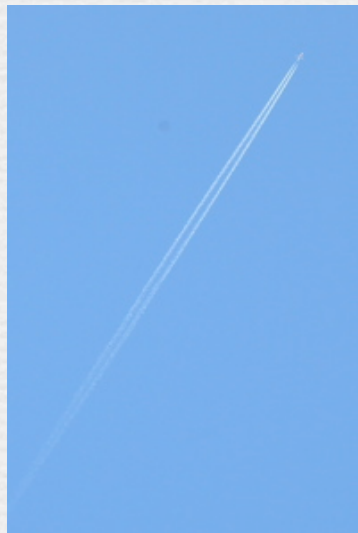
# Sites web

- ◆ [www.climate.be/ipcc](http://www.climate.be/ipcc): Résumés du GIEC en français
- ◆ [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch): IPCC ou GIEC
- ◆ [www.climate.be/impacts](http://www.climate.be/impacts): Impacts en Belgique
- ◆ [www.climate.be/jcm](http://www.climate.be/jcm) : Java Climate model (Ben Mathews)
- ◆ [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int) : Convention & Protocole
  
- ◆ courriel: [andrew.ferrone@uclouvain.be](mailto:andrew.ferrone@uclouvain.be)

# Impacts de l'aviation sur le climat

Facteur de : **réchauffement du climat**    refroidissement du climat

- $\text{NO}_x + \text{C}_x\text{H}_y + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO} + \text{C}_{\text{suies}} + \text{SO}_x$  (Emissions par les réacteurs)
- $\text{O}_3$      $\text{CH}_4$  (refroidissement car baisse de concentration) (Transformations dans le sillage de l'avion)
- Traînée de condensation



→  
si air  
supersaturé



cirrus !

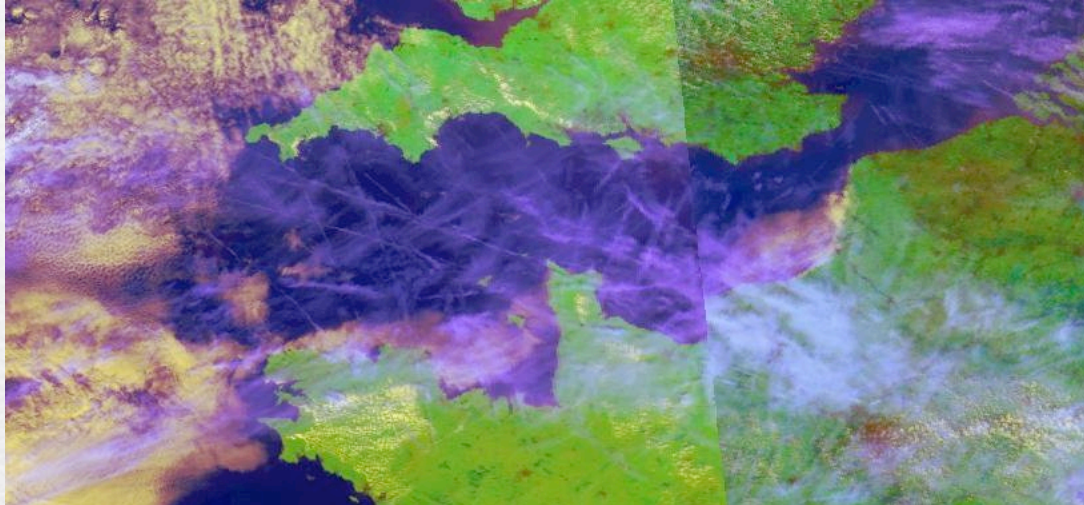
**Réflexion** partielle du rayonnement solaire entrant

**Absorbent** une partie du rayonnement terrestre infrarouge

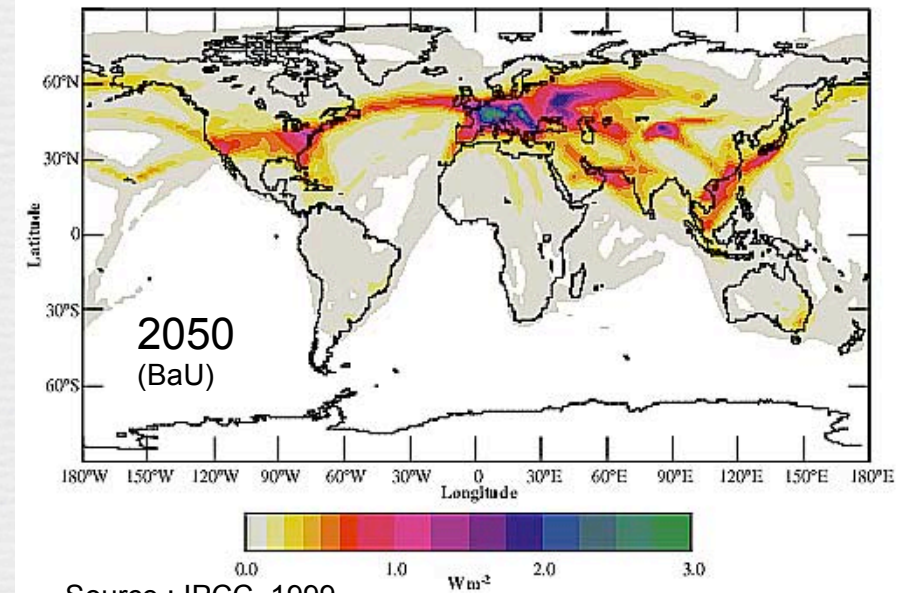
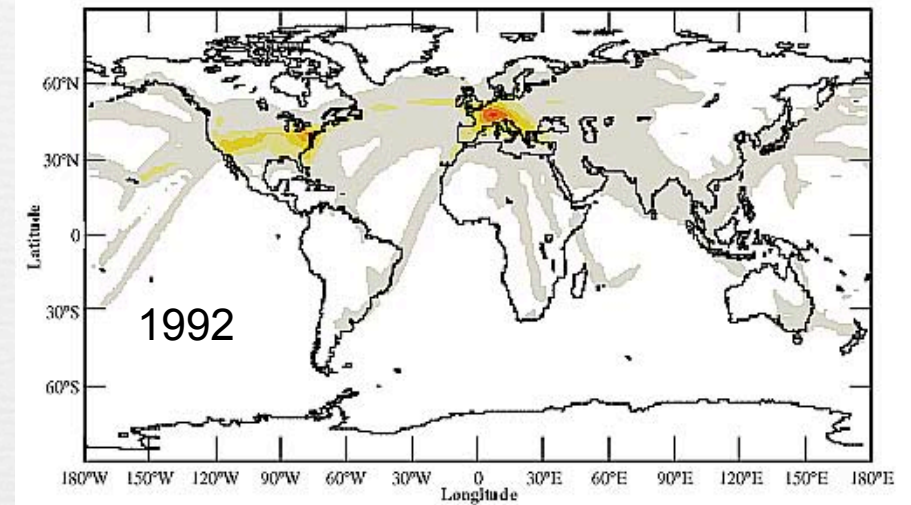


