

# **MÉTÉOROLOGIE**



**du B.I.A au C.A.E.A**

**Tome 5**

# TABLE DES MATIÈRES

## **1 – L'ATMOSPHÈRE**

### **1.1 - COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE**

### **1.2 - COUPE VERTICALE**

#### **1.2.1 - L'exosphère**

#### **1.2.2 – La thermosphère**

#### **1.2.3 – La mésosphère**

#### **1.2.4 – La stratosphère**

#### **1.2.5 – La troposphère**

## **2 – LA TEMPÉRATURE**

### **2.1 – MESURE DE LA TEMPÉRATURE**

#### **2.1.1 – En surface**

#### **2.1.2 – En altitude**

#### **2.1.3 – Variation de la température avec l'altitude**

### **2.2 – COMMENT SE PROPAGE LA CHALEUR**

#### **- Rayonnement**

#### **- Conduction**

#### **- Convection**

#### **- Advection**

### **2.3 – LES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE**

#### **2.3.1 – Variations saisonnières de la température**

#### **2.3.2 – Variations locales de la température**

## **3 – LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE**

### **3.1 - L'ORIGINE**

### **3.2 – MESURE DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE**

### **3.3 – LES VARIATIONS DE PRESSION AVEC L'ALTITUDE**

#### **3.3.1 – La mesure de l'altitude : l'altimètre**

### **3.4 – LES VARIATIONS DE PRESSION AU NIVEAU DE LA MER**

#### **3.4.1 – Les anticyclones**

#### **3.4.2 – Les dépressions**

#### **3.4.3 – Les cols**

#### **3.4.4 – Les marais barométriques**

#### **3.4.5 – Les dorsales**

#### **3.4.6 – Les talwegs**

#### **3.4.7 - L'isobare**

#### **3.4.8 – L'atmosphère standard ( rappel )**

### **3.5 - EFFETS DE LA PRESSION ET DE LA TEMPÉRATURE SUR L'ALTITUDE**

## **4 – L'EAU DANS L'ATMOSPHÈRE**

### **4.1 - L'ORIGINE**

### **4.2 – HUMIDITÉ RELATIVE DE L'AIR**

### **4.3 – SATURATION DE L'AIR HUMIDE**

4.3.1 – La température du point de rosée

4.3.2 – La température du point de condensation

4.3.3 – La surfusion

### **4.4 – NOTION D'ÉQUILIBRE**

4.4.1 – Stabilité d'une masse d'air

4.4.2 – Instabilité d'une masse d'air

4.4.3 - Équilibre indifférent

## **5 - LES MASSES D'AIR**

### **5.1 - GÉNÉRALITÉ**

### **5.2 – LES MASSES D'AIR EN EUROPE**

5.2.1 – Air polaire maritime

5.2.2 – Air polaire continental

5.2.3 – Air tropical maritime

5.2.4 – Air tropical continental

## **6 – LE VENT**

### **6.1 - DIRECTION ET ORIGINE DU VENT**

6.1.1 – La force de gradient de pression

6.1.2 – La force de Coriolis

6.1.3 – Les forces de frottements

### **6.2 – CIRCULATION GÉNÉRALE DANS L'ATMOSPHÈRE**

### **6.3 – GRADIENT DE PRESSION**

6.3.1 – Conséquences au plan météorologique

6.3.2 – Conséquence au plan pilotage

### **6.4 – LA MESURE DU VENT**

6.4.1 - Unités

6.4.2 – Appareils de mesure

6.4.3 – Observation du vent

6.4.4 – Cartes de prévisions de vent et température ( WINTEM )

### **6.5 – EFFETS DU RELIEF**

6.5.1 – Passage d'une chaîne de montagne

6.5.1.1 – Coté au vent

6.5.1.2 – Coté sous le vent

6.5.2 - L'onde

6.5.2.1 – Traversées en avion d'ondes sous le vent

6.5.3 – Effet de Foehn

6.5.4 – Les brises de bord de mer

6.5.5 – Les brises de pentes

6.5.6 – Les vents locaux

## **7 - LES NUAGES**

### **7.1 – MÉCANISMES DE LA FORMATION DES NUAGES**

- 7.1.1 – La convection
- 7.1.2 – Soulèvement orographique
- 7.1.3 – Soulèvement frontal
- 7.1.4 – Refroidissement par la base

### **7.2 – NUAGES ET PRÉCIPITATIONS**

### **7.3 – CLASSIFICATION DES NUAGES**

### **7.4 – TYPES DE NUAGES**

- 7.4.1- Nuages stables
- 7.4.2 – Nuages instables

### **7.5 – DESCRIPTION DES 10 GENRES DE NUAGES**

- 7.5.1 – Nuages de l'étage inférieur
  - 7.5.1.1 – Les Cumulus
  - 7.5.1.2 – Les Cumulonimbus
  - 7.5.1.3 – Les Stratus
  - 7.5.1.4 – Les Strato-cumulus
- 7.5.2 – Nuages de l'étage moyen
  - 7.5.2.1 – Les Nimbostratus
  - 7.5.2.2 – Les Altostratus
  - 7.5.2.3 – Les Altocumulus
  - 7.5.2.4 – Les Altocumulus lenticularis
- 7.5.3 – Nuages de l'étage supérieur
  - 7.5.3.1 – Les Cirrus
  - 7.5.3.2 – Les Cirrostratus
  - 7.5.3.3 – Les Cirrocumulus

### **7.6 – LES FRONTS ET LES SYSTÈMES NUAGEUX**

- 7.6.1 – Qu'est-ce qu'un front ?
- 7.6.2 – Front froid
- 7.6.3 – Front chaud
  - 7.6.3.1 – Anafront et catafront
- 7.6.4 - Occlusions

## **8 - LES PRÉCIPITATIONS**

### **8.1 - PRINCIPE**

### **8.2 - TYPES**

- 8.2.1 - Liquide
  - 8.2.1.1 - Pluie
  - 8.2.1.2 - Bruine
  - 8.2.1.3 – Pluie verglaçante / bruine verglaçante
- 8.2.2 - Solide
  - 8.2.2.1 - Neige
  - 8.2.2.2 – Neige en grains
  - 8.2.2.3 – Neige roulée
  - 8.2.2.4 - Grésil
  - 8.2.2.5 - Grêle
  - 8.2.2.6 – Granule de glace
  - 8.2.2.7 – Cristal de glace
- 8.2.3 – Cas particulier
  - 8.2.3.1 - L'orage

## **9 – LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX**

### **9.1 – LA TURBULENCE**

9.1.1 – Les causes de la turbulence

9.1.2 – La turbulence due au sol

9.1.3 – La turbulence thermique

### **9.2 – EFFETS DE LA TURBULENCE SUR L'AVION**

### **9.3 – PHÉNOMÈNES ALTÉRANT LA VISIBILITÉ**

9.3.1 – La brume et les brouillards

9.3.2 – La brume

9.3.3 – Le brouillard de radiation

9.3.4 – Le brouillard d'advection

9.3.5 – Le brouillard d'évaporation

9.3.6 – Le brouillard de pente

9.3.7 – Les dangers du brouillard

### **9.4 – LES DIFFÉRENTES SORTES DE GIVRAGE**

## **10–L'INFORMATION MÉTÉO POUR L'AÉRONAUTIQUE**

### **10.1 – LES METAR ET LES SPECI**

### **10.2 – LES TAF**

### **10.3 – LES SIGMET**

### **10.4 – LA CARTE TEMSI**

### **10.5 - ABRÉVIATIONS**

10.5.1 – Visibilité de surface

10.5.2 – Quantité de nuages

10.5.3 – Codes METAR, SPECI et TAF

10.5.4 – Symboles du temps significatif

La météorologie est un facteur très important pour toutes les activités aéronautiques. Pour le pilote privé comme le pilote professionnel, la connaissance de la météorologie est une donnée essentielle dans la préparation des vols et dans les décisions qui seront prises en cas d'évolution de la situation en l'air.

# 1 - L'ATMOSPHÈRE

## 1.1 - COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE

L'atmosphère terrestre est une couche de gaz entourant la terre. On considère que sa constitution est la suivante :

- 78 % de diazote (N<sub>2</sub>)
- 21% de dioxygène (O<sub>2</sub>)
- 1 % de gaz divers ( Ar, CO<sub>2</sub>, ...)

## 1.2 -COUPE VERTICALE

Les séparations entre les 4 couches s'appellent :  
**la tropopause, la stratopause et la mésopause.**

### 1.2.1 - L'exosphère

est la dernière couche d'atmosphère terrestre qui se situe au-dessus de la thermosphère .Ce sont les satellites qui évoluent en orbite dans l'exosphère.

### 1.2.2 - La thermosphère

La température y croît fortement jusqu'à 500° C à la limite de l'atmosphère.

### 1.2.3 - La mésosphère

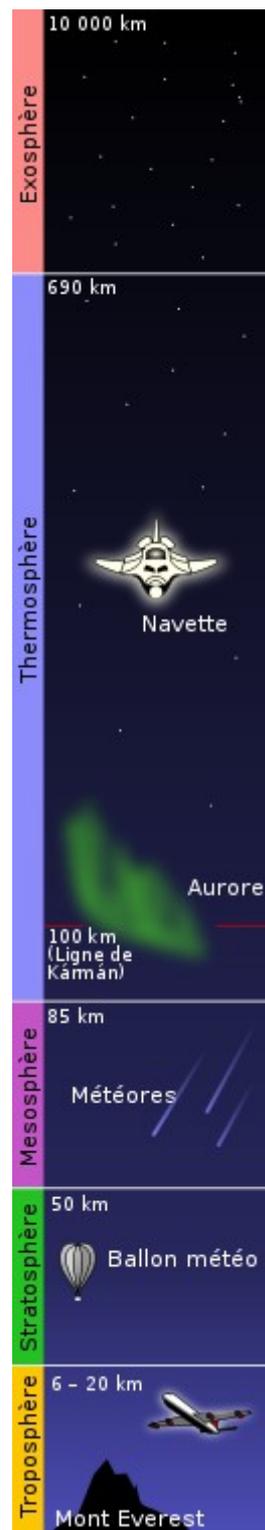
La température y décroît fortement jusqu'à la limite de cette couche ( environ 80 km )

### 1.2.4 - La stratosphère

Cette couche est déjà une couche de faible densité. La température y reste constante jusqu'à environ 25km puis croît jusqu'aux environs de 0° C autour de 40km d'altitude.

### 1.2.5 - La troposphère

C'est la plus basse couche. Son épaisseur varie de 7 à 15km des pôles à l'équateur. Elle est de 11km sous nos latitudes. C'est dans cette couche que se produisent les phénomènes météorologiques. La température diminue avec l'altitude pour descendre jusqu'à -50 / -60°C. 1



## 2 - LA TEMPÉRATURE DE L'AIR

C'est un paramètre météorologique ayant une incidence aéronautique directe et importante, à telle enseigne que presque tous les documents de vol ou messages d'aérodromes décrivant le temps comportent des indications de température.

### 2.1 – MESURE DE LA TEMPÉRATURE

La température recherchée est celle de l'air.

#### 2.1.1 - En surface :

On la mesure à 1,50m au-dessus du sol, à l'abri du rayonnement et des précipitations

#### 2.1.2 - En altitude :

Des ballons de radio-sondage effectuent deux fois par jour des mesures de pression-température-humidité jusqu'à 30km d'altitude environ.

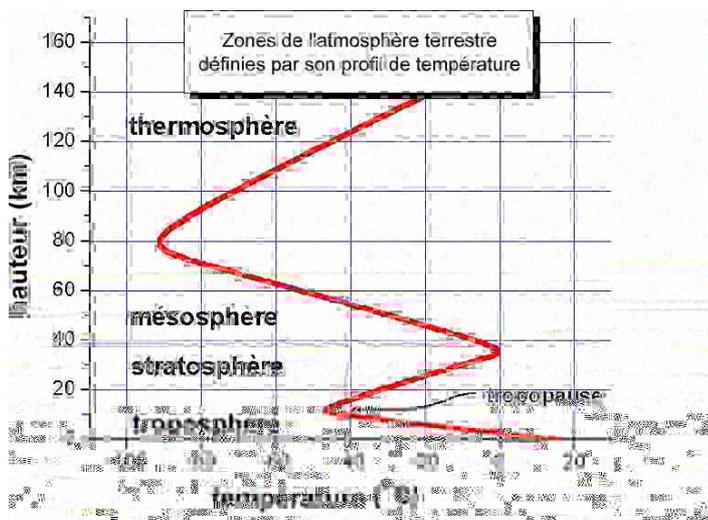
Le calcul des altitudes vraies qui sont traduites en isolignes sur les cartes, ne peut se faire sans relevés détaillés des températures en altitudes.

#### 2.1.3 - Variation de la température avec l'altitude :

**Standard**, la température en moyenne décroît dans toute la troposphère au fur et à mesure que l'on s'élève.

Pour rendre internationale les règles de circulation, pour établir les normes d'utilisation des avions, etc...il a fallu fixer un taux de référence de cette décroissance. Une statistique de l'altitude moyenne a fixé ce taux ( gradient vertical ) à 6°5 par 1000m ou 2° par 1000ft.

La courbe standard a pour origine : le niveau de la mer supposé être la pression de 1013,25 hPa et une température de + 15° C ( 273° K + 15° = 288° en température absolue). La fin de la décroissance a été " normalisée " à 11km, où la valeur atteinte est donc de - 56°5.



**Décroissance réelle.** En fait, la distribution verticale réelle est rarement celle de l'atmosphère standard.

Si la température augmente avec l'altitude au lieu de diminuer, on dit qu'il y a **inversion de température**. La conséquence aéronautique sera souvent une atmosphère stagnante, très stable, où la visibilité et le plafond se détériorent.

Si la température reste constante sur une certaine épaisseur, on parlera **d'isothermie**. C'est également un indice de stabilité.

Si la température décroît plus vite que le taux standard ( 6.5°/1000m ), l'atmosphère est **instable** et un gradient de 1°/100m se concrétise souvent par des nuages cumuliformes.

**Pour mémoire**, il est rappelé que les anémomètres sont calibrés en fonction des critères de l'atmosphère standard, que la vitesse indiquée ( VI ) n'est pas représentative de la vitesse par rapport à la masse d'air, en l'occurrence, il faudra apporter deux corrections à cette VI : ( Voir Navigation )

- une correction de densité  $V_p = V_i + 1\%$
- une correction de température  $V_p = V_i \pm 1\%$





# 3 - LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

## 3.1 - L'ORIGINE

La pression atmosphérique résulte des chocs des molécules d'air entre elles et avec les objets dans l'atmosphère. C'est, avec la température, un paramètre fondamental en météo pour prévoir le temps qu'il fera. Historiquement, les premières mesures de la pression atmosphérique ont été effectuées par TORRICELLI dans les canaux de VENISE. De là fut mis au point un instrument pour la mesurer, le **baromètre**. Celui-ci utilise du mercure (Hg) pour mesurer la pression atmosphérique. La première unité de mesure de la pression atmosphérique fut le millimètre de mercure (mmHg) ou le pouce de mercure (InHg) pour les Anglo-saxons

Bien que nous n'ayons pas conscience du poids de l'air, parce que nous sommes physiologiquement adaptés à résister à sa pression, l'air n'est pas aussi léger qu'on pourrait l'imaginer, puisque chaque mètre carré de la surface du sol au niveau de la mer supporte une charge supérieure 10 tonnes.

## 3.2 – MESURE DE LA PRESSION

### ATMOSPHÉRIQUE

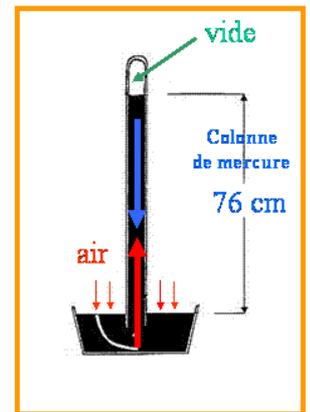
Dans le système international d'unités, la pression se donne en Pascal.

En météo il est plus pratique d'utiliser l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa).

On utilise également le millibar (1 mbar = 1 hPa).

La valeur moyenne au niveau de la mer est de 1013 hPa soit 760 mmHg. Nous retiendrons que :

**En moyenne à 0 m : Patm = 1013 hPa = 1013 mbar = 760 mmHg = 29,92 InHg**  
**et 1 hPa = 1 mbar = 100 Pa**

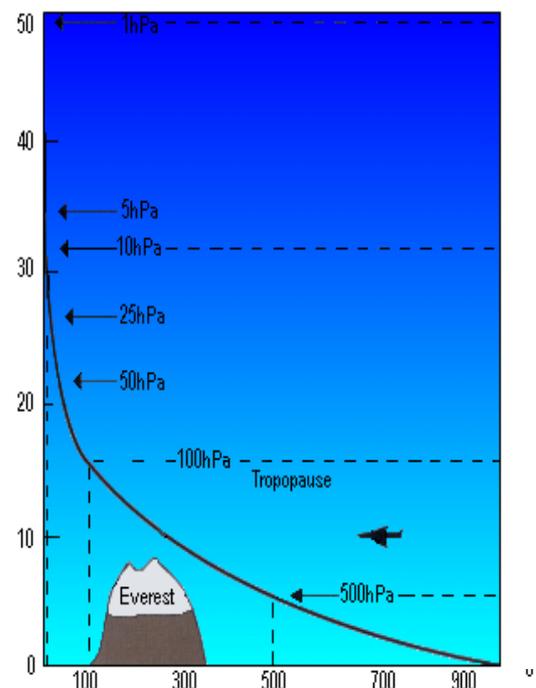


## 3.3- LES VARIATIONS DE PRESSION AVEC L'ALTITUDE

La pression atmosphérique diminue lorsque l'on gagne de l'altitude. Cette variation n'est pas linéaire. Pour la déterminer, il existe des calculs tenant compte de la variation d'altitude et de température. C'est ce que l'on appelle la loi du nivellement barométrique. La diminution est plus importante en basse altitude qu'en haute altitude. Nous retiendrons que :

**Pour que la pression diminue de 1hPa, il faut monter de :**

**- 8,5 m      (=28 ft)      au niveau de la mer**  
**- 30 m      (=100 ft)      vers 3000 m (10000 ft)**



### 3.3.1 - La mesure de l'altitude : l'altimètre

Puisque dans l'atmosphère standard une pression donnée correspond à une altitude bien déterminée, il est possible de se servir d'un baromètre pour mesurer les altitudes.

L'instrument approprié à la mesure des altitudes, l'altimètre, est un baromètre anéroïde.

Toutes les questions relatives à la réalisation et à l'utilisation des altimètres sont traitées en détail dans le chapitre " **Connaissance avion** ".

## 3.4 – LES VARIATIONS DE PRESSION AU NIVEAU DE LA MER

La pression ne varie pas seulement en fonction de l'altitude mais aussi selon le lieu. Selon la nature du sol et divers autres paramètres, la température n'est pas uniforme au niveau de la mer et de ce fait la pression ne l'est pas non plus. On trace alors des cartes sur lesquelles figurent des courbes joignant les points de même pression au niveau de la mer : **des isobares**. L'exemple ci-dessous montre les éléments caractéristiques que ces cartes mettent en évidence :

### 3.4.1 - Les ANTICYCLONES

Ce sont des zones de haute pression que l'on note A ou H (H pour high sur les documents anglo-saxons). Dans ces zones le vent est faible et le temps est beau avec un ciel souvent bien dégagé.

### 3.4.2 - Les DÉPRESSIONS

Ce sont des zones de basse pression que l'on note D ou B (L pour low sur les documents anglo-saxons). Dans ces zones le vent est plutôt fort et le temps est mauvais avec un ciel souvent fort encombré et des précipitations fréquentes.

### 3.4.3 - Les COLS

Zone située entre des dépressions ou anticyclones et marquant une inversion de sens d'évolution de la pression. Dans cette zone les vents sont relativement calmes et de direction variable. Le temps est également variable.

### 3.4.4 - Les MARAIS BAROMÉTRIQUES

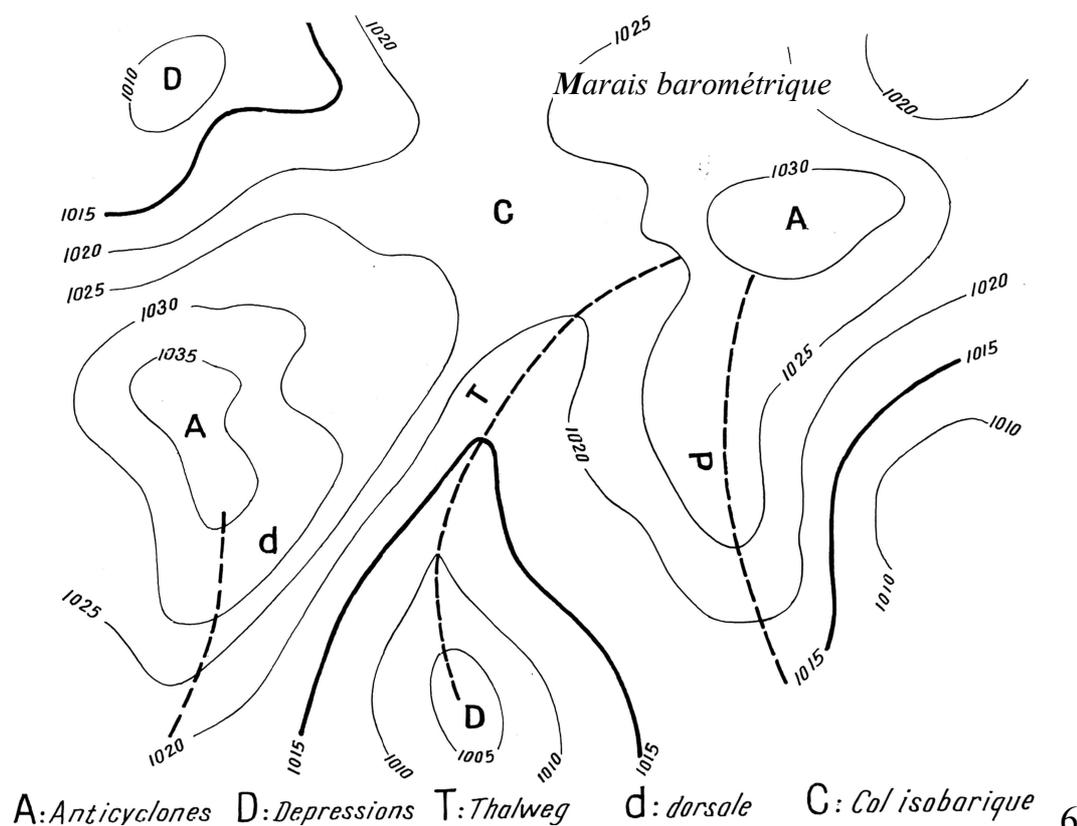
Ce sont de vastes zones où la pression évolue très peu. Les vents y sont faibles et de direction très variable. Il s'agit d'une zone de mauvais temps stagnant.

### 3.4.5 - Les DORSALES

Il s'agit d'une avancée d'un anticyclone dans les zones de pression plus basse. Le temps dans cette région est en général beau.

### 3.4.6 - Les TALWEGS ou THALWEGS

C'est une avancée des zones de basse pression. Il s'agit souvent de l'effet d'un front froid. On y rencontre des vents assez forts et du mauvais temps.



