

Météorologie et aérologie

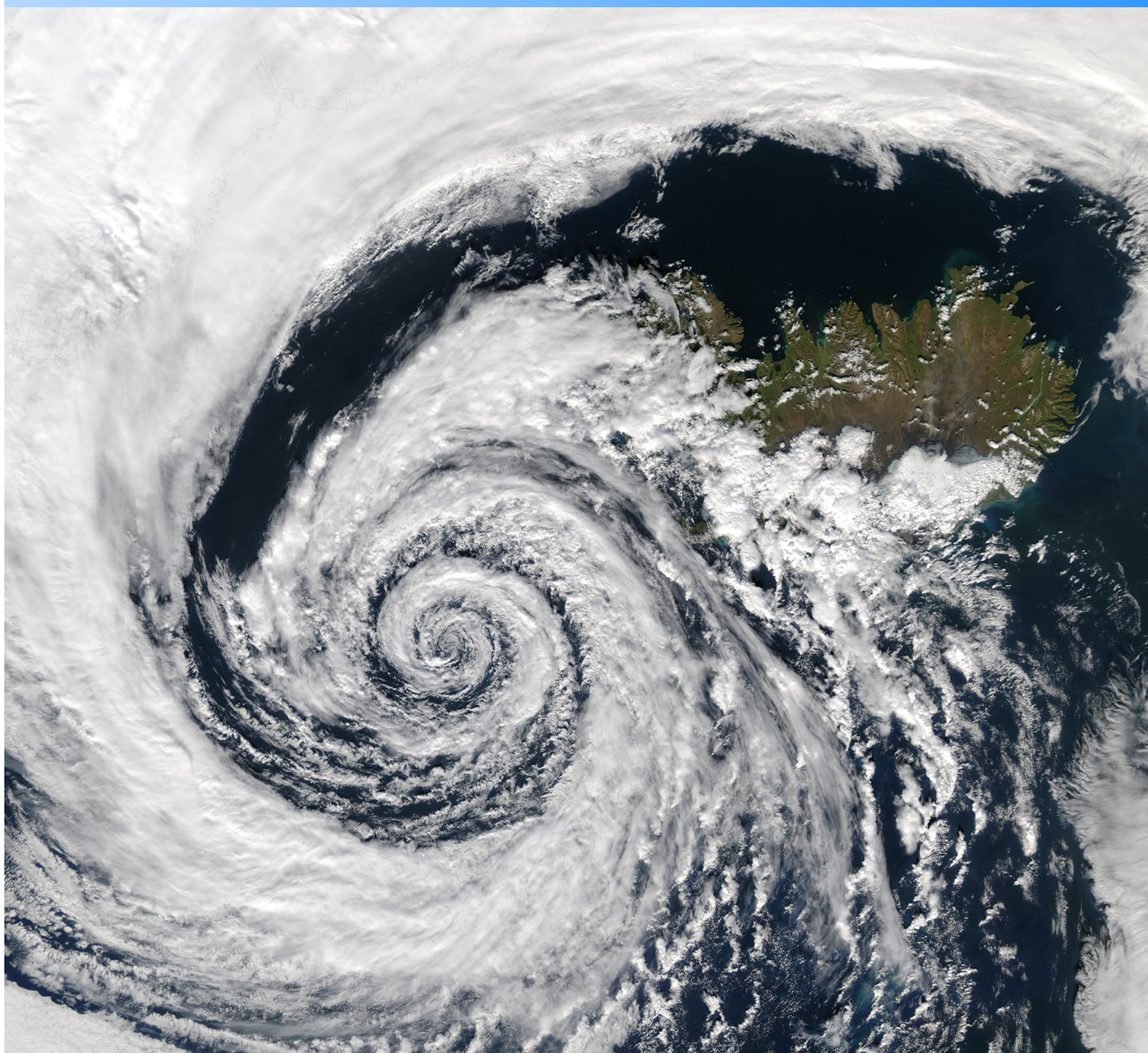


Table des matières

1. Température, pression et vent	5
1.1. Formation atmosphérique	5
1.2. Atmosphère terrestre : composition et couches	6
1.3. Modèle standard de l'atmosphère	7
1.4. Température et échanges thermiques	7
1.5. Pression et vent	10
1.6. Circulation, fronts et masses d'air	13
2. Nuages et précipitations	15
2.1. Stabilité et instabilité de masse d'air	15
2.2. Saturation de l'air	17
2.3. Classification des nuages	17
3. Phénomènes dangereux pour l'aéronautique	20
3.1. Brumes et brouillard	20
3.2. Givrage	21
3.3. Cumulonimbus	23
3.4. Ondes orographiques et turbulences	23
4. Phénomènes météorologiques locaux	24
4.1. Effet de Föhn	24
4.2. Brise de mer, brise de terre et vents locaux	24
4.3. Courants jet	25
5. Information météorologique	25
5.1. Les cartes météorologiques	25
5.2. Les messages météorologiques	29

1. Température, pression et vent

1.1. Formation atmosphérique

L'atmosphère terrestre s'est formée il y a environ 4,6 milliards d'années, en même temps que la Terre. À cette époque, la planète était une boule de magma en fusion, issue de l'accrétion de poussières et de gaz issus de la nébuleuse solaire. La toute première atmosphère, appelée atmosphère primitive, était composée principalement d'hydrogène et d'hélium, mais elle a rapidement été soufflée par le vent solaire, car la Terre ne possédait pas encore de champ magnétique protecteur.

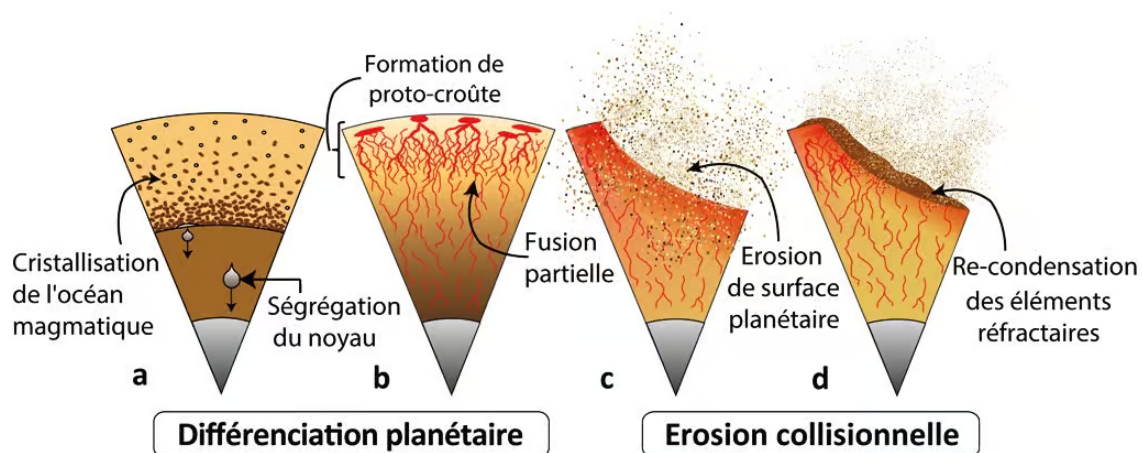


Figure 1 – Différenciation planétaire.

Une seconde atmosphère s'est formée grâce au dégazage volcanique. Les éruptions ont libéré de grandes quantités de gaz, comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'ammoniac et d'autres gaz volcaniques. Cette atmosphère était très différente de celle d'aujourd'hui : elle ne contenait presque pas d'oxygène.

Au fil du temps, la Terre s'est refroidie, ce qui a permis à la vapeur d'eau de se condenser et de former les océans. Ces océans ont commencé à absorber une partie du dioxyde de carbone de l'atmosphère, réduisant son effet de serre. Ensuite, les premières formes de vie, notamment les cyanobactéries, sont apparues il y a environ 3,5 milliards d'années. Par photosynthèse, elles ont commencé à produire de l'oxygène, modifiant peu à peu la composition de l'air.

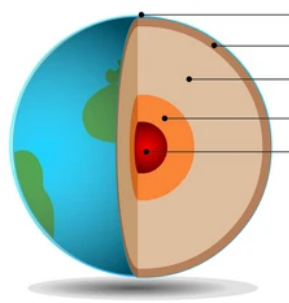


Figure 2 – Coupe terrestre.

Cet oxygène s'est d'abord accumulé dans les océans et les roches, puis a commencé à s'accumuler dans l'atmosphère. Vers 2,4 milliards d'années, un événement appelé « Grande Oxydation » a marqué l'apparition significative d'oxygène dans l'air. Cela a permis la formation de la couche d'ozone, qui protège la surface terrestre des rayons ultraviolets.

1.2. Atmosphère terrestre : composition et couches

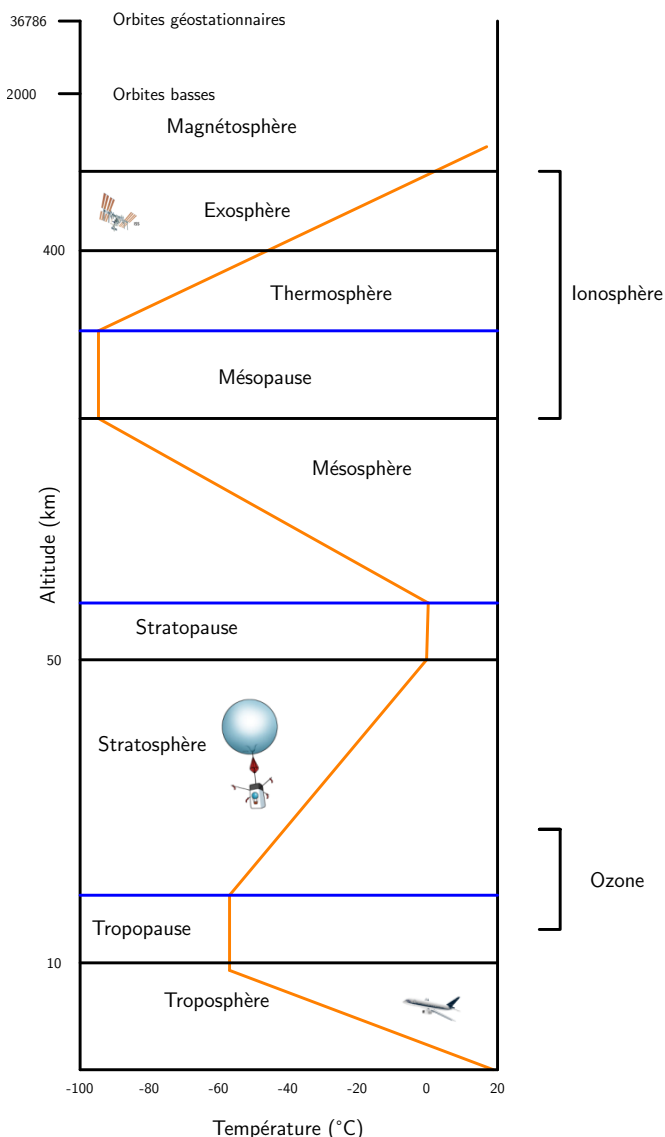
L'atmosphère terrestre désigne l'enveloppe gazeuse qui entoure notre planète. Les gaz sont maintenus autour de la Terre par _____ qui les retient et les empêche de s'échapper vers l'espace.

