

CAMBIOS CLIMATICOS EN EL PASADO

CAUSAS INICIALES
Y EFECTOS AMPLIFICADORES

Ha cambiado el clima ?

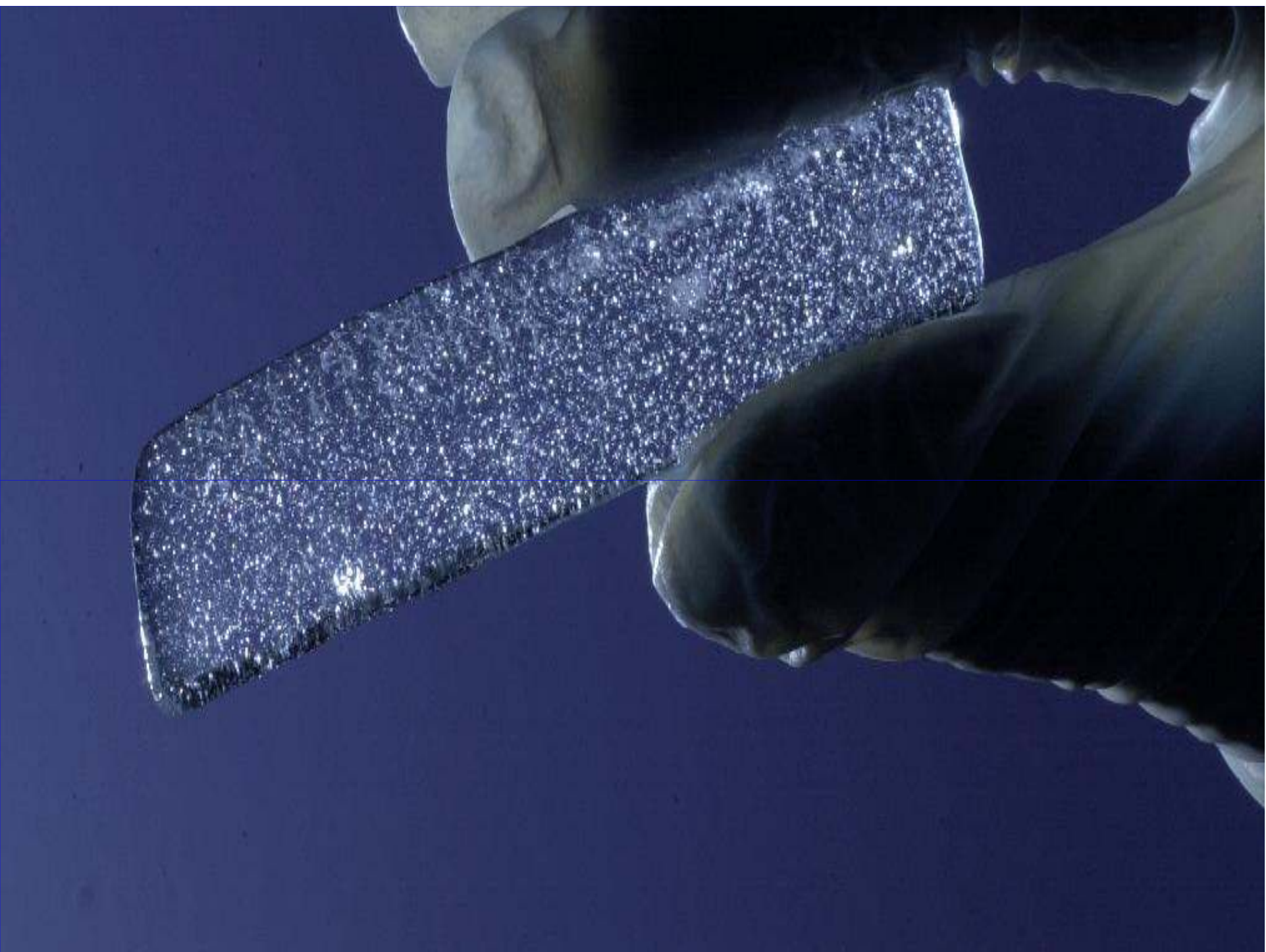
El clima :

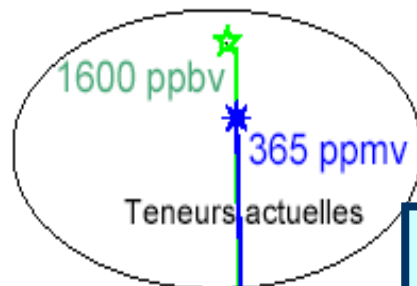
Es el tiempo que se espera tener

El estado del tiempo :

El tiempo que verdaderamente hay

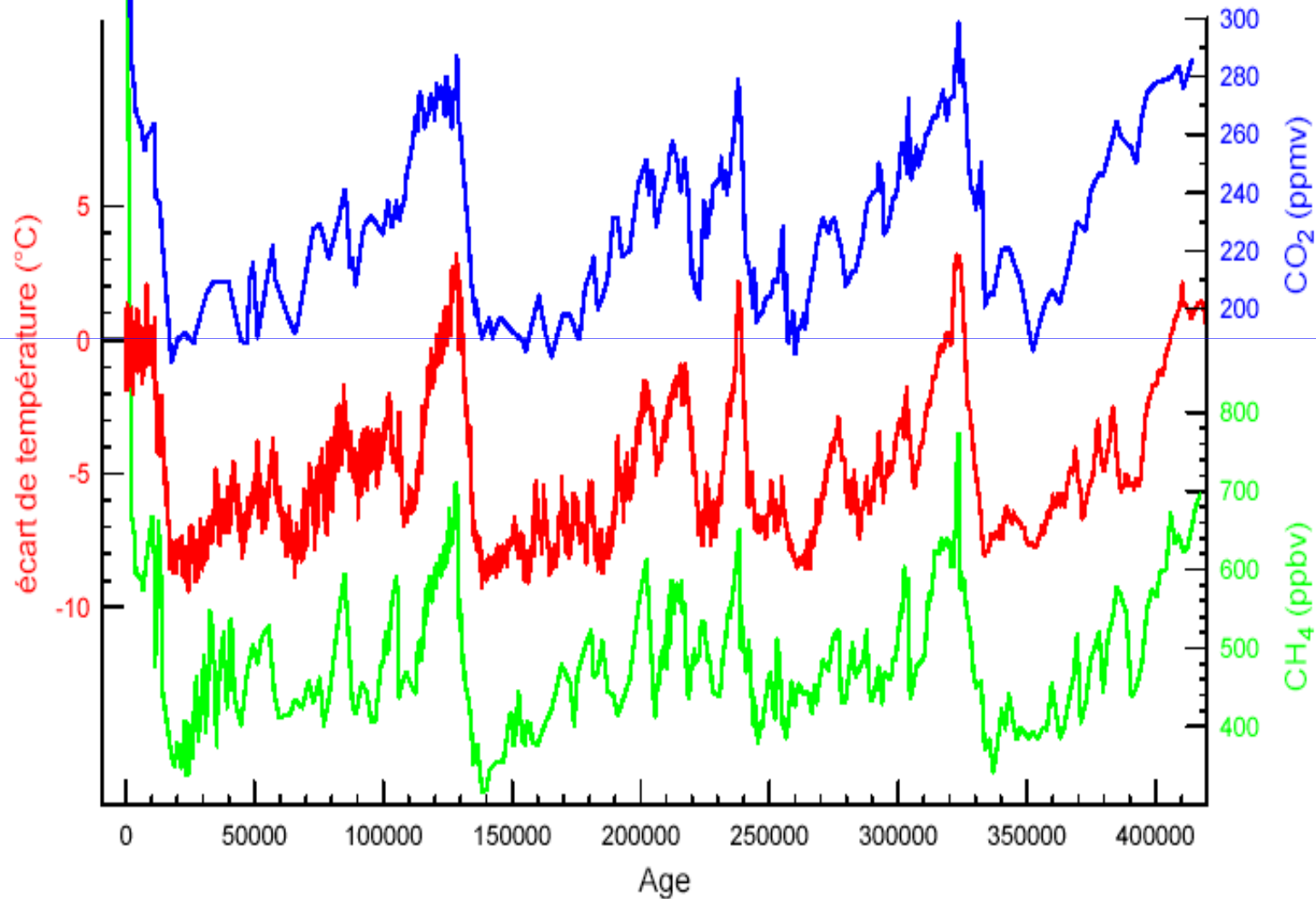




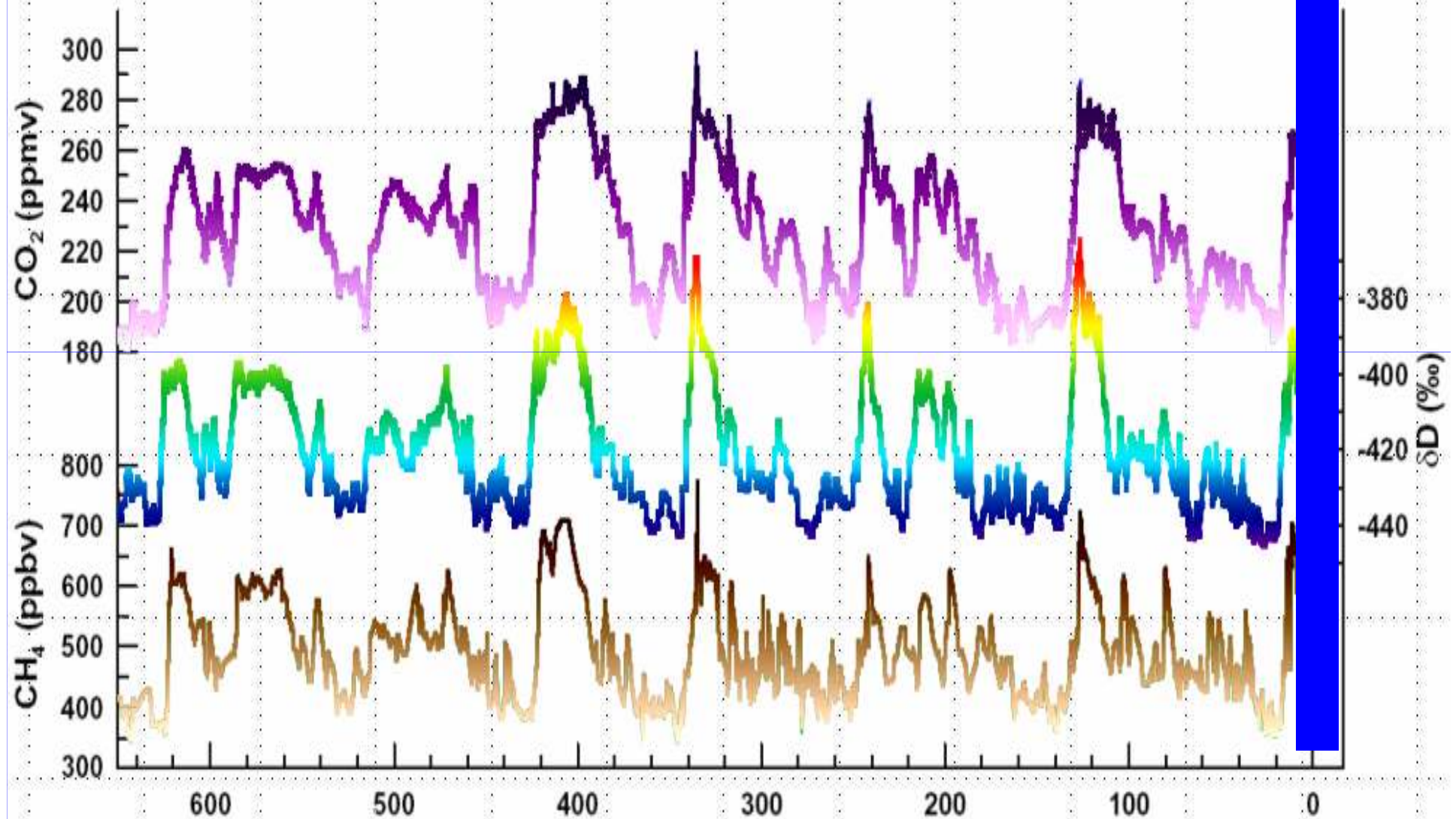


CAROTTAGE GLACIAIRE DE 3 500 m A VOSTOK (Antarctique) :
Climat et gaz à effet de serre au cours des 400.000 dernières années
L.G.G.E. /L.S.C.E. (d'après Petit et al., *Nature*, V. 399, Juin 1999).

CO₂ et CH₄ : concentrations jamais été atteintes depuis 400 000 a



*Temperatura, CO₂
Y metano (CH₄)*



Milliers d'années passées

Masson-Delmotte et al., 2006

LAS CAUSAS INICIALES

1. Variaciones de la actividad solar.

Escala de tiempo de decenas o centenas de años

La pequeña edad de hielo

2. Irregularidades de la órbita terrestre (*Precesión, Oblicuidad, Excentricidad*)

Escala de miles o decenas de miles de años.

Teoría de Milankovitch.

3. Cambio de repartición de tierra y mares en la superficie del globo

Escala de millones o decenas de millones de años.

La deriva continental

4. Cataclismos volcánicos o meteóricos

Eventos imprevisibles.

La desaparición de los dinosaurios

LES EFFETS RÉTROACTIFS

1. **Modifications de l'albédo terrestre**

C'est un exemple typique de rétroaction

2. **Changement du régime des vents et du parcours des courants marins**

Effet et cause.

Le Nouveau Drias.

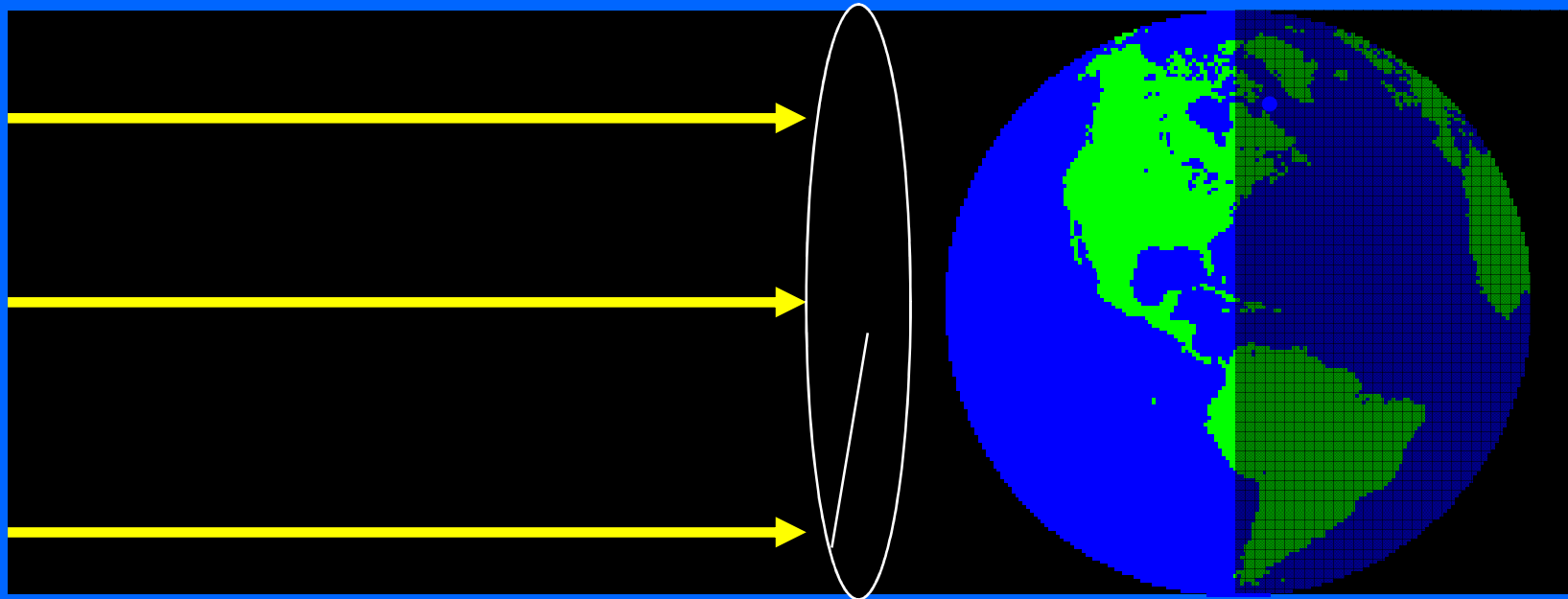
3. **Effet de serre naturel**

Les gaz à effet de serre, cause ou effet ?

4. **Effet de serre dû à l'activité humaine**

Augmentation du CO₂ dans l'atmosphère.
Rôle tampon de l'océan.

LA ACTIVIDAD SOLAR



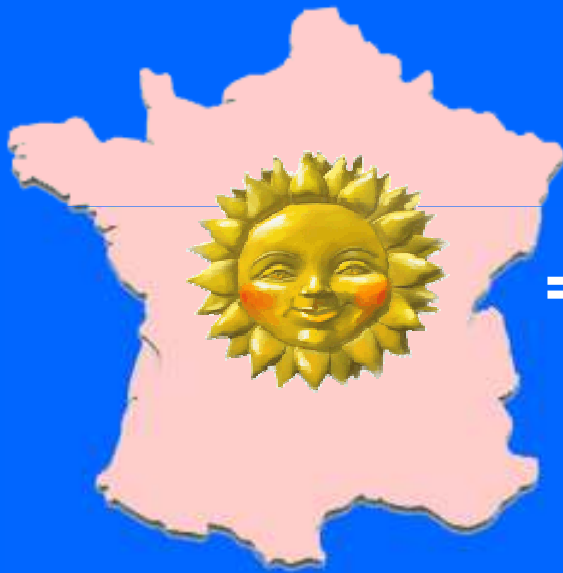
$$\pi R^2$$

$$4 \pi R^2$$

El flujo solar se reparte sobre una esfera rotante. Su superficie es 4 veces más grande que su sección. Entonces, su valor medio es :

$$1368 / 4 = 342 \text{ W / m}^2.$$

El territorio francés recibe del sol una energía equivalente a que sería entregada por 40000 grandes centrales EDF funcionando a pleno régimen.



= 40 000 ×



La Centrale nucléaire de Paluel, à 30 km au sud-ouest de Dieppe comporte quatre réacteurs, d'une puissance unitaire de 1300 mégawatt.

IRREGULARIDADES DE LA ORBITA TERRESTRE

LA TEORÍA DE MILANKOVITCH



El Astrofísico serbio Milutin Milankovitch (1879 – 1958) es célebre por haber desarrollado una teoría relacionando los movimientos de la Tierra y las variaciones climáticas a largo plazo.

La teoría de Milankovitch afirma que mientras la Tierra viaja a través del espacio alrededor del sol, las variaciones cíclicas de tres elementos de la geometría Tierra – Sol se combinan para producir variaciones de la cantidad de energía solar que alcanzan la Tierra.

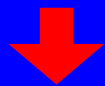
Excentricidad
 $T = 96\,000$ años



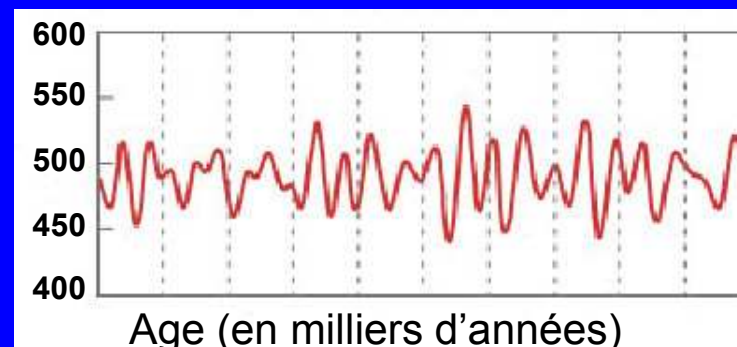
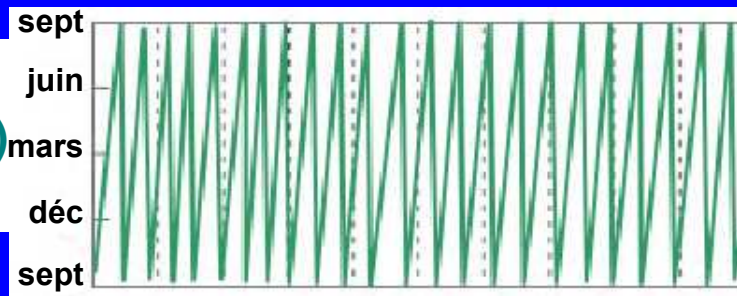
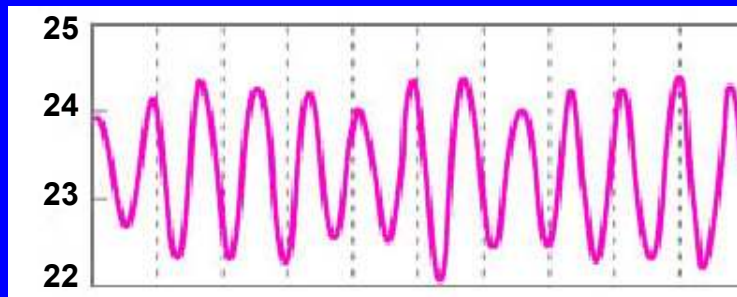
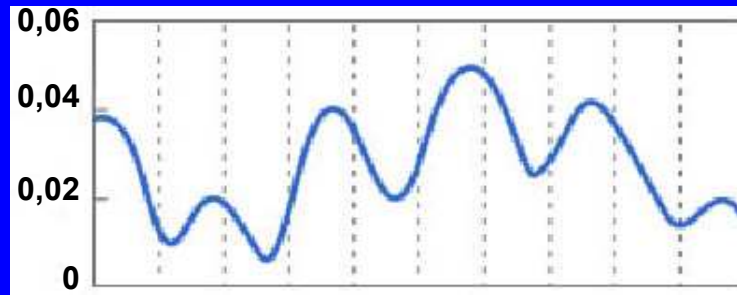
Oblicuidad
(en grados)
 $T = 41\,000$ ans



Precesión
(fecha del perihelio)
 $T = 21\,700$ años



EJEMPLO :
Insolación
en julio entre
60 et 70 ° de
latitud Norte,
(en watt / m²)



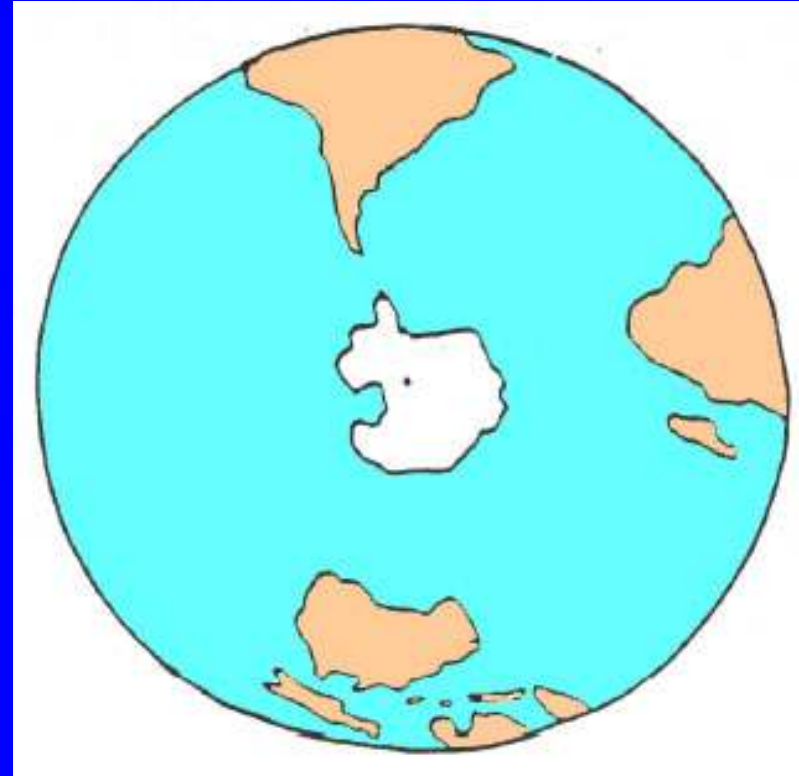
La insolación global anual cambia poco, pero existen modificaciones bastante importantes de la insolación estival en altas latitudes.

Le ciclo astronómico de Milankovitch explicaría en parte la sucesión de períodos glaciales e inter glaciales desde hace 1 millón de años

CAMBIO DE REPARTICIÓN DE TIERRAS Y DE MARES

DERIVE DE LOS CONTINENTES

La asimetría entre los hemisferios norte y sur tiene una gran influencia sobre el clima actual de la Tierra.



Pero la posición de los continentes ha variado a través del tiempo geológico...

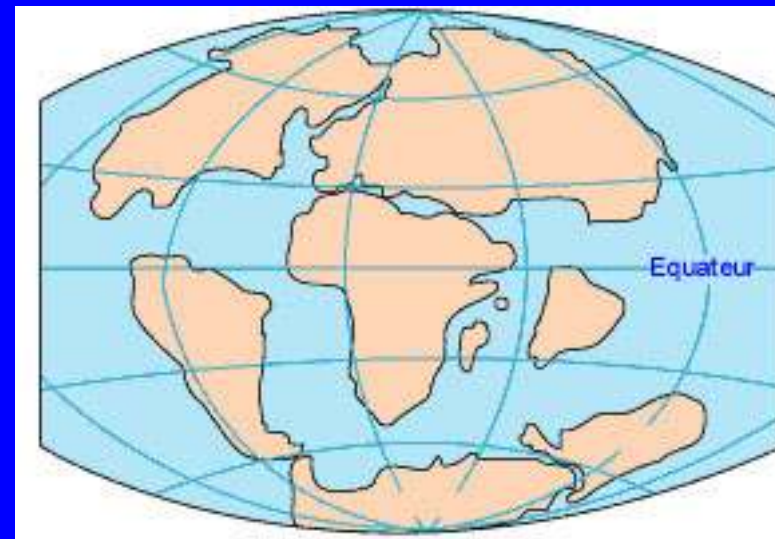


Hace 225 millones de años, existía un solo continente, la Pangea, y un solo océano la Panthalassa.



