

### Plus lourds que l'air (Aérodynes)

#### Non motorisés

- Modèles réduits
- Cerfs-volants
- Planeurs ultra légers (*PUL*)
  - parachutes
  - parapentes
  - deltaplanes
- Planeurs



#### Motorisés

- Modèles réduits

#### A voilure fixe

- Avions
- Ultra légers motorisés (*ULM*)

Multi-axes



pendulaires



paramoteurs



#### A voilure tournante (giravions)

- Autogires
- Hélicoptères
- Hybrides



### Plus légers que l'air (Aérostats)

#### Ballons

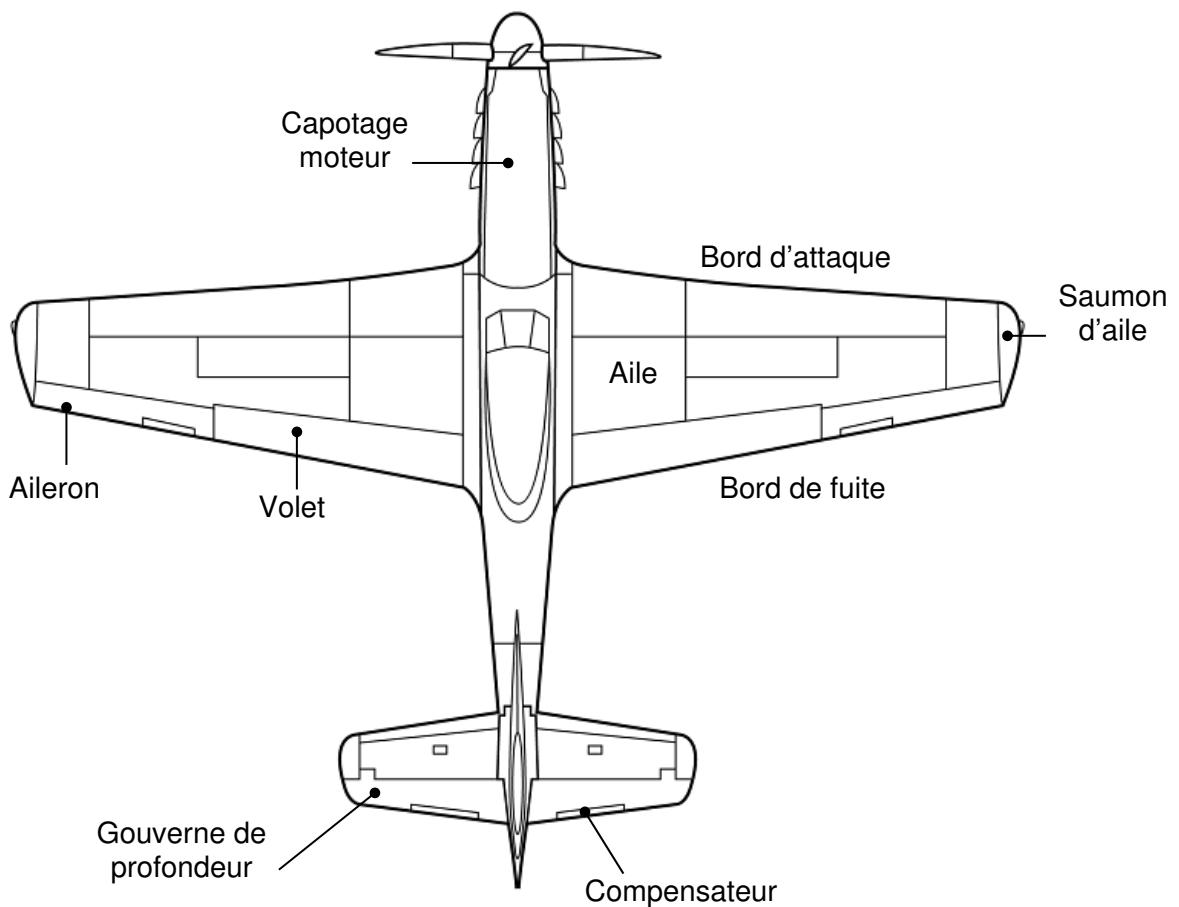
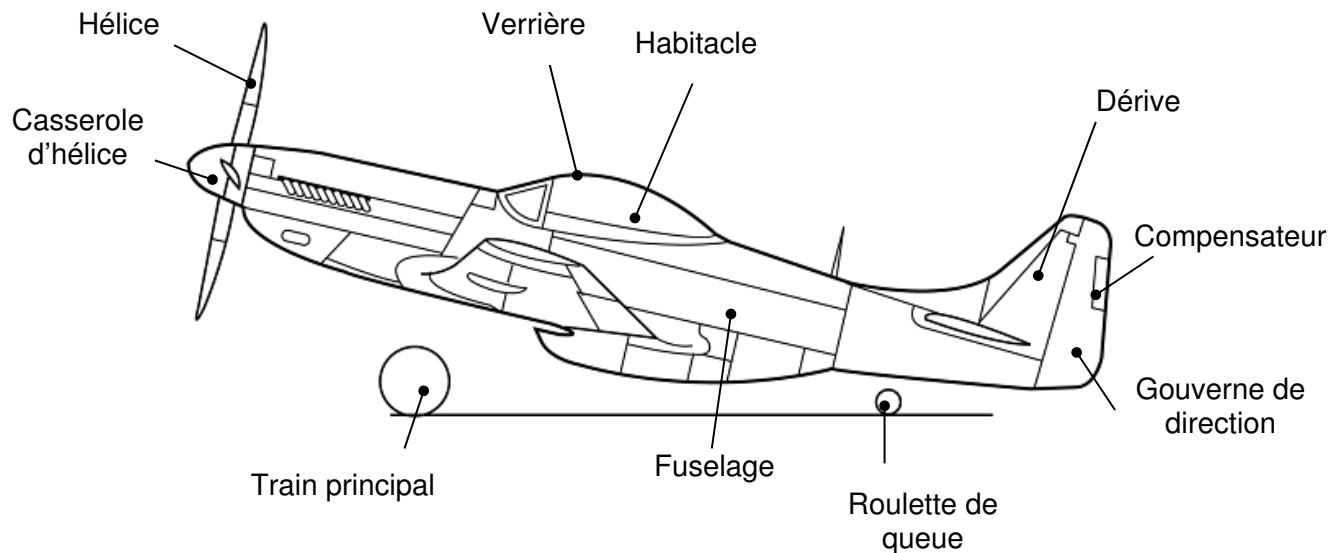
- Captifs ou libres
- À air chaud
- À gaz (hélium)



#### Dirigeables

- À structure souple ou rigide
- Propulsés





## La voilure



La voilure est constituée de **deux ailes** ancrées sur le fuselage. Elles génèrent une force aérodynamique portante qui permet la sustentation de l'aéronef.

En fonction de la façon dont elle est ancrée sur le fuselage elle est dite :

**Aile haute**



**Aile médiane**



**Aile basse**



On peut y loger une partie du carburant.

On y ancre : un des ensembles de gouvernes : les ailerons  
Si nécessaire : les dispositifs hypersustentateurs (becs et volets),  
les aérofreins,  
les moteurs,  
le train d'atterrissement.

Ses **différentes parties** sont :

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| <i>l'emplanture</i> :      | partie qui assure la jonction avec le fuselage |
| <i>le saumon</i> :         | partie la plus extérieure de l'aile            |
| <i>l'extrados</i> :        | partie supérieure de l'aile                    |
| <i>l'intrados</i> :        | partie inférieure de l'aile                    |
| <i>le bord d'attaque</i> : | partie avant de l'aile                         |
| <i>le bord de fuite</i> :  | partie arrière de l'aile                       |

Elle peut avoir un **dièdre** :

**positif** si le saumon est plus haut que l'emplanture    **négatif** dans le cas contraire



Elle est de **forme** et de **profil** très variables.

Pour les formes on citera les ailes rectangulaires, trapézoïdales, elliptiques, en flèche, delta, à géométrie variable ...

Pour les profils on citera les profils plan-convexes, biconvexes, creux, à double courbure, super critiques ...

Il a existé des voitures biplan et triplan.





Leur fonction principale est de supporter deux des trois ensembles de gouvernes de l'avion.

### **Empennage vertical**

Il se trouve à l'arrière du fuselage.

Il se compose d'un plan fixe (dérive) et de la gouverne de direction.

### **Empennage horizontal**

Il se trouve le plus souvent à l'arrière du fuselage. Il est quelquefois sur l'empennage vertical et dans ce cas on parlera d'empennage :



**cruciforme** lorsqu'il est au milieu



**en T** s'il est au sommet

Il se compose d'un plan fixe et de la gouverne de profondeur.

Sur certains avions, il est constitué d'une seule surface entièrement mobile; on dit alors qu'il est "monobloc".

Lorsque l'empennage horizontal est placé à l'avant de l'appareil, on parle d'une formule "canard".



### **Empennage papillon**

Deux surfaces obliques remplacent les empennages traditionnels et assurent de manière combinée les fonctions de gouverne de profondeur et de direction.



## Le train d'atterrissage



Il permet à un avion de quitter et de retrouver le sol "en douceur".

Il peut être fixe ou rentrant. Il est constitué de roues, de flotteurs, de skis ou de patins.

### Il se compose :

- d'un **train principal** :  
les roues des avions légers sont en général sous les ailes.  
les roues des gros porteurs sont en général sous le fuselage.
- d'un **train auxiliaire** pouvant consister en :

une roulette de nez :

**train tricycle**



une roulette de queue :

**train classique**



Dans les deux cas, la roulette commandée par les palonniers permet de diriger l'avion au sol.

Certains avions n'ont qu'un train principal situé sous le fuselage, il est alors appelé monotrace. L'équilibre latéral est dans ce cas assuré par des balancines situées en bout d'ailes.

### En fonction de la charge à supporter on utilisera :

une roue simple



un diabolo



un bogie



Le train est en général monté sur des dispositifs **amortisseurs** destinés à absorber l'impact à l'atterrissement.

Les **freins** sont disposés sur le train principal. La commande des freins est le plus souvent montée sur les palonniers.

## Les gouvernes

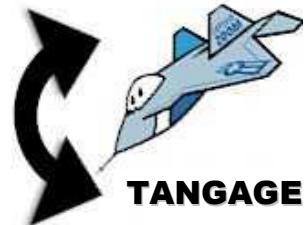


Une gouverne est une **surface mobile** située sur certains éléments de structure (voilure, empennages), permettant de créer les forces nécessaires pour **modifier l'attitude** de l'avion.

### La gouverne de profondeur

Elle est située sur l'empennage horizontal.

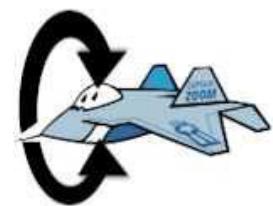
Elle permet le contrôle en **tangage** (modification de l'assiette)



### Les ailerons

Ils sont situés à l'extrémité de chaque aile.

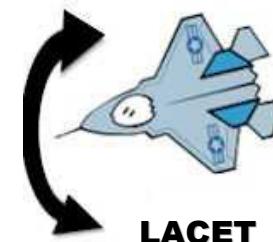
Ils permettent le contrôle en **roulis** (modification de l'inclinaison)



### La gouverne de direction

Elle est située sur l'empennage vertical.

Elle permet le contrôle en **lacet**.



**DIRECTION**

**AILERONS**

### PROFONDEUR

### Compensateur

C'est une petite surface qui s'apparente à une mini-gouverne placée à l'extrémité de la gouverne principale. Elle est réglable du cockpit à l'aide d'un volant.

Son rôle est d'annuler l'effort aux commandes produit lors d'un changement de trajectoire.



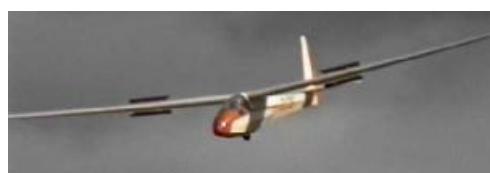
### Gouvernes secondaires



### Becs et Volets

Ils permettent de voler à basse vitesse pour les besoins de l'atterrissement et du décollage.

Pour maintenir la portance constante, la diminution de vitesse est compensée par une augmentation de la surface alaire et/ou une augmentation de la courbure



### Aérofreins/Spoilers

En vol, ils permettent de diminuer la vitesse et d'augmenter le taux de chute.

Au sol, ils contribuent au freinage afin de diminuer la longueur de roulement.

Situées dans le **poste de pilotage** elles permettent d'**actionner** les gouvernes.

### Le manche à balais (souvent un volant)

Se manipule avec les mains.

#### → Action latérale (droite - gauche)

##### Le **braquage du manche à droite**

commande le mouvement :

- de l'aile droit vers le haut
- de l'aile gauche vers le bas

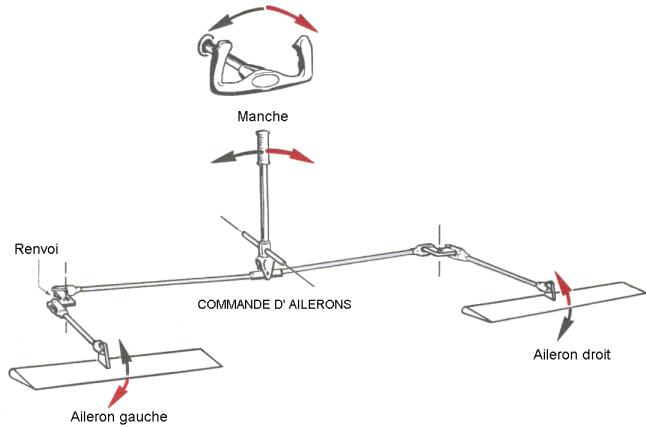
⇒ **inclinaison à droite**

##### Le **braquage du manche à gauche**

commande le mouvement :

- de l'aile droit vers le bas
- de l'aile gauche vers le haut

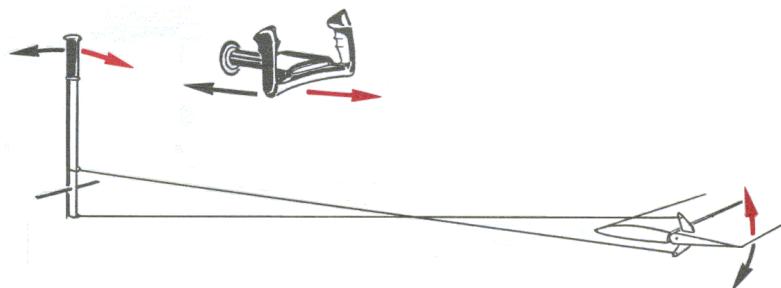
⇒ **inclinaison à gauche**



#### → Action longitudinale (avant - arrière)

Le **braquage du manche vers l'avant** commande le mouvement de la gouverne de profondeur vers le bas. Ceci entraîne une **modification de l'assiette à piquer**.

Le **braquage du manche vers l'arrière** commande le mouvement de la gouverne de profondeur vers le haut. Ceci entraîne une **modification de l'assiette à cabrer**.

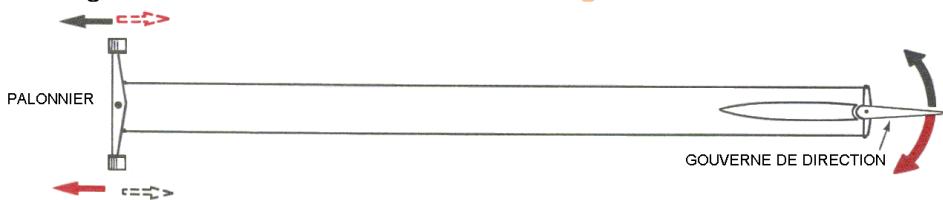


### Le palonnier

Se manipule avec les pieds. Action latérale (droite, gauche).

Le **braquage du palonnier vers la droite** commande le mouvement de la gouverne de direction vers la droite. Ceci entraîne une **rotation à droite autour de l'axe de lacet**.

Le **braquage du palonnier vers la gauche** commande le mouvement de la gouverne de direction vers la gauche. Ceci entraîne une **rotation à gauche autour de l'axe de lacet**.



### Transmission des consignes de pilotage

- Transmission mécanique (Souples par câbles, poulies, renvois et guignols, ou rigides, par tubes, renvois et guignols).
- Transmission électrique. C'est celle qu'utilisent les Airbus.

### Bois, toiles et dérivés

#### **Bois**

Principalement utilisés dans les débuts de l'aviation.

Encore utilisés dans l'aviation légère.

Les essences sont choisies en fonction de leurs caractéristiques :

pièces maîtresses : spruce et épicéa.

pièces secondaires : sapin et pin d'orégon.

patins, fixation de trains : frêne et hêtre.

**Toiles** : Lin et coton dans les débuts, dacron aujourd'hui.



### Métaux

Zicral , Duralinox, Aciers, Alliages de Magnésium, Alliages de Titane, Monel, Duralumin, Alpax



### Résines

Produits liquides constitués d'une "base" et d'un "durcisseur" qui, mélangés en proportion adéquate, permettent un durcissement irréversible sous certaines conditions de température.

### Tissus de fibre

Tissus réalisé à partie de fibres de verre, carbone ou bore.

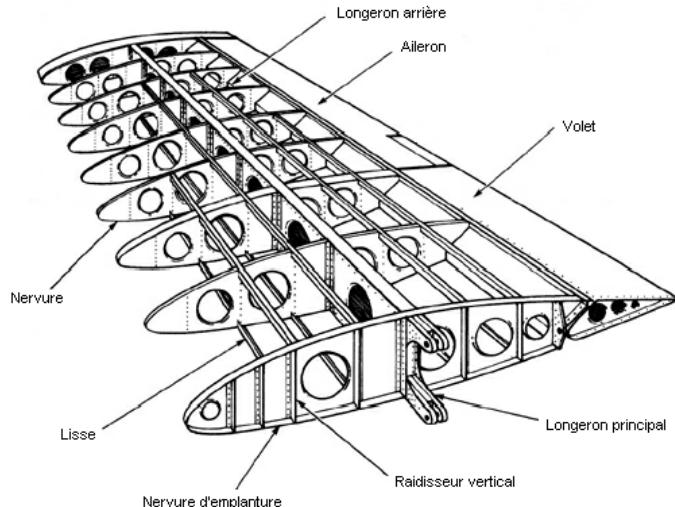
### Matériaux composites

On désigne sous ce nom des matériaux constitués par l'assemblage de matériaux de base (résines et tissus de fibres). On obtient ainsi des propriétés mécaniques et physiques performantes.



### Construction d'une aile

Longerons et nervures constituent le squelette de la voilure, sur lequel est fixé le revêtement.



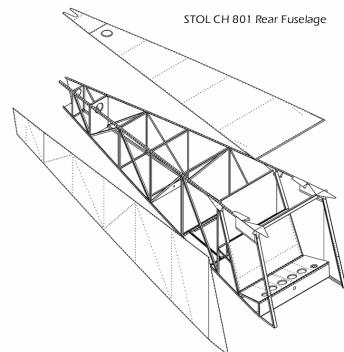
### Construction du fuselage

#### Treillis :

Il s'agit de "longerons" assemblés entre eux par des "traverses" pour donner la forme souhaitée. Ces poutres, longerons, traverses et entretoises peuvent être en bois et dans ce cas ils seront collés, ou métalliques et là ils seront soudés.

Le revêtement est souple (toile ou tôle mince).

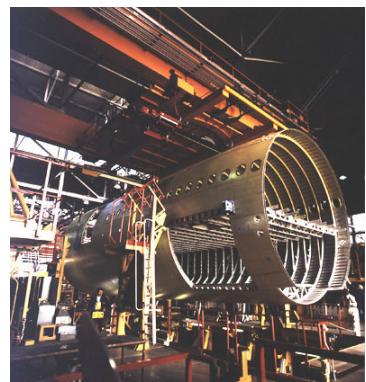
Il est non travaillant.



#### Caisson semi-monocoque :

Il s'agit de "cadres" assemblés entre eux par des "longerons" et agrémentés de "lisses" pour donner la forme souhaitée. Les cadres absorbent les efforts de torsion, les longerons ceux de flexion.

Le revêtement préalablement mis en forme, est vissé ou riveté sur cette coque et participe à la transmission des efforts. Il est travaillant.



