Introduction à la Météorologie SCA2611

Table des matières

14. Le Climat

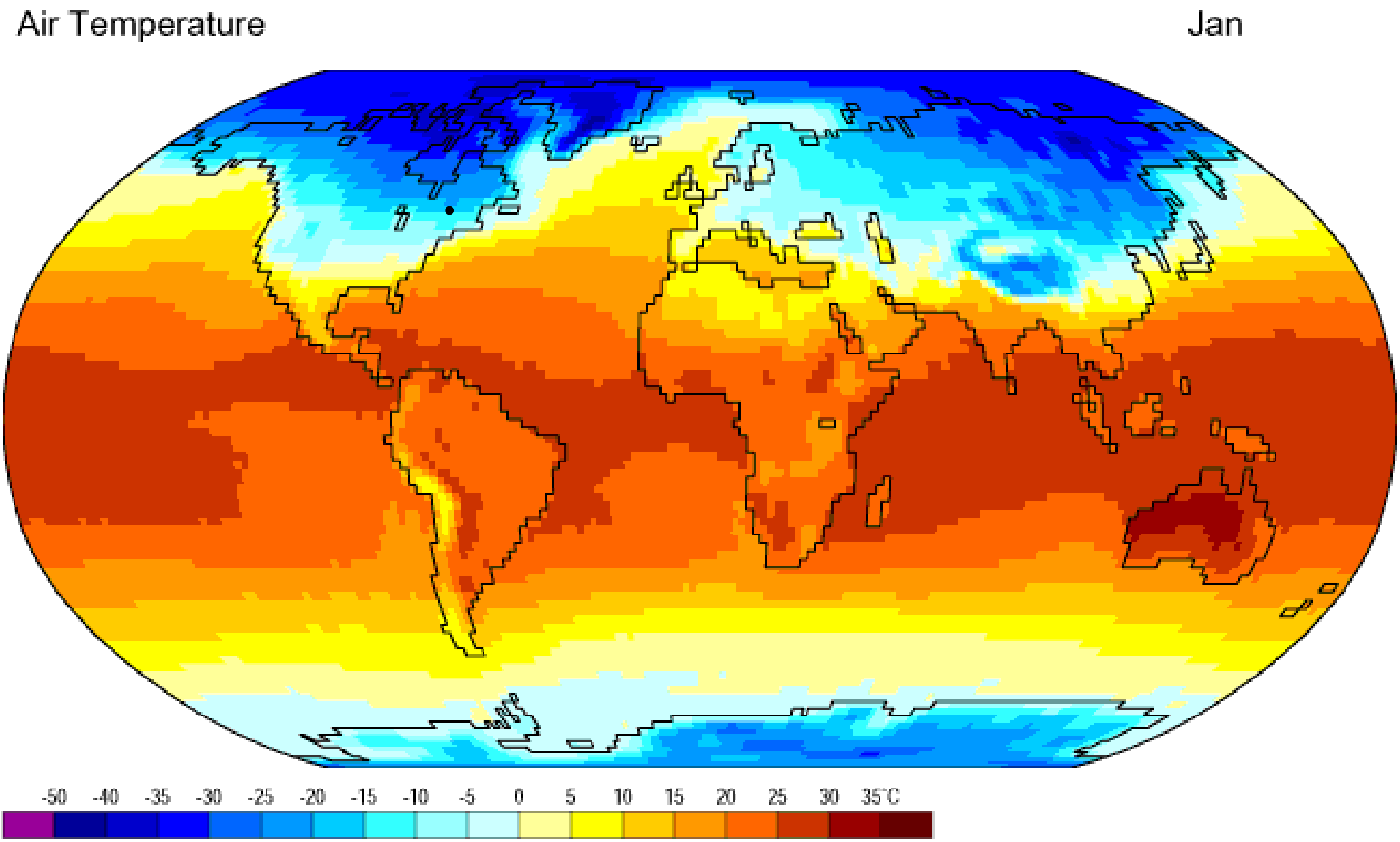
- Le climat d'aujourd'hui
- Le climat passé
- Le climat : un système dynamique
- Les modèles climatiques
- Le climat future
- La variabilité climatique
  i. L'irradiance solaire
  ii. Les paramètres orbitaux de la Terre
  iii. Les éruptions de volcans
  iv. La circulation océanique
  v. La concentration de CO_2 dans l'atmosphère

- **La climatologie** réfère aux conditions météorologiques **moyennes** en un lieu donné soit pour une année, une saison, ou une journée.

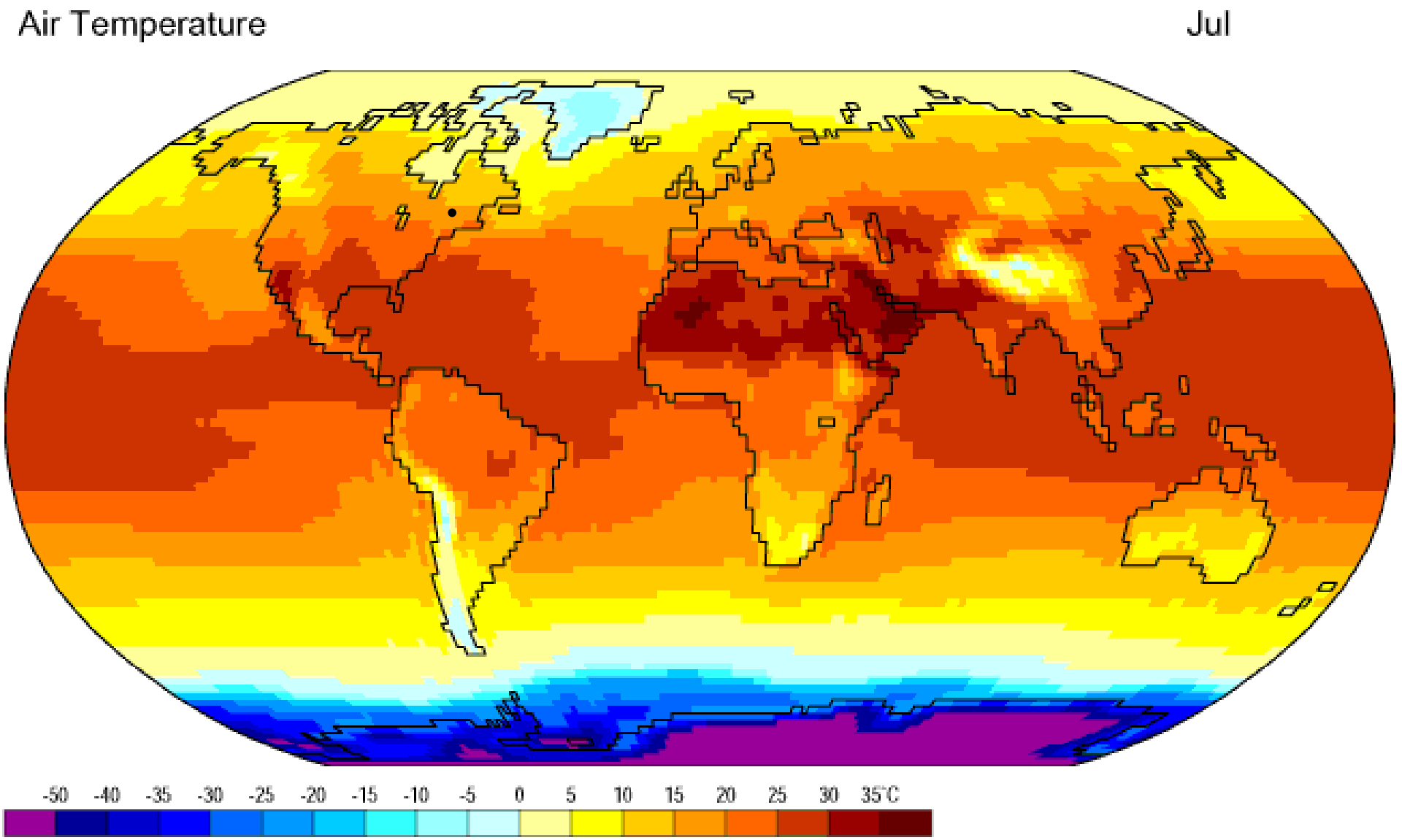
Les éléments plus importants descriptifs du climat sont :

- La température de l'air
- L'humidité de l'air
- Les types de nuages et la nébulosité
- Les types de précipitations et la pluviométrie
- La pression
- La vitesse et la direction du vent

Température de l'air : Janvier

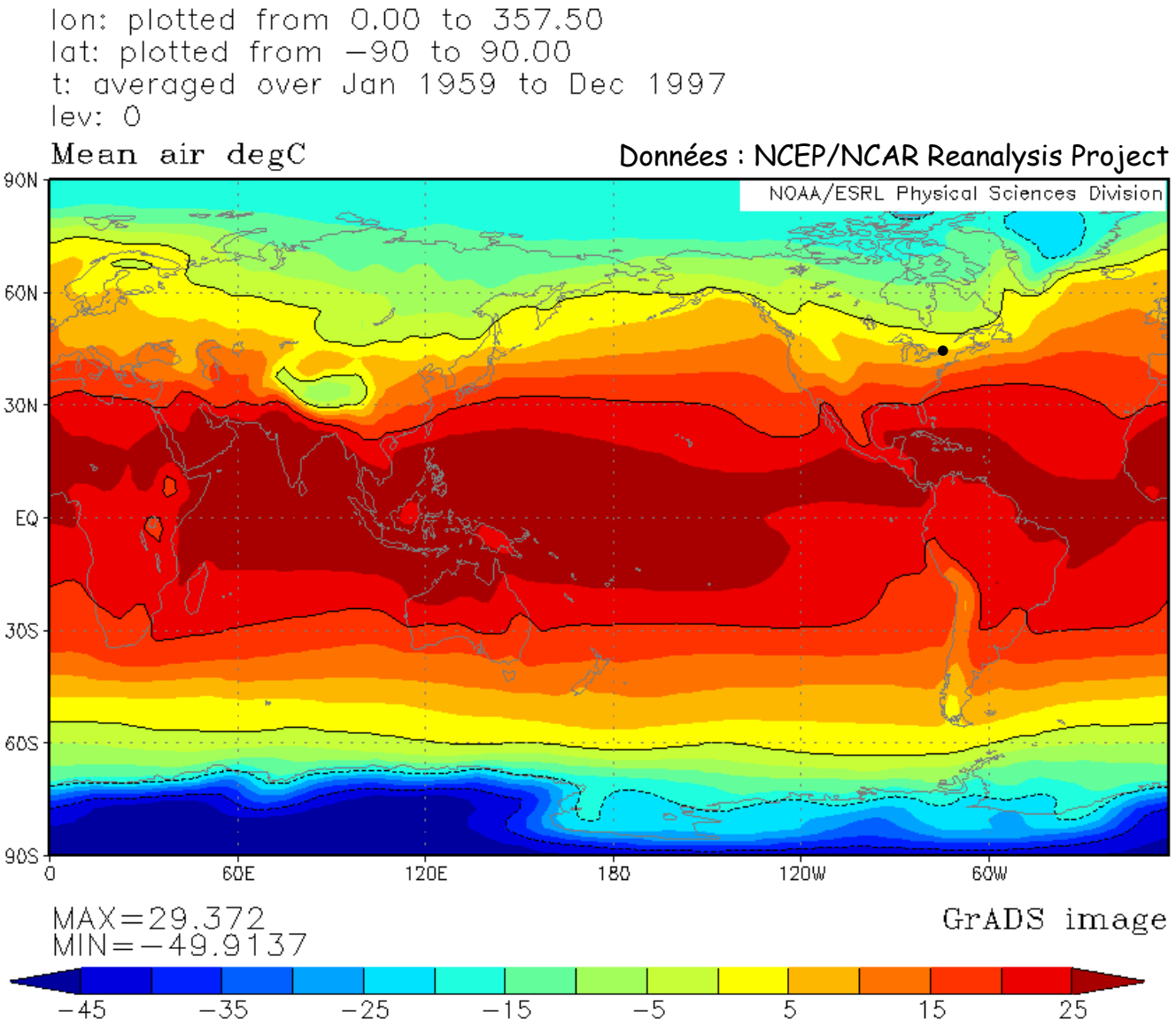


Température de l'air : Juillet

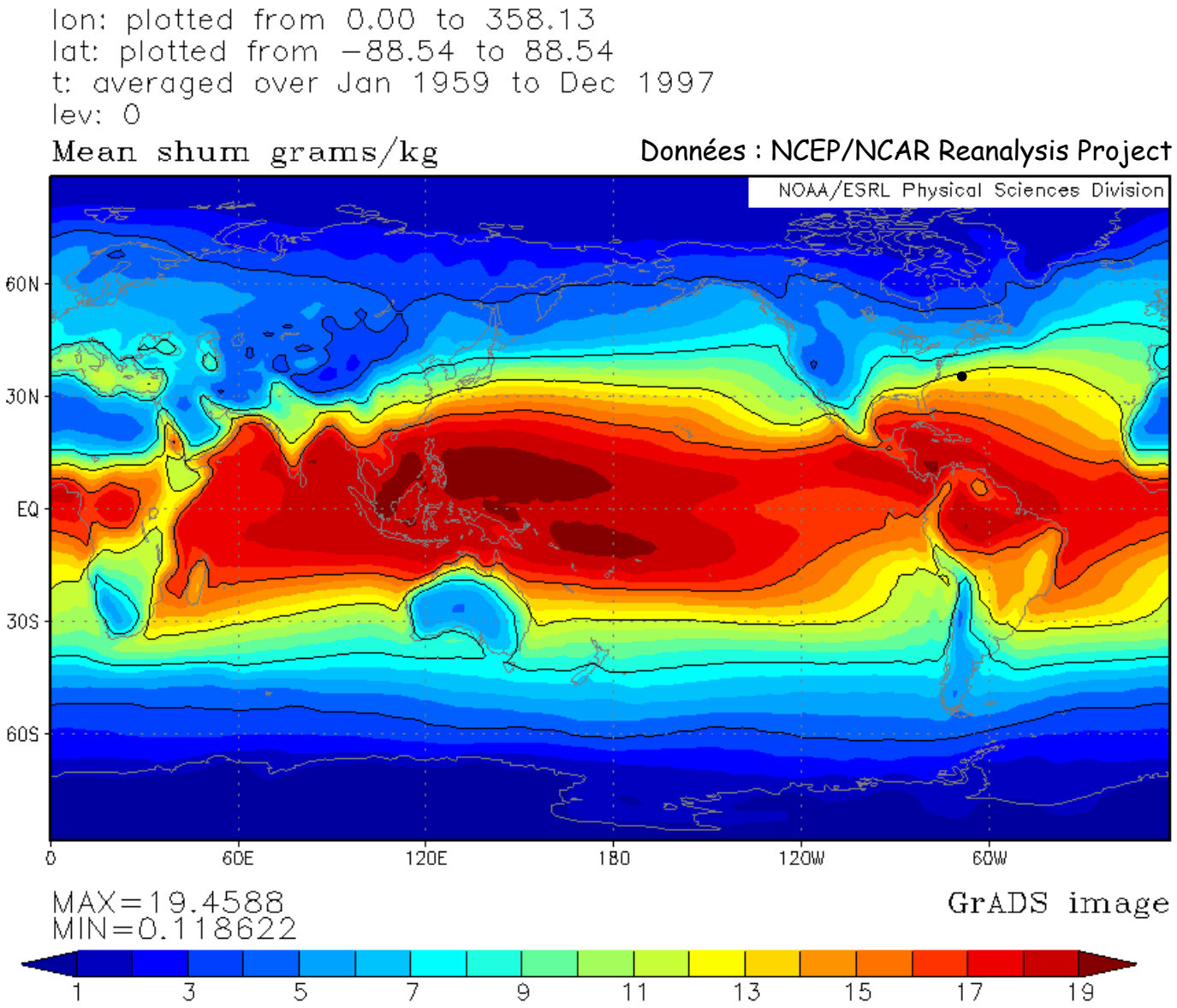


Température de l'air : Moyenne annuelle

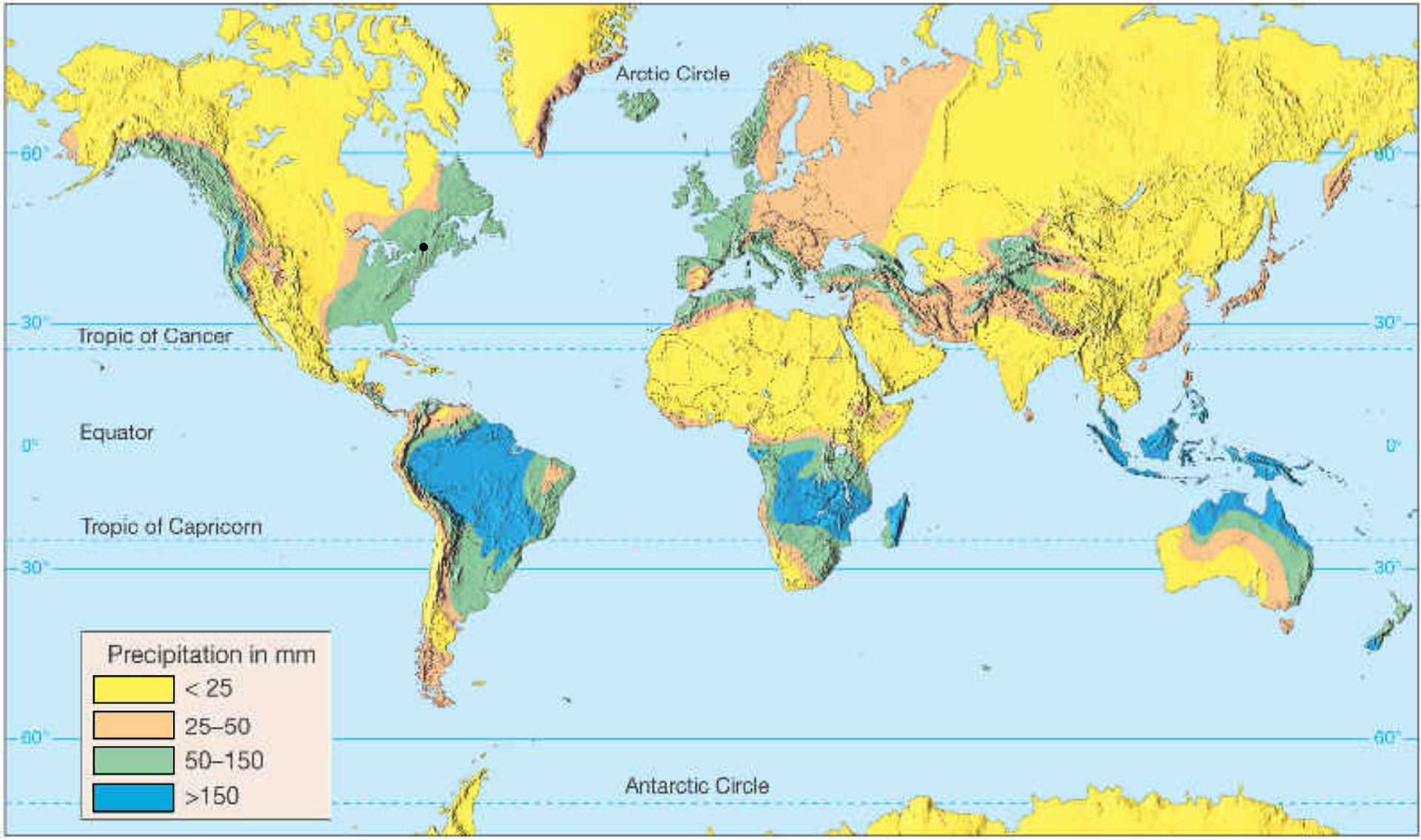
Faites votre propre carte : http://www.cdc.noaa.gov/



