

Cours de préparation au B.I.A.

Brevet d'Initiation à l'Aéronautique
2018

Introduction : L'examen

I – ETUDE DES AERONEFS ET DES ENGIN SPATIAUX

II – AERODYNAMIQUE, AEROSTATIQUE ET PRINCIPES DU VOL

III – METEOROLOGIE ET AEROLOGIE

IV – NAVIGATION . REGLEMENTATION, SECURITE DES VOLS

V - HISTOIRE ET CULTURE DE L'AERONAUTIQUE ET DU SPATIAL

Merci à Charles Pigaillem qui a été à l'origine de ce cours et dont nous utilisons quelques fiches

BREVET D'INITIATION AERONAUTIQUE (L'examen)

Le Brevet d'Initiation Aéronautique est un diplôme à part pour l'Education Nationale. Il n'a pas véritablement d'équivalent. Il est en effet à la jonction de l'Education et du monde de l'aviation et de l'espace ; un pont entre passion et raison, savoir et pratique, professionnel et amateur, civil et militaire. Son histoire ancienne et prestigieuse démontre sa valeur et son intérêt. La France est un grand pays d'aéronautique et le BIA est un formidable vecteur de découverte qui permet aux candidats de mettre en avant des compétences et des savoirs avec enthousiasme et rigueur. L'inspection générale des Sciences et Technique de l'Ingénieur a la chance d'être en charge pour l'Education Nationale de ce diplôme. Le BIA est mis en œuvre en pleine coordination avec la Direction Générale de l'Aviation Civile et le Conseil National des Fédérations Aéronautiques et Sportives.

Les nouveaux textes réglementaires définissant le BIA et le CAEA ont été publiés en mars 2015. Les précédents remontaient à 1999 et le principe du BIA sous d'autres formes et sous d'autres noms existe depuis la fin des années 1930.

La réforme du BIA a été menée par un Groupe de Travail constitué de membres de l'Education Nationale, de la DGAC et du CNFAS. Elle aboutit à la publication d'un nouvel arrêté sur le BIA et à la signature d'une convention entre les parties. Quels en sont les grands principes ? Tout d'abord préserver le BIA, le clarifier sans tout modifier. Le BIA se passera toujours sous forme d'un QCM. Ensuite, garantir l'homogénéité de l'application des textes. Tout est donc parti de la définition d'un nouveau référentiel de programme, en ayant à l'esprit trois principes : ne pas perdre de vue la dimension d'initiation, tenir compte de toutes les pratiques et introduire plus nettement une dimension culturelle. Il s'agit d'abord de développer une culture aéronautique initiale. Ce qui fait la force de l'aviation, c'est la dimension des métiers et des pratiques qui, en France a toujours su partager un socle culturel commun (loisir, civil, militaire, pilote, non pilote). Il faut préserver, développer cet atout.

Le programme du BIA a par ailleurs renforcé trois domaines, celui de la sécurité, celui de l'espace et de celui de l'histoire. S'agissant des options, elles se sont développées dans le temps pour palier le manque de diversité du tronc commun. Comme ce défaut a été comblé, il n'est plus nécessaire de développer les options. Seule une option nationale d'anglais a été maintenue. Le temps de formation au BIA est d'un minimum d'une quarantaine d'heures

QUESTIONS FREQUENTES

Quel est l'intérêt de passer le BIA ?

Le BIA est une initiation à la culture scientifique et technique de l'aéronautique et du spatial, c'est la meilleure voie d'entrée pour découvrir toute la richesse de ce monde, où se mêlent, la passion, la technique, l'exploit, la rigueur, l'innovation, l'histoire. (lien vers arrêté BIA)

Le BIA permet de valoriser et découvrir tout un ensemble de savoir et de pratiques

Le BIA permet également d'accéder à des soutiens pour apprendre le pilotage dans le cadre des Fédérations Aéronautiques membres du CNFAS.

Il est par ailleurs utile dans un CV pour des carrières aéronautiques

Comment, quand et où passer le BIA ?

Le BIA est un diplôme de l'Education Nationale dont l'examen se passe sous la forme d'un QCM. Il a lieu généralement un mercredi du mois de mai. Il est organisé sous la responsabilité de chaque académie.

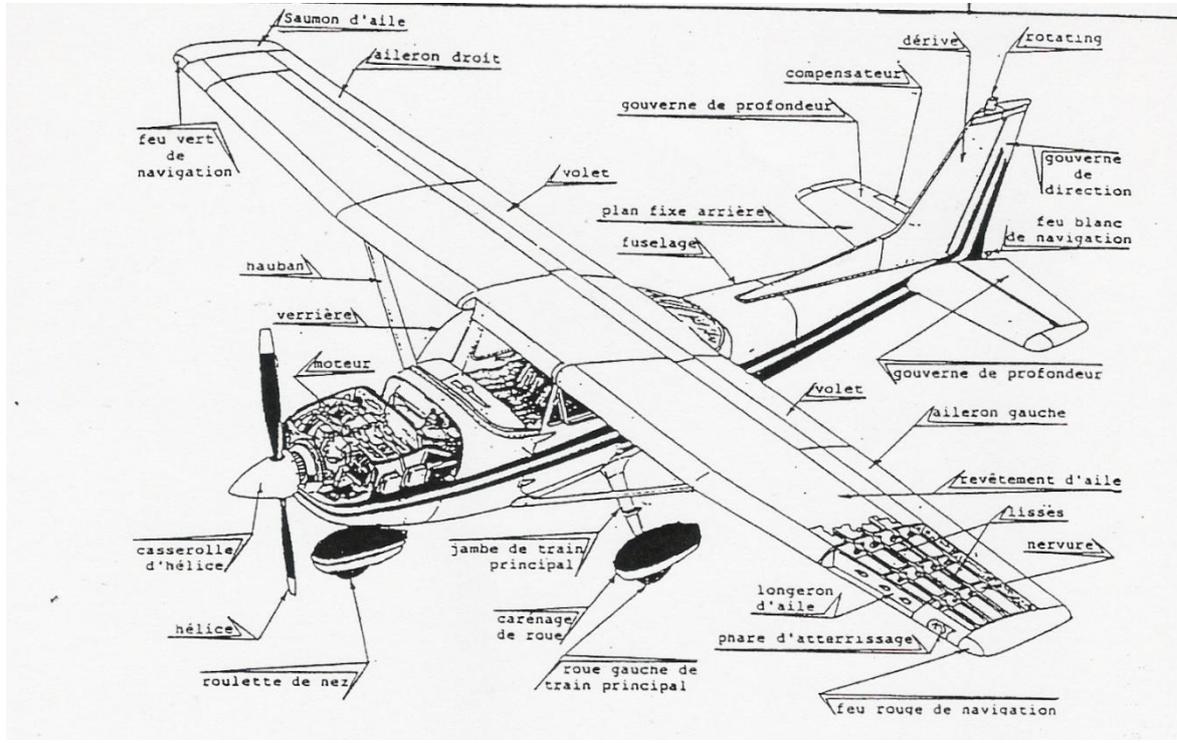
L'aviation est elle dangereuse ?

Depuis le mythe jusqu'à nos perceptions modernes, ce qui vole semble sensationnel. Le vol humain n'est pas naturel, il est tardif et défie nos instincts. L'aviation est donc toujours spectaculaire et les accidents marquent les esprits. Pourtant l'aviation est le mode de transport le plus sûr qui prend en compte de manière systématique l'exigence de sécurité. On retient souvent du mythe d'Icare, le drame mais il faut surtout comprendre que Dédale, le père d'Icare a volé et que l'accident est dû au manque de respect des paramètres du vol. Ce mythe, même métaphorique, nous invite donc à prendre l'aéronautique et le spatial pour ce qu'ils sont véritablement, une technique sensationnelle et pleinement rationnelle.

[retour au sommaire général](#)

PARTIE 1

ETUDE DES AERONEFS ET DES ENGIN SPATIAUX



[retour au sommaire général](#)

PROGRAMME DU BIA

3 – Étude des aéronefs et des engins spatiaux

Compétences attendues	Savoirs associés	Niveau d'acquisition				Commentaires
		1	2	3	4	
<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les différents types d'aéronefs • Repérer et décrire les principaux systèmes ou éléments réalisant les fonctions techniques élémentaires des aéronefs 	3.1 – Classification des aéronefs et des engins spatiaux - Aérostats - Aérodynes à voilure fixe, souple et tournante - Engins aérospatiaux : lanceurs, fusées, vaisseaux - Engins spatiaux : satellites et sondes					<i>Il ne s'agit pas d'une description de tous les types d'aéronefs ou d'engins spatiaux, mais d'une approche globale des grandes familles.</i>
	3.2 – Les groupes motopropulseurs - Moteurs à pistons - Propulseurs à réaction : turboréacteurs, statoréacteurs, moteurs-fusées - Turbopropulseurs et turbomoteurs - Motorisation électrique - Hélices et rotors (principe, rendement, calage, couple gyroscopique, souffle hélicoïdal) - Contraintes liées au développement durable (réduction du bruit, optimisation énergétique)					<i>Il convient d'insister sur la notion de « groupe motopropulseur » et d'aborder les grands principes de leur fonctionnement.</i> <i>Le couple gyroscopique peut utilement être illustré par une expérimentation.</i> <i>Le principe de la propulsion par réaction peut être mis en évidence à l'aide d'un simple ballon de baudruche ou d'une fusée à eau.</i> <i>L'utilisation de bancs didactiques sur les moteurs à pistons, de microréacteurs de modélisme ou d'animations virtuelles, constitue une aide pédagogique efficace.</i>
	3.3 – Structures et matériaux - Voilures - Empennages - Fuselage - Atterrisseurs					<i>Lier l'étude des structures à celle de leurs matériaux et des forces s'exerçant sur ses composants.</i>
	3.4 – Les commandes de vol - Rôle : contrôle en tangage, en roulis et en lacet - Technologies : mécanique, hydraulique et électrique					<i>Les effets secondaires doivent être simplement évoqués.</i>
	3.5 – L'instrumentation de bord - Rôle et fonctionnement des instruments de communication, de pilotage, de navigation et de surveillance					<i>Pour le fonctionnement, il convient de se limiter à un descriptif simple.</i>
	- Interprétation de la lecture d'une grandeur					

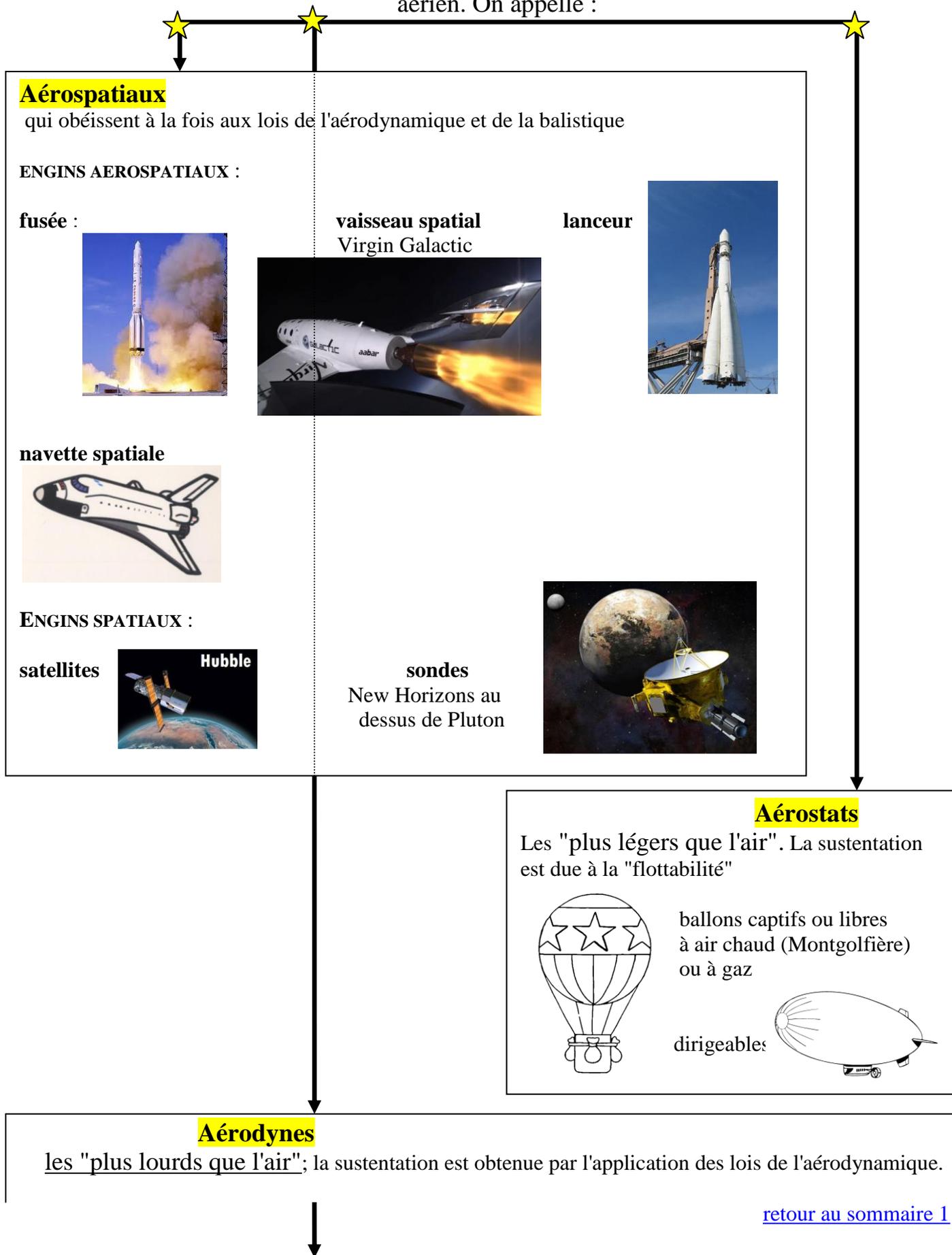
TABLE DES MATIERES 1

INTRODUCTION : CLASSIFICATION DES AERONEFS	page 5
L'AVION - description - le groupe motopropulseur	page 7
LE BALLON A AIR CHAUD	page 22
L'ULM	page 24
LE PARAPENTE	page 25
LE PARACHUTE	page 25
L'AILE DELTA	page 26
LE VOL A VOILE	page 27
L'HELICOPTERE	page 29
AEROMODELISME	page 30
FUSEES ET SATELLITES	page 33
LES INSTRUMENTS - anémomètre - altimètre - indicateur de virage - horizon artificiel - instruments de navigation - instruments de radionavigation	page 39

[retour au sommaire général](#)

INTRODUCTION : CLASSIFICATION DES AERONEFS

On désigne par **aéronefs**, tous les appareils capables de s'élever et circuler dans l'espace aérien. On appelle :



↓
Aérodynes

les "plus lourds que l'air"; la sustentation est obtenue par l'application des lois de l'aérodynamique. à voilure fixe, souple ou tournante

Les **planeurs** qui utilisent les courants atmosphériques pour se déplacer

deltaplane

cerf-volant

parachute

parapente

Giravions : appareils à voilure tournante (rotor) qui assure à la fois la sustentation et la propulsion



hélicoptère : giravion à décollage vertical

autogire (rotor libre)



Avions : appareils à voilure fixe (aile) qui utilisent un ou plusieurs dispositifs de propulsion

Avion « lourds » : capacité maxi supérieure à 10 passagers

Avions légers : 5,7 tonnes maximum au décollage

Aéromodèles



drones

ULM

Pendulaire ou « 2 axes »

ULM « 3 axes »

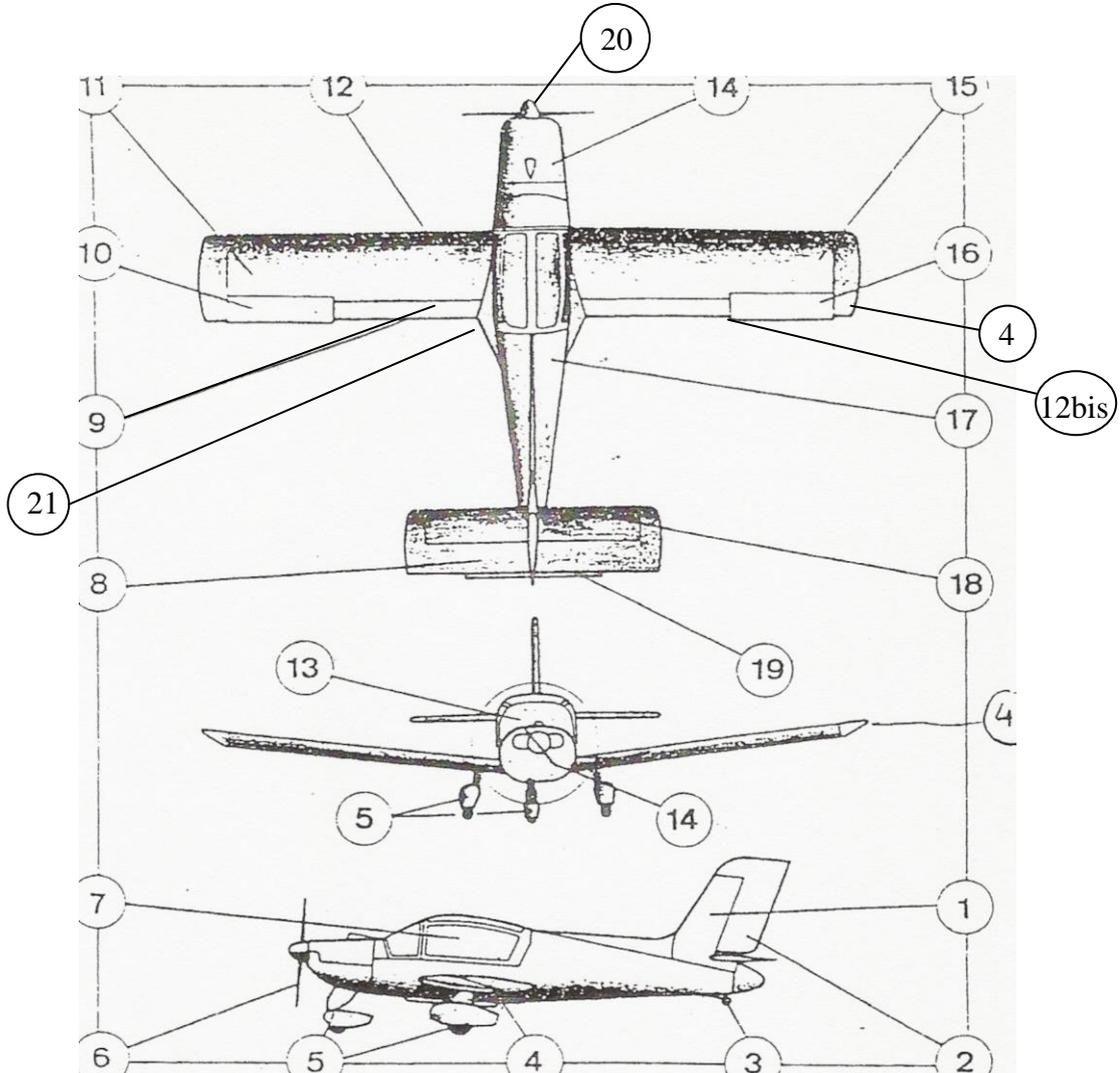
[retour au sommaire 1](#)

