

PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE

Exercices de radiation

1) L'irradiance monochromatique E_λ d'un corps réel s'établit comme suit:

$\lambda < 0,20 \mu\text{m}$	$E_\lambda = 0.4 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$
$0,20 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,35 \mu\text{m}$	$E_\lambda = 0.8 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$
$0,35 \mu\text{m} \leq \lambda < 0,50 \mu\text{m}$	$E_\lambda = 1.0 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$
$0,50 \mu\text{m} \leq \lambda < 1,00 \mu\text{m}$	$E_\lambda = 0.2 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$
$1,00 \mu\text{m} \leq \lambda$	$E_\lambda = 0.0 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$

a) Calculez l'irradiance E .

Une surface opaque dont le facteur d'absorption est donnée par

$$a_\lambda = 1 \quad , \quad \lambda < 0,35 \mu\text{m}$$

$$a_\lambda = 0 \quad , \quad \lambda > 0,35 \mu\text{m}$$

est soumise à ce rayonnement.

b) Combien d'irradiance sera absorbée ?

c) Combien d'irradiance sera réfléchi ?

2) Si la distance Terre Soleil varie de 3.3 % autour d'une distance moyenne, montrez que la variation de la température de la Terre varie de 1.65 %.

3) Un satellite météorologique tourne autour de la Terre à une altitude h au-dessus de la surface. Sachant que le rayon de la Terre est r , montrez que l'angle solide sous lequel le satellite voit la Terre est égale à :

$$\Omega = 2\pi \left[1 - \frac{\sqrt{2rh + h^2}}{r + h} \right]$$

4) Considérez une planète avec un albédo de 0.5 et une atmosphère constituée de N couches isothermes avec une absorptivité égale à 0 pour les courtes longueurs d'onde et 0.5 pour les grandes longueurs d'onde.

a) Montrez que l'irradiance émise vers le haut de chaque couche sera (en commençant par la couche du haut): $E/3, E/2, 2E/3, \dots E(1+N)/6$.

b) Montrez que l'irradiance émise par la surface de la planète est donnée par $E(1+N/3)$.

c) Combien faut-il de couches pour expliquer la température de 700°K de la surface de Vénus?

(E est le flux total émis vers l'extérieur par le système atmosphère et planète. Considérez que la planète et les N couches d'atmosphère sont à l'équilibre radiatif et émettent comme des corps noirs).

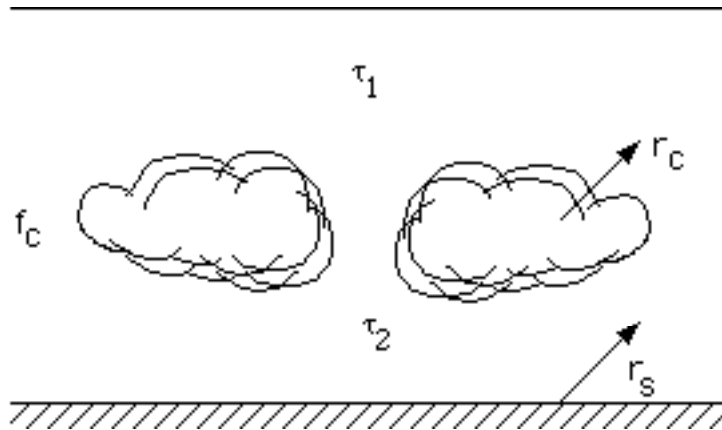
5) a) Montrez que si on considère k_λ et g indépendant de la hauteur, le parcours optique à un niveau de pression p sera donné par:

$$\sigma_\lambda(p) = \frac{k_\lambda p \sec \phi}{g}$$

b) Prouvez que pour une atmosphère isotherme avec k_λ indépendant de la hauteur, le parcours optique grandit exponentiellement avec le parcours géométrique.

