

CHAPITRE - VII- LES NUAGES

I- CONSTITUTION OU COMPOSITION

Les images sont constituées fines gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace de diamètre 1 à 100 μ m. Les éléments résultants d'une condensation par détente (se référer au chapitre humidité.) . Gouttelettes et cristaux vivant à l'intérieur de l'air humide nuageux soutenu par les courants ascendants même très faibles chaud et sec

II- Formation des nuages

Lorsqu'une masse d'air se réchauffe, elle se dilate et devient plus légère et, par le fait même s'élève dans l'atmosphère. En s'élevant l'air humide se refroidit graduellement. Si le refroidissement atteint le point auquel l'humidité relative est de 100% , il y a condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air et formation de nuages qui peuvent causer des averses, des pluies ou des chutes de neiges. Ce phénomène de condensation qui est en fait le passage de l'état gazeux à l'état liquide peut se produire dans différentes circonstances

- a) Lorsqu'une masse d'air chaud se refroidit au contact du sol froid.
- b) Lorsqu'une masse d'air chaud est soulevée par une masse d'air froid
- c) Lorsqu'une masse d'air se réchauffe au dessus d'une surface chaude. L'air se dilate et s'élève, et plus il s'élève plus il se refroidit.
- d) Quand l'air s'élève le long d'une montagne, il se dilate et perd sa chaleur

1- Théorie sur la formation des nuages

D'une manière générale et simple, les régions dans lesquelles, se forment les nuages, sont les régions où l'air subit une ascension quelque soit les raisons. Quand l'air monte, il se refroidit et si en se refroidissant il arrive à atteindre la température de rosée, cela entrainera la formation des nuages , s'il a présence de noyaux de condensation.

On appelle **nuage**, une portion d'air troublé par de la vapeur d'eau condensée sous forme de très petites gouttes liquides, de petits cristaux ou piques de glaces ou de petites sphères congelées, cette portion peut aussi être troublée par le mélange de tous ces éléments.

Pour se former, chaque petite goutte a besoin d'un noyaux de condensation. Les noyaux de condensation sont d'infimes particules de substances qui absorbent directement l'humidité des substances hygroscopiques et se transforment en gouttes microscopiques à l'intérieur desquelles la même substance de la particule est dissoute..

2- Niveau de condensation

Le niveau de condensation ou la hauteur à partir de laquelle peuvent se former les nuages dépend du refroidissement de l'air et de l'humidité qu'il contient.

On peut calculer le niveau de condensation à l'aide d'une formule de HEN en fonction de la température actuelle T et la température du point de rosée T_a , on obtiendra aussi la hauteur H en m ou en km

$$H = 122 T - T_a$$

3- Nébulosité

On appelle **nébulosité**, le nombre total de nuages observés. Elle est mesurée à partir de fractions de ciel couvert c'est-à-dire de la voûte céleste couverte, généralement exprimée en **octave** ou **OKTAS**.

Pour faciliter l'observation du ciel. On le divise en quatre quadrants et chaque quadrant en deux octave ou OKTAS. Quand nous disons quatre OKTAS, nous voulons dire que la moitié du ciel est approximativement couverte de nuages. **Huit OCTAS représenteront le ciel totalement couvert.**

III- LA DETENTE ADIABATIQUE

Lorsqu'une masse d'air chargée d'humidité est forcée de s'élever le long du flanc d'une montagne (**côté au vent**), elle se dilate et se refroidit au fur et à mesure qu'elle monte. Pendant ce mouvement ascendant, cette masse d'air ne cède, ni n'emprunte de chaleur au milieu ambiant.

En météorologie, cette transformation qui se produit sans échange de chaleur avec le milieu environnant est appelée **transformation adiabatique**.

L'air se refroidit adiabatiquement de 1°C par 100 m jusqu'à l'altitude où la condensation commence.