### 3.4.7 - Isobares :

Une isobare est une ligne, sur un graphe ou une carte, reliant les points d'égale pression. Dans l'espace à trois dimensions que forme l'atmosphère, les lignes de surface isobare réunissant à un instant déterminé les points de même pression atmosphérique servent à délimiter sur les cartes d'analyse objective et celles de prévision météorologique les systèmes météorologiques : dépressions, anticyclones, creux et crêtes barométriques.

Lorsqu'on trace des cartes météorologiques en altitude, bien qu'on puisse faire des cartes indiquant les lignes isobares à une hauteur standard, on va plutôt tracer les isohypses\* à des niveaux de pression constante, dites hauteurs isobares. Dans ces cas, on utilise certaines valeurs internationalement fixées de la pression, dont les plus importantes sont 850, 700, 500, 300 et 200 hPa et les isohypses représentent la hauteur par rapport au niveau de la mer où se trouvent ces pressions.

\* Une **isohypse** est une ligne d'égale altitude sur un graphique ou une carte.

Pression hPa	Altitude à laquelle règne cette pression	
	ft	m
1013	Niveau de la mer	
850	5 000 ft	1 500 m
700	10 000 ft	3 000 m
500	18 000 ft	5 500 m
400	24 000 ft	7 200 m
300	30 000 ft	9 100 m
200	39 000 ft	11 800 m

### Rappel :

### 3.4.8 - L'atmosphère standard

Afin de baser tous les altimètres sur une même loi de variation de la pression en fonction de l'altitude, l'O.A.C.I. (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) a défini une **atmosphère standard**. Elle correspond aux conditions moyennes de température et de pression que l'on rencontre dans l'atmosphère.

#### Caractéristiques de l'atmosphère standard O.A.C.I. :

- au niveau de la mer  $T = +15^{\circ}\text{C}$  et  $P_{\text{atm}} = 1013,25 \text{ hPa}$
- gradient vertical température :  $-6,5^{\circ}\text{C} / 1000 \text{ m}$  jusqu'à 11000 m, nul entre 11000 et 20000 m puis  $+10^{\circ}\text{C} / 1000 \text{ m}$  jusqu'à 32000 m
- la tropopause se situe à 11000 m
- l'air est sec et de composition constante
- l'accélération de la pesanteur est  $g = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$

C'est cette référence qui permet d'étalonner les altimètres, d'assurer la sécurité des aéronefs et d'homologuer des records.

La masse volumique de l'air est égale à la masse de l'air contenu dans une unité de volume. Elle est désignée par la lettre  $\rho$  ( rho ) et s'exprime en  $\text{kg/m}^3$ .

$$\rho = m / v$$

Pour une température T donnée, le produit P.V reste constant :

$$\text{Si } P > \Rightarrow V < \Rightarrow \rho >$$

$$\text{Si } P < \Rightarrow V > \Rightarrow \rho <$$

Pour une pression P donnée, le rapport V/T reste constant :

$$\text{Si } T > \Rightarrow V > \Rightarrow \rho <$$

$$\text{Si } P < \Rightarrow V < \Rightarrow \rho >$$

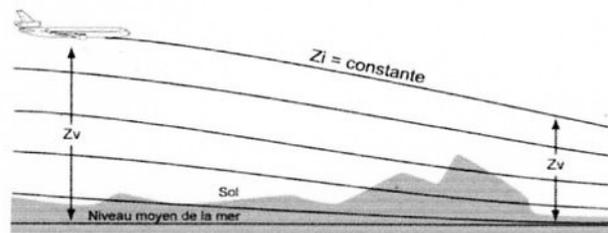
### 3.5 – EFFETS DE LA PRESSION ET DE LA TEMPÉRATURE SUR L'ALTITUDE

Lorsque l'on vole à une altitude constante indiquée par l'altimètre, cela revient à suivre une surface isobare.

Si l'altitude réelle de cette surface isobare diminue, l'altitude vraie de l'avion va également diminuer. Il y a **DANGER**.

Lorsqu'on se dirige vers une zone dépressionnaire, il y a donc danger.

- Vers une dépression : si  $Z_i$  est constant, alors  $Z_v$  diminue ( $<$ )
- Vers de basses températures : si  $Z_i$  est constant, alors  $Z_v$  diminue ( $<$ )



On retiendra la règle des quatre D :

**Dépression = dérive droite = Danger**

## 4 - L'EAU DANS L'ATMOSPHÈRE

### 4.1 – ORIGINE :

L'eau est présente d'une façon permanente dans l'atmosphère sous l'un des trois états physiques, gazeux, liquide ou solide. Elle est issue de l'évaporation incessante se produisant à la surface du globe par suite de l'humidité du sol et de l'existence de masses liquides nombreuses telles que les océans, mers, fleuves.....

A l'état gazeux, sous forme de vapeur, l'eau reste invisible. Ne sera visible que lorsqu'elle revêt l'état liquide ( pluie, nuages ) ou l'état solide ( neige, grêle, nuages de glace ).

Cette eau joue dans l'atmosphère un rôle très important, celui de régulateur thermique.

### 4.2 – HUMIDITÉ RELATIVE DE L'AIR:

La quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue dans l'air dépend des conditions de température et de pression de ce dernier. **Plus la température de l'air est élevée et plus la quantité d'eau qui peut être dissoute est importante.**

**L'humidité relative est le rapport entre la masse d'eau dissoute dans l'air et la masse maximale d'eau que l'on peut y dissoudre.**

Lorsque l'humidité relative atteint 100 %, on dit qu'il y a **saturation** ou que **l'air est saturé** en vapeur d'eau. Dans ce cas il va pouvoir se former des nuages ou du brouillard selon les conditions. L'humidité relative permet donc aux météorologues de prévoir les formations de nuages et même le type de nuages et les risques de précipitation.

**L'humidité relative se mesure avec un hygromètre ou un psychromètre. Elle se note, en général, HR.**

Il est donc important de connaître l'état de l'air par rapport à la saturation.

On définit dans ce but l'humidité relative

$$U\% = 100 \cdot \frac{e}{e_w(T)}$$

$e$  = pression partielle de la vapeur d'eau

$e_w(T)$  = pression maximale de la vapeur d'eau que peut contenir l'air à la température  $T$  ( pression saturante )

Si l'air est sec :  $e = 0$  et  $U = 0\%$

Si l'air est saturé à la température  $T$  :  $e = e_w(T)$ , alors  $U = 100\%$

### 4.3 - SATURATION DE L'AIR HUMIDE

Pour une même quantité de vapeur d'eau dissoute, l'humidité relative dépend de la température. Plus il fait froid, et plus elle est importante. Une masse d'air pourra atteindre la saturation de deux façons différentes :

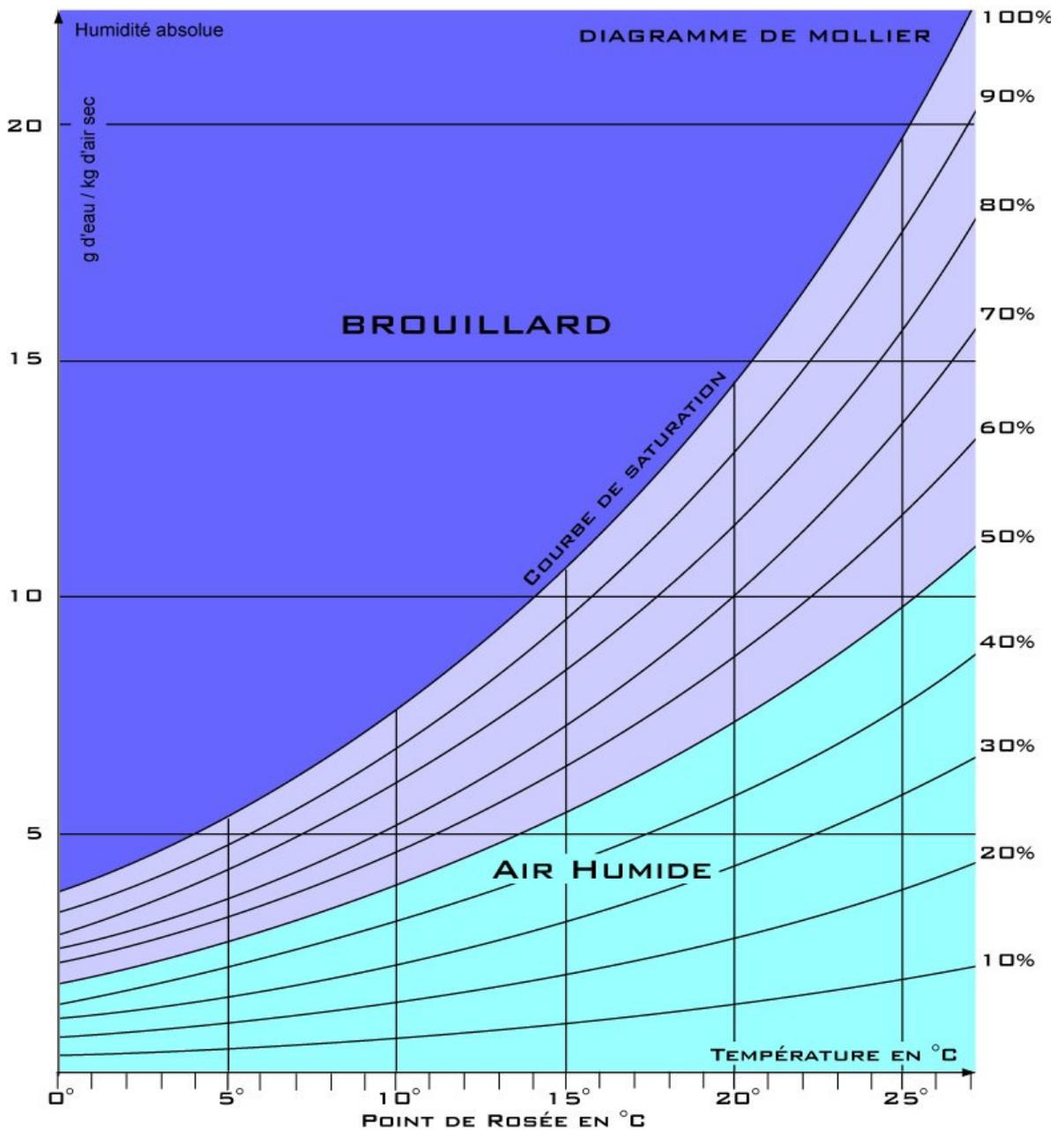
- par une augmentation de la masse de vapeur d'eau dissoute si elle passe au-dessus d'étendues maritimes ou de sols détrempés.  
e augmente et atteint, à température constante, la valeur de  $e_w$
- par un abaissement de température qui augmente l'humidité relative jusqu'à 100 %. En effet, à plus faible température la quantité d'eau pouvant être dissoute dans l'air est plus faible.  
La particule d'air contient la même quantité d'eau. Si elle se refroidit,  $e_w$  diminue jusqu'à atteindre la valeur de  $e$ .

Pour ce dernier mode on définit deux températures auxquelles on peut atteindre la saturation :

**4.3.1 - la température du point de rosée** (dew point) correspond à la température à laquelle on atteint la saturation si la pression reste constante au cours du refroidissement. Ce phénomène peut se produire au cours du refroidissement nocturne ou au petit matin et il provoque de la rosée ou des brouillards. Le danger des brouillards en aéronautique rend les pilotes particulièrement sensibles à la température du point de rosée.

#### Diagramme de Mollier :

Il permet de déterminer le point de rosée lorsque l'on connaît l'humidité relative et la température de l'air.



**4.3.2 - la température du point de condensation** correspond à la température à laquelle on atteint la saturation si le refroidissement est provoqué par une baisse de la pression. *Lorsqu'une particule d'air humide s'élève dans l'atmosphère, sa pression diminue. Il en résulte une diminution de température également.*

Lors de sa montée l'air subit une détente adiabatique (sans échanger de chaleur avec une autre masse d'air). **Si l'air n'est pas saturé, la température diminue de 1 °C tous les 100 m. On appelle cette diminution, le gradient adiabatique en air sec.**

Si la température atteint le point de condensation, des gouttelettes d'eau en suspension apparaissent. Il se forme un nuage dont la base se situe au niveau du point de condensation. Lors de la condensation, l'eau cède de la chaleur à l'air dans lequel elle était dissoute. Le gradient de température change alors et **le gradient en air humide est de 0,6 °C pour 100 m.** L'humidité relative de l'air reste alors de 100 %. A partir du point de condensation, tout au long de sa montée l'air se sépare de la vapeur d'eau qu'il contient.

#### 4.3.3 - la surfusion

En règle générale, quand U atteint 100% la vapeur d'eau se transforme en eau liquide à température positive, en glace à température négative.

On rencontre souvent des zones de précipitations surfondues, c'est-à-dire de l'eau liquide à une température négative ( entre 0°C est - 40°C , mais plus généralement entre - 4° et - 7° C ).

L'eau surfondue n'est pas rare dans les nuages, où les avions qui la rencontrent sont sujets au givrage. Cette accumulation de glace est particulièrement dangereuse car même une mince couche de glace sur des ailes peut diminuer leur portance, entraînant un risque de décrochage.

## 4.4 - NOTION D'ÉQUILIBRE

L'état de stabilité ou d'instabilité d'une particule d'air dépend de la température de cette particule par rapport à la température de l'air environnant.

### 4.4.1 - Stabilité d'une masse d'air

Lorsqu'une particule d'air humide s'échauffe au contact du sol, sa masse volumique diminue et elle s'élève. Elle subit alors une détente adiabatique et se refroidit.

- si sa température devient égale à celle de l'air ambiant, sa masse volumique également et elle stoppe sa montée.

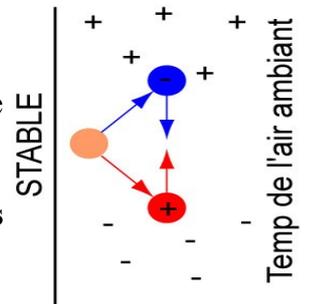
- si sa température devient inférieure à celle de l'air ambiant, sa masse volumique devient supérieure à celle de l'air ambiant et elle redescend. **On dit alors que l'atmosphère est stable.**

Lorsque l'atmosphère est stable, les mouvements de convection restent d'ampleur très modeste.

L'air est calme et il ne se forme pas de nuages en moyenne et haute altitude. Certaines couches d'atmosphère sont favorables à la stabilité :

- **les couches isothermes** : ce sont des couches d'air dans lesquelles la température reste constante lorsque l'on monte. On est en présence d'une *isothermie*.

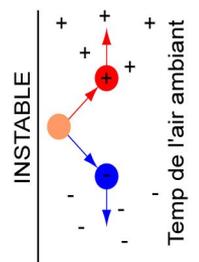
- **Les couches d'inversion** : ce sont des couches d'air dans lesquelles la température augmente lorsque l'on monte. On est en présence d'une *inversion de température*.



### 4.4.2 - Instabilité d'une masse d'air

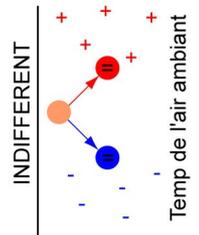
Lorsqu'une particule d'air humide s'échauffe au contact du sol, sa masse volumique diminue et elle s'élève. Elle subit alors une détente adiabatique et se refroidit. Si sa température reste supérieure à celle de l'air ambiant, sa masse volumique reste inférieure à celle de l'air ambiant et elle continue sa montée.

**On dit alors que l'atmosphère est instable.**



### 4.4.3 - Équilibre indifférent

A partir de sa position d'équilibre si une particule d'air est déplacée vers le haut ou vers le bas et qu'elle se trouve à la même température que l'air ambiant, elle va rester à sa nouvelle position. Cette position est aussi une position d'équilibre.



# 5 - LES MASSES D'AIR:

## 5.1 - GÉNÉRALITÉ

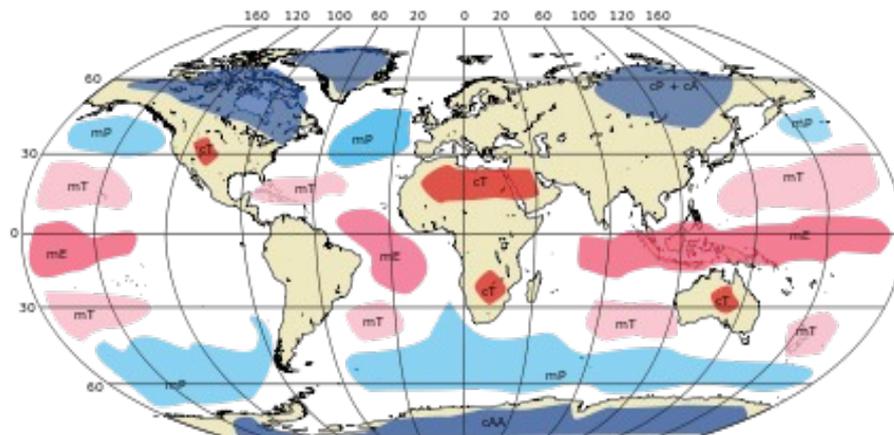
Une masse d'air, en météorologie est un volume important (quelques dizaines ou centaines de milliers de km<sup>3</sup>) d'air de la troposphère dont la température et l'humidité sont pratiquement uniformes dans un plan horizontal.

A l'intérieur d'une masse d'air il existe donc des surfaces horizontales de plusieurs centaines de km<sup>2</sup> sur lesquelles la température et l'humidité sont relativement constantes. Ces masses d'air se déplacent dans l'atmosphère en glissant les unes sur les autres sans se mélanger. Au cours de leur déplacement leurs caractéristiques (température et humidité) évoluent en fonction des surfaces au-dessus desquelles elles transitent (océans, sols humides, déserts,...). La rencontre de deux masses de caractéristiques très différentes influence beaucoup la météorologie dans la région de leur contact.

Les caractéristiques des masses d'air dépendent au départ de leur mouvement, de la zone au-dessus de laquelle elles se sont formées.

Les masses d'air sont classées selon leurs caractéristiques :

- **la température :**
  - Très chaude :* masse d'air **équatoriale (E)**
  - Chaude :* masse d'air **tropicale (T)**
  - Froide :* masse d'air **polaire (P)**
  - Très froide :* masse d'air **arctique (A)**
- **l'humidité :**
  - Sèche :* masse d'air continentale (c)
  - Humide :* masse d'air maritime (m)



## 5.2 - LES MASSES D'AIR EN EUROPE

Plusieurs masses d'air peuvent atteindre l'Europe et y apporter un temps caractéristique :

### 5.2.1 - Air polaire maritime :

Temps à nuages cumuliformes et averses.

### 5.2.2 - Air polaire continental :

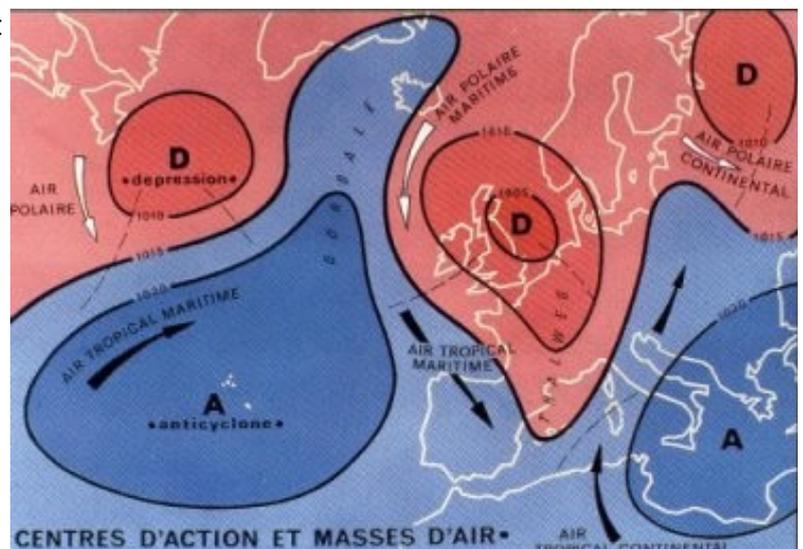
Temps clair et sec, avec occasionnellement des stratus ou stratocumulus.

### 5.2.3 - Air tropical maritime :

Temps à brumes, brouillards ou nuages stratiformes bas.

### 5.2.4 - Air tropical continental :

Temps provoquant souvent des orages sur les reliefs.



## 6 - LE VENT

### 6.1 – DIRECTION ET ORIGINE DU VENT

L'écoulement moyen de l'air est relié directement à la distribution de la pression.

Il n'y aura du vent en un point quelconque que si la pression qui s'y rapporte est plus forte ou plus faible que dans son voisinage.

Dès que la force de pression est mesurable ( orientée en direction des basses pressions), l'air se met en mouvement avec un trajectoire ,qui sans frottement, doit rester rigoureusement isobare, c'est-à-dire qui suivra des lignes d'égale pression.

Loi de Buys BALLOT, dans l'hémisphère Nord, les dépressions restent à gauche du vent et les hautes pressions à droite. Dans l'hémisphère Sud, cette règle est inversée.

La direction du vent est donnée par rapport au Nord vrai (  $N_v$  ). Elle est exprimée par un angle qui peut varier de  $000^\circ$  à  $360^\circ$ . Seul les tours de contrôle donne la direction d'où souffle le vent par rapport au Nord magnétique (  $N_m$  ).

Le vent est un déplacement d'air horizontal dû à des différences de pression entre les points de la surface de la terre.

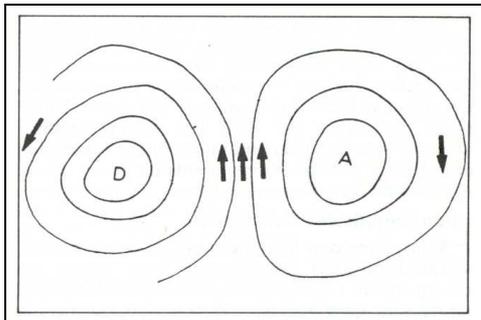
Le vent résulte de l'action de trois types de forces sur l'air en mouvement :

#### 6.1.1 - La force de gradient de pression

Elle est due à la différence de pression entre les points de la surface de la terre. Elle entraîne l'air des hautes vers les basses pressions. Plus les différences de pression sont importantes et plus cette force est importante. En pratique lorsque l'on observe les isobares d'une carte météo, plus elles sont rapprochées et plus le vent est fort.

#### 6.1.2 - La force de CORIOLIS

Tout objet en mouvement dans l'hémisphère nord est dévié vers sa droite. (c'est le contraire dans l'hémisphère sud). Les particules d'air n'y font pas exception. Lors de son déplacement des hautes vers les basses pressions, l'air est dévié vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud.

