

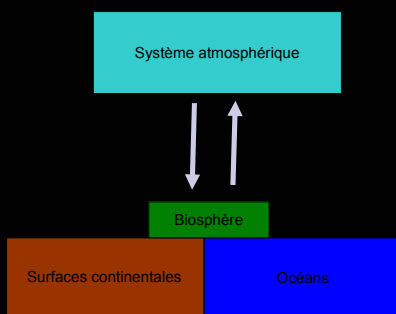
Biosphère

« Ensemble des formes de vie sur Terre »

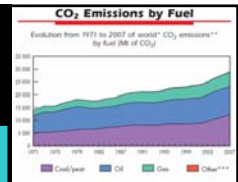
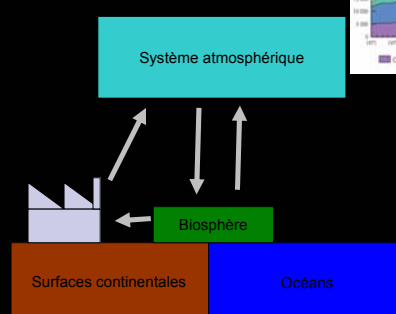


1. Forçage climatique
2. Photosynthèse

Rôle de la biosphère



Rôle de la biosphère



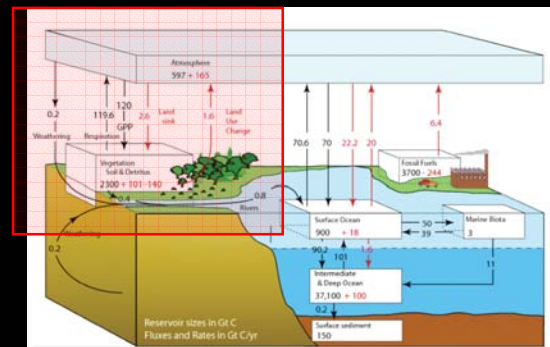
Productivité primaire

	Ocean NPP	Land NPP
Seasonal		
April to June	10.9	15.7
July to September	13.0	18.0
October to December	12.3	11.5
January to March	11.3	11.2
Biogeographic		
Oligotrophic	11.0	Tropical rainforests 17.8
Mesotrophic	27.4	Broadleaf deciduous forests 1.5
Eutrophic	9.1	Broadleaf and needleleaf forests 3.1
Macrophytes	1.0	Needleleaf evergreen forests 3.1
		Needleleaf deciduous forest 1.4
		Savannas 16.8
		Perennial grasslands 2.4
		Broadleaf shrubs with bare soil 1.0
		Tundra 0.8
		Desert 0.5
		Cultivation 8.0
Total	48.5	56.4

En Pg de C/an (1 Pg = 10¹⁵ g)

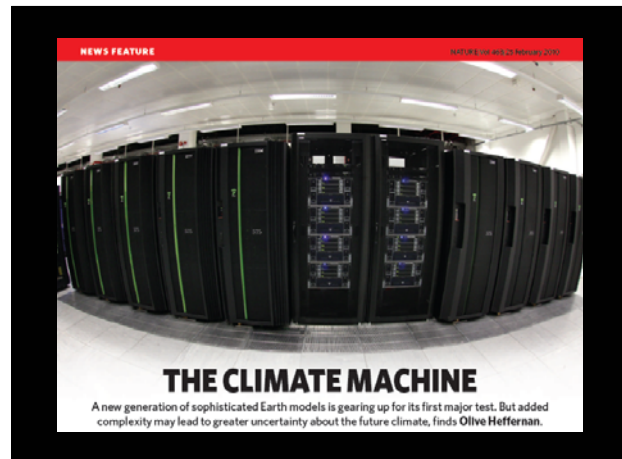
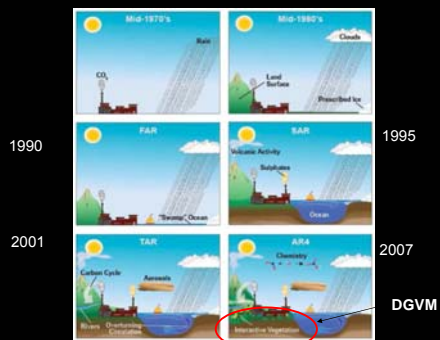
Field et al. (1998)

Flux et stocks de carbone

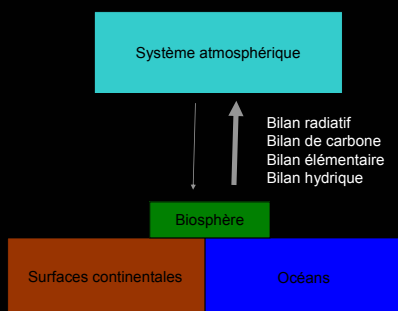


1GtC = 1PgC = 10¹⁵ gC

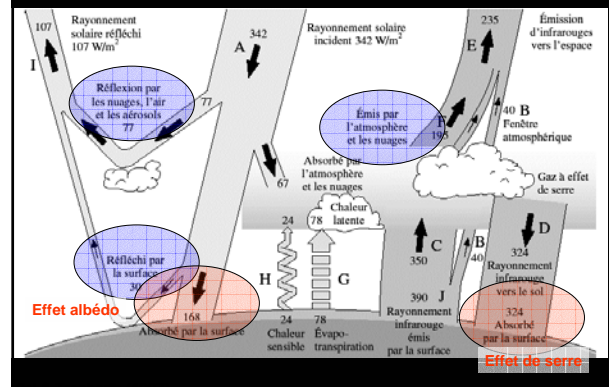
Biosphère : difficile à modéliser



Rôle de la biosphère sur le système climatique



Bilan radiatif de la Terre



Bilan radiatif de la Terre

Flux reçu par la Terre :

