

Global climate change,  
elements from IPCC and Météo-France  
Le changement climatique,  
éléments du GIEC et de Météo-France

**Philippe Courtier**





# Préhistoire de l'effet de serre, le XIX<sup>ème</sup> siècle

## Urgelli, EPFL

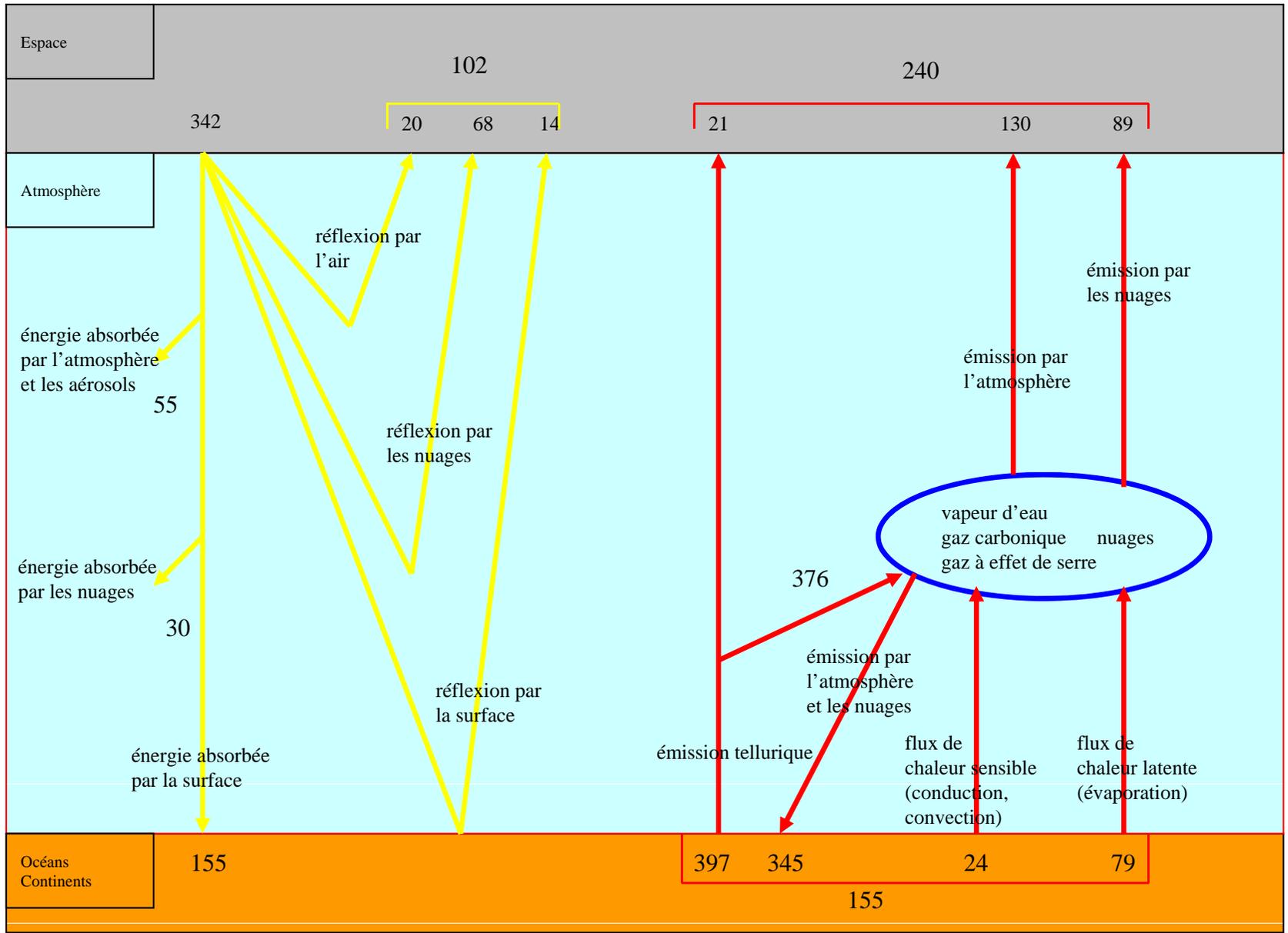
- En 1824, le physicien Fourier affirme que la température de la surface terrestre est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur (rayonnement solaire) trouve moins d'obstacles pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air, lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure (rayonnement infrarouge tellurique).
- En 1838, Pouillet calcule la constante solaire, mais cette donnée restera controversée durant tout le XIX<sup>ème</sup> siècle.
- Dans les années 1860, les études des propriétés optiques et radiatives des gaz atmosphériques sont entreprises par Tyndall pour identifier les molécules responsables de cet effet de serre. Il conclue que cet effet est dû essentiellement à la vapeur d'eau; toute variation de la quantité de vapeur d'eau devrait se traduire par un changement climatique. Il en va de même, dit-il en passant, du CO<sub>2</sub>. Un léger changement dans les constituants variables de l'atmosphère suffit pour que se modifie la quantité de chaleur retenue à la surface de la Terre enveloppée par la couverture d'air atmosphérique.

# Le fondateur de la théorie moderne, Arrhénius

- ♦ - En 1896, Arrhénius donne à l'effet de serre son expression moderne. Il situe le problème dans le cadre géochimique du cycle du carbone et relie la théorie de la dérive à venir de l'effet de serre à l'utilisation industrielle des combustibles fossiles.



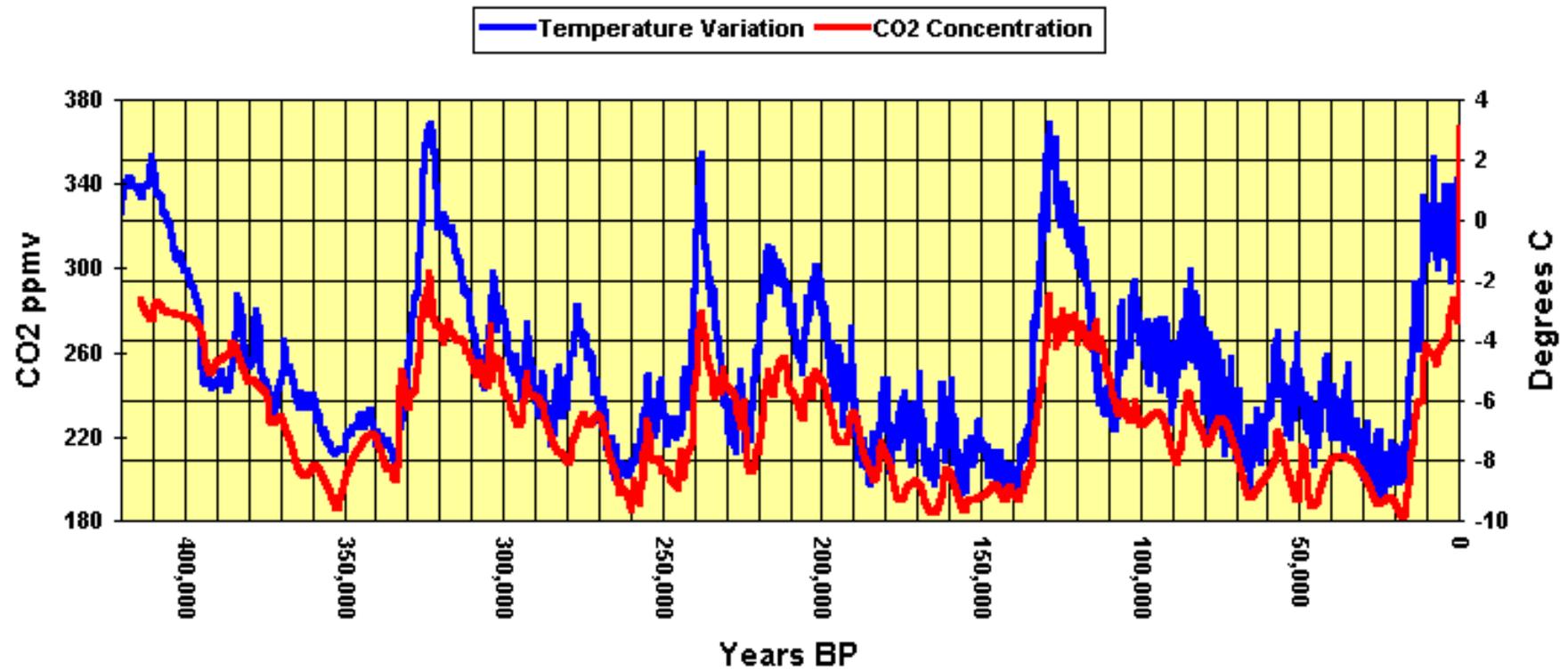
*"On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground"*  
Philosophical Magazine 41, 237-276  
(1896).



# Main sources of previsibility

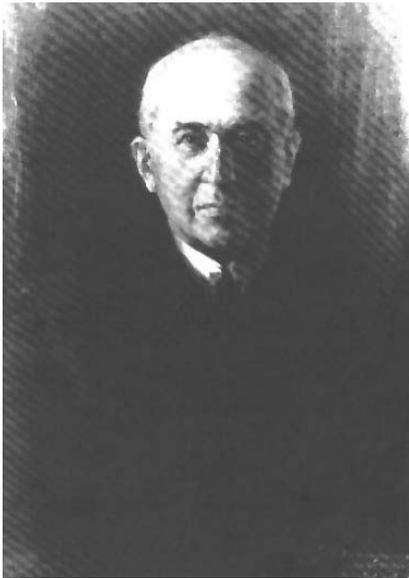
- ◆ Weather forecast : inertia of the atmosphere
- ◆ Seasonal prediction : inertia of the ocean
- ◆ Climatic prediction : response to the change in the chemical composition of the atmosphere
- ◆ Paleoclimatology : response to the evolution of the earth orbital parameters

# Antarctic Ice Core Data 1

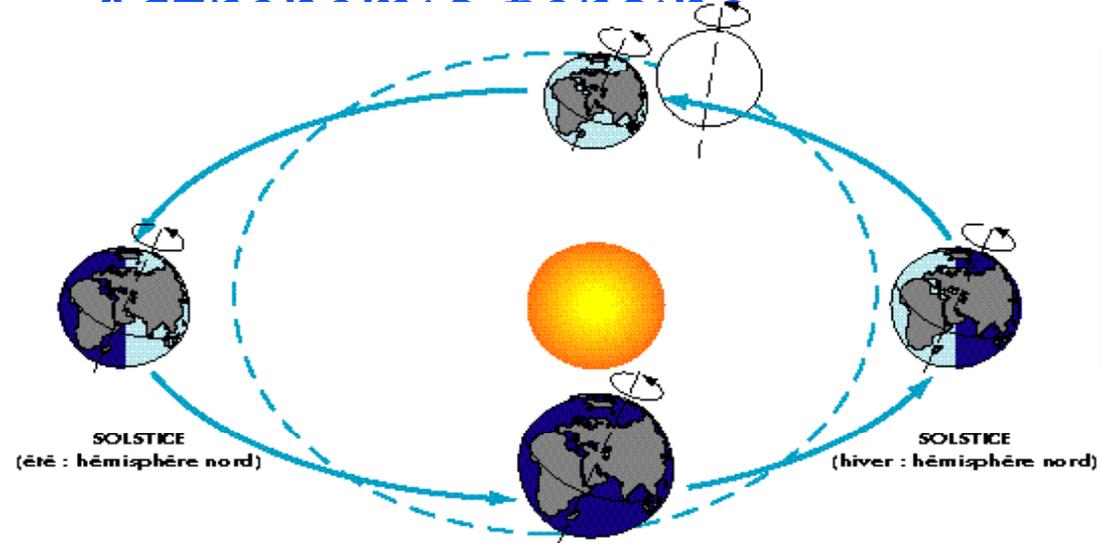


# Comment infère-t-on la température à partir du rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ des carottes glaciaires ?

1. Les deux phénomènes, diminution du delta  $^{18}\text{O}$  des glaces et augmentation de celui des sédiments en période glaciaire, ne sont pas directement liés, mais sont des conséquences du refroidissement et de la formation de calottes.
2. Lors du transport de la vapeur d'eau des basses vers les hautes latitudes, et des océans vers les continents, les précipitations successives appauvrissent cette vapeur plus en isotope lourd ( $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) qu'en isotope léger ( $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ). Le delta  $^{18}\text{O}$  de la vapeur des nuages diminue donc avec l'augmentation de latitude (diminution de température), donc aussi le delta  $^{18}\text{O}$  des précipitations.
3. Ceci explique d'une part que les glaces polaires soient formées d'eau très 'appauvrie' en isotope lourd (delta $^{18}\text{O}$  très négatif). D'autre part qu'en période plus froide, comme la température lors du transport de vapeur diminue plus 'vite' avec la latitude, l'appauvrissement isotopique de la vapeur est plus prononcé, et le delta $^{18}\text{O}$  des précipitations pour un site donné diminue. C'est l'origine du 'thermomètre isotopique' appliqué aux glaces.
4. Si en plus on a formation de calottes de glace, comme en *période glaciaire* (jusqu'à 3-4% du volume des océans était sous forme de calotte), comme cette glace était très appauvrie en isotope lourd, ce stockage a enrichi isotopiquement (par conservation de la masse totale d' $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) les océans. Or, les tests carbonatés des foraminifères sont en équilibre isotopique avec l'eau de mer, le delta $^{18}\text{O}$  de ces carbonates augmente donc en période glaciaire. Ce delta $^{18}\text{O}$  dépend aussi de la température de l'eau : en période glaciaire, le refroidissement des océans a également contribué à augmenter le delta $^{18}\text{O}$  des tests carbonatés.