L'air atmosphérique est un mélange d'air sec, de vapeur d'eau et de poussières. L'air sec (99,97 %) est composé de diazote (N_2) à 78 %, de dioxygène (O_2) à 21 %, d'argon (Ar) à 0,9 % ; auxquels s'ajoutent des traces d'hélium, de dioxyde de carbone et de dihydrogène ainsi que d'autres gaz rares et des poussières.

Les gaz y sont donc concentrés près du sol. 99 % de la masse de l'atmosphère se situe entre 0 et 30 km. La pression atmosphérique décroît rapidement avec l'altitude.

L'épaisseur moyenne de notre atmosphère est d'environ 600 km. Elle fluctue, selon l'activité solaire notamment, entre 350 et 800 km.

Au-delà de cette altitude, on est dans _____ : ce n'est pas le vide qui y règne, on y rencontre encore quelques très rares particules gazeuses. Ces particules ne sont plus retenues par la gravité terrestre et peuvent s'échapper vers l'espace. Les satellites en orbite haute y gravitent.



Détaillons les différentes couches de l'atmosphère :

- _____ : située entre 80 km et 500 km, on peut y retrouver les satellites en orbite basse et les stations spatiales ;
- _____ : située entre 50 km et 80 km, la température moyenne qui y règne est de -100°C et la plupart des météorites brûlent en entrant dans cette partie de l'atmosphère ;
- _____ : située entre la tropopause (à 11 km) et 50 km de haut, elle contient la majeure partie de la couche d'ozone ;
- _____ : située de la surface de la Terre jusqu'à une hauteur de 11 km, c'est dans cet environnement qu'évoluent les avions ;
- incluse dans l'exosphère, se trouve la magnétosphère dans laquelle les phénomènes physiques sont organisés par le champ magnétique terrestre. On regroupe parfois la mésosphère, la thermosphère et l'exosphère sous le nom d'_____.

1.3. Modèle standard de l'atmosphère

L'état de l'atmosphère peut être décrit par un certain nombre de paramètres :

- la température ;
- la pression ;
- l'humidité ;
- le vent.

Pour différents besoins, notamment en aéronautique, il est nécessaire de donner un certain nombre de points de référence pour lequel l'atmosphère est normalisée. Ceci permet de décrire les performances des aéronefs en fonction de ce modèle dans les manuels de vol. Ainsi, les valeurs de référence sont :

1. au niveau de la mer, la pression standard est 1013,25 hPa (hectopascals) ;
2. au niveau de la mer, la température standard est de 15 °C (ou 288,15 K) ;
3. la masse volumique standard est $1,225 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

À partir de ces valeurs, on crée un modèle physique appelée modèle standard (ou ISA pour *International Standard Atmosphere*) en considérant que les paramètres de l'atmosphère évoluent selon les courbes suivantes.

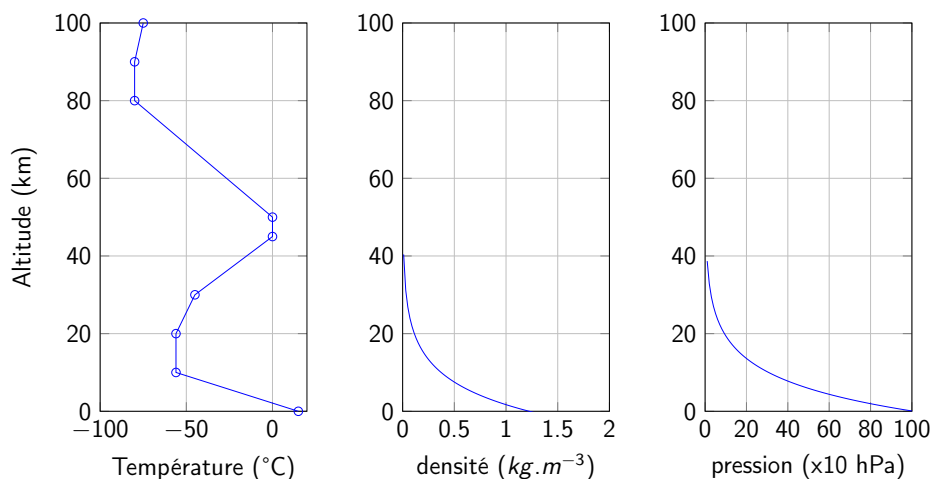


Figure 3 – ISA (modèle de 1976).

À partir de ces courbes, on peut donc en déduire de façon théorique les valeurs de température et pression en altitude. Pourtant, lorsque les conditions du jour ne sont pas de 1013,25 hPa et 15 °C au niveau de la mer, il va falloir apporter des corrections.

1.4. Température et échanges thermiques

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et définie en physique de la façon suivante pour un gaz (comme l'atmosphère) : elle mesure le degré d'agitation thermique des particules qui constituent ce gaz. Elle est généralement mesurée en degrés Celsius, Fahrenheit ou Kelvin. On a les relations suivantes entre les unités :

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \times T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad \text{et} \quad T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Dans le graphique précédent, on peut remarquer que jusqu'à 11 km d'altitude (espace dans lequel évoluent les aéronefs), la courbe est proche d'une droite. Ainsi, on peut considérer qu'il existe une relation affine entre la température et l'altitude :

la température décroît de _____ Celsius ou Kelvin
lorsque l'altitude augmente de _____.

Ainsi, dans la troposphère, la température diminue lorsque l'altitude augmente, pour atteindre une valeur proche de $-56,5^{\circ}\text{C}$ à sa limite supérieure. La tropopause — transition entre la troposphère et la stratosphère — marque l'entrée dans une couche d'inversion de température, c'est à dire que la température se met à augmenter avec l'altitude.

Exercice 1

On se trouve à une altitude de 400 m et on mesure une température de 7°C . Quelle température fait-il au niveau de la mer ?

À un lieu donné, la température moyenne au niveau de la mer est variable selon les saisons et oscille également au cours d'une journée autour d'une valeur moyenne.

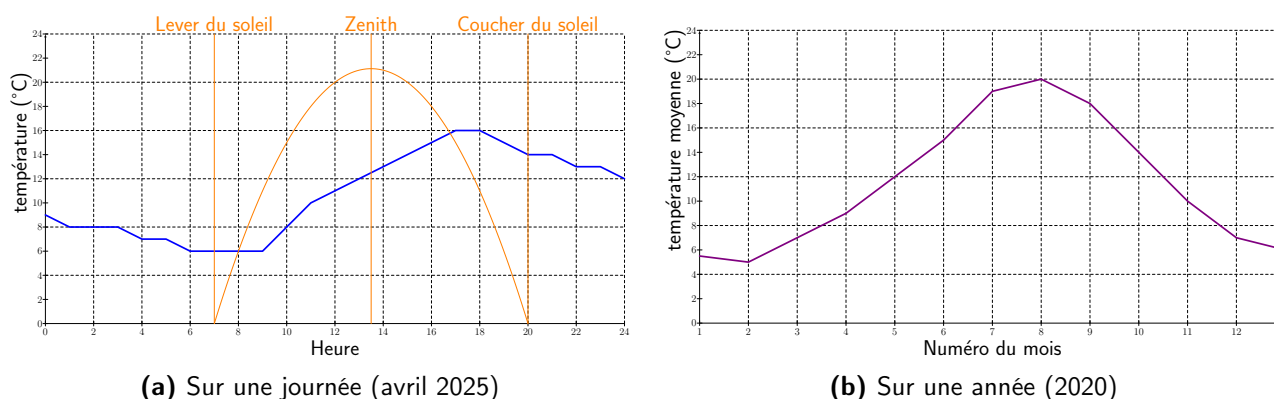


Figure 4 – Variations de température pour un lieu donné (Paris).

Les variations quotidiennes et saisonnières sont directement liées à l'angle des rayons du soleil avec la surface éclairée. L'éclairement est plus intense au moment de la journée où le soleil est à son zénith. Sur une année, la durée d'ensoleillement varie en fonction de la position de la Terre sur son orbite et de l'angle d'incidence des rayons solaires (compte tenu de l'inclinaison de l'axe de la terre). Les quatre saisons des régions tempérées sont plutôt réduites à deux dans les zones intertropicales et ont des durées très différentes aux pôles. En Arctique, il existe deux saisons principales : un long hiver sombre et glacial de neuf mois et un bref été de trois mois très frais.

Les transferts thermiques, appelés plus communément _____, font varier la température d'un système. Ils se manifestent sous trois formes :

- la _____, par contact matériel ;
- la _____ (mouvement vertical) ou l'advection (mouvement horizontal) par brassage de fluide, liquide ou gazeux ;
- le _____, par l'émission et la propagation d'ondes électromagnétiques (lumière visible ou infrarouge).

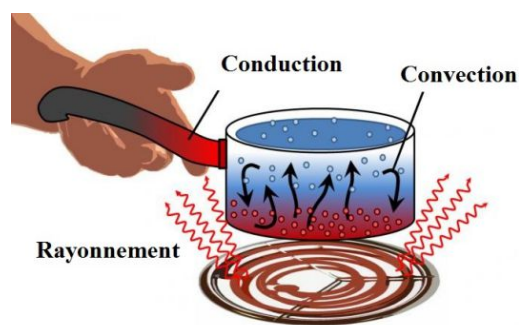


Figure 5 – Échanges thermiques.

Remarque : La signification du mot « chaleur » dans le langage courant peut porter à confusion (notamment avec la température). S'il est vrai que les transferts thermiques spontanés se font des corps chauds vers les corps froids (c'est un principe physique), il est néanmoins possible de réaliser un transfert thermique d'un corps froid vers un corps chaud, à l'aide d'une machine thermique comme un réfrigérateur. Lors d'un changement d'état, par exemple lors de l'ébullition, un corps pur ne change pas de température alors qu'il échange de l'énergie sous forme de chaleur.

L'exemple le plus simple de situation mettant en jeu un transfert thermique est celui de deux corps en contact ayant des températures différentes. Le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus froid par conduction ; sa température diminue, le désordre, l'agitation thermique, diminue. En contrepartie, la température du corps froid augmente, l'agitation thermique augmente en son sein.

Le rayonnement solaire est partiellement absorbé par la surface de la Terre, qui le rediffuse sous forme d'infrarouges vers les basses couches de l'atmosphère. On donne la figure suivante avec des pourcentages indicatifs.