L'AVION - description

1° - DESCRIPTION

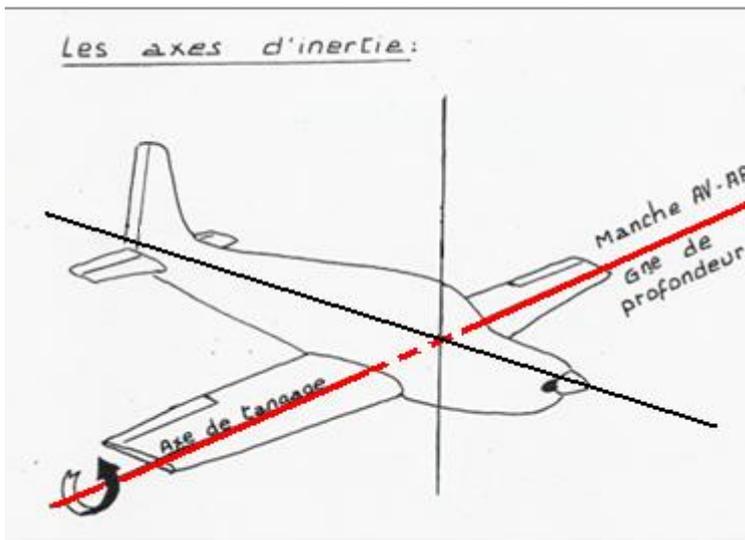
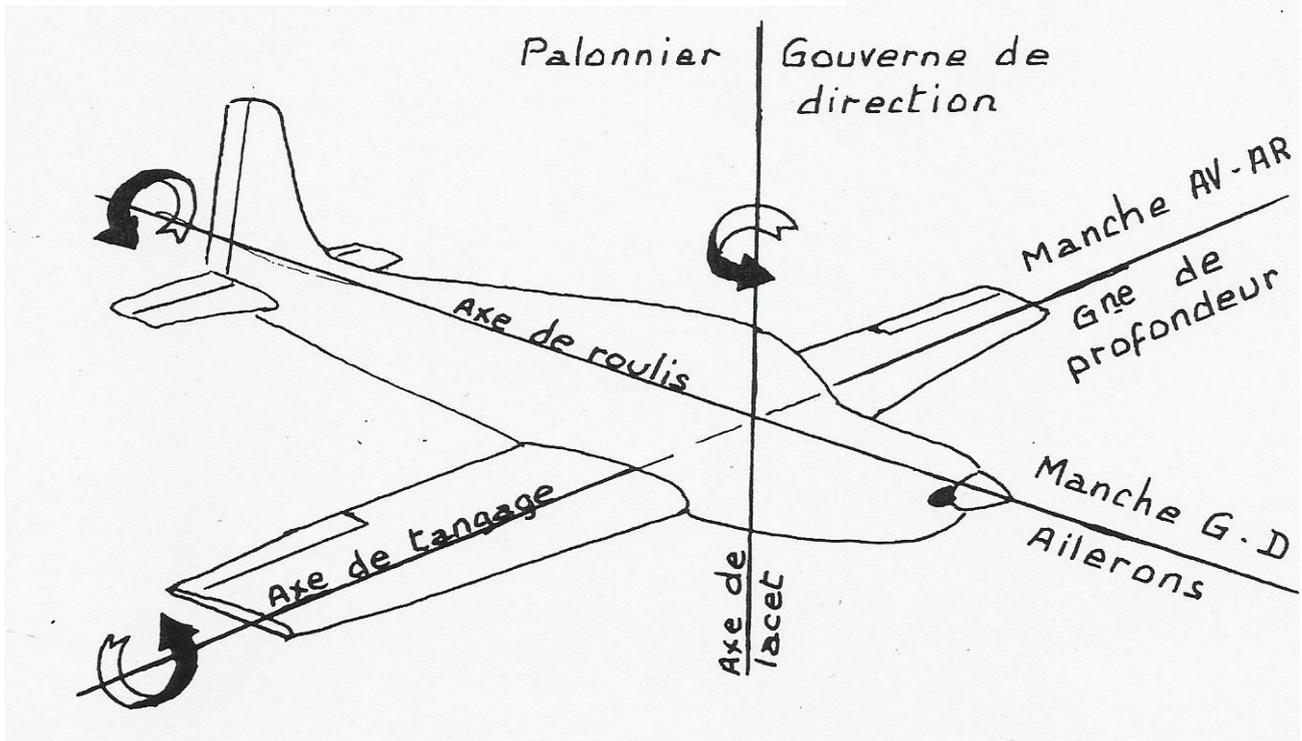
Parmi les aéronefs, les avions étant plus lourds que l'air, font partie des aérodyne

Parties principales de l'avion (RALLYE) : cellule et groupe motopropulseur

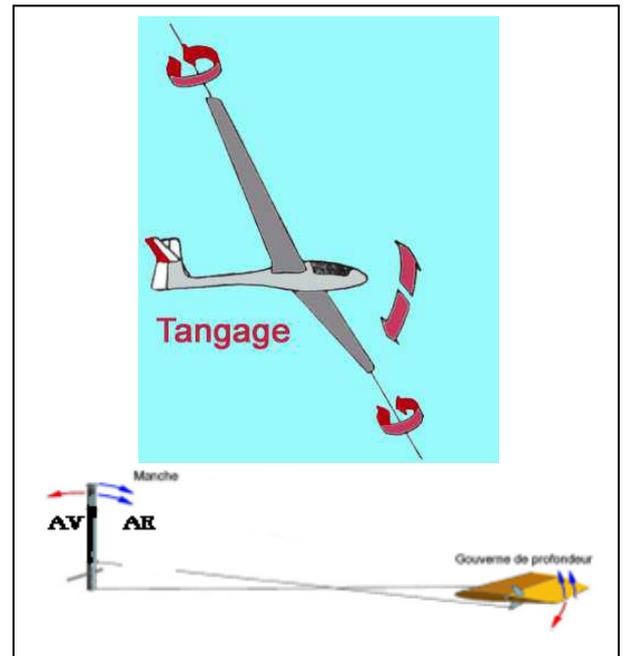


- | | |
|---|--|
| 1. Dérive (Plan fixe vertical) | 12 . Bord d'attaque |
| 2. Gouverne de direction | 12bis . Bord de fuite |
| 3. Béquille (ou roulette de queue) | 13 . Pare-brise |
| 4. Saumon d'aile | 14. Capot moteur |
| 5. Train tricycle (ou train classique) | 17. Fuselage |
| 6. Hélice tractive (ou propulsive) | 18. plan fixe horizontal |
| 7. Habitacle | 19 . Compensateur de profondeur |
| 8. Gouverne de profondeur | 20 . Casserole (ou cône) d'hélice |
| 9. Volets de courbure (pas obligatoire : ex : piper J3) | 21 . Karman d'aile |
| 10. et 16. Ailerons | 1 , 2 , 8 , 18 : Empennage |
| 11. et 15 : demi-ailes | parfois 18 + 8 : gouverne monobloc (ex : RobinDR400) |

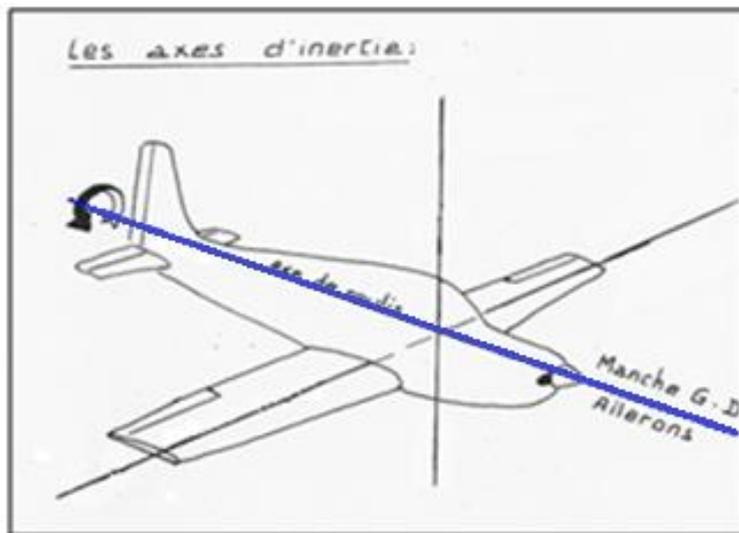
2° - LES AXES D'INERTIE



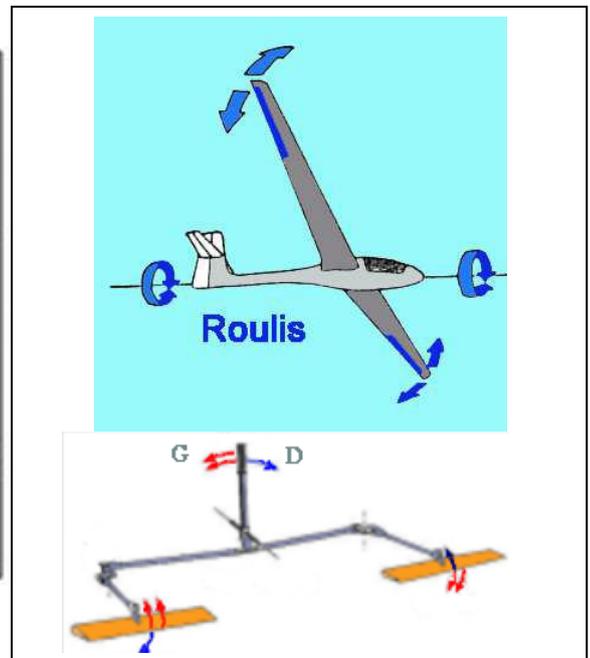
Utilisation du manche et, à l'horizontale: mise en montée, mise en descente



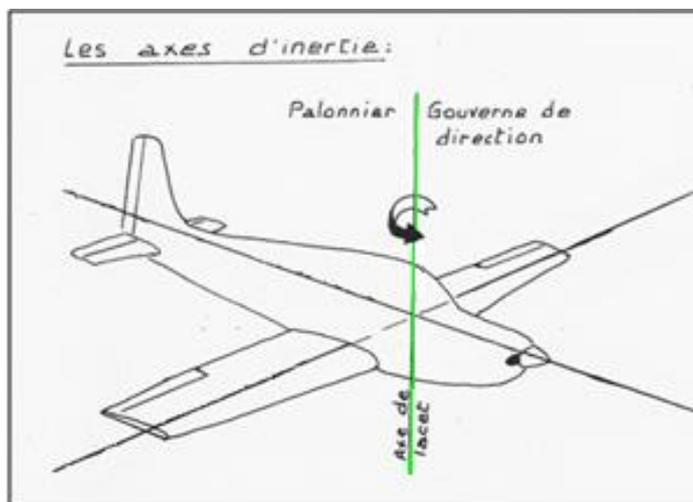
AXES DE L'AVION	GOVERNE	COMMANDES	MOUVEMENT DE L'AVION à partir de l'horizontale
TANGAGE	PROFONDEUR	MANCHE AVANT-ARRIERE	DESCENTE OU MONTEE



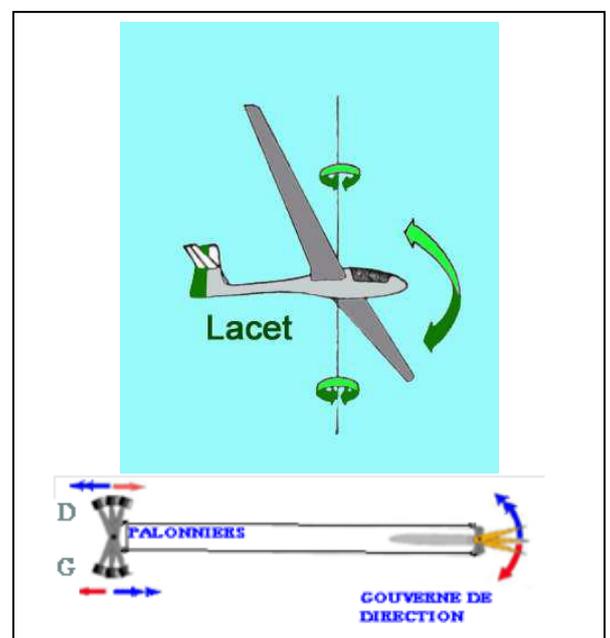
Utilisation du manche et mise en virage



AXES DE L'AVION	GOVERNE	COMMANDES	MOUVEMENT DE L'AVION à partir de l'horizontale
ROULIS	AILERONS	MANCHE GAUCHE-DROITE	INCLINAISON LATÉRALE GAUCHE-DROITE



Utilisation du palonnier



AXES DE L'AVION	GOVERNE	COMMANDES	MOUVEMENT DE L'AVION à partir de l'horizontale
LACET	DIRECTION	PALONNIERS	ORIENTATION DU NEZ A GAUCHE OU A DROITE

3° - LES DISPOSITIFS HYPERSTENTATEURS

Volets d'intrados



Volets de courbure



Volets Fowler



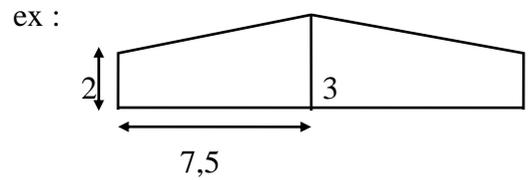
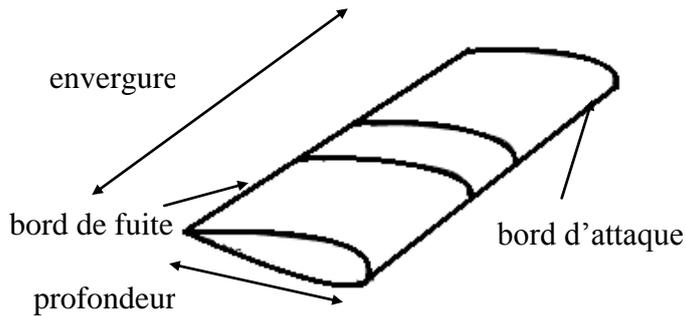
Becs de bords d'attaque



4° - VOILURES ET EMPENNAGES

L'aile

- forme: rectangulaire (Rallye), trapézoïdale (Joker), elliptique (Cap 10), delta (Mirage 2000)

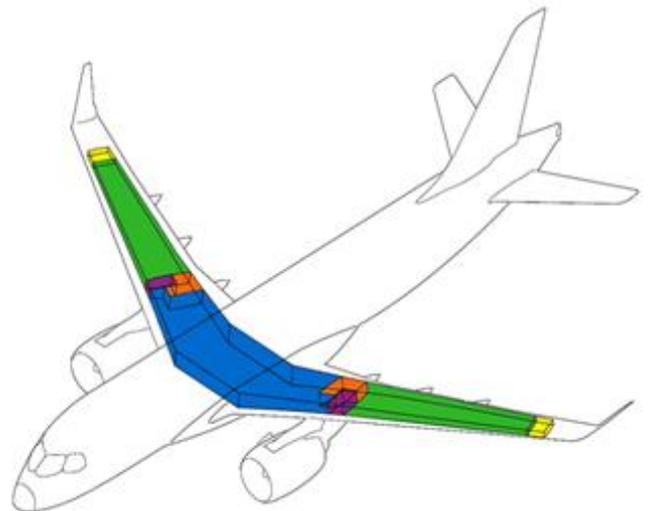


Les parties avant et arrière de l'aile se nomment respectivement le bord d'attaque et le bord de fuite. Sur le bord de fuite sont articulés les volets (le plus près du fuselage) et les ailerons et sur le bord d'attaque les becs.

L'extrémité de chaque aile se termine généralement par une partie profilée dénommée **saumon**. Ce saumon supporte les **feux de navigation**.



L'espace laissé libre entre les nervures permet de loger des réservoirs de carburant



La partie de l'aile qui assure la jonction avec le fuselage se nomme **l'emplanture**, le profilage aérodynamique de l'emplanture se nomme le **Karman**.