- c) Si une planète possédait une atmosphère composée d'un gaz dont le coefficient d'absorption est $0.01 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ pour toutes les longueurs d'ondes, estimez le niveau de pression et la hauteur à laquelle une radiation incidente à 30° par rapport au zénith traverserait un parcours optique égal à 1. Considérez $p_0 = 1000 \text{ mb}$, $g = 10 \text{ m s}^{-2}$ et un profile de température isotherme avec une hauteur caractéristique égale à 10 km.
- d) Quelles sont les hauteurs respectives au-dessus desquelles 10%, 50% et 90% de la radiation incidente de longueur d'onde λ est absorbée?
- 6) Considérez un nuage modélisé constitué de gouttelettes de $40 \mu\text{m}$ de diamètre et dont la densité est de 1 cm^{-3} . Quelle est la longueur de parcours qu'une radiation incidente visible doit franchir à travers de ce nuage pour être atténuée d'un facteur e par diffusion?
- 7) Si le Soleil était légèrement teinté de bleu de sorte que son maximum d'irradiance monochromatique correspondrait à $\lambda = 0.40 \mu\text{m}$ au lieu de $0.475 \mu\text{m}$, estimez la température d'équilibre de la Terre en maintenant un albédo constant.
- 8) Considérez une planète dont l'albédo est 0.3 et dont l'atmosphère est constituée de 2 sous-couches isothermes, chacune ayant un facteur d'absorption de 0 pour le rayonnement solaire et de 0.5 pour le rayonnement planétaire. Supposer que la planète rayonne comme un corps noir.
- Montrez que les irradiances de rayonnement planétaire vers le haut sont $E/3$ pour la couche supérieure, $E/2$ pour la couche inférieure et $5E/3$ pour la surface de la planète, où E est l'irradiance planétaire émise dans l'espace.
 - Calculez les températures d'équilibre radiatif de la surface planétaire et des 2 couches atmosphériques.
- 9) Soit une population uniforme de particules sphériques d'indice de réfraction égal à 1.330. Quelle est la plus petite taille de ces particules de sorte qu'elles donnent une teinte bleue à un faisceau transmis de lumière blanche ?
- 10) Expliquez ou commentez brièvement:
- La température effective de Vénus est plus faible que celle de la Terre, même si Vénus est plus rapprochée du Soleil.
 - La température de couleur du Soleil est légèrement différente de sa température effective.
 - Les nuages bas émettent davantage du rayonnement I.R. que les nuages élevés d'épaisseur comparable.
 - La température effective de la Terre est environ 30°C plus faible que la température moyenne de sa surface.
 - La présence d'un couvert nuageux tend à favoriser des températures diurnes plus faibles et des températures nocturnes plus élevées.
 - Par temps clair et calme, la nuit, la température de surface diminue plus rapidement quand la couche d'air au-dessus est sèche que lorsqu'elle est humide, même avant la formation éventuelle de rosée.
 - Les lignes (raies) individuelles dans un spectre d'absorption ne sont pas toujours apparentes.
 - La fumée de cigarette nous apparaît bleue lorsqu'elle n'est pas aspirée dans les poumons alors qu'elle est plutôt blanche dans le cas contraire.
 - La présence d'un couvert de neige tend à abaisser la température de l'air près de la surface, particulièrement par une nuit claire.
 - Les étés sont plus fraîches dans les régions polaires que dans les latitudes moyennes, en dépit du fait que la radiance solaire est plus élevée.
 - Un accroissement de la concentration d'aérosol atmosphérique pourrait augmenter ou diminuer l'albédo planétaire.

11) Considérez le modèle simplifié suivant pour une balance d'énergie radiative courte. L'atmosphère se constitue d'une couche supérieure de transmissivité τ_1 , d'un couvert nuageux f_c et d'une couche inférieure de transmissivité τ_2 . La surface de la terre a une réflectivité r_s . On suppose aussi qu'il n'y a aucune absorption à l'intérieur des nuages ni diffusion dans les couches 1 et 2.



- a) Montrez que le rayonnement court total atteignant la surface de la planète divisé par le rayonnement solaire incident au sommet de l'atmosphère est donné par

$$F_s = \frac{[(1-f_c) + f_c(1-r_c)]\tau_1\tau_2}{1 - \tau_2^2 f_c r_c r_s}$$

- b) Montrez que l'albédo planétaire est donné par

$$A = f_c r_c \tau_1^2 + F_s r_s [(1-f_c) + f_c(1-r_c)]\tau_1\tau_2$$

- c) Calculez l'albédo planétaire si $f_c = r_c = 0.5$, $\tau_1 = 0.95$, $\tau_2 = 0.90$, $r_s = 0.125$.
d) Quel serait l'albédo d'une terre sans nuage selon ce modèle?
e) Toujours d'après le modèle, quel serait l'albédo de la terre si elle était entièrement recouverte de nuages?

Supposez que l'albédo terrestre est donné par

$$r_t = f_e r_e + f_s r_s + f_g r_g$$

où $f_e = 0.7$, $f_s = 0.22$ et $f_g = 0.08$ sont les fractions de la surface terrestre actuellement couvertes respectivement par l'eau, le sol et la glace et $r_e = 0.05$, $r_s = 0.15$ et $r_g = 0.7$ leurs albédos

- f) Calculez r_t correspondant aux conditions d'époque glaciaire:

$$f_e = 0.7, f_s = 0.12 \text{ et } f_g = 0.18.$$

- g) Calculez l'albédo planétaire pendant l'époque glaciaire. (Supposez $f_c = 0.5$).
h) Calculez la différence de température effective entre les conditions actuelles et celles de l'âge glaciaire. (Montrez d'abord que $\delta T_E/T_E = 1/4 [\delta(1-A)/(1-A)]$).