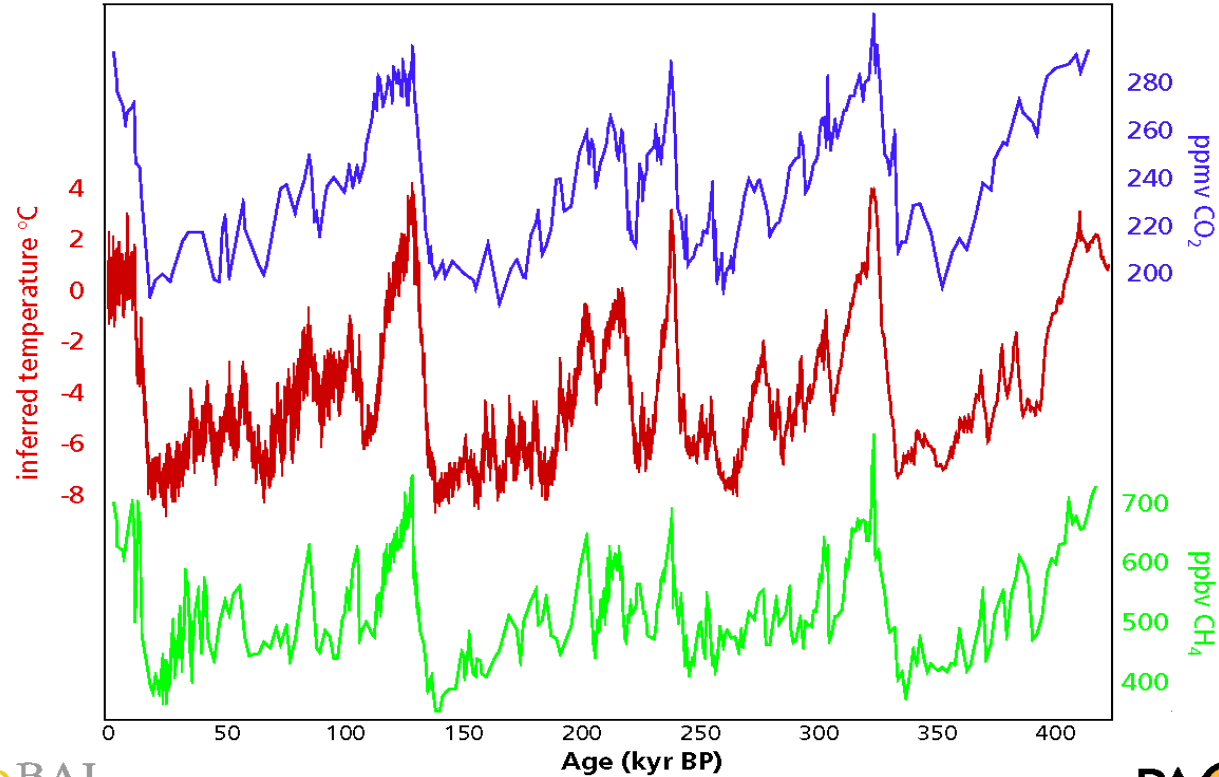


Le climat passé

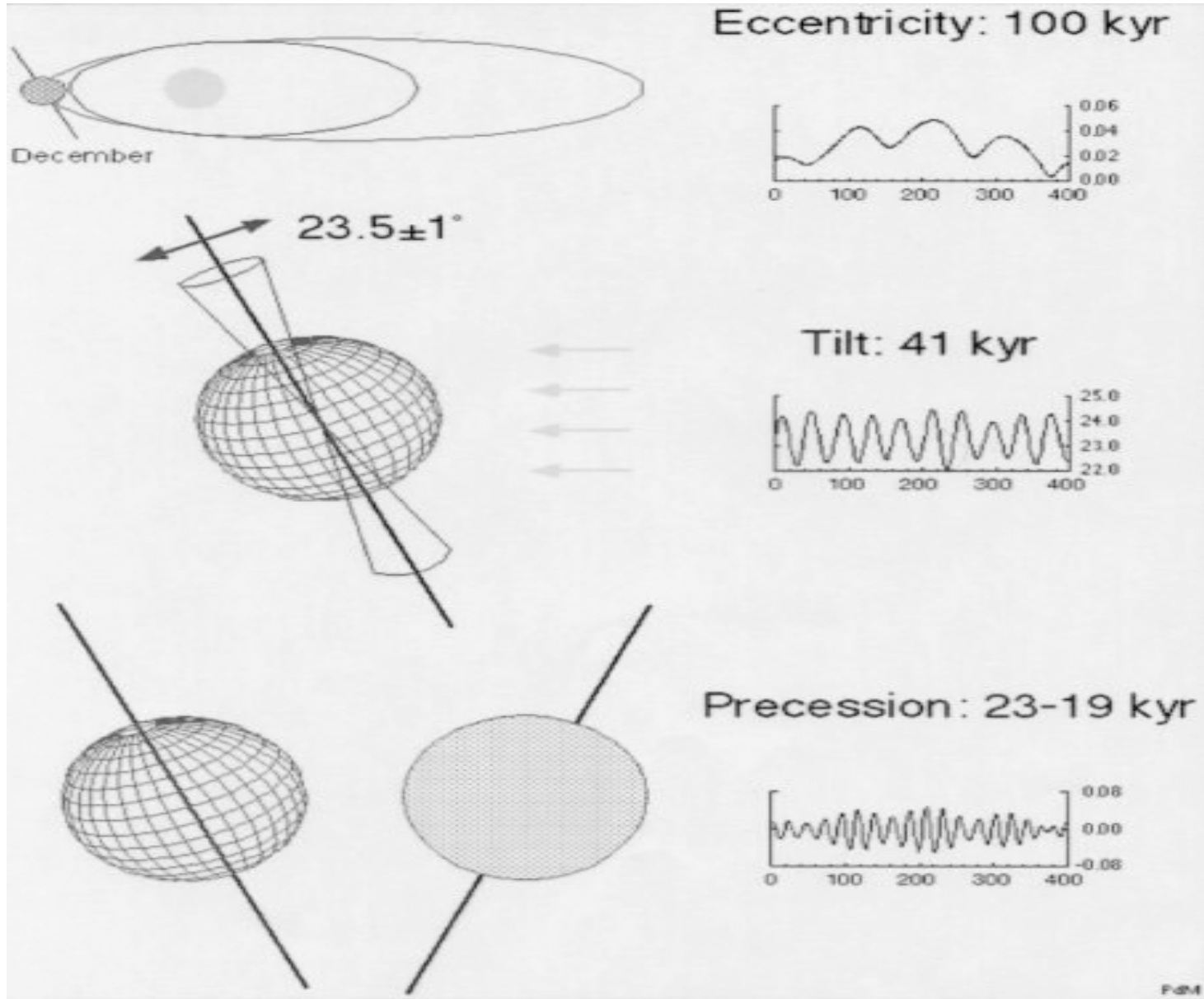
- Carotte polaires
 - Bulles de gaz: analyse des concentrations CO₂, CH₄...
 - Rapports isotopiques (O¹⁸/O¹⁶, D/H) → températures
O¹⁸/O¹⁶ ↑ T ↓
1 millions d'années précision de l'ordre de l'année
- Coraux fossiles
- Sédiments marins

Evolution des émissions I

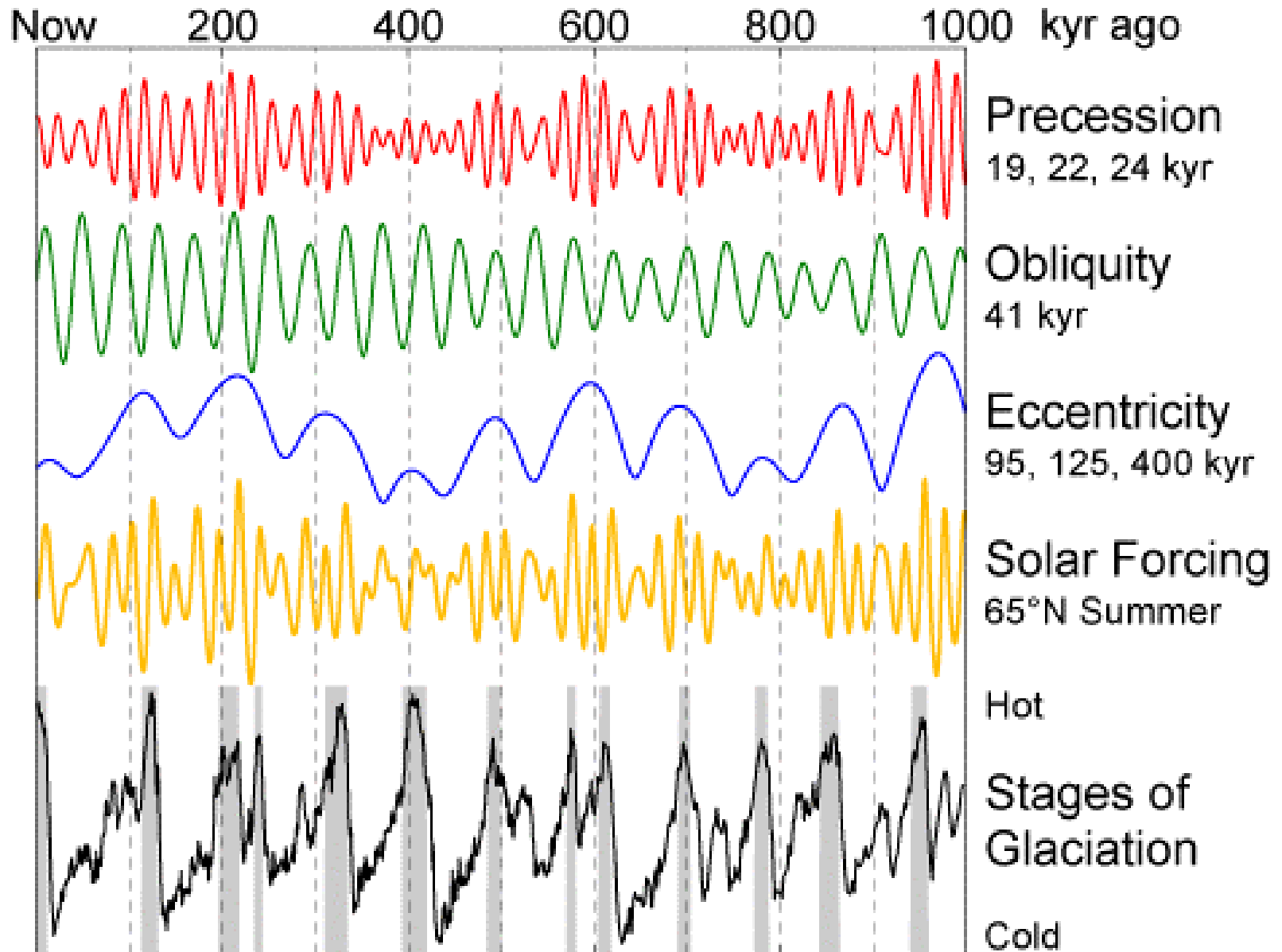
4 glacial cycles recorded in the Vostok ice core



Paramètres astronomiques



Cycles de Milankovitch(Berger)



Séquences de réchauffement

Berger et al.

1. Augmentation de l'insolation aux hautes latitudes l'été
2. Diminution de la surface de la banquise d'été
3. Baisse de l'albedo
4. Augmentation du transfert de chaleur solaire
5. Réchauffement des eaux et de l'air
6. Dégazage du CO₂ (CH₄) dissout dans l'eau
7. Réchauffement de la surface (effet de serre)
8. Extension de la forêt boréale
9. Diminution de l'albedo hivernale
10. Réchauffement
11. Allez en 2

Séquences de réchauffement

Raynaud et al. (Grenoble)

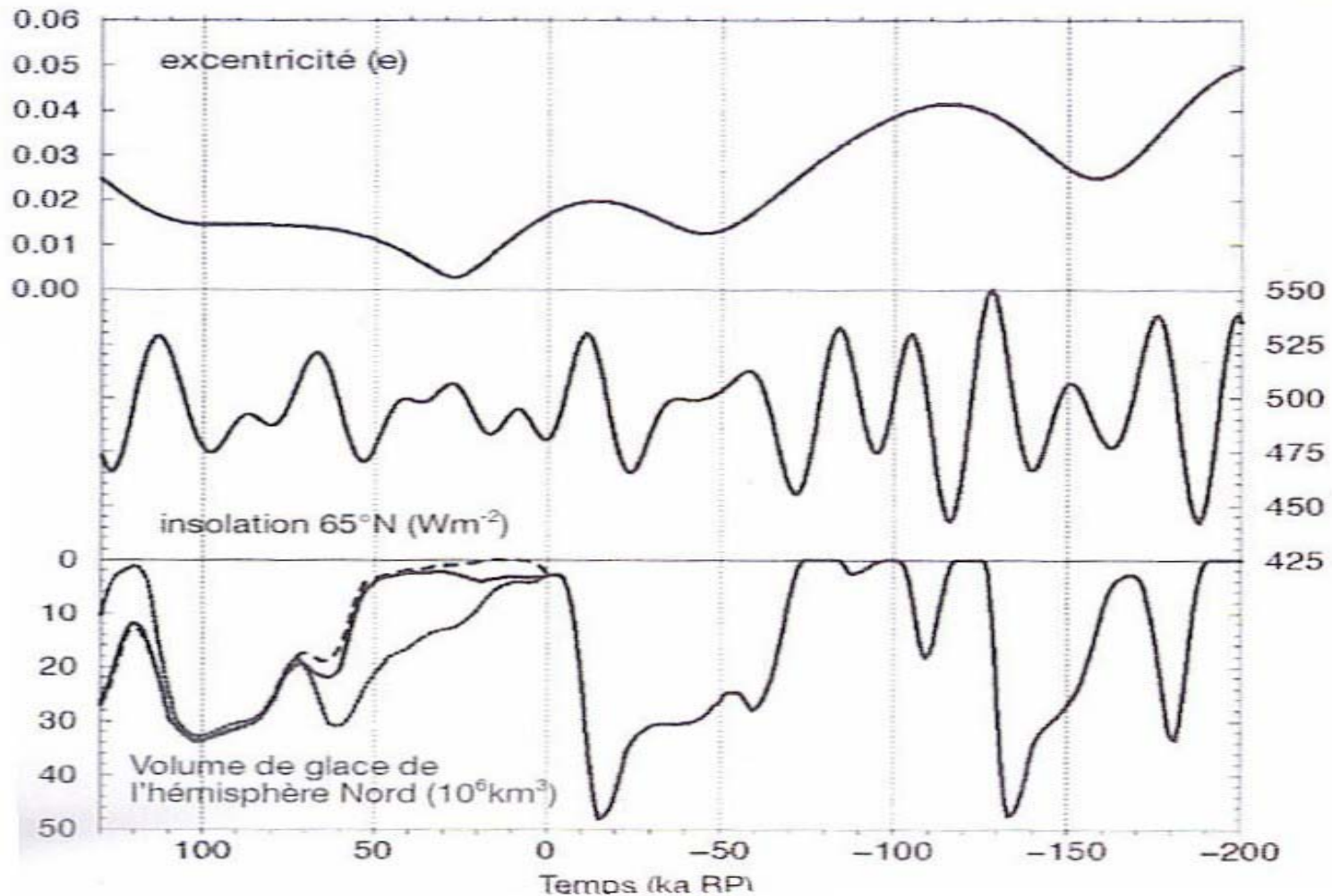
Le réchauffement commence dans l'hémisphère Sud
augmentation de la concentration en CO₂
avant la fonte des calottes glaciaires du Nord.