La condensation s'accompagne d'une libération d'énergie donc de chaleur qui compense en partie le refroidissement adiabatique. A partir du niveau de formation des nuages, le refroidissement n'est plus que de $0,6^{\circ}\text{C}$ par 100 m d'élévation, mais il est encore suffisant pour que l'humidité contenue dans l'air continue de se condenser. A ce niveau les précipitations sont importantes. Le sommet de la montagne, lui est empanaché de nuages ; l'air y est très sec et très froid. Des altocumulus disposés en piles d'assiettes signalent l'approche de vents doux et secs. L'air descend alors le long du versant sous le vent en se comprimant et se réchauffant adiabatiquement de 1°C

par 100 m. De ce côté de la montagne, (coté sous le vent) le réchauffement de l'air est plus important que le refroidissement qui s'est produit sur le versant opposé.

IV- Mouvement verticaux de l'air d'origine THERMIQUE ET DYNAMIQUE

1- Rappel évaporation et condensation

Plus la température de l'air est élevée, plus grande est la tendance de l'eau liquide à se transformer en vapeur d'eau, c'est-à-dire à s'évaporer.

Au contraire plus la température de l'air diminue plus la vapeur d'eau a tendance à revenir à l'état liquide c'est-à-dire à se condenser.

Ces deux phénomènes évaporation et condensation sont essentiels en météorologie. L'évaporation productrice de vapeur d'eau, a lieu en grande partie sur les océans, et le reste sur les fleuves, les lacs ou le sol humide ou par transpiration des plantes. La chaleur nécessaire à cette transformation est prise en grandes parties au liquide, qui se refroidit et conservée par la vapeur d'eau sous forme de chaleur latente de vaporisation qui représente une source d'énergie considérable disponible dans l'atmosphère.

La condensation, créatrice de nuages, du brouillard, et des précipitations se produit lorsqu'une masse d'air se refroidit en dessous de son point de rosée. Ce phénomène, pour se déclencher, exige la présence de noyaux de condensation formés par les impuretés de l'atmosphère. Il libère une quantité de chaleur égale à la chaleur latente de vaporisation.

2- Origine de la dynamique des mouvements verticaux (rappel)

Lorsqu'une masse d'air rencontre une montagne ou se réchauffe par la base, il se produit des courants verticaux.

Il est nécessaire, pour expliquer de nombreux phénomènes météorologiques, d'étudier le comportement d'une particule d'air lorsqu'elle s'élève ou s'abaisse dans l'atmosphère. On suppose en première approximation qu'elle se déplace adiabatiquement c'est-à-dire sans échanger de chaleur avec les particules environnantes ; cela a lieu d'ailleurs dans la plupart des phénomènes ou mouvements atmosphériques verticaux.

a- Premier cas si la particule d'air est non saturée

En se levant, une particule d'air se refroidit, en descendant, elle est comprimée donc elle se réchauffe. Cette variation ou ` gradient vertical de température est voisine de 1 par 100 m.

- b- **Deuxième cas si la particule d'air est saturée** en se levant, cette particule de refroidit par détente, la température de son point de condensation diminue et l'ascendant de vapeur d'eau se condense. Cette condensation libère une certaine quantité de chaleur qui est absorbée par la particule ; la variation de la température avec l'altitude est moindre que dans le premier cas. Elle sera en moyenne de 0,6 par 100 m ; elle ne sera pas constante, car, plus la particule d'air saturée s'élève en altitude, plus sa teneur en vapeur diminue, et plus la chaleur libérée devient négligeable.

3- Formation des différents types de nuages

a- Conditions de formations des différents types de nuages

Les nuages résultent de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air atmosphérique, lorsque celui-ci se refroidit. Cette transformation s'opère autour de noyaux de condensation existant en permanence dans l'atmosphère surtout dans les 5000 premiers mètres, et constitués par des particules électrisées ions ou neutre poussières, fumées, sels provenant de l'évaporation des embruns etc...

Les nuages sont formés par des amas de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace, de diamètre très faible en moyenne 0,02 mm qui tombent dans l'air calme avec une vitesse de l'ordre 1 cm par seconde et que le moindre courant ascendant suffit à maintenir en suspension.

