



Définition : enveloppe gazeuse qui entoure la terre, sur quelques centaines de kilomètres.



Répartition verticale :

Le gaz se raréfie avec l'altitude.

99% de la masse totale de l'atmosphère se trouve entre 0 et 30 km d'altitude.

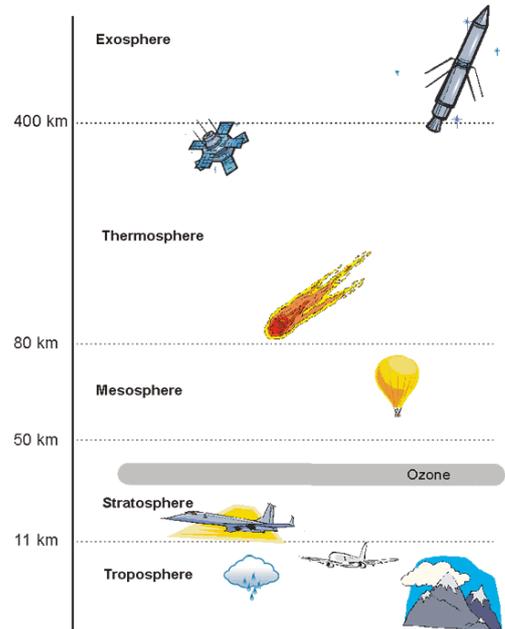
L'atmosphère est subdivisée en plusieurs couches qui ont pour nom troposphère, stratosphère, mésosphère et thermosphère.

La surface de séparation entre la troposphère et la stratosphère s'appelle la **tropopause**.

Elle se situe aux environs de 11 km d'altitude sous nos latitudes.

Composition :

- Air sec (99.97%) :
 - azote 78%
 - oxygène 21%
 - argon 1%
 - **ozone** entre 15 et 45 km
- Vapeur d'eau
- Poussières



Description :

L'atmosphère, comme tout gaz, peut être décrite par un certain nombre de paramètres :

- la température (voir fiche météo n°2)
- la pression (voir fiche météo n°3)
- l'humidité (voir fiche météo n°4)
- le vent (voir fiche météo n°7)

Atmosphère standard :

Pour les besoins de l'aéronautique, il a été nécessaire de "figer" l'atmosphère en une atmosphère moyenne, dite standard.

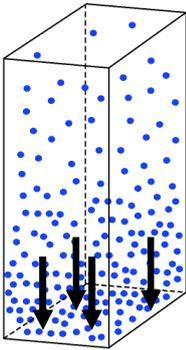
Cela permet entre autres de décrire les performances des aéronefs et de les localiser dans le plan vertical.

Au niveau de la mer, température_{std} = 15°C
pression_{std} = 1013.25 hPa



La pression

Colonne d'air



Pression de l'atmosphère

Def : Poids de la colonne d'air s'étendant jusqu'à la limite supérieure de l'atmosphère, au dessus d'une surface de 1 m².

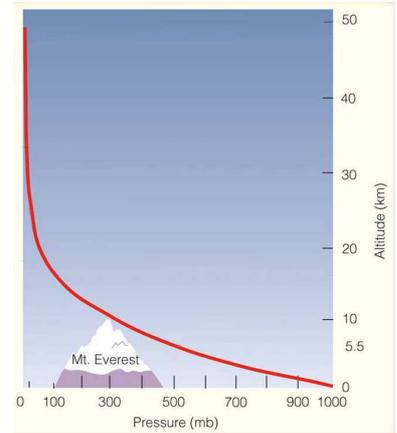
L'unité de mesure est le Pascal. Cependant, en météorologie, on utilise préférentiellement l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa).

Variations de pression

Lorsque l'on s'élève dans l'atmosphère, on a de moins en moins de molécules d'air au dessus de soi : la pression est maximum au sol et elle diminue avec l'altitude.

Dans les basses couches de l'atmosphère, la pression décroît de :

1 hPa / 28 ft

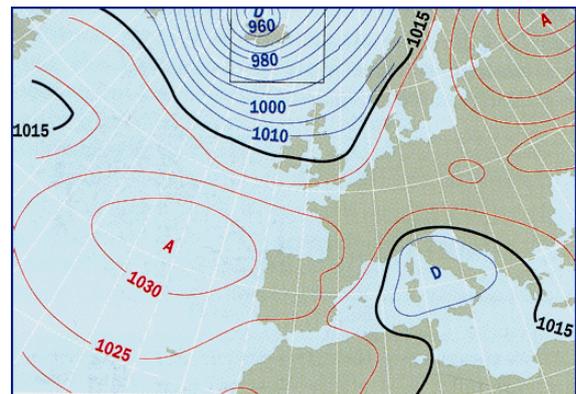


Champs de pression

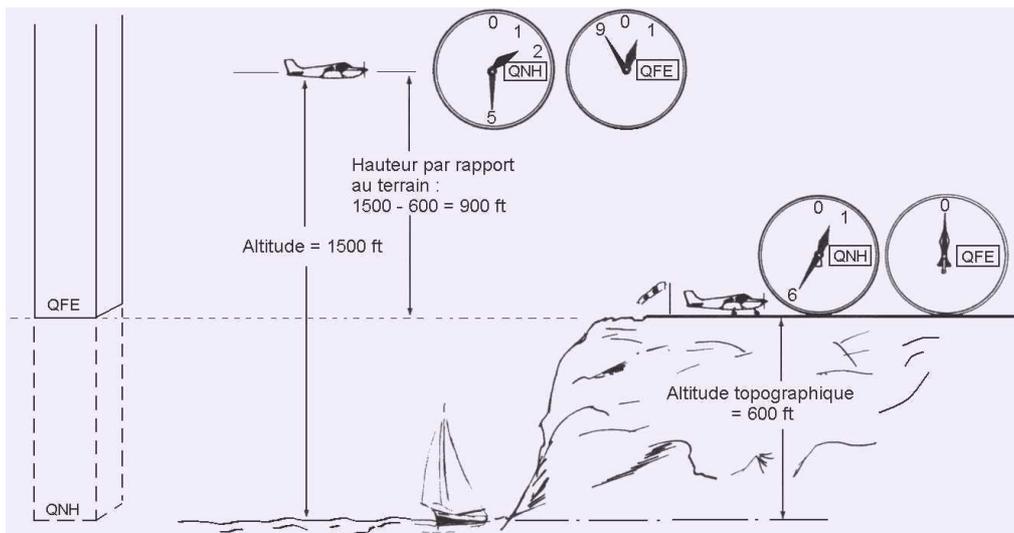
Anticyclone : zone de hautes pressions (symbole A ou H)

Dépression : zone de basses pressions (symbole D ou L)

Isobare : ligne reliant les points d'égale pression



Calages altimétriques



QFE : Pression atmosphérique au niveau de l'aérodrome.