Forçages radiatifs estimés:

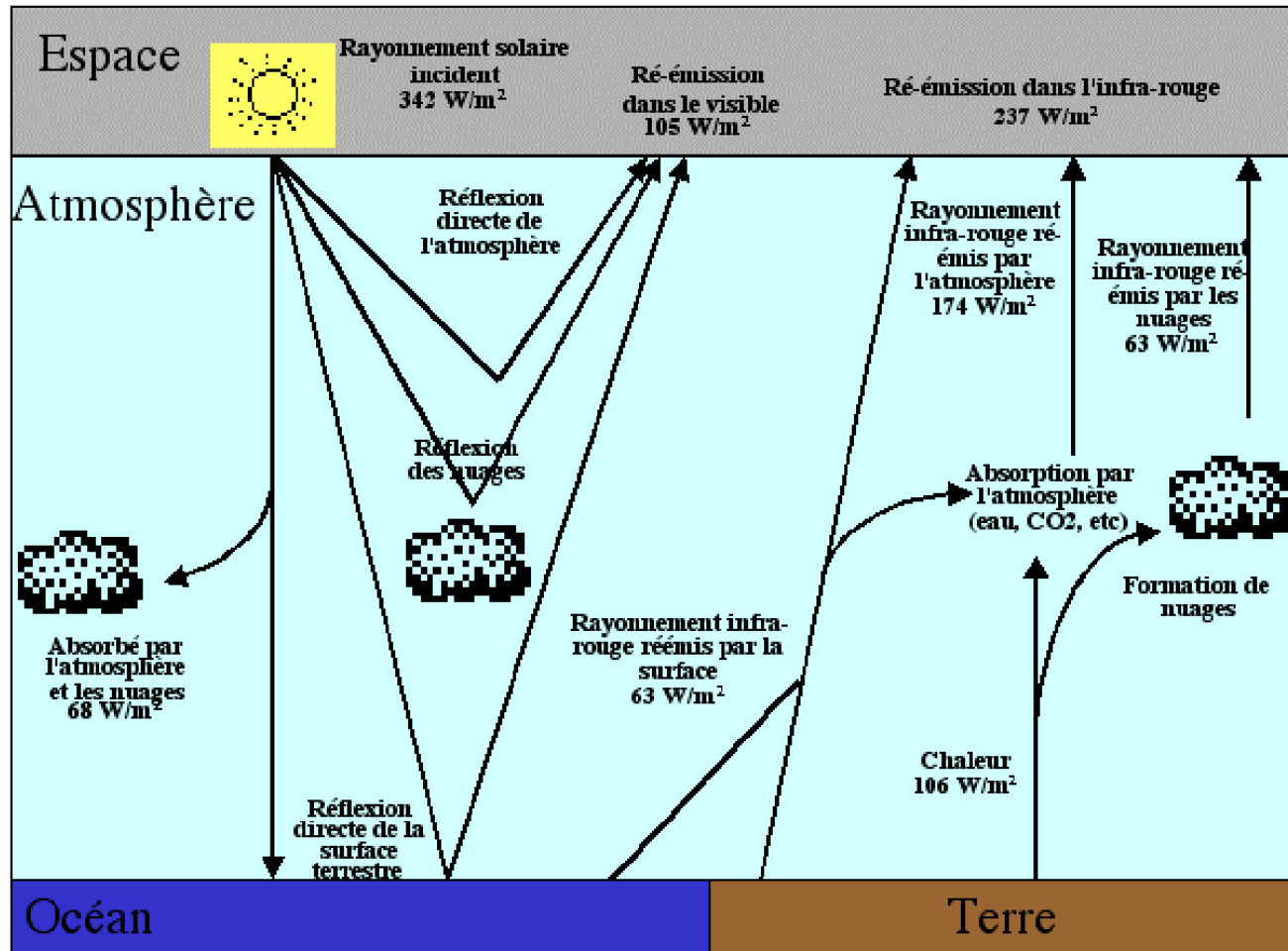
- Insolation moyenne: 0,014 W/m²
- Effet de serre (CO₂+CH₄+NO₂): 2,6 W/m²
- Albédo (glaciers+végétation): 3,5 W/m²
- Total: 6,5 W/m² pour $\Delta T=5$ d°C

L'état normal est la glaciation mais lent à atteindre
après un épisode chaud

Sommes nous au début d'une glaciation?



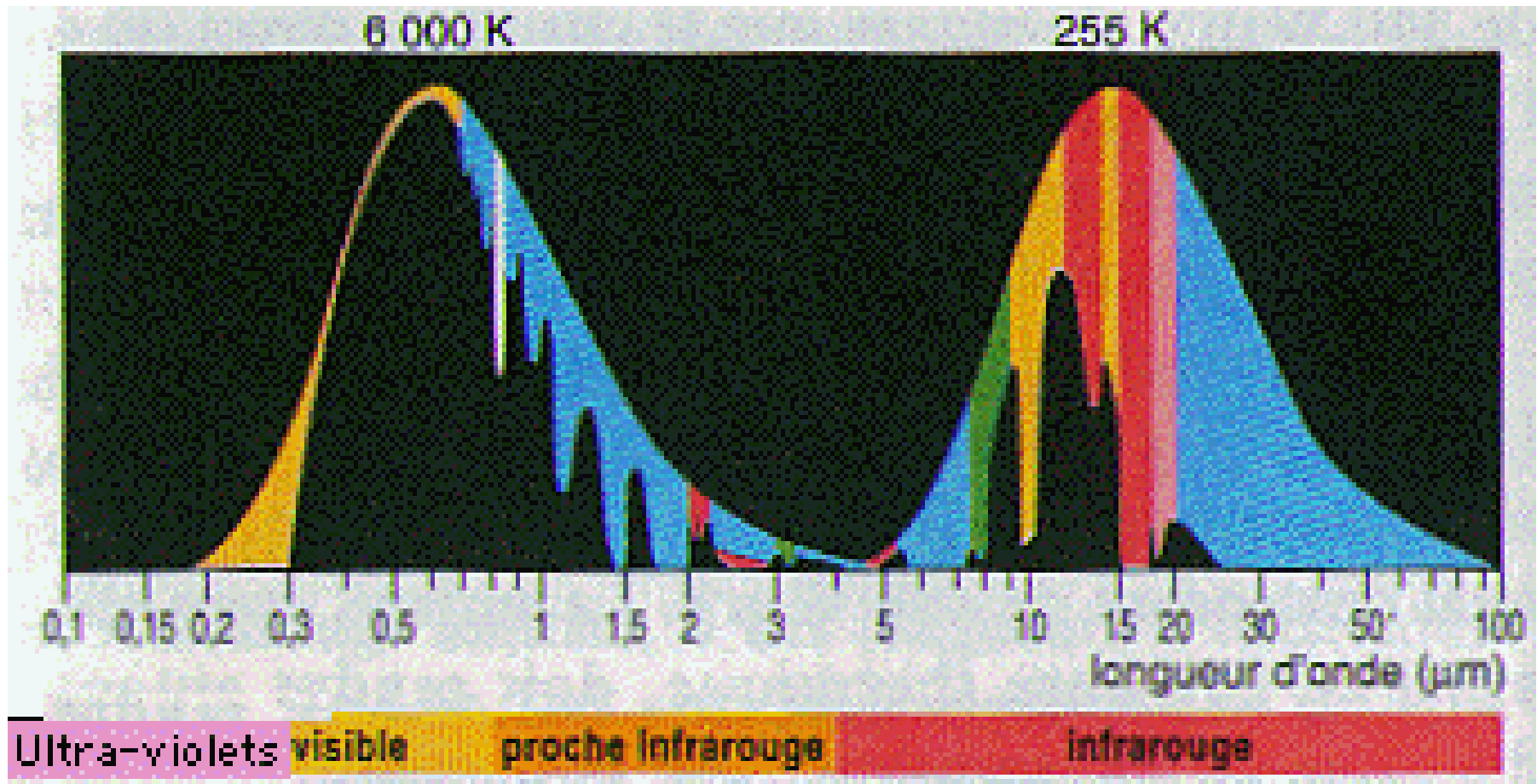
L'effet de serre



Absorbé par la surface
 169 W/m^2

Transparence de l'atmosphère

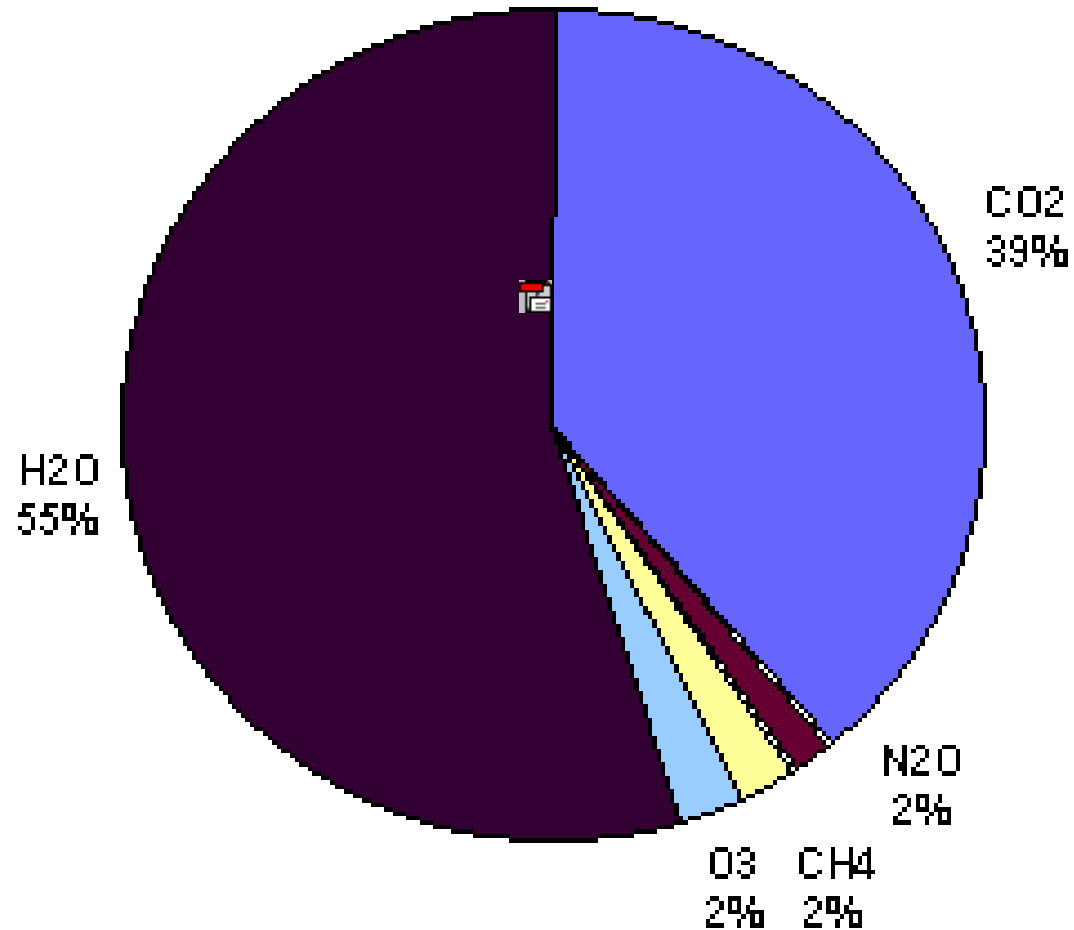
CO₂ H₂O CH₄ N₂O O₂ O₃



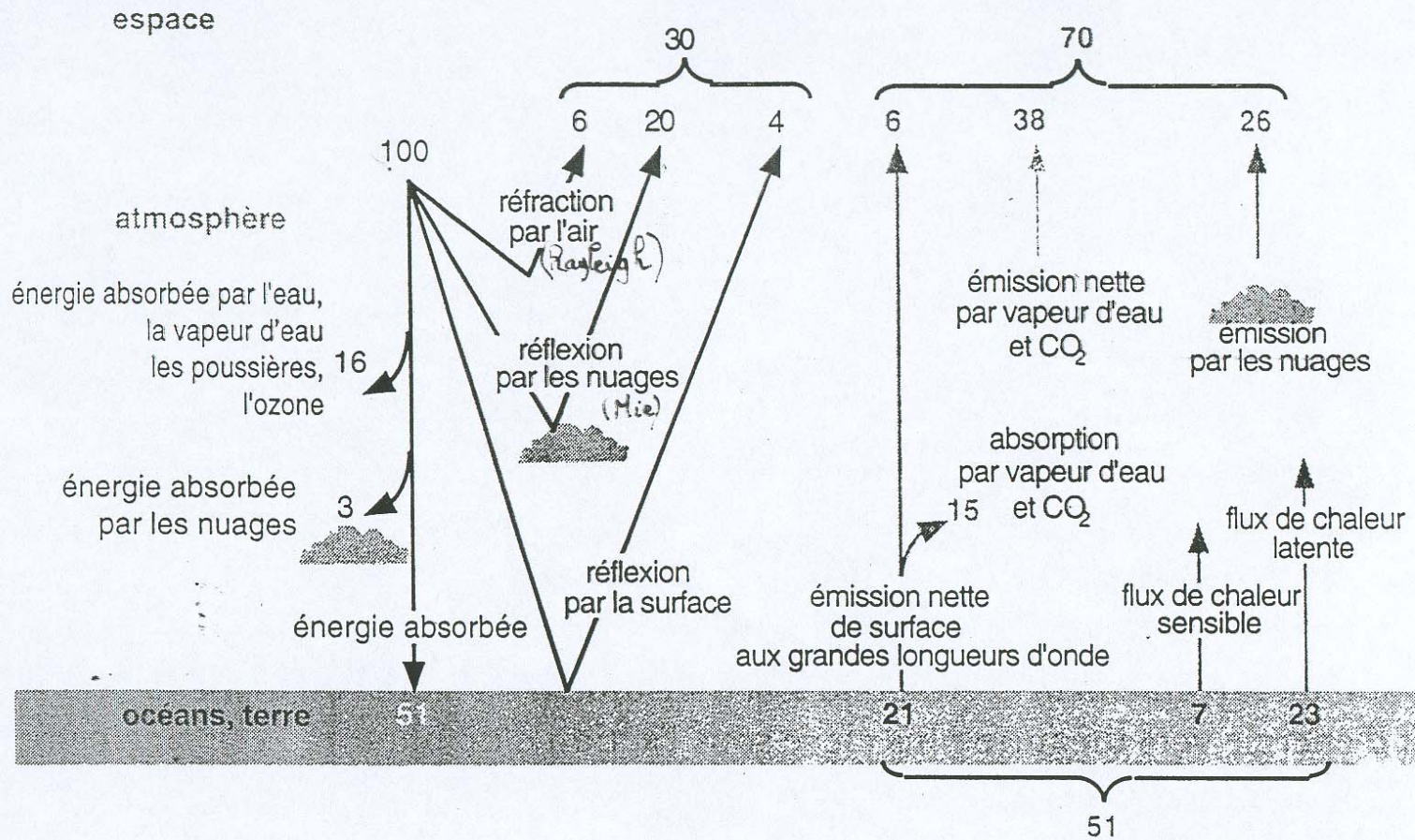
Mesure des rejets de GES

- GES=Gaz à effet de serre
- Rejets de CO₂ mesurés en poids de Carbone rejeté sous forme de CO₂
 - 1 tonne équivalent Carbone=3,6 tonnes de CO₂
- Rejets des autres gaz calculés en équivalent CO₂
 - Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)
 - $\text{PRG}(\text{CH}_4)=60 \text{ PRG}(\text{CO}_2)$
 - $\text{PRG}(\text{NO}_2)=275 \text{ PRG}(\text{CO}_2)$

