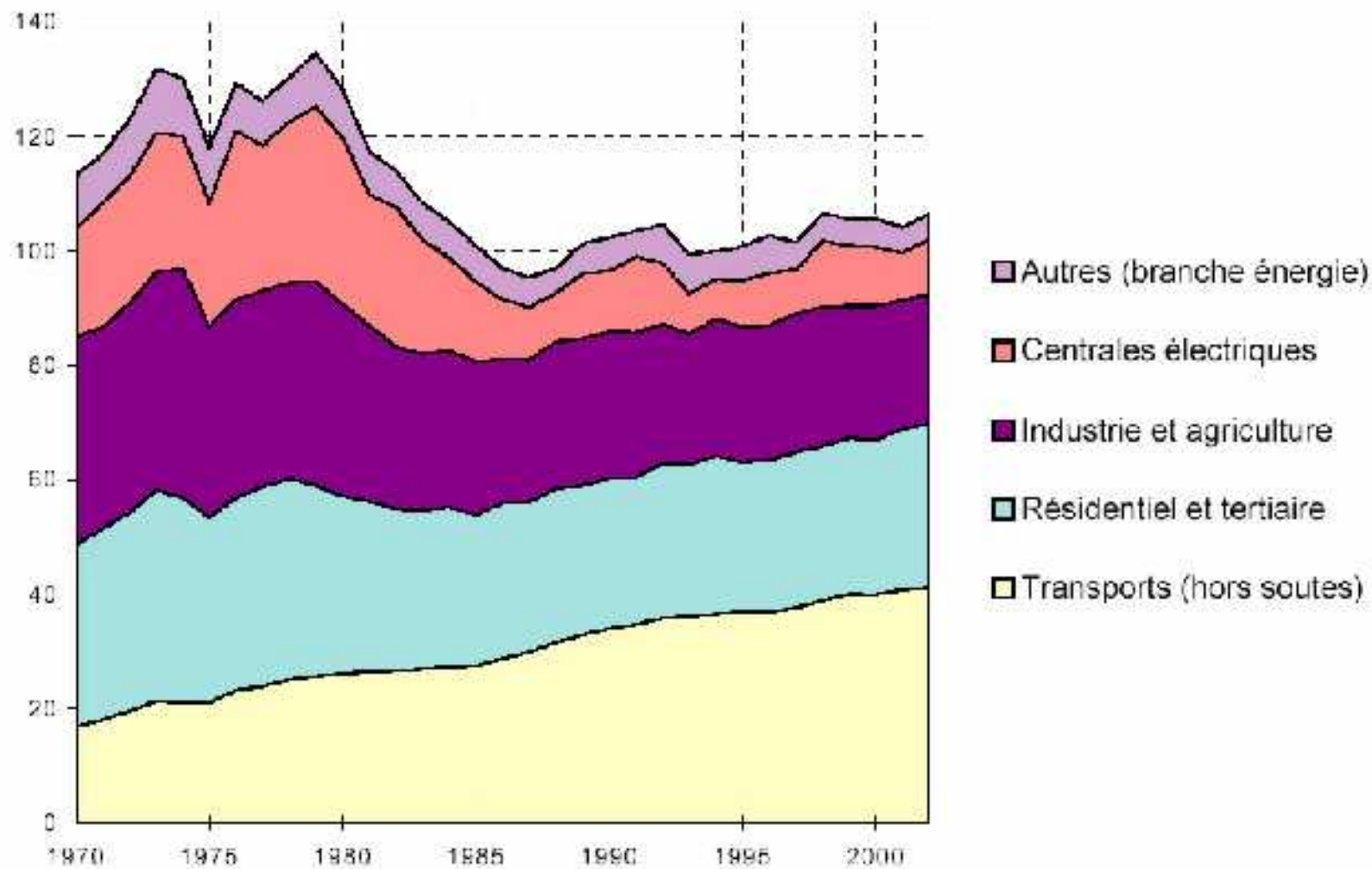


# Emissions de CO2 d'origine énergétique en 1997

- 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 CO<sub>2</sub> de la France (corrigées du climat, en millions de tonnes de carbone)**

# Déforestation

- 1860-1990 : 121 PgC de bois coupé/brulé
- Quelle serait l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère due à la déforestation 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