Les nuages ne sont pas toujours constitués en réalité par les mêmes gouttelettes. Certaines s'évaporent ou sont précipitées, d'autres se forment à la suite de condensations nouvelles. Un nuage n'est donc pas ensemble invariable, mais un milieu en évolution dont la structure change constamment et qui se déplace comme les causes qui l'entretiennent.

Les **nuages orographiques** (au-dessus des montagnes) toutefois demeurent à peu près sur place.

b- Exemple processus de formation d'un nuage de convection

La figure, **nuage de convection** illustre le processus de formation d'un nuage de convection en prenant une mesure d'air de 20 au sol, l'humidité absolue est entraînée par un mouvement ascendant, elle refroidit de 1 par 100 mètres. à 100 mètres sa température est de 10, son humidité relative est de 100 la condensation commence.

Si elle monte encore, la condensation se poursuit, le taux de refroidissement se poursuit, devenant cependant plus faible.

c- Les différents groupes de types de nuage et leur formation

De par leur processus de formation, on distingue quatre grands groupes de nuages.

Les nuages de turbulence st, sc, ac, fc, fs, cc

Les stratus, les stratocumulus, altocumulus, cirrocumulus se forment à la partie supérieure d'une masse d'air cédant de la chaleur aux couches inférieures ou au sol, la turbulence ayant pour effet d'homogénéiser sa teneur en vapeur d'eau. Immédiatement au dessus de ces nuages, généralement stratiformes plus ou moins morcelés, on trouve, le plus souvent une couche d'inversion de température.

Les nuages de convection (ca, cb)

Ils sont de forme cumuliforme, causés par des mouvements d'ascendance locale, se produisent dans une masse d'air instable qui s'échauffe convectivement par la base au contact d'une surface chaude. Voir figure nuage de convection.

Si l'instabilité est suffisante, les cumulus se transforment en cumulonimbus, par congélation des gouttelettes en leur partie supérieure, leur sommet s'étalant en forme d'enclume dans les régions stables ou s'arrête le courant ascendant.

Les nuages d'ascendance ou de détente synoptique ns, as, cs

Les nuages d'ascendance sont provoqués par la détente lente, mais continue, d'une grande masse d'air humide. Ils sont associés aux grandes perturbations atmosphériques et comme elle, migrants et durables. Mais dans cette catégorie figurent les nuages élevés du type cirrus précédant en grande hauteur les perturbations.

Les nuages orographiques

Les nuages orographiques ont leur origine intimement liée à la forme du relief, le mouvement ascendant provoqué par les courants atmosphériques.

Au vent des pentes montagneuses ayant pour effet d'activer la détente et, par suite, la condensation de l'air suffisamment humide.

Voir figure orographique.

❖ nuages d'ascendance frontale ou à développement vertical, (Cu et Cb)

- ❖ Ce sont des images de convection qui jouent ce même rôle ; les cumulus et les cumulo-nimbus participent au phénomène atmosphérique et météorologique des (3) trois niveaux d'étages qui sont :
 - L'étage supérieur : la base des nuages est à 6 km d'altitude dans les régions tempérées, 3 km aux pôles et 8 km à l'équateur
 - L'étage moyen : la base des nuages est en moyenne à 2500 m d'altitude
 - L'étage inférieur : la base de nuages est du sol au niveau moyen.

V-Système nuageux et nébulosité

1) Organisation des grands systèmes nuageux.

Les types ou genres de nuages vus dans la formation des nuages apparaissent souvent dans un ordre régulier voire limitatif. Il est possible sur une carte pointée de découper en zone distinctes octaves ou OKTAS des secteurs nuageux formant des systèmes organisés. Etant entendu que la nébulosité est la mesure de la couverture nuageuse du ciel en octave (voir début du cours). Les processus de condensation entraînant nuages et (précipitations) se produisent lorsqu'il y a conflit entre deux (2) masses d'air et / ou modification thermodynamique dans une même masse d'air.