Este continente se fue sparando en dirección E – W. Un mar, Tethys, separa un continente Sud, Gondwana, de un continente Norte, Laurasia.

Hace 135 millones de años, Gondwana se abre creando el Atlántico Sud y el Océano Indico. Laurasia se separa en dirección N – S creando el Atlántico Norte. La India deriva hacia el Norte y colisiona con Eurasie hace entre 60 et 50 millions d'années. América del Sur se une a América del Norte. Africa se aproxima a Eurasia y cierra el mar Téthys, formando el Mediterráneo.



CATACLISMOS VOLCANICOS O METEORICOS

POIVOS VOLCANICOS

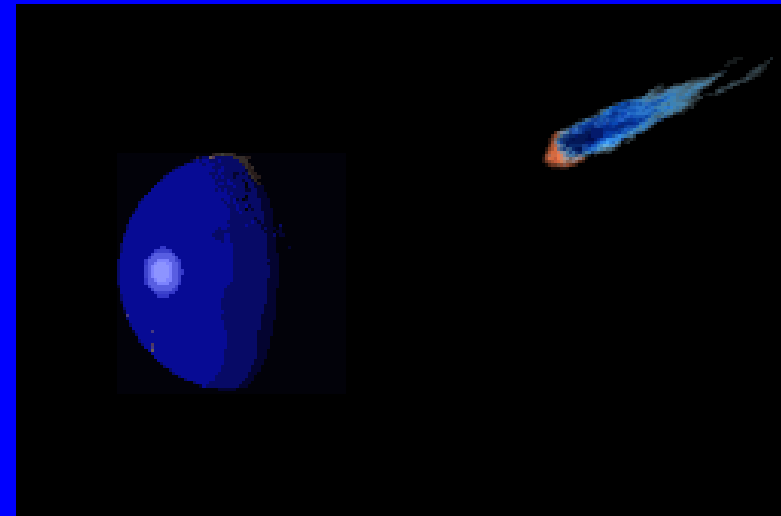
El Krakatoa está situado en el estrecho de la Sonda entre Sumatra y Java. En 1883 el volcán hizo erupción : la detonación se escuchó a más de 5000 km. El hundimiento del crater provocó un inmenso maremoto, cuyas olas dieron la vuelta de la tierra y produjo cerca de 36000 muertos en las costas de Java. Algunos meses después los ocasos en Europa tenían un color rojo sangre. Habria que remontarse a la erupción de Santorin, 1500 años AC para encontrar una eurpcción tan importante en la Histoire.



En 1927, 44 ans après le cataclysme, un nouveau volcan, l'*Anak Krakatau*, l'Enfant du Krakatoa émerge. Il dépasse actuellement les 300 m de haut.

DISPARITION DE DINOSAURIOS

On a retrouvé et daté le cratère d'impact d'un astéroïde de très grande taille qui a percuté la Terre il y a 65 millions d'années. C'est le cratère de Chicxulub, situé au nord de la péninsule du Yucatan, au fond du Golfe du Mexique. Cet impact aurait soulevé des tonnes de poussières qui auraient formé un écran dans l'atmosphère.



L'opacification de l'atmosphère aurait provoqué un refroidissement brutal du climat et réduit l'activité photosynthétique des plantes. C'est ce qui aurait entraîné la disparition rapide des dinosaures et de nombreuses autres espèces terrestres, incapables de survivre.

MODIFICACION DEL ALBEDO TERRESTRE



Neige : 0,80 – 0,95



Déserts : 0,30 – 0,40



Prairies : 0,25 – 0,30



Forêts : 0,10 – 0,20



Asphalte : 0,05 – 0,10



Mers : De 0,05 à 0,60 selon l'état de la mer et la hauteur du soleil. En moyenne 0,06

El albedo de la Tierra tiene un efecto de retroacción sobre el clima. 1% de aumento del albedo corresponde a una disminución de 0,75 °C de la temperatura media (*y vice versa*).

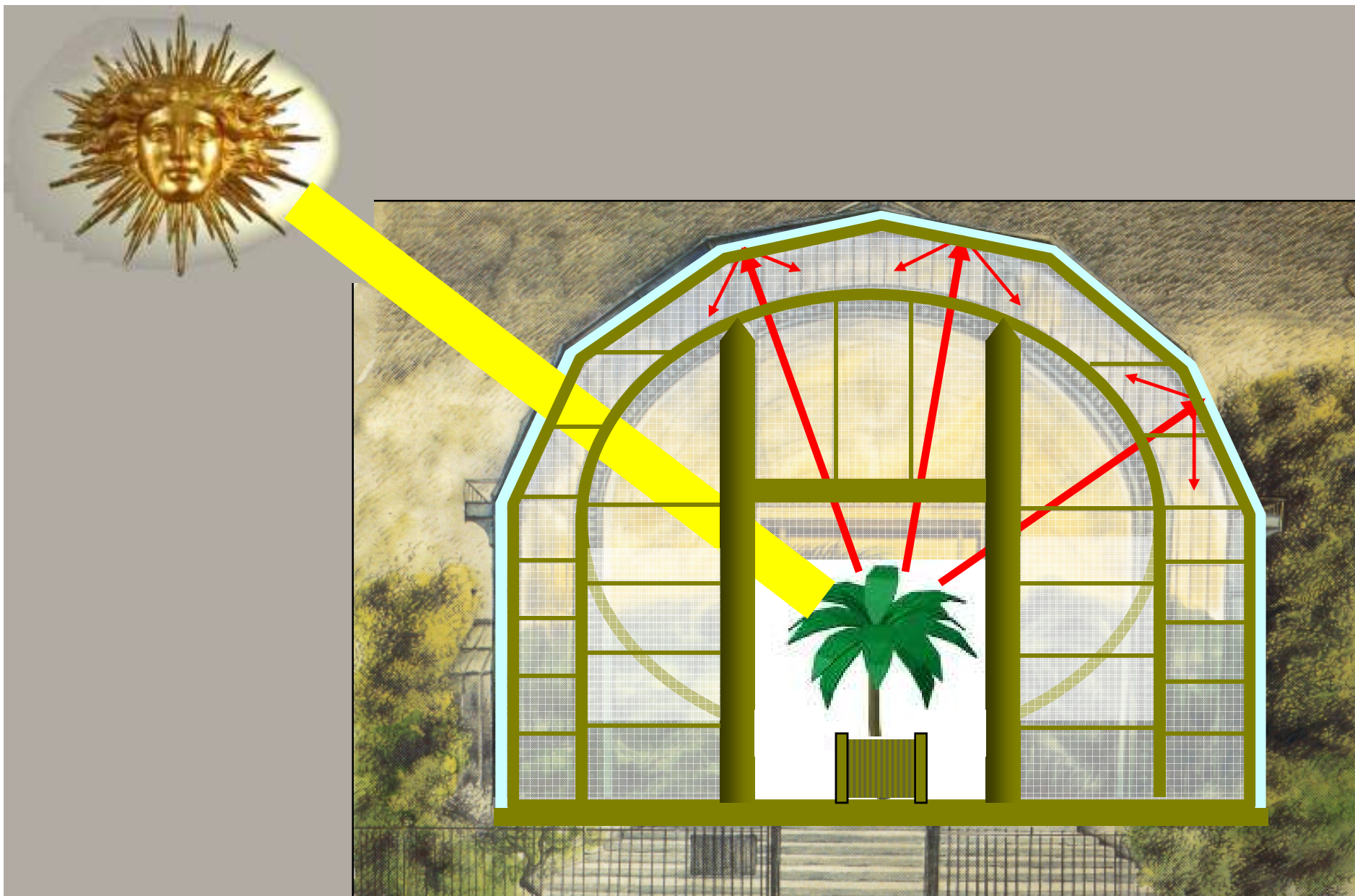


**Hielos del hemisferio
norte actual**



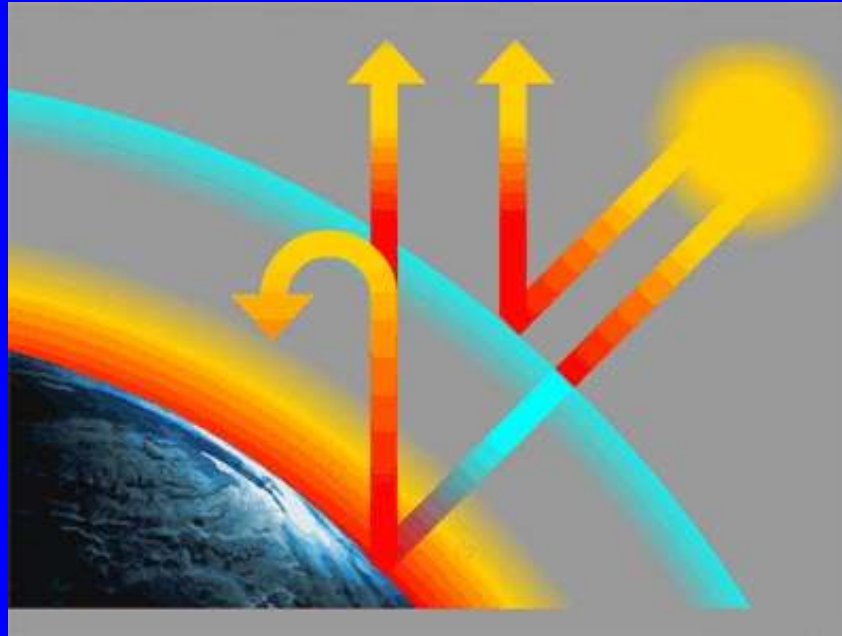
**Hielo del hemisferio
norte de hace 20 000
años**

EFEECTO INVERNADERO



Le Jardin de Buffon
Aquarelle au crayon de Colette Portal, 1980

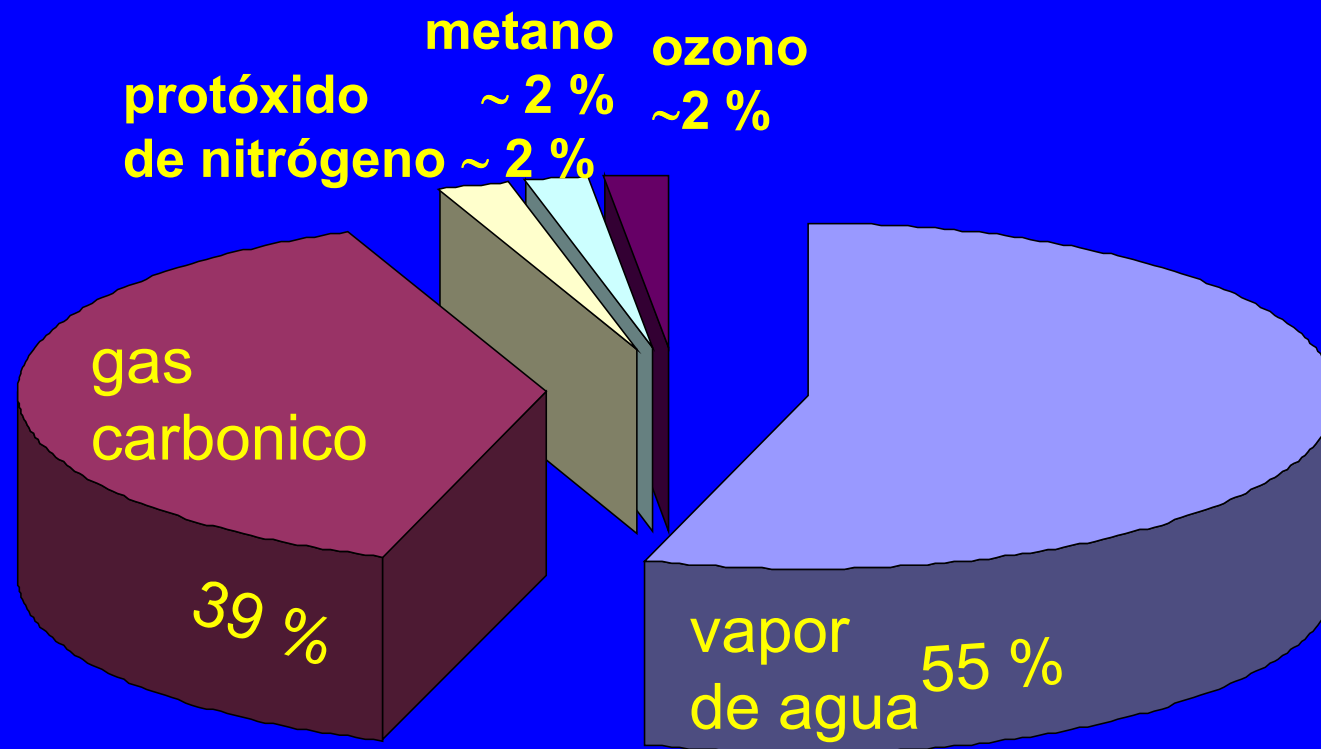
GEI



En la atmosfera, ciertos gases son opacos a los rayos infra rojos. Absorben la radiación térmica emitida por la superficie de la Tierra, impidiéndole escapar hacia el espacio

▪

GEI

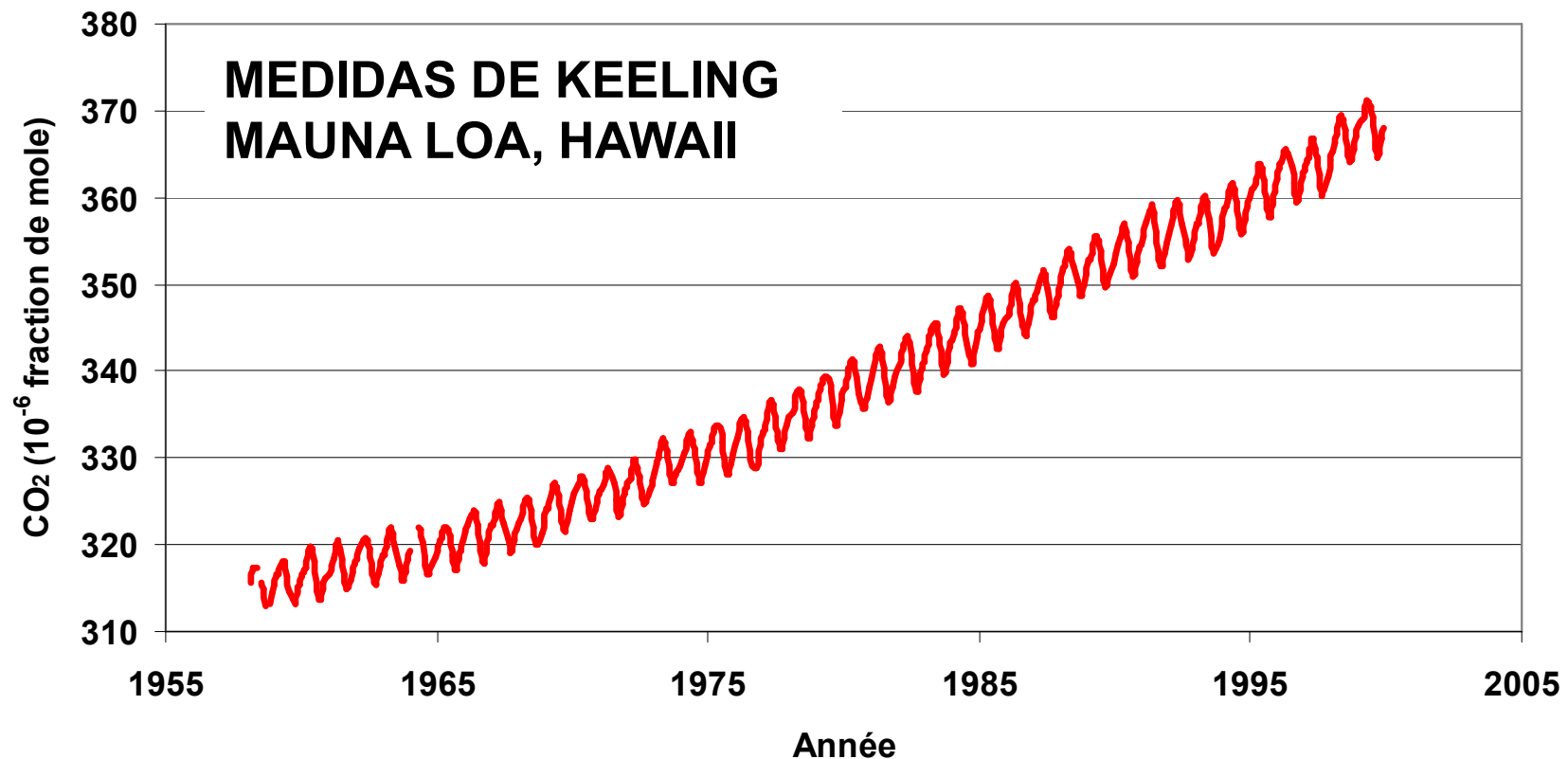


Contribución de los GEI

Valor medio del efecto de invernadero: 150 Wm^{-2} ,
comparar con el aporte solar : 342 Wm^{-2}

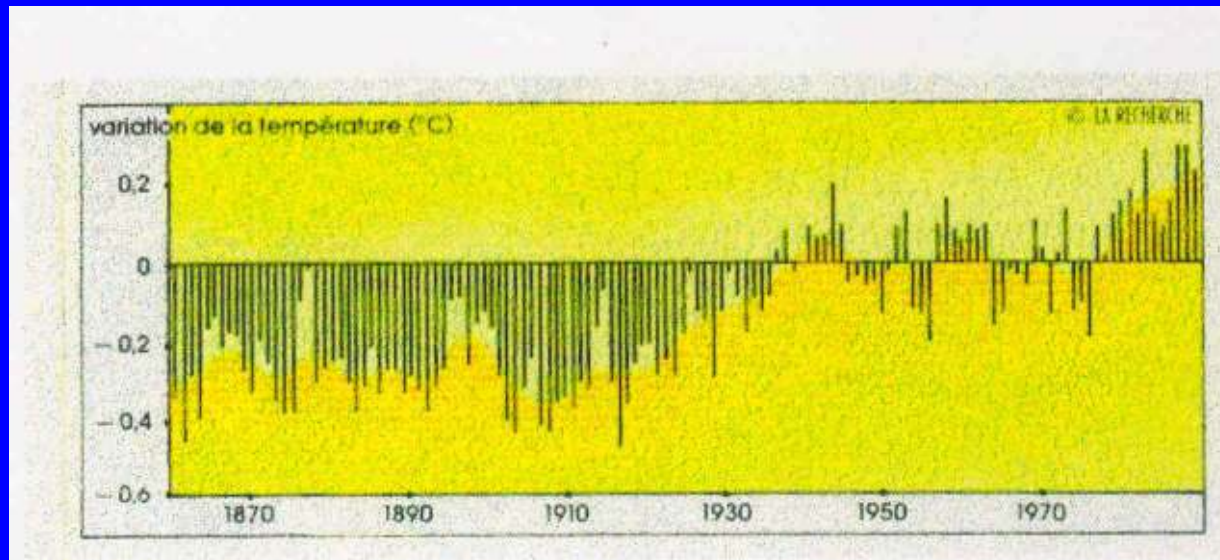
En los testigos de Hielo perforados en Groenlandia o en la Antártida se mide la tasa isotópica del O-18 / O-16 a diferentes niveles. Esta tasa es un indicador de la temperatura de la nieve en la época en que ésta fue depositada. A los mismos niveles se mide la concentración de CO₂ y de metano en las burbujas de aire que quedaron atrapadas en el aire de la época.

Estos resultados confirman la idea según la cual las variaciones del clima pasado fueron iniciadas por los cambios orbitales de la tierra y grandemente amplificadas por los GEI



Durante al menos 420 000 años, la concentración de CO₂ había oscilado entre 180 ppm en período frío y 280 ppm en período cálido. Este último valor prevaleció hasta el comienzo de la era industrial (primera mitad del siglo XIX).

En 1958, año en que empezaron las medidas sistemáticas la concentración era de 315 ppm, y ahora, 2008, es de 387 ppm.



T aire anual media del HN,
El cero corresponde a la media 1951-1980,
De 1900 à 2000, aumento de 0,6°C
De 1940 à 1970, poca variación,
1990-2000, la década mas cálida.

Este aumento de temperatura está relacionado
con un aumento del efecto invernadero de 2
watt (osea del 1,3%)

Las marcas Mediterráneas de los cambios climáticos

El ultimo período glacial,

Las sapropelas del Drias

La determinación del efecto de invernadero

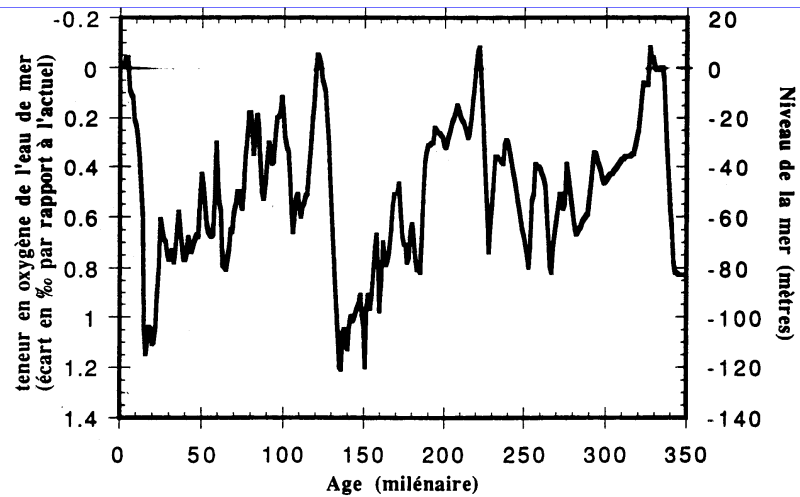
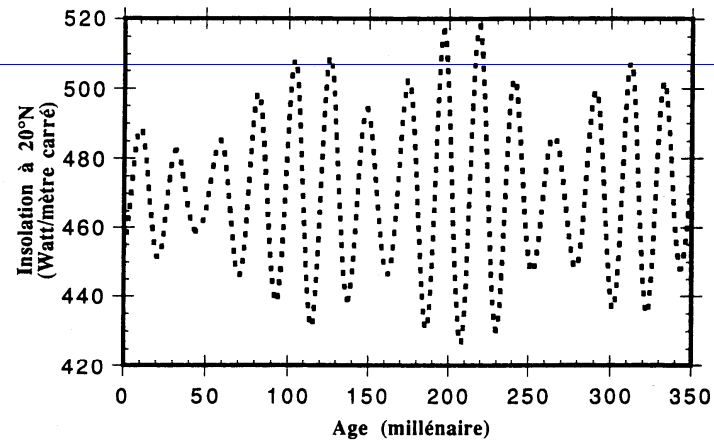
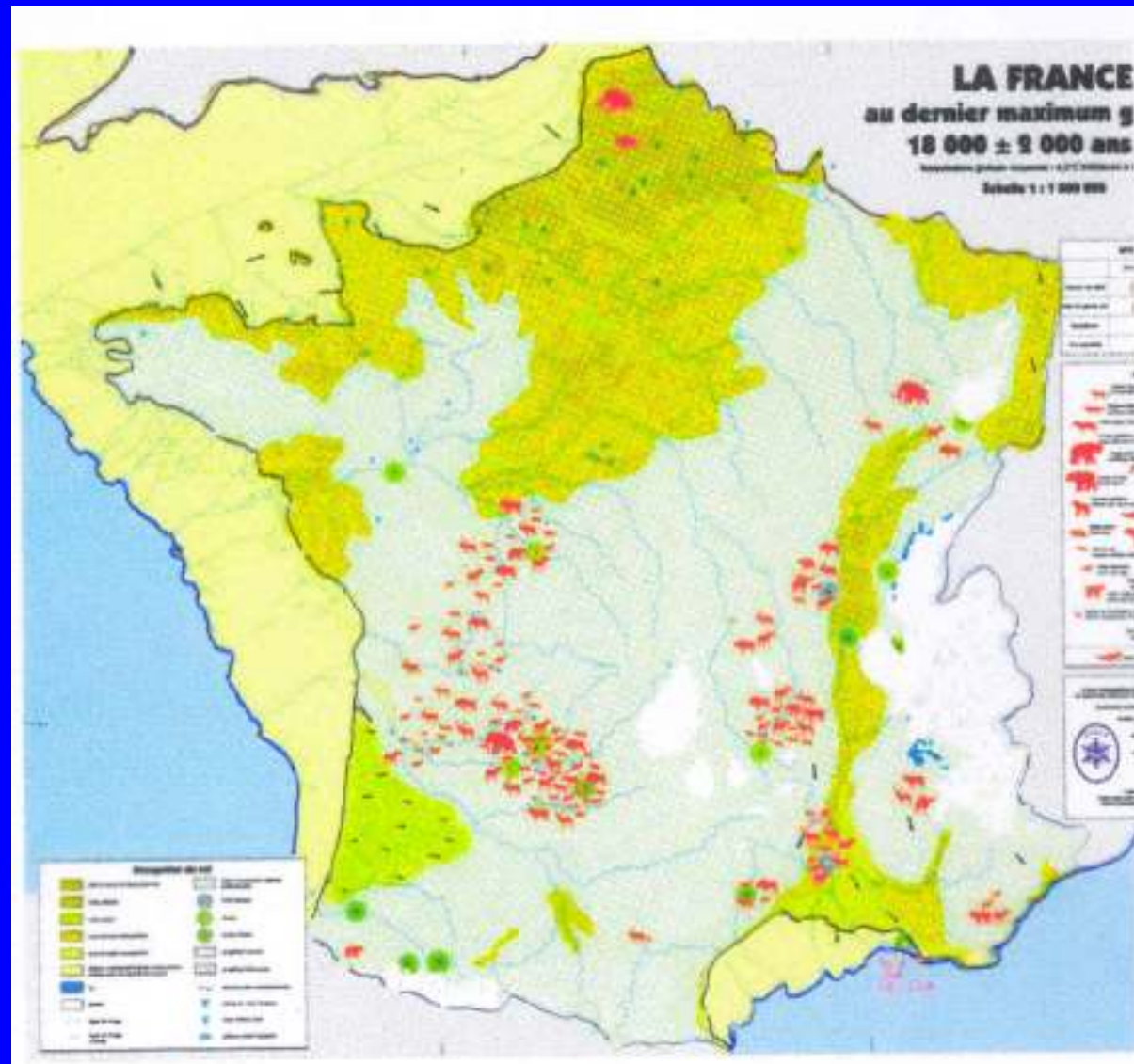


Figure 8

Comparaison des variations du niveau de la mer
(fonction du seul volume des glaces continentales)
et des variations d'insolation aux hautes latitudes
de l'hémisphère Nord depuis 350.000 ans.