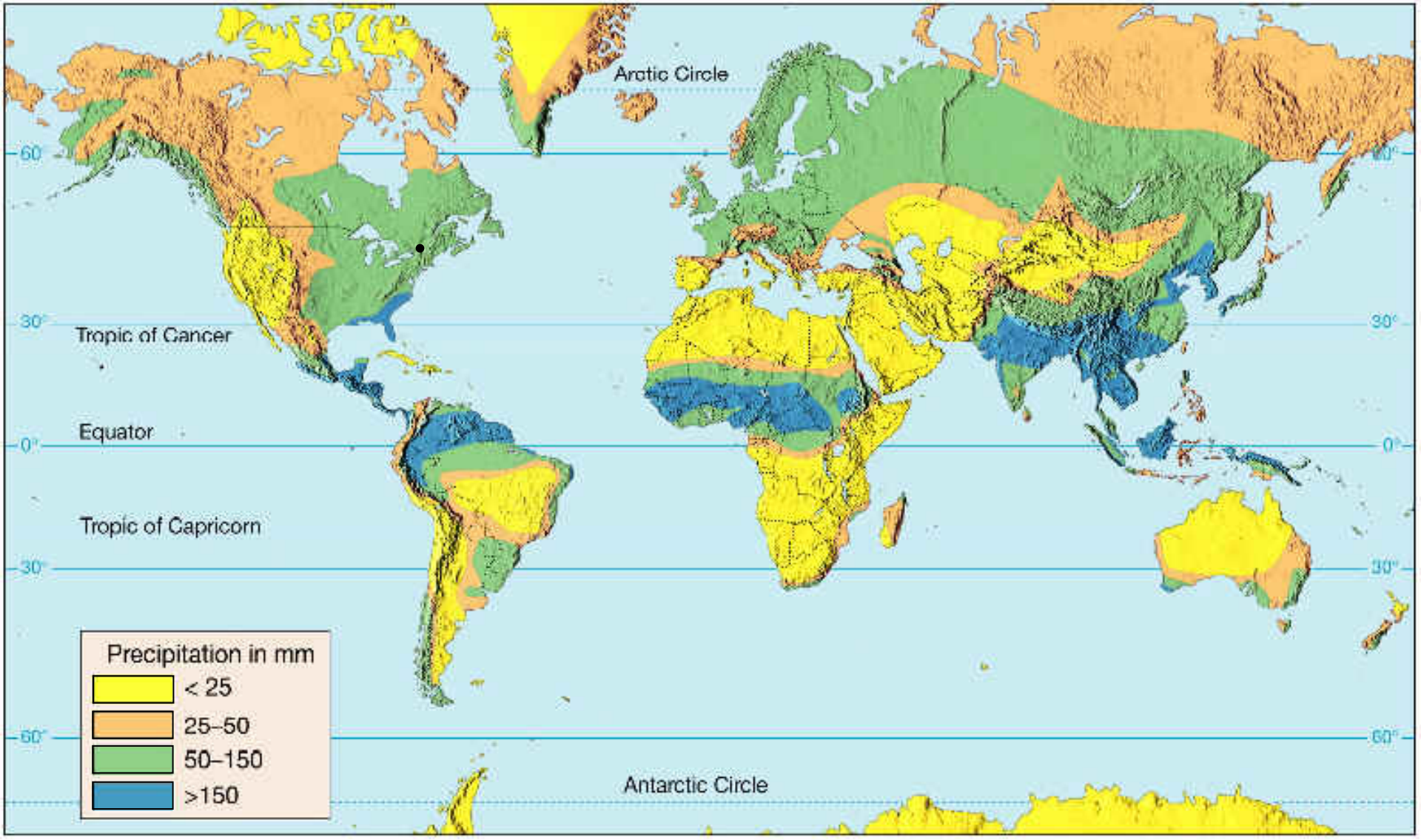
Humidité spécifique : Moyenne annuelle



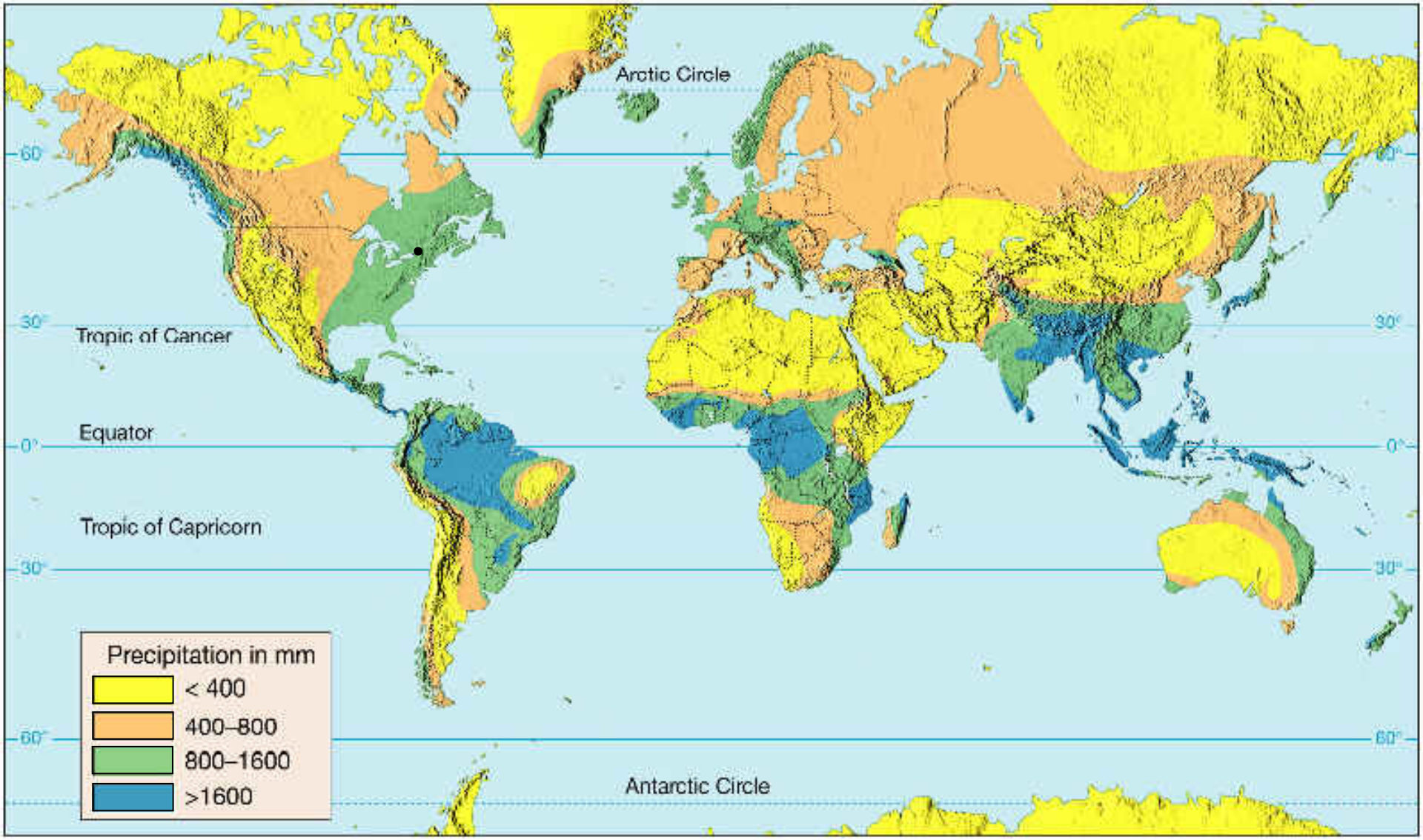
Les précipitations : Janvier



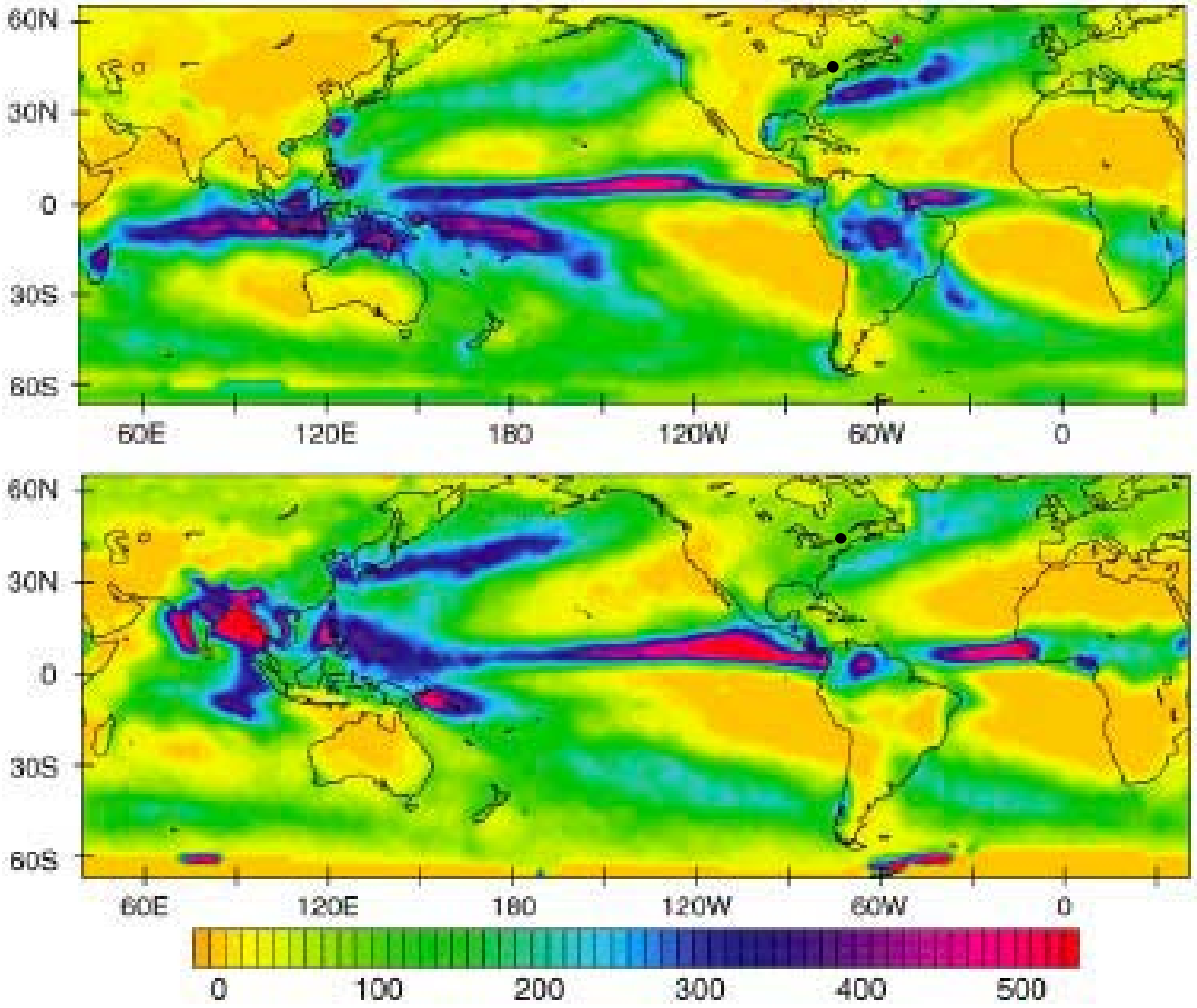
Les précipitations : Juillet



Les précipitations : Année



Précipitation



Moyenne climatologique de la précipitation en cm en janvier (en haut) et en juillet (en bas). Wallace et Hobbs, 2006.

Classification de Köppen

Wladimir Peter Köppen a mis au point dans les années 1920 un système de classification des climats, basée uniquement sur les précipitations et les températures. Un climat est ainsi repéré par un code de deux ou trois lettres :

1e lettre : type de climat

Code	Type	Description
A	Climat tropical	▪ Température moyenne de chaque mois de l'année > 18°C ▪ Pas de saison hivernale ▪ Fortes précipitations annuelles (supérieure à l'évaporation annuelle)
B	Climat sec	▪ Évaporation annuelle supérieure aux précipitations annuelles ▪ Aucun cours d'eau permanent
C	Climat tempéré chaud	▪ Températures moyennes des 3 mois les plus froids comprises entre -3°C et 18°C ▪ Température moyenne du mois le plus chaud > 10°C ▪ Les saisons été et hiver sont bien définis
D	Climat tempéré froid	▪ Température moyenne du mois le plus froid < -3°C ▪ Température moyenne du mois le plus chaud > 10°C ▪ Les saisons été et hiver sont bien définis
E	Climat polaire	▪ Température moyenne du mois le plus chaud < 10°C ▪ La saison d'été est très peu marquée

Classification de Köppen

2e lettre : régime pluviométrique

Code	Description	S'applique à
S	▪ Climat de steppe ▪ Précipitations annuelles comprises entre 380 et 760 mm	B
W	▪ Climat désertique ▪ Précipitations annuelles < 250 mm	B
f	▪ Climat humide ▪ Précipitations tous les mois de l'année ▪ Pas de saison sèche	A-C-D
w	▪ Saison sèche en hiver	A-C-D
s	▪ Saison sèche en été	C
m	▪ Climat de mousson ▪ Précipitations annuelles > 1500 mm ▪ Précipitations du mois le plus sec < 60 mm	A
T	▪ Température moyenne du mois le plus chaud comprise entre 0 et 10°C	E
F	▪ Température moyenne du mois le plus chaud < 0°C	E
M	▪ Précipitations abondantes ▪ Hiver doux	E

On obtient donc les catégories suivantes :

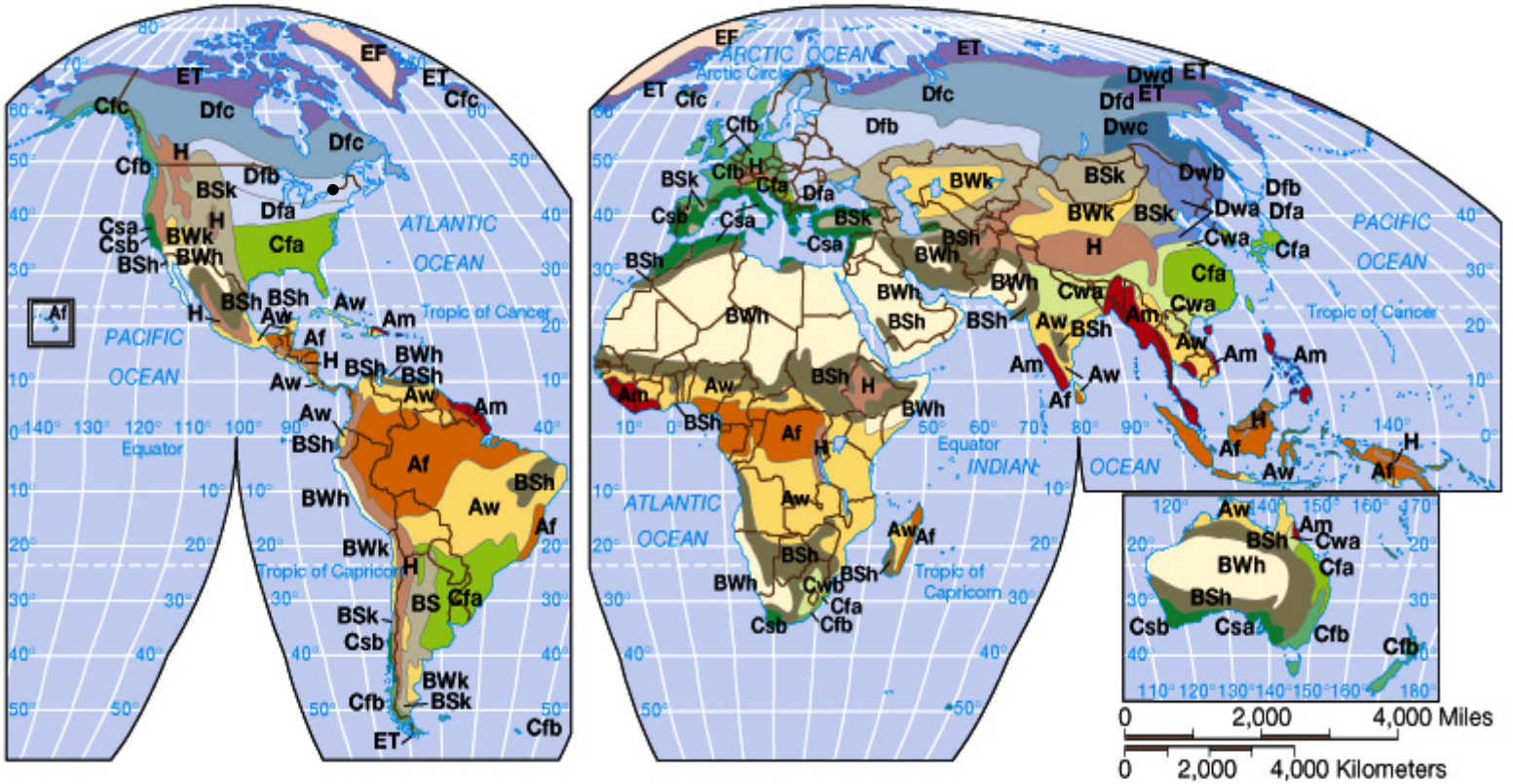
- Af : climat tropical humide
- Aw : climat de savane tropicale
- Am : climat de mousson
- BS : climat de steppe
- BW : climat désertique
- Cf : climat tempéré humide sans saison sèche
- Cw : climat tempéré humide avec hiver sec
- Cs : climat tempéré humide avec été sec (climat méditerranéen)
- Df : climat tempéré froid sans saison sèche
- Dw : climat tempéré froid avec hiver sec
- ET : climat de toundra
- EF : climat d'inlandsis
- EM : climat subarctique maritime

Classification de Köppen

3e lettre : variations de température

Code	Description	S'applique à
a : été chaud	▪ Température moyenne du mois le plus chaud > 22°C	C-D
b : été tempéré	▪ Température moyenne du mois le plus chaud < 22°C ▪ Températures moyennes des 4 mois les plus chauds > 10°C	C-D
c : été court et frais	▪ Température moyenne du mois le plus chaud < 22°C ▪ Températures moyennes mensuelles > 10°C pour moins de 4 mois ▪ Température moyenne du mois le plus froid > -38°C	C-D
d : hiver très froid	▪ Température moyenne du mois le plus froid < -38°C	D
h : sec et chaud	▪ Température moyenne annuelle > 18°C	B
k : sec et frois	▪ Température moyenne annuelle < 18°C	B

Classification de Köppen



A TROPICAL HUMID CLIMATES

- Af — Tropical wet climate
- Am — Tropical monsoonal climate
- Aw — Tropical savanna climate

B DRY CLIMATES

- BWh — Subtropical desert
- BWk — Midlatitude desert
- BSh — Subtropical steppe
- BSk — Midlatitude steppe

C MILD MIDLATITUDE CLIMATES

- Cfa — Humid subtropical, no dry season
- Cwa Cwb — Humid subtropical, winter-dry
- Cfb Cfc — Marine west coast, no dry season
- Csa Csb — Mediterranean summer-dry

D SEVERE MIDLATITUDE CLIMATES

- Dfa Dfb — Humid continental, no dry season
- Dwa Dwb — Humid continental, winter–dry
- Dfc Dfd — Subarctic, no dry season
- Dwc Dwd — Subarctic, winter–dry

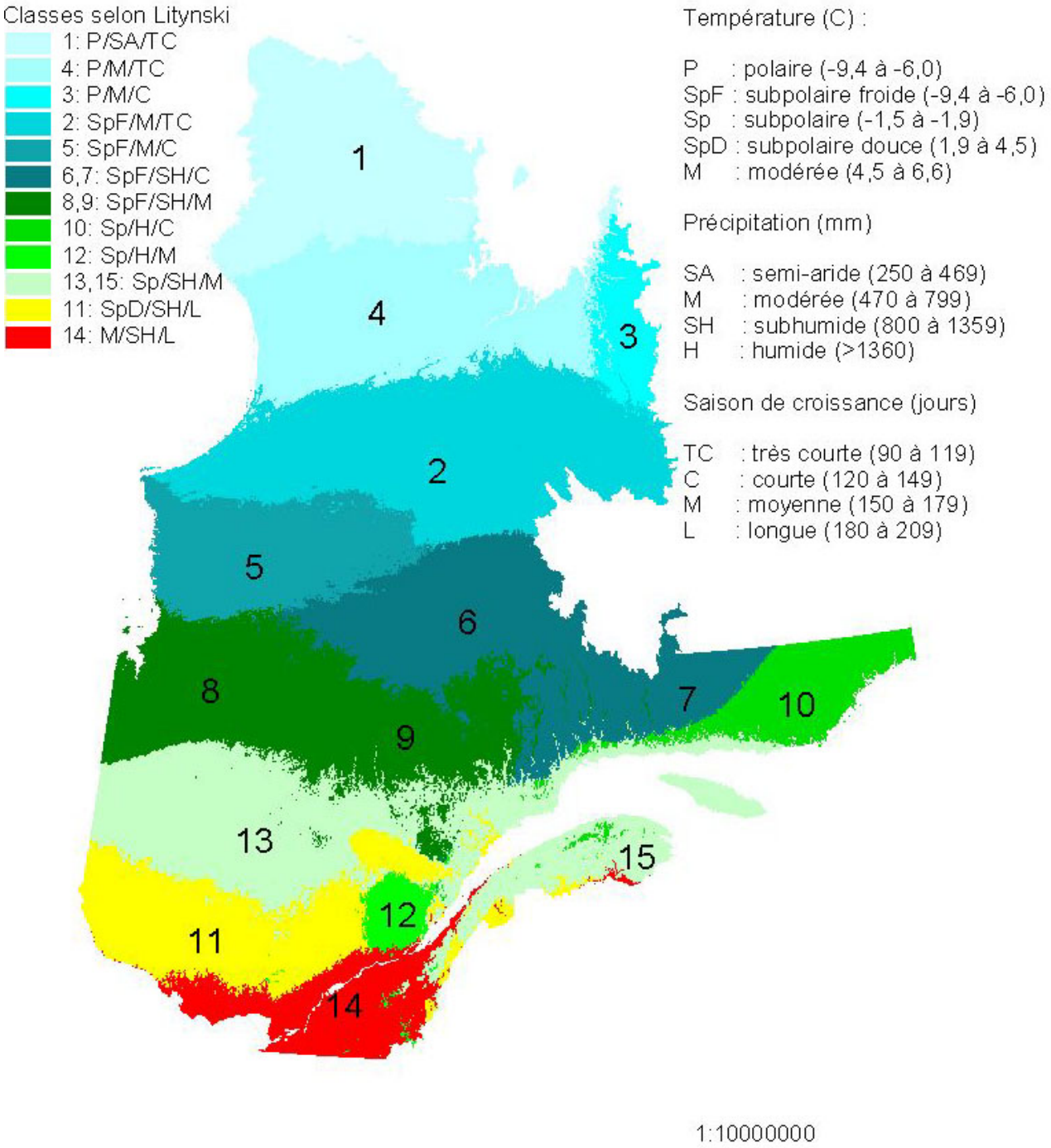
E POLAR CLIMATES

- ET — Tundra
- EF — Ice cap

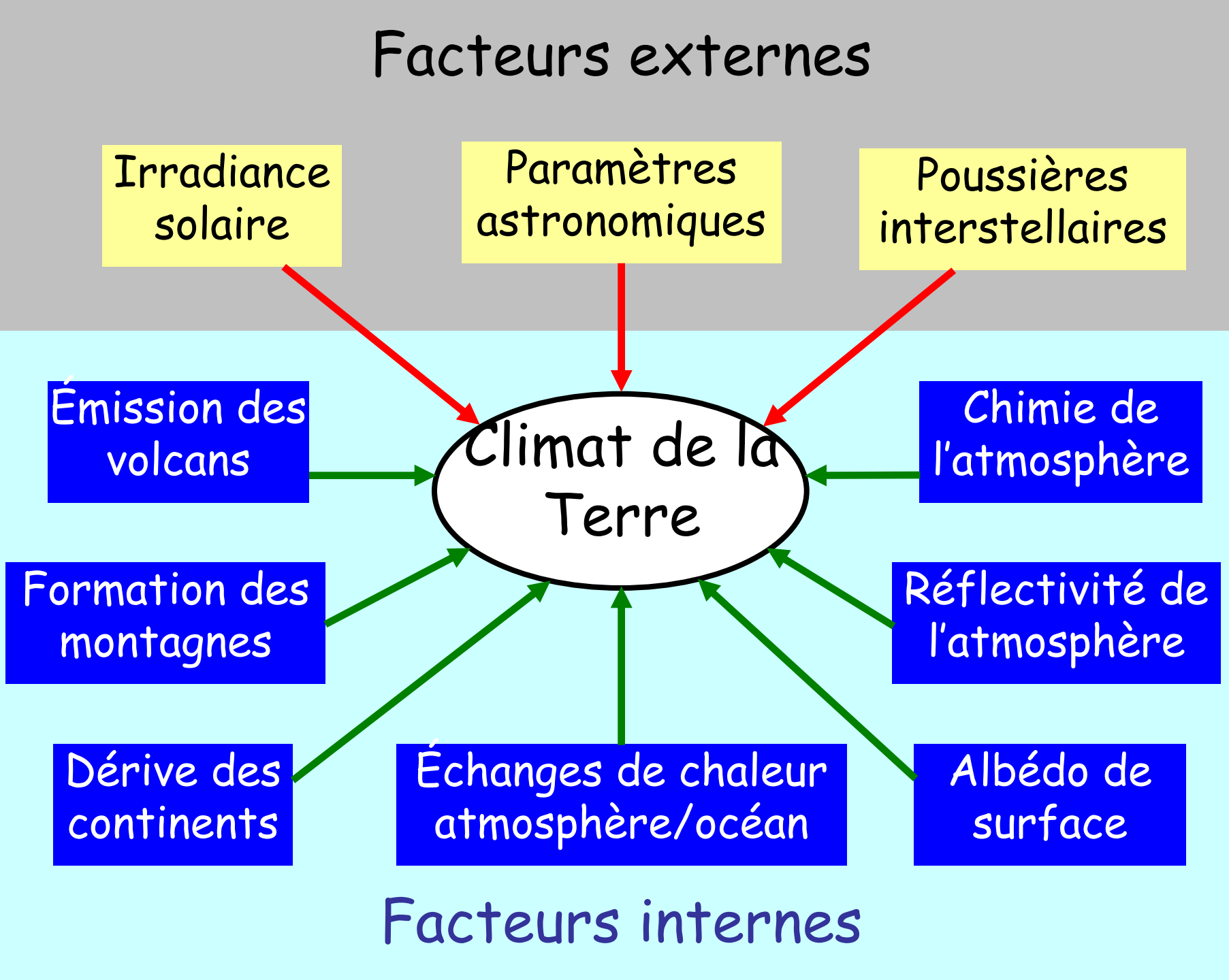
H HIGHLAND

- H — Cold climates due to elevation

Classification climatique du Québec



La variabilité climatique


Facteurs externes
Irradiance solaire
Paramètres astronomiques
Poussières interstellaires
Émission des volcans
Climat de la Terre
Chimie de l'atmosphère
Formation des montagnes
Réflectivité de l'atmosphère
Dérive des continents
Échanges de chaleur atmosphère/océan
Albédo de surface
Facteurs internes

