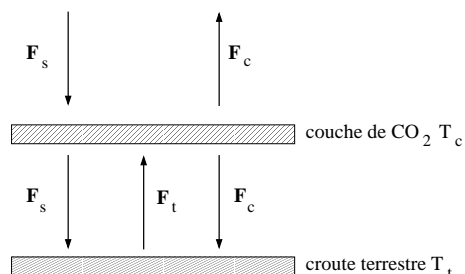


## TD 6: Rayonnement, Corps noir

### Exercice 1: Effet de serre



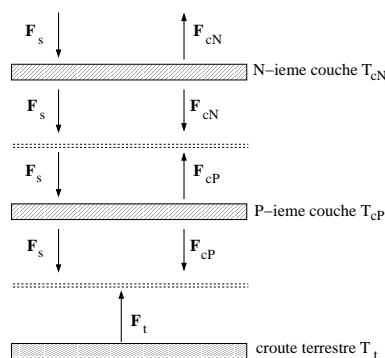
La croûte terrestre est assimilée à un corps noir de température  $T_t$ , émettant un rayonnement thermique de flux surfacique  $F_t$ . La Terre est supposée entourée d'une couche contenant du dioxyde de carbone gazeux en concentration  $C_0$  fixée. La température de cette couche est notée  $T_c$  et le rayonnement qu'elle émet est associé au flux surfacique  $F_c$  des deux côtés de la couche.

On désigne par  $F_s$  le flux solaire surfacique reçu. Les rayons du soleil arrivent sous incidence normale sur la couche gazeuse.

1. a. Rappeler la forme de la loi du déplacement de Wien.  
 b. On sait que le soleil (de température moyenne  $T_s \approx 6000$  K) émet un rayonnement principalement situé dans le domaine visible ( $\lambda \approx 0.5 \mu\text{m}$ ). En utilisant un ordre de grandeur raisonnable pour les températures, déterminer approximativement la longueur d'onde d'émission radiative maximale de la croûte terrestre et de la couche de CO<sub>2</sub>.

On admettra par la suite que l'absorption de  $F_t$  par la couche de CO<sub>2</sub> est totale et que cette couche peut donc être assimilée à un corps noir dans le domaine spectral du flux radiatif terrestre, mais elle est transparente au rayonnement solaire (flux surfacique  $F_s$ ).

2. a. Traduire l'équilibre radiatif de l'ensemble {couche + croûte terrestre}; on supposera que la croûte terrestre et la couche de CO<sub>2</sub> ont sensiblement le même rayon, et donc la même surface émissive d'un côté.  
 Traduire l'équilibre de la croûte terrestre seule.  
 b. Exprimer la température  $T_t$  en fonction de  $F_s$  et de la constante de Stefan. Comparer le résultat à celui qu'on obtiendrait si la couche n'existait pas.  
 Application numérique:  $F_s = 342 \text{ W m}^{-2}$ ,  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ .



On suppose que la quantité de CO<sub>2</sub> augmente. On modélise cette augmentation en considérant la superposition de  $N$  couches contenant du CO<sub>2</sub>, toutes identiques à la précédente. Ainsi, chaque couche admet la même concentration en CO<sub>2</sub>. La superposition des différentes couches est schématisée ci-contre. On note  $F_{cP}$  le rayonnement émis vers le haut et vers le bas par la  $P$ -ième couche de température  $T_{cP}$ . Le rayonnement émis par une couche est totalement absorbé par les autres couches.

3. Traduire l'équilibre radiatif, en terme de flux surfaciques:

- de l'ensemble {toutes les couches + croûte terrestre},
- de la couche P,
- de la première couche,
- de la croûte terrestre.

4. En déduire  $F_{cP}$  et  $F_t$  en fonction de  $F_s$ ,  $N$  et  $\sigma$ .

5. Donner finalement l'expression de  $T_t$  en fonction de  $F_s$ ,  $N$  et  $\sigma$ .

Conclure sur l'influence de  $N$  sur  $T_t$ .

On modélise maintenant l'ensemble des  $N$  couches de  $\text{CO}_2$  de manière continue. La Terre est alors entourée d'une couche gazeuse sphérique de rayon moyen proche du rayon  $R_T$  de la Terre et d'épaisseur  $h$  telle que  $h \ll R_T$ . Le nombre de molécules de  $\text{CO}_2$  par unité de volume,  $C_0$ , ne varie pas; seule  $h$  est susceptible de varier lorsque la quantité de  $\text{CO}_2$  change.

On suppose qu'initialement  $h = 5$  km (on se situe dans la basse troposphère) et  $T_t = 288$  K.

6. Soit  $N_0$  le nombre total de molécules de  $\text{CO}_2$  présentes dans la couche gazeuse. Selon le modèle à couches multiples,  $N_0$  est proportionnel au nombre de couches  $N$ :  $N_0 = \gamma N$ .

a. Montrer alors que  $N = \alpha h$ , où  $\alpha$  est une constante positive qu'on exprimera en fonction de  $C_0$ ,  $\gamma$  et  $R_T$ .

En déduire que  $T_t$  s'écrit:

$$T_t = \left( \frac{F_s(1 + \alpha h)}{\sigma} \right)^{1/4}.$$

b. Préciser la valeur numérique et l'unité de  $\alpha$ .

7. On suppose une augmentation de 10% du volume de  $\text{CO}_2$  présent dans la troposphère. Déterminer numériquement l'augmentation  $\Delta h$  de l'épaisseur de la couche de  $\text{CO}_2$ . En déduire l'augmentation de la température  $T_t$ .

8. Quel(s) phénomène(s) physique(s) a-t-on négligé(s) dans les modèles précédents?