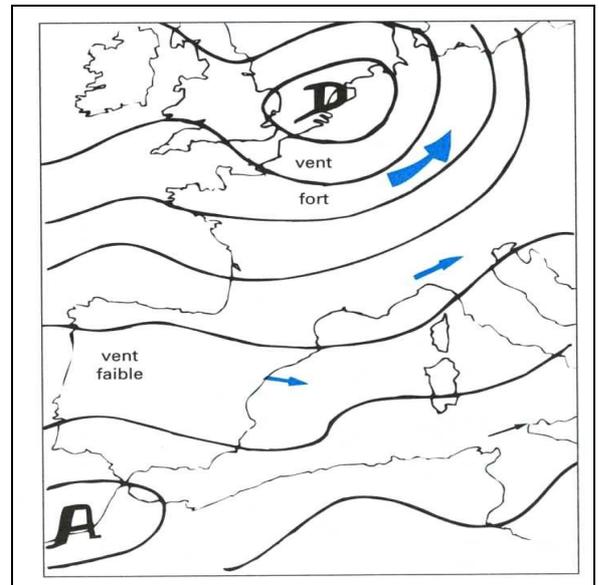


La **force** du vent est proportionnelle à

**l'espacement des lignes isobares.**

*Lignes isobares serrées : vent fort*

*Lignes isobares espacées : vent faible*



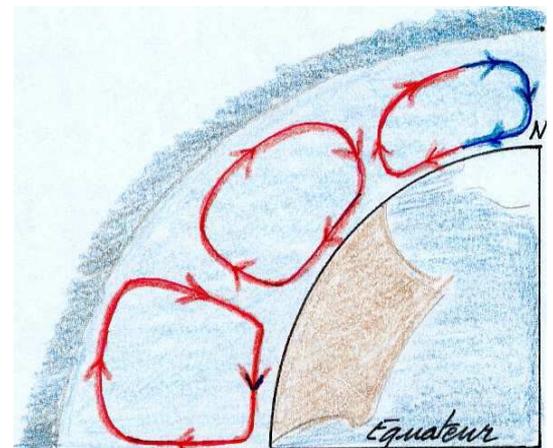
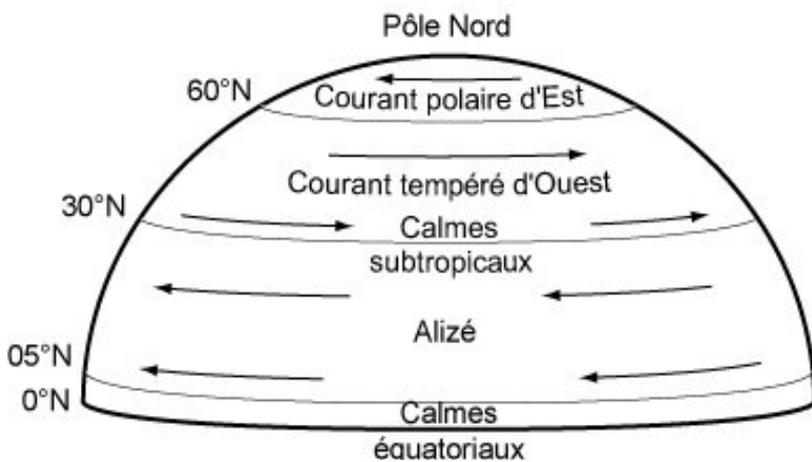
#### 6.1.3 - Les forces de frottements

Lors de son mouvement, l'air frotte contre les autres particules d'air et le sol. Cela entraîne des forces s'opposant à son mouvement. Elles ne le dévient pas mais le freinent.

## 6.2 – CIRCULATION GÉNÉRALE DANS L'ATMOSPHÈRE

Les variations de pression à la surface de la terre font apparaître :

- un centre anticyclonique au Pôle Nord (  $\approx 1020$  hPa )
  - un axe dépressionnaire sur le  $60^\circ$  N , correspondant au front arctique (  $\approx 1000$  hPa )
  - une cassure de la courbe sur le  $40^\circ$  N, correspondant au front polaire
  - un axe anticyclonique sur le  $30^\circ$  N, correspondant à la ceinture anticyclonique subtropicale (  $\approx 1025$  hPa )
  - au environ de l'équateur une bande dépressionnaire à gradient extrêmement faible (  $\approx 1010$  hPa )
- Les vents sont calmes au Pôle Nord ( courant polaire d'Est )
  - d'Est du Pôle Nord au  $60^\circ$  N
  - d'Ouest du  $60^\circ$  N au  $30^\circ$  N ( courant tempéré d'Ouest ). C'est ce courant qui nous touche en France.
  - Calmes sur le  $30^\circ$  N ( calmes subtropicaux )
  - d'Est du  $30^\circ$  N au  $05^\circ$  N ( Alizés )
  - d'Est très faible puis nuls du  $5^\circ$  N à l'équateur ( calmes équatoriaux )



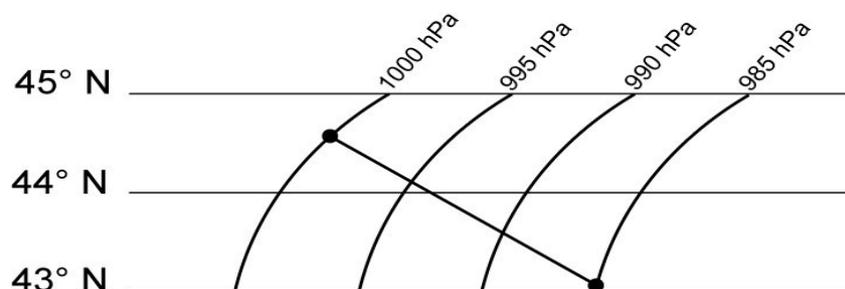
La circulation est symétrique dans l'hémisphère Sud .

Il existe également un vent d'altitude très important : **le jet jet-stream**. Ce vent souffle d'Ouest en Est sur une bande de quelques centaines de kilomètres de largeur et à une altitude d'environ 10000 m. Sa vitesse atteint fréquemment 200 à 300 km/h. Les pilotes de ligne en tiennent compte pour profiter de sa vitesse s'ils vont d'Ouest en Est ou au contraire pour l'éviter si leur route est en sens inverse.

## 6.3 – GRADIENT DE PRESSION

En termes plus scientifique, pour définir le vent, nous devons parler du gradient de pression. Le gradient de pression est la différence de pression entre deux points divisé par la distance qui les sépare. **Donc,  $( P_1 - P_2 ) / \text{distance}$ .**

$$\frac{P_1 - P_2}{\text{Distance}} = \frac{1000 \text{ hPa} - 985 \text{ hPa}}{1,5^\circ} = 10$$



### 6.3.1 - Conséquences au plan météorologique :

Près du sol, les vents ont tendances à s'éloigner des anticyclones et converger vers les dépressions. Dans les basses couches, l'air s'éloigne d'un anticyclone et doit être remplacé par de l'air qui descend ( **subsidence** ) des couches supérieures. Il crée des phénomènes générateurs de beaux temps.

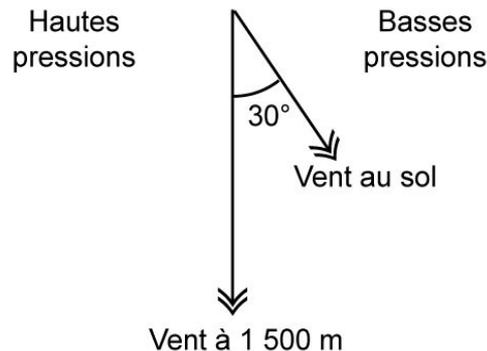
A l'inverse, dans les basses couches, l'air se dirigeant vers les dépressions, il chasse vers le haut une quantité d'air qui provoque un mouvement ascendant qui peut amener du mauvais temps.

C'est pour cette raison que les anticyclones sont synonymes de beau temps et les dépressions de mauvais temps.

### 6.3.2 - Conséquence au plan pilotage

Au décollage, lorsque l'on prend de l'altitude, le vent subi va augmenter en force, sa direction va tourner vers la droite ( hémisphère Nord ).

Inversement, lors d'une percée IFR, par exemple, on doit s'attendre à voir la force du vent diminuer et sa direction tourner vers la gauche.



## 6.4 – LA MESURE DU VENT

### 6.4.1 - Unités

L'unité internationale de la vitesse du vent est le m/s. En aéronautique, on utilise le nœud, noté kt pour knot.

$$1 \text{ m/s} = 2 \text{ kt} \text{ ou } 1 \text{ kt} = 0,5 \text{ m/s}$$

### 6.4.2 - Appareils de mesure

- La direction du vent en surface est mesurée à l'aide d'une girouette, sa vitesse est déterminée à l'aide d'un anémomètre

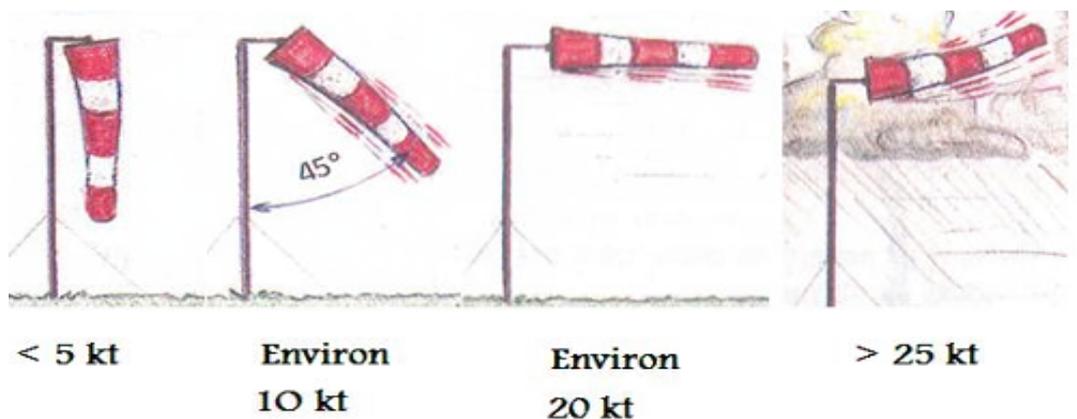
- Le vent en altitude est mesuré en direction et en vitesse grâce au suivi radar de la trajectoire de ballons sondes gonflés à l'hydrogène

- Des images satellitaires sont utilisées pour avoir une idée approchée du vent sur les océans et les régions désertiques

### 6.4.3 - Observation du vent

En l'air, on peut obtenir une estimation de la direction du vent en surface, et très grossièrement de sa vitesse en observant les fumées de cheminées, de feux domestiques, etc

Au sol, la vitesse de déplacement des nuages et l'observation de leur trajectoire donne une idée de la direction et de la vitesse du vent. L'observation de la manche à air permet une estimation plus précise du vent en surface, en particulier pour la détermination de sa vitesse. Chaque bande de tissu de la manche à air (rouge ou blanche) représente 5 kt.



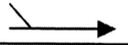
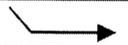
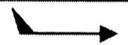
### 6.4.4 - Cartes de prévision de vent et température WINTEM .

Les **WINTEM** sont des cartes de prévision de vent ( WIND ) et températures ( TEMPERATURE ) en surface.

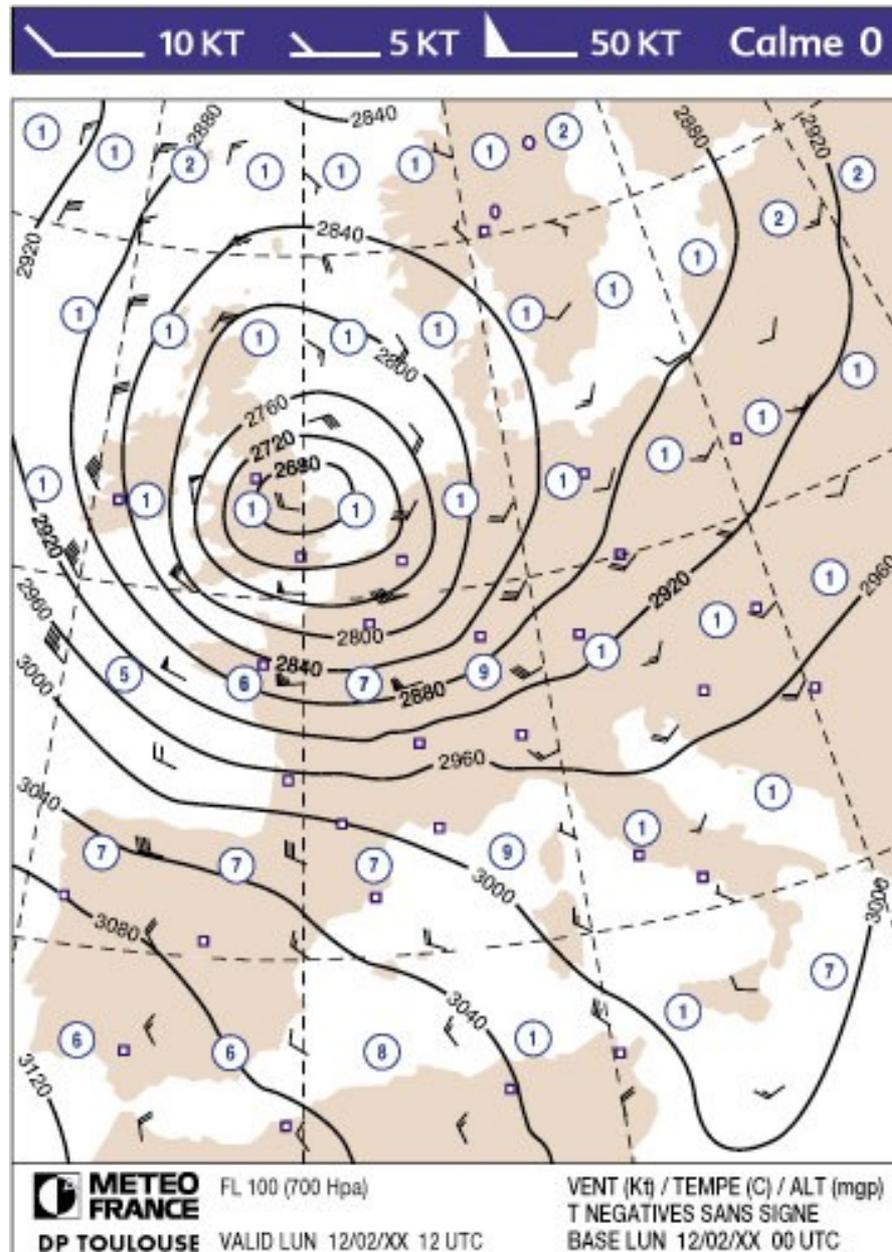
Le vent est représenté par un système de flèches, barbules et fanions.

Les flèches indiquent la **direction d'où vient le vent** et le nombre de barbules donne sa **vitesse**.

Légende des vents

	5 kt		15 kt
	10 kt		50 kt

La hampe indique la direction d'où vient le vent. Les barbules indiquent la vitesse en noeud selon le code suivant :



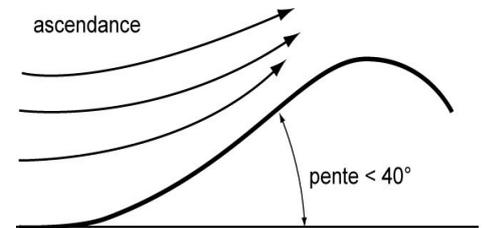
## 6.5 – EFFETS DU RELIEF

### 6.5.1 - Passage d'une chaîne de montagne :

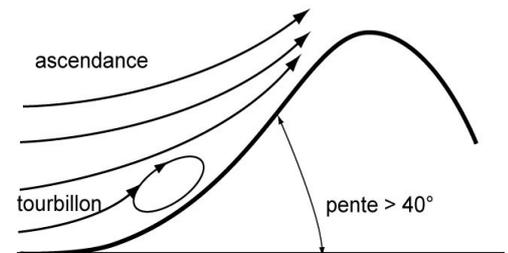
Le relief constitue un obstacle qui s'oppose au mouvement de l'air. D'une part il freine l'air, d'autre part il le dévie. Ces deux effets sur le vent sont générateurs de turbulences.

#### 6.5.1.1 - Coté au vent :

Si la turbulence est assez faible, la déviation des filets d'air est régulière.



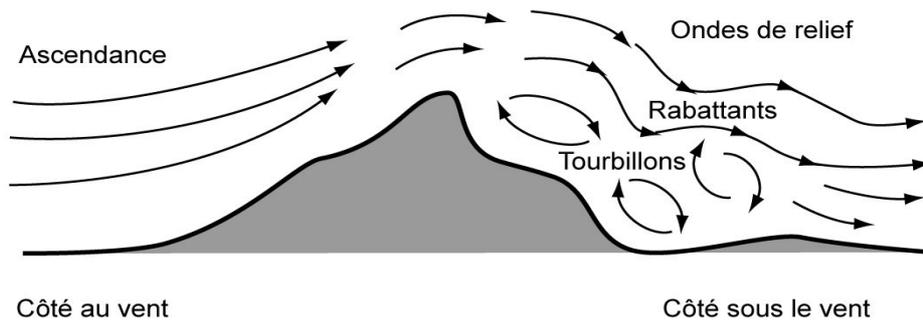
Si la pente est  $> 40^\circ$ , il apparaît un tourbillon au pied de la pente.



#### 6.5.1.2 - Coté sous le vent :

L'air redescend sous l'effet de son poids. Il apparaît des ondes de relief. Ces systèmes d'ondes dégénèrent lorsque l'on se rapproche du sol et donnent naissance à des petits tourbillons isolés appelés rotor.

On rencontre donc des rabattants et des tourbillons synonymes de turbulences. Le vol près du sol sous le vent est dangereux.

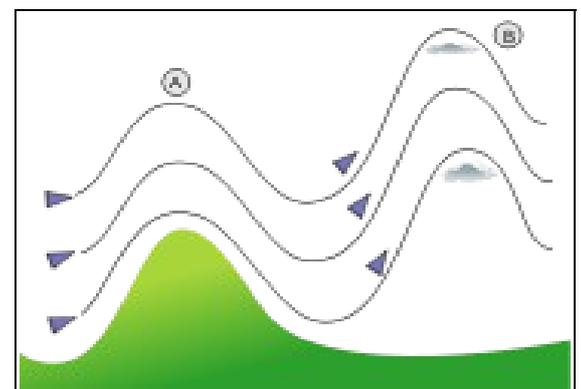


### 6.5.2 - L'onde

Si plusieurs reliefs alignés dans la même direction (perpendiculaire au vent) sont régulièrement espacés, le vent "rebondit" sur les reliefs successifs en donnant des ascensions pouvant monter très haut. L'atmosphère peut-être perturbée jusqu'à une hauteur pouvant atteindre 4 à 5 fois la hauteur du relief rencontré.

Les vélivoles recherchent ce type de régime de vent qui leur permet d'atteindre des altitudes très importantes. Sur les contreforts des Alpes ou de Pyrénées, l'onde est assez fréquente.

En revanche, il faut la mériter car avant de parvenir dans ce vent laminaire, il faut traverser des turbulences en amont du relief. Seuls les bons pilotes peuvent se permettre de l'exploiter.

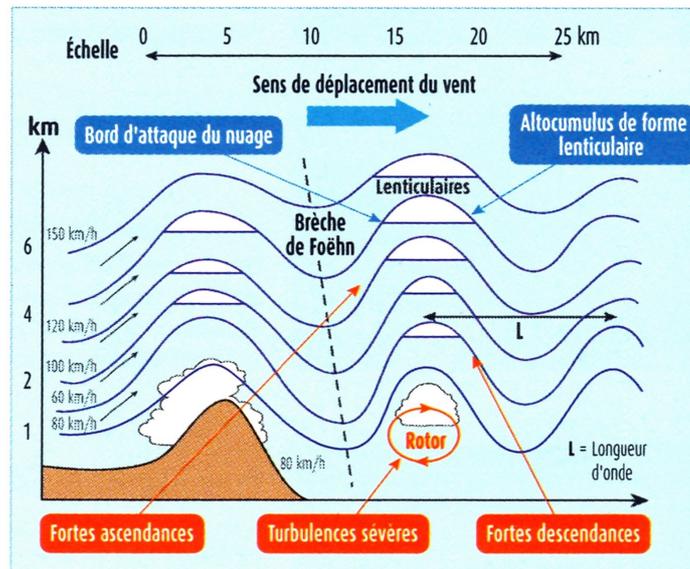


En horizontal, la distance d'influence, proportionnelle au relief et à la vitesse du vent, peut-être de 3 à 7 km après le relief. ( **ondes stationnaires ou orographiques** )

### 6.5.2.1 - Traversées en avion d'ondes sous le vent :

Les principaux risques sont :

- le perte d'altitude en passant à travers la partie ascendante de l'onde. La vitesse de descente peut dépasser 13 m/s dans une onde très puissante, et des vitesses de 5m/s ne sont pas rares.
- Le givrage. De sérieux problèmes de givrage peuvent résulter du vol en nuage au-dessus du niveau de l'isotherme zéro°C. Les nuages d'onde peuvent produire de la glace, plus rapidement que les nuages en couches ordinaires.
- La turbulence. Le vol d'onde est en général extrêmement calme, mais le courant laminaire peut se trouver tout près de zones turbulentes.



### 6.5.3 - Effet de Foehn :

L'effet de foehn, ou effet de föhn, est un phénomène météorologique créé par la rencontre de la circulation atmosphérique et du relief quand un vent dominant est entraîné au-dessus d'une chaîne montagneuse et redescend de l'autre côté après l'assèchement de son contenu en vapeur d'eau. Le nom vient du *foehn*, un vent fort, chaud et sec que l'on rencontre dans certaines régions d'Europe.

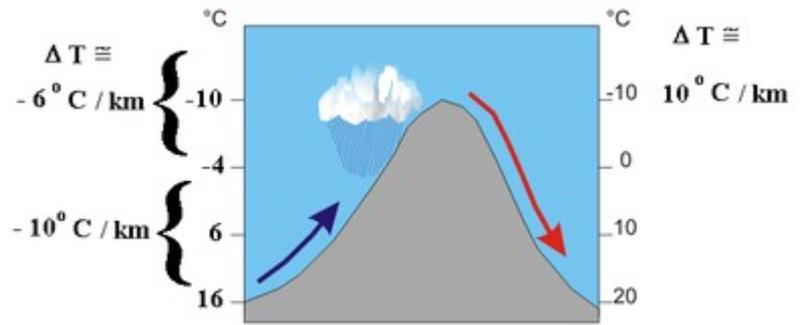
Lorsque le vent rencontre une montagne plus ou moins perpendiculairement, il suit le relief et s'élève. La pression atmosphérique diminuant avec l'altitude, la température de l'air diminue, par détente adiabatique, d'abord selon le taux adiabatique sec.

Si l'humidité est assez grande au départ, la vapeur d'eau contenue dans l'air va se condenser à partir du niveau où il atteint la saturation, ce qui réchauffe l'air. En effet, le rayonnement solaire, qui a fourni de la chaleur et permis de faire s'évaporer l'eau au niveau du sol, est restitué à l'air par la chaleur latente. Le taux de diminution de la température de la parcelle d'air se fera donc à partir de ce moment selon le taux adiabatique humide plus lent, tant qu'il y aura de la vapeur à condenser.

Si l'air est stable au-dessus de la chaîne de montagne, la parcelle soulevée ne peut continuer sa montée une fois la cime passée et redescend l'autre versant. Il est alors sous le point de saturation car l'eau est tombée sous forme de pluie. Lorsqu'il descend, l'air se comprime (puisque la pression augmente vers le bas) et donc sa température augmente par compression adiabatique selon le taux adiabatique sec.

