

2^{ème} Cours : Les mécanismes de la circulation atmosphérique générale

1. L'atmosphère

Epaisse couche gazeuse qui enveloppe la terre et qui s'étend à plusieurs milliers de km, très dense au niveau du sol, elle se raréfie avec l'altitude. Sans elle la terre serait soumise à des extrêmes de températures, il n'y aurait aucun phénomène météorologique et aucune trace de vie sur terre

1.1. La composante gazeuse de l'atmosphère :

Elle est composée principalement d'un mélange gazeux, ce mélange comprend : 78 % d'azote, 21 % de dioxygènes, 1 % d'argon, environ 0,03 % de dioxyde de carbone et des quantités proportionnelles infimes d'hélium, de méthane, de krypton, de monoxyde de carbone, de néon, d'ozone et de xénon. Ce mélange reste à peu près constant sauf vers 30 à 40 m d'altitude où se rencontre l'ozone dans ce que l'on appelle « couche d'ozone ». Dans l'atmosphère, l'eau est le principal élément qu'on rencontre sous ses trois formes. En plus de sa composition gazeuse on trouve dans l'atmosphère les poussières, les cendres et les cristaux de glace en quantités variables selon leurs sources. Ces différentes particules en suspension dans l'atmosphère jouent un rôle important dans la condensation et l'absorption du rayonnement solaire.

Tableau.1 : La composition gazeuse de l'atmosphère

Azote N ₂	0,7808	homogène
Oxygène O ₂	0,2095	homogène
Eau H ₂ O	<0,030	très variable
Argon A	0,0093	homogène
CO ₂	345 ppmv	homogène
Ozone O ₃	10 ppmv	stratosphère
Méthane CH ₄	1,6 ppmv	décroit avec z
Oxyde nitreux N ₂ O	350 ppbv	décroit avec z
NO, CFC-11, CFC-12	< 0,3 ppbv	

Remarque : la composition est indiquée en rapport de mélange en volume

1.2. La structure verticale de l'atmosphère : En fonction de la répartition verticale des températures on distingue quatre couches dans les 500 premiers km de l'atmosphère : la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et l'asthénosphère.

1) La troposphère : D'une épaisseur variante entre 8 km dans les régions polaires et 17 km dans les régions équatoriales, elle est la première couche au-dessus de la terre et directement influencée par la température et la topographie. C'est aussi le siège des phénomènes météorologiques, notamment les nuages et les précipitations. Elle présente les caractères originaux présents :

– Elle est agitée de mouvements verticaux et horizontaux, l'air y est constamment en mouvement, brassé par les transports thermiques issus du réchauffement inégal de notre planète par le soleil. Les auteurs subdivisent dans ce cas la troposphère en deux grandes parties : la couche basse ou couche de flottement comprise entre 0 et 3 km et la troposphère libre.

- Sa composition est variable et est fonction des influences géographiques. La troposphère se compose des gaz permanents, des gaz variables et des suspensions solides telles que les cendres, les éléments chimiques (sulfate, l'ammonium, le nitrate, les métaux traces, etc.) (Seinfeld 2015) et les microorganismes (Šantl-Temkiv et al. 2022).

– Sa température décroît régulièrement de 0,65°C tous les 100 m. Entre le sol et 2 à 3 km, on observe des inversions thermiques. On dit qu'il y a inversion thermique lorsque la température augmente ou reste constante au lieu de décroître normalement quand on s'élève dans l'atmosphère. Ce phénomène arrête complètement les mouvements ascendants. Au-dessus, la température décroît jusqu'au niveau de la tropopause : c'est la zone de transition qui sépare la troposphère de la stratosphère et qui marque également la limite externe de l'influence de la Terre sur la température de l'atmosphère. La tropopause est en quelque sorte un plafond au-delà duquel l'atmosphère est transparente et relativement calme. C'est là que prennent également naissance les courants jets (sorte de vent très rapide et puissant).

2) La stratosphère : Elle s'étend au-delà de la tropopause et peut atteindre 50 km d'altitude. Contrairement à la troposphère, sa température croît de bas en haut jusqu'à la stratopause, elle reste quasi constante jusqu'à 20 km puis augmente jusqu'au niveau supérieur de cette couche où elle atteint les valeurs moyennes variant entre 0 et 20 °C. Cette couche chaude est due à la présence d'ozone qui absorbe une partie des rayons ultra-violet du soleil.

