

L'ATMOSPHERE ET LES TYPES DE TEMPS

Cours3

L'ATMOSPHERE

L'**atmosphère** terrestre est l'enveloppe gazeuse entourant la Terre que l'on appelle air. L'air sec se compose de 78,087 % de diazote, 20,95 % de dioxygène, 0,93 % d'argon, 0,04 % de dioxyde de carbone et des traces d'autres gaz.

L'atmosphère primitive s'est formée il y a plus de 4 milliards d'années, alors que la Terre se refroidissait et que certains éléments très légers se sont échappés du magma originel pour former l'enveloppe atmosphérique de l'époque, composée essentiellement d'hydrogène et d'hélium. Le dégazage du magma qui s'est poursuivi a injecté ensuite des gaz plus lourds, et il y a environ 3,5 milliards d'années, l'atmosphère contenait beaucoup plus de carbone (sous forme de dioxyde de carbone ou CO₂) que maintenant. Dès l'apparition de la vie primitive sur terre (il y a 3,5 milliards d'années), et l'activation du processus de photosynthèse, l'atmosphère s'est lentement transformée; le dioxyde de carbone a été remplacé par l'oxygène, et petit à petit l'atmosphère a trouvé sa composition actuelle, à savoir environ 78 % d'azote (N₂), 18% d'oxygène (O₂), moins de 1 % d'argon (Ar), le reste étant composé de gaz à l'état de trace (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, etc.).

1. ORGANISATION

Une couche gazeuse, l'atmosphère, est maintenue par gravité autour du globe terrestre en rotation; sa pression et sa densité diminuent avec l'altitude. A 700 à 800 km au dessus du niveau de la mer commence le vide interstellaire: au delà, dans l'exosphère, les molécules ne sont plus maintenues par la gravité et s'échappent à travers la magnétosphère dans l'espace.

Selon qu'on s'intéresse à l'une ou l'autre de ses propriétés, on peut diviser l'atmosphère de différentes manières.

Si nous nous basons sur la **température**, nous observons au moins six couches différentes :

- La troposphère, entre 0 et 6-18 km d'altitude en fonction de la latitude où la température décroît avec l'altitude
- La stratosphère, entre 6-18 et 50 km d'altitude où la température augmente avec l'altitude
- La mésosphère, entre 50 et 85 km d'altitude où la température décroît avec l'altitude
- La thermosphère, entre 85 et environ 800 km d'altitude où la température augmente avec l'altitude
- L'exosphère, à partir de 800 km d'altitude où l'atmosphère s'évade dans l'espace

Sur base de la **composition** nous pouvons diviser l'atmosphère en deux parties :

- L'homosphère, entre 0 et 85 km d'altitude, elle est constituée de la troposphère, de la stratosphère et de la mésosphère

- L'hétérosphère, à partir de 85 km d'altitude, elle regroupe la thermosphère et l'exosphère.

Enfin, nous pouvons diviser l'atmosphère selon ses **propriétés électriques** :