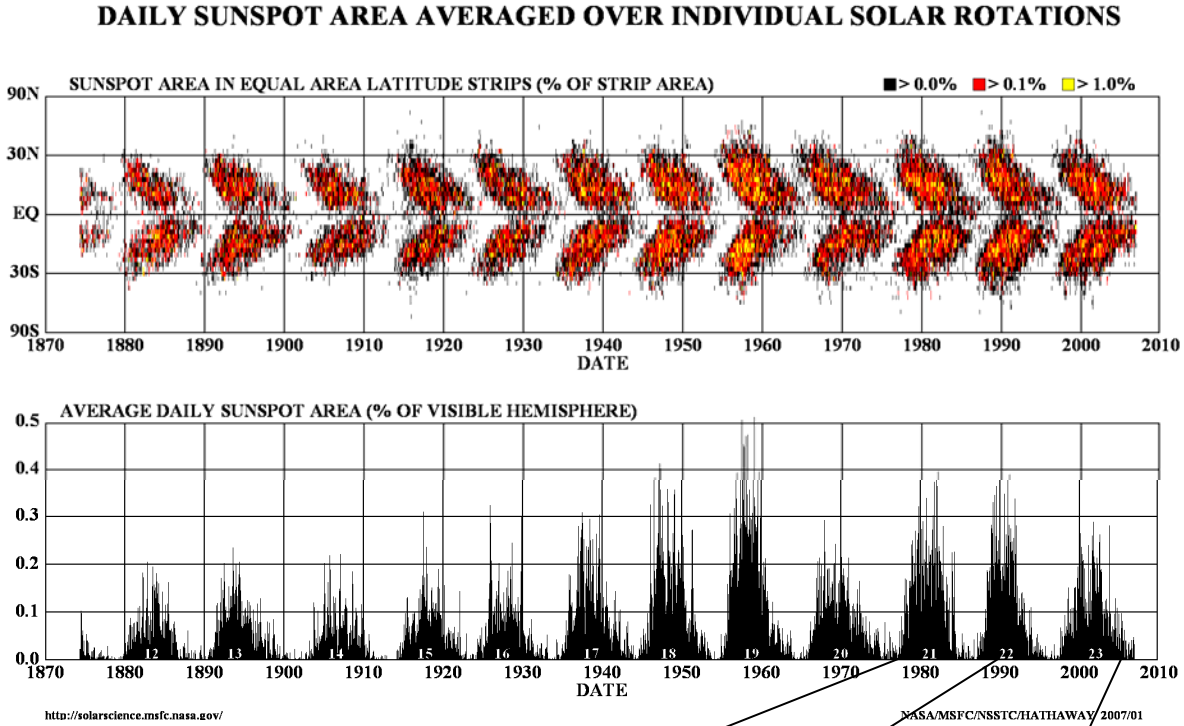
Facteurs dominants

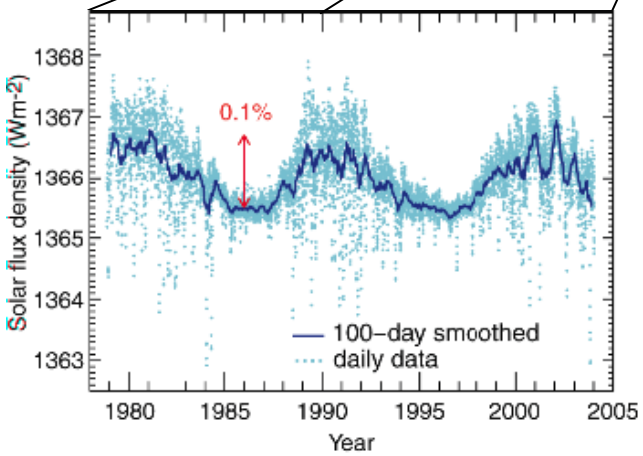
Seulement un nombre limité de facteurs sont les principaux responsables de la variabilité du climat :

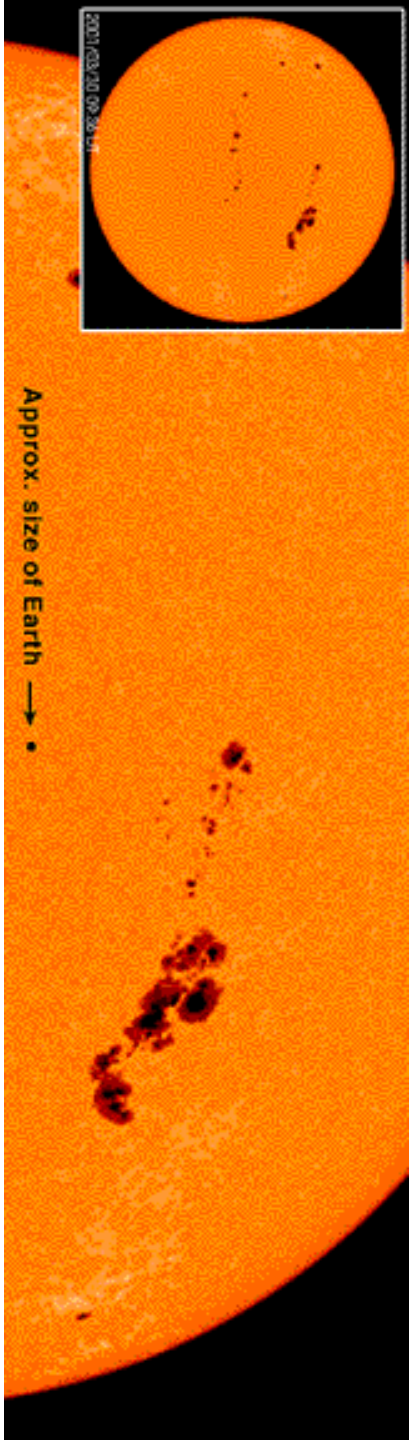
- Les variations de l'irradiance solaire
- Les variations des paramètres orbitaux de la Terre
- Les éruptions de volcans
- La circulation océanique
- Les variations de la concentration de CO2 dans l'atmosphère

L'irradiance solaire

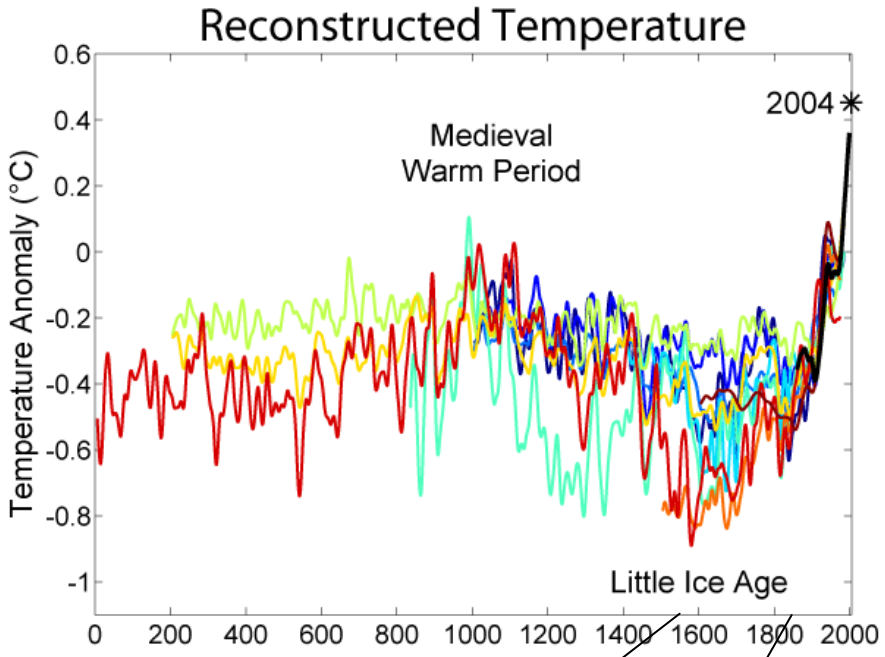
Irradiance solaire

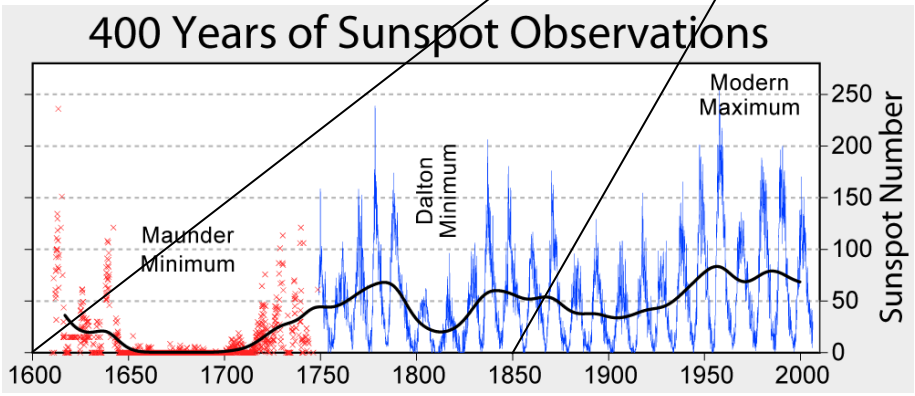






Le petit age glacière





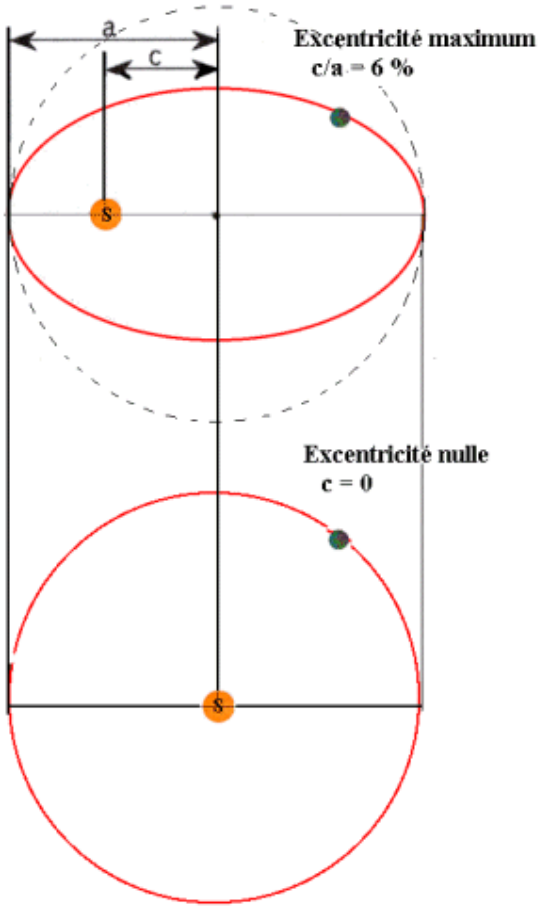
La chronologie des oscillations du petit âge glaciaire varie selon les études, mais toutes s'accordent sur une baisse générale de la température moyenne d'environ 1550 à 1850.

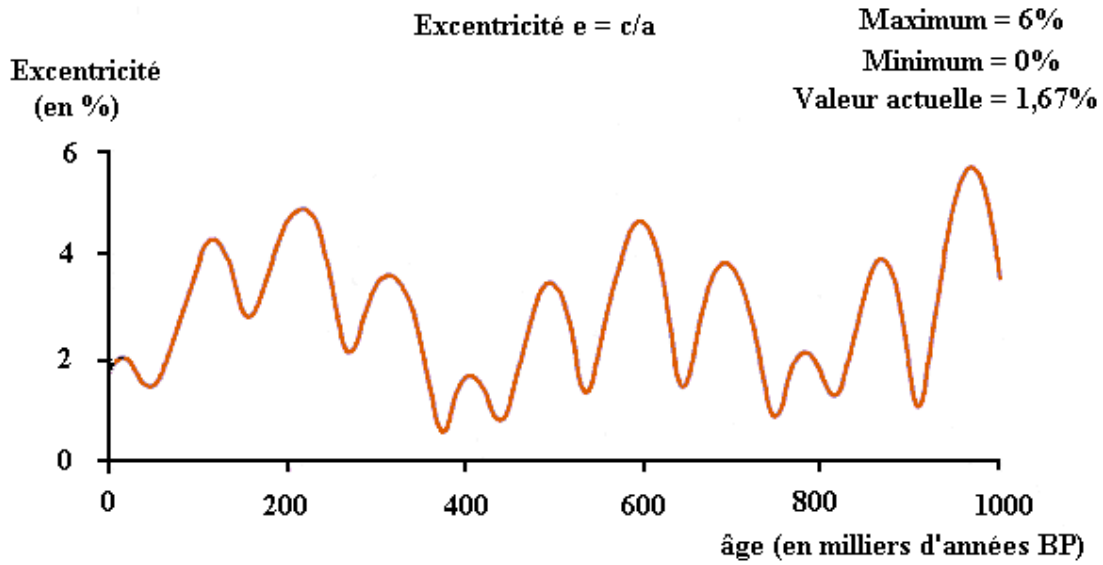
Sports sur une rivière glacé, environ 1660
Aert van der Neer (Hollande, 1603/4–1677)
Huile sur bois; 9 1/8 x 13 3/4 in. (23.2 x 34.9 cm)
Collection Friedsam, don de Michael Friedsam, 1931 (32.100.11)

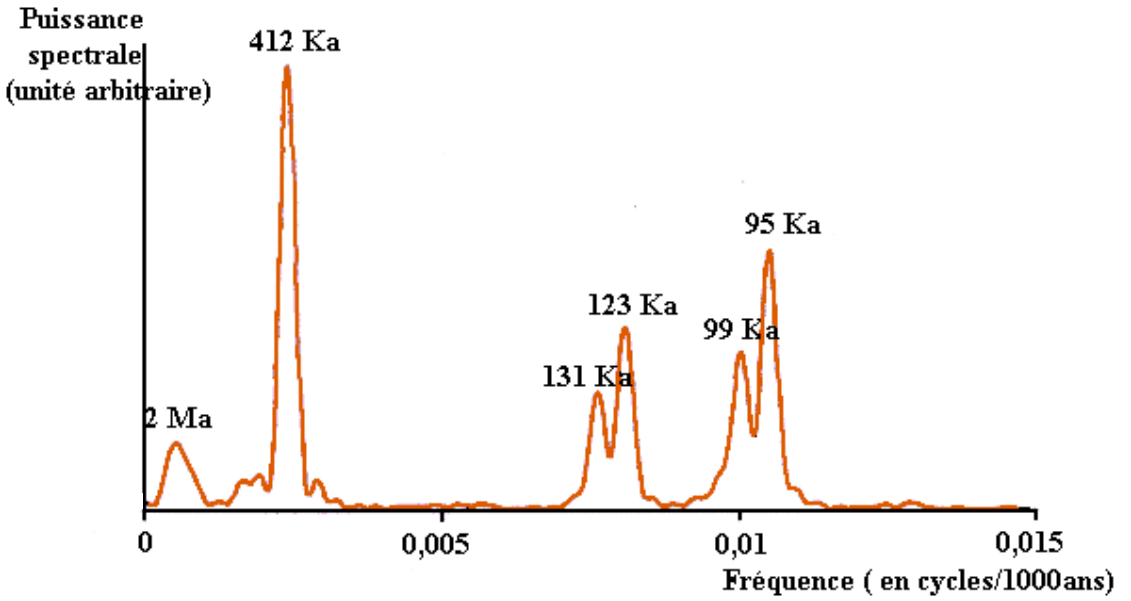
Les paramètres orbitaux de la Terre

L'excentricité

http://www.inrp.fr/Acces/biotic/environ/paleoclimats/html/milanko1.htm

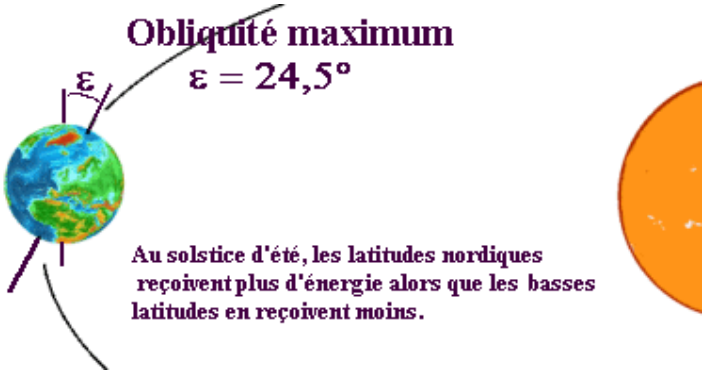


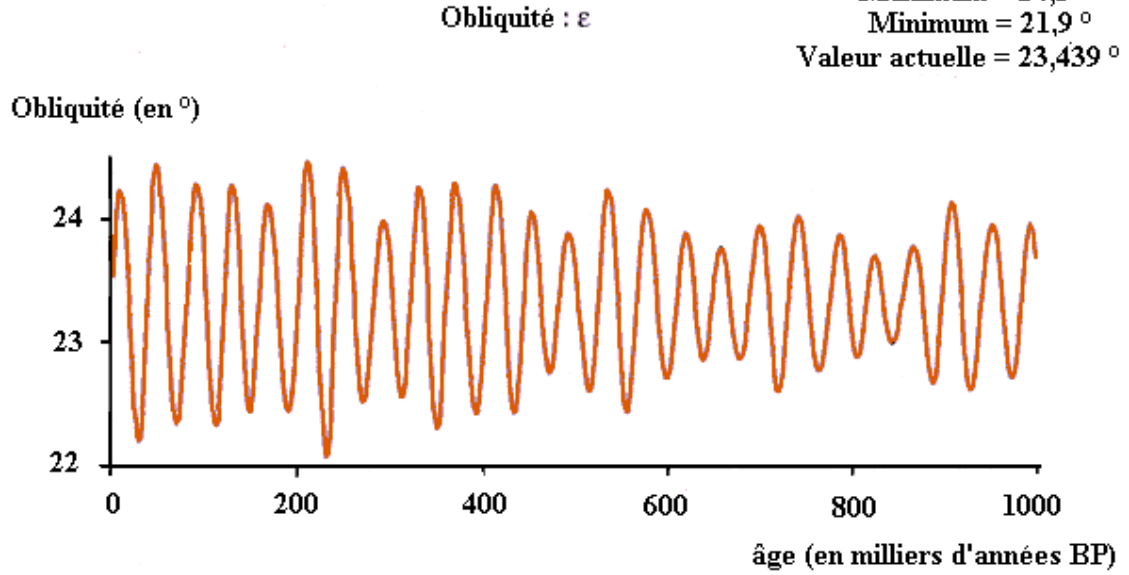




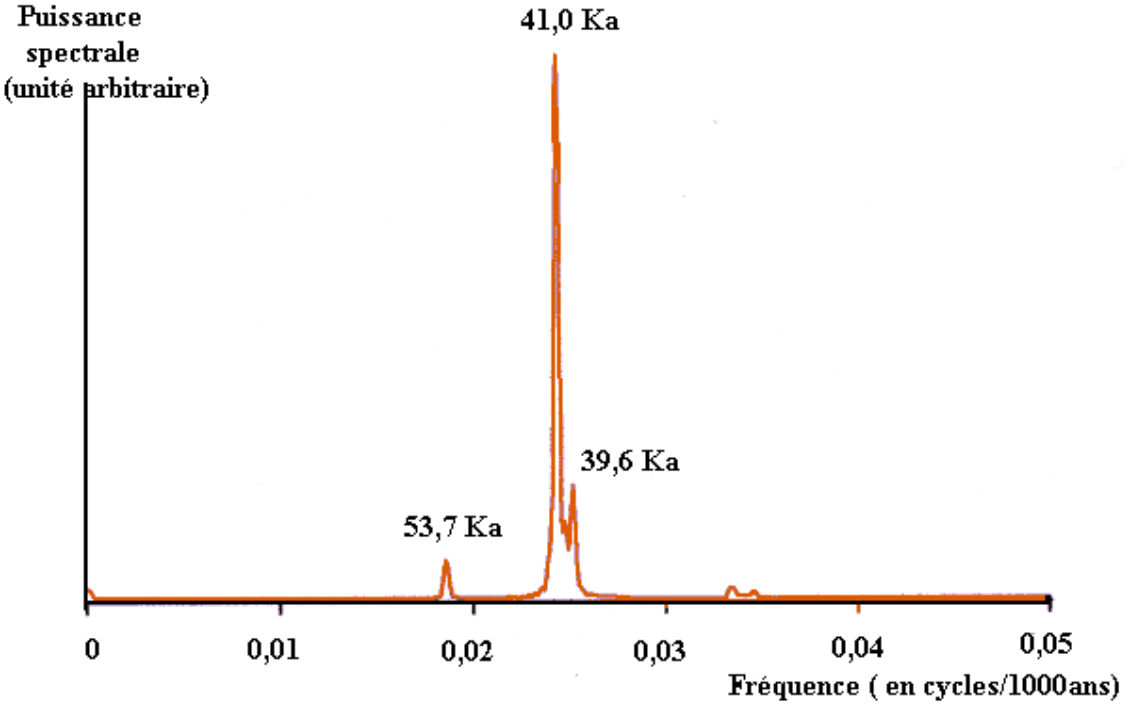
- L'analyse de l'excentricité montre une périodicité au alentour de ~100 kyr.

