

## Chapitre 3

# Notions de météorologie

1. L'atmosphère
2. Le vent
3. Les masses d'air
4. Les nuages
5. Phénomènes météorologiques présentant un danger pour l'aviation légère
6. Assistance météorologique aux vols légers

## 1. L'atmosphère

### 1.1. Description

L'atmosphère est constituée par la couche de gaz qui entoure la Terre. Cette couche est extrêmement fine, comparée au diamètre de la Terre (12 700 km), puisque 99 % de l'atmosphère se trouve concentrée à moins de 30 km de la surface du globe. On considère plusieurs couches dans l'atmosphère, et on nomme troposphère la couche la plus basse, située entre le sol et 11 km d'altitude environ. C'est donc dans la troposphère que se produisent les phénomènes météorologiques qui concernent l'aviation légère.

L'atmosphère est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau. La vapeur d'eau se trouve en quantité variable dans l'atmosphère : plus la température est élevée, et plus l'atmosphère peut contenir une quantité importante de vapeur d'eau.

### 1.2. Paramètres

Comme n'importe quel autre gaz, l'atmosphère est caractérisée par de nombreux paramètres, mais deux d'entre eux sont particulièrement importants pour le pilote : la température et la pression.

La température est généralement mesurée en degrés Celsius (astronome suédois du XVIII<sup>e</sup> siècle) à l'aide d'un thermomètre.

La pression est généralement mesurée en hectopascal (hPa) (Blaise Pascal, savant et philosophe français du XVII<sup>e</sup> siècle) au moyen d'un baromètre.

#### Autres unités de température :

– Le degré Fahrenheit (physicien allemand du XVIII<sup>e</sup> siècle)

$$T (^{\circ}\text{C}) = [T (^{\circ}\text{K}) - 32] \times 5/9$$

– Le Kelvin (physicien anglais du XIX<sup>e</sup> siècle), échelle de température absolue :

$$T (\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273$$

#### Autres unités de pression :

– Millibar (ancienne appellation)    1 mb = 1 hPa

– mm de mercure ou pouce de mercure : 1 013 hPa = 760 mm Hg = 29,92 in Hg

– PSI (Pound per squared inch) : 1 013 hPa = 14,7 PSI

Ces deux paramètres varient selon le lieu et, pour un même lieu, évoluent dans le temps : il suffit de suivre les bulletins météorologiques télévisés pour se rendre compte des différences entre deux régions, ainsi qu'entre les valeurs matinales et de milieu de journée pour une région donnée. De plus, si on s'élève en altitude, on constate que la pression et la température diminuent.

Les paramètres atmosphériques étant donc très variables, l'homme a cherché à les modéliser pour créer une atmosphère type qui puisse servir de référence partout dans le monde. Cette atmosphère artificielle a été nommée **atmosphère standard**.

### 1.3. L'atmosphère standard

L'atmosphère standard internationale, ou **ISA**, fixe les valeurs de température et de pression au niveau moyen de la mer (niveau de référence zéro pour mesurer les altitudes) et décrit les variations de ces paramètres en fonction de l'altitude. L'atmosphère standard a été définie jusqu'à 32 km d'altitude, mais compte tenu de l'objectif de cet ouvrage, nous nous limiterons à 3 000 mètres.

Au niveau de la mer : température = **15 °C** et pression = **1013,25 hPa**.

Variations avec l'altitude :

- La température décroît régulièrement de **6,5 °C** tous les 1000 m (ou de **2°C tous les 1000 ft**) ;
- La pression décroît également, mais la variation de pression est de plus en plus faible au fur et à mesure que l'on s'élève. Voir le tableau ci-après.

Altitude en pieds	Température en °C	Pression en hPa	Altitude en mètres
10 000	- 4,8	697	3 048
9 000	- 2,8	724	2 743
8 000	- 0,8	753	2 438
7 000	+ 1,1	782	2 134
6 000	+ 3,1	812	1 829
5 000	+ 5,1	843	1 524
4 000	+ 7,1	875	1 219
3 000	+ 9,1	908	914
2 000	+ 11,0	942	610
1 000	+ 13,0	977	305
0	+ 15,0	1 013	0

Si on prolonge les variations de pression vers des altitudes plus élevées, on peut constater qu'à 5500 m (18000 ft), la pression vaut la moitié de la pression au niveau de la mer. La moitié de l'atmosphère se trouve concentrée entre le sol et 5500 m d'altitude.

