

La Terre en héritage : gérer la planète

- « Global change », la notion de pollution.
- L'atmosphère perturbée
 - Les pluies acides
 - Le trou de l'Ozone
 - L'homme modifie t-il le climat ?
- Le sol perturbé
- La pollution de l'hydrosphère
 - L'eau va t'elle manquer ?
 - La pollution des eaux
- Que faire de nos déchets ?

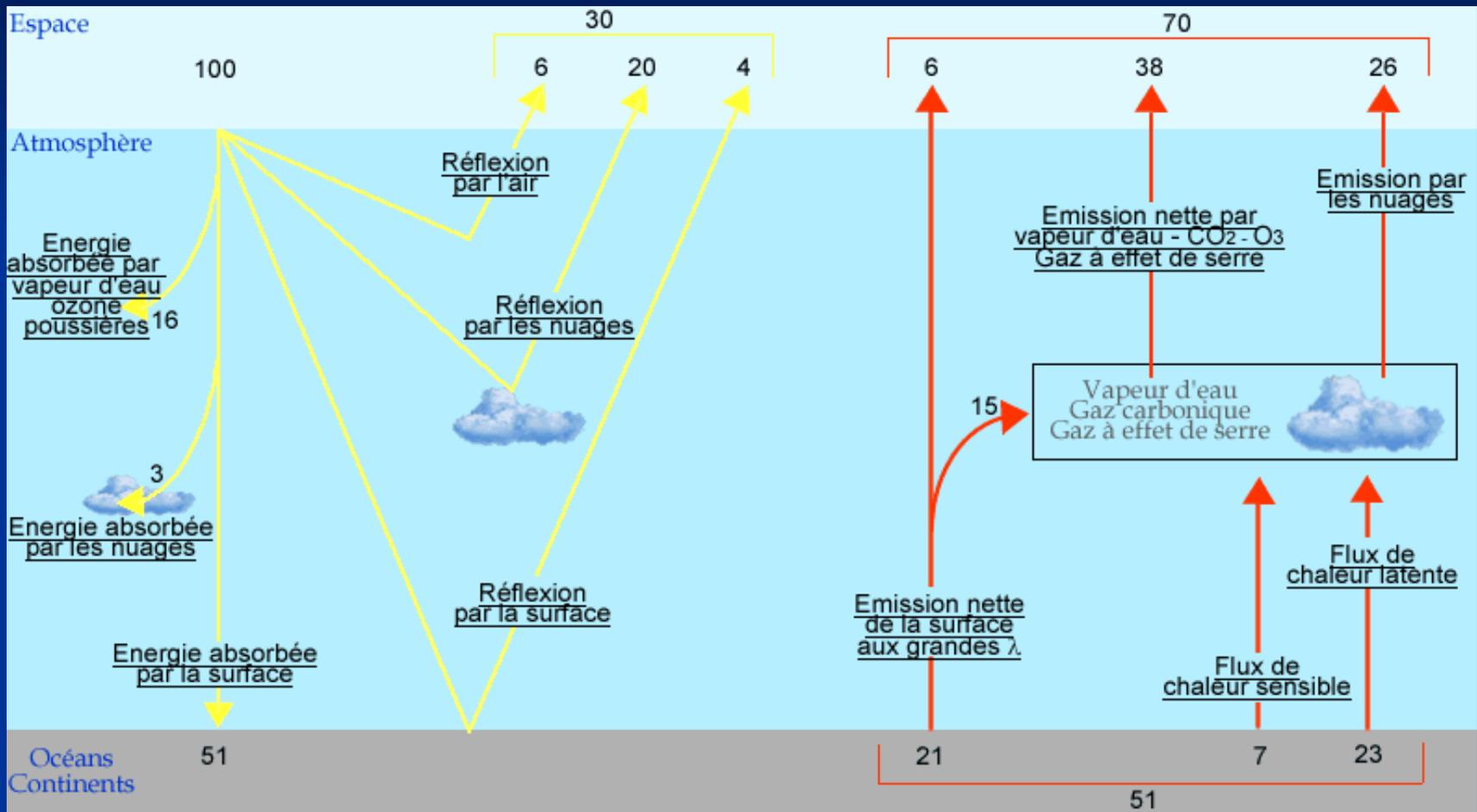
L'effet de Serre : l'homme modifie t-il le climat ?



Plan

- I. Un changement de la chimie de l'atmosphère sans précédent.
- II. L'origine du CO₂ en excès
- III. La séquestration océanique du C
- IV. La séquestration continentale
- V. Le cycle du carbone perturbé et les prévisions.
- Que faire ???????