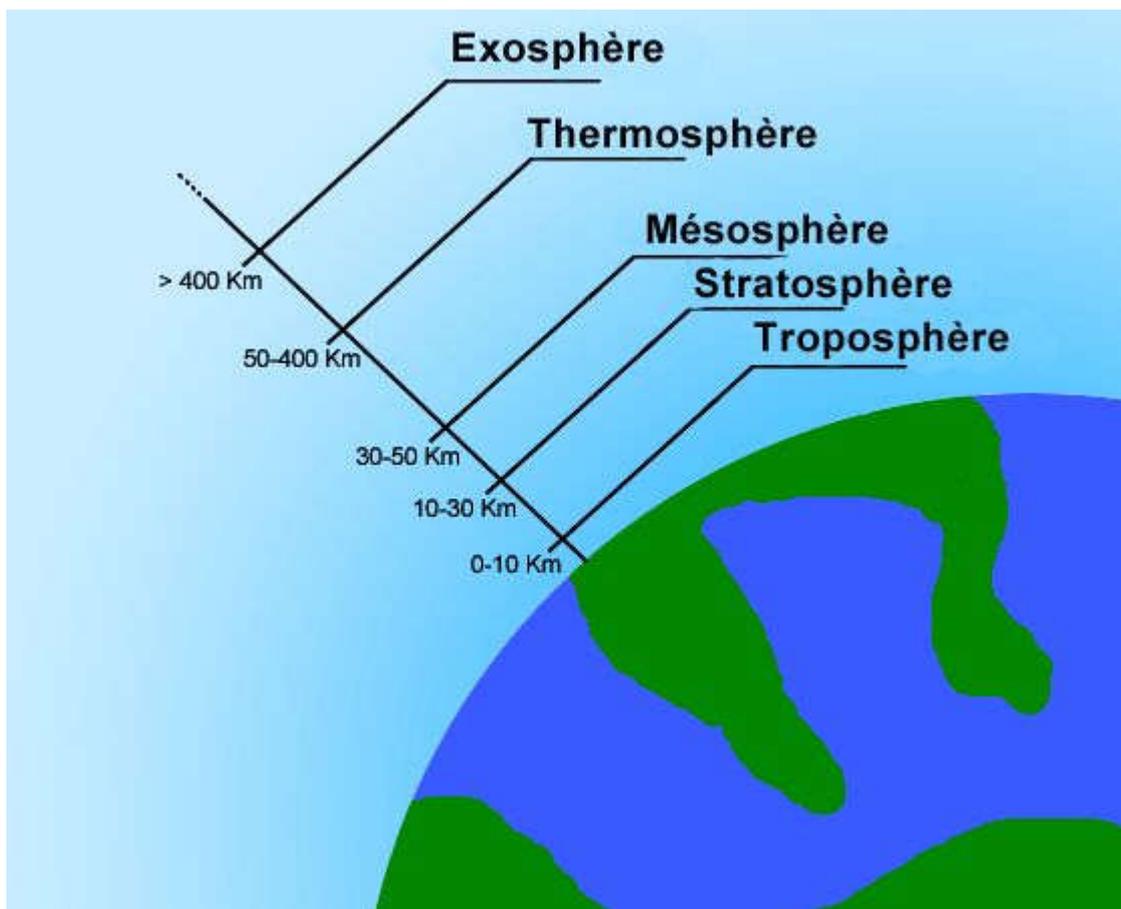
- L'ionosphère, qui s'étend entre la mésosphère et la thermosphère jusqu'à 800 km d'altitude

- l'exosphère, qui commence à 800 km d'altitude

- La couche d'ozone, qui se situe entre 10 et 50 km d'altitude

- La magnétosphère qui représente la région dans laquelle le champ géomagnétique interagit avec le vent solaire

- Les ceinture de radiations de Van Allen où se concentrent les particules émises par le Soleil.



Par commodité, on retiendra:

- * 0 à 1000 km: atmosphère
- * 1000 à 40000 km: exosphère et magnétosphère

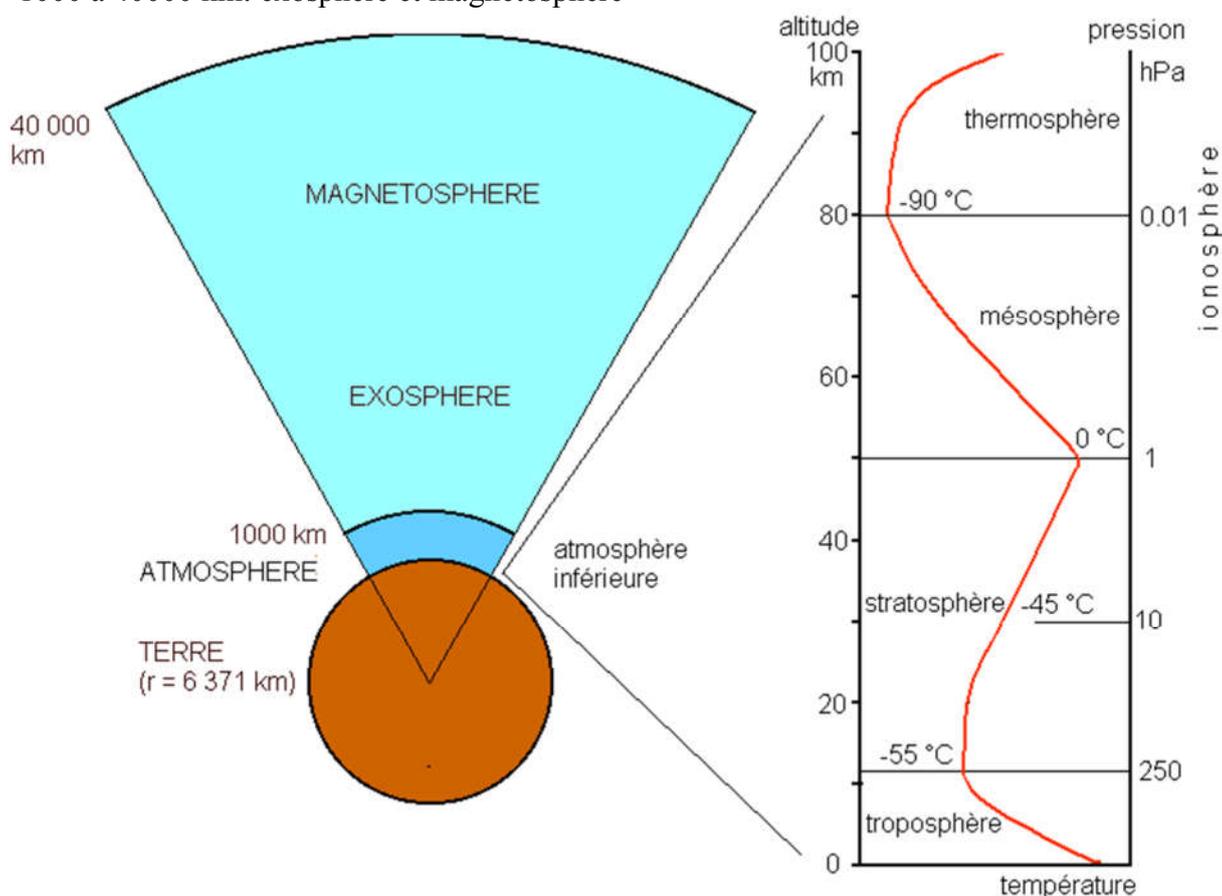


Figure 1: les principales enveloppes du globe terrestre .

Entre 0 et 100 km d'altitude, les variations de température permettent de subdiviser l'atmosphère en plusieurs couches superposées:

* 0 - 7 km (au pôle) à 16 km (à l'équateur): **la troposphère**, avec des nuages, des précipitations, et des variations notables de pression; la température diminue régulièrement jusqu'à - 55°C; sa limite supérieure est la tropopause. Ses mouvements déterminent les climats; elle sera étudiée plus en détail au paragraphe suivant.

* jusqu'à 50 km: **la stratosphère**; la température cesse de diminuer dans la stratosphère inférieure; elle augmente entre 30 et 50 km pour atteindre 0°C au niveau de la stratopause. La vapeur d'eau y est presque absente (pas de nuage), la pression y est très basse (50 hPa à 20 km pour 1013 hPa au niveau de la mer); 95% de la masse de l'atmosphère est située au dessous de 20 km. La couche d'ozone est située au sommet de la stratosphère inférieure vers 25 à 30 km;

les molécules d'oxygène absorbent les ultra-violet courts (au dessous de 0,29 μm) et produisent des atomes libres d'oxygène qui se recombinaient aux molécules pour donner l'ozone.