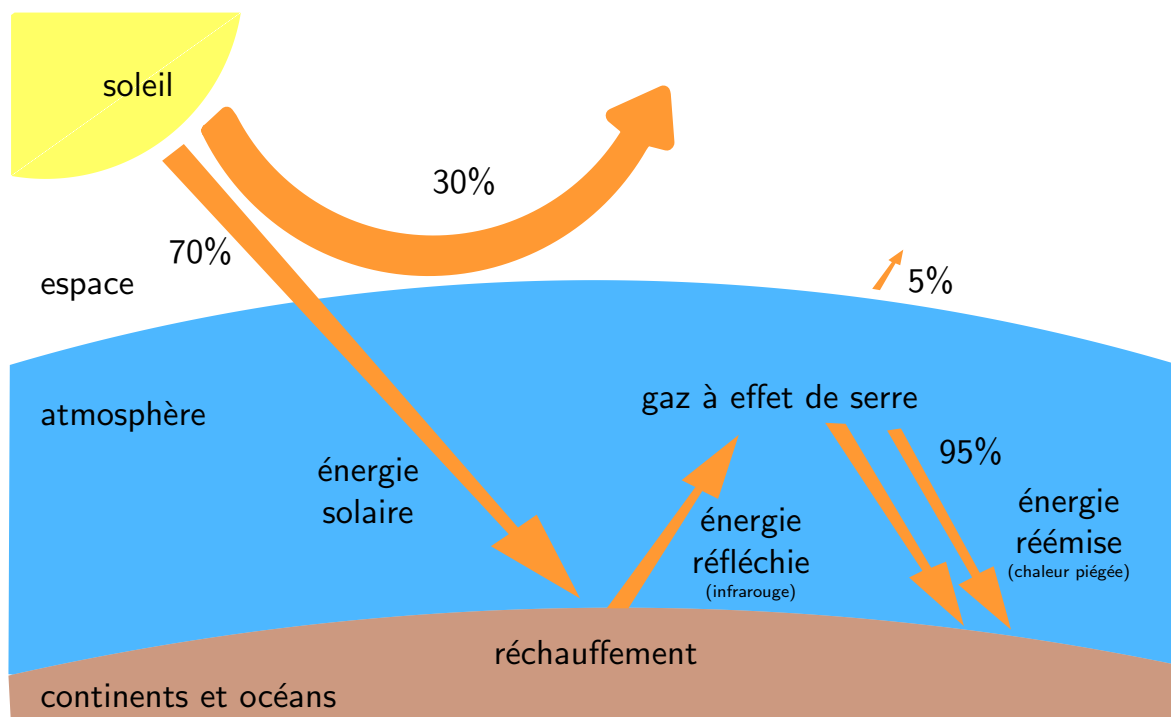


Figure 6 – Bilan radiatif.

1.5. Pression et vent

On définit la _____ atmosphérique comme le poids de la colonne d'air au dessus d'une surface de un mètre carré. L'unité de mesure est le Pascal. Cependant, en météorologie, on utilise préférentiellement l'hectopascal ($1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$).

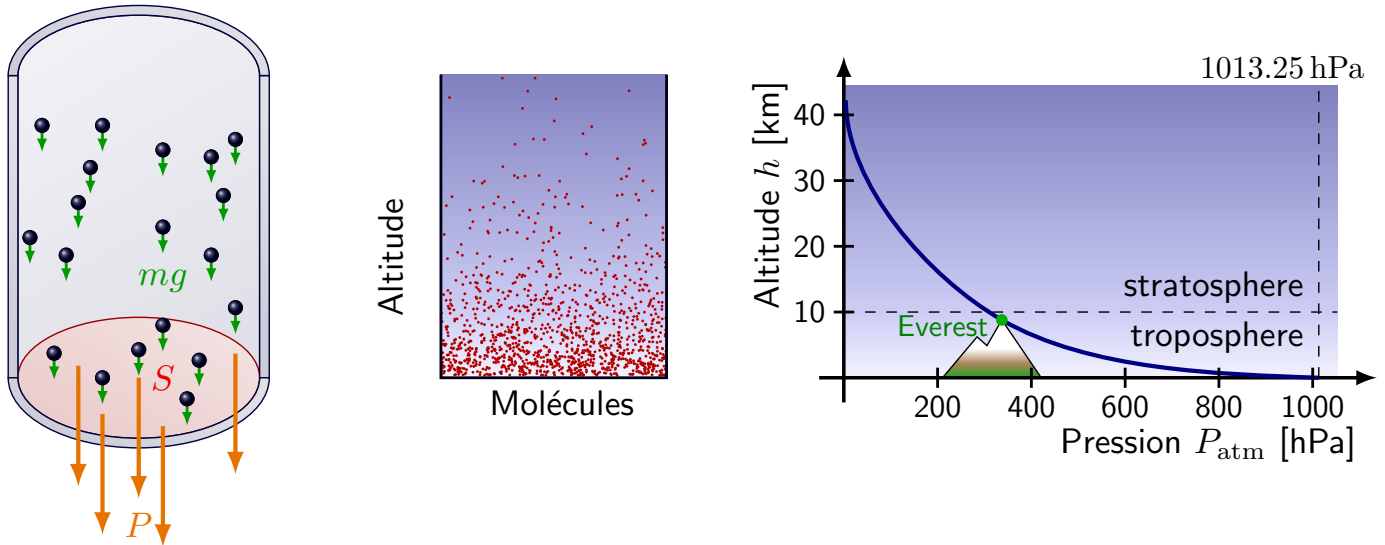


Figure 7 – Illustration à différentes échelles de la notion de pression.

Lorsque l'on s'élève dans l'atmosphère, la densité des molécules d'air diminue : la pression est maximum au sol et décroît avec l'altitude. Dans les basse couches, la courbe de l'illustration précédente est proche d'une droite : une bonne approximation des variations de pression consiste à considérer que

la pression décroît de _____
lorsque l'altitude augmente de _____.

Un baromètre, dont le principe est illustré par la figure suivante (expérience de Torricelli) permet de connaître la pression moyennant une référence : la pression atmosphérique sur une fluide est mesurée à l'aide de la hauteur atteinte par la colonne de fluide.

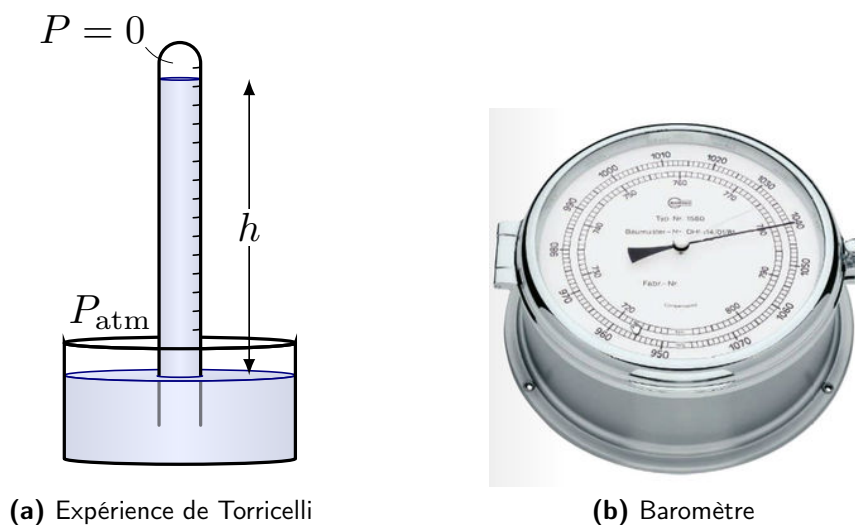


Figure 8 – Mesure de la pression

On se référera au chapitre sur la connaissance des aéronefs pour connaître l'utilisation de la pression par l'altimètre (notamment les calages altimétriques). On verra également à la fin de chapitre quels sont les moyens de transmission de la pression (au niveau de la mer ou autre) à l'équipage d'un avion.

Exercice 2

On considère que les conditions de températures sont normales dans cet exercice. Le QNH du jour est 1015 hPa. Dans mon avion, au parking de l'aérodrome, je règle les aiguilles de mon altimètre pour les placer sur l'altitude 0 pied. La fenêtre de réglage la pression indique 1005 hPa. À quelle altitude se trouve l'aérodrome ?

Remarque : On a donné ici une définition de la pression atmosphérique mais on peut donner une définition plus générale de la notion de pression. La pression est la force exercée sur une surface donnée. Elle permet de mesurer comment une force se répartit sur une surface. Elle est donnée par la formule :

$$P = \frac{F}{S}$$

où :

- P est la pression (en pascals, Pa) ;
- F est la force appliquée (en newtons, N) ;
- S est la surface sur laquelle la force s'applique (en mètres carrés, m^2) ;

Ainsi, le Pascal est une façon de formuler des Newtons par mètre carré.

La pression varie peu à altitude constante et des zones de pression égales ou _____ peuvent s'étendre sur des centaines de kilomètres voire plus. On parle alors de _____ qu'on regroupe sous les terminologies suivantes :

- les _____ qui sont des zones de hautes pressions ;
- les _____ qui sont des zones de basses pressions ;
- les _____ qui sont des zones sans variation de pression significative (souvent proche de 1013 hPa) ;
- les _____ qui sont des crêtes de hautes pressions ;
- les _____ qui sont des vallées de basses pressions.