L'obliquité



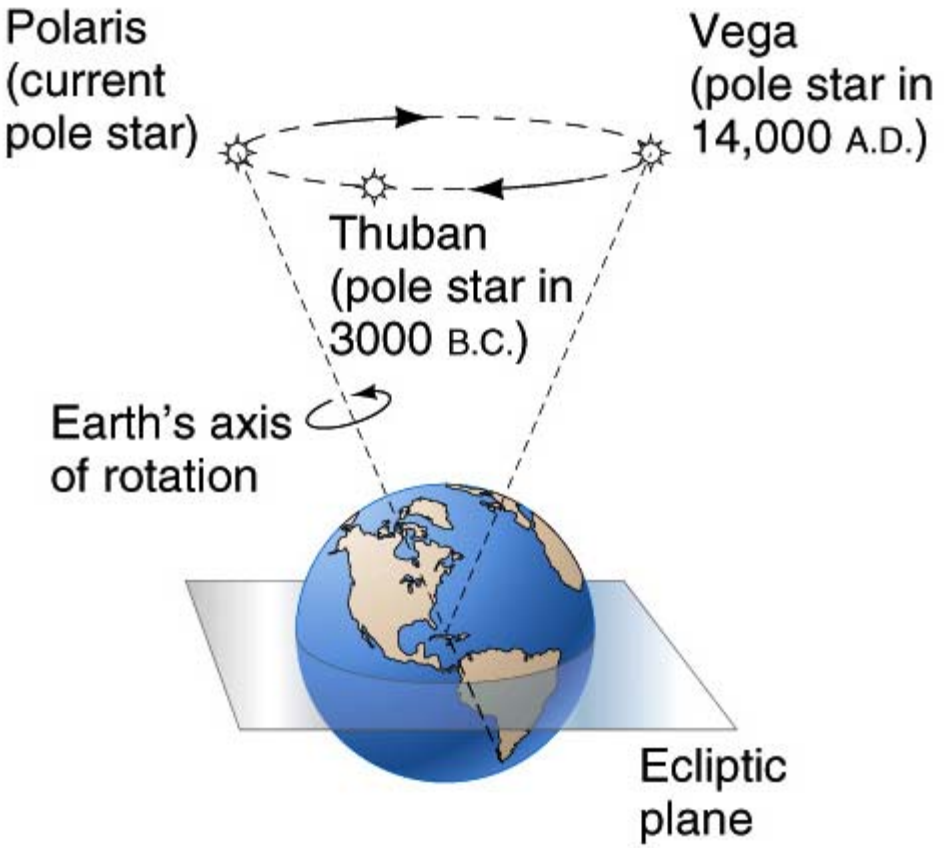


- Elle est actuellement de 23°27'.
- L'analyse de l'obliquité montre une périodicité voisine de 41 kyr.

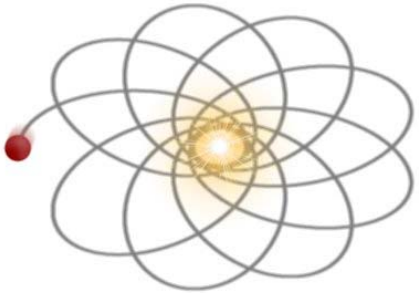


La précession

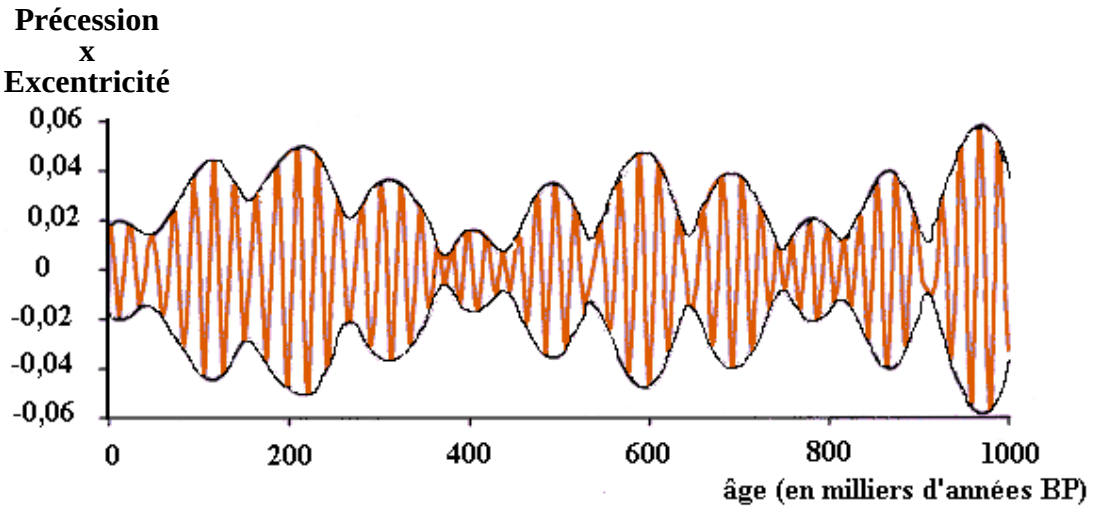
QuickTime™ and a
GIF decompressor
are needed to see this picture.



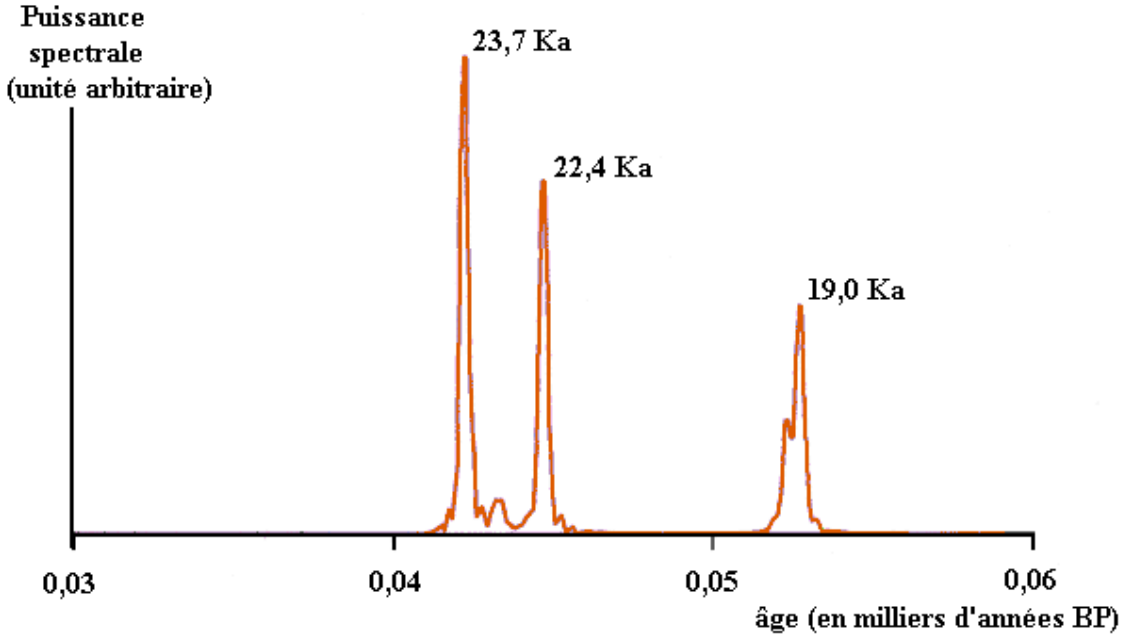
- L'axe reprend la "même position" environs tous les 26 kyr.



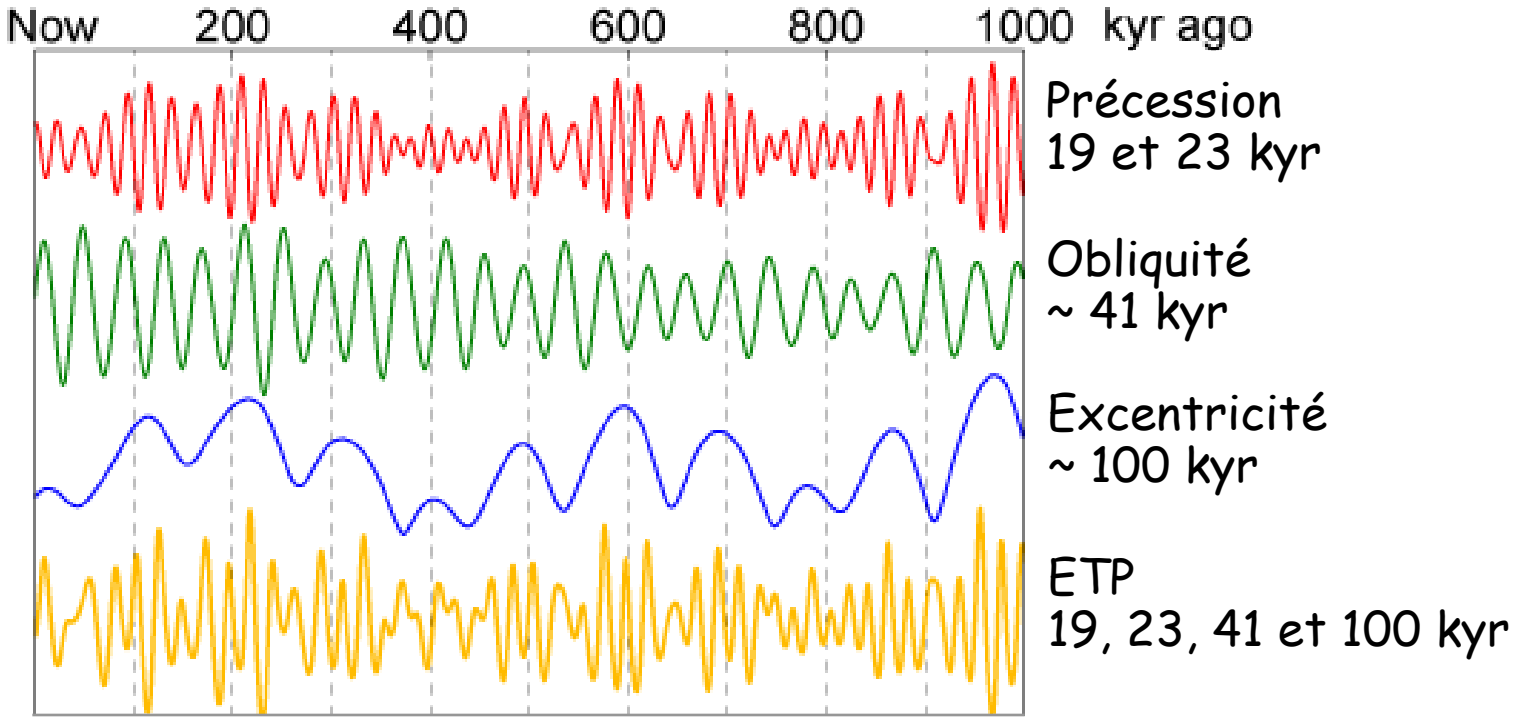
La précession



- La précession est modulée par l'excentricité et l'analyse montre une périodicité située essentiellement autour de 19, et 23 kyr.

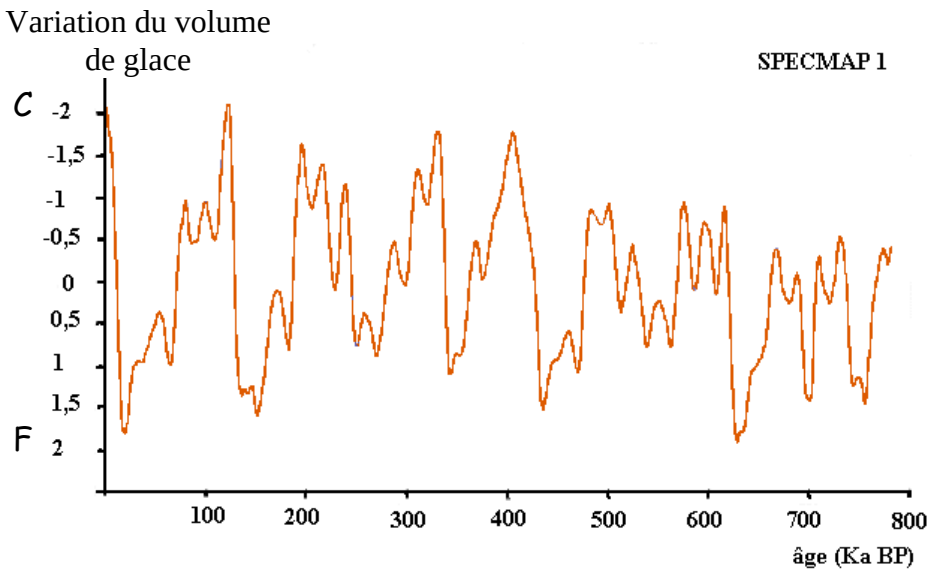


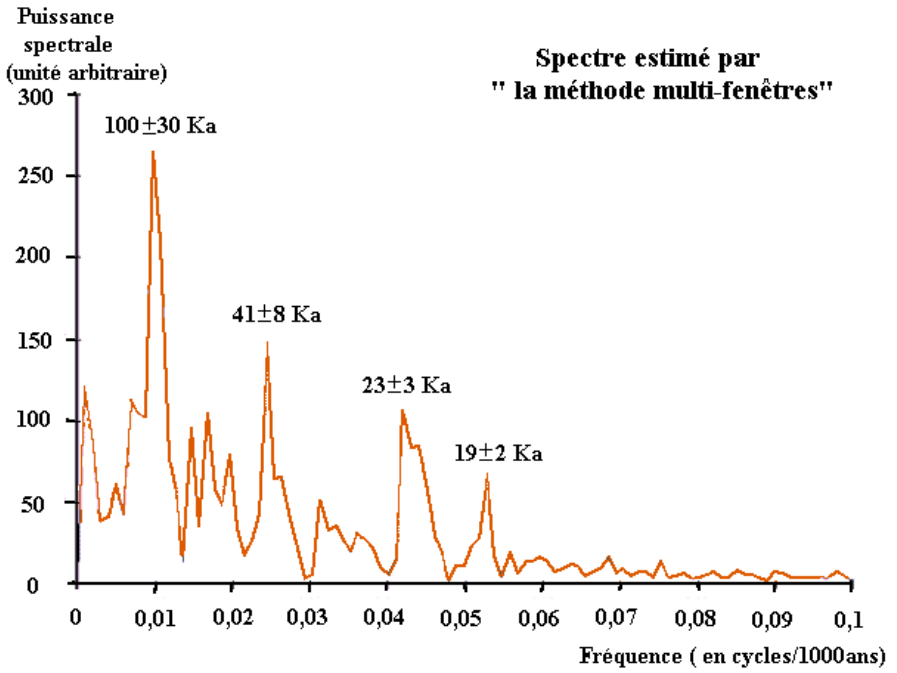
Excentricité, obliquité et précession



- Les périodicités du ETP sont autour de 19, 23, 41, et 100 kyr.

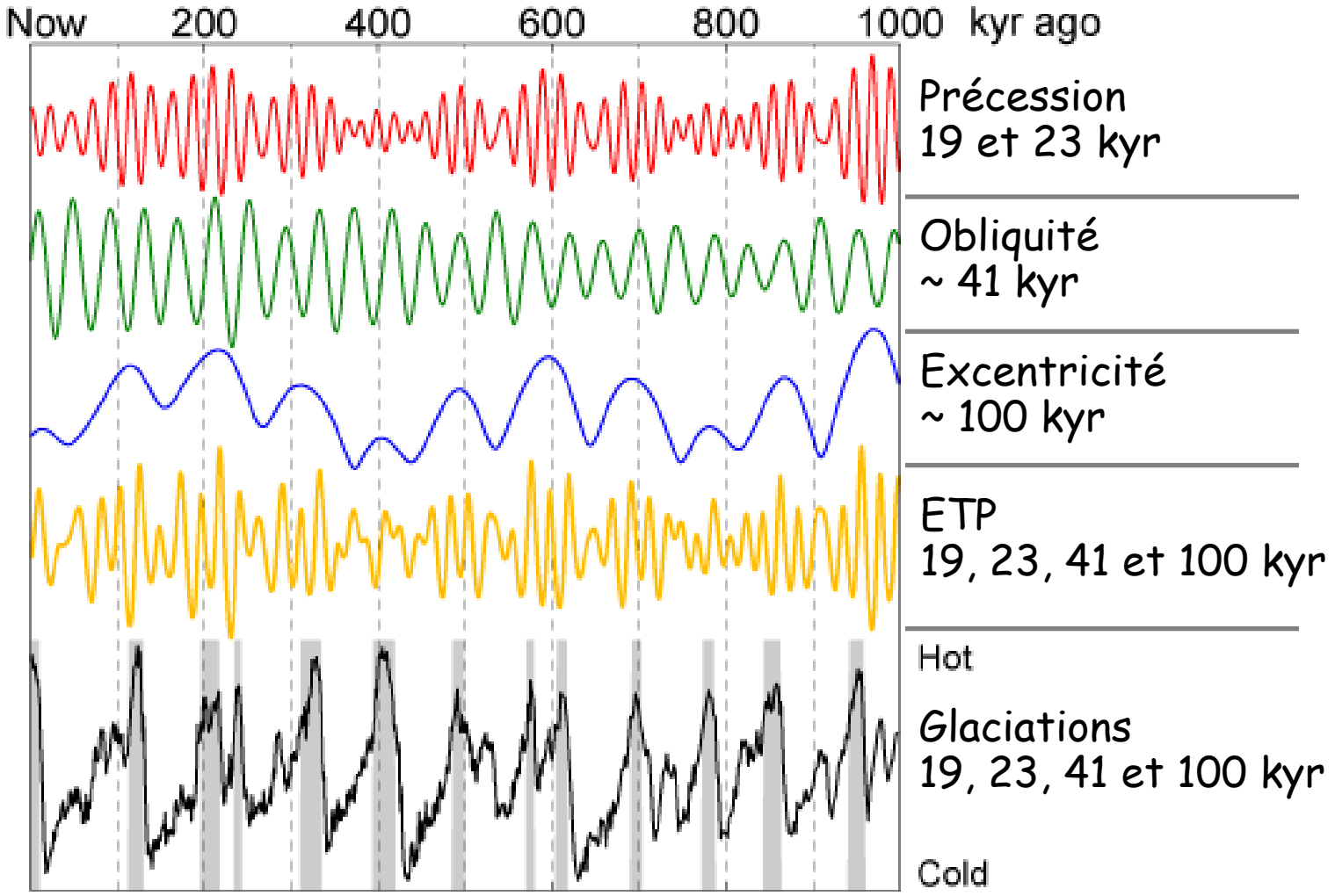
Variation du volume de glace





- Les périodicités du volume de glace sont autour de 19, 23, 41 et 100 kyr aussi.