Effet diurnal net  
=  
**réchauffement**

# Traînée de condensation



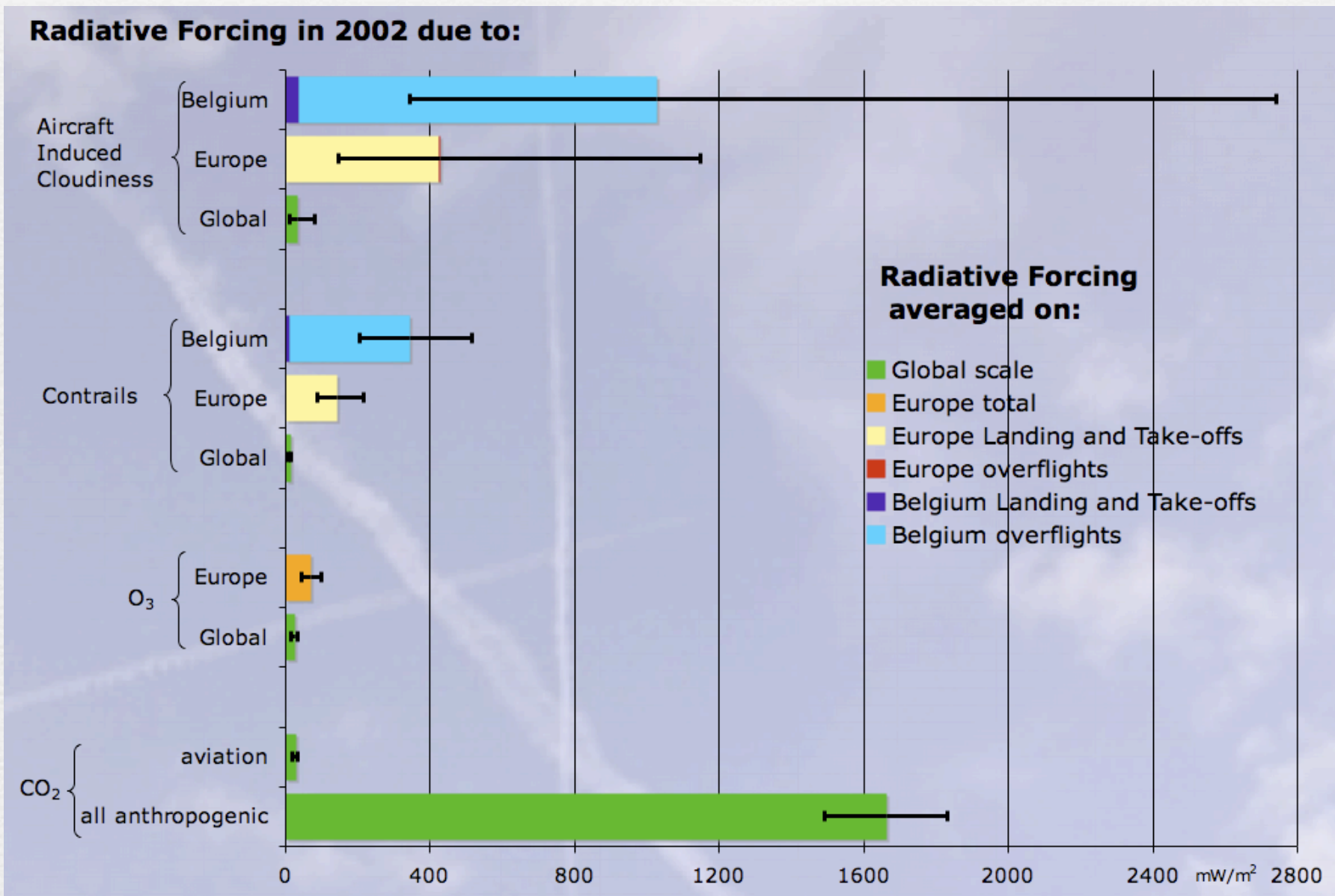
Forçage radiatif des traînées de condensation ( $\text{Wm}^{-2}$ )



Source : IPCC, 1999.