El último máximo glacial (hace 18000 años),

- nivel del mar -120m
- CO_2 en la atmósfera disminuye de 280 a $180 \mu\text{atm}$,
- probable causa biológica (aumento del plancton silíceo),
- consecuencia: disminución del efecto de invernadero y mayor enfriamiento



LA GROTTTE COSQUER

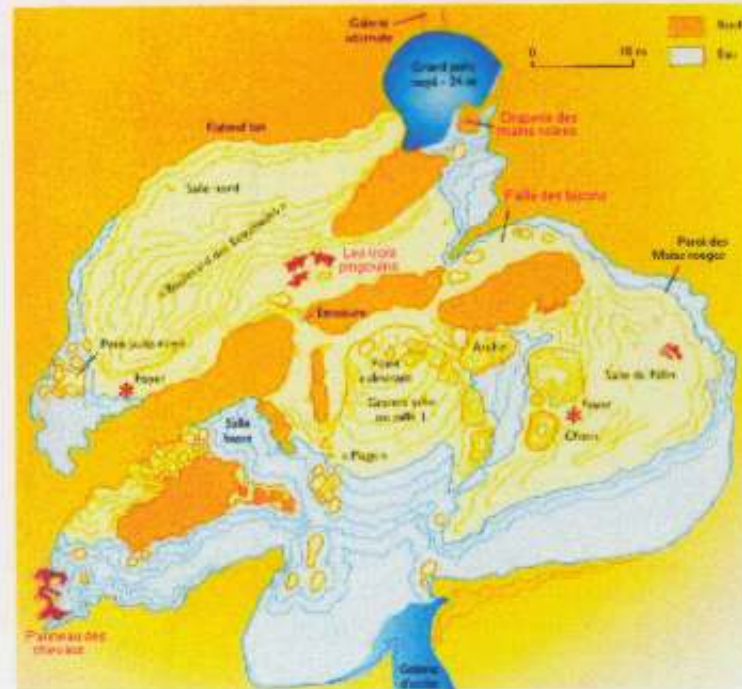


La grotte Cosquer est située dans les Calanques, près de Marseille, au cap Morgiou. Elle est accessible par un tunnel long de 175 mètres dont l'entrée est à 37 mètres de fond.

Unique au monde, cette grotte sous-marine abrite plusieurs dizaines d'oeuvres peintes et gravées il y a environ 27 000 et 19 000 ans.

Ornée de divers animaux terrestres, elle compte également des phoques et des pingouins, 55 mains négatives, des dizaines de signes géométriques ainsi qu'une gravure exceptionnelle représentant un "homme tué".

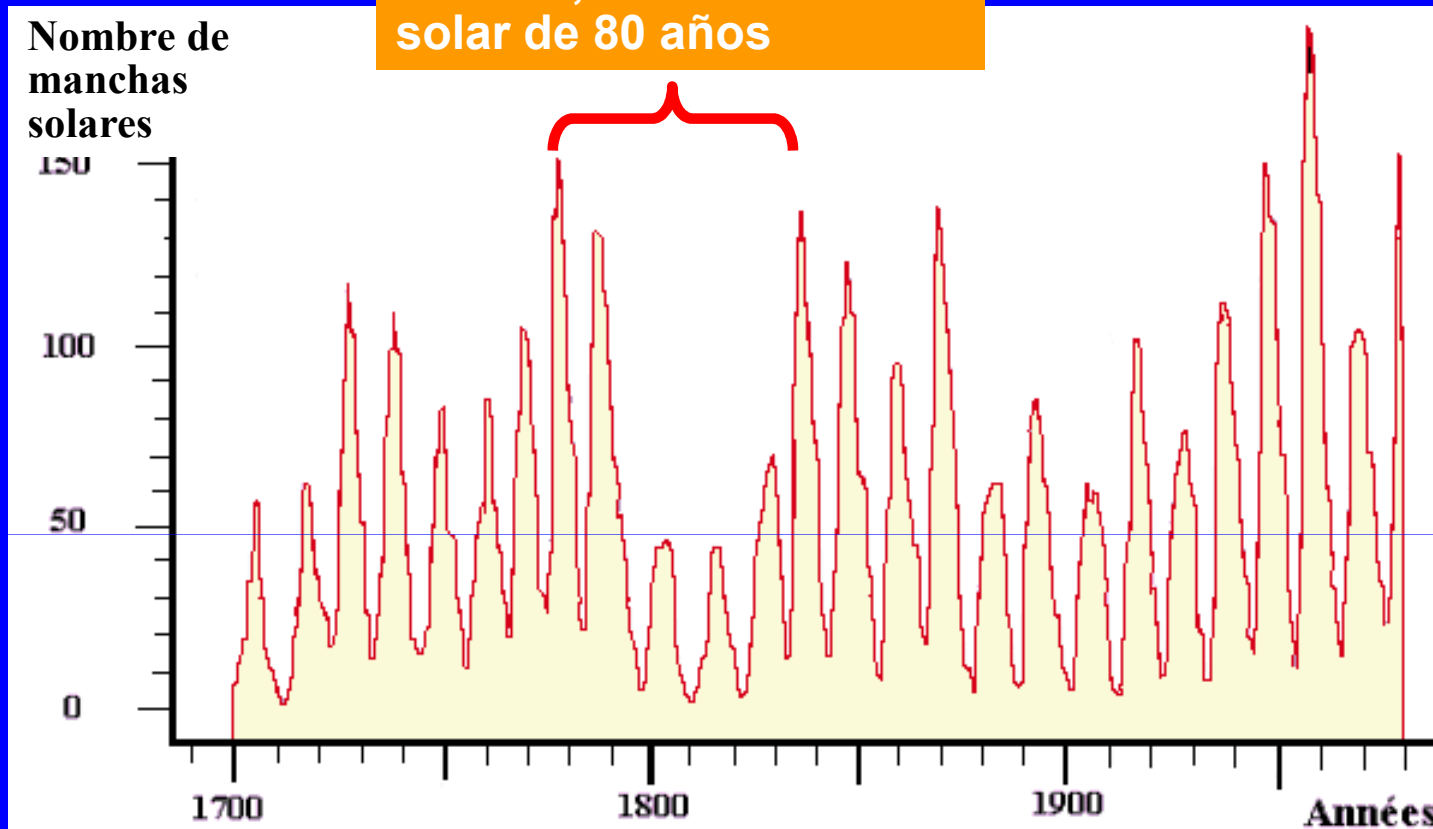
Carte : cliquer
sur les zones
rouges



Afin de préserver ce site exceptionnel, mais également pour des raisons de sécurité, son accès est fermé au public. Une représentation de la grotte en images de synthèse 3D a été réalisée par EDF, en 1994.



Además del período de 11 años, existe un ciclo solar de 80 años



Las manchas solares han sido regularmente observadas desde la invención de antejo astronómico, hace 4 siglos. La principal periodicidad de sus fluctuaciones es de once años y se acompaña de una variación de la iluminación total de 0,1%. Este aumenta con el numero de manchas , ya que las zonas libres de manchas son mas brillantes e irradian mucho mas.

Las fluctuaciones solares estarían al origen de cambios climáticos importantes : el *optimum medieval* (período cálido centrado en el siglo XII^{ème}) o *pequeña edad de hielo* (período de frío en Europa entre 1550 y 1850) .



Pieter Bruegel, le Vieux (1525 – 1565). Paysage d'hiver, 1565
Musées Royaux des Beaux – Arts, Bruxelles

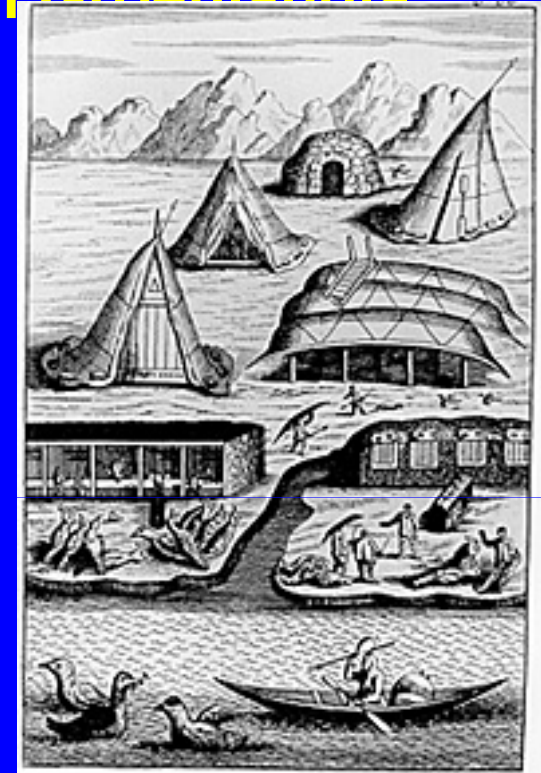
La existencia de la pequeña edad glacial está probada por hechos históricos y sociológicos. Ejemplo : La desaparición de la civilización vikinga en Groenlandia



Les colonies scandinaves du Groenland furent fondées en 985 par l'Islandais Erik le Rouge. A leur apogée ces colonies comptaient 300 fermes et 5000 habitants.



Le christianisme était bien implanté. La colonie de l'Est comptait 12 églises et une cathédrale avec son évêque. Incapable de s'adapter à un changement climatique brutal cette civilisation nordique disparut au début des années 1500.

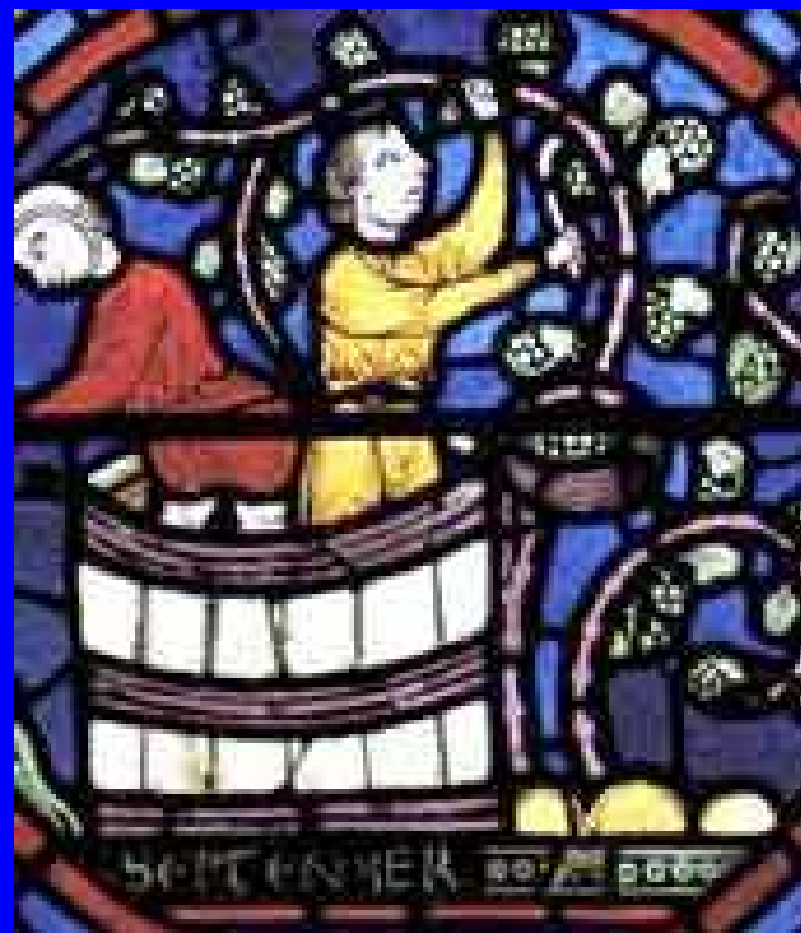


Le Groenland fut redécouvert en 1721 par le missionnaire danois Hans Egede. Il pensait y retrouver les descendants des Vikings. Il n'y rencontra que des Inuits qu'il se mit à évangéliser.

Otros indices

Desaparición de los cultivos de la viña en el Sur de Inglaterra hasta el fin de la Edad Media.

Retraso de 15 días de la publicación del boletín de la vendimia en Francia, que correspondería a una disminución de la temperatura media de 1°C .



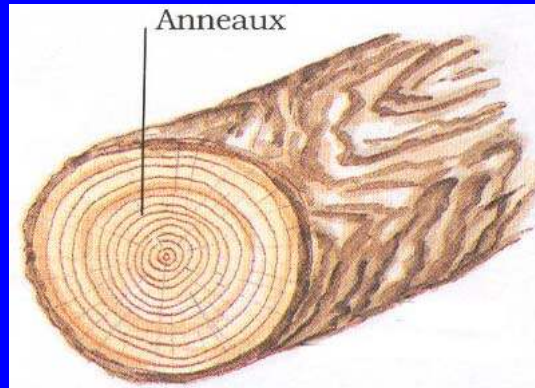
Avance de los glaciales alpinos hasta 1880



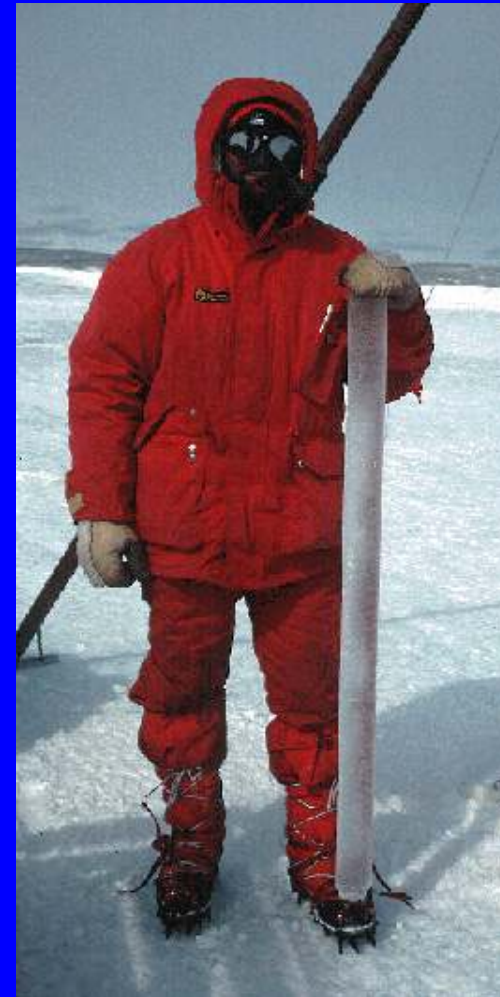
Los métodos paleoclimáticos prueban la existencia de la pequeña edad de hielo



Temperaturas
Datos históricos,
desde el comienzo
del XVII^{ème}

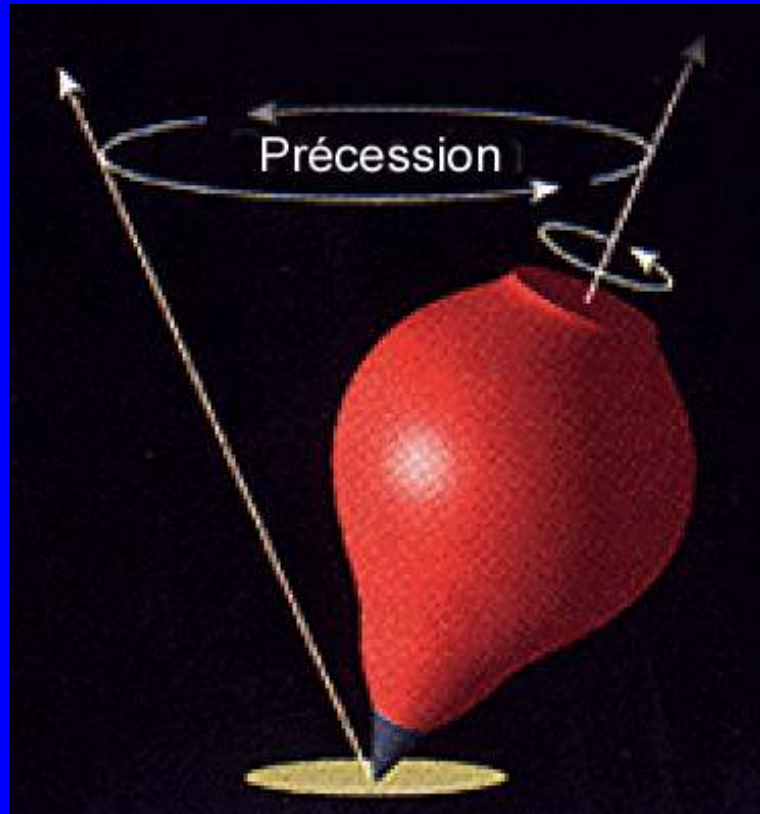


Dendrologia
Medida de ^{14}C / ^{12}C

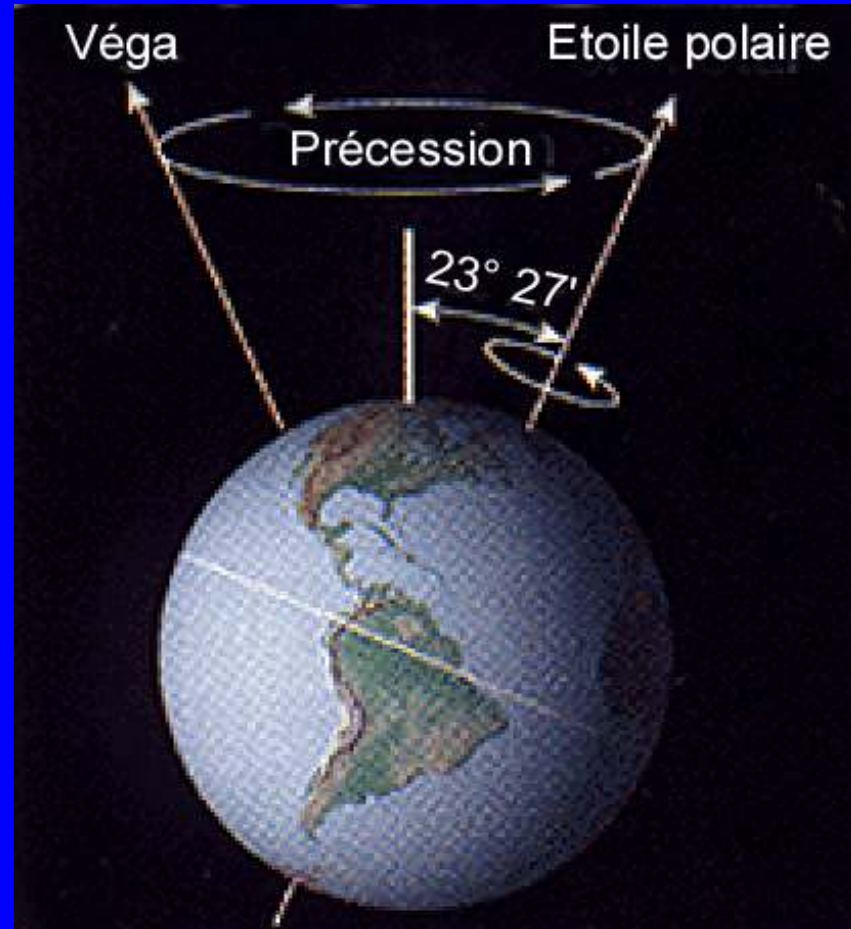


Archivos glaciales
 ^{18}O / ^{16}O en el hielo.

PRECESION

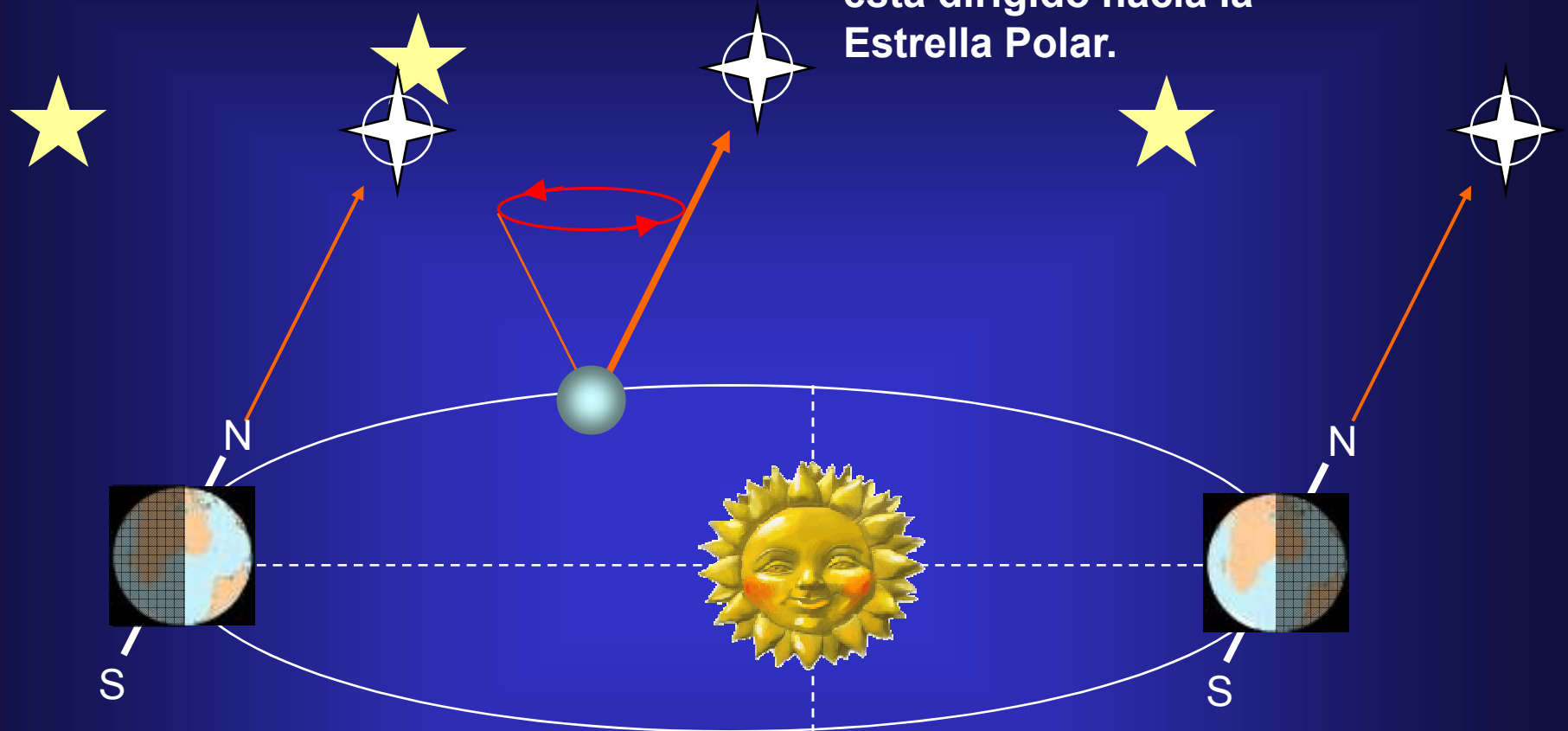


Il est très difficile de lancer une toupie avec son axe de rotation exactement vertical. En général l'axe est incliné et, pendant que la toupie tourne sur elle-même, son axe décrit un cône.



C'est ce qui se passe pour la Terre. Son axe de rotation est incliné par rapport au plan de l'écliptique. Il décrit un cône en 21 700 ans. Actuellement l'axe est dirigé vers l'Étoile Polaire. Dans 11 000 ans il pointera vers Véga.