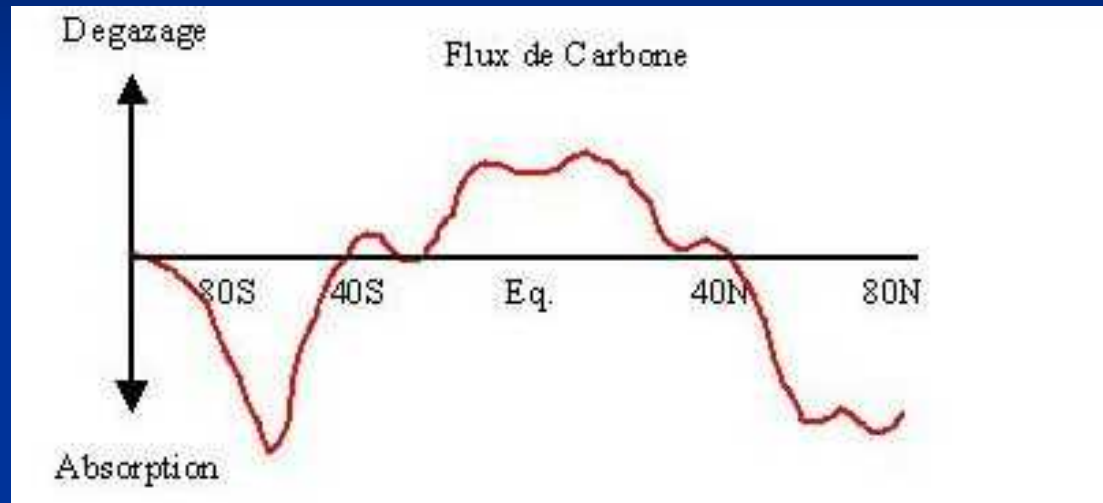
- Le puit continental
  - 550 PgC « vivant »
  - 1500 PgC « mort » dans les sols
- L'océan
  - 900 PgC en surface
  - 3 PgC biomasse marine
  - 37100 PgC dans l'océan intermédiaire et profond
- Les variations fines de la quantité d'oxygène dans l'atmosphère permettent de quantifier les flux atm-continents (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  $\text{CO}_2$  dans l'océan acidifie l'océan. 10 % d'augmentation de  $\text{CO}_2$  atm conduit à une augmentation de 1% de  $\text{HCO}_3^-$  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
$\text{H}_2\text{CO}_3^*$	$= \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	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
$\text{HCO}_3^-$	$= \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	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,  $[\text{H}_2\text{CO}_3] = 370 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-1,41} = 10^{-3,43} \cdot 10^{-1,41} = 10^{-4,84} \text{ mol/l}$

Donc, indépendant du pH de la solution.