Par ailleurs, en examinant les variations de pression en fonction de l'altitude, entre 1020 hPa et 942 hPa, on peut considérer qu'à basse altitude, la pression diminue de 1 hPa tous les 8,50 m ou 28 ft.

#### En atmosphère standard :

- La température diminue de 2 °C tous les 1000 ft (300 m) ou de 6,5 °C tous les 1000 m
- La pression diminue de 1 hPa tous les 28 ft (8,50 m) lorsque l'altitude est inférieure à 2000 ft

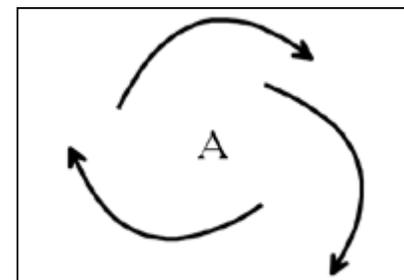
L'atmosphère réelle est toujours différente de l'atmosphère standard, mais on la compare à cette dernière : par exemple, si la température au niveau de la mer vaut 25 °C, on dira qu'on se trouve en ISA +10 ou STD +10 ; au contraire, s'il fait - 5 °C, on parlera d'ISA - 20 ou STD - 20.

De même, si la pression au niveau de la mer est supérieure à 1013 hPa, on dira qu'on se trouve dans une zone de haute pression (également nommée **anticyclone**), alors que si la pression est inférieure à 1013 hPa, on se trouve dans une zone de basse pression (ou **dépression**).

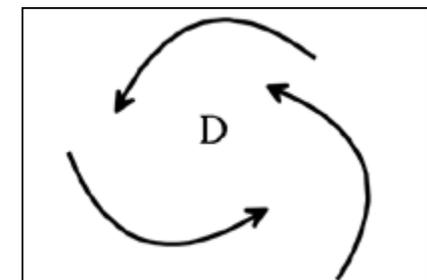
## 2. Le vent

Le vent est engendré par le mouvement horizontal de l'air dû à la différence des pressions atmosphériques entre des zones de hautes pressions (**Anticyclones**), et des zones de basses pressions (**Dépressions**). Plus la différence de pression entre ces deux zones est importante, plus le vent est fort.

Si la Terre était plate, le vent se dirigerait en ligne droite de l'anticyclone vers la dépression, mais la rotondité de la Terre, ainsi que la rotation de celle-ci dévient la trajectoire du vent. C'est ainsi que dans l'hémisphère nord, le vent est dévié vers la droite lorsqu'il quitte l'anticyclone, et se trouve dévié vers la gauche en arrivant sur la dépression.

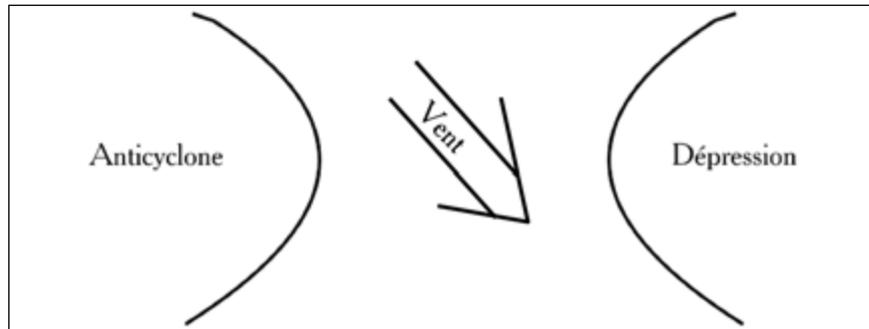


Le vent tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un anticyclone.

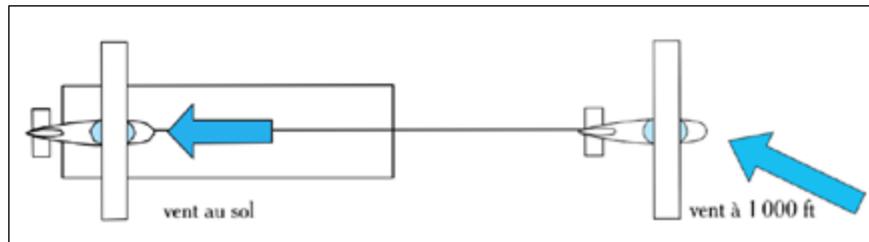


Le vent tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre autour d'une dépression.