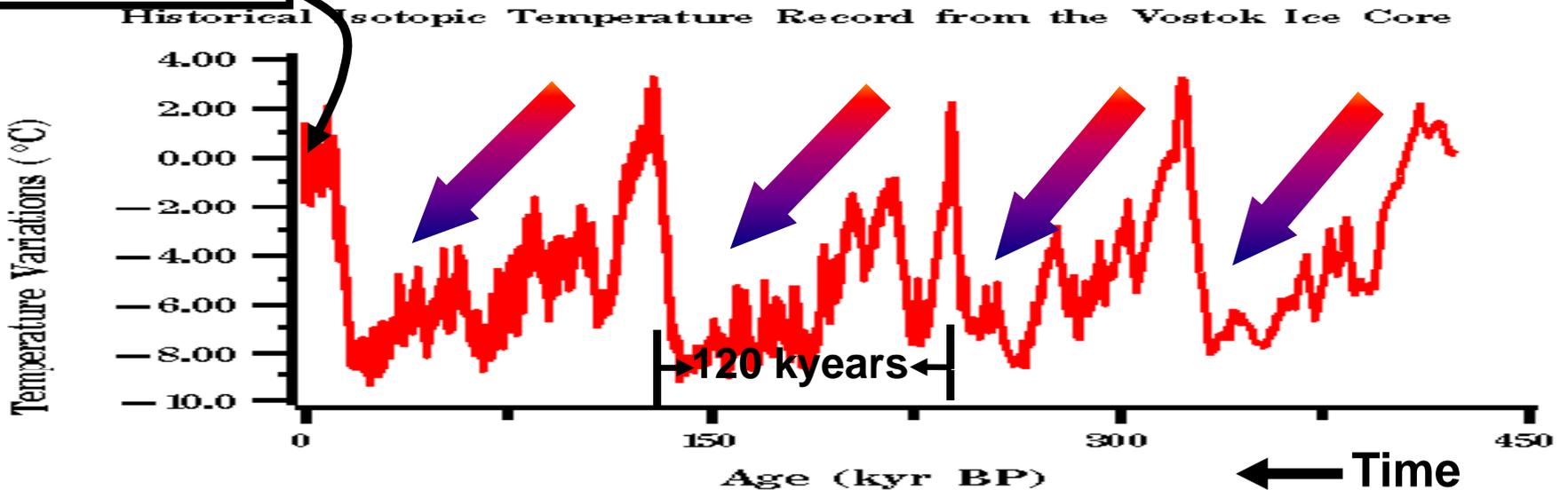


## Astronomic forcing



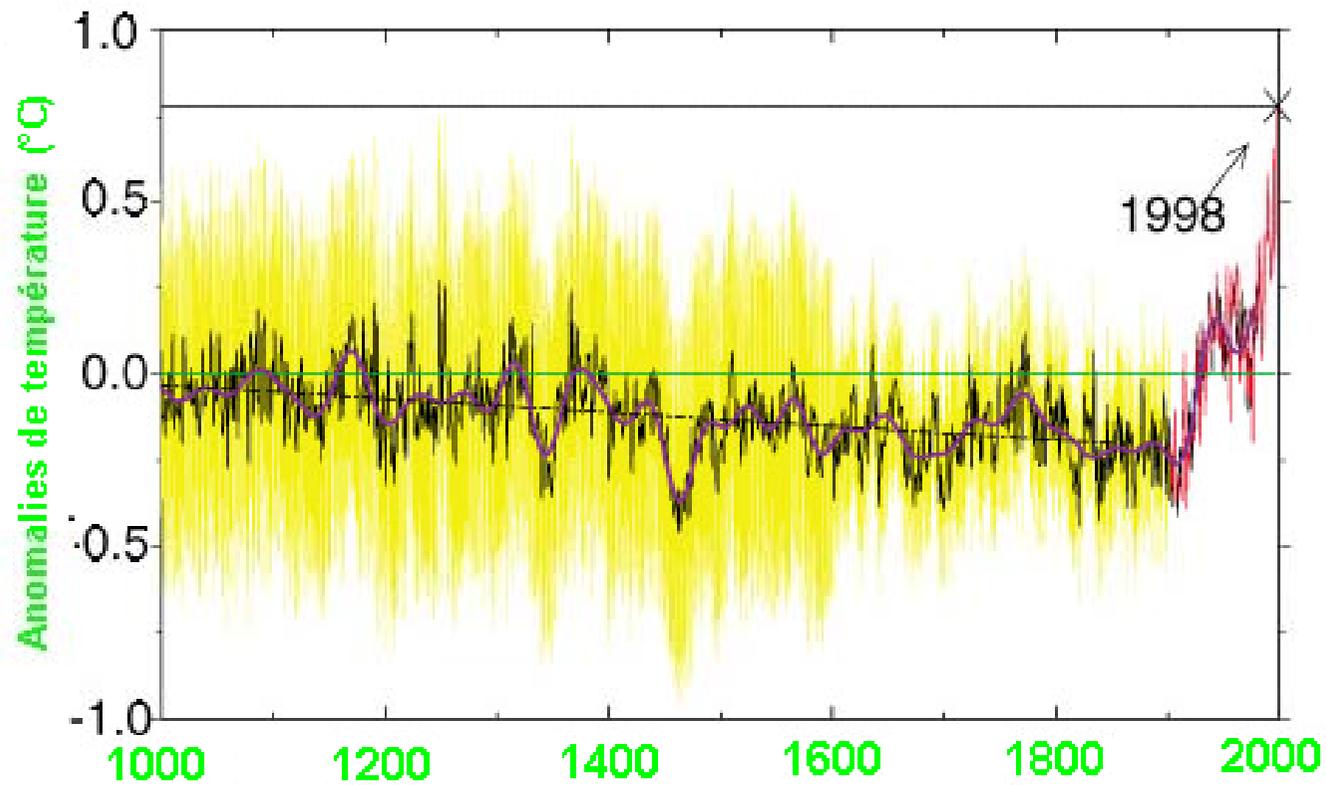
Milankovitch

You are here



Variation with time of the Vostok isotope temperature record as a difference from the modern surface temperature value of  $-55.5^{\circ}\text{C}$ .

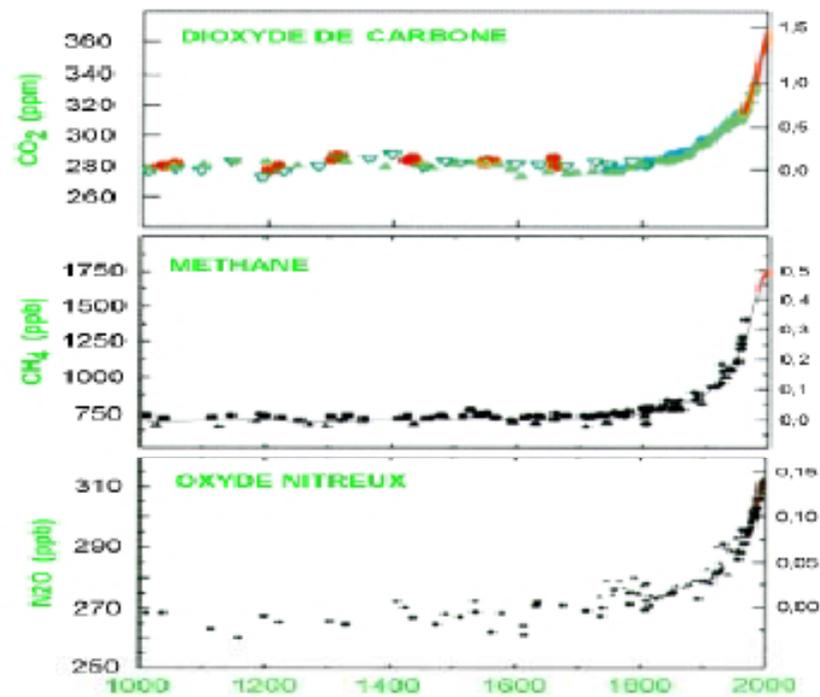
Source: Petit et al.

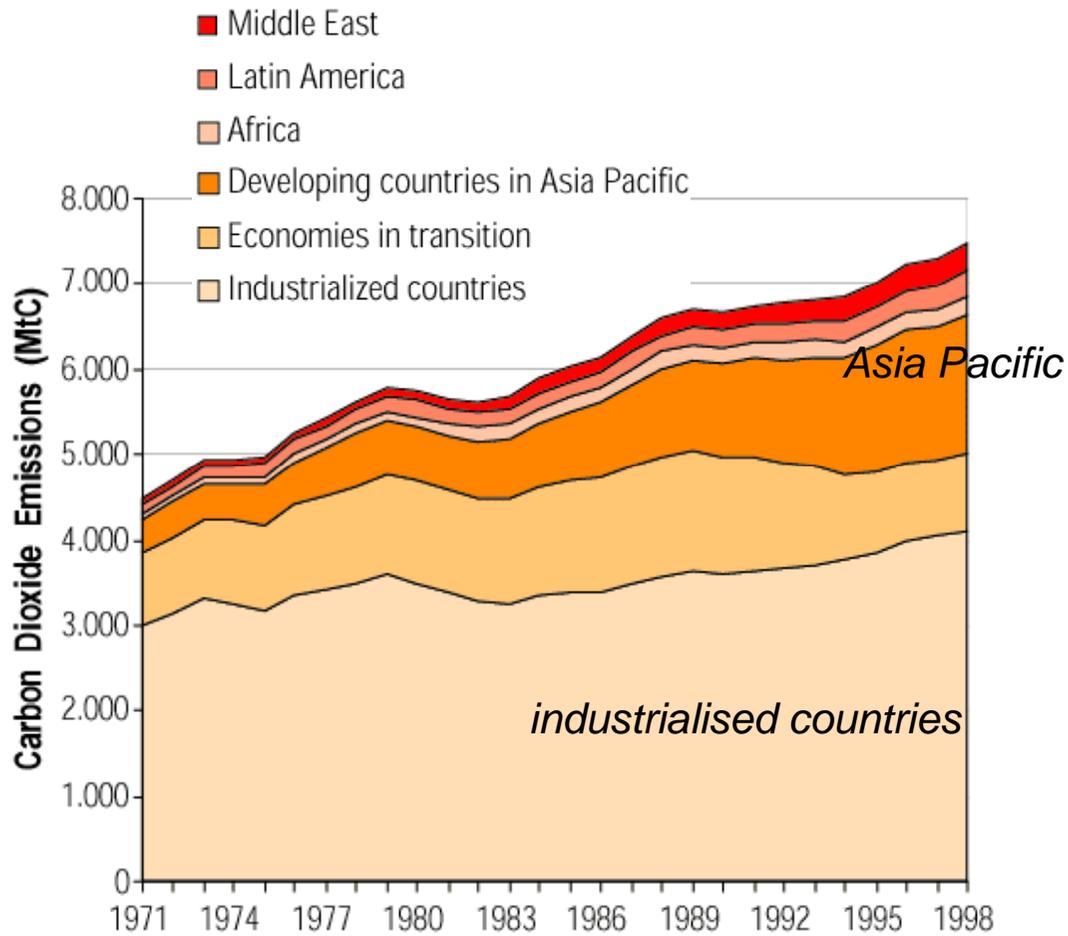


— reconstruction (1000-1980) — reconstruction (moyennes sur 40ans)  
 — observations (1902-1998)

Mann et al, 1999

# Observed increase in greenhouse gazes





} **USA**  
 — 30% chauffage, industries...  
 — 38% production d'électricité  
 — 32% transports

IPCC 2001

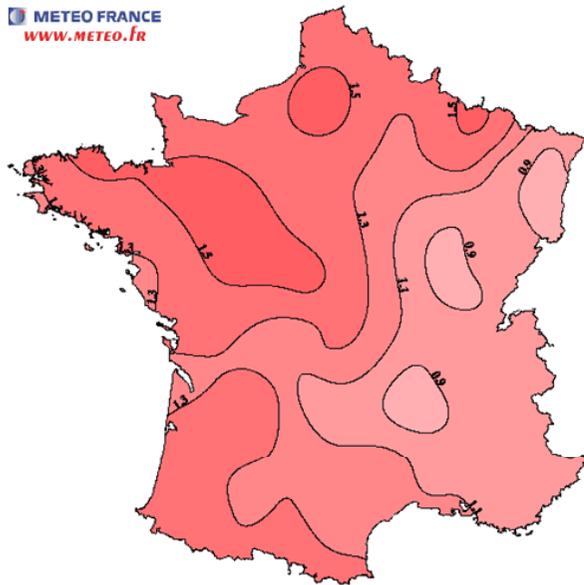
# temperature evolution over France during XX<sup>st</sup> century