#### Caisson monocoque :

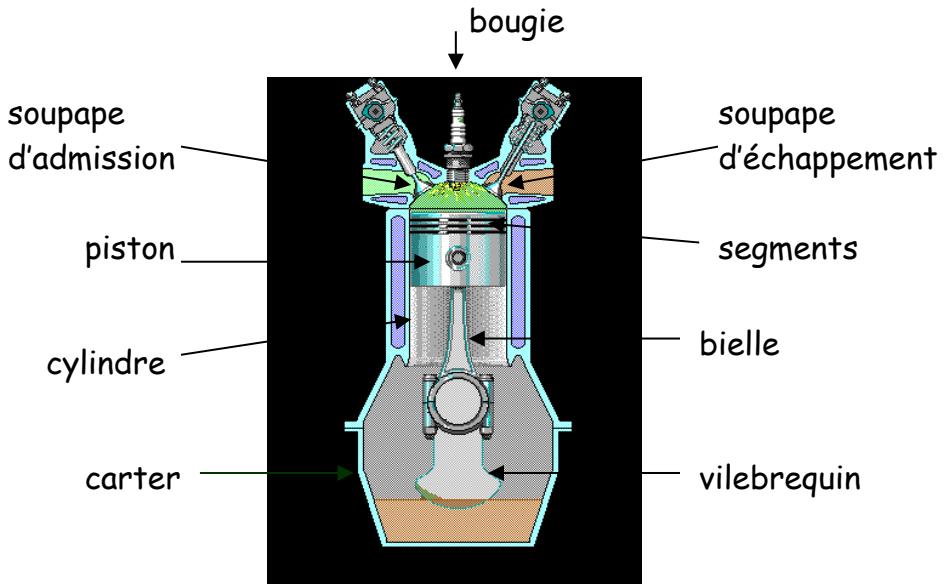
Il n'y a plus de longerons ni de lisses.

Le revêtement est directement vissé ou riveté sur les cadres et participe à la transmission et à l'absorption des efforts.

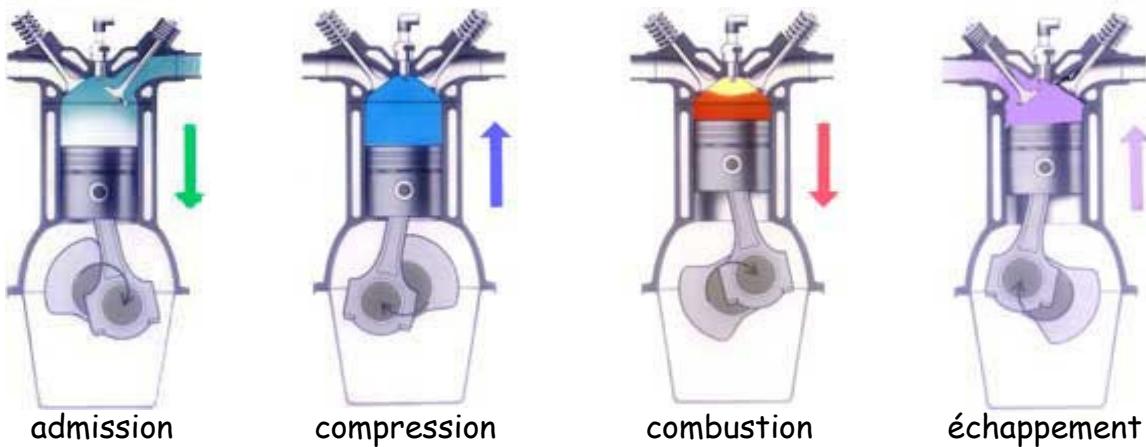
## Le moteur à pistons



### Description :

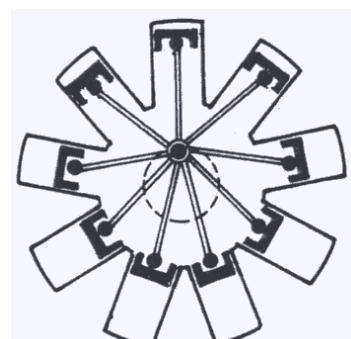
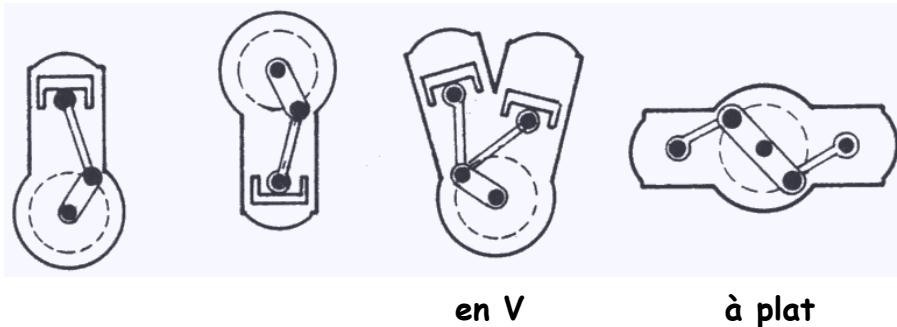


### Fonctionnement :



### Montage des cylindres :

Très varié...



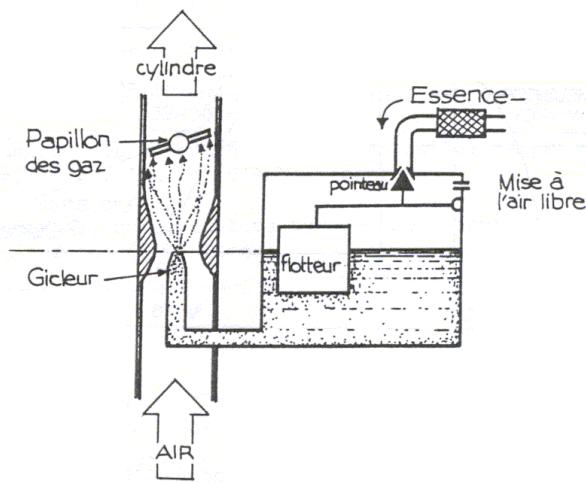
### **Alimentation en carburant :**

Pour que l'essence parvienne des réservoirs jusqu'au dispositif de mélange, on utilise une pompe mécanique entraînée par le moteur, doublée d'une pompe électrique de secours.

### **Elaboration du mélange air-essence :**

Deux procédés sont utilisés pour produire un mélange air – essence qui permette l'inflammation dans les cylindres :

- l'**injection**, qui consiste à injecter de très fines gouttelettes (brumisation) d'essence dans la canal d'admission vers les cylindres, en amont de la soupape d'admission.
- la **carburation**, qui assure l'élaboration du mélange air – essence dans le carburateur, avant son admission dans les cylindres.



Le carburateur est sujet au **givrage**, qui peut obstruer complètement le conduit d'admission du mélange air – essence, et provoquer l'arrêt du moteur.

Pour éviter le givrage lorsque le risque d'apparition existe, il faut actionner le **réchauffage carburateur**. L'air extérieur est alors préalablement réchauffé par circulation autour de l'échappement pour arriver au carburateur avec une température d'environ 50°C.

La commande qui permet de faire varier la pression du mélange air – essence entrant dans les cylindres est la **manette des gaz**.

Le taux du mélange air – essence est réglé à l'aide de la commande de **richesse**.

### **Allumage :**

Production d'une étincelle permettant de démarrer la combustion du mélange.

Il est réalisé par une **bougie** alimentée par une **magnéto**.

Il est quasiment toujours doublé (2 bougies par cylindre).

### **Servitudes :**

En opération normale, le moteur entraîne les dispositifs de production des énergies et éléments de confort nécessaires.

**Energie électrique** Alternateurs divers.

**Energie hydraulique** Pompes haute pression diverses.

**Energie pneumatique** Pompes à vide.

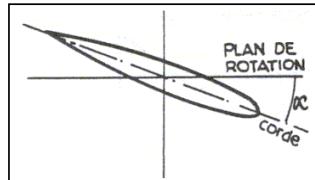
**Climatisation et pressurisation**



C'est un dispositif qui permet de transformer l'énergie mécanique fournie par le moteur en une force tractive ou propulsive directement utilisable par l'avion pour se déplacer.

### Elle est constituée :

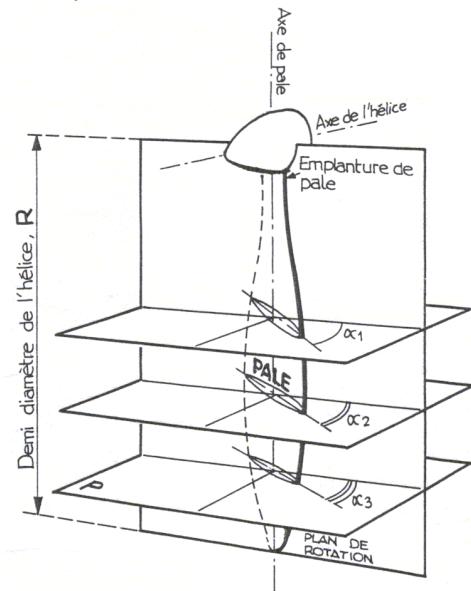
D'un moyeu centré sur l'arbre de sortie du moteur,  
De deux ou plusieurs pales fixées sur le moyeu.



On appelle **Pas** la distance parcourue par l'hélice le long de son axe de rotation en un tour.

On appelle **Calage** l'angle formé par la corde de l'un des profils et le plan de rotation de l'hélice.

La pale étant vrillée, par convention on dit que le **calage** est celui du profil se situant à **70%** du rayon maximum.

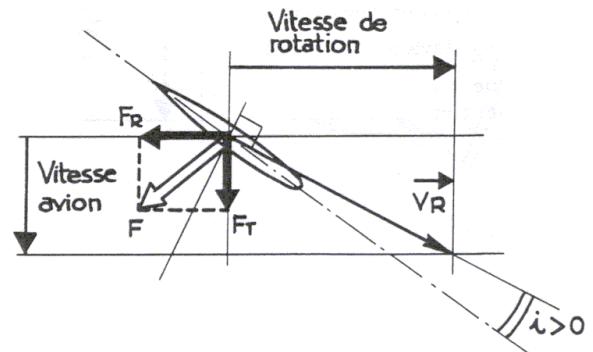


### Fonctionnement :

Le fonctionnement de l'hélice est tout à fait analogue à celui d'une aile d'avion.

Le vent relatif  $V_R$  issu :

- du déplacement de l'avion (**Vitesse avion**)
  - de la rotation de l'hélice (**Vitesse de rotation**)
- crée sur chaque pâle une force aérodynamique  $F$  qui se décompose :
- en traction  $F_T$
  - en traînée  $F_R$



Dans le cas du vol stabilisé, la traction de l'hélice équilibre la traînée de l'avion, et le couple résistant de l'hélice équilibre le couple du moteur.

### Hélice à calage variable (ou pas variable) :

Un avion devant pouvoir évoluer sur une plage de vitesses assez étendue, il est nécessaire de faire varier l'angle de calage des pales de l'hélice afin de maintenir le régime moteur optimal.

A chaque régime de vol correspondra donc un pas approprié.

- Décollage : **petit pas**.
- Croisière : **grand pas** adapté au régime de vol.
- Panne moteur ou vol à voile : **drapeau**.
- A l'atterrissage, après le poser des roues : **revers**.



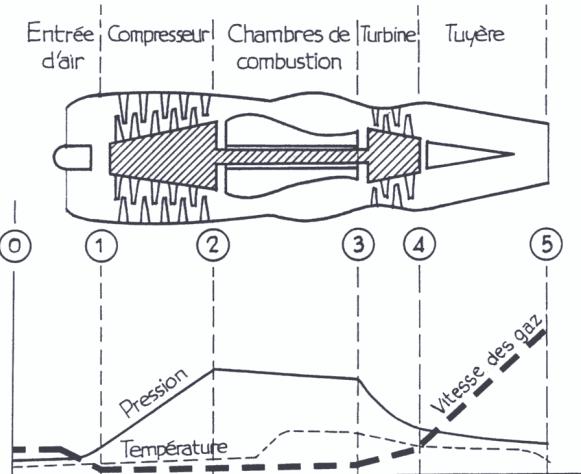
Elles utilisent l'éjection à grande vitesse des gaz de combustion soit :

- Dans une direction appropriée (turboréacteurs).
- Sur des turbines pour en récupérer l'énergie (turbopropulseurs et turbomoteurs).

### Turboréacteur



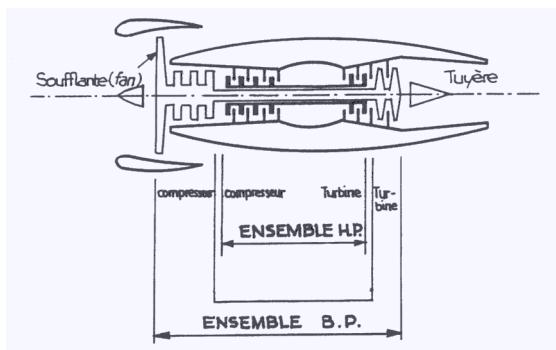
### Description :



### Différents types :

**Simple flux** : Un, deux ou trois corps ou étages.  
Avec ou sans Post-combustion

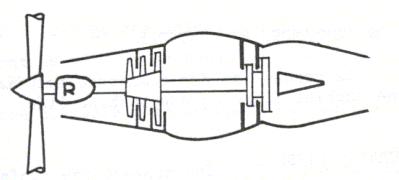
### **Double flux** :



### Turbopropulseur

C'est un turboréacteur dont la turbine du second étage est conçue pour récupérer le maximum de l'énergie des gaz de combustion sous forme de couple.

Ce couple est transmis à une **hélice** au moyen d'un réducteur permettant la réduction de la vitesse de rotation.



### Turbomoteur

Utilisé sur les hélicoptères.

C'est un turbopropulseur dont le réducteur entraîne non plus l'hélice mais une boîte de transmission commandant à la fois le rotor principal et le rotor anticinglage.

L'anémomètre, que l'on appelle plus communément **badin**, nom de son inventeur, indique la vitesse de l'aéronef par rapport à l'air qui l'entoure.

Elle est exprimée en **nœuds** (un **mile nautique par heure**) ou en **kilomètres par heure**.

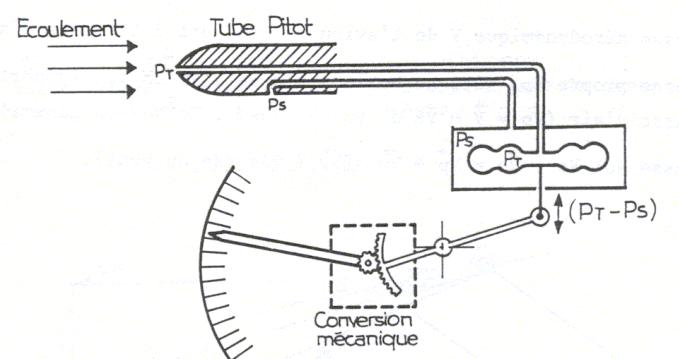


Il comporte des arcs de couleur qui correspondent à des vitesses caractéristiques :

- Arc blanc** : zone d'utilisation des volets, allant de la vitesse de décrochage volets sortis à la **VFE**, vitesse maximale d'utilisation des volets.
- Arc vert** : vitesses normales d'utilisation, allant de la vitesse de décrochage en lisse à la **VNO**, vitesse à ne pas dépasser en atmosphère turbulente.
- Arc jaune** : vitesses à ne pas utiliser en atmosphère turbulente, allant de la **VNO** à la **VNE**, vitesse maximum à ne jamais dépasser (**trait rouge**).

#### Principe :

Il mesure la différence entre la pression totale **P<sub>T</sub>** et la pression statique **P<sub>S</sub>** et la convertit en vitesse.



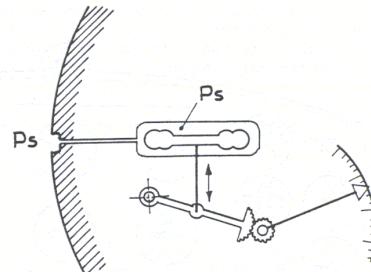
## L'altimètre, le variomètre



### L'altimètre

L'altimètre indique l'altitude en **pieds** (ft) ou en **mètres**. *Rappel : 1 ft ~ 0.3 m.*

La grande aiguille indique les centaines de pieds, la petite les milliers de pieds.



#### Principe :

Il mesure la pression atmosphérique aux environs de l'aéronef : c'est la pression statique **Ps**. On sait que celle-ci diminue suivant une loi théorique précise en fonction de l'augmentation d'altitude. Il suffit donc de graduer l'indicateur qui rend compte de cette variation en unité d'altitude.

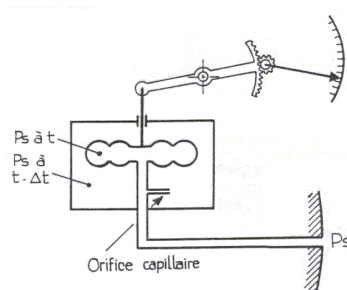
L'altimètre fonctionne par rapport à une référence de pression atmosphérique que le pilote affiche dans la petite fenêtre à l'aide de la molette.

#### Les différentes références altimétriques

- **Le niveau de la mer (calage QNH) :** l'altimètre mesure une **altitude**.
- **La piste (calage QFE) :** l'altimètre mesure une **hauteur** par rapport à l'aérodrome.
- **La pression 1013,25 hPa (calage standard) :** l'altimètre mesure un **niveau de vol**.

### Le variomètre

Le variomètre indique une vitesse verticale de montée ou de descente en **pieds par minute** (ft/mn) ou **mètres par seconde** (m/s).



#### Principe :

Il mesure la différence entre la pression atmosphérique aux environs de l'aéronef à l'instant t et celle de l'instant  $t - \Delta t$ .

Ces deux pressions sont disponibles dans l'avion, ce sont :

la pression statique instantanée **Ps**.

la pression statique à l'instant  $t - \Delta t$  mise «en mémoire».

### L'horizon artificiel:

Il restitue la position de l'**horizon naturel** lorsque celui-ci n'est pas visible (**vol de nuit et dans les nuages**).

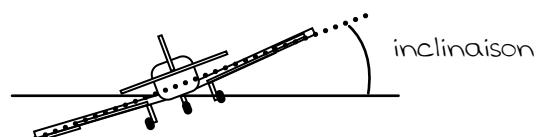
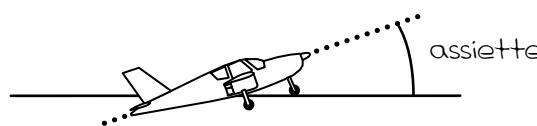
Il devient alors possible de contrôler l'attitude de l'avion par une parfaite similitude avec le vol à vue.

Il est constitué d'une :

- **maquette** centrale qui représente l'avion
- sphère intérieure sur laquelle figure la ligne d'horizon en blanc, le **ciel en bleu**, et la **terre en marron**.
- couronne sur laquelle figurent des traits correspondant aux valeurs de l'inclinaison : 10°, 20°, 30°, 60°, 90°.

Lors d'un mouvement de l'avion, c'est l'ensemble avion - maquette qui se déplace autour de la sphère + couronne, ces dernières étant rendues fixes dans l'espace par la toupie d'un **gyroscope**.

Les pilotes disposent donc d'informations sur l'**assiette** et sur l'**inclinaison** de l'avion par simple lecture de l'horizon artificiel.



10° d'assiette à cabrer et  
5° d'inclinaison à gauche

### L'indicateur de virage / la bille :

**L'indicateur de virage** indique le **sens** et le **taux du virage**. Il est associé à un **gyroscope** dont la référence est la verticale.

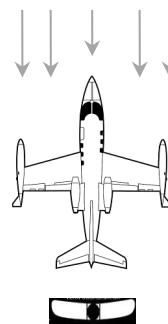
Lorsque la maquette avion est positionnée sur le trait L ou R, l'avion vire au **taux 1**, soit **180°/mn**.

**La bille** est constituée d'une bille métallique enfermée dans un tube en verre incurvé vers le bas et rempli d'un liquide amortisseur.

Elle rend compte de la **symétrie du vol**.



Bille centrée, l'écoulement de l'air est **symétrique** par rapport à l'axe longitudinal de l'avion.



Si la bille s'écarte de sa position centrale,  
l'avion est en **dérapage**.



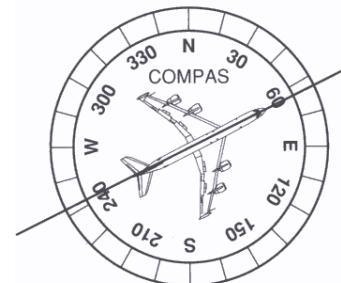
La symétrie du vol se contrôle avec la gouverne de direction, en poussant la **pédale de palonnier** du côté vers lequel s'écarte la bille.

### Le compas

Il s'agit d'une boussole qui permet de mesurer l'orientation de l'avion par rapport au Nord magnétique (**Cap magnétique**).



Cap 133



Il se compose d'un plateau circulaire gradué de 0 à 360°, associé à un aimant orienté sur l'axe Nord-Sud. L'ensemble est posé sur un pivot et baigne dans un liquide amortisseur qui limite les oscillations.

La lecture s'effectue en **dizaine de degrés** et certaines directions particulières sont repérées par des lettres :

- N pour le Nord (360°)
- E pour l'Est (90°)
- S pour le Sud (180°)
- W pour l'Ouest (270°)

Il présente des imprécisions gênantes en virage, en accélération, ou en décélération. Pour être exploité, il doit être lu en ligne droite, à vitesse à peu près constante.

### Le conservateur de cap, ou directionnel

Il donne également le **cap magnétique** et permet de s'affranchir des erreurs du compas dues aux conditions de vol.



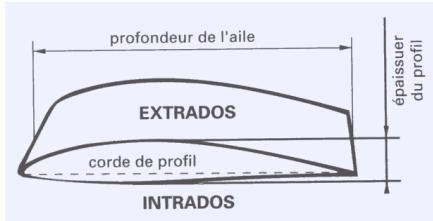
Cap 327

Cependant, au bout d'un certain temps, le **gyroscope** du directionnel perd sa référence d'orientation. Il faut donc périodiquement (tous les quarts d'heure) recaler le directionnel sur la référence du compas, à l'aide de la molette. Cette opération s'effectue en ligne droite et à vitesse à peu près constante.