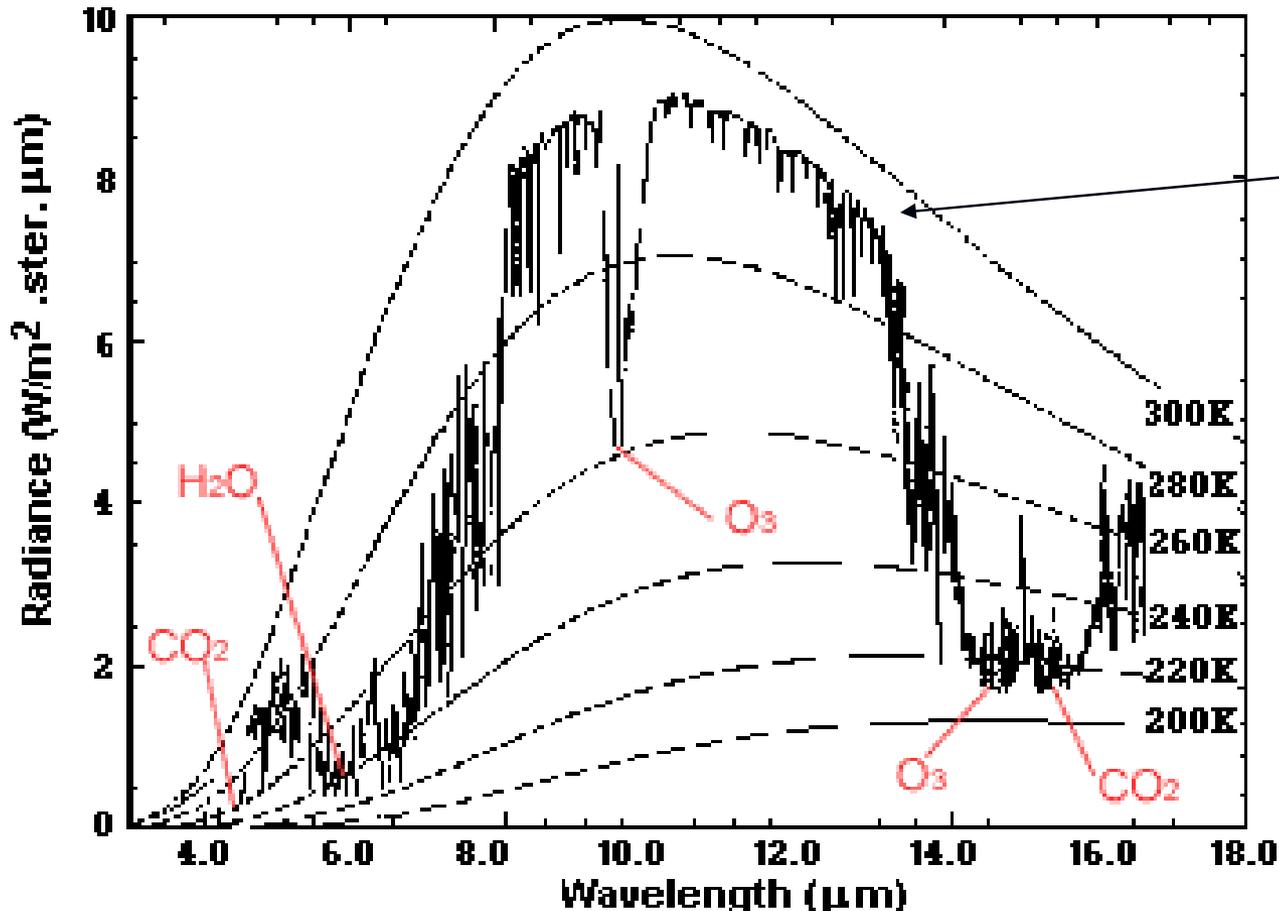
Bilan radiatif de la Terre



Les gaz à effet de Serre

Fig. 1a

High resolution atmospheric absorption spectrum
and comparative blackbody curves



Émission d'un corps
Noir $L = 0.0029/T$

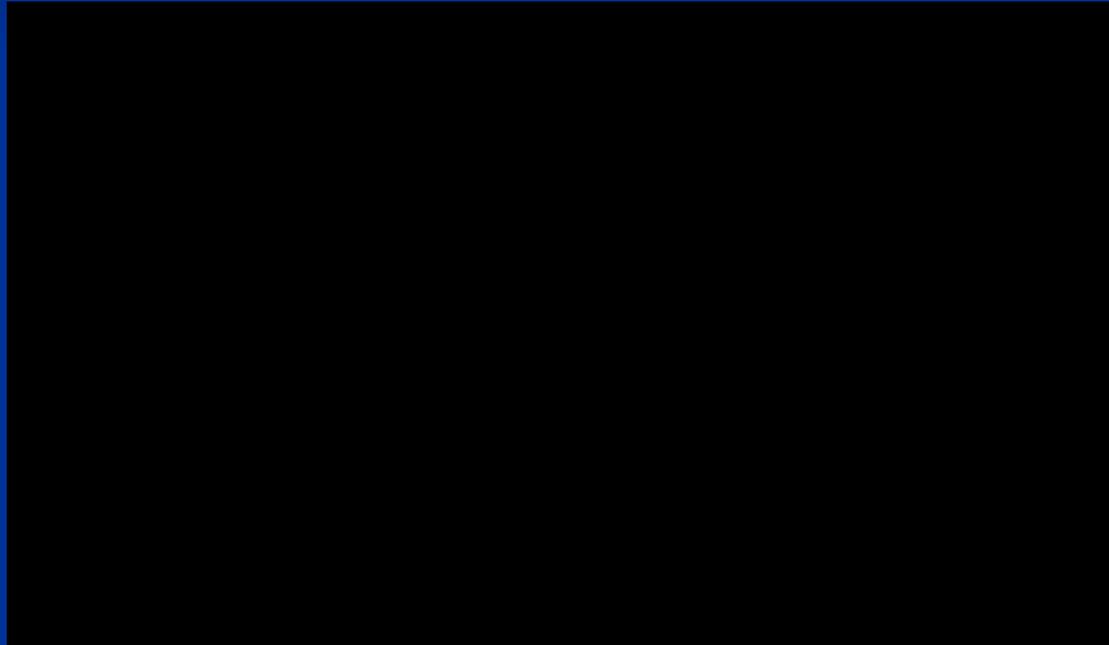
Les gaz à effet de Serre

- CO₂
- CH₄
- N₂O (protoxyde d'azote)
- Carbone halogéné (chloro et fluoro carbone)
- Hexafluorure de soufre
- Ozone troposphérique

Gaz à effet de Serre

	eau	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC	O ₃
Concentration	0-3%	365 ppmV	1.7 ppmV	0,3 ppmV	760 pptV	0,05 -0,4 ppmV
Pouvoir de réchauffement global		1	20	300	16000	
forçage		65%	20%	5%	10%	Qq %
Temps de résidence atm.		200 ans	10 ans	150 ans	120 ans	

**Ne pas les oublier :
les aérosols, les nuages et l'eau**

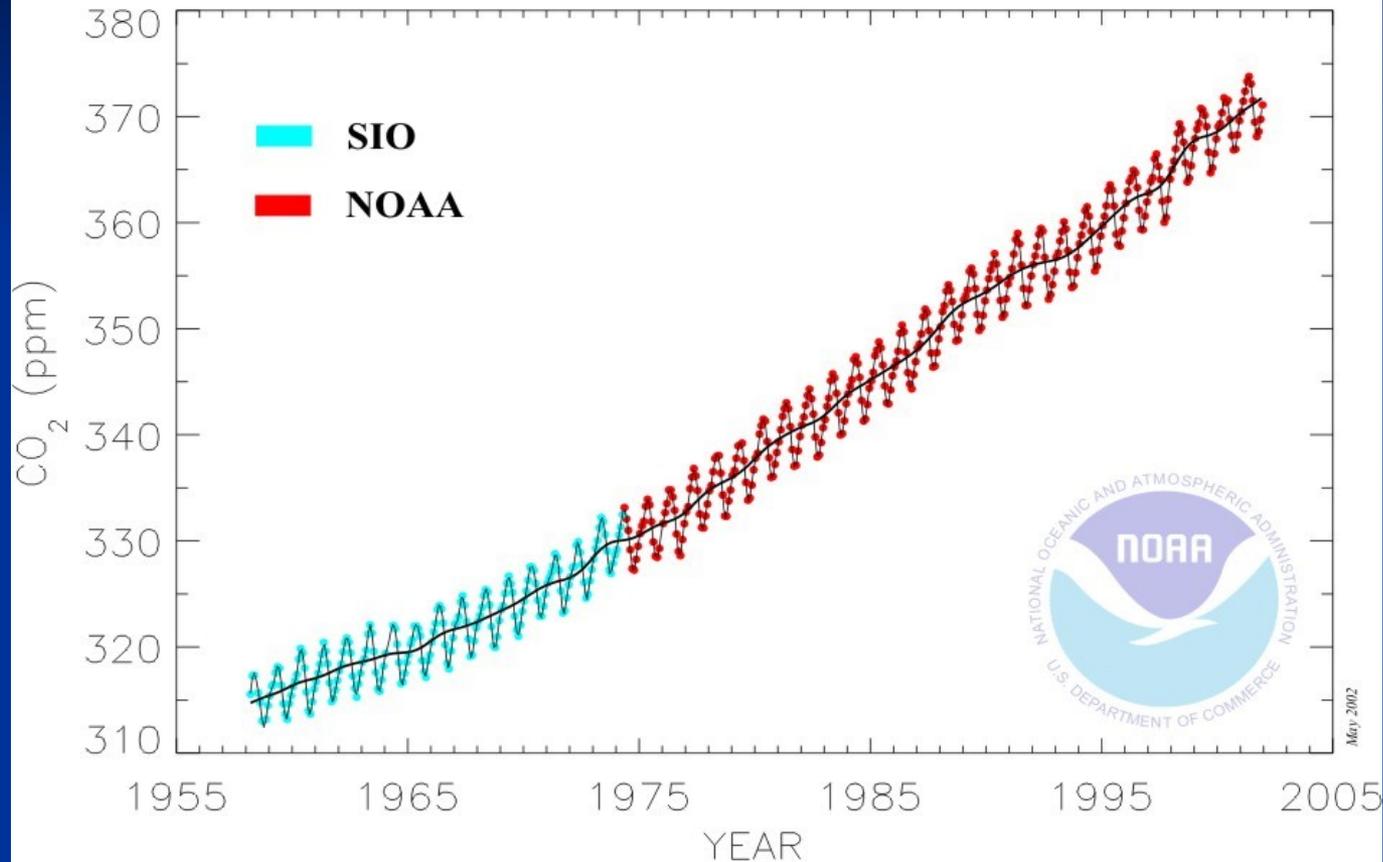


Les gaz à effet de Serre

- Avec un albédo de 30% et sa distance au soleil, la terre devrait avoir une température de surface de -20°C .
- Or la température observée est de 15°C , il y a donc 35°C dus à l'effet de Serre.