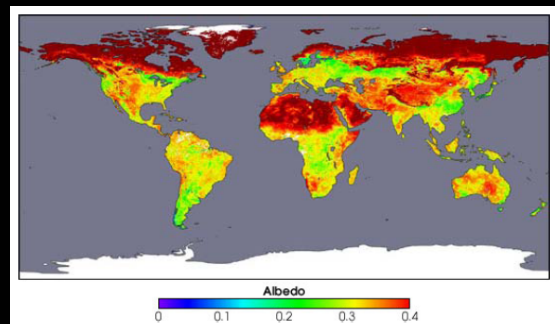
- $W_r = (1-A) \times S / (4D^2)$
- A = albédo (énergie solaire réfléchi par la surface divisé par énergie solaire incidente), S = constante solaire (1370 W/m²), D=distance Terre-soleil (en années lumière)

Loi de Stephan-Boltzmann

- Flux d'énergie émis $W_a = \epsilon \sigma T^4$ (W/m²)
- σ = constante de Stephan-Boltzmann, T=température de surface, ϵ = émissivité d'un corps gris (0 < ϵ < 1).

Bilan d'équilibre : $W_a = W_r$

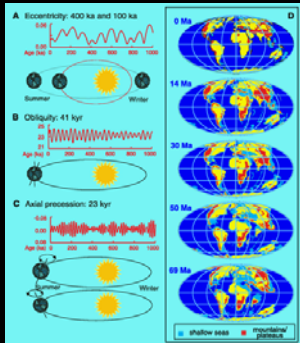
Bilan radiatif de la Terre



Capacité d'émission de la biosphère

Bilan radiatif de la Terre

$$(1-A) \times S / (4D^2) = \sigma T^4$$



Cycles de Milankovic

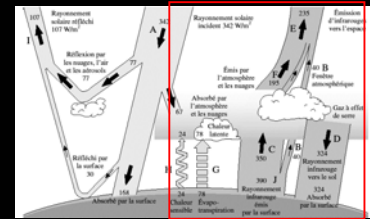
Oscillations du climat dépendant de la distance de la Terre au Soleil et de son orientation (et donc au niveau d'insolation)



Milutin Milankovic

Zachos et al. (Science 2001)

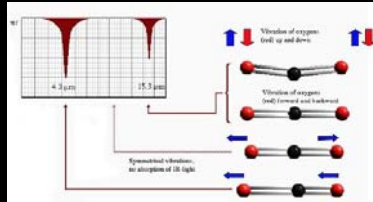
Bilan radiatif de la Terre



La Terre réémet l'énergie reçue sous forme de rayonnement infrarouge (« chaleur »)

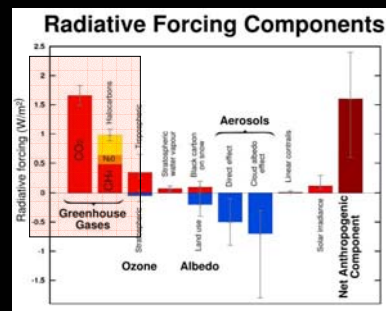
Bilan radiatif de la Terre

Gaz « à effet de serre » = dipôle électrique capable d'absorber une partie du rayonnement infra-rouge => réchauffement de l'atmosphère



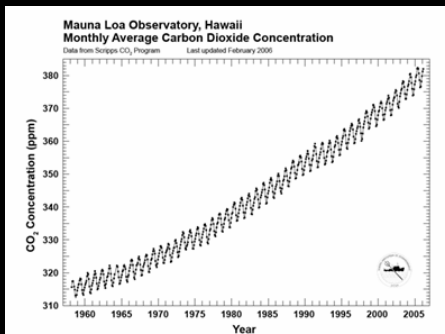
- H₂O (eau)
- CO₂ (dioxyde de carbone)
- CH₄ (méthane)
- O₃ (ozone)
- NO_x (oxydes nitreux)