... grâce à leurs ailes !



### Caractéristiques de l'aile :



- Profil :* Coupe verticale de l'aile  
*Corde de profil :* Ligne joignant le bord d'attaque au bord de fuite  
*Profondeur :* Longueur de la corde de profil  
*Epaisseur :* Distance maximum entre l'extrados et l'intrados

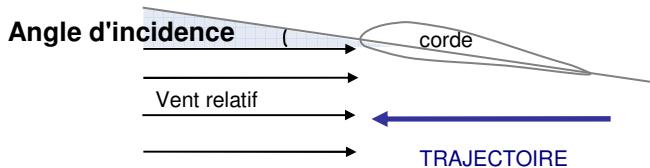
*Envergure :* Distance entre les extrémités des deux ailes

$$\text{Allongement} = \frac{\text{Envergure}}{\text{Profondeur moyenne}}$$

*Surface alaire :* Surface totale de la voilure, y compris celle qui traverse le fuselage.

### L'angle d'incidence

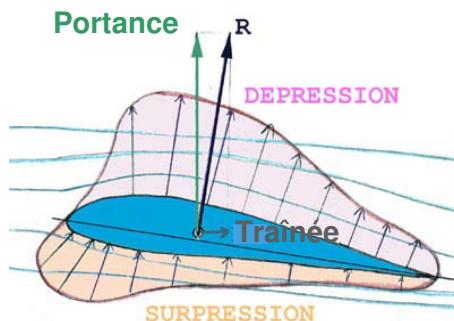
C'est l'angle compris entre la *corde de profil* de l'aile et la trajectoire.



### Les forces aérodynamiques

Lorsque l'aéronef se déplace, l'air s'accumule sous les ailes et provoque une pression qui va **pousser les ailes vers le haut**. Par ailleurs, un "manque d'air" (dépression) va se produire sur le dessus des ailes. Cette dépression va **aspirer l'aile vers le haut**.

La force ainsi générée par l'écoulement de l'air autour du profil d'aile s'appelle la **résultante aérodynamique (R)**.



La résultante aérodynamique pousse l'aile vers le haut et vers l'arrière en même temps.  
 On peut donc la décomposer en 2 forces :

la **portance**,  
 qui "porte" l'avion vers le haut

la **traînée**,  
 qui s'oppose au déplacement de l'avion

$$\text{portance} = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z$$

$$\text{traînée} = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x$$

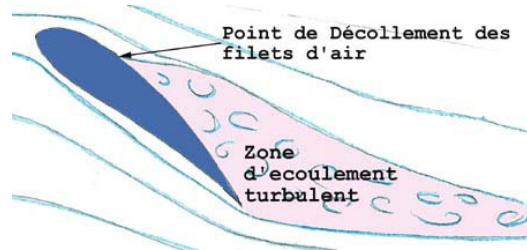
où  $\rho$  est la **masse volumique de l'air**,  $S$  la **surface alaire**,  $V$  la **vitesse** de l'aéronef,  
 $C_z$  et  $C_x$  des coefficients caractéristiques du profil.

## Le décrochage :

Si l'on incline l'aile au-delà d'un certain angle (**incidence** d'environ 18°), l'écoulement de l'air devient tourbillonnaire sur l'extrados car les filets n'ont plus suffisamment d'énergie pour coller au profil de l'aile.

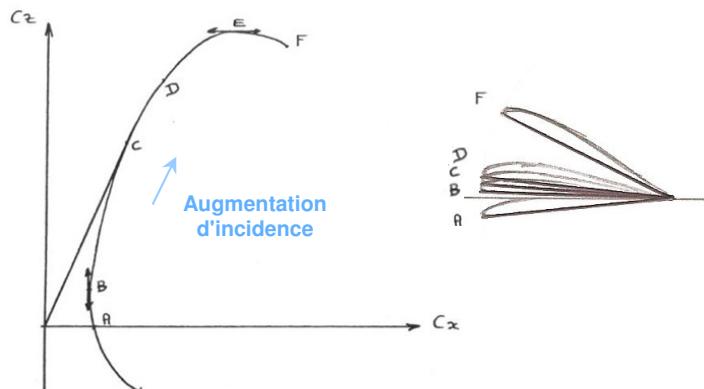
Il en résulte une diminution rapide et importante de portance.

C'est le **décrochage**, qui se traduit par un enfoncement de l'avion, ou un basculement de l'avion vers l'avant et éventuellement sur le côté si une aile décroche en premier.



## La polaire :

Elle représente l'évolution des coefficients **C<sub>x</sub>** et **C<sub>z</sub>** avec l'**angle d'incidence**.



- A** : portance nulle
- B** : traînée minimale
- C** : finesse maximale
- D** : vitesse de chute minimale
- E** : portance maximale
- F** : décrochage

## La finesse :

La finesse rend compte de la "capacité à planer" d'un aéronef.

**Finesse = Distance horizontale parcourue en vol plané / Perte de hauteur**

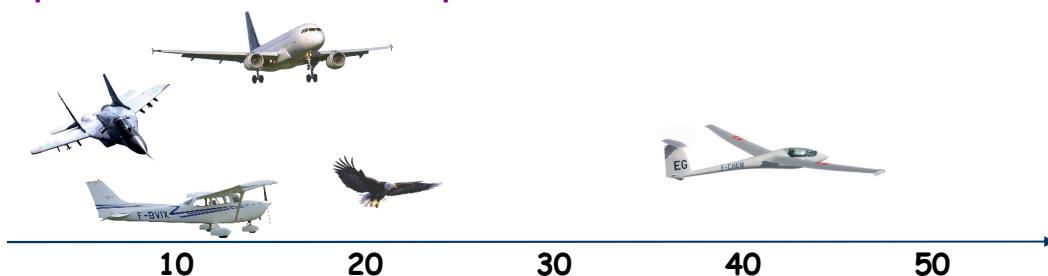
La finesse représente donc "combien de fois" un aéronef peut parcourir sa hauteur.

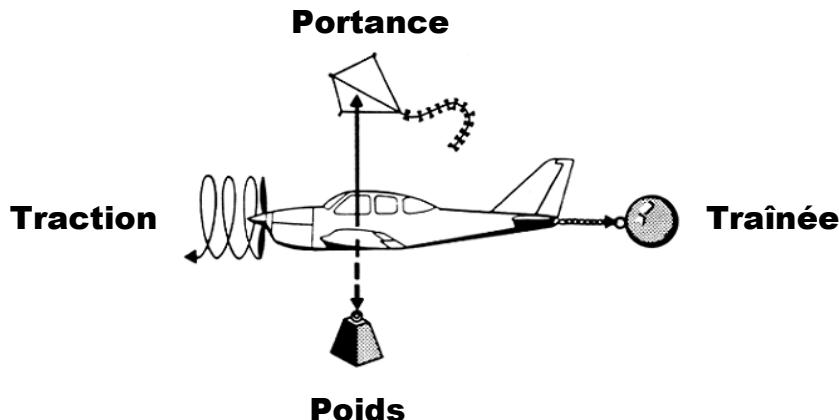
Ex : un planeur de finesse 40 peut parcourir 40 km en perdant 1 km (1000 m) d'altitude.

$$\text{Finesse} = \frac{\text{distance horizontale}}{\text{distance verticale}} = \frac{\text{vitesse horizontale}}{\text{vitesse verticale}} = \frac{\text{portance}}{\text{traînée}} = \frac{C_z}{C_x}$$

Pour chaque aéronef, il existe une seule vitesse pour laquelle la finesse est maximum. Choisir la **vitesse de finesse maximale** permet de parcourir la **plus grande distance** possible.

## Comparaison des finesse en vol plané :

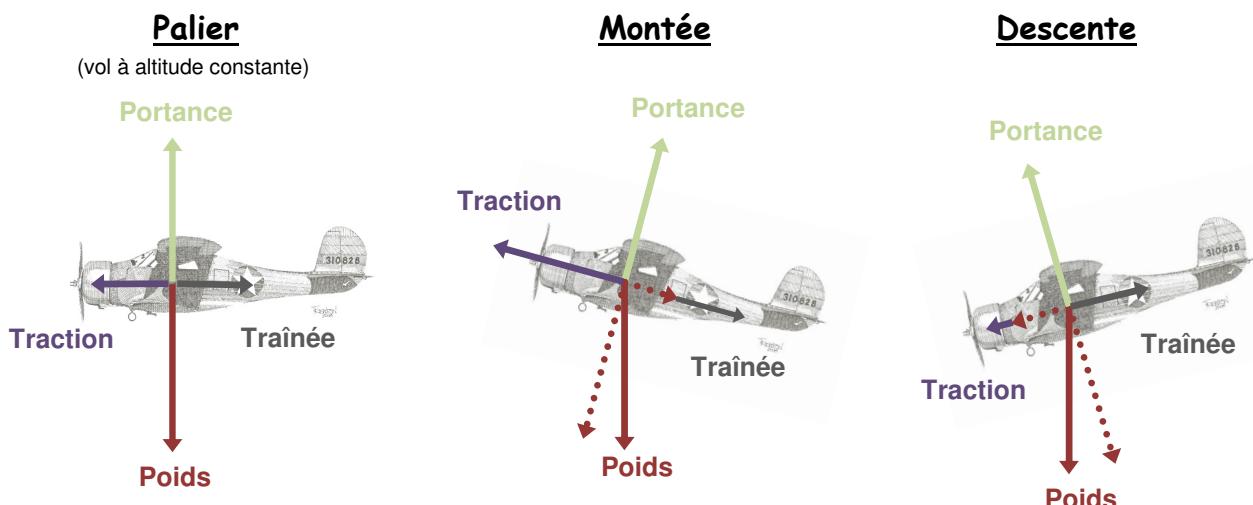




Le vol d'un aéronef est soumis à 4 forces :

- la **traction** (avions à hélice) ou **poussée** (avions à réaction), grâce à laquelle l'avion progresse dans l'air. La manette des gaz permet d'agir sur l'intensité de cette force.
- la **traînée**
- le **poids** de l'aéronef, force verticale orientée vers le bas, appliquée au centre de gravité.
- la **portance**, force perpendiculaire à la trajectoire, appliquée au centre de poussée.

Le point d'application des variations de portance se nomme le **foyer**. Sa position pour un profil donné est fixe et se situe généralement au quart de la corde à partir du bord d'attaque.



### En palier :

La portance équilibre le poids.  
La traction équilibre la traînée.

### En montée :

La portance équilibre la grande composante du poids.  
La traction équilibre la traînée + la petite composante du poids.  
La traction doit donc être plus importante qu'en palier.

### En descente :

La portance équilibre la grande composante du poids.  
La traction + la petite composante du poids équilibrerent la traînée.  
La traction doit donc être moins importante qu'en palier.  
La petite composante du poids peut même remplacer la traction (**vol plané**).

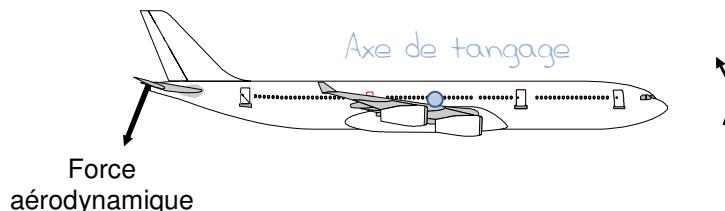
Pour diriger l'avion dans l'espace, on utilise des efforts aérodynamiques créés sur de petites surfaces que l'on appelle **gouvernes** afin de provoquer des rotations sur les 3 axes de l'avion.

## Contrôle du tangage ⇒ Montée / Descente

Il s'effectue en déplaçant le **manche longitudinalement (avant-arrière)**.

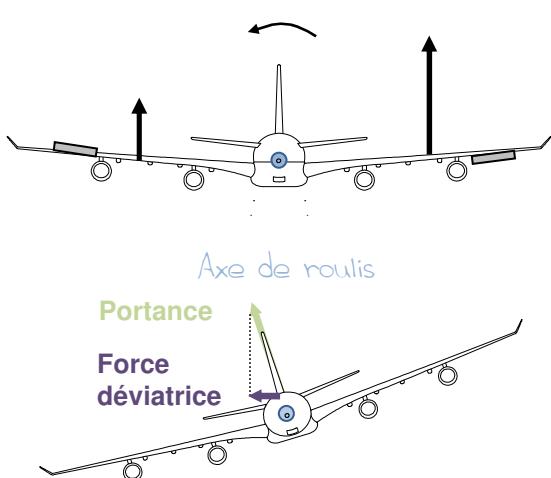
Le **braquage du manche vers l'avant** commande le mouvement de la **gouverne de profondeur** vers le bas. Ceci entraîne une **modification de l'assiette à piquer**.

Le **braquage du manche vers l'arrière** commande le mouvement de la gouverne de profondeur vers le haut. Ceci entraîne une **modification de l'assiette à cabrer**.



Assiette : angle compris entre l'horizontale et l'axe longitudinal de l'avion

## Contrôle du roulis ⇒ Virage



Il s'effectue en déplaçant le **manche latéralement (droite-gauche)**.

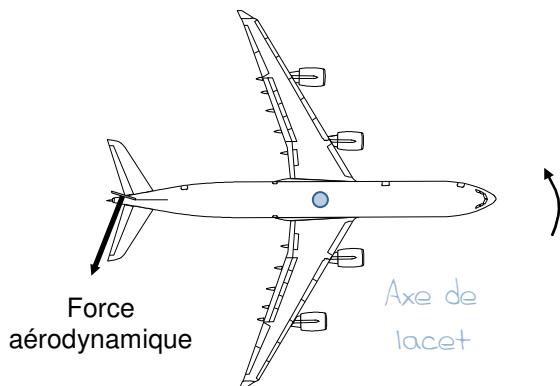
Le **braquage du manche à gauche** commande le mouvement de l'**aileron** gauche vers le haut et de l'aileron droit vers le bas.

La portance de l'aile gauche diminue et la portance de l'aile droite augmente, ce qui provoque une **inclinaison de l'avion vers la gauche**.

Cette inclinaison entraîne un effet secondaire : l'aile droite qui voit sa portance augmenter voit également sa traînée augmenter. Il se produit alors une rotation autour de l'axe de lacet. Le nez part à droite. Une inclinaison sur la gauche engendre donc du lacet à droite. On parle de **lacet inverse**.

Raisonnement inverse pour le **braquage du manche à droite**.

## Contrôle du lacet ⇒ Symétrie du vol



Il s'effectue en manœuvrant les **palonniers** (pédales).

Le **braquage du palonniер vers la gauche** commande le mouvement de la **gouverne de direction** vers la gauche. Ceci entraîne une **rotation à gauche autour de l'axe de lacet**.

Raisonnement inverse pour le **braquage du palonniер vers la droite**.

Lors d'une mise en virage, il est nécessaire de "**mettre du pied**" du côté où l'on tourne afin de compenser le lacet inverse.

Virage à droite = manche + palonniер à droite  
Virage à gauche = manche + palonniер à gauche

## Becs et volets



Becs (bord d'attaque)



Volets (bord de fuite)

Ils permettent de voler à basse vitesse pour les besoins de l'atterrissement et du décollage. Pour maintenir la portance constante, la diminution de vitesse est compensée par une augmentation de la **surface alaire** et/ou une augmentation de la courbure (modification de  $C_x$  et  $C_z$ ).

## Aéofreins / Spoilers



Aéofreins



Spoilers

Les **aéofreins** sont des panneaux encastrés dans la voilure ou le fuselage dont la sortie dans l'écoulement de l'air permet d'augmenter la traînée.

En vol, ils permettent de diminuer la vitesse et d'augmenter le taux de chute.

Au sol, ils contribuent au freinage afin de diminuer la longueur de roulement.

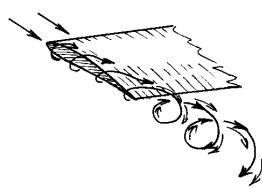
Les **spoilers** sont des panneaux d'extrados dont le braquage peut être symétrique en fonction aéofrein ou dissymétrique en fonction gauchissement (réduction de la portance sur l'aile intérieure au virage).

## Winglets - Réduction des tourbillons marginaux :

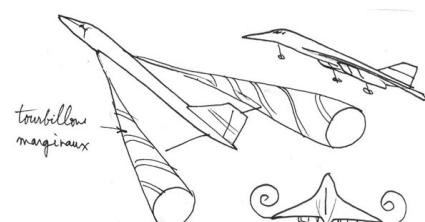


Pour réduire les tourbillons marginaux, on installe en bouts d'ailes des pièces appelées **winglet**.

La **surpression d'intrados** et la **dépression d'extrados** engendrent en bouts d'ailes un mouvement de l'air de l'intrados vers l'extrados.



Cet enroulement intrados/extrados de l'air forme alors les **tourbillons marginaux**, qui génèrent une "traînée induite", ainsi qu'une **turbulence de sillage**.



## Définition

C'est une grandeur qui traduit l'**effort** appliqué à la **structure** de l'aéronef.

Le **facteur de charge** est le rapport entre la charge totale supportée par la structure d'un appareil et le poids réel de cet appareil.

$$\text{Facteur de charge} = \frac{\text{Poids apparent (gravité + forces d'inertie)}}{\text{Poids réel (gravité)}} = \frac{\text{Portance}}{\text{Poids}}$$

Le nombre obtenu est sans unité mais il s'exprime parfois en « **g** ».

Un avion subit un facteur de charge **positif** quand la portance est orientée dans le sens habituel, vers le « **toit** » de l'avion, et **négatif** dans le sens contraire.

En vol rectiligne stabilisé sur le dos, par exemple, le facteur de charge vaut **-1**.

La plupart des avions légers peuvent supporter des facteurs de charge de +4 à -2.  
Les avions de **voltige** sont certifiés pour des facteurs de charge de +6 à -4.

Ces valeurs sont des limites, qui figurent dans le manuel de vol de chaque avion, et au-delà desquelles risquent d'apparaître des déformations permanentes sur la structure de l'avion, voire une rupture de pièces essentielles telles que le longeron.

Le **pilote** et ses passagers subissent le même facteur de charge que l'avion lors d'une évolution.



- facteur de charge **supérieur à 1** : sensation de **tassement**
- facteur de charge **proche de 0** : sensation d'**apesanteur**
- facteur de charge **négatif** : sensation d'être **projeté vers le haut**

## Facteur de charge et vitesse de décrochage

La **vitesse de décrochage** évolue selon la **racine carrée** du facteur de charge.

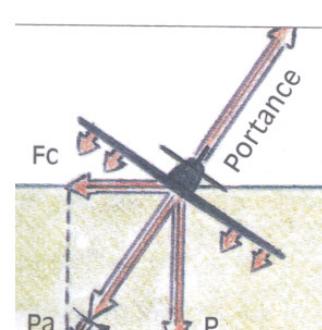
Par exemple, un avion qui décroche à 100 km/h sous 1g, décrochera vers 200 km/h sous 4g.

## Facteur de charge en palier

La portance est égale au poids : le facteur de charge est de **1**.

## Facteur de charge en montée / descente

La portance est inférieure au poids : le facteur de charge est **< 1**



Fc : force centrifuge  
Pa : poids apparent

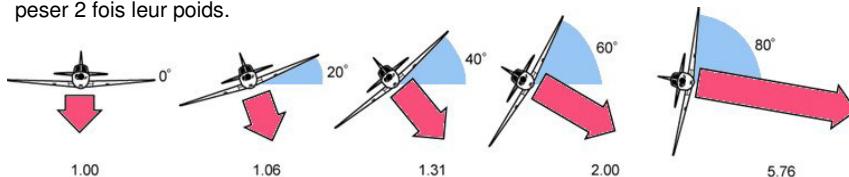
## Facteur de charge en virage

La portance doit augmenter pour maintenir le vol en palier.

Le facteur de charge en virage **augmente avec l'inclinaison**.

Il est égal à  $\frac{1}{\cos(\text{inclinacion})} > 1$ .

Ex : Lors d'un virage à 60° d'inclinaison, le facteur de charge est égal à 2 : la structure de l'appareil doit supporter deux fois le poids de l'avion, et les occupants ont la sensation de peser 2 fois leur poids.



## Facteur de charge en ressource

Dans le cas d'un changement rapide de trajectoire dans le plan vertical, le facteur de charge est d'autant plus important que la **vitesse de l'avion** est grande et que le **rayon de courbure** de la trajectoire est petit.

## Le décollage

Pendant la phase de **roulement**, l'avion **accélère** sur la piste afin d'atteindre une vitesse lui permettant d'assurer sa sustentation par une portance suffisante.

Lorsque la **vitesse de décollage** est atteinte, le pilote effectue la **rotation** pour placer l'avion à l'assiette de montée. Cela augmente la portance par augmentation d'incidence.

L'avion quitte le sol et continue à accélérer vers sa vitesse de montée tout en prenant de l'altitude.

