

cules se traduisent par des mouvements ascendants ou descendants importants.

On peut cependant remarquer que l'atmosphère est rarement complètement stable ou complètement instable. Dans ce deuxième exemple, compte tenu de l'allure de la courbe réelle de température, on peut envisager que la stabilité — c'est-à-dire la concordance entre la température de la particule et la température de la couche d'air environnant — sera retrouvée à une altitude de l'ordre de 11 000 ou 12 000 ft.

En effet, on remarque qu'à partir du niveau 80 la température augmente avec l'altitude. Il s'agit là d'une _____, synonyme de stabilité.

2.2. Saturation de l'air

Nous l'avons vu plus haut : l'air atmosphérique est composé d'un mélange de gaz auxquels vient s'ajouter de la vapeur d'eau. L'air sec peut ainsi absorber une petite quantité d'eau sous forme de vapeur pour constituer de l'air humide. Cependant, la quantité d'eau que l'air sec peut absorber dépend fortement de la température. Plus la température est élevée, plus la quantité de vapeur d'eau que l'air peut absorber est élevée.

Comme nous l'avons également vu, la température de l'air diminue avec l'altitude. Dit autrement, et de façon un peu simplifiée, la quantité de vapeur d'eau que l'air peut absorber diminue avec l'altitude.

En fonction de la quantité d'eau initialement présente dans l'air, il est alors possible de déterminer l'altitude à partir de laquelle la diminution de température ne permettra plus d'absorber autant d'eau. L'air devient saturé et la vapeur d'eau en excédent condense pour former des gouttelettes d'eau. Il y a constitution d'un nuage.

On définit alors la _____ comme étant la température à laquelle il faut abaisser une masse d'air pour voir apparaître le phénomène de saturation.

La température du point de rosée est généralement un bon indicateur de l'altitude de la base des nuages.

Exercice 3

Un bulletin météo donne une information de température à 12 °C et une information de point de rosée à 9 °C. À quelle altitude peut-on supposer que la base des nuages se trouvera ?

2.3. Classification des nuages

La première distinction faite dans la description des nuages porte sur le type d'atmosphère dans lesquels on les trouve : stable ou instable. En fonction du type d'atmosphère, on utilisera un suffixe pour décrire le nuage rencontré :

- le suffixe _____ est utilisé pour décrire les nuages en atmosphère stable ;
- le suffixe _____ est utilisé pour décrire les nuages en atmosphère instable.

Cette première distinction est généralement assez simple à identifier.

Les nuages se développant en atmosphère stable ont généralement une allure de voile dont les contours sont mal définis, ceci étant dû aux faibles mouvements d'air dans l'atmosphère stable. À l'inverse, les nuages se développant en atmosphère instable voient leurs contours bien plus marqués et présente une forme bourgeonnante en raison des mouvements d'air importants dans l'atmosphère instable.

Pour avoir une meilleure description des nuages, on ajoute à cette première classification une seconde distinction associée à un préfixe permettant d'identifier l'altitude de la base et du sommet du nuage. On découpe l'atmosphère en trois étages :

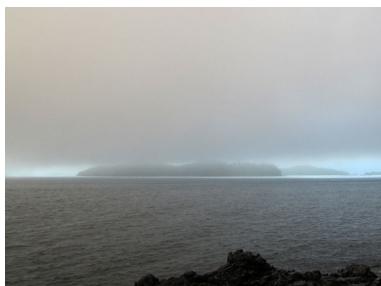
- l'étage inférieur, du niveau du sol à 2 km environ, associé au préfixe _____ ;
- l'étage moyen, de 2 km à 5 km environ, associé au préfixe _____ ;
- l'étage supérieur, de 5 km à 11 km environ, associé au préfixe _____.

Ainsi, en combinant ces deux classifications, il est possible d'imaginer six grands types de nuages.

Les *stratostratus*, plus simplement appelés _____ constituent généralement une couche grise relativement claire, dont la base est assez uniforme, et pouvant donner lieu à de la _____ ou de la _____. Lorsque le soleil est visible au travers, son contours est nettement discernable.

Les _____ se présentent sous forme de nappe ou de couche nuageuse grisâtre ou bleuâtre, d'aspect fibreux ou uniforme, couvrant partiellement ou entièrement le ciel. L'épaisseur d'une couche d'altostratus est souvent irrégulière de sorte qu'il est possible, par endroit, d'apercevoir le soleil comme au travers d'un verre dépoli.