L'altimètre calé au QFE indique la **hauteur** entre l'aérodrome et l'avion.

QNH : Pression atmosphérique au niveau de la mer.

L'altimètre calé au QNH indique l'**altitude** de l'avion par rapport à la mer.

1013 : Pression atmosphérique standard au niveau de la mer.

Le calage 1013 est utilisé pour voler en **niveau de vol (FL)**.



La température

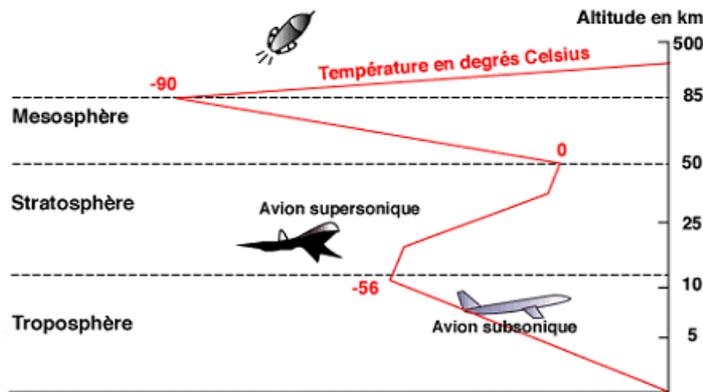
Def : Quantité qui caractérise la sensation de chaleur ou de froid.

En France, la mesure des températures est réalisée suivant l'échelle Celsius notée °C.

Variations de température

Dans la **troposphère**, la température diminue lorsque l'altitude augmente, pour atteindre une valeur de -56.5°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 !



Dans la troposphère, la température décroît de :

2°C / 1000 ft
soit **6.5°C / 1000 m**

Echanges thermiques

Rayonnement / Convection

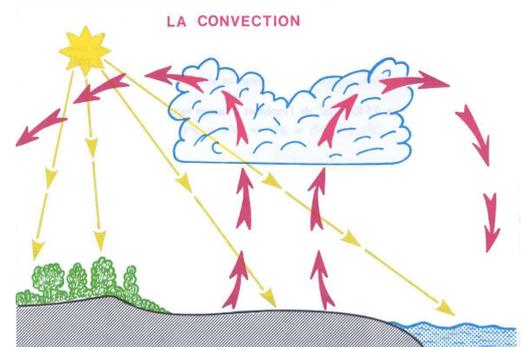
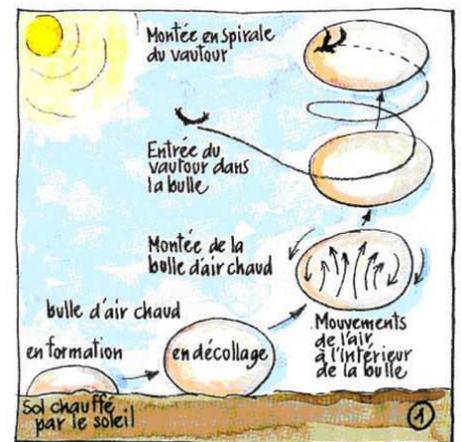
Le rayonnement solaire, bien qu'une partie soit absorbée par la couche d'ozone et par la troposphère, demeure assez intense pour réchauffer considérablement la surface de la terre. Ainsi réchauffée, la terre rediffuse sa chaleur par **rayonnement** à l'air situé dans les basses couches.

Une "bulle" plus légère que l'air environnant se forme et se détache peu à peu du sol, pour finalement s'élever par **convection** à travers les couches situées au-dessus d'elle.

L'air soulevé de la sorte est remplacé par un volume égal venant des couches voisines plus froides. Cet air renouvelé se réchauffe à son tour et il s'établit ainsi des courants verticaux ascendants et descendants de convection.

Au sommet de la colonne d'air chaud se développe parfois un **cumulus**.

Pour rester dans ces "**ascendances**" ou "**pompes**", le pilote décrit des cercles en spiralant et est ainsi entraîné en altitude.





L'eau dans l'atmosphère

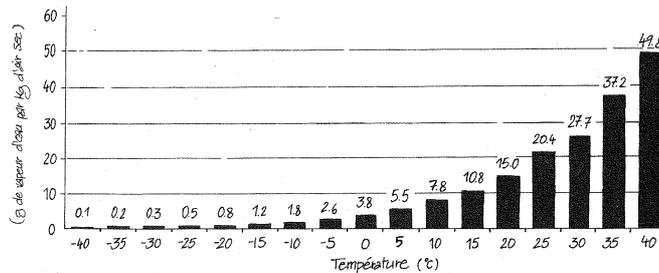
L'eau dans l'atmosphère peut exister sous trois formes :
 → solide
 → liquide
 → gaz

Quelques définitions

Vapeur d'eau

C'est l'eau à l'état gazeux contenue dans l'air.

La quantité de vapeur d'eau dont l'air peut se charger **augmente avec la température**.



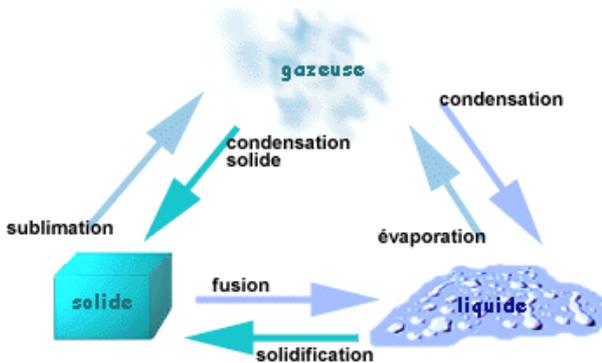
Humidité : quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air

Humidité relative = $\frac{\text{vapeur d'eau réelle}}{\text{vapeur d'eau maximum}}$

Lorsque l'humidité relative atteint 100%, on se trouve à l'état de **saturation**.

Point de rosée : température à laquelle doit être refroidit l'air pour que l'humidité relative atteigne 100%.

Changements d'état



Condensation / évaporation

Lorsque la température de l'air baisse au-delà du point de rosée, la condensation intervient. De fines gouttelettes d'eau se forment autour de poussières diverses en suspension dans l'air. Le phénomène inverse est l'évaporation.

