

CHAPITRE - II – L'ATMOSPHERE

I – INTRODUCTION ET APPROCHE DE DEFINITION

Du grec *atmos* (vapeur) et *sphaira* (sphère) . L'atmosphère est la couche d'air qui environne et entoure la terre (le globe terrestre) . Cette couche d'air ou couche gazeuse est en perpétuel mouvement et agitation et de plus est entraînée par la rotation de la terre (le globe terrestre) . L'air comme tous les gaz , a une densité ; elle diminue avec l'altitude. Cette grande couche d'air qui constitue l'atmosphère a une épaisseur ou une hauteur considérable , d'environ 1500 kilomètres . Cet air devient plus dense au fur et à mesure que l'on se rapproche de la terre (globe terrestre). Au niveau du sol , un mètre cube d'air pèse en effet des milliards de fois plus qu'à la limite extérieure de l'atmosphère où l'air est tellement raréfié qu'il se confond avec les particules de l'espace extérieur .Aussi , faut il signaler que la majorité des phénomènes atmosphériques se produisent ou se manifestent dans une étroite bande de cercle située à proximité de la terre.

II- LA COMPOSITION DE L'AIR

L'air est composé de constituants dont la proportion en volume est permanente , et de constituants dont la proportion varie.

1) Les constituants permanents

Pour un volume d'air donné , on trouve :

78 % de volume d'azote , 21 % de volume d'oxygène , 0,9% de volume d'argon

Et un certain nombre de gaz rares à l'état de traces c'est à dire de très petits pourcentages. Tous ces constituants ont une concentration permanente en surface et en altitude .

2) Les constituants variables

a) La vapeur d'eau

La vapeur d'eau , a , dans l'air une concentration volumétrique qui varie de 0 à 5%. Cette proportion diminue très vite avec l'altitude . La vapeur d'eau joue un rôle capital dans la plupart des phénomènes atmosphériques .

b) Le gaz carbonique

Il est dû à la respiration des plantes et des animaux, y compris les êtres humains, à l'oxydation et aux combustions des matières organiques . il a une concentration variable dont la moyenne est de 0, 3% de l'air.^

.

c) Les impuretés de l'atmosphère

Les impuretés de l'atmosphère comprennent des poussières , des fumées , des particules de sels provenant de l'évaporation des eaux salées des mers et des lacs ainsi que des eaux douces (fleuves , rivières , étangs et lacs continentaux) mais aussi de tous les corps contenant des réserves d'eau ou constituant une réserve d'eau non négligeable . Ces impuretés exercent une influence comme noyaux de condensation ou comme particules électrisées ou ions et affectent aussi la visibilité .

3) Position , emplacement ou situation des constituants de l'air dans l'atmosphère.

L'air est composé de plusieurs gaz que les mouvements constants et /ou irréguliers de l'atmosphère, la rotation du globe terrestre, mélangent si bien que l'on retrouve dans les mêmes proportions , les gaz lourds jusqu'à une altitude d'environ 70 kilomètres. Par ailleurs , entre 70 et 80 km d'altitude on trouve les gaz les plus légers . On peut dresser pour ce faire , un tableau des emplacements des gaz principaux de l'atmosphère en fonction de l'altitude .

LISTE DES PRINCIPAUX GAZ , QUANTITE OU POURCENTAGE ET LEUR EMLACEMENT DANS DIFFERENTES ALTITUDES DANS L'ATMOSPHERE .

ALTITUDE	GAZ	POURCENTAGE DE VOLUME
+ 800 KM	Hélium	50%

	hydrogène	50%
+70KM	Ozone	Variable à traces
	Azote ionisée	Variable à traces
	Autres gaz ionisés	Variable à traces
En dessous de 70 KM au SOL	Azote	78%
	Oxygène	21%
	Argon	0,93%
	Gaz carbonique	0,03%
	Autres gaz	0,04%

III – LES DIFFERENTES COUCHES DE L'ATMOSPHERE

1) INTRODUCTION ,GENERALITES

IL est difficile de définir une limite précise à l'atmosphère , car on passe insensiblement d'un air de plus en plus raréfié au vide interplanétaire.