- allongement :

$$\lambda = \frac{(\text{envergure})^2}{S} = \frac{\text{envergure}}{\text{profondeur moyenne}};$$

dans l'exemple : $15 / 2,5 = 6$



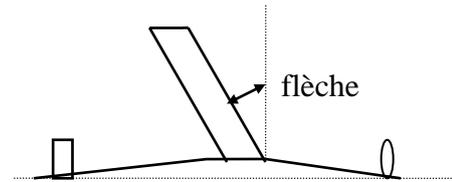
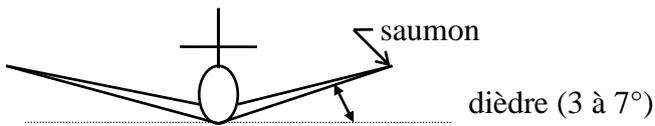
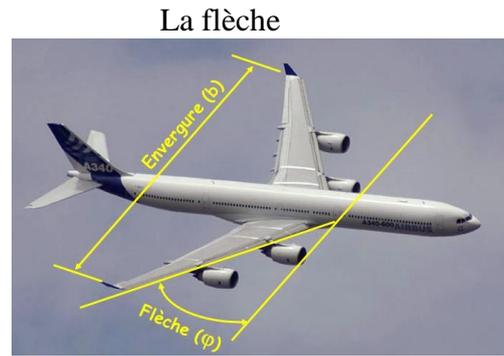
Une aile à grand allongement a une faible traînée induite mais se prête peu à une grande vitesse :

- Petit allongement : Supersonique Concorde : 1.55 - F 104 Starfighter : 2.46
- Moyen : Robin DR-400 : 5.35
- Grand : 10 à 15, avion de transport régional ATR : 12.4 - Dash-8 : 13.4
- Très grand : > 20, avion solaire Helios 30 - planeur Nimbus 4 : 39

Les pales d'hélicoptères sont des ailes à très grand allongement

Exemple : Robinson R22, rotor diamètre 7,67 m, corde 0,188 m, allongement 42

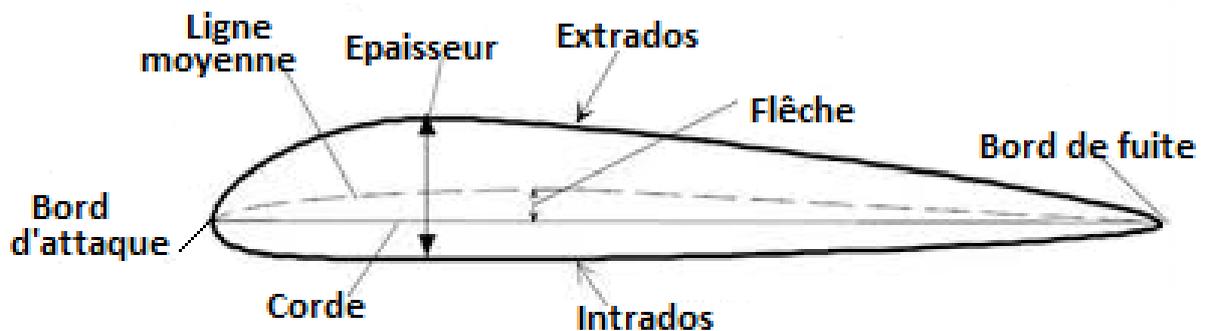
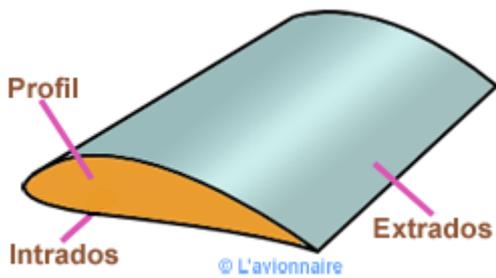
- autres caractéristiques :
Le dièdre



dièdre négatif : Lockheed Galaxy

flèche inversée : Grumman X29

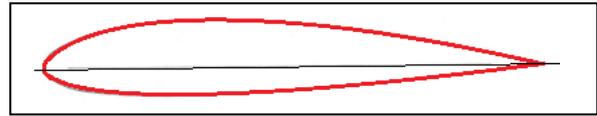
- caractéristiques d'un profil



- Profil des ailes
biconvexe symétrique
utilisé pour les empennages



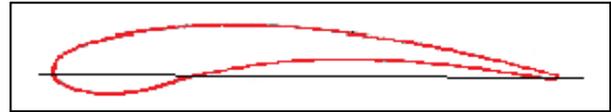
biconvexe dissymétrique



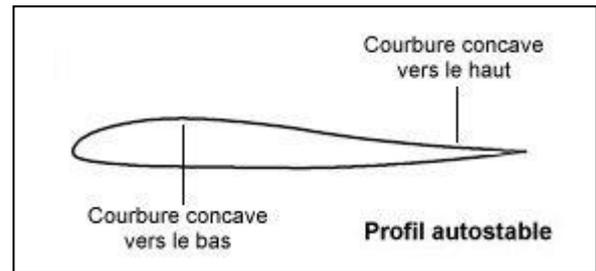
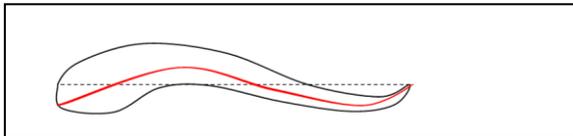
plan convexe



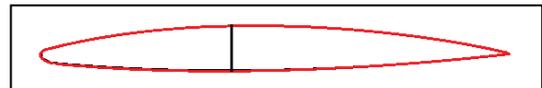
creux
grande portance – lent



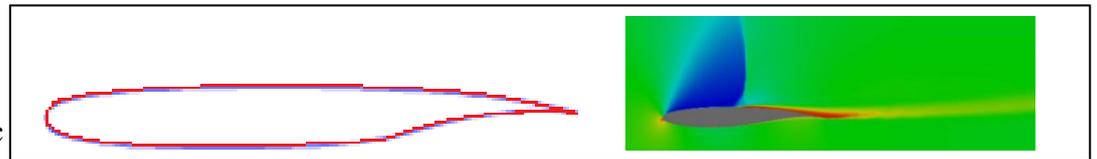
double courbure : auto stable



laminaire



supercritique
recule l'onde de choc



- plans longitudinaux de l'aile

- formule classique : propulsion essentiellement tractée



Trapézoïdale en flèche



Elliptique (Spitfire)



Rectangulaire (Pilatus)



Trapézoïdale en flèche inversée (Grumman X29)



Gothique (Concorde)



Delta (Mirage 2000)



Géométrie variable (Mirage III G)



Aile volante (Northrop B2 Spirit)

- formule canard : propulsion poussée



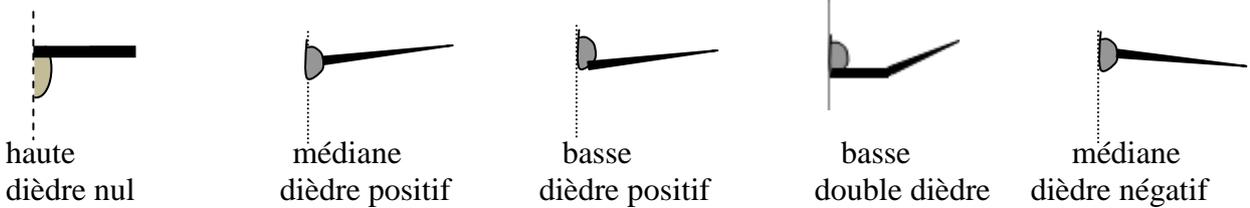
Rutan Long EZ



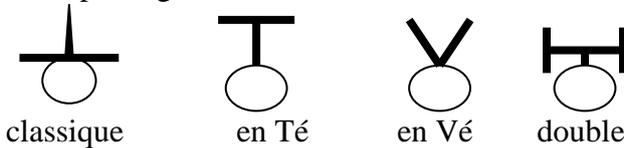
Beechcraft Starship

- Plans frontaux

* des ailes



* des empennages



7° - Train d'atterrissage

Son rôle est d'assurer la conduite de l'avion et d'amortir les efforts subis lors de la prise de contact de l'avion avec le sol. Il existe deux types de trains d'atterrissage.

1. Le train classique

Il est constitué d'un atterrisseur principal disposé sous la voilure ou le fuselage de chaque côté de l'axe principal de l'avion, ainsi que d'une **roulette de queue**. Ce système tend à disparaître car le centre de gravité étant en avant du système de rotation (roulette de queue), l'ensemble est particulièrement instable.



2. Le train tricycle

Il est constitué d'un atterrisseur principal disposé sous la voilure ou le fuselage de chaque côté de l'axe principal de l'avion, ainsi que d'une **roulette de nez** qui permet de diriger l'avion au sol..



Sur ces deux types de trains, des freins sont montés sur les roues principales (train principal). Les efforts liés au roulage ou à l'atterrissage sont absorbés par des amortisseurs oléopneumatique, mécanique ou constitués de lames métalliques.

Qu'il soit tricycle ou classique le train principal doit supporter seul les efforts liés à l'atterrissage.

Le train de type quelconque peut être **rentrant** afin de diminuer la traînée

Lorsque la roulette de nez ou de queue est liée mécaniquement à la gouverne de direction, on dit que la **roulette est conjuguée**

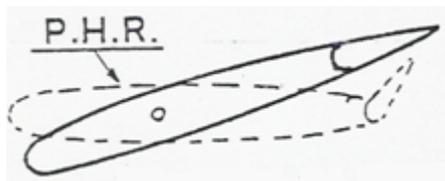
D'autres systèmes d'atterrissage existent et dépendent de la nature de la zone d'atterrissage (flotteurs pour hydravion, skis en montagne, roue centrale et balancines en bout d'aile etc.)



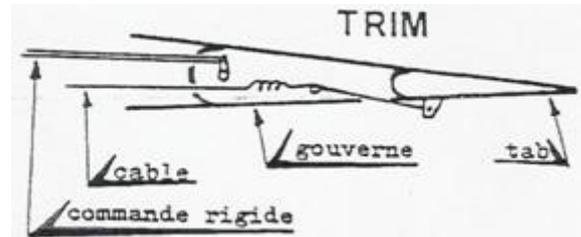
5° - COMPENSATEURS AERODYNAMIQUES

Compensateurs de régime

Ils ont pour rôle d'annuler les efforts du pilote aux commandes en vol stabilisé. Ce sont des organes commandés.



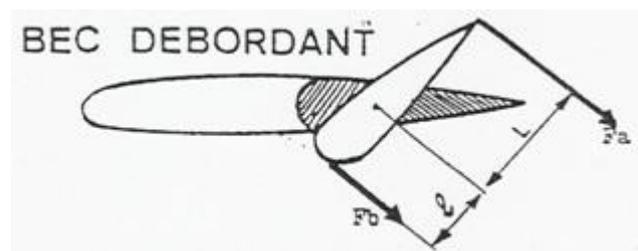
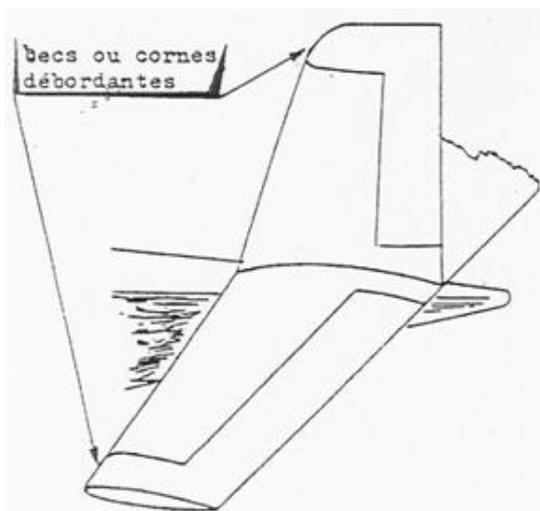
L'évolution est commandée par le braquage gouverne (pointillés). Lorsque l'avion est stabilisé sur la nouvelle trajectoire, un calculateur commande un nouveau calage du plan horizontal réglable (P.H.R.). Ce principe réduit la traînée



Le trim, ou tab commandé, permet au pilote de régler l'effet de la gouverne en fonction du régime de vol stabilisé recherché. (croisière, montée, descente, attitude)

Compensateurs d'évolution

Ils ont pour rôle de réduire les efforts du pilote aux commandes, lors des évolutions de l'avion autour de son centre de gravité. Ce sont des organes automatiques.

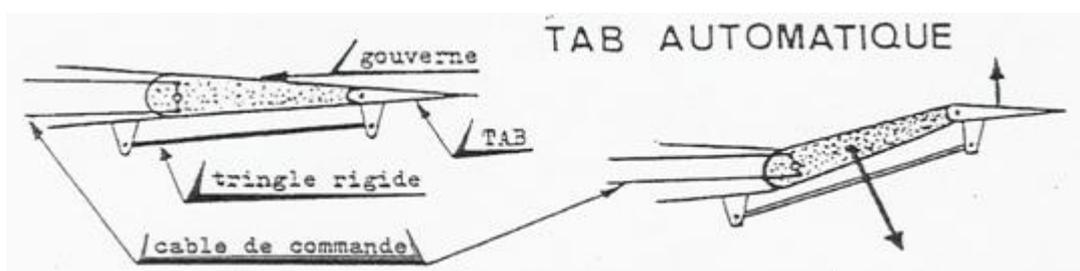


$F_a.L$ est le moment que le pilote doit équilibrer par son effort.

$F_b.L$ est le moment assistant le pilote dans son effort.



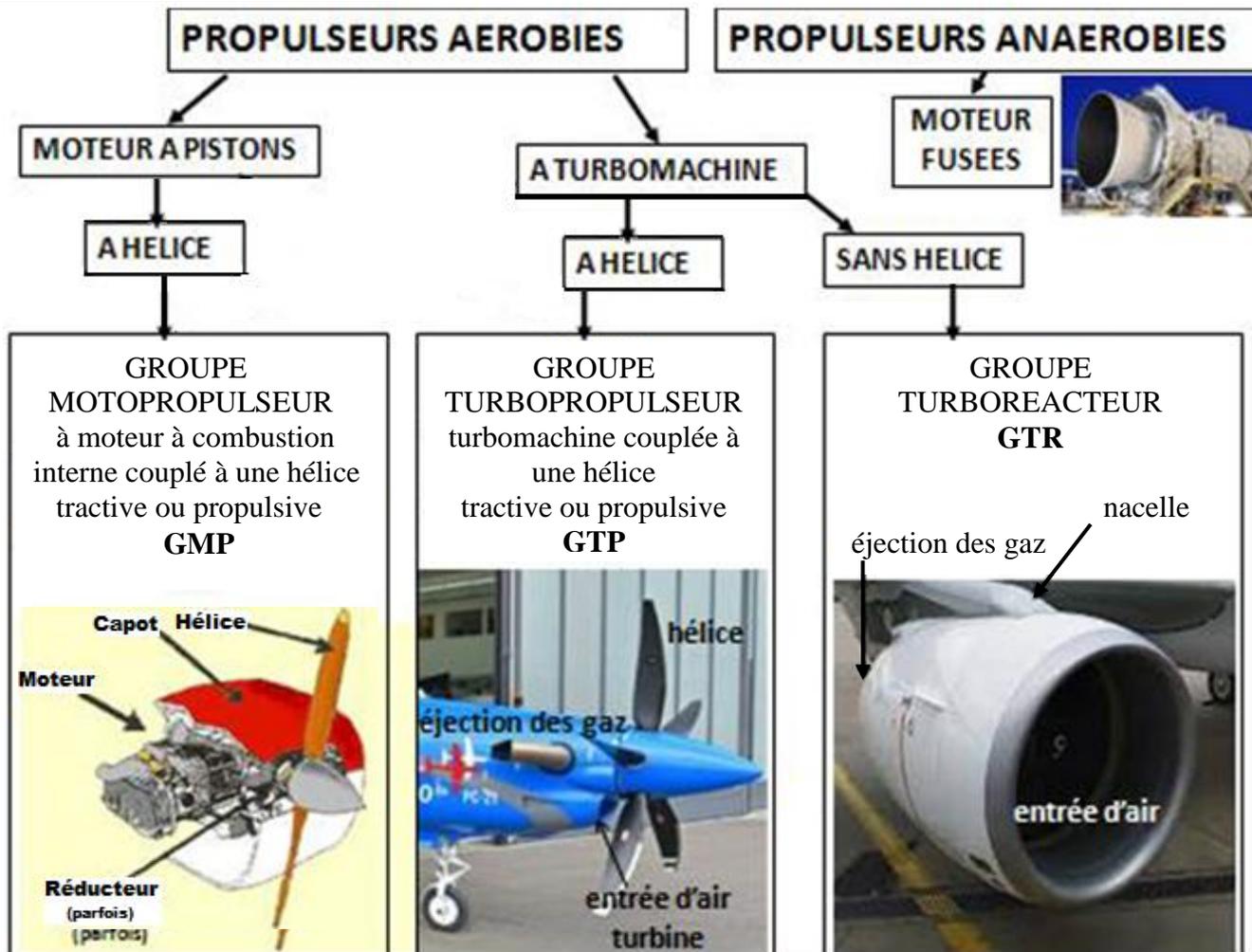
même principe sur toute la longueur gouverne.



Le braquage du tab de compensation est fonction du braquage gouverne.