Evolution du CO₂ atmosphérique

Mauna Loa Monthly Mean Carbon Dioxide

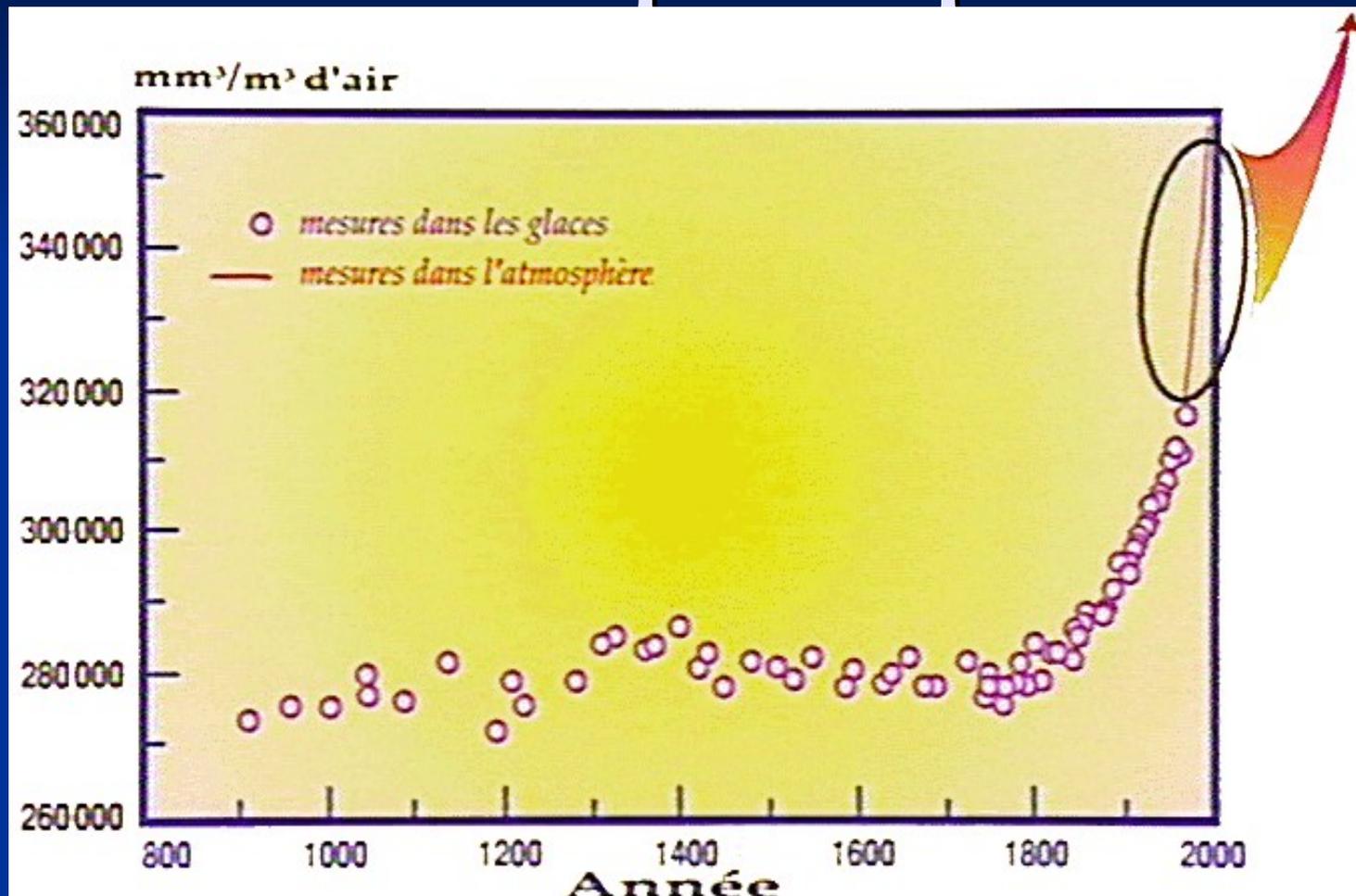


Atmospheric carbon dioxide monthly mean mixing ratios. Data prior to May 1974 are from the Scripps Institution of Oceanography (SIO, blue), data since May 1974 are from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, red). A long-term trend curve is fitted to the monthly mean values. Principal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

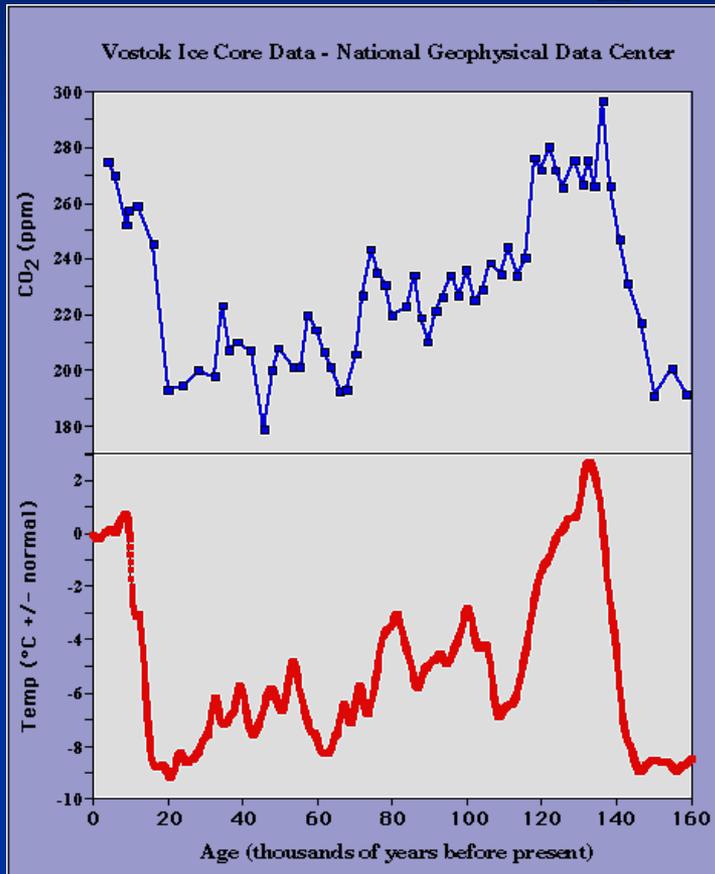
Un système complexe

<http://www.manicore.com>

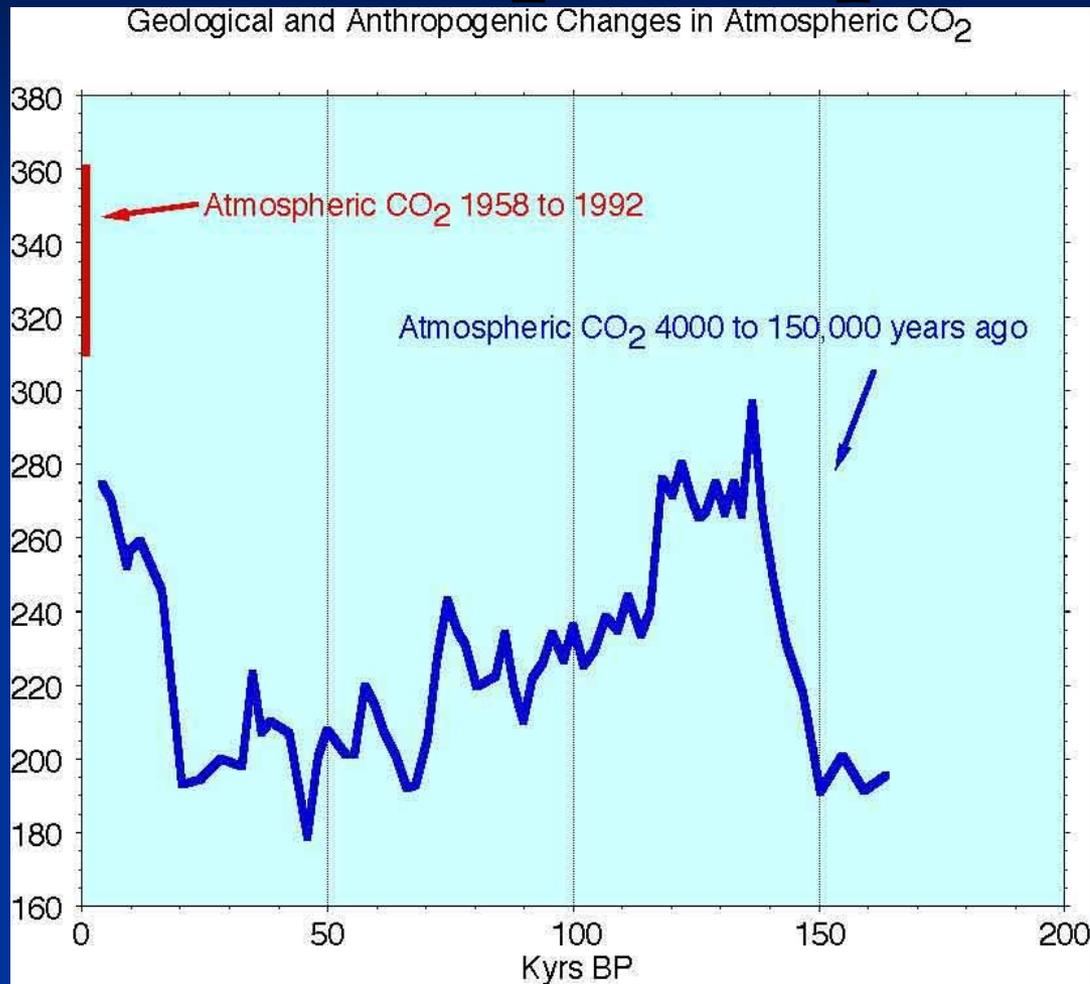
Evolution du CO2 atmosphérique



La température de la Terre est-elle restée constante dans le passé ?