Solidification / fusion

L'eau refroidie en dessous de 0°C se solidifie (neige, glace). Inversement, il y a fusion.

Surfusion

Dans l'atmosphère, les gouttelettes d'eau restent souvent liquides à des températures inférieures à 0°C. Elles sont en état de surfusion.

Le phénomène est courant dans le brouillard et les nuages où l'on observe des gouttelettes d'eau surfondues jusqu'à des températures de -40°C.

Les traînées de condensation

Elles sont créées par la condensation de la vapeur d'eau émise par les moteurs d'avion à très haute altitude.

Les gouttes d'eau en suspension deviennent des petits cristaux de glace donnant ainsi naissance à des traînées blanches derrière les avions.





Def : Ensemble visible de minuscules particules d'eau liquide et/ou de cristaux de glace en suspension dans l'atmosphère.

Formation

Les nuages se forment par refroidissement de l'air ascendant. Lorsque la température diminue, la quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir l'air diminue, donc l'humidité relative augmente. Lorsque l'humidité relative atteint 100%, la condensation apparaît autour de minuscules particules solides.

Répartition verticale

- Les nuages dont la base est située **au dessus de 6 km** de hauteur sont constitués de cristaux de glace : préfixe "**cirro**"
- Les nuages dont la base est située **entre 2 et 6 km** de hauteur sont constitués de cristaux de glace et de gouttelettes d'eau liquide : préfixe "**alto**"
- Les nuages dont la base est située **entre le sol et 2 km** de hauteur sont constitués d'eau liquide : **pas de préfixe**
- Certains nuages peuvent présenter une grande extension verticale. Ce sont les nuages caractéristiques des précipitations et du mauvais temps : préfixe ou terminaison "**nimbus**"

Classification

NUAGES CUMULIFORMES

Forme isolée, aspect "choux -fleur"



Terminaison **cumulus**

Cumulus, Altocumulus, Cirrocumulus

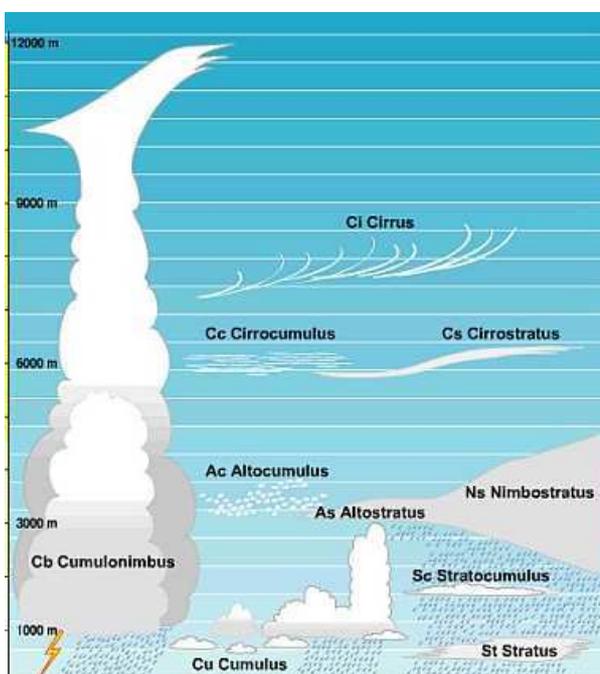
NUAGES STRATIFORMES

Forme soudée, étalée, en couches superposées



Terminaison **stratus**

Stratus, Altostratus, Cirrostratus



Cumulus



Cumulonimbus



Cirrus



Altocumulus "lenticulaire"

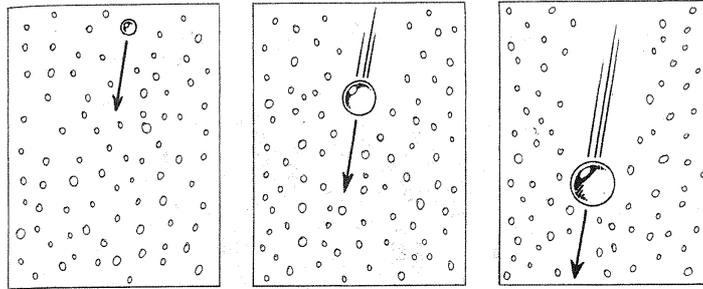


Les précipitations

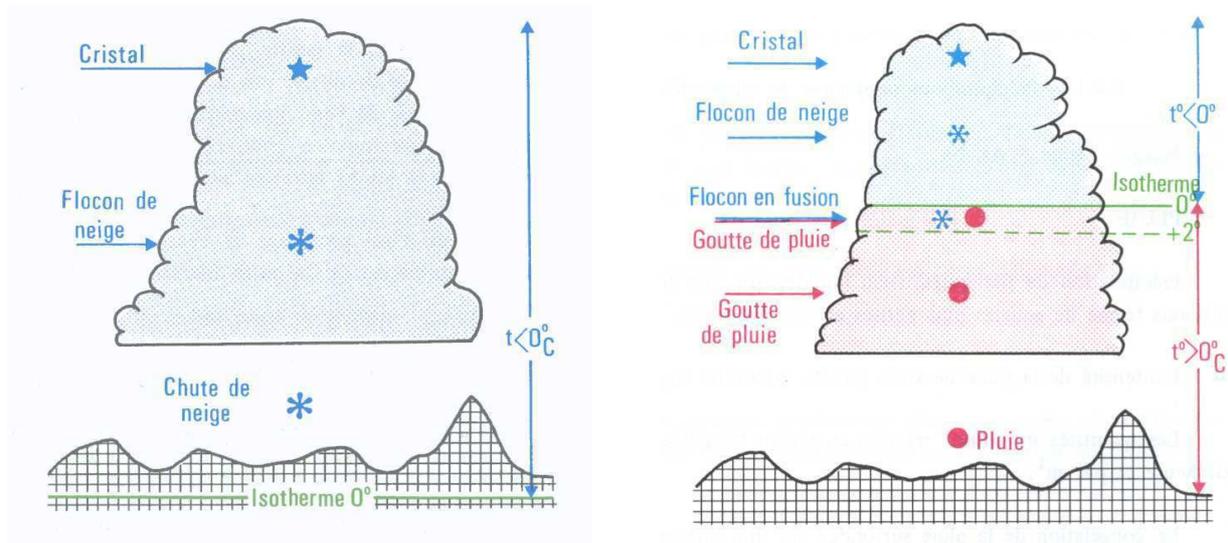
Def : Ensemble de particules d'eau liquide et/ou solide tombant d'un nuage.