L'observation des nuages lumineux , des étoiles polaires , ou filantes et des aurores polaires, dont certains rayons dépassent 1000 Km montre que l'atmosphère s'étend au moins ou à peu près jusqu'à cette limite . Grace aux mesures de spectres de propagation des ondes radio et sonores , grâce aux fusées , on a obtenu des renseignements très intéressants sur la haute atmosphère (1000 à 1500 Km) qui équivaut à peu près au sixième du rayon terrestre (6371 Km). On a su aussi que les 30 premiers kilomètres contiennent les 99 % de la masse d'air. De nos jours , les chercheurs explorateurs, astronautes et cosmonautes et les météorologues distinguent quatre(4) couches principales de l'atmosphère :

- L'exosphère appelée encore la thermosphère
- L'ionosphère appelée encore ,mésosphère
- La stratosphère
- La troposphère

Toutes ces couches peuvent être subdivisées en sous couches et sont limitées entre elles par des zones étroites servant de transition ou d'intermédiaire.

2) LA TROPOSPHERE

C'est la couche de l'atmosphère, la plus voisine de la terre, . Son épaisseur varie entre 5 et 20 Km . Cette épaisseur est d'environ 5 Km au niveau des pôles ,(Nord et Sud) et augmente graduellement jusqu'à un maximum de 18 à 20 Km au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur. La troposphère contient généralement la plupart des nuages et est le siège de tous les phénomènes atmosphériques qui se produisent. La température y décroît régulièrement de 6 degré Celsius par kilomètre de montée. Cette couche contient en outre les 3 /4 de l'air atmosphérique et la presque totalité de la vapeur d'eau. L'eau contenue dans l'air chaud qui s'élève , provient des mers et de la terre. Sous l'effet de la pression qui décroît avec l'altitude , l'air en s'élevant , se dilate progressivement et se refroidit jusqu'à ce que la condensation forme des nuages. Ces mouvements permanents qui agitent la troposphère sont la cause des variations du temps.

LA TROPOPAUSE

C'est une zone de démarcation entre la stratosphère et la troposphère . Elle s'étend de l'équateur aux pôles en trois strates se chevauchant . Ces strates recouvrent dans chaque hémisphère , les différentes zones climatiques : tropicale , extratropicale, arctique. A l'intersection des strates , la tropopause présente trois brèches dont l'existence est étroitement liée au phénomène de courant- jets . Ces courants rapides de hautes altitudes , sont dus principalement aux différences importantes de température observées aux intersections des strates et plus particulièrement entre les strates arctiques et extratropicales. Les courants jets se présentent sous forme de tubes et soufflent généralement de l'Ouest à l'Est à des vitesses variant de 100 à 250 Km /h . On a même déjà observé des vitesses de 400km /h .

La force du courant jet décroît du centre vers l'extérieur et sa largeur atteint 500 Km, sur une hauteur de 7 Km. Le nombre et le trajet des courants- jets varient d'un ou d'une saison à l'autre. Les avions qui se dirigent vers l'Est tentent d'utiliser ces

courants pour augmenter leur vitesse alors que ceux qui voyagent en sens inverse ont intérêt à les éviter.

3) LA STRATOSPHERE

Cette couche de l'atmosphère va de la tropopause jusqu'à environ 50 Km, soit une épaisseur de 35 Km . A cette altitude , les rares mouvements de l'air s'effectuent dans le sens horizontal. On y observe peu de phénomènes atmosphériques et météorologiques . Dans cette couche la température reste à peu près uniforme . La température décroît presque de 0,6 degré Celsius quand on monte à 100 mètres d'altitude. Il faut signaler que dans cette couche ,les baisses de température en fonction de l'augmentation de l'altitude sont moins marquées que dans la troposphère. De plus , dans la stratosphère , l'air raréfié offre peu de résistance aux avions ce qui leur permet de voler en consommant moins de carburant (kérosène)

NB : entre la stratosphère et l'ionosphère , se situe la stratopause qui est aussi la zone de transition entre ces deux couches principales. Sa caractéristique est voisine de la stratosphère par le bas et voisine de l'ionosphère par le haut .