2) Conflit entre masses d'air

Le conflit entre masse d'air d'origine, et d'évolution différente dirigées par les centres de hautes et basses pressions, Air arctique (A), air polaire (P) , air tropical (T), air tropical maritime (TC), air polaire maritime (PM), etc ne se mélangent pas mais entretient en contact suivant des fronts. L'air le plus dense (froid) glisse sous le moins dense (chaud) qu'il soulève en bloc, ainsi naissent les systèmes nuageux, des perturbations, des fronts, les passages des perturbations et de précipitations de caractéristiques différentes.

3) Stabilité et instabilité de l'air

- a) Composition permanente, variable (sous plusieurs paramètres)
Rappel et notion de stabilité et d'instabilité de l'air.

L'air a des composants permanents et des composants variables, selon l'altitude, selon la latitude, selon le lieu, selon la saison, selon les activités dans la zone intéressée, selon

le climat, la végétation, etc. Mais, **en terme d'équilibre et de déséquilibre**, c'est-à-dire de **stabilité ou d'instabilité**, l'air est composé **d'air sec et de vapeur d'eau**. Nous prenons ces deux paramètres, parce que, ces deux paramètres lorsqu'ils sont influencés par la température sont à **l'origine de la condensation et de l'évaporation** de la formation de nuages, de précipitations et même des perturbations surtout quand **la pression** (paramètre incontournable) s'y invite inévitablement dans le processus de stabilité et d'instabilité de l'air, donc des masses d'air.

Ainsi, l'air sec qui n'a pas encore atteint et dépassé la saturation par absorption de la vapeur d'eau demeure toujours stable, le terme vapeur implique l'intervention de la température qui est dans cette vapeur d'eau humide. Donc qui va élever la température de la particule d'air si cette dernière descend en altitude et diminuer cette température si cette particule d'air monte en altitude du moins dans **les couches** où il n'a ya **pas d'inversion**.

L'approche de la stabilité et de l'instabilité se fera par rapport au déclenchement de la saturation et de la condensation ; en tenant compte des échanges avec le milieu ambiant de l'air, de la particule d'air ou de la masse d'air concernée.

b) Instabilité et stabilité de l'atmosphère

La nature stable ou instable d'une masse d'air est attachée à la décroissance de la température de l'atmosphère avec l'altitude....Un jour donné, une heure donnée, (avec l'altitude, le profil de décroissance de la température de l'air qui nous surplombe, change jour en fonction des évènements météorologiques).

❖ **Stabilité** : si cette décroissance de la température avec l'altitude est inférieure à la déperdition en chaleur du volume d'air ascendant, alors la masse d'air est dite stable. L'ascendance va finir par atteindre une altitude où sa température se trouvera égale à l'air environnant et son ascension sera stoppée. Exemple météorologique : **les phénomènes d'inversion** ou d'iso-thermique bloquent le cheminement ascendant des colonnes thermiques. Les inversions et les iso-thermiques sont caractéristiques de la stabilité d'une tranche d'altitude.

❖ **Instabilité** : si cette décroissance de la température avec l'altitude est supérieure à la déperdition en chaleur du volume d'air ascendant, alors la masse d'air est dite instable. La température d'une ascendance thermique restera toujours supérieure à l'air environnant, à l'altitude qu'elle aura atteinte... et son ascension continuera. Exemple météorologique : **après le passage d'une perturbation**, le ciel de Trainee laisse un air plus frais et instable et donc propre au développement de la convection (ascendance thermique).

VI- Classification et reconnaissance des nuages

1) Quelques caractéristiques des 10 grands groupes ou genres de nuages.