Changements récents

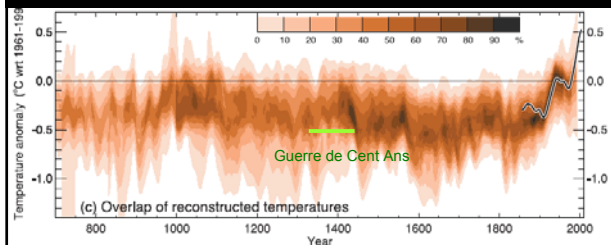


IPCC 2007

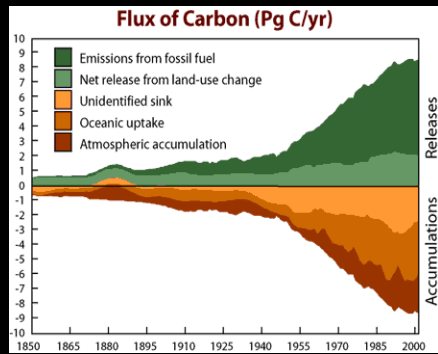
Changements récents



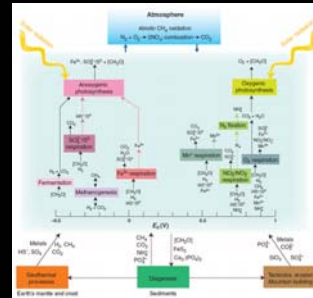
Changements récents



Changements récents



Processus chimiques



Falkowski et al. (2008)

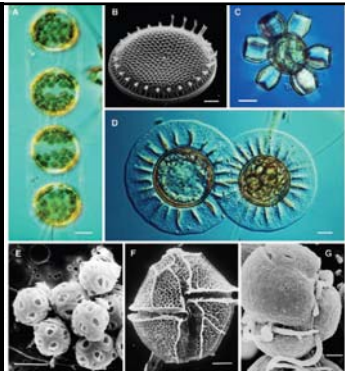
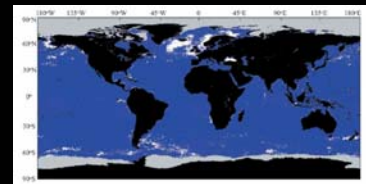


Fig. 1. Examples of representative marine eukaryotic phytoplankton. Light micrographs (horizontally) and scanning electron micrographs of dead and cycled marine phytoplankton. (A) A chain of the diatom *Dityplanopsis nipponica*. (B) A single valve of the diatom *Thalassiosira pacifica*. (C) The large, tropical coccolithophore *Scolecobolus apertus*. (D) An overlapping pair of phycoerythrin of *Pantropus mobilis*. (E) A clump of coccoliths of *Coccolithus oerstedii*. (F) The alveolate dinoflagellate *Karlodinium micum* (= *Goniolaima parvum*). (G) The thecate dinoflagellate *Leptodinium polyedra* (tagella missing). Scale bars: (A, C, E, F) 10 μm ; (B and G) 2 μm ; and (D) 25 μm . [Photographs: (A, C, D, F) F. J. R. Taylor; (B) E. Simons; (E) G. Hallegraeff; and (G) C. Caron].

Dynamique des populations



21 mai 2001, image SeaWiFS

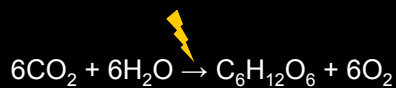


Efflorescence (bloom) de phytoplancton (le coccolithophore *Emiliana huxleyi*)

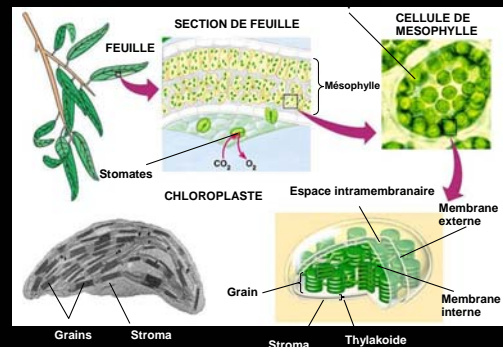


Iglesias-Rodríguez et al. Global Biogeochemical Cycles (2002)

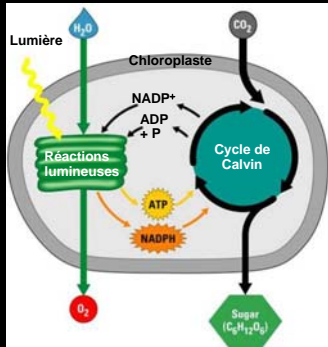
Photosynthèse



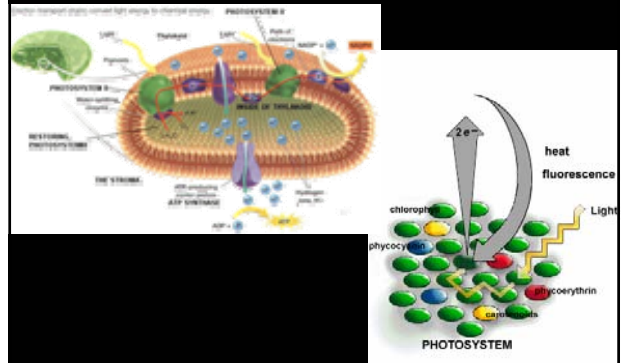
Photosynthèse



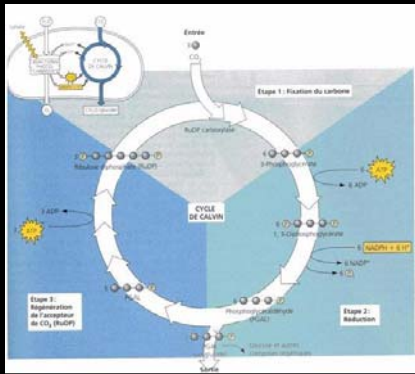
Photosynthèse (C3)