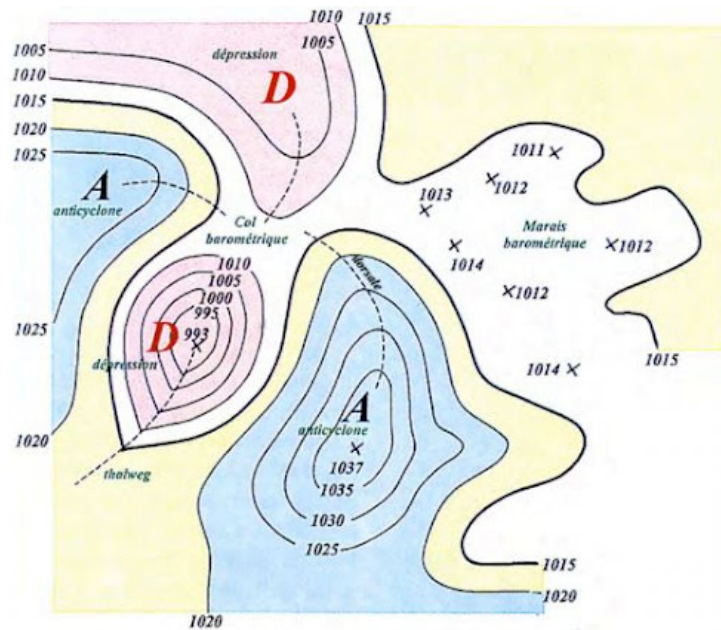
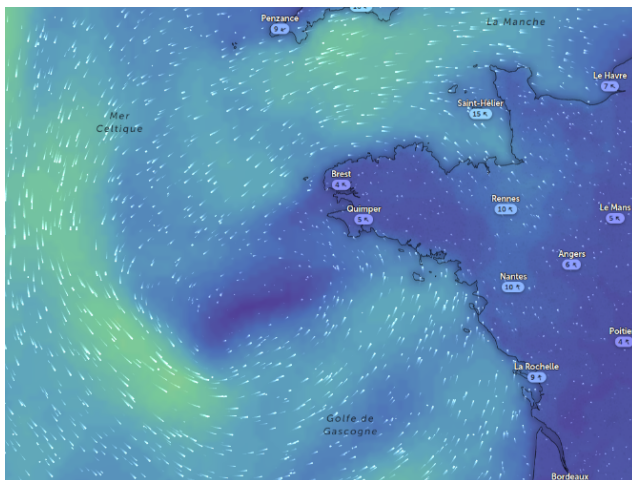


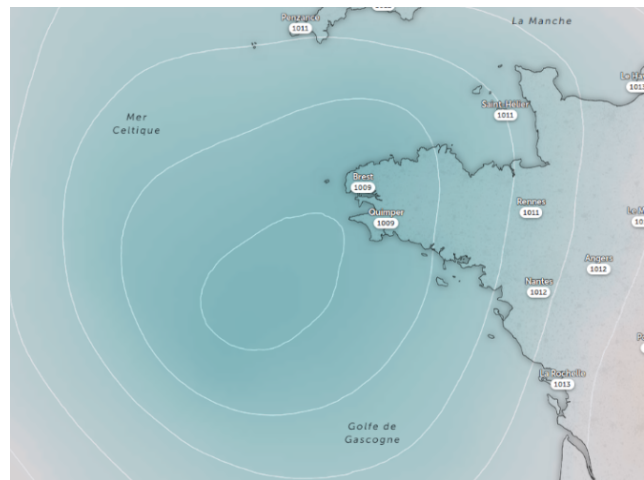
Figure 9 – Champs de pression

En météorologie, le vent désigne le _____ de l'air. Sa mesure comprend deux paramètres : sa _____ et sa _____ ou force.

Les différences de pressions sont à l'origine du vent. Celui-ci circule toujours des hautes pressions vers les basses pressions. Le vent est d'autant plus fort que les variations de pression sont importantes.



(a) Vents



(b) Isobares

Figure 10 – Lien entre vent et variations de pression

En tenant compte de la rotation de la Terre, la force de _____ dévie le vent vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

Avec cette force, dans l'hémisphère Nord, le vent tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un anticyclone (une zone de _____ pression) et en sens contraire autour d'une dépression (une zone de _____ pression). C'est la règle de _____. Dans l'hémisphère Sud, ces sens de rotation sont inversés.

Les frottements réduisent la vitesse du vent près de la surface et en conséquence la déviation due à la force de Coriolis diminue lorsque l'altitude diminue : on parle de _____ de la surface terrestre.

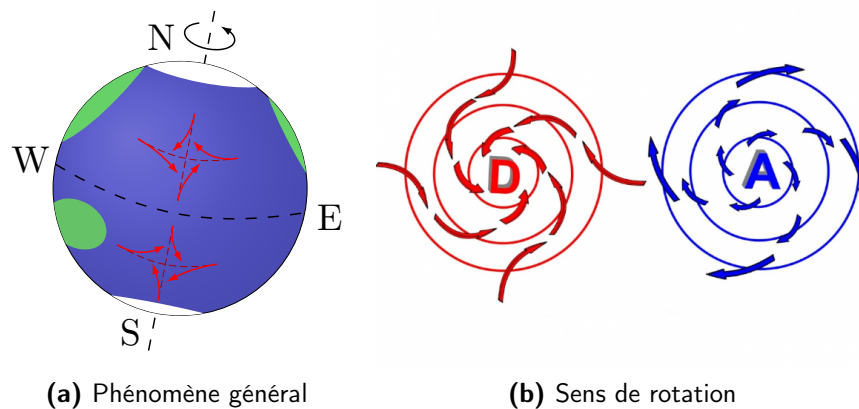


Figure 11 – Illustrations de la force de Coriolis

1.6. Circulation, fronts et masses d'air

Le déséquilibre thermique entre l'équateur et les pôles entraîne la formation de trois cellules de convection : l'air chaud ascendant étant remplacé par de l'air froid. Il en résulte, de façon globale :

- la formation d'un anticyclone aux pôles, une dépression au niveau du 60^{ème} parallèle ;
- un anticyclone aux environs du 30^{ème} parallèle ;
- une dépression près de l'équateur.

Combiné à la force de Coriolis, ceci explique la circulation générale de l'air à la surface du globe.

C'est ainsi que circulent les masses d'air qui sont de grande étendues d'air dans laquelle la température et l'humidité varient peu. Certaines régions du globe ont des propriétés de température et d'humidité uniformes au sol. Les masses d'air surmontant ces régions acquièrent ces mêmes propriétés. Les masses d'air se déplacent alors selon les principes de la circulation atmosphérique générale : l'air froid tend à s'écouler vers l'équateur alors que l'air chaud se dirige vers les pôles. Elles subissent des modifications au fur et à mesure de leur passage au-dessus de régions ayant d'autres caractéristiques. Les masses d'air sont classées selon

- leur température : très froide pour les masses d'air _____, froide pour les masses d'air _____, chaude pour les masses d'air _____ et très chaude pour les masses d'air _____ ;
- leur humidité : sèche pour les masses d'air _____ ou humide pour les masses d'air _____.

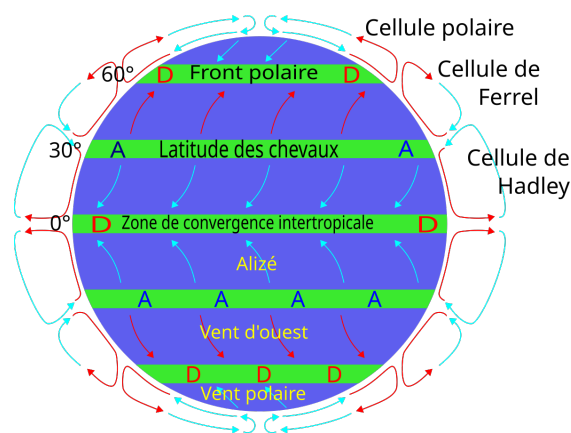
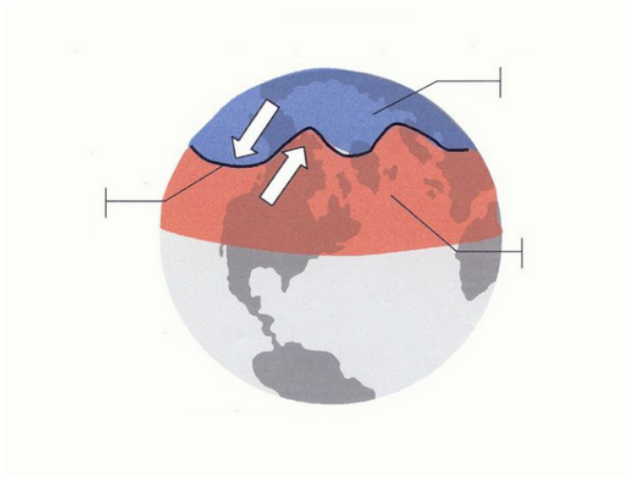
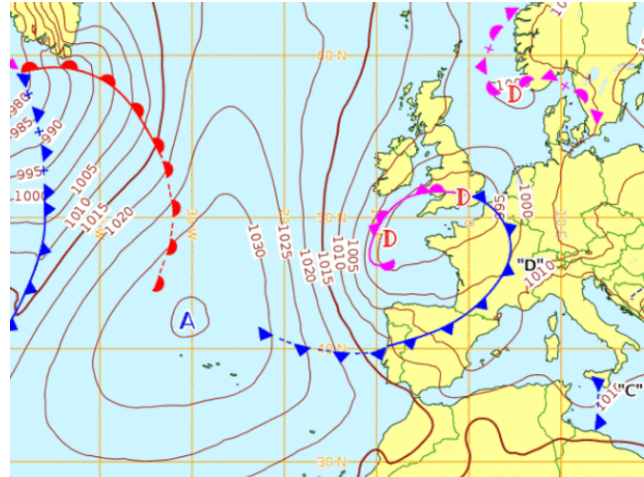


Figure 12 – Circulation générale des masses d'air à la surface terrestre

Aux latitudes entre 40° et 50°, on assiste à la rencontre entre deux masses d'air : l'une est d'origine polaire, elle est froide, tandis que l'autre est d'origine tropicale, elle est donc chaude. Lorsqu'elles se rencontrent, ces deux masses d'air ne se mélangent pas. On observe l'inclusion d'une masse d'air tropical dans la masse d'air polaire. Cette inclusion est limitée par deux surfaces appelées _____.



(a) Phénomène de front



(b) Carte plane des fronts

Figure 13 – Frontologie

On a trois types de fronts principaux :

- le front chaud : l'air chaud repousse l'air froid devant lui et passe au-dessus ;
- le front froid : l'air froid postérieur pousse l'air chaud devant lui et au-dessus de lui ;
- l'occlusion : le front froid rattrape le front chaud, le rejetant en altitude.

Ainsi, l'évolution typique d'une zone frontale menant à une dépression est la suivante dans l'hémisphère nord :

1. Le front se déforme sous l'influence de l'air froid et de l'air chaud qui tendent à poursuivre leur chemin, vers le sud pour le premier, vers le nord pour le second.
2. L'ondulation du front détermine deux limites front chaud/front froid
3. Après constitution de la perturbation, le front froid se déplace plus vite que le front chaud.
4. L'occlusion se produit lorsque le front froid rattrape le front chaud, le rejetant en altitude.

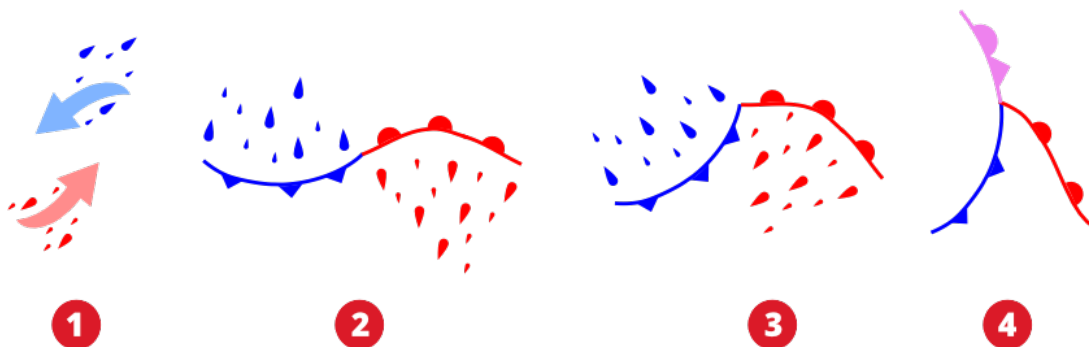


Figure 14 – Évolution frontale

Nous verrons les nuages et précipitations associées aux fronts dans la partie suivante.