4) L'IONOSPHERE

Cette couche est située au-dessus de la stratosphère et s'élève jusqu'à 750 Km d'altitude . L'air ordinaire y est extrêmement rare . Les particules d'air sont ionisées , ce qui signifie qu'elles sont électrisées ou électrifiées par détachement au niveau atomique d'un électron ou charge d'électricité négative .Ce sont les rayons provenant de l'espace extérieur qui , en bombardant les particules d'air , sont responsables de ce phénomène . L'ionosphère se divise , selon l'altitude en trois zones principales :

- La zone D dont l'épaisseur va de 50 à 90 Km
- La zone E dont l'épaisseur va de 90 à 120 Km
- La zone F dont l'épaisseur va de 240 à 320 Km

Du fractionnement des couches E et F résultent d'autres sous-couches c'est à ces deux couches E et F qu'est due principalement la réflexion des ondes radio

C'est cette propriété de réfléchir les ondes radio qui permet de capter des émissions radio , bien au-delà de l'horizon. En effet , les ondes radio , qui se

propagent en ligne droite , sont déviées vers la terre lorsqu'elles rencontrent les couches ionisées.

NB : la zone de transition entre l'ionosphère et l'exosphère est relativement étroite voire inaperçue car on passe de l'ionosphère à l'exosphère sans grand changement de caractéristiques vues que l'exosphère est très large par rapport aux autres couches en dessous .

5) L'EXOSPHERE

L'exosphère est la couche la plus haute et la plus étendue de l'atmosphère,. Elle s'étend à partir de 750 Km d'altitude . Parmi les phénomènes qu'on peut y observer,

L'aurore boréale est sans doute la plus connue .Ce phénomène qu'on observe dans les régions nordiques près du pôle nord , se présente comme des nuages en forme de rideaux qui se déplacent rapidement. On pense qu'il résulte des rayons cosmiques , qui viennent frapper les particules ionisées de l'ionosphère se trouvant à des altitudes variant entre 80 et 1000 Km .

Lorsqu'on regarde vers l'ouest , peu après le coucher du soleil ,il arrive qu'on puisse observer les nuages les plus élevés . On les appelle nuages nocturnes lumineux . Situés à environ 80 Km d'altitude, ils se composent probablement de poussières météoriques et sont de couleur dorée près de l'horizon et bleuâtre à leur sommet . Ces nuages se déplacent à des vitesses pouvant aller jusqu'à 600 Km/h

Les météorites sont des corps qui viennent de l'extérieur de l'atmosphère et qui deviennent incandescents au contact des rares molécules d'air de cette zone.

La grande majorité des météorites se désintègrent complètement avant d'atteindre l'altitude de 50 Km. Un tout petit nombre atteint , le sol .

NB : l'exosphère est stratifiée ou divisée en trois étages pour atteindre l'espace interplanétaire dans lequel il n'y plus d'attraction terrestre . L'atmosphère prend fin à la limite supérieure de l'exosphère .

III-EVOLUTION OU VARIATION DES PARAMETRES DE LA STRUCTURE OU DES COUCHES DE L'ATMOSPHERE .

1) LE GRADIENT VERTICAL DE LA TEMPERATURE

L'étude des variations de la température avec l'altitude présente une grande importance pour la prévision des perturbations atmosphériques. Celles-ci étant provoquées par la rencontre des masses d'air de températures différentes. Les observations effectuées dans les stations de montagne avaient depuis longtemps montré que, d'une manière générale, la température de l'air décroît lorsqu'on s'élève. Le perfectionnement des méthodes et des instruments de mesure (ballon sondages, radio sondages, etc.) a permis de préciser la distribution verticale de température. On appelle gradient vertical de la température, le taux de décroissance pour un changement de niveau de 100 mètres en montant en altitude. Sa valeur est de 0,6 degré Celsius en moyenne, jusqu'à l'altitude de 10 kilomètres, à partir de laquelle la température reste sensiblement constante.

Ainsi dans troposphère la température décroît régulièrement de 6 degrés Celsius Par kilomètre. Mais dans la stratosphère la température reste à peu près uniforme.

Dans la pratique, le gradient vertical de la température varie avec la nature des masses d'air et la situation synoptique de la région où a lieu le sondage.

NB : on pourra parler de gradient horizontal de température lorsqu'on se déplace horizontalement d'un point à un autre ;

Ainsi on pourra parler de gradient vertical de pression, gradient horizontal de pression etc etc

2) LE PHENOMENE D'INVERSIONS

Il se produit parfois en altitude, dans des couches d'épaisseur limitée, (c'est à dire petite), des augmentations momentanées de température appelées inversions.