Minimal temperature

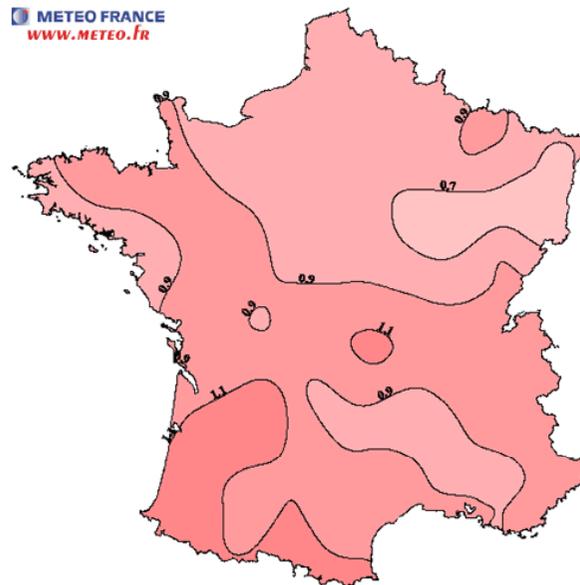
average temperature

maximal temperature

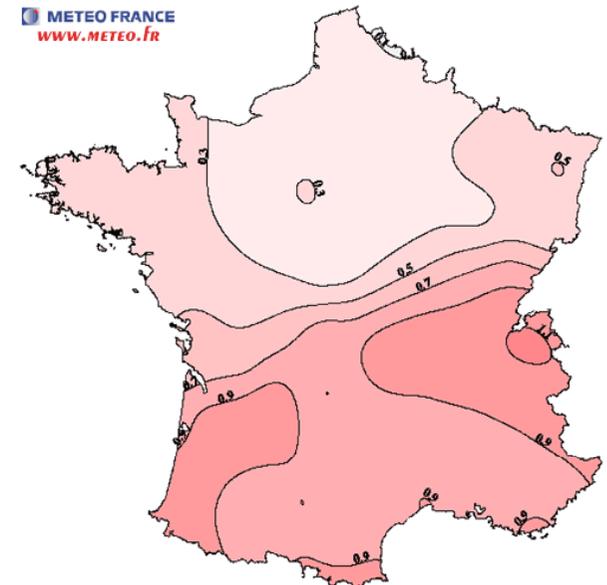
METEO FRANCE  
WWW.METEO.FR



METEO FRANCE  
WWW.METEO.FR

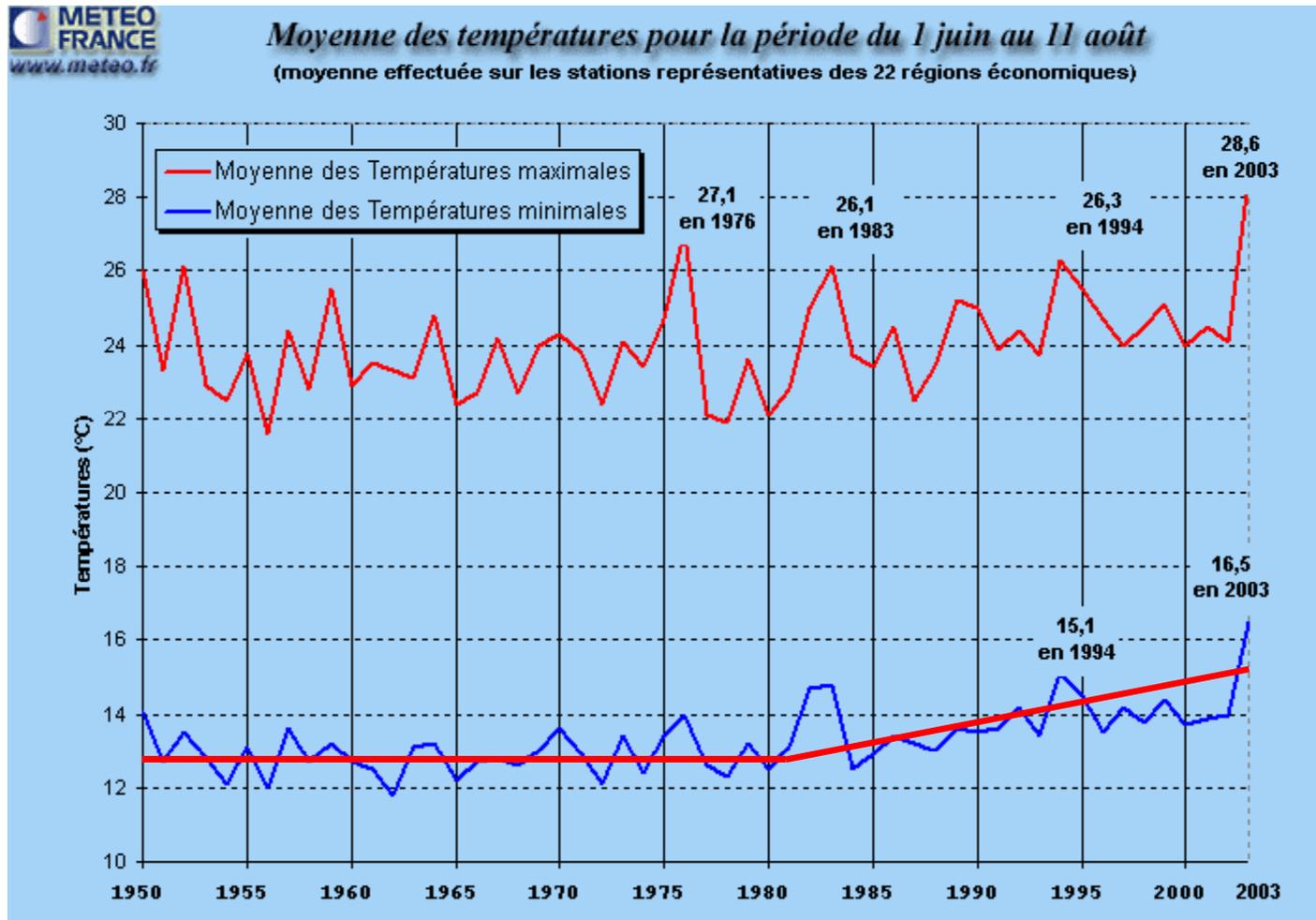


METEO FRANCE  
WWW.METEO.FR



Minimal temperatures : 0.7 to 1.7°C/century  
Maximales temperatures : -0.1 to 1.3°C/century

# 2003 the warmest summer of last 50 years



## Climate models and weather forecast models

- ◆ Euler equations (fluid mechanics) applied
  - to the air, mixing of two perfect gazes (dry air, diatomic) and water vapour (triatomic)
  - to the ocean, salted water.

### Approximations :

- the geoid is a sphere
- shallow approximation (depth of the atmosphere or the ocean small compared to the earth radius)
- hydrostatic equilibrium

- ◆ Complemented with physical parametrisations :  
Radiation, turbulence, clouds and precipitations, soil interaction, vegetation, gravity wave drag

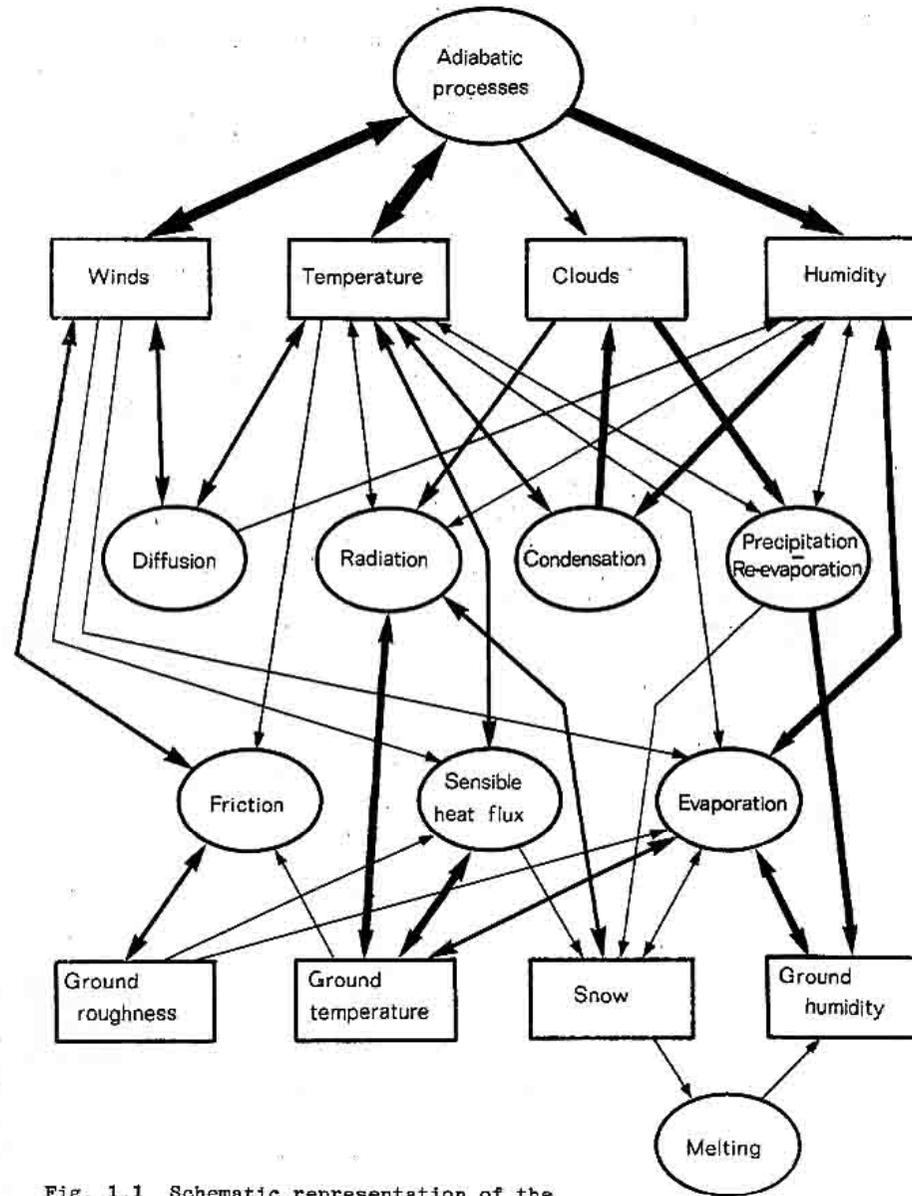


Fig. 1.1 Schematic representation of the processes included in the ECMWF model

## numerical model

### ◆ Spatial discretization

horizontal

atmosphere : pseudospectrale (spherical harmonics)