Photosystème



Convertir l'énergie

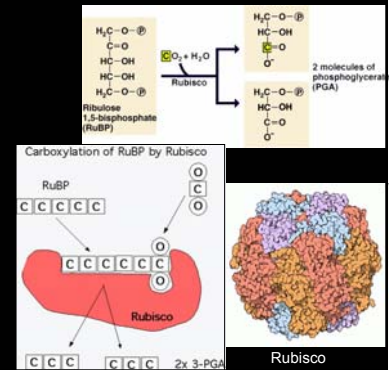


Melvin Calvin
UC Berkeley, 1961
Nobel de chimie (1961)

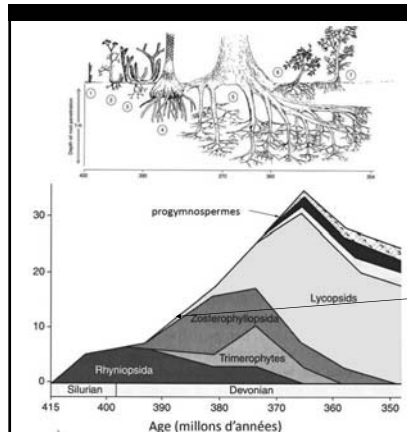
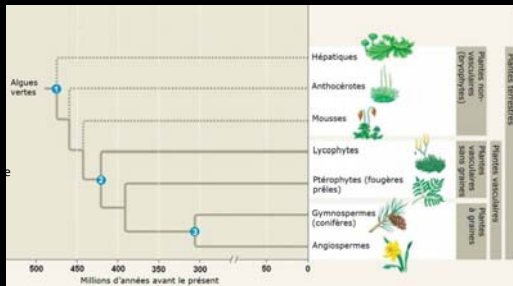
RuBP = Ribulose
Biphosphate
(= RuDP)

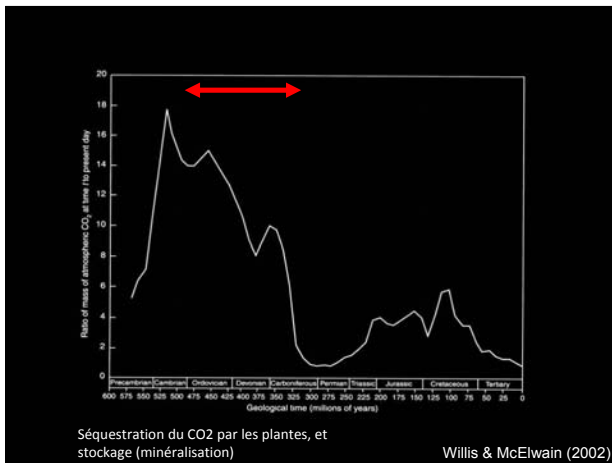
Première étape de la fixation de C

- Ribulose biphosphate carboxylase oxygenase (Rubisco)
- Protéine la plus abondante sur terre
- Représente ~ 25% des protéines dans une feuille
- Fixe aussi O2 (photorespiration)



Evolution de la « lignée verte »





Autres types de photosynthèse

- Photosynthèse en C₄ : C stocké d'abord dans des acides organiques (malate), puis libéré sous forme de CO₂ sur les sites de la photosynthèse
- Moins de photorespiration
- Essentiellement chez les monocotylédones
- Meilleure adaptation aux milieux secs (pour une raison qui reste mal connue)

Evolution de la photosynthèse en C₄

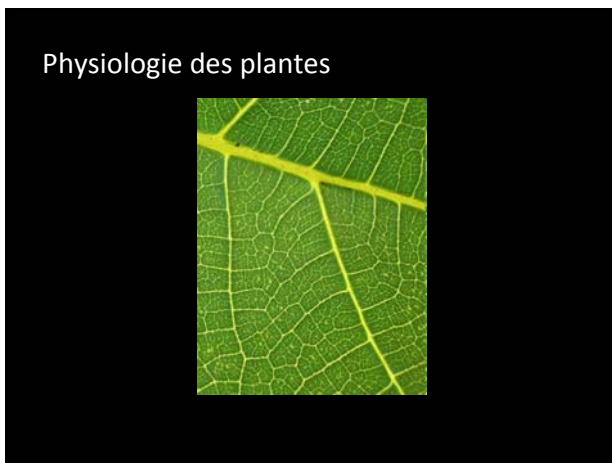
- Reliée à la décroissance de CO₂ dans l'atmosphère
- C₄ : mieux adaptés à des milieux pauvres en CO₂
- 3% des espèces utilisent ce système mais elles représentent presque 20% de la NPP sur terre
- Plusieurs évolutions indépendantes

Christin et al. *Curr Biol* (2008)

Autres types de photosynthèse

- Photosynthèse CAM (Crassulacean Acid Metabolism)
- Chez 7% des espèces de plantes (~ 16000)
- Meilleure adaptation aux milieux secs (fermeture des stomates durant le jour)

Vriesea splendens (Bromeliaceae)