Formation

Dans la partie du nuage où la température est négative coexistent cristaux de glace et gouttelettes d'eau surfondues. Par transfert de vapeur d'eau et par choc, les éléments constitutifs du nuage grossissent et, sous l'effet de leur poids, ils précipitent.



Toute précipitation commence presque toujours par un flocon de neige. Si ce flocon, en tombant, arrive dans une couche où la température est supérieure à 0°C, il se transforme en une goutte de pluie.



Nature

La bruine : très fines gouttelettes d'eau d'un diamètre inférieur à 0.5 mm, très rapprochées les unes des autres, et provenant de nuages bas à extension horizontale (stratus, stratocumulus) et du brouillard.

La pluie : gouttelettes de plus grandes dimensions que la bruine provenant de nuages plus épais et de plus grande étendue (altostratus, nimbostratus).

La neige : cristaux de glace dont la plupart sont ramifiés, parfois étoilés. Pour des températures comprises entre 0° et -10°, les cristaux sont agglomérés en flocons dont le diamètre est compris entre 0.5 et 2.5 cm. Même origine que la pluie.

La grêle : globules de glace de dimensions importantes allant de quelques mm à quelques cm de diamètre, provenant de nuages instables à forte extension verticale (Cumulonimbus).

Les averses : précipitations brutales, intenses, très localisées et de courte durée.

Elles proviennent de nuages instables à forte extension verticale. On distingue les averses de : pluie, neige, grêle.



Def : Le vent est l'air en mouvement horizontal.

Si la terre était immobile, le vent se dirigerait directement des hautes pressions vers les basses pressions, mais par suite de la rotation de la terre, il se produit une dérivation des mouvements de l'air vers la droite dans l'hémisphère nord.

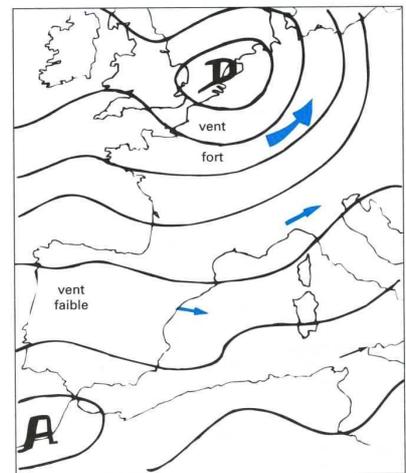
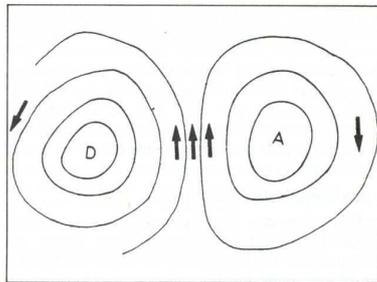
La **direction du vent** devient alors sensiblement **parallèle aux isobares**.

(Isobare = ligne d'égalité pression)

Vent et champ de pression

Dans l'hémisphère nord, le vent tourne dans le **sens des aiguilles d'une montre** autour des **anticyclones**, et dans le sens inverse autour des dépressions.

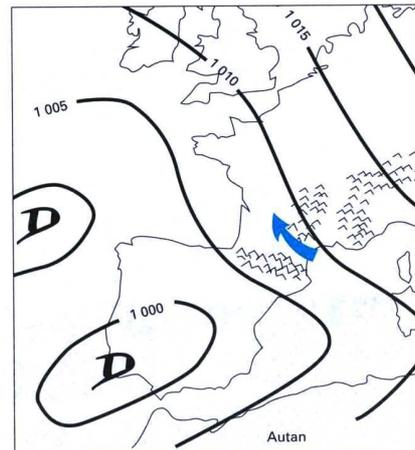
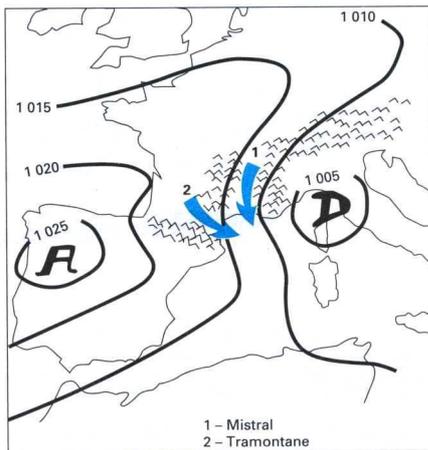
Dans l'hémisphère sud, ces circulations sont inversées.



La **force du vent** est proportionnelle à l'**espacement des lignes isobares**.

Lignes isobares serrées : vent fort
Lignes isobares espacées : vent faible

Les vents dominants en France



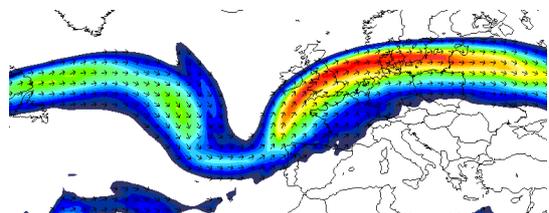
Le Jet-Stream ou Courant Jet

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.

Le jet stream entoure le globe terrestre, et souffle d'ouest en est selon la rotation de la terre.

La vitesse des vents à l'intérieur est d'environ 200 à 300 km/h.

Les pilotes de ligne utilisent le courant pour économiser du carburant.



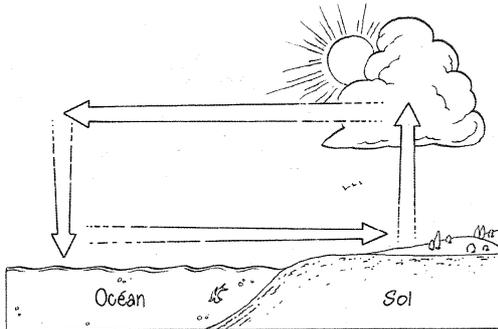


Def : Vent local régulier qui s'établit près des lacs, de la mer, des montagnes et dans les vallées.

Il est provoqué par les différences de température entre les masses d'air dans les basses couches de la troposphère et suit un cycle jour / nuit.

Les brises en régions côtières

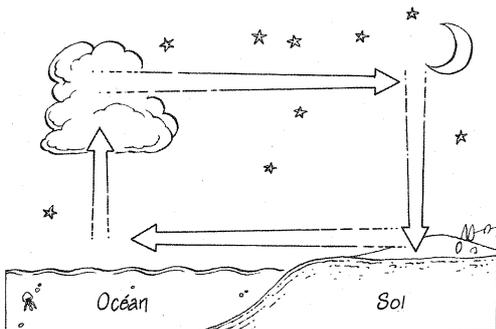
La variation de la température de l'eau étant plus faible et moins rapide que celle de la surface de la terre :



La brise de mer

De jour, 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.