3) La mésosphère : D'une épaisseur d'environ 35 km, elle s'étend de la stratopause à environ 85 kilomètres. La mésosphère est la plus froide couche de l'atmosphère, car il y a peu d'air pour capter sous forme de chaleur l'énergie fournie par le Soleil.

4) La Thermosphère : La couche la plus élevée, où les choses se réchauffent vraiment. Les températures peuvent atteindre des valeurs extrêmement élevées en raison de l'absorption des rayons UV de très courte longueur d'onde par l'oxygène.

1.3. Structure thermique de la troposphère et ses conséquences

En climatologie lorsque le terme atmosphère est utilisé sans précision il se réfère à la troposphère on y distingue deux types de structures thermiques.

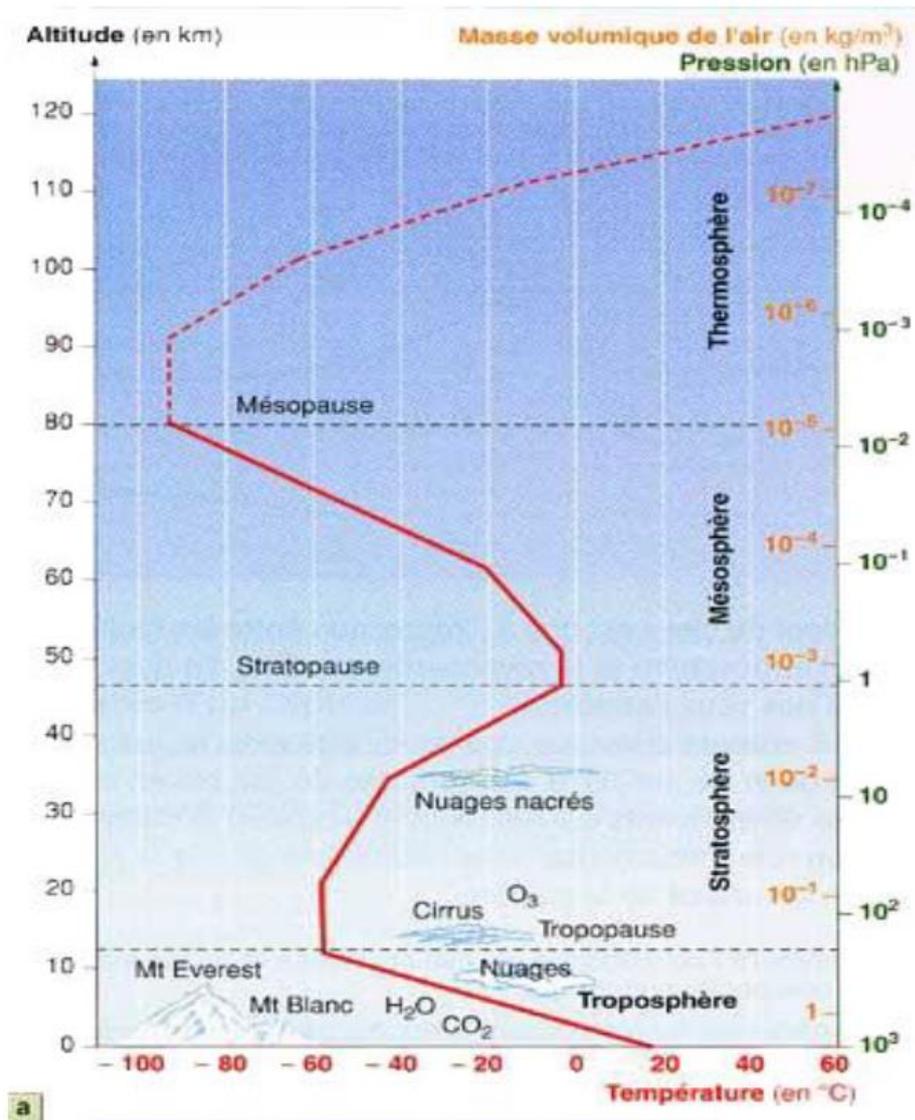
1) La température dans l'air immobile : La température décroît avec l'altitude soit de 0,65 °C tous les 100 m, ce changement de température représentant une sorte de valeur normale dite adiabatique (taux de décroissance de la température dans un air sec). Une masse d'air est soumise à une détente (déplacement vers le haut) ou une compression (déplacement vers le bas). Ces déplacements souvent rapides se produisent sans échange important de chaleur avec l'air avoisinant, on parle de transformation adiabatique. Le déplacement de l'air est lié à la diminution de pression. C'est le phénomène capital qui régit le climat des montagnes.