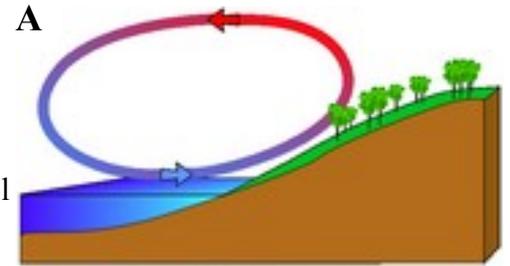
L'effet de foehn ne demande pas qu'il y ait de précipitations (pluie) ou de nuages abondants produits du côté en ascendance mais l'effet sera d'autant plus fort que la masse d'air perd de son humidité. Dans ce cas, l'air a reçu de la chaleur par la condensation de l'eau, donc l'air est plus chaud et sec sur le versant "sous le vent" (flèche rouge) que sur le versant dans le vent (flèche bleue).

Dans la photographie illustrant l'effet de foehn, on voit clairement à l'arrière le **trou de foehn** qui est la bande de ciel bleu. À l'aval du trou de foehn, on reconnaît parfaitement des altocumulus lenticulaires (nuages soufflés) qui sont des marqueurs d'ondes de gravité et des cumulus fractus (petits nuages déchiquetés) qui marquent la présence d'un rotor.

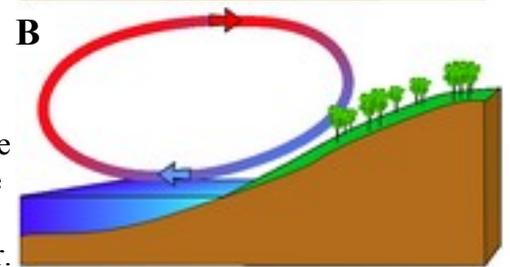


### 6.5.4 - Les brises de bord de mer

En bord de mer, les jours ensoleillés, il existe un phénomène comparable aux brises de pentes, la brise de mer et la brise de terre. Dans la journée, le sol capte mieux les rayonnements solaires que la mer. Il s'échauffe donc plus et plus vite que l'eau. L'air à son contact se chauffe et s'élève. Il est alors remplacé par de l'air plus froid en provenance de la mer. Il s'établit donc un vent qui souffle depuis la mer vers la terre. On l'appelle brise de mer ( **A** ). Elle s'établit dans la matinée et se renforce tant que le sol s'échauffe. Quand le soleil descend sur l'horizon, le vent faiblit.



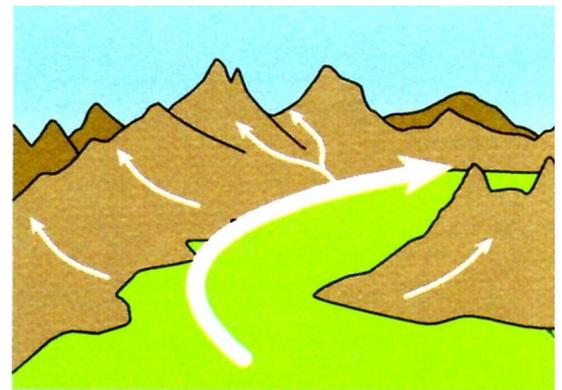
Lorsque le soleil se couche, la mer cède très lentement son énergie alors que le sol, se refroidit très rapidement. L'air au-dessus de la mer est alors réchauffé par rapport à celui au-dessus du sol. Les mouvements de convection s'inversent et la brise s'installe de la terre vers la mer. On l'appelle brise de terre ( **B** ). Elle est plus dangereuse que la brise de mer car elle tend à éloigner du rivage les embarcations ou les aéronefs et il faut lutter contre le vent pour rentrer.



### 6.5.5 - Les brises de pente

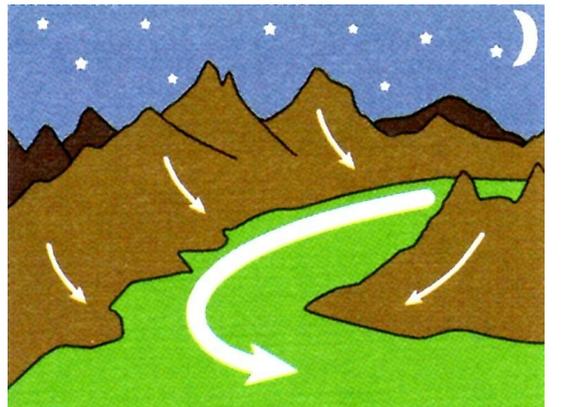
#### La brise de pente et de vallée montante

**De jour**, l'air au contact des pentes ensoleillées s'échauffe et s'élève le long des pentes. Pour compenser l'air ainsi emprunté au fond de la vallée, un vent s'établit, dirigé vers l'amont. ( *type de vent anabatique* )



#### La brise de pente et de vallée descendante

**De nuit**, on assiste aux effets inverses : l'air en contact avec les sommets se refroidit et s'écoule le long des pentes. Par accumulation au fond de la vallée, l'air froid s'écoule ensuite vers l'aval, en suivant la vallée. ( *type de vent catabatique* )



#### Effet Venturi :

*Le vent qui pénètre dans une vallée voit sa vitesse se renforcer par effet venturi.*

## 6.5.6 - Les vents locaux

### Le Mistral :

Le mistral est un vent catabatique de nord-ouest à nord, très froid en hiver et chaud en été, et souvent violent, qui concerne le nord du bassin de la Méditerranée occidentale. Généralement sec et accompagné d'un temps très ensoleillé, son caractère dominant lui confère un rôle important dans l'originalité du climat provençal.

Il peut souffler à plus de 100 km/h en plaine, notamment dans la basse vallée du Rhône.



### La Tramontane :

La tramontane est le nom donné à plusieurs vents soufflant vers le golfe du Lion. En Provence et en Italie, il s'agit d'un vent du nord. En Catalogne et en Languedoc il s'agit d'un vent du nord-nord ouest .

La tramontane est un vent froid, sec et violent, qui souffle depuis la terre vers le golfe du Lion. En tant que vent du nord-ouest, il souffle sur le Languedoc, la plaine du Roussillon, la plaine de l'Empordà et l'île de Minorque aux Baléares. La tramontane s'accélère en passant entre les Pyrénées et le sud du Massif central par effet Venturi. La tramontane est proche du mistral par son origine et ses effets, mais il s'agit de deux vents différents.



### Autan :

Le vent d'autan est un vent soufflant dans le sud/sud-ouest de la France, en provenance du sud-est/sud-sud-est, qui affecte le Roussillon, l'intérieur du Languedoc et le Midi toulousain.

Le vent d'autan se forme sous l'action de deux phénomènes. Le premier est l'apparition d'une dépression le long de la barrière pyrénéenne car le vent du sud se bloquant contre les Pyrénées provoque une zone de basses pressions, favorisant l'arrivée d'air venant de la mer méditerranée par le couloir du Lauragais entre Corbières et Montagne Noire. Le deuxième phénomène est ce que l'on appelle l'effet de foehn qui se forme le long des Pyrénées. Il renforce la première dépression car l'air froid au nord des Pyrénées est attiré par l'air chaud situé au sud de la chaîne montagneuse.



### Marin :

Le marin est un vent de secteur sud (sud-est à sud-ouest) qui souffle sur le golfe du Lion et la Provence.

C'est un vent humide et doux, il se charge en humidité au-dessus de la Méditerranée . Il est accompagné de pluies et lève une mer forte.

Le marin est associé à l'arrivée du front chaud d'une dépression sur la région.



### Sirocco :

Le sirocco (ou scirocco) est un vent saharien violent, très sec et très chaud qui souffle sur l'Afrique du Nord et le sud de la mer Méditerranée lorsqu'une masse d'air tropicale stationnaire installée sur le Sahara se trouve entre une zone anticyclonique installée à la verticale de la ligne du tropique du Cancer et une soudaine zone de forte dépression se creusant rapidement au-dessus de la mer Méditerranée. La masse d'air saharienne, préalablement stationnaire, donc brûlante, est alors aspirée vers le nord par la dépression et remonte en direction sud-nord au-dessus du Maroc, de l'Algérie et de la Tunisie vers l'Andalousie, les îles Baléares, la Sardaigne, la Sicile, le Mezzogiorno et le sud de la Grèce.



## **Bora :**

La bora est un vent catabatique du nord nord-est qui souffle sur la mer Adriatique, la mer Noire, la Grèce et la Turquie.

Comme tous les vents, la Bora est créée par des déplacements d'air dus à des différences de pression.

C'est un vent continental, froid et sec, qui a pour origine l'anticyclone russe situé en Europe centro-orientale, qui se caractérise par une masse de haute pression tendant à se précipiter dans la dépression située en Adriatique.

### D'autres vents :( pour info )

#### - La Lombarde

Ce vent de sud-est à nord-est le long de la frontière italienne souffle sur le nord des Hautes-Alpes, la Drôme, l'Isère et la Savoie.

#### - Le Grec

Ce vent de nord-est souffle sur la Provence, la Côte d'Azur. Il s'agit d'un vent froid et sec en Provence et généralement en Corse.

#### - Le Levant

Ce vent d'est souffle sur les Alpes du Sud et le littoral méditerranéen jusqu'en Corse. Il peut être modéré à fort, généralement doux, très humide, et est associé à un ciel très nuageux et un temps pluvieux.

#### - Le Libeccio

Le Libeccio est un vent de sud-ouest présent sur la Côte d'Azur et la Corse. Il est chaud et sec sur la Côte d'Azur. En Corse, en été, il est généralement sec, alors qu'en hiver, il se charge d'humidité et devient porteur de pluies voire d'orages, principalement sur les versants occidentaux.

## **7 - LES NUAGES**

### **7.1 – MÉCANISMES DE LA FORMATION DES NUAGES**

Un nuage est formé d'un ensemble de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace en suspension dans l'air. L'aspect du nuage dépend de la lumière qu'il reçoit et des particules qui le constituent. La couleur et l'éclat des nuages sont dus à la diffusion des rayons lumineux provenant du soleil et de la lune aussi bien que du ciel et du sol.

Un nuage se forme par condensation de la vapeur d'eau lorsque l'air humide se refroidit. Le refroidissement est provoqué soit par contact avec une surface plus froide, soit - le plus souvent - selon le processus :

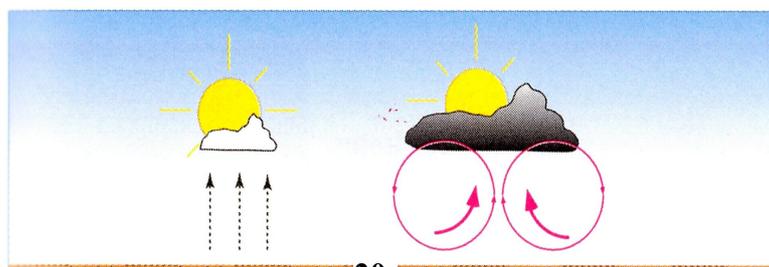
- Soulèvement
- Détente
- Refroidissement  
(Baisse de pression)

#### **7.1.1 - La convection :**

Le réchauffement du sol se communique à l'air qui, dilaté donc plus léger, se met à monter et se refroidit par détente.

Les nuages de convection apparaissent d'autant plus facilement qu'il y a de l'air froid en altitude (masse d'air instable).

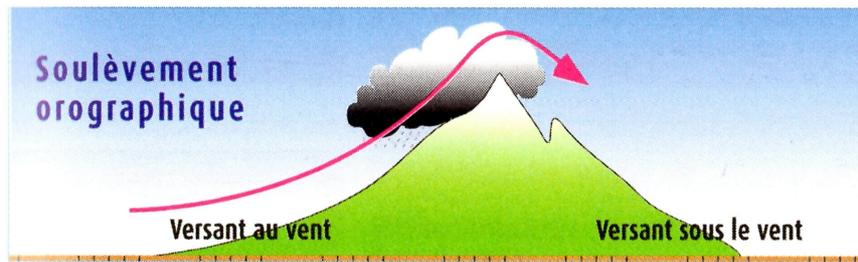
Les bases de tels nuages sont horizontales, leurs sommets évoluent en fonction de la température. Ils sont fréquents l'été sur terre, l'hiver sur mer.



Convection

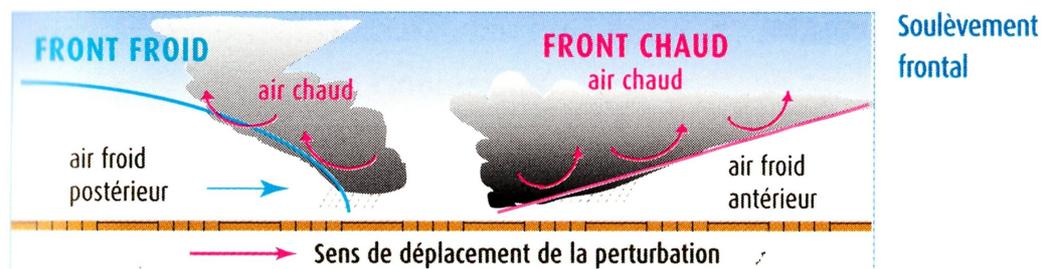
### 7.1.2 - Soulèvement orographique

Le relief oblige la masse d'air à s'élever sur sa face au vent. La masse d'air s'élevant, sa température s'abaisse et peut atteindre le seuil de saturation. Un nuage se forme alors sur le versant au vent et se dissipe sur le versant sous le vent.



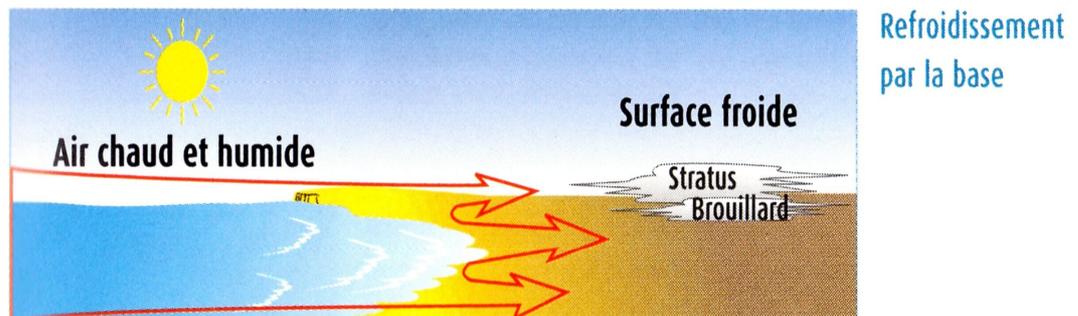
### 7.1.3 - Soulèvement frontal

Dans une perturbation en mouvement, l'air chaud est soulevé à l'avant par la masse d'air froid antérieur (front chaud). L'air froid postérieur rejette l'air chaud en altitude (front froid). Le long des fronts se forment les nuages.



### 7.1.4 - Refroidissement par la base

Ce mécanisme conduit à la formation de nuages bas ou brouillard. Il est fréquent l'hiver à l'approche d'une masse d'air doux et humide venant de l'Atlantique. On l'observe l'été en mer lorsque de l'air relativement doux arrive sur des eaux froides.



## 7.2 – NUAGES ET PRÉCIPITATIONS

Lorsque des courants ascendants apportent de la vapeur d'eau au cœur de ces nuages déjà saturés, les gouttelettes d'eau ou les cristaux de glace se soudent pour donner naissance à des météores (particules en suspension dans l'air) trop grosses pour être maintenues dans le nuage par les courants ascendants. Ces météores tombent alors vers le sol.

Pendant qu'il produit de la pluie ou de la neige le nuage ne se vide pas (sauf les cumulonimbus). C'est l'apport continu de vapeur par des courants ascendants qui alimente le nuage. Dans son air déjà saturé elle se condense et augmente la taille de météores.

Selon les nuages et les périodes de l'année, les précipitations peuvent être de différentes natures :

- bruine (stratus)
- pluie ou neige continue (nimbostratus)
- averses de pluie ou de neige (gros cumulus et cumulonimbus)

Outre leur phase, on distingue donc deux types de précipitations en fonction du mécanisme qui cause le mouvement vertical :

1) Les précipitations stratiformes qui viennent du soulèvement lent et à grande échelle de l'humidité qui se condense uniformément. Comme exemple:

- les *précipitations synoptiques*, causées par les dépressions des latitudes moyennes.
- les *précipitations côtières* qui ont lieu à proximité des littoraux et ont pour cause le soulèvement de l'air humide provenant de l'océan par les aspérités du continent.
- les *précipitations orographiques* où le relief force les masses d'air à s'élever : les versants au vent sont alors très pluvieux, les versants sous le vent sont plus secs. Le foehn est une illustration de ce phénomène.

2) Les *précipitations convectives* résultent de la brusque élévation de masses d'air chargées d'humidité, par la poussée d'Archimède, à cause de l'instabilité de l'air. Comme exemple:

- les orages et averses isolés ou organisés.
- les *précipitations des zones de convergence* où les orages se développent parce que l'air instable et humide peut se concentrer et convecter avec le réchauffement diurne. Par exemple, on retrouve cela dans la zone de convergence intertropicale et à l'avant des fronts froids.
- les *précipitations cycloniques* où les précipitations convectives généralisées sont engendrées par l'organisation des cyclones tropicaux.

### 7.3 – CLASSIFICATION DES NUAGES

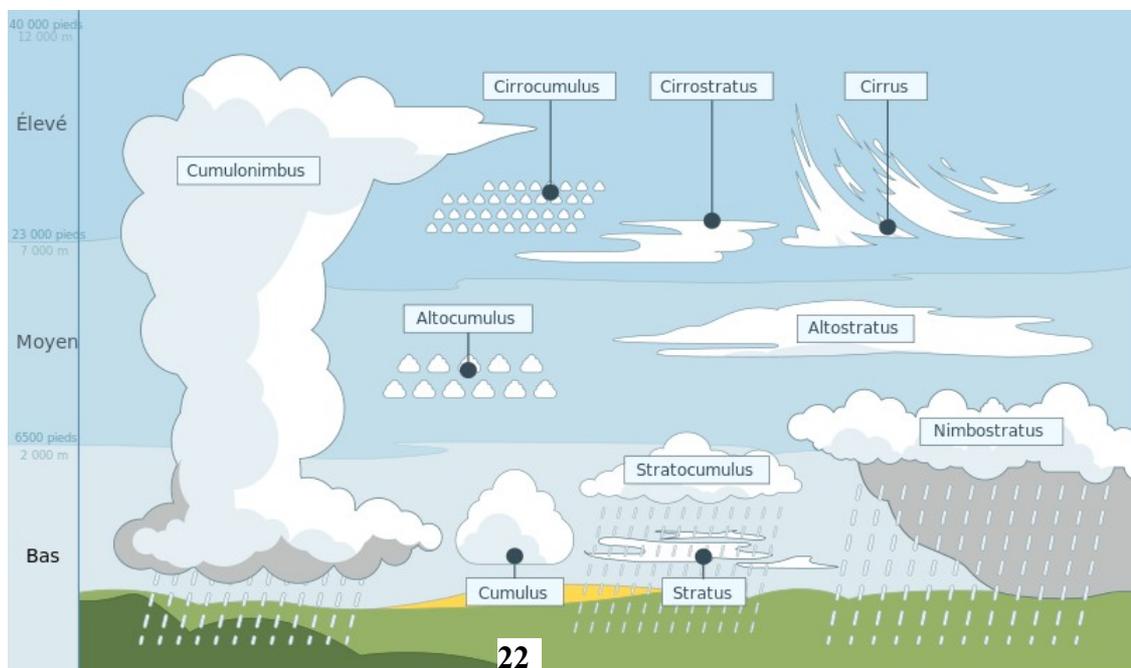
Au XIX<sup>e</sup> siècle, une classification assez complexe des nuages a été développée. Elle était basée sur leur apparence et faisait usage de termes en latin. Cette nomenclature a été simplifiée en répartissant les nuages selon les deux types de nuages, cumulus et stratus, et en les divisant en quatre groupes selon la hauteur de leur base, non l'altitude de la cime.

Les nuages élevés commencent par le préfixe *cirrus*, auquel on ajoute le «genre» cumulus ou stratus. Les nuages d'altitude moyenne ont comme préfixe *altus* mais il n'existe pas de préfixe pour les nuages bas.

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

La considération des altitudes aux quelles certains genres de nuages se rencontrent le plus fréquemment a conduit à la notion d'étages. La partie de l'atmosphère dans laquelle on observe habituellement les nuages ( la troposphère ) a été divisée verticalement en trois étages appelés respectivement : *étage supérieur, étage moyen et étage inférieur*.

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



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

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

Les nuages de l'étage inférieur sont constitués de gouttelettes d'eau.

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

## 7.4 – TYPES DE NUAGES

### 7.4.1 - Nuages stables:

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

### 7.4.2 - Nuages instables :

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

## 7.5 – DESCRIPTION DES 10 GENRES DE NUAGES

### 7.5.1 - Nuages de l'étage inférieur :

#### 7.5.1.1 - Les Cumulus ( Cu )



Les cumulus sont des nuages bourgeonnants. Leur base est plate et sombre alors que leur partie supérieure, très blanche, fait penser à un chou-fleur. Ils sont bien détachés les uns des autres et peuvent se présenter isolés ou en banc dans la traîne d'une perturbation notamment. Leur base se situe toujours dans l'espace inférieur et leur extension verticale varie de quelques dizaines de mètres jusqu'à plusieurs kilomètres. Les cumulus se forment dans des ascendances thermiques et leur présence est un motif d'optimisme pour les vélivoles. Lorsqu'ils sont très développés, ils peuvent donner naissance à des averses.

#### 7.5.1.2 - Les Cumulonimbus ( Cb )



Stade ultime du développement d'un cumulus ayant débordé jusqu'à l'étage supérieur dans une grande instabilité, le cumulonimbus est un nuage de très grande extension verticale. Sa base occupe également un grand espace. Elle est très sombre en raison de la densité du nuage et de sa hauteur. Les cumulonimbus présentent souvent une partie supérieure en forme d'enclume. Ils donnent naissance à des orages et des averses violentes. Lorsque le nuage en arrive au stade des précipitations, contrairement aux autres, il se vide. Le système est tellement développé qu'il ne peut pas se régénérer. En phase finale d'un orage, le cumulonimbus se désagrège. Il est parfois possible d'observer la tête d'enclume d'un cumulonimbus désagrégé se déplaçant seule dans l'étage supérieur après avoir été séparée du corps du nuage. Leur traversée est particulièrement dangereuse pour les aéronefs en raison des très violentes turbulences que l'on y rencontre et des météores de grandes dimensions qui existent dans la partie supérieure. Les cumulonimbus peuvent se rencontrer de manière isolée (les après-midi d'été) ou en lignes de grain dans les fronts froids des perturbations hivernales.

### 7.5.1.3 - Les Stratus ( St ).



stratus sont des nuages bas et gris qui se présentent en banc plus ou moins compacts et plus ou moins épais. Leur base peut être très près du sol (30 m) et leur sommet ne dépasse pas 300 m d'altitude. Ils peuvent accompagner une perturbation ou résulter de l'évolution d'un brouillard en conditions anticycloniques. Ils sont dangereux pour l'aéronautique en raison de leur proximité du sol

### 7.5.1.4 - Les Strato-cumulus ( Sc )



Ce sont des nuages qui se présentent en banc gris et bourgeonnants. Ils sont souvent soudés entre eux et présentent alors une couche uniforme. Ils donnent rarement des précipitations

## 7.5.2 - Nuages de l'étage moyen :

### 7.5.2.1 - Les Nimbostratus ( Ns )



Les nimbostratus sont des nuages de grandes dimensions verticales et horizontales. Leur base est uniformément sombre et ils sont si vastes qu'ils peuvent dissimuler des cumulonimbus. Ils constituent en fait le cœur des perturbations. Sous ses nuages les pluies sont souvent abondantes et continues.