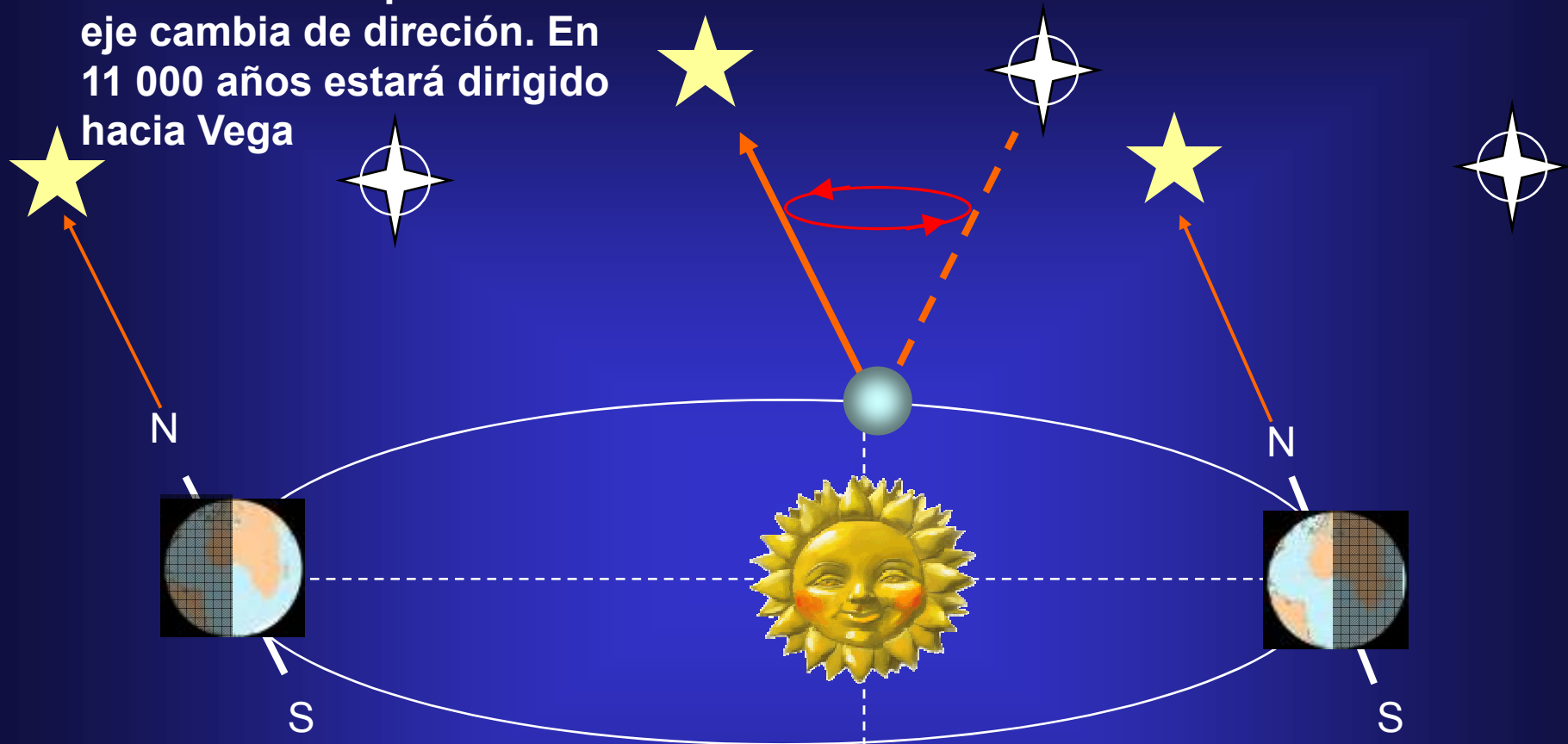
Hoy el eje de la Tierra
está dirigido hacia la
Estrella Polar.



Pasa lejos del sol en
invierno, el 4 de julio

Pasa proximo del
sol en verano, el 3
de enero

A consecuencia del
movimiento de precesión el
eje cambia de dirección. En
11 000 años estará dirigido
hacia Vega



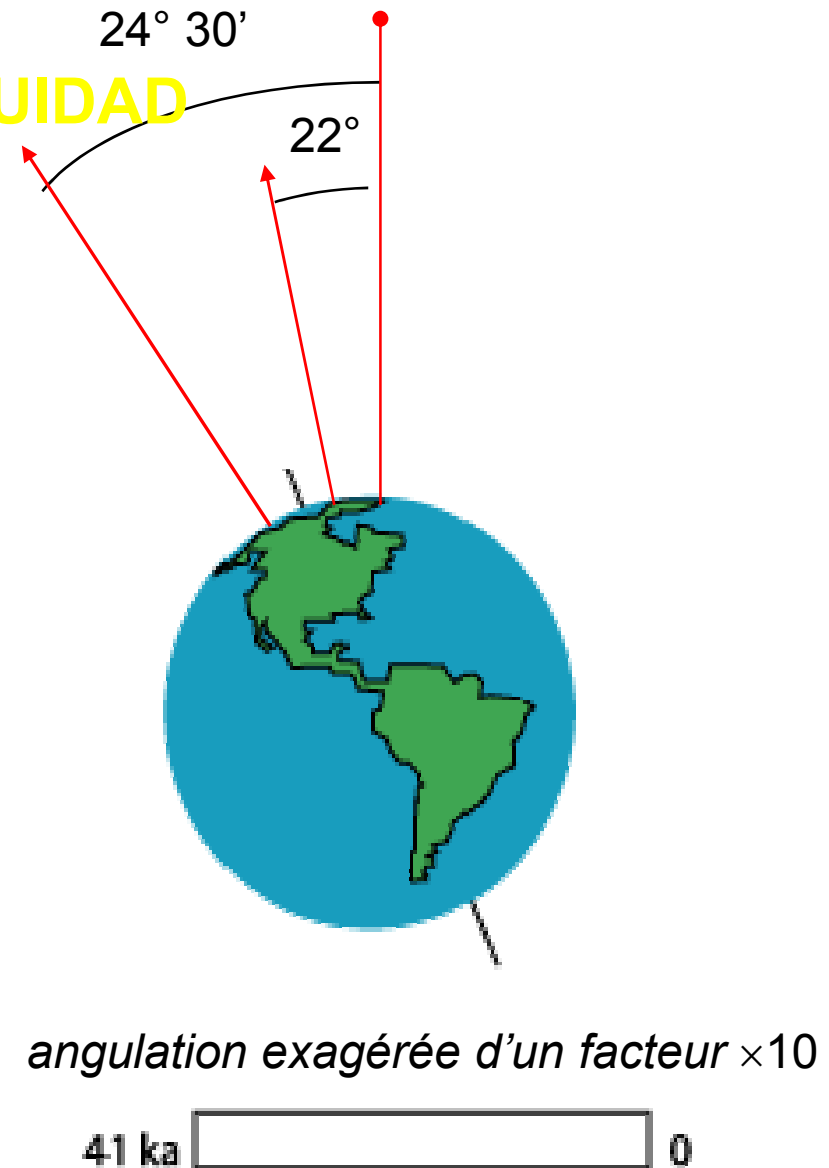
La Tierra pasará en su punto
más lejano del sol en enero
en enero

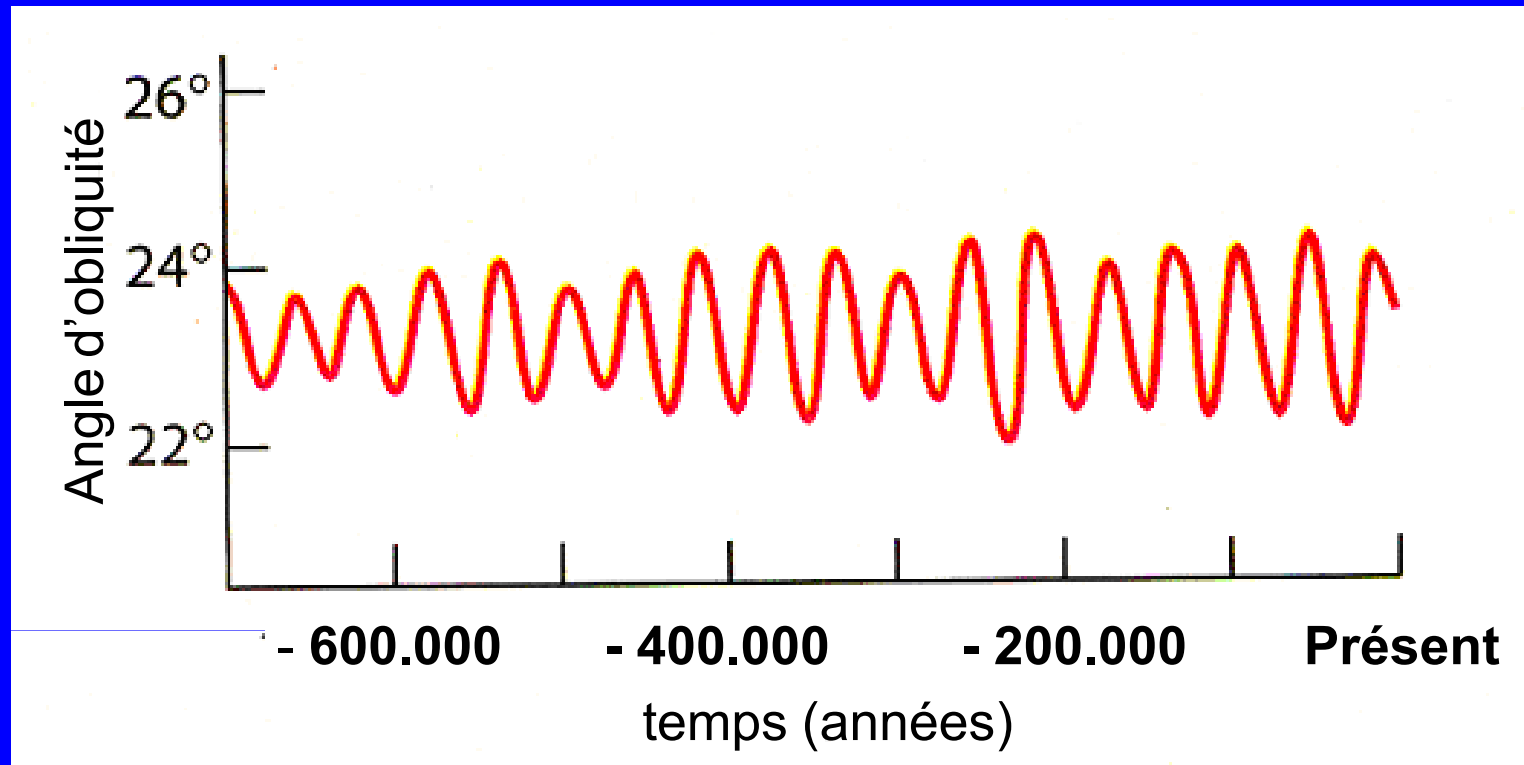
La Tierra pasará por su punto
más cercano del sol en julio

**En el hemisferio Norte, los veranos serán más cálidos y los inviernos más fríos
Al contrario, en el hemisferio Sur el contraste verano – invierno será atenuado**

VARIACIONES DE LA OBLICUIDAD

La inclinación del eje de la tierra varía entre $22^{\circ} 02'$ y $24^{\circ} 30'$ sobre un período de 41 000 años. En este momento es de $23^{\circ} 27'$.





La amplitud y el período de estas oscilaciones no es absolutamente estable. Depende de la combinación de las posiciones de los planetas.

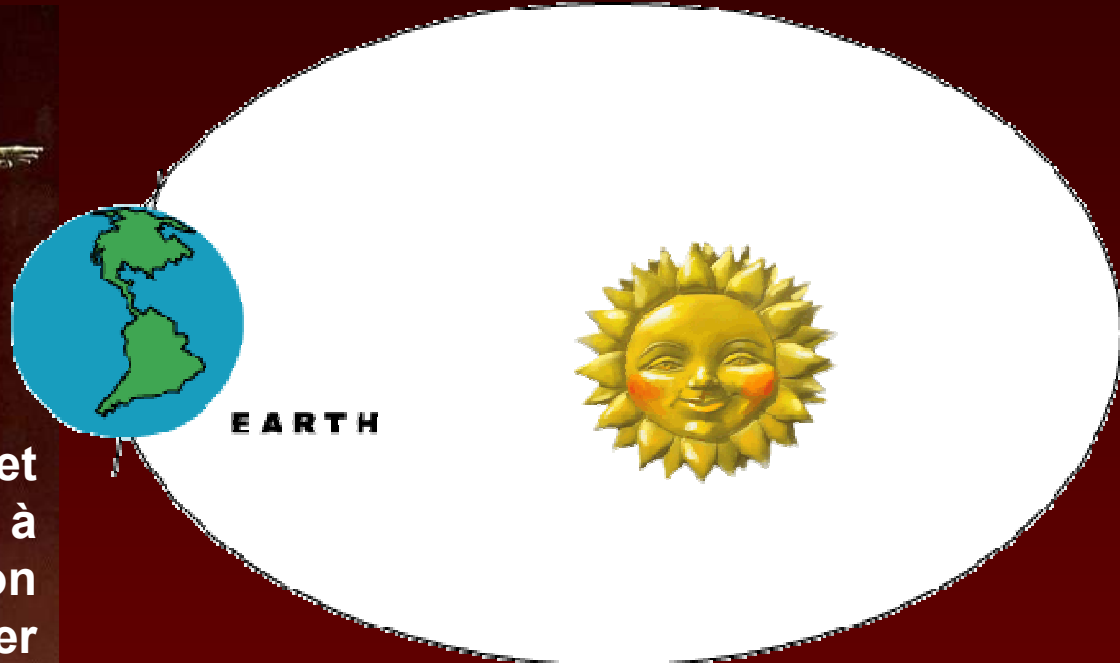
Una fuerte oblicuidad provoca un fuerte contraste entre verano e invierno, en los dos hemisferios. Un debil oblicuidad disminuye el contrate estacional.

VARIACIONES DE LA EXCENTRICIDAD

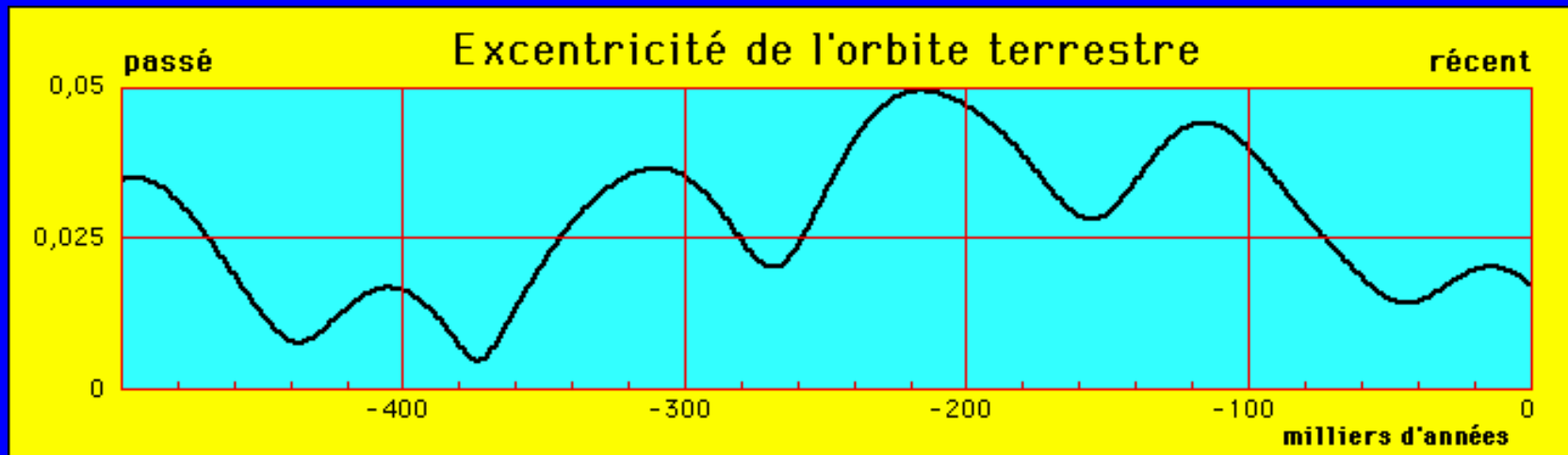
L'excentricité de l'orbite elliptique
de la Terre varie dans le temps
entre presque zéro (cercle) et 0,06.
La valeur actuelle = 0,017.



Cet effet
est dû à
l'attraction
de Jupiter



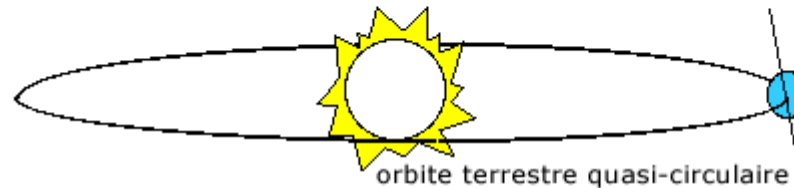
100 90 80 70 60 5 40 30 20 10 0
Temps en milliers d'années



La amplitud de las variaciones de excentricidad y su ciclo no son regulares pero ponen en evidencia un período dominante de 96 000 años

Las variaciones de excentricidad afectan las temperaturas anuales de la tierra dado que ellas controlan la distancia entre la tierra y el sol.

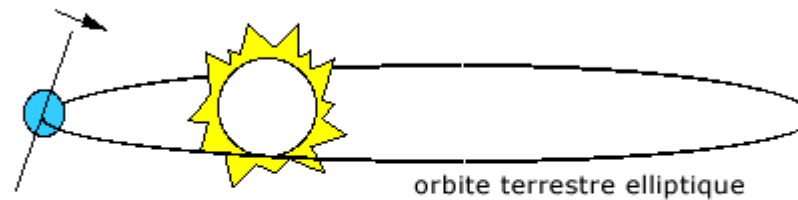
Période glaciaire



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)

Evolución marina del LGM al actual

El nivel del mar

La circulación thermóhalina

La influencia de la precesión (21700 años de período)

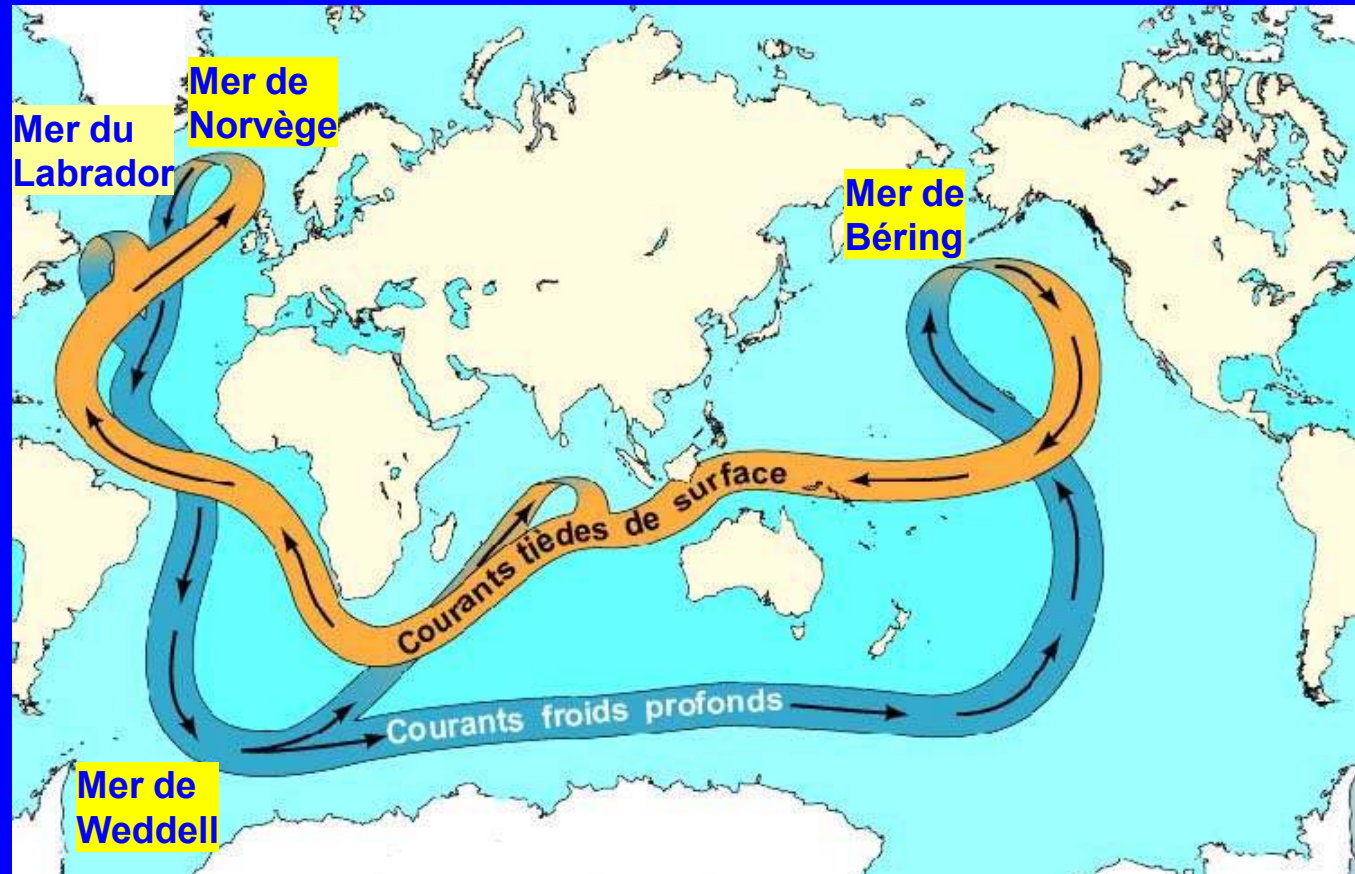
Los depósitos de sapropelas, cronologías climáticas en los sedimentos del Mediterraneo

LA CIRCULATION THERMOHALINE PROFONDE

Pendant l'hiver, en Atlantique Nord, des eaux froides et salées, donc lourdes se forment

Ces eaux coulent, se répandent au fond de l'Atlantique et progressent vers le Sud.

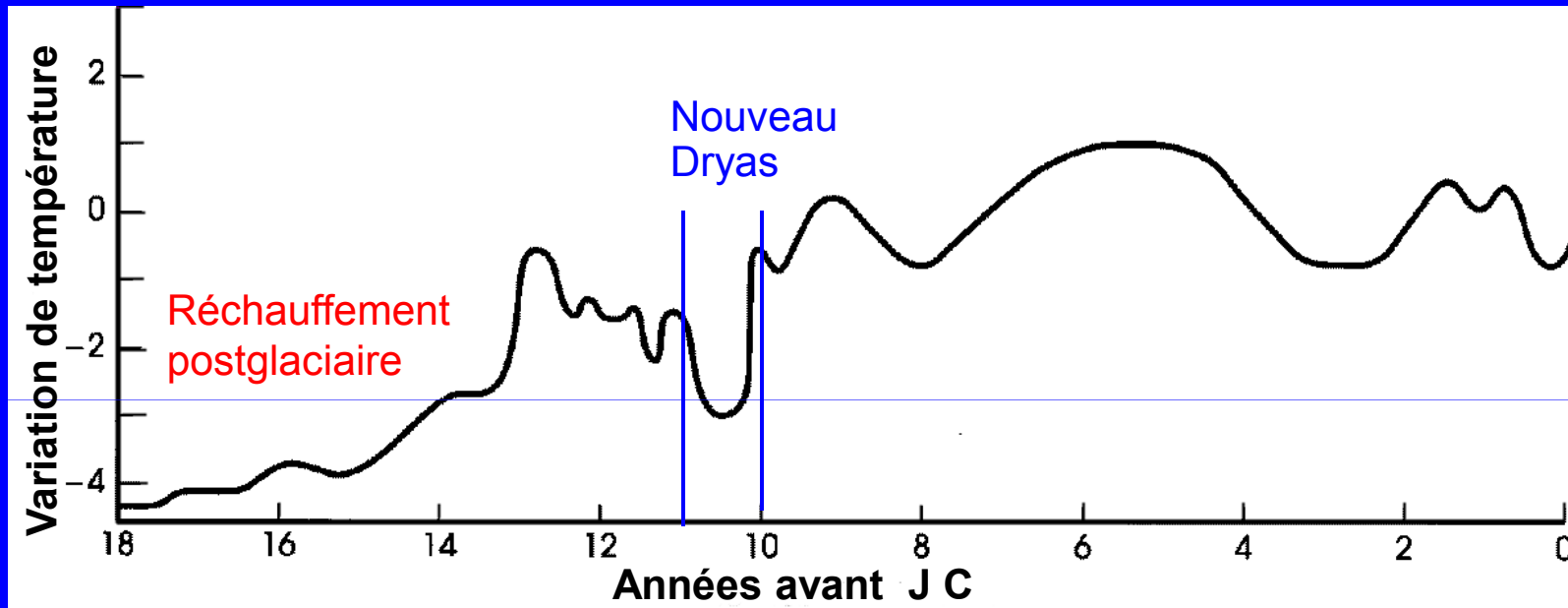
En franchissant les 35 - 38 °S, elles se trouvent entraînées par la dérive générale d'ouest en est de l'océan Austral et sont renforcées par des eaux denses formées à la périphérie du continent Antarctique, notamment en mer de Weddell.