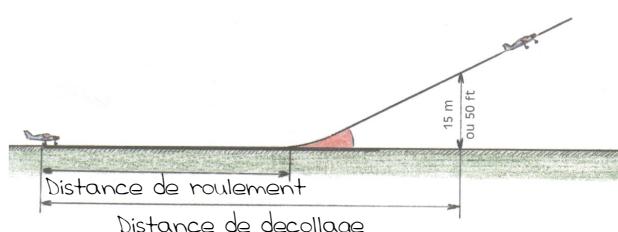
Le décollage se termine au **passage à la hauteur de 15 m** par rapport au sol.



Décollage de l'A340 à La Paz  
(4000 m de hauteur)

Le décollage d'un avion se fait **face au vent** pour décoller sur une distance plus courte. L'utilisation des **volets** permet de diminuer la vitesse nécessaire au décollage.

La longueur de roulage nécessaire au décollage augmente avec l'**altitude** et la **température**.



## L'atterrissement



Atterrissage de l'A380 à Genève

L'avion descend sur une pente **finale** stabilisée à la **vitesse d'atterrissement**.

Près du sol le pilote « **arrondit** » c'est-à-dire qu'il cabre l'avion pour réduire la pente de descente afin de venir tangenter le sol.

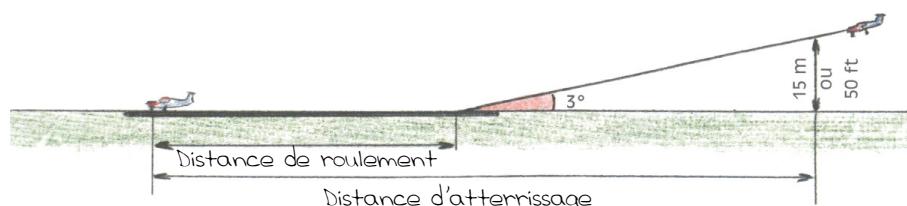
En même temps, il réduit complètement la puissance des moteurs. La vitesse décroît, ce qui réduit doucement la portance.

Le pilote relève le nez de l'avion pour que le **train d'atterrissement principal** prenne contact avec le sol en premier.

Suit la phase de **décélération** qui permet de réduire la vitesse sur la piste avant de dégager vers le parking.

L'atterrissement d'un avion se fait **face au vent** pour atterrir sur une distance plus courte. L'utilisation des pleins **volets** (et si installés les becs) permet de réduire la vitesse d'approche.

La distance d'atterrissement augmente avec l'**altitude** et la **température**.



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



## **Répartition verticale :**

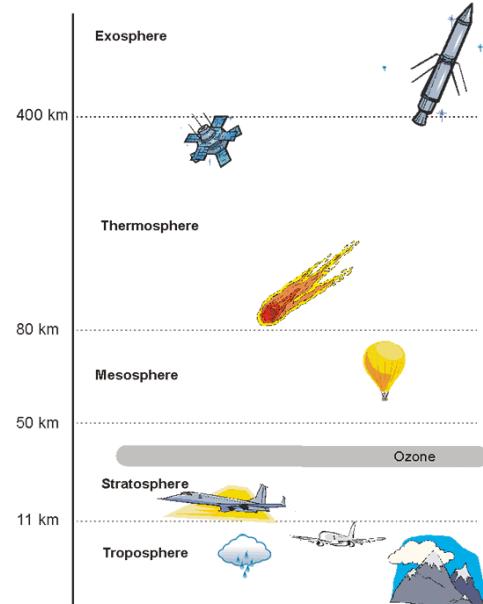
Le gaz se raréfie avec l'altitude.

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

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

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

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



## **Composition :**

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

## **Description :**

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

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

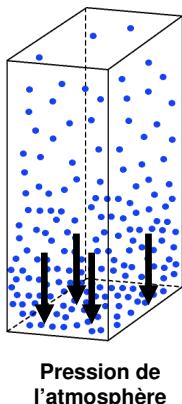
## **Atmosphère standard :**

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

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

Au niveau de la mer, température  $_{std} = 15^{\circ}\text{C}$   
pression  $_{std} = 1013.25 \text{ hPa}$

Colonne d'air



Pression de l'atmosphère

**Def :** Poids de la colonne d'air s'étendant jusqu'à la limite supérieure de l'atmosphère, au dessus d'une surface de 1 m<sup>2</sup>.

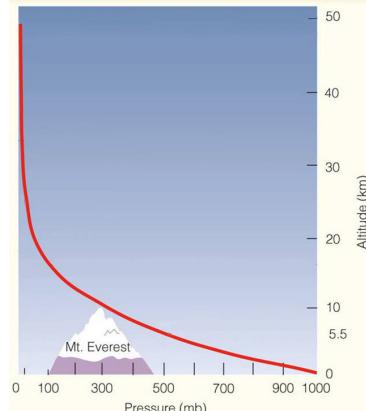
L'unité de mesure est le Pascal. Cependant, en météorologie, on utilise préférentiellement l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa).

### Variations de pression

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

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

1 hPa / 28 ft

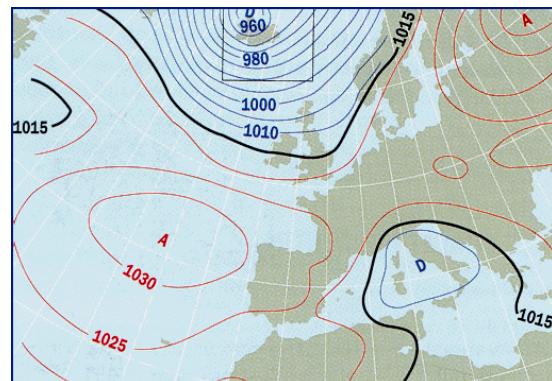


### Champs de pression

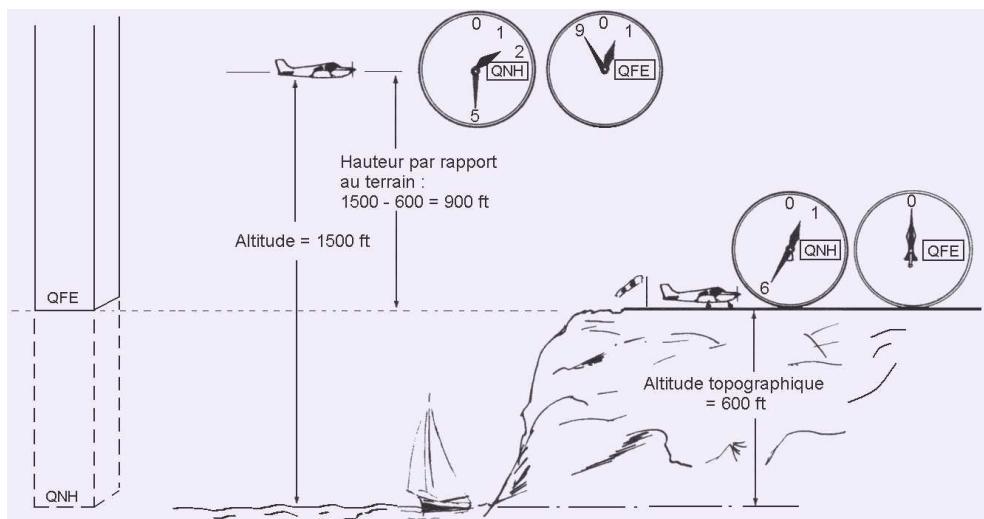
**Anticyclone** : zone de hautes pressions (symbole A ou H)

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

Isobare : ligne reliant les points d'égale pression



### Calages altimétriques



**QFE** : Pression atmosphérique au niveau de l'aérodrome.

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

**QNH** : Pression atmosphérique au niveau de la mer.

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

**1013** : Pression atmosphérique standard au niveau de la mer.

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

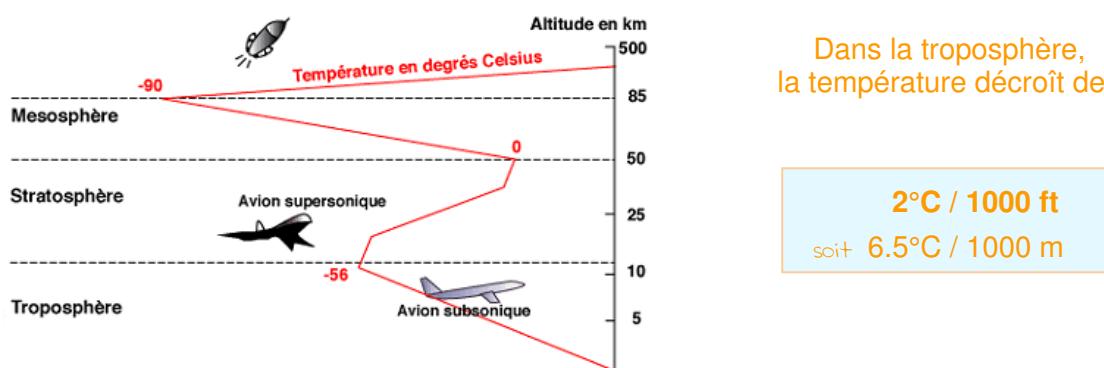
**Def :** Quantité qui caractérise la sensation de chaleur ou de froid.

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

## Variations de température

Dans la **troposphère**, la température diminue lorsque l'altitude augmente, pour atteindre une valeur de  $-56.5^{\circ}\text{C}$  à sa limite supérieure.

La **tropopause** - transition entre la troposphère et la stratosphère - marque l'entrée dans une couche d'inversion de température, c'est à dire que la température se met à augmenter avec l'altitude !



## Echanges thermiques

### Rayonnement

Le rayonnement solaire, bien qu'une partie soit absorbée par la couche d'ozone et par la troposphère, demeure assez intense pour réchauffer considérablement la surface de la terre.

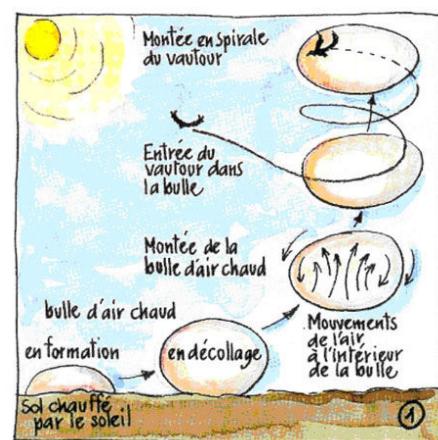
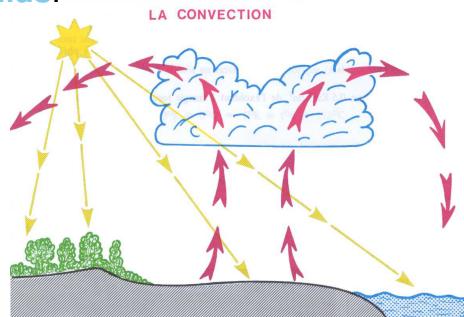
Ainsi réchauffée, la terre rediffuse sa chaleur par **rayonnement** à l'air situé **dans les basses couches**.

### Convection

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

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

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



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

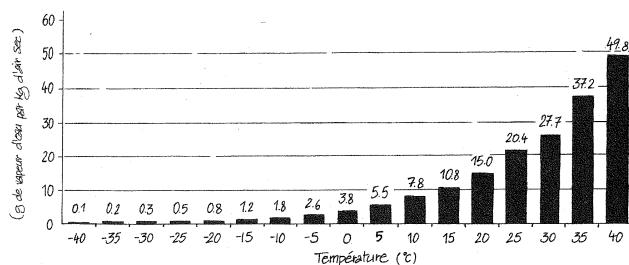
L'eau dans l'atmosphère peut exister sous trois formes : → solide  
→ liquide  
→ gaz

## Quelques définitions

### Vapeur d'eau

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

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



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

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

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

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

## Changements d'état



### Condensation / évaporation

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

### Solidification / fusion

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

## Surfusion

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

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

## Les traînées de condensation

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

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



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

## Formation

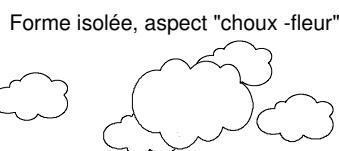
Les nuages se forment par refroidissement de l'air ascendant. Lorsque la température diminue, la quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir l'air diminue, donc l'humidité relative augmente. Lorsque l'humidité relative atteint 100%, la condensation apparaît autour de minuscules particules solides.

## Répartition verticale

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

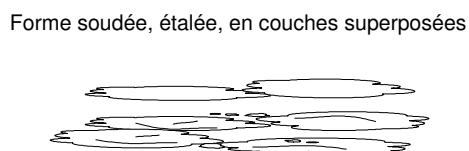
## Classification

### NUAGES CUMULIFORMES

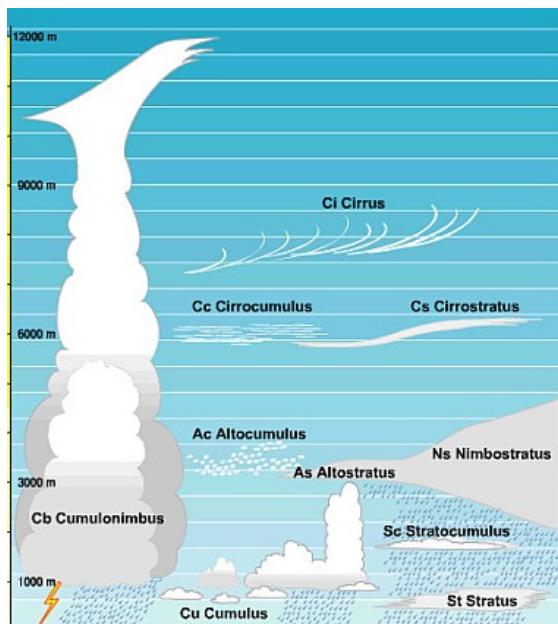


Forme isolée, aspect "choux -fleur"  
Terminaison **cumulus**  
Cumulus, Altocumulus, Cirrocumulus

### NUAGES STRATIFORMES



Forme soudée, étalée, en couches superposées  
Terminaison **stratus**  
Stratus, Altostratus, Cirrostratus



Cumulus



Cumulonimbus



Cirrus

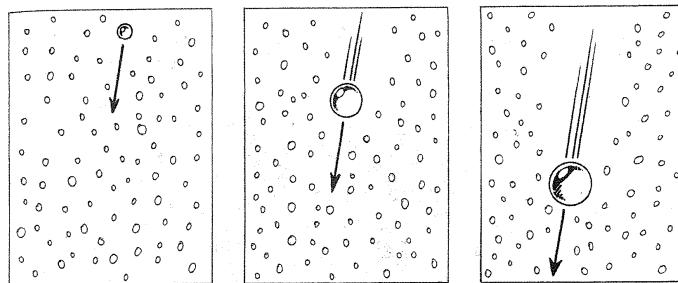


Altocumulus "lenticulaire"

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

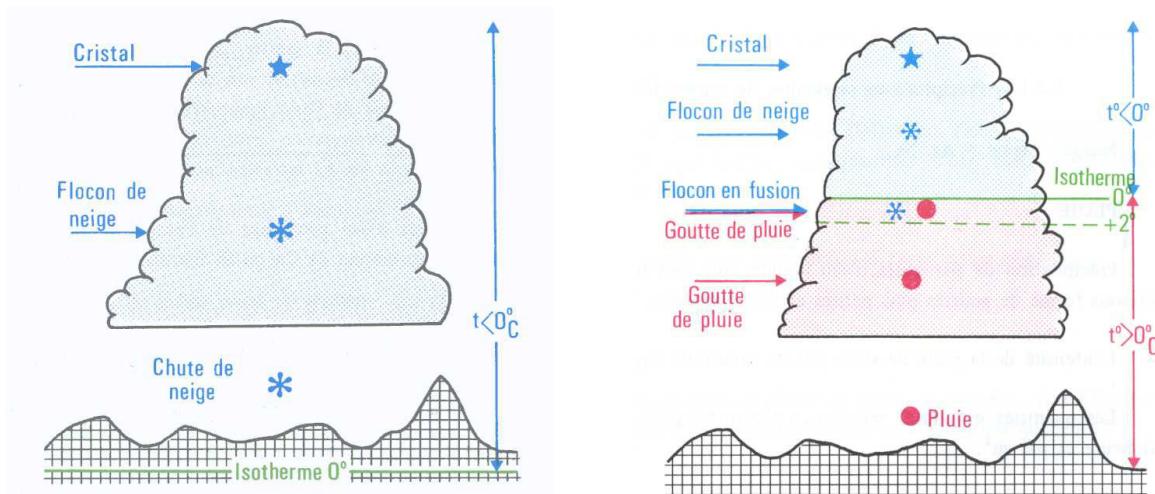
## Formation

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



Toute précipitation commence presque toujours par un flocon de neige.

Si ce flocon, en tombant, arrive dans une couche où la température est supérieure à  $0^{\circ}\text{C}$ , il se transforme en une goutte de pluie.



## Nature

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

**La pluie** : gouttelettes de plus grandes dimensions que la bruine provenant de nuages plus épais et de plus grande étendue (Altostratus, Nimbostratus, Cumulonimbus, Stratocumulus, Altocumulus).

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

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

**Les averses** : précipitations brutales, intenses, très localisées et de courte durée. Elles proviennent de nuages instables à forte extension verticale. On distingue les averses de : pluie, neige, grêle.

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

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

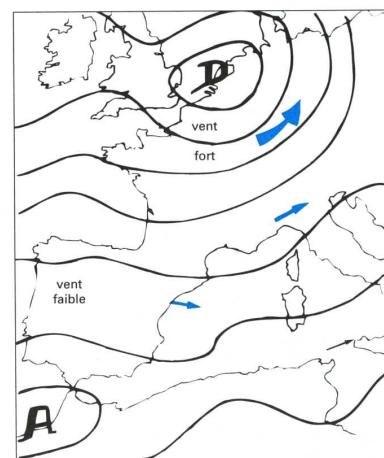
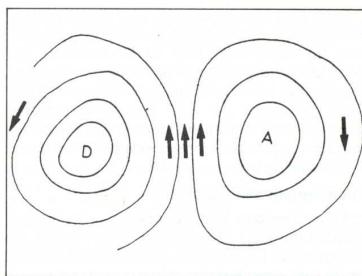
**La direction du vent** devient alors sensiblement **parallèle aux isobares**.

(Isobare = ligne d'égale pression)

### Vent et champ de pression

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

Dans l'hémisphère sud, ces circulations sont inversées.

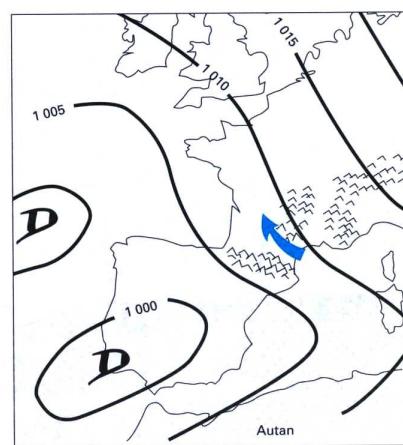
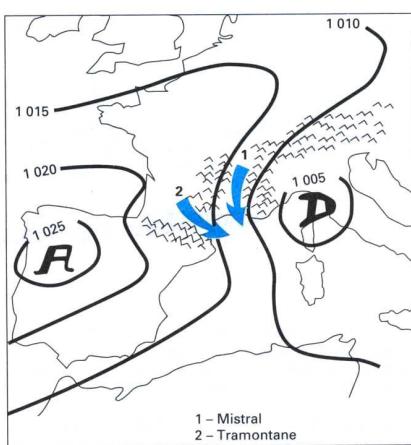


**La force du vent est proportionnelle à l'espacement des lignes isobares.**

Lignes isobares serrées : vent fort

Lignes isobares espacées : vent faible

### Les vents dominants en France



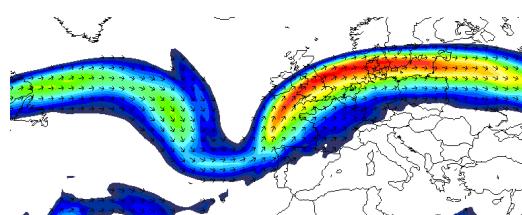
### Le Jet-Stream ou Courant Jet

Courant d'air très rapide de quelques centaines de km de large, et de seulement quelques km d'épaisseur, situé à environ 10 km d'altitude.

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

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

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

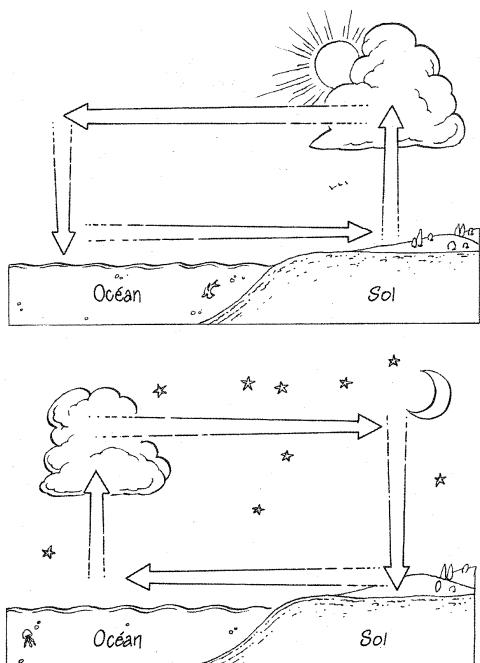


**Def :** Vent local régulier qui s'établit près des lacs, de la mer, des montagnes et dans les vallées.

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

## Les brises en régions côtières

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



### La brise de mer

**De jour**, sous l'effet du rayonnement solaire, la surface de la terre se réchauffe *plus vite* que la masse d'eau. L'air au contact du sol s'élève en faisant place à une *dépression* qui "aspire" l'air plus froid situé au-dessus de la mer.