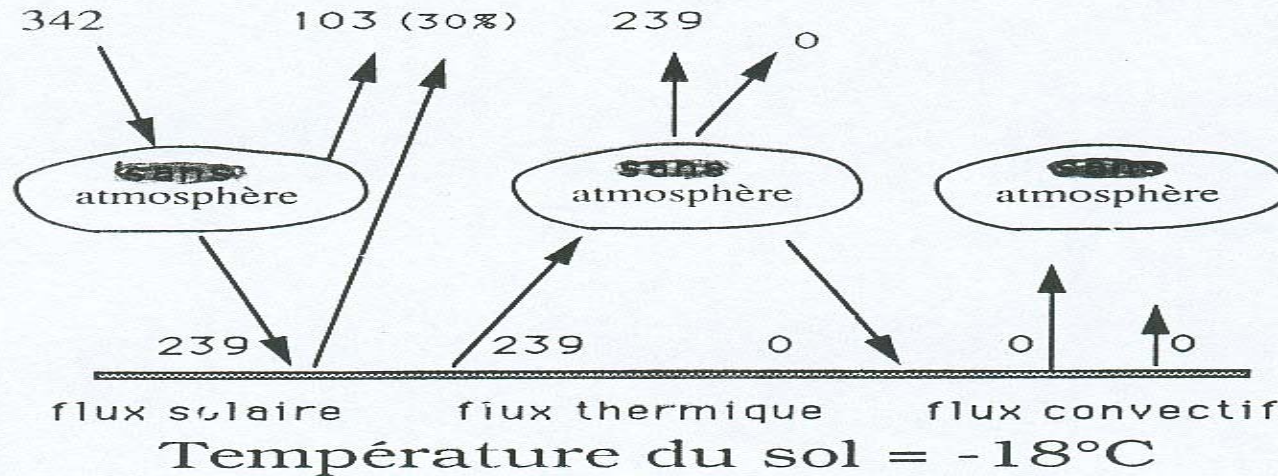
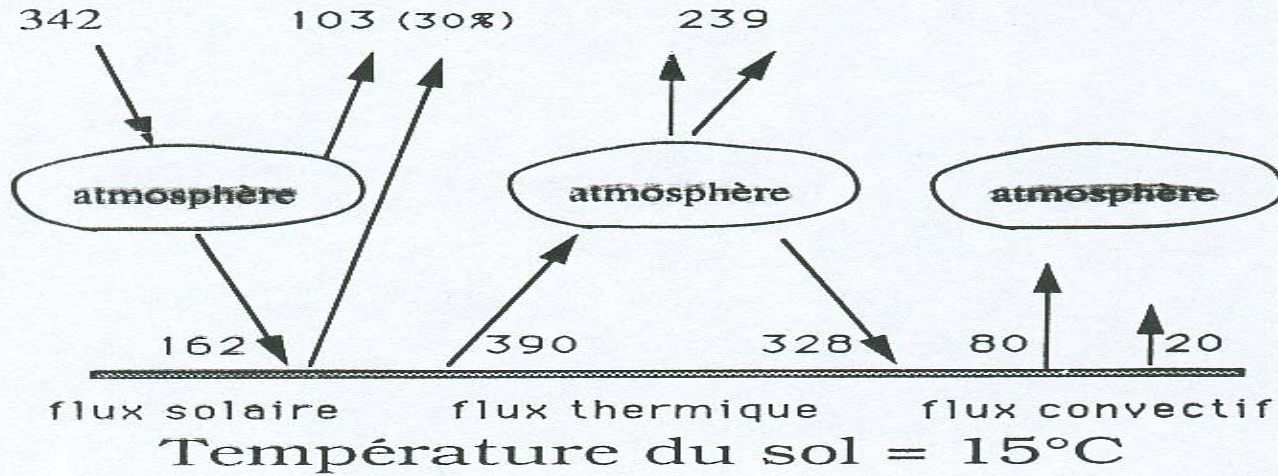
Contribution des gaz à l'effet de serre (GES)



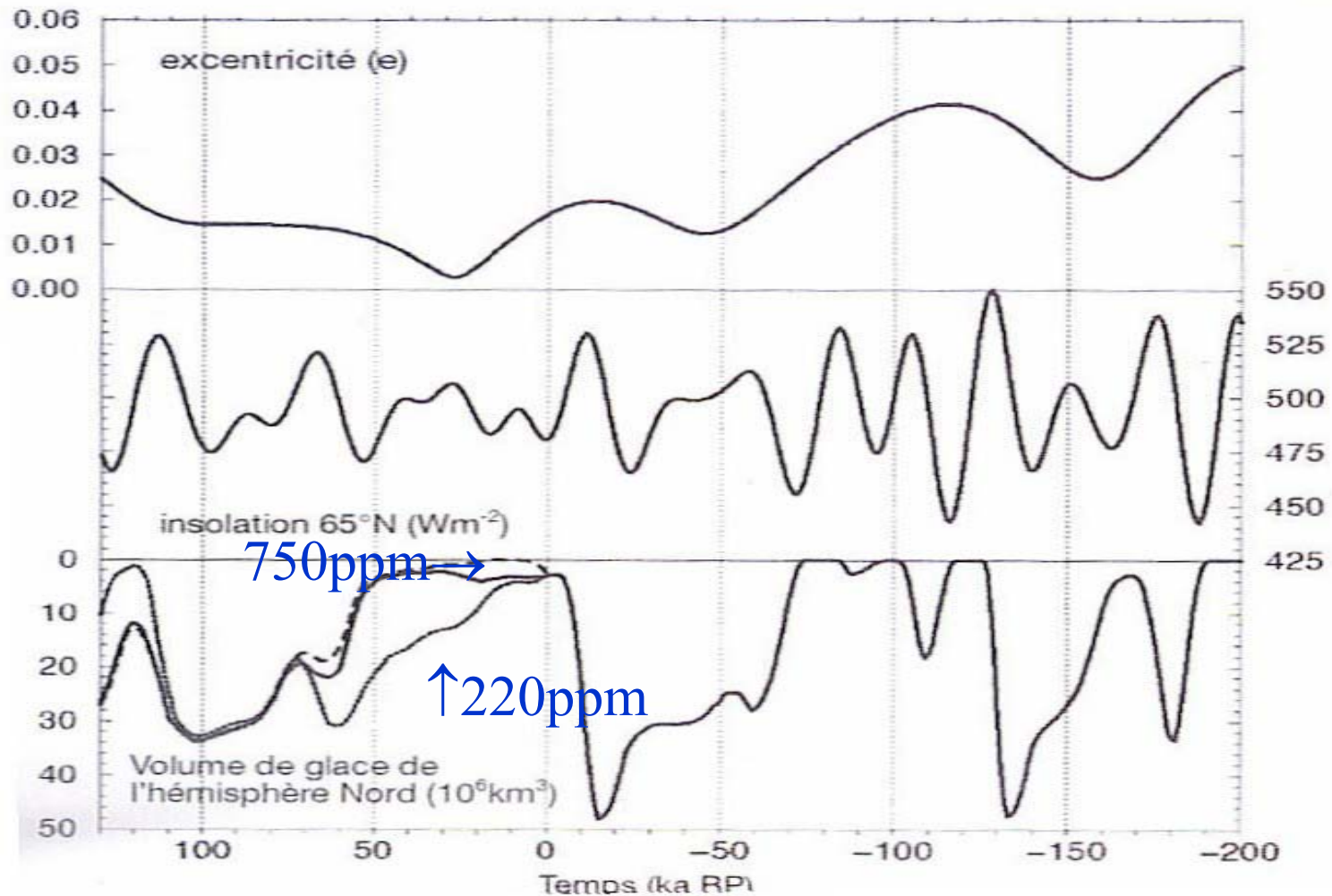
Bilan radiatif 1



Influence des gaz à effet de serre



Influence de la concentration CO₂ sur la masse de glace



Structures climatiques

Structures de la circulation atm.

20 2. Physical Description of the Climate System

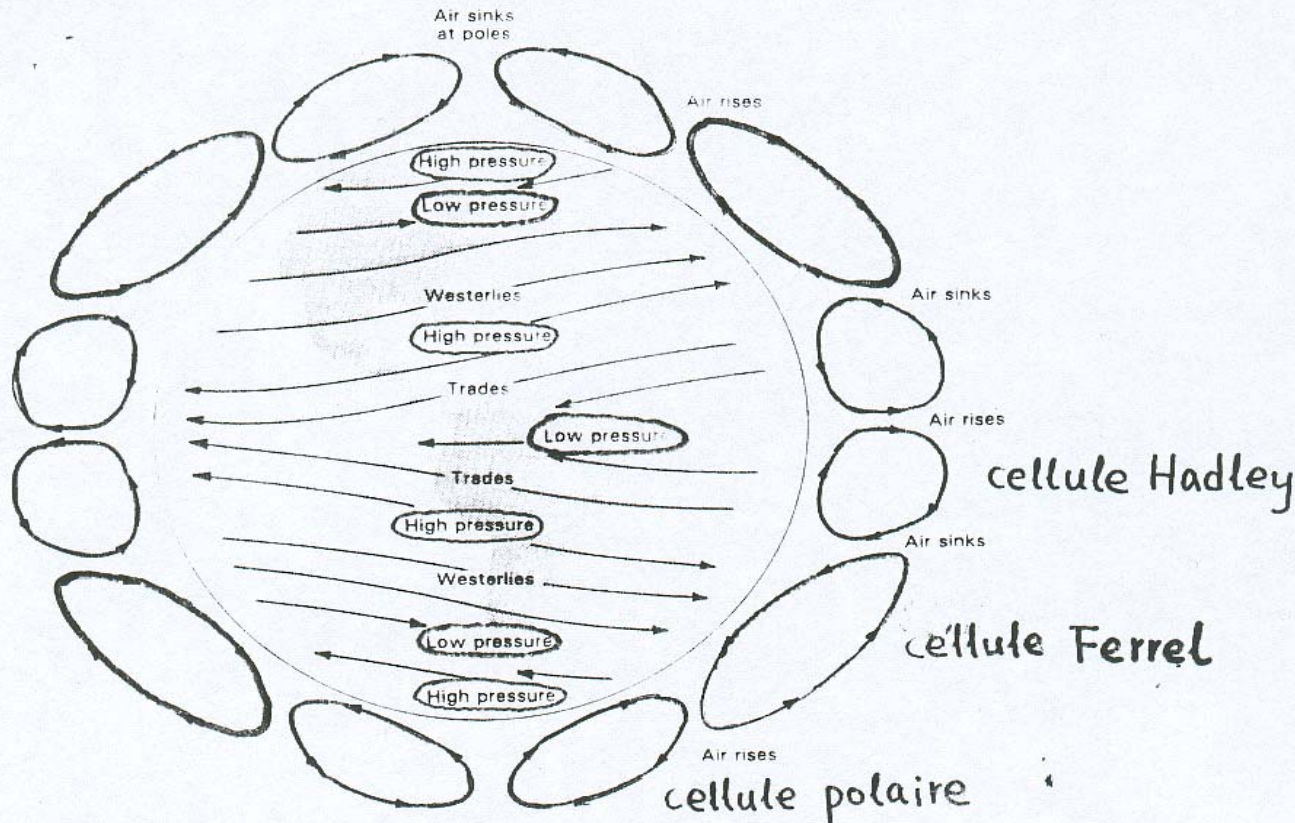


Fig. 2.6 Schematic of the earth's generalized, large-scale meridional and low-level circulation patterns. [From Battan (1979).]

Hadley cell is driven by solar heating, causing rising motion near

Systeme des vents

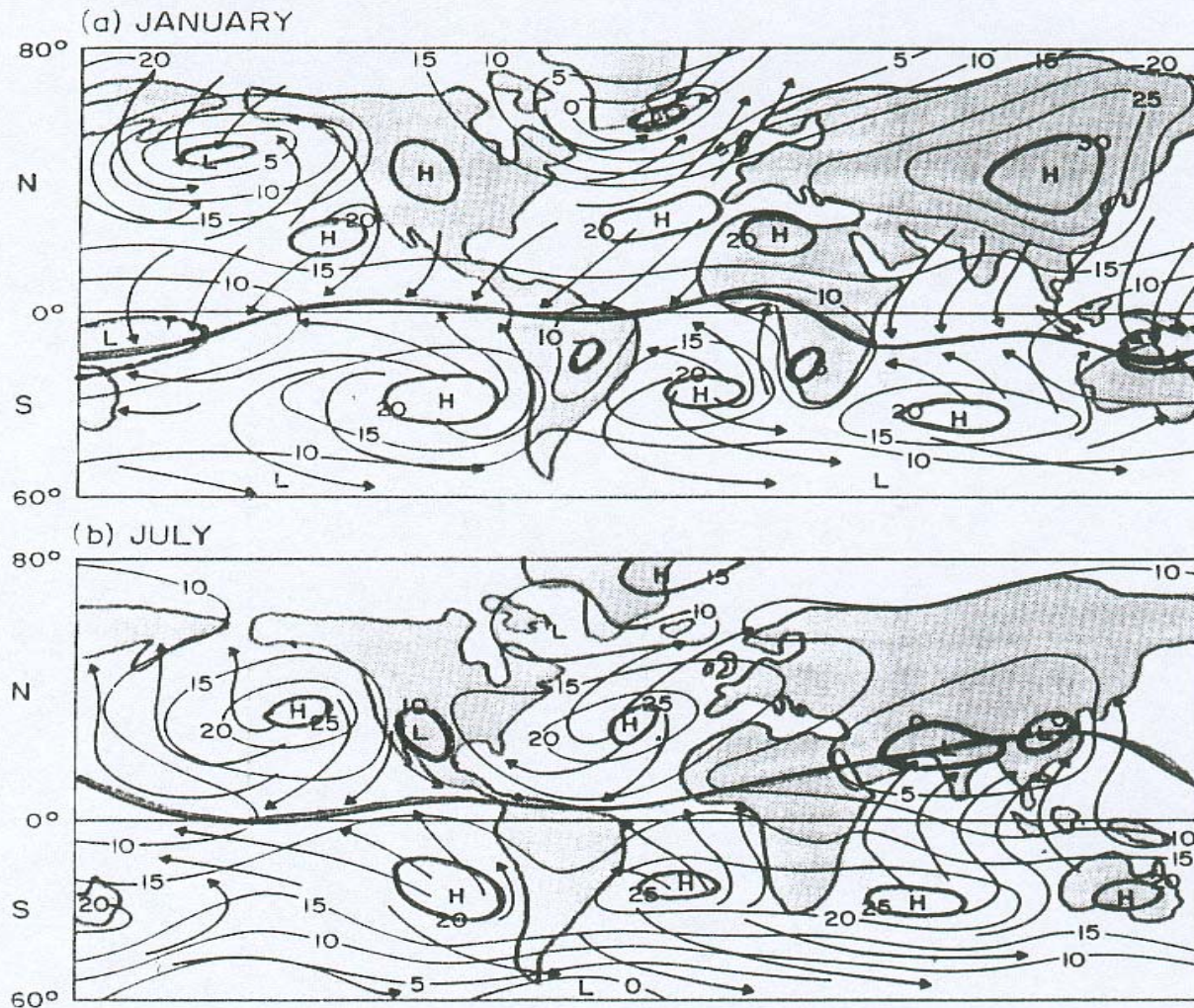


Fig. 2.7 Average surface winds and sea level pressures (in mb above 1000 mb) for (a) January and (b) July. [Redrawn from Riehl (1978).]