[retour au sommaire 1](#)

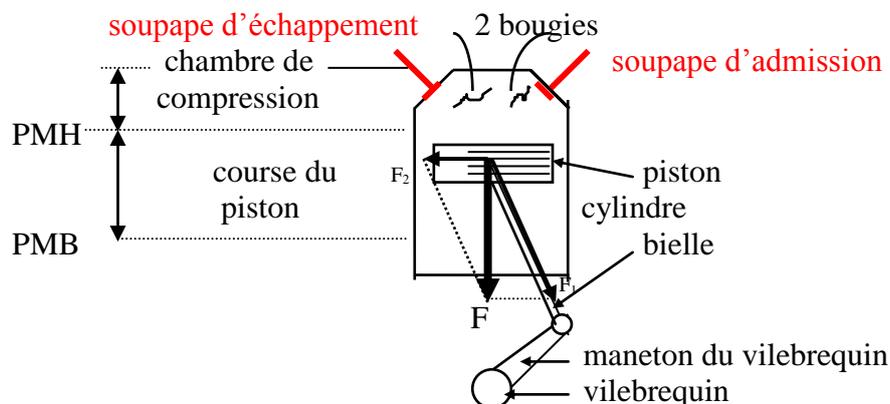
6° - PROPULSEURS



LE GROUPE MOTOPROPULSEUR (GMP)

De 3 types : réacteur ou turbopropulseur avec hélice ou moteur à pistons avec hélice : c'est celui-là qui va principalement nous intéresser ici.

Principe du moteur à quatre temps :



Premier temps : l'admission

Admission du mélange air-essence. Le piston descend, soupape d'échappement fermée, soupape d'admission ouverte.

Tiré vers le bas par la bielle et le vilebrequin, le piston en descendant, aspire un nouveau mélange air/carburant provenant du carburateur.

Près de la fin de course du piston (appelée point mort bas), la soupape d'admission se ferme par un mécanisme liant la soupape à l'arbre à cames.



Deuxième temps : la compression

Le piston remonte sous l'action du vilebrequin. Le mélange air-essence est comprimé dans un petit espace (chambre de combustion) en haut du cylindre donc s'échauffe.

Troisième temps : combustion-détente (seul temps moteur)

Le mélange est mis à feu par les bougies dont l'alimentation par haute tension électrique se fait aux moments appropriés.

Instantanément, le mélange commence à brûler près de la bougie et la flamme se propage très rapidement jusqu'à ce que le mélange soit entièrement consommé. Bien que la combustion soit rapide, ce n'est cependant pas une explosion. Cela provoque une augmentation énorme de la pression dans le cylindre et force le piston vers le bas loin de la tête de cylindre (culasse), créant ainsi la force motrice qui fait tourner le vilebrequin. Lorsque le piston est proche du point bas de sa course, la soupape d'échappement s'ouvre pour laisser dans le 4ème temps les gaz brûlés s'échapper. Lors d'une combustion correcte, tout le mélange brûle proprement et de façon continue.

Quatrième temps : échappement

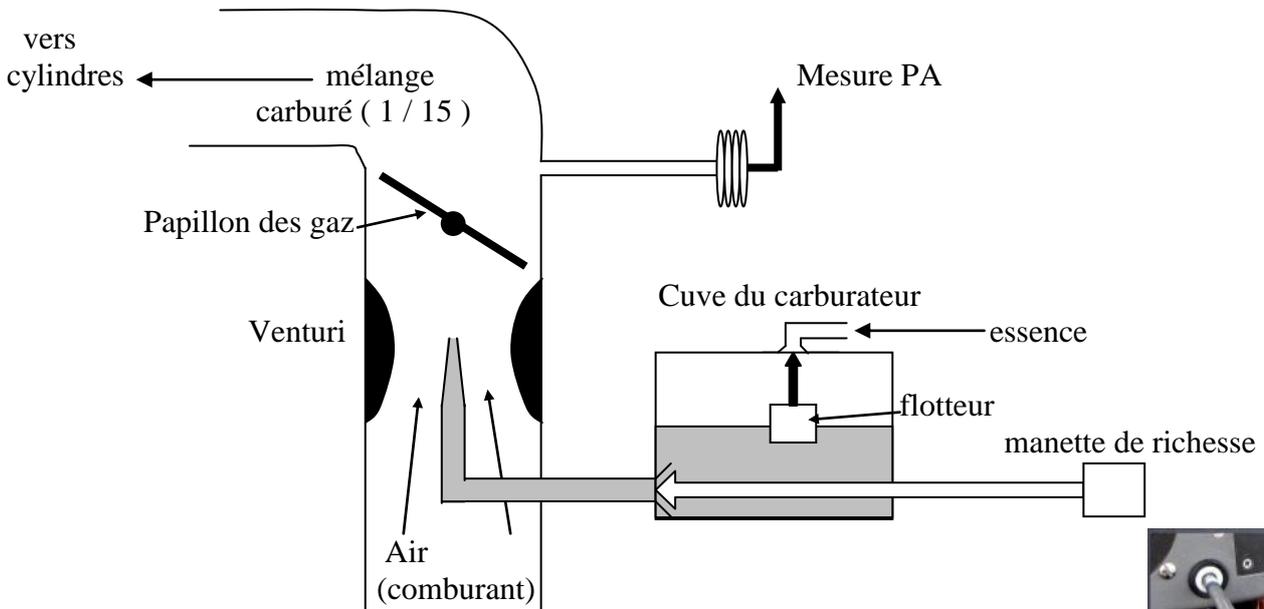
Lors du quatrième temps, le temps d'échappement, la presque totalité des gaz brûlés est rejetée par la remontée du piston vers la culasse. Juste avant que le piston atteigne le point mort haut, la soupape d'admission s'ouvre et la soupape d'échappement reste ouverte quelques instants après le point mort haut. A un instant donné, par conséquent, les deux soupapes sont ouvertes en même temps (fin de la course d'échappement et au début de la course d'admission).

Dans un moteur à quatre temps disposant de quatre cylindres, le piston refoulé par l'explosion-détente (n°3) entraîne les trois autres par l'intermédiaire du vilebrequin. Ces trois autres cylindres disposent ainsi de l'énergie nécessaire à la réalisation des trois autres cycles; C'est aussi le vilebrequin qui transmet l'énergie à l'hélice et l'énergie nécessaire au fonctionnement des accessoires et servitudes : alternateur, magnétos, pompe à vide, pompe à essence, régulateur d'hélice s'il y a lieu ...



Alimentation

- un ou des réservoirs avec mise à l'air libre , purge et jauges
- filtre
- pompe électrique auxiliaire qu'on branche systématiquement au moment du décollage et de l'atterrissage.
- pompe à essence mécanique liée au moteur.
- carburateur :
Celui-ci permet de réaliser le mélange air-essence idéal :
rapport 1 / 15 (1g d'essence pour 15g d'air) au niveau de la mer.



Le pilote dispose de 3 manettes :

- **la manette des gaz** (accélérateur) permet, en ouvrant plus ou moins le papillon des gaz de régler à volonté la pression d'admission donc d'augmenter ou diminuer la puissance développée par le moteur.
- **la manette de mélange** (ou de richesse ou correcteur altimétrique ou mixture)
Elle agit sur le débit du gicleur d'essence pour compenser la diminution de densité de l'air en altitude. Mais attention !
 - mélange trop pauvre ($< 1 / 15$) : échauffement du moteur et risques de détonations
 - mélange trop riche ($> 1 / 15$) : encrassement et consommation trop élevéeLa manette de mélange sert, à fond de course, d'étouffoir (arrêt du moteur).
- **la manette de réchauffage carburateur** :
problème du givrage du carburateur: phénomène très dangereux et très courant: le mélange air - essence s'effectue dans une zone de dépression, le gicleur étant placé dans un étranglement
 - refroidissement de l'ordre de 20°C
 - condensation et risque de givrage de la vapeur d'eau contenue dans l'air d'admission
 - la glace ainsi formée obture plus ou moins l'orifice d'admission
 - troubles du fonctionnement du moteur, perte de puissance, arrêt du moteur .

Les conditions propices à l'apparition de givrage carburateur sont :

- une température extérieure de 15 à 20°C
- une atmosphère humide
- un papillon des gaz semi-fermé (gaz réduits)

Remède : Le réchauffage carburateur consiste à faire passer l'air extérieur autour de l'échappement pour le réchauffer avant l'admission (+ 50°).

Inconvénient : Perte de puissance, l'air plus chaud étant moins dense.



Carburants : les essences sont classées selon leur indice d'octane qui caractérise leur pouvoir antidétonant. En aviation légère, on utilise la 100LL (bleue)



Huiles : minérales pures : moteurs en rodage; minérales dispersantes (avec additifs)
On évitera le mélange de ces huiles. Le grade d'une huile caractérise sa viscosité (le grade à utiliser augmente avec la température).

Circuit d'allumage (contacts magnétos)

Son rôle est de fournir l'étincelle aux bougies. On utilise pour cela des magnétos. La magnéto est un organe autonome qui n'a pas besoin de la batterie pour fournir le courant d'allumage, à condition d'être néanmoins entraînée par le moteur (donc aussi en faisant tourner l'hélice). Le circuit d'allumage est toujours doublé : 2 magnétos, 2 fils, 2 bougies par cylindre, pour accroître la sécurité et améliorer la combustion.



Circuit électrique (contact général)

On peut éventuellement s'en passer: batterie (12 ou 24 volts), alternateur, toutes les servitudes électriques: démarreur, pompes, jauges, radio, lumières...

Remarque : Ces deux circuits, allumage et électrique, sont totalement indépendants l'un de l'autre.

Refroidissement du moteur : par air

L'HELICE

Pièce en bois, en métal ou en matériaux composites destinée à transformer la rotation de l'arbre-moteur en translation de l'avion. Elle comporte un moyeu fixé au bout du vilebrequin, sur lequel sont fixées au moins deux pales identiques (en général 2, 3 ou 4). L'hélice étant faite pour tourner est assimilée à un cercle et sa longueur s'appelle diamètre. Le fait de multiplier le nombre de pales permet de diminuer le diamètre et donc la vitesse circonférentielle (et donc le bruit !)

Garde de l'hélice : espace entre l'hélice et le sol quand l'avion est en ligne de vol.

L'hélice en général tractive peut aussi être propulsive.

Chaque pale a un profil analogue à celui d'une aile avec bord d'attaque et bord de fuite : c'est une aile tournante.

La corde de ce profil fait avec le plan de rotation de l'hélice un angle appelé **angle de calage**.

L'extrémité de pale ayant une vitesse linéaire plus importante que près du moyeu, il faut diminuer l'angle de calage en partant du centre vers les extrémités (**vrillage**). L'angle de calage indiqué de l'hélice est celui de la corde de référence située **à 70 %** de sa longueur en partant du centre.

α : angle de calage

(corde de profil-plan de rotation)

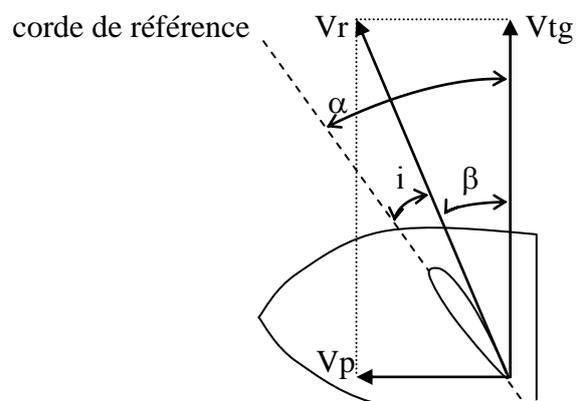
β : angle d'avance

i : angle d'incidence

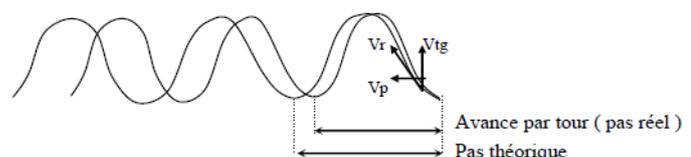
V_{tg} : vitesse de rotation de l'hélice

V_p : vitesse propre de l'avion

V_r : vitesse du vent relatif



Pas de l'hélice : c'est la distance théorique parcourue par l'avion quand l'hélice a effectué un tour, alors que l'avance par tour est la distance réelle

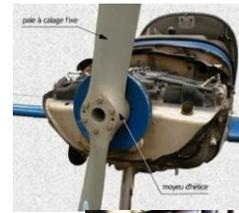


Il existe :

- des hélices à calage fixe : toujours un compromis : elles ne peuvent pas fournir un rendement optimal pour toutes les phases de vol.
- des hélices à calage variable : pales indépendantes; on adapte le calage à la vitesse de l'avion de façon à avoir dans tous les cas la meilleure incidence d'où un rendement optimal :
 - **décollage et montée (et atterrissage) : petit pas**
 - **croisière : grand pas**

Remarque : On met systématiquement du petit pas au décollage et à l'atterrissage (pour une remise de gaz éventuelle).

- Hélice à vitesse constante : optimise le rendement quel que soit le régime de vol adopté; un régulateur centrifuge compare la fréquence de rotation de l'hélice (régime) à la fréquence de rotation que le pilote a choisie (fréquence de référence) en positionnant la manette de commande; à chaque écart de régime le régulateur commande une variation de calage par un dispositif hydraulique de manière à conserver le régime initialement commandé.



L'hélice à droite sur la photo est en drapeau

l'autre à gauche est en petit pas vol

Fonctions commandées secondaires

- * Fonctionnement en transparence : calage utilisé à l'entraînement pour simuler une panne moteur (l'hélice ne tire ni ne freine).
- * Fonction drapeau : calage à 90° : la traînée est minimale et l'hélice ne consomme que très peu d'énergie ; ce calage est adopté en cas de panne moteur.
- * Reverse : angle de calage négatif. L'hélice exerce une traction inverse au sens d'avance de l'avion (ne pas confondre avec le fonctionnement en frein)

Matériaux

- * Hélices bois : le plus souvent lamellé-collé de hêtre. Absorbent les vibrations. Nécessitent un blindage métallique ou composite de bord d'attaque comme protection contre les gravillons.
- * Hélices métal (Duralumin) Plus solides que le bois, profil mieux respecté.
- * Hélices composites : verre, kevlar ou carbone. Compromis entre bois et métal, elles absorbent mieux les vibrations que les métaux.



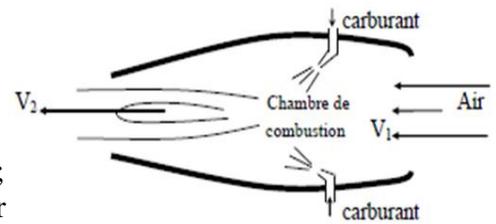
En approximation, le réglage du pas, c'est la boîte de vitesse d'une automobile :

- **Plein petit pas - 1ère**
- **Petit pas / grand pas - de 2 à 4, 5 ou 6ème selon les modèles**
- **Hélice en drapeau - Point mort**
- **Reverse - Marche arrière**

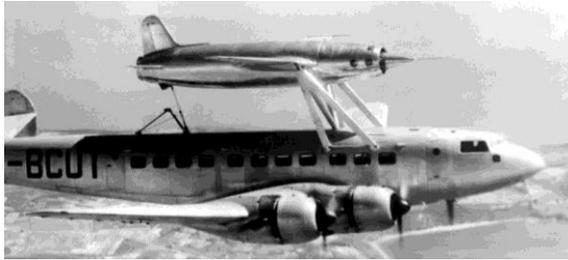
LES REACTEURS

LE STATOREACTEUR

Aucune pièce en mouvement, la vitesse crée la compression de l'air; L'aéronef doit donc être préalablement propulsé à grande vitesse par un autre dispositif; plus il va vite, plus la poussée est forte.



LEDUC 010 emmené par un LANGUEDOC



1957 : NORD 1500 GRIFFON 1^{er} statoréacteur autonome



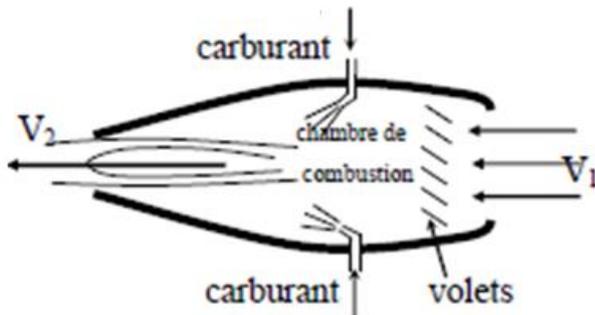
Leduc 010. Deux exemplaires sont construits. Le 01 commandé par le gouvernement français en 1937, voit sa construction suspendue pendant la guerre. Il sort de l'usine de Toulouse le 23 septembre 1946 et effectue ses essais en vol (attaché puis largué en vol plané à partir du 19 novembre 1946 avec le 1er vol opérationnel le 21 avril 1949).

LE PULSOREACTEUR

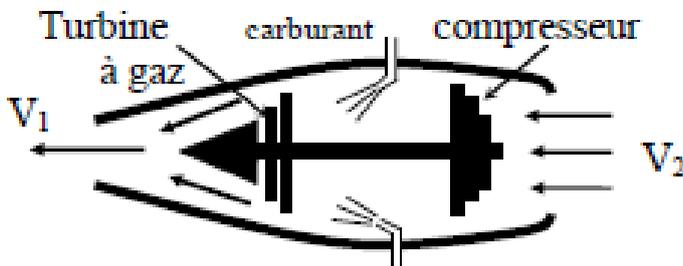
Dans un 1^{er} temps, l'air extérieur s'engouffre à travers des volets d'admission articulés disposés à la partie antérieure du moteur. Sous la pression de l'air comprimé, le carburant ouvre le clapet d'admission et pénètre en pulvérisation dans la chambre de combustion.

Dans un 2^{ème} temps, le mélange est enflammé par une bougie à incandescence. Sous la pression, les gaz sont projetés par l'arrière de la tuyère. La pression à l'intérieur du réacteur redevient alors inférieure à la pression de l'air extérieur, les volets et le clapet d'admission s'ouvrent pour un nouveau cycle qui se reproduit au rythme de 47 par seconde.