La classification internationale a dénombré 10 genres de nuages avec quelques caractéristiques principales :

- **Les cirrus-ci** : composé de cristaux de glace-fines, isolés ou en bancs, avec un aspect soyeux.
- **Les cirroculus-cicu** : composés de bancs de petits éléments alignés, granulés, ridés.
- **Cirrostratus – cs** : composés de voiles entier ou partiel. on y remarque le halo, la parélie ou parlelie.
- **Les Altostratus As** : composés de voiles plus ou moins épais, uniforme ou fibreux, si minces et le soleil est vu comme à travers un verre dépoli.
- **Les Nimbostratus** : composées de voiles gris foncés (c'est la neige) avec une base floue.
- **Les Altocumulus-Ac** : se présentent comme sous forme de bancs, nappes, galets, rouleaux.
- **Les stratus-St** : sont composés de voiles complets ou noir, avec le bas, gris, flou (provoquent la bruine).
- **Les stratocumulus-Sc** : se présentent sous forme de goulots, de dalles, de rouleaux soudés ou non.
- **Les cumulus-Cu** : ils présentent séparés, avec des contours nets, comme les tours des dômes plis ou moins développés. Ils sont blancs au sommet et plus sombres à la base.
- **Cumulonimbus-Cb** : se présentent comme des tours puissantes et se terminent parfois par une enclume fibreuse, ils provoquent des averses, des grains, des orages.

2) Classification des nuages (genres, espèces variétés) niveau d'étage ou hauteur)

La classification des nuages se fait en tenant compte de :

- **Leur forme**
- **Leur hauteur de base**
- **Leur processus de formation**

a) Selon leur forme

Cirrus : ce sont des nuages en forme de boucles

Cumulus : ce sont des nuages volumineux, en grande quantité.

Strates ou stratus : ce sont des nuages en couches étendues, filets.

Strato-cumulus : ce sont des nuages qui sont en couche mais se présentent en très grande quantité et volumineux.

Nimbus : ce sont des nuages amenant la pluie, nuages de clachant la pluie.

b) Selon leur hauteur de base : c'est-à-dire la hauteur de leur base.

Les dix (10) genres de nuages sont aussi classés par niveau d'étages ou de hauteur. Trois(3) niveaux de hauteur et un niveau à développement vertical regroupant les trois(3) niveaux précédant.

✓ L'étage supérieur ou haut de 3 à 14 km.

Ce sont **les Ci, les Cs, les CiCu**. Leur hauteur de base est de 3 à 4 km au pôle

- ❖ De 4 à 8 km dans les régions tempérées
- ❖ De 8 à 14 km à l'équateur géographique

✓ L'étage moyen ou centré de 3 à 7 km.

Ce sont **les As, les Ns, les Ac, les Hc (Haut cumulus), les Hs (Hauts strates)**. Leur hauteur de base est de 3 à 7 km d'altitude est de :

- ❖ 4 km aux pôles
- ❖ 4 à 6 km dans les régions tempérées
- ❖ 6 à 7 km à l'équateur.

✓ L'étage inférieur ou étage bas de 0 à 3 km

Ce sont **les St, les Sc, les Ns**. Leur hauteur de base se situe entre 300 m et 3 km, et est de :

- ❖ 300 m aux pôles
- ❖ 300 m à 2500 m dans les régions tempérées
- ❖ En moyenne à 3 km à l'équateur

✓ L'étage de développement vertical incluant les trois(3) niveaux de hauteur ou d'étage (de 300 m à 14 km).

Ce sont les Cu et les Cb, ils sont à développement vertical sur toute l'altitude comprenant les trois (3) niveaux précédant.

c) Selon les espèces

Selon ses particularités, un nuage peut être classé en genre et en espèce.

- Lenticulaire (forme de lentille)
- Humilis (petit développement vertical)
- Capillaire (forme d'enclume)

NB : distinction fondamentale dans les étages 1, 2 et 3 .

- ✓ Les nuages sont étalés mais divisés en filaments, en lamelles, en galets.
- ✓ Les nuages sont étalés mais voilés.

3) Reconnaissance des nuages par leur classification

Les nuages présentent des caractéristiques très variées quant à leur forme, leur transparence, leur couleur et leur hauteur.

