

## Physique du Climat

### TD N° 3: Rétroactions

#### I Rétroactions et incertitudes

On rappelle la relation donnant le changement de température à l'équilibre  $\delta T_{\text{eq}}$  en réponse à un forçage  $R$  :

$$\delta T_{\text{eq}} = \frac{1}{1 - \sum f_i} \delta T_0$$

Où  $\delta T_0$  est la réponse à  $R$  en l'absence de rétroactions.

1. On considère deux rétroactions d'amplitudes  $f_1$  et  $f_2$  qui amplifient de manière isolée la réponse d'un facteur 2 et 1.5 respectivement. De combien est changée la réponse  $\delta T_0$  si les deux rétroactions sont actives simultanément ?
2. L'incertitude sur la valeur  $f_i$  de différentes rétroactions est notée  $\sigma_i$ . Quelle est l'incertitude totale sur  $\delta T_{\text{eq}}$  ? On rappelle que si l'incertitude sur une variable  $x$  est  $\sigma_x$ , l'incertitude sur une fonction  $f(x)$  vaut  $\sigma f = f'(x)\sigma_x$ .
3. Pour un doublement du  $\text{CO}_2$ , on a  $\delta T_0 \approx 1,2 \text{ K}$  et  $\delta T_{\text{eq}} \approx 3,6 \text{ K}$ . Que vaut  $f = \sum f_i$  ? Quelle est l'incertitude sur  $\delta T_{\text{eq}}$  avec  $\sigma = 0,2$  ?

#### II Rétroactions des nuages

L'albedo moyen de la Terre peut être décomposé en une partie ciel clair et une contribution des nuages :

$$\alpha_p = A_n \alpha_n + (1 - A_n) \alpha_c$$

Où  $A_n$  est la fraction nuageuse, et  $\alpha_n$  et  $\alpha_c$  sont les albédos des régions nuageuses et du ciel clair (sol compris).

1. On observe en moyenne  $A_n=0.6$ ,  $\alpha_c=0.15$  et  $\alpha_p=0.3$ . En déduire la valeur moyenne de l'albedo des nuages  $\alpha_n$ .
2. Le forçage radiatif des nuages est défini comme (bilan ciel total – bilan ciel clair). Exprimer le forçage radiatif dans le visible en fonction de l'éclairement solaire  $E$  au sommet de l'atmosphère et de  $\alpha_c$  et  $\alpha_p$ , puis de  $A_n$ ,  $\alpha_c$  et  $\alpha_n$ . Quelle est sa valeur pour  $E = 342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ?

3. Quel changement de  $\alpha_n$ , absolu et relatif, produirait un forçage radiatif de  $4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (équivalent à un doublement du  $\text{CO}_2$ ) ? Même question pour un changement de la couverture nuageuse.
4. La température moyenne de la surface est de 288 K. Calculer l'effet de serre absolu (rayonnement émis en surface—rayonnement sortant).
5. Les nuages contribuent pour environ 20% à cet effet de serre. Que vaut l'effet de serre additionnel des régions nuageuses (nuages—ciel clair) ? De combien doit-on changer l'effet de serre des nuages pour un forçage global de  $4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ?
6. En l'absence de rétroactions nuageuses, un forçage de  $4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  donne une réponse en température  $\delta T = 2,4 \text{ K}$ . Quelle sensibilité des paramètres nuageux individuels (réponse à une variation de la température de 1 K) donnent un facteur de rétroaction de 0,5 (gain de 2) ?