

4. L'air et la structure et dynamique des couches :

4.1. Composition chimique et structure de l'atmosphère

L'atmosphère est un mélange stable d'un nombre important de gaz d'origine variée. A l'exclusion de la vapeur d'eau, les constituants gazeux de l'atmosphère sont l'azote (78%), l'oxygène (21%), et l'argon (0.9%) (Tab.4). D'autres gaz, sont présents mais à l'état de traces.

Tableau 4. Constitution de l'atmosphère terrestre	
<i>Gaz</i>	<i>% en volume</i>
Diazote (N ₂)	78.084
Dioxygène (O ₂)	20.948
Argon (Ar)	0.934
Dioxyde de carbone (CO ₂)	0.035
Néon (Ne)	0.002
Hélium (He)	0.0005
Méthane (CH ₄)	0.0002
Constituants dont la composition varie	
<i>Gaz</i>	<i>% en volume</i>
Eau (H ₂ O)	0 à 7
Dioxyde de soufre (SO ₂)	0 à 0.0001
Ozone (O ₃)	0 à 0.00001

La vapeur d'eau constitue un cas particulier car sa proportion est extrêmement variable et peut atteindre 3% des gaz atmosphériques. Elle est essentiellement présente en dessous de 10 km d'altitude. D'autre part, l'ozone est en permanence formée et détruite vers 30 km d'altitude en moyenne et sa concentration peut atteindre 0.0001%. Les molécules d'ozone interagissent fortement avec le rayonnement solaire en absorbant certaines de ses longueurs d'onde.

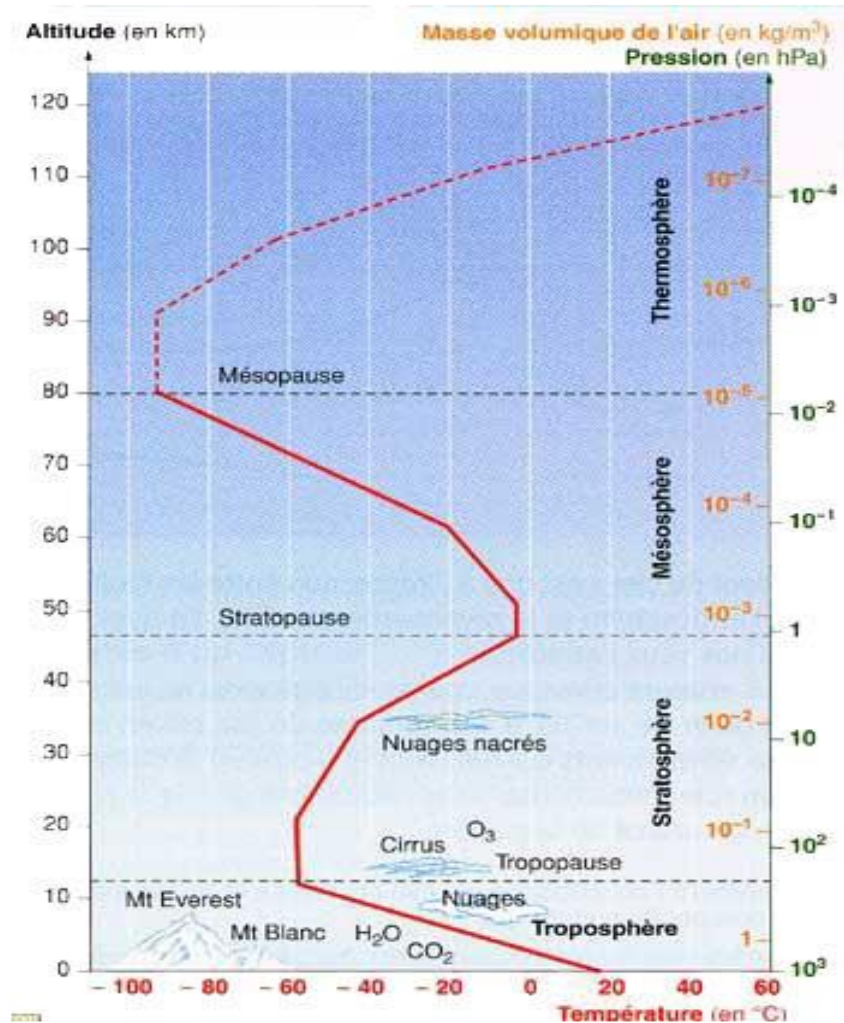


Figure 17. Evolution de la température dans les différentes couches atmosphériques