2) La température de l'air affecté de mouvements verticaux

On distingue deux mouvements verticaux : un mouvement d'ascendance et un mouvement de subsidence. Le mouvement d'ascendance est une composante verticale dirigée de bas vers le haut. Ce mouvement peut être lié à des processus dynamiques (convergence de masses d'airs en mouvement, par exemple l'ascendance équatoriale entre l'alizé continental et l'alizé maritime) et thermiques (la convection thermique qui est un mode de transfert de la chaleur dans un fluide par déplacement de celle-ci sous l'influence de la différence de température). Le mouvement de subsidence est la seconde composante verticale dirigée du haut vers le bas. Une subsidence provoque une divergence dans les basses couches de l'atmosphère, elle entraîne en outre un processus de compression et donc d'échauffement de l'air qui conduit à son assèchement. En clair, l'ascendance entraîne une diminution de la pression ou détente et la subsidence une augmentation de la pression ou compression. Quand le phénomène est rapide, la détente entraîne une baisse de la température et la compression, une augmentation de la température.

3) L'ozone atmosphérique : L'ozone est une forme triatomique de l'oxygène que l'on rencontre d'une part dans la troposphère et d'autre part dans la stratosphère. Sa concentration maximale se situe entre 15 km au-dessus des régions polaires et 30 km à l'équateur, c'est la raison pour laquelle on parle fréquemment de couche d'ozone. Cette couche est chaude dans la mesure où la présence de l'ozone ici absorbe une partie des rayons ultraviolets du soleil. Au-dessus de 100 km d'altitude, le soleil dissocie les molécules d'oxygène en deux atomes libres. Ces atomes entrent en collision avec d'autres molécules d'oxygène vers 30 km d'altitude pour constituer l'ozone. L'ozone lui-même est détruit par le rayonnement ultraviolet et cette destruction provoque des collisions avec d'autres atomes. Pour que la couche d'ozone se maintienne avec une densité assez constante, il faut qu'il y ait équilibre entre la destruction des molécules d'ozone et sa reconstruction. Cependant, les caractéristiques de l'atmosphère peuvent interférer et modifier l'état de ce gaz. Les dioxydes d'azote provenant des véhicules à essence et diesel participent à la destruction de ce gaz. Cette pollution atmosphérique a de nombreuses

conséquences climatiques, notamment la modification du rayonnement incident, la multiplication des brouillards et l'acidification des précipitations.