Ils sont classifiés selon deux critères :

- La forme et
- L'altitude à laquelle ils se trouvent.

Les cumulus sont amoncelés et ont une forme bourgeonnante.

Ils se forment sous l'effet de courant ascendant. Les stratus sont disposés en couches stratifiées ou en nappes comme le brouillard. Ils se forment à une hauteur à laquelle l'air s'est refroidi à son point de condensation lorsqu'il y a absence de mouvement d'air ascendant.

Les nuages classés en fonction de l'altitude sont divisés en deux groupes :

- Les nuages à développement vertical et
- Les nuages à développement horizontal

Ce dernier groupe est lui-même divisé en nuages supérieurs, moyen et inférieur.

- **A l'étage supérieur**, on trouve des nuages dont la base se situe en moyenne à 6000 m d'altitude. Certains de ces nuages ont des formes divisées, ce sont les Cirrus et les Cirrocumulus. Les Cirrus font penser à des cheveux d'ange. Ils sont minces et entièrement composés de cristaux de glace. Ils se forment habituellement à 7500 m d'altitude et sont souvent disséminés en fibres plusieurs appelées queues de chat.
Le Cirrocumulus se forment habituellement à 6000 et 7500 m. ils présentent des ondulations tenues et pommelées en forme de banc. Il faut éviter de les confondre avec les rouleaux d'un Altocumulus.
Certains nuages de cet étage ont la forme de voile. Ce sont les Cirrostratus qui se forment entre 6000 à 7500 m d'altitude en couches minces comme de fins voiles. Ils forment de grandes halos ou parélie autour du soleil et de la lune. Ils sont constitués de cristaux de glace.
- **A l'étage moyen**, se trouvent des Altostratus et des Altocumulus dont la base est située à environ 2000 m du sol.
Certains nuages comme les Altocumulus sont de formes divisées.
Ils ressemblent au Cirrocumulus mais leur bourgeonnement sont plus gros. Ils sont formés de gouttelettes d'eau et le soleil crée souvent à leur périphérie une couronne bleue pale ou jaune et rouge. On retrouve à cet étage des nuages en forme de voile.
Ce sont les Altostratus qui se présentent en bancs ou en couches grises ou blanchâtres. Ils voilent légèrement le soleil par leur aspect fibreux et légèrement striés.
- **A l'étage inférieur**, la base des nuages se trouve à environ 300 m du sol. Ce sont fondamentalement des nimbostratus et des stratocumulus. On y trouve d'abord un type de nuage de formes divisées, les stratocumulus. Ils sont gris avec des ombres plus sombres et présentent l'aspect de masses irrégulières qui s'étendent en couches ondulées. On trouve également à cet étage deux (2) types nuages en forme de voiles:
 - **Les nimbostratus** et
 - **Les stratus**

Ces derniers sont gris et ternes et donnent au ciel un aspect lourd. En leur sein, les mouvements d'air verticaux étant inexistant, ils ne produisent qu'une fine bruine.

Les nimbostratus sont plus sombres que les stratus et sont de véritables nuages de pluie. Lorsque le vent est fort, il s'accompagne souvent de **frontostratus** (nuage très bas déchiqueté)

- **Dans la famille des nuages à développement vertical** on trouve les cumulus et les cumulonimbus. Les cumulus se présentent sous deux formes :
 - **Les humilis et**
 - **Les congestus**

Les humilis se forment habituellement le jour au dessus des terres dans un air ascendant chaud.

Ce sont des nuages de beaux temps.

Les congestus présentent des contours bien délimités et se développent à la verticale sous forme de mamelon, dômes ou de tour. Leur forme se modifie sans cesse.

Les cumulonimbus sont de puissants nuages à extension verticale.

Leur base peut presque toucher le sol, sur une étendue de 4 à 5 km. De violents courants ascendants peuvent entraîner leur sommet jusqu'à 20 000 m d'altitude.

Sur l'effet des vents en altitude, **leur sommet présente souvent la forme d'enclume** ou de vastes panaches.