C'est la brise de mer, orientée **de la mer vers la terre**.



La brise de terre

De nuit, la masse d'air en contact avec le sol se refroidit plus rapidement que celle en contact avec la mer et le phénomène inverse se produit.

C'est la brise de terre, orientée **de la terre vers la mer**.

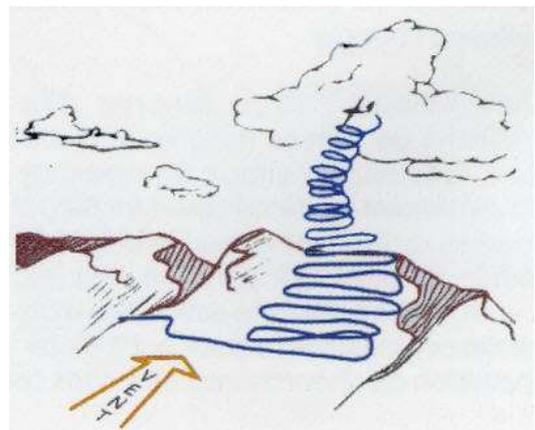
Les brises en régions montagneuses



La brise de pente et de vallée montante

De jour, l'air au contact des versants ensoleillés s'échauffe et s'élève le long des pentes. Pour compenser l'air ainsi emprunté au fond de la vallée, un vent s'établit, remontant la vallée.

De nuit, le phénomène inverse se produit.



La **brise de pente** se cumule parfois avec le vent global qui s'élève pour franchir le relief.

Pour exploiter ce type d'ascendance, le pilote effectue des aller-retour le long de la pente.



Masses d'air

Def : Grande étendue 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 :

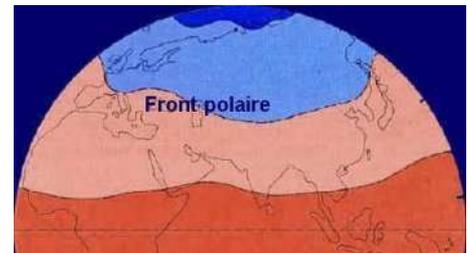
- **leur température :**

Très froide : masse d'air **arctique** (A)

Froide : masse d'air **polaire** (P)

Chaud : masse d'air **tropicale** (T)

Très chaude : masse d'air **équatoriale** (E)

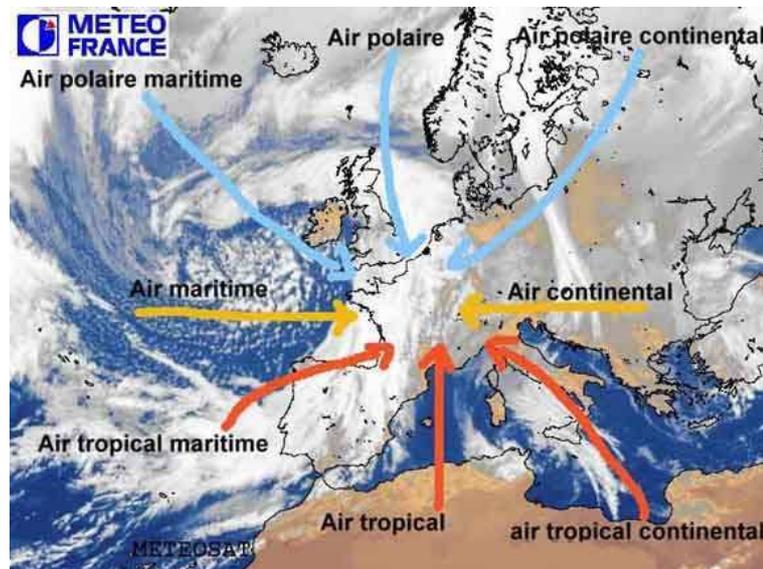


- **leur humidité :** *Sèche* : masse d'air **continentale** (c)

Humide : masse d'air **maritime** (m)

Les masses d'air en France

Plusieurs masses d'air peuvent atteindre la France et y apporter un temps caractéristique :



Air polaire maritime :

Temps à nuages cumuliformes et averses.

Air polaire continental :

Temps clair et sec, avec occasionnellement des stratus ou stratocumulus.

Air tropical maritime :

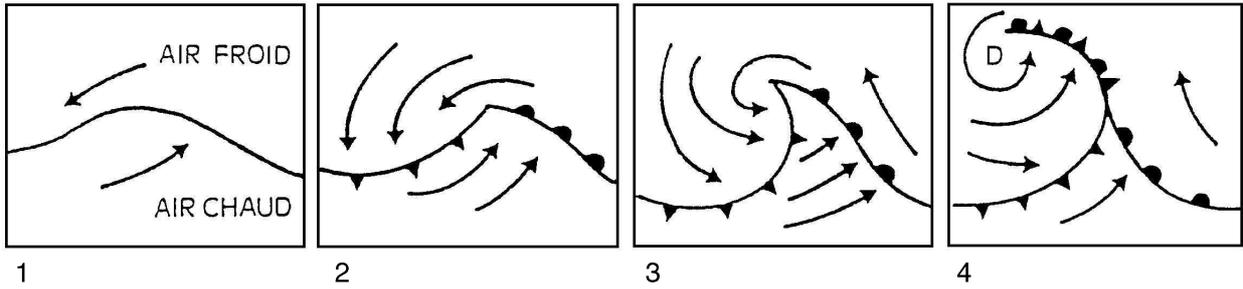
Temps à brumes, brouillards ou nuages stratiformes bas.

Air tropical continental : Temps provoquant souvent des orages sur les reliefs.