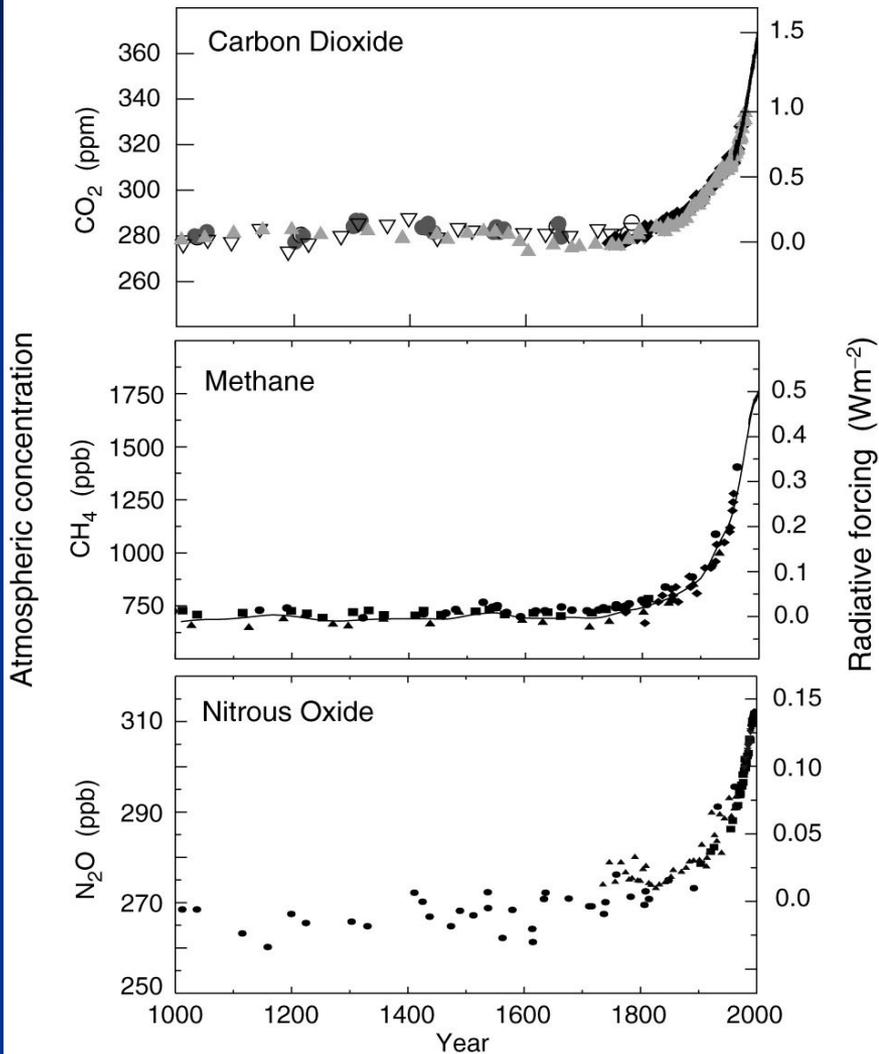


Evolution du CO₂ atmosphérique

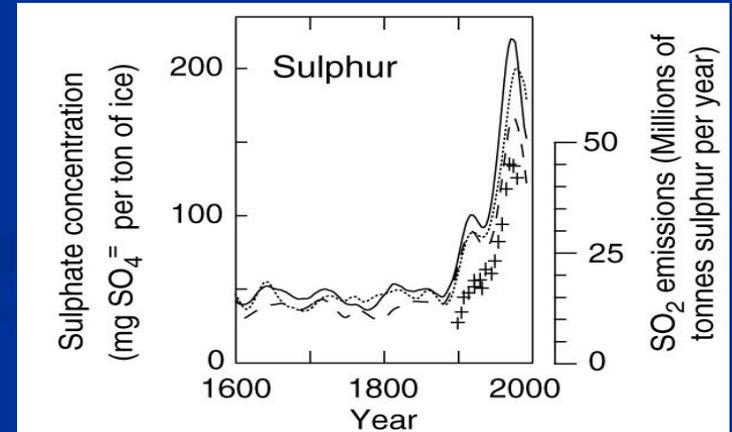


Un changement de chimie de l'atmosphère sans précédent

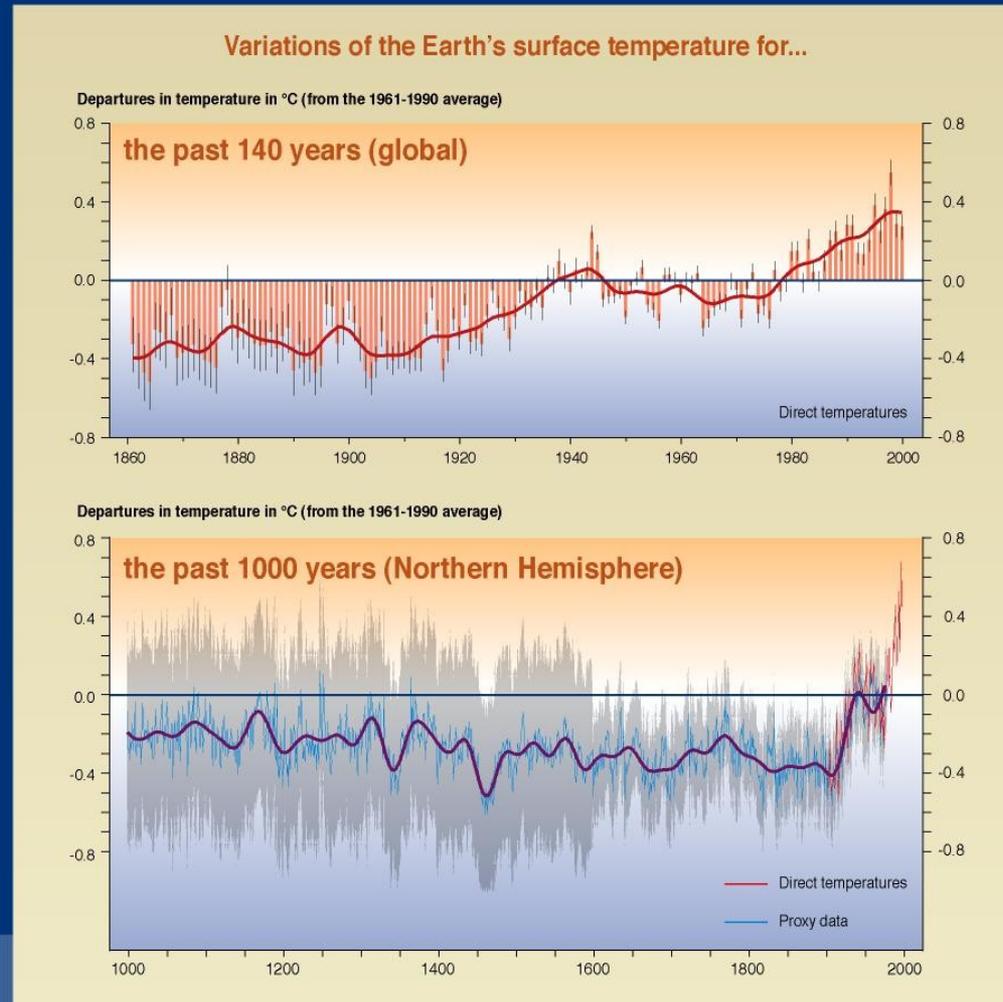
(a) Global atmospheric concentrations of three well mixed greenhouse gases



(b) Sulphate aerosols deposited in Greenland ice

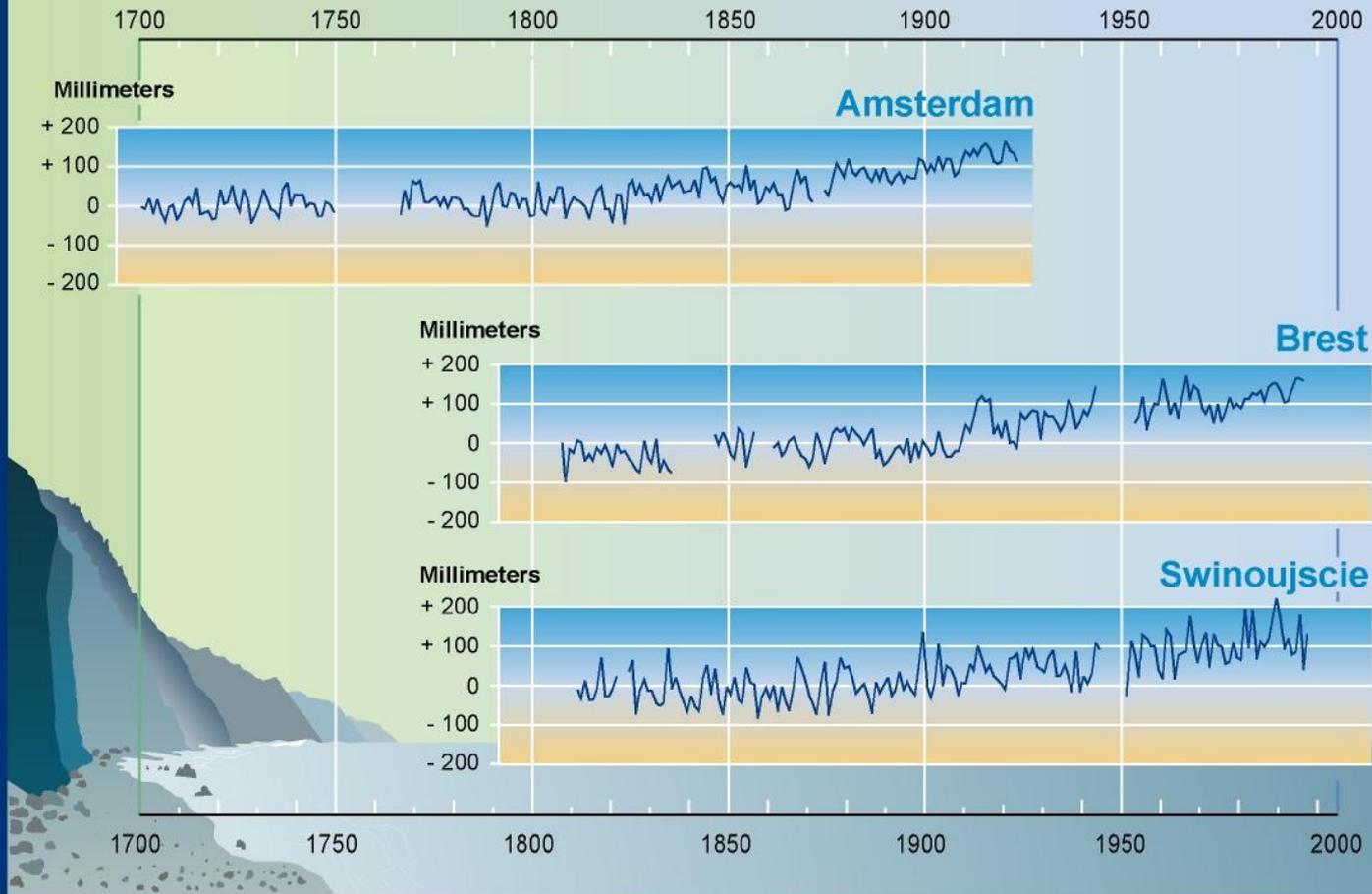


La Terre se réchauffe t-elle ?