ocean : finite differences

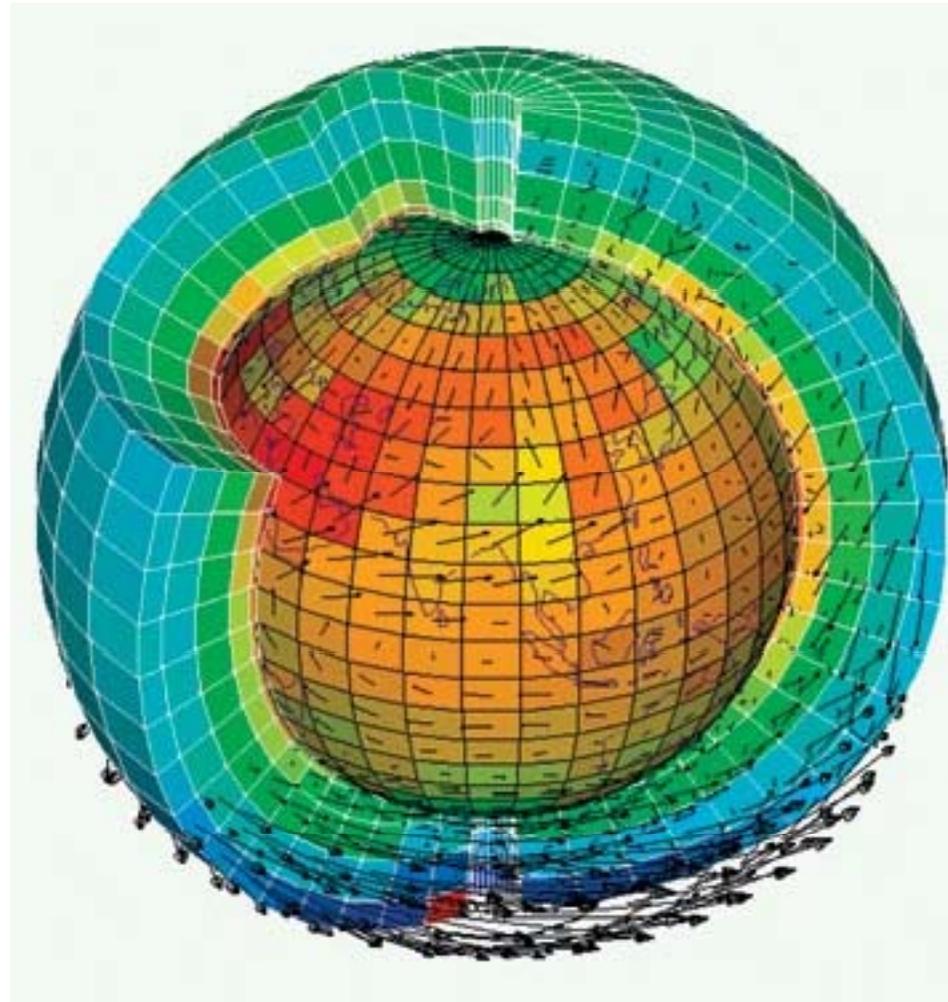
vertical

Finite differences

### ◆ Temporal discretization

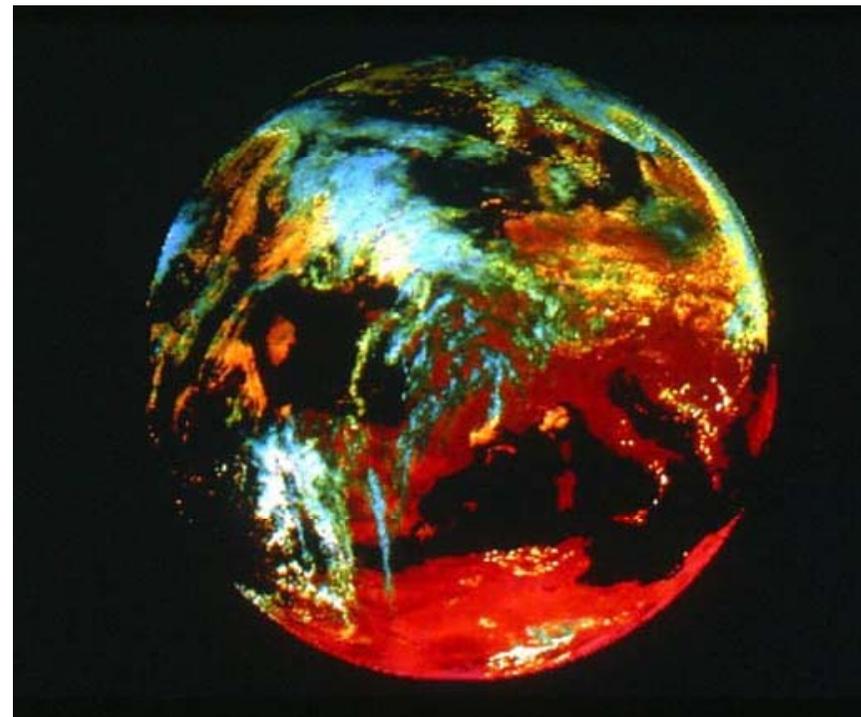
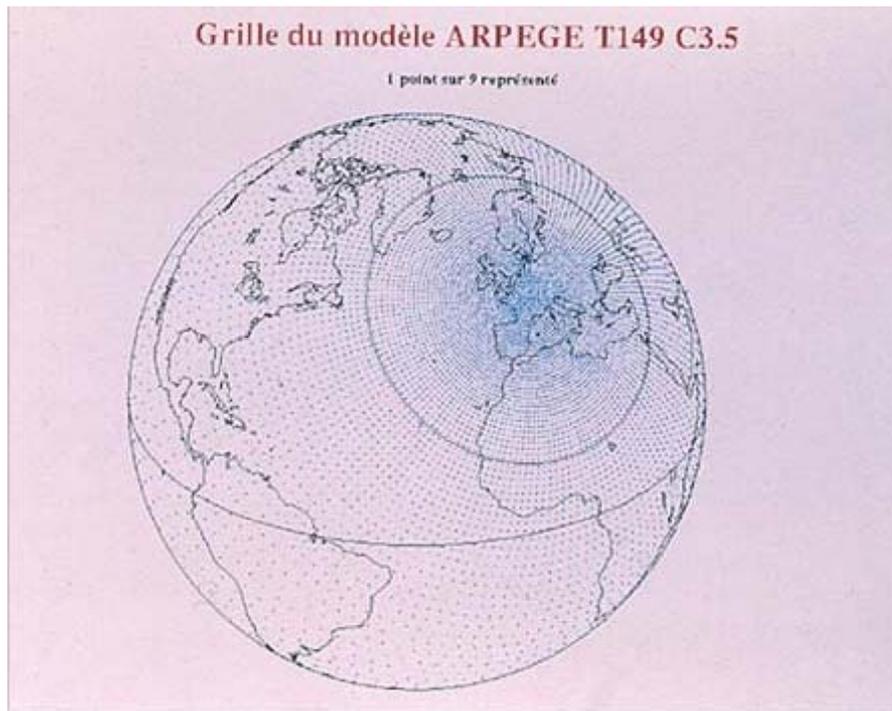
Semi-lagrangian semi-implicit

# Numerical models

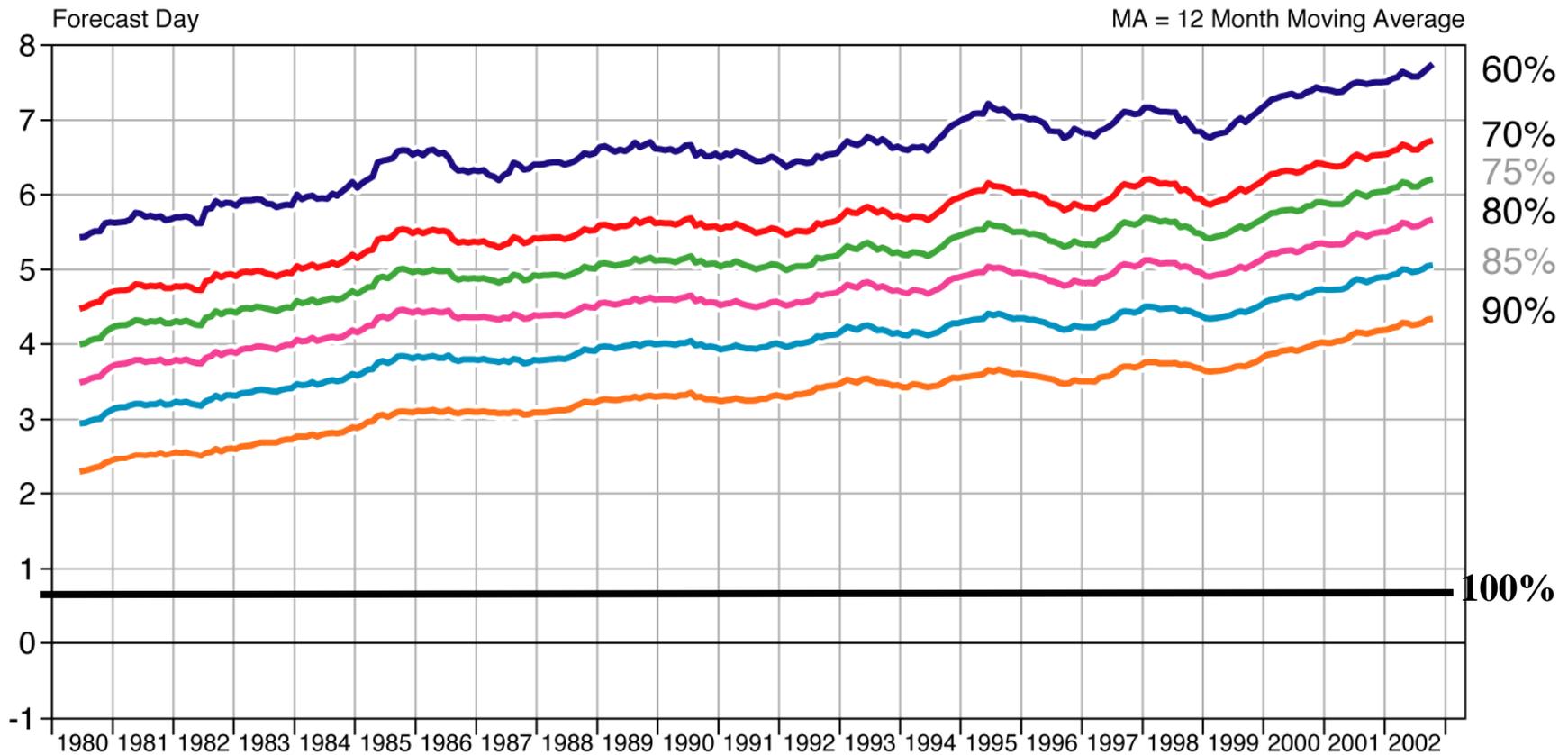


**L. Fairhead, LMD**

# Variable mesh



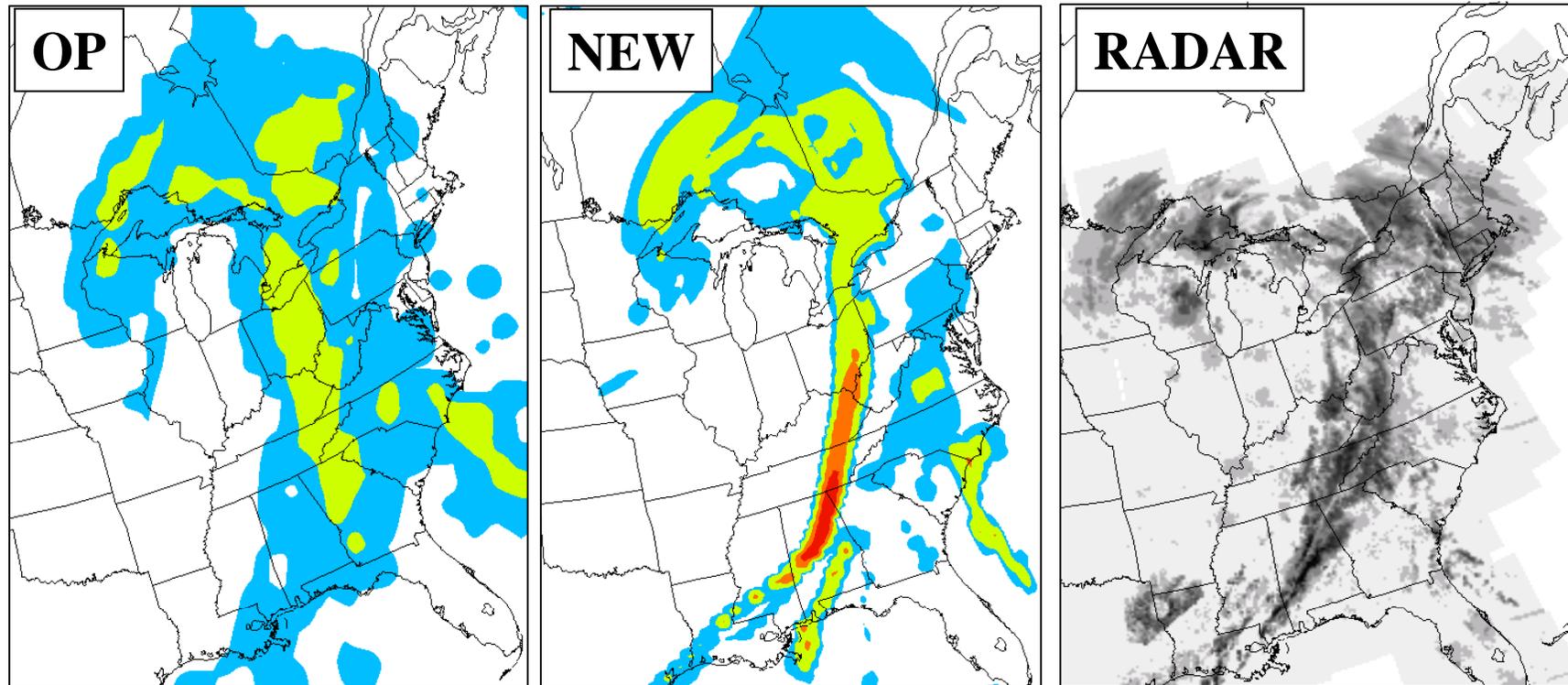
1980 – 2002: Day on which forecast skill drops to 60%, 70% ... 95%, 97.5%, 99%  
N, Hem 500hPa Geopotential anomaly correlation