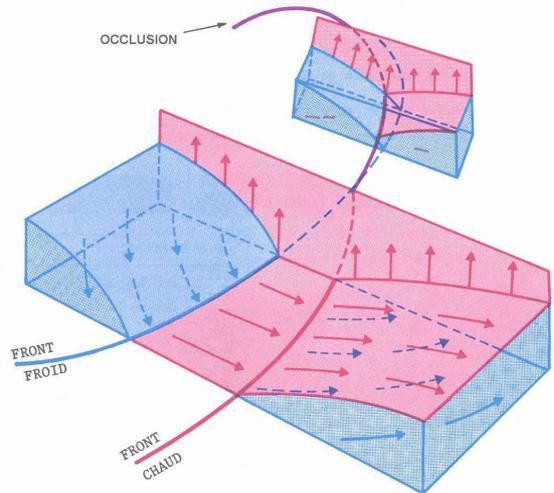
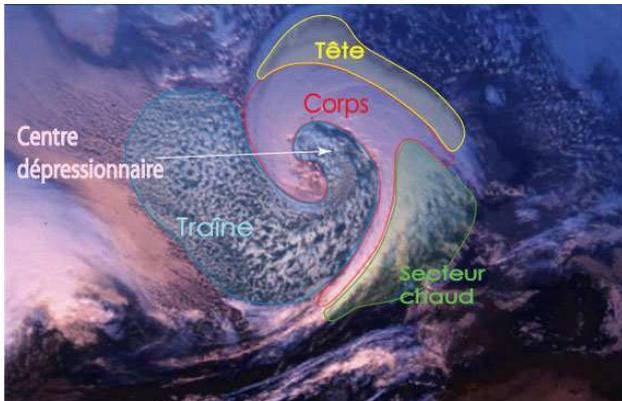


Circulation générale

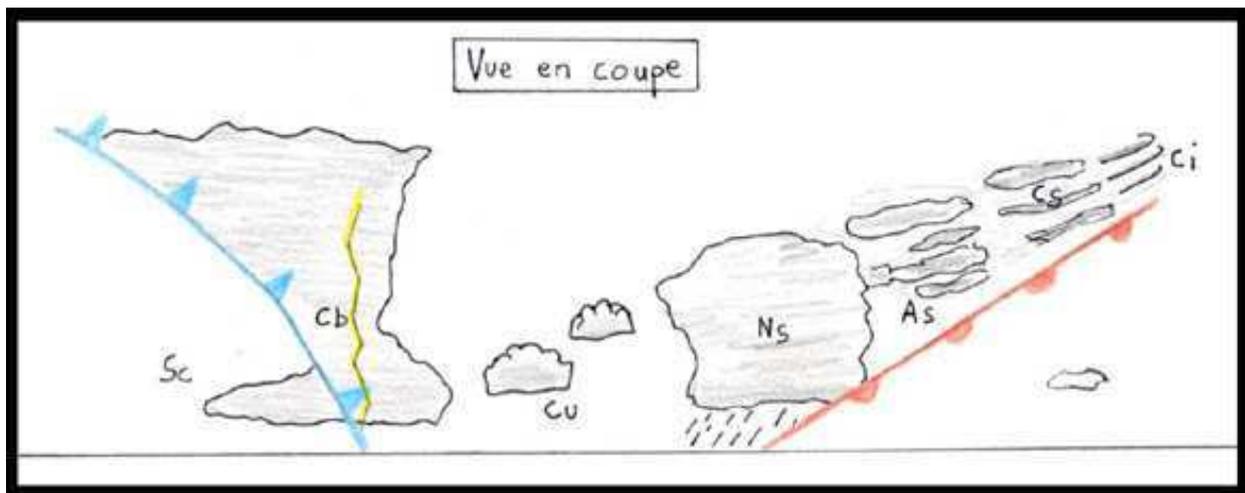
Formation d'une perturbation



1. Le **front** est la surface de séparation entre la masse d'air froide et la masse d'air chaude. 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 1^{er}, vers le nord pour le 2nd.
2. L'ondulation du front détermine deux limites :
 - 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.
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.



Nuages associés aux fronts





Brume - Brouillard

Brume =

Suspension dans l'atmosphère de microscopiques gouttelettes d'eau, réduisant la **visibilité entre 1 km et 5 km**.



Patrouille dans la brume

Brume sèche : elle est constituée de particules solides (sable, poussières...) en suspension dans l'air non saturé d'humidité.

Cette perturbation peut être due à des caractéristiques spécifiques du paysage (par exemple les tempêtes de sable dans le désert), ou à des phénomènes liés à la civilisation, à la technologie et aux activités économiques.

Brouillard ≡

Suspension dans l'atmosphère de petites gouttelettes d'eau ou cristaux de glace, réduisant la **visibilité à moins de 1 km**.

Le brouillard se forme principalement par refroidissement d'une masse d'air humide. Le refroidissement conduit à la saturation puis à la condensation.



Brouillard sur le terrain



Le givrage

Def : Dépôt de glace opaque ou transparent

-  givrage modéré
-  givrage fort



Givrage au sol

Formation du givrage en vol

Le givrage est dû à la présence dans les nuages d'eau sous forme liquide à des températures négatives (surfusion).

Sous l'effet du choc contre les parois de l'avion exposées au vent relatif (nez, bord d'attaque des ailes, entrée d'air des moteurs, hélices...), l'eau liquide se transforme en glace qui s'accumule sur l'avion.



Givrage en vol

Conséquences

Le givrage est un phénomène dangereux pour l'aéronautique, pouvant avoir les conséquences suivantes : alourdissement de l'avion, déformation des profils aérodynamiques → diminution de la portance et augmentation de la traînée, obstruction des capteurs et mise hors service des instruments correspondants, blocage d'une gouverne...

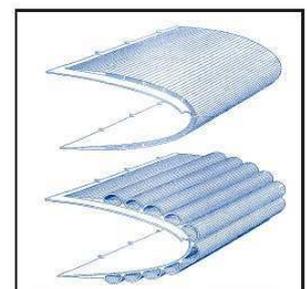
Prévention/Élimination

Au sol : dégivrage de l'avion avant son départ et application éventuelle d'un liquide de protection efficace sur une courte durée.



En vol : anticipation/traitement du phénomène par mise en marche des systèmes antigivrage de certaines parties de l'avion : chauffage des pare-brises, des pâles d'hélices, des tubes pitot, gonflage des boudins de bord d'attaque (boots)...

Les boots sont des membranes de caoutchouc fixées aux bords d'attaque. En y pompant de l'air par intermittence, on peut les gonfler de façon à fissurer et déloger toute formation de glace.



