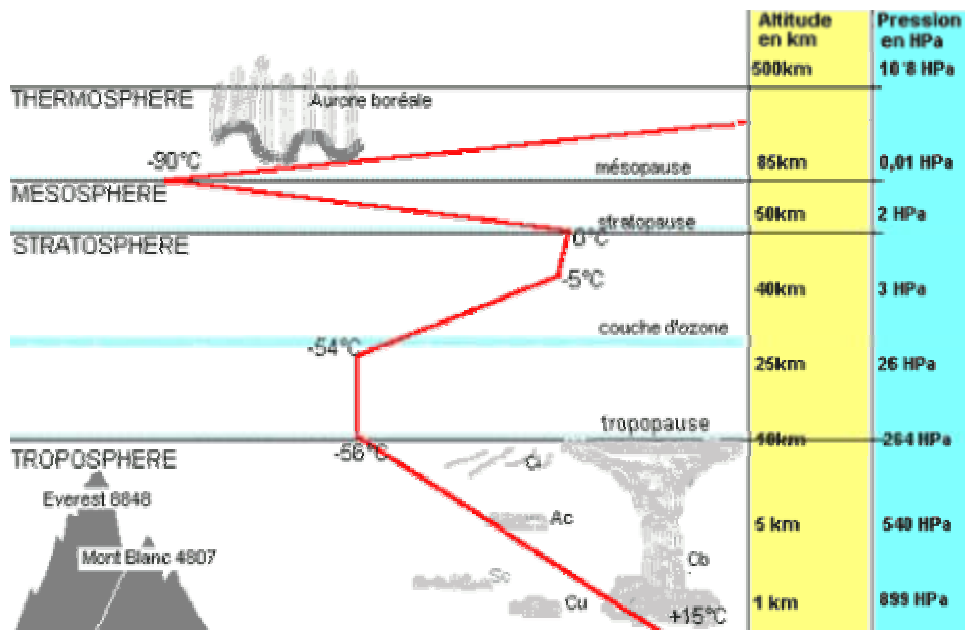


# Atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est essentiellement constituée d'un mélange gazeux, l'air. Ce mélange comprend surtout de l'azote et de l'oxygène. Pour le reste, soit 1 %, on y trouve de l'argon, du dioxyde de carbone et des traces infimes de néon, krypton, hélium, ozone, hydrogène, xénon ainsi que les différents rejets de la biosphère. Cette composition est quasiment constante jusqu'à 85 km d'altitude, sauf pour l'ozone qui est surtout présent entre 30 et 40 km d'altitude et qui est responsable de la remontée en température dans la stratosphère où il absorbe le rayonnement solaire.

Dans tout le problème, on suppose que le temps est calme, qu'il n'y a pas de perturbation atmosphérique et que le degré d'humidité de l'air ne joue aucun rôle.



## I – Questions préliminaires

On considère que l'air, de masse molaire :  $M = 29 \cdot 10^{-3}$  kg, suit la loi des gaz parfaits :  $pV = nRT$

- 1) En faisant appel à vos connaissances sur les gaz parfaits, vérifier que :  $R \approx 8,31$  SI
- 2) La loi des gaz parfaits peut s'écrire :  $p = \left( \frac{\rho}{M} \right) RT$ . Que représente  $\rho$  ? En donner la définition.
- 3) Montrer que l'on peut écrire la loi des gaz parfaits sous la forme :  $p = N k_B T$ , où  $N$  est le nombre de molécules par m<sup>3</sup> et  $k_B = \frac{R}{N_a}$ , avec  $N_a$  le nombre d'Avogadro.
- 4) L'équilibre hydrostatique peut s'écrire :  $dp = -\rho g dz$   
 Comment peut-on qualitativement justifier du signe négatif ?  
 Faire un schéma correctement annoté permettant d'expliquer cette relation.

## II – Atmosphère isotherme

1) A partir des relations précédentes, établir l'équation barométrique :

$$p_{(z)} = p_0 \cdot e^{-\frac{Mgz}{RT}}, \text{ où } p_0 \text{ est la pression atmosphérique à l'altitude } z_0 = 0 \text{ (} p_0 = 10^5 \text{ Pa)}.$$

2) Calculer le rapport :  $p_{(z)}/p_0$  à 10 000 m dans une atmosphère isotherme à  $T = 288 \text{ K}$ .

**Données :**  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

3) En déduire le rapport  $N_{(z)}/N_0$  à 10 000 m dans une atmosphère isotherme à  $T = 288 \text{ K}$ .

4) La troposphère (définie par la figure ci-dessus) peut-elle être considérée comme un milieu homogène et isotrope ? Justifier.

## III – Atmosphère adiabatique et allotropique

1) Pour une gaz diatomique, les capacités thermiques molaires sont telles que :  $c_{p,m} = 7/2 R$  et  $c_{v,m} = 5/2 R$ . Rappeler la définition du coefficient  $\gamma$ . Calculer sa valeur.

2) Sachant que  $pV^\gamma = \text{constante}$  pour une transformation adiabatique réversible, établir la relation équivalente sous la forme  $p^x T^y = \text{constante}$  en exprimant les exposants  $x$  et  $y$  en fonction de  $\gamma$ .

3) Établir la relation reliant  $\frac{dp}{p}$  à  $\frac{dT}{T}$  sous la forme :  $\frac{dp}{p} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{dT}{T}$

4) En utilisant certaines relations des parties I et III, établir l'expression du gradient de température adiabatique :  $\left(\frac{dT}{dz}\right)_{adia} = -\frac{(\gamma-1)Mg}{\gamma R}$ .

Calculer sa valeur pour l'air de la troposphère.

5) « *Mesdames et Messieurs, le commandant de bord est heureux de vous accueillir à bord. Notre montée est maintenant terminée et nous volons actuellement à 10 000 m. La température extérieure est de  $\theta^\circ\text{C}$ . Il faisait  $15^\circ\text{C}$  à notre départ.*

A partir de la figure, donner la valeur de  $\theta^\circ\text{C}$  et du gradient de température réel  $\left(\frac{dT}{dz}\right)_{réel}$  et le comparer au gradient adiabatique.

6) Les transformations réelles au sein de la troposphère ne sont ni isothermes, ni adiabatiques, mais se situent entre les deux. On les dit allotropiques (ou polytropiques).

$$pV^q = \text{constante} \quad 1 < q < \gamma$$

a) Par analogie avec la question III-4), donner la valeur de  $q$  à partir des valeurs lues sur la figure.

b) Donner la distribution réelle de température :  $T_{(z)}$

Donner la distribution réelle de pression :  $p_{(z)}$

c) En déduire que la pression  $p_{(z)}$  à 10 000 m d'altitude est de l'ordre de 26 kPa.