2. Nuages et précipitations

De façon générale, les nuages et précipitations sont un élément primordial du cycle de l'eau. Le cycle de l'eau décrit le mouvement continu de l'eau sur Terre, dans l'air et sous la surface. L'eau s'évapore des océans, des lacs et des rivières sous l'effet du soleil. Elle se condense ensuite en nuages avant de retomber sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Cette eau alimente les sols, les nappes phréatiques et les cours d'eau, puis le cycle recommence. On peut résumer ceci avec l'illustration suivante :

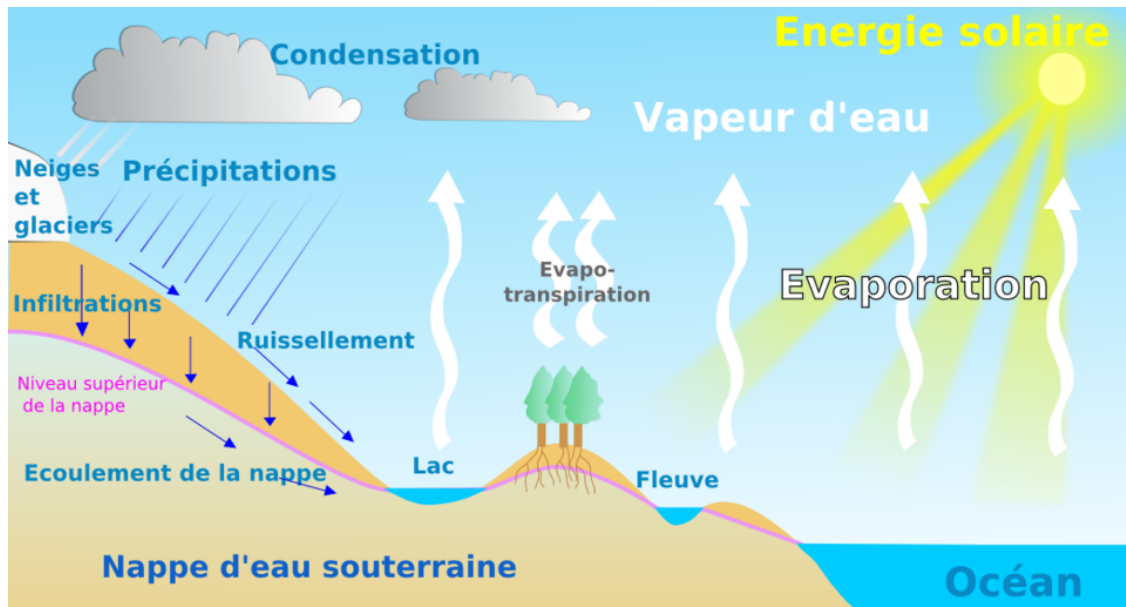


Figure 15 – Cycle de l'eau

2.1. Stabilité et instabilité de masse d'air

Pour comprendre la distinction principale qui existe entre les deux grandes classes de nuages, il est nécessaire de comprendre la notion de stabilité ou d'instabilité d'une masse d'air.

Nous avons vu précédemment que l'atmosphère standard est décrite par une pression et une température standard au niveau de la mer. Cependant, on constate aisément jour après jour que la température et que la pression ne sont pas constantes. L'atmosphère réelle n'est donc pas standard : il peut être plus froid ou plus chaud, et cet écart entre la température réelle et la température standard n'est pas constant en fonction de l'altitude. On peut donc se retrouver avec des couches d'atmosphère plus chaudes que l'atmosphère standard superposées à des couches moins chaudes que l'atmosphère standard. C'est de ces différences entre l'atmosphère standard et l'atmosphère réelle que vont découler les notions de stabilité et d'instabilité d'une masse d'air.

L'air est généralement très mauvais conducteur de chaleur. Ainsi, lorsque deux masses d'air chaude et froide sont en contact, elles ne se regroupent pas pour former une masse d'air tiède mais évoluent parallèlement l'une à l'autre sans le mélanger. L'air chaud étant moins dense que l'air froid, il aura tendance à s'installer au-dessus de l'air froid.

2.1.1. Atmosphère stable

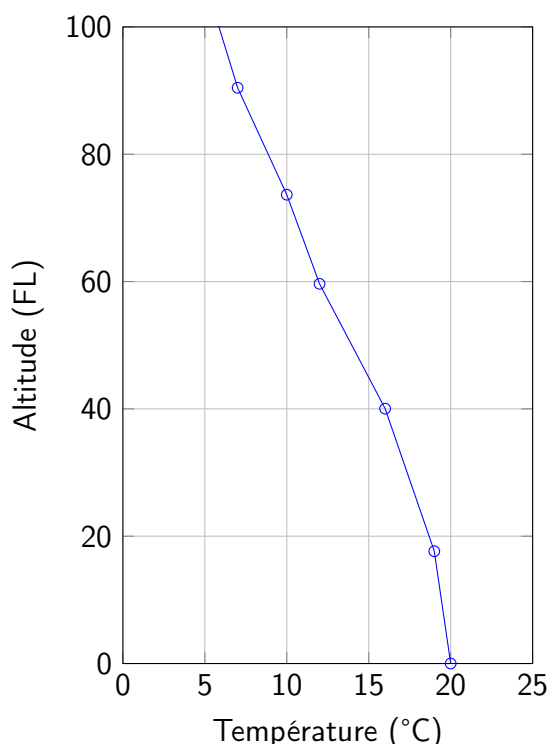


Figure 16 – Évolution de la température dans une couche d'atmosphère stable.

On lance un ballon sonde dans l'atmosphère pour mesurer la température de l'air à différentes altitudes et les résultats obtenus sont présentés sur la figure ci-contre.

Considérons alors une particule d'air prélevée à 1750 ft, où la température est de 19°C et supposons qu'en raison d'une perturbation extérieure cette particule est *projetée* à 2000 ft.

On peut voir sur le relevé de températures de la radio-sonde que la température à 2000 ft est inférieure à 20°C. Dans ces conditions, notre particule se trouve être plus chaude que l'air environnant. Étant plus chaude, donc plus légère, elle va initier un mouvement de montée et de ce fait va se refroidir de 2°C en montant de 1000 ft.

Cependant, on constate cette fois-ci que l'atmosphère environnant s'est refroidi plus lentement et la particule d'air se retrouve donc plus froide que l'air qui l'entoure. Elle est donc maintenant plus lourde et aura donc tendance à redescendre vers une position d'équilibre.

Le même comportement peut s'observer si la particule est initialement *éjectée* vers le bas.

Cette situation décrit une atmosphère stable dans laquelle des perturbations dans la position des particules se traduisent par un retour à la situation initiale.

2.1.2. Atmosphère instable

Un autre jour, on lance un autre ballon sonde dans l'atmosphère et les températures mesurées ce jour-là sont présentées sur la figure ci-contre.

Considérons alors notre particule d'air prélevée à 2200 ft, où la température est de 12°C et supposons qu'en raison d'une perturbation extérieure cette particule est *projetée* à 2500 ft.

Comme précédemment, la particule se retrouve plus chaude que l'air environnant, est donc plus légère et initie son mouvement de montée. En s'élevant, elle a perdu 2°C en arrivant à 3500 ft.

Mais puisque cette fois-ci l'atmosphère s'est refroidi plus rapidement, la particule d'air reste plus chaude que l'air environnant et continue son ascension.

Le même comportement peut s'observer si la particule est initialement *éjectée* vers le bas.

Cette situation décrit une atmosphère instable dans laquelle des perturbations dans la position des parti-

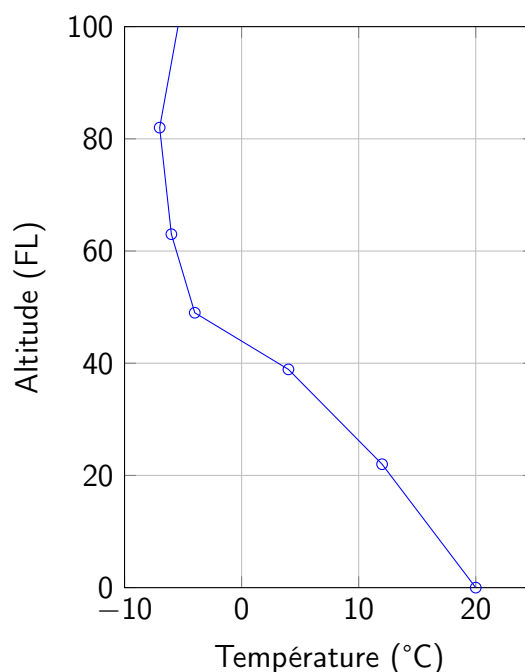


Figure 17 – Évolution de la température dans une couche d'atmosphère instable.

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 :

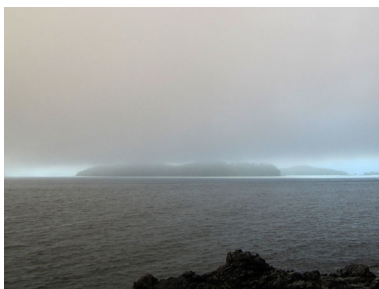
- l'étage inférieur, du niveau du sol à 2 km environ, associé au préfixe _____ ;
- l'étage moyen, de 2 km à 5 km environ, associé au préfixe _____ ;
- l'étage supérieur, de 5 km à 11 km environ, associé au préfixe _____.

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

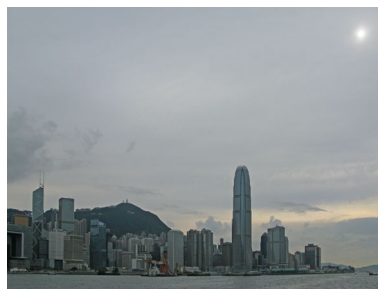
Les *stratostratus*, plus simplement appelés _____ constituent généralement une couche grise relativement claire, dont la base est assez uniforme, et pouvant donner lieu à de la _____ ou de la _____. Lorsque le soleil est visible au travers, son contours est nettement discernable.

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.

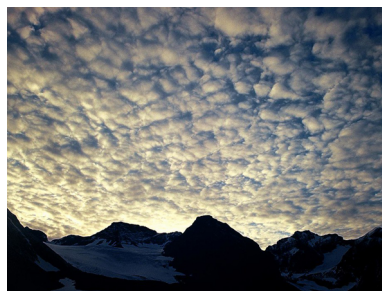
Les _____ se présentent sous forme de banc, de nappe ou de couche de nuages gris ou blancs d'aspect ondulé, composés de lamelles, de galets ou de rouleaux possédant une ombre propre, disposés assez régulièrement.