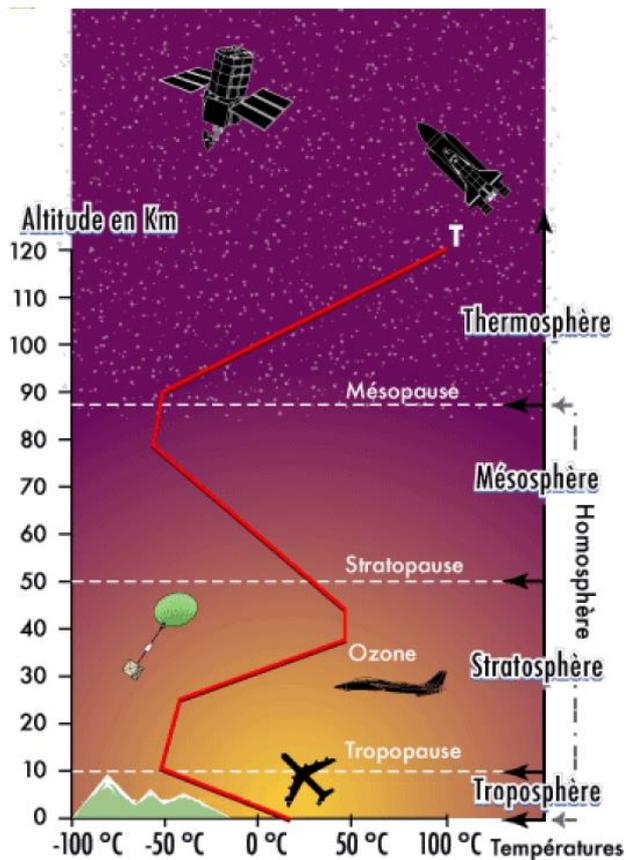


Fig.1 : composition de l'atmosphère

2. Nuages :

Un nuage est en météorologie une masse visible constituée initialement d'une grande quantité de gouttelettes d'eau (parfois de cristaux de glace associés à des aérosols chimiques ou des minéraux) en suspension dans l'atmosphère au-dessus de la surface d'une planète.

Au XIXe siècle, une classification assez complexe des nuages a été développée. Elle était basée sur leur apparence et faisait usage de termes en latin. Cette nomenclature a été simplifiée en répartissant les nuages selon les deux types de nuages, cumulus et stratus, et en les divisant en quatre groupes selon la hauteur de leur base, non l'altitude de la cime (la hauteur maximale de la partie supérieure du nuage par rapport au niveau de la mer)(Chalon 2002)

Il existe 10 catégories principales de nuages qui se regroupent en 4 classes selon l'altitude à laquelle le nuage se forme. Pour désigner l'altitude, on utilise donc les préfixes suivants :

Cirro-	Indique des nuages de l' étage supérieur (plus de 6000m)
Alto-	Indique des nuages de l' étage moyen (entre 2000 et 6000m)
Strato-	Indique des nuages de l' étage inférieur (moins de 2000m)
Cumulo-	Indique des nuages à grande extension verticale

De plus, certaines apparences des nuages sont décrites par des noms latins:

Stratus	Nuage qui constitue une couche grisâtre couvrant entièrement le ciel et formée de fines gouttelettes d'eau
Cirrus	Nuage séparé en forme de filaments blancs d'aspect fibreux ou chevelu; composé de cristaux de glace
Cumulus	Nuage à contours bien délimités dont la partie supérieure prend la forme d'un chou-fleur; ils sont d'un blanc éclatant
Nimbus	Nuage précurseur de pluie

Établie par l'OMM (Organisation Mondiale de la Météorologie), la classification est donc basée essentiellement sur la **forme** et l'**aspect** des nuages.

La considération des altitudes auxquelles certains genres de nuages se rencontrent le plus fréquemment a conduit à la notion d'étages. La partie de l'atmosphère où on les observe habituellement c'est la troposphère, la couche la plus basse de l'atmosphère.

La troposphère a été divisée verticalement en trois étages, appelés respectivement : *étage supérieur, étage moyen et étage inférieur*.

Chaque étage est défini comme l'ensemble des niveaux auxquels certains genres de nuages apparaissent presque exclusivement. Les étages se chevauchent quelque peu et leurs limites varient avec la latitude.

Les nuages de l'étage supérieur sont constitués de cristaux de glace.

- Les nuages de l'étage moyen sont en général constitués de gouttelettes d'eau. Toutefois, on peut y trouver des cristaux de glace si la température est très basse.
- Les nuages de l'étage inférieur sont constitués de gouttelettes d'eau.

Il existe des nuages à grand développement vertical qui débordent sur les trois étages. Leur constitution peut varier selon la partie du nuage.

2.1. TYPES DE NUAGES

1 - Nuages stables :

Les nuages stratiformes ou nuages de la famille des stratus, sont des nuages filandreux de caractère stable et a développement horizontal.

2 - Nuages instables :

Les nuages cumuliformes ou nuages de la famille des cumulus, sont des nuages de caractère instable et a développement vertical.