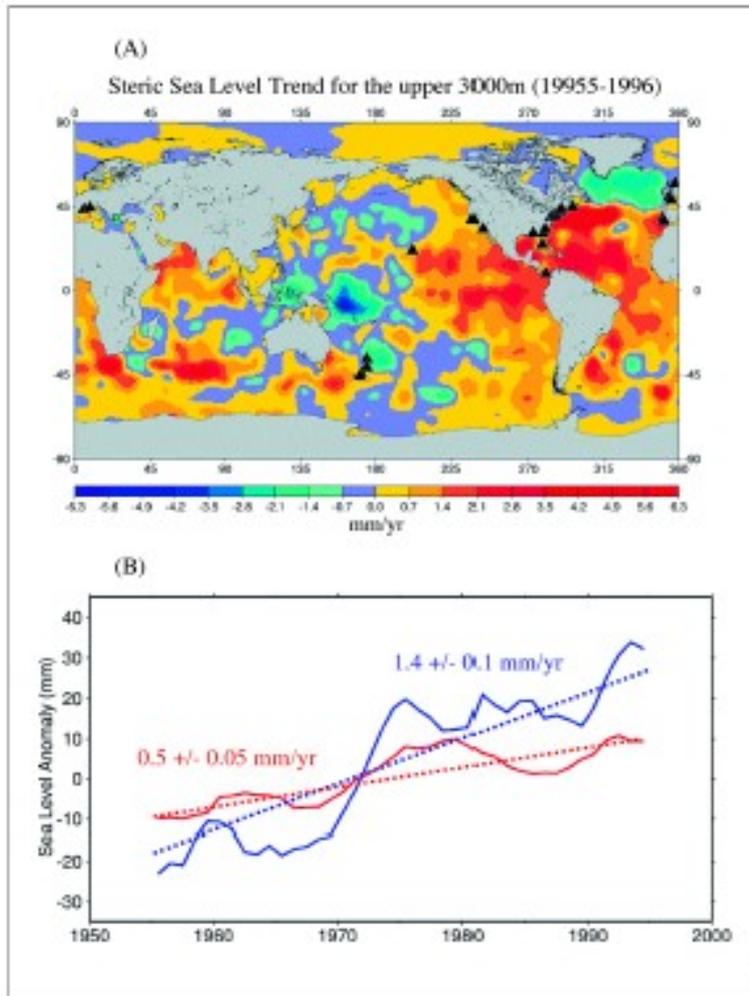
SYR - FIGURE 2-3

Relative sea level over the last 300 years



SYR - FIGURE 2-5

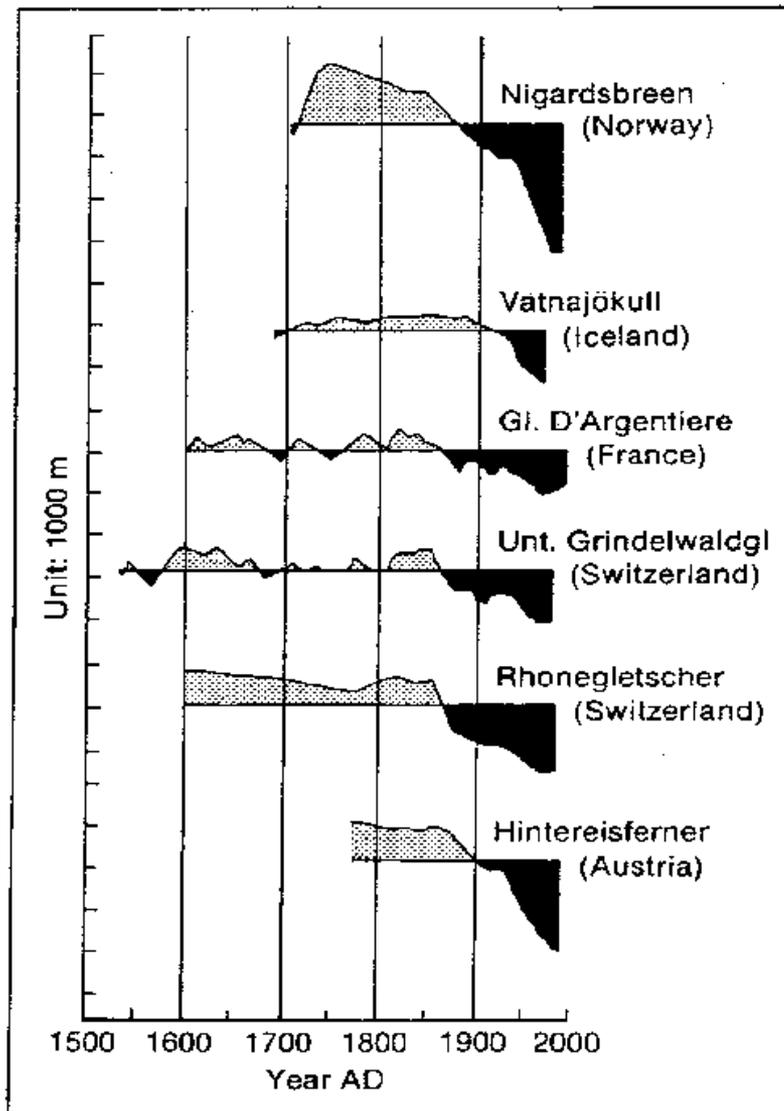
Augmentation du niveau de la mer



(a) Carte des tendances du niveau de la mer d'origine thermique calculées à partir des données de température de la NOAA entre 1955 et 1996. Les triangles noirs localisent les marégraphes utilisés pour estimer la variation globale du niveau de la mer au cours du XX^e siècle.

(b) Estimation de l'élévation du niveau moyen global de la mer pour les quarante dernières années à partir des observations marégraphiques (courbe bleue). Variations du niveau moyen global de la mer due à la dilatation thermique des 3 000 premiers mètres de l'océan (courbe rouge).





Les glaciers de montagne fondent

Figure 9.4: Variations of some selected glaciers as measured by their length. Data from Bjornsson (1979); Ostrem et al. (1977); Kasser (1967, 1973); Kasser and Haeberli (1979); Muller (1977); Vivian (1975); Haeberli (1985).

- Origine de l'augmentation du niveau marin:

- dilatation thermique de l'océan

- $\Delta T = 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$, coeff = $2,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

- Thermocline de 1000m

- fonte des glaces de montagne et de terres

Autres changements

- La couverture neigeuse a diminué
- De nombreuses régions subissent plus de précipitations ?
- Tempêtes, cyclones, El Nino ?
- Epidémies ?
- Les écosystèmes ont commencé à réagir.
Migration des espèces du Sud vers le Nord.
- Part de la responsabilité humaine ?

Plan

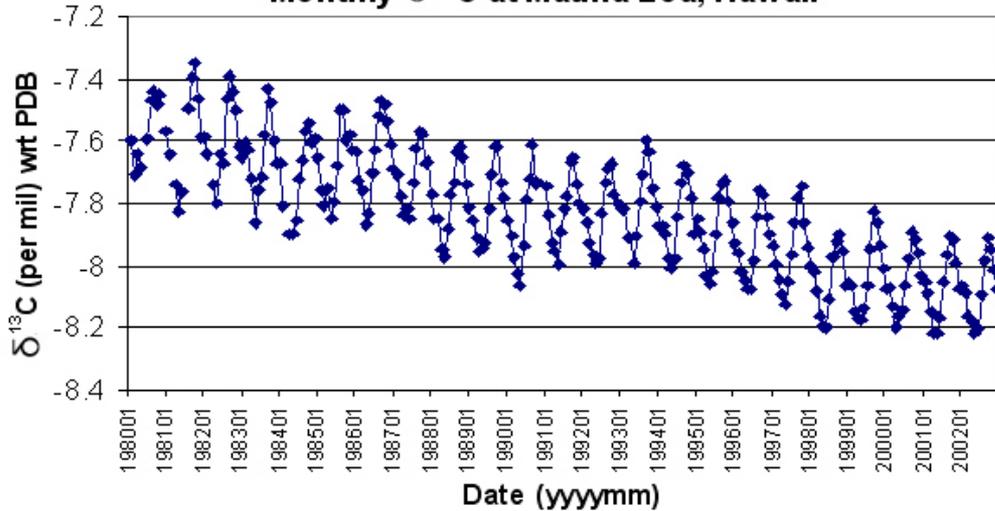
- I. Un changement de la chimie de l'atmosphère sans précédent.
- II. L'origine du CO₂ en excès
- III. La séquestration océanique du C
- IV. La séquestration continentale
- V. Le cycle du carbone perturbé et les prévisions.
- Que faire ???????

D'où vient ce CO₂ ?