Les _____ se présentent sous forme d'un voile blanchâtre, d'aspect fibreux ou lisse, couvrant partiellement ou entièrement le ciel. L'épaisseur d'une couche de cirrostratus est généralement faible, laissant entrevoir le soleil en faisant apparaître un halo, sorte d'arc-en-ciel, dû aux réflexions de la lumière dans les cristaux de glace présents dans les nuages.



(a) Stratus.



(b) Altostratus.



(c) Cirrostratus.

Figure 18 – Les nuages stables.

Les _____ sont généralement présents en bancs de petits nuages gris ou blanchâtres ayant presque toujours des parties sombres, disposés assez régulièrement.

Les _____ se présentent sous forme de banc, de nappe ou de couche de nuages gris ou blancs d'aspect ondulé, composés de lamelles, de galets ou de rouleaux possédant une ombre propre, disposés assez régulièrement.

Les _____ se montrent sous la forme d'un banc, d'une nappe ou d'une couche mince de petits nuages blancs (granulés), sans ombre propre, disposés plus ou moins régulièrement.

À ces six types de nuages s'ajoutent quatre autres types. Trois d'entre eux correspondent à des variations des nuages déjà évoqués lorsque leur extension verticale est plus importante ; le dernier est un nouveau genre



(a) Stratocumulus.



(b) Altocumulus.



(c) Cirrocumulus.

Figure 19 – Les nuages instables.

de nuages rencontré à l'étage supérieur.

Lorsque les nuages se développent de l'étage inférieur jusqu'à l'étage moyen, on observe des nimbostratus en atmosphère stable et des cumulus en atmosphère instable.

Les _____ se présentent sous la forme d'une couche grise sombre dont l'aspect est rendu flou par des chutes plus ou moins continues de _____ ou de _____. L'épaisseur de la couche est assez homogène et suffisante pour masquer complètement le soleil. Fréquemment, les nimbostratus sont accompagnés de nuages bas déchiquetés qui peuvent être soudés ou non avec la couche de nimbostratus.

L'instabilité de l'atmosphère a tendance à pousser le développement vers le haut des nuages. Les _____ sont donc des nuages se développant verticalement en forme de tour ou de dôme, généralement séparés les uns des autres, aux contours bien délimités et à la base horizontale. La région supérieure est bourgeonnante et ressemble à un chou-fleur.

Si la courbe de température de l'atmosphère permet à la couche de rester instable jusqu'à l'étage supérieur, le développement vertical du cumulus devient très important et on parle alors de _____ ou _____ dans un premier temps, puis de _____ lorsque le nuage arrive à pleine maturité. Les cumulonimbus sont des nuages denses et puissants dont l'extension verticale est considérable. Ils sont généralement en forme de montagne ou de tour et tendent à s'étaler sur leur partie supérieure. Dans la mesure où la tropopause est la limite des phénomènes météorologiques, le développement vertical des cumulonimbus est limité à la troposphère et le nuage finit par s'étaler le long de la tropopause. Ceci se traduit par un sommet de nuage possédant une région lisse et fibreuse (la couche devient stable au niveau de la tropopause) s'étalant en forme d'enclume. Ces nuages sont très souvent accompagnés de phénomènes météorologiques violents :

Enfin, le dernier type de nuages est un nuage de l'étage supérieur : le _____. Il s'agit de nuages séparés, en forme de filaments blancs et délicats ou en bancs de bandes étroites blanches ou en majeur partie blanches. Ces nuages ont un aspect fibreux et un éclat soyeux.

La fiche n° 22 distribuée parallèlement à ce cours résume la classification des différents nuages.

Remarque : cette description couvre la plupart des nuages mais selon les conditions météorologiques rencontrées, d'autres types de nuages particuliers peuvent également être observés.



(a) nimbostratus.



(b) Cumulus.



(c) cumulus congestus.



(d) cumulonimbus.

Figure 20 – Les nuages à forte extension verticale.**Figure 21** – Cirrus.

3. Phénomènes dangereux pour l'aéronautique

3.1. Brumes et brouillard

La _____ est la suspension, dans l'atmosphère, de microscopiques particules, réduisant la visibilité entre 1 et 5 km. Elle peut être de différents types :

- _____ lorsqu'elle est constituée de particules solides (sable ou poussière par exemple) en suspension dans l'air, non saturé d'humidité ;
- _____ lorsqu'elle est constituée de fines particules d'eau dans un air saturé.

La brume sèche est généralement due à des caractéristiques spécifiques du paysage (tempêtes de sable par exemple), ou à des phénomènes liés à la civilisation, à la technologie et aux activités économiques.