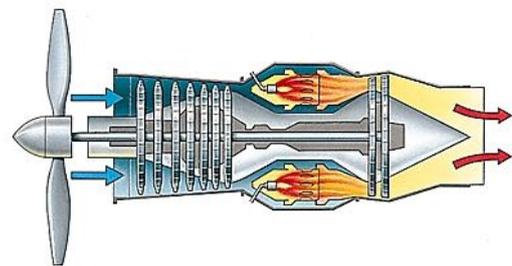
V1 lancé à 500 km/h



Le TURBOREACTEUR (G.T.R.)



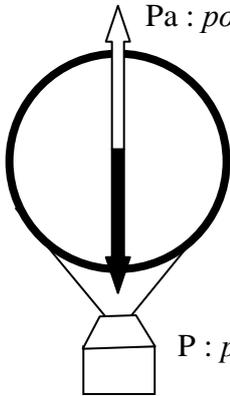
Le TURBOPROPULSEUR (G.T.P.)



[retour au sommaire 1](#)

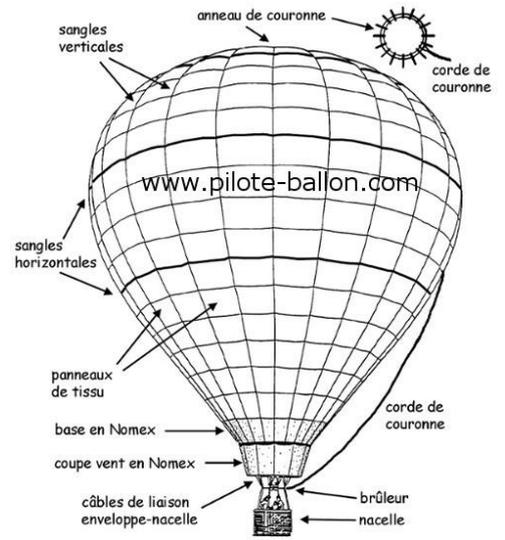
LE BALLON A AIR CHAUD

A volume égal, l'air chaud est plus léger que l'air froid (masse volumique plus faible); il s'ensuit une force verticale vers le haut: la poussée d'Archimède, qui va faire monter le ballon.



- Si $P_a > P$, le ballon monte.
- Si $P_a = P$, le ballon reste stable à l'altitude atteinte.
- Si $P_a < P$, le ballon descend.

La force résultante (poussée – poids en charge) est proportionnelle à l'écart de température entre l'air chaud du ballon et l'air extérieur.



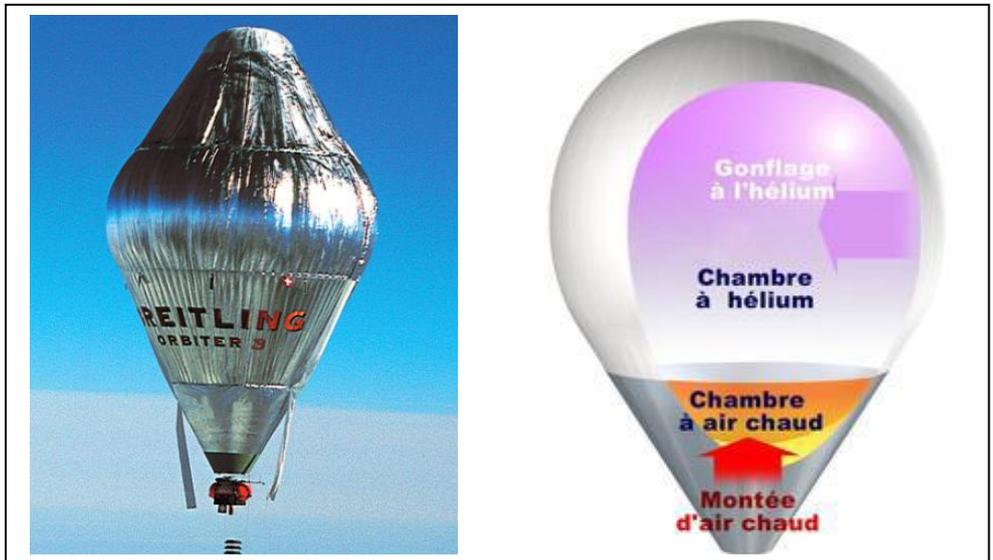
Dans ses évolutions, le ballon subit des déformations dues aux efforts aérodynamiques de déplacement et de turbulences.

Même principe pour le ballon à gaz.

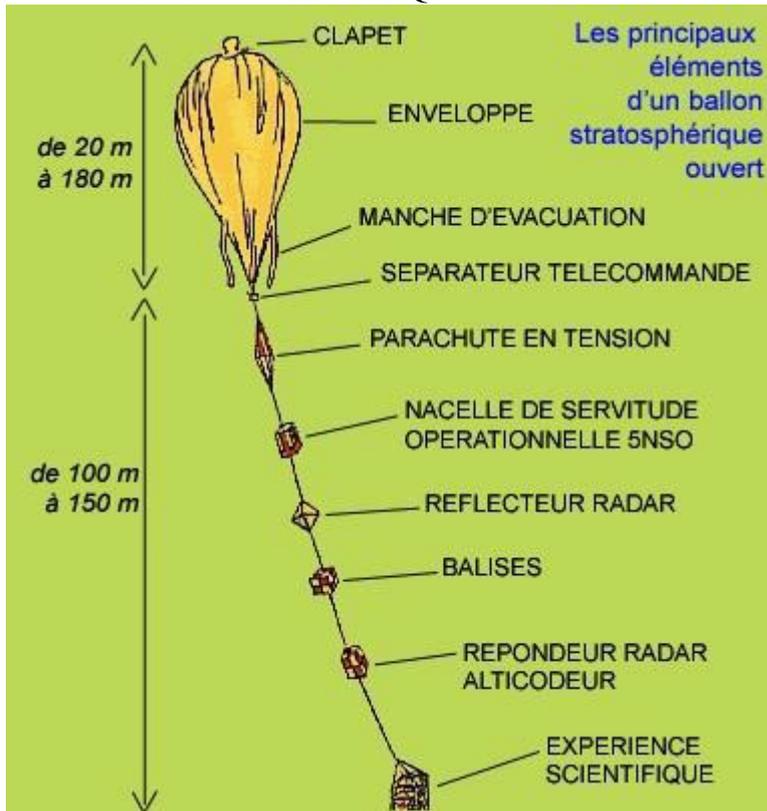


Une Rozière combine les deux techniques : C'est un ballon mixte : hélium - air chaud

Rozière du tour du monde de Bertrand Piccard



LE BALLON STRATOSPHERIQUE



Le ballon stratosphérique, appelé aussi ballon-sonde, est historiquement un ballon expérimental utilisé pour l'étude de l'atmosphère et l'astronomie. Aujourd'hui de nombreux vols de ballons ont une finalité technologique. Ils testent par exemple des instruments destinés à être embarqués à bord de satellites. C'est aussi une activité pratiquée dans les écoles ou les activités scientifiques.

Le principe est celui d'un ballon à gaz (enveloppe remplie d'un gaz plus léger que l'air) mais à la différence d'un ballon à gaz dont le volume de l'enveloppe est fixe, le ballon stratosphérique a une enveloppe extensible peu remplie au départ qui grossit au fur et à mesure que l'aérostat prend de l'altitude.

L'altitude moyenne avant éclatement est de 30 km pour une charge utile de 2,5 kg maximum et une durée de vol de l'ordre de 3 heures.

Un ballon stratosphérique est constitué de plusieurs éléments qui forment **la chaîne de vol** :

- **l'enveloppe**, fabriquée avec un matériau de quelques microns d'épaisseur et gonflée à l'hélium,
- **le parachute**, préalablement inséré dans la chaîne de vol et s'ouvrant après éclatement du ballon pour freiner la descente de la nacelle,
- **le réflecteur-radar** (appareillage ou plaque qui permet de présenter aux ondes émises par un radar la surface la plus grande et la plus réfléchissante possible), qui permet aux avions de repérer le ballon dans le ciel,
- **la nacelle** (ou charge utile) contenant les expériences scientifiques. Elle peut aussi embarquer un système de télémétrie qui transmet au sol les résultats des expériences en temps réel.

L'ULM

Qu'est-ce qui caractérise un ULM ?

Le terme d'ULM s'emploie pour désigner un aéronef "Ultra Léger Motorisé".

La définition réglementaire :

Un ULM est un "aéronef", c'est-à-dire un appareil qui vole, ayant des caractéristiques particulières que l'on peut résumer ainsi :

* C'est au maximum un appareil biplace, il ne peut emporter qu'un seul passager en plus du pilote.

* Il doit avoir une masse maximale au décollage, tout compris (machine, passagers, carburant, bagages, etc...) de 300 Kg pour un monoplace ou 450 Kg pour un biplace (5% supplémentaires si l'ULM est pourvu d'un parachute).

* Il doit être capable d'atterrir avec une vitesse minimum de 65 Km/h.

Faut-il un brevet pour piloter un ULM ?

Oui, il faut être détenteur d'un brevet de pilote ULM, spécifique à chaque classe d'ULM, délivré par le Ministère des Transports à l'issue d'un examen qui comporte un examen théorique, une épreuve pratique au sol et une épreuve pratique en vol.

L'âge minimum requis est de 15 ans pour piloter, 18 ans pour être instructeur.

Un ULM peut-il décoller et atterrir n'importe où ?

Un ULM peut décoller et atterrir occasionnellement sur un terrain ayant les caractéristiques suffisantes (terrain dégagé, de 200 à 300m de long et 20 de large) à condition d'avoir l'autorisation de son propriétaire ou ayant droit, et d'avertir le maire de la commune. Un tel terrain est appelé "plate-forme occasionnelle".

Les six classes d'ULM

Un U.L.M. paramoteur classe 1 est un aéronef sustenté par une voile souple, de type parachute.



Un U.L.M. pendulaire classe 2 est un aéronef sustenté par une voile rigide sous laquelle est généralement accroché un chariot motorisé

La vitesse de décrochage est inférieure ou égale à 65 km/h ou la charge alaire à la masse maximale est inférieure à 30kg/m².



Un U.L.M. multi-axe classe 3 est un aéronef sustenté par une voile fixe.

Il répond aux conditions techniques suivantes : La puissance maximale est inférieure ou égale à 60 kW pour les monoplaces et à 75 kW pour les biplaces. la charge alaire à la masse maximale est inférieure à 30kg/m².



Un autogire ultra-léger classe 4 à rotor libre



Un aérostat ultra-léger classe 5

répond aux conditions techniques suivantes :

Le volume de l'enveloppe d'hélium est inférieur ou égal à 900 m³.

Le volume de l'enveloppe d'air chaud est inférieur ou égal à 2000 m³.



Un hélicoptère ultra léger classe 6

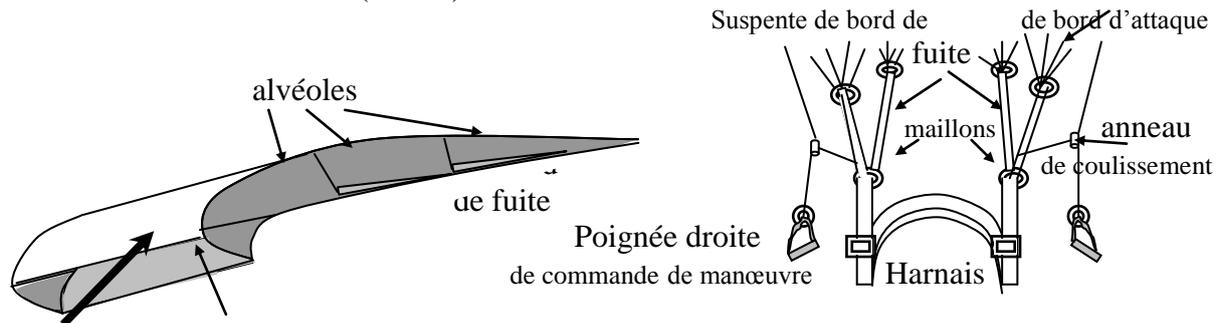


[retour au sommaire 1](#)

LE PARAPENTE

La voile est une aile profilée par gonflage dû au vent relatif. Une poignée improprement appelée « commande de frein » dont le câble guidé dans un anneau agit sur les suspentes de bord de fuite, permet un gauchissement de la voile, en permettant ainsi la manœuvre. Une action simultanée sur les deux commandes de frein a un effet d'hypersustentation. La toile n'est pas poreuse comme celle des parachutes; c'est une toile genre spi de planche à voile, enduite, plus fragile (notamment aux UV) et moins souple.

Harnais : avec ou sans sellette (hamac)



Vent relatif Entrée d'air de gonflage (bord d'attaque)

LE PARACHUTE

Les parachutes individuels

- Parachute de sauvetage : parachute dorsal utilisé en vol à voile et voltige
 - * le harnais : permet le brélage du parachutiste
 - * le parachute extracteur : équipé ou non d'un ressort, il sort la voilure de son sac et l'accompagne jusqu'à l'ouverture;
 - * la voilure : de type sphérique (calotte) comporte 16 à 28 fuseaux suivant les modèles,
 - * les suspentes : regroupées sur 2 ou 4 étriers constituant le système de liaison avec le harnais
 - * le système d'ouverture : constitué d'une poignée sur la partie gauche de la sangle principale. Cette poignée commande l'ouverture par un câble souple ou par l'intermédiaire d'un boîtier chronobarométrique
- Parachute de saut : parachute principal dorsal de type alvéolaire à trajectoire et vitesse de chute contrôlée et parachute ventral de secours : utilisés par les parachutistes militaires, sportifs et professionnels



Les parachutes liés au matériel

- Parachute de secours : pour un ULM et son pilote (muni parfois d'un extracteur pyrotechnique.
- Parachutes freins : pour ralentir un avion lors de l'atterrissage.
- Parachute de largage de matériel tels que vivres, médicaments, véhicules... La surface de voile dépend du matériel largué
- Parachutes de sièges éjectables
- Parachute anti-vrilles



[retour au sommaire 1](#)

AILE DELTA SOUPLE

Utilisée en version Planeur Ultra Léger (PUL): deltaplane ou version Ultra Léger Motorisé (ULM) c'est une aile profilée creuse sans cellule ; la courbure de son profil est obtenue par gonflement sous l'effet du vent relatif.

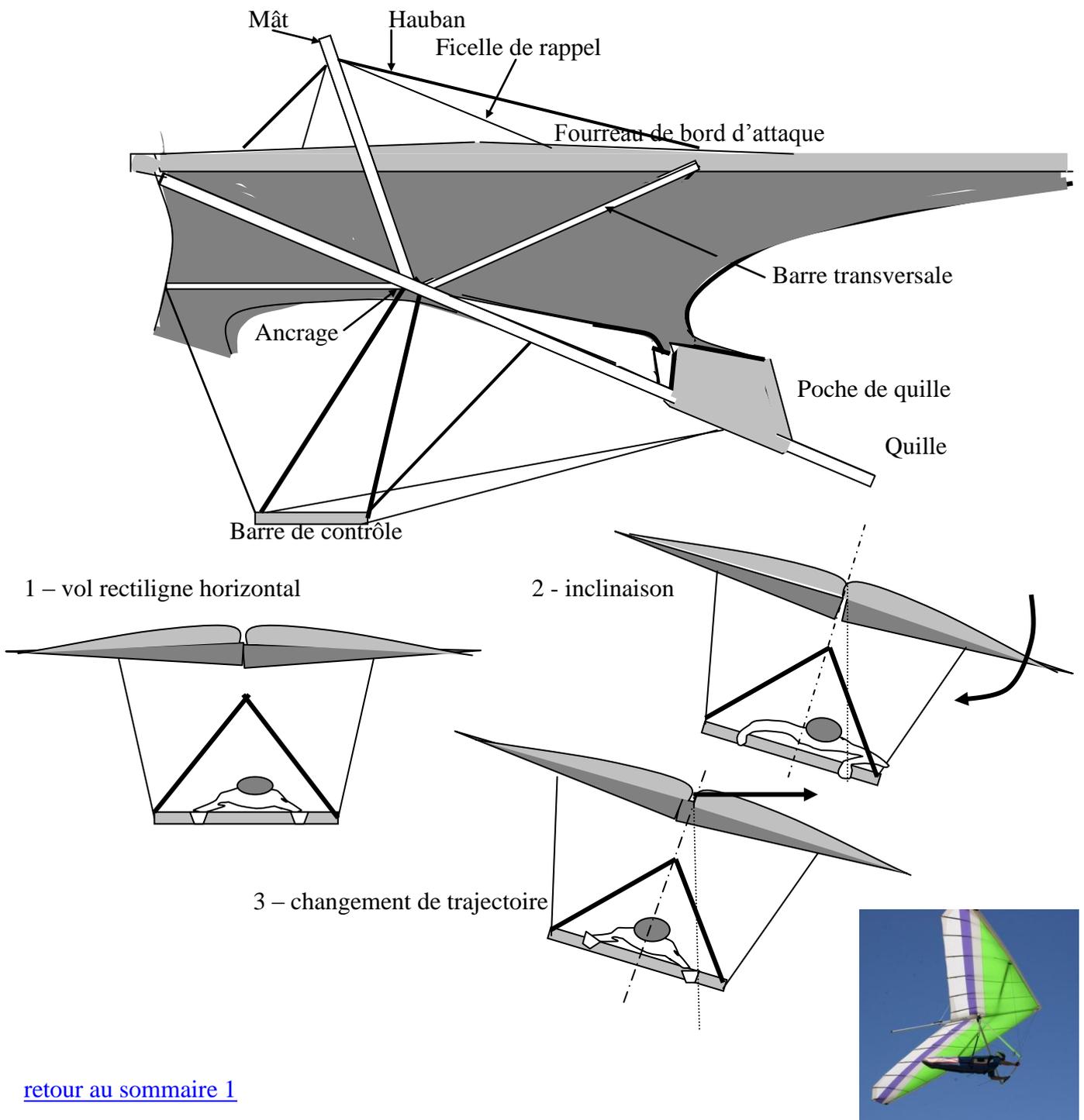
La voile : elle est constituée de laizes de toile Dacron ou de fibres carbonées; elle est parfois munie de lattes longitudinales qui lui donnent un profil prédéterminé (aile semi-rigide)

La structure : Des haubans peuvent la renforcer. Les ficelles de rappel relient le centre de la voile aux mâts ou aux haubans pour assurer une courbure minimale au profil.