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

### La brise de terre

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

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

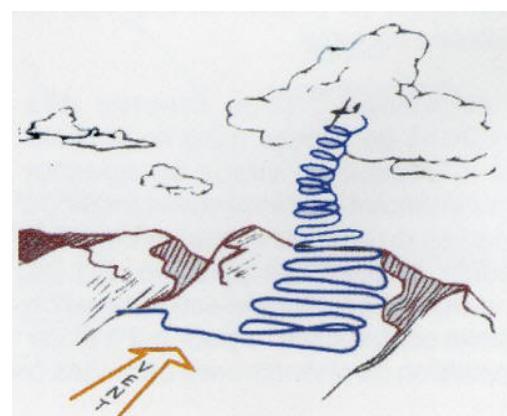
## Les brises en régions montagneuses



### La brise de pente et de vallée montante

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

**De nuit**, le phénomène inverse se produit.



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

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

## Masses d'air

**Def :** Grande étendue d'air dans laquelle la température et l'humidité varient peu.

Certaines régions du globe ont des propriétés de température et d'humidité uniformes au sol. Les masses d'air surmontant ces régions acquièrent ces mêmes propriétés.

Les masses d'air se déplacent alors selon les principes de la circulation atmosphérique générale : l'air froid tend à s'écouler vers l'équateur alors que l'air chaud se dirige vers les pôles.

Elles subissent des modifications au fur et à mesure de leur passage au-dessus de régions ayant d'autres caractéristiques.

Les masses d'air sont classées selon :

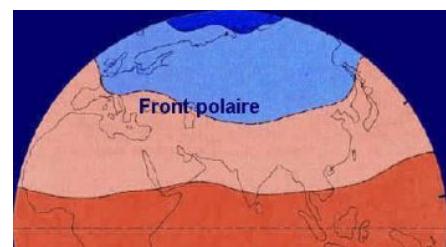
- **leur température :**

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

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

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

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

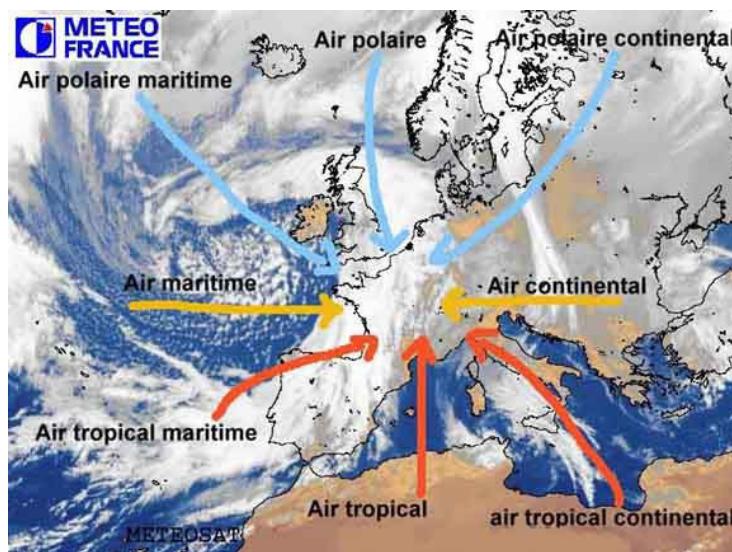


- **leur humidité :** Sèche : masse d'air **continentale** (c)

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

## Les masses d'air en France

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



### Air polaire maritime :

Temps à nuages cumuliformes et averses.

### Air polaire continental :

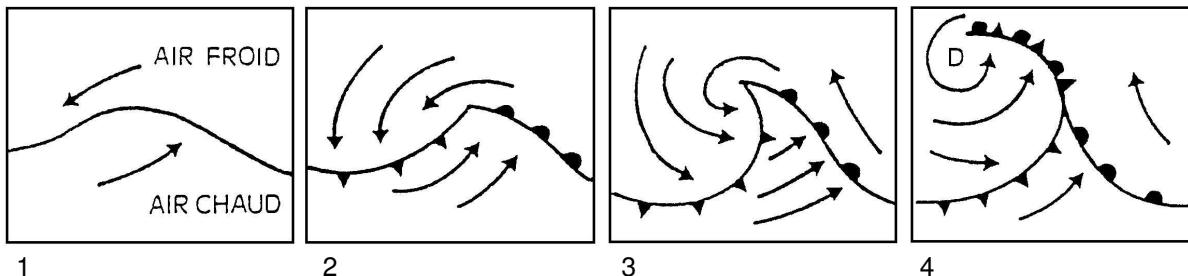
Temps clair et sec, avec occasionnellement des stratus ou stratocumulus.

### Air tropical maritime :

Temps à brumes, brouillards ou nuages stratiformes bas.

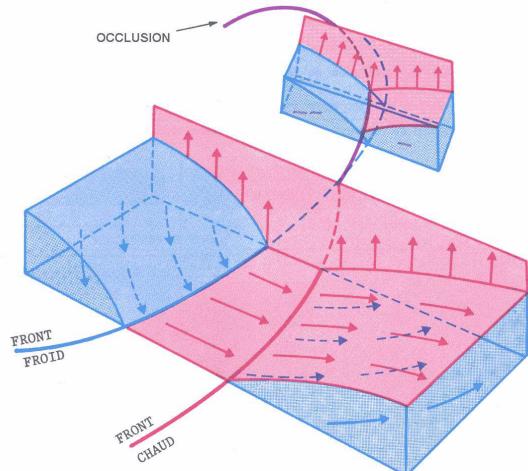
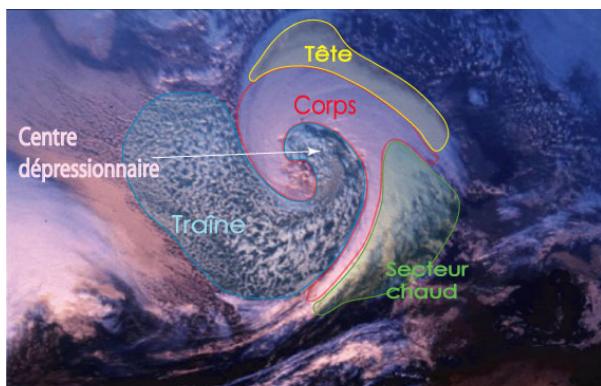
### Air tropical continental : Temps provoquant souvent des orages sur les reliefs.

## Formation d'une perturbation



1                    2                    3                    4

1. Le **front** est la surface de séparation entre la masse d'air froid et la masse d'air chaud. Le front se déforme sous l'influence de l'air froid et de l'air chaud qui tendent à poursuivre leur chemin, vers le sud pour le 1<sup>er</sup>, vers le nord pour le 2<sup>nd</sup>.
2. L'ondulation du front détermine deux limites :
  - Le **front chaud** : l'air chaud repousse l'air froid devant lui et passe au dessus.
  - Le **front froid** : l'air froid postérieur pousse l'air chaud devant lui et au dessus de lui.
3. Après constitution de la perturbation, le front froid se déplace plus vite que le front chaud.
4. L'**occlusion** se produit lorsque le front froid rattrape le front chaud, le rejetant en altitude.



## Nuages associés aux fronts



## Brume ==

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



Patrouille dans la brume

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

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

## Brouillard ===

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

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



Brouillard sur le terrain

**Def** : Dépôt de glace opaque ou transparent

- ⌚ givrage modéré
- ⌚⌚ givrage fort



Givrage au sol

## Formation du givrage en vol

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

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



Givrage en vol

## Conséquences

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

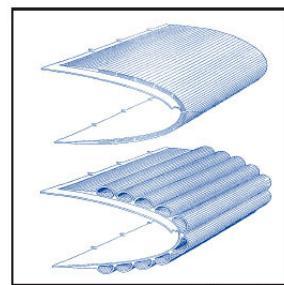
## Prévention / Elimination

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



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

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



De-ice boots

# CARTE TEMSI

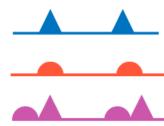


La carte TEMSI est une carte schématique du temps significatif prévu, où ne sont portés que les phénomènes importants et les masses nuageuses. La carte TEMSI France est produite toutes les 3 heures par Météo France.

## Signification des symboles :

- ◆◆◆ Pluie
- ◆ Bruine
- \* Neige
- ▼ Averse
- △ Grêle
- ⌚ Givrage modéré
- ⌚⌚ Givrage fort
- ===== Brume
- ==== Brouillard
- △△ Turbulence modérée
- △△△ Turbulence forte
- ⚡ Orage

→ Courant jet



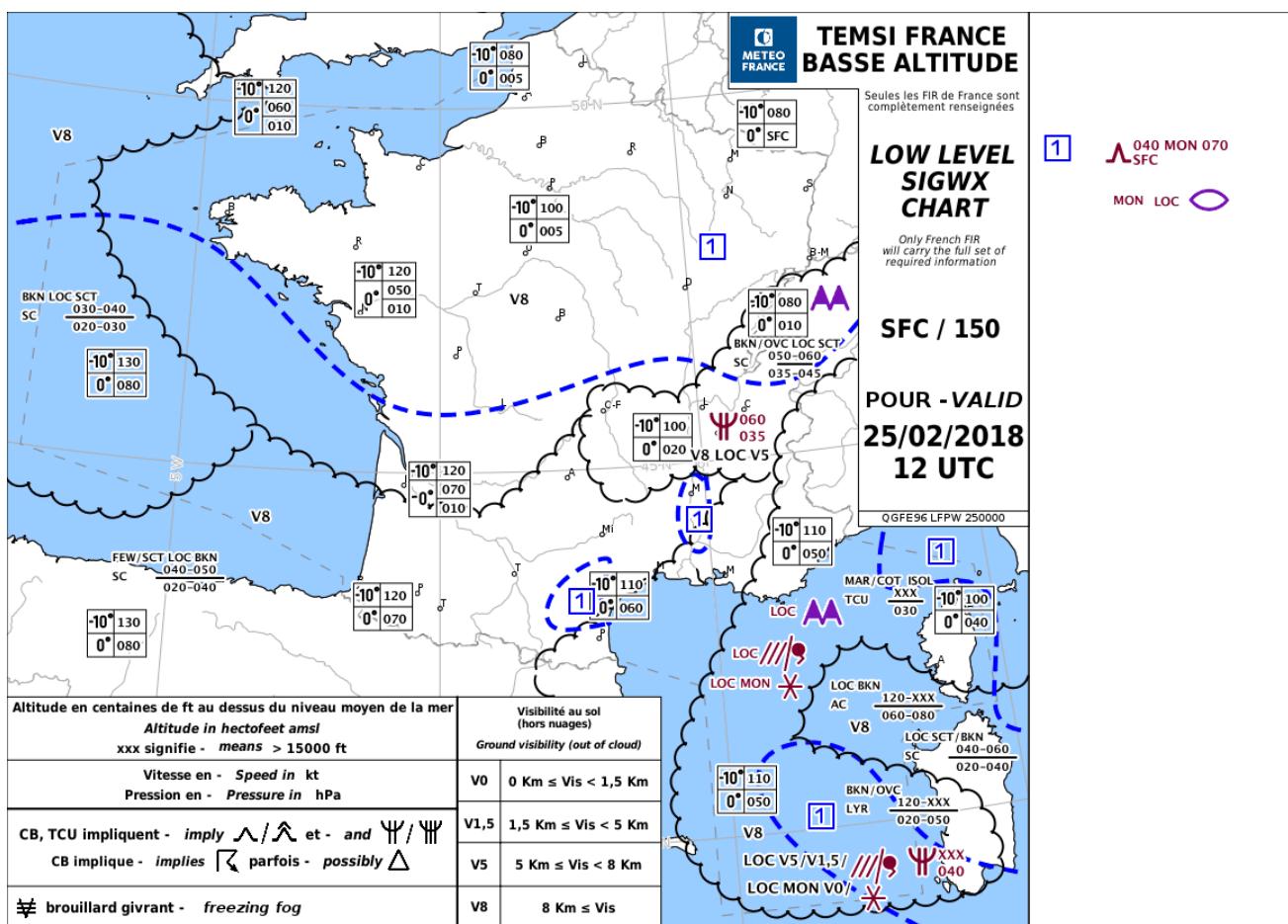
0°	150
-10°	330

Front froid en surface  
Front chaud en surface  
Front occlus en surface

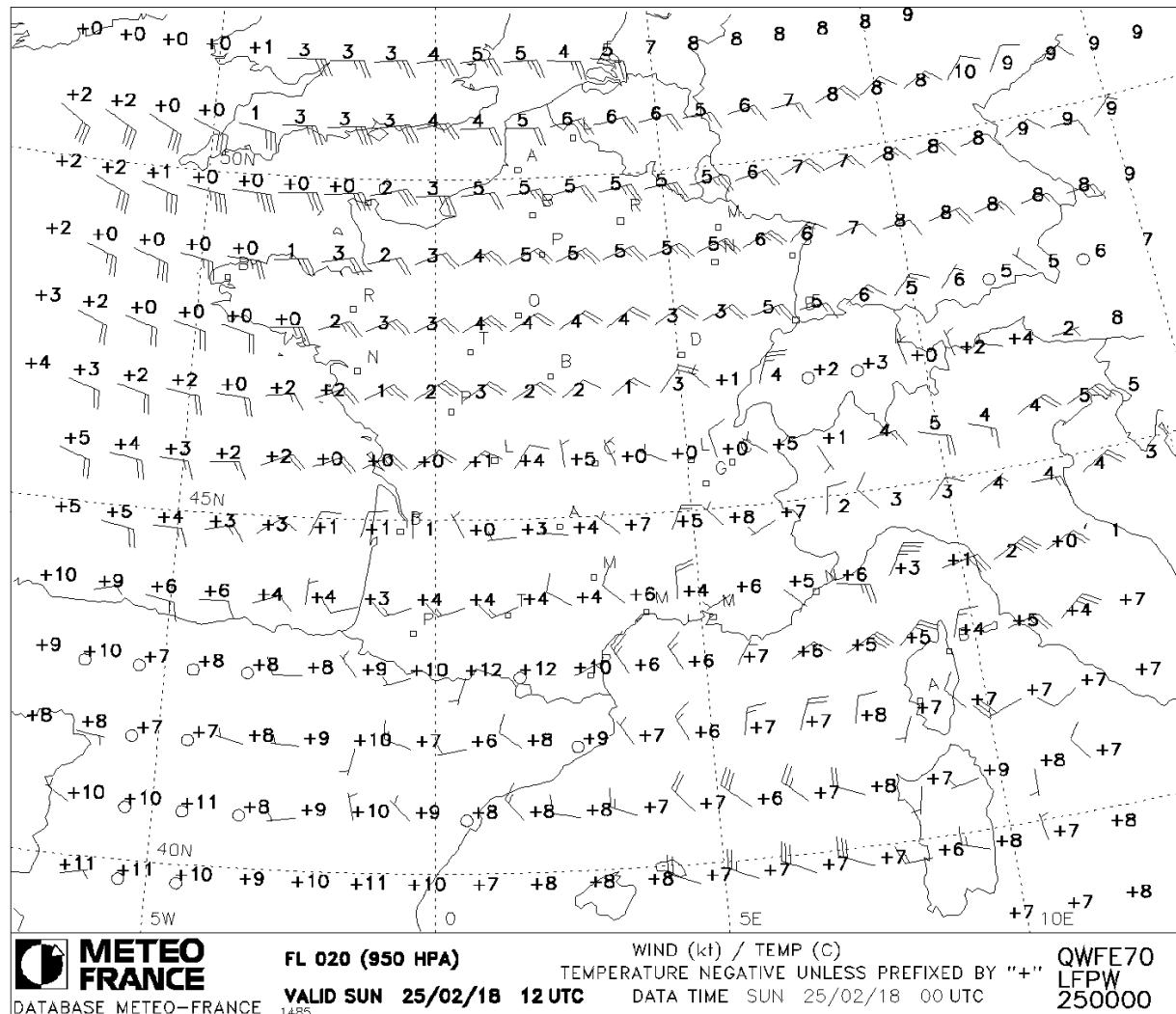
Niveau de l'isotherme 0°  
Niveau de l'isotherme - 10°

**Nébulosité**  
(fraction du ciel occultée par les nuages) :

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



# CARTE DES VENTS ET DES TEMPERATURES PREVUS



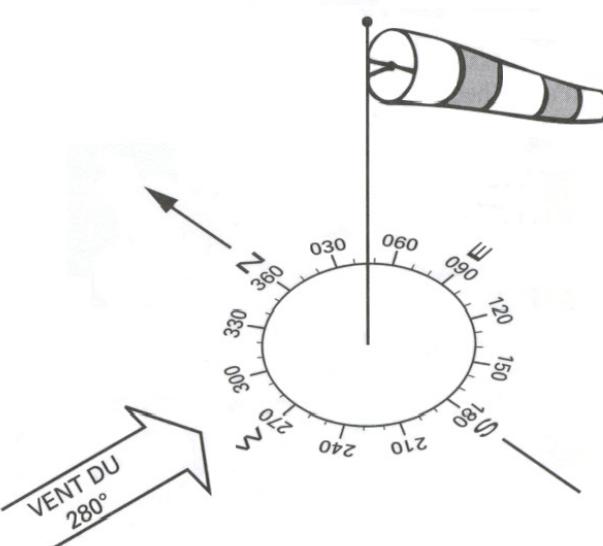
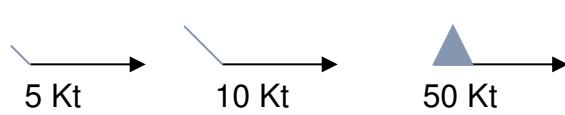
Les cartes WINTEM fournissent les indications de vent et température prévus à différents niveaux de vol (ici FL 020).

Les cartes WINTEM France sont émises par Météo France toutes les 3h à partir de 00h UTC.

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

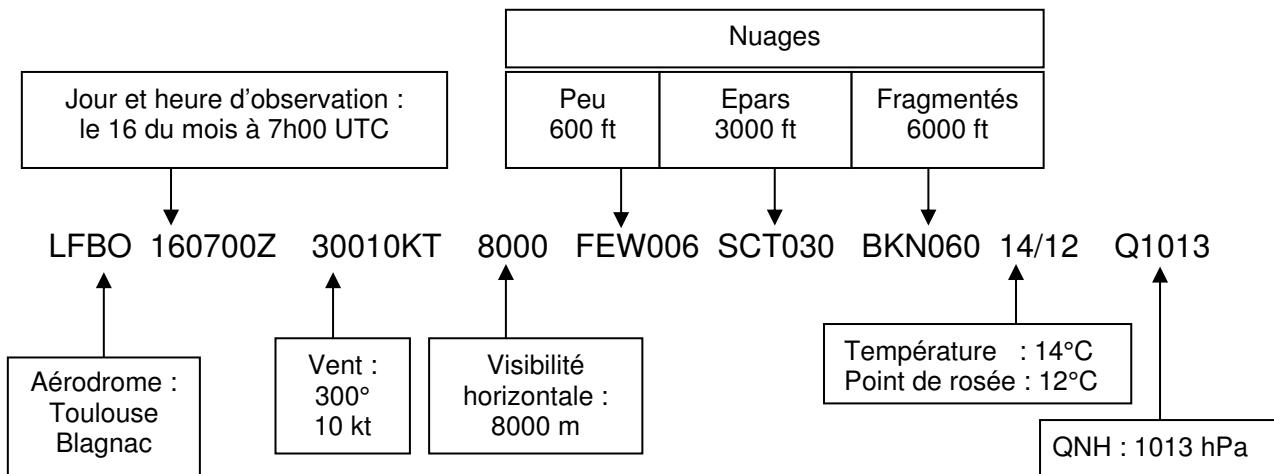
Le vent est représenté par un système de flèches, barbules et fanions.

Les flèches indiquent la direction du vent et le nombre de barbules ou fanions donne sa vitesse.