Nuages à grande extension verticale

	
<p>Cumulus(Cu) Nuages séparés, à contours bien définis, se développant verticalement. La partie supérieure prend souvent la forme d'un chou-fleur. Quand le Soleil les éclaire, ils sont d'un blanc éclatant. Associés au beau temps</p>	<p>Cumulo-nimbus(Cb) Gros nuages donc les sommets sont aplatis et s'étalent souvent en forme d'enclume. S'accompagnent habituellement d'éclairs et de tonnerres. Orages, fortes averses de pluie ou de neige, grêle ou grésil</p>

Basse altitude (entre le sol et 2000m)

		
<p>Stratus(St). Couche grisâtre continue à base assez uniforme. Nuages qui masquent souvent le sommet des collines. Souvent accompagnés de brouillard à la base. Ciel couvert, possibilité de neige ou de bruine</p>	<p>Nimbostratus(Ns) Nuages gris, souvent sombres, occupant tout le ciel et masquant complètement le Soleil. Nuages gonflés de pluie ou de neige. Peuvent aussi se trouver à l'étage moyen. Précurseurs de mauvais temps; pluie ou neige</p>	<p>Stratocumulus(Sc) Nuages gris ou blanchâtres d'aspect non fibreux et en forme de rouleaux. Cachent mal le Soleil. Suivent généralement un refroidissement de la température. Faibles précipitations</p>

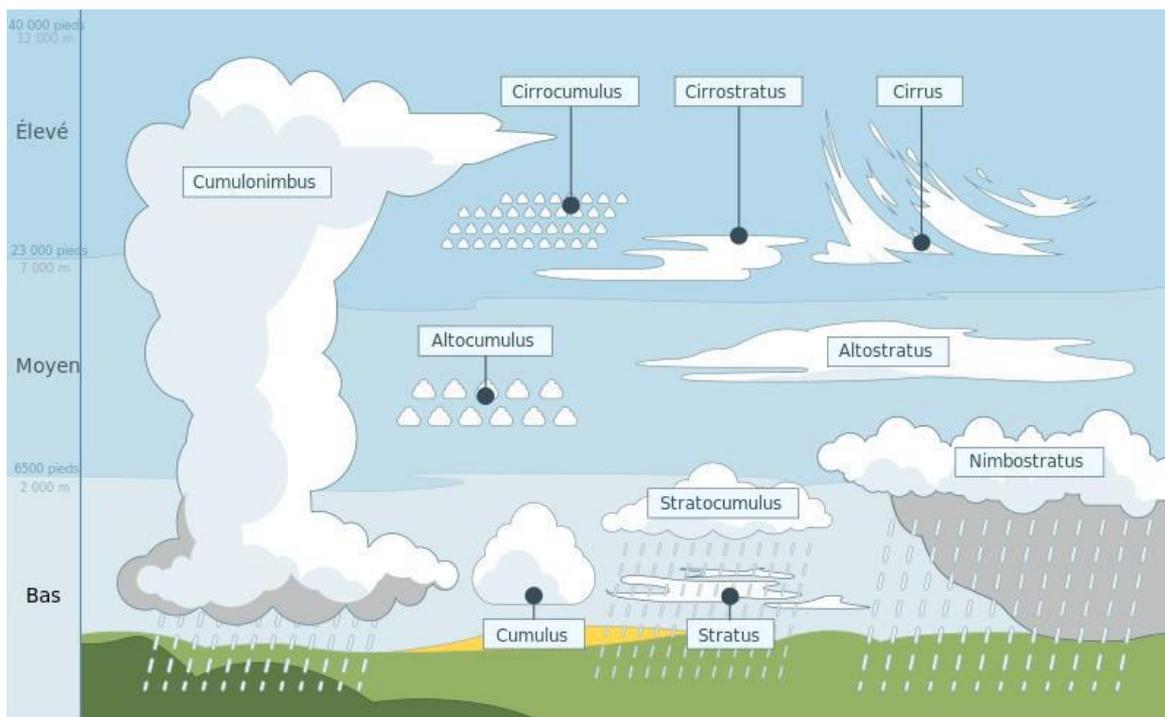
Altitude moyenne (entre 2000 et 6000m)