De-ice boots



Carte TEMSI

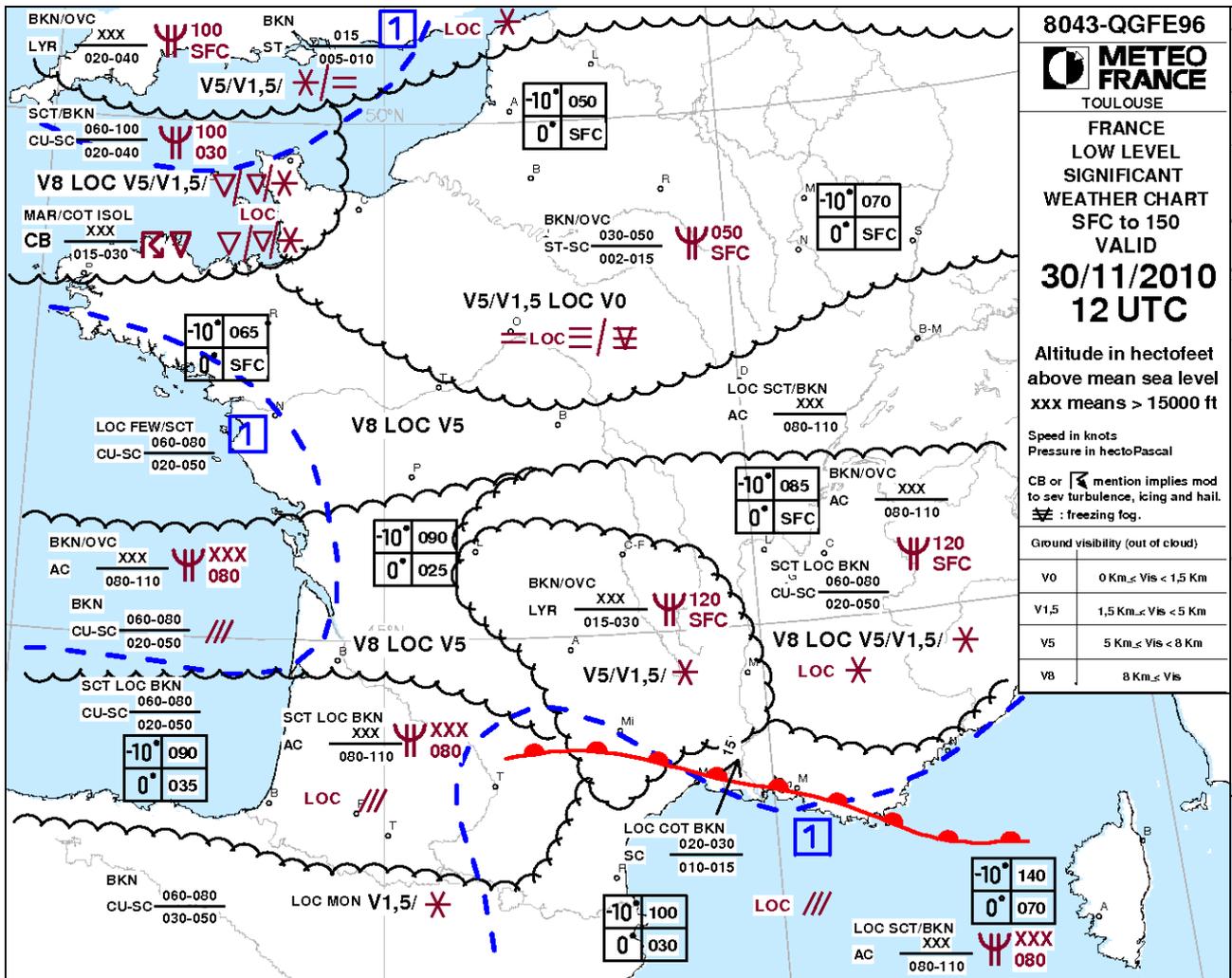
La carte TEMSI est une carte schématique du temps significatif prévu, où ne sont portés que les phénomènes importants et les masses nuageuses. Elle est produite toutes les 3 heures.

Signification des symboles :

- | | | | |
|---|--------------------|----------|-----------------------------|
| ☉ | Pluie | ▲▲▲▲ | Front froid en surface |
| ☼ | Bruine | ●●●● | Front chaud en surface |
| * | Neige | ▲●●● | Front occlus en surface |
| ▽ | Averse | | |
| △ | Grêle | | |
| ☼ | Givrage modéré | 0° 150 | Niveau de l'isotherme 0° |
| ☼ | Givrage fort | -10° 330 | Niveau de l'isotherme - 10° |
| ≡ | Brume | | |
| ≡ | Brouillard | | |
| ∧ | Turbulence modérée | | |
| ∧ | Turbulence forte | | |
| ⚡ | Orage | | |
| ▶ | Courant jet | | |

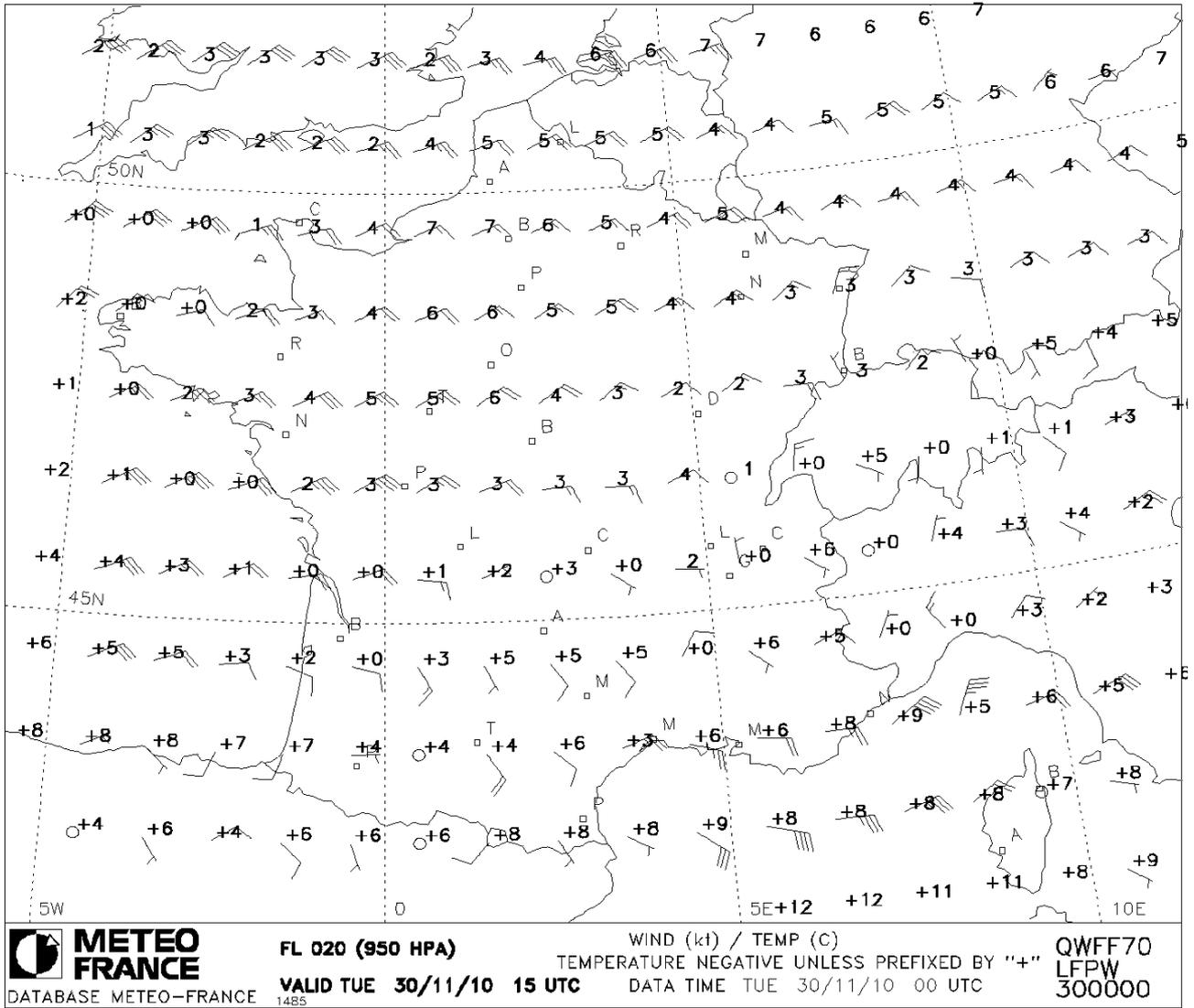
Nébulosité
(fraction du ciel occultée par les nuages) :