Le parachute de secours : à commande manuelle placée en général sous le ventre du pilote, rattaché au sommet du trapèze pour la position « parachute déployé ».

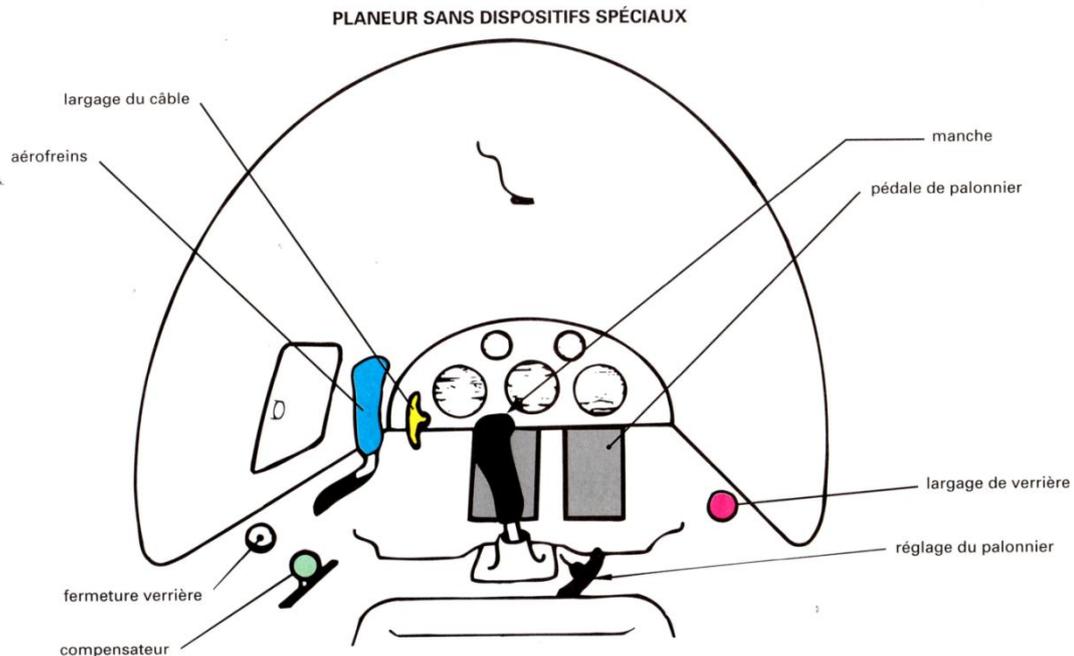
Le harnais est un sac relié par des sangles à la quille

La barre de contrôle : permet au pilote de contrôler les évolutions de l'aile en roulis et tangage : pilotage « deux axes ». Le pilotage est pendulaire par déplacement du centre de gravité grâce au déplacement du pilote.



[retour au sommaire 1](#)

VOL A VOILE



Planeurs : plusieurs **classes** : - libre : pas de limitation d'envergure jusqu'à 30m et 60 de finesse
- Club : 15 m : standard sans volets ; course avec volets
- 18m

Records : en Patagonie : 3008 km par Klaus Ohlmann : vol d'onde

Le Brevet de Pilote Planeur:

plus de 16 ans, examen médical par un médecin agréé aéronautique.

Une fois le pilote breveté, il peut **voler en local** du terrain de départ, ce qui signifie qu'il doit pouvoir y retourner à tout moment en vol plané compte tenu de la finesse de son planeur

Les qualifications complémentaires:

- le lâché campagne: il permet, à l'issue d'une formation en double commande et d'un vol test, de voler en solo hors du local d'un aérodrome.
- L'emport de passager : se délivre suite à un vol de contrôle lorsque le pilote a un minimum de 50h de vol en qualité de commandant de bord.
- la qualification voltige: suite à une formation adaptée sur planeur de voltige.
- La qualification de pilote remorqueur (nécessite un brevet de pilote avion).
- La qualification d'instructeur.

Fonctionnement du planeur :

Il descend tout le temps! finesse moyenne 27 à 40 (mais jusqu'à 70 de finesse). La finesse autorisée pour un élève est de 10 ! La finesse diminue à 6 avec les aérofreins sortis et, contrairement aux volets, on peut les sortir jusqu'à la VNE.

Pour mettre un planeur en l'air :

Remorqué, treuil, motoplaneur, planeur à dispositif d'envol incorporé, autrefois sandow.

Derrière le remorqueur une position haute est très dangereuse.



Les signaux :

L'avion bat des ailes : "LARGUE-TOI !!!"

Si on ne peut pas , le planeur bat des ailes ; l'avion alors bat de la queue pour dire OK! Le planeur passe alors en dessous et on fait un retour au sol.

Les couleurs :

Poignée de largage : jaune - poignée AF : bleue - compensateur : vert - largage verrière : rouge -

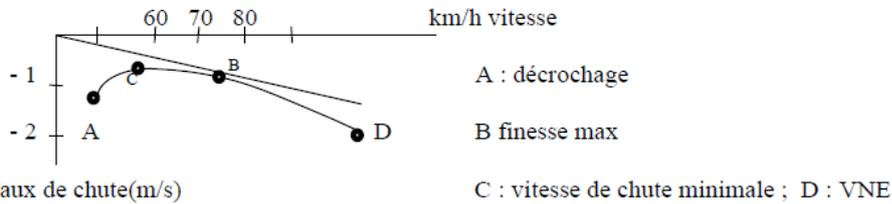
Sortie de train : noir.

Ascendances

Les ascendances dépendent de la température : - de 1°/100m : stable ; + de 1°/100m : état instable
Pas d'ascendance sur l'eau ; ça « pompe » moins sur une forêt (20°) que sur un champ de blé (24°).

On cherche les pompes face au vent et côté soleil ; il faut une certaine instabilité pour faire du vol thermique.
Vol dynamique en montagne : 10 à 15 kt de vent. Quand on spirale à côté d'une montagne on vire toujours dos à la montagne.

Polaires d'un planeur



Règlementation

Limitation d'altitude sans oxygène : 3800m . Sur un planeur le parachute est obligatoire.

Les règles générales de priorité en vol sont applicables aux planeurs :

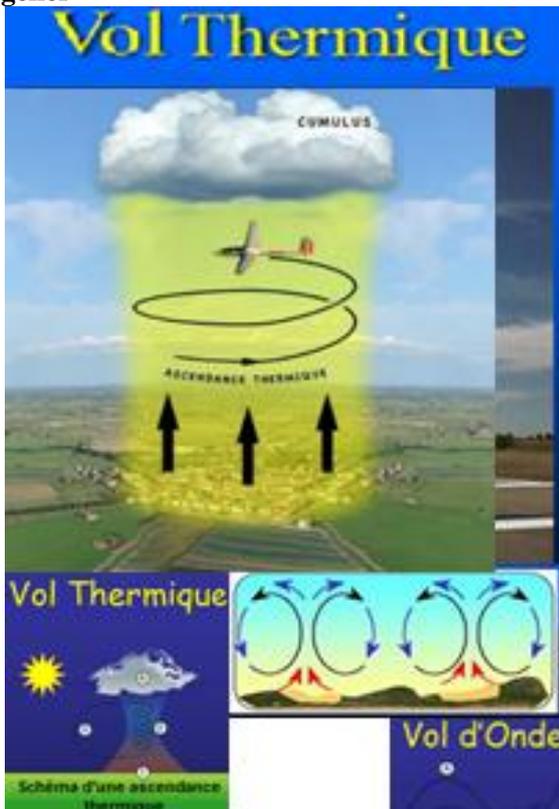
- le long d'une pente la priorité est au planeur ayant le relief sur sa droite. Un planeur arrivant de face doit le croiser en faisant un crochet sur sa droite.

- le dépassement est interdit en vol de pente. Un planeur plus rapide doit faire demi-tour en approchant d'un autre plus lent devant lui.

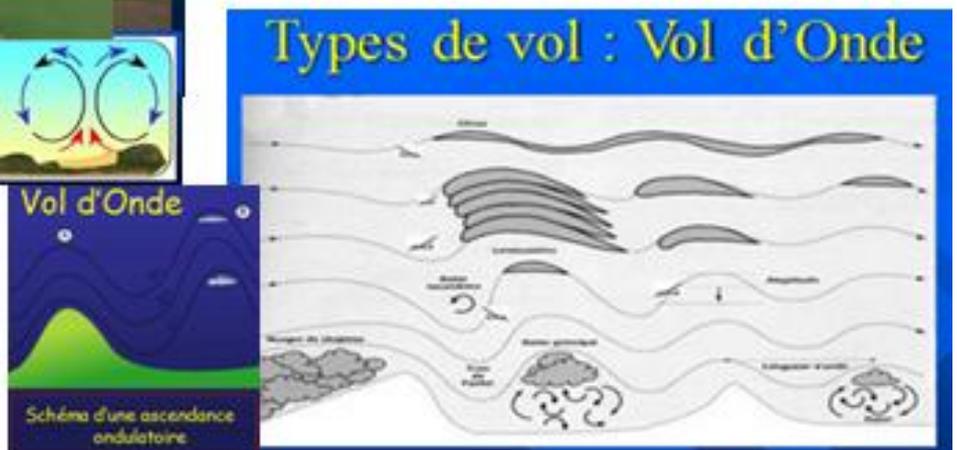
Des règles supplémentaires liées au vol dans les ascendances sont pratiquées :

- dans un thermique le sens de rotation est donné par le premier planeur dans la pompe. Il est interdit de tourner en sens inverse.

- dans un thermique la priorité est au planeur qui est dessus (car il ne voit pas en dessous). Un planeur montant plus vite et le rattrapant doit gérer sa trajectoire pour dépasser par l'extérieur du virage sans le gêner

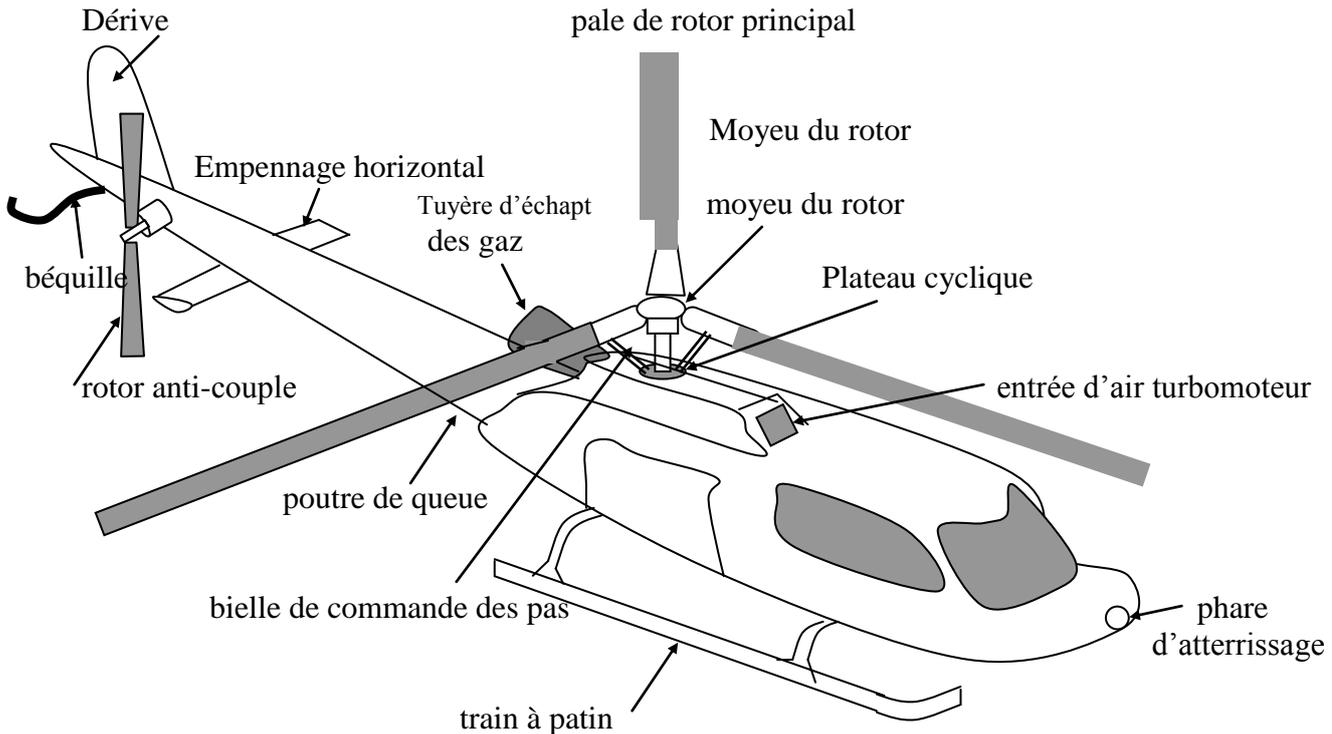


TYPES DE VOL



[retour au sommaire 1](#)

L'HELICOPTERE



Le groupe moteur (à pistons ou à turbine) entraîne le rotor principal en rotation ainsi que le rotor anti-couple. La sustentation de l'appareil est alors assurée par la traction T qui est la somme des forces de portance générées par chacune des pales qui sont en fait des voilures aérodynamiques tournantes

LE ROTOR ANTI-COUPLE

Par réaction à la rotation du rotor principal, apparaît un couple tendant à faire tourner le fuselage en sens inverse. Le rotor anti-couple permet la stabilisation et le contrôle des mouvements de l'appareil autour de l'axe des lacets.

LES BIELLES DE COMMANDE DE PAS

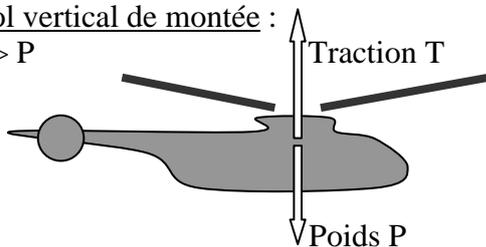
Modifient, sur commande du pilote, l'angle d'incidence de chacune des pales, ce qui modifie la force de traction.

LE PLATEAU CYCLIQUE

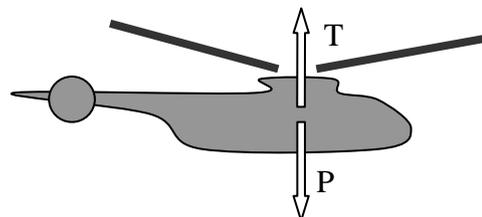
Modifie, sur commande du pilote, l'inclinaison du plan de rotation du rotor par variation cyclique sur un tour du calage des pales ; il permet donc le contrôle des évolutions de l'appareil autour de l'axe des tangages, et par conséquent la vitesse horizontale de déplacement de l'appareil.

1 - vol vertical de montée :

$$T > P$$

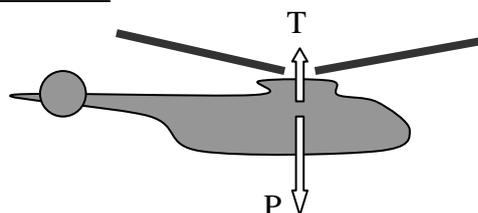


3 - vol stationnaire $T = P$



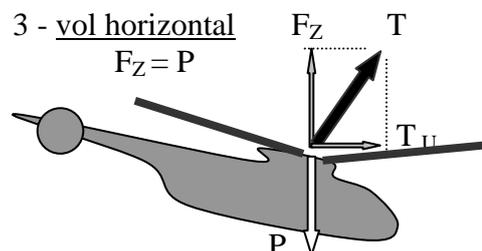
2 - vol vertical de descente

$$T < P$$



3 - vol horizontal

$$F_z = P$$



[retour au sommaire 1](#)

AEROMODELISME

Trois activités :

- 1) Aéromodélisme : utilisation à des fins de loisir ou de compétition ;
- 2) Expérimentation : utilisation d'un aéronef autre qu'un aéromodèle à des fins d'essais ou de contrôle ;
- 3) Activité particulière : usage professionnel, utilisation autre que celles visées aux paragraphes 1) et 2).

L'aéromodélisme est la réduction à une échelle donnée de tout ce qui vole :

Vol radiocommandé, vol circulaire, vol libre. On distingue :

- les modèles libres ne représentant pas un avion existant
- les maquettes exactes
- autrefois en plus les semi-maquettes représentant un avion mais pas dans les détails ceci pour avions, planeurs ou hélicoptères.

MATERIAUX UTILISES

• **BOIS**

-balsa : densité 0,15 (150kg / m³);

On l'utilise pour les pièces ne demandant pas d'effort structural : flancs de fuselage, nervures, couples, empennages de petits modèles, goussets.

-contre-plaqué aviation : au moins 5 plis à partir de 2 mm d'épaisseur pour des pièces subissant des efforts particuliers : couples, renforts.