Physique de la photosynthèse

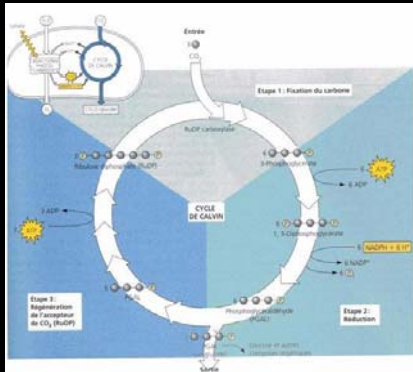
A Biochemical Model of Photosynthetic CO₂ Assimilation in Leaves of C₃ Species
Planta 149, 78-90 (1980)

G.D. Farquhar¹, S. von Caemmerer¹, and J.A. Berry²

¹ Department of Environmental Biology, Research School of Biological Sciences, Australian National University, P.O. Box 475, Canberra City ACT 2601, Australia and
² Carnegie Institution of Washington, Department of Plant Biology, Stanford, Cal. 94305, USA

Australian National University, Canberra

Cycle de Calvin



Taux d'assimilation

■ Taux d'assimilation A du carbone dans la photosynthèse (en micromoles de $C/s/m^2$ de feuille). Cette assimilation est le résultat de trois processus.

1. Du carbone peut être fixé sous forme d'assimilat par la carboxylation de RuBP – on note V_c le taux de carboxylation du RuBP.
2. La photorespiration donne lieu à la fixation d'oxygène à taux V_o , appelé taux d'oxydation du RuBP. La fixation d'une mole d'oxygène conduit à la production d'une demi-mole de CO_2 .
3. La respiration due au métabolisme photosynthétique donne lieu à une perte de carbone à un taux noté R_d .

$$A = V_c - \frac{1}{2}V_o - R_d$$

Cas où le RuBP n'est pas limitant

Réaction chimique de Michaelis-Menten co-limitée

$$V_c = V_{cmax} \frac{p(CO_2)/K_c}{1 + p(CO_2)/K_c + p(O_2)/K_o}$$

$$V_o = V_{o max} \frac{p(O_2)/K_o}{1 + p(CO_2)/K_c + p(O_2)/K_o}$$

Où $p(CO_2)$ est la concentration de CO_2 dans le milieu intercellulaire de la feuille.

K_c et K_o sont les constantes d'activation biochimiques de la carboxylation et de l'oxydation (respectivement)

Constantes d'activation

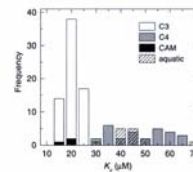


Figure 1.3 Distribution of Michaelis-Menten constant for CO_2 , K_c , for different species. Data are taken from the tables of York et al. (1985, 1985).

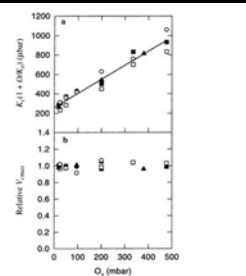


Figure 1.5. (a) The apparent $K_c(CO_2)$ as a function of the partial pressure of O_2 . Estimates were derived from leaf-to-leaf plots of CO_2 response curves similar to those shown in Fig. 1.4. Different symbols denote measurements on different leaves. (b) K_c as a function of the partial pressure of O_2 . K_c values were normalized by dividing by the mean values for each leaf (ranging from 25 to $65 \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$). Estimates were derived from leaf-to-leaf plots of CO_2 response curves like those shown in Fig. 1.4. Different symbols denote measurements on different leaves. (Modified from von Caemmerer et al. 1984.)

Von Caemmerer (2000)

Cas où le RuBP n'est pas limitant

$$V_{o max} p(O_2)/K_o = \phi V_{c max} p(CO_2)/K_c$$

$$\phi = V_o / V_c$$

$$V_{o max} p(O_2)/K_o = 2V_{c max} \Gamma / K_c$$

Où Γ est le point de compensation en CO_2

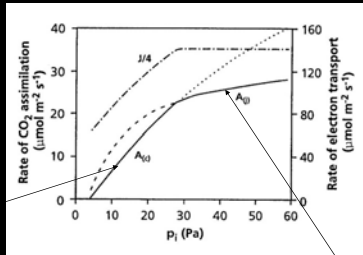
$$A = \left(1 - \frac{\Gamma}{p(CO_2)}\right) \frac{V_{c max} p(CO_2)}{p(CO_2) + K_c (1 + p(O_2)/K_o)} - R_d$$

Cas où le RuBP est limitant

- Dans ce cas, c'est le flux d'électrons des photosystèmes vers le cycle de Calvin (J) qui contrôle l'assimilation de carbone

$$A = \left(1 - \frac{\Gamma}{p(CO_2)}\right) \frac{J}{4(1 + 2\Gamma/p(CO_2))} - R_d$$

Efficacité de la photosynthèse

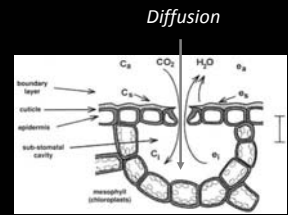
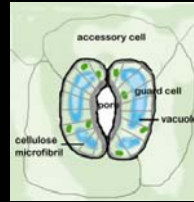


Région où la concentration en CO₂ est limitante

La fixation de C par la RuBP limite l'activité enzymatique de la Rubisco

Région où le CO₂ n'est plus limitant et l'activité catalytique de la Rubisco est saturée. L'étape de régénération de la RuBP est limitante