# La circulation océanique : inertie de l'océan



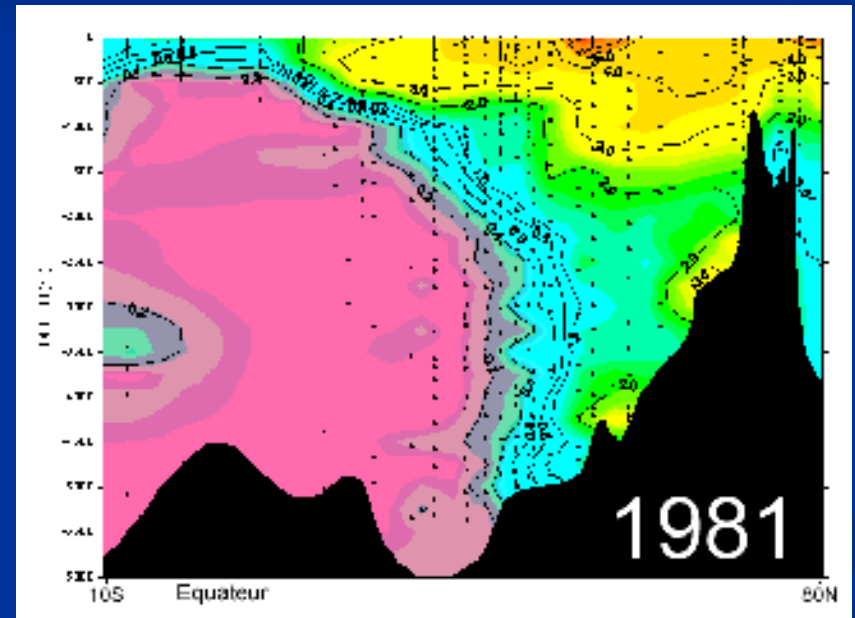
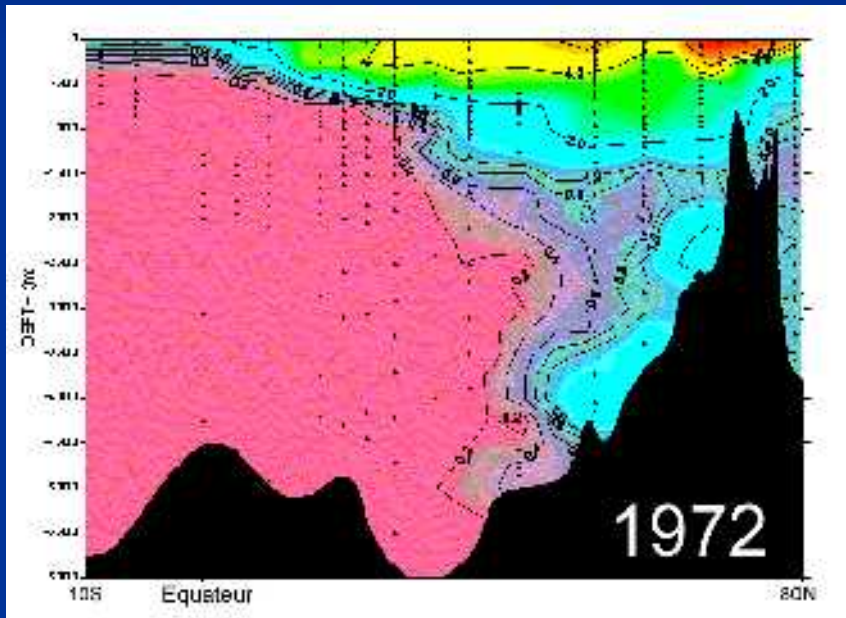


# Eaux profondes

- La pénétration du carbone en excès dans les eaux profondes. A part quelques zones particulières, le C anthropique n'a pas encore pénétré l'océan sur plus de 1000 m.
- On peut voir aujourd'hui des indices de C anthropique dans les eaux profondes de l'Atlantique Nord, ce qui est dû à la circulation thermohaline (basé sur les isotopes du C).
- Les eaux tropicales d'upwelling, les eaux froides de l'hémisphère sud sont les régions où le prélèvement de CO<sub>2</sub> est le plus important.