Régimes météo

3.3. LIENS AVEC LA VARIABILITÉ HAUTE-FRÉQUENCE : LA NOTION DE RÉGIMES DE TEMPS

93

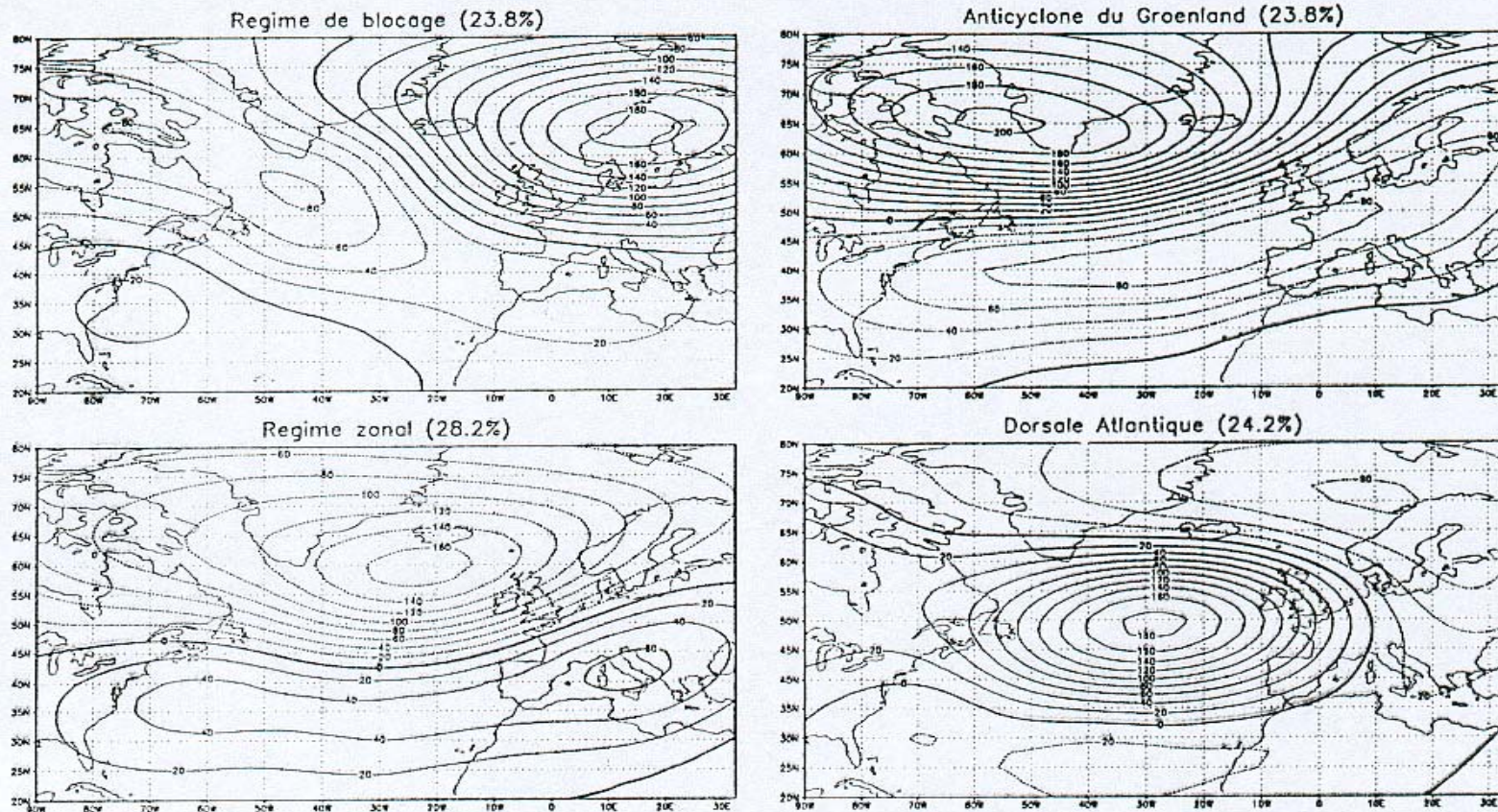
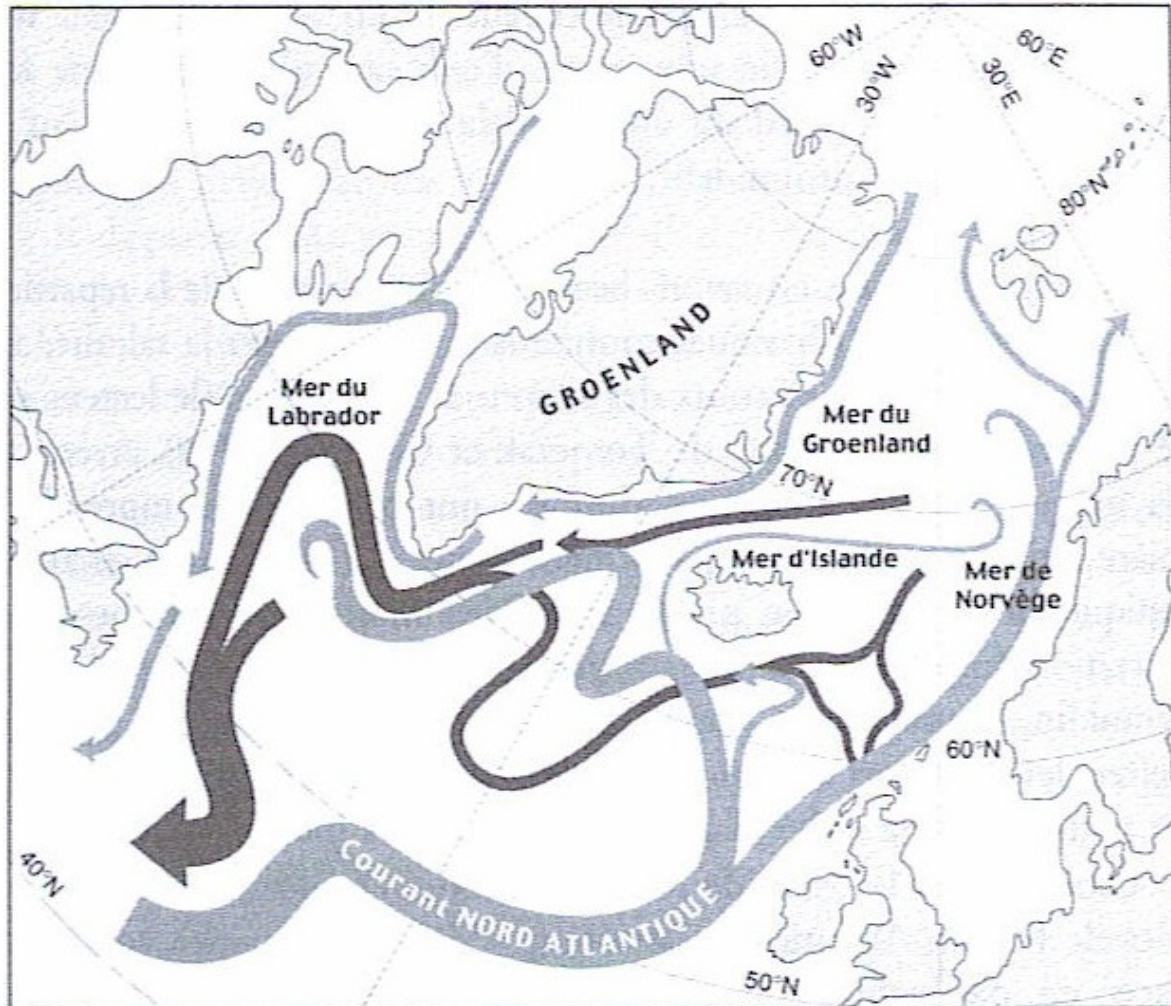


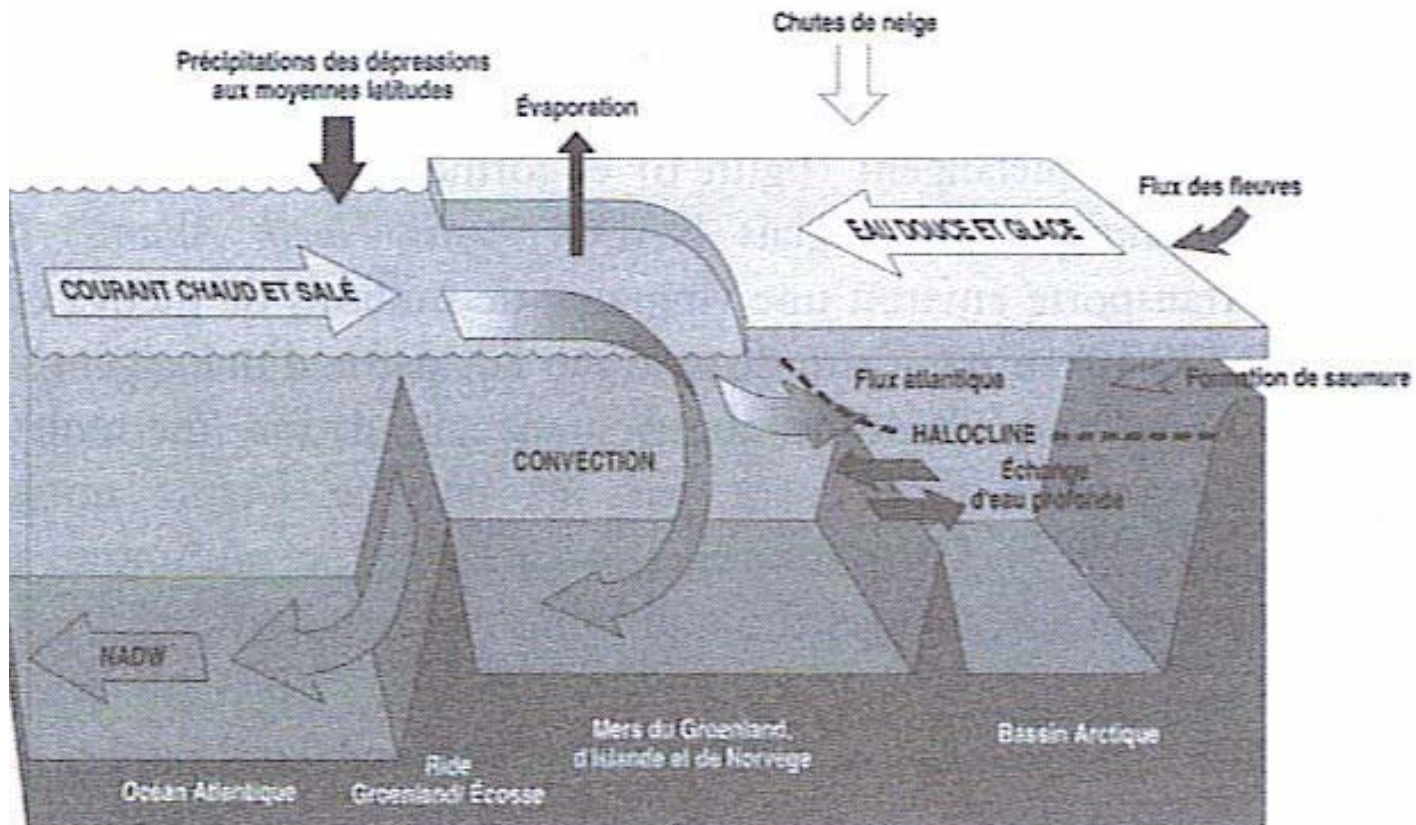
FIG. 3.11 – Les 4 régimes de temps déterminés dans les réanalyses du NCEP (DJF, 1966-1997). Ils sont représentés en terme d'anomalies de z500 par rapport à la moyenne sur toute la période étudiée. Le % de population par régime de temps est indiqué pour chaque figure. L'intervalle de contour est de 20 m.