4.2. Caractères chimiques et thermiques des couches atmosphériques

4.2.1. La troposphère

- C'est une couche caractérisée par des mouvements turbulents (mouvements verticaux et horizontaux) ;
- Le brassage assure la constance de sa composition ;
- Cette couche regroupe les 3/4 de la masse atmosphérique ;
- Au sein de cette couche, on retrouve tous les corps solides, liquides et gazeux.
- La température décroît régulièrement de 0.65°C par 100 m à partir de 3 kms d'altitude et jusqu'au sommet de la troposphère ;
- Entre le sol et 2 à 3 kms, on observe fréquemment des isothermes ou des inversions (T° constante ou T° qui croît avec l'altitude)

4.2.1.1. Composition chimique de la troposphère

- Gaz variable avec une rapide décroissance en fonction de l'altitude
- Vapeur d'eau : 0 à 4% du volume $\frac{3}{4}$ répartis au dessus de 4 kms ;
- La vapeur d'eau n'existe pas au dessus de la troposphère ;

- La vapeur d'eau absorbe les radiations de grande longueur d'onde (infrarouge) émises par le soleil et la terre ;

- La vapeur d'eau évite la déperdition de la chaleur, elle participe donc à l'effet de serre ;

- En l'absence de vapeur d'eau, le rayonnement nocturne abaisserait la T° jusqu'à -100°C.

□ Gaz carbonique 0 à 0.03% en volume :

- Proviennent du volcanisme, combustions respiratoires

- La teneur du gaz carbonique était constante grâce à deux mécanismes : la fonction chlorophyllienne et les réactions d'équilibre entre carbonates et bicarbonates (en net augmentation depuis la révolution industrielle, près de 300% d'augmentation).

□ L'ozone :

- Se forme sous l'action du rayonnement ultra-violet ;

- Existe en quantité très faible et très variable.

□ Les composés sulfurés :

- SO₂ (dioxyde de soufre) et SO₄H₂ (acide sulfurique) ;

- Origine : combustion.

□ Les suspensions solides (poussières, cendres,...)

- Jouent un rôle climatique (noyaux de condensation).

4.2.2. La stratosphère

□ La stratosphère est comprise entre 12 et 80 kms d'altitude, on distingue :

- La stratosphère inférieure située entre 12 et 40 kms ;

- La stratosphère supérieure ou mésosphère située entre 40 et 80 kms.

4.2.2.1. Composition chimique

- Absence de vapeur d'eau ;

- Raréfaction importante des gaz : diminution de la pression (à 20 kms :50 hpa), 95% de la masse atmosphérique est située en dessous du seuil 20 kms ;

- La stratosphère contient la majeure partie de l'ozone atmosphérique (entre 15 et 40 km) : La couche atmosphérique se situe vers 25 kms, elle contient le maximum d'ozone : à ce niveau, l'oxygène absorbe l'ultra-violet (longueur d'onde comprise entre 0.12 et 0.20μ) :

Réaction : $O_2 + hv = 2O \rightarrow O_2 + O = O_3$

Avec O = oxygène atomique (atome libre) ; O₂ = oxygène moléculaire ; O₃ = Ozone (molécule formée de trois atomes) ; hv = photon, grain d'énergie lumineux.

4.2.2.2. Caractères thermiques de la stratosphère :

- La stratosphère est caractérisée par une croissance de la température avec l'altitude jusqu'à vers 50 kms. A partir de cette limite, la température décroît de nouveau avec l'altitude.

4.2.1.2. Caractères thermiques des deux couches

□ Au niveau de la troposphère :

- La température décroît avec l'altitude car l'air est réchauffé par le bas (absorption par les gaz à effet de serre du rayonnement infrarouge émis par le sol)

□ Au niveau de la stratosphère :

La présence simultanée de rayonnement ultraviolet et de dioxygène entraîne la formation d'ozone et la création d'une couche chaude (l'ozonosphère).

□ Sur le plan thermique, les deux couches s'opposent :

- Dans la troposphère, l'air chaud, moins dense est localisé à la base ; il a donc tendance à s'élever créant une convection marquée (accrue par les changements de l'eau) ;

- Les mouvements verticaux puis horizontaux ont pour effet de mélanger les différentes couches troposphériques ;

- Les contrastes entre les régions équatoriales et les régions polaires induit un transport méridien. La rotation de la terre dévie ce courant en circulation zonale d'Est ou d'Ouest selon les latitudes et les hémisphères.