# Invasion du tritium des bombes

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



# Concentrations en C anthropique dans l'océan.

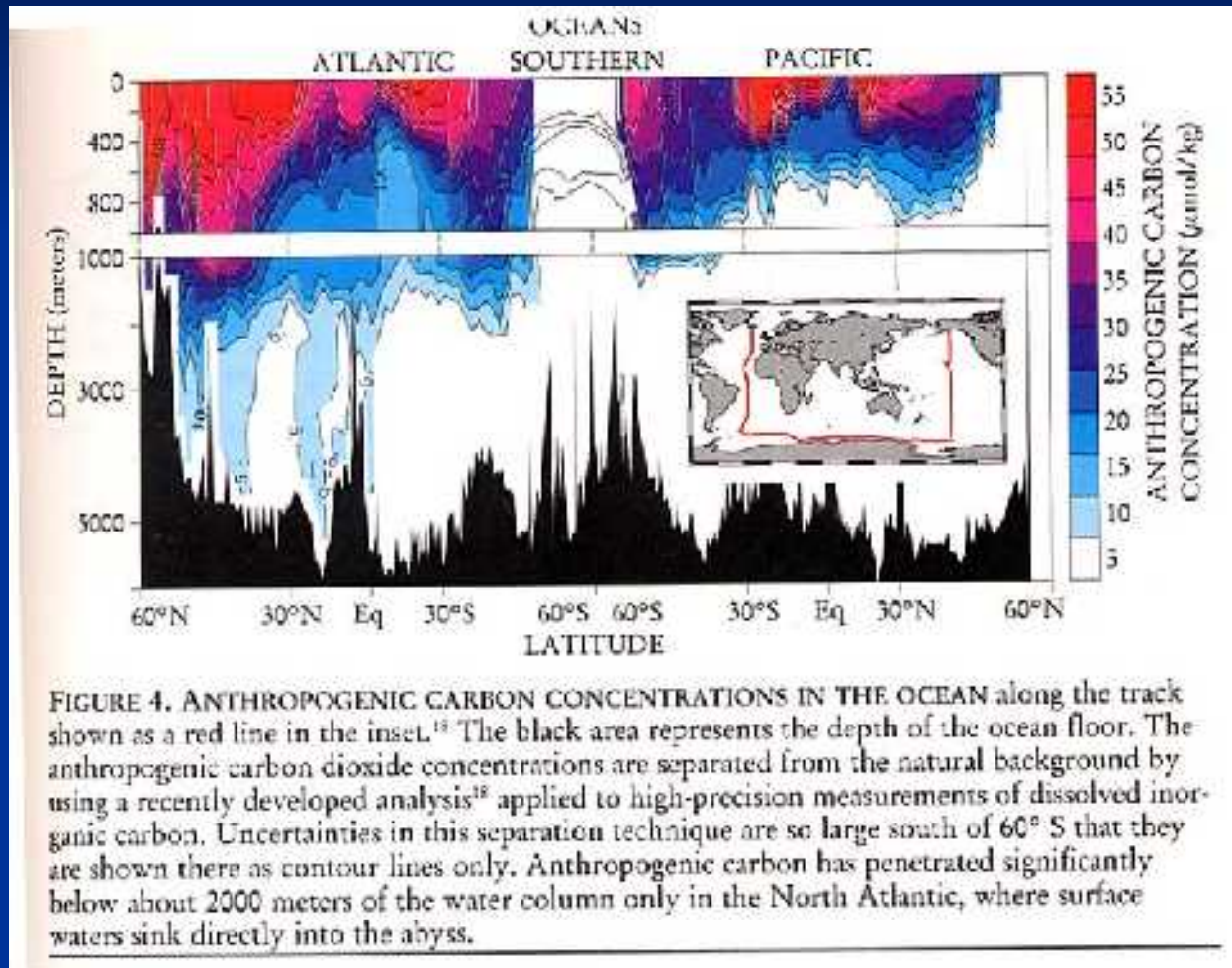
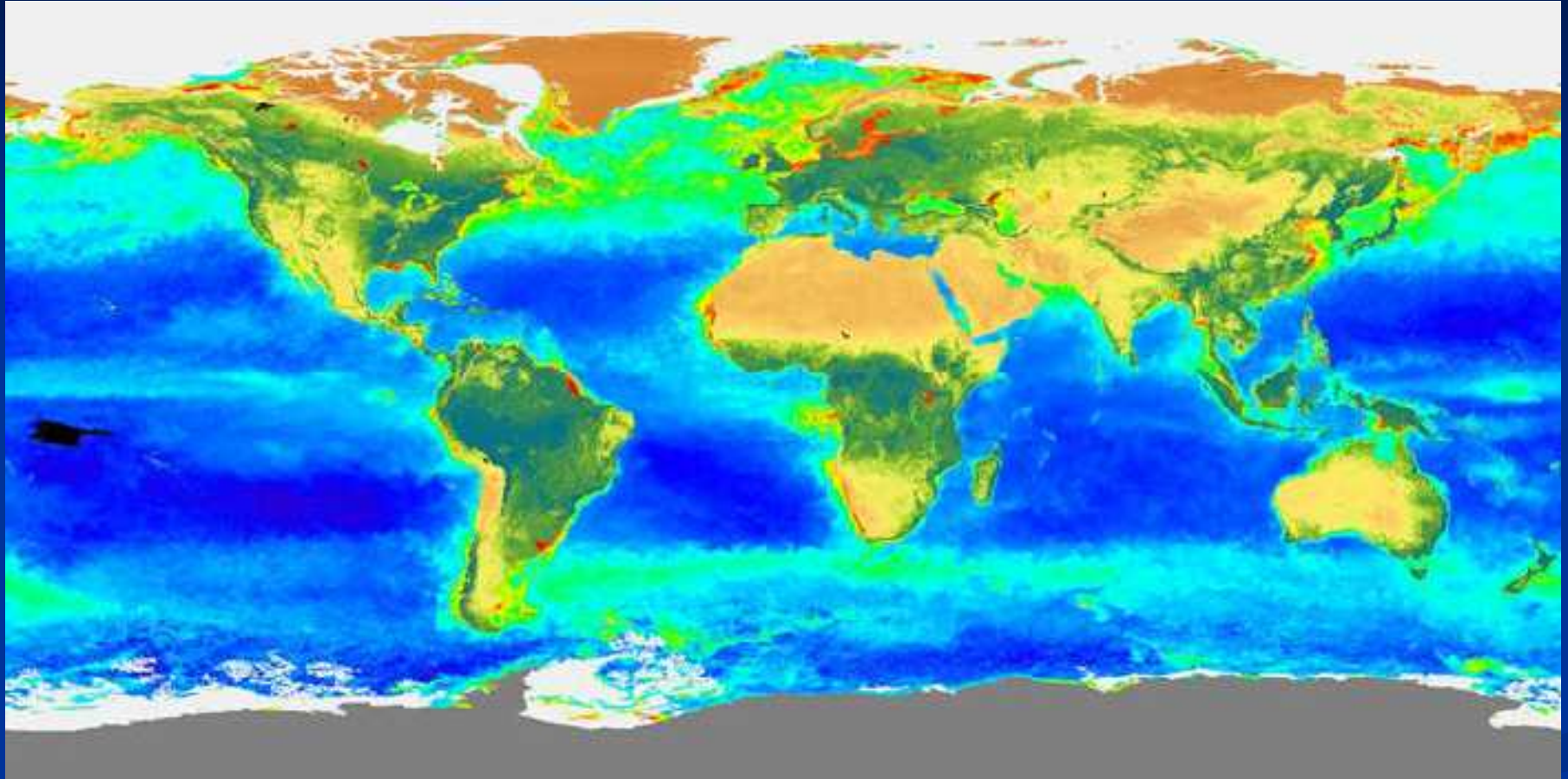