# Progress of 1 day every 10 years

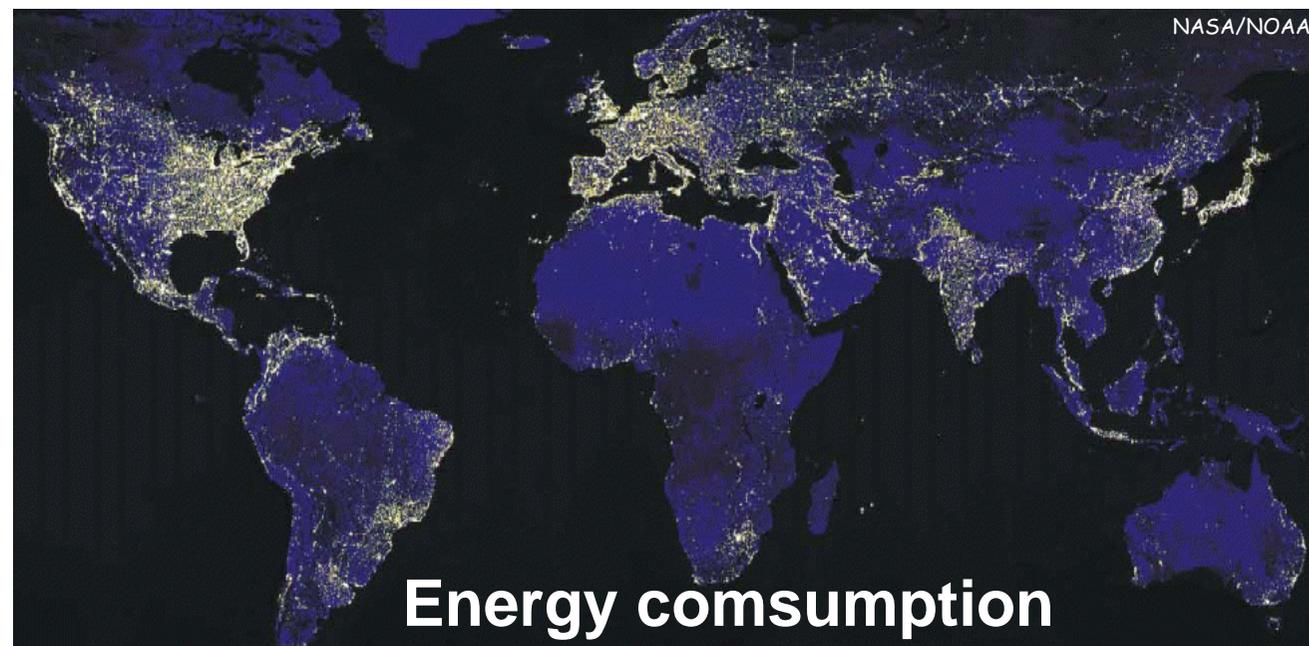
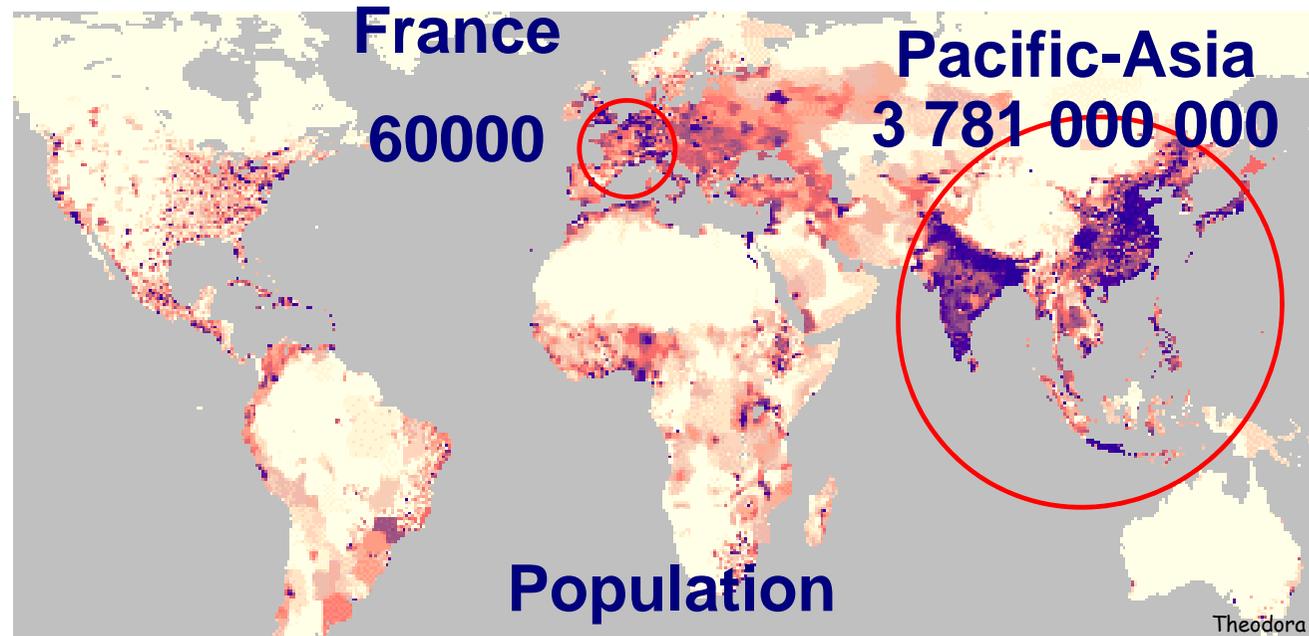
- ◆ Progress of weather forecast come from :
  - ◆ Scientific progress in the knowledge of the atmosphere
  - ◆ Technical progress of computers and telecommunications
  - ◆ Scientific and technical progress of observations

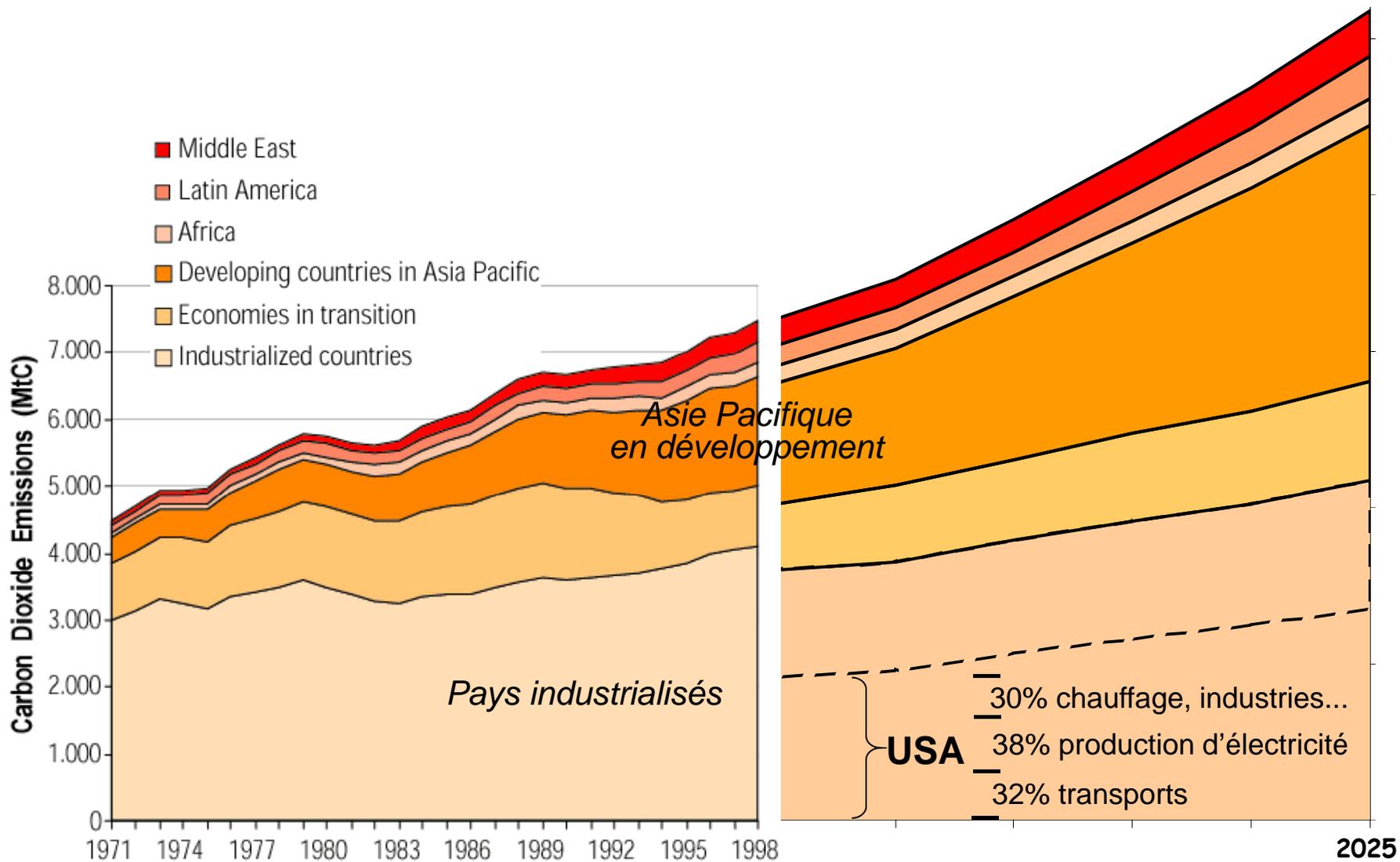
## Progress in the representation of weather elements



60 hour precipitations forecasts for 25 februaryr 2001, 1200 TU  
with operational models at SMC and its next configuration.  
In B&W, radar imagery.