Ce phénomène est à peu près constant la nuit, dans les basses couches de l'atmosphère, le sol se refroidissant plus vite que l'air qui le surmonte. Les

inversions de température jouent un rôle important dans la formation des nuages et des brouillards. Aussi, l'altitude et la température de la tropopause ne sont pas les mêmes en tous les points du globe terrestre. Sa hauteur croît du pôle (5 à 7 kilomètres) ; sa température varie en sens inverse de -50 degrés Celsius à -85 degrés Celsius. La température de la troposphère est donc plus élevée aux pôles qu'à l'équateur. Enfin l'altitude de la tropopause varie :

- Avec les saisons (elle est plus élevée en été qu'en hiver dans les régions tempérées)
- Avec la nature et la structure des masses d'air.

Ainsi l'observation des divers phénomènes conduit à admettre que la température croît de nouveau à partir de 30 à 40 kilomètres. C'est dans cette région de la haute atmosphère que se produisent les aurores boréales et les phénomènes d'ionisation.

IV- LES DIFFERENTES METHODES DE STRATIFICATIONS DE L'ATMOSPHERE .

Les résultats des explorations spatiales permettent de dire qu'autour de notre planète, on peut distinguer l'atmosphère où l'air est suffisamment dense pour qu'on y applique la physique des gaz et l'exosphère (région de transition avec le vide interplanétaire).

Sous les effets combinés de :

- La pesanteur et de
- La compressibilité de l'air (pression, température, volume)

L'atmosphère est stratifiée.

1) LA STRATIFICATION DE L'ATMOSPHERE

La stratification c'est le découpage, la graduation, la division, la répartition selon un paramètre, selon une variable de l'atmosphère depuis le sol jusqu'à l'altitude de la limite interplanétaire (exosphère). Ce découpage se fait en couches horizontales

Superposées les unes sur les autres sur le plan vertical, des basses altitudes jusqu'aux très hautes altitudes en tenant compte ou en prenant pour paramètre ou variable soit :

- L'altitude

- La pression
- La température
- Le volume
- La densité

De l'air qui surmonte le lieu . Ainsi on peut faire plusieurs stratifications selon un paramètre donné . Dans la pratique , on trace une courbe selon le paramètre donné et on fait correspondre à chaque valeur de la courbe, une couche donnée. Ainsi on peut envisager la stratification selon l'altitude, la stratification selon la pression, la stratification selon la température.

2) STRATIFICATION PAR L'ALTITUDE

Elle s'identifie à la différenciation ou au changement de couches atmosphériques lorsqu'on monte en altitude.

3) STRATIFICATION PAR LA PRESSION , PAR LA DENSITE

Lorsqu'on monte en altitude la pression décroît à une allure qu'on appelle allure exponentielle. IL en est de même pour la densité. Cela jusqu'à une altitude de 1000 Km environ au dessus du sol . IL en résulte l'observation que la moitié de la masse d'air atmosphérique est en dessous des 5 à 10 Km d'altitude et que les 9/10 de toute la masse d'air atmosphérique est en dessous des 15 à 25 Km d'altitude.

C'est ce qui explique la diminution rapide ou exponentielle de la densité de l'air lorsqu'on monte en altitude .(voir exemple de courbe ci jointe dont l'allure montre

la répartition de la pression dans l'atmosphère)

4) STRATIFICATION PAR LA TEMPERATURE

Pour la stratification par la température , à cause de la non linéarité de la courbe tracée en fonction de la température , il est plus aisé de procéder par couches atmosphériques.

a) Au niveau de la troposphère

Au niveau de la troposphère , lorsqu'on monte en altitude la température décroît en moyenne de $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ du sol à la tropopause .Cette

décroissance est relativement régulière , mais toutefois des inversions de faibles épaisseurs ou dans les couches de faibles épaisseurs , des iso thermies sont à noter pour

Deux raisons :

- Au voisinage du sol sous l'influence de l'échauffement ou le refroidissement de celui-ci.
- En altitude (changement de masses d'air , nuages, subsidences) . La tropopause est une surface de discontinuité où la température cesse de décroître.

b) Répartition méridienne moyenne de la tropopause

Tout le long d'un méridien entourant le globe terrestre , la tropopause se situe :

- Au niveau de l'équateur entre 17 et 18 Km d'altitude et entre -70°C et -80°C de température.
- Au niveau des latitudes élevées entre 6 à 10 Km d'altitude et entre - 40°C et - 50°C . de température .
- De la zone intertropicale aux latitudes élevées c'est-à-dire les latitudes moyennes , le niveau moyen de la tropopause oscille autour d'une altitude de
- 10 Km en fonction des masses d'air en présence .

c) au niveau de la stratosphère

La température décroît de la tropopause jusqu'à un minimum compris entre

-20°C et +20°C situé vers 50 Km.

d) au niveau de la mésosphère

de 50 à 80 Km , la température décroît jusqu'à -90°C .

e) Au niveau de la thermosphère

La température commence à croître jusqu'à +70°C et continue jusqu'à inversion future .