## METAR

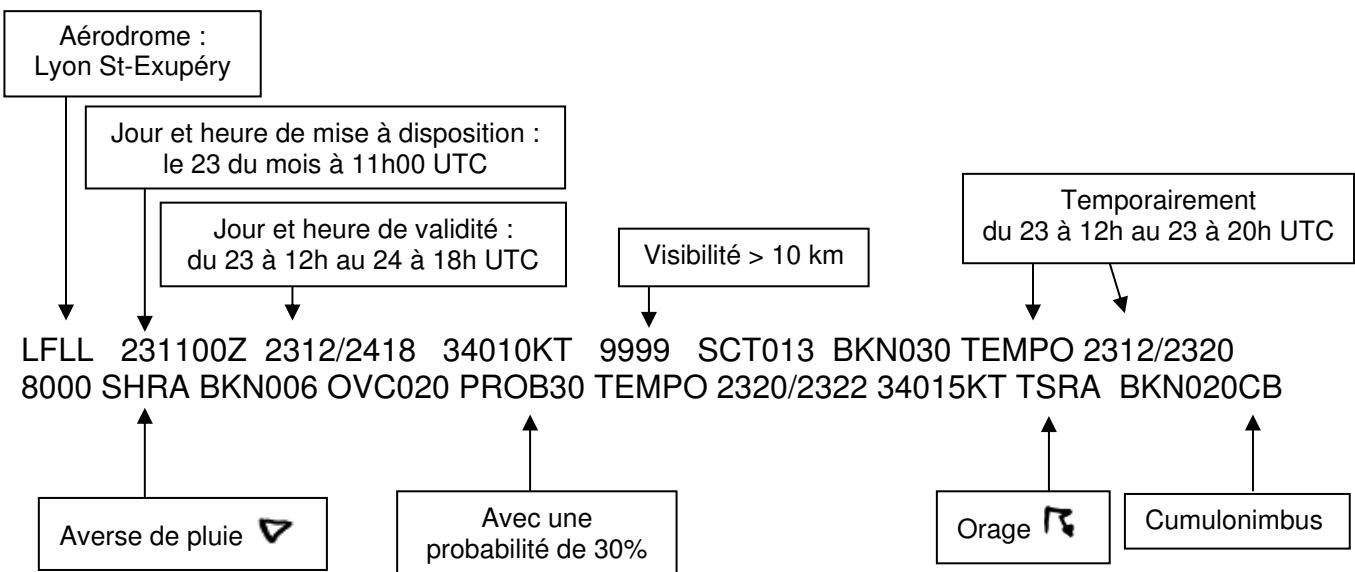
Le METAR est un message d' **Observation** du temps sur un aérodrome.



## TAF

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

Il existe sous forme de TAF court (validité 9h) ou TAF long (validité 24 ou 30h).





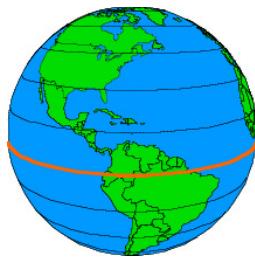
## Définitions

**Grand cercle** : intersection de la terre avec un plan passant par le centre de la terre.

**Petit cercle** : intersection de la terre avec un plan quelconque ne passant pas par le centre de la terre.

**Equateur** : grand cercle perpendiculaire à l'axe des pôles, séparant hémisphères sud et nord.

**Parallèle** : petit cercle parallèle à l'équateur



**Méridien** : demi-grand cercle passant par les 2 pôles



Par convention, le méridien d'origine est celui qui passe par la ville de **Greenwich** (Angleterre).

## Coordonnées géographiques

**Latitude** : Angle compris, à partir du centre de la terre, entre l'équateur et le parallèle du point considéré.

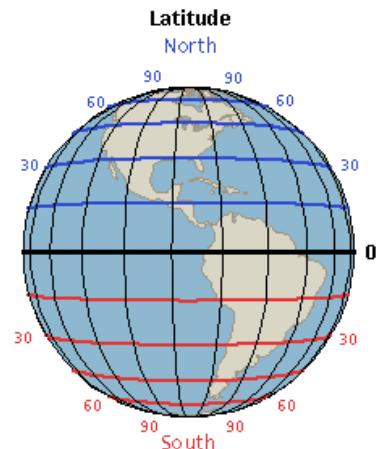
La latitude est **NORD** si le point considéré est situé dans l'hémisphère nord.

La latitude est **SUD** si le point considéré est situé dans l'hémisphère sud.

Au pôle, latitude = 90°

A l'équateur, latitude = 0°

0° ≤ latitude ≤ 90°



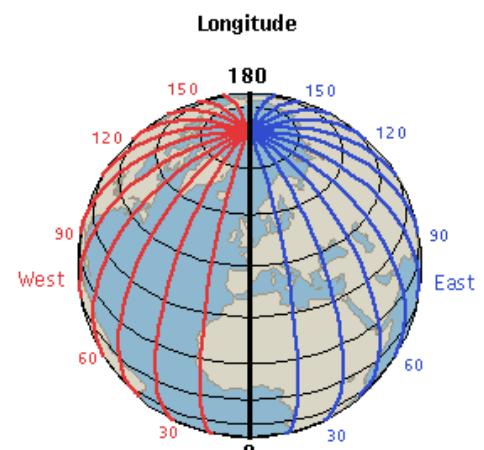
**Longitude** : Angle compris, à partir du centre de la terre, entre le méridien de Greenwich et le méridien du point considéré.

La longitude est **OUEST** ou négative si le point considéré est à l'ouest du méridien de Greenwich.

La longitude est **EST** ou positive si le point considéré est à l'est du méridien de Greenwich.

Au méridien de Greenwich, longitude = 0°

0° ≤ longitude ≤ 180°



## Mesure des distances

- Distances horizontales : le **Mile Nautique (NM)**

Longueur d'une minute d'angle de grand cercle

Rappel : 1°=60 minutes d'angle

$$1 \text{ NM} = 1.85 \text{ km}$$

- Distances verticales : le **Pied (ft)**

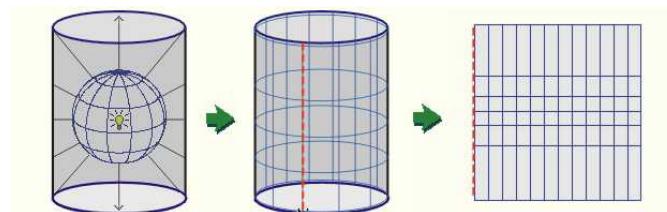
Pour transformer les mètres en pieds, on multiplie par 10/3.  
Pour transformer les pieds en mètres, on multiplie par 3/10.

$$1 \text{ ft} = 0.30 \text{ m}$$

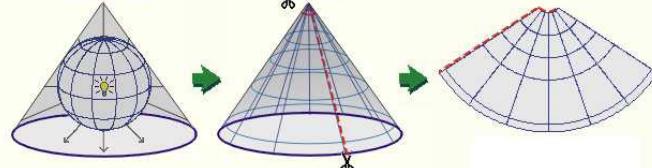
## LES CARTES AERONAUTIQUES (1)

Canevas d'une carte

Projection Mercator



Projection Lambert

Echelle d'une carte

Echelle = Représentation  
Réalité

Ces deux distances sont exprimées dans la même unité.

Carte aéronautique au 1/500 000<sup>e</sup> (OACI)

Couverture de l'espace français par 4 cartes (nord-ouest, nord-est, sud-ouest, sud-est)  
Canevas : Lambert

Echelle : 1/500 000 (1cm = 5 km)

Carte aéronautique au 1/1 000 000<sup>e</sup> (SIA)

Couverture de l'espace français par 2 cartes (nord, sud)

Canevas : Lambert

Echelle : 1/1 000 000 (1cm = 10 km)



Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA n°E23/2003 - Ne pas utiliser pour effectuer un vol

## LES CARTES AERONAUTIQUES (2)

Carte VAC d'aérodrome

Fréquences de communication  
APP : NIL.  
TWR : NIL.  
A/A : 118.9

ATTERRISSAGE A VUE  
Visual landing

Ouvert à la CAP  
Public air traffic  
13 MAR 08

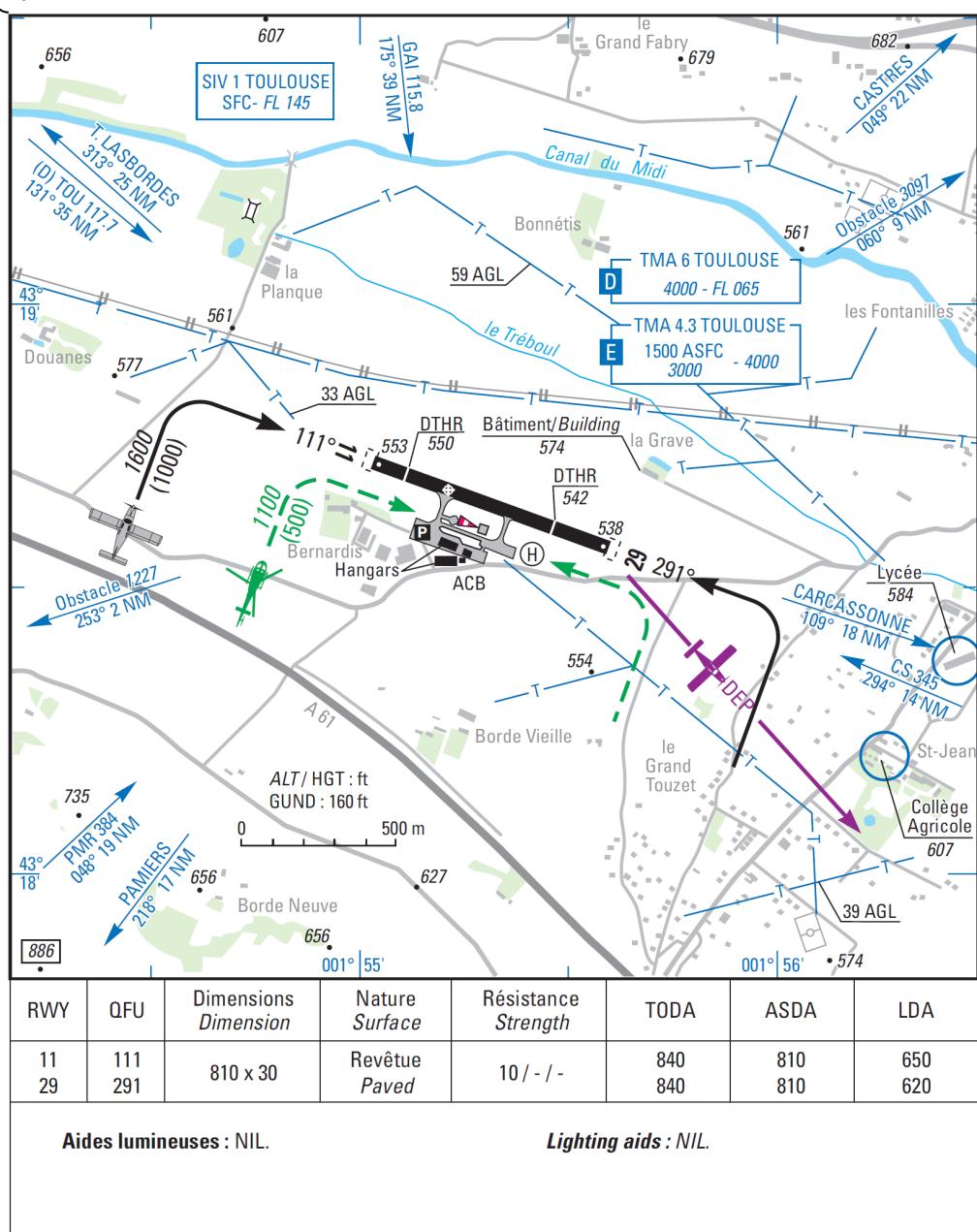
Altitude de l'aérodrome en pieds  
Nom de l'aérodrome

**CASTELNAUDARY VILLENEUVE**  
AD2 LFMW ATT 01

ALT AD : 553 (20 hPa)  
LAT : 43 18 40 N  
LONG : 001 55 12 E

**LFMW**  
VAR : 1°W (05)

Déclinaison magnétique

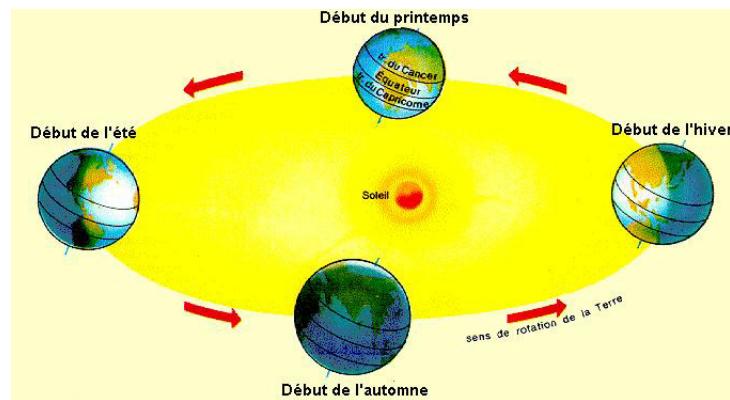


## MESURE DU TEMPS



## Mouvement de la terre autour du soleil

Le rythme des saisons et l'alternance jour-nuit découlent du mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil et du mouvement de rotation de la Terre autour de son axe Nord-Sud incliné de  $23^{\circ}$  par rapport à la normale au plan de l'orbite Terre-Soleil.



La terre tourne sur elle-même **d'ouest en est**, de  $15^\circ$  par heure.

## Heure UTC, ou TU

**En tous points de la terre**, il est 12h00 UTC lorsque le soleil passe au méridien de Greenwich.

## Heure locale

**En un point**, il est 12h00 **locales** lorsque le soleil passe au méridien de ce point.

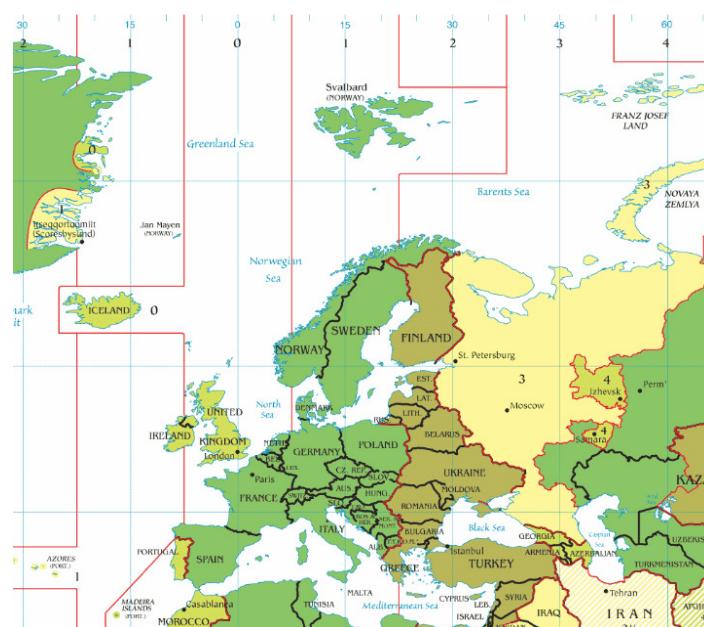
## Heure locale légale ou heure du fuseau

L'heure du fuseau a été créée afin d'avoir la même heure sur une grande étendue.

On a divisé la terre en 24 fuseaux de  $15^\circ$  de différence de longitude chacun ( $15^\circ \times 24 = 360^\circ$ ).

L'heure du fuseau est constante à l'intérieur d'un même fuseau et égale à l'heure locale du méridien central du fuseau, plus ou moins un nombre entier d'heures fixé par la loi d'état.

En France : en hiver, heure locale légale =  $UTC + 1h$   
en été, heure locale légale =  $UTC + 2h$



## Nuit aéronautique

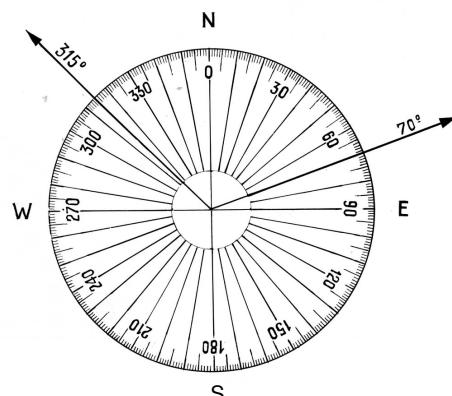
**Elle commence 30 mn après le coucher du soleil et se termine 30 mn avant le lever du soleil.**



## Direction

Une direction est toujours comptée dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de l'origine.

Les angles sont compris entre 0 et 360°.



## Les différents Nords

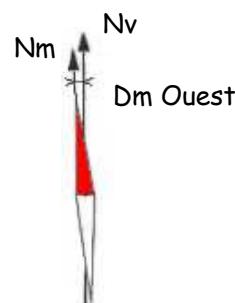
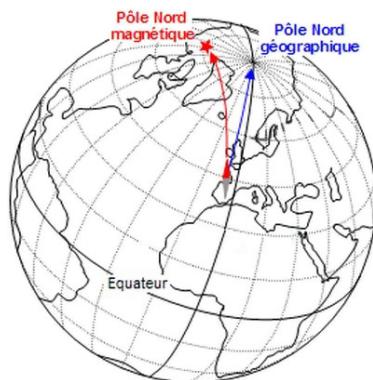
→ **Le Nord vrai** : pôle nord géographique

Toute direction mesurée par rapport au nord vrai est dite "vraie" (ex : cap vrai)

→ **Le Nord magnétique** : Autour du globe règne un champ magnétique terrestre.

Tout se passe comme si la terre contenait un aimant gigantesque passant par son centre, mais dont l'axe ne coïnciderait pas exactement avec la ligne des pôles géographiques.

Le nord magnétique se trouve aux environs du 82°N – 105°W.



Toute direction mesurée par rapport au nord magnétique est dite "magnétique" (ex : cap magnétique)

**Déclinaison magnétique** : angle entre le nord vrai et le nord magnétique

Dm est EST ou positive si le nord magnétique est à l'est du nord vrai.

Dm est OUEST ou négative si le nord magnétique est à l'ouest du nord vrai.

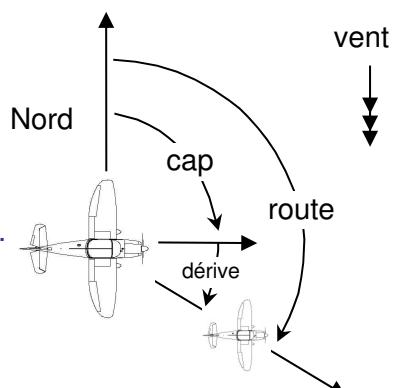
## Définitions

**Cap** : Angle entre le nord et l'axe de l'avion

**Route** : Angle entre le nord et la trajectoire au sol de l'avion

**Dérive** : Angle entre le cap et la route

On dit que la dérive est droite lorsque l'avion dérive vers la droite.



### Les méthodes de navigation à vue

- le **cheminement**, qui consiste à suivre les lignes naturelles caractéristiques
- l'**estime**, qui consiste à déterminer le cap magnétique à prendre et l'heure estimée d'arrivée sur un point caractéristique ou sur un aérodrome.

### Mesure des vitesses

le Nœud (kt)

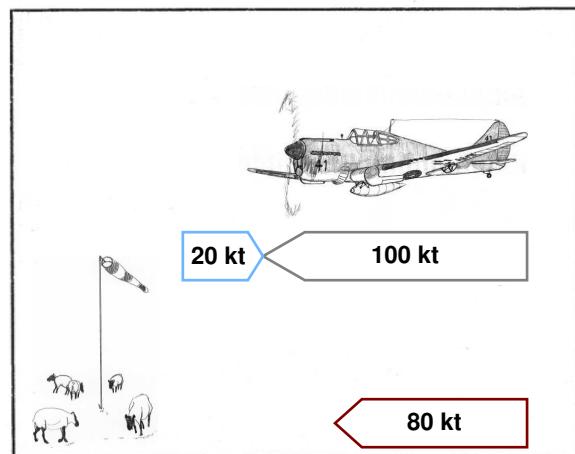
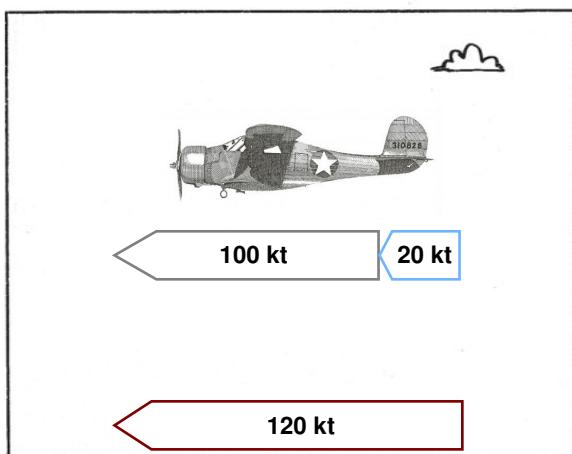
$$1 \text{ kt} = 1 \text{ NM / heure} = 1.85 \text{ km/h}$$

**Vitesse propre** : vitesse de l'avion par rapport à la masse d'air

La masse d'air étant en mouvement par rapport au sol, on définit également :

**Vitesse sol** : vitesse de l'avion par rapport au sol

$$\text{Vitesse sol} = \text{Vitesse propre} \pm \text{Vent de face/arrière}$$



### Exemple pratique de calcul du Cap magnétique

La route vraie mesurée sur la carte aéronautique est  $100^\circ$ .

La déclinaison magnétique donnée par la carte est  $2^\circ$  ouest.