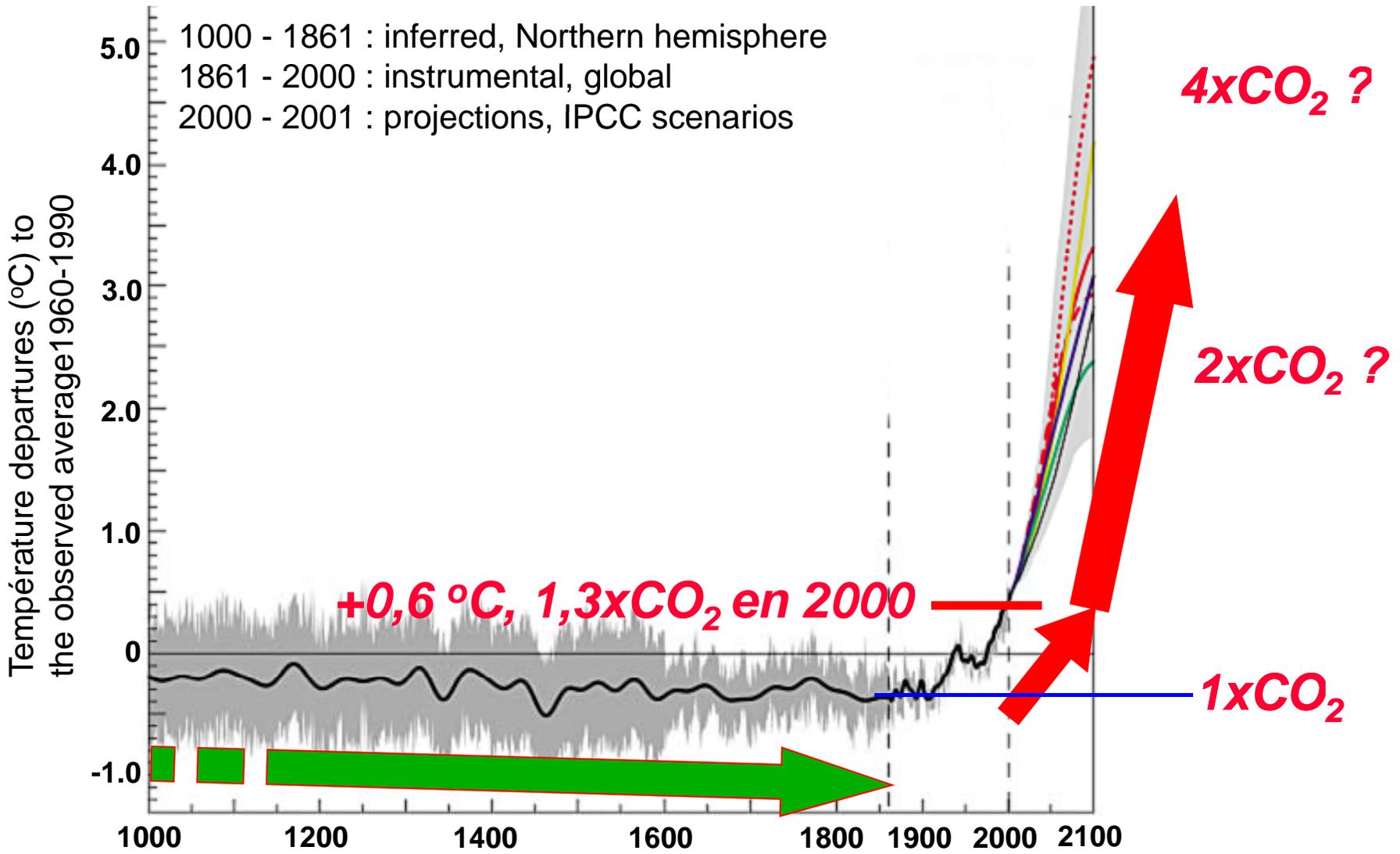
South east  
Asia will  
light up





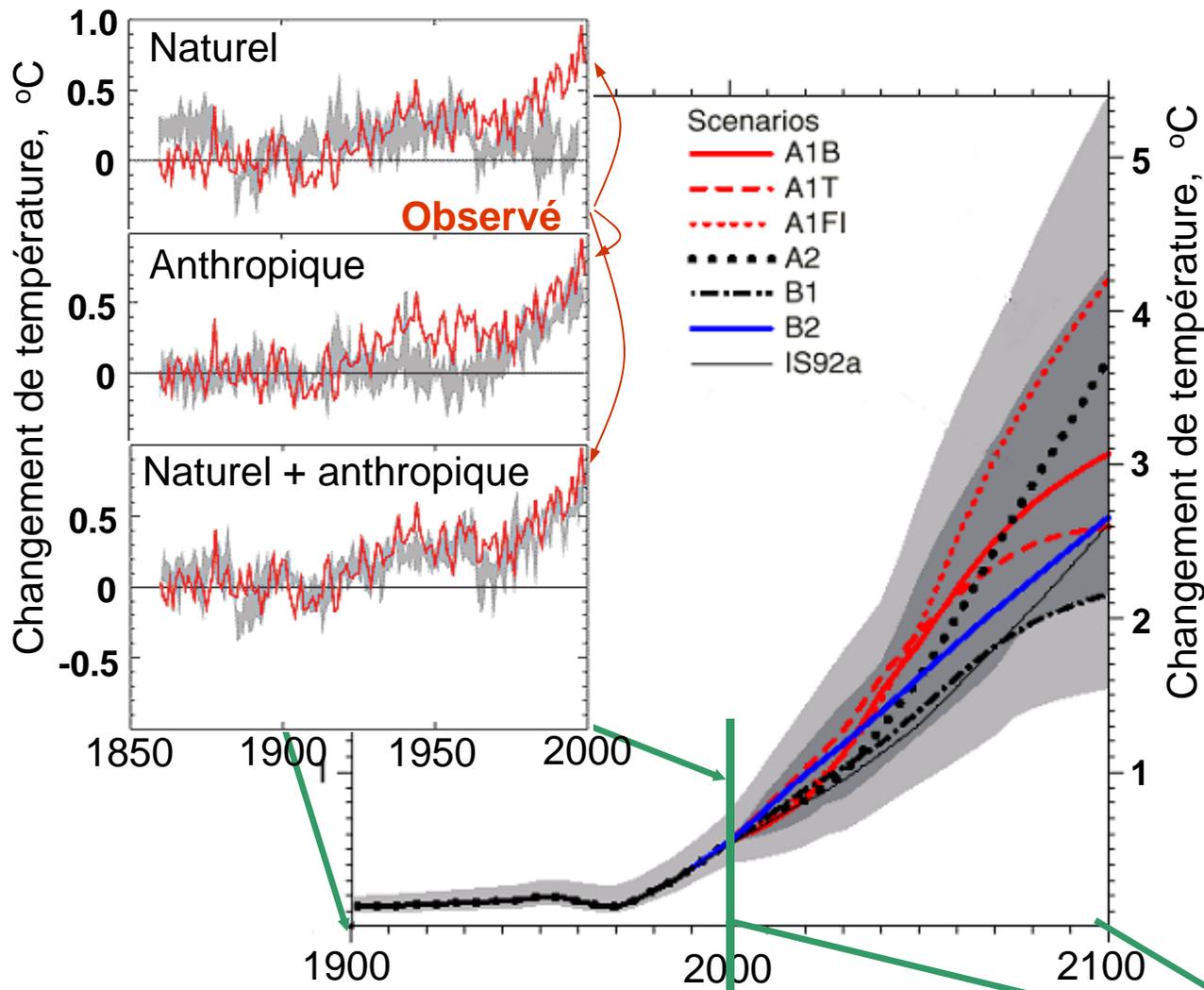
IPCC 2001

"International Energy Outlook 2003",  
Energy Information Agency, US DOE  
(adapté)

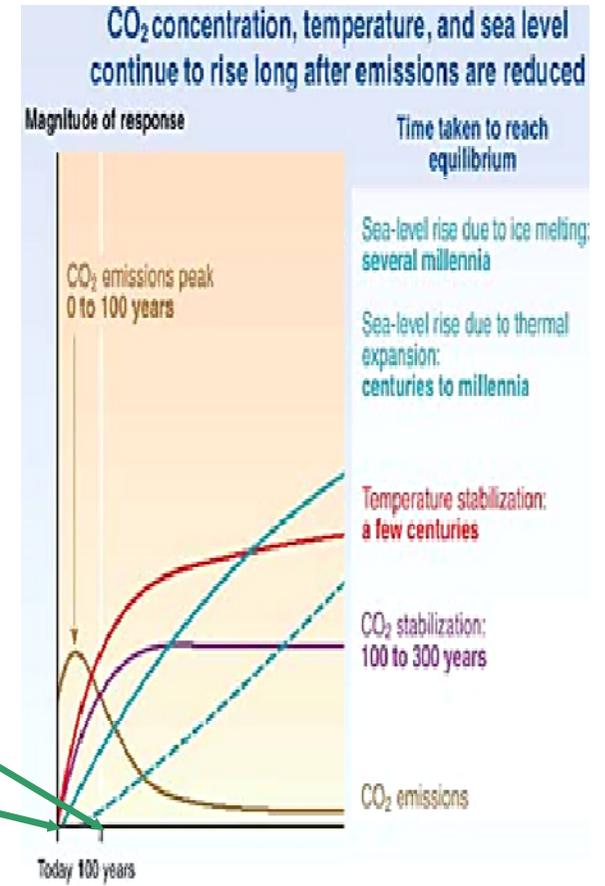


**GRUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL  
 SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT**





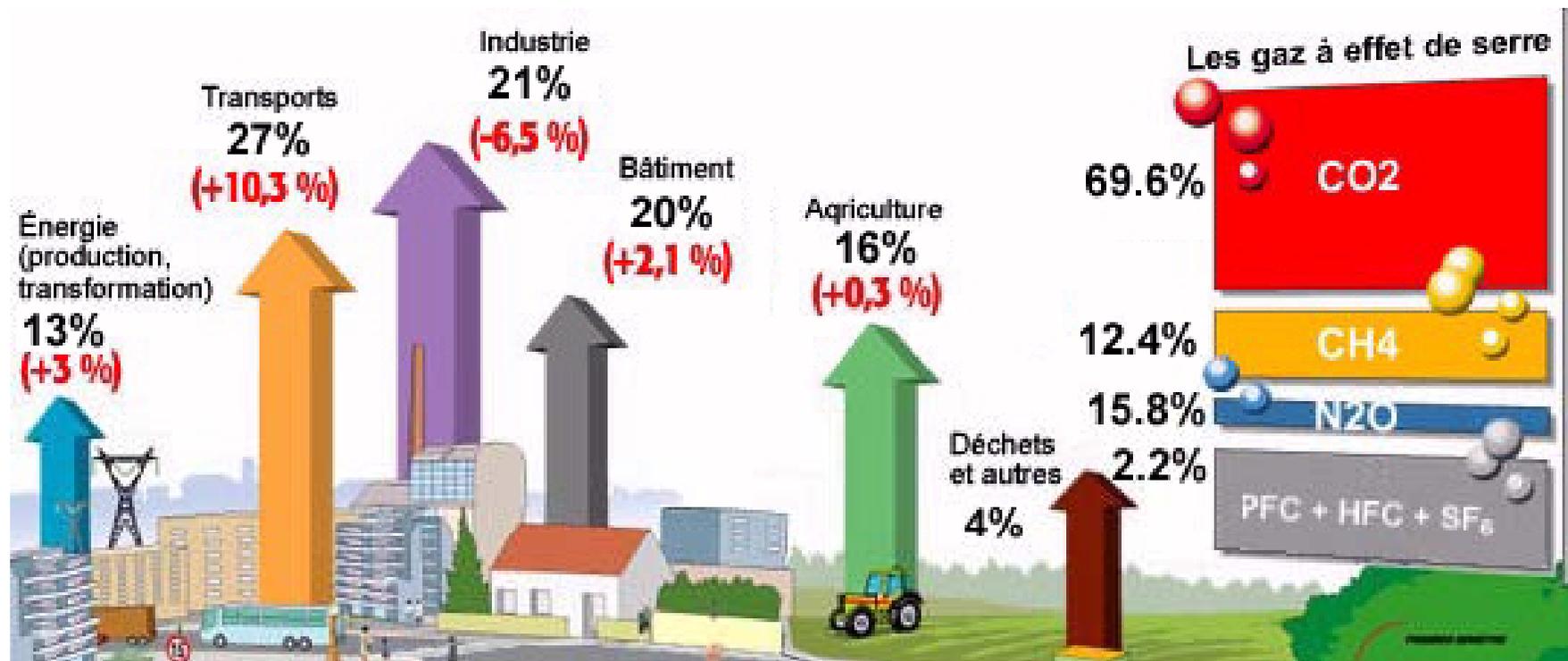
- Temperature increase, due to human action
- Increase in all scenarios



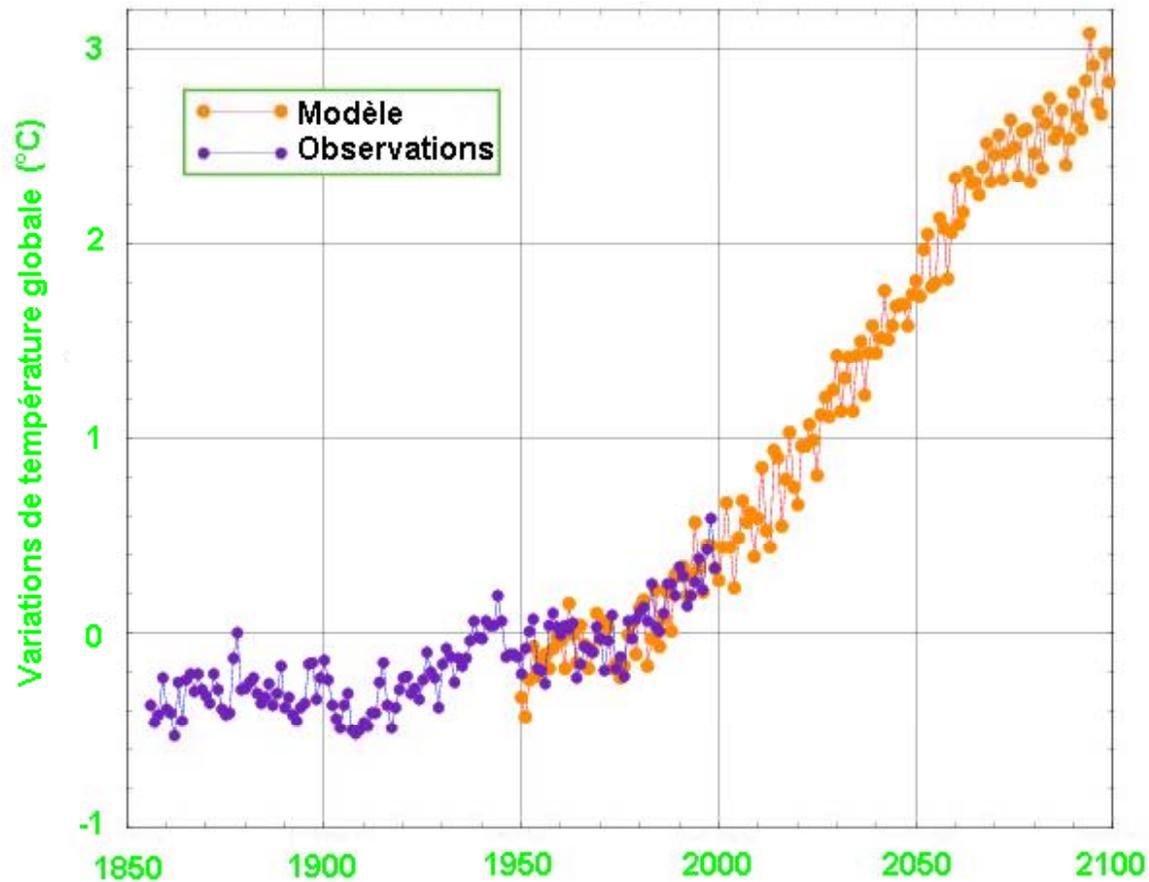
IPCC 2001



# relative contribution of economic sectors in greenhouse emission in France (and evolution if no political action) (Mies)



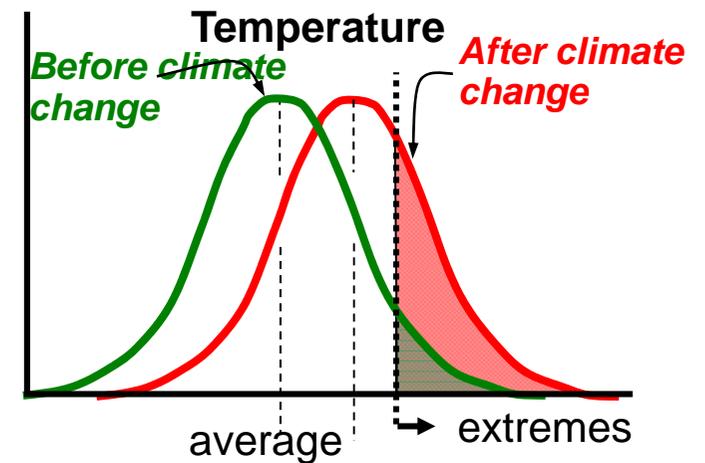
# Scénario 2xCO2 simulé à Météo-France



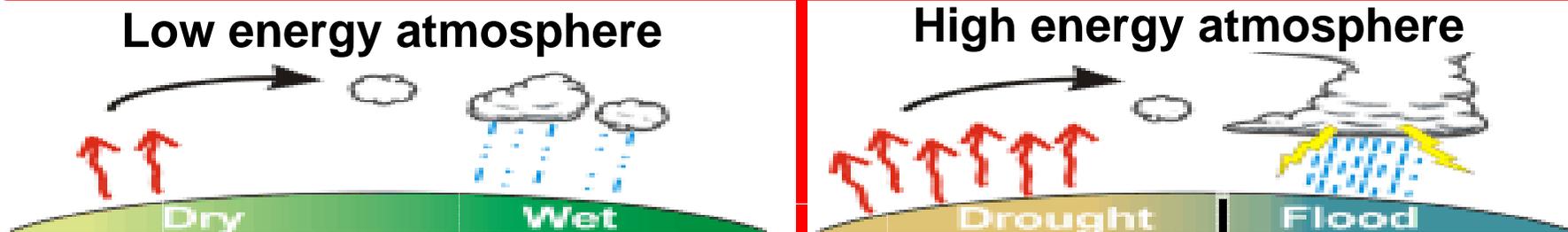
# Impact at planet scale

Among the likely climatic change :

- higher maximal and minimal temperatures ;
- increase number of heat waves, less frost days on most continents ;
- More intense precipitations ;
- More extreme events.