Stomates



Physique de la photosynthèse

- Taux d'assimilation du CO₂ (A) est fonction des pressions partielles de CO₂ dans la feuille (p_i) et en dehors (p_a)

$$A = g_c \frac{(p_a - p_i)}{P}$$

p_a ~ 38 Pa

Loi de diffusion de Fick

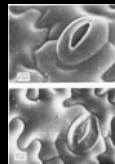
g_c = conductance des stomates pour le CO₂ ;

P = pression atmosphérique

- Transpiration de la feuille E :

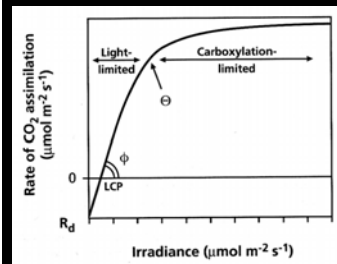
$$E = g_w \frac{(e_i - e_a)}{P}$$

$$\frac{g_w}{g_c} = 1.6$$

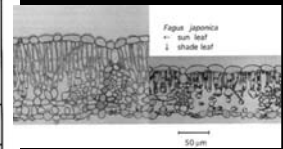


Stomates

Dépendance avec la lumière

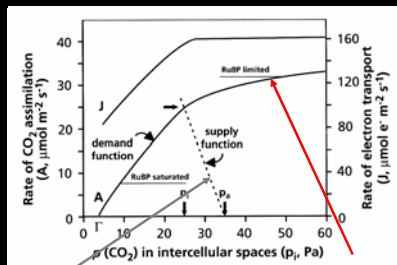


Réponse chimique



Réponse développementale

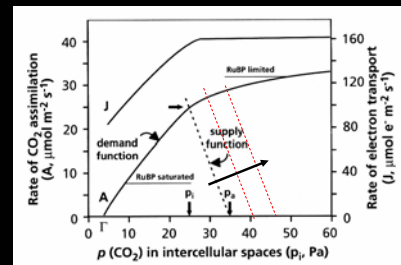
Efficacité de la photosynthèse



$$A = g_c \frac{(p_a - p_i)}{P}$$

Fonction de demande de la photosynthèse
Modèle de Farquhar - von Caemmerer

Augmentation du CO₂



Augmentation de l'assimilation photosynthétique, mais non linéaire

Discrimination isotopique

La Rubisco fixe plus facilement l'isotope ^{12}C que l'isotope ^{13}C (la photosynthèse **discrimine** contre le ^{13}C). R_a le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans l'air, et R_p ce même rapport dans la plante

$$\Delta = \left(\frac{R_a}{R_p} - 1 \right) \times 1000$$

On calcule aussi le rapport isotopique par rapport à un standard (roches carbonatées): $\delta^{13}\text{C}$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{air}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{plante}} = \frac{R_p}{R_{\text{standard}}} \left(\frac{R_a}{R_p} - 1 \right) \times 1000 \approx \Delta$$

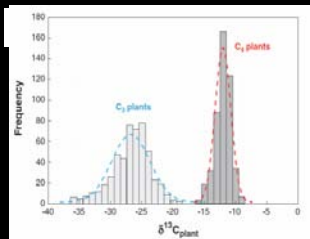
Discrimination isotopique

$$\delta^{13}\text{C}_a = -8\text{‰}$$

La discrimination isotopique est plus intense lorsque le CO_2 n'est pas limitant : moins de discrimination si p_i est faible.

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{plante}} = -12.4 - 22.6 \frac{p_i}{p_a}$$

Marquage isotopique des plantes en C4



Osborne and Beerling 2007

Variation de $\delta^{13}\text{C}$

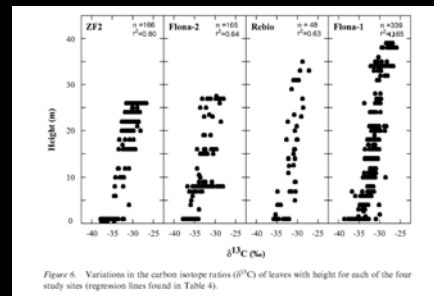


Figure 6. Variations in the carbon isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$) of leaves with height for each of the four study sites (regression lines found in Table 4).

Forêt tropicale amazonienne



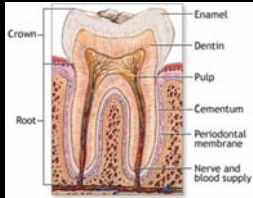
Floyd Landis perd le Tour de France 2006 à cause des isotopes de carbone

- La composition isotopique en C dans les humains reflète notre régime en plantes C4.
- Les américains mangent du maïs et de la viande nourrie au maïs
- La testostérone est synthétisée à partir du soja (C3) donc a un $\delta^{13}\text{C}$ plus faible que la testostérone humaine.