On en déduit une

$$\text{Route magnétique} = 102^\circ$$

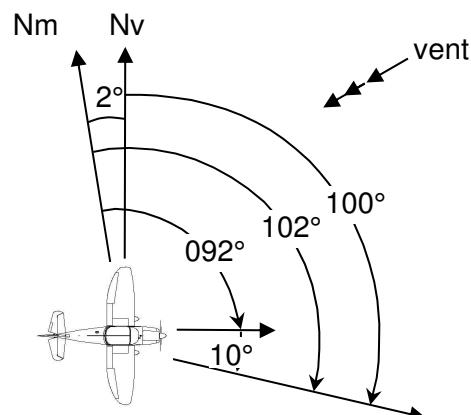
Le vent est du  $060^\circ$  pour  $20 \text{ kt}$ .

La dérive est de  $10^\circ$  droite

- calculée d'après la force du vent, l'angle au vent (angle compris entre la direction d'où vient le vent et la route que suit l'avion), et la vitesse de l'avion

On en déduit un

$$\text{Cap magnétique} = 092^\circ$$

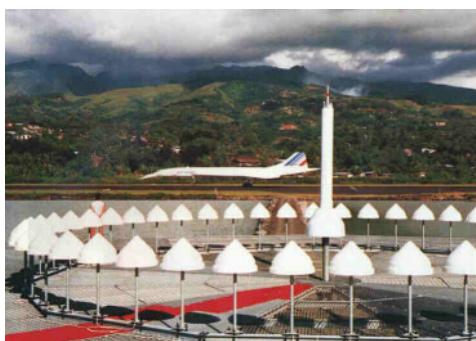


### Le VOR

Moyen de radionavigation, quelques fois implanté sur un aérodrome, le plus souvent en campagne aux points clés des régions de contrôle.

La **station sol** émet un signal dans toutes les directions. Ce signal est modulé de tel sorte que le signal reçu diffère en fonction de la position de l'avion sur le cercle des 360°.

Le **récepteur de bord** permet de matérialiser les informations sur la position de l'avion.



Le petit losange central représente l'avion, l'aiguille mobile représente la route sélectionnée.  
Le bouton "OBS" permet de sélectionner la route choisie en faisant tourner la couronne graduée

### L'ADF

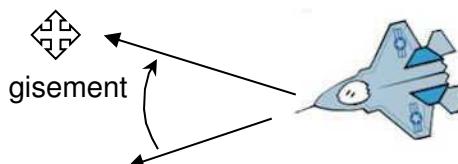
Moyen de radionavigation implanté à proximité de certains aérodromes.

La **balise au sol** émet des signaux.

A bord, l'aiguille du **radiocompas** indique la direction de la balise, c'est à dire un gisement.



Cet indicateur donne les directions de 2 balises différentes.



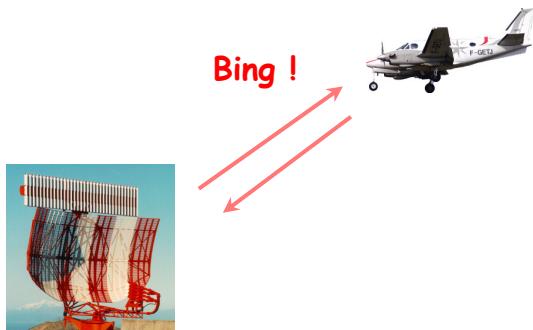
### Le GPS (Global Positioning System)

C'est un instrument permettant, à l'aide de signaux émis par une **constellation de satellites**, de connaître **à bord** la position (latitude, longitude et altitude) de l'avion.

## Le radar primaire

C'est un système dont disposent les contrôleurs aériens pour **détecter** un avion et déterminer sa position par rapport à une station au sol. Ce système n'implique aucun dispositif particulier à bord de l'avion.

Au sol, une antenne parabolique au sol tourne sur elle-même en émettant des impulsions radioélectriques. Lorsqu'une impulsion atteint les surfaces de l'aéronef, elle revient en écho à l'émetteur.



Le temps d'aller-retour ainsi que l'orientation de l'antenne lors de sa réception permettent de situer l'écho, visualisé sur un écran radar.

Le radar primaire est utilisé essentiellement pour les approches, le but étant de repérer tous les mouvements dans un espace où il y a beaucoup de monde. De plus celui tourne assez vite pour avoir un temps de rafraîchissement des positions le plus court possible.

## Le radar secondaire

C'est un système généralement associé au radar primaire qui facilite l'**identification** des différents aéronefs.



Il envoie à l'avion une interrogation à laquelle le **transpondeur** de bord fournit une réponse.

Cette réponse apparaît sur le scope radar sous la forme d'un écho, auquel est associée une étiquette qui retranscrit les 4 chiffres que le pilote a affichés sur son transpondeur à la demande du contrôleur.



Le radar secondaire est destiné au contrôle "en route" et a une portée typique de 250NM.

En cas de difficulté, le pilote affiche de sa propre initiative un code signifiant sa difficulté :  
7500 en cas de détournement  
7600 en cas de panne radio  
7700 en cas de détresse

### Aérodrome contrôlé / non contrôlé

On appelle **aérodrome contrôlé** un aérodrome où le service du contrôle de la circulation aérienne est assuré. La circulation des aéronefs au sol et en vol y est soumise à une autorisation délivrée par un contrôleur.



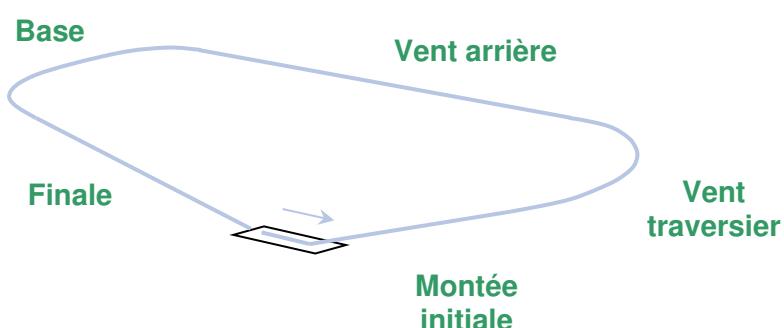
#### La piste :

La piste de décollage et d'atterrissement est caractérisée par son numéro de piste. Ce numéro correspond à son orientation magnétique en dizaines de degrés, arrondis au plus proche.

Par exemple, une piste orientée au **118°** est numérotée **12**.

### Circuit d'aérodrome :

Le circuit d'aérodrome comporte plusieurs branches, définies comme suit :



### Signaux visuels au sol :

Lorsqu'un avion arrive sur un aérodrome non contrôlé, il survole l'**aire à signaux**, grand carré qui contient des indications pour les appareils en vol, sous forme de panneaux de signalisation.



Atterrissage interdit

Précautions spéciales à l'atterrissement

Direction d'atterrissement  
←

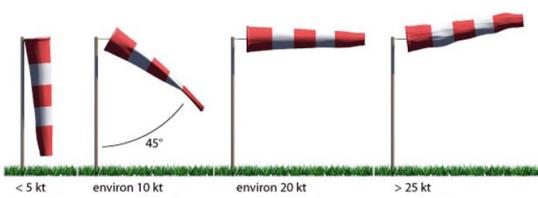
Virage à droite après décollage et avant atterrissage

Piste ou voie de circulation fermée

Atterrissage, décollage et circulation uniquement sur pistes et taxiways

Vols de planeurs en cours

A côté de l'aire à signaux se trouve la **manche à air** qui permet de déterminer la piste en service (décollage et atterrissage face au vent).



### Alphabet Aéronautique

A	⇒ ALPHA	N	⇒ NOVEMBER
B	⇒ BRAVO	O	⇒ OSCAR
C	⇒ CHARLIE	P	⇒ PAPA
D	⇒ DELTA	Q	⇒ QUEBEC
E	⇒ ECHO	R	⇒ ROMEO
F	⇒ FOX-TROT	S	⇒ SIERRA
G	⇒ GOLF	T	⇒ TANGO
H	⇒ HOTEL	U	⇒ UNIFORM
I	⇒ INDIA	V	⇒ VICTOR
J	⇒ JULIET	W	⇒ WHISKY
K	⇒ KILO	X	⇒ X-RAY
L	⇒ LIMA	Y	⇒ YANKEE
M	⇒ MIKE	Z	⇒ ZOULOU

### Les immatriculations

Elles sont constituées de deux groupes de lettres ou chiffres séparés par un tiret.



Etat de provenance  
de l'aéronef

Immatriculation de l'aéronef  
dans son pays

### Pour la France :

La lettre qui précède le tiret est le **F**.

La lettre qui suit le tiret indique le type d'aéronef :

**F-AZ** : aéronef de collection

**F-B** et **F-G** : avions et hélicoptères

**F-C** : planeurs

**F-CR** : planeurs anciens ou de construction amateur

**F-P** : avion de construction amateur

**F-W** : prototype

**F-Z** : aéronef des douanes



L'Aquila Fox - Golf Victor Fox Papa

## Les 2 régimes de vol



VFR = Visual Flight Rules (vol à vue)

Le vol est conduit à l'aide des repères visuels à l'extérieur.

La pratique du vol **VFR** nécessite des conditions météorologiques permettant de conduire son vol en toute sécurité en appliquant la règle fondamentale :

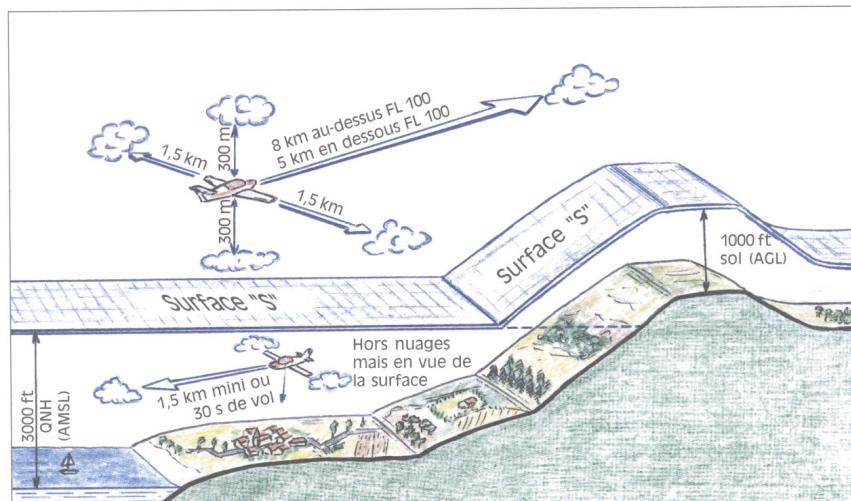
"**VOIR ET EVITER**".

Ces conditions, appelées **Conditions VMC** pour "**Visual Meteorological Conditions**", consistent en une visibilité et une distance par rapport aux nuages minimales.



IFR = Instruments Flight Rules (vol aux instruments)

Le vol est conduit à partir des références données par les instruments qui sont à bord.



## Les niveaux de vol

Au dessus de 3000 ft sol, tout aéronef doit adopter un niveau de croisière appelé niveau de vol (**FL – Flight Level**).

L'altimètre indique le niveau de vol de l'avion lorsqu'il est au **calage 1013 hPa**.

Seules les centaines de pieds sont exprimées. Ex : 8000 ft → FL80

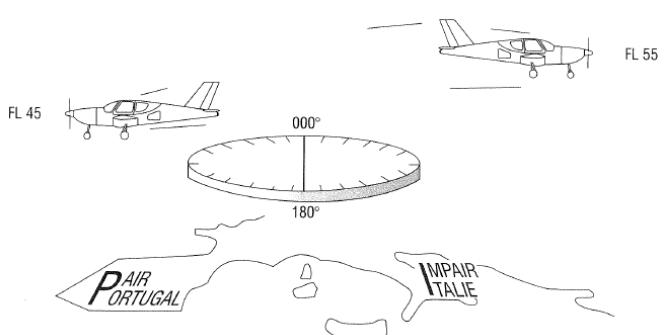
En VFR, on utilise les niveaux se terminant par 5. Ex : FL 85

En IFR, on utilise les niveaux se terminant par 0. Ex : FL 90

La "règle de la semi-circulaire" permet de déterminer les niveaux utilisables en fonction de la route magnétique de l'avion :

- Lorsque la **route magnétique** est comprise **entre 000° et 179°**, le niveau à adopter est **impair** : FL 35, 55, 75, 95...

- Lorsque la **route magnétique** suivie est comprise entre **180° et 359°**, le niveau à adopter est **pair** : FL 45, 65, 85...



### Hauteurs minimales de survol

Pour tout aéronef, sauf pour les manœuvres de décollage et d'atterrissement, la hauteur minimale de survol est de

**500 ft au-dessus du sol ou de l'eau.**

Les planeurs, deltas, parapentes peuvent faire exception à cette règle en vol de pente à condition de n'entraîner aucun risque pour les personnes ou les biens à la surface.

Il est également imposé aux aéronefs une hauteur de survol au dessus des réserves naturelles (1000 ft) et des agglomérations (de 1000 ft à 6600 ft suivant la taille).



### Survol de l'eau



Le survol de l'eau en VFR est soumis à certaines exigences :

- Aucune obligation si l'aéronef peut rejoindre la côte en vol plané.
- un gilet par personne si l'éloignement par rapport à la côte est supérieur à 50 NM.
- un canot de sauvetage + une balise de détresse si l'éloignement par rapport à la côte est supérieur à 100 NM.

### Règles de priorité en vol

- Priorité à l'aéronef venant de la droite
- Dépassement par la droite d'un autre aéronef
- A la même altitude et face à face l'évitement se fait par un dégagement des 2 appareils par la droite.
- Priorité à l'aéronef le plus bas
- Priorité à l'aéronef le moins manœuvrant. Dans l'ordre : les ballons, les planeurs, les dirigeables, les avions remorquant, les avions en formation, les avions seuls.

### Les classes d'espace

L'espace aérien est divisé en plusieurs parties, chacune étant adaptée à la densité et au type de trafic auquel elle est soumise.

Chaque classe d'espace est affectée d'une lettre : A, B, C, D, E, F, ou G.

A chaque lettre correspond un service rendu et des exigences.

Les classes **A, B, C, D, E** sont des **espaces aériens contrôlés**.

Les classes **F** et **G** sont des **espaces aériens non contrôlés**.

Le vol **VFR** est **interdit** dans les espaces de classe **A** (Paris).

En classes **B, C, D**, le VFR a obligation de contacter par radio l'organisme chargé du contrôle avant d'entrer dans l'espace, afin d'obtenir une **clearance** (autorisation).

### Les zones à statut particulier

**La zone D – Dangereuse** : Souvent une zone d'activité militaire. Malgré tout, les pilotes peuvent pénétrer dans ce type de zone.

**La zone R – Réglementée** : liée à une activité particulière et limitée à une plage horaire.

**La zone P – Prohibited** : interdite d'accès à tous les aéronefs tous les jours à toutes altitudes. Elle recouvre les points sensibles du pays.

### 1783

- 1<sup>er</sup> vol d'un ballon captif à **air chaud** conçu par les frères **Montgolfier**.
- 1<sup>er</sup> vol libre de **Pilâtre de Rozier** et du **Marquis d'Arlandes**, 26m.
- 1<sup>er</sup> vol d'un ballon à **hydrogène**, 2h05 et 3000 m.

### 1785

1<sup>re</sup> traversée de la manche en ballon libre piloté par Blanchard.

### 1852

1er vol d'un dirigeable.



### 1906

Lancement du *Graf Zeppelin LZ 3*, premier de la lignée...



### 1914/1918

Utilisation des dirigeables *Zeppelin* pour bombarder Londres.

### 1930

Le dirigeable Britannique *R101* s'écrase, 48 morts. L'hydrogène est mis en cause.  
Utilisation de l'**hélium** en remplacement de l'hydrogène.

### 1936

Interdiction de vente de l'hélium à l'Allemagne.



### 1937

Accident du Zeppelin "Hindenburg" à New Jersey, 35 morts.  
C'est la fin des dirigeables, ils sont détrônés par les avions et  
hydravions qui assurent les liaisons transocéaniques.

**1783**

1<sup>er</sup> vol d'un plus lourd que l'air : un hélicoptère miniature à 2 hélices réalisé par **Bienvenu et Launoy**.

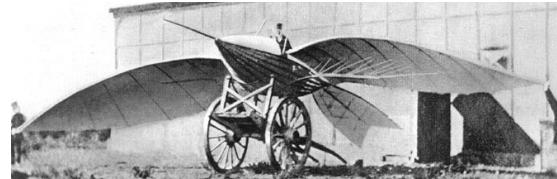


**1797**

1<sup>er</sup> saut en parachute à partir d'un ballon effectué par **André Garnerin**.

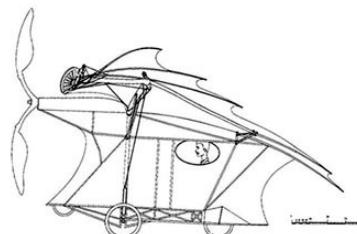
**1856**

1<sup>er</sup> vol plané réalisé par **Jean-Marie Le Bris**.



**1890**

L'**EOLE** de **Clément Ader**, équipée d'un moteur à vapeur de 20 ch, décolle sur 50 m.



**1890 à 1896**

**Otto Lilienthal** réalise plus de 2000 vols avec des planeurs de sa fabrication.



**1897**

L'**AVION n°3** de **C. Ader**, évolution de l'Eole équipée de 2 moteurs, s'élève sur 200 m. C. Ader est l'inventeur du mot "avion".

**1898-1903**

Vols des planeurs d'**Octave Chanute**.

**1903**

Les frères **Wright** font voler leur *Flyer*. C'est la propulsion d'un planeur d'**Octave Chanute** avec un moteur de moto.



**1904** 1<sup>er</sup> vol en circuit fermé (**Wright**).



**1906**

L'avion *14bis* de **Santos Dumont** s'élève sur 220 m à 5 m du sol.

1906

Robert Esnault Pelterie invente le manche à balai. Le manche regroupe toutes les commandes pour diriger l'avion.

1907

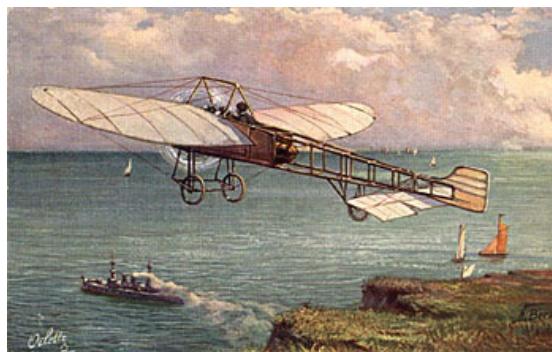
1<sup>er</sup> Hélicoptère, Paul Cornu.

1908

1<sup>er</sup> kilomètre en circuit fermé par **Henri Farman** sur un avion de **Gabriel Voisin**.  
1<sup>er</sup> passager **Farman** avec le pilote **Delagrange**.

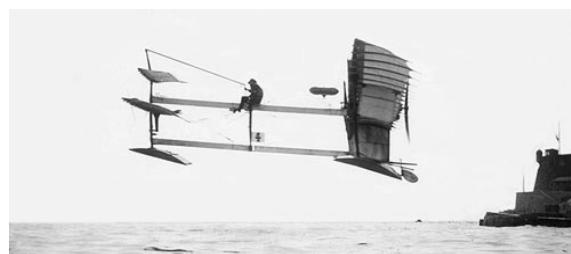
1909

Louis Blériot traverse la manche pour la 1<sup>ère</sup> fois sur son appareil, le *Blériot XI*.



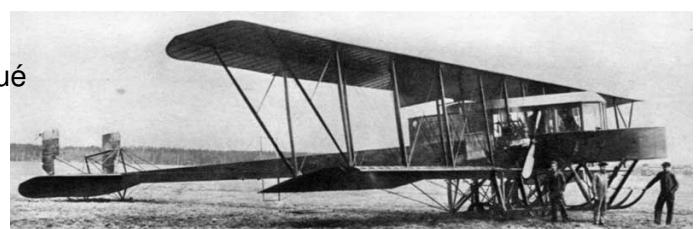
1910

1<sup>er</sup> vol d'un hydravion par **Henri Fabre**.



1913

- 1<sup>er</sup> vol d'un quadrimoteur, "Le Grand" fabriqué par le Russe **Igor Sikorsky**.



- 1<sup>ère</sup> boucle par Adolphe Pégoud.
- **Roland Garros** traverse la Méditerranée avec un *Morane type H*.



- **Maurice Prevost** bat le record de vitesse en *Déperdussin* avec 204 Km/h.  
<http://coursdubia.pagesperso-orange.fr>

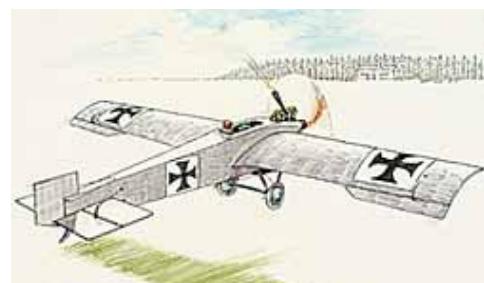
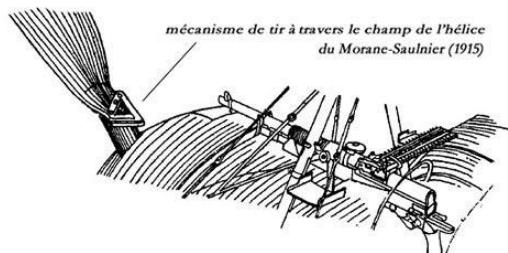
## 1914

Utilisation de l'aéroplane pour des missions de reconnaissance.  
1<sup>er</sup> combat aérien avec avion abattu.