FIGURE 4. ANTHROPOGENIC CARBON CONCENTRATIONS IN THE OCEAN along the track shown as a red line in the inset.<sup>18</sup> The black area represents the depth of the ocean floor. The anthropogenic carbon dioxide concentrations are separated from the natural background by using a recently developed analysis<sup>18</sup> applied to high-precision measurements of dissolved inorganic carbon. Uncertainties in this separation technique are so large south of 60° S that they are shown there as contour lines only. Anthropogenic carbon has penetrated significantly below about 2000 meters of the water column only in the North Atlantic, where surface waters sink directly into the abyss.

# Pompe biologique

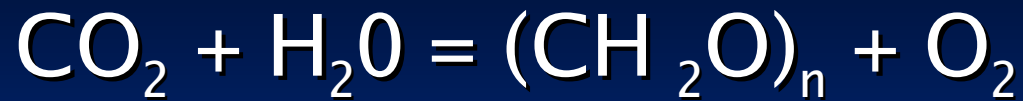


Contenu en chlorophylle de l'océan de surface

# Pompe biologique

- La séquestration de CO<sub>2</sub> par la biomasse marine représenterait 50 PgC/an. Avec une taille de 3 PgC, ce réservoir est extrêmement actif.
- L'essentiel de cette matière organique serait décomposée après sa mort et reminéralisée dans les eaux profondes (Bactéries).
- La plupart de la production biologique primaire marine n'est donc pas disponible pour la chaîne trophique.
- La quantité de C organique qui serait enfouie dans les sédiments marins serait finalement de 0.2 PgC/an, c'est à dire très peu.
- La production océanique primaire est limitée par la teneur en fer.

# Puit continental



grâce à l'énergie lumineuse et l'enzyme

La plus formidable : la RubisCo.

