

## Bilan radiatif et cycle du carbone

D. Paillard

### Bilan radiatif :

Bilan radiatif d'une planète « ponctuelle » ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ )

$$(1 - \alpha) S_c/4 = \sigma T_e^4 \neq \sigma T_s^4$$

$\alpha$  = albédo;  $S_c$  = constante solaire;  $T_e$  = température effective;  $T_s$  = température de surface  
et on définit :

$$1 - \varepsilon = \frac{\sigma T_e^4}{\sigma T_s^4} \quad (\text{ou bien : } 1 - \varepsilon = \frac{1}{g} = \frac{\sigma T_e^4}{\sigma T_s^4}) \quad \varepsilon \text{ ou } g = \text{« effet de serre »}$$

on écrit ici:

$$(1 - \alpha) S_c/4 = (1 - \varepsilon) \sigma T_s^4$$

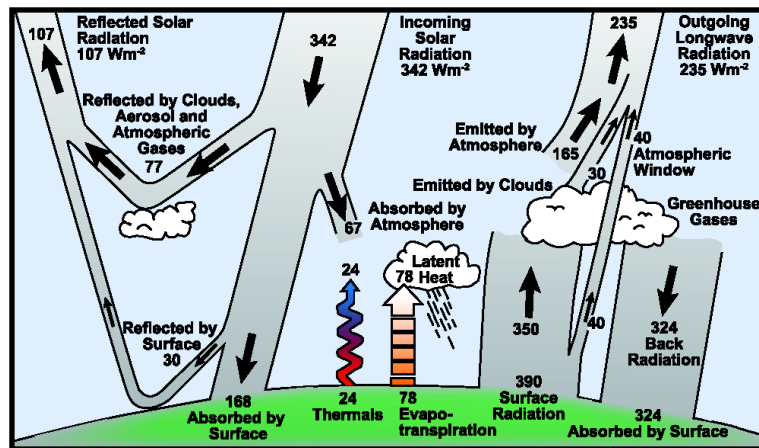


Figure : schéma du bilan radiatif en moyenne sur la Terre

- 1 - Déterminez sur la figure ci-dessus les valeurs de  $S_c$ ,  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ .
- 2 - Déterminez la température effective  $T_e$  et la température de surface  $T_s$ .
- 3 - Expliquez comment obtenir l'équation suivante, pour de « petites variations » des termes du bilan radiatif:

$$\frac{-\Delta\alpha}{1-\alpha} + \frac{\Delta S_c}{S_c} = \frac{-\Delta\varepsilon}{1-\varepsilon} + 4 \frac{\Delta T_s}{T_s}$$

- 4 - Le cycle solaire de 11 ans entraîne une variation de la constante solaire d'environ  $1 \text{ W.m}^{-2}$ . A quelle variation de température doit-on s'attendre si l'on fait l'hypothèse que l'albédo et l'effet de serre sont constants ?

- 5 - En examinant attentivement les observations, il est possible de corrélérer ces variations de la constante solaire  $\Delta S$  avec des variations globales de températures  $\Delta T$ , avec un rapport

$$\Delta T/\Delta S = 0.12 \text{ à } 0.17 \text{ K/W.m}^{-2} \quad (\text{Tung et al. GRL 2008})$$

Ce chiffre est-il comparable au résultat de la question précédente ? Pourquoi ?

6 - On estime qu'en l'absence de rétroaction, l'augmentation de température liée à un doublement de CO<sub>2</sub> est de l'ordre de 1,2°C, mais qu'en réalité la sensibilité climatique à l'équilibre (ie. l'effet à l'équilibre d'un doublement de CO<sub>2</sub>) est plutôt de l'ordre de 3°C. Est-ce compatible avec la question précédente ?

AR6 : Based on multiple lines of evidence, the very likely range of equilibrium climate sensitivity is between 2°C (high confidence) and 5°C (medium confidence). The AR6 assessed best estimate is 3°C with a likely range of 2.5°C to 4°C (high confidence), compared to 1.5°C to 4.5°C in AR5, which did not provide a best estimate

## Carbone:

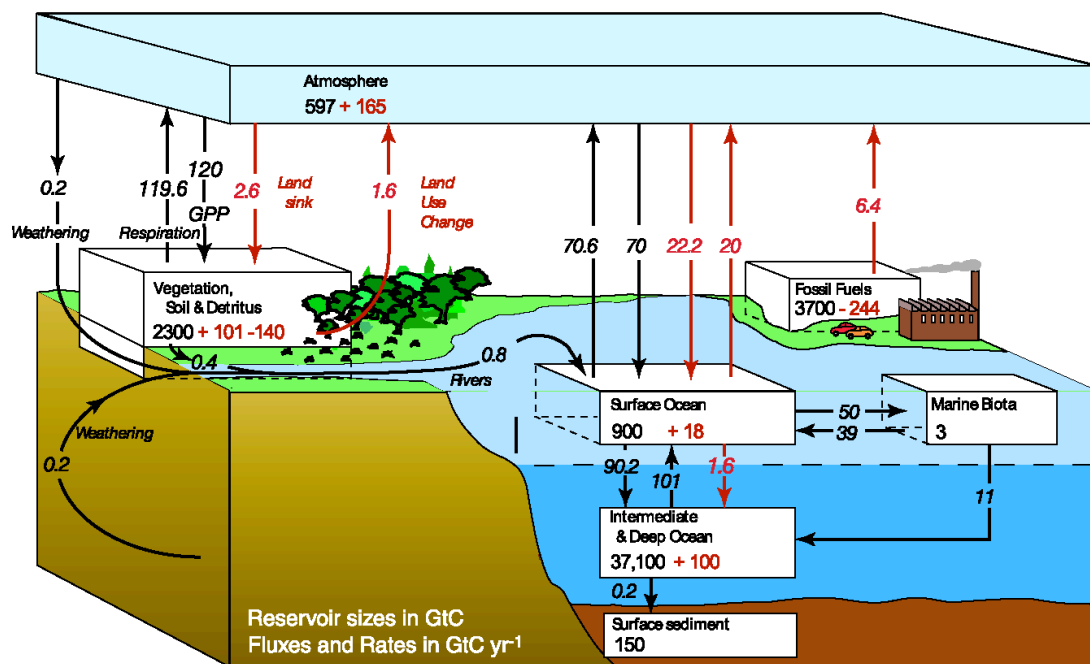
1 - Quelle est la masse de CO<sub>2</sub> correspondant à 1 ppm, en GtC (gigatonnes de carbone) ? en GtCO<sub>2</sub> ?  
On donne la surface de la Terre  $S = 5,1 \cdot 10^{14} \text{m}^2$ .