- spruce - peuplier : utilisés pour les longerons d'aile

• **POLYSTYRENE EXPANSE** : utilisé toujours coffré avec du balsa ou de la fibre de verre pour les ailes et les formes non développables de l'avion découpées au fil chaud .

• **MATERIAUX COMPOSITES**

fibre de verre ou fibre de carbone ou fibre de Kevlar mais il faudra avoir des moules

Ordre de résistance : Balsa < Spruce < CTP < Composites (Verre < Carbone < Kevlar)

• **COLLES**

- vnyliques : colle blanche de menuisier

- cellulosiques : cellulose + dissolvant (acétone)

- bi-composant : colle époxy : résine + durcisseur. Celle-ci est la plus résistante mais la plus lourde.

On utilise aussi pour les petites pièces la cyanoacrilate (super-glue)

MATERIAUX DE FINITION

pour la résistance : papier-film < tissu < fibre de verre

LES MOTEURS

de + de 0,8cm³, sont de 2 types: 2 temps ou 4 temps (surtout pour les maquettes) mais toujours refroidis par air.

De plus en plus de moteurs sont électriques : pour l'environnement et le coût.

• **CARBURANT** : mélange de méthanol et d'huile de synthèse ou huile de ricin (autrefois) : 20% d'huile de ricin ou 15 % d'huile de synthèse . L'huile sert à la fois à lubrifier et à refroidir.

• **RESERVOIR** : exemple pour un modèle débutant 4 cm³ ; on consomme ¼ de litre pour 20' de vol.

• Le réservoir est situé au niveau du carburateur. Le carburateur est réglé à l'aide d'un pointot

• **CYLINDREE** : unité : le cubic / inch. Exemple : moteur de type 25 : 0,25 cubic / inch soit 4 cm³.

de type 60 : 0,60 cubic / inch soit 10 cm³.

• Pour arrêter le moteur : on débranche le circuit essence ou on ferme le carburateur (simplifié).

• **HELICE** : en plastique, fibre de verre, bois ; les références sont en pouces (2,54 cm).

ex : **10 × 6 : diamètre 10 pouces - pas 6 pouces**

• **POT D'ÉCHAPPEMENT OU RESONATEUR** : pour limiter les nuisances sonores (< 96 dbel à 3 m dans le sens du vent et sur une surface en béton).

TELECOMMANDE

• **FREQUENCES** : 41,000 Mhz à 41,200 Mhz (41,000 à 41,100 réservées à l'aéromodélisme) et 72,000 à 72,500 Mhz (de 10 khz en 10 khz - en vol : marge de 20 khz)

• **LE BOITIER EMETTEUR ET LE RECEPTEUR** dans l'avion fonctionne sur la même fréquence inscrite sur le **QUARTZ** (changement de fréquence = changement de quartz).

Le récepteur distribue les ordres aux SERVOS : 1 servo par commande.

Boîtier 4 voies : gaz - ailerons - profondeur - direction; Portée : 3 à 4 km sol - air.

Emetteur : 9,6 volts – récepteur : 4,8 volts

• On émet l'antenne sortie

CATEGORIES DE MODELES REDUITS :

Catégorie A : aéromodèle de masse inférieure ou égale à 25 kilogrammes, non motorisé ou comportant un seul type de propulsion:

- moteur thermique: cylindrée totale inférieure ou égale à 250 cm³;
- moteur électrique: puissance totale inférieure ou égale à 15 kW;
- turbopropulseur: puissance totale inférieure ou égale à 15 kW;
- réacteur: poussée totale inférieure ou égale à 30 daN, avec un rapport poussée / poids sans carburant inférieur ou égal à 1,3;
- air chaud: masse totale de gaz en bouteilles embarquées inférieure ou égale à 5 kg;
- tout aéromodèle captif de masse inférieure ou égale à 150 kilogrammes.

Catégorie B :

tout aéromodèle ne respectant pas les caractéristiques de la catégorie A.

- Vol en automatique autorisé sous réserve que le télépilote soit en mesure à tout moment de reprendre le contrôle de son aéromodèle.
- Possibilité d'effectuer des prises de vues aériennes en aéromodélisme dès lors que les vues réalisées ne sont pas exploitées à titre commercial et respecte la vie privée.
- Largage autorisé de charges d'une masse totale inférieure à 500g sur les sites de vol d'aéromodélisme déclarés. Par ailleurs la FFAM a obtenu le maintien de la possibilité de voler librement à une hauteur sol inférieure à 150 mètres hors zones de l'espace aérien donnant lieu à restriction, les sites de vol d'aéromodélisme déclarés pouvant toujours bénéficier de hauteurs de vols supérieures.

Pour faire voler un avion, il faut une **ASSURANCE**, l'**AUTORISATION DU PROPRIETAIRE** du terrain (la licence fédérale n'est que conseillée), l'**AUTORISATION DU MAIRE**.

Pour les meetings, il faut une qualification de pilote de démonstration.

L'aéromodélisme regroupe plusieurs disciplines

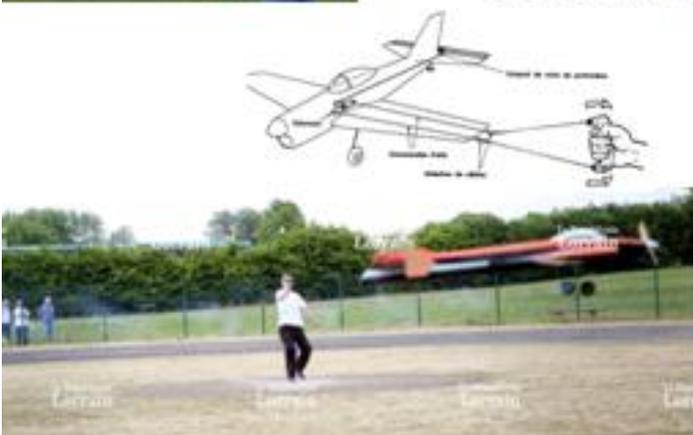
VOL LIBRE



VOL RADIOCOMMANDE



VOL CIRCULAIRE





DRONES

Les télépilotes doivent détenir un certificat d'aptitude théorique de pilote d'aéronef habité et l'exploitant doit s'assurer de leur compétence pratique.

Pour les opérations les plus complexes (hors vue à grande distance), les télépilotes doivent détenir une licence et une expérience minimale de pilote d'aéronef habité.

Sauf autorisation particulière, les aéronefs télépilotes ne sont autorisés à évoluer qu'en dessous de 150 mètres. Les aéronefs utilisés hors vue de leur télépilote ne sont autorisés à évoluer au-dessus de 50 mètres que si leur masse est inférieure ou égale à 2 kg.

Toute utilisation hors vue du télépilote, à proximité des aérodromes, à l'intérieur de zones d'espace contrôlé ou à accès réglementé, est soumise à un dispositif d'autorisation ou de notification préalable.



[retour au sommaire 1](#)

FUSEES SATELLITES

Si le principe de propulsion par transformation d'énergie chimique en énergie cinétique est connu depuis l'antiquité et les pièces d'artifice propulsées par de la **poudre noire** (*poudre à canon*) depuis le IXème siècle av. J.C., les moteurs à **ergols liquides** ne sont connus que depuis la fin du XIXème siècle. Ce n'est que dans les années qui suivirent la Seconde guerre mondiale que les moteurs à poudre et à ergols liquides prirent une énorme importance pour la propulsion de missiles et de fusées spatiales. Depuis, on n'a cessé de les perfectionner et aujourd'hui leur emploi reste primordial pour la propulsion spatiale.

Afin de pallier leurs défauts, on recherche actuellement des solutions alternatives, par exemple pour la propulsion de sondes spatiales ou l'accélération atmosphérique par d'autres moteurs, plus ou moins proches : **superstatoréacteur** (propulsion hypersonique), moteur **ionique** ou **VASIMR** (propulsion magnétoplasmique à impulsion spécifique variable).

LE PREMIER REACTEUR

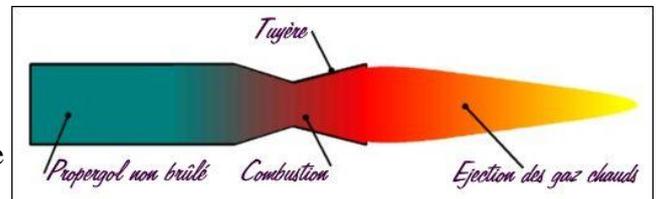
L'air n'est plus utilisé comme comburant : on utilise un propergol comme source d'énergie : composé comburant + combustible. Le moteur fusée est le premier réacteur mis au point, aujourd'hui utilisé essentiellement sur les lanceurs de satellites et les missiles.

Une fusée utilise un mélange chimique appelé propergol, le propergol brûle sans utiliser l'oxygène de l'air et produit une grande quantité de gaz chauds utilisés pour la propulsion. Il existe principalement deux types de fusée, les fusées à propergol liquide et les fusées à propergol solide. Les premières sont surtout destinées aux engins de petite taille et aux accélérateurs de véhicules spatiaux (boosters) alors que les secondes sont utilisées sur des engins plus imposants

FONCTIONNEMENT DE LA FUSEE A PROPERGOL SOLIDE

La fusée se présente comme un conteneur creux contenant une certaine quantité de propergol sous forme solide ou pulvérulente (poudre) assimilable à un explosif. Ce propergol est brûlé dans une tuyère, une grande quantité de gaz chauds qui sont éjectés avec force vers l'arrière de la fusée entraînant sa propulsion vers l'avant.

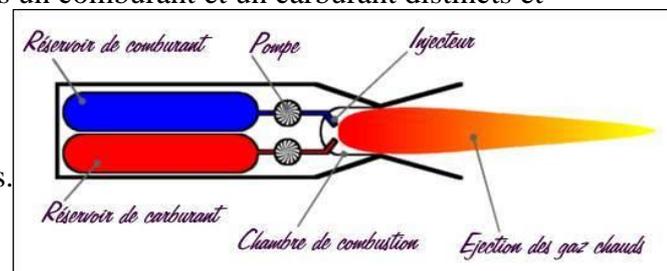
Très fiable, ne posant pas de problème de stockage et de mise en œuvre, ce type de fusée est très utilisé sur les petits engins. De très nombreux types de propergol sont employés depuis la poudre noire jusqu'au mélange perchlorate d'ammonium / aluminium des boosters de la navette spatiale ou d'Ariane 5 .



FONCTIONNEMENT DE LA FUSEE A PROPERGOL LIQUIDE

Ce type de moteur utilise non pas un propergol simple mais un comburant et un carburant distincts et stockés indépendamment dans deux réservoirs.

Le comburant peut par exemple être du dioxygène liquide, le carburant du dihydrogène liquide. Les comburant et carburant sont aspirés par des pompes à haute pression et injectés dans une chambre de combustion où ils sont brûlés. Ils produisent ainsi une grande quantité de gaz chauds éjectés par la tuyère.

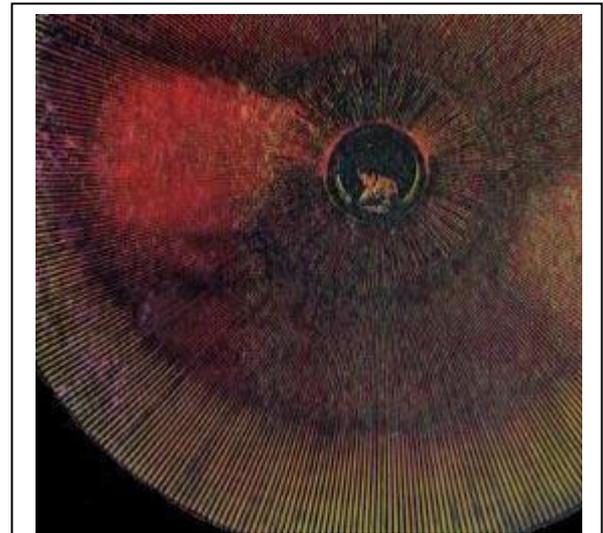
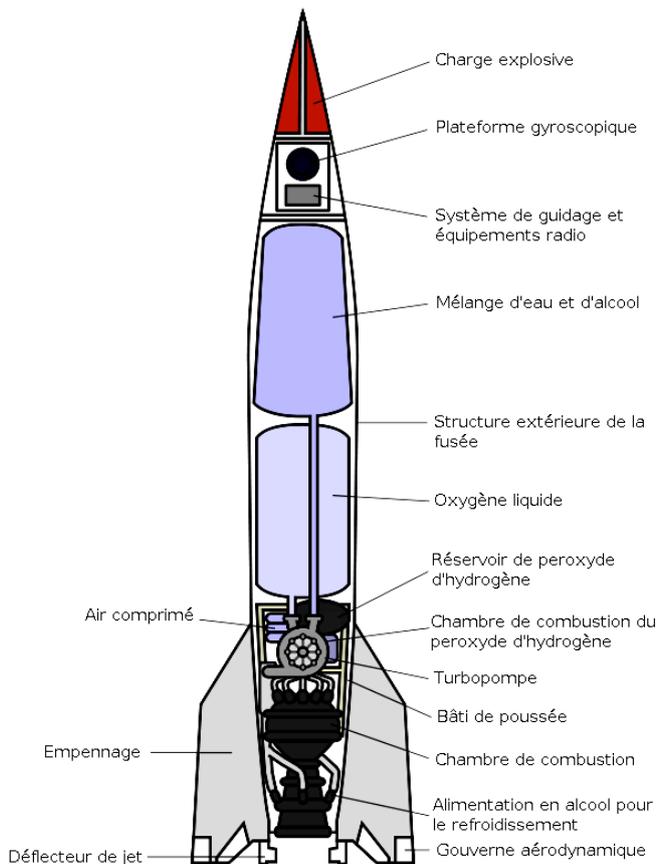


La proximité d'un comburant et d'un carburant présente de très grands risques d'explosion, l'accident le plus fréquent sur ce type de moteur est la rupture des réservoirs entraînant rapidement une explosion (c'est ce qui causa l'accident de la navette spatiale Challenger en 1987)

En général, les réservoirs sont remplis quelques heures avant le lancement de manière à limiter les risques.

Le moteur et la propulsion

La propulsion d'une fusée est similaire à celle d'un avion "à réaction". (Principe d'interaction – 3ème loi de Newton). La nuance provient du fonctionnement des moteurs qui, en atmosphère raréfiée ou hors de l'atmosphère, doivent emporter le comburant (la plupart du temps de l'oxygène) en plus du carburant !



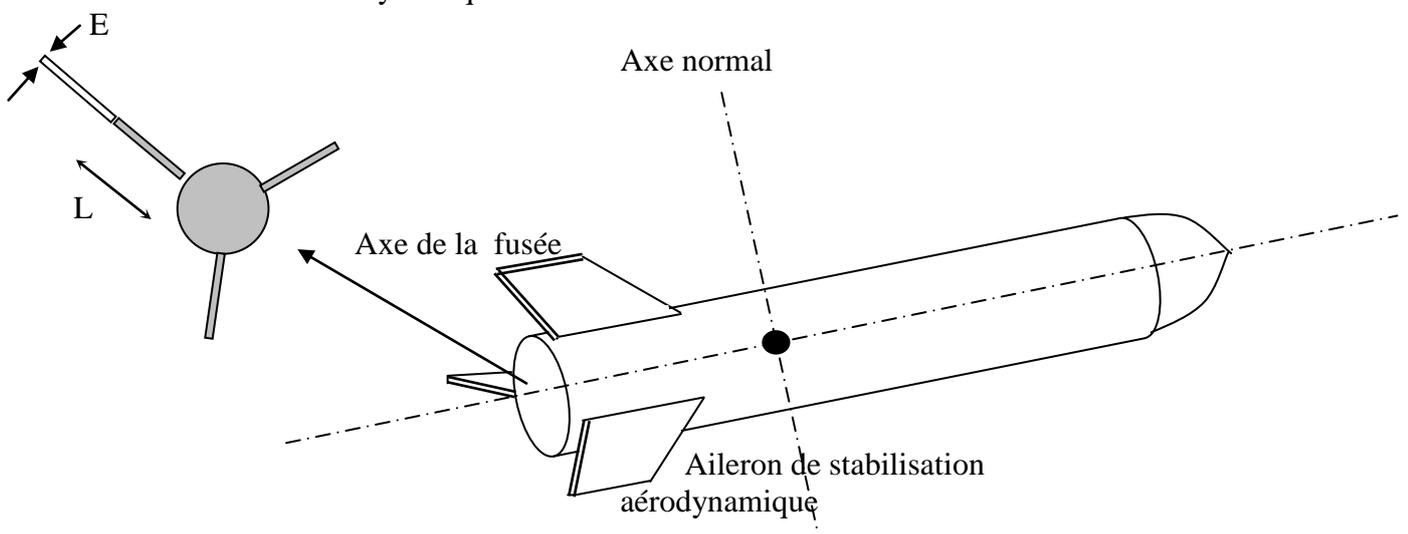
La photo montre l'intérieur de la tuyère d'une fusée Saturn 5, celle d'Apollo, le programme d'exploration humaine de la Lune. On peut voir qu'elle est entièrement constituée de tubes et on distingue un homme au centre, à travers l'ouverture qui débouche sur la chambre de combustion. Ces tubes servent à faire passer les ergols liquides très froids, (entre -250 et -180 degrés centigrades) avant de les envoyer se consumer dans la chambre de combustion. Ceci permet d'obtenir un double effet : Refroidir le moteur de la fusée et réchauffer les ergols qui seront d'autant plus prêts à s'enflammer.