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) Altostratus.



(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 majeure 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.

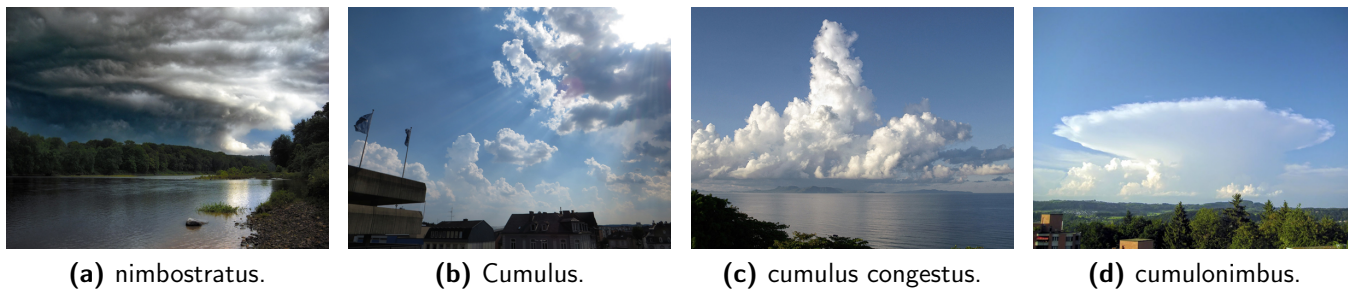


Figure 20 – Les nuages à forte extension verticale.



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 un 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.



(a) Rayonnement.



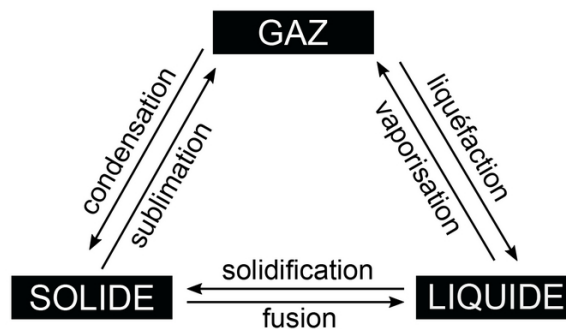
(b) Pente.

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 concentrons 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.

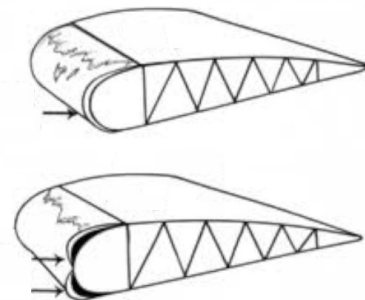


(b) Bord d'attaque.

Figure 24 – Givrage



(a) Nacelle dégivrante



(b) Dégivreur de bord d'attaque

Figure 25 – Dégivrage

3.3. Cumulonimbus

Le _____ est le nuage le plus dangereux pour l'aviation (y compris pour les gros avions de ligne qui les évitent la plupart du temps). Il se forme dans les fronts froids toute l'année ou après un fort échauffement du sol au printemps et en été. Celui-ci provoque :

1. du vent violent pouvant changer brusquement de vitesse (de 0 à 40 kt) et de direction ;
2. des grains, qui sont du vent violent mélangés à une pluie intense ;
3. des averses de pluie très denses pouvant occulter la visibilité ;
4. de la turbulence avec des vent verticaux dépassant les 30 kt ;
5. de la grêle et de la foudre qui peuvent endommager l'avion de façon brutale.

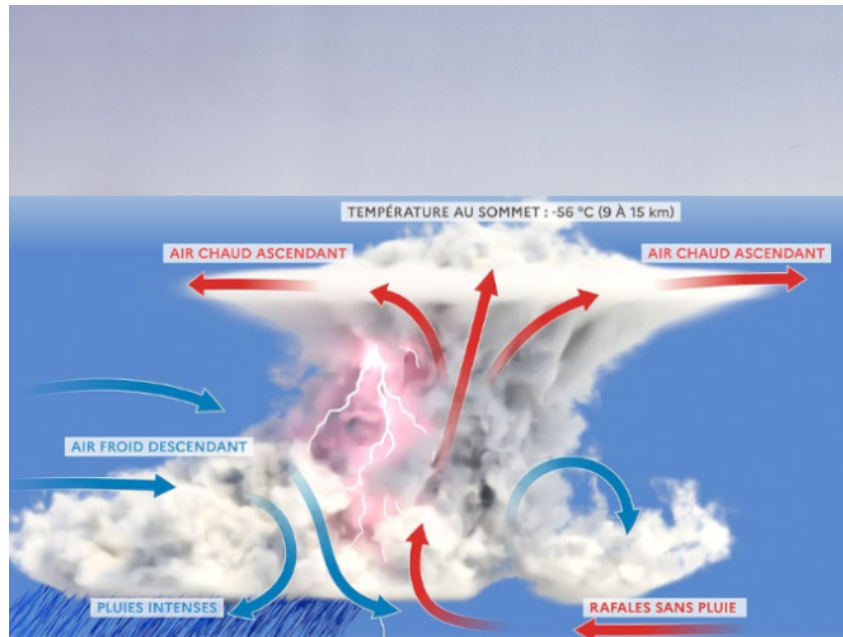


Figure 26 – Phénomènes dans un cumulonimbus

3.4. Ondes orographiques et turbulences

Une onde _____ (ou onde de ressaut) est une forme d'onde de gravité atmosphérique qui se produit lorsqu'une masse d'air est forcée en altitude par son déplacement au-dessus d'un relief montagneux. Si l'environnement est stable, la masse d'air redescendra du côté aval de l'obstacle et entrera en oscillation autour d'une hauteur égale ou inférieure au sommet de celui-ci. Par contre, si l'air est instable, l'air continuera de s'élever, avec ou sans oscillation. L'onde orographique est aussi connue sous les noms d'« onde de relief » et d'« onde de montagne ». Ces ondes peuvent être dangereuse pour l'aviation car elles résultent en de grandes variations d'altitude au passage d'une montagne.

La _____ consiste en des mouvements d'air plus ou moins violent et peut se former sous certains nuages instables (cumulus et cumulonimbus en particulier) ainsi qu'au contact de deux masses d'air (turbulence en air clair) et lorsqu'il y a présence de forts gradients de vent, de température ou de pression. Généralement sans danger mais provoquant l'inconfort des passagers d'un avion, elles peuvent devenir dangereuses lorsque les passagers ne sont pas correctement attachés à bord.

4. Phénomènes météorologiques locaux

4.1. Effet de Föhn

L'effet de _____ est un phénomène, spécifique aux régions montagneuses, qui explique le temps privilégié de certaines régions (Languedoc Roussillon, Alpes du sud, Alsace) ainsi que le temps humide d'autres régions (Limousin, Vosges). Il s'agit du franchissement d'un obstacle (généralement une montagne) par de l'air humide. L'air humide est soulevé par le relief, se détend et se refroidit jusqu'à la saturation induisant la formation de nuages et jusqu'à la formation de pluies ou de neiges. De l'autre côté du relief, l'air descendant s'est déchargé de toute son humidité. Sa descente a alors pour effet de le réchauffer. Le passage du relief assèche et réchauffe la masse d'air.

4.2. Brise de mer, brise de terre et vents locaux

Les _____ sont des vents locaux réguliers qui s'établissent près des lacs, de la mer, des montagnes et dans les vallées. Ces vents sont provoqués par les différences de températures entre les masses d'air dans les basses couches de la troposphère et ils suivent un cycle jour/nuit.

La brise en région côtière est due au fait que la variation de la température de l'eau est plus faible et moins rapide que celle de la surface de la terre. Ceci provoque :

- de la brise de mer (du milieu de matinée jusqu'en fin d'après-midi) lorsque sous l'effet du rayonnement solaire, la surface de la terre se réchauffe plus vite que la masse d'eau : l'air, au contact du sol s'élève en faisant place à une dépression qui aspire l'air plus froid situé au-dessus de la mer ;
- de la brise de terre en fin de soirée lorsque la masse d'air, en contact avec le sol, se refroidit plus rapidement que celle en contact avec la mer et provoque un anticyclone qui chasse l'air vers le large.

Brises de terre et de mer sont deux phénomènes en quelque sorte inverses.

On peut aussi rencontrer des brises en région montagneuse qui sont des brises de pente : de jour, l'air, au contact des versants ensoleillés s'échauffe et s'élève le long des pentes. Pour compenser l'air emprunté au fond de la vallée, un vent s'établit, remontant la vallée. En soirée et de nuit, le phénomène inverse se produit.

Il existe également des vents se produisant localement. Ce qu'on appelle un vent régional est un vent local, sur une zone plus ou moins étendue, et non simplement la dénomination régionale du vent de grande échelle. On donne les principaux sur l'illustration suivante :

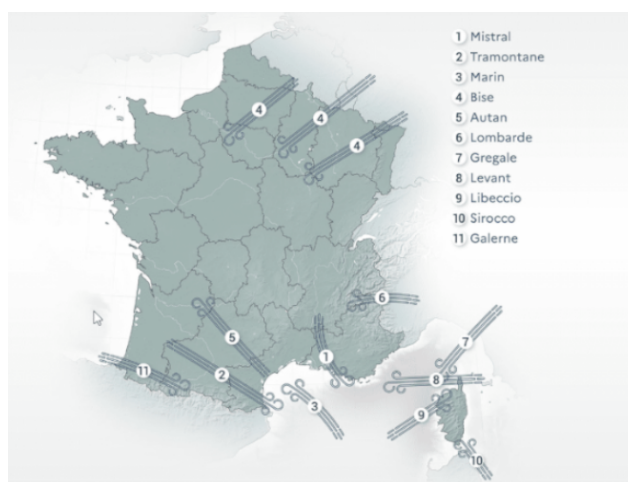


Figure 27 – Vents locaux.

4.3. Courants jet

Le courant _____ ou jet stream est un courant d'air très rapide de quelques centaines de km de large, et de seulement quelques km d'épaisseur, situé à environ 10 km d'altitude. Il entoure le globe terrestre, et souffle d'Ouest en Est selon la rotation de la terre. Il se situe au niveau de la tropopause, à la jonction des cellules de convection. La vitesse des vents à l'intérieur est d'environ 200 à 300 km/h. Les pilotes de ligne l'utilisent pour économiser du carburant.

5. Information météorologique

Les informations météorologiques à destination des pilotes se découpent en trois types :

- des cartes, décrivant l'état prévisionnel de différents paramètres météorologiques (pression, température, vent, nébulosité, etc.) sur un vaste territoire géographique ;
- des images, correspondant à des photographies actuelles prise par satellite ou à des images radar relevées à partir de station au sol et couvrant un vaste territoire géographique ;
- des messages, décrivant de manière textuelle les paramètres météorologiques observés ou prévus en un endroit précis.