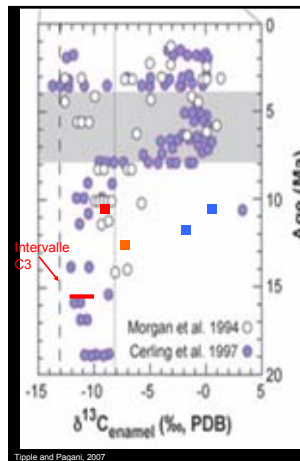


Application aux dents fossiles d'animaux

- Les folivores mangent des plantes en C3 => leur $\delta^{13}\text{C}$ est plus négatif
- Les herbivores mangent des plantes en C4 => leur $\delta^{13}\text{C}$ est moins négatif
- Dents fossiles: les mieux préservées



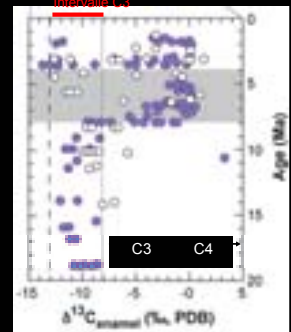
Thure Cerling
University of Utah



Tipple and Pagani, 2007

Valeur du $\delta^{13}\text{C}$ des dents en fonction de l'âge

Plus de consommation de plantes en C4 à partir de 8 Ma : radiation des plantes en C4 + climats plus secs



Un exemple



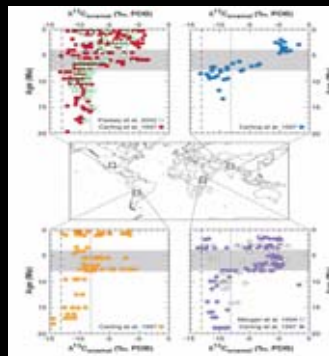
Condylarthes



- Ils étaient d'une taille comparable à un mouton, avec une dentition adaptée pour mâcher des feuilles coriaces, un petit crâne et un petit cerveau
- Eteint vers 48 Ma

Evolution de la lignée des chevaux

- Chevaux modernes adaptés à un régime herbacé (la structure du squelette, dentition, et vitesse)
- Une seule espèce aujourd'hui
- Apparition en Amérique du Nord, expansion au cours des 2 Ma passés
- Espèce adaptée aux climats "froids" des cycles interglaciaires



Histoire de la biosphère



Histoire de la biosphère

Méthodes de reconstruction historique : *enregistrements dans les fonds des océans et dans les glaces*

- Concentration de poussières ≡ « sécheresse »
- Concentration de sodium (Na) ≡ « évaporation marine »
- Rapport isotopique stable d'oxygène (16O et 18O) ≡ « température + volumes de glace »
- Rapport isotopique stable de carbone (12C et 13C) ≡ « activité de la biosphère »

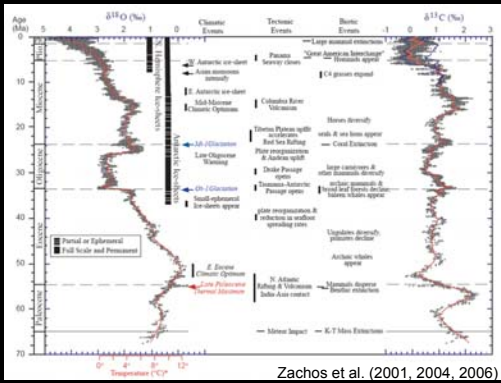
$$\delta^{18}O_{atm} = \left[\frac{(18O/16O)_{sample}}{(18O/16O)_{standard}} - 1 \right] \times 1000$$

- Standard de mesure : concentration d'isotopes stables (13C et 18O) dans les carbonates de calcium (CaCO₃) du Crétacé

Rapport isotopique du carbone

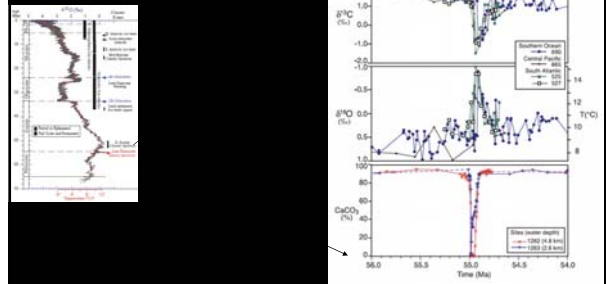
- Le photosynthèse fixe préférentiellement le ¹²C par rapport au ¹³C
- Donc, les tissus organiques sont appauvris en ¹³C.
- Une plus forte activité photosynthétique implique une plus forte discrimination contre le ¹³C.