* 50 à 700 ou 1000 km: **l'ionosphère**: la température y est variable, elle diminue généralement jusqu'à -90°C , mais on a signalé des températures supérieures à 100°C vers 55 km. A partir de 80 km, la température peut atteindre 300°C car les radiations courtes du soleil ne sont pas ré-émises sous forme de rayonnement de longue longueur d'onde (Infra-Rouges). Les atomes d'oxygène et d'azote sont ionisés sous l'action des ultra-violet solaires et des rayons cosmiques et donnent les aurores boréales et australes. Il y a plusieurs zones fortement ionisées qui conduisent l'électricité et réfléchissent les ondes radio vers le sol. L'ionosphère est divisée en mésosphère (50 à 80 km) et thermosphère. Vers 800 km, on ne compte plus que 106 atomes au cm^3 et seulement 1 atome par cm^3 vers 2400 km.

2. COMPOSITION CHIMIQUE

La masse totale de l'atmosphère est estimée à $5,29 \cdot 10^{18}$ kg, masse négligeable comparée à celle des mers ($1,35 \cdot 10^{21}$ kg) ou de l'ensemble du globe ($5,98 \cdot 10^{24}$ kg). Les gaz et la vapeur d'eau en sont les constituants transparents. Les particules d'eau et de glace donnent les nuages, le brouillard et les précipitations. Les fines particules solides sous forme d'aérosols forment les brumes et le smog. C'est cette couche gazeuse qui rend la Terre habitable.

Constituant	Formule	Abondance (volume)
Azote	N ₂	78,084 %
Oxygène	O ₂	20,984 %
Argon	Ar	0,934 %
Dioxyde de Carbone	CO ₂	360 ppm
Néon	Ne	18,18 ppm
Hélium	He	5,24 ppm
Krypton	Kr	1,14 ppm
Hydrogène	H ₂	0,5 ppm
Xénon	Xe	0,089 ppm
Méthane	CH ₄	1,7 ppm
Oxyde d'Azote	N ₂ O	0,3 ppm

Figure 2: principaux constituants chimiques de l'air sec au niveau de la mer (d'après DEGENS).

On voit que 3 gaz, l'azote, l'oxygène et l'argon, constituent presque 100% du total; les autres corps ne représentent chimiquement que des impuretés. Leur proportion respective est constante verticalement.

D'autres constituants montrent de grandes variations en fonction de l'altitude, la latitude, l'activité humaine, les saisons. C'est le cas de l'eau, uniquement présente dans les couches basses (troposphère), des composés soufrés et du dioxyde de carbone provenant des oxydations... En haute altitude, les gaz les plus légers augmentent en quantité relative

	Quantité d'azote (10 ²⁰ g)	Azote total (%)
Atmosphère	38,6	87,1
Hydrosphère	0,3	0,7
Croûte, sédiments	5,2	11,7
Croûte, r. magmatiques	0,2	0,5
TOTAL	44,3	100

Figure 3: quantité d'azote dans l'atmosphère, l'hydrosphère et la croûte terrestre (d'après DEGENS).

On admet maintenant que l'oxygène atmosphérique représente un sous-produit de la photosynthèse. Ce sont des organismes chlorophylliens qui dès le Précambrien (- 3 milliards d'années) ont utilisés l'énergie des photons pour combiner le CO₂ et l'H₂O en matière organique avec dégagement d'O₂. L'oxydation de la matière organique, notamment au cours de la respiration, libère de nouveau le gaz carbonique et l'eau. L'équilibre entre ces deux processus conditionne la teneur de l'atmosphère en oxygène et en gaz carbonique. Depuis une centaine d'année, l'utilisation croissante des combustibles fossiles et accessoirement le déboisement ont produit une augmentation régulière de la teneur en CO₂ dans l'air et contribué à l'effet de serre (augmentation de la température moyenne par plus grande absorption des radiations solaires). Le cycle du carbone dépend de l'action des organismes (respiration, photosynthèse, fixation sous forme de carbonates...) et des émanations volcaniques. L'action du CO₂ atmosphérique s'ajoute à celle de la vapeur d'eau pour absorber l'énergie des infrarouges. La teneur atteint actuellement 360 ppm; on estime que le doublement de la teneur en CO₂ entraînerait un réchauffement de 4,5°C.