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons essentiellement aux cartes et messages météorologiques et nous verrons les éléments permettant d'interpréter les informations que ces documents contiennent.

5.1. Les cartes météorologiques

5.1.1. La carte de temps significatif

La carte _____ est une carte du **TEMps Significatif prévu** à heure fixe, sur laquelle sont portés les phénomènes intéressant l'aéronautique et les masses nuageuses.

Sur la carte TEMSI France, toutes les masses nuageuses sont décrites. Les bases et sommets des masses nuageuses sont donnés par rapport au niveau moyen de la mer (altitude).

La carte TEMSI France est éditée toutes les 3 heures de 0600z à 0000z et est mise à disposition 2 heures avant l'heure de validité.

Ces cartes sont établies essentiellement à l'aide de données fournies par des satellites qui sont analysées et utilisées dans des modèles mathématiques de prévisions mais également à l'aide de ballons-sondes.



(a) Satellite météorologique (Meteosat-12)



(b) Ballon-sonde

Figure 28 – Outils pour établir les cartes TEMSI

Un exemple de carte TEMSI est donné sur la figure 29.

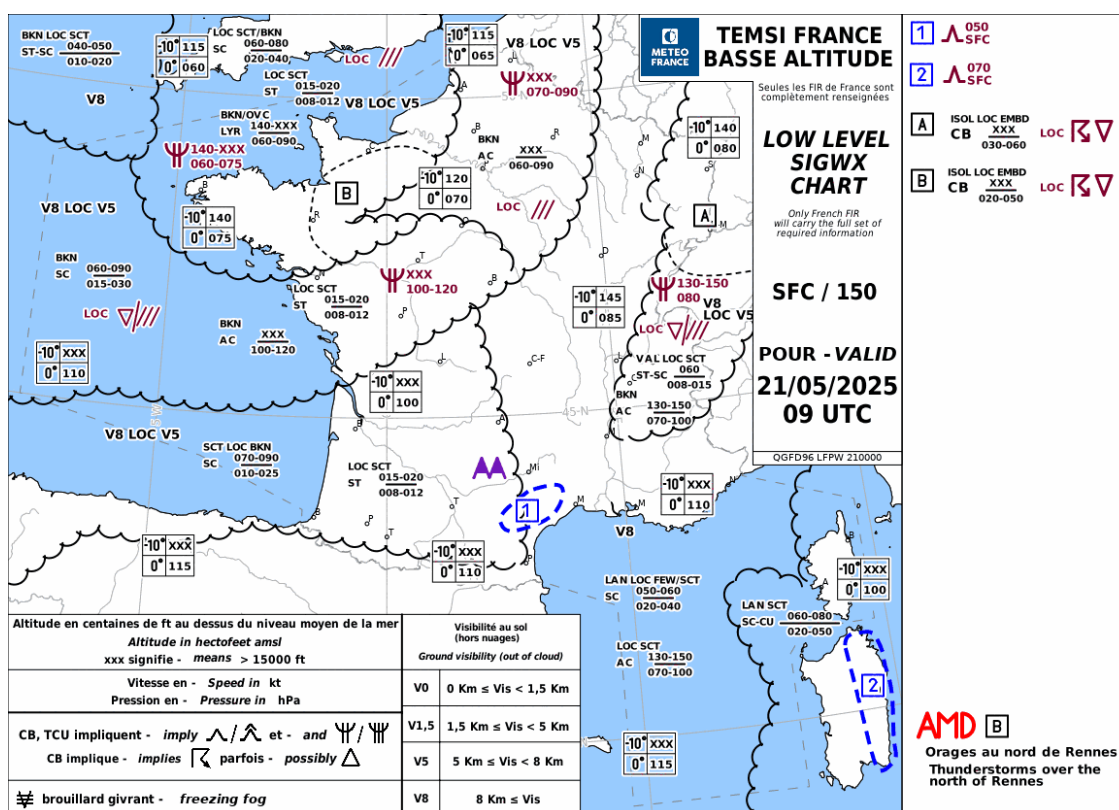


Figure 29 – Carte du temps significatif du mercredi 21 mai 2025 à 9 heures UTC.

Délimitation des zones



Les lignes festonnées décrivent les limites des zones de temps significatif



Les lignes fines discontinues décrivent les limites des sous zones à l'intérieur d'une zone festonnée



Les lignes épaisses discontinues décrivent les limites des zones de turbulence ou les limites des zones de grande étendue de vent supérieur à 30 kt



Une lettre entourée d'un carré renvoie aux conditions qui règnent dans la sous zone (en plus de celles déjà décrites dans la zone festonnée directement)



Un chiffre entouré d'un carré peut renvoyer à une légende indiquant les caractéristiques de la zone de turbulence et/ou de la zone de grande étendue de vent supérieur à 30 kt

Isotherme 0 °C et -10 °C

-10°	115
0°	060

Les isothermes 0 °C et -10 °C sont décrites sur la carte TEMSI. Elles sont données en centaines de pieds au dessus du niveau moyen de la mer.

Si la température au sol est déjà négative, l'isotherme 0 °C est notée au niveau de la surface avec l'abréviation SFC. Si les isothermes sont situées à un niveau supérieur à la couverture verticale de la carte, elles sont indiquées avec l'abréviation XXX.

Abréviations pour cumulonimbus et tower cumulus

ISOL : les CB ou TCU sont séparés de la couche et la couche présente une couverture spatiale maximale inférieure à 50 % de la zone concernée.

OCNL : les CB ou TCU sont occasionnels et la couche présente une couverture spatiale maximale comprise entre 50 et 75 % de la zone concernée.

FRQ : les CB ou TCU sont fréquents et la couche présente une couverture spatiale maximale supérieure à 75 % de la zone concernée.

EMBD : les CB sont noyé(s) dans la masse nuageuse. Cette abréviation n'est pas utilisée pour les TCU.

Abréviations de la quantité de nuages (autres que CB et TCU)

FEW : peu de nuages, 1 à 2 octas

SCT : nuages épars (scattered), 3 à 4 octas

BKN : nuages morcelés (broken), 5 à 7 octas

OVC : ciel couvert (overcast), 8 octas

LYR : nuages en couche ; abréviation utilisée lorsque deux ou plusieurs types de nuages stratiformes s'étagent à des niveaux différents entre la base et le sommet de la couche décrite.

Symboles et localisation du temps significatif










///	Pluie		Fumée de grande étendue
'	Bruine		Givrage modéré
☉	Pluie se congelant		Givrage fort
*	Neige		Turbulences modérées
▽	Averses		Turbulences fortes
△	Grêle		Ligne de grains forts
≡	Brume		Orages
≡≡	Brouillard de grande étendue		Onde orographique
≡≡≡	Brouillard givrant		Obscurcissement des montagnes

Figure 30 – Symboles du temps significatif.

COT : sur la côte

LAN : à l'intérieur de terres

LOC : localement

MAR : en mer

MON : au-dessus des montagnes

SFC : en surface

VAL : dans les vallées

Figure 31 – Localisation du temps significatif.

Visibilité de surface









V0 : visibilité inférieure à 1,5 km

V1,5 : visibilité comprise entre 1,5 et 5 km

V5 : visibilité comprise entre 5 et 8 km

V8 : visibilité supérieure à 8 km

Représentation des fronts et des vents forts de surface

-  Front froid en surface
-  Front chaud en surface
-  Projection en surface du front occlus
-  Front quasi-stationnaire
-  La flèche indique le sens de déplacement du front
-  Déplacement lent
-  Le chiffre donne la vitesse de déplacement du front en kt
-  Vent de surface fort de grande étendue (vitesse supérieure à 30 kt)

5.1.2. La carte des vents

La carte _____ est une carte de prévision de vent (**WIND**) et de températures (**TEMP**erature) pour divers niveaux de vol (FL) : 20, 50 et 100 pour la carte WITEM FRANCE.

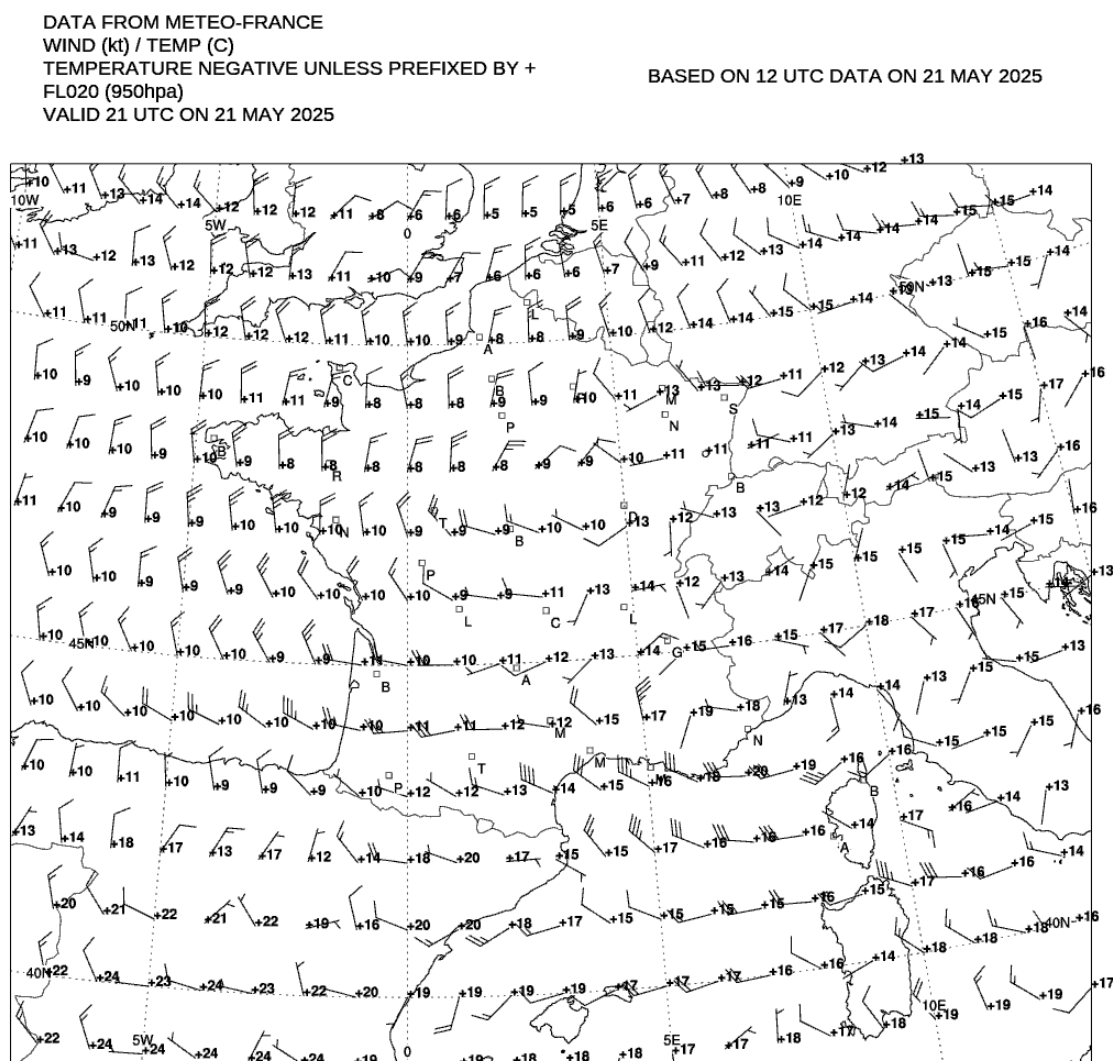







Figure 32 – Extrait de la carte WITEM du mercredi 21 mai 2025 à 21 h UTC.