### 7.5.2.2 - Les Altostratus ( As )



Les altostratus se présentent sous forme d'une couche grisâtre ou bleuâtre dont l'aspect peut être strié ou uniforme. Selon leur épaisseur le soleil peut être ou non apparent au travers de la couche.

### 7.5.2.3 - Les Altocumulus ( Ac )



Les altocumulus se présentent en banc ou nappe plus ou moins uniforme selon que les nuages sont soudés ou non. Ils sont assez similaires aux strato-cumulus mais leur base est plus élevée.

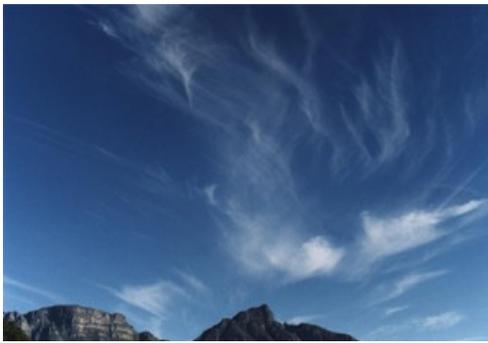
#### 7.5.2.4 - Les *Alto cumulus lenticularis*



Un alto cumulus lenticularis ou nuage lenticulaire est un type d'alto cumulus stationnaire en forme de profil d'aile d'avion qu'on retrouve en aval du sommet des montagnes sous le vent, signant la présence d'un ressaut ou onde orographique<sup>1</sup>. En réalité, il se reforme en permanence du côté du vent et se dissout de l'autre côté, réalisant un nuage stationnaire contrastant avec le vent horizontal fort à cette altitude qui devrait le déplacer rapidement. Selon les conditions, il y a souvent un empilement de plusieurs exemplaires formant une « pile d'assiettes ». Il est apprécié des vélivoles car il montre la présence d'une ascendance stable et puissante.

### 7.5.3 - Nuages de l'étage supérieur :

#### 7.5.3.1 - Les Cirrus ( Ci )



Les cirrus sont des nuages très élevés (6000 à 12000 m) constitués de cristaux de glace et présentant l'aspect de fins cheveux. Ils se présentent isolés ou en bande étroite et leur faible épaisseur ne gêne pas la luminosité.

#### 7.5.3.2 - Les Cirrostratus ( Cs )



Contrairement aux cirrus, les cirrostratus se présentent en voile très étendu (ils peuvent couvrir la totalité du ciel visible). Ils présentent souvent une couleur blanchâtre et au travers de la couche le soleil est souvent entouré d'un halo.

#### 7.5.3.3 - Les Cirrocumulus ( Cc )



Is se présentent en nappe peu épaisse composée de petits éléments granulaires qui peuvent être soudés ou non. Ils sont de couleur blanche et restent dans le bas de l'étage supérieur (vers 6000 - 7000 m).

La couverture nuageuse s'évalue en octas (8<sup>ème</sup> de ciel). Pour une couverture de 1 à 4 octas on qualifie la couverture de **scattered** (épars en anglais); pour une couverture de 5 à 7 octas le ciel est dit **broken** (présence de "trous" de ciel bleu); pour une couverture de 8 octas, le ciel est qualifié de **overcast** (couvert).

## 7.6 – LES FRONTS ET LES SYSTÈMES NUAGEUX

### 7.6.1 - Qu'est-ce qu'un front ?

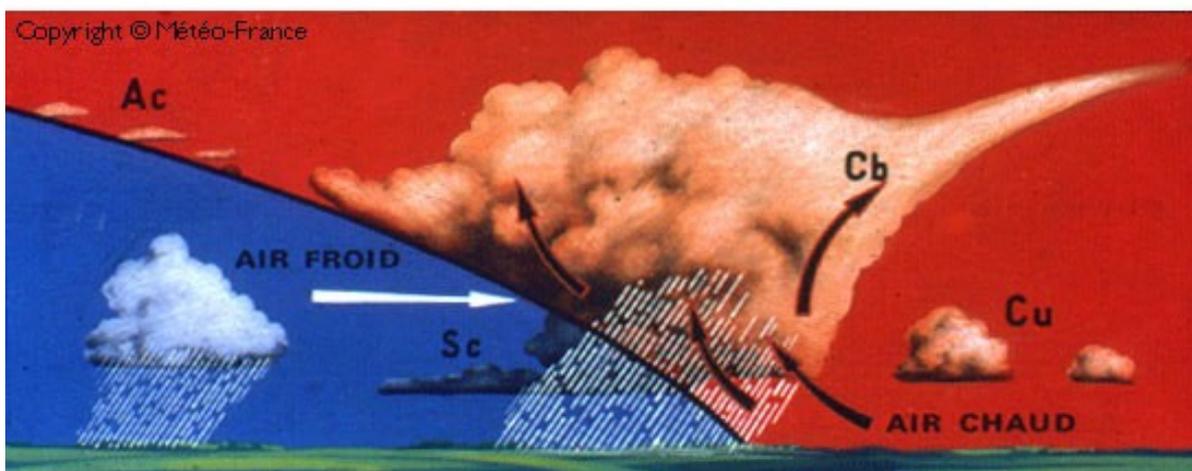
L'expérience montre que lorsqu'au cours de leur mouvement deux masses d'air caractéristiques différentes viennent en contact, elles ne se *mélangent pas*, mais bien au contraire, entrent « *en conflit* ». La surface idéale qui joue le rôle de frontière entre les deux masses d'air, porte le nom de " surface frontale " ou mieux encore " surface de discontinuité ", ce qui est justifié par le fait que sa traversée entraîne dans changements dans les caractéristiques de l'air environnant du point de vue température, humidité, vents.

La ligne déterminée par l'(intersection d'une surface frontale et du sol, porte le nom de **FRONT**. D'une façon plus simple, un front est la trace au sol d'une surface frontale. Seule cette ligne peut être représentée sur les cartes météorologiques d'après les observations faites au sol.

### Les différentes sortes de fronts :

#### 7.6.2 – Front froid

## Coupe d'un front froid

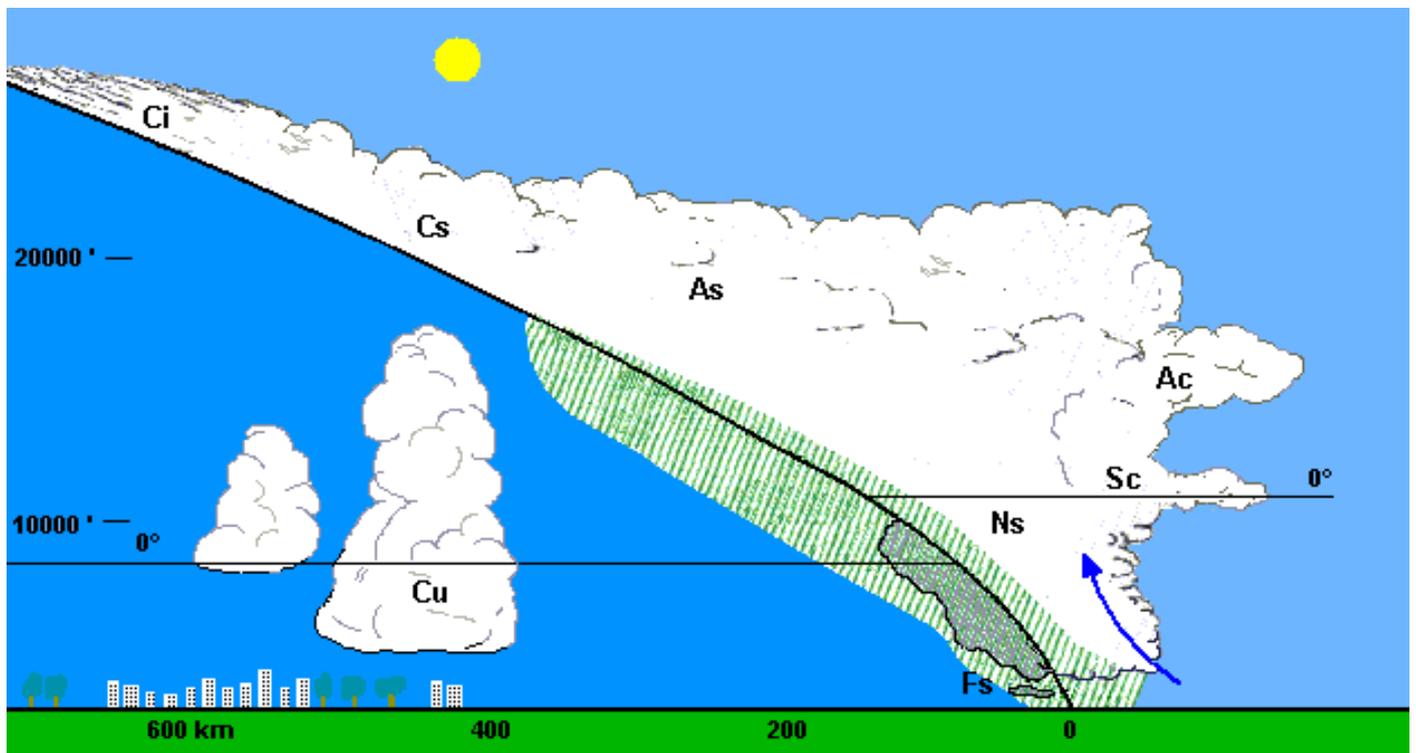


## sens du déplacement du front

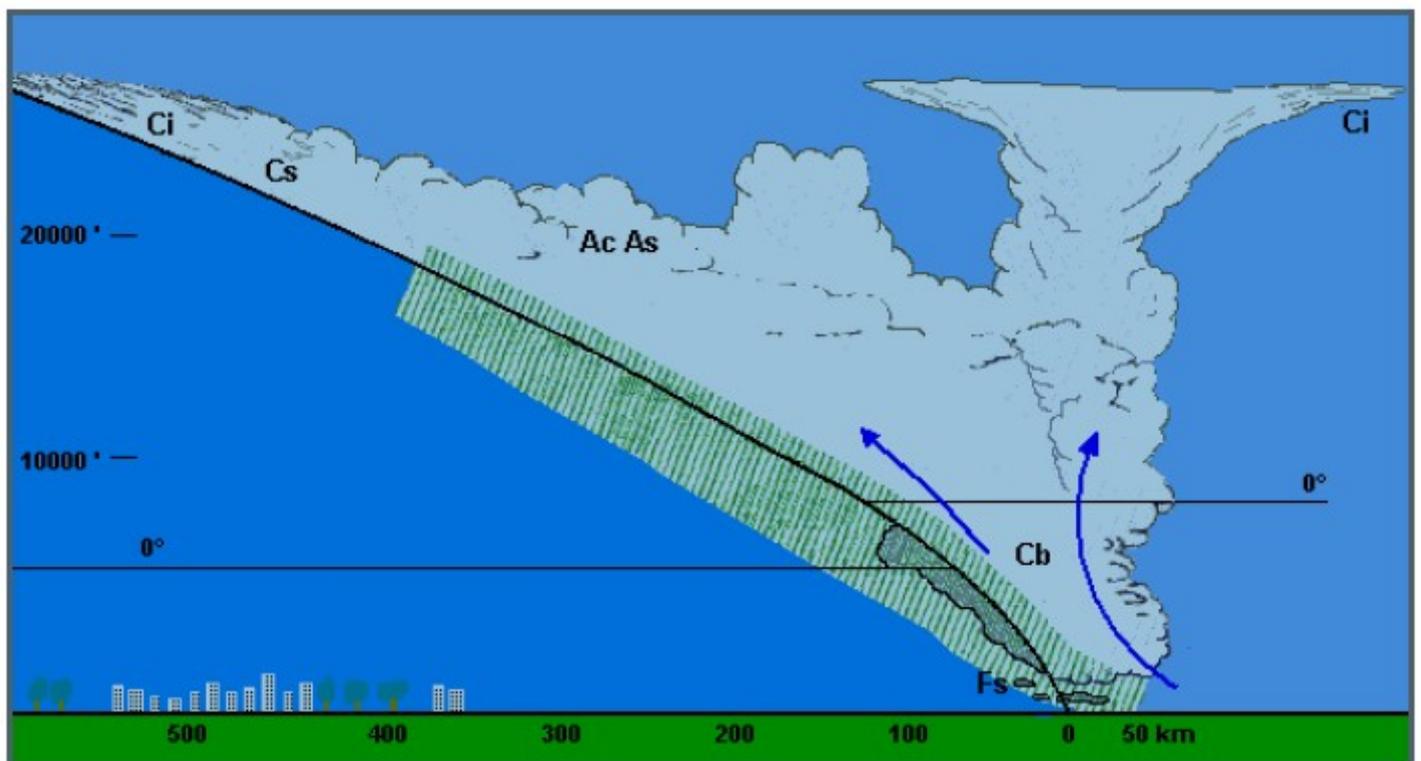


Une masse d'air froid qui, se déplaçant plus rapidement rattrape une masse d'air chaud, nous pourrions observer que l'air froid se glisse sous l'air chaud par suite de sa densité plus forte. Il prend la forme d'un coin qui exerce une poussée sur l'air chaud adjacent et le rejette en altitude. La surface frontale prend ici le nom de **surface de front froid** et son intersection avec le sol constitue le **front froid**.

CARACTERES DES FRONTS FROIDS			
	à l'avant du front	sur le front	après le front
<b>Nuages</b>	Cirrus en altitude, accumulation massive de cumulo-nimbus	Nuages de pluie. (nimbostratus, cumulus)	Eclaircie souvent très rapide.
<b>Pa</b>	↘	↗	↗
<b>Vents</b>	de sud-ouest, frais et forts	ouest à nord-ouest, froids et orageux voire même en tempête	nord-ouest, parfois forts, frais
<b>Température</b>	↘	↘	↘
<b>Visibilité</b>	assez bonne	mauvaise	bonne
<b>Temps</b>	nuages "menaçants" à l'ouest et au nord-ouest	ciel entièrement couvert de nuages rapides et nébulosité éparses	tendance aux averses de pluie, temps instable à l'arrière

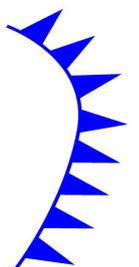


*Front froid stable*

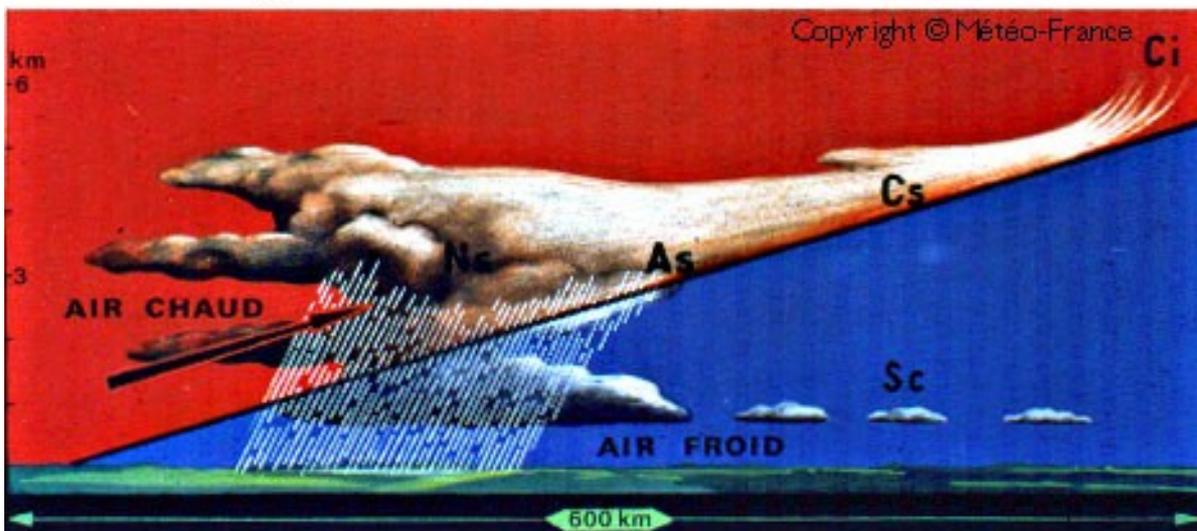


*Front froid instable*

Le front froid est représenté sur les cartes par une ligne bleue ou une ligne à petits triangles indiquant la direction de son déplacement.



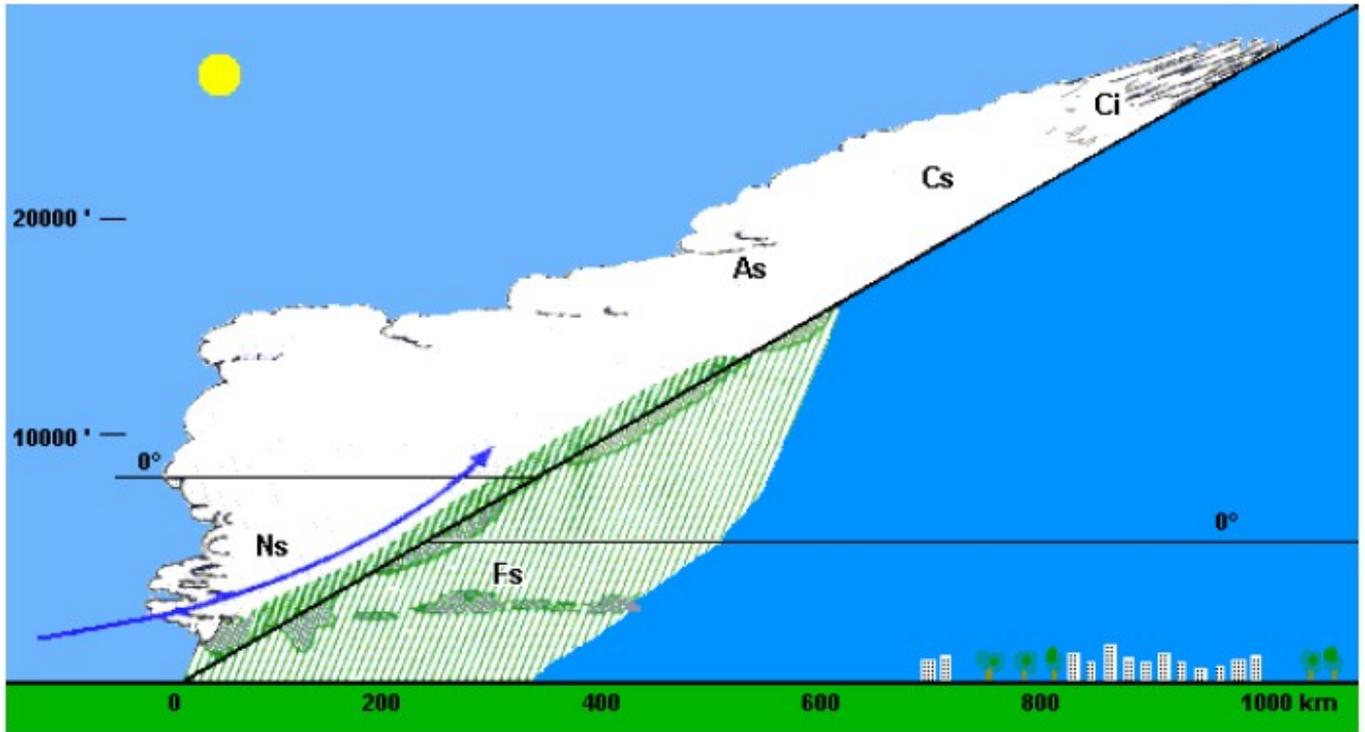
# Coupe d'un front chaud



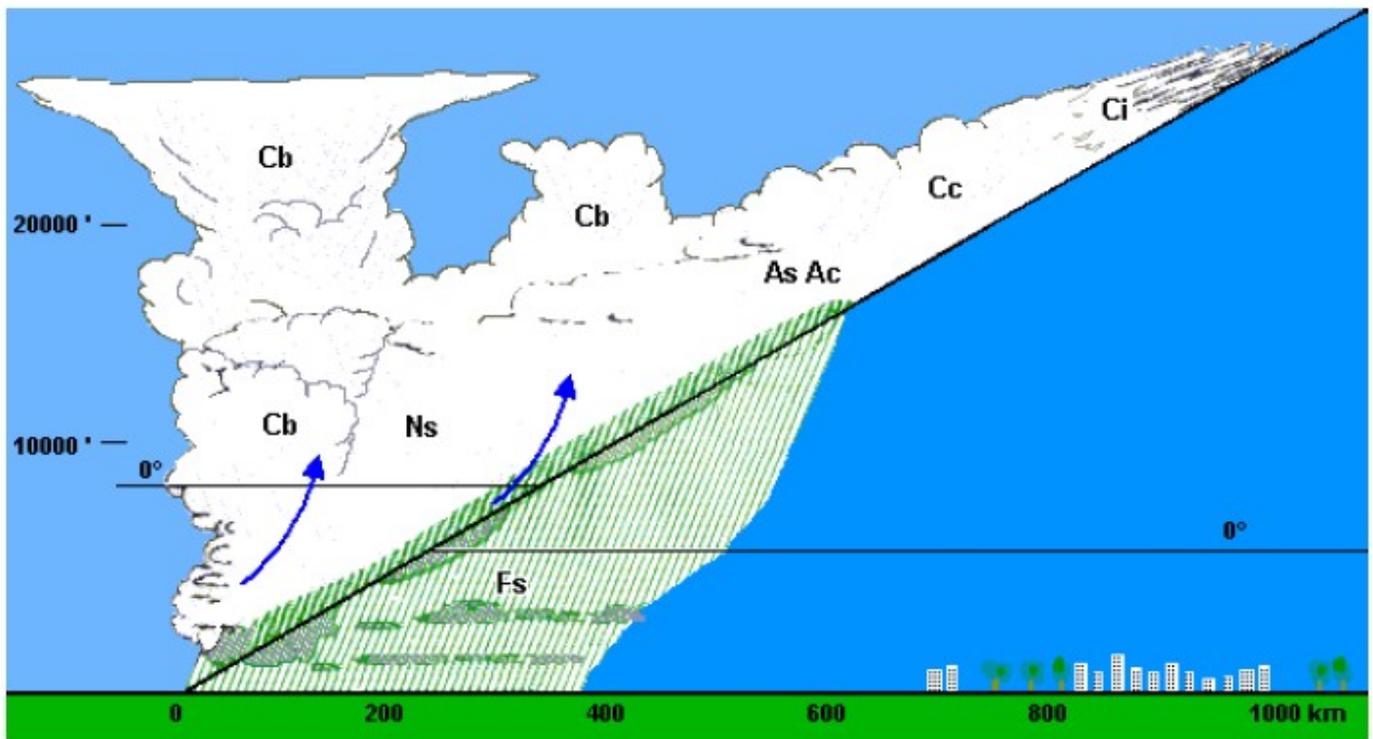
  
**sens du déplacement  
du front**

Si une masse d'air chaud se déplace plus vite qu'une masse d'air froid voisine et vient au contact de cette dernière. La masse d'air chaud, plus légère, tend à s'élever le long de la masse d'air froid et à la surmonter d'un seul bloc. mée est une **surface de front chaud**. Elle est sensiblement plane, légèrement inclinée vers le sol et orientée de l'air vers l'air froid : l'air froid forme un coin qui recule sous la poussée de l'air chaud. L'intersection de cette surface de front chaud avec la surface terrestre, est à proprement parler, le **front chaud**.