FEW : peu (1 à 2/8)
SCT (scattered) : épars (3 à 4/8)
BKN (broken) : fragmenté (5 à 7/8)
OVC (overcast) : couvert (8/8)





Carte des vents et des températures prévus

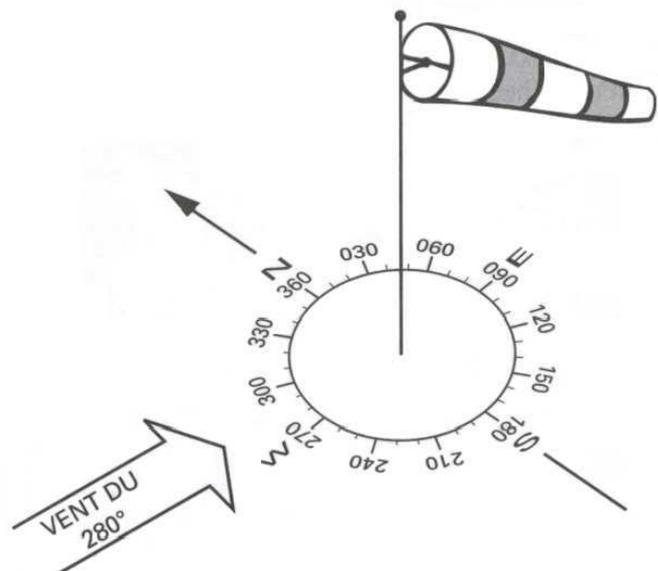
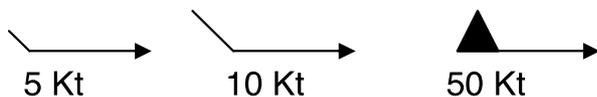


Ces cartes fournissent les indications de vent et température prévus à différents niveaux de vol (ici FL 020).

Il y a 4 cartes par jour : à 00h TU, à 06h TU, à 12h TU et à 18h TU.

La **température** est inscrite avec un signe + si elle est positive, sans signe si elle est négative.

Le **vent** est représenté par un système de flèches, barbules et fanions. Les flèches indiquent la **direction d'où vient le vent** et le nombre de barbules donne sa vitesse.

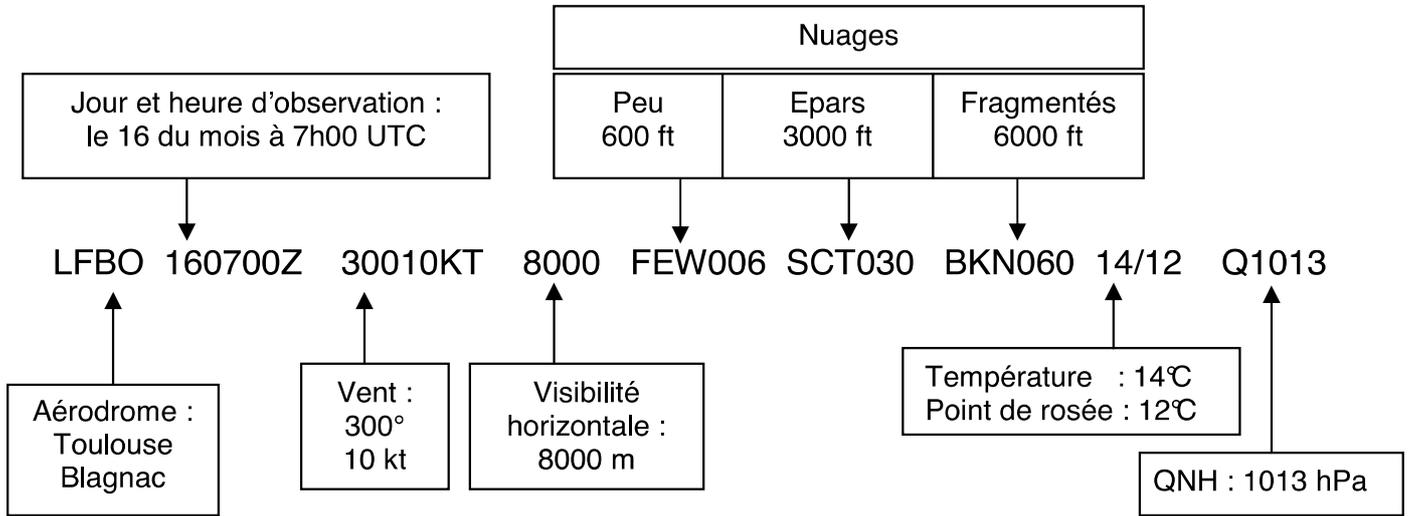




METAR - TAF

METAR

Le METAR est un message d' **Observation** du temps sur un aéroport.



TAF

Le TAF est un message de **Prévision** du temps sur un aéroport.