Par contre il n'existe aucune source d'eau profonde dans le Pacifique Nord, car la topographie de la Mer et du détroit de Béring ne le permettent pas.

Elles continuent leur progression sur le fond des océans Indien et Pacifique et remontent jusque dans le Pacifique Nord. Elles resurgissent en surface en différents endroits et retournent à leur point de départ après un périple de 1000 ans environ.

Este fenómeno explicaría la aparición de un período de enfriamiento brutal llamado el
El Nuevo DRYAS



El episodio interrumpió momentáneamente el curso de la última deglaciación comenzada 18 000 años AC. El ND empezó en 10600 AC. Las temperaturas bajaron 7°C. 1000 años mas tarde el frio desapareció tan bruscamente como habia comenzado.

El Nuevo Dryas toma
su nombre de una
flor de montañas
Dryas octopetala .



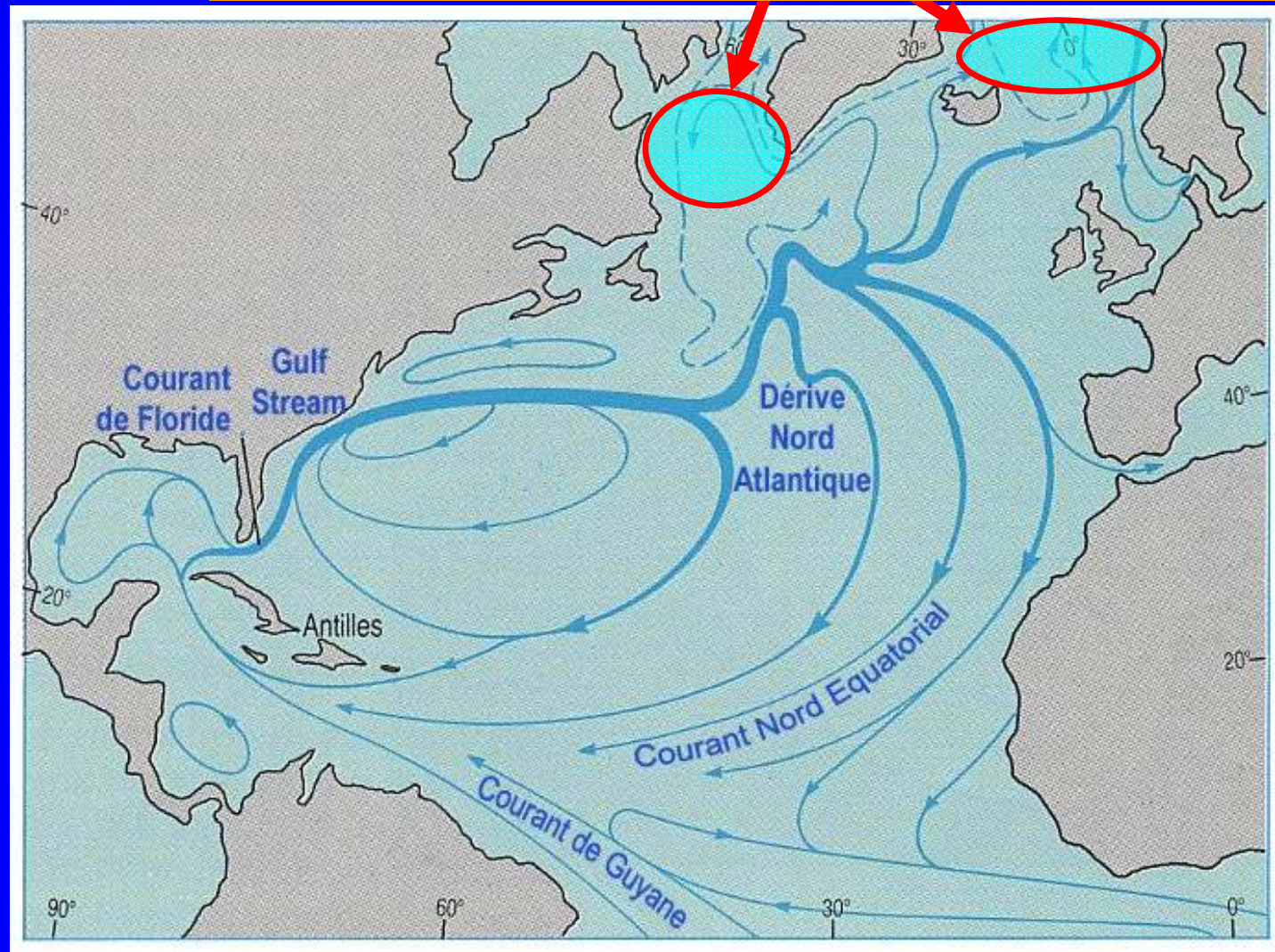
C'est l'une des premières plantes à coloniser les
sols libérés par la fonte des glaciers. Ses pollens
sont retrouvés en abondance dans les tourbières.
L'Ancien Dryas (*Elder Dryas*) marque la fin de la
dernière glaciation quaternaire. Un nouveau pic de
pollens marque la fin de l'épisode du Nouveau Dryas
(*Younger Dryas*).

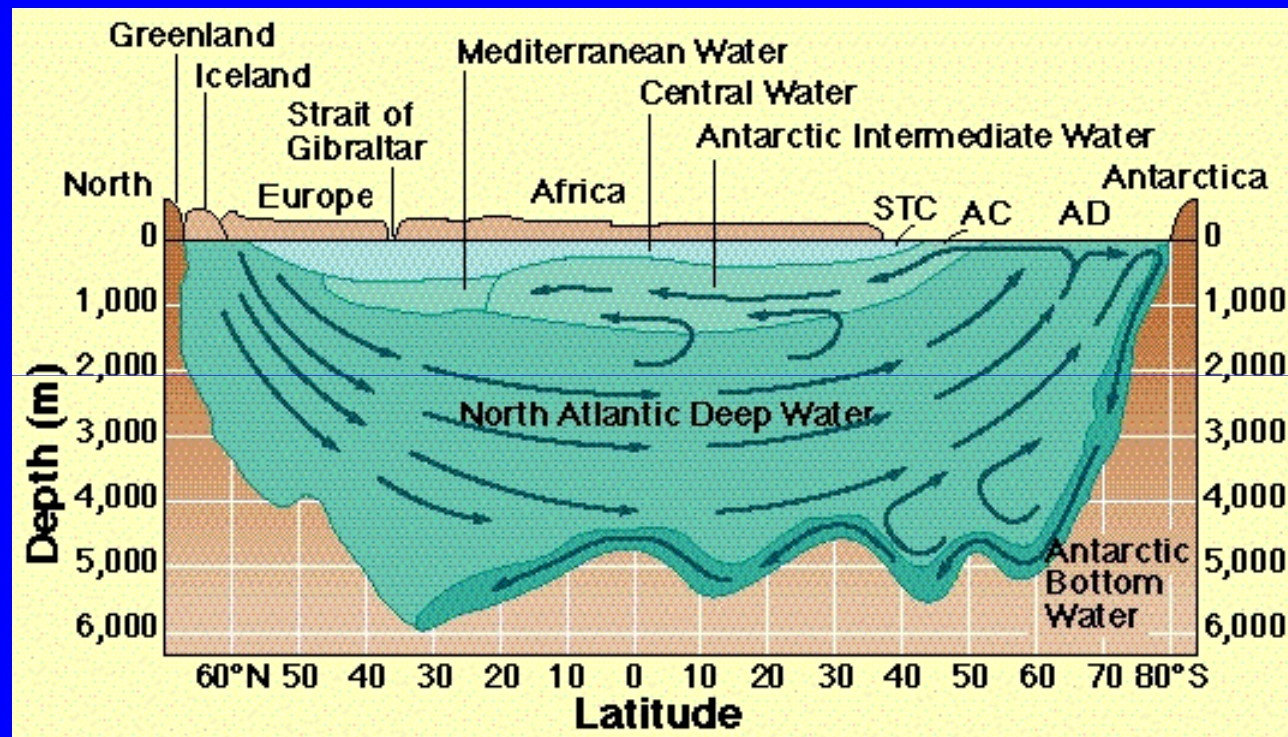
La corriente del Golfo y LA DERIVA NORD ATLANTICA

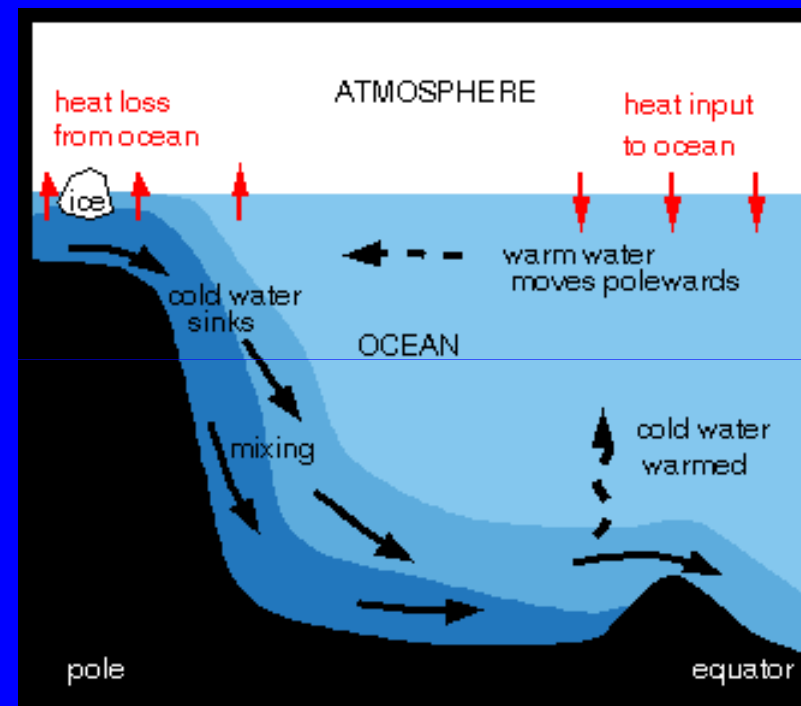
Pero un aporte brutal de agua dulce en el Atlántico Norte, puede impedir la formación de aguas densas y bloquear la bomba. Entonces la circulación se detiene.

Las aguas volvieron a su punto de partida llevadas por el sistema de las grandes corrientes oceánicas de superficie.

La corriente del Golfo y la deriva del Nord-Atlantico constituyen la última etapa de este periplo. El rulo esta enrulado...

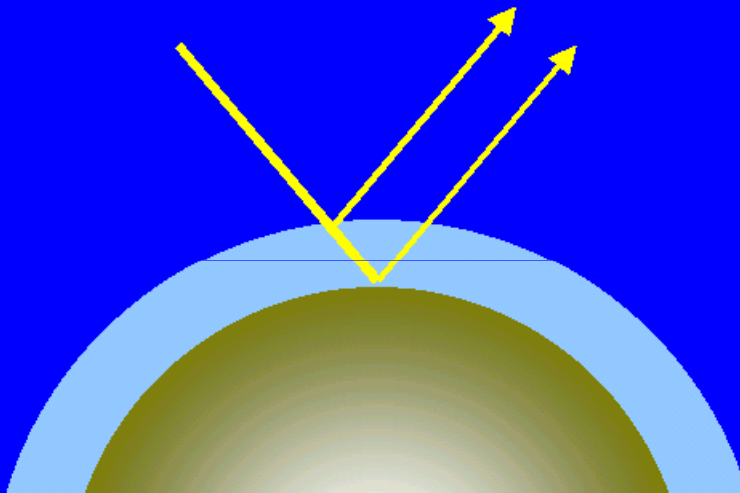






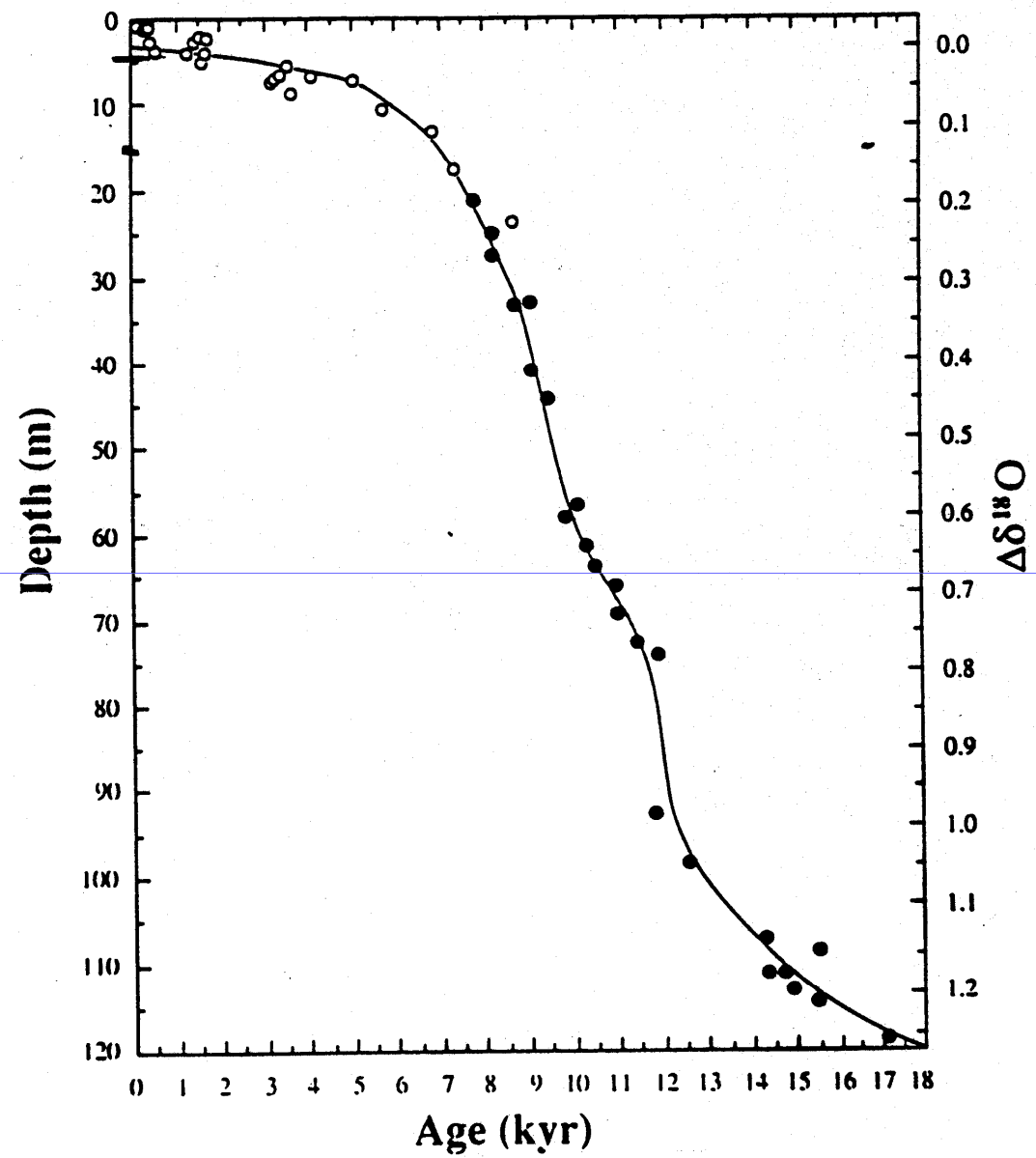
L'ALBÉDO

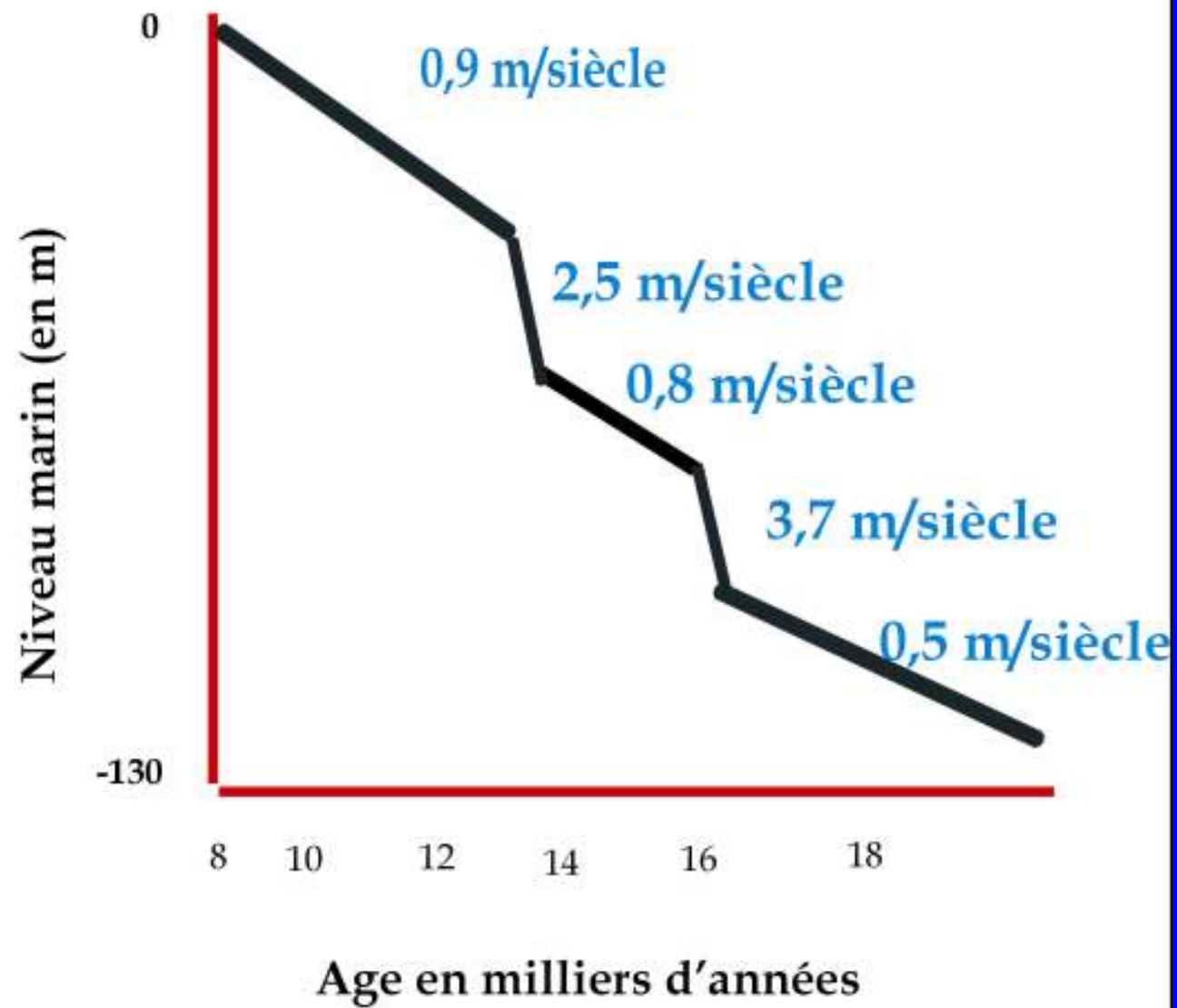
C'est le rapport entre la quantité de lumière reçue par une surface et la quantité de lumière renvoyée (lumière réfléchie + lumière rétro diffusée)

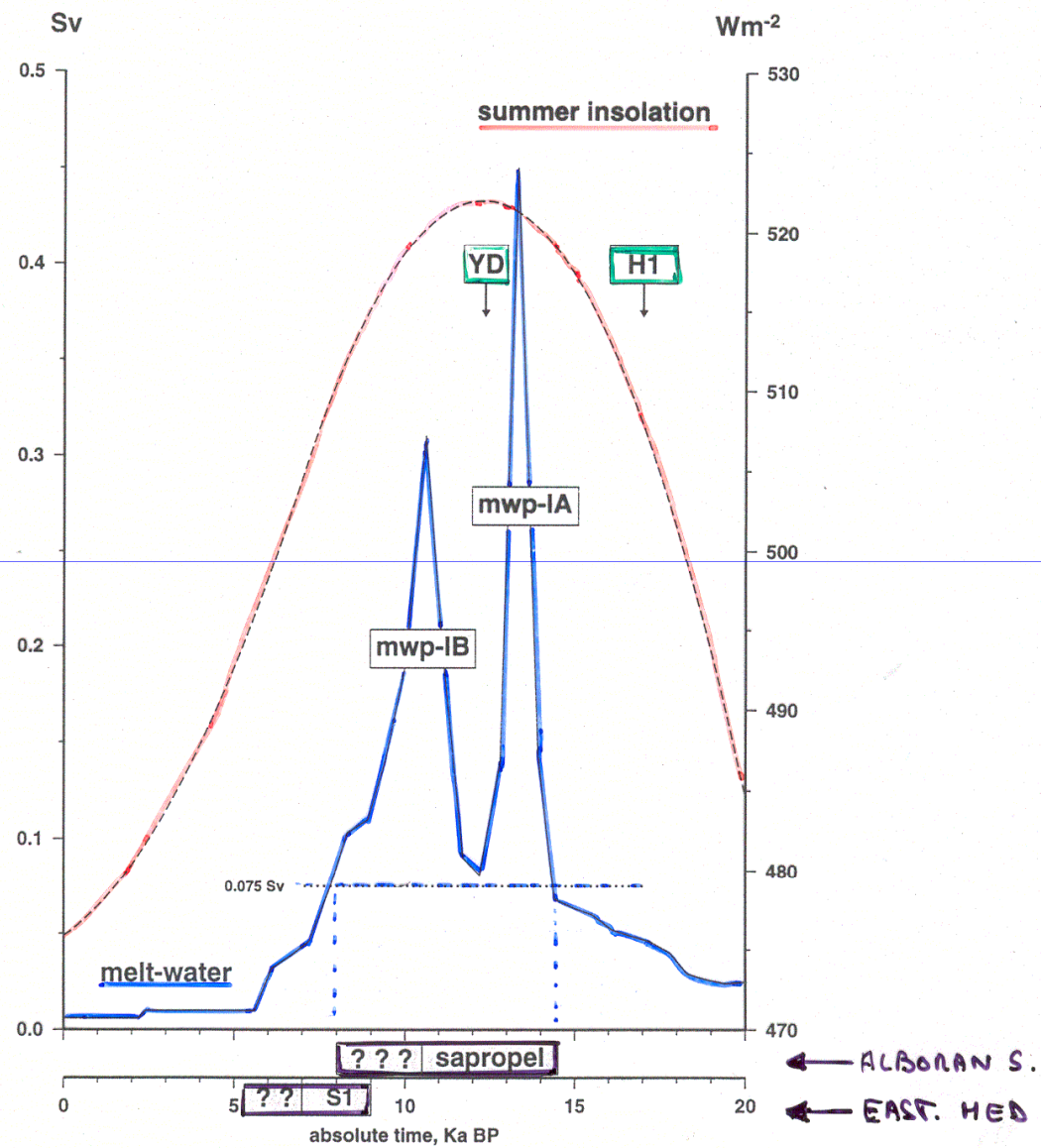


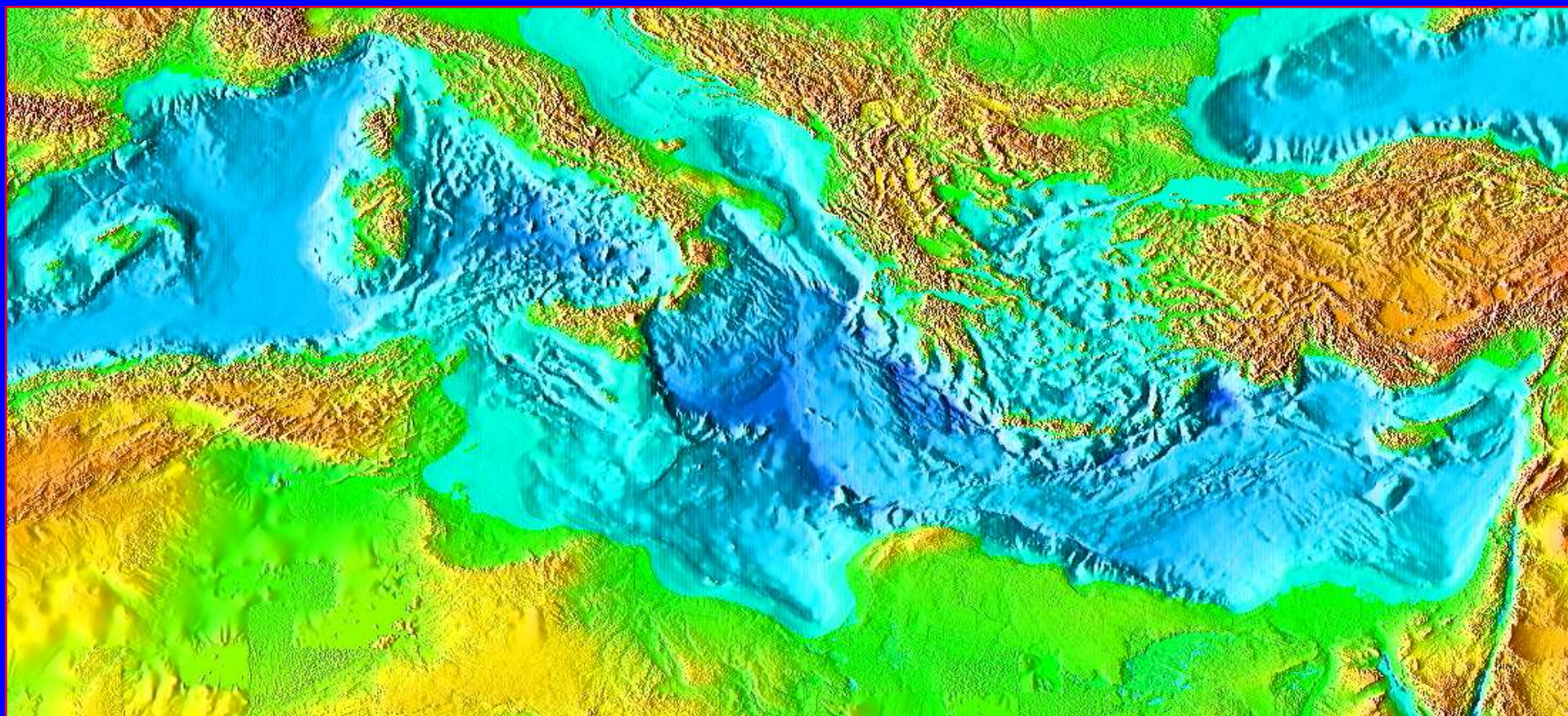
L'albédo Terre +
Atmosphère est
d'environ 0,30.
Autrement dit 30%
de la lumière solaire
est renvoyée vers
l'espace et 70 %
absorbée.