Circulation océanique

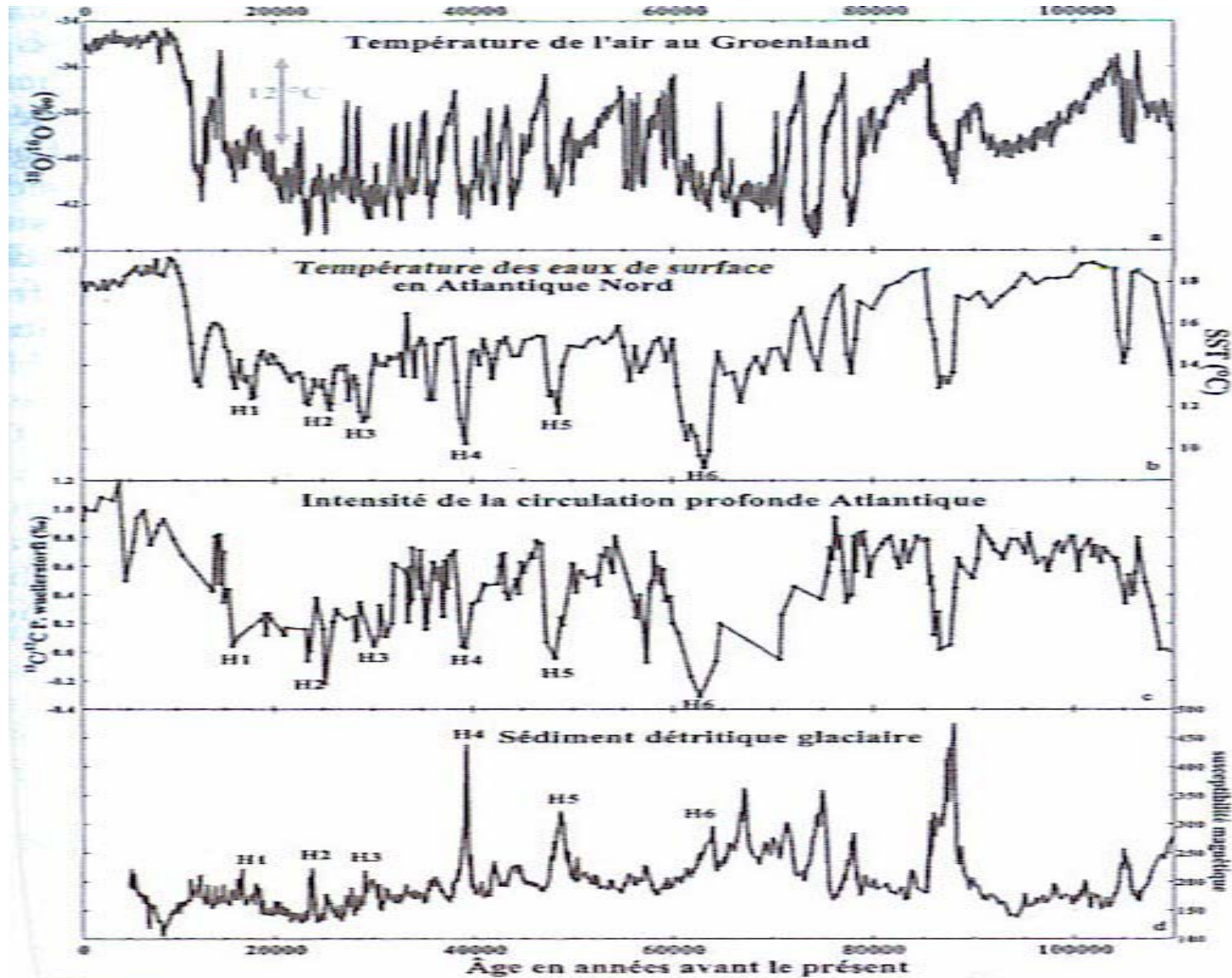
Thermohaline 1



Thermohaline 2



Oscillations rapides



Oscillations rapides 2

1. Evènements chauds: Darmsgaard-Oeshler
Relâchement de CH₄? Avalanches sous-marines?
2. Evènements froids: Heinrich
Afflux d'eau froide. Rôle de la calotte Laurentienne

Systeme climatique

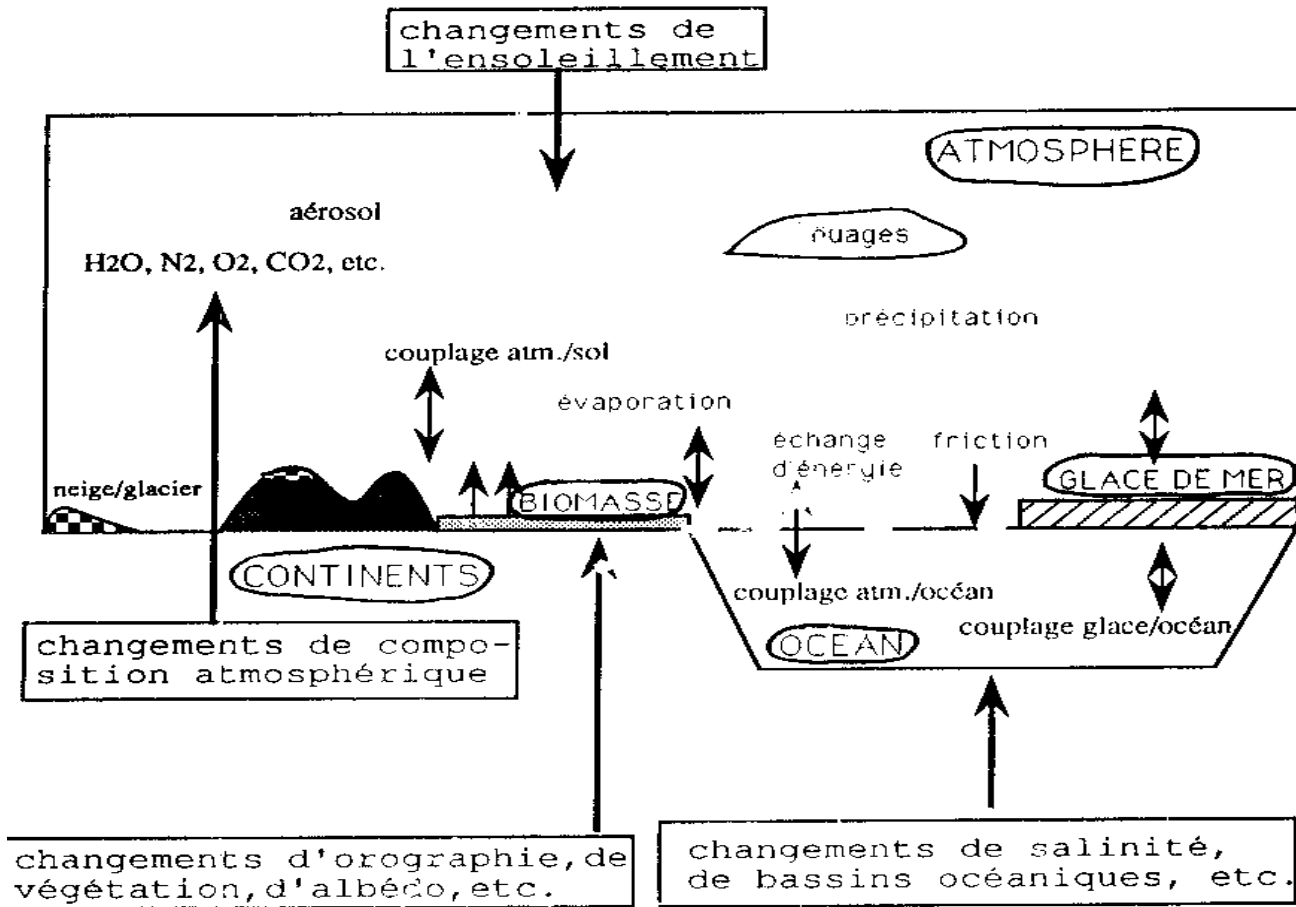
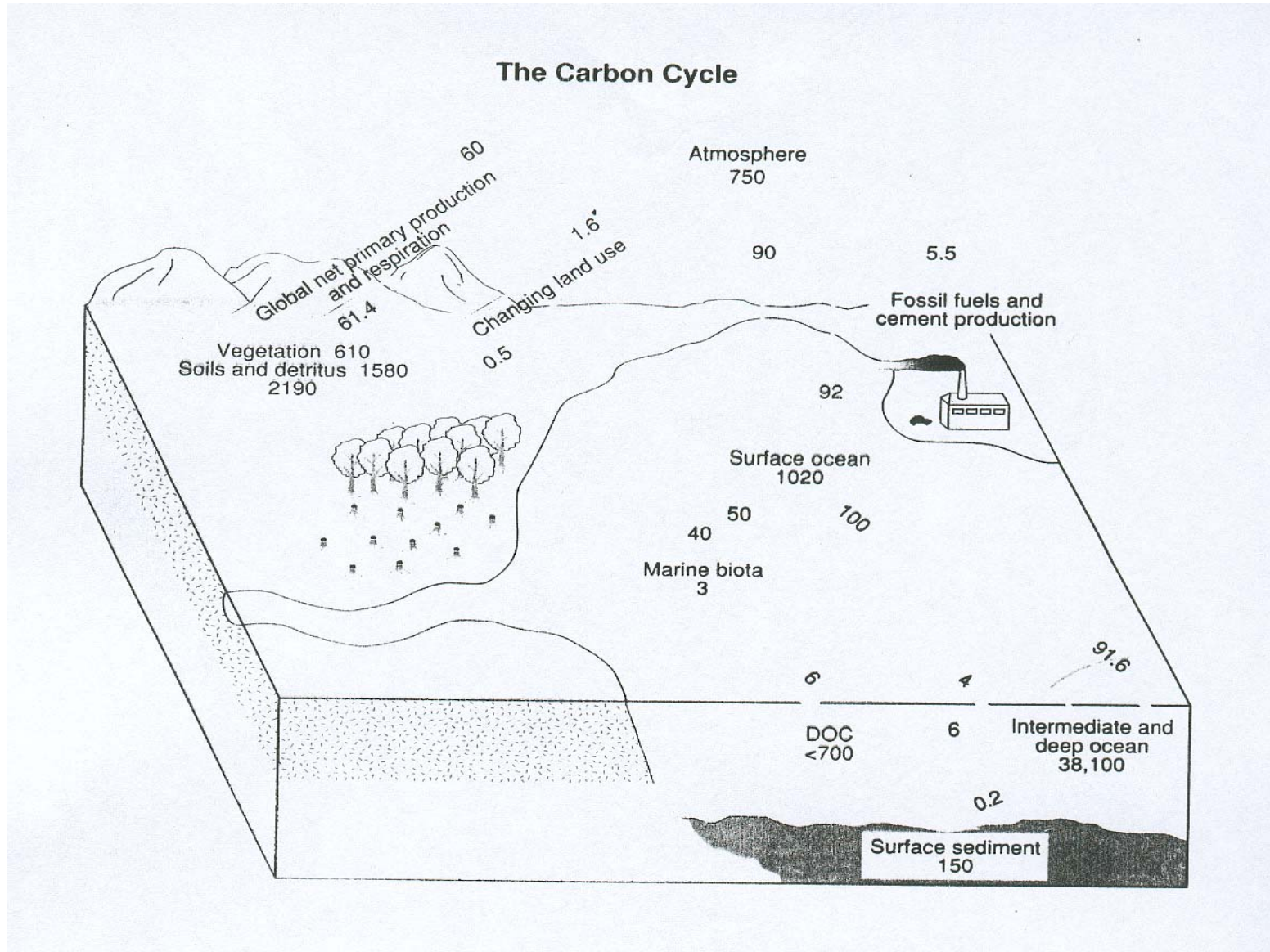


Illustration schématique des composantes du système climatique

Réchauffement vous avez dit
réchauffement?

Cycle du Carbone



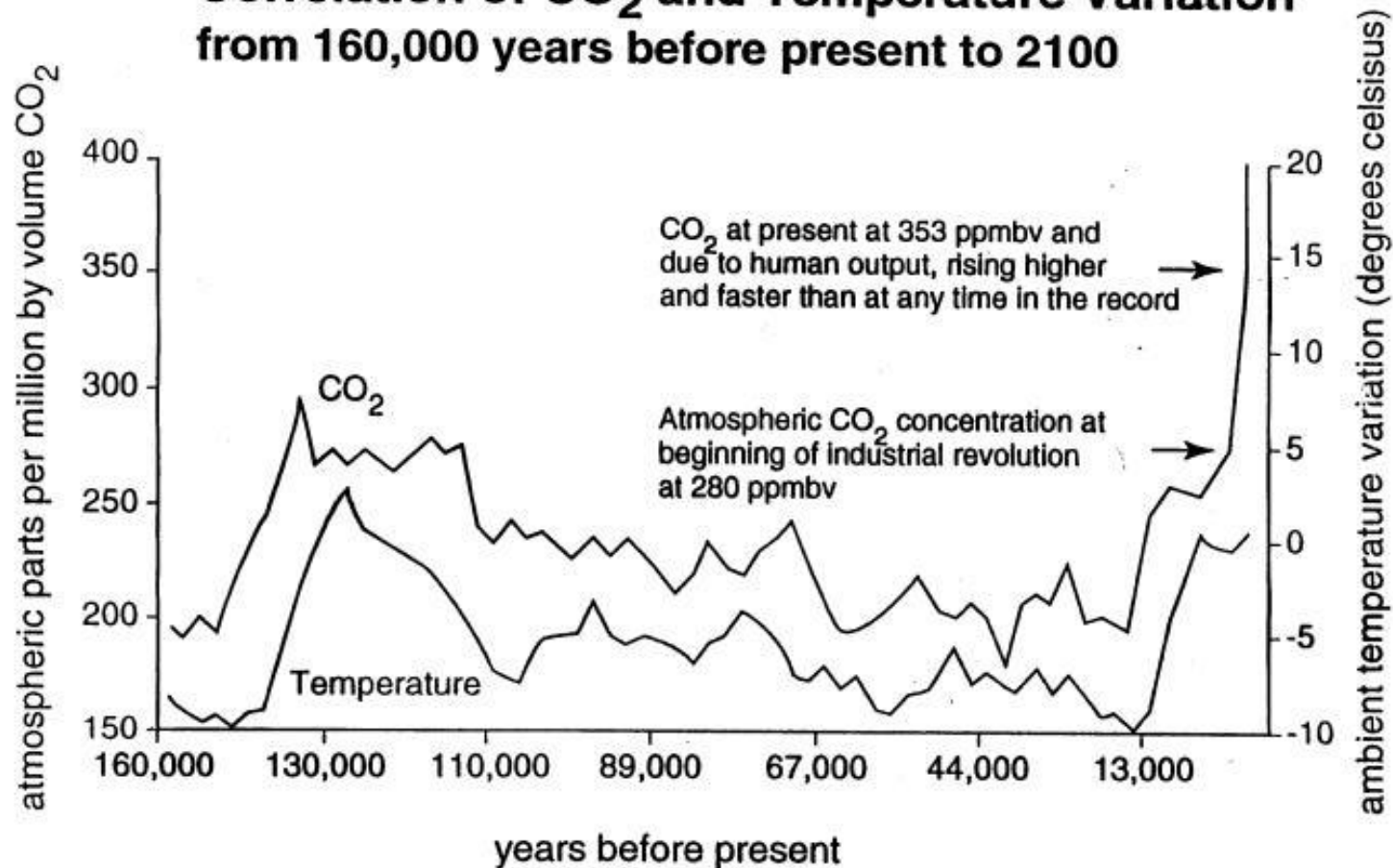
L'accumulation du CO₂

Une baignoire déborde si le débit du robinet excède celui de l'écoulement, même d'une petite quantité.