Théorie de Milankovitch



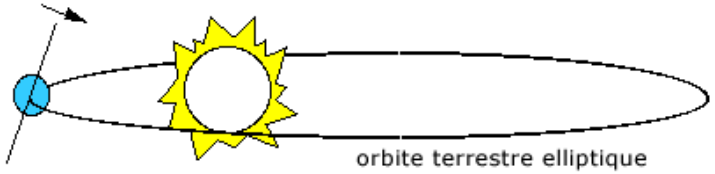
Théorie de Milankovitch

Période glaciaire

Excentricité faible
Inclinaison faible
Grande distance Terre-Soleil en été

--> configuration orbitale favorisant une glaciation
--> faible contraste entre les saisons

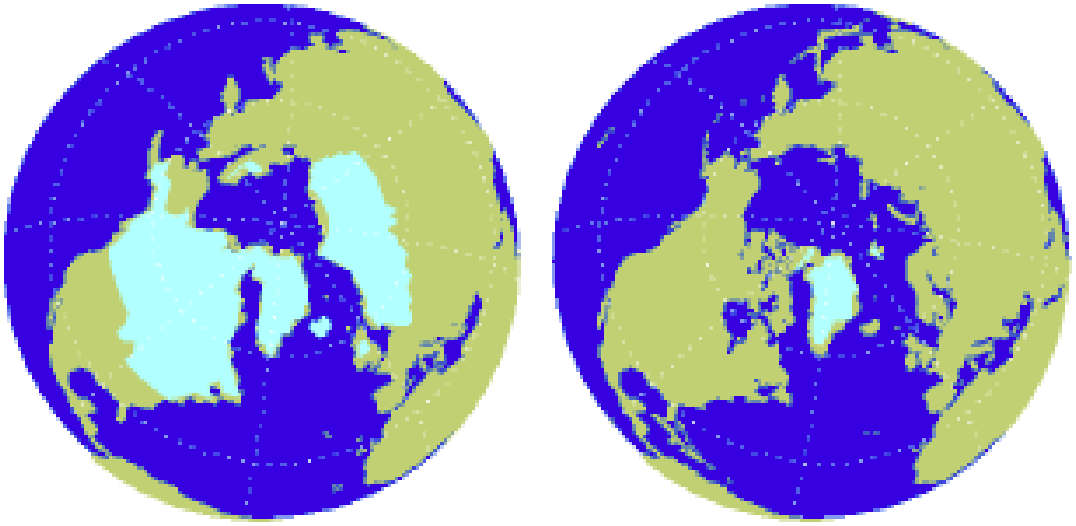
Période inter-glaciaire



Excentricité forte
Inclinaison forte
Faible distance Terre-Soleil en été

--> configuration orbitale favorisant une déglaciation
--> saisons contrastées (étés plus chauds, hivers plus froids)

Dernier age glaciaire

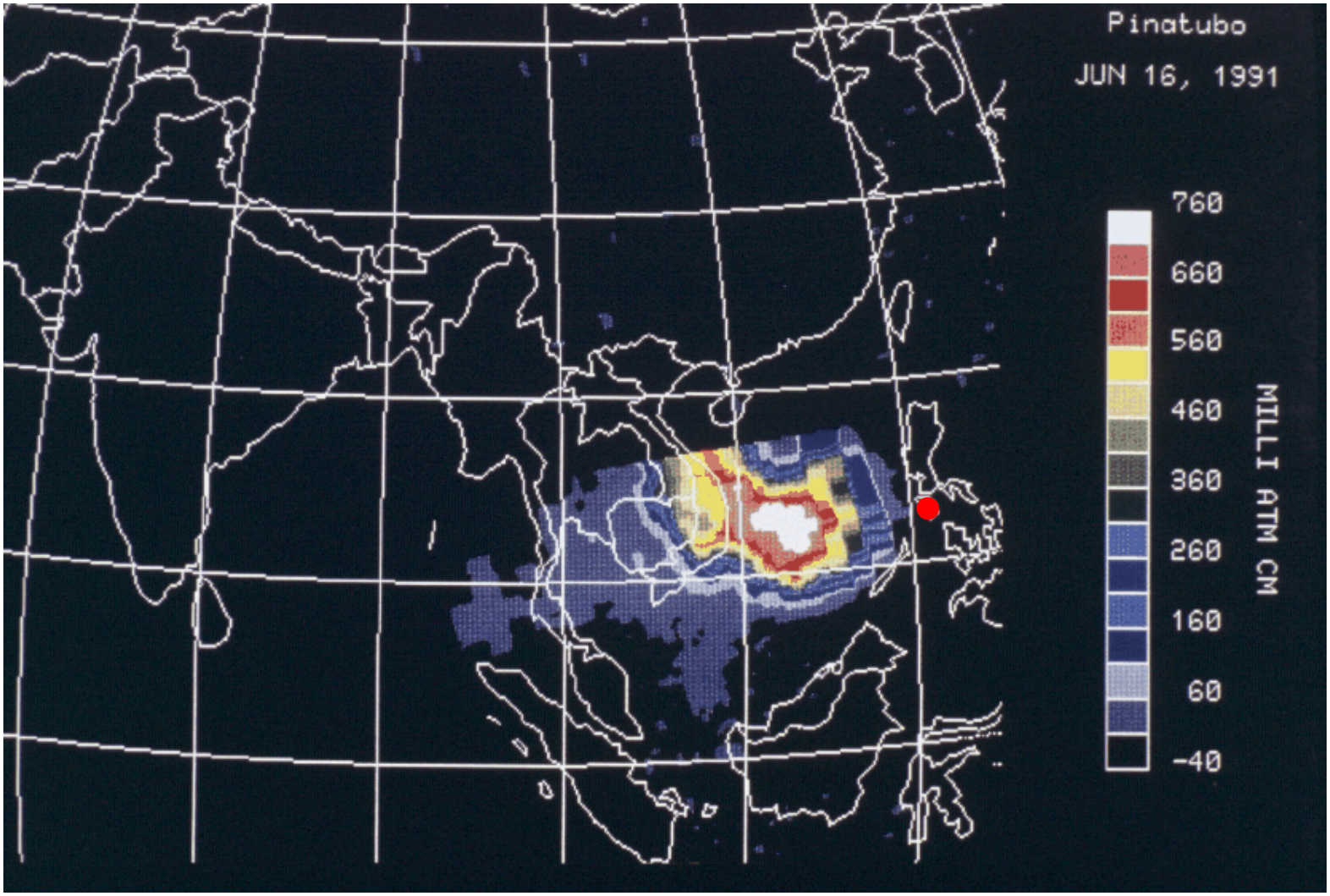


Étendu du couvert de glace sur les continents de l'hémisphère nord il y a 20000 ans (gauche) au maximum du denier age glaciaire en comparaison à l'étendu actuel (droite). Tiré de Wallace et Hobbs, 2006.