Mais l'albédo des surfaces terrestres est très différent selon que l'on considère les mers, les surfaces enneigées, arides, ou recouvertes de végétations...

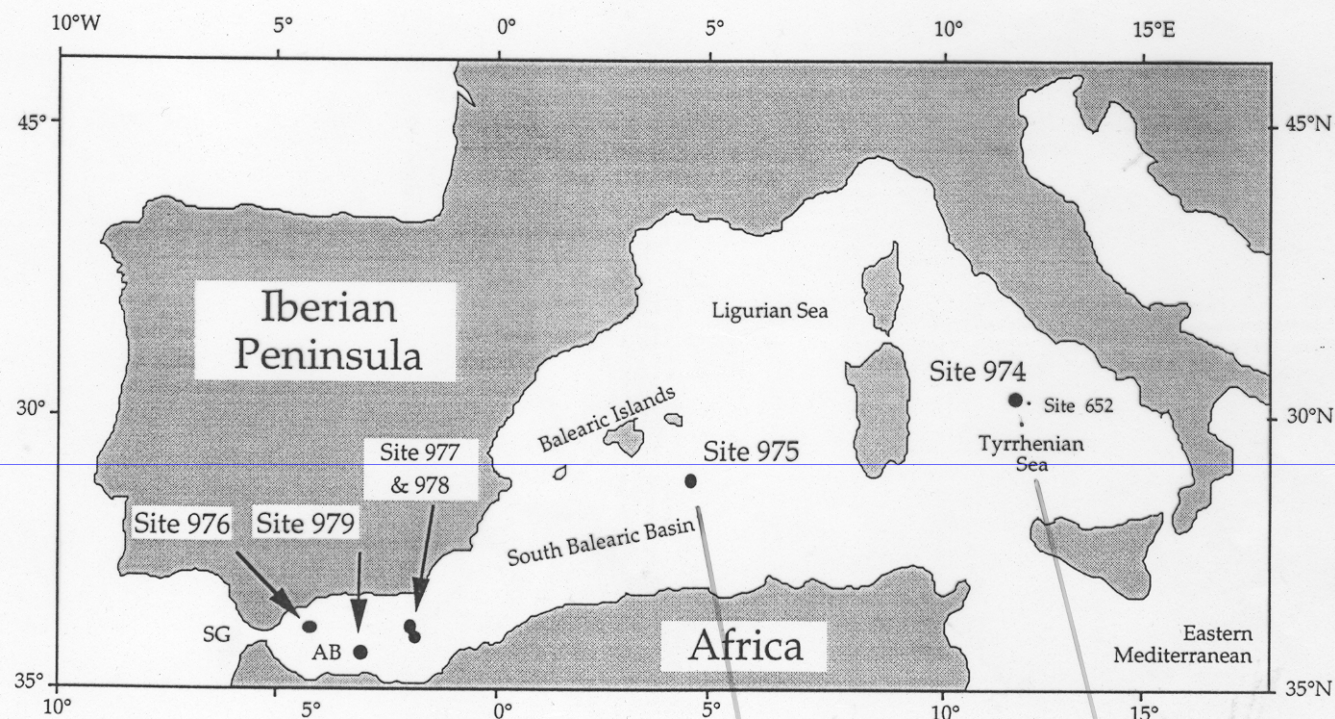








Contrastes topographiques en Méditerranée



1108m 1062m 1984m

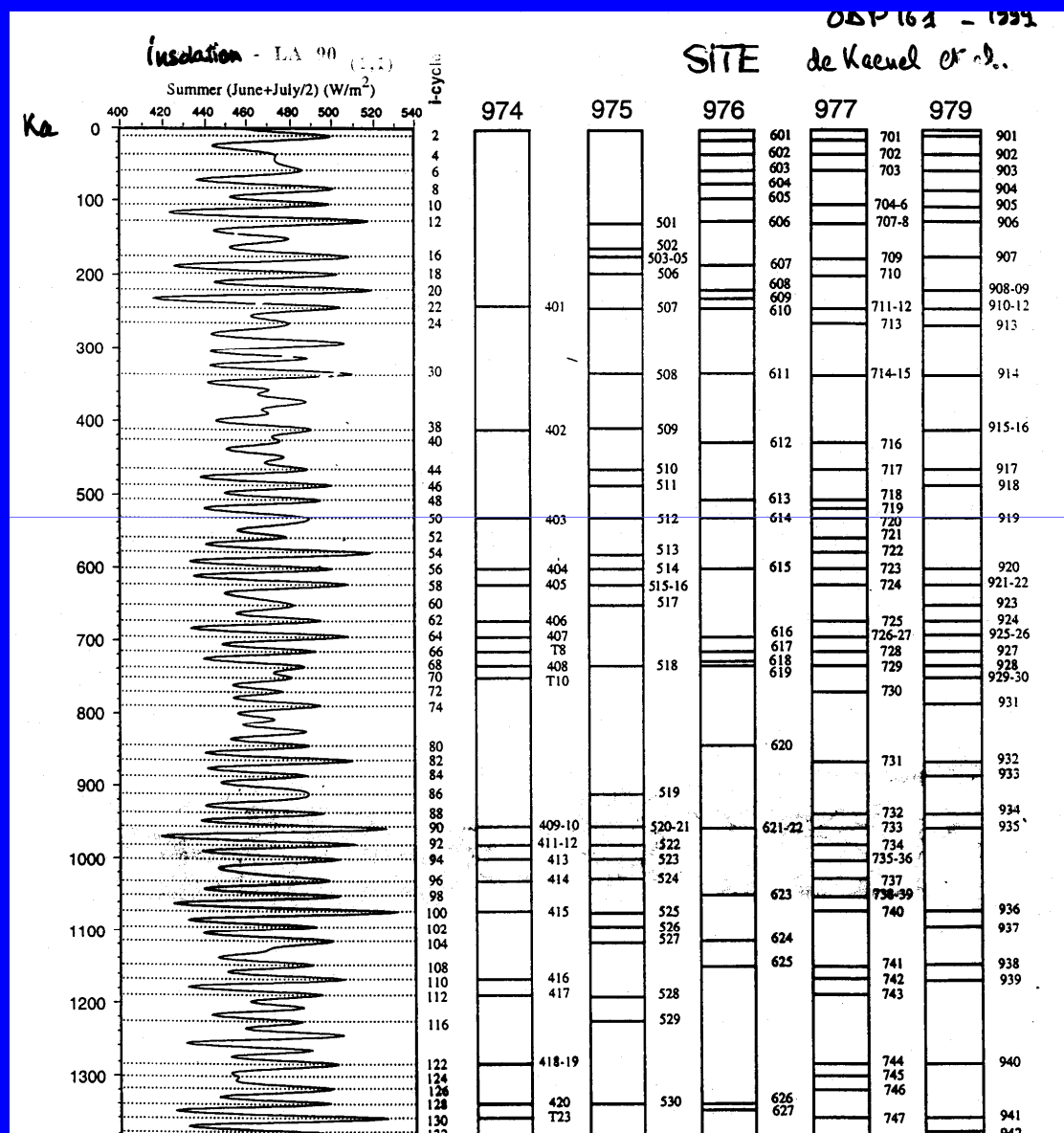
68 Saprophs

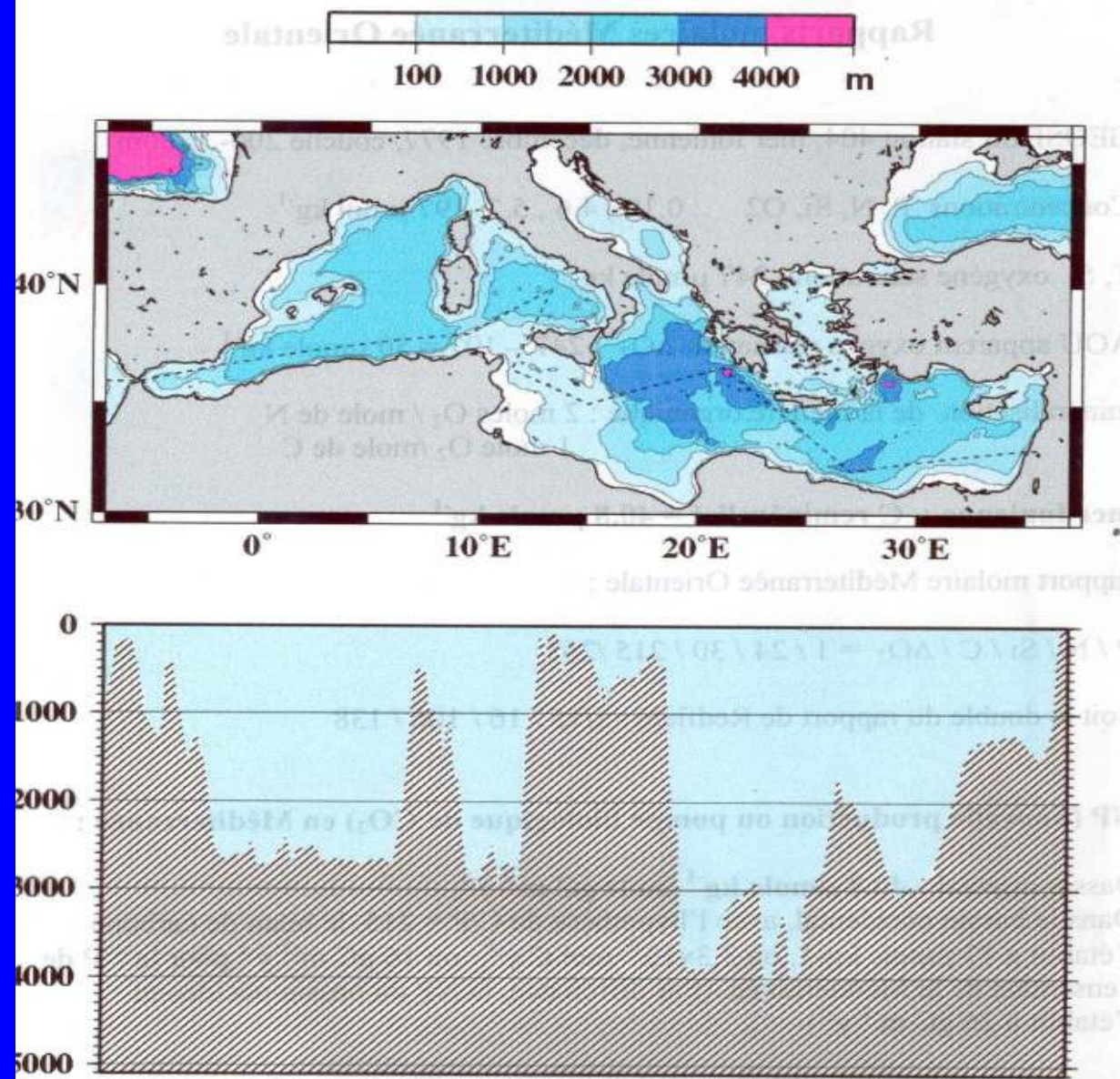
de Kaevel et al (1999)

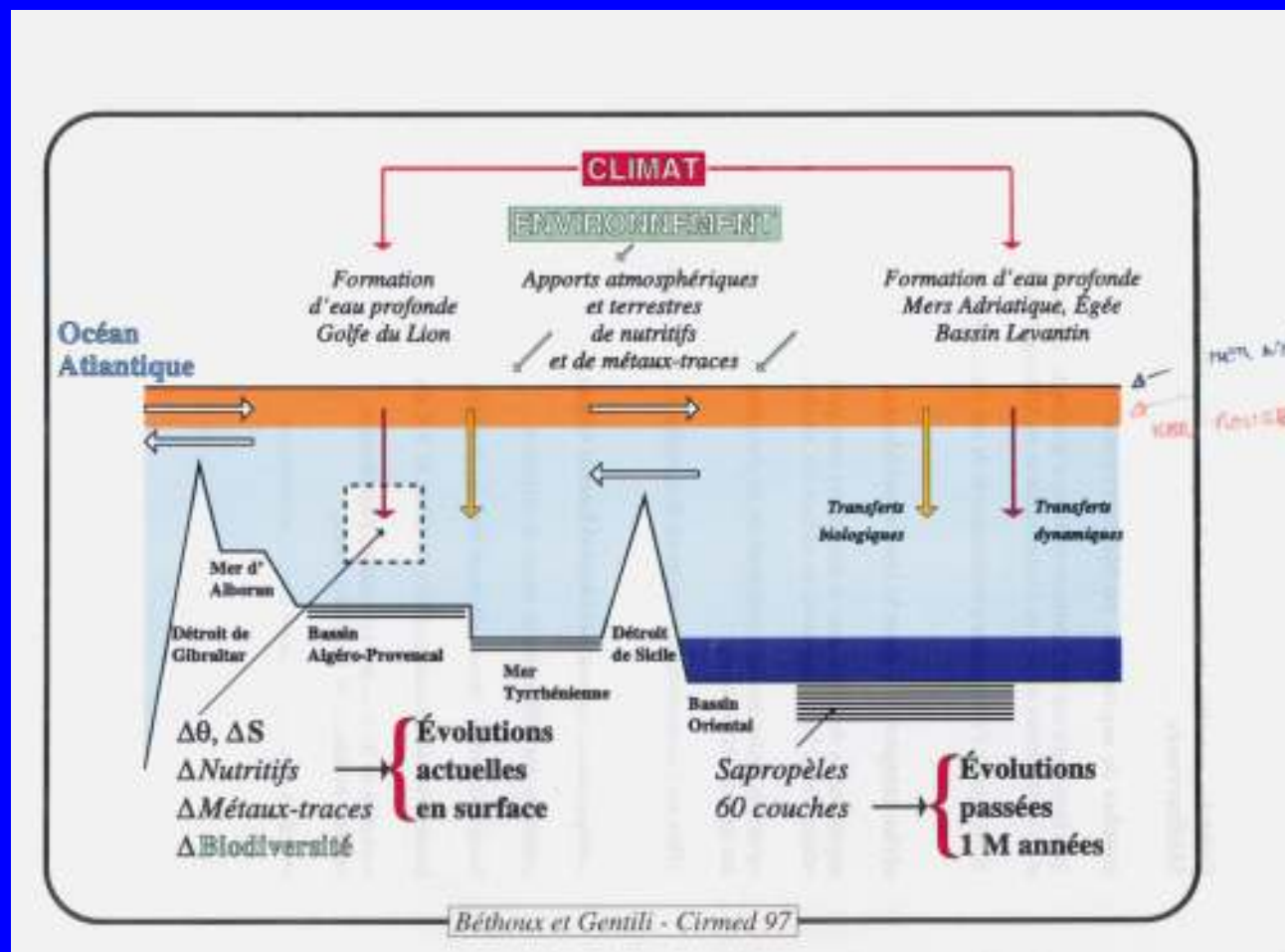
36 Saprophs

P:ene et al (1999)

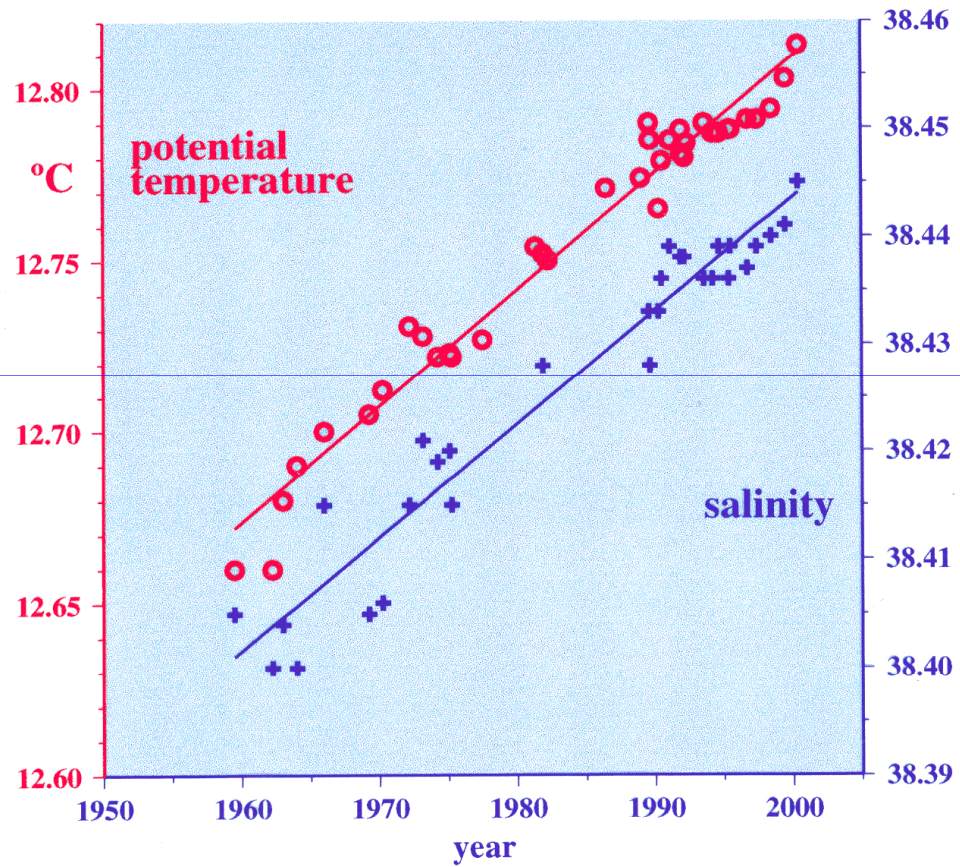
34 Saprophs







**TEMPERATURE AND SALINITY EVOLUTIONS
IN THE ALGERO-PROVENCAL BASIN
Deep water - mean value 2000-2700 m**



$\Delta\theta = 0.14\text{ }^{\circ}\text{C}$

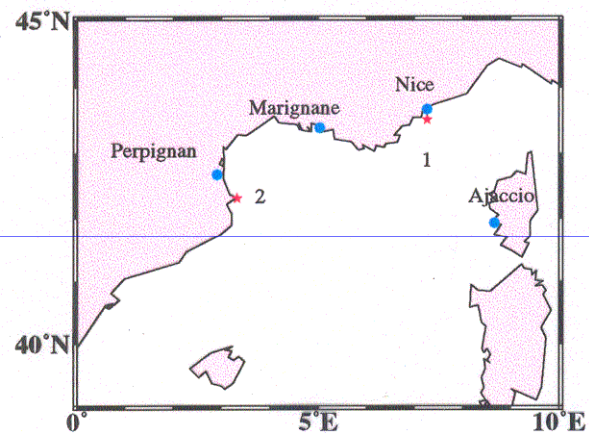
$\Delta S = 0.04$

Origine des température et salinité profondes:

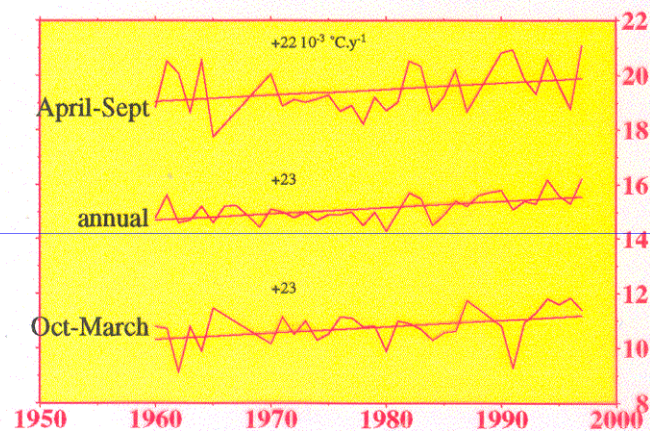
- en surface et en hiver, dans les zones de formation d'eaux profondes,
- amplitudes plus fortes en surface, environ 1°C et 0,5 S depuis 1950
- modifications du bilan thermique et du bilan en eau à travers la surface
- **bilan thermique**: augmentation de l'effet de serre, calculé à 2 Wm⁻² soit environ 1.5%. Première preuve marine de la réalité de ce problème
- **bilan en eau** : augmentation de l'évaporation, diminution des précipitations, modifications anthropiques des apports de la mer Noire et de la mer Rouge. Augmentation de 10% du déficit en eau.

Quelques preuves complémentaires de l'augmentation de la température de surface dans les séries temporelles des stations marines

Surface data from North-Western Mediterranean



mean air temperature, data from Ajaccio, Nice, Marignane and Perpignan



Air temperature : $23.3 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C.y}^{-1}$ [1960-1997]

1960 - 2000
+ 0.92 °C

Sea surface temperature

1 Villefranche bay 0-75 m : $9.15 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C.y}^{-1}$ [1956-1997]

+ 0.6

2 Medes islands 0-80 m : $26 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C.y}^{-1}$ [1972-1992]

+ 1.04

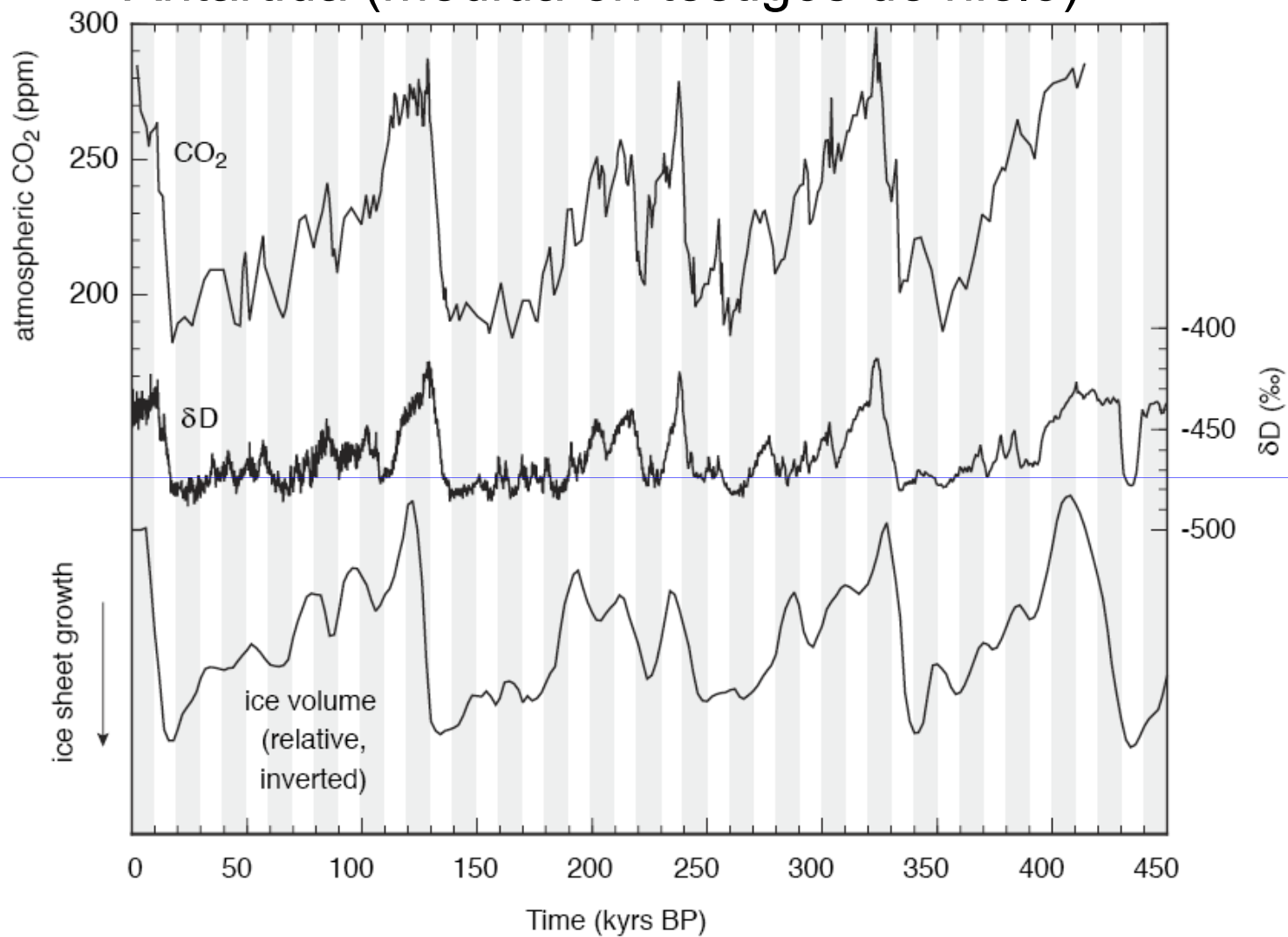
Conclusion?