Un missile : le V2

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA FUSEE

▪ FUSEE SYMETRIQUE

- L'axe de la fusée est l'axe de symétrie qu'on s'efforce de maintenir parallèle à la trajectoire pour minimiser la traînée
- L'axe normal est un axe perpendiculaire à l'axe de la fusée
- On appelle maître-couple, la section S perpendiculaire à l'axe de la fusée ; elle est utilisée pour le calcul de la traînée aérodynamique $S = \pi D^2 + 3 L \cdot E$



- RAPPORT DES MASSES ou INDICE DE CONSTRUCTION

C'est le rapport

« Masse totale au décollage / Masse finale »

▪ FUSEE NON SYMETRIQUE

C'est le cas de la navette installée sur son lanceur ; on retrouve alors les axes de roulis, tangage et lacet comme sur un avion.

On appelle :

- RETREINT d'une fusée, le raccord conique reliant deux éléments de sections différentes du corps de la fusée, le diamètre le plus grand étant du côté de la coiffe. (JUPE dans l'autre sens)

- FINESSE d'une fusée, le rapport :

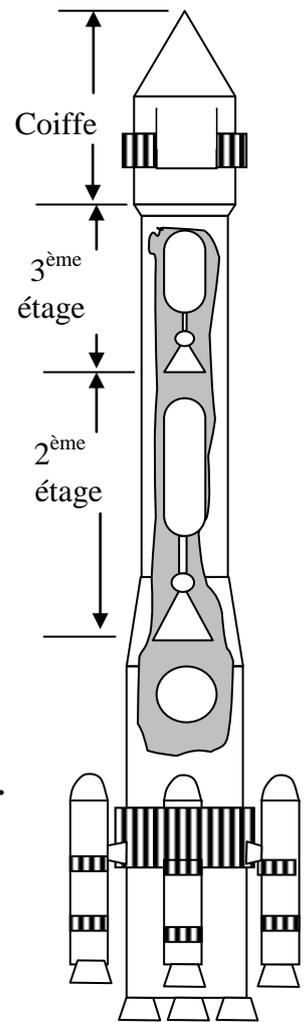
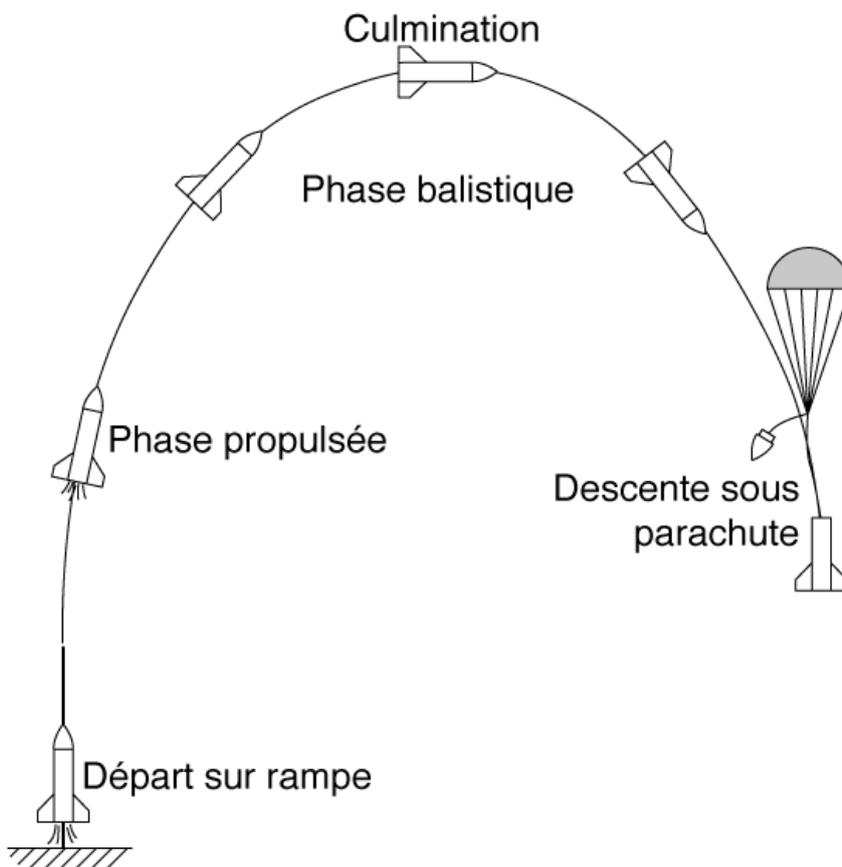
« longueur fusée / diamètre le plus grand »

L'altitude atteinte sera d'autant plus grande que la fusée emportera de carburant et que la masse de son enveloppe sera légère; c'est pourquoi on construit des fusées à plusieurs étages qui seront éjectés lorsque devenus inutiles (réservoirs vides).

La charge utile contenue dans la coiffe n'excède pas 5 % de la masse totale.

REGIMES DE VOL DE LA FUSEE

On appelle **stabilité** la capacité pour la fusée de conserver la même attitude (pointée vers le ciel) durant son déplacement.



Composition générale des aéronefs

Charge utile

Étage 2

Étage principal

Étage de décollage



Coiffe

Charge utile

Case à équipements

Étage auxiliaire à poudre (EAP)

Étage principal cryogénique

Moteur principal (Vulcain) et tuyère

SONDES SPATIALES

Une **sonde spatiale** est un véhicule spatial sans équipage lancé dans l'espace pour étudier à plus ou moins grande distance les objets célestes qui se trouvent dans le système solaire : soleil, planète, lune, comète, astéroïde, milieu interplanétaire ou milieu interstellaire.

SATELLITE

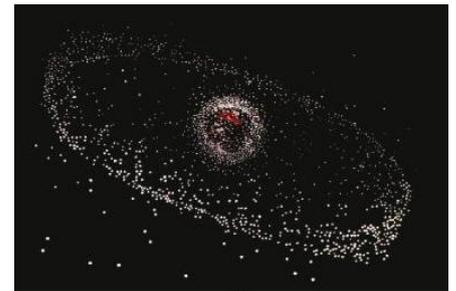
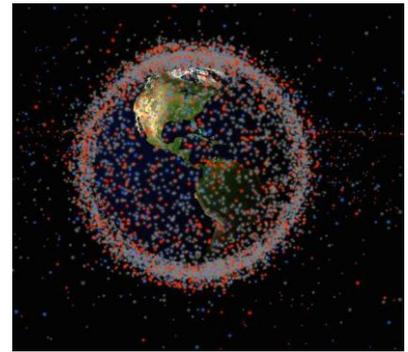
Un **satellite artificiel** est un objet fabriqué par l'être humain, envoyé dans l'espace à l'aide d'un lanceur et gravitant autour d'une planète ou d'un satellite naturel comme la Lune.

La vitesse imprimée par la fusée au satellite lui permet de se maintenir pratiquement indéfiniment dans l'espace en décrivant une orbite autour du corps céleste. Celle-ci, définie en fonction de la mission du satellite, peut prendre différentes formes - elliptique, circulaire, héliosynchrone, géostationnaire - et se situer à des altitudes plus ou moins élevées, classifiées en orbite basse (jusqu'à 2000km d'altitude), moyenne ou haute (à partir de l'orbite géosynchrone vers 36000 km).

Le premier satellite artificiel Spoutnik I est lancé par l'URSS en 1957. Depuis cette époque, plus de 7 000 satellites artificiels ont été placés en orbite.

Les satellites jouent désormais un rôle important à la fois sur les plans économique (télécommunications, positionnement, prévision météorologique), militaire (renseignement) et scientifique (observation astronomique, microgravité, observation de la Terre, océanographie, altimétrie).

Un satellite artificiel est composé d'une charge utile, définie spécifiquement pour la mission qu'il doit remplir, et d'une plate-forme souvent standardisée assurant des fonctions de support comme la fourniture d'énergie, la propulsion, le contrôle thermique, le maintien de l'orientation et les communications.



Le satellite est suivi par un centre de contrôle au sol, qui envoie des instructions et recueille les données collectées grâce à un réseau de stations terrestres.

Pour remplir sa mission le satellite doit se maintenir sur une orbite de référence en orientant ses instruments de manière précise : des interventions sont nécessaires à intervalles réguliers pour corriger les perturbations naturelles de l'orbite générées, dans le cas d'un satellite terrestre, par les irrégularités du champ de gravité, l'influence du Soleil et de la Lune ainsi que la traînée créée par l'atmosphère qui subsiste en orbite basse.

LA VIE D'UN SATELLITE

Contrairement à une idée répandue, le satellite n'est pas en apesanteur. Il est même en permanence en train de tomber, mais, grâce à sa vitesse, il tombe "à côté" de la Terre. Sans le frottement de l'air, on pourrait satelliser à n'importe quelle altitude, en pensant quand même à éviter les obstacles. Mais l'atmosphère empêche de placer un satellite à moins de 200km d'altitude. Et encore y a-t-il un peu d'air dans ce coin, si bien le satellite placé aussi bas ne tiendra que quelques jours: freiné par l'air, il retombera fatalement dans l'atmosphère et s'y consumera.

Un satellite commence sa vie dans l'espace replié sous la coiffe du lanceur, qui le protège des frottements de l'air lors du passage dans l'atmosphère.

Fixé par une petite interface, le satellite se sépare grâce à un système pyrotechnique et des ressorts lorsqu'il est sur l'orbite visée.

Dans les heures qui suivent, les panneaux solaires sont déployés, son attitude par rapport à la Terre et au Soleil s'adapte, et le satellite effectue les manœuvres nécessaires pour rejoindre son orbite définitive.

C'est la phase de *mise à poste* :

en orbite basse, le satellite est généralement injecté sur une trajectoire proche de celle choisie;

en orbite *géostationnaire*, il est injecté sur une orbite de transfert.

Il n'est cependant pas opérationnel immédiatement. La phase de *recette en vol* est destinée à valider en environnement réel le fonctionnement et les performances du système, impossibles à réaliser au sol.

Les différents instruments sont donc progressivement « réveillés » et testés.

Au bout de cette phase pouvant durer de quelques semaines à quelques mois, le satellite est déclaré apte pour le service.

Correctement positionné, il est lancé à une vitesse variant de 11 000 km/h à 28 000 km/h selon son altitude.

Perturbé par différents phénomènes, il ne se maintient pas naturellement sur sa trajectoire.

Les opérations de *maintien à poste*, (services au sol et ordinateur de bord) permettent tout au long de son exploitation d'effectuer les corrections de trajectoires et d'orientation nécessaires au bon déroulement de sa mission.

[retour au sommaire 1](#)

LES INSTRUMENTS :

L'ANEMOMETRE : VITESSE

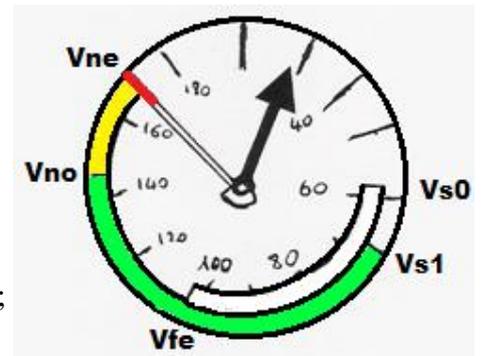
L'anémomètre donne une vitesse indiquée V_i qui n'est pas toujours la vitesse propre V_p de l'avion par rapport à l'air. En altitude $V_i < V_p$

Rappel : 1 NM = 1,852 km - 1 Kt (nœud) = 1,852 km/h

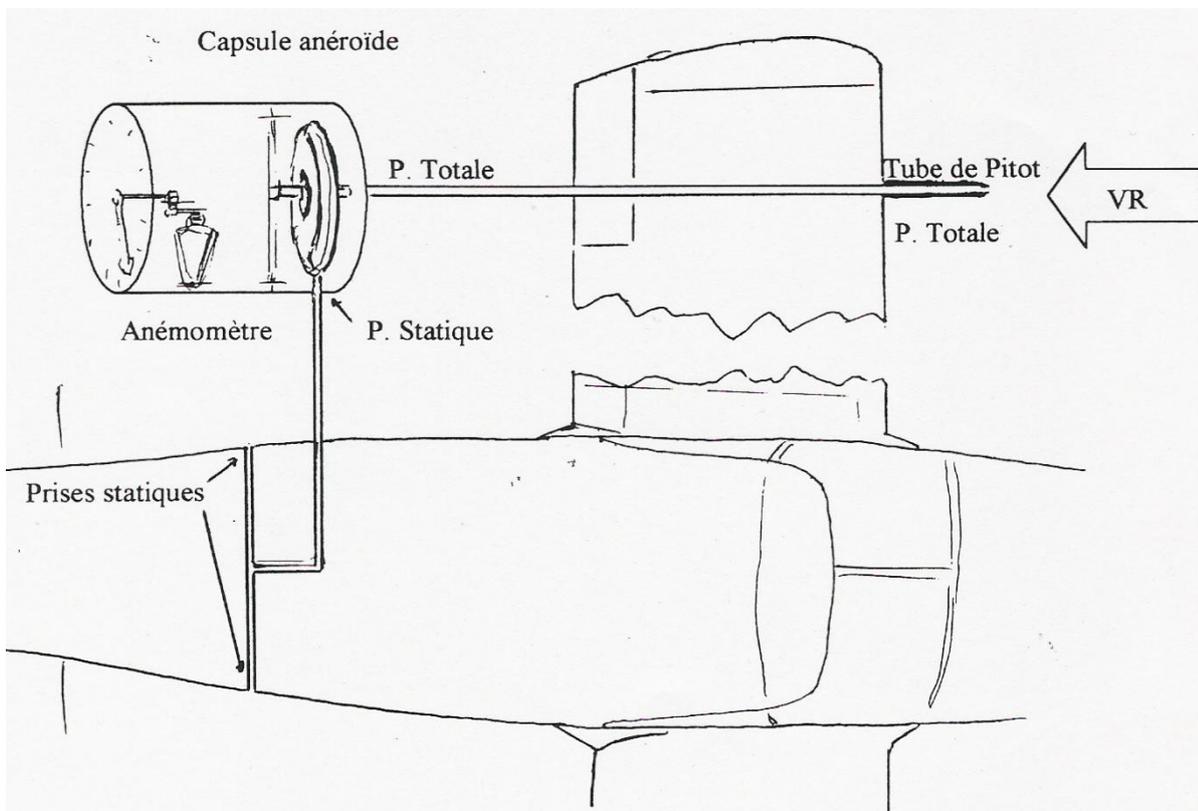
1 NM est la distance sur un grand cercle de la Terre correspondant à un angle de 1 minute (1').

Plages de vitesse :

- Zone d'utilisation normale : **arc vert**;
De **VS1**, vitesse de décrochage en lisse (stall : décrochage) à **VN0**, vitesse à ne pas dépasser en atmosphère agitée.
- Zone interdite en turbulence : **arc jaune** ;
De **VN0** à **VNE** (never exceed) vitesse à ne jamais dépasser marquée par un **trait rouge**.
- **Arc blanc** : utilisation normale en configuration atterrissage;
De **VS0**, vitesse de décrochage volets sortis, à **VFE** (flaps extended), vitesse maximum d'utilisation des volets.



Vitesse utile : 1,3 VS : vitesse d'approche préconisée.

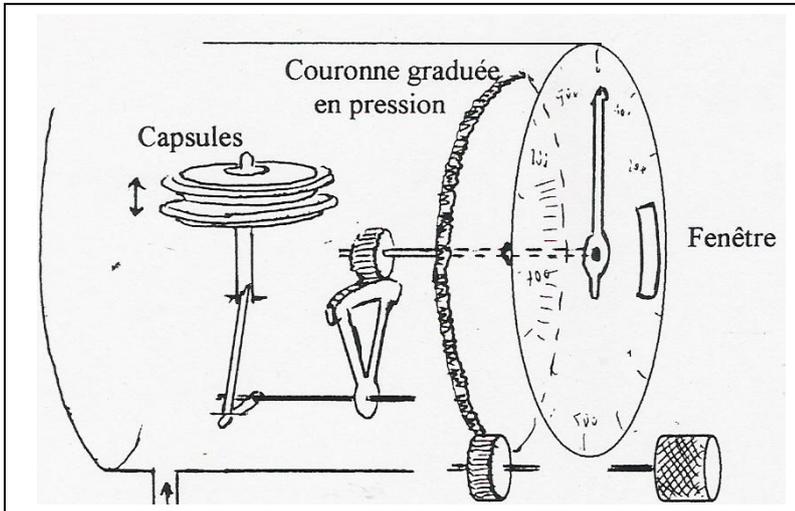


L'ALTIMETRE BAROMETRIQUE

Il évalue et indique l'altitude ou hauteur au dessus d'un niveau pris pour référence.

Principe : C'est un baromètre mesurant la pression atmosphérique qui la traduit en altitude par un cadran gradué en pieds (ft) ou en mètres (m). Dans les basses couches de l'atmosphère, une variation de 28 ft correspond à une variation de pression de 1 hectopascal (hpa).

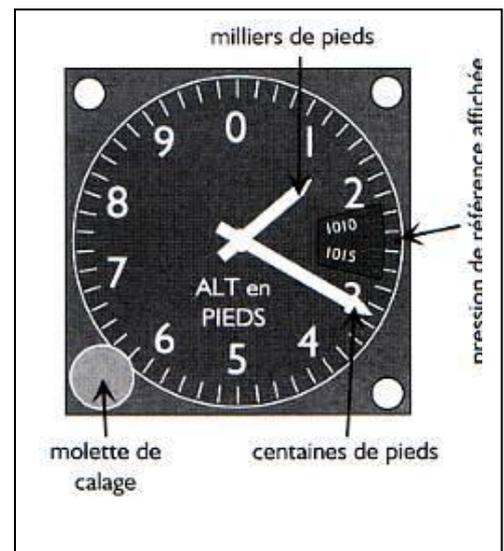