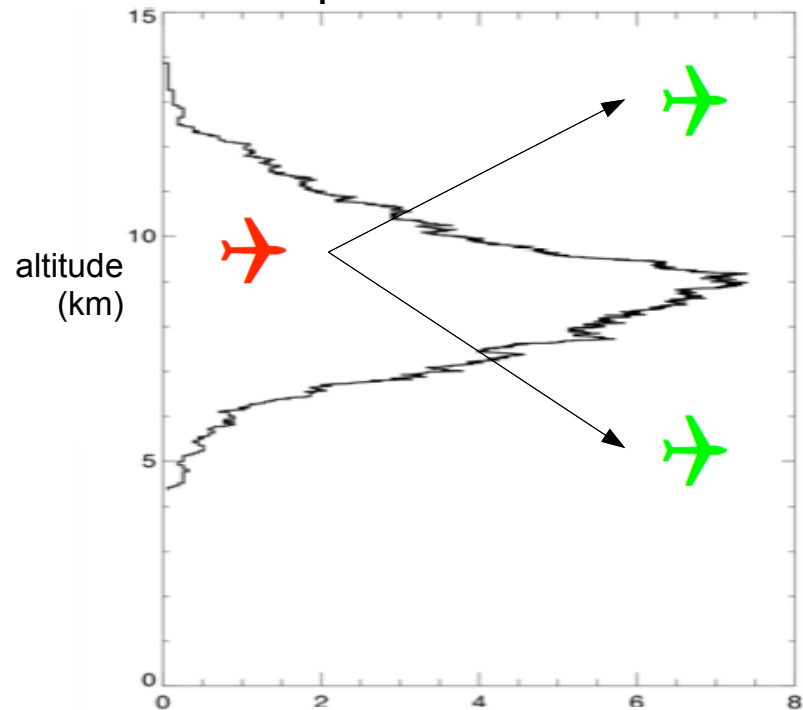


# Impacts de l'aviation en Europe et en Belgique



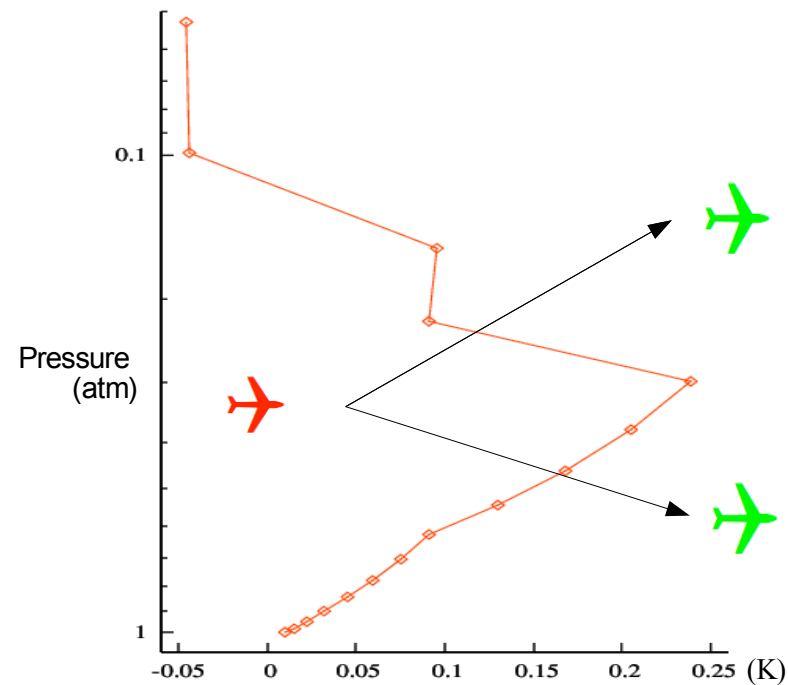
# Changer l'altitude de vol

- Altitudes où la **supersaturation** est fréquente



Source : Mannstein, 2006.

- Production de l'**ozone** et son impact



Source : mémoire, 2006.

vols inter-européens: voler plus bas  
Long-courrier: voler plus haut

# The regional climate model CLM

Non-hydrostatic regional climate model, deriving from the Lokal Modell developed at DWD



The model was developed to do:

- ◆ long dynamical nested runs
- ◆ simulation periods from 1 to 100 years
- ◆ runs with high spatial resolution:
  - ◆ 50 down to 2 km
- ◆ simulations forced continuously by:
  - ◆ GCM output
  - ◆ meteorological analysis or reanalysis

# Features of CLM

## Dynamics:

- ◆ non-hydrostatic
- ◆ leapfrog time split explicit, 2nd order central diff.
- ◆ 3rd order Runch Kutta p' T', 5th order upwind, vert. implicit

## Initial and Boundary Conditions:

- ◆ Davies Lateral Boundary Condition for U, V, W, T, p, SST
- ◆ Rayleigh Damping and Rigid Lid at top of atmosphere at 20 hPa
- ◆ Vertically Integrated Ozone, Leaf Area Index, Plant Cover, Temperature and Water Content of deep soil

# Physical parametrisations in CLM

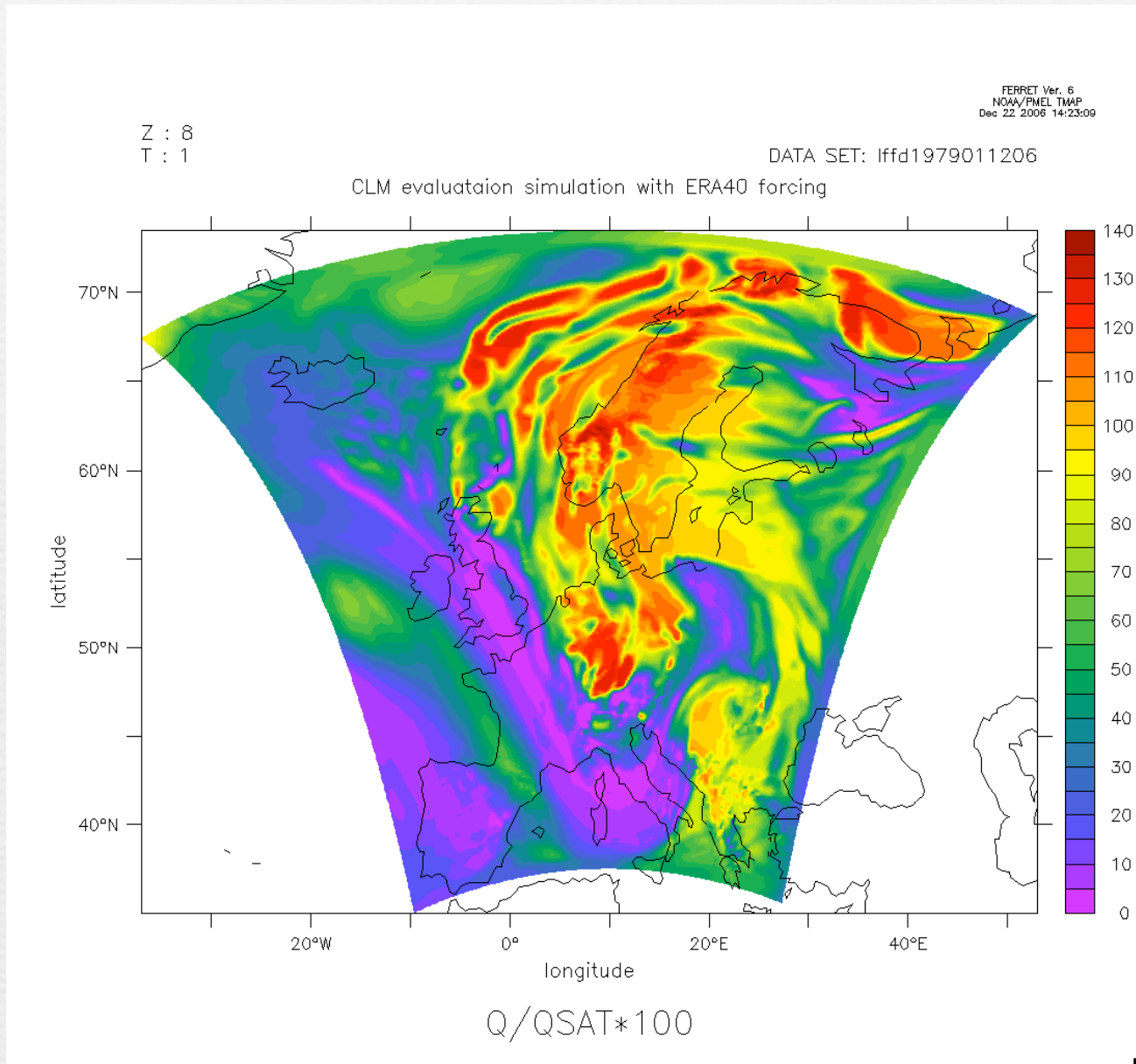
- ◆ Soil and vegetation model (TERRA\_ML):
- ◆ multi (10) layer soil model (15m depth)
- ◆ vertical homogeneous soil type
- ◆ 2 vegetation types
- ◆ Veg3D
- ◆ prognostic snow density