## 1915

Naissance de l'aviation de bombardement, de chasse.  
On construit des aérodromes et l'avion est fabriqué en série.

- 1<sup>er</sup> tir à partir d'une mitrailleuse fixe à travers l'hélice : **Roland Garros** adapte sur son *Morane-Saulnier* des déflecteurs en acier déviant les balles qui ne parviennent pas à passer.
- Par la suite, un hollandais conçoit un système d'interrupteur qui assure la synchronisation du tir à travers l'hélice.
- 1<sup>er</sup> vol d'un avion entièrement métallique : le *Junkers J1*.



## 1916

Les appareils se spécialisent...

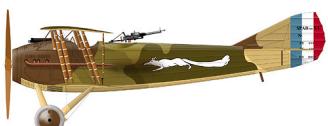
**En France :**

**Observation : Farman**

**Bombardement : Breguet XIV**



**Chasse : Spad**



**Nieuport**



- Création de l'escadrille "Lafayette" regroupant les volontaires américains combattant comme pilotes dans l'armée française.



- **Marcel Bloch** (plus connu sous le nom de Marcel Dassault) dessine une hélice qu'il appelle "Éclair", rapidement reconnue comme l'une des meilleures.

### 1917

- Un chasseur anglais décolle depuis le pont du HMS *Furious*, 1<sup>er</sup> porte-avions de l'histoire
- Regroupement des "As" dans des escadrilles d'élites.  
La plus prestigieuse est l'"Escadrille des cigognes".



### 1918

Création de la **Royal Air Force**, première force aérienne indépendante en commandement.  
Les autres forces aériennes dépendent du commandement de l'armée de terre ou de la marine.

### Les AS de la première guerre mondiale

**Français :**

**René Fonck** (75 victoires),  
"as des as" français



**Georges Guynemer** (54 victoires)



**Charles Nungesser** (45 victoires), disparut au-dessus de l'atlantique en 1927



**Allemand :**

**Manfred Von Richthofen** (80 victoires),  
le "Baron rouge", "as des as" toutes  
nationalités confondues. Abattu en 1918.





### 1919

- **Roget et Coli** partent de Paris et arrivent à Kénitra (Maroc)
- **Alcock et Brown** traversent l'Atlantique Nord de Terre Neuve à l'Irlande.
- **Poulet** part de Villacoublay (proche de Paris) pour rejoindre Rangoon.



### 1921

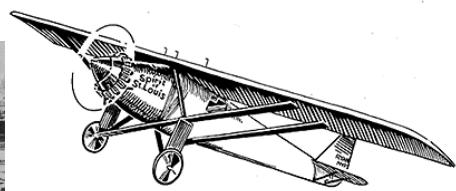
**Adrienne Bolland** traverse la Cordillères des Andes en *Caudron G3*.

### 1923

Traversée du continent américain (4088 Km), c'est le 1<sup>er</sup> ravitaillement en vol réussi.

### 1927

- **Nungesser et Coli** projettent de traverser l'atlantique nord sans escale. Ils disparaissent en mer à bord de leur biplan *Levassieur "L'Oiseau blanc"*.
- **Charles Lindbergh** relie New York à Paris avec le *Ryan "Spirit of St Louis"*.



### 1930

**Costes et Bellonte** traversent l'Atlantique Nord d'est en ouest (Paris – New York) avec le *Breguet 19 "Point d'interrogation"*.



### 1932

1<sup>ère</sup> traversée de l'Atlantique Nord par une femme, **Amélia Earhart**.

### 1938

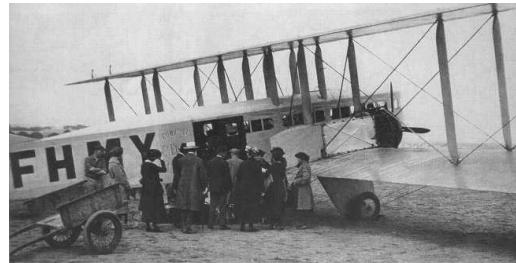
**Howards Hugues** fait le tour du monde en 3 jours 19 heures 24 mn en *Lockheed Electra*.



Au lendemain de la première guerre mondiale, les techniques ont suffisamment évolué pour permettre enfin d'envisager l'exploitation commerciale.

### 1919

Le *Farman Goliath F 60* relie Paris à Londres avec 11 passagers.



### 1921

La France exploite régulièrement les lignes Paris-Londres – de concert avec les compagnies anglaises, Paris-Amsterdam, Toulouse-Casablanca.

La traversée aérienne des Etats-Unis est assurée régulièrement.

### 1921-1933

Le développement des lignes aériennes se montre constant et rapide.

### 1933

- Regroupement de cinq compagnies aériennes françaises (**Compagnie générale Aéropostale, Air Union, Farman, C.I.D.N.A., et Air Orient**) : naissance d'Air France.



- 1<sup>er</sup> vol commercial du *Boeing 247* et du *Douglas DC 1*. Ce dernier donnera naissance à la lignée des *DC 3 Dakota* (1935).



### 1938

1<sup>er</sup> vol du *Boeing 307 Stratoliner*.

### 1940

1<sup>er</sup> vol commercial d'un avion à cabine pressurisée (*B 307*).





**LIGNES AÉRIENNES  
G. LATÉCOÈRE**



**Pierre Georges Latécoère** crée en 1919 une compagnie aérienne qui porte son nom puis deviendra ensuite l'**Aéropostale**, pour acheminer le courrier de la France vers l'Amérique du sud, via le Maroc. Il utilise des avions militaires puis met au point et construit des avions "maison" fiables. Il embauche comme directeur de la ligne **Didier Daurat**. Des pilotes célèbres font partie des Lignes Latécoère : **Guillaumet, Mermoz, St Exupéry...**



### 1919

1<sup>ère</sup> liaison aérienne postale Toulouse-Casablanca avec un *Breguet XIV*.

### 1926

La ligne est prolongée jusqu'à Dakar.

### 1928

La ligne est prolongée jusqu'à Buenos Aires en Argentine. **Mermoz** traverse l'Atlantique Sud avec un **hydravion Latécoère 28** pour le 1<sup>er</sup> vol commercial.

### 1929

Courrier assuré de Buenos Aires à Santiago du Chili, par delà les Andes.

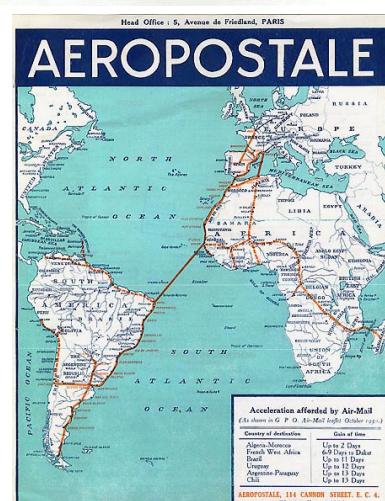


### 1933

Air France absorbe l'Aéropostale.

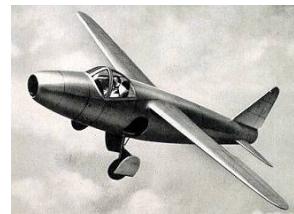
### 1936

**Mermoz** disparaît à bord du *Latécoère 300 "Croix du Sud"*. Le dernier message envoyé est : « Coupons moteur arrière droit ».



### 1939

- 1<sup>er</sup> vol d'un avion à réaction, le *Heinkel 178* allemand.
- Cinq jours plus tard, l'Allemagne envahit la Pologne, déclenchant la seconde guerre mondiale.  
Les allemands utilisent l'aviation en coopération avec leurs forces blindées.



### 1940

- Offensive allemande en France, Belgique, Hollande. La différence de matériel et d'utilisation entraîne une victoire rapide des allemands.
- **Bataille d'Angleterre.** Face à la Luftwaffe, la Royal Air Force aligne deux types d'avions de chasse réputés : le *Spitfire* et le *Hurricane*, et surtout une chaîne de radars côtiers qui s'avèrent déterminants. La conquête allemande est stoppée.



- L'aviation prend un rôle prépondérant dans le conflit, avec un développement important des bombardiers stratégiques.

### 1941

- 1<sup>er</sup> vol d'un avion à réaction anglais : le *Gloster Whittle E28*.



- Les avions de l'aéronavale japonaise lancent une attaque surprise sur la base américaine de **Pearl Harbor**, située dans l'archipel d'Hawaii, dans le Pacifique.  
Cette attaque a pour but d'empêcher les États-Unis d'interférer avec la campagne d'invasion de tout le pacifique occidental et de l'Asie du sud-est que le Japon a préparée.
- La guerre est déclarée entre le Japon et les Etats-Unis.

- Entrée en guerre des Etats-Unis au côté des alliés.

### 1942

- 1<sup>er</sup> vol d'un avion à réaction américain, le *Bell P 59 Airacomet*.
- Les alliés décident de passer à l'offensive et bombardent tous les sites stratégiques allemands avec les bombardiers lourds de construction récente : *Halifax* et *Lancaster* pour les anglais, *B17* et *B24* pour les américains.

Après quelques raids désastreux, l'USAAF prend conscience de la nécessité de donner une escorte de chasse à ses formations de bombardiers.



### 1943

Les chasseurs à long rayon d'action (*P38*, *P47* et *P51*) ont pour fonction principale d'escorter les *B17* et *B24*.

L'Allemagne se défend avec force : tous les sites stratégiques sont protégés par une puissante *Flak*, à laquelle se joint la *Luftwaffe* pour intercepter les bombardiers avant l'attaque, et les traquer sur le chemin du retour.

### 1944

- Mise en service du *Me 262*, premier chasseur à réaction à être utilisé en combat aérien.  
Sa supériorité en armement et sa vitesse sont impressionnantes. Il atteint les 860 km/h soit 100 km/h de plus que les avions de chasse alliés.
- Mise en service de l'avion de chasse anglais *Gloster Météor*.



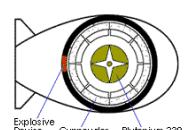
- Disparition d'**Antoine de St Exupéry** sur un *P38 Lightning* lors d'une mission de reconnaissance au départ de la Corse.



- Débarquement des alliés sur le continent européen pour mettre à mal le III<sup>e</sup> Reich. L'aviation assure la couverture aérienne des troupes débarquées et empêche les mouvements des troupes ennemis. Succès total.

### 1945

1<sup>ère</sup> bombe atomique lancée sur **Hiroshima** par le *B 29 « Enola Gay »*.  
2<sup>ème</sup> bombe sur Nagasaki.



### Les Chasseurs

France :

Dewoitine D 520



Angleterre :

Supermarine Spitfire



Etats Unis :

North American P51 Mustang



URSS :

Yakovlev Yak 3



Allemagne :

Messerschmitt Bf 109



Japon :

Mitsubishi A6M Zero



### Les bombardiers

Angleterre :

Avro Lancaster



Etats Unis :

Boeing B17 Flying fortress



Allemagne :

Focke Wulf 200



### Les as de la deuxième guerre mondiale

L'as des as chez les alliées est le soviétique Ivanovitch Pokrychkine (59 victoires).

Le plus grand as français est Pierre Clostermann.  
(33 victoires homologuées + 12 probables)



**1946**

1<sup>er</sup> vol du premier avion à réaction français, le *SO 6000 Triton*.



**1947**

Pour la première fois, un appareil franchit le "mur du son": à bord d'un *Bell X 1*, **Chuck Yeager** atteint une vitesse supérieure à 1000 km/h.



**1948**

Premier vol commercial sans escale entre Paris et New York, effectué par un constellation de la Compagnie Air France.



**1949**

1<sup>er</sup> vol d'un avion à tuyère thermo-propulsive de l'ingénieur français René Leduc.



1<sup>er</sup> vol du *De Havilland comet*, premier avion de ligne à réaction (quadriréacteur)



**1952**

**Carpentier** est le 1<sup>er</sup> pilote français à passer le mur son en *MD 452 Mystère II*.

**1954**

1<sup>er</sup> vol du *Boeing 707*.

**1955**

1<sup>er</sup> vol de la *Caravelle*



**1961**

L'avion américain *X-15* bat un nouveau record de vitesse : 4265 km/h.

**1963**

1<sup>er</sup> vol du Dassault *Falcon 20*. Dassault applique à cet avion des solutions techniques éprouvées dans le domaine militaire.



**1968**

1<sup>er</sup> vol de l'avion supersonique soviétique *Tupolev 144*.



**1969**

- 1<sup>er</sup> vol du plus grand avion de ligne de l'époque, le *Boeing 747 "jumbo jet"*.
- 1<sup>er</sup> vol du *Concorde* à Toulouse-Blagnac, piloté par **André Turcat**.

**1970**

Les premiers *Boeing 747* sont livrés à Air France pour la ligne Paris-New York.



**1972**

1<sup>er</sup> vol de l'*Airbus A 300*.

**1976**

Premiers vols commerciaux du *Concorde* sur Paris-Rio et Londres-Bahrein.

**1978**

Premier vol du *Mirage 2000*.

**1986**

- L'avion expérimental américain *Voyager* réussit un tour du monde sans escale et sans ravitaillement - 42000 km et 9 jours de vol.
- 1<sup>er</sup> vol du *Rafale*.



**1987**

1<sup>er</sup> vol de l'*A320*, premier avion de ligne à commandes de vol électriques.

**1991**

1<sup>er</sup> vol de l'*A340*.



**2005**

1<sup>er</sup> vol de l'*A380*.

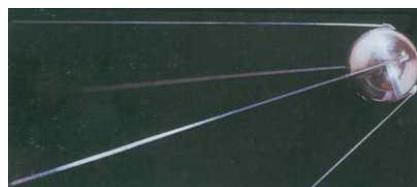


1942

 1<sup>er</sup> lancement d'une fusée de grande taille, la V2 étudiée par Von Braun.

1957

-  • Lancement du premier satellite artificiel, **Spoutnik 1**, boule de 58 cm de diamètre n'emportant pour tout équipement que 2 émetteurs radio. Spoutnik 1 tourne autour de la terre à une altitude comprise entre 228 et 947 km.



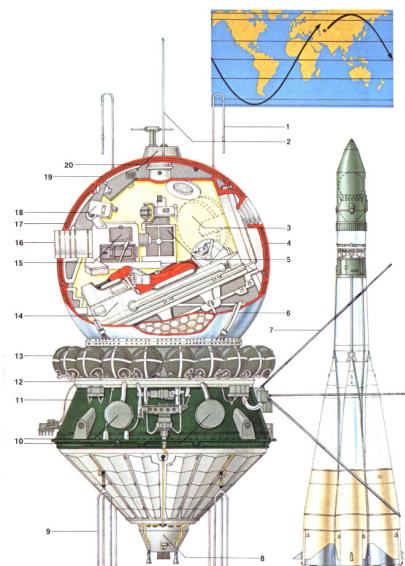
-  • Satellisation de *Spoutnik 2* avec la chienne **Laïka** à bord.

1959

 La sonde *Luna 3* passe derrière la Lune : on obtient les premières photographies de la mystérieuse face cachée !

1961

-  • 1<sup>er</sup> homme dans l'espace, **Youri Gagarine**, à bord du vaisseau **Vostok 1**. 108 mn de vol.



-  • 1<sup>er</sup> américain dans l'espace, Alan Shepard (mission **Mercury**)  
 • Crédit au CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)

1962

 1<sup>er</sup> satellite de télécommunication, *Telstar 1*.

1963

 1<sup>ère</sup> femme dans l'espace à bord de *Vostok 6* : **Valentina Terechkova**.

1965

-  • 1<sup>ère</sup> sortie dans l'espace : pendant 10 mn, **Leonov** flotte librement, relié à son vaisseau par un simple cordon ombilical.  
 • En quelques mois, les Etats-Unis éclipsent toutes les réalisations soviétiques avec les missions **Gemini**.  
 • 1<sup>er</sup> lancement d'un satellite, *Asterix*, par une fusée française *Diamant*, de la base d'Hammaguir en Algérie.  
 • 1<sup>ère</sup> photographie de la planète Mars par la sonde *Mariner 4*.

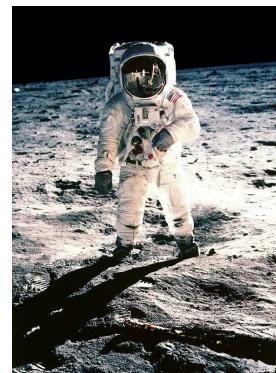
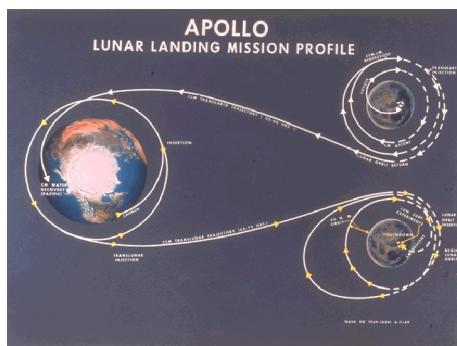


1966

 La sonde *Luna 9* atterrit en douceur. Les terriens découvrent un panorama de la Lune vu du sol de celle-ci.

1969

 1<sup>er</sup> pas sur la lune par **Neil Armstrong** (mission *Apollo 11*)



1971

 Satellisation de la 1<sup>ère</sup> station orbitale, *Saliout 1*.

1972

 Dernier alunissage.



1973

 1<sup>re</sup> station orbitale américaine, *Skylab 1*. Skylab ouvre la voie à des vols habités de très longue durée.

1975

 Un vaisseau *Soyouz* rejoint une cabine *Apollo* dans l'espace et s'arrime. Le cosmos devient le symbole de détente entre les deux grandes puissances.

1977

 1<sup>er</sup> vol plané de la navette expérimentale *Enterprise* qui est larguée à 7600 m d'altitude depuis le dos d'un *Boeing 747*.



1979

 1<sup>er</sup> lancement d'une fusée européenne, *Ariane 1*.



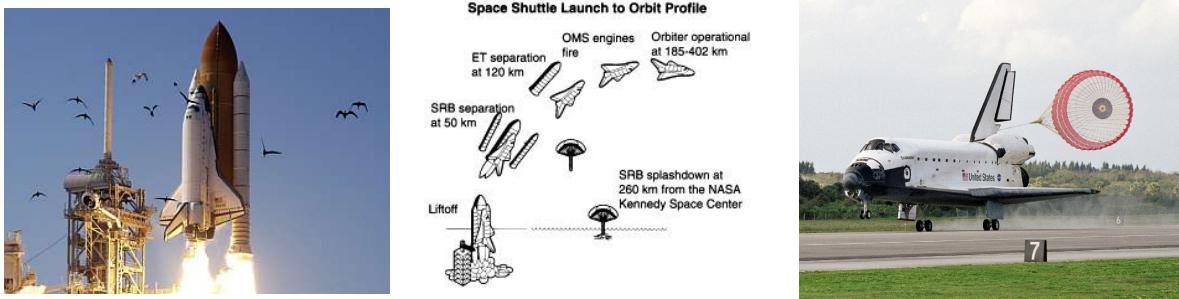
**1980**

 La sonde *Voyager 1* survole la planète Saturne et analyse ses anneaux.



**1981**

 1<sup>er</sup> vol opérationnel d'une navette spatiale américaine, *Columbia*.



**1982**

 1<sup>er</sup> spationaute français, **Jean-Loup Chrétien**, qui séjourne une semaine dans *Saliout 7*.

**1984**

 1<sup>re</sup> sortie libre dans l'espace d'un astronaute, en utilisant le fauteuil-fusée MMU.

De 1983 à 1985, à *Columbia* viennent s'ajouter trois autres navettes : *Challenger*, *Discovery* et *Atlantis*.



**1986**

- Explosion en vol de *Challenger* avec 7 astronautes à bord.
- Mise en orbite de la station *Mir*. Elle devient le premier habitat permanent de l'homme dans l'espace. Elle est désactivée en 2001.

**1990**

 Télescope spatial *Hubble* placé sur orbite.

**1992**

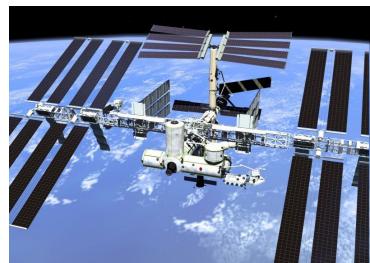
 Nouvelle navette américaine : *Endeavour*

**1997**

 La sonde *Mars Pathfinder* se pose sur la planète Mars.

**1998**

Lancement du 1<sup>er</sup> élément de la station spatiale internationale *ISS*.



**2003**

 Destruction de *Columbia* lors de sa rentrée dans l'atmosphère.