- La composition isotopique du carbone des arbres en ¹⁴C ne cesse de baisser. Ceci est compatible avec un apport de carbone privé de ¹⁴C, donc de C fossile.
- Quelle est la quantité de C injectée dans l'atmosphère par l'homme

Les isotopes du carbone

Monthly $\delta^{13}\text{C}$ at Mauna Loa, Hawaii



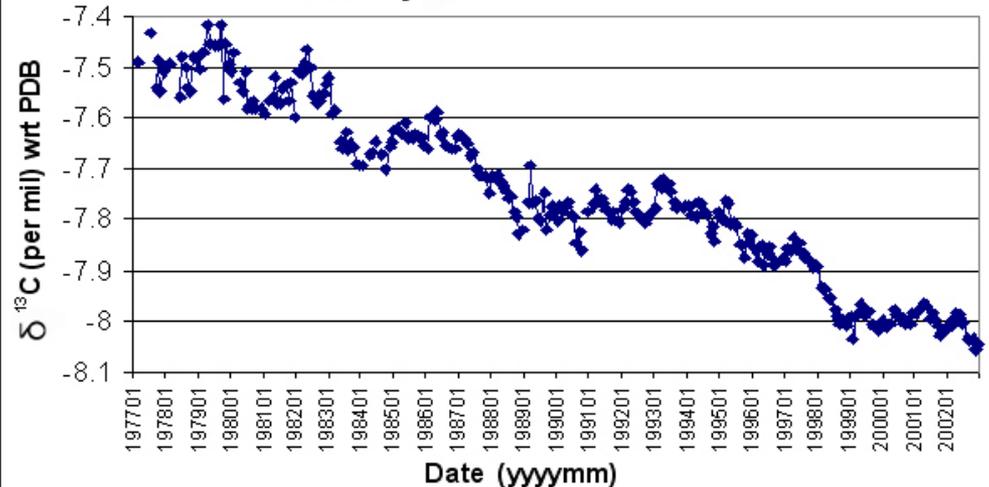
Ils démontrent
l'origine humaine
du CO_2

$$d^{13}\text{C} = \left[\frac{\text{?}^{13}\text{C} \text{ ?}}{\text{?}^{13}\text{C} \text{ ?}} - 1 \right] \cdot 1000$$

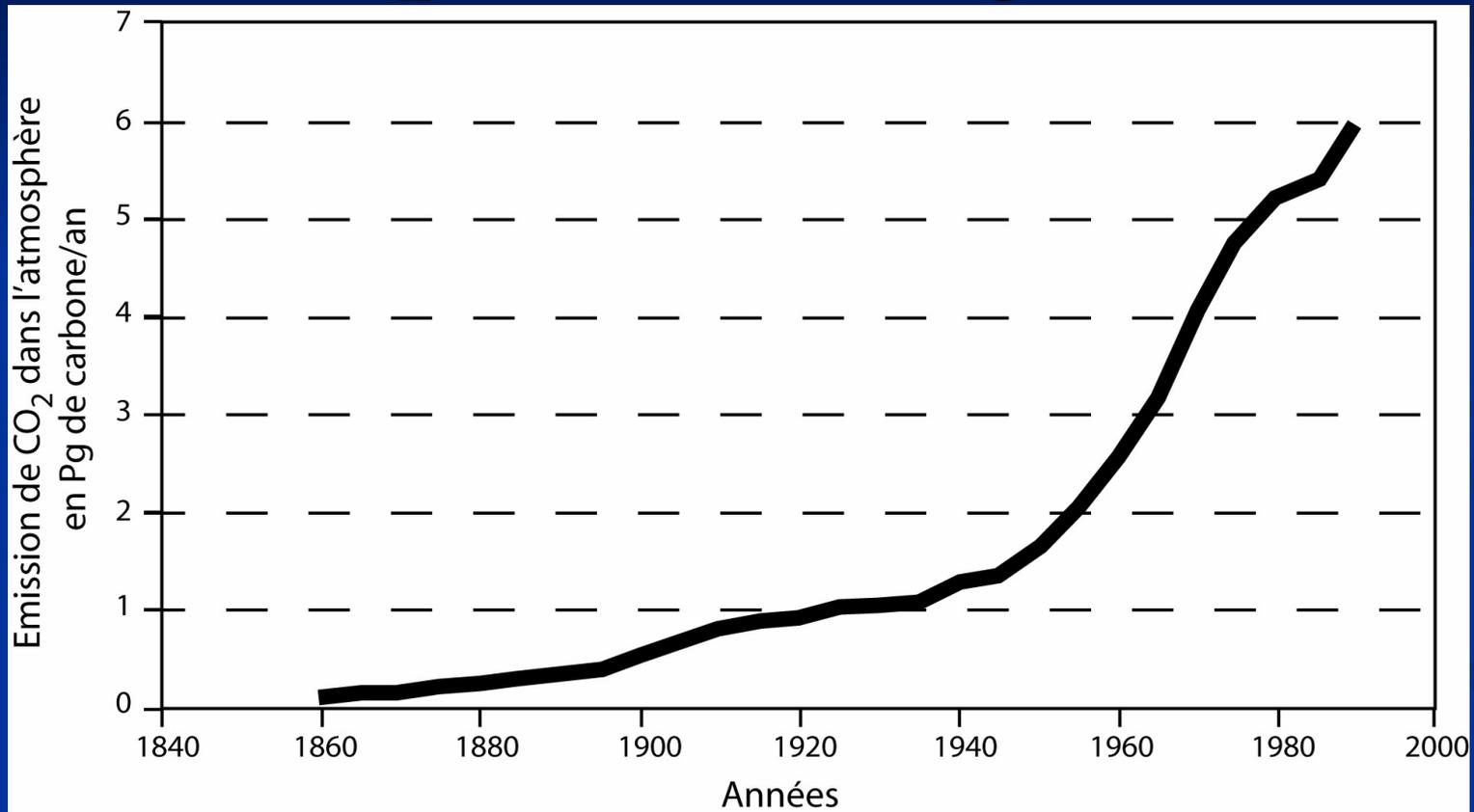
échantillon

standard

Monthly $\delta^{13}\text{C}$ at the South Pole



Combustion des charbons, pétroles et gaz

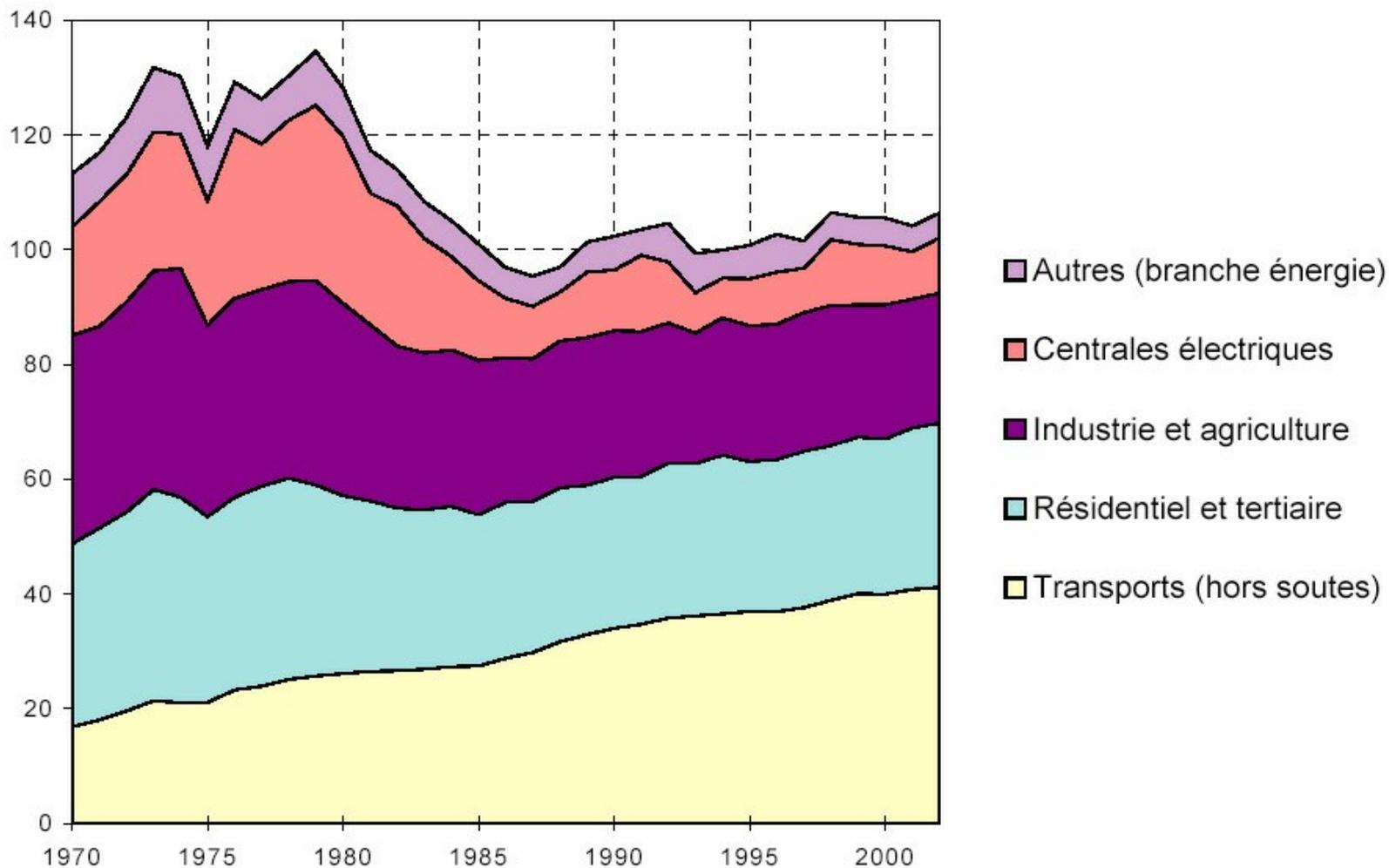


Quantité de C total injectée dans l'atm : 230 GtC = 230 PgC.