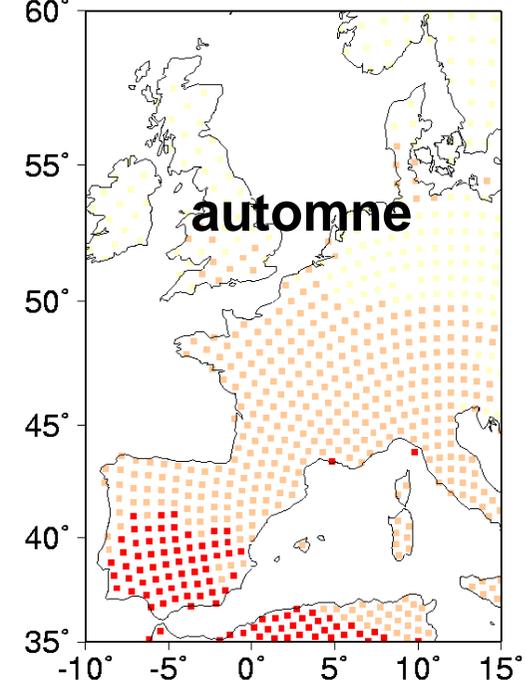
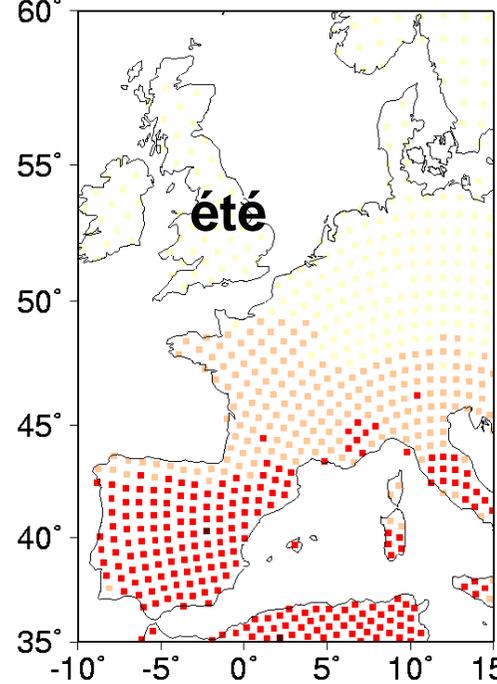
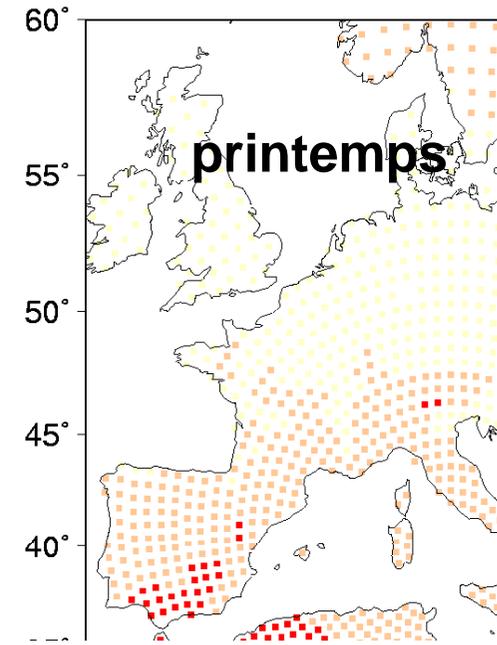
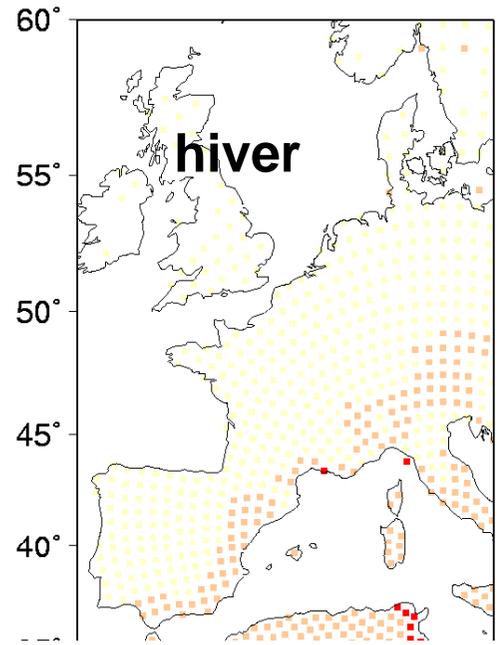
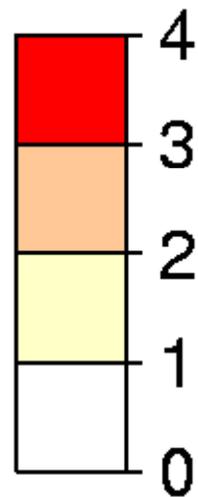
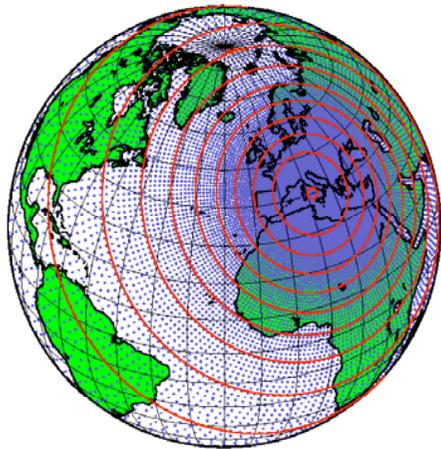


## Increase extreme events ?



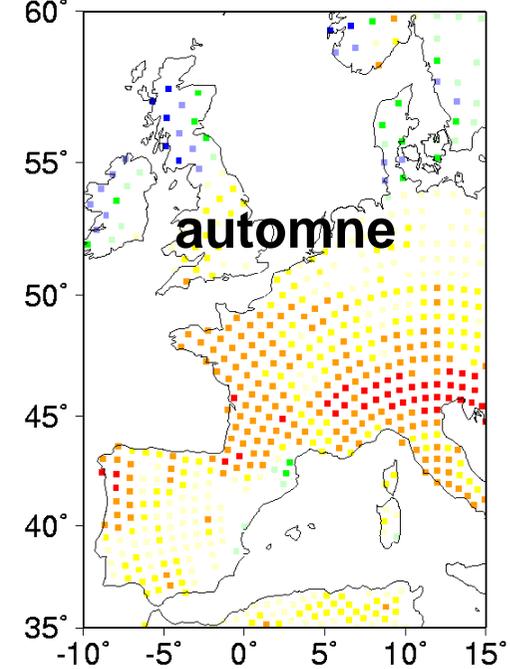
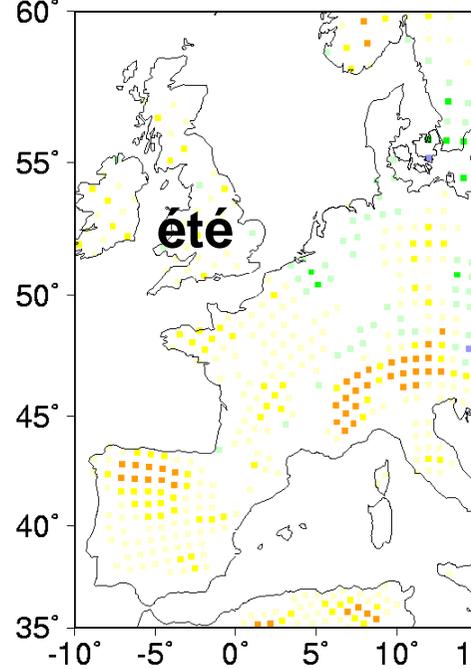
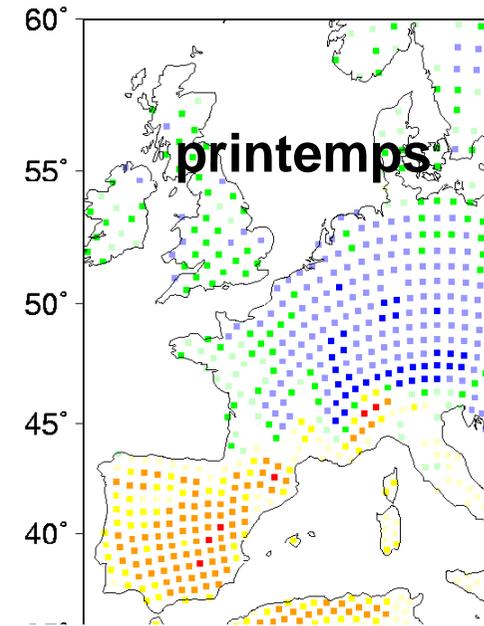
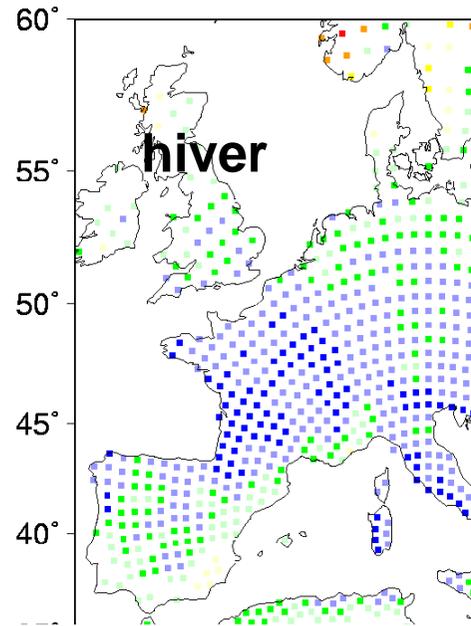
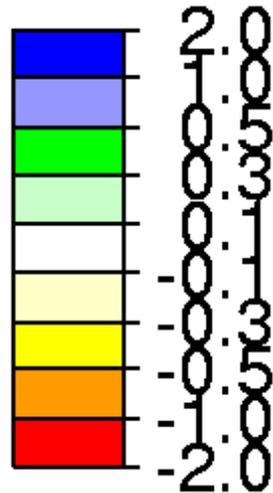
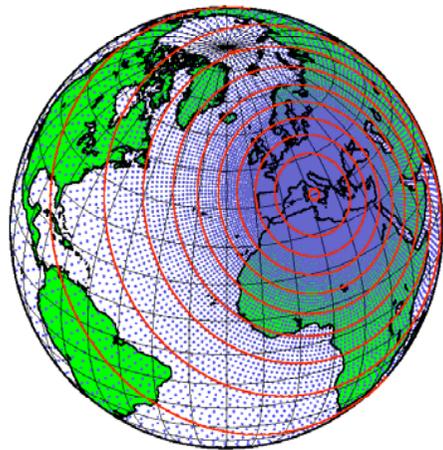
2xCO2 scenario

Seasonal temperature  
(°C)



2xCO2 scenarion

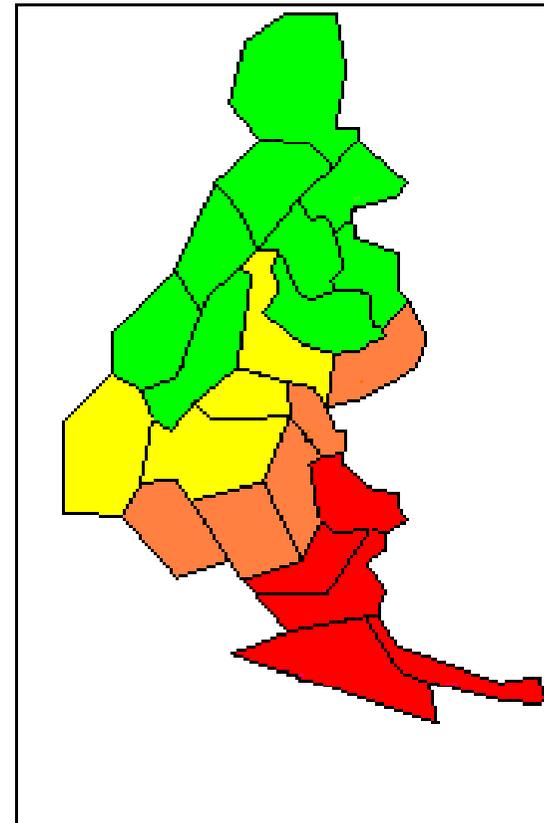
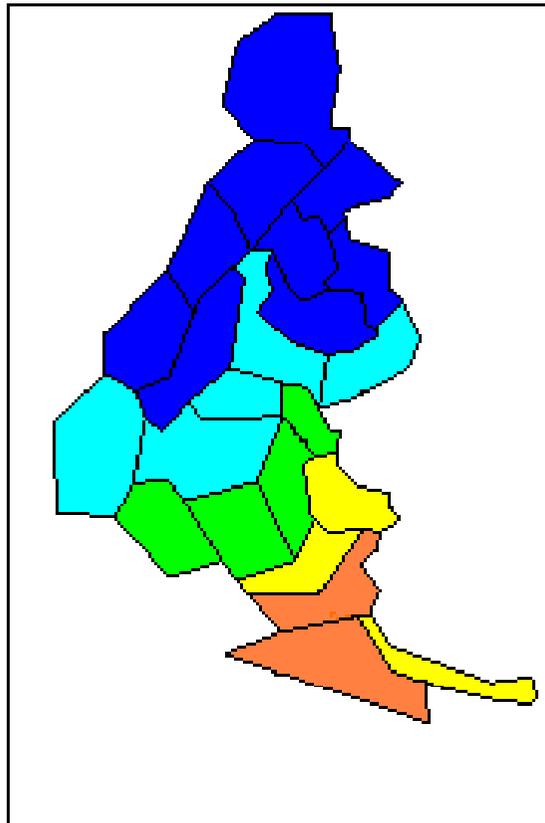
Seasonal precipitations  
(mm/day)