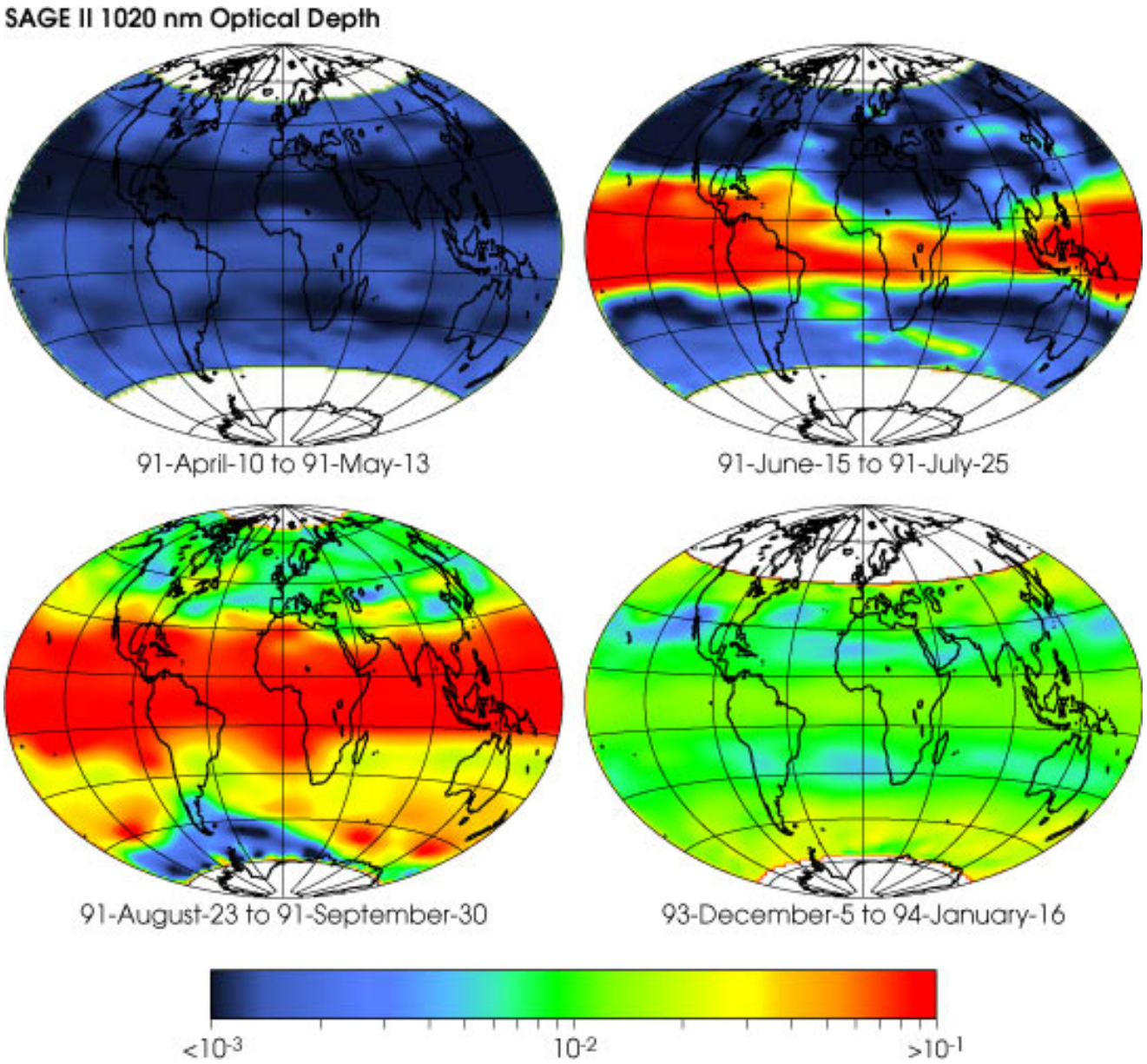
Les éruptions de volcans

Mont Pinatubo, Philippines, le 15 juin 1991

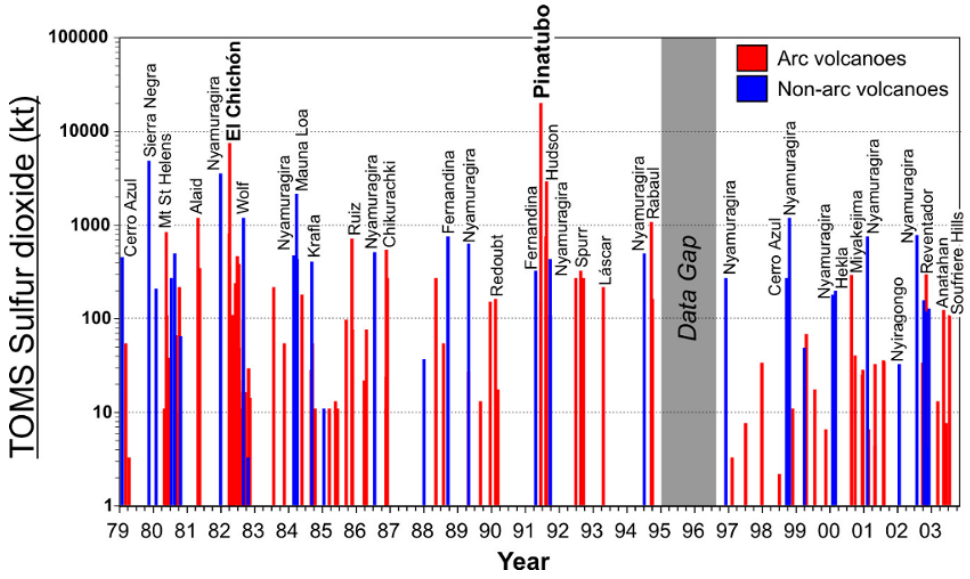
Mont Pinatubo, panache de SO_2



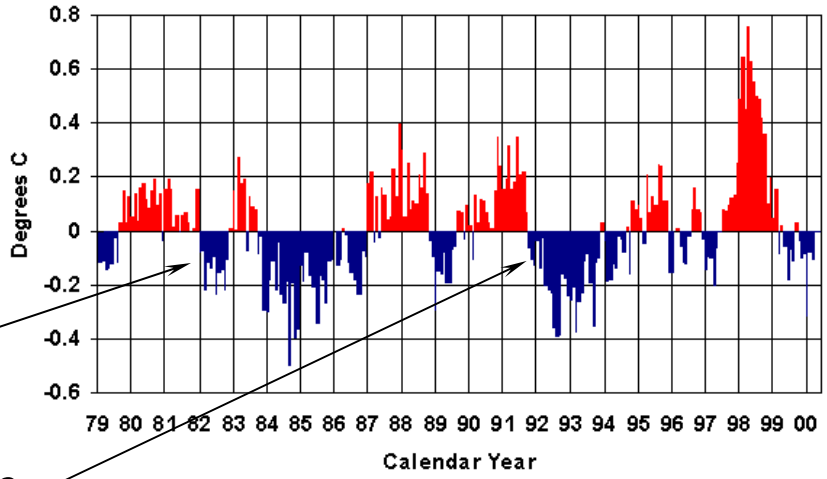
Mont Pinatubo, masse d'aérosols



Anomalies de la température



Global Tropospheric Temperature Anomalies
Jan. 1979 - May 2000

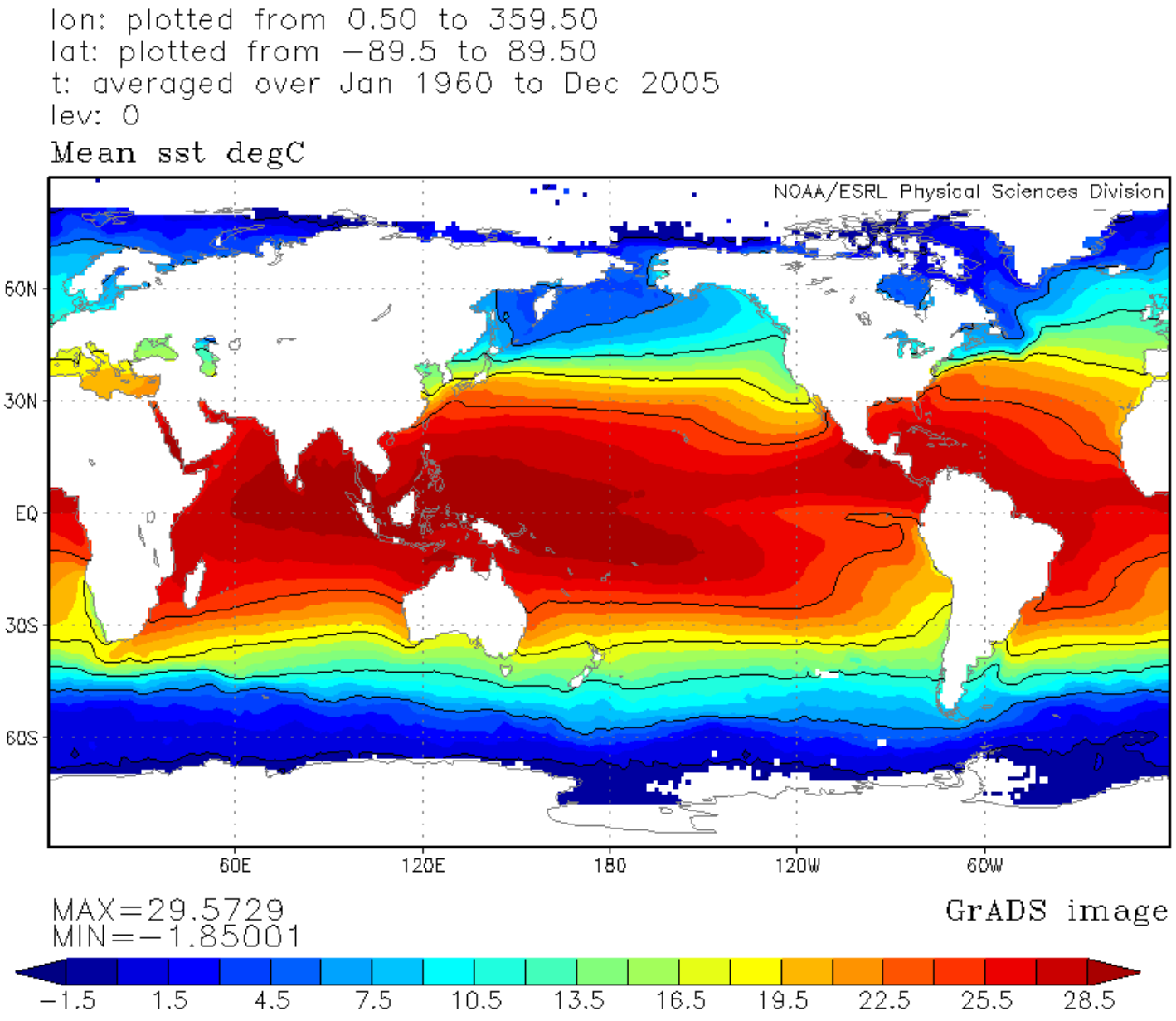


El Chichon

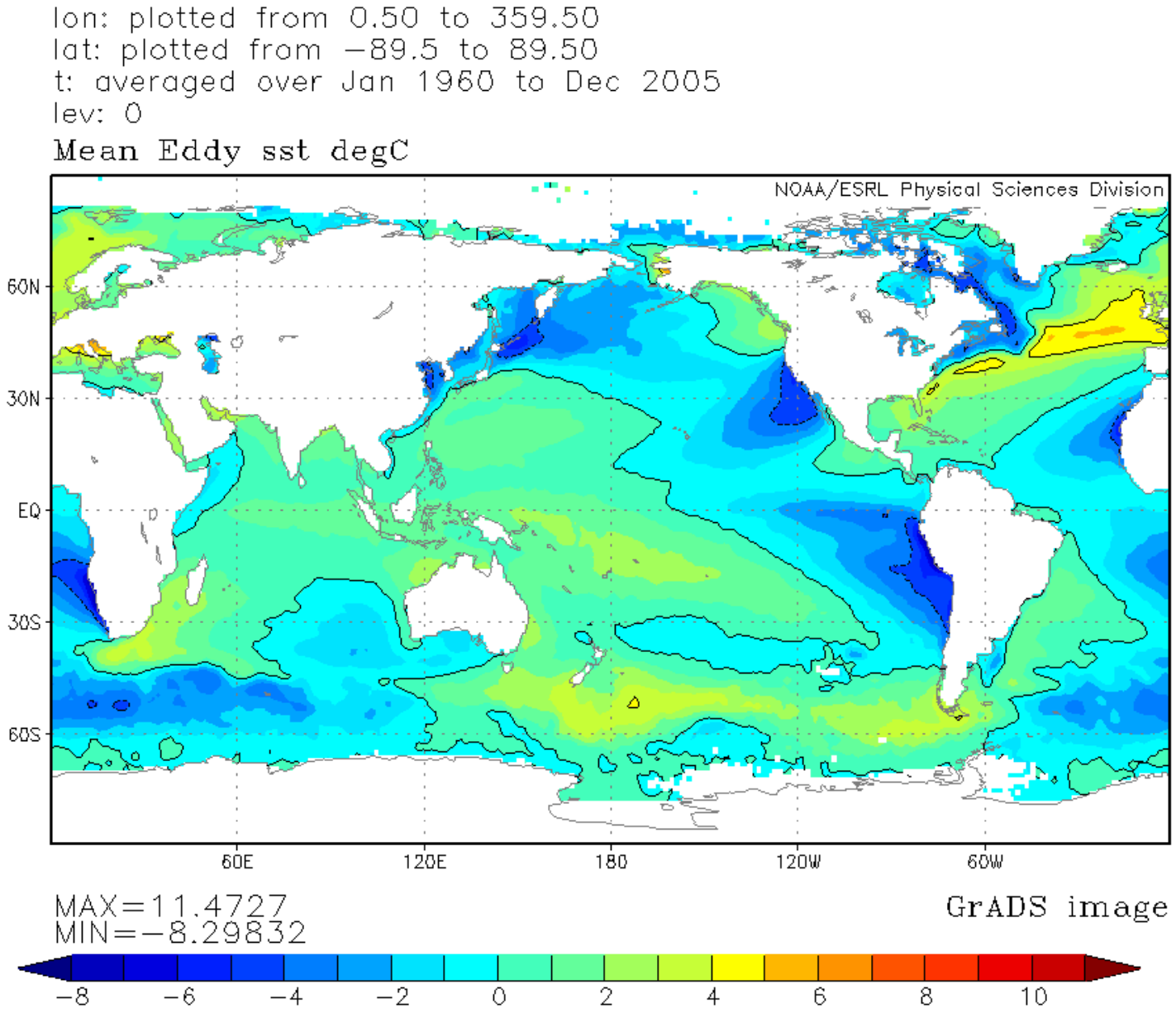
Pinatubo

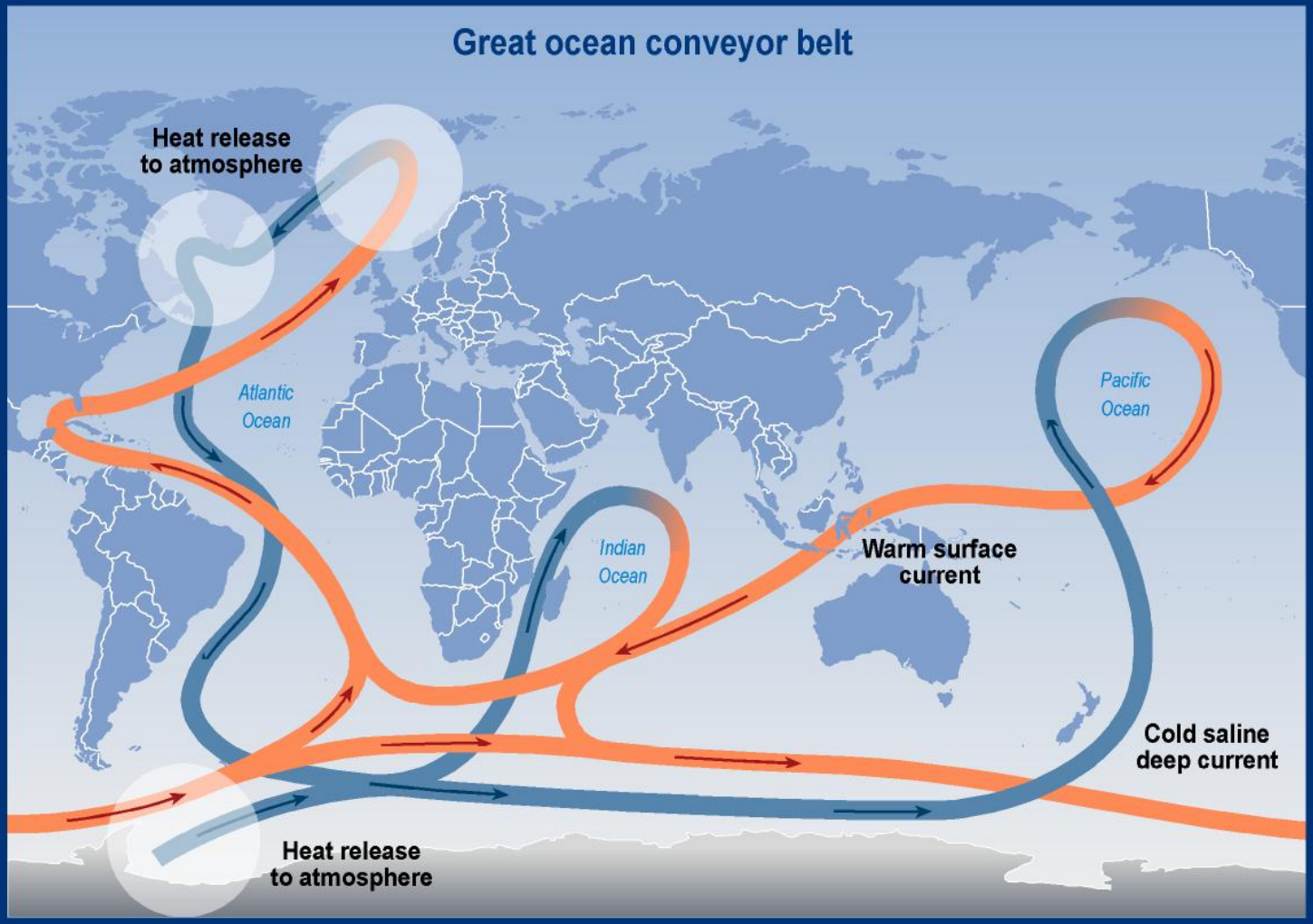
La circulation océanique

Température de l'eau : Moyenne annuelle



Température de l'eau : Anomalie



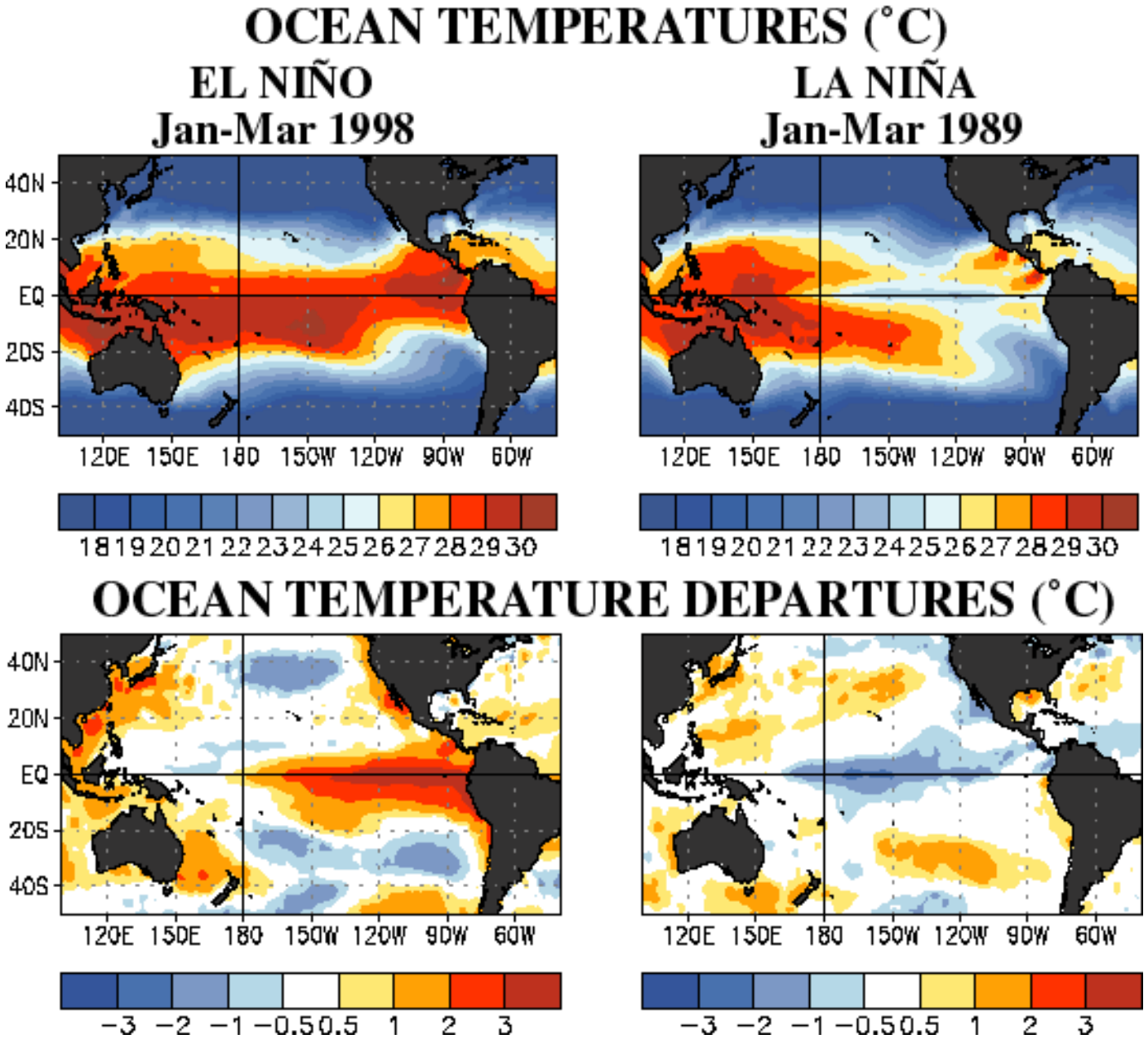


SYR - FIGURE 4-2

Circulation thermohaline

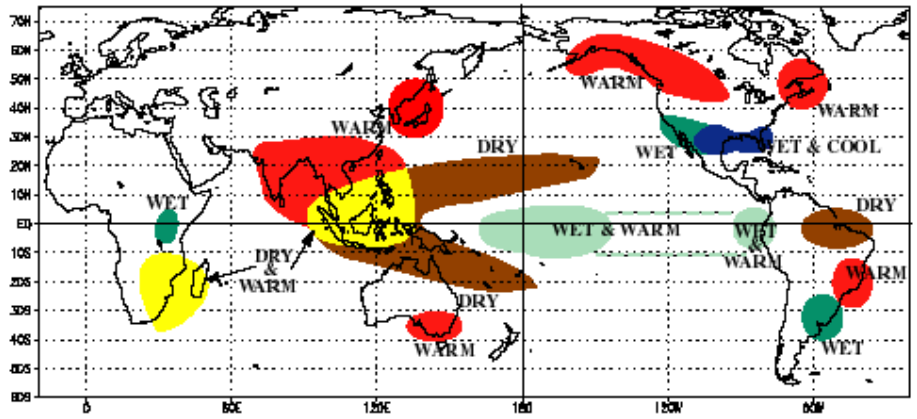
QuickTime™ and a
Cinepak decompressor
are needed to see this picture.

Anomalie saisonnière de la SST

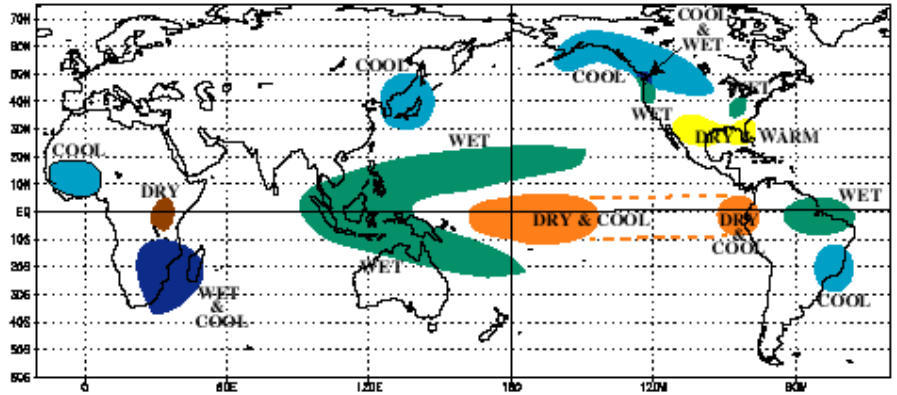


El Niño - La Niña

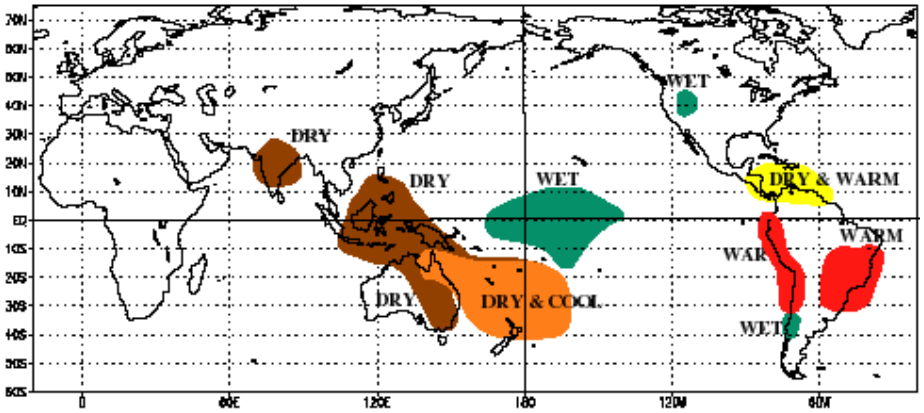
WARM EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



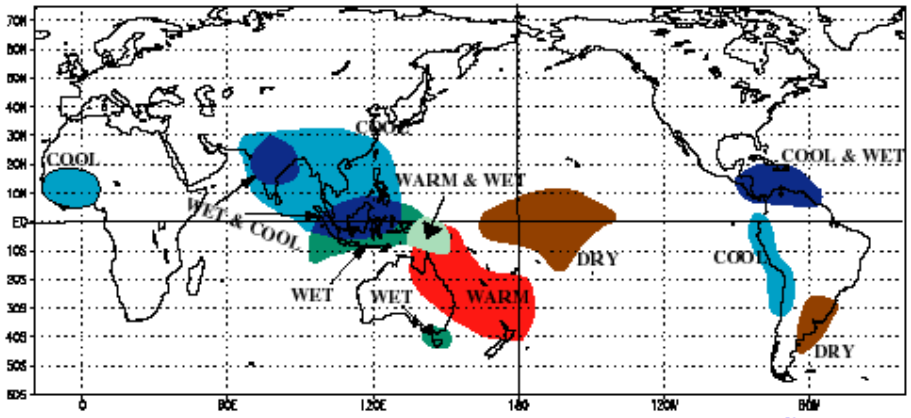
COLD EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



WARM EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST

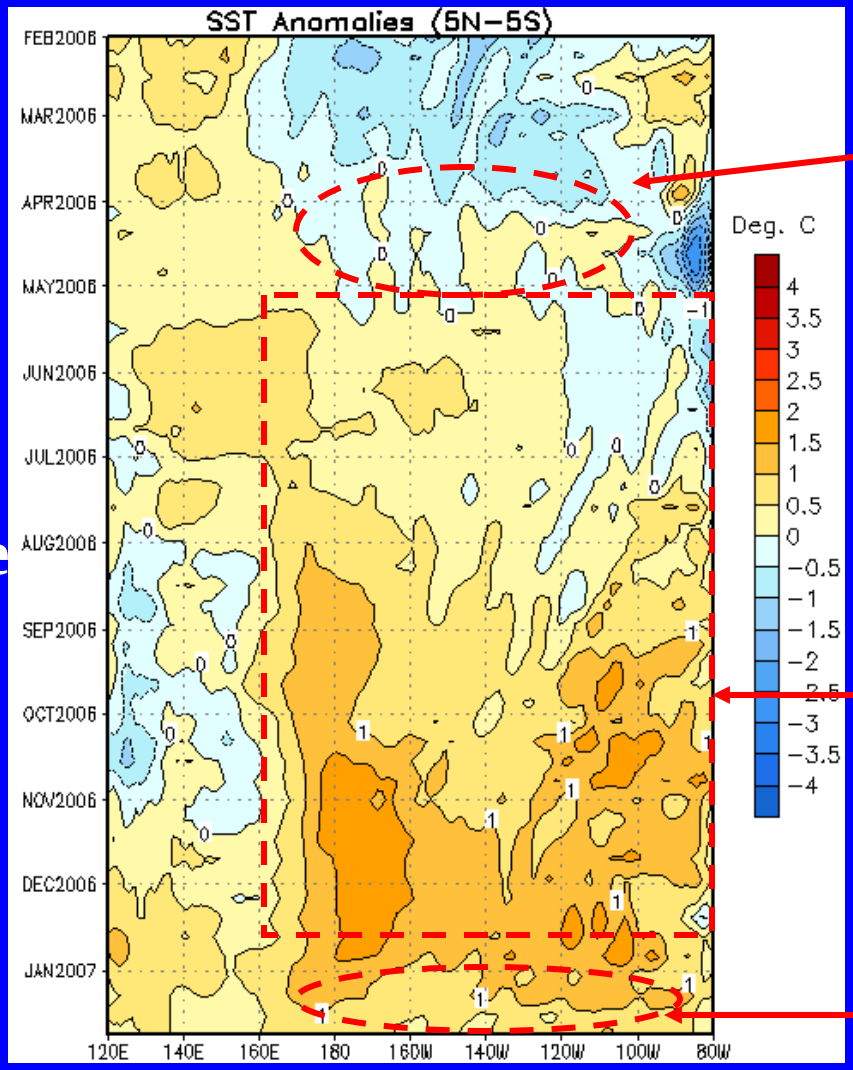


COLD EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST



Warm
Wet
Dry
Cool
Wet & Cool
Dry & Cool
Wet & Warm
Dry & Warm

Recent Evolution of Equatorial Pacific SST Departures (ºC)



Time

Longitude

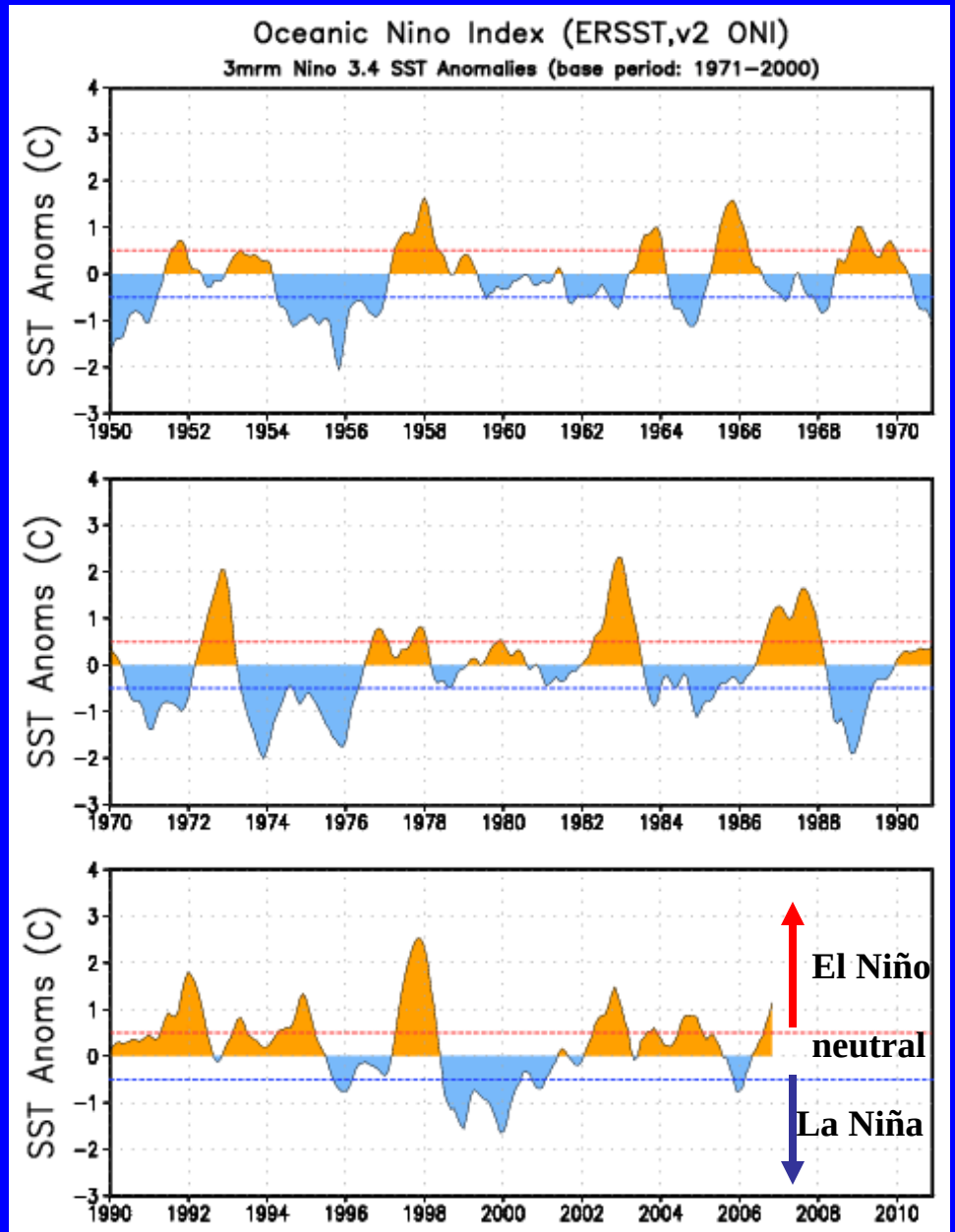
SST departures switched to positive during April/May 2006.

Between May 2006 and December 2006, positive SST anomalies increased across the equatorial Pacific between 160ºE and the South American coast.

In late December 2006-early January 2007 SST anomalies decreased in most areas east of the Date Line.

ONI (ºC): Evolution since 1950

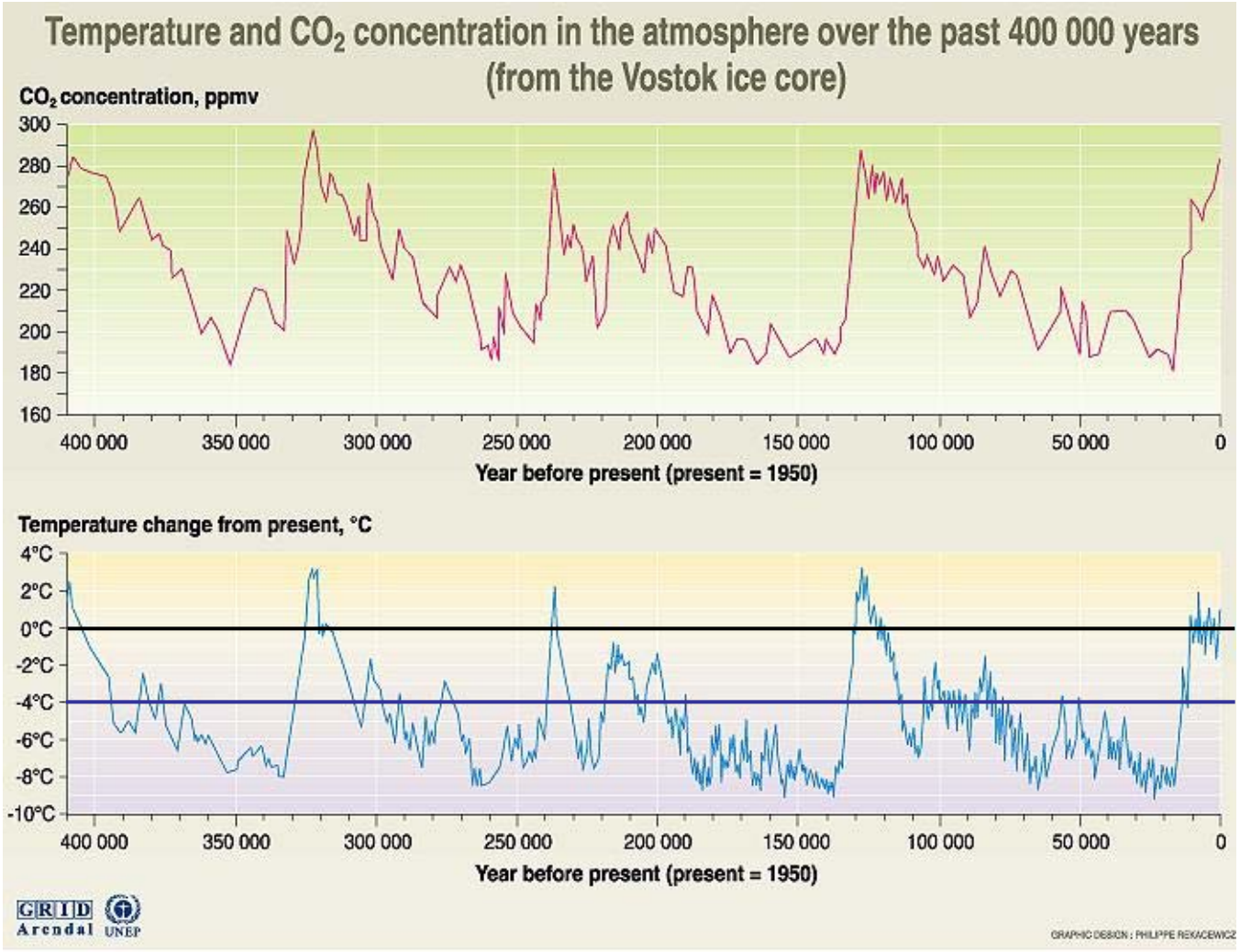
The most recent ONI value (October-December 2006) is 1.1ºC.



La concentration de CO_2 dans l'atmosphère

Un changement climatique à court terme?