<p>Altostratus(As) Nappe ou couche nuageuse, grisâtre ou bleuâtre, d'aspect fibreux couvrant le ciel presque entièrement. Forment des zones assez minces pour laisser voir le Soleil, mais sans halo, comme à travers un verre dépoli. Précurseurs de mauvais temps</p>	<p>Alto cumulus(Ac) Nappe de nuages blancs ou gris disposés régulièrement, souvent sous forme de rouleaux. Composés en grande partie de gouttelettes d'eau. Peu ou pas de précipitations</p>
--	--

Altitude élevée (plus de 6000m)

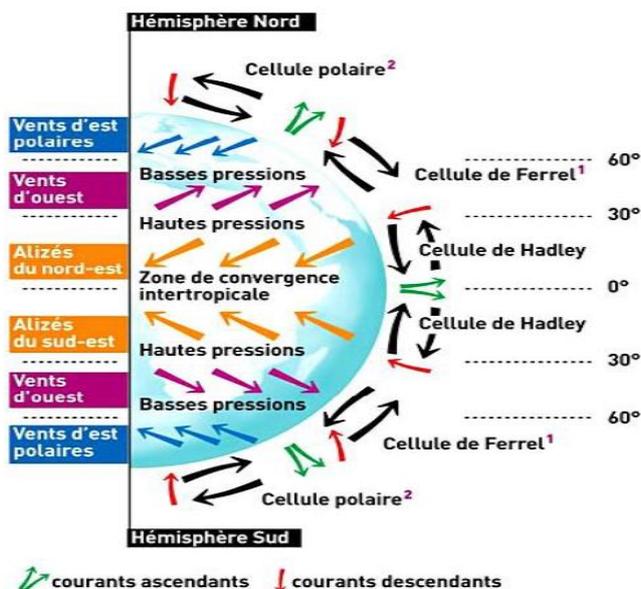
		
<p>Cirrus(Ci) Nuages séparés en forme de filaments blancs d'aspect fibreux ou chevelu. Composés de cristaux de glace. Beau temps</p>	<p>Cirrostratus(Cs) Mince voile nuageux, transparent et blanchâtre qui produit généralement dans le ciel des halos autour de la Lune ou du Soleil. Couvre souvent tout le ciel. Précurseurs de mauvais temps</p>	<p>Cirro cumulus(Cc) Très fines rides, nappe ou couche mince de nuages blancs sans ombre. Composés de cristaux de glace. Aspect du sable ondulé sur une plage. Avant ou après le mauvais temps</p>



3. La circulation atmosphérique

Ne se fait pas simplement des pôles à l'équateur. Il y a trois zones de circulation des vents entre l'équateur et les pôles.

- **La première zone** est nommée cellule de Hadley (3). Elle se situe entre l'équateur (1) et le 30e parallèle. On y retrouve des vents réguliers appelés les alizés. Les alizés soufflent du nord-est dans l'hémisphère nord et du sud-est dans celui du sud . Les navigateurs à voile ont depuis longtemps utilisé cette zone de vents réguliers pour traverser les océans ;
- **La deuxième zone** est nommée cellule de Ferrel (5). Elle se situe entre le 30e et 60e parallèle. On y retrouve plusieurs systèmes dépressionnaires transitoires et les vents dans la cellule de Ferrel viennent surtout de l'ouest.
- **La troisième zone** est nommée cellule polaire (6). Elle se situe au nord et au sud du 60e parallèle. Les vents dans cette cellule viennent surtout de l'est.



3.1. Mouvements latéraux de l'atmosphère

Les mouvements latéraux de l'atmosphère font référence aux déplacements horizontaux de l'air dans différentes couches de l'atmosphère. Ces mouvements sont essentiels pour la circulation des masses d'air, les systèmes météorologiques et la répartition de la chaleur à travers la planète. Dans une région où il n'y a pas de vent, l'immobilité des masses d'air correspond à un état d'équilibre des forces : dans le sens vertical, la pesanteur qui tend à faire descendre les masses d'air vers le sol est équilibrée par la pression atmosphérique ; dans le sens horizontal, les pressions des masses d'air sont égales pour une même altitude (ou, pour être plus exact, pour une même cote géopotentielle) (Foucault 2016). Ces

mouvements latéraux et verticaux jouent un rôle crucial dans la dynamique atmosphérique et la formation des systèmes météorologiques.