**En el Mediterráneo, señales de la evolución del clima
-en los sedimentos, cronología sobre 2 millones de años de
la circulación marina y del clima**

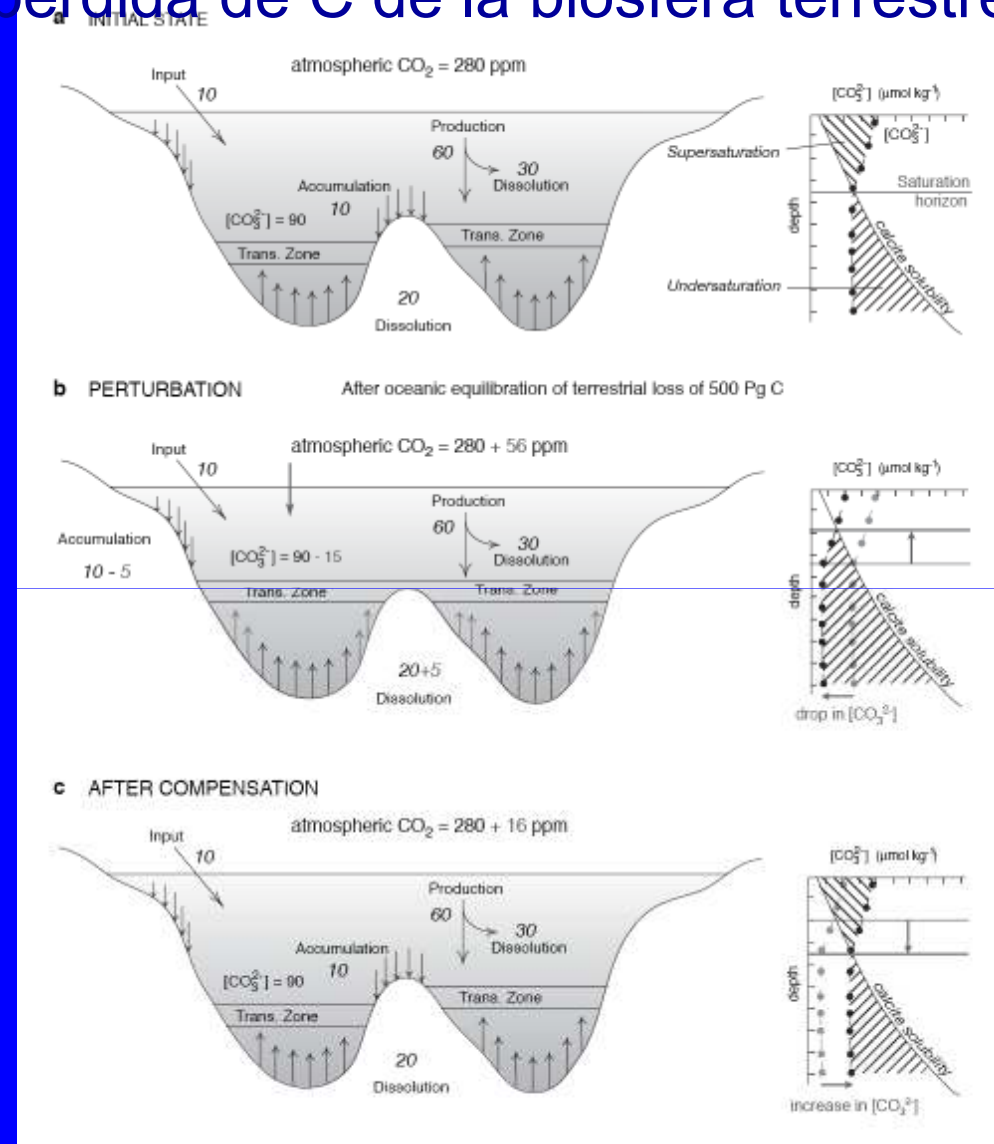
**-en el agua profunda, aumento de T y S,
pruebas del aumento del EI,
cuantificación de los cambios de superficie,
aumento de Tair y Tagua de 1°C,
aumento de la evaporación, disminución de las
precipitaciones, aumento de la utilización antrópica del
agua dulce,**

**En la cuenca del mediterráneo, la primera
preocupación no será el aumento de la
temperatura, sino la disminución del recursode
agua.**

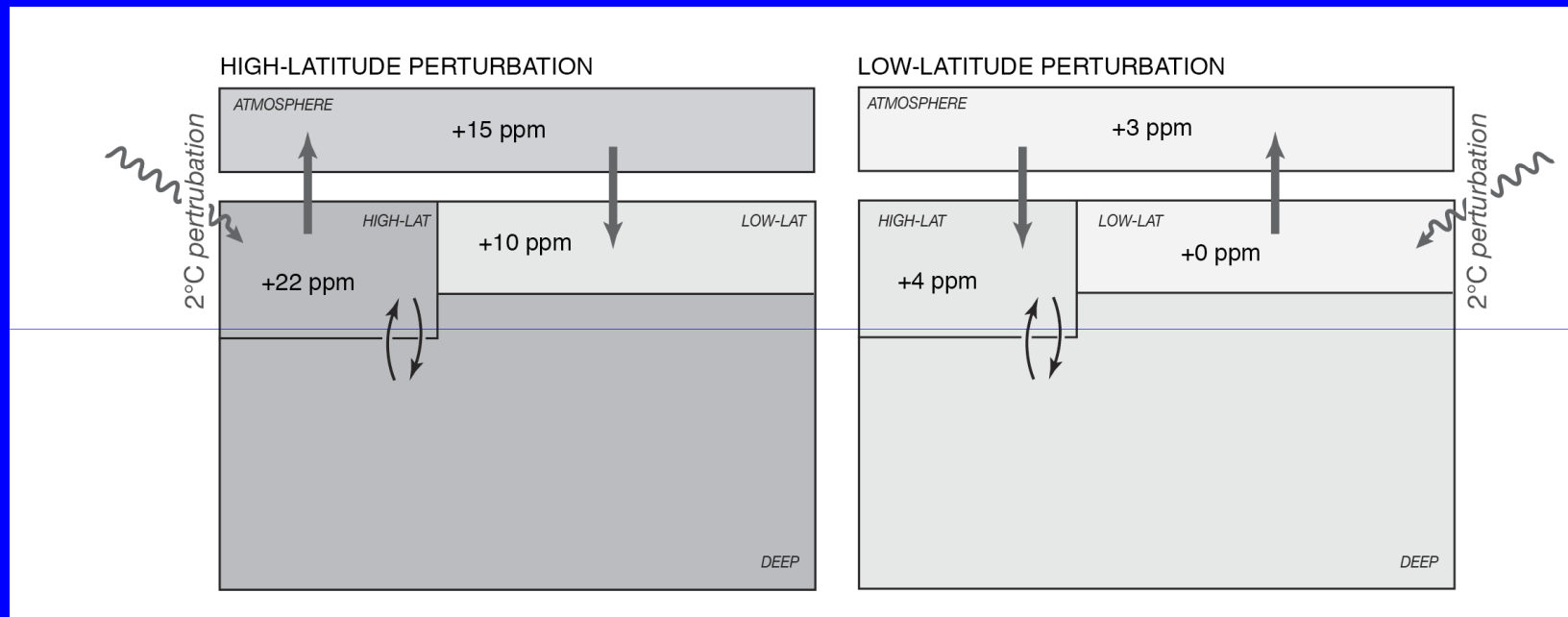
CO₂ atmosférico y temperatura en Vostok Antártida (medida en testigos de hielo)



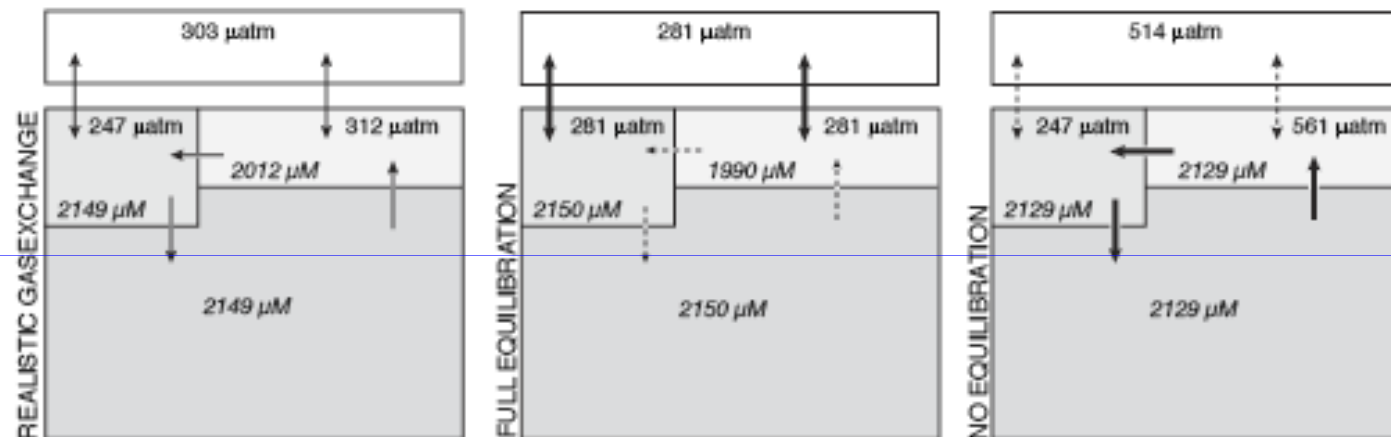
Mecanismos de compensacion de CaCO_3 en respuesta a una perdida de C de la biosfera terrestre



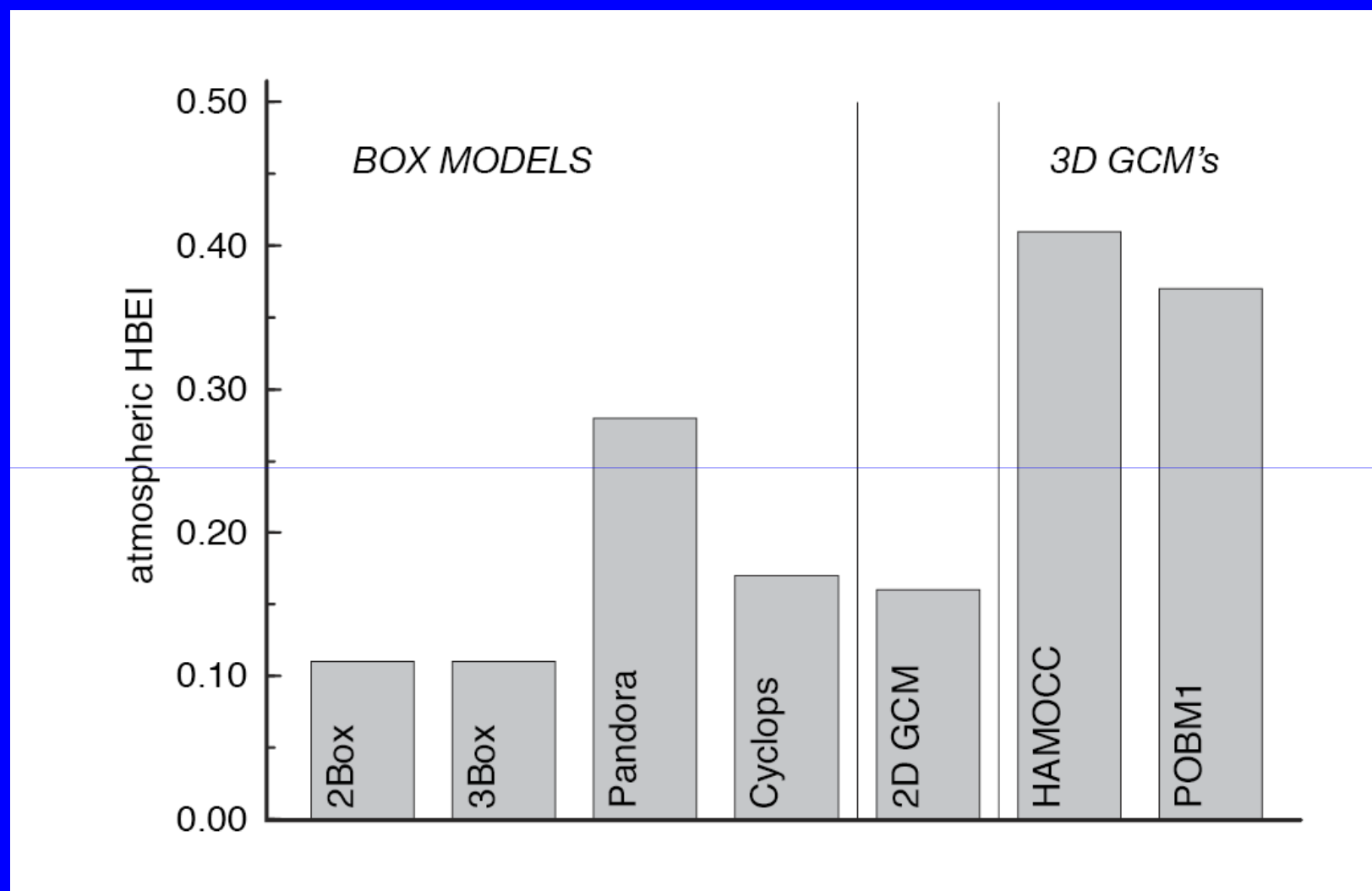
Modelo en 3 cajas de la secuestracion del CO2 en las altas atitudes



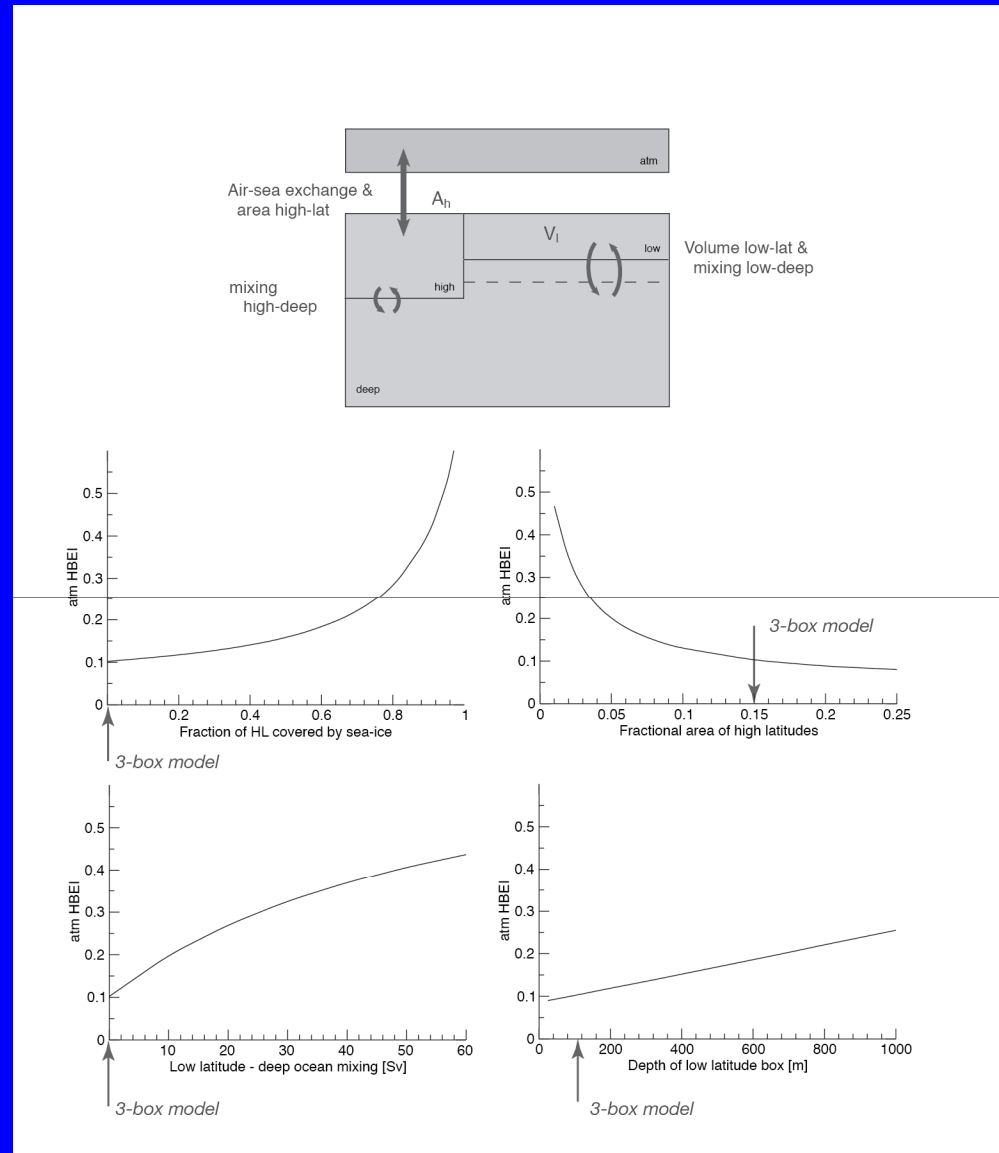
CO₂ chemistry are driven entirely by the solubility pump



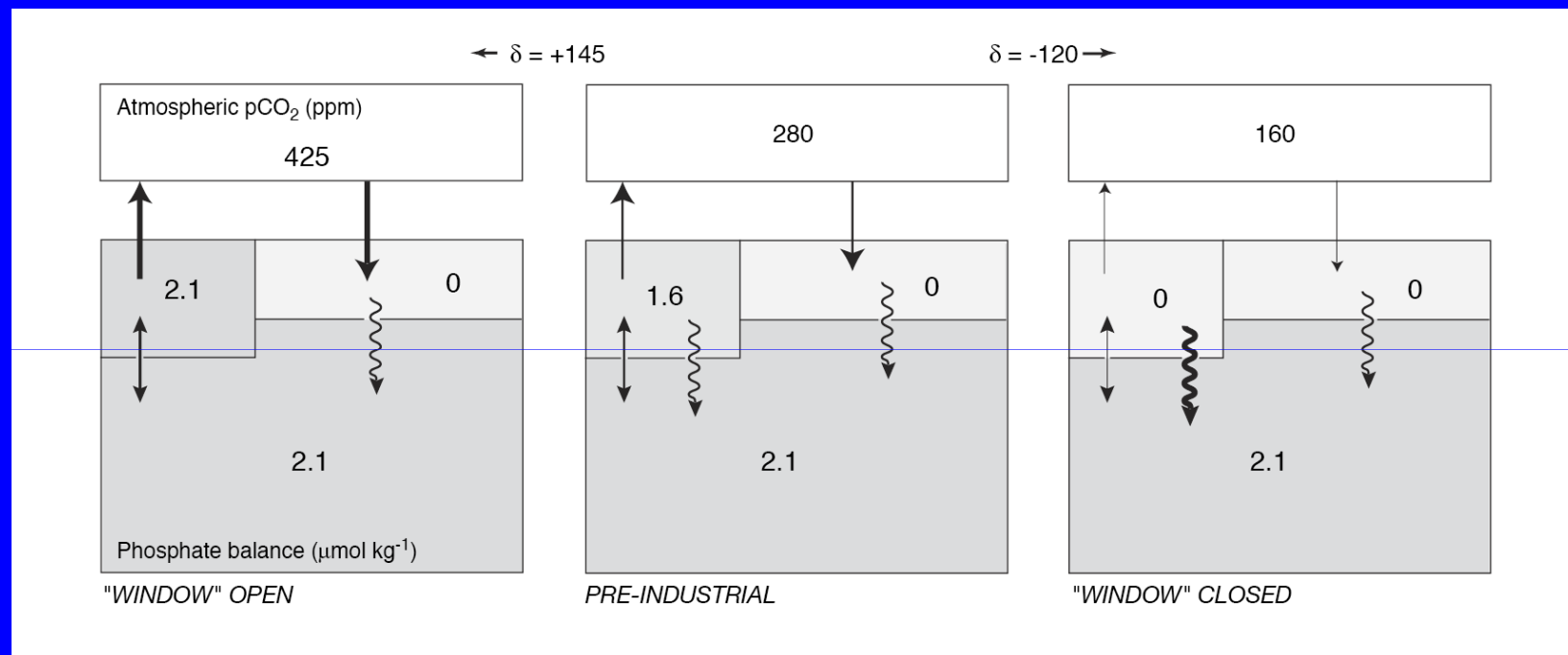
Equilibration Index caculado por diferentes modelos