Changements historiques depuis 65 Ma

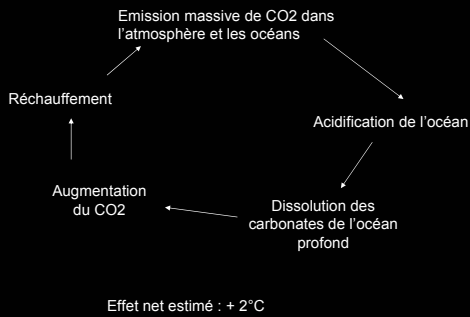


Changements historiques depuis 65 Ma

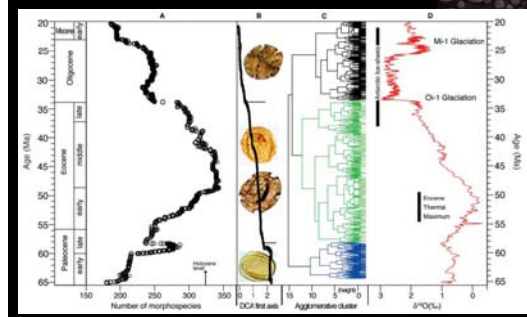
Anomalie Paléocène-Eocène



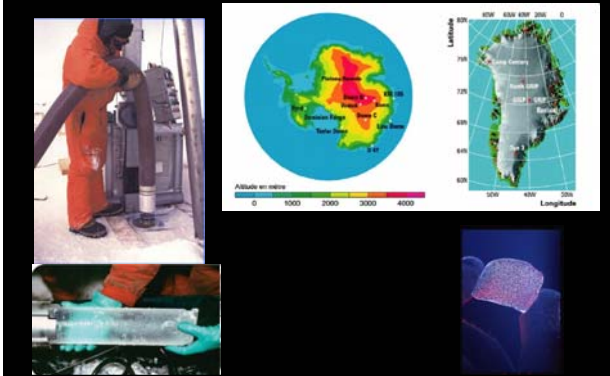
Explication de l'anomalie Paléocène-Eocène



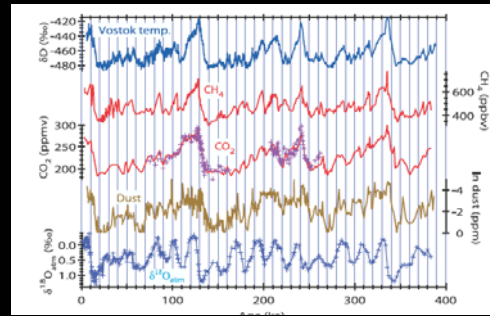
Evolution de la biodiversité



Changements historiques depuis 400 ma



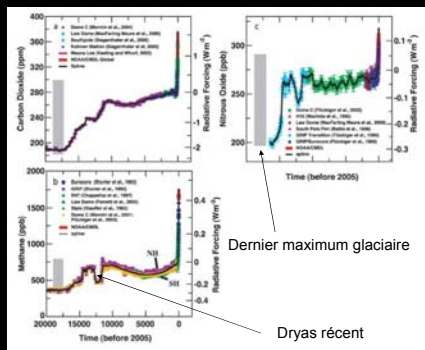
Changements historiques depuis 400 ma



Vostok

Pettit et al. Nature (1999)

Changements historiques depuis 20 ma



Scénarios pour le futur

« The goal of working with scenarios is not to predict the future, but to better understand uncertainties in order to reach decisions that are robust under a wide range of possible futures »

Vol 483(7) February 2010 doi:10.1038/nature08623

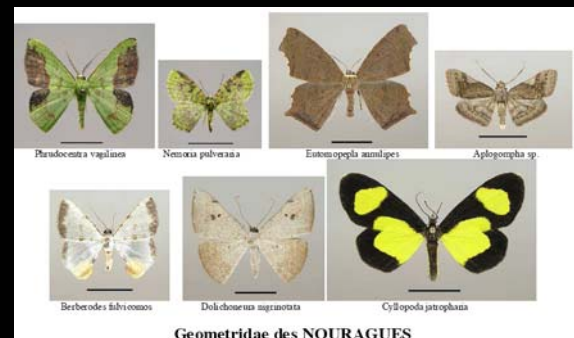
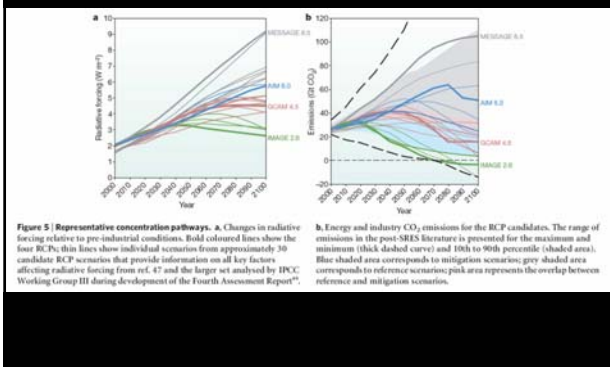
nature

PERSPECTIVES

The next generation of scenarios for climate change research and assessment

Richard H. Moss¹, Jae A. Edmonds², Kathy A. Hibbard³, Martin R. Manning⁴, Steven K. Rose⁵, Detlef P. van Vuuren⁶, Timothy R. Carter⁷, Seita Emori⁸, Mikiyo Kainuma⁹, Tom Krani¹⁰, Gerald A. Meehl¹¹, John F. B. Mitchell¹², Neliya Nakicenovic¹³, Keywan Riahi¹⁴, Steven J. Smith¹⁵, Ronald J. Stouffer¹⁶, Allison M. Thomson¹⁷, John P. Weyant¹⁸ & Thomas J. Wilbanks¹⁹

« Chemins pour les futurs »



Geometridae des NOURAGUES



Business of biodiversity

- C'est en mettant en balance la perte de biodiversité et les avantages éventuels qui en découlent, que l'on peut assurer l'optimisation du bien-être social autant qu'économique de chacun.
- Les systèmes économiques fondés sur le jeu du marché sont à même de faire en sorte que cette pondération ait lieu

Organisation de coopération et de développement économiques