## Physics:

- ◆ Gridscale and Subgridscale clouds
- ◆ Turbulence param. (prognostic TKE, 3D turb. scheme)
- ◆ Convection (Kain-Fritsch, Tiedtke)
- ◆ Radiation (Ritter-Geleyn)
- ◆ prognostic precipitation (rain, snow, graupel)
- ◆ variable CO<sub>2</sub>
- ◆ Lake model
- ◆ Shadowing effects for radiation



# Supersaturation with respect to ice



Relative humidity  
(%) with respect to  
ice at an altitude of  
400 hPa as simulated  
by CLM

# Les modèles climatiques

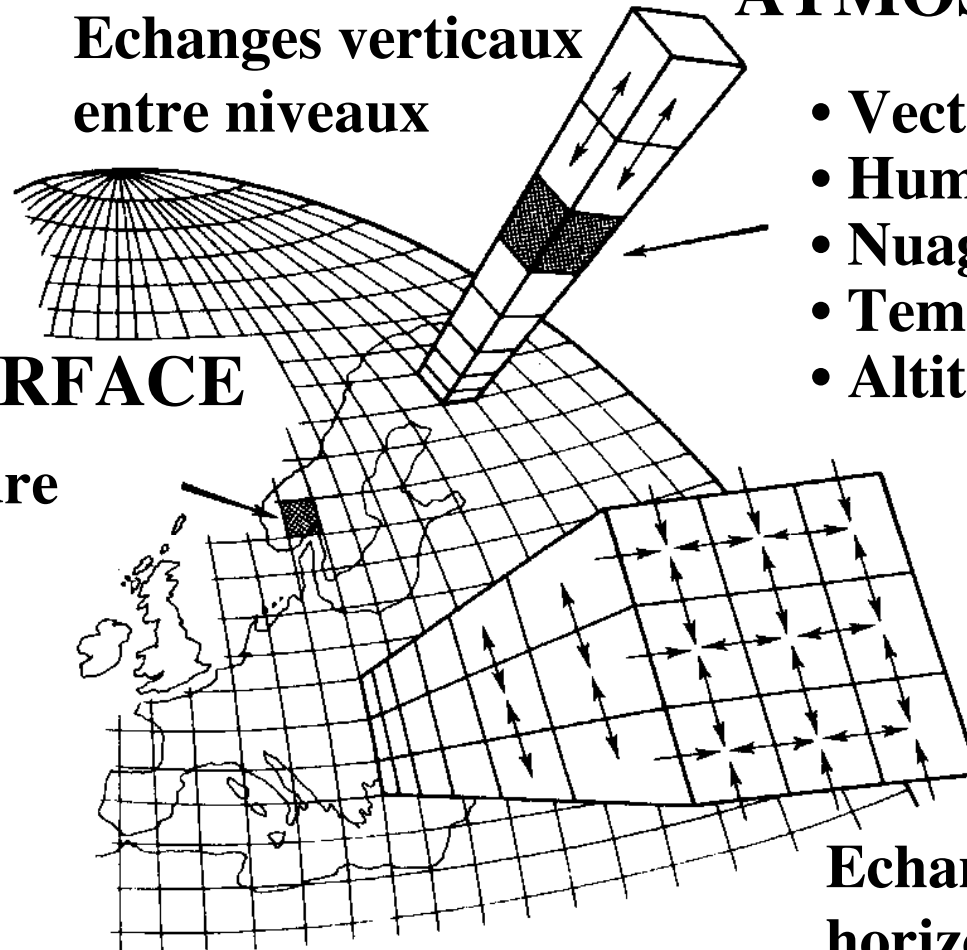
## DANS LA COLONNE ATMOSPHERIQUE

Echanges verticaux  
entre niveaux

- Vecteurs vent
- Humidité
- Nuages
- Température
- Altitude

## A LA SURFACE

- Température au sol
- Flux d'eau et d'énergie

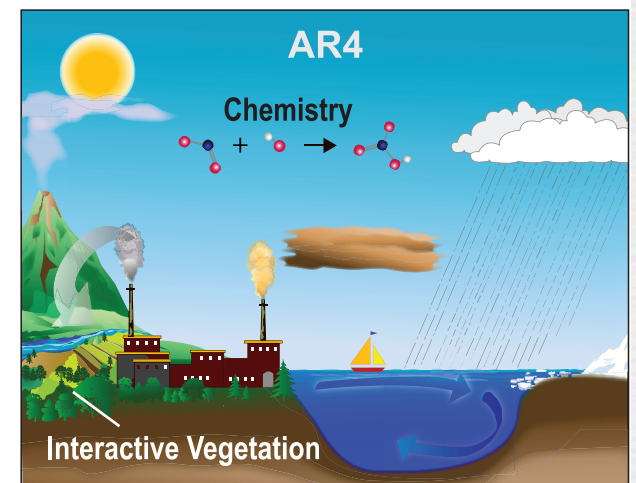
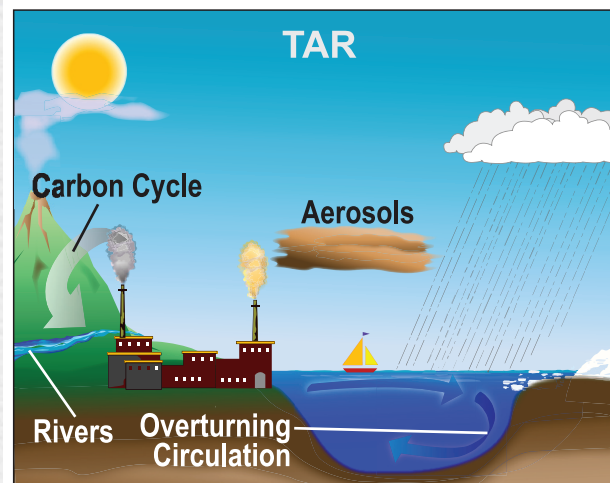
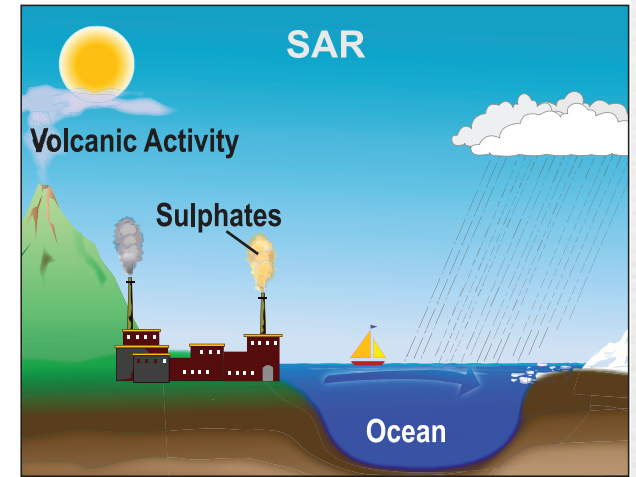
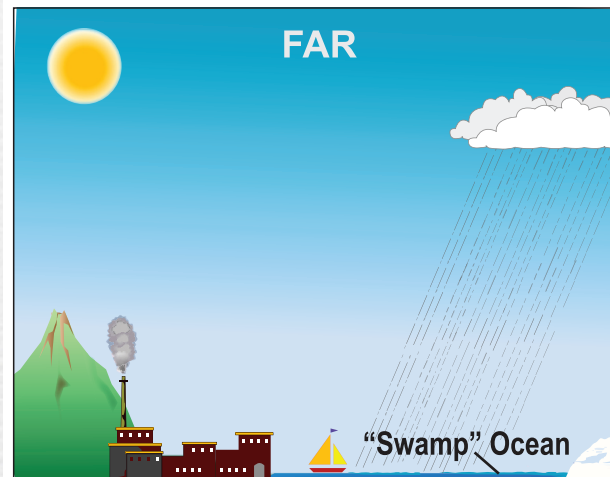
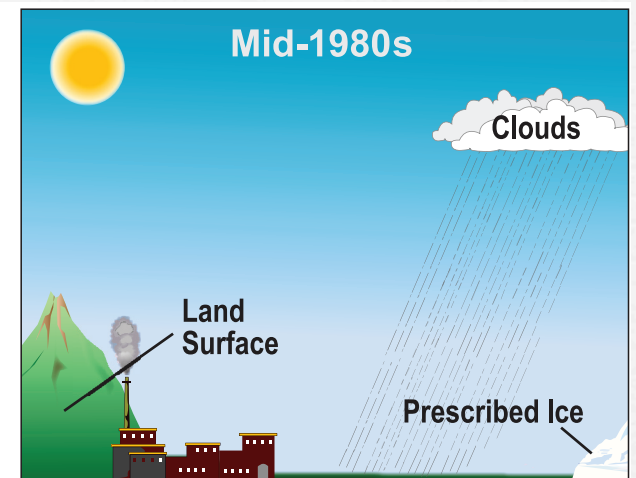
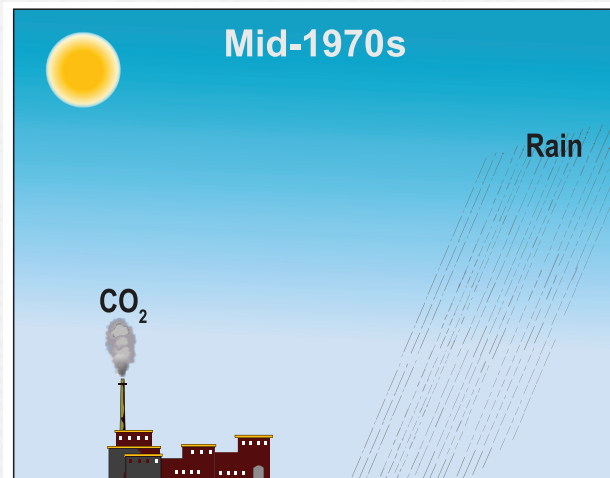