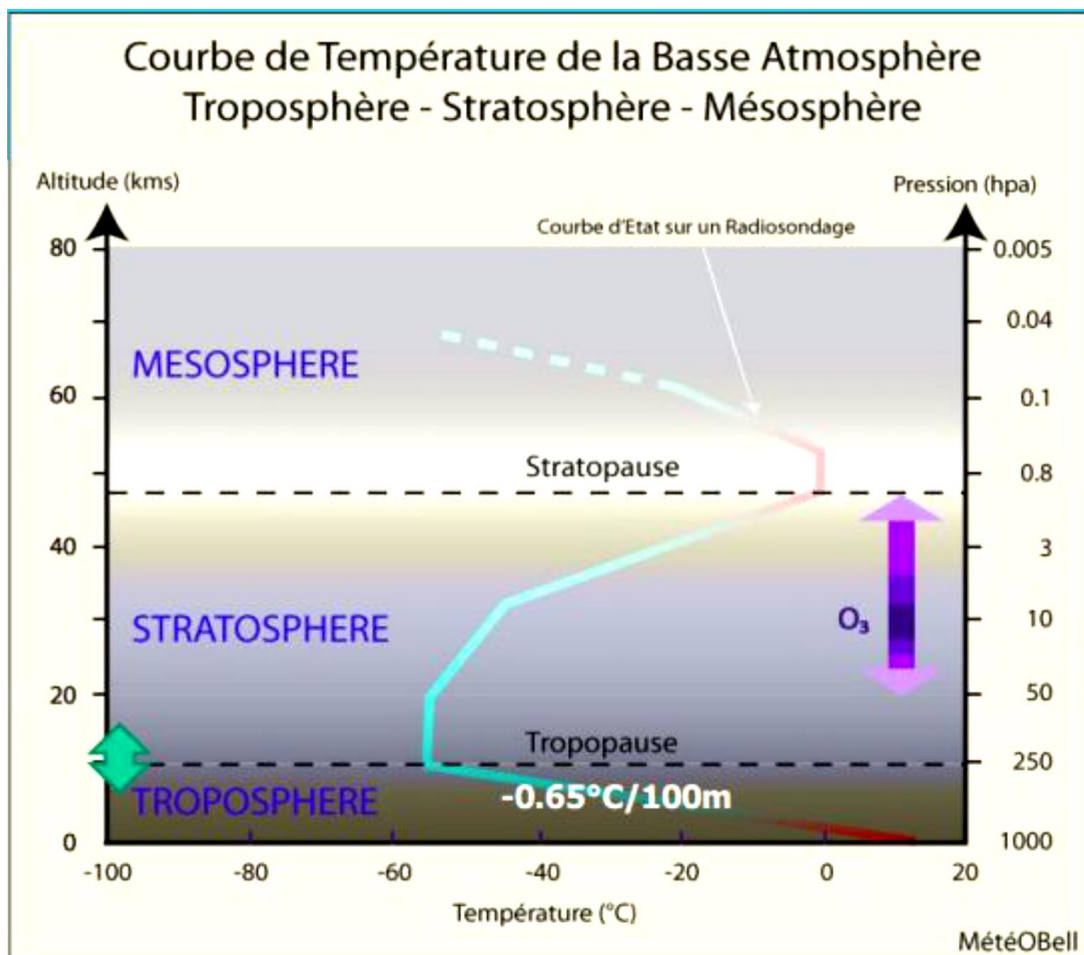


Figure 18 : structure thermique de la basse atmosphère

4.2.3. L'ionosphère

L'**ionosphère** d'une planète est une couche de son atmosphère caractérisée par une ionisation partielle des gaz. Dans le cas de la Terre elle se situe entre environ 60 et 1 000 km d'altitude et recouvre donc une partie de la mésosphère, toute la thermosphère et une partie de l'exosphère.