CARACTERES DES FRONTS CHAUDS			
	à l'avant du front	sur le front	après le front
<b>Nuages</b>	Passage de Cirrus. Couches de stratus et cumulus faisant suite (altostratus, altocumulus)	Epais nuages de pluie. (nimbostratus)	Dissipation des nuages.
<b>Pa</b>	↘	↘	→ parfois ↘
<b>Vents</b>	sud-est à sud	sud, fraîchissants	sud-ouest à ouest, frais et plus chauds
<b>Température</b>	↘	↗	↗
<b>Visibilité</b>	de plus en plus mauvaise	mauvaise	amélioration continue
<b>Temps</b>	ciel très gris, pluies légères	très nuageux, averses	Parfois éclaircies, pluies qui vont en faiblissant

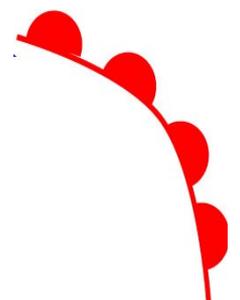


*Front chaud stable*



*Front chaud instable*

Le front chaud est représenté sur les cartes par une ligne rouge ou des demi-lunes indiquant la direction de son déplacement.



### 7.6.3.1 - Anafront et catafront

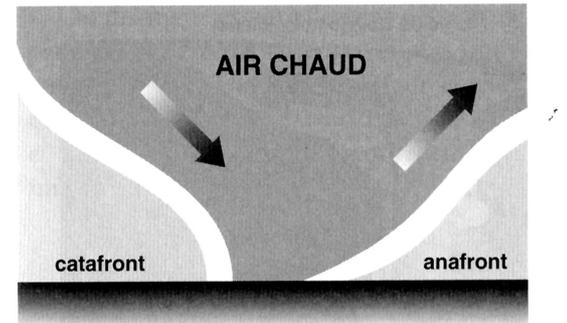
- Un **front anabatique, ou anafront**, est un front météorologique dans lequel l'air chaud est soulevé le long de la surface de discontinuité de température située au-dessous. Les fronts chauds sont par définition des fronts anabatiques mais le terme certains s'applique également à certains fronts froids.
- Un **front catabatique ou catafront** est un front à la surface duquel l'air chaud descend. La surface de discontinuité au-dessus de laquelle se situe de l'air chaud peut parfois ne pas atteindre la surface<sup>1</sup>. Le plus souvent, il s'agit d'un front froid alors que de l'air sec en altitude subit une subsidence et se réchauffe par compression adiabatique. Ce genre de front froid est donc relié à un dégagement du ciel après son passage.

Les fronts catabatiques sont caractérisés par un dégagement du ciel après leur passage. Les nuages de type convectif, cumulus à cumulonimbus, se retrouvent le long et à l'avant du front sur une bande relativement mince. Ces fronts sont donc associés avec des averses et des orages.

#### Pour résumer :

Les anafronts sont actifs parce que l'air s'élève.

Les catafronts sont peu actifs parce que l'air descend.

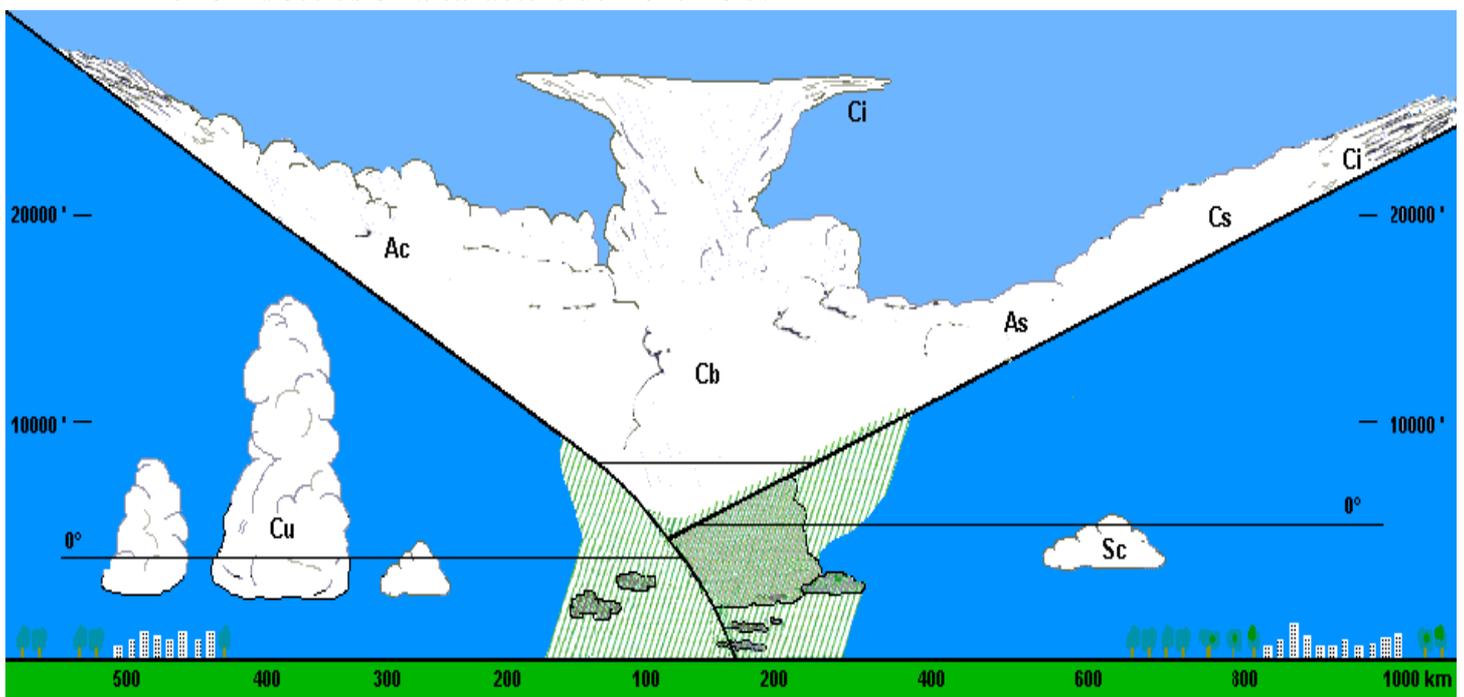


### 7.6.4 - Occlusion

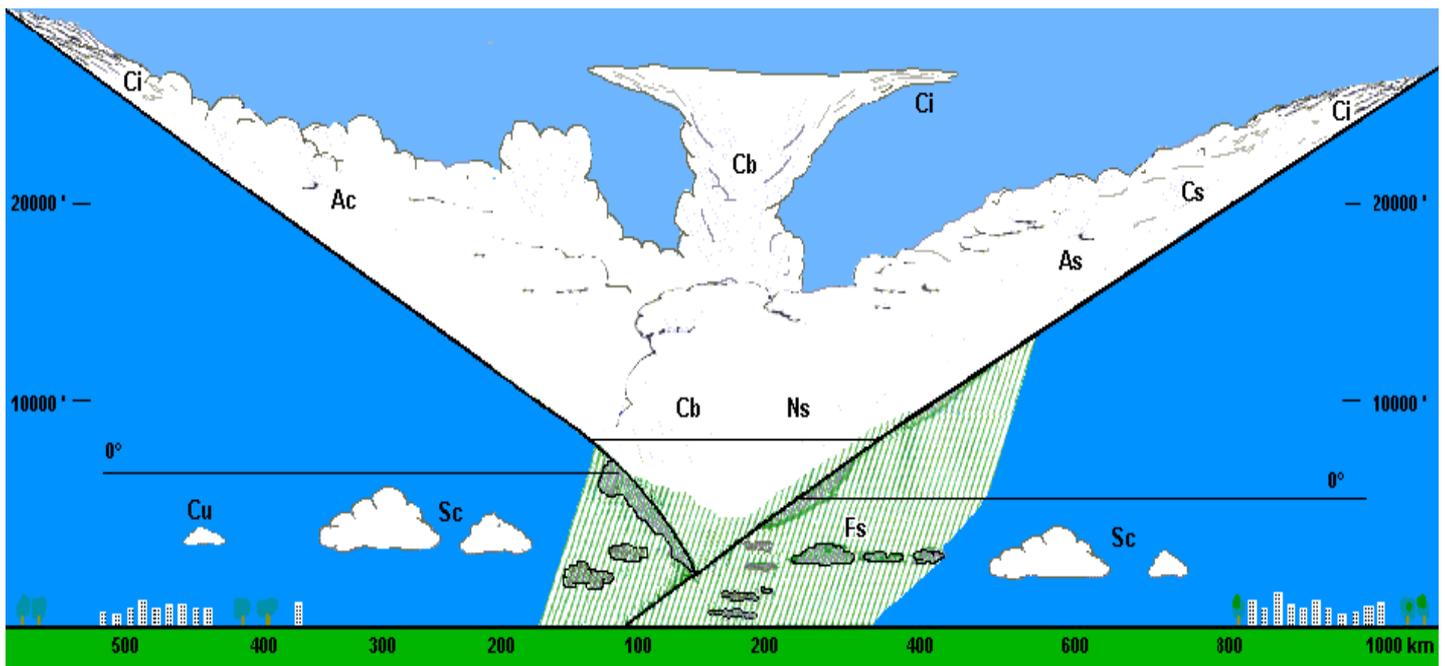
La masse d'air froid se déplace plus rapidement que la masse d'air chaud et le front froid tend à rattraper le front chaud. L'espace entre les deux fronts diminuant progressivement, la masse d'air chaud ainsi emprisonnée est rejetée en altitude. A partir du moment où le front froid coïncide avec le front chaud, l'air chaud n'a plus de contact avec le sol mais en est isolé par les deux coins d'air froid, l'un en avant du front chaud, l'autre en arrière du front froid. On dit qu'il y a **occlusion**.

#### Deux cas sont à considérer :

- Si l'air situé à l'arrière du front froid est plus froid que l'air situé devant le front chaud, il va se comporter à l'égard de ce dernier comme une masse d'air froid vis à vis d'une masse d'air chaud. L'air froid dit " postérieur " s'insinue en forme de coin sous l'air froid dit " antérieur ". Le phénomène prend le nom d'**occlusion à caractère de front froid**.

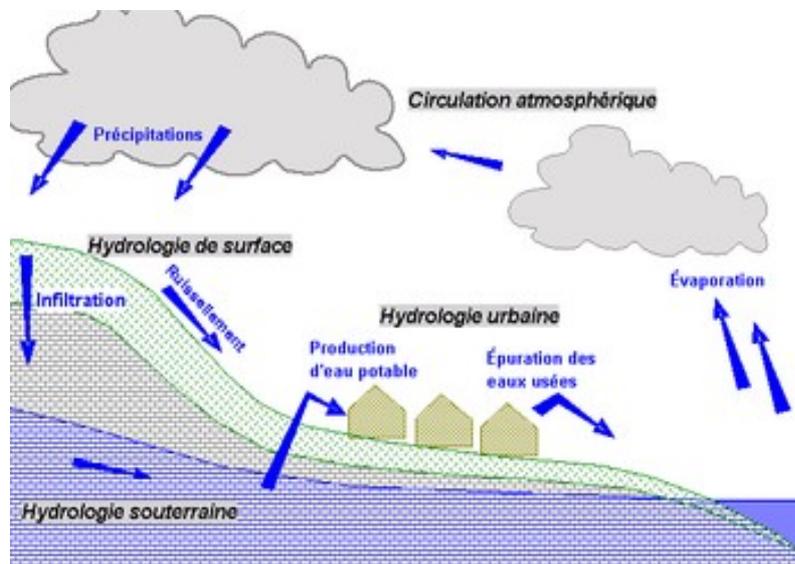


Au contraire, si l'air froid postérieur est plus chaud que l'air froid antérieur, il se soulèvera le long de celui-ci et c'est le coin d'air froid antérieur qui restera en contact avec le sol. On a alors affaire à une **occlusion à caractère de front chaud**.



## 8 - LES PRÉCIPITATIONS

### 8.1 - PRINCIPE



le terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol ou s'évaporent en \* virga avant de l'atteindre.

\* ( Le terme **virga** désigne en météorologie toute forme de précipitation n'atteignant pas le sol )

### 8.2 - TYPES

#### 8.2.1 - Liquide:

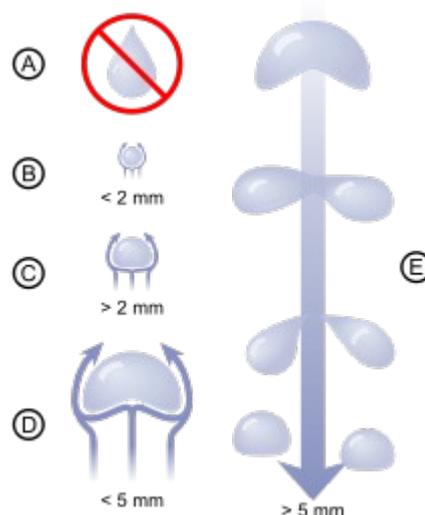
- Pluie
- Bruine
- Pluie verglaçante/Bruine verglaçante

### 8.2.1.1 - Pluie :

L'eau qui forme la pluie provient de l'évaporation de l'humidité qui existe dans la nature et plus particulièrement des grandes étendues d'eau (lacs, mers, etc.). Cette vapeur d'eau se mélange à la masse d'air. Lorsque l'air s'élève à cause des mouvements de l'atmosphère, il se refroidit par détente. La vapeur d'eau contenue dans l'air se condense autour de noyaux de condensation (poussières, pollens et aérosols) lorsqu'une légère sursaturation est atteinte. Ces gouttelettes donnent des nuages.

#### Tailles des gouttes d'eau :

- A) En réalité, les gouttes d'eau n'ont pas la forme 'classique'.
- B) Les gouttes très petites sont presque sphériques.
- C) Le dessous des gouttes plus grandes s'aplatit par la résistance de l'air, et donne l'apparence d'un petit pain de hamburger.
- D) Les grandes gouttes ont beaucoup de résistance à l'air, ce qui les rend instables.
- E) Les gouttes très grandes sont divisées par la résistance de l'air.



### 8.2.1.2 - Bruine :

La bruine, ou crachin, est une précipitation dont les gouttes d'eau paraissent presque flotter dans l'air grâce à leur petite taille (de 0,2 à 0,5 mm). Ces fines gouttelettes tombent très lentement. Elle est abrégée DZ dans la liste des abréviations METAR. Le nuage où elles se forment est un stratus bas.

### 8.2.1.3 - Pluie verglaçante / bruine verglaçante :

La pluie verglaçante est de la pluie qui reste liquide malgré une température inférieure à 0 °C. Les gouttelettes sont alors en état de surfusion et lorsqu'elles rencontrent un objet, elles gèlent instantanément causant du verglas. Le code METAR pour rapporter de la pluie verglaçante est FZRA.

## 8.2.2 - Solide:

- Neige
- Neige en grains
- Neige roulée
- Grésil
- Grêle
- Granule de glace
- Cristal de glace

### 8.2.2.1 - Neige :

La **neige** est une forme de précipitation, constituée de glace cristallisée et agglomérée en flocons pouvant être ramifiés d'une infinité de façons. Puisque les flocons sont composés de petites particules, ils peuvent avoir aussi bien une structure ouverte et donc légère qu'un aspect plus compact voisin de celui de la grêle, même si celle-ci n'a rien à voir dans sa formation. La neige se forme généralement par la condensation de la vapeur d'eau dans les hautes couches de l'atmosphère et tombe ensuite plus ou moins vite à terre selon sa structure.

### 8.2.2.2 - Neige en grains :

La neige en grains est une précipitation qui est formée de gouttelettes de bruine en surfusion dans un nuage sous le point de congélation qui finissent par congeler. La neige en grains se présente sous forme de petits granules ou plaques blanches (moins de 1 mm de diamètre) qui rebondissent peu en tombant sur une surface. La neige en grains ne forme jamais des accumulations importantes et tombe de nuages stratiformes, jamais en averses. Le code METAR de la neige en grains est SG.

### 8.2.2.3 - Neige roulée :

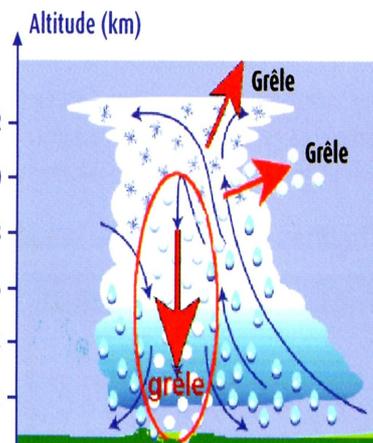
La neige roulée est une précipitation sous forme de particules de glace blanches et opaques, de surface généralement arrondie ou conique, et dont la dimension peut aller jusqu'à 5 mm. La neige roulée peut apparaître lorsque la température avoisine 0 °C, avant ou entremêlée aux chutes de Flocons de neige.

### 8.2.2.4 - Grésil :

Le grésil est une précipitation formée de pluie totalement gelée après être passée dans une couche épaisse d'air sous 0°C. Les grains de glace ne dépassent pas 5 mm de diamètre, sont généralement sphériques, et rebondissent. Techniquement parlant, le grésil est formé de granules de glace et c'est pourquoi le code METAR utilisé pour le rapporter serait PL. Cependant, une autre forme de grésil provient de nuages convectifs et son code METAR est alors SHGS ou SHPL

### 8.2.2.5 - Grêle :

La grêle est un type de précipitation qui se forme dans des cumulonimbus particulièrement forts lorsque l'air est très humide et que les courants ascendants sont puissants. Elle prend la forme de billes de glace (*grêlons*) dont le diamètre peut varier de quelques millimètres à plusieurs dizaines de centimètres mais dont le diamètre habituel est entre 5 et 50 millimètres. Les averses de grêle durent peu de temps et ne touchent que la superficie limitée traversée par l'orage. Cependant, si les nuages convectifs sont nombreux, une succession de trajectoire de grêle peut affecter une région et laisser plusieurs dizaines de tonnes de glace au sol. Le code METAR de la grêle est GR.



### 8.2.2.6 - Granule de glace :

Les granules de glace sont de petits grains de glace transparente. De forme sphérique ou bien de forme irrégulière mais rarement conique, et de dimension ne dépassant pas 5 mm, ils rebondissent sur toute surface où ils tombent. Ces particules se retrouvent dans un type de précipitation qui peut être associé à des nuages de différents genres, comme les altostratus, les nimbostratus ou les cumulus bourgeonnants. Le code METAR est PL.

### 8.2.2.7 - Cristal de glace :

Un cristal de glace est la cristallisation de la vapeur d'eau contenue dans l'air sans passer par la phase liquide pour former un hydrométéore. Elle se produit dans les nuages sous le point de congélation ou dans l'air clair à une température inférieure à -20 °C.

En résumé :

Nuages et précipitations associées	
Précipitations	Nuage
Bruine, bruine verglaçante, neige en grains	Stratus
Neige, pluie - continue ou intermittente	Nimbostratus, altostratus, altocumulus, stratocumulus
Averses de neige, de pluie	Cumulonimbus, cumulus congestus, altocumulus castellanus
Neige roulée, grésil - en averses	Cumulonimbus, cumulus congestus
Grésil - continu	Nimbostratus, altostratus, altocumulus, stratocumulus
Grêle	Cumulonimbus
Cristaux de glace	Ciel clair

## 8.2.3 - Cas particulier :

### 8.2.3.1 - L'orage

**Les orages se forment au sein des cumulonimbus.**

Ces nuages à très grand développement vertical résultent de mouvements de convection très puissants. Ils peuvent se développer sous le fait d'un très grand échauffement du sol les journées d'été. Ils sont alors isolés et éclatent en fin d'après-midi la plupart du temps.

**En fin d'orage, le cumulonimbus se désagrège.**

Les précipitations qui les accompagnent sont très violentes et très dangereuses pour les aéronefs.

**D'autre part au sein du nuage lui-même, on rencontre non seulement de la pluie mais aussi de la neige et de la grêle.**

Les mouvements de convection au sein et aux abords des cumulonimbus (y compris au stade de formation) sont d'une très grande violence.

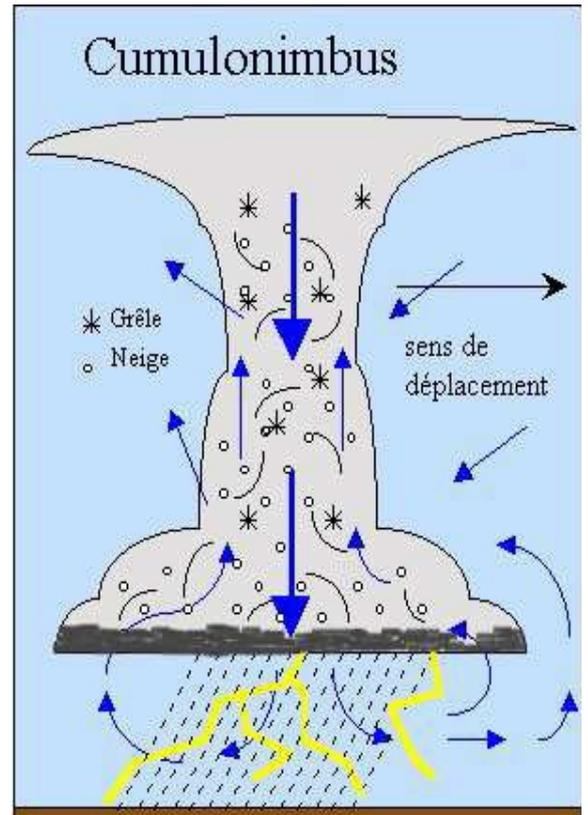
**Un avion traversant un cumulonimbus y subit des turbulences importantes pouvant mettre en péril l'appareil et ses occupants.**

Les frottements entre les particules au sein du nuage entraînent une séparation des charges électriques.

Le bas du nuage se charge négativement tandis que le haut se charge positivement.

**Quand les charges sont très importantes, il se produit une décharge violente accompagnée d'un phénomène lumineux (éclair ou foudre) et d'un phénomène acoustique (tonnerre).** Cette décharge peut avoir lieu entre la base du nuage et le sol (éclair de trait) ou entre la base et le sommet du nuage (éclair de masse). Un avion atteint par la foudre peut voir certaines parties de sa structure endommagées ou certains de ces instruments et circuits électriques mis hors service.

**Il est donc primordial de ne pas voler dans ou sous les cumulonimbus pour éviter tous les risques liés à l'orage.**



**Conséquences éventuelles :**



# 9 – LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX

## 9.1 – LA TURBULENCE

On donne le nom de turbulence à une agitation tourbillonnaire de l'air résultant de variations brusques du vent en direction et en vitesse.

Le mouvement de l'air turbulent se manifeste sous forme de poussées momentanées et rapides qui peuvent présenter une orientation absolument quelconque. Parmi celles-ci, on peut distinguer : les rafales qui ne concernent que les variations de la vitesse horizontale du vent, sans modification de direction ; les mouvements verticaux qui englobent tous les courants aériens ascendants ou descendants.

Dans certaines circonstances, l'atmosphère est le siège d'une agitation dont l'intensité peut-être très variable. On peut rencontrer, par exemple, de petites rafales rapprochées rendant le vol cahoteux ou, au contraire, des mouvements entretenus et plus espacés ascendants ou descendants. Parfois peu sensibles, les remous peuvent à d'autres moments, être tellement violents qu'ils risquent d'entraîner la perte de contrôle de l'appareil, voir même, dans les cas extrêmes, la rupture de la cellule.