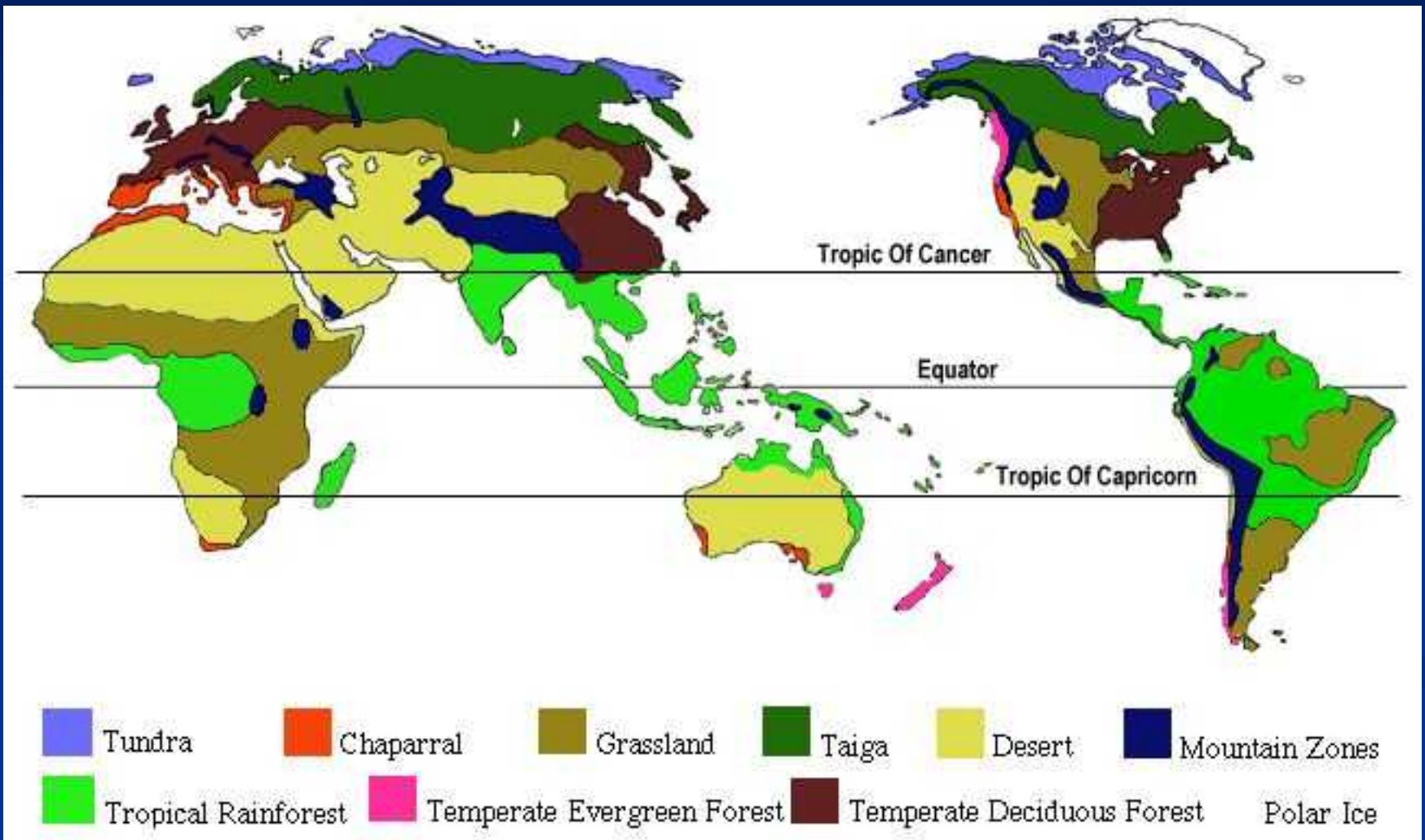


# Productivité nette

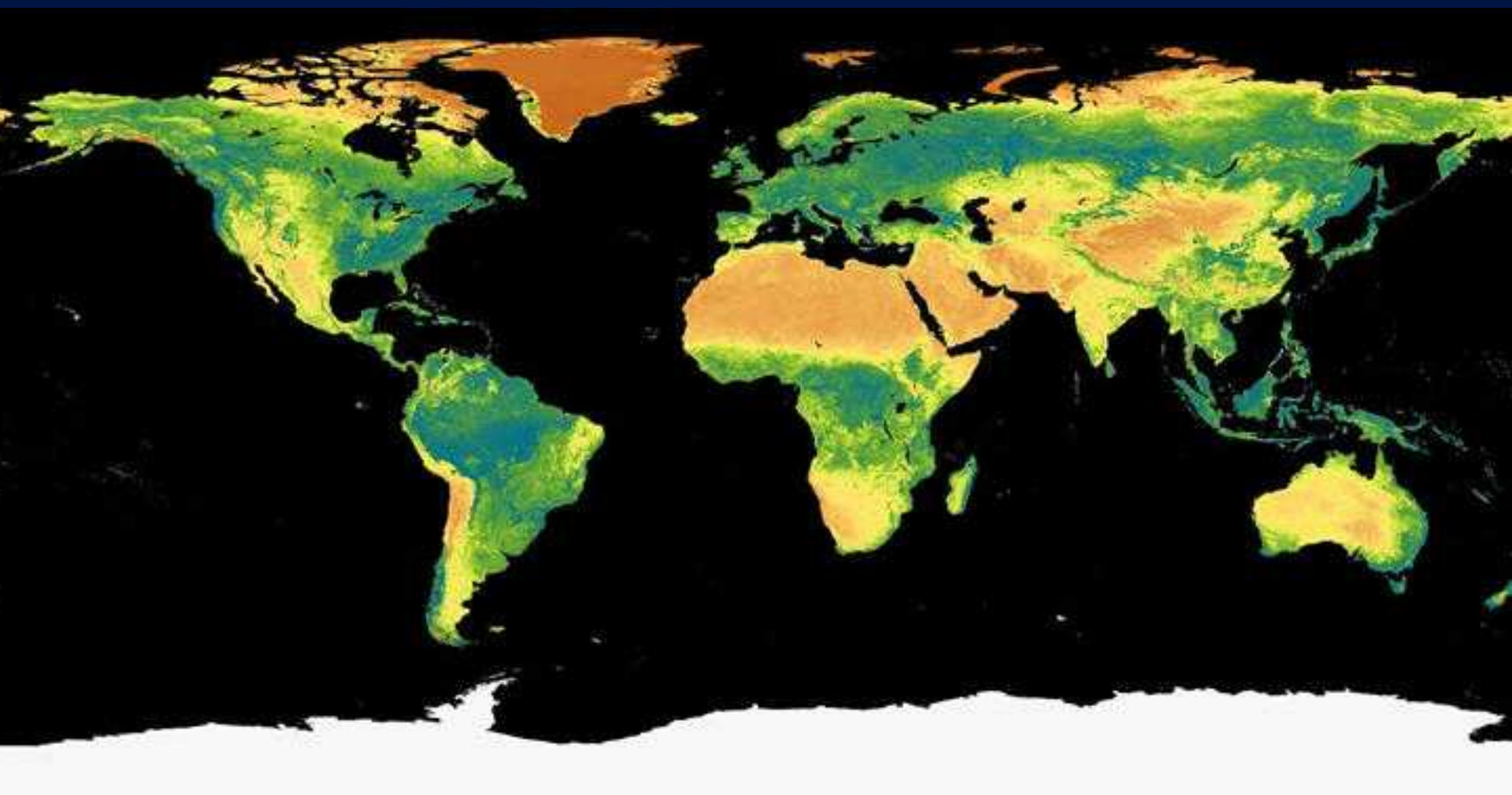
- $PPN = PPB - R$
- Productivité nette =  
productivité brute - respiration