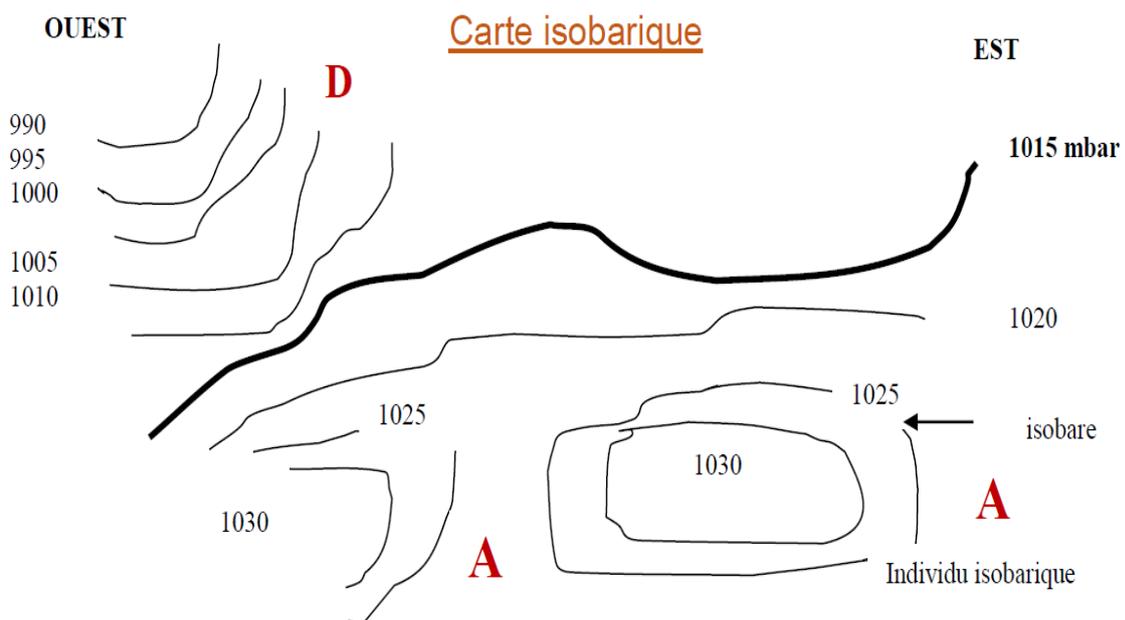
- **Pression atmosphérique** : pression (force par unité d'aire) exercée par l'atmosphère en vertu de son poids sur une surface donnée; elle est numériquement égale au poids d'une colonne verticale d'air ; au-dessus de la surface de section de base unité, s'étendant jusqu'à la limite supérieure de l'atmosphère (L'atmosphère terrestre a une masse d'environ 5.2×10^{18} kg et la superficie de la terre d'environ $5,1 \times 10^{14}$ m², donc environ 10 000 kg d'air pressent sur chaque mètre carré de la surface de la terre)(Trenberth et Smith 2005). À mesure que on monte en altitude, la pression diminue régulièrement. Cela est dû à la diminution de la densité de l'air et à la réduction de la masse d'air au-dessus de nous. C'est pourquoi les montagnes ont une pression atmosphérique plus basse que les plaines.

- **Champ de pression** : région de l'espace à tout point de laquelle correspond une valeur définie de pression.

La pression au sol est du 1015 mbar (millibar : unité de pression très usitée en météorologie). Un millibar (mbar) vaut 0,001 bar, soit 1000 baryes, soit 0,750062 mm de mercure normal. A la surface du sol, la pression atmosphérique peut être variable, soit de hautes pressions (A, anticyclone) ou de basses pressions (D, dépression ou cyclone).

1.1- La répartition des pressions à la surface

La différence de pression est de 5 mbar.



- **D : dépressions ou basses pressions (cyclone)**, symbolisée par le signe (-); région de l'atmosphère où la pression est basse par rapport au voisinage aux mêmes niveaux. Prédominance du temps agité (nuages, pluies et vent).

- **A : Anticyclone ou hautes pressions**, symbolisée par le signe (+); région de l'atmosphère où la pression est élevée par rapport au voisinage aux mêmes niveaux. Temps calme (soleil ou brouillard).