L'ozone est réparti dans la stratosphère (90%) et dans la troposphère (10%). Dans la stratosphère, il est abondant vers 25 km; il provient de la photodissociation du dioxygène. Il

absorbe les U.V. Il est détruit notamment par les CFC (ou Fréons) et le Chlore. Dans la troposphère, il provient du transfert de la stratosphère et des activités humaines . Sa concentration a été multipliée par 4 depuis le début du siècle. C'est un gaz à effet de serre et fort pouvoir oxydant. .

On estime que le doublement de la teneur en CO₂ entrainerait un réchauffement de 4,5°C.

. **La Composition de l'air** :

a) : ***L'air sec est composé essentiellement d'Azote (78,09%) et d'Oxygène (20.95%).*** Le un pour cent restant comporte d'autres gaz, tel que : Argon, Anhydride carbonique, Néon, Hélium, Krypton, Hydrogène, Xénon, Ozone et le Radon. La composition de l'air sec est pratiquement constante en terme de proportion jusqu'à une altitude de 80 kilomètre. Cependant on note que: la teneur de l'air en gaz carbonique est très variable, elle dépend de l'activité industrielle dans les basses couches, la proportion d'Ozone au voisinage de la mer est très faible, elle devient plus importante en altitude dans la couche d'Ozone qui s'étend en moyenne entre 15 et 40 kilomètres

b) ***la vapeur d'eau:*** Le pourcentage de la vapeur d'eau dans l'air est très variable dans le temps et dans l'espace. Il dépend de plusieurs conditions. Mai le volume occupé par la vapeur d'eau ne peut dépasser 4 à 5%. On note par ailleurs que l'eau existe dans l'air sous ses autres formes: état solide et liquide constituant ainsi les divers types de nuages.

c) ***Les impuretés (pollution atmosphérique):*** Les impuretés dans l'atmosphère sont de deux sortes: Les aérosols: les causes sont soit naturelles (vents de sable, poussière volcanique, pollen, ..) soit dues aux activités humaines (fumés d'usines, ...) Les gaz polluants: anhydride sulfureux, oxyde de carbone, hydrocarbure, les Chloro-Fluoro-Carbones (CFCs), les Hydro-Fluoro-Carbones (HFCs), ...

3. LA TROPOSPHERE

3.1 Composition

C'est une couche troublée par des mouvements d'apparence désordonnée dans le sens vertical et horizontal. Du fait de ce brassage incessant, sa composition chimique est assez constante; elle contient en particulier les 3/4 de la masse de l'atmosphère, tous ses corps solides (poussières) et toute l'eau sous forme gazeuse, liquide et solide (aiguilles de glace). Sa pression et sa température décroissent avec l'altitude; on compte une diminution régulière de la température, en moyenne de **0,65 °C par 100 m à partir de 3000 m** d'altitude, mais le gradient dépend également de l'humidité.

La vapeur d'eau est à l'origine des nuages et des précipitations (pluie, neige, grêle) qui caractérisent le temps qu'il fait et le climat. Elle absorbe les radiations de grande longueur d'onde (infra-rouges) émises par le soleil et par la Terre et évite la déperdition de chaleur vers l'espace: on sait que les nuits sont beaucoup plus froides quand le ciel est pur, c'est à dire pauvre en eau. On estime que si la troposphère ne contenait pas de vapeur d'eau, le rayonnement nocturne abaisserait la température jusqu'à -100 °C. L'humidité spécifique d'une masse d'air est mesurée par le rapport du poids de l'eau contenue sur le poids de l'air. L'humidité relative est le rapport du poids de l'eau contenue sur le poids de l'eau contenue en

atmosphère saturée. L'humidité à saturation varie avec la température de l'air: au niveau du sol, elle est de 5 g d'eau par m³ d'air à 0°C mais 30 g par m³ à 30 °C.