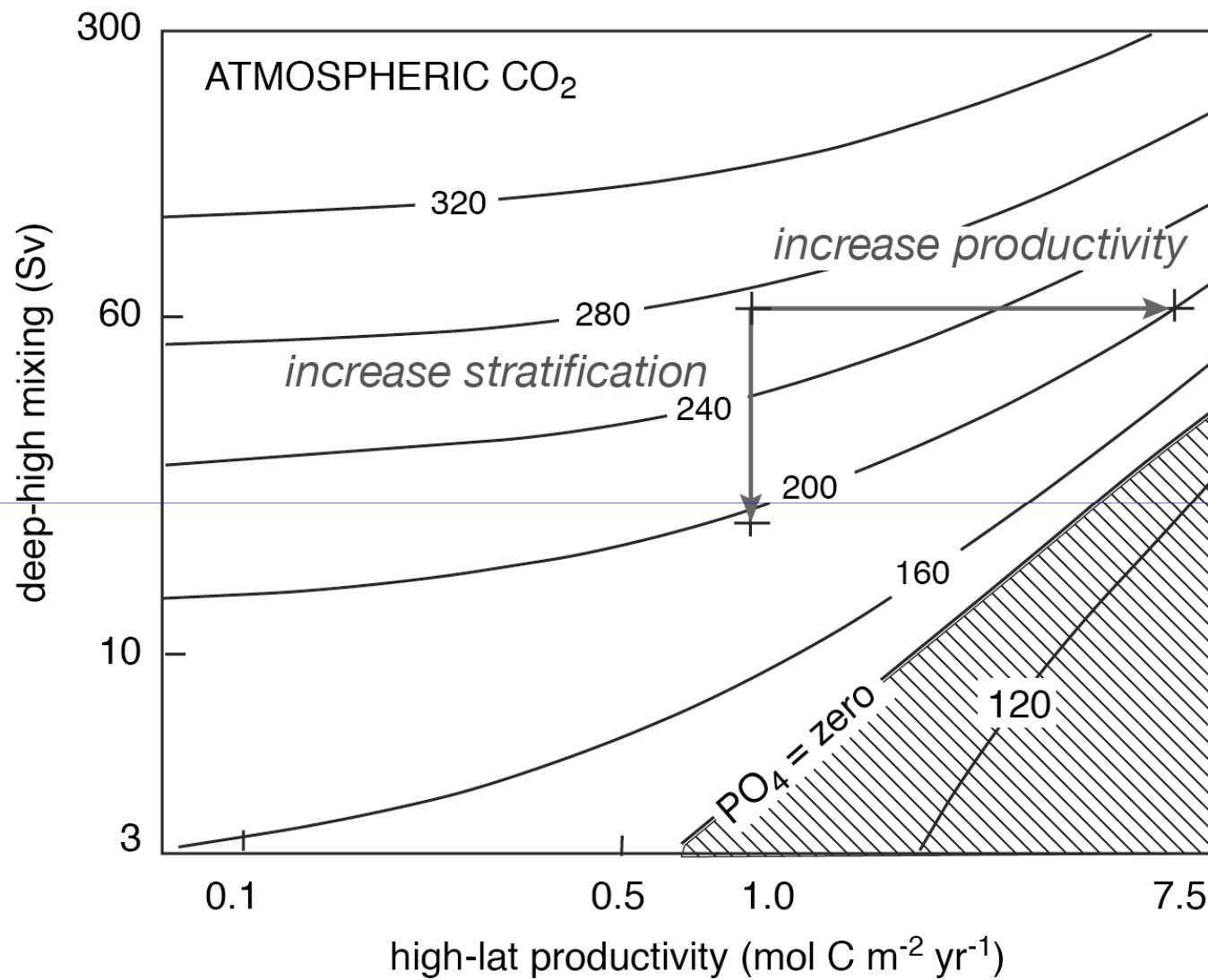


Sensitivity of 3 Box model al hielo, mezcla y a las cajas

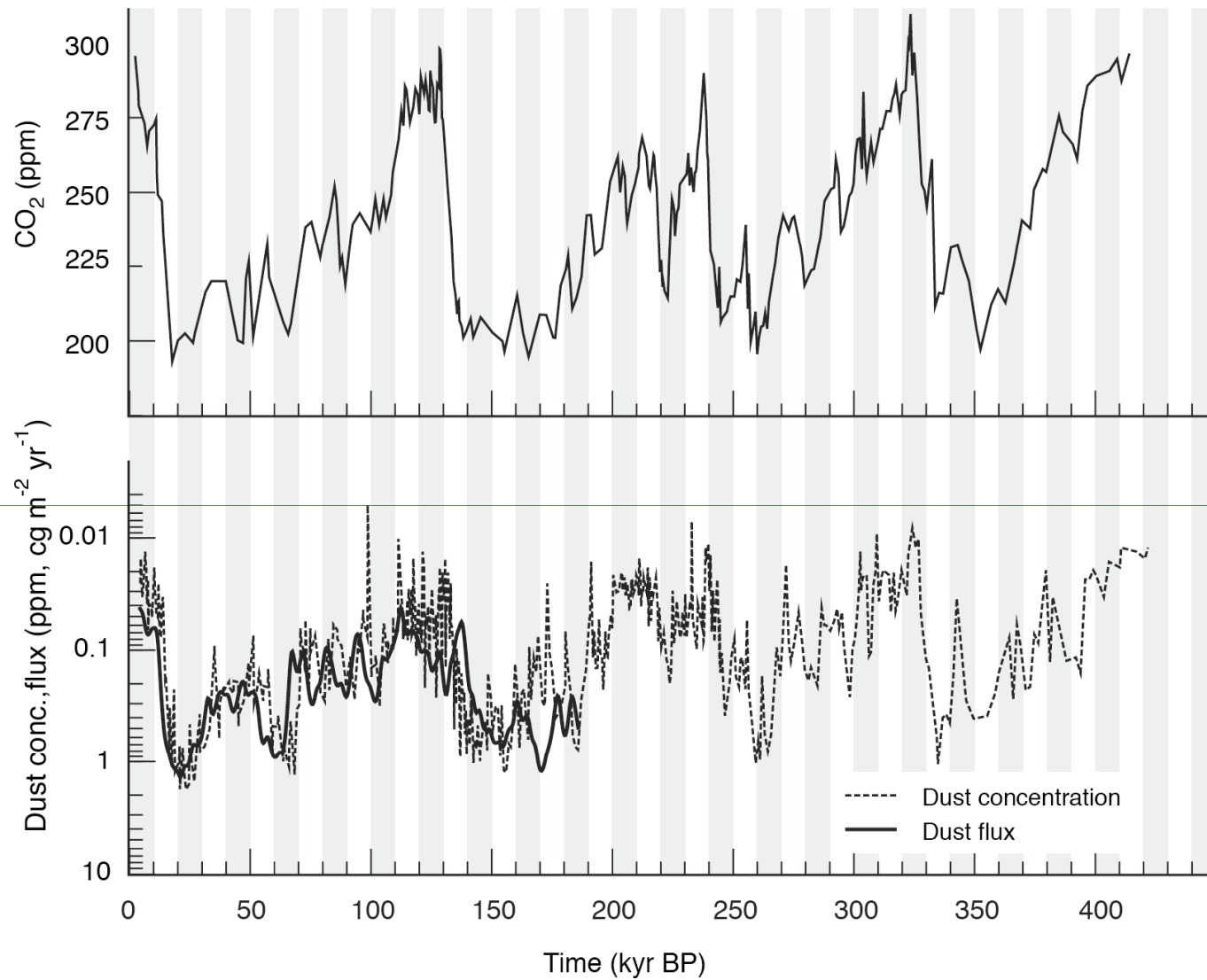


Sensitivity to atmospheric CO₂ concentration in high latitudes

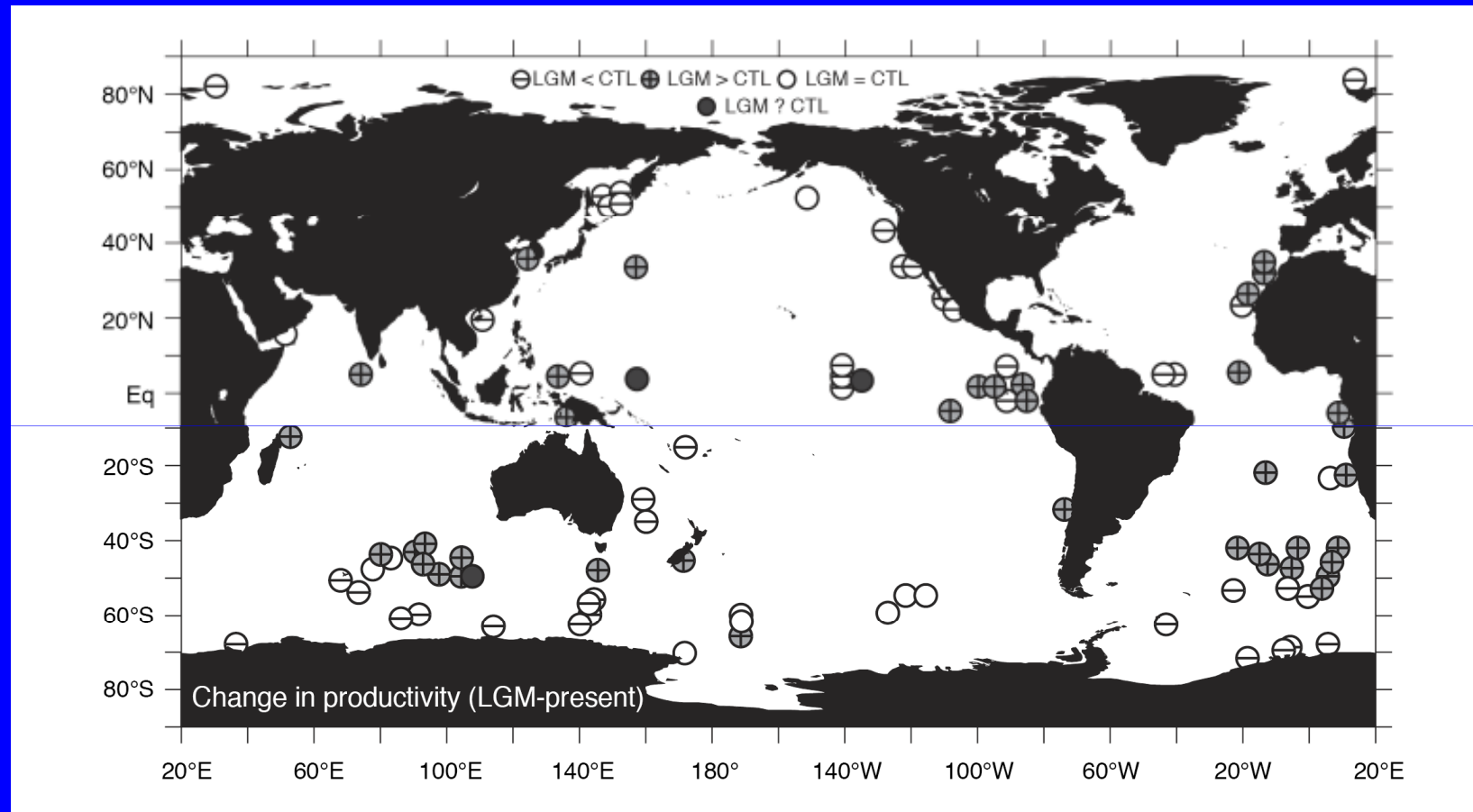




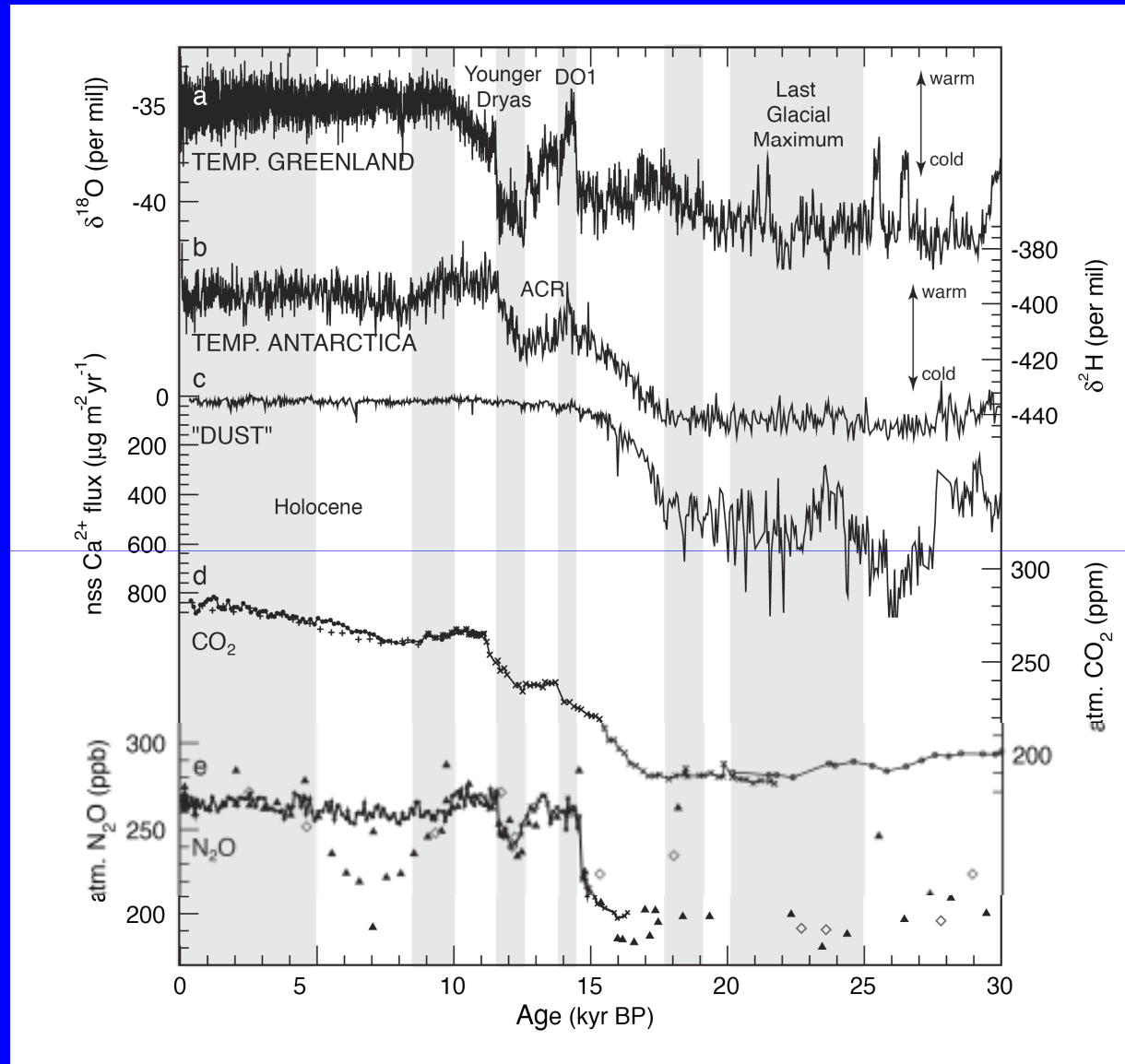
CO₂ y Polvos de los desiertos *Petit et al. 1999*



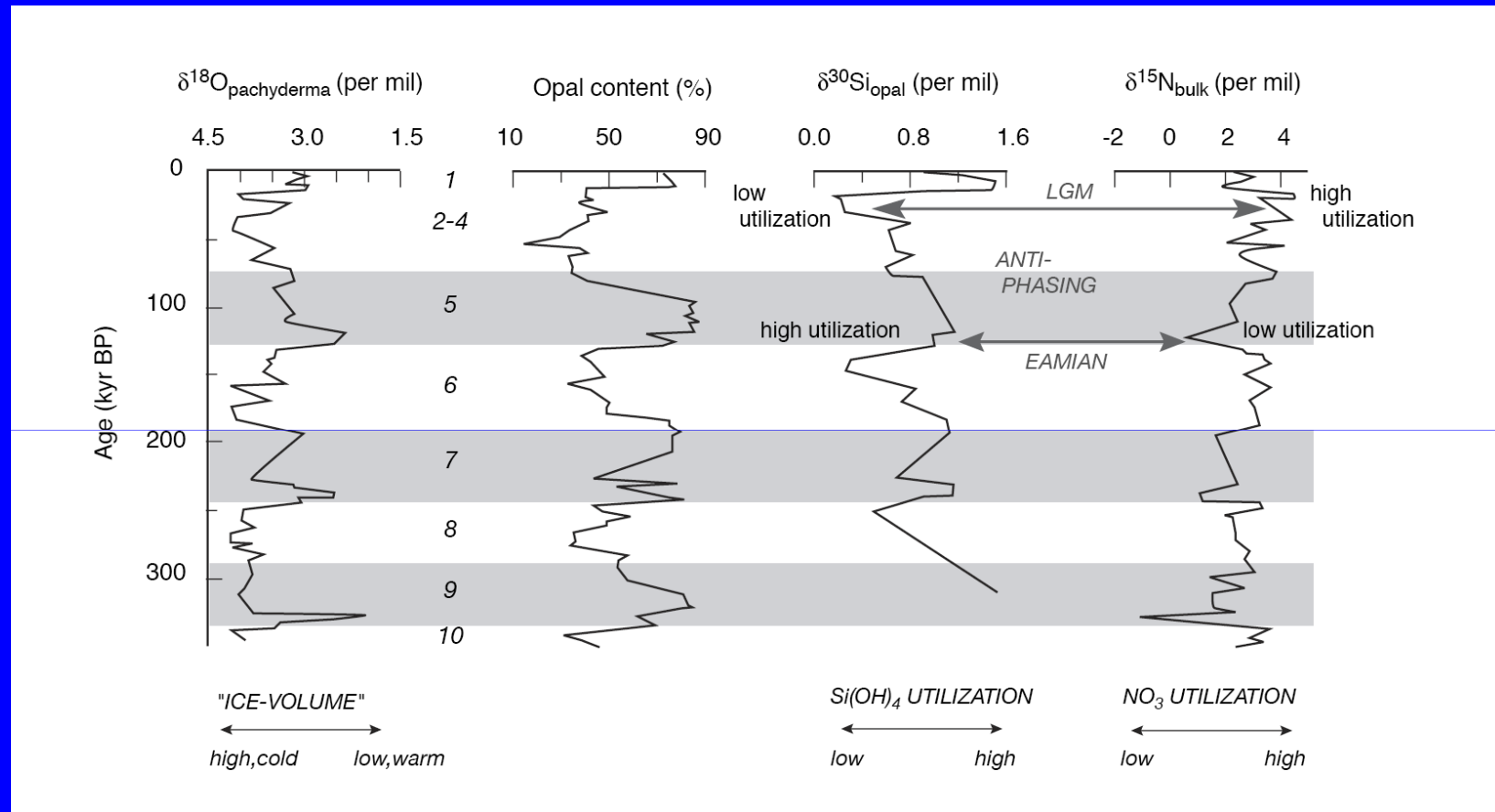
Rol de la bomba biológica (restricciones dadas por las observaciones)



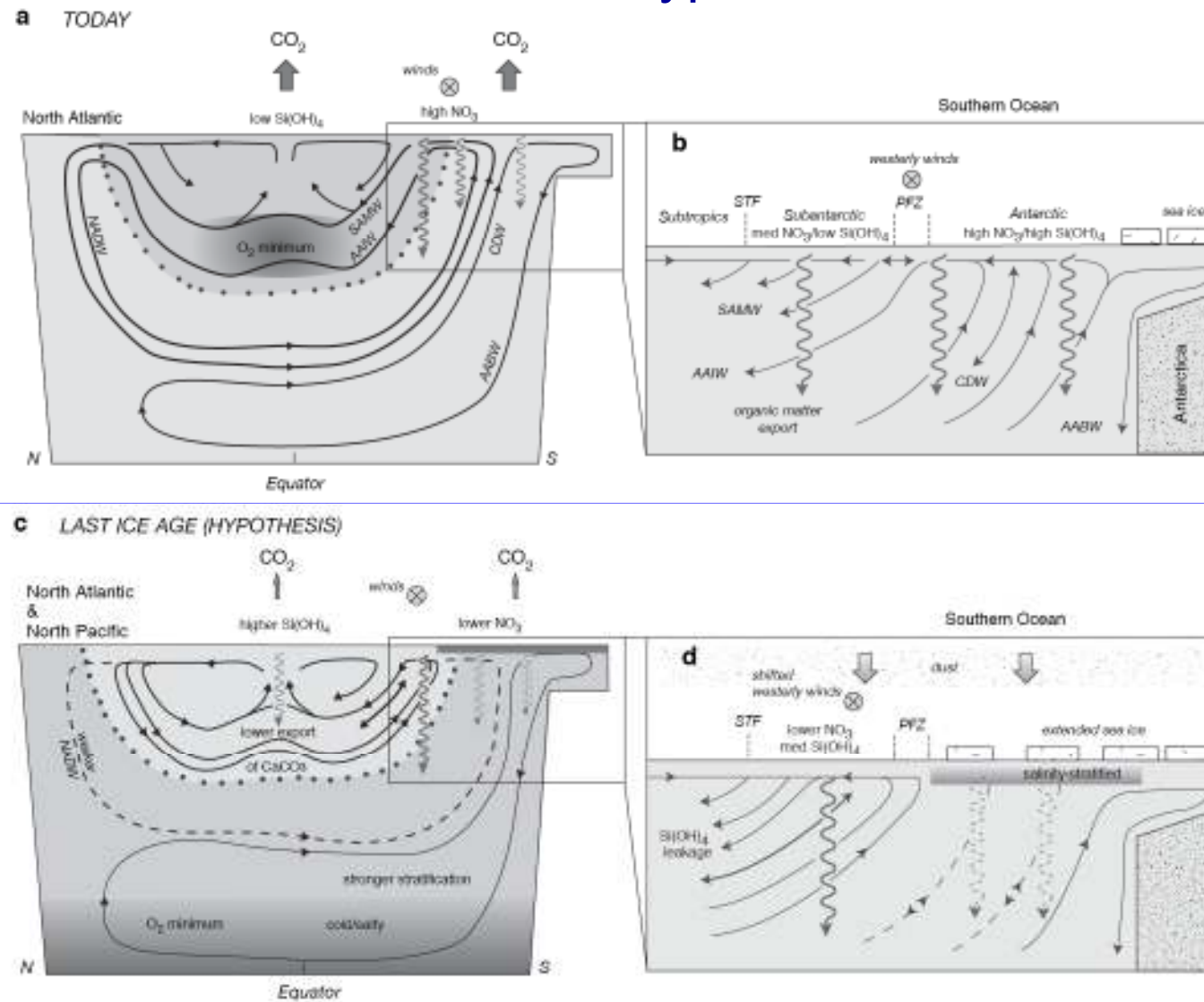
Eventos ocurridos durante la ultima glaciacion

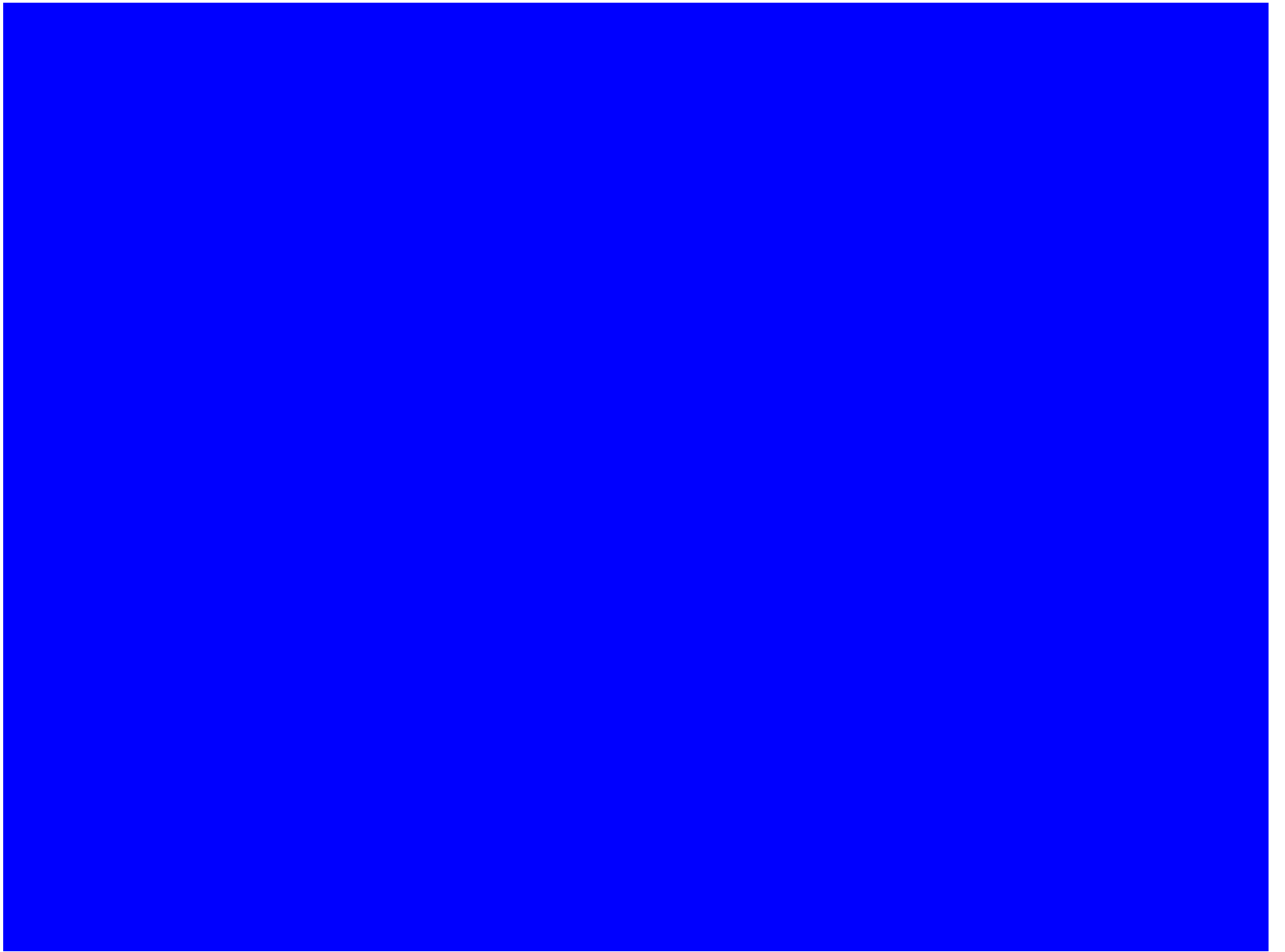


Sediments core in the Antarctic Zone of the South Atlantic



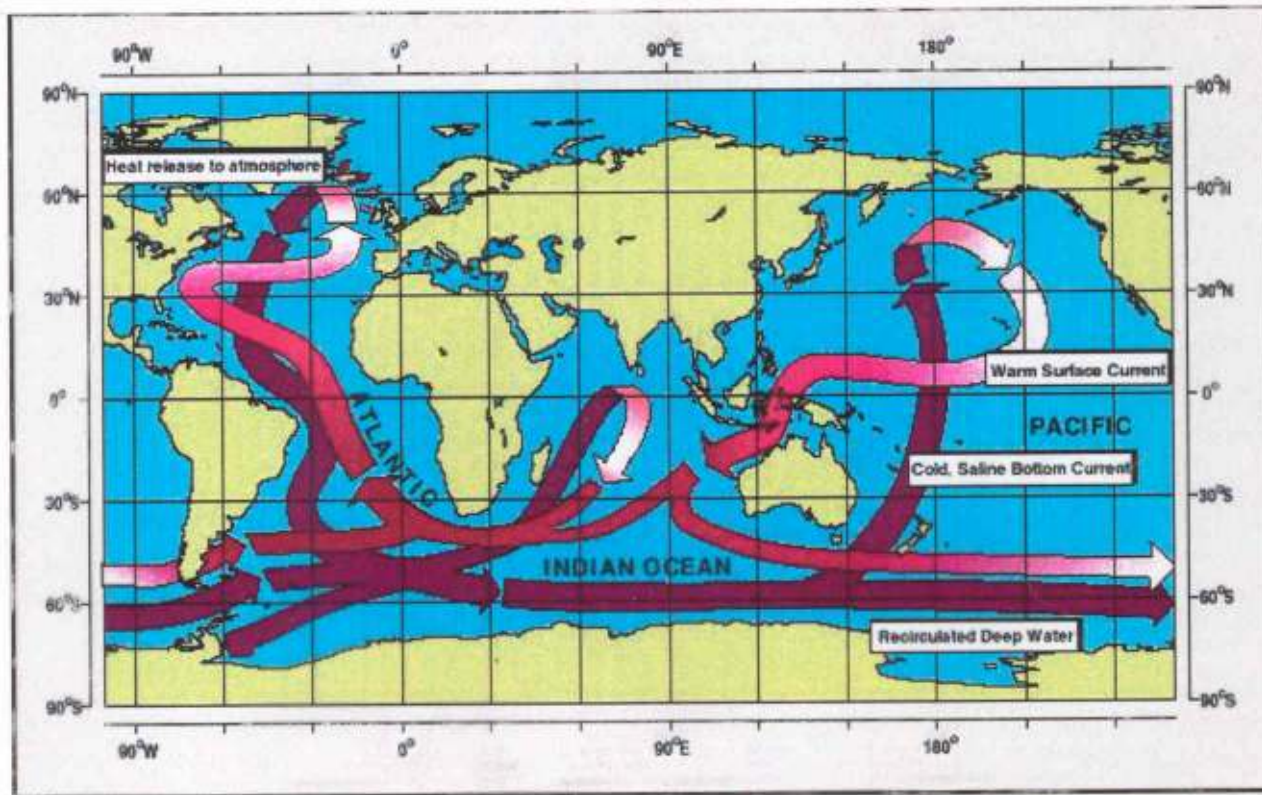
Reduced CO₂atm during the glacial time : Southern Ocean hypothesis





LA CIRCULATION THERMOHALINE

Un élément clé pour comprendre la circulation océanique globale



D'après W. Broecker, modifié par Maier-Reimer