2 - L'humanité émet chaque année dans l'atmosphère environ 10 GtC. A combien de tonnes de CO<sub>2</sub> cela correspond-il ? Quel devrait-être l'augmentation en ppm du CO<sub>2</sub> atmosphérique ?

3 - On observe une augmentation annuelle du CO<sub>2</sub> atmosphérique de 2 à 3 ppm/an. Cela correspond-il au calcul précédent ? Sinon, quelle proportion du carbone anthropique s'accumule dans l'atmosphère ? Pourquoi ?

## Réservoirs et flux de carbone :

Les chiffres en noir (stocks et flux) sont les valeurs préindustrielles. Les chiffres en rouge (stocks et flux) sont les perturbations anthropiques.



**AR4, Figure 7.3.** The global carbon cycle for the 1990s, showing the main annual fluxes in GtC/yr: pre-industrial 'natural' fluxes in black and 'anthropogenic' fluxes in red (modified from Sarmiento and Gruber, 2006, with changes in pool sizes from Sabine et al., 2004a). The net terrestrial loss of -39 GtC is inferred from cumulative fossil fuel emissions minus atmospheric increase minus ocean storage. The loss of -140 GtC from the 'vegetation, soil and detritus' compartment represents the cumulative emissions from land use change (Houghton, 2003), and requires a terrestrial biosphere sink of 101 GtC (in Sabine et al., given only as ranges of -140 to -80 GtC and 61 to 141 GtC, respectively; other uncertainties given in their Table 1). Net anthropogenic exchanges with the atmosphere are from Column 5 'AR4' in Table 7.1. Gross fluxes generally have uncertainties of more than  $\pm 20\%$  but fractional amounts have been retained to achieve overall balance when including estimates in fractions of GtC/yr for riverine transport, weathering, deep ocean burial, etc. 'GPP' is annual gross (terrestrial) primary production. Atmospheric carbon content and all cumulative fluxes since 1750 are as of end 1994.

4 - Les émissions anthropiques sont-elles de 10 GtC/an comme annoncé dans la question 2 ? La proportion qui s'accumule dans l'atmosphère est-elle celle obtenue à la question 3 ?

5 - Pour un système de réservoirs à l'équilibre, connectés par des flux, on définit le temps de résidence dans chaque réservoir comme étant le stock divisé par la somme des flux entrants (ou sortants : à l'équilibre, c'est la même chose). Calculez le temps de résidence du carbone dans l'atmosphère  $\tau_{\text{Atm.}}$  (à l'équilibre : donc on utilise les chiffres en noir !).

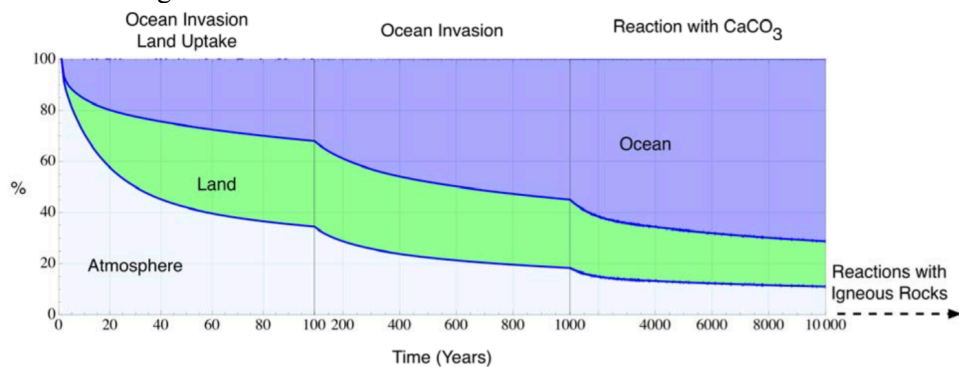
Que représente ce temps ? Est-ce la durée de la perturbation anthropique ?

6 - Calculez le temps de résidence du carbone dans l'océan profond  $\tau_{\text{Ocean}}$ .

Que représente ce temps ? Est-ce la durée de la perturbation anthropique ?

7 - Quel est le temps de résidence qui permettrait de mieux estimer la durée de la perturbation anthropique ?

8 - Commentez cette figure.



**AR5 FAQ 6.1, Figure 2:** Decrease of an atmospheric  $\text{CO}_2$  pulse emission of 1000 PgC emitted at time 0 showing the different time scales of the equilibration with the different reservoirs in the global carbon cycle.