Le rayonnement ultraviolet solaire qui est à l'origine de l'ionosphère réagit sur une partie des molécules atmosphériques en les amputant d'un électron. Un plasma est ainsi créé qui contient des nombres égaux d'électrons et d'ions positifs. L'électron, qui est léger, reçoit une vitesse considérable de façon que le gaz électronique obtient une température élevée (de l'ordre de mille kelvins) bien au-dessus de celle des ions et des neutres. Il faut donc distinguer, en dehors de la température neutre, ces deux températures plasmatiques. Comme il y a plusieurs espèces d'ions, la composition ionique est un autre paramètre intéressant. Avec la densité électronique, qui est de première importance pour la propagation des ondes radio, on a donc quatre paramètres caractérisant le plasma ionosphérique.

4.2.3.1. Description

La densité de l'air qui constitue l'atmosphère diminue à mesure que l'on s'éloigne de la surface du sol. À 60 km d'altitude, la pression de l'air n'est plus que de 2 Pa. L'atmosphère au-delà de 60 km agit comme filtre absorbant du rayonnement solaire, des rayons ultraviolets et X dont l'énergie est complètement absorbée dans la thermosphère. Ainsi, la surface terrestre est protégée de ces rayons agressifs dont l'énergie se perd dans des réactions déchirant des molécules (dissociation) ou leur arrachant un électron (ionisation). La dissociation des molécules fait apparaître des atomes O (provenant de dioxygène O₂) d'une part, et N (de diazote N₂) d'autre part. La plupart de ces derniers disparaissent par formation de molécules NO. Une partie non négligeable de tous ces composants neutres est ionisée de façon qu'il y a au milieu des neutres une population de différents ions et une autre d'électrons libres au même nombre total.

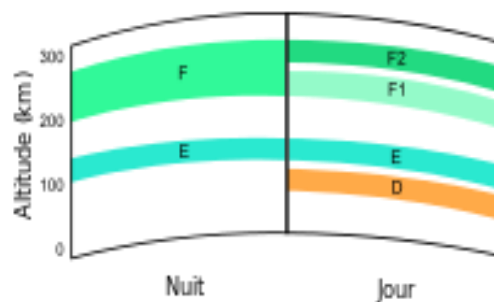
Une ionisation très localisée et pendant une très courte durée peut être provoquée par les chutes de météorites.

Dans la partie basse de l'ionosphère, la densité de molécules d'air est encore élevée, les collisions entre électrons et ions sont fréquentes ; un électron peut retrouver rapidement un ion positif : la *recombinaison* est rapide. Dans les couches les plus hautes, la recombinaison est plus lente et l'ionisation ne diminue que lentement après que le rayonnement solaire s'interrompt avec le coucher du Soleil.

4.2.3.2. Stratification

On distingue généralement trois couches aux propriétés propres vis-à-vis de la propagation des ondes.

- **Couche D** : altitude de 60 km à 90 km, pression 2 Pa, température $-76\text{ }^{\circ}\text{C}$, densité électronique 10^4 . Constituée d'ions polyatomiques. Absorbante pour les ondes de fréquence inférieure à quelques MHz, elle apparaît avec le lever du Soleil et disparaît immédiatement après le coucher de celui-ci.
- **Couche E**, ou couche de Kennely-Heaviside : altitude de 90 km à 120 km, pression 0,01 Pa, température $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, densité électronique 10^5 . Constituée d'oxygène et monoxyde d'azote moléculaires ionisés et d'ions météoritiques. Diurne et présente tout au long du cycle solaire. Elle réfléchit les ondes de quelques MHz jusqu'à une fréquence limite qui dépend de l'angle d'incidence de l'onde sur la couche et de la densité de celle-ci. Au cours de l'été, en moyennes latitudes, apparaissent parfois pendant quelques dizaines de minutes, voire quelques heures, des « nuages » fortement ionisés dans la couche E (on parle de sporadique E ou Es)
- **Couche F** : altitude de 120 km à 800 km, pression 1×10^{-4} Pa, température $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$, densité électronique 10^6 . Constituée d'atomes d'oxygène, d'azote et d'hydrogène. Très dépendante de l'activité solaire, elle présente un niveau d'ionisation très important pendant les maxima du cycle solaire. Son altitude fluctue en fonction du rayonnement solaire ; la couche F se décompose pendant la journée en deux sous-couches F1 et F2. Ces deux sous-couches se recombinent la nuit plusieurs heures après le coucher du Soleil mais il arrive qu'elles persistent toute la nuit lors des maxima d'activité solaire. Comme pour la couche E, le rôle de la couche F est essentiel pour la propagation des ondes courtes.



Couches de l'ionosphère