Le _____ est la suspension, dans l'atmosphère, de microscopiques particules, réduisant la visibilité à moins de 1 km. Il peut être de six types différents :

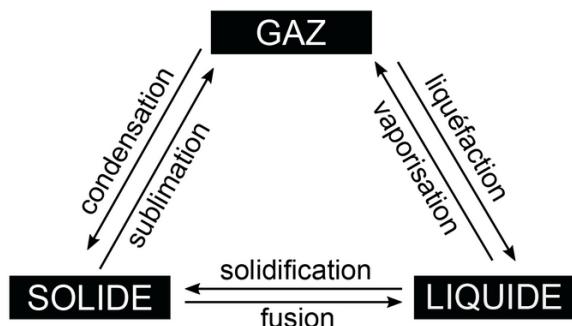
- de rayonnement par réchauffement de la rosée du matin ;
- d'évaporation par arrivée d'air froid et sec sur une étendue d'eau ;
- d'advection par arrivée d'air chaud sur un sol froid ;
- de pente par soulèvement d'air humide sur une flanc de montagne ou de colline ;
- de mélange lorsque deux masses d'air locales de températures différentes entrent en contact ;
- sec comme pour la brume.

**Figure 22 – Deux types de brouillards.**

Dans les cas précédentes, le brouillard se forme principalement par refroidissement d'une masse d'air humide.

3.2. Givrage

Le _____ est la formation, plus ou moins rapide, d'un dépôt de glace sur certaines parties de l'avion. Ce dépôt de glace : alourdit l'avion, modifie l'écoulement de l'air autour de l'avion et influe sur les performances de l'appareil, peut bloquer certaines parties de l'avion (gouvernes, volets, sondes Pitot), peut étouffer le moteur (en obstruant le carburateur). Rappelons ici les noms des changements d'état de la matière :

**Figure 23 – Changements d'état de la matière**

Le changement d'état de la matière correspond au passage d'un état physique à un autre, comme de solide à liquide ou de liquide à gaz. Par exemple, la glace fond en eau lors de la fusion, et l'eau devient vapeur lors de l'évaporation. Ces transformations sont réversibles et dépendent généralement de la température et de la pression. Ces phénomènes sont fréquents dans la nature et dans de nombreux procédés industriels. Dans cette partie, nous nous concentrerons sur la solidification et la fusion de l'eau en examinant comment éviter que l'eau ne se solidifie sur un aéronef.

On distingue trois catégories de givrage :

- le _____ qui se forme très rapidement au niveau des hélices, du bord d'attaque et du moteur lorsque l'avion vole dans une zone de pluie surfondue (eau liquide à une température où elle devrait être solide, entre 0 et -15°C) et peut se produire au niveau d'un front froid ;
- le _____ qui est la congélation de pluie ou de bruine (gouttes assez grosses), surfondues ou non, sur une surface ou à l'impact d'un obstacle (en et hors nuage), il est transparent et se forme rapidement, pouvant atteindre des épaisseurs importantes sur toute la surface de l'avion ;
- la _____ blanche qui est une condensation directe de l'état gazeux à solide (elle n'est pas liée à un état de surfusion) et peut intervenir au sol après une nuit froide ou si l'avion traverse un air chaud après être sorti d'un air froid (condensation directe) : si ce givrage est faible, il peut diminuer la portance au décollage et gêner la visibilité sur le pare-brise.

Le risque de givrage de type givre est indiqué sur les cartes et messages météorologiques.

Certains avions (comme tous les avions de ligne) sont conçus pour voler en conditions givrantes. Certaines actions de prévention et de traitement du givre sont mises en place :

- dégivrage au sol de l'avion avant son départ et application d'un liquide de protection efficace pour le décollage ;
- anticipation du givrage et traitement du phénomène par la mise en marche de systèmes antigivrages de certaines parties de l'avion (chauffage du pare-brise, des pâles d'hélices, des tubes Pitot, gonflage des boudins de bord d'attaque).



(a) Hélice.

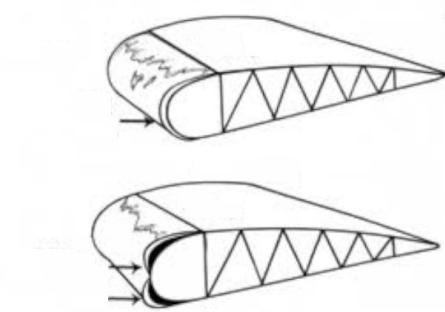


(b) Bord d'attaque.

Figure 24 – Givrage



(a) Nacelle dégivrante



(b) Dégivreur de bord d'attaque

Figure 25 – Dégivrage