Echanges  
horizontaux entre  
colonnes

Intervalle de temps ~ 30 minutes

Résolution ~ 3°x 3°

# Evolution des modèles au cours du temps



A photograph of a bright sun setting behind a range of dark mountains, with a warm orange and yellow glow in the sky.

Impact van de  
klimaatverandering  
in België

J.P. van Ypersele  
P. Marbaix

**GREENPEACE**

**UCL**

Disponible sur  
[www.greenpeace.be](http://www.greenpeace.be) et  
[www.climate.be/impacts](http://www.climate.be/impacts)

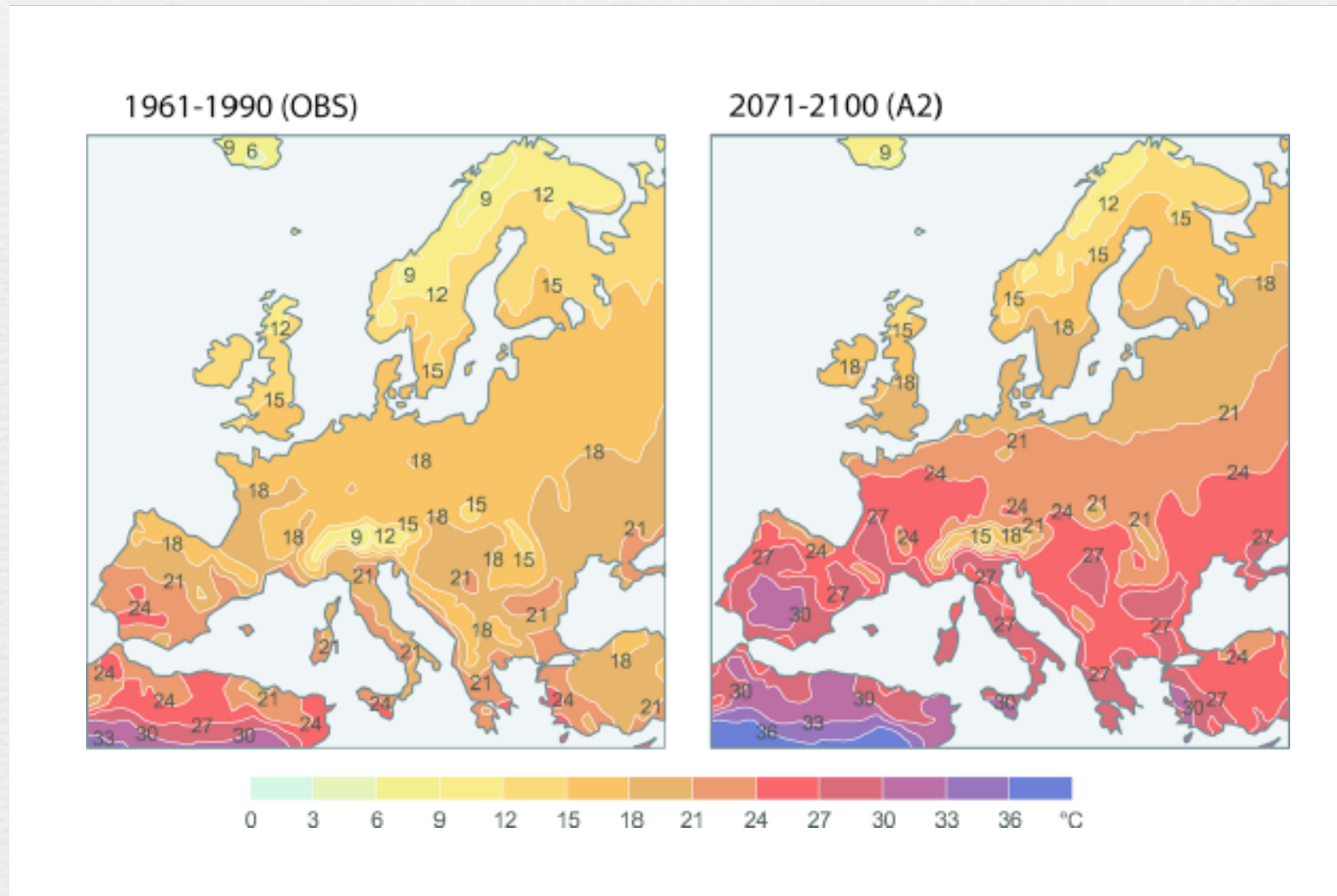
Impacts des  
changements  
climatiques  
en Belgique