En conséquence, dans l'hémisphère nord, lorsqu'on se place face au vent, l'anticyclone se trouve à gauche et la dépression à droite.



Cette rotation du vent se fait cependant moins sentir au voisinage du sol où le déplacement de l'air est freiné par effet de frottement sur la surface. En conséquence, supposons que, dans l'hémisphère nord, un aéronef décolle exactement dans l'axe du vent (face à lui), et maintienne cette trajectoire après le décollage. Lorsque cet aéronef atteindra une altitude voisine de 1000 ft, le vent viendra de sa droite et se renforcera.



### 2.1. Vents locaux

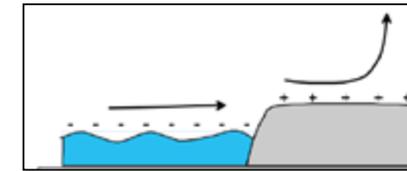
Dans certaines régions, le relief peut contraindre le vent à suivre des chemins particuliers.

Les cas les plus connus sont :

- le **Mistral** qui est canalisé par la vallée du Rhône, et qui souffle de Lyon vers Marseille ;
- la **Tramontane**, qui souffle du nord-ouest vers le sud-est dans la région de Perpignan ;
- **L'Autan**, qui souffle de Carcassonne vers Agen en accélérant entre les Pyrénées et le Massif Central.

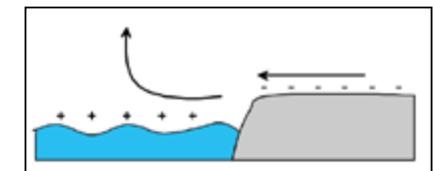


En bordure de mer, ce sont les contrastes thermiques qui peuvent provoquer des vents très localisés. En effet, l'inertie thermique de la mer est plus grande que celle de la terre, c'est-à-dire que le jour, la mer chauffe moins vite que la terre, alors que la nuit la mer se refroidit moins vite que la terre.



De jour : brise de mer.

La terre s'échauffe plus rapidement, l'air à son contact devient plus léger et s'élève. L'air de la mer, plus dense vient combler cette dépression.



De nuit : brise de terre.

La mer se refroidissant moins vite, l'air à son contact reste plus chaud que celui de la terre. Le phénomène inverse se produit.

Les services météorologiques diffusent des cartes des vents et température par altitude, sachant que l'altitude la plus basse est de 2000 ft (FL020) ou 600 m (voir chapitre altimétrie) ; un exemple est reproduit ci-dessous.

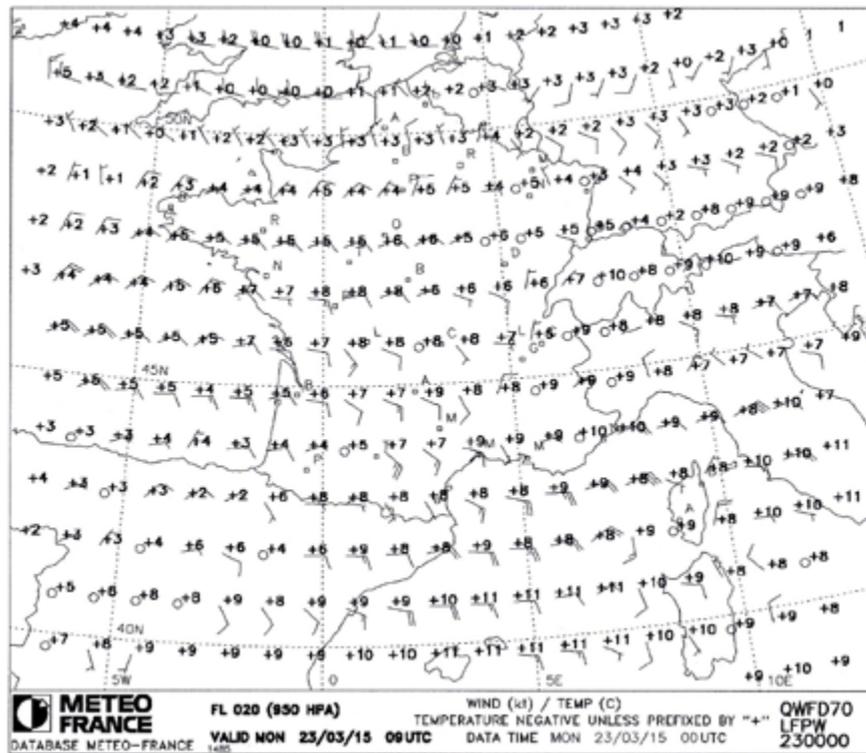
Lorsque la température indiquée sur ces cartes n'a pas de signe, c'est qu'elle est négative. Dans le cas contraire, un signe + est ajouté.