V- LES MOYENS D'EXPLORATION

Les moyens d'exploration sont variés et divers , mais on peut les regrouper en trois (3) grandes catégories divisibles en sous catégories.

- L'homme et les instruments élémentaires de mesure et d'observation
- Les radiosondes et les ballon sondes qui regroupent tous les moyens électroniques de mesures à distance .
- Les satellites

1) L'HOMME ET LES INSTRUMENTS ELEMENTAIRES

L'homme a d'abord utilisé ses sens , le touché, la sensation, les yeux mais étant toujours les éléments de base de mesure et d'observation, ils ont été très tôt désuètes lors du passage de la météorologie dans les sciences modernes.

Les météorologues , ont commencé à utiliser les thermomètres , les baromètres , les anémomètres, les girouettes munies de la rose des vents ; mais lorsqu'il s'est agi d'effectuer ces opérations en altitude , il a fallu trouver d'autres supports pour l'envoi et la tenue de ces instruments , en l'air , dans les hauteurs car les mesures en hautes montagnes , n'ont pas pu satisfaire la curiosité et l'esprit scientifique des chercheurs météorologistes. IL a fallu inventer les ballons , les sondes , qui devaient porter les instruments en altitude plus haute que les montagnes . La radio aidant on est arrivé à l'ère des radio sondes .

2) LES RADIO SONDES ET LES BALLONSONDES

Ce sont des engins portant plus ou moins différents appareils de mesures et d'observations mais pouvant aussi transporter l'homme (avion , etc) pour des opérations :

- soit automatiques , sans intervention de l'homme sur l'appareil
 - soit manuelles , avec l'intervention de l'homme sur l'appareil
- mais les ballons et les radiosondes devant la sévérité des conditions de mesure et d'observation , devant l'altitude de plus en plus croissante des lieux

de mesure et d'observation , l'homme a du inventer les fusées et les satellites non seulement pour des observations globales , permanentes , mais aussi pour l'utilisation des informations et des données à plusieurs fins et dans d'autres domaines de la science, avec beaucoup plus de détails .

3) LES SATELLITES

De nos jours il existe plusieurs satellites ou réseaux de satellites au service de la météorologie par l'intermédiaire de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) .

Entre autres on peut citer les METEOSATS et les EUMESATS pour l'Europe , les GOES et les NOAA pour les USA , les GOMS et les METEOR pour la Russie, les INSATS pour l'INDE , les FY-2 pour la CHINE , les GMS pour le JAPON . et bien d'autres .

Dans le système mondial , il y a :

a) – les satellites à défilement

Leur orbite est quasi-polaires c'est-à-dire qui tourne presque au niveau des pôles

à une altitude qui varie entre 800 et 1000 Km et une révolution de 100 à 120 mn .

b) - les satellites géostationnaires

Leur orbite est au dessus de l'Equateur à 36 000 Km , ils sont géosynchrones : on observe de manière permanente la même partie du globe ; il en faut cinq (5) pour couvrir les 360° de tour que fait la terre .

c) - possibilités et techniques correspondantes

L'équipement de bord comprend des radiomètres qui permettent de mesurer des quantités de rayonnement naturel qu'on peut classer en :

- Lumière (rayonnement visible) c'est le résultat de la réflexion de la lumière du soleil par différents premiers éléments plus ou moins brillants qui se trouvent dans le champ d'exploration du satellite.
- Chaleur (rayonnement thermique) tous les corps émettent un rayonnement même les plus froids mais plus l'objet est chaud plus il rayonne . le rayonnement thermique détecté par satellites se situe dans la plage fréquentielle de l'infrarouge et représente différentes températures .

Ces valeurs de rayonnement sont converties en niveau de brillance ou d'intensité lumineuse.

REMARQUES : des dispositions techniques sont prises pour que , l'atmosphère , corps lui aussi absorbant , rayonnant ,diffusant ne contamine pas les mesures .

Enfin la technique des micro-ondes permet d'obtenir des profils verticaux de température et de contenu de vapeur d'eau de l'atmosphère elle-même.