P. Marbaix  
J.P. van Ypersele

Université catholique de Louvain

# Changements en Europe

Exemple avec un scénario à émissions fortes:  
(température moyenne en été)



# Changements climatiques (5b)

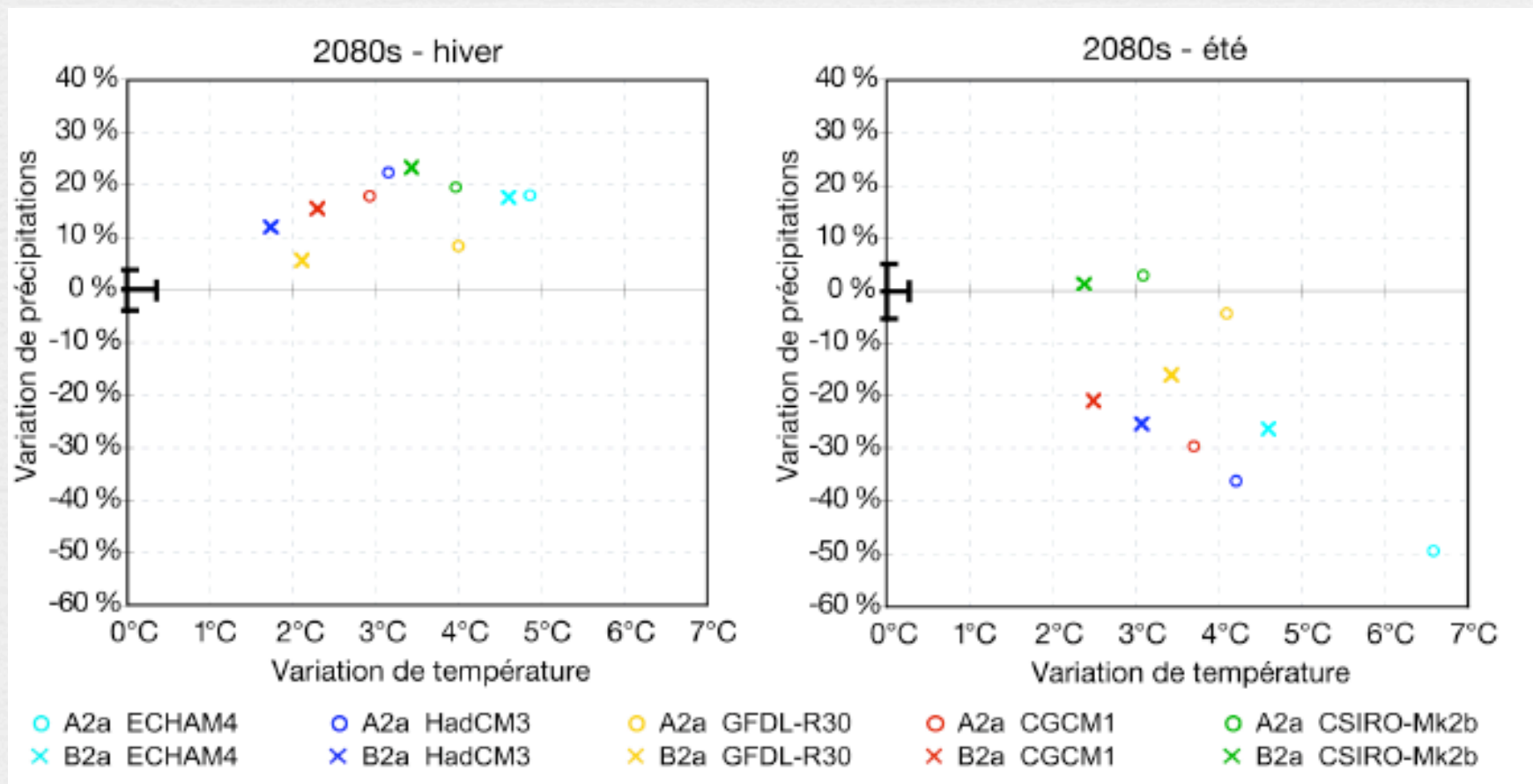
Augmentation de température importante dès 2050

A la fin du 21<sup>ème</sup> siècle, selon scénarios (CO<sub>2</sub>) et modèles :

Température: +2,4 à 6,6 °C en été

Précipitations: + 6 à 23 % en hiver

0 à - 50 % en été



# Changements en Belgique

- ◆ Vagues de chaleurs plus fréquentes (1 été comme 2003 une année sur deux vers 2100)
- ◆ Probablement de pluies plus intenses (toute l'année)
- ◆ Eventuellement plus de tempêtes (à confirmer / préciser)