C'est environ la moitié du stock de carbone dans l'atmosphère

Emissions de CO₂ d'origine énergétique en 1997

- L'américain : 20,5 t
- L'australien : 17 t
- L'allemand : 11 t
- Le russe : 7,8 t
- Le français : 6,2 t
- Le chinois : 2,6 t
- La Chine est quand même responsable de 14 % des émissions...



Émissions de CO₂ de la France (corrigées du climat, en millions de tonnes de carbone)

Déforestation

- 1860-1990 : 121 PgC de bois coupé/brulé

Fabrication des ciments

- 100 PgC environ
- Quelle serait l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère due à la déforestation, aux ciments et à la combustion du carbone fossile ?
- Volume de l'atm : $3,86 \cdot 10^9 \text{ km}^3$
- Masse de l'atm : $5,13 \cdot 10^{18} \text{ kg}$
- Volume molaire gaz parfait : 22,4 l/mol
- Masse molaire du carbone 12 g/mol.

Puits de carbone

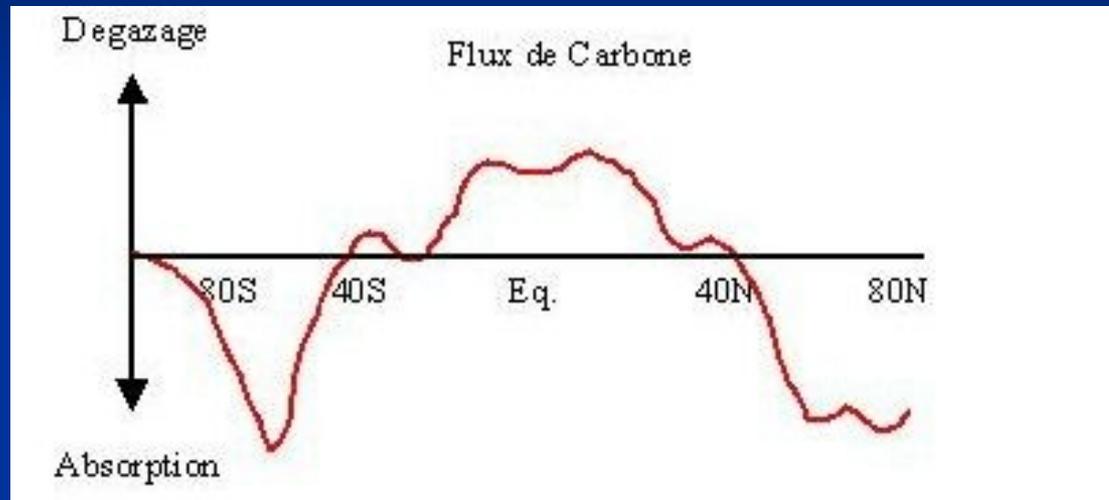
- Le puit continental
 - 550 PgC « vivant »
 - 1500 PgC « mort » dans les sols
- L'océan
 - 900 PgC en surface
 - 3 PgC biomasse marine
 - 37100 PgC dans l'océan intermédiaire et profond
- Les variations fines de la quantité d'oxygène dans l'atmosphère permettent de quantifier les flux atm-continent (O échangée) et atm-ocean (pas d'O échangé).

Le puit océanique

- Deux réservoirs océaniques : le C organique (3 PgC) et le stock inorganique (37100 PgC) pour l'essentiel dans les eaux profondes.
- Deux mécanismes de pompage : la pompe biologique et la pompe à solubilité.
- A l'état pré-anthropique, le système devrait être grossièrement en équilibre : sources équatoriales compensées par des puits des hautes latitudes.

Solubilité

- Loi de Henry et système carbonate. Capacité de tampon de l'acidité. Régions puits et régions sources.



- La dissolution du CO_2 dans l'océan acidifie l'océan. 10 % d'augmentation de CO_2 atm conduit à une augmentation de 1% de HCO_3^- dans l'eau.

		-log K					
		5° C	10° C	15° C	20° C	25° C	40° C
$\text{CaCO}_{3(s)}$	$= \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	8.35	8.36	8.37	8.39	8.42	8.53
$\text{CaCO}_{3(s)} + \text{H}^+$	$= \text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$	-2.22	-2.13	-2.06	-1.99	-1.99	-1.69
H_2CO_3^*	$= \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	6.52	6.46	6.42	6.38	6.35	6.30
$\text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}$	$= \text{H}_2\text{CO}_3^*$	1.20	1.27	1.34	1.41	1.47	1.64
HCO_3^-	$= \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	10.56	10.49	10.43	10.38	10.33	10.22

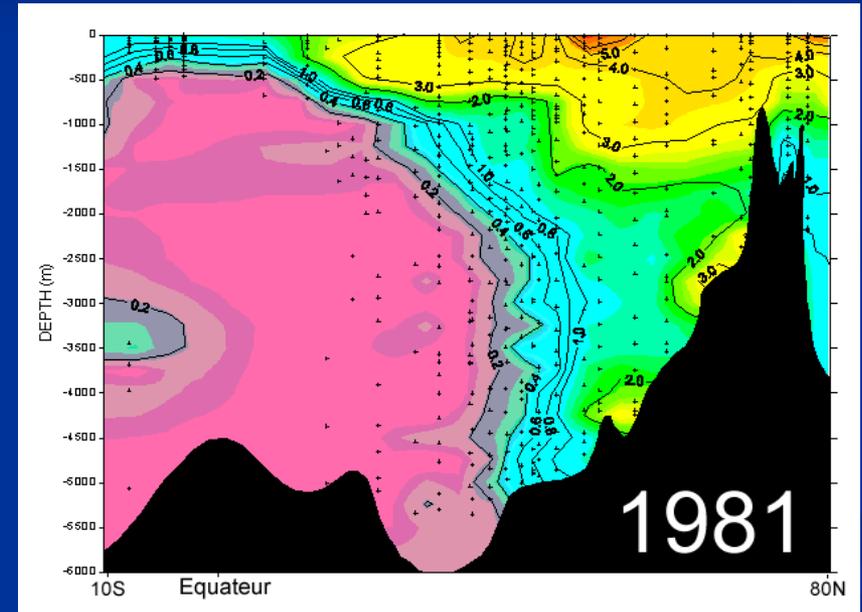
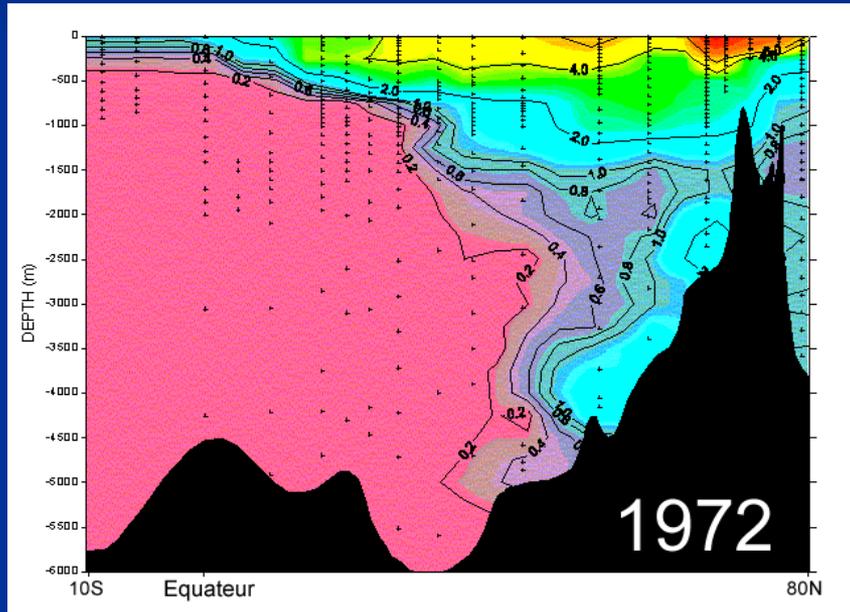
La constante de Henry (K) baisse quand la température augmente.

