Atmosphères planétaires - TD1
Atmosphères adiabatiques et humidité

1)
On considère l'atmosphère d'une planète formée par un seul type de molécule (CO_2 pour Mars et Vénus par exemple). Ecrire le premier principe de la thermodynamique en écrivant que la variation d'enthalpie (dH) est la somme de la variation d'enthalpie due à la décompression (VdP) et du flux de chaleur (dQ). La variation d'enthalpie s'écrit aussi dH=C_pdT avec C_p la capacité calorifique à pression constante. De même, le volume molaire est relié à la densité par la relation $V = \frac{M}{\rho}$, avec M la masse molaire du gaz (masse d'une mole de gaz). Ecrire la relation d'équilibre hydrostatique reliant le gradient de la pression à la gravité. On supposera par la suite que les variables ne dépendent que de l'altitude z, et que les différentielles (dT, dP...) donnent des dérivées par rapport à z si on les divisent par dz.

2)
On suppose maintenant que l'atmosphère est adiabatique (pas de transfert de chaleur, donc dQ=0). Réécrire le premier principe de la thermodynamique dans ce cas, en fonction du volume molaire puis en fonction de la densité En utilisant les relations précédentes, montrez que le gradient de température de l'atmosphère peux s'écrire: $\frac{dT}{dz} = -\frac{gM}{C_p}$

3)
Ecrire la loi des gaz parfaits pour une mole de gaz de facon à obtenir le volume molaire (V) en fonction de la pression (P), de la constante des gaz parfaits (R=8.31 SI), de la température (T) et de la masse molaire du gaz (M).

4)
A partir de la loi des gaz parfaits, on peux démontrer la relation suivante:$C_p - C_v = R$, avec C_v la capacité calorifique à volume constant. On pose aussi $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$. Ce paramètre est intéressant car il ne dépend que du type de gaz (pas de la température, ni de la pression, ni de la densité). Il vaut respectivement 5/3, 7/5 et 4/3 pour un gaz monoatomique (un seul atome), diatomique (deux atomes) et polyatomique (plus de deux atomes). En utilisant les deux relations ci-dessous, exprimez C_p en fonction de γ et R.

5)
Reportez la relation précédente dans la relation donnant le gradient adiabatique. Calculez le gradient adiabatique sur la Terre (gaz diatomiques, M=29g/mole, g=9.81m/s^2), Mars (g=3.71m/s^2) et Venus (g=8.87m/s^2) (CO_2, $M_C = 12g/mol$, $M_O = 16g/mol$).

6)
Le gradient de température dans la troposphère terrestre est de -6.5 K/km. Expliquez pourquoi il n'est pas égal au gradient calculé précédemment en indiquant la perte d'énergie qui a été négligée dans l'équation écrite à la question **1)**.

Température d'équilibre des planètes

Si l'on suppose que les planètes se comportent comme un corps noir et qu'on néglige les effets de sphère et de chauffage interne, on peux déduire la température de surface des planètes en faisant un bilan entre le flux d'énergie recu et le flux émis. Le flux émis par unité de surface d'un corps noir est fixé par la relation suivante: $F_{out} = \sigma T^4$, avec $\sigma = 5.67 * 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ la constante de Stefan et T la température en Kelvin.

1)
Calculez le rayonnement sortant pour une planète de rayon R et de température diurne T, en rotation sur elle-même avec une vitesse infiniment lente et une vitesse infinement rapide (en Watt).

2)
Le rayonnement recu par la planète peut être issu de différentes sources. Calculez le flux (en Wm^{-2}) recu en provenance des étoiles de la galaxie autres que le soleil. Pour cela, on supposera que ces étoiles ont

une température de 10 000K et que, vues depuis une planète du système solaire, leur angle solide total est $\Omega_s = 10^{-14}$ radians. On supposera aussi que le flux recu par la planète est proportionnel à cet angle solide.

3)
Calculez le rayonnement émis par le soleil dans toutes les directions (luminosité du soleil, en Watts), en supposant que la température du soleil est $T_s = 5770K$ et son rayon $R_s = 700000km$.

4)
Calculez le flux solaire (en Wm^{-2}) recu au niveau de l'orbite terrestre (d=1AU=149 600 000 km), au niveau de l'orbite de Neptune (d=30 AU) et au niveau de l'orbite du nuage de Oort (25 000 AU).

Peut-on négliger le flux recu par les autres étoiles sur ces trois orbites?

5)
Ecrire l'équilibre entre le rayonnement total recu par la planète et le rayonnement émis par celle-ci, et en déduire la température d'équilibre de la planète pour une rotation infiniment lente et pour une rotation infiniment rapide.

6)
Réécrire l'équation précédente pour une planète avec un albedo A (proportion de flux entrant réémise vers l'espace). En déduire l'effet de l'albedo sur la température de la planète.

7)
Expliquer qualitativement comment les effets que l'on a négligés au début de cet exercice vont changer la température d'équilibre de la planète.