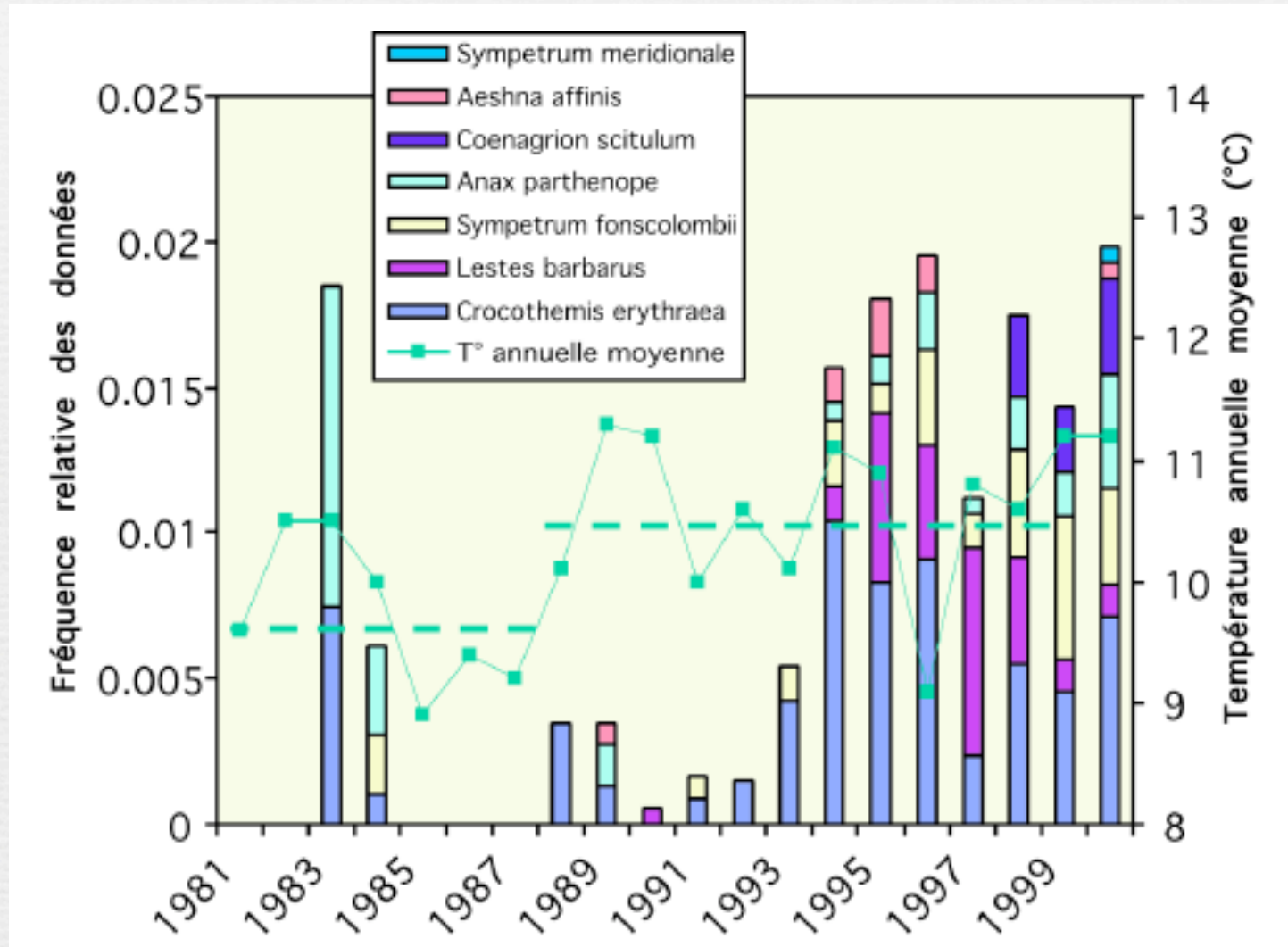
## **Biodiversité:**

- ◆ espèces de régions chaudes → vers le Nord :
- ◆ végétales (mousses, algues, ... )
- ◆ animales (mollusques, libellules, papillons, fourmis ... )
- ◆ espèces de régions froides :
- ◆ réduction, moins évidente pour l'instant

## **Balane tropicale à Ostende**

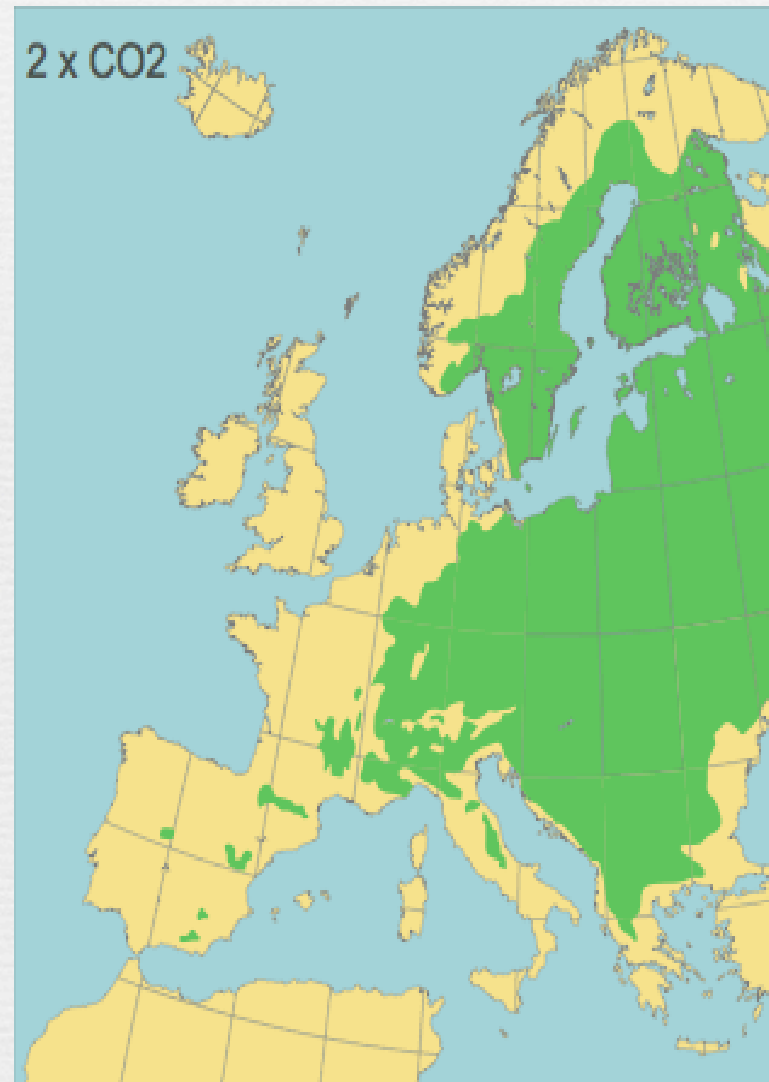
- ◆ manque d'eau en été, vagues de chaleur
- ◆ décalages entre processus biologiques
- ◆ apparition d'espèces de zones chaudes -> compétition avec les espèces locales (ex. moules)
- ◆ Structure des écosystèmes altérée