Les suspensions solides (aérosols) comprennent les poussières, les fumées, les cendres, les sels et autres corps chimiques, les microorganismes. Les poussières proviennent en grande partie de la désagrégation des roches; elles peuvent être transportées très loin par le vent (poussières sahariennes atteignant l'Europe). Les fumées sont des particules non brûlées provenant des combustions incomplètes domestiques ou industrielles. Les cendres sont des particules incandescentes transportées par les gaz chauds issus des combustions industrielles et des volcans. Au bord des littoraux marins, l'air est chargé d'iode et de chlorure de sodium. Toutes ces particules solides, de taille très petite, 1/1000ème de µm environ, constituent des noyaux de condensation pour la vapeur d'eau lorsque l'air en est sursaturé: chaque particule s'entoure d'un film d'eau et peut servir de vecteur aux microorganismes. Ces brouillards sont fréquents dans l'atmosphère des villes chargées d'aérosols (notamment issus des moteurs diesel).

3.2. Humidité et condensation

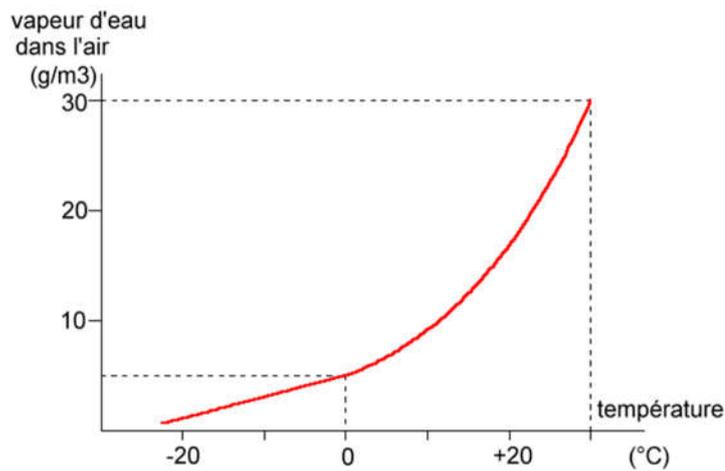


Figure 4: quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air: elle augmente selon la température. Une masse d'air chaude peut contenir plus de vapeur qu'une masse froide.

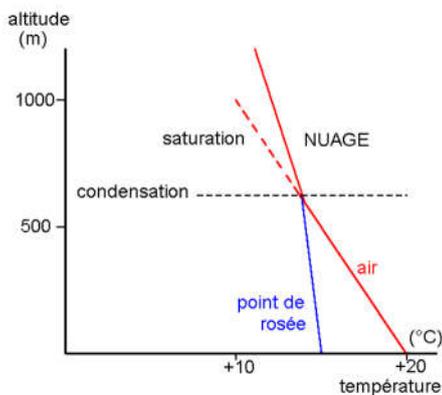


Figure 5: condensation de l'air humide en altitude. Le refroidissement de l'air sec est de -1°C par 100 m (-0,5 à 0,8 °C par 100 m pour l'air humide) alors que la température du point de condensation de la vapeur (« point de rosée ») ne diminue que de 0,2 °C par 100 m. La vapeur se condense et forme des nuage à une altitude qui dépend de la température et de l'humidité de la masse d'air initiale.

Informations générales	
Épaisseur	800 km
<u>Hauteur d'échelle</u>	7,7 km
<u>Pression atmosphérique</u>	101 325 Pa (au niveau de la mer)
Masse	5,1480×10 ¹⁸ kg (8,618×10 ⁻⁷ masseterrestre)
Composition volumétrique	
<u>Diazote (N₂)</u>	78,084 %
<u>Dioxygène (O₂)</u>	20,953 %
<u>Argon (Ar)</u>	0,9340 %
<u>Dioxyde de carbone (CO₂)</u>	400 ppmv ¹
<u>Néon (Ne)</u>	18,18 ppmv
<u>Hélium (He)</u>	5,24 ppmv
<u>Méthane (CH₄)</u>	1,745 ppmv
<u>Krypton (Kr)</u>	1,14 ppmv
<u>Dihydrogène (H₂)</u>	0,55 ppmv
<u>Vapeur d'eau (H₂O)</u>	de < 0.5 % à ~ 5 % (très variable)