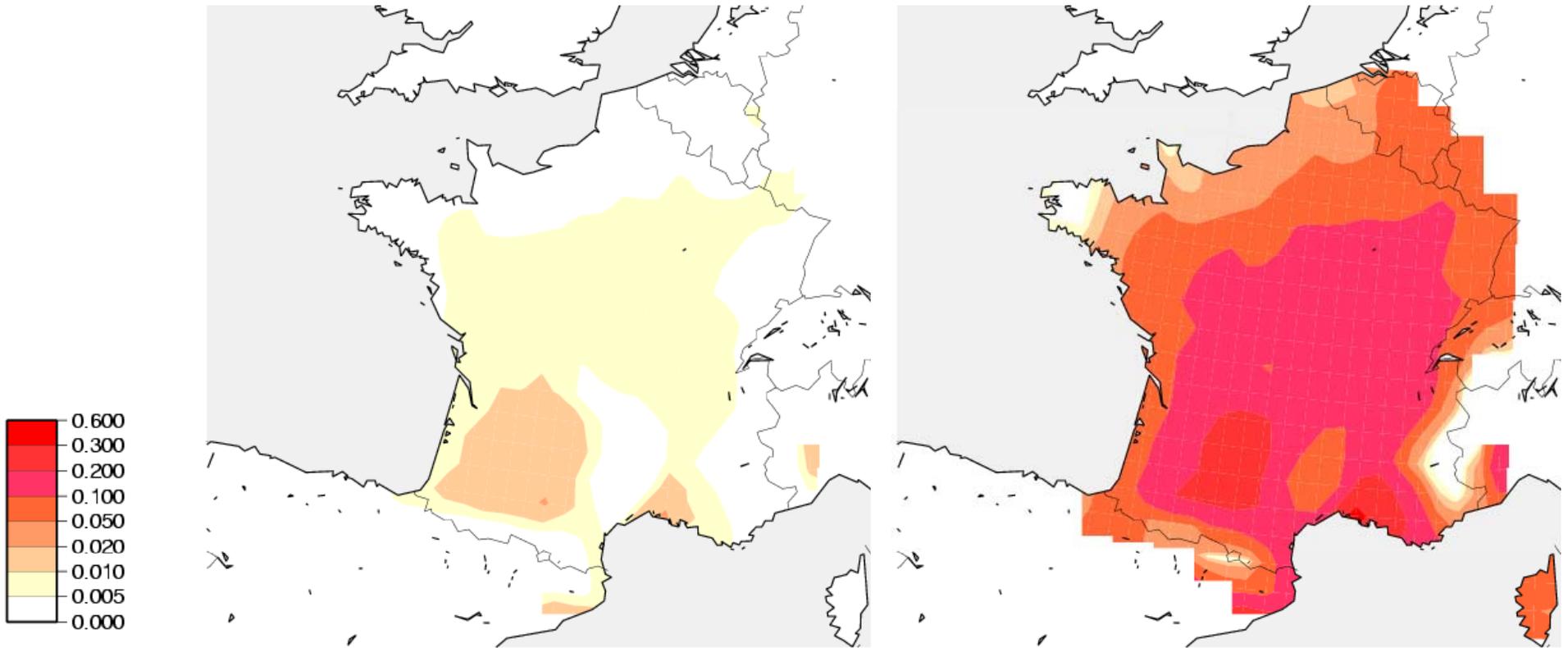
Number of days per year  
with snow at the surface  
(for skiing) above 1500m

Actuel

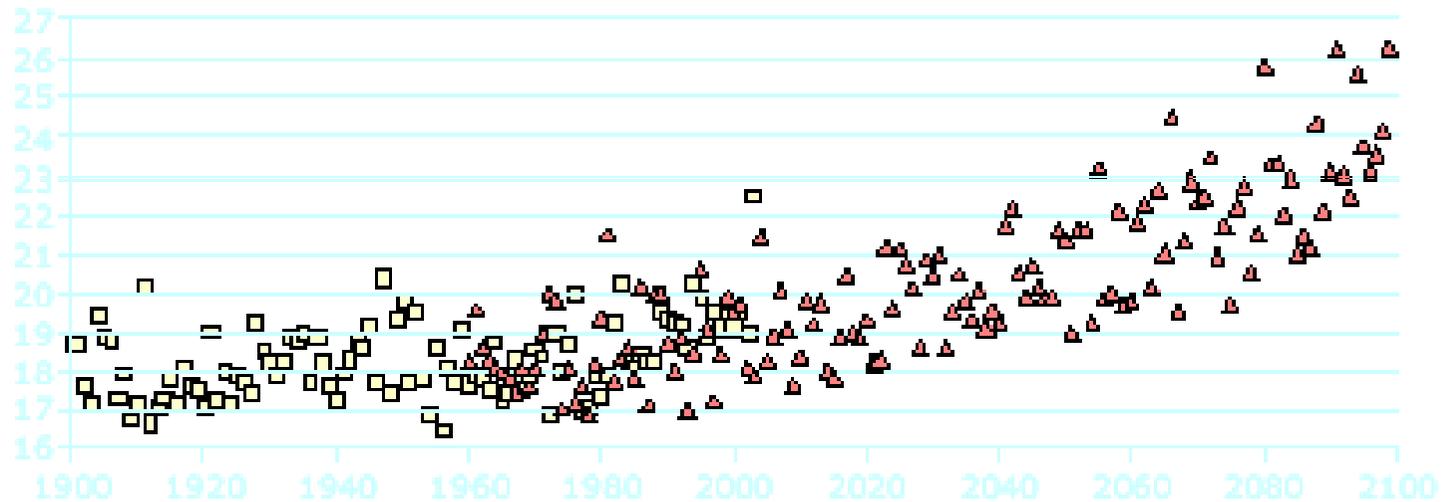
+1.8°C



Probabilité de températures diurnes  
supérieures à 35°C en été  
Scénario A2

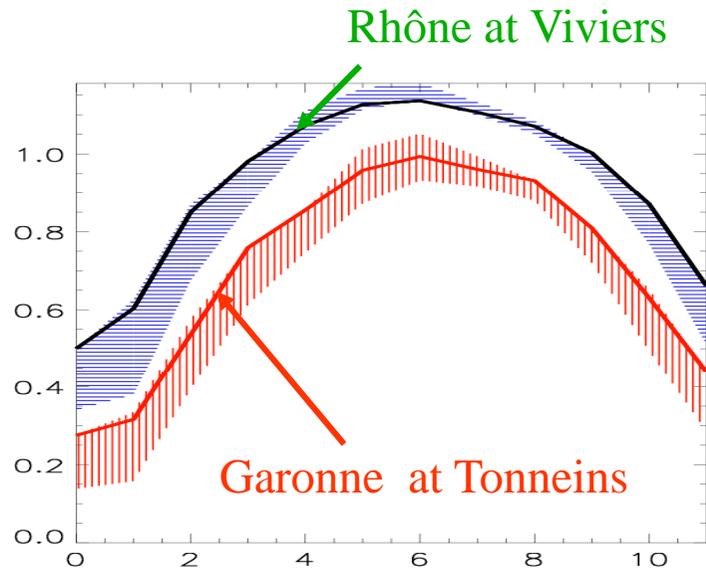


# Summer temperature in France

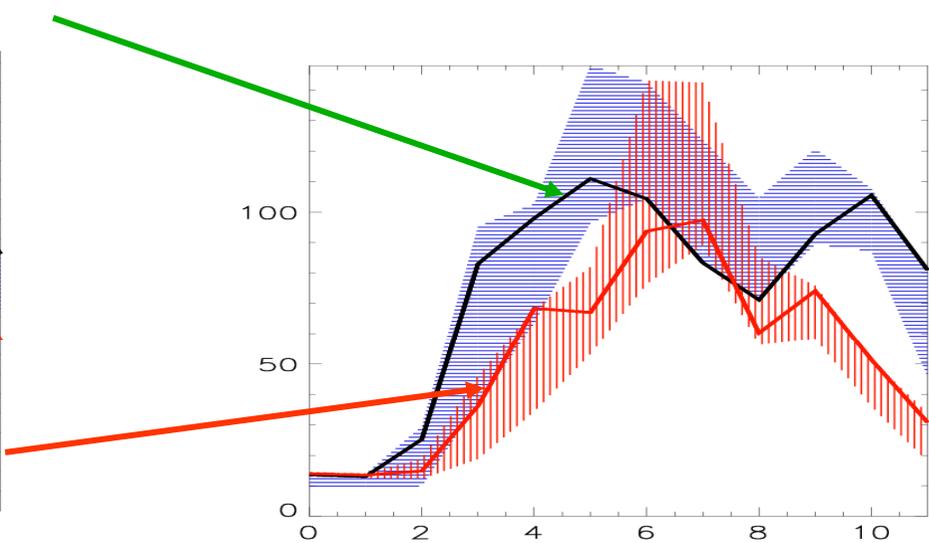


# hydrological impact of climate change

## Soil humidity index



## drainage

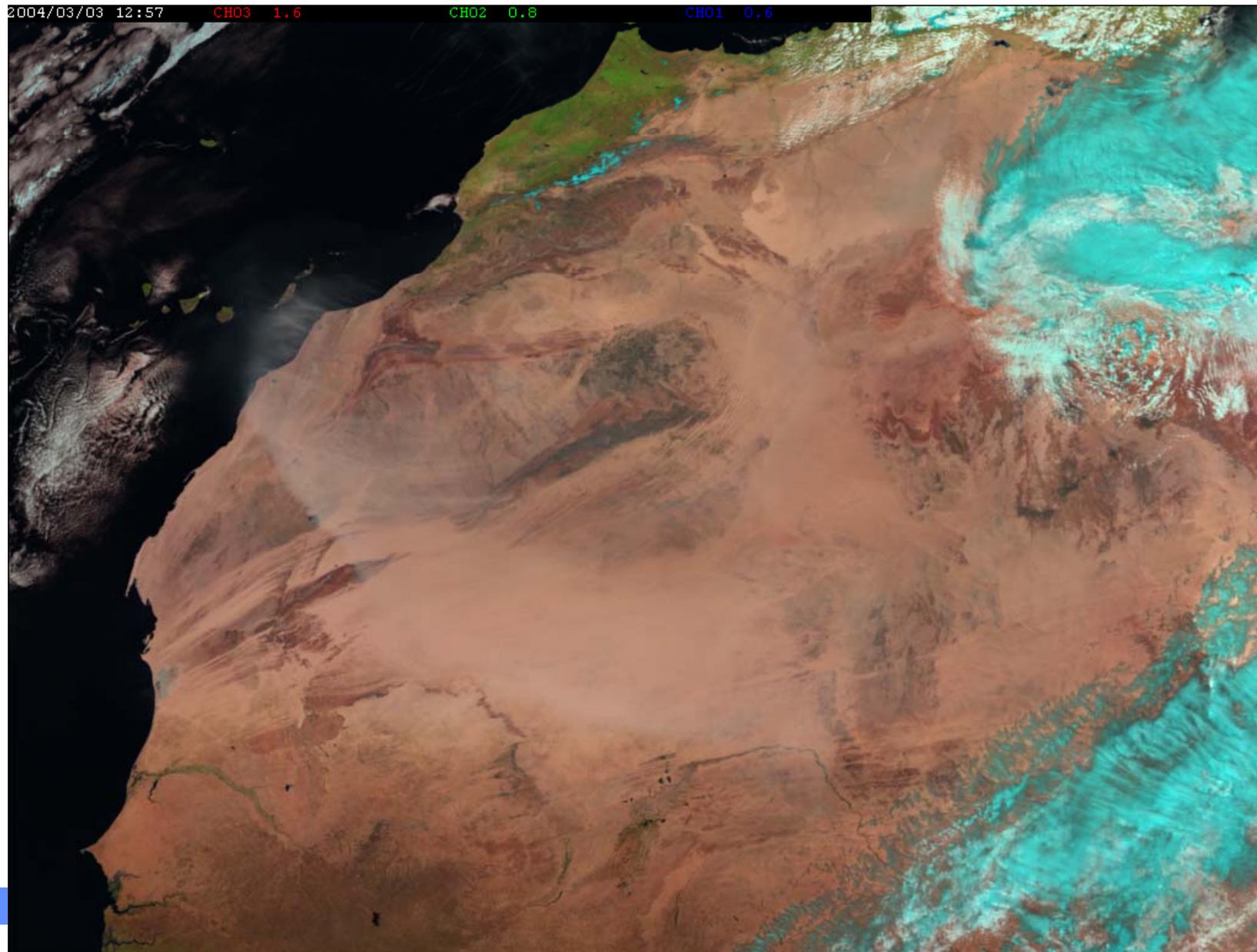


# Conclusion

Climate change is already there :  
chemical composition has changed  
temperature has increased

Climate change will intensify during XXI<sup>st</sup> century

# Aerosol Products - Dust storm during daylight (thanks, J Purdom)



# Aerosol Products - Dust storm day and night (J. Purdom)