### 9.1.1 - Les causes de la turbulence :

Les zones où l'on risque de rencontrer la turbulence sont assez souvent prévisibles, si l'on connaît les causes de formation de cette dernière.

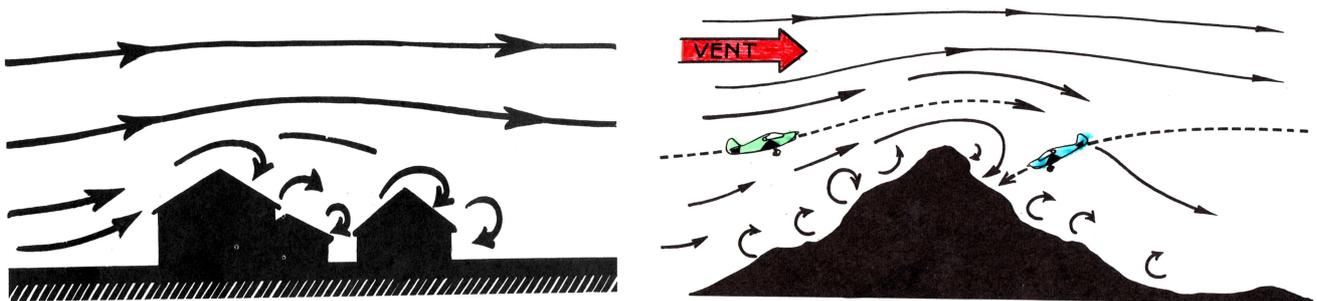
On distingue trois origines principales à la turbulence :

- l'influence exercée par la nature et le relief du sol, sur le mouvement de l'air dans les couches inférieures de l'atmosphère.
- L'insolation du sol qui provoque le réchauffement par la base d'une masse d'air et donne naissance à des mouvements de convection.
- Le frottement résultant du mouvement relatif de deux couches d'air adjacentes au voisinage d'une surface de discontinuité.

### 9.1.2 - La turbulence due au sol :

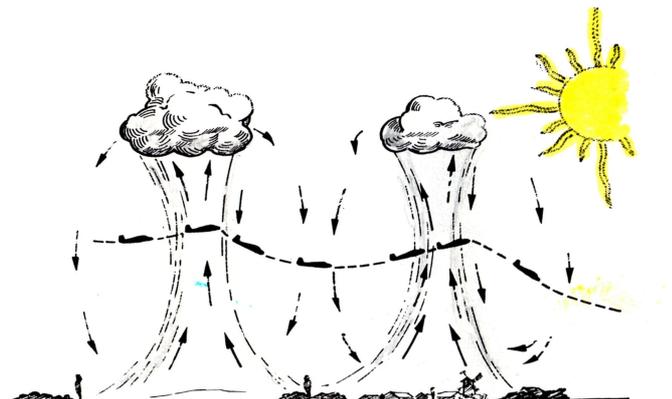
La couche d'air la plus voisine du sol est, la plupart du temps, le siège de mouvements tourbillonnaires qui s'étendent jusqu'à plusieurs centaines de mètres de hauteur . Cette agitation est due au sol dont l'influence se manifeste sous un double aspect :

- par la nature de son revêtement, plus ou moins rugueux
- par son relief, plus ou moins accidenté



### 9.1.3 - La turbulence thermique

Lorsque le sol s'échauffe sous l'effet d'une forte insolation, les couches d'air à son contact deviennent instables et des mouvements ascendants compensés par des mouvements descendants entraînent la formation de tourbillons qui rendent turbulent toute cette partie de l'atmosphère.

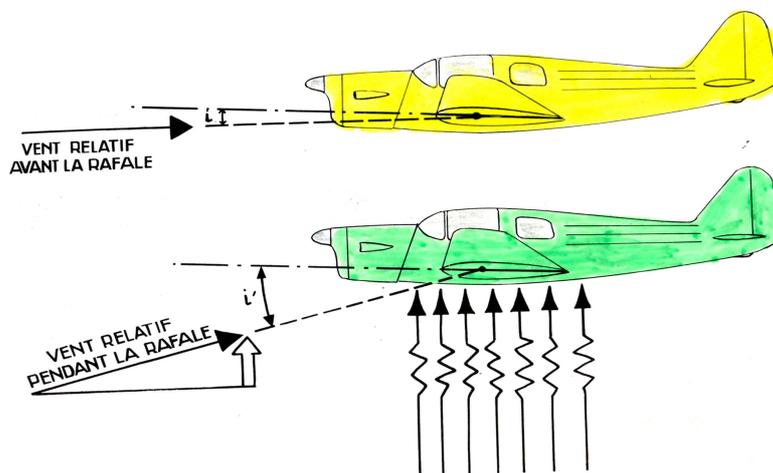


## 9.2 – EFFETS DE LA TURBULENCE SUR L'AVION

Les rafales imposent à l'avion des variations brutales de portance qui entraînent des modifications d'assiette accompagnées de montées ou de descentes.

L'avion qui pénètre dans une rafale subit un choc dont la violence est d'autant plus grande que :

- la vitesse du vent est plus élevée dans la rafale
- l'avion va plus vite
- l'avion est plus lourdement chargé



*Influence d'une rafale ascendante*

Il peut arriver surtout dans le cas d'efforts dissymétriques, que la contrainte imposée à la cellule dépasse localement la résistance limite et amène une rupture.



*Fatigue de la cellule.....*



*..... et du pilote*



*Et perte de contrôle de la machine*

## 9.3 – PHÉNOMÈNES ALTERANT LE VISIBILITÉ

### 9.3.1 - La brume et les brouillards

La brume et le brouillard sont des phénomènes météorologiques analogues qui diffèrent essentiellement par leur intensité. **Le brouillard est une suspension de fines gouttelettes d'eau réduisant la visibilité à moins d'1 Km. La brume, moins intense, laisse une visibilité réduite mais supérieure à 1 Km.**

Ils se notent par deux ou trois traits horizontaux sur les cartes météo :

Les conditions favorables à la formation de brouillard sont :

- pression élevée
- température en rapide diminution le soir
- forte humidité
- pas ou peu de vent

### 9.3.2 - La brume :

La brume peut se former en pleine journée s'il fait très chaud et très humide. L'évaporation engendre alors la saturation de la masse d'air. De l'eau se condense en faible quantité sur de grandes étendues et donne une impression de voile. La visibilité est alors réduite, parfois de façon importante. Bien qu'il fasse beau depuis le sol, les conditions en vol ne sont pas très favorables en basse altitude.

Il existe un phénomène dit de brume sèche, qui se compose non pas de gouttelettes d'eau mais de poussières en suspension. Souvent due à la pollution, elle est bien visible en été à l'approche des grandes agglomérations.

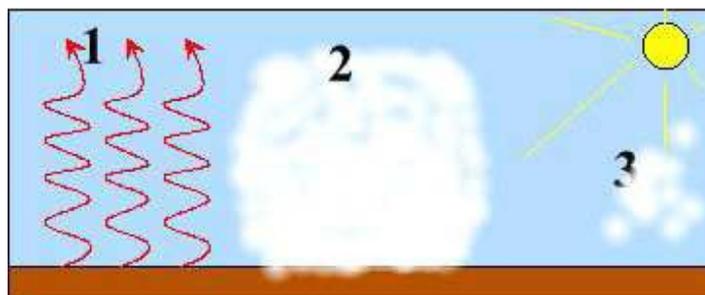


### 9.3.3 - Le brouillard de radiation :

Ce brouillard apparaît la nuit lorsque l'air est très humide, qu'il n'y a pas de vent et que la température chute rapidement. Si le ciel est dégagé, le sol perd rapidement la chaleur qu'il a emmagasinée dans la journée par radiation (1)

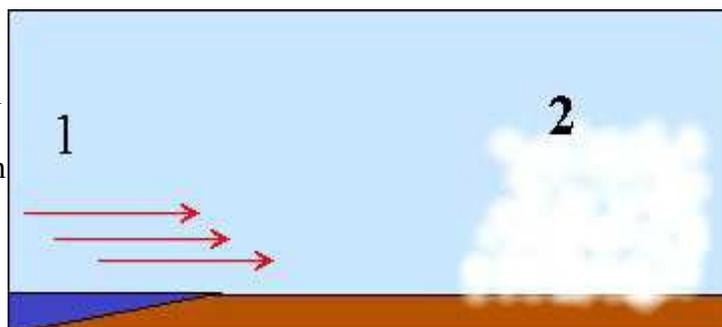
Cela entraîne une diminution rapide de la température de l'air humide.

On atteint alors le point de rosée et des gouttelettes d'eau se condensent en formant un brouillard au niveau du sol (2). Dans la matinée, le soleil réchauffe le sol et l'air à son contact se réchauffe à son tour. Le brouillard se dissipe (3). S'il est très dense (en hiver) il est possible que le soleil ne suffise pas pour le dissiper. Il faut en plus que le vent se lève (arrivée d'une perturbation). En se dissipant, le brouillard peut donner naissance à des stratus.



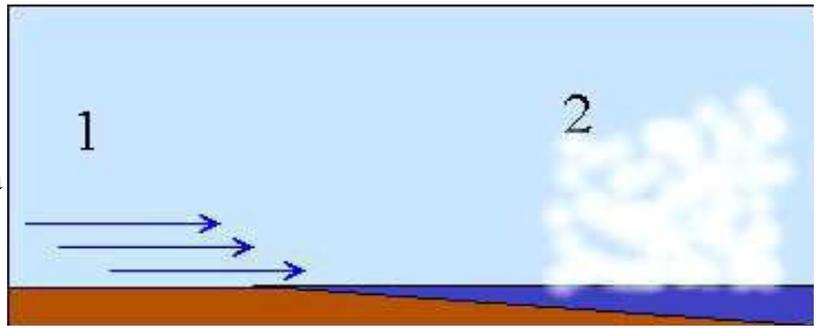
### 9.3.4 - Le brouillard d'advection :

C'est un brouillard qui se forme lorsqu'une masse d'air chaud et humide est poussée par un vent faible sur un sol plus froid (1). Dans son déplacement l'air se refroidit et finit par atteindre son point de rosée (2). Il y a alors condensation d'un brouillard qui se déplace avec le vent. Ce type de brouillard apparaît suite à des entrées maritimes en hiver ou au printemps lorsque le vent du sud amène des masses d'air humide sur des sols plus froids au nord.



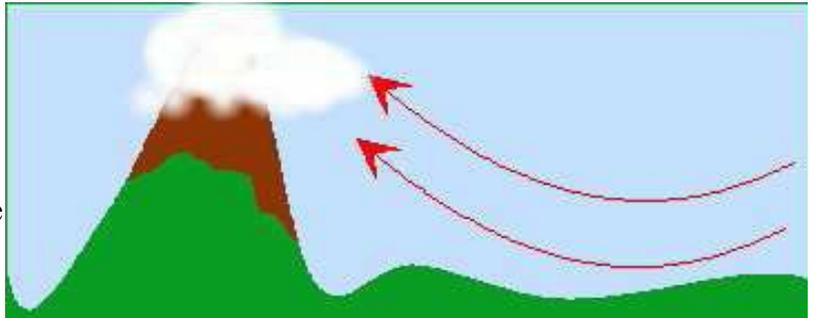
### 9.3.5 - Le brouillard d'évaporation :

C'est un brouillard qui se forme sur les grandes étendues d'eau (lacs ou mers). Un vent faible mais froid souffle depuis la terre vers la mer (1). Cet air froid et sec se charge en humidité par évaporation de l'eau au-dessus de laquelle il passe. Il atteint alors la saturation (point de rosée) et des gouttelettes d'eau se condensent au dessus de la mer (2). Le même mécanisme peut se produire au-dessus d'un lac ou d'étendues marécageuses.



### 9.3.6 - Le brouillard de pente :

Dans les régions présentant un relief marqué, il est possible d'observer un brouillard se formant le long des pentes et laissant la vallée dégagée. Cela se produit lorsqu'un vent faible pousse de l'air chaud et humide provenant de la vallée à l'assaut du relief. En s'élevant l'air se refroidit par détente adiabatique et atteint son point de condensation. Un brouillard se condense alors le long de la pente.



### 9.3.7 - Les dangers du brouillard

En conséquence, le brouillard est un phénomène météorologique très dangereux pour l'aéronautique. La réduction de visibilité qu'il entraîne empêche tout vol à vue. Il est impossible pour un pilote d'assurer la sécurité dans le brouillard. Le sol n'est pas toujours visible et les obstacles de grandes dimensions verticales ne sont aperçus que trop tard pour être évités. Dans le cas de la brume, il est possible que les conditions météo minimales légales pour le vol à vue soient réunies mais la plus grande prudence s'impose et il est préférable de bien connaître la région survolée pour ne pas se perdre et assurer la sécurité. Si le brouillard est très dense, il est possible que les vols aux instruments ne soient pas possibles non plus. En effet, il faut une visibilité minimale au pilote pour s'assurer que son avion ne va pas quitter la piste au décollage. A l'atterrissage il faut pouvoir apercevoir la piste ( ou au moins son balisage) pour poser correctement l'avion. De plus si le brouillard est givrant, on ajoute les risques liés au givre.

## 9.4 – LES DIFFÉRENTES SORTES DE GIVRAGE

Suivant sa rapidité de formation, son apparence ou sa localisation sur l'avion, on distingue trois sortes de givre :

- **Givre transparent**, la vitesse de congélation des gouttelettes d'eau est lente parce que celles-ci sont grosses. Elles s'agglutinent, se soudent sur le bord d'attaque des ailes ou des pales d'hélice et gèlent peu à peu. Ce dépôt de glace est dur, lisse, compact et transparent. Associé aux nuages convectifs : Cu, Cb , Ac.
- **Givrage blanc**, les gouttelettes d'eau surfondue étant petites, la congélation est rapide. Les gouttes d'eau passent de l'état liquide à l'état solide, dès qu'elles entrent en contact avec l'élément dur sur lequel elle se dépose. Givrage d'intensité faible, parfois modéré. Il ne pose pas de problèmes à l'avion équipé de systèmes de dégivrage.
- **Gelée blanche**, dépôt de glace d'aspect cristallin. Givrage faible et n'affecte pas les conditions de vol.
- **Verglas**, c'est le givrage **le plus dangereux** : il est très rapide et on ne s'y attend pas si on n'est pas informé du passage d'un front puisqu'on vole hors des nuages, dans une zone de pluie. Il est dû au phénomène de **surfusion** (les gouttes de pluie peuvent rester à l'état liquide tout en étant à une température négative, dans un intervalle de température allant de 0 °C à -40 °C si elles ne rencontrent pas de noyaux de congélation. ).

# 10-L'INFORMATION MÉTÉO POUR L'AÉRONAUTIQUE

La prévision du temps consiste à déterminer les états futurs successifs de l'atmosphère.

De nombreuses stations météorologiques ont été créées sur le globe et des observateurs effectuent toutes les trois heures une observation synoptique en surface qui comprend l'examen du ciel et des météores, la valeur de la pression atmosphérique, de la température, de l'humidité, la direction et la force du vent.

Certaines stations effectuent en outre des observations horaires ou semi-horaires pour l'aéronautique. Des messages sont aussi transmis en cas d'aggravation ou d'amélioration du temps.

## 10.1 - Les METAR et les SPECI :

Les **METAR** sont des messages destinés à fournir les informations météo observées régulièrement par la station de l'aéroport (**METAR = MET**éo d'**AR**ivée). Ces messages sont rédigés selon un modèle type et donnent les indications suivantes : type de message, terrain d'observation, heure TU (Zoulou) de l'observation, direction et force du vent (éventuellement des rafales), visibilité, météores, nuages (nébulosité, hauteur de base et genres), température et température du point de rosée, pression (QNH et en général QFE), pistes en service pour les décollages et les atterrissages et les phénomènes significatifs récents (mais pas au moment de l'observation).

### Exemple de METAR : ( validité 2H max )

**LFPO 0930Z 20010G20kt 0800 +SHSN SCT010St BKN025Sc M04/M05 Q1002 NOSIG**

#### **Signification :**

**LFPO :** Paris Orly  
**0930Z :** 09h30 TU  
**20010G20kt :** vent du 200 pour 10 kt rafales à 20kt  
**0800 :** visibilité 800m  
**+SHSN :** fortes averses de neige  
**SCT010St :** 1 à 4 8èmes de stratus à 1000 ft  
**BKN025Sc :** et 5 à 7 8èmes de stratocumulus à 2500ft  
**M04/M05 :** température -4°C et température du point de rosée -5°C  
**Q1002 :** QNH 1002 hPa  
**NOSIG :** pas de changements significatifs prévus.

Les **SPECI** (**SPECI**fique , validité pour 1H précise ) sont émis en cas d'une brusque variation des phénomènes météo entre les observations régulières si les changements peuvent jouer sur la sécurité ou la possibilité de se poser pour les avions en route vers le terrain.

#### **LES TEND, LES TAF ET LES SIGMET**

Les **TEND** (**TEND**ances) suivent toujours un METAR ou un SPECI. Ils constituent une information supplémentaire si une évolution notable est attendue entre deux observations régulières.

Ils indiquent la plage horaire des évolutions, leur rythme, et la nature des changements (visibilité, nébulosité, précipitations,...)

#### **Exemple de METAR avec TEND :**

**LFPO 0530Z 20004kt 0250 R07/0300V0400U R26/0450U FG VV/// 08/08 Q1028 BECMG FM0630 0600 OVC020**

#### **Signification :**

**LFPO :** Paris Orly  
**0530Z :** 05h30 TU  
**20004kt :** vent du 200 pour 4 kt  
**0250 :** visibilité 250 m  
**R07/0300V0400U :** sur la piste 07R de 300 à 400 m en augmentation  
**R26/0450U :** et sur la piste 26R 450 m en augmentation  
**FG :** brouillard  
**VV/// :** visibilité verticale nulle  
**08/08 :** température +08°C et température du point de rosée +08°C  
**Q1028 :** QNH 1028 hPa

#### **TEND :**

**BECMG FM0630 :** devenant à partir de 06h30 TU  
**0600 :** visibilité 600m  
**OVC020 :** et 8 8ème à 2000ft.

## 10.2 - LES TAF :

Les **TAF** (Terrain Arrival Forecast = prévisions sur le terrain d'arrivée) sont des messages faisant état des prévisions établies pour une période de 9 heures. Ils indiquent le terrain concerné, l'heure à laquelle la prévision a été établie, la période pour laquelle elle a été établie, le temps observé et son évolution prévue (vent, visibilité, précipitations, nuages).

### Exemple de TAF :

**LFPO 210145Z 0312 22010G20kt 3000 +RA OVC015 SCT060 TEMPO 0307 7000 -RAOVC020 FM11 28015kt 9999 NSW BKN020**

#### Signification :

**LFPO :** Paris Orly  
**210145Z :** le 21 à 01h45 TU  
**0312 :** validité entre 03 et 12h00 TU  
**22010G20kt :** vent du 220 pour 10 kt rafales à 20 kt  
**3000 :** visibilité 3000 m  
**+RA :** forte pluie  
**OVC015 :** 8 8ème à 1500 ft  
**SCT060 :** et 1 à 4 8ème à 6000 ft  
**TEMPO :** temporairement entre 03h00 et 07h00 TU  
**7000 :** visibilité de 7000 m  
**-RA :** pluie faible  
**OVC020 :** 8 8ème à 2000 ft  
**FM11 :** à partir de 11h00 TU  
**28015kt :** vent du 280 pour 15 kt  
**9999 :** visibilité supérieure à 10 km  
**NSW :** pas de temps significatif  
**BKN020 :** 5 à 7 8ème à 2000 ft.

## 10.3 - LES SIGMET

Les **SIGMET** (**SIG**nificatif **MET**éo) sont des messages rédigés par un centre de veille météorologique et émis par les services de la navigation aérienne. Ils signalent des phénomènes météorologiques dangereux hors des zones d'approche des terrains pour attirer la vigilance des équipages au cours de leur vol de croisière.

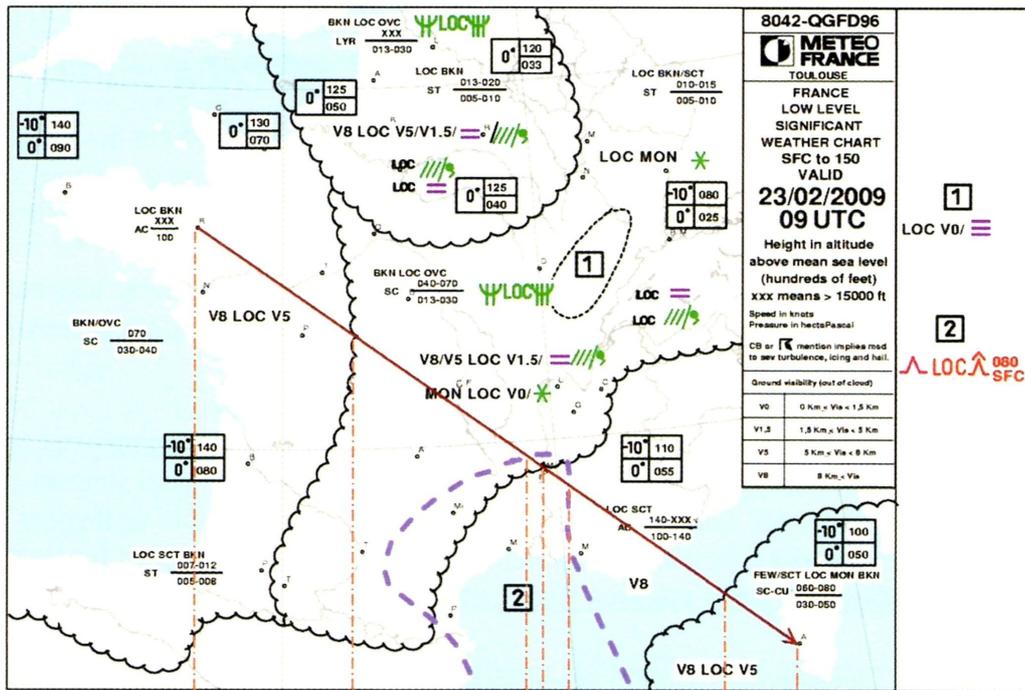
### Exemple de SIGMET :

**LFFF SIGMET 3 VALABLE 160800/161200 LFML - SEV TURB FCST FIR MARSEILLE BTN GND AND FL160 STNR WKN**

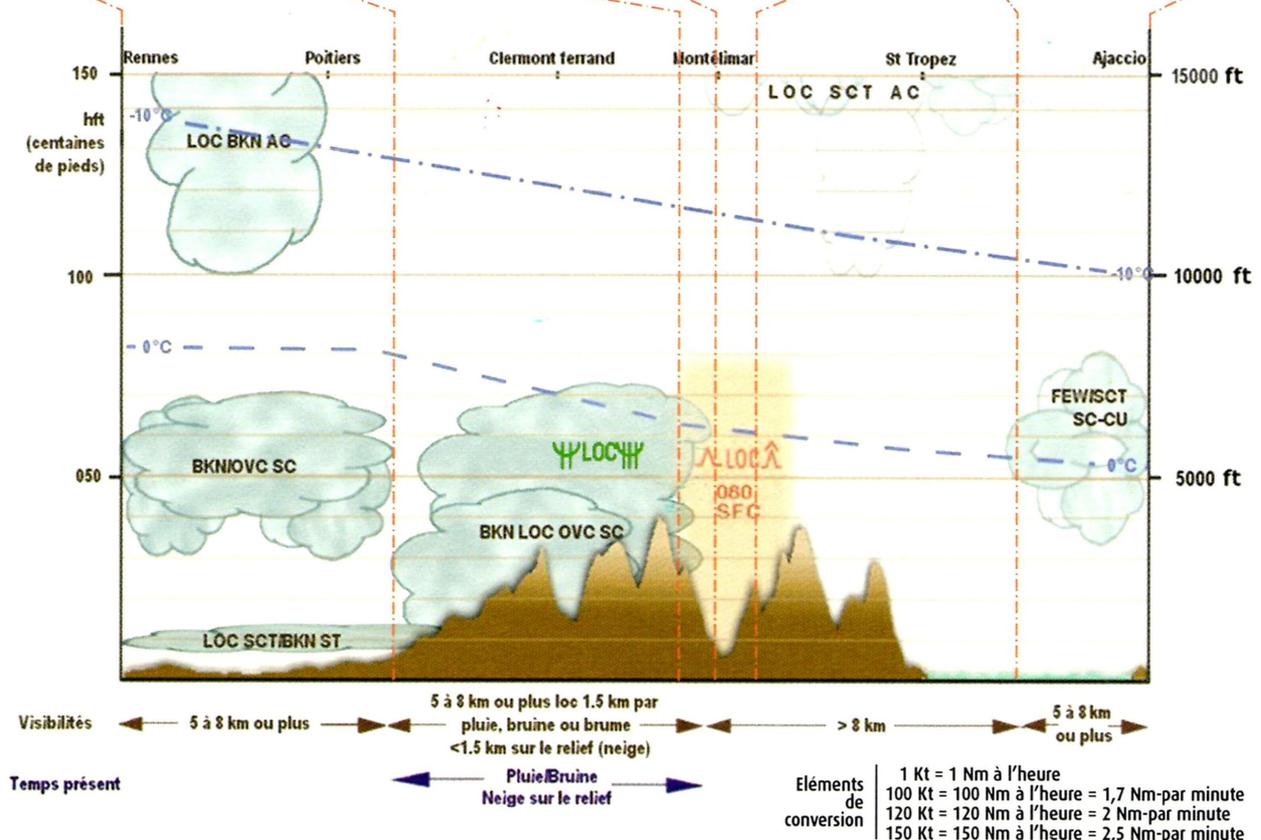
#### Signification :

**LFFF :** Région d'information de Marseille  
**SIGMET 3 :** 3ème SIGMET pour vols subsoniques  
**VALABLE 160800/161200 LFML :** valable le 16 entre 08h00 et 12h00 TU en provenance du centre de veille météorologique de Marignane.  
**SEV TURB FCST FIR MARSEILLE BTN GND AND FL160 :** Fortes turbulences prévues dans la zone de Marseille entre le sol et le niveau de vol 160  
**STNR WKN :** Phénomène stationnaire et faiblissant.