# Changements de # de libellules



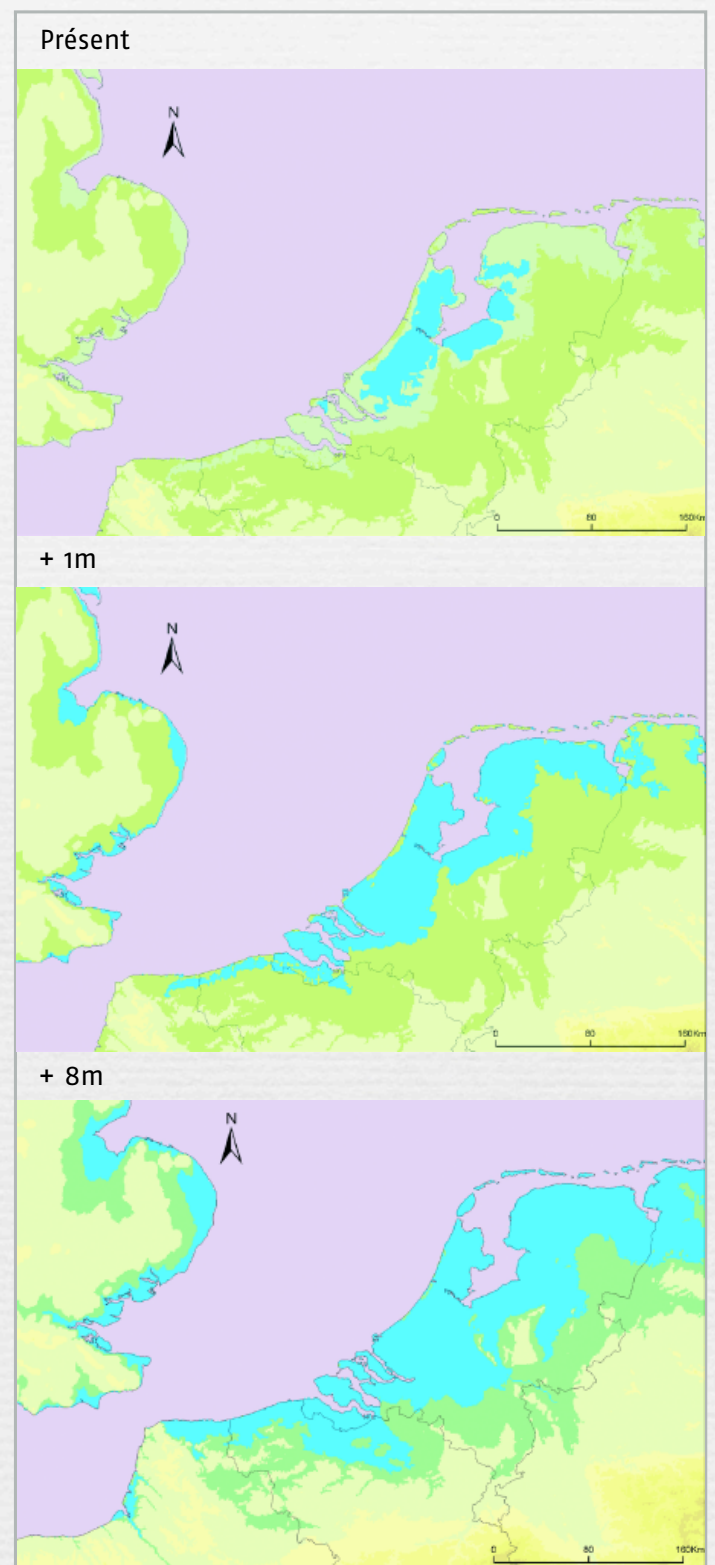


Evolution, selon une projection  
climatique, de la zone où le  
climat convient au hêtre

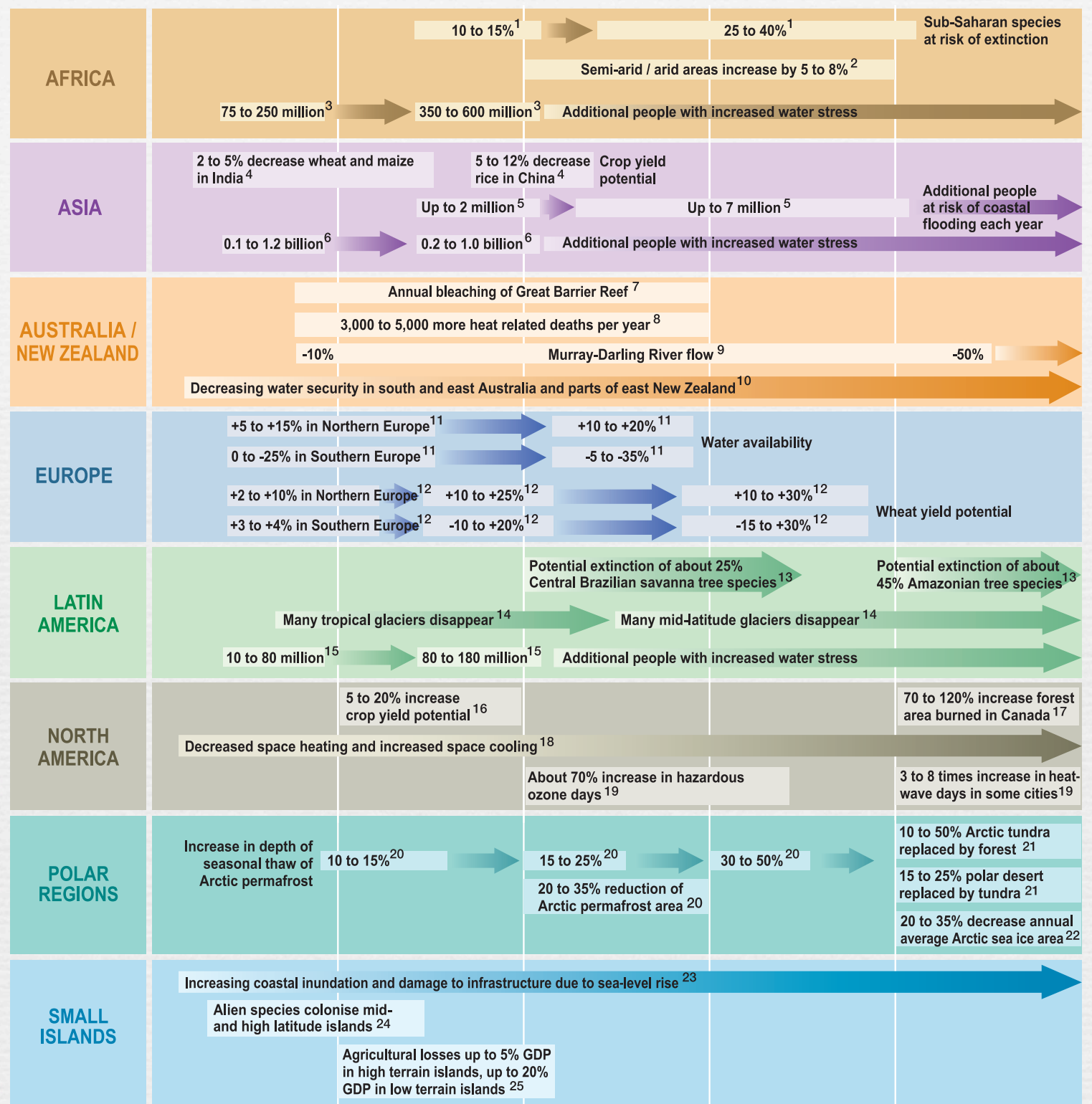


# Changements en Belgique: L'eau

- ◆ Hiver: inondations
- ◆ Eté: Secheresses et diminution de sa qualité
- ◆ Niveau de mers qui monte



# Impacts dans différentes régions du monde



# Projectibilité du climat