A 20 °C, $[\text{H}_2\text{CO}_3] = 370 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-1,41} = 10^{-3,43} \cdot 10^{-1,41} = 10^{-4,84}$ mol/l

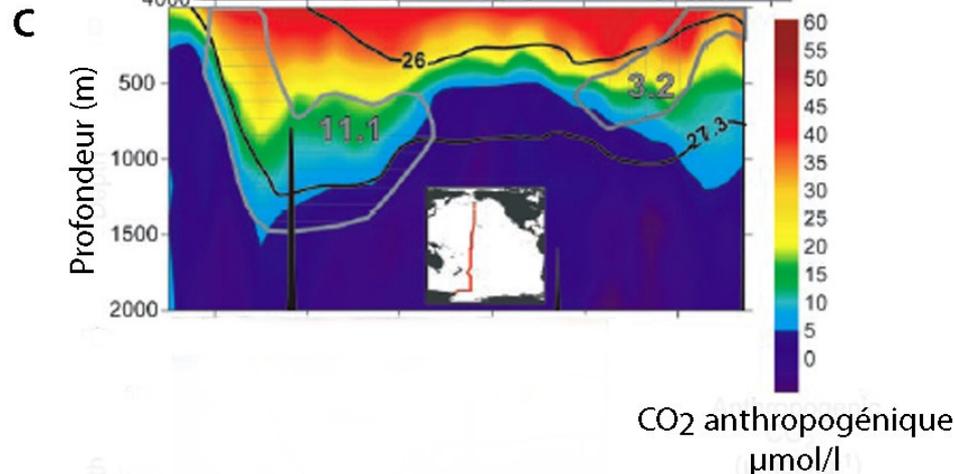
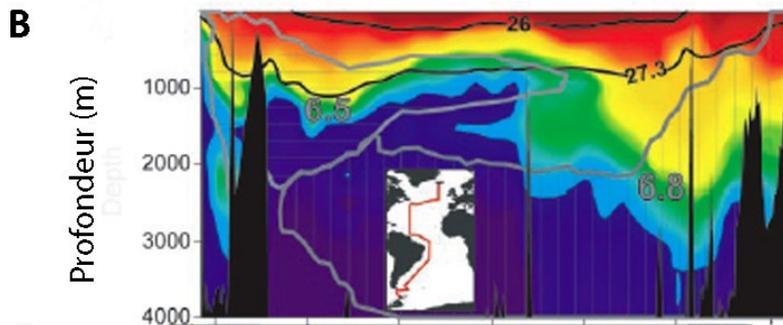
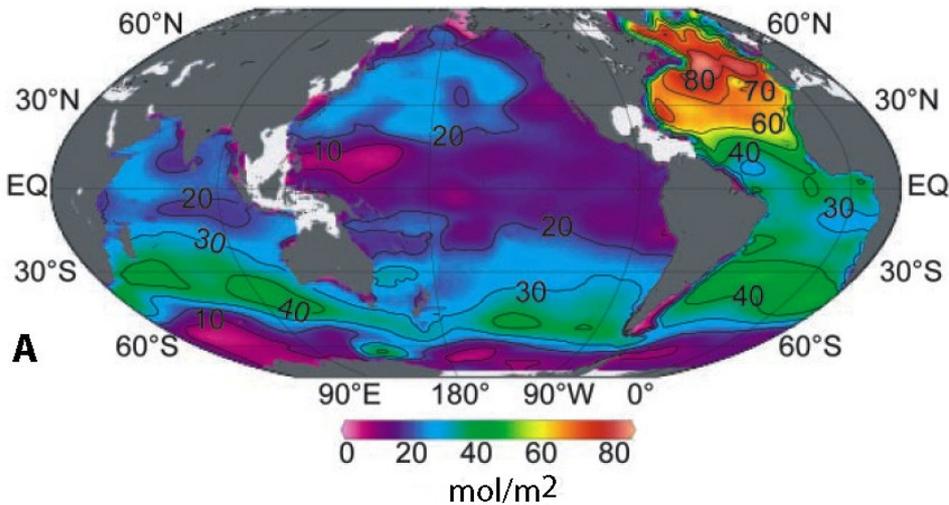
Donc, indépendant du pH de la solution.

Invasion du tritium des bombes

- Vitesses de 10 cm/s par endroit à 1 mm/s



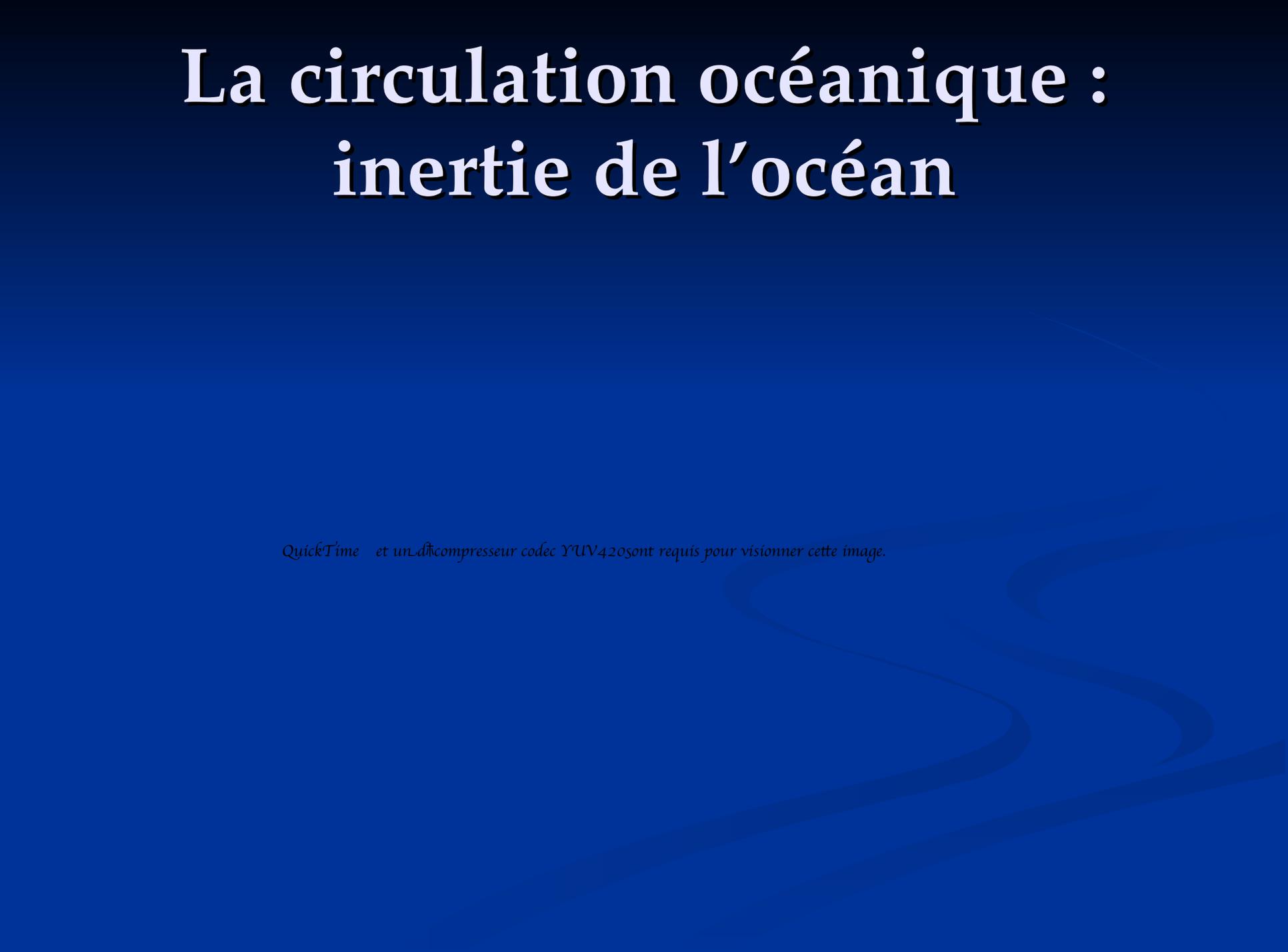
Concentrations en C anthropique dans l'océan.



- A. intégration le long d'une colonne d'eau.
- B. Concentration en μmol/l dans un profil N-S de l'océan Atlantique
- C. Concentration en μmol/l dans un profil N-S de l'océan Pacifique.

La circulation océanique : inertie de l'océan

QuickTime et un décodeur de codec YUV420 sont requis pour visionner cette image.



Explications de ces profils

- L'océan Atlantique Nord ne représente que 15% de la surface de la Terre, mais stocke 23% du carbone anthropique. 60% du C anthropique (océanique) est dans l'océan l'hémisphère Sud.
- Avec la profondeur: l'essentielle du C anthropique est en surface car le mode de pénétration est un échange avec l'atmosphère. La pénétration est très variable selon les zones océaniques. Une eau est d'autant plus riche qu'elle a été exposée longtemps et que son facteur de Revelle est bas ($d\text{PCO}_2/d\text{DIC}$). Forte pénétration ($60\mu\text{mol/l}$) dans les océans subtropicaux, faible dans le North Pacific où la concentration en DIC est moindre. 50% du C anthropogénique est au dessus de 400 m, la moyenne mondiale est $5\mu\text{mol/kg}$. La répartition du C anthropogénique suit la dynamique océanique. Seulement 7% du C anthropogénique se trouve à des profondeurs de plus de 1700 m.
- Stockage total dans l'océan= 250 PgC.

Bilan en PgC

- Combustion des hydrocarbures
- Déforestation
- Ciments
- Puit océanique