#### Exemple

Sur la carte des vents et températures, reproduite ci-après, à 2000 ft au-dessus de la vallée du Rhône entre Nîmes et Marseille, la température est de + 4° et le Mistral a une force de 40kt.

Le vent est représenté en direction et en force par un tiret terminé par une ou plusieurs barbules : une longue barbule valant 10 kt, une petite 5 kt. Lorsque la vitesse du vent atteint des valeurs élevées, on représente 50 kt par un triangle noir s'ajoutant aux barbules.





Document Météo France, autorisation à obtenir...

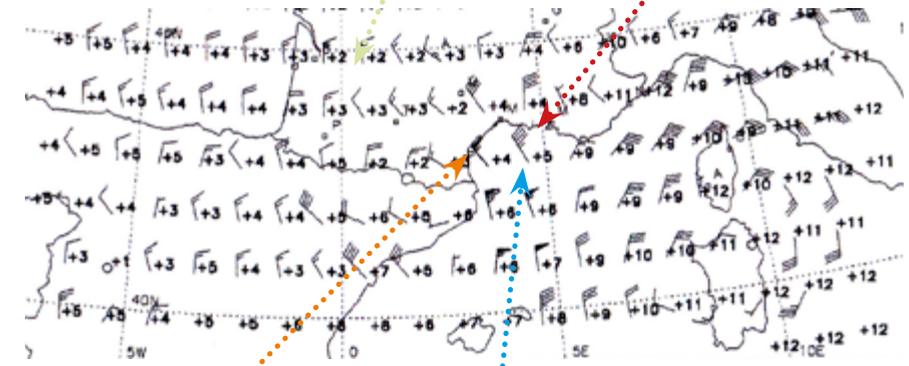
Il est intéressant de comparer la carte des vents du 25 mars 2015 avec les informations recueillies sur la carte TEMSI à la même date et à la même heure (voir le dernier § de ce chapitre).

Pour une région donnée, on peut connaître l'intensité du vent mais également la direction « **d'où il vient** ». Cette direction correspond à l'angle entre un méridien de la carte (qui indique le Nord) et le tiret de la direction du vent.

Ainsi, sur l'extrait de carte ci-après, le vent soufflant entre **Nîmes et Marseille** vient du Nord, le tiret est parallèle au méridien. Sa force est de 40 kt.

Le vent soufflant à **l'Est de Bordeaux** vient aussi du Nord.

Sa force est de 15 kt.



Le long du littoral Méditerranéen, le **Mistral** souffle à 45 kt au Sud de Nîmes, la **Tramontane** souffle à 55 kt du côté de Perpignan.

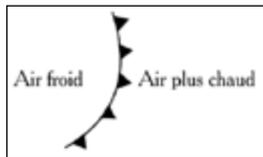
### 3. Les masses d'air

Dans une région du globe subissant les mêmes conditions météorologiques (rayonnement solaire principalement), la masse d'air en contact avec cette région va acquérir les caractéristiques de la surface sur laquelle elle repose.

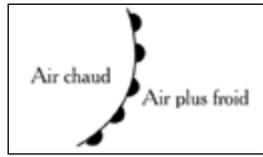
C'est ainsi que sont réparties autour de la Terre des **masses d'air distinctes les unes des autres par leur température et leur humidité**. Ces masses d'air se déplacent (à une vitesse d'environ 40 km/h) et entrent en contact les unes avec les autres. Si la masse d'air se déplace sur une surface plus froide, elle est stable. Par contre, si elle se déplace sur une surface plus chaude elle devient instable : l'air en contact du sol va s'échauffer, il devient plus léger et monte au sein de la masse d'air, il s'établit alors des mouvements verticaux, que l'on qualifie de **convection**.

La surface séparant deux masses d'air est nommée **front**. On distingue un **front froid** d'un **front chaud** selon qu'il s'agit de la masse d'air la plus froide ou la plus chaude qui pousse l'autre. Les vitesses de déplacement des masses d'air étant variables, un front peut en rattraper un autre, ils forment alors ce que l'on nomme un **front occlus**.