# 10.4 – LA CARTE TEMSI et la coupe verticale :



<p>LOC SCT BKN ST 005-008/007-012</p> <p>BKN-OVC SC 030-040/070</p> <p>LOC BKN AC 100/XXX</p> <p>V8 LOC V5</p> <p>Iso 0° : 080</p> <p>Iso -10° : 140</p> <p>Pas de tps présent</p>	<p>BKN LOC OVC SC 015-030/ 040-070</p> <p>Givrage modéré à fort</p> <p>LOC MON V0 neige</p> <p>V8/V5 LOC V1,5</p> <p>Brume, pluie, bruine</p>	<p>Mêmes conditions que dans la colonne précédente mais avec turbulence entre SFC et FL 080</p>	<p>LOC SCT AC 100-140/ 140-XXX</p> <p>turbulence entre SFC et FL 080</p> <p>V8</p> <p>Iso 0° : 065</p> <p>Iso -10° : 110</p>	<p>Mêmes conditions que dans la colonne précédente mais sans la turbulence (décrite dans la bulle en pointillés nommée « zone 2 »)</p>	<p>Enfin le beau temps du sud :</p> <p>FEW-SCT LOC MON SC-CU 035-050/ 060-080</p> <p>V8 LOC V5</p> <p>Iso 0° : 050</p> <p>Iso -10° : 100</p>
--	---	---	--	--	--



Pour que les équipages se fassent une idée des masses nuageuses qu'ils rencontreront en vol, les organismes météo établissent des cartes TEMSI (TEMps Significatif) montrant les principales formations nuageuses et les précipitations qu'elles engendrent. On y porte également les risques de givrage, d'orage et de turbulences avec leurs intensités prévues. Ces cartes sont établies pour les altitudes moyennes (FL100 à 250) mais présentent en général aussi la météo en dessous pour les phases de montée et de descente. Un exemple est présenté à la page suivante. Tous les symboles portés sur les cartes font l'objet d'une standardisation internationale au niveau de l'O.A.C.I.

A partir des cartes TEMSI, on peut établir, à la demande des équipages, des coupes verticales sur un trajet déterminé. Elles permettent à un équipage de préparer leur vol et de faire des choix de trajectoire et d'altitude pour éviter les phénomènes dangereux. Elles ont une validité limitée dans la durée et les équipages doivent continuer à s'informer sur la météo et son évolution pendant leur vol pour s'assurer qu'ils peuvent poursuivre conformément à la route prévue. L'exemple présenté à la page précédente est établi sur une route Rennes (LFRN) / Ajaccio (LFKJ). Les informations permettant de l'établir proviennent de la carte TEMSI présentée ci-dessus.

## 10.6 – LA CARTE WINTEM : ( voir chapitre vent )

Cartes des vents à différentes altitudes (FL50 -100 - 180 et 300) permettant de prévoir plus précisément la dérive que l'on rencontrera et la consommation à envisager pour la navigation.

## 10.7 - ABREVIATIONS

### 10.7.1 - Visibilité de surface – TEMSI France :

- **V0** : pour  $0\text{ km} \leq \text{visibilité} < 1,5 \text{ km}$
- **V1,5** : pour  $1,5 \text{ km} \leq \text{visibilité} < 5 \text{ km}$
- **V 5** : pour  $5 \text{ km} \leq \text{visibilité} < 8 \text{ km}$
- **V 8** : pour  $\text{visibilité} \geq 8 \text{ km}$

### 10.7.2 - Quantité de nuages

#### *Cumulonimbus :*

- **ISOL** : cumulonimbus isolés ( CB bien séparé avec couverture spatiale maximale inférieure à 50% de la zone concernée ).
- **OCNL** : cumulonimbus occasionnels ( avec couverture spatiale maximale comprise entre 50 et 75% de la zone concernée ).
- **FRQ** : cumulonimbus fréquents ( avec couverture spatiale  $>$  à 75 % de la zone concernée ).
- **EMBD** : cumulonimbus noyés dans des couches de nuages.

#### **Autres nuages :**

- **FEW** = peu ( 1 à 2 octas )
- **SCT** = épars ( 3 à 4 octas )
- **BKN** = fragmentés ( 5 à 7 octas )
- **OVC** = couverts ( 8 octas )
- **LYR** = en couches

### 10.7.3 - Abréviations de temps significatifs dans les codes METAR, SPECI et TAF

Intensité ou proximité	Descripteur	Précipitations	Obscurcissement	Autres phénomènes
- : faible + : forte VC : au voisinage	MI : mince PR : partiel BC : bancs DR : chasse-poussière sable neige basse	DZ : bruine RA : pluie SN : neige SG : neige en grains IC : cristaux de glace	BR : brume FG : brouillard FU : fumée VA : cendres volcaniques DU : poussière généralisée	PO : tourbillons de poussière-sable SQ : grains FC : nuages en entonnoir (trombe terrestre ou trombe marine)
Pas de symbole : modéré	BL : chasse-poussière sable neige élevée SH : averse(s) TS : orage FZ : se congelant	PL : granules de glace GR : grêle GS : grésil et/ou neige roulée	SA : sable HZ : brume sèche	SS : tempête de sable DS : tempête de poussière

### 10.7.4 - Symboles du temps significatif et de localisations cartes ( TEMSI )

Symboles du temps significatif		Localisation
	Pluie (Rain)	COT : sur la côte
	Bruine (Drizzle)	LAN : à l'intérieur des terres
	Pluie se congelant (Freezing rain)	LOC : localement
	Neige* (Snow)	MAR : en mer
	Averse* (Shower)	MON : au-dessus des montagnes
	Grêle (Hail)	SFC : en surface
	Givrage faible* (Light icing)	VAL : dans les vallées
	Givrage modéré (Moderate icing)	CIT : à proximité ou au-dessus des villes importantes
	Givrage fort (Severe icing)	
	Brume de grande étendue (Widespread mist)	
	Brouillard étendu* (Widespread fog)	
	Fumée de grande étendue (Widespread smoke)	
	Forte brume de sable ou de poussière (Severe sand or dust haze)	
	Matières radioactives dans l'atmosphère	
	Éruption volcanique	
	Tempête de sable ou de poussière de grande étendue (Widespread sandstorm or duststorm)	
	Brume sèche de grande étendue (Widespread haze)	
	Turbulence modérée (Moderate turbulence)	
	Turbulence forte (Severe turbulence)	
	Turbulence en atmosphère claire (Clear air turbulence)	
	Ligne de grains forts (Severe line squall)	
	Orage (Thunderstorm)	
	Ondes orographiques (mountain waves) - MTW	
	Cyclone tropical (Tropical cyclone)	
	Chasse-neige élevée de grande étendue (Widespread blowing snow)	
	Obscurcissement des montagnes	

\* Ces symboles ne sont pas utilisés pour les cartes destinées aux vols à haute altitude

# EXERCICES

## **1 - ORGANISATION, INFORMATION ET INSTRUMENTS DE MESURES**

**1/ En matière de terminologie, la référence commune aux météorologistes du monde entier est :**

- a) le Corpus Météorologique Mondial publié par l'OMM en 1951.
- b) la Convention Météorologique Mondiale (Washington, 1947).
- c) l'Atlas International de Météorologie de 1956.
- d) l'annexe 3 à la conférence de Varsovie de 1929.

**2/ La carte TEMSI " 700 hPa " correspond à une altitude de :**

- a) 5000 ft. b) 10 000 ft. c) 15 000 ft. d) 20 000 ft.

**3/ En vol, on peut recevoir des informations météorologiques par radio sous forme de message :**

- a) SIRMET b) ATISMET c) VOLMET d) SETMET

**4/ La visibilité sur un aéroport peut être mesurée par :**

- a) un distancemètre. b) un psychromètre. c) un transmissomètre. d) un héliomètre.

## **L'ATMOSPHERE ET LA CIRCULATION GENERALE**

**5/ La " couche d'ozone " qui filtre le rayonnement ultra-violet se trouve :**

- a) dans la troposphère. b) dans la stratosphère. c) dans la mésosphère. d) dans l'ionosphère.

**6/ Dans l'atmosphère, la chaleur latente de l'eau lors de sa congélation :**

- a) réchauffe l'air, ce qui favorise l'ascendance.
- b) refroidit l'air, ce qui favorise la stabilité.
- c) refroidit l'air, ce qui favorise l'instabilité.
- d) permet de ralentir la congélation.

**7/ La circulation générale moyenne de l'atmosphère fait apparaître successivement en surface du pôle Nord à l'équateur :**

- a) un anticyclone puis une dépression puis un anticyclone puis une dépression.
- b) une dépression puis un anticyclone puis une dépression puis un anticyclone.
- c) une dépression puis un anticyclone.
- d) un anticyclone puis une dépression.

## **NUAGES ET METEORES**

**8/ Les conditions les plus favorables à l'apparition du givrage carburateur sont :**

- a) pression atmosphérique élevée, température inférieure à 0°C.
- b) pression atmosphérique basse, température inférieure à 0°C.
- c) forte humidité relative, air très froid.
- d) forte humidité relative, température entre 0°C et 10°C.

**9/ Lorsqu'un vent fort et humide souffle sur un relief, il se forme parfois des cumulus orographiques au sommet du relief. Ces nuages sont le résultat :**

- a) d'une évaporation de l'eau par compression de l'air.
- b) d'une condensation de la vapeur d'eau par détente de l'air dans son ascendance le long du relief.
- c) d'une condensation de la vapeur d'eau par contact de l'air avec le relief plus froid.
- d) condensation de la vapeur d'eau par mélange de l'air ascendant avec l'air ambiant plus froid.

**10/ Les nuages qui dénotent une instabilité verticale de l'atmosphère sont :**

- a) les stratus et les cirrus. b) les cumulus et les cumulonimbus.
- c) les altostratus et les nimbostratus. d) les altostratus et les cirrostratus.

**11/ Dans les régions tempérées, les cumulonimbus se forment plus particulièrement :**

- a) le matin, l'été, en mer. c) l'après midi, l'été, en plaine.
- b) la nuit, l'été, en plaine. d) l'après midi, l'été, en montagne.

**12/ La formation des grêlons :**

- a) résulte de la coalescence de flocons de neige.
- b) ne s'observe que dans le nimbostratus.
- c) est associée à de forts courants verticaux dans le nuage.
- d) ne peut se produire que par temps très chaud.

**13/ Parmi ces phénomènes, le plus dangereux pour les avions en vol est :**

- a) le verglas.
- b) le givre mou.
- c) le givre blanc.
- d) la gelée blanche.

**PREVISIONS**

**14/ Dans une région de l'hémisphère Nord, un 10 juillet à 7 heures légales, le ciel est entièrement couvert par des nuages bas. La visibilité est de l'ordre de 2 km. Le QNH est élevé. Le vent en surface est calme. Vous estimez que :**

- a) le temps restera couvert par ce genre de nuages toute la journée, empêchant tout vol en planeur.
- b) les nuages observés vont se résorber ou évoluer en cumulus en cours de matinée, permettant ainsi la pratique du vol à voile.
- c) le temps restera couvert et aura même tendance à s'aggraver avec probablement de la pluie et du vent, empêchant tout vol en planeur.
- d) La nébulosité des nuages observés diminuera progressivement mais très lentement, ne permettant la pratique du vol à voile qu'en fin d'après midi.

**15/ Une nuit, sur un aéroport, on observe les conditions suivantes : vent faible 2 kt, CAVOK, température 16°C, point de rosée 15° C, QNH et QFE 1030 hPa. Il faut s'attendre pour le lendemain matin à :**

- a) des stratus.
- b) des cirrus.
- c) du brouillard.
- d) de la neige.

**16/ Lorsque l'on approche d'un anticyclone, en conservant une indication altimétrique constante, dans l'hémisphère Sud, il faut s'attendre à :**

- a) un vent venant de la gauche et une altitude vraie qui augmente.
- b) un vent venant de la droite et une altitude vraie qui augmente.
- c) un vent venant de la gauche et une altitude vraie qui diminue.
- d) un vent venant de la droite et une altitude vraie qui diminue.

**VENTS ET FRONTS**

**17/ En l'absence de tout vent du gradient, la brise de mer souffle de la :**

- a) terre vers la mer entre 10 et 18 heures.
- b) mer vers la terre entre 10 et 18 heures.
- c) mer vers la terre entre 21 H et 7 H le lendemain.
- d) mer vers la terre entre le lever et le coucher du soleil.

**18/ L'occlusion est une zone :**

- a) généralement peu active.
- b) d'orages fréquents mais avec une visibilité correcte.
- c) de brouillard très dense.
- d) nuageuse et pluvieuse avec un fort risque de plafond bas.

**19/ Le front chaud d'une perturbation :**

- a) a une pente plus faible que le front froid.
- b) avance plus vite que le front froid.
- c) a une pente plus forte que le front froid.
- d) les propositions a) et b) sont exactes.

**20/ La durée de vie moyenne d'une perturbation est de :**

- a) 24 à 48h
- b) 48 à 72h
- c) 5 à 6 jours
- d) 10 à 15 jours.

## 2 - L'ATMOSPHERE ET LA CIRCULATION GENERALE

1/ L'échauffement général moyen de l'atmosphère terrestre est dû surtout (dans la troposphère) :

- a) au rayonnement infrarouge du soleil.
- b) au rayonnement ultraviolet du soleil.
- c) au rayonnement infrarouge de la terre.
- d) au rayonnement ultraviolet de la terre.

2/ L'atmosphère standard a été définie à partir des valeurs moyennes :

- a) de température, pression, hygrométrie et densité de l'atmosphère à Paris.
- b) de température, pression et densité de l'atmosphère à l'équateur.
- c) de température, pression, hygrométrie et densité de l'atmosphère dans son ensemble.
- d) à la latitude de 45°.

3/ Les alizés sont des vents soufflant :

- a) des hautes pressions équatoriales vers les basses pressions tempérées.
- b) des hautes pressions tropicales vers les basses pressions équatoriales.
- c) du secteur ouest.
- d) dans les hautes latitudes.

4/ L'air est à une température de + 14°C; il contient 9 grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air.

Le rapport de mélange saturant de vapeur d'eau pour une température de + 14°C est de 10 g/kg.

L'humidité relative de l'air est de :

- a) 0,9%. b) 10%. c) 90%. d) 110%.

## NUAGES ET HYDROMETEORES

5/ Les conditions météorologiques pouvant générer une instabilité de l'atmosphère sont :

- a) l'arrivée d'air froid et humide sur un sol chaud.
- b) l'arrivée d'air chaud et humide sur un sol froid.
- c) l'établissement d'une couche d'inversion.
- d) les réponses a et c sont exactes.

6/ La formation des gouttes de pluie dans un nuage résulte principalement :

- a) d'un dégagement de chaleur latente.
- b) de l'effet Vacheron.
- c) d'une détente adiabatique.
- d) d'un phénomène de coalescence.

7/ le ciel est couvert par 8/8 octas et il tombe une pluie fine modérée. Le ciel est couvert :

- a) de stratus peu épais.
- b) d'un nimbostratus.
- c) d'un cumulonimbus.
- d) de stratus recouvert d'un cumulonimbus

8/ Les nuages instables sont : (Anc 17)

- a) cumulonimbus, cumulus, nimbostratus.
- b) altostratus, cumulus, nimbostratus.
- c) cumulonimbus, cumulus, stratocumulus.
- d) cumulonimbus, stratus, cirrus.

9/ Vous observez, à la fin d'une nuit bien étoilée du mois de juin, la formation d'un brouillard. Le vent est très faible, il s'agit d'un brouillard :

- a) d'advection qui ne se dissipera que lors d'un changement de masse d'air.
- b) d'évaporation qui se dissipera dès le lever du soleil.
- c) de rayonnement qui se dissipera avant le milieu de la matinée.
- d) de rayonnement qui risque de persister toute la journée.

10/ En conditions IMC, la zone la plus favorable au givrage rapide d'un avion qui la traverse est un nuage :

- a) cumuliforme en arrière d'un front froid.
- b) cumuliforme en avant d'un front froid.
- c) stratiforme en arrière d'un front chaud.
- d) stratiforme en avant d'un front chaud.

## VENTS ET FRONTS

11/ On observe les pressions atmosphériques (QNH) suivantes :

Brest : 1025 hPa, Paris : 1023 hPa, Toulon : 1002 hPa, Bordeaux : 1026 hPa, Marseille : 1027 hPa

La région dans laquelle le vent souffle le plus fort est entre :

- a) Brest et Paris.
- b) Brest et Bordeaux.
- c) Paris et Bordeaux.
- d) Marseille et Toulon.

12/ On appelle "dorsale" :

- a) une crête de hautes pressions prolongeant un anticyclone.
- b) une vallée de basses pressions prolongeant une dépression.
- c) le centre d'un anticyclone.
- d) une région de ciel clair.

**13/ La masse d'air matérialisée par la flèche sur la carte ci-contre est de type :**

- a) arctique.
- b) tropical.
- c) polaire maritime.
- d) polaire continental.



**14/ Le vent soufflant au sol sur un aéroport situé à basse altitude est de 270° pour**

**15 kt. Le pilote doit s'attendre, après décollage et montée à 2000 m, à rencontrer un vent :**

- a) du 240° > à 15 kt.
- b) du 240° < à 15 kt.
- c) du 300° > à 15 kt.
- d) du 300° < à 15 kt.

**15/ Lorsque les services météorologiques annoncent l'arrivée d'un front froid, il faut s'attendre à observer à son passage :**

- a) une matinée très fraîche, à cause d'un ciel bien dégagé.
- b) un temps très frais, avec un ciel variable composé de passages nuageux (cumulus) accompagnés d'averses entrecoupées de belles éclaircies.
- c) un ciel très nuageux avec une forte probabilité de précipitations et une baisse de la température.
- d) un ciel peu nuageux ou nuageux par cumulus, sans précipitations.

**16/ Dans une perturbation du front polaire, une occlusion est dite à caractère de front chaud lorsque :**

- a) l'air froid postérieur est plus froid que l'air froid antérieur.
- b) l'air froid postérieur est moins froid que l'air froid antérieur, l'air chaud étant rejeté en altitude.
- c) l'air froid antérieur est rejeté en altitude.
- d) l'air froid postérieur est plus froid que l'air chaud antérieur, l'air chaud étant rejeté en altitude..

**17/ Un pilote vole de Limoges vers Nantes et constate une forte dérive droite. Il doit s'attendre :**

- a) à l'installation de hautes pressions par l'est.
- b) à l'arrivée d'une perturbation par l'ouest.
- c) à traverser un front froid.
- d) à une sous-estimation de son altitude de vol.

## **ORGANISATION, INFORMATION, MESURES**

**18/ Le siège de l'organisation météorologique mondiale (OMM) est à :**

- a) Paris
- b) Chicago
- c) Londres
- d) Genève

**19/ Parmi les moyens ci-après, quels sont ceux qui permettent l'accès à l'information météorologique pour l'aéronautique :**

- a) téléscripateur, télécopieur, radio
- b) le téléphone, internet, visite à une station MTO
- c) téléphone, téléscripateur, télévision
- d) téléscripateur, télécopieur, radio,

**20/ Pour élaborer des prévisions météorologiques, on utilise des satellites :**

- a) météorologiques géostationnaires
- b) à défilement géosynchrone
- c) d'observation héliosynchrones
- d) les réponses a et c sont exactes

## Réponses aux exercices 1 et 2

**1** - 1-c / 2-b / 3-c / 4-c / 5-b / 6-a / 7-b / 8-d / 9-b / 10-b / 11-d / 12-c / 13-a  
14-b / 15-c / 16-a / 17-b / 18-d / 19-c / 20-c

**2** - 1-c / 2-d / 3-b / 4-c / 5-a / 6-d / 7-b / 8-c / 9-c / 10-a / 11-d / 12-a / 13-c / 14-c  
15-c / 16-b / 17-b / 18-d / 19-b / 20-d

## ***BIBLIOGRAPHIE***

- Wikipédia ( [fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org) )
- Aviation passion ( [aviationpassion.org](http://aviationpassion.org) )
- Aéro training ( [aero-training.fr](http://aero-training.fr) )
- Le voyage aérien ( tome 1, 6ème édition )
- SFA ( Service de la Formation Aéronautique )
- Pour les exercices CAEA : [http://aero-scolaire.ac-orleans-tours.fr/php5/corrige\\_caesa.htm](http://aero-scolaire.ac-orleans-tours.fr/php5/corrige_caesa.htm)