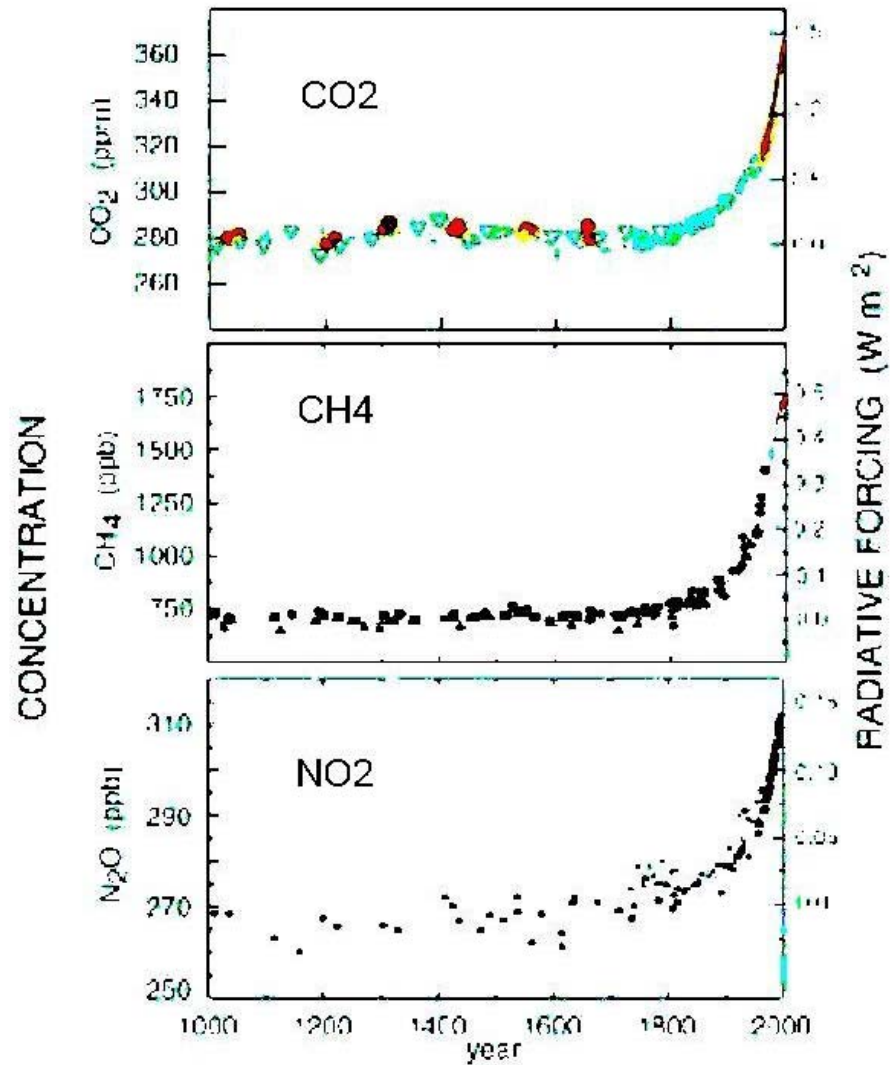
- Le débit d'écoulement de la « baignoire »
atmosphérique = 70(normal) + 3 GtC/an
- Le débit du robinet = 70(normal) + 6 GtC/an
- Chaque année le volume de CO₂ dans l'atmosphère augmente de 3 GtC/an

Evolution des émissions II

Correlation of CO₂ and Temperature Variation from 160,000 years before present to 2100



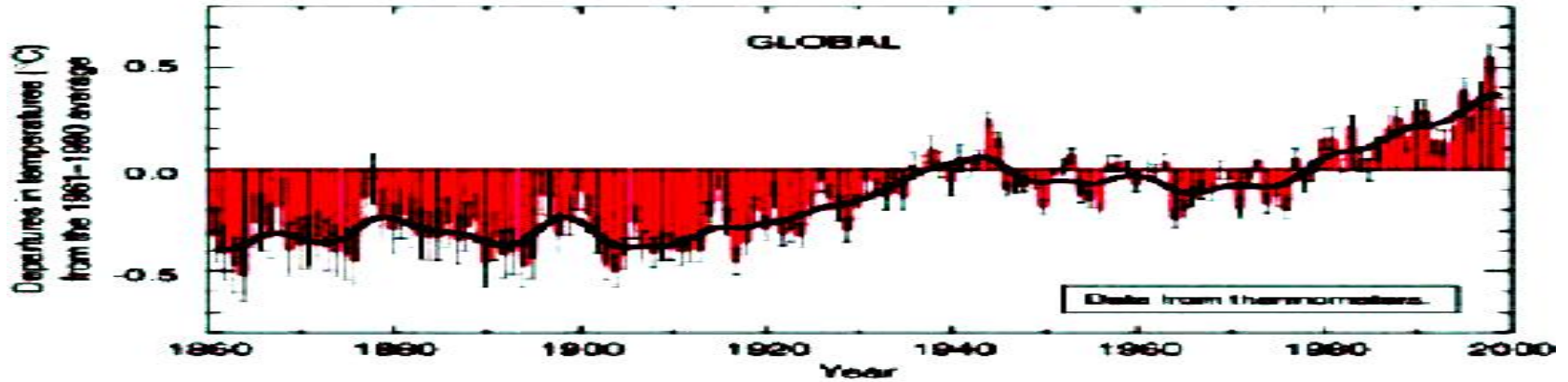
Evolution des concentrations de GES



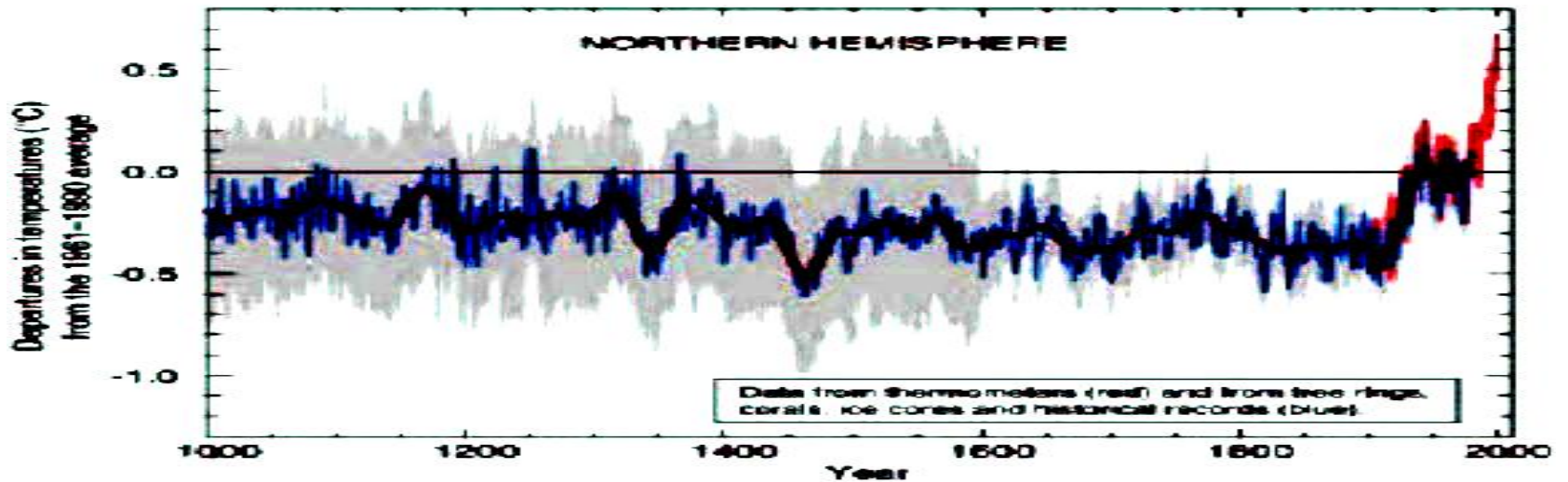
Température de surface

Variations of the Earth's surface temperature for:

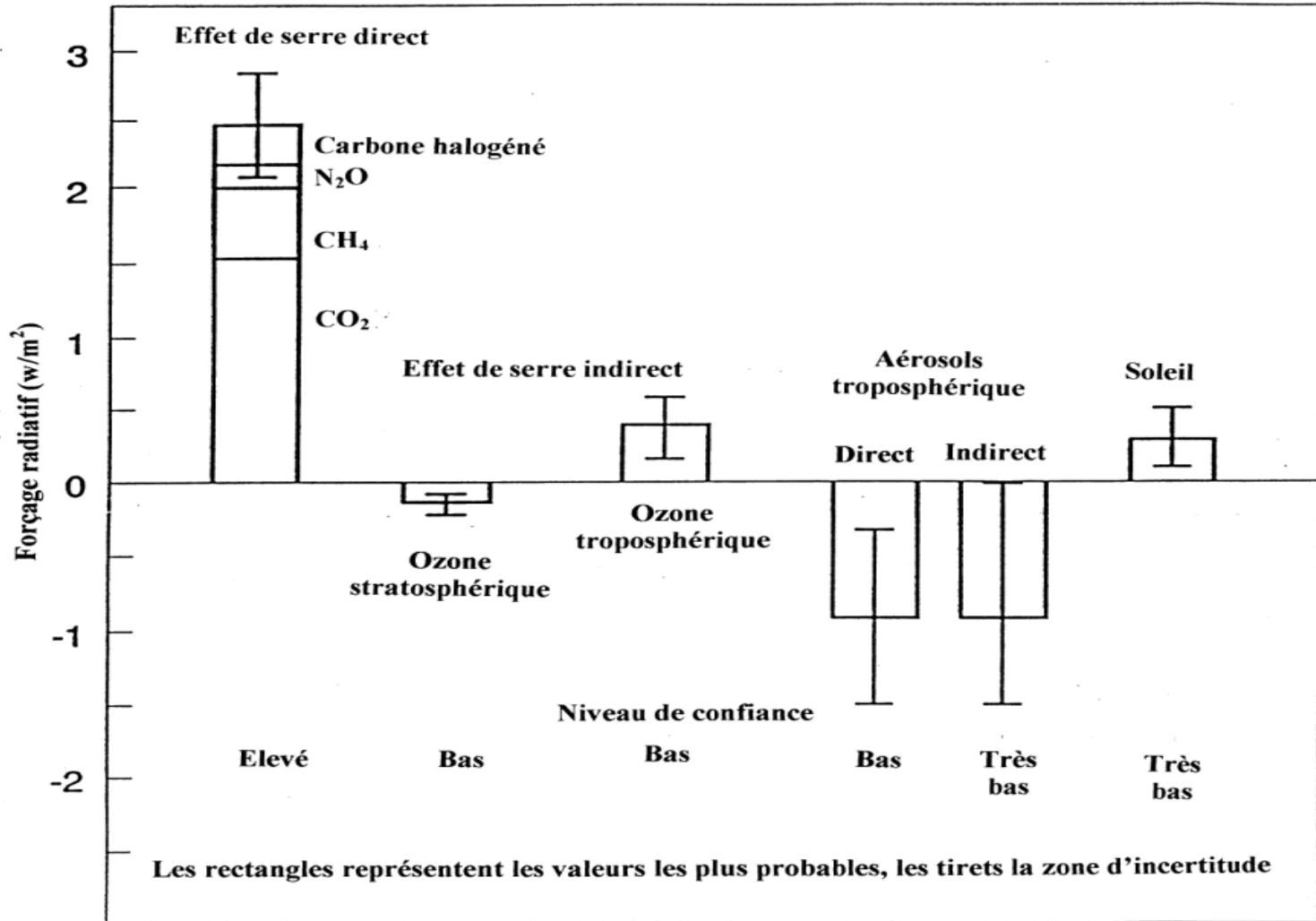
(a) the past 140 years



(b) the past 1000 years



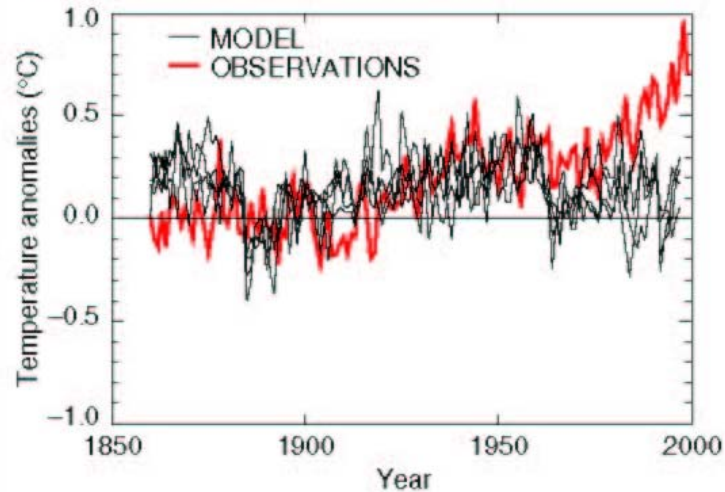
Forçage



Variation de la température

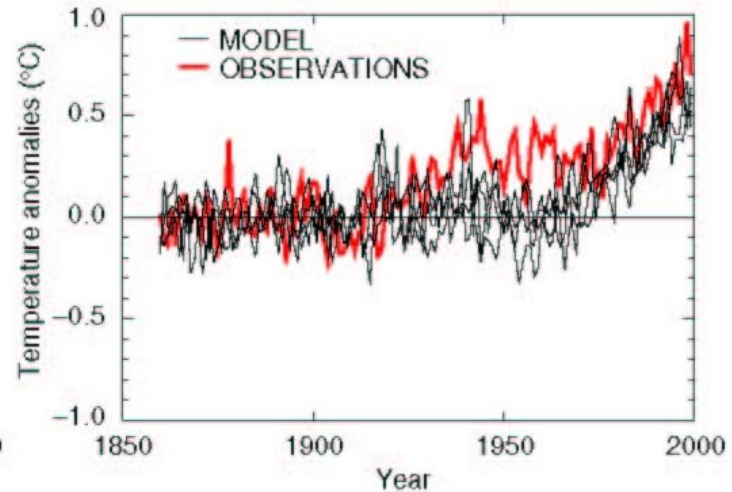
(a)

NATURAL : Annual global mean temperatures



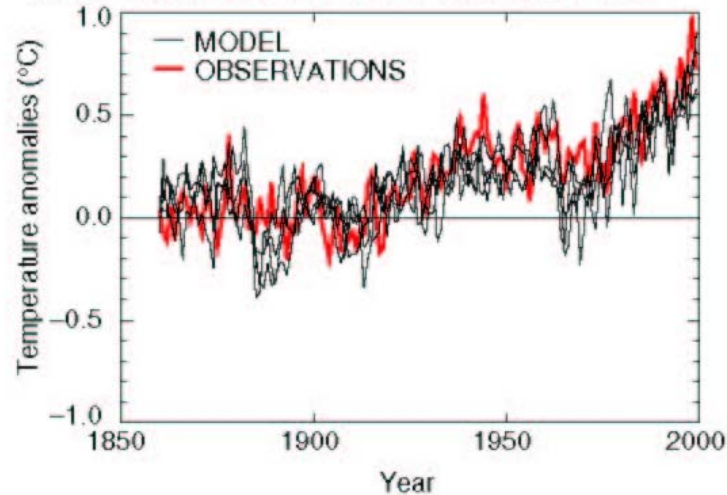
(b)