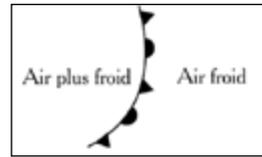
**Représentation cartographique des fronts**



**Front froid** : il est symbolisé par des triangles orientés dans le sens du déplacement de la masse d'air la plus froide.

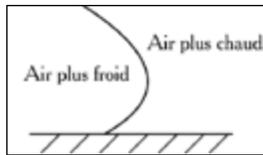


**Front chaud** : il est symbolisé par des demi-cercles orientés dans le sens de déplacement de la masse d'air la plus chaude.

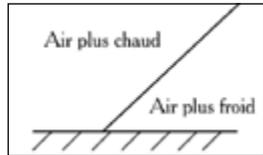


**Front occlus** : il est symbolisé par une alternance de triangles et de demi-cercles orientés dans le sens du déplacement du front.

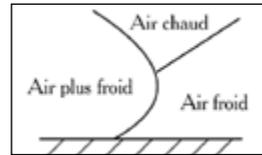
**Coupe verticale des fronts**



**Front froid** : l'air froid, plus dense s'enfonce en force sous l'air chaud, en prenant un profil arrondi.



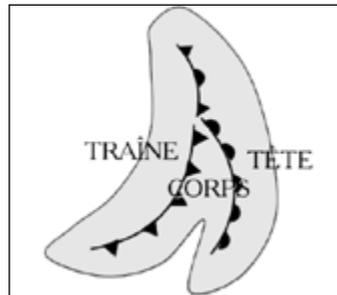
**Front chaud** : l'air chaud plus léger monte régulièrement au-dessus de l'air froid.



**Front occlus** : ici, le front froid a rattrapé le front chaud et rejette l'air chaud en altitude.

En France métropolitaine, une perturbation classique venant de l'ouest est composée successivement d'un front chaud suivi d'un front froid. Le nord de la perturbation est souvent le siège d'une occlusion.

On nomme **tête** la partie antérieure du système, **corps** le centre de la perturbation, tandis que la zone postérieure est nommée **traîne**.



**Une masse d'air est caractérisée par :**

- sa température (chaude ou froide) ;
- son humidité (sèche ou humide) ;
- sa stabilité verticale (stable ou instable).

**4. Les nuages**

**4.1. Définition et classification**

Les nuages sont constitués de fines gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace formés par condensation de la vapeur d'eau autour d'un minuscule noyau provenant d'impuretés flottant dans l'atmosphère.

On appelle **nébulosité** la fraction du ciel occultée par les nuages. Elle s'exprime en huitième de ciel couvert, que l'on nomme **octa**. Dans les messages aéronautiques, on distingue cinq niveaux pour la couche nuageuse :

- **SKC** : ciel clair (sky clear) (0 octa),
- **FEW** : nuages rares (1 à 2 octas),
- **SCT** : nuages épars (scattered) (3 à 4 octas),
- **BKN** : couche nuageuse fragmentée (broken) (5 à 7 octas),
- **OVC** : ciel couvert (overcast) (8 octas).

Les nuages sont classés et nommés en fonction de leur **forme** et de la **hauteur** à laquelle ils se trouvent.

On distingue deux grandes catégories quant à la forme :

- **Nuages en voile, soudés, étalés en couches compactes superposées**, couvrant ou non la totalité du ciel : leur nom se termine par... **stratus**,
- **Nuages isolés, séparés les uns des autres, d'un aspect cotonneux** ou « chou-fleur » : leur nom se termine par... **cumulus**.

La première partie du nom des nuages permet d'avoir un ordre de grandeur de la hauteur à laquelle se trouve leur base. **On distingue trois catégories quant à l'altitude :**

- **Nuages élevés**, dont la base se trouve à plus de 6000 m : les cirrus ou début du nom en « **cirro** »...
- **Nuages moyens**, entre 2000 m et 6000 m de hauteur : leur nom commence par « **alto** »...
- **Les nuages bas**, qui se situent entre le sol et 2000 m de hauteur ne possèdent pas de préfixe.

**Exemple**

- Un cirro-cumulus est un nuage élevé (plus de 6000 m) de forme cotonneuse ; un altostratus est un nuage en forme de couche soudée se trouvant à une hauteur moyenne, etc.

Toutefois certains nuages échappent à cette règle : le **strato-cumulus**, le **nimbo-stratus** et le **cumulo-nimbus**.