Température globale - Concentration CO_2



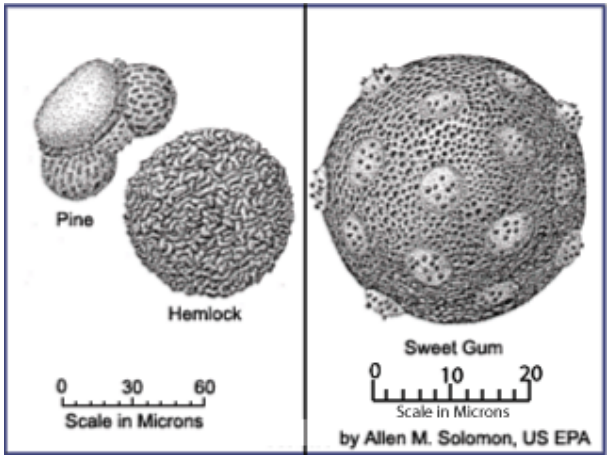
Source: J.R. Petit, J. Jouzel, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, Nature 399 (3JUne), pp 429-436, 1999.

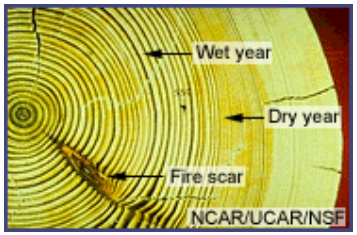
Mesures indirectes de température

Plusieurs techniques sont utilisées pour mesurer le climat du passé :

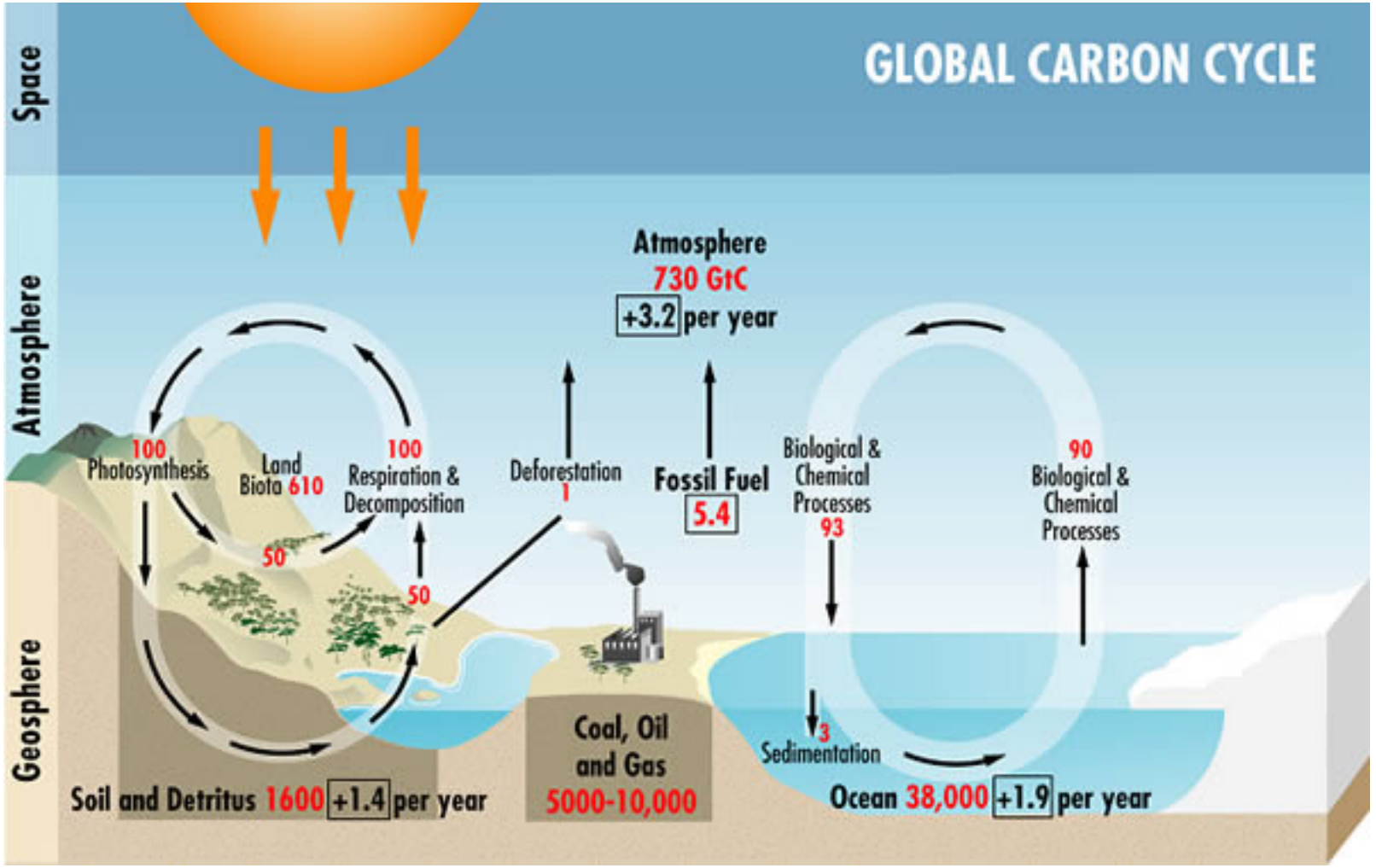
- Examen des échantillons de fossiles et de pollens
- Extraction d'échantillons de glace profonde des glaciers et des calottes polaires
- Examen des anneaux de croissance des arbres

Toutes ces méthodes donnent des indices sur la température, la précipitation et la rose de vents aussi bien que sur la composition chimique de l'atmosphère du passé.

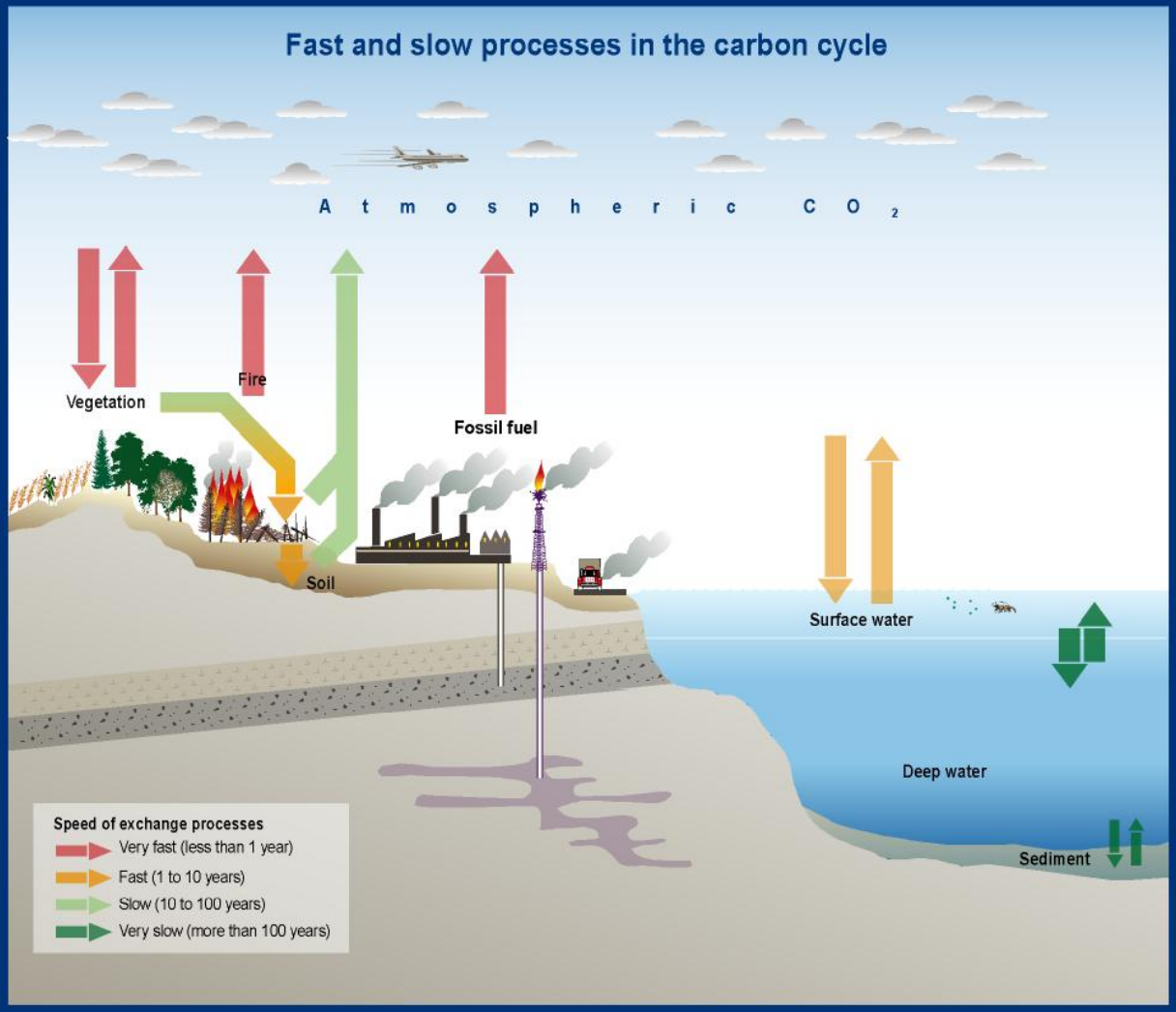




Cycle du carbone



Australian Government
Bureau of Meteorology



SYR - FIGURE 5-4

Sources primaires de CO_2

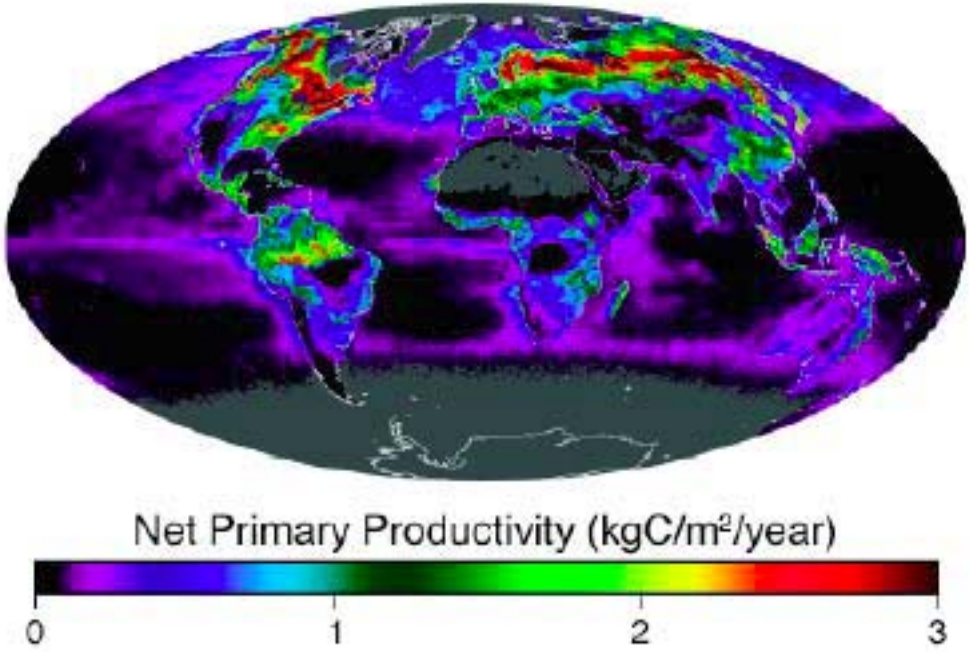
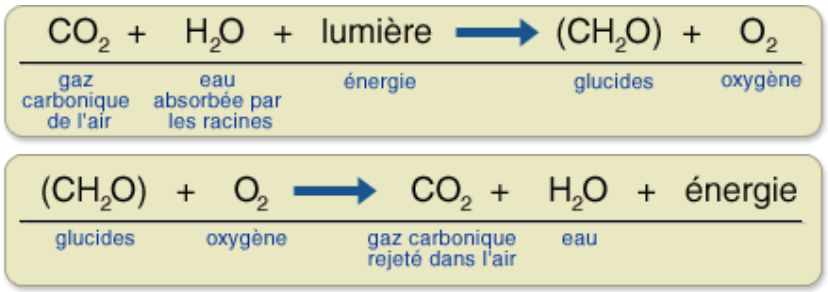
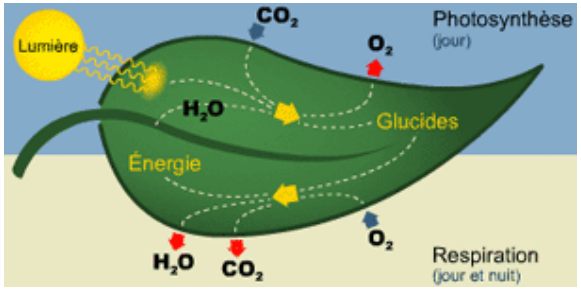
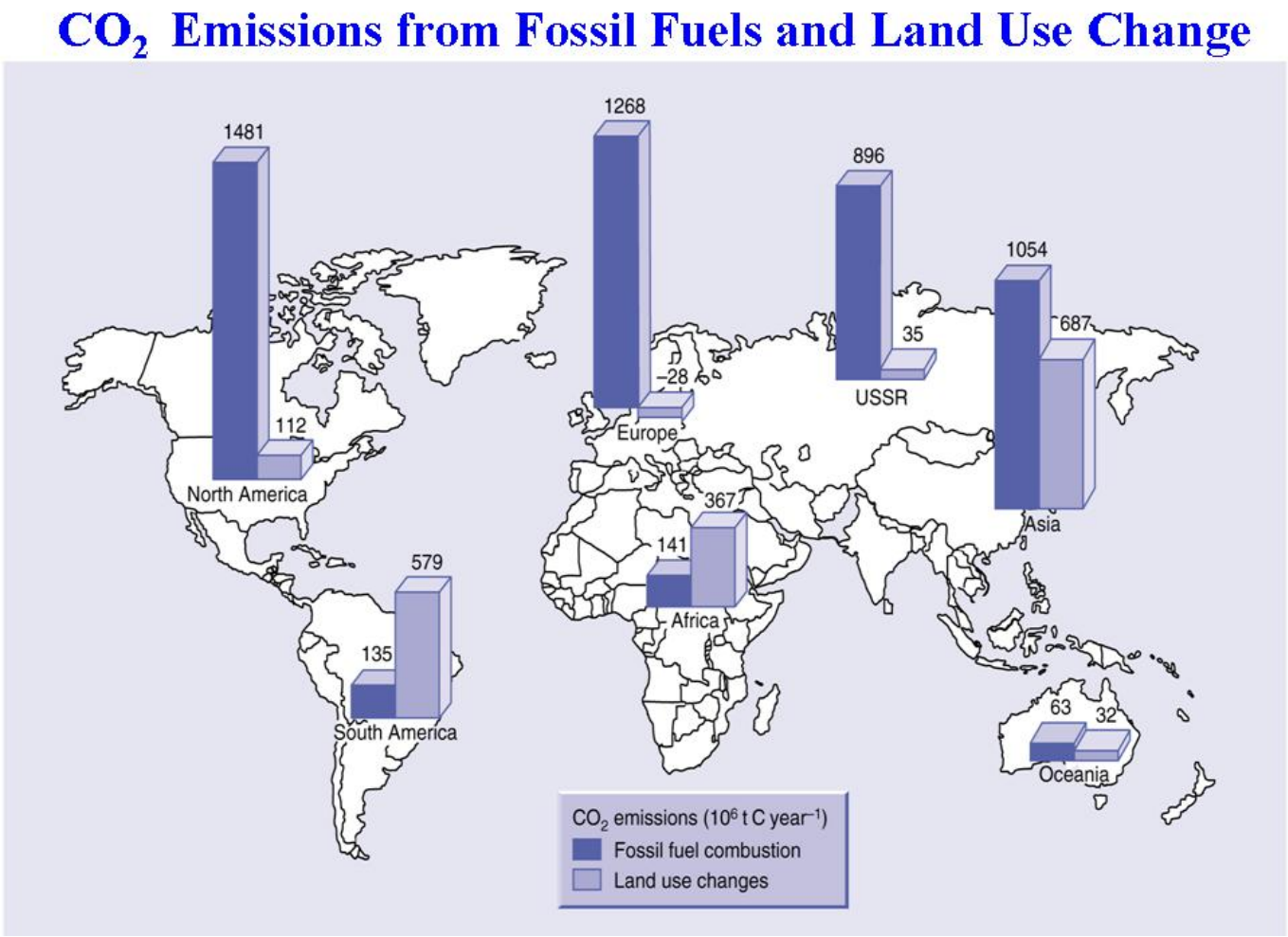


Fig. 2.24 Rate of carbon uptake by photosynthesis, commonly referred to as net primary productivity, averaged over June 2002, in units of kg/m2/yr. Values are low over high latitudes of the southern hemisphere because of the lack of sunlight. [Based on NASA SeaWIFS imagery.]