ANTHROPOGENIC : Annual global mean temperatures

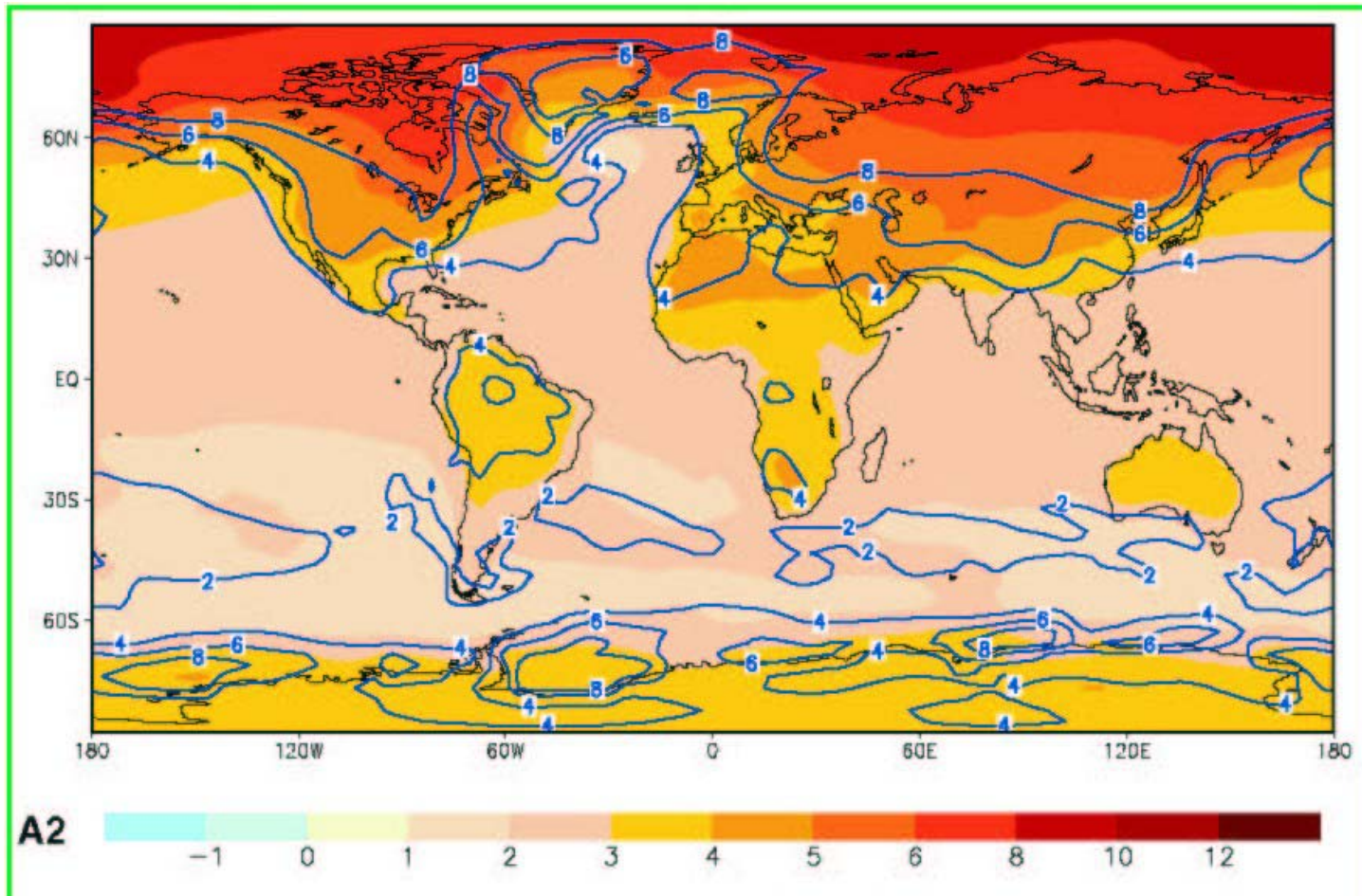


(c)

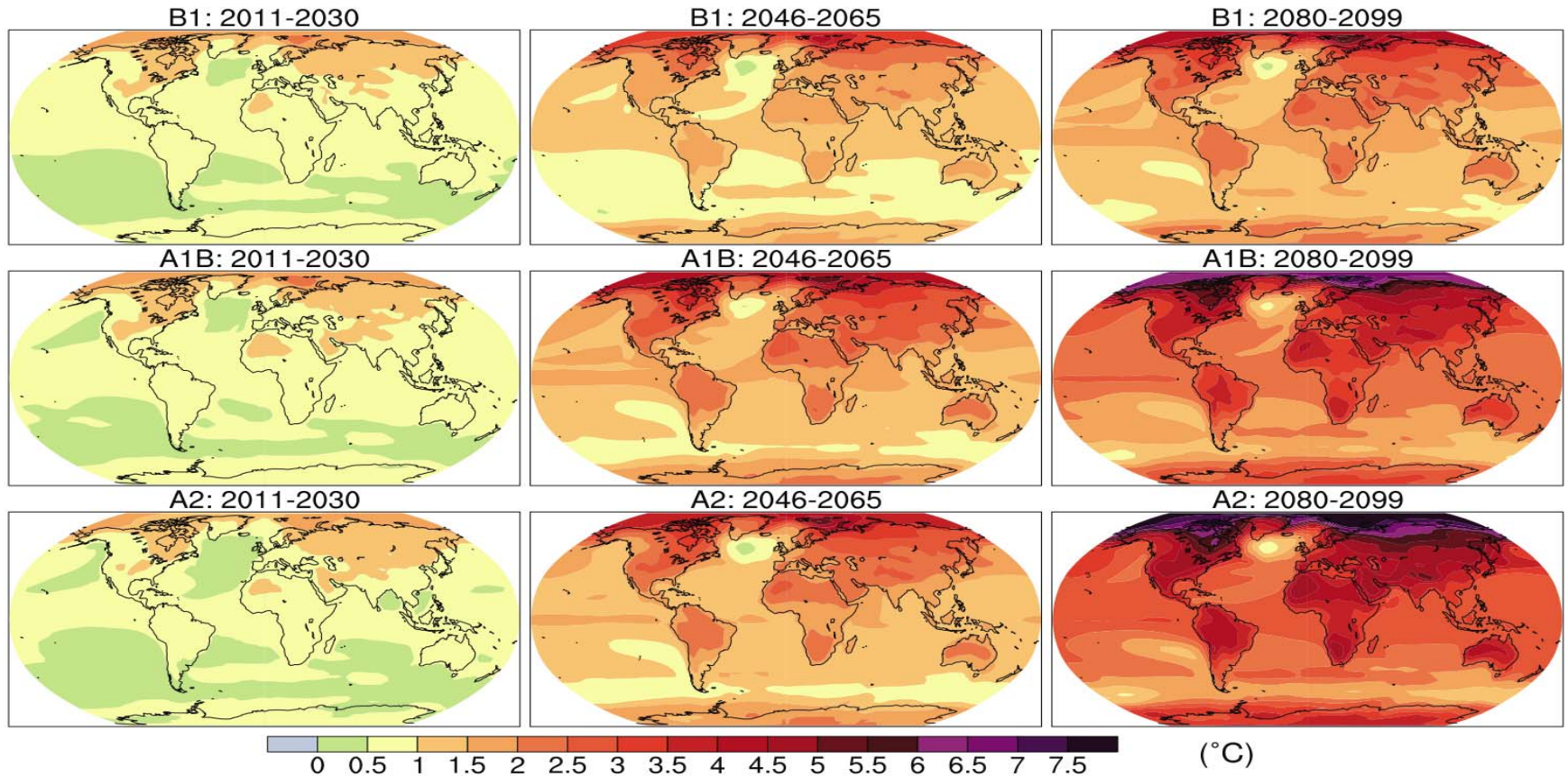
ALL FORCINGS : Annual global mean temperatures



Gradient de température Equateur-Pôles

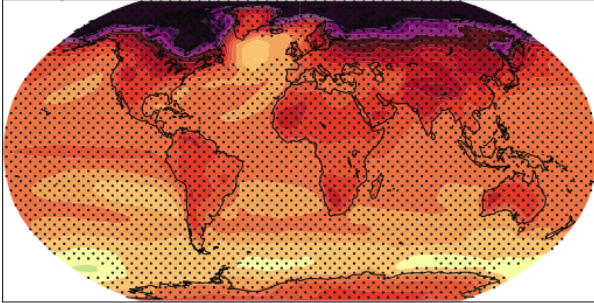


Prévisions B1, A1B, A2

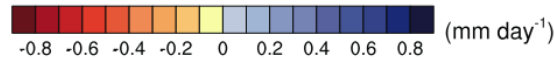
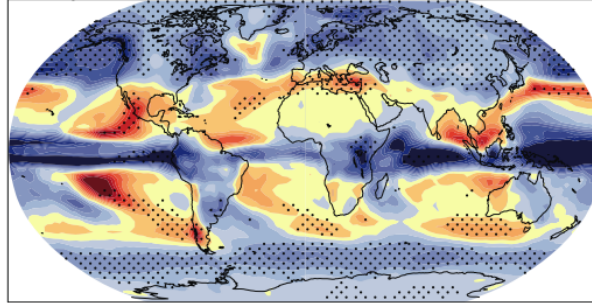


Précipitations etc. A1B

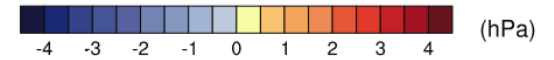
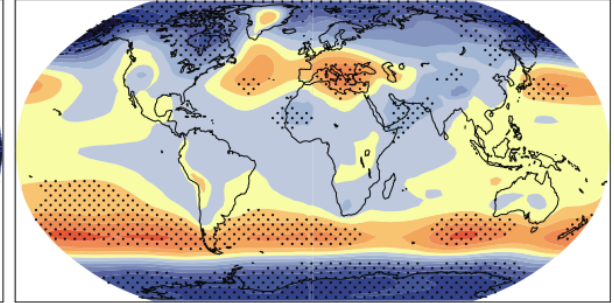
Temperature A1B: 2080-2099



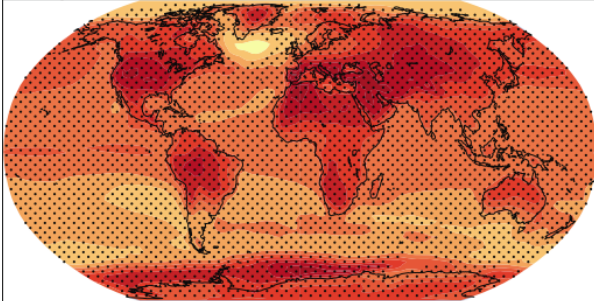
DJF Precipitation A1B: 2080-2099



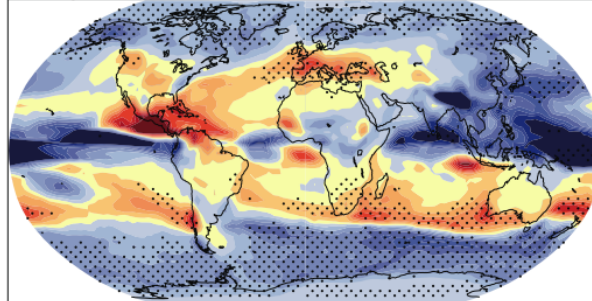
DJF SL Pressure A1B: 2080-2099



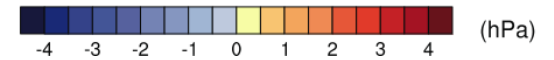
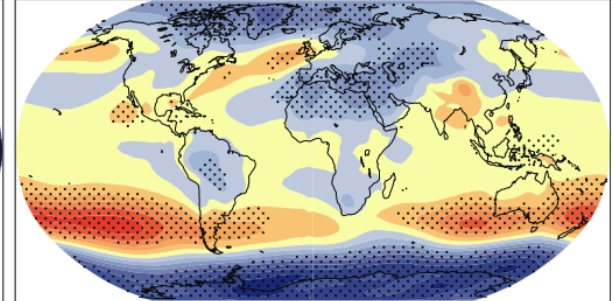
Temperature A1B: 2080-2099