# Les grands biômes







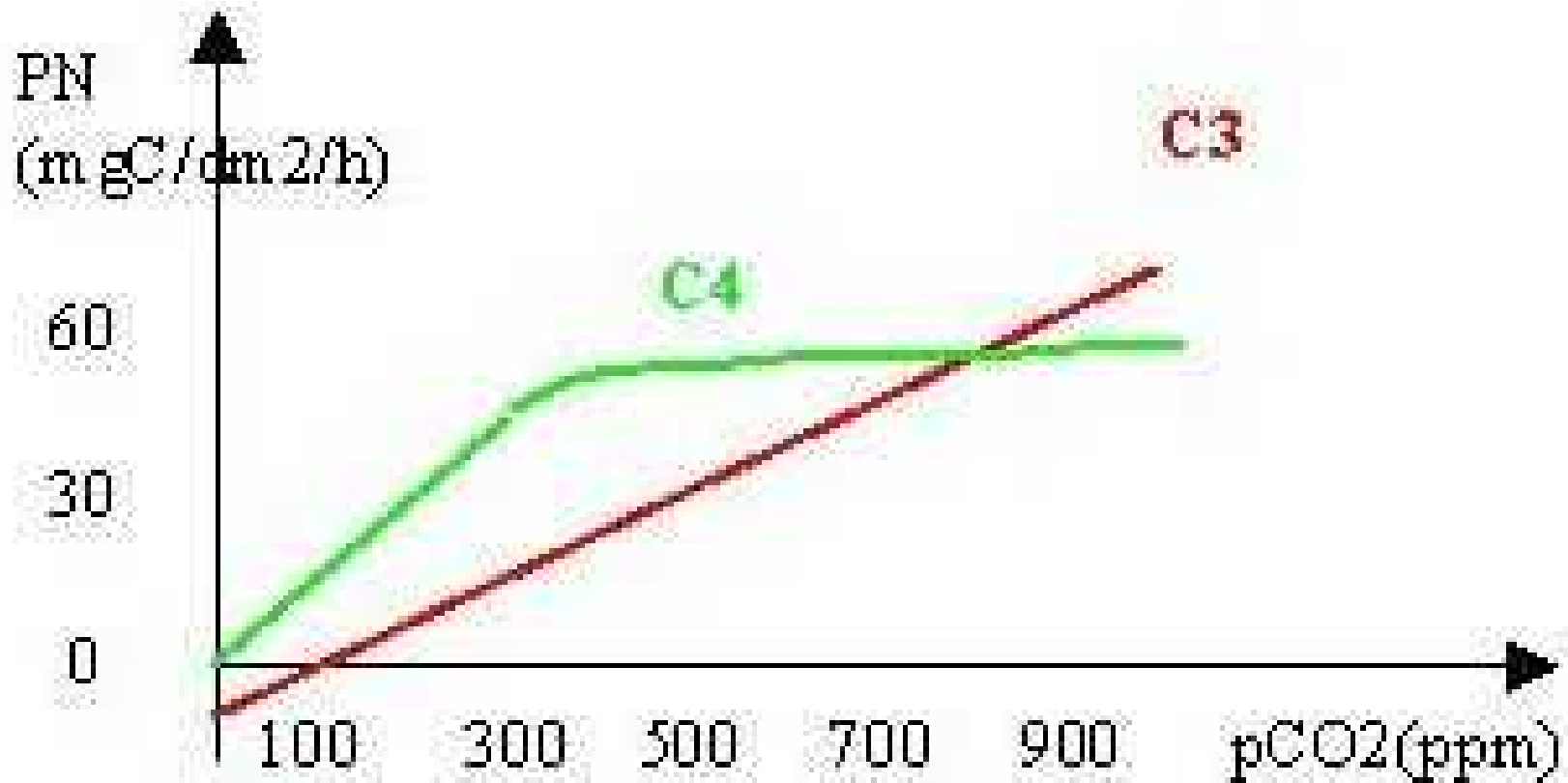
# Variabilité, biodiversité

**Table 5.4** Distribution of Soil Organic Matter by Ecosystem Types<sup>a</sup>

Ecosystem Type	Mean Soil Organic Matter (kg C m <sup>-2</sup> )	World Area (ha × 10 <sup>8</sup> )	Total World Soil Organic Carbon (mt C × 10 <sup>9</sup> )	Total World Litter (mt C × 10 <sup>9</sup> )
Tropical forest	10.4	24.5	255	3.6
Temperate forest	11.8	12	142	14.5
Boreal forest	14.9	12	179	24.0
Woodland and shrubland	6.9	8.5	59	2.4
Tropical savanna	3.7	15	56	1.5
Temperate grassland	19.2	9	173	1.8
Tundra and alpine	21.6	8	173	4.0
Desert scrub	5.6	18	101	0.2
Extreme desert, rock and ice	0.1	24	3	0.02
Cultivated	12.7	14	178	0.7
Swamp and marsh	68.6	2	137	2.5
Totals		147	1456	55.2

<sup>a</sup>From Schlesinger (1977).

# Le CO<sub>2</sub>, un facteur limitant



Des études indiquent que dans les années 1990-94 près du tiers des 6 GtC émis par an aurait été réabsorbé par la végétation terrestre et les sols, et ce notamment aux moyennes latitudes Nord.

# D'autres facteurs

- Température
- Précipitation
- Fertilisation par les nitrates (augmentation de la croissance des Hêtres en France depuis 1 siècle)
- Utilisation de l'espace par l'homme
- La végétation modifie l'albédo de la Terre