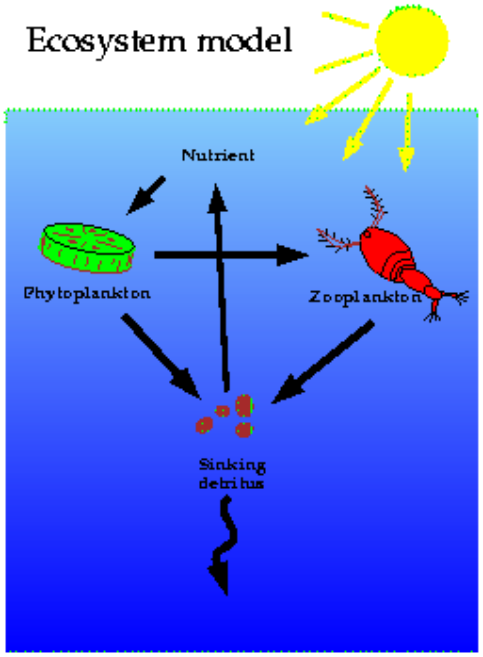


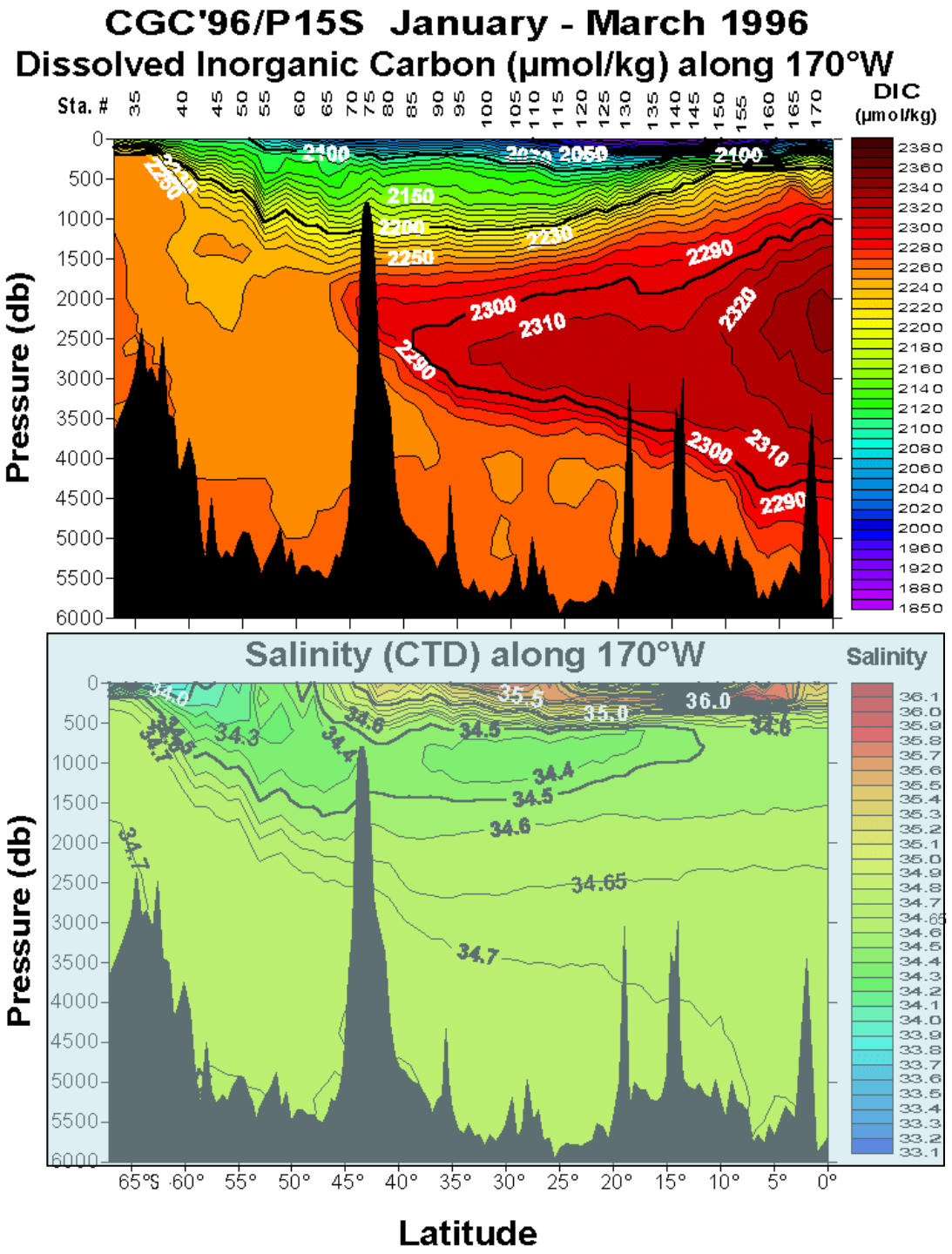


Emission anthropique de CO_2

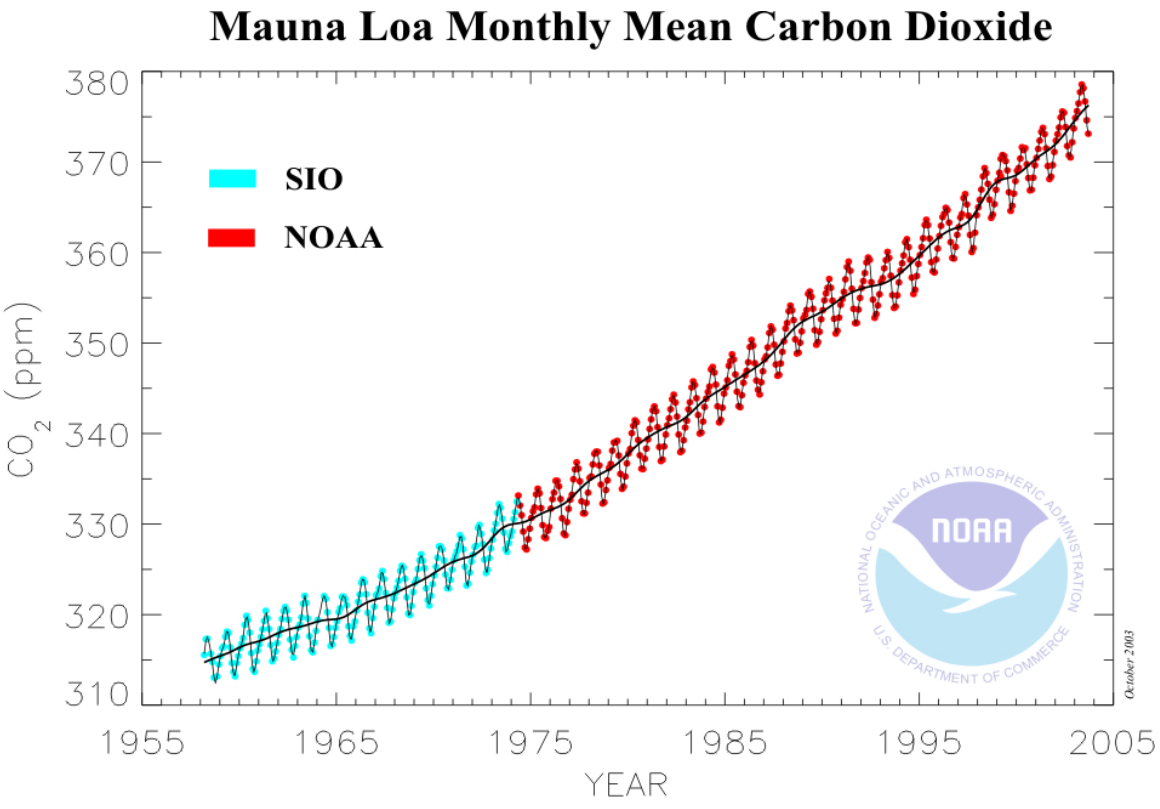


Les océans, puits de CO_2

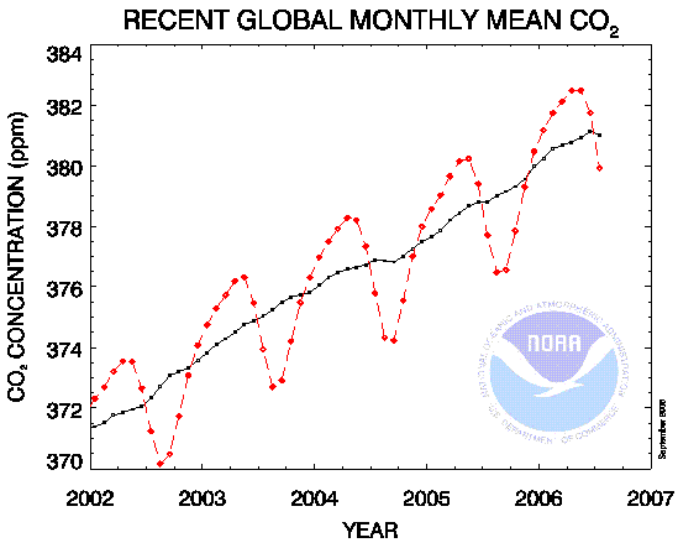




Tendance du CO_2

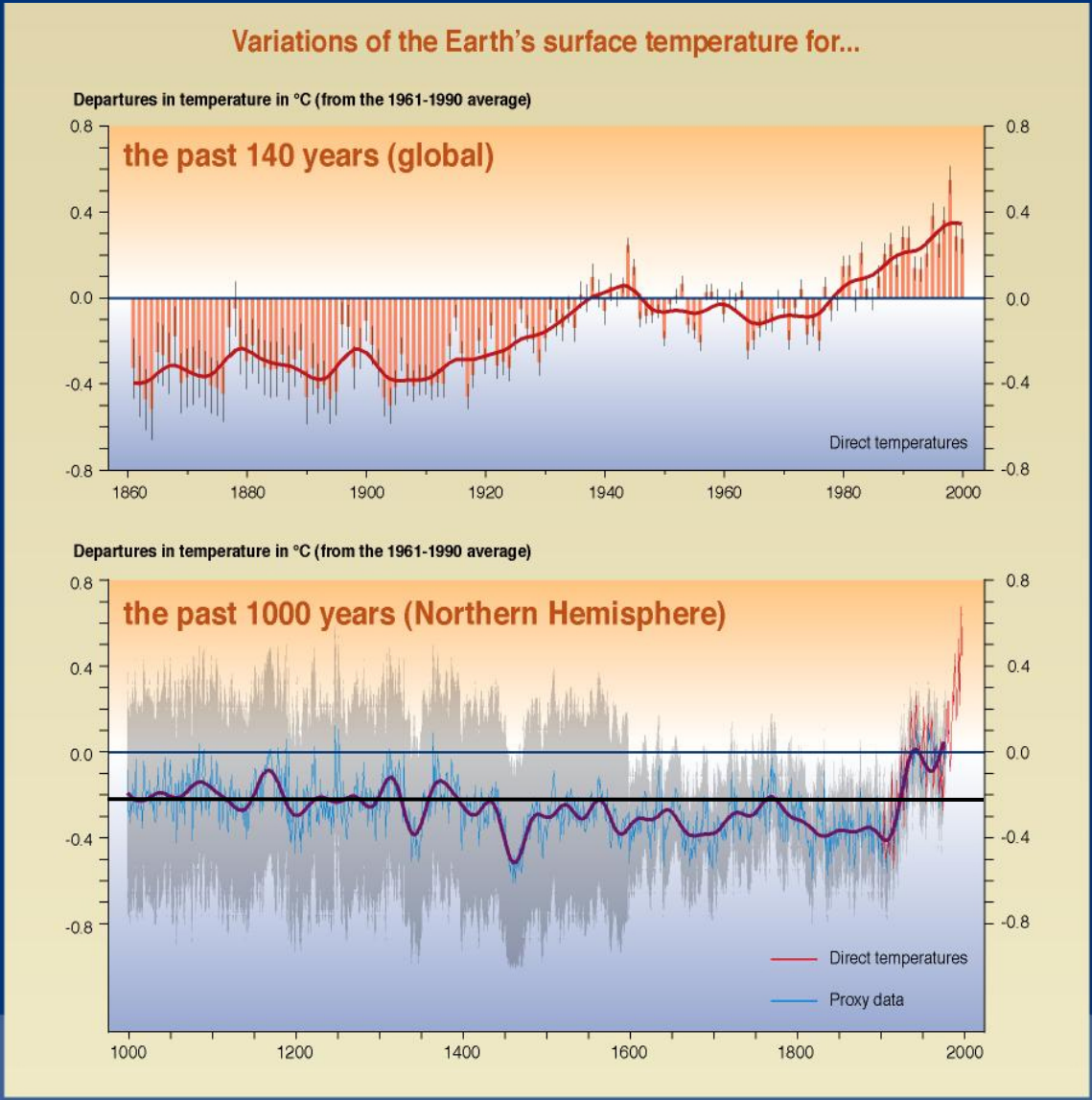


Atmospheric carbon dioxide monthly mean mixing ratios. Data prior to May 1974 are from the Scripps Institution of Oceanography (SIO, blue), data since May 1974 are from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, red). A long-term trend curve is fitted to the monthly mean values. Principal investigators: Dr. Pieter Tans, NOAA CMDL Carbon Cycle Greenhouse Gases, Boulder, Colorado, (303) 497-6678, pieter.tans@noaa.gov, and Dr. Charles D. Keeling, SIO, La Jolla, California, (616) 534-6001, cdkeeling@ucsd.edu.



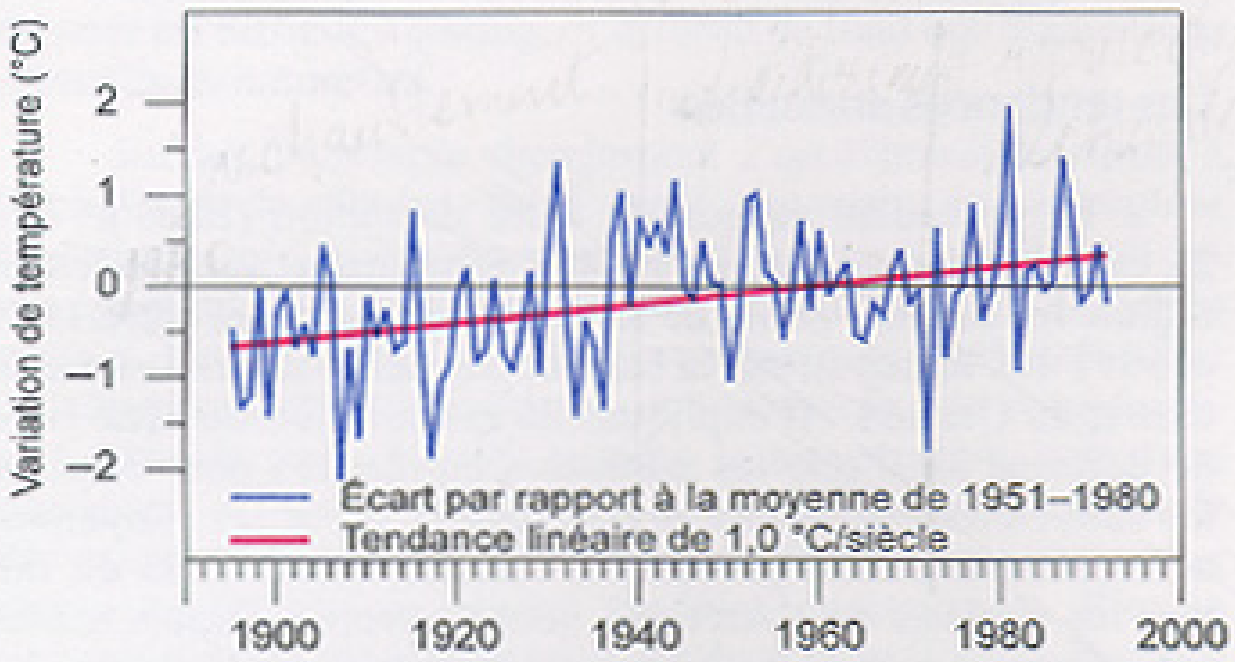
- Le cycle annuel est dû au caractère saisonnier de la végétation.
- Pour les latitudes arctiques, l'amplitude du cycle peut attendre les 15 ppmv.

Évolution de la température



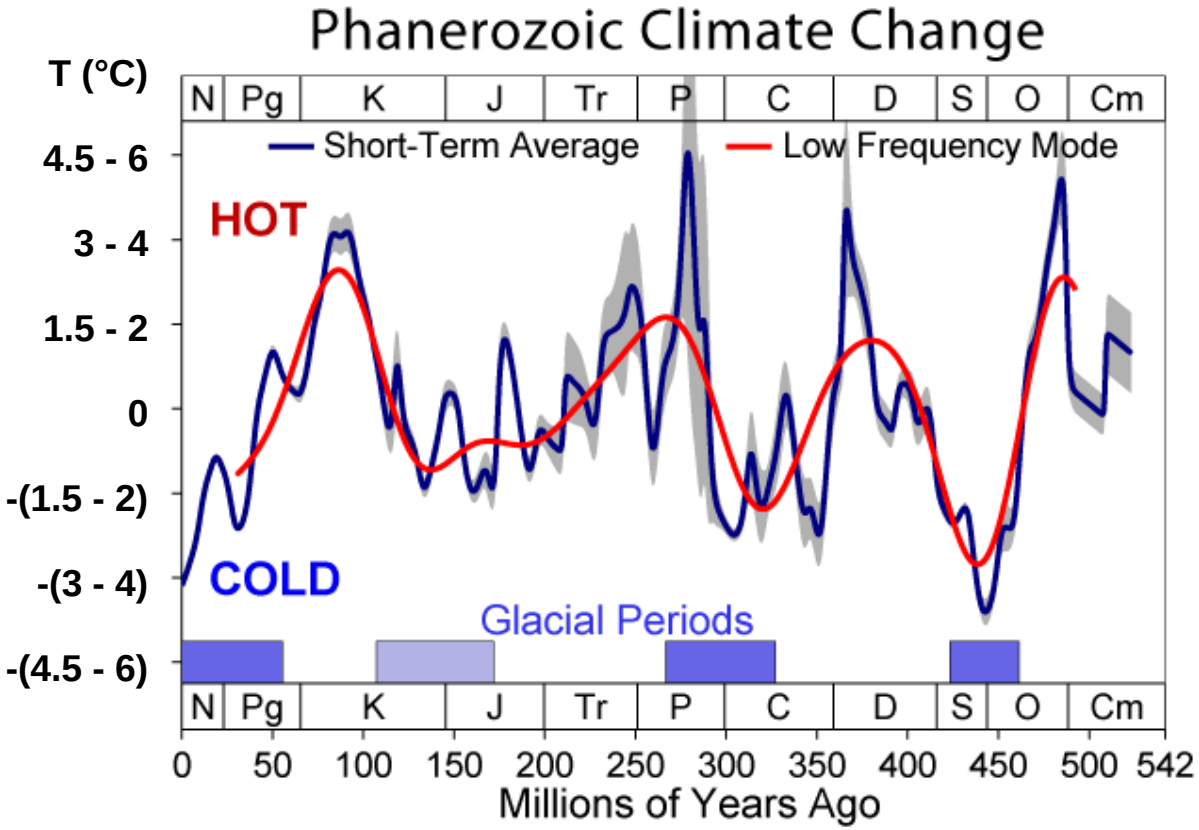
La température au Canada

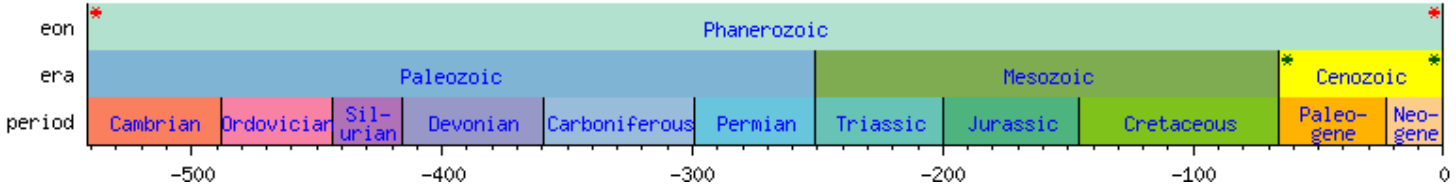
Figure 3
Tendance de la température annuelle au Canada, 1895–1992



Source : Environnement Canada.

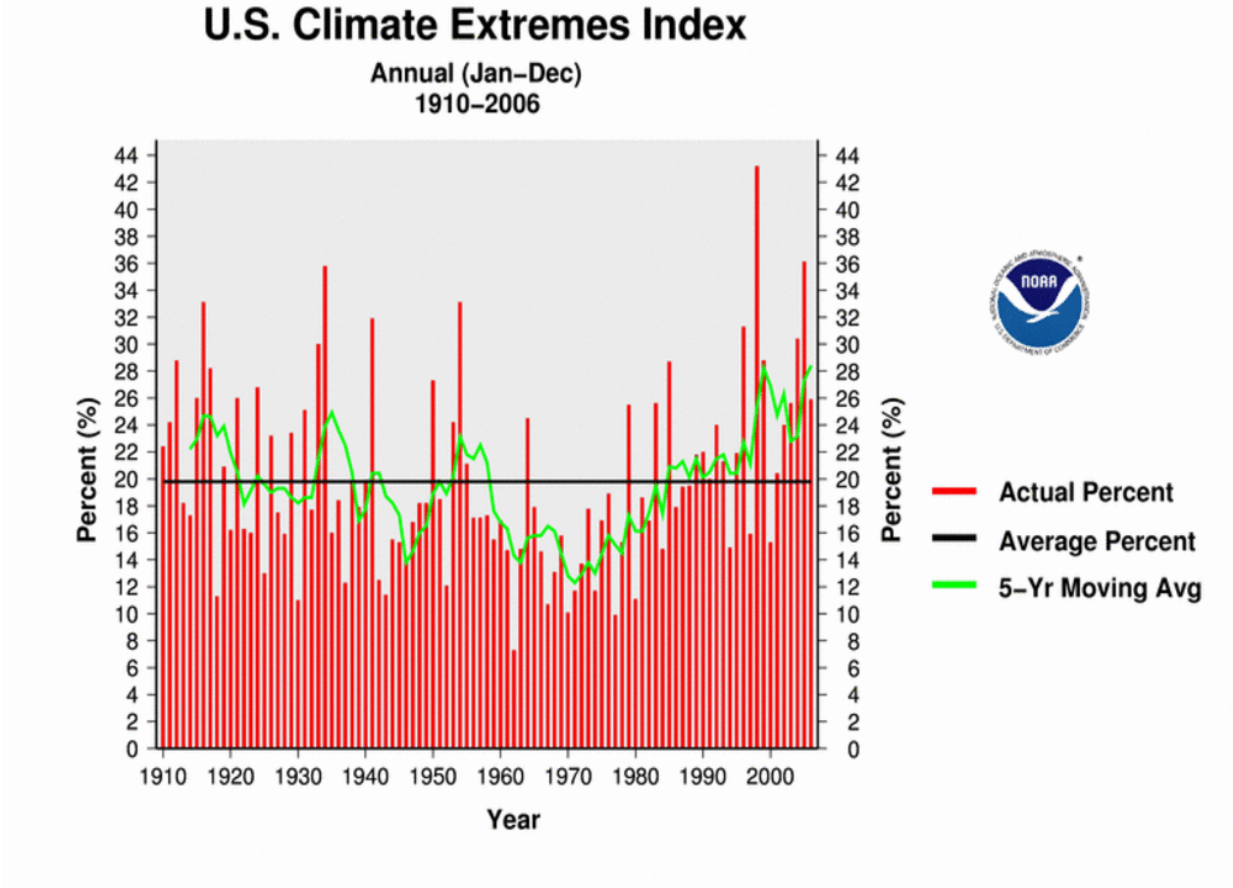
Les derniers 500 million d'année





Indice de temps extrême

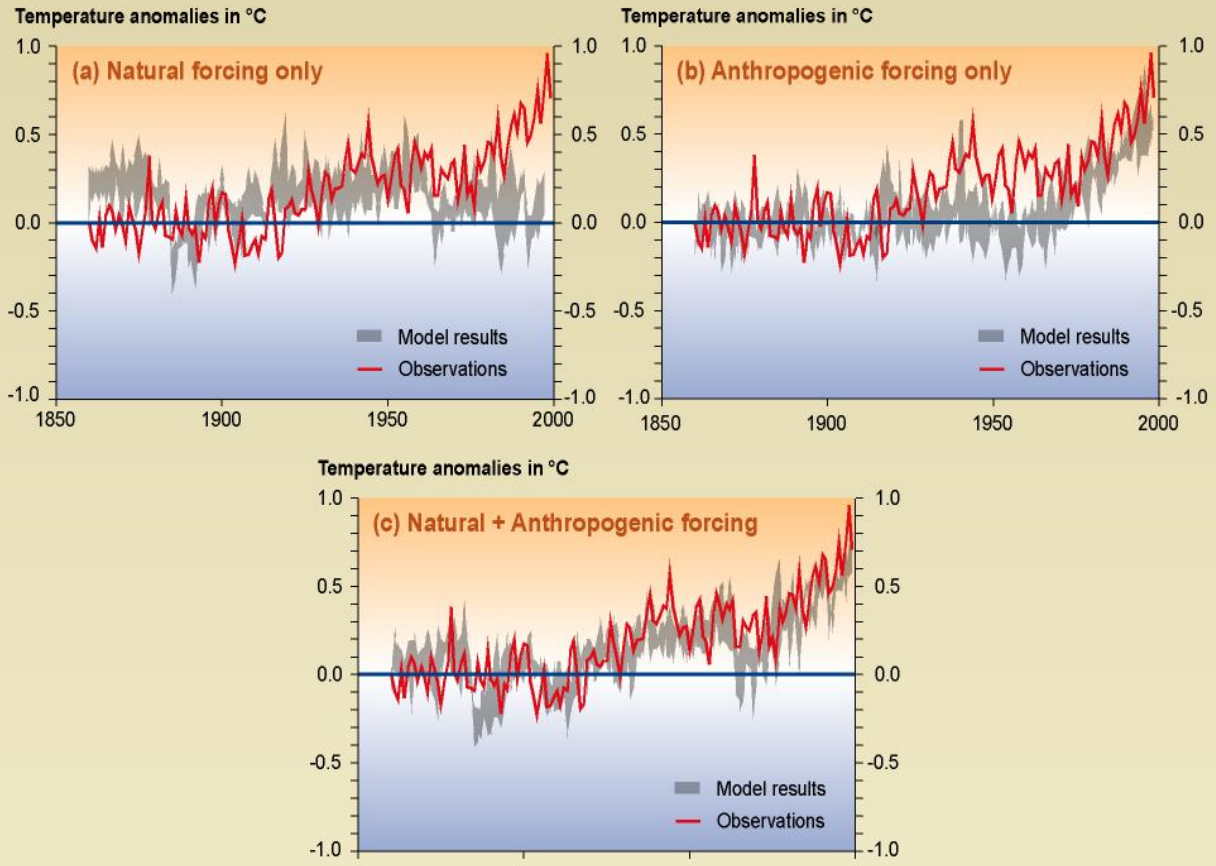
- Température maximale et minimale du mois
- Précipitation journalière
- Indice mensuel de sécheresse
- Vitesse du vent des cyclones tropicaux et des ouragans sur les terres



- Peut-être étions-nous "gâtés" par un climat anormalement **régulier** pendant les derniers 40 ans?

- Est-ce que nos modèles numériques sont assez justes et précis pour prévoir la variabilité du climat du futur?

Comparison between modeled and observations of temperature rise since the year 1860



SYR - FIGURE 2-4

NASA