JJA Precipitation A1B: 2080-2099

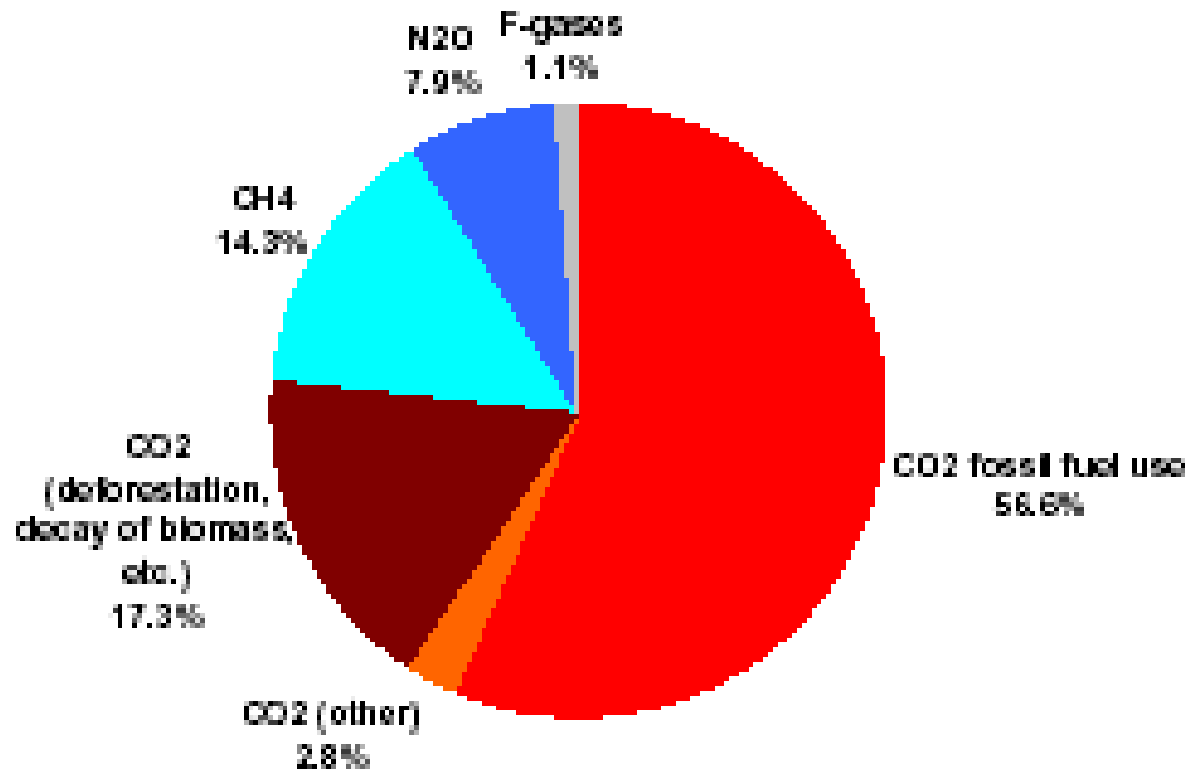


JJA SL Pressure A1B: 2080-2099



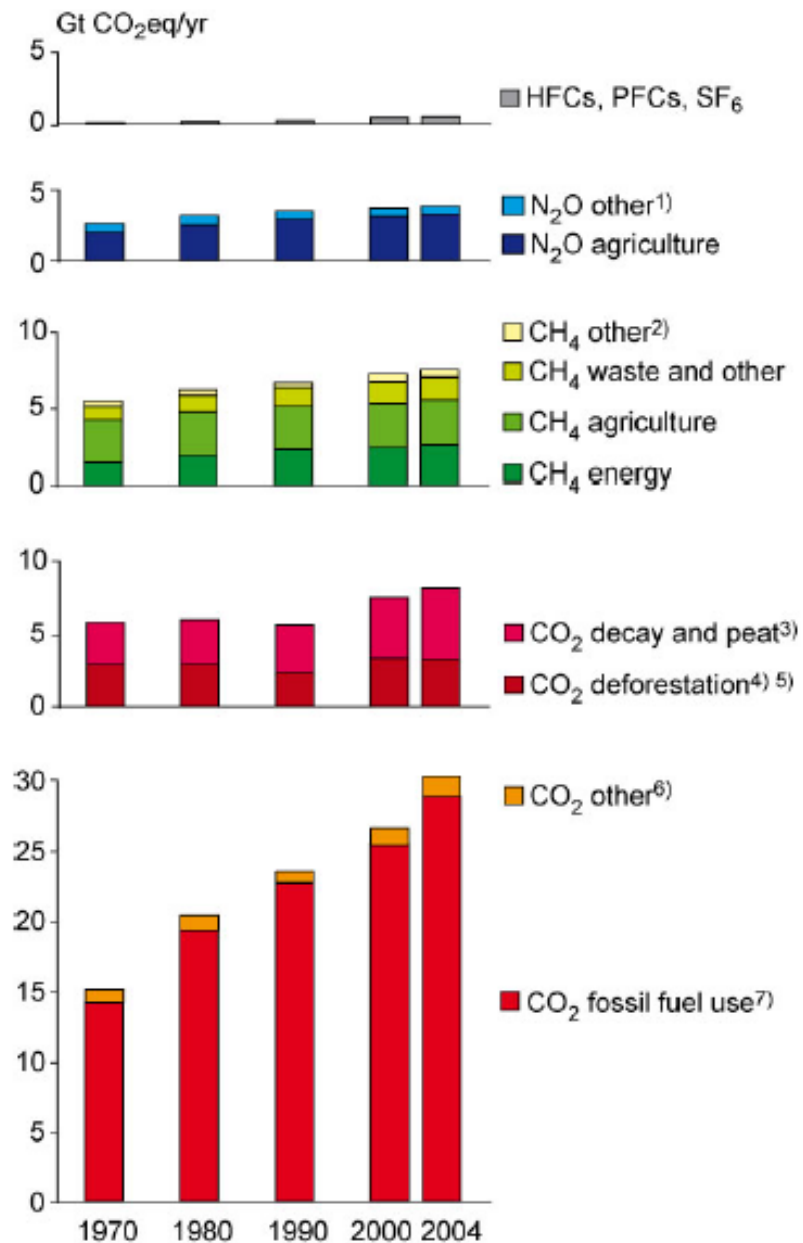
Evolution récentes

Origin of GHG emissions

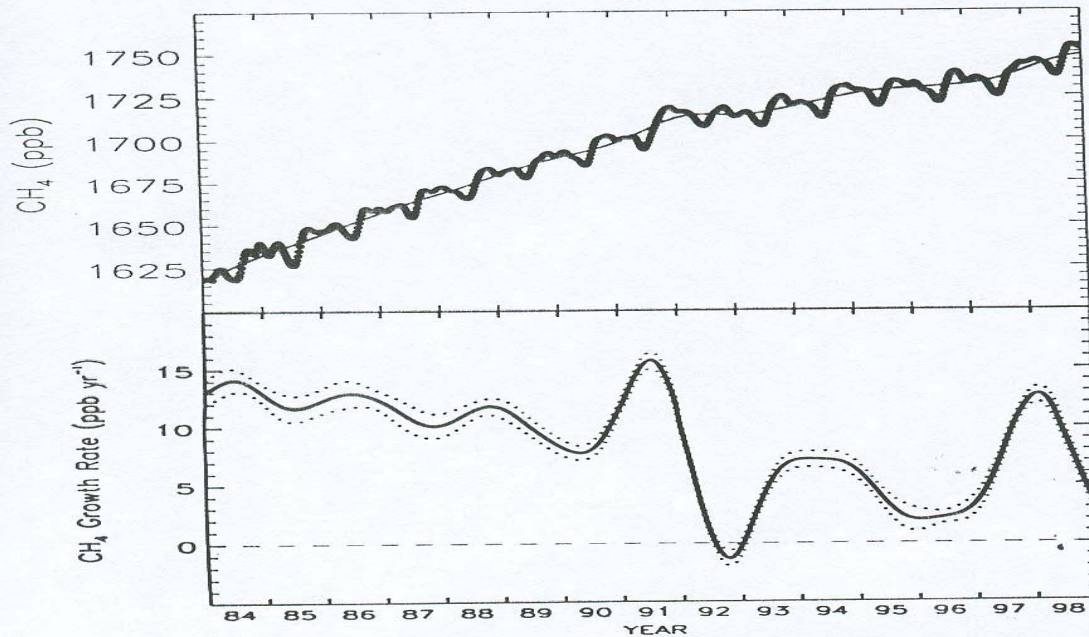
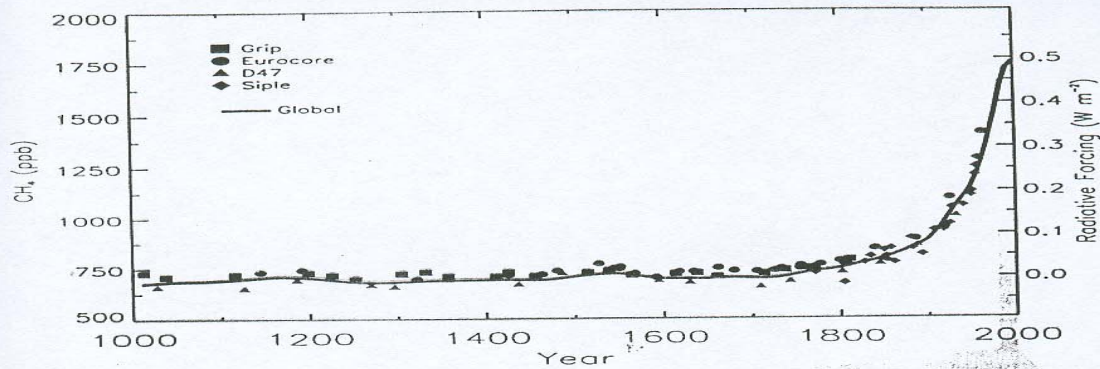


Evolution of world GHG Emissions

Increase dominated
by CO₂

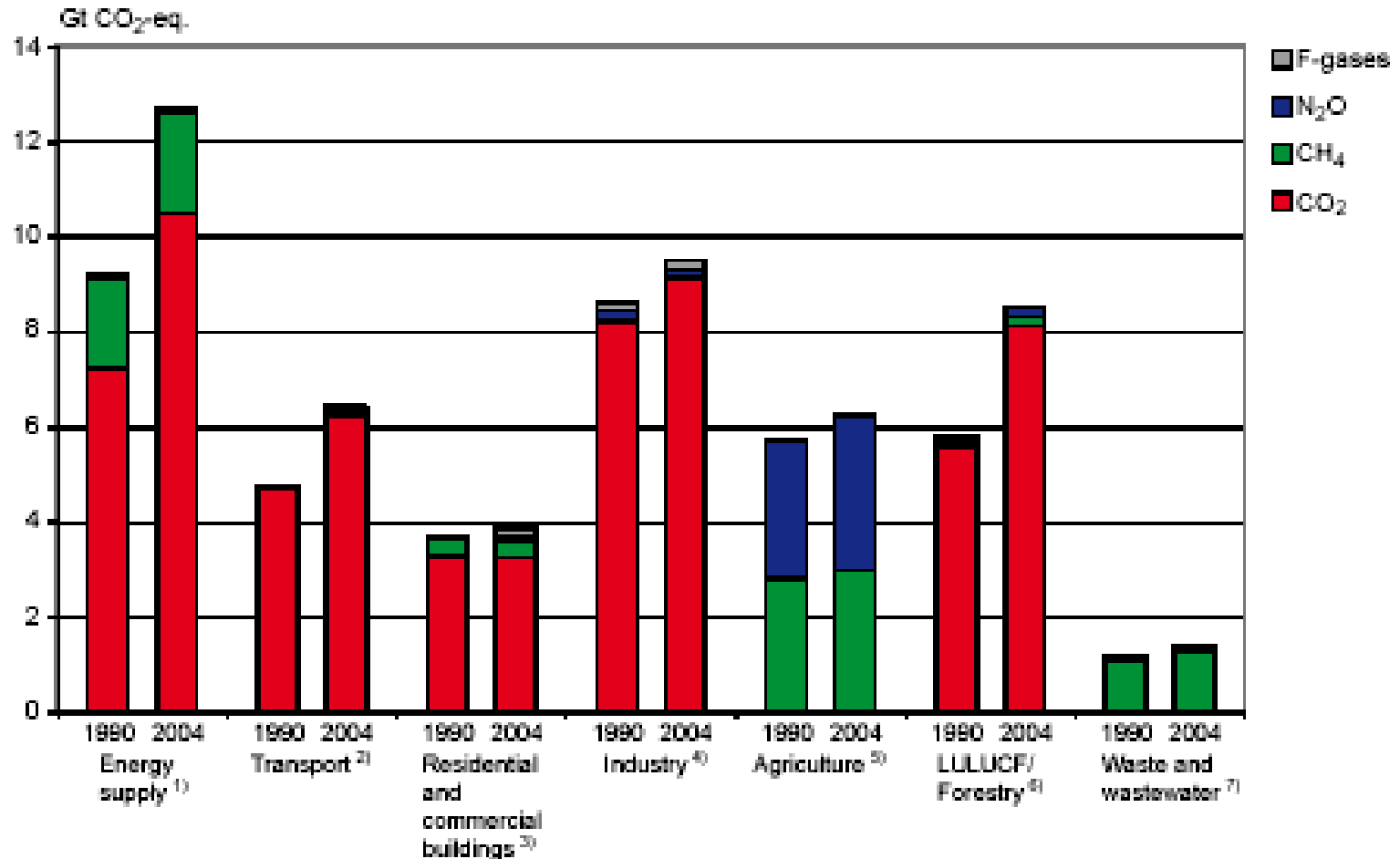


Concentrations de CH₄



GHG emissions by sector

Dominant rôle of energy sector

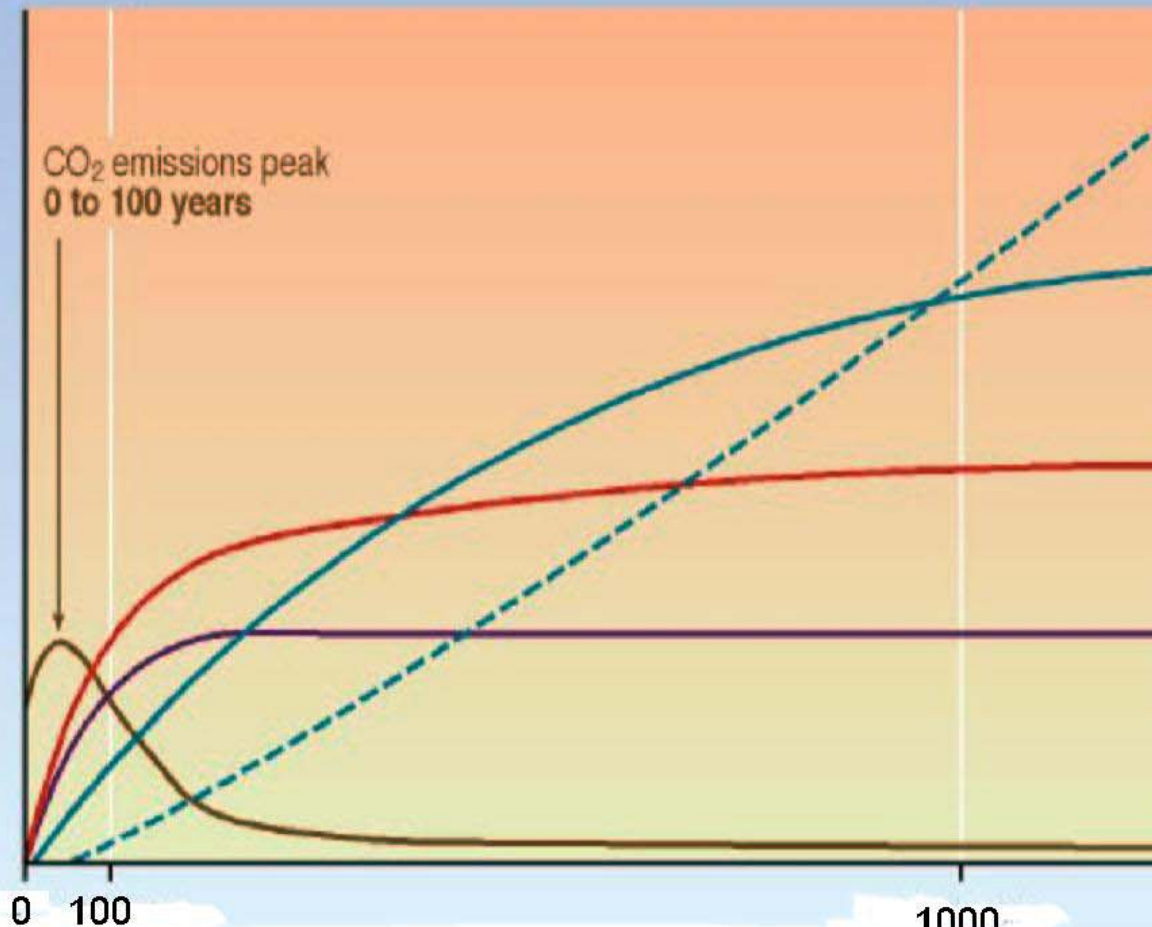


Constantes de temps

CO₂ concentration, temperature and sea level continue to rise long after emissions are reduced

Magnitude of response

Time taken to reach equilibrium



Sea-level rise due to ice melting:
several millenia

Sea-level rise due to thermal expansion:
centuries to millenia

Temperature stabilization:
a few centuries

CO₂ stabilization:
100 to 300 years

CO₂ emissions

Années