La carte WITEM est éditée toutes les trois heures à partir de 0000z.

Comme son nom l'indique, cette carte contient deux informations :

- la température exprimée en degrés Celsius, avec le signe + devant les températures positives ;
- le vent en nœud, pour lequel la hampe indique la direction d'où vient le vent et les barbules indiquent la vitesse en nœud selon le code suivant :

 5 kt
  10 kt
  15 kt
  20 kt
  50 kt

5.2. Les messages météorologiques

Les messages météorologiques sont de deux types :

- les messages _____ sont des messages d'observation décrivant le temps présent aux abords d'un aéroport ;
- les messages _____ sont des messages de prévision du temps aux abords d'un aéroport (**T**erminal **A**rea **F**orecast).

Ces messages ont toujours une structure identique que nous allons décrire dans les parties suivantes.

Ils sont généralement établis à l'aide de station météorologiques placées sur les aéroports comme la figure suivante :



Figure 33 – Station météorologique

5.2.1. Les messages METAR

Les messages METAR, de l'anglais **MET**eorological **A**erodrome **R**eport, décrivent le temps présent au voisinage d'un aéroport. On donne ci-dessous un exemple de message METAR :

METAR: LFP0 101300Z 27010KT 5000 +SHRA SCT005 11/10 Q1015 NOSIG=

Leur structure est toujours identique et comporte les éléments suivants :

METAR : l'identification du type de message ;

LFP0 : l'identification de la station, ici Paris Charles de Gaulle ;

101300Z : l'heure de l'observation, ici le 21 à 22 h 30 UTC ;

27010KT : la provenance et la vitesse du vent, ici vent du 280° pour 6 kt ;

5000 : la visibilité exprimée en m, ici 5 km ; 9999 étant utilisé pour indiquer une visibilité supérieure à 10 km ;

+SHRA : le temps présent, ici des averses de forte pluie ; les autres éléments étant décrits dans la table 1 ;

SCT005 : la nébulosité dont la hauteur de la base est donnée en centaine de pieds, ici des nuages épars dont la base est à une hauteur de 500 ft ; éventuellement répété si plusieurs couches sont présentes ;

11/10 : les températures de l'air et du point de rosée, ici une température de 11°C et un point de rosée de 10°C ;

Q1015 : la pression atmosphérique en hPa, ici 1015 hPa ;

NOSIG : les évolutions prévues dans les deux heures à venir, ici pas d'évolution prévue. Si une évolution est prévue, elle est introduite par le mot clé BECMG (becoming, devenant). Elle présente alors la même structure que le message principal, à savoir : provenance et vitesse du vent, visibilité, temps présent, nébulosité, températures (chaque groupe pouvant être omis s'il n'évolue pas).

Table 1 – Temps présent

Qualificatifs		Phénomènes météorologiques	
Intensité ou proximité	Description	Précipitations	Obscurcissement
+ faible	MI mince	DZ bruine	BR brume
– forte	BC bancs	RA pluie	FG brouillard
VC au voisinage	SH averse	SN neige	FU fumée
	TS orage	GR grêle	DU poussières
	FZ se congelant		SA sable
			HZ brume sèche
		CAVOK	visibilité supérieure à 10 km, pas de nuages en dessous de 5000 ft et pas de TCU, CB ni précipitations

Remarque : L'ATIS (Automatic Terminal Information Service) est un système automatisé utilisé dans les aéroports pour transmettre en continu des informations essentielles aux pilotes, notamment les conditions météorologiques. Il diffuse les données METAR, qui sont des rapports d'observations météorologiques aéronautiques standardisées, contenant des informations sur la visibilité, la couverture nuageuse, la température, le vent, la pression atmosphérique, et d'autres phénomènes significatifs. Ces informations sont mises à jour régulièrement (généralement toutes les heures ou en cas de changement notable) et transmises via une fréquence radio VHF dédiée, ou parfois par liaison de données. En écoutant l'ATIS avant d'entrer en contact avec la tour de contrôle, les pilotes prennent connaissance des conditions actuelles, ce qui permet de réduire la charge de travail des contrôleurs aériens et de fluidifier les communications. L'identifiant de l'ATIS (une lettre de l'alphabet) change à chaque mise à jour pour assurer que les pilotes disposent bien de la dernière information disponible. L'ATIS sera abordé dans la partie réglementation.

5.2.2. Les messages TAF

Les messages TAF, de l'anglais **T**erminal **A**rea **F**orecast, décrivent le temps prévu au voisinage d'un aéroport. On donne ci-dessous un exemple de message TAF :

```
TAF: LFPO 160500Z 1606/1712 27010G25KT 4000 TSRA BKN030CB TXM01/1614Z
      TNM12/1707 PROB40 TEMPO 1705/1709 0500 FZFG=
```

Leur structure est toujours identique et comporte les éléments suivants :

TAF : l'identification du type de message ;

LFPO : l'identification de la station ;

160500Z : le jour et l'heure de la prévision, ici le 16 à 5 h UTC ;

1606/1712 : la période de validité de la prévision, ici du 16 à 6 h UTC au 17 à 12 h UTC ;

27010G25KT : la provenance et la vitesse du vent, on ajoute ici par rapport à l'exemple donné dans le METAR l'information G25 correspondant à la vitesse des rafales (gust) ;

4000 : la visibilité exprimée en m ;

TSRA : le temps présent, ici des orages avec pluie, conformément à la table 1 ;

BKN030CB : la nébulosité, ici une couche morcelée de cumulonimbus dont la base est à une hauteur de 3000 ft ;

TXM01/1614Z : la température maximale de -1°C prévue le 16 à 14 h UTC ;

TNM12/1707 : la température minimale de -12°C prévue le 17 à 7 h UTC ;

PROB40 TEMPO 1705/1709 0500 FZFG : un groupe d'évolution indiquant les changements météorologiques à prévoir, ici une probabilité de 40 % d'avoir le 17 entre 5 h UTC et 9 h UTC une visibilité de 500 m et du brouillard givrant. Un message TAF peut contenir autant de groupes d'évolutions que nécessaire, chaque groupe d'évolution possède une structure similaire à la partie principale (les éléments pouvant être omis) à savoir, après l'identification de la période de validité du groupe d'évolution ; provenance et vitesse du vent, visibilité, temps présent, nébulosité.

Exercice 4

Interpréter les messages METAR et TAF proposées ci-dessous.

METAR LFPO 031100Z 18008KT 2000 BCFG BR OVC002 03/02 Q1022=

METAR LFMP 191900Z AUTO 04011KT 9999 FEW011 23/19 Q1016 BECMG OVC008=

TAF LFPG 251700Z 2518/2618 28008KT CAVOK BECMG 2600/2602 BKN012
PROB30 TEMPO 2603/2608 BKN005=

TAF LFLY 251700Z 2518/2618 28008KT CAVOK TX22/2612Z TN10/2607Z=

5.2.3. Les messages SIGMET

Ce type de message est à la limite du programme du BIA.

Les SIGMET (SIGNificant METeorological information) sont des messages d'alerte météorologique destinés aux aéronefs en vol ou au sol. Émis par un Centre de Veille Météorologique (CVM) pour une région d'information de vol (FIR/UIR), ils signalent des phénomènes dangereux pour la sécurité aérienne comme les orages, la turbulence sévère, le givrage, les cendres volcaniques ou les cyclones tropicaux.

Il existe trois types de SIGMET :

- SIGMET WS pour les phénomènes météorologiques en route (CB, TS, TURB, ICE, etc.),
- SIGMET VA/WV pour les cendres volcaniques,
- SIGMET TC/WC pour les cyclones tropicaux.

Chaque SIGMET commence par une en-tête précisant la FIR concernée, la période de validité (max 4h pour WS, 6h pour WV/TC), et le centre émetteur. Le message indique si le phénomène est observé (OBS) ou prévu (FCST), ainsi que sa localisation (coordonnées ou repères géographiques), son altitude (niveau de vol ou couche), son mouvement (direction, vitesse) et son évolution (s'intensifie, faiblit ou stable).

Pour les SIGMET VA, on précise le nom du volcan (si connu), sa position (avec LOC), le nuage de cendres (VA CLD), son observation (source et heure) et sa répartition verticale et horizontale. Si le nuage affecte plusieurs FIR, plusieurs SIGMET doivent être émis.

Voici un exemple de SIGMET :

```
LFEE SIGMET 2 VALID 161400/161800 LFPW-
LFEE REIMS FIR/UIR SEV TURB FCST 0
E OF LINE N4630 E00500 - N4900 E00700 TOP FL280 STNR INTSF
```

Il s'agit du 2nd SIGMET du 16 du mois, pour la FIR de REIMS.

Il est prévu de la turbulence sévère à l'Est d'une ligne 46 degrés 30 minutes Nord , 5 degrés Est, et 49 degrés Nord, 7 degrés Est.

Le sommet de la zone de turbulence est prévu au niveau de vol 280 ; cette zone sera géographiquement stationnaire, et le phénomène s'intensifiera.

Remarque : La liaison Datalink est un système de communication numérique utilisé par les aéronefs de ligne pour échanger automatiquement des données avec les centres de contrôle aérien, les compagnies aériennes ou les stations météo, sans passer par la voix radio. Ce système permet notamment la réception de messages tels que les SIGMET, METAR, TAF, ou les climb/descent clearances, via des protocoles comme ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) ou CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communications). Il améliore la sécurité et l'efficacité des opérations en réduisant la charge de travail des pilotes et en assurant une transmission claire, rapide et sans erreur des informations critiques, même dans des zones à forte densité de trafic ou mal couvertes par la radio.



Figure 34 – Exemple de récepteur Datalink

Les aéronefs ne se contentent pas de recevoir des informations météo : ils en transmettent également. En vol, les équipages peuvent effectuer des signalements météorologiques (AIREP ou PIREP) pour rapporter des phénomènes observés tels que des turbulences, du givrage ou des orages. Ces rapports, transmis aux services de la circulation aérienne, sont essentiels pour affiner les prévisions et compléter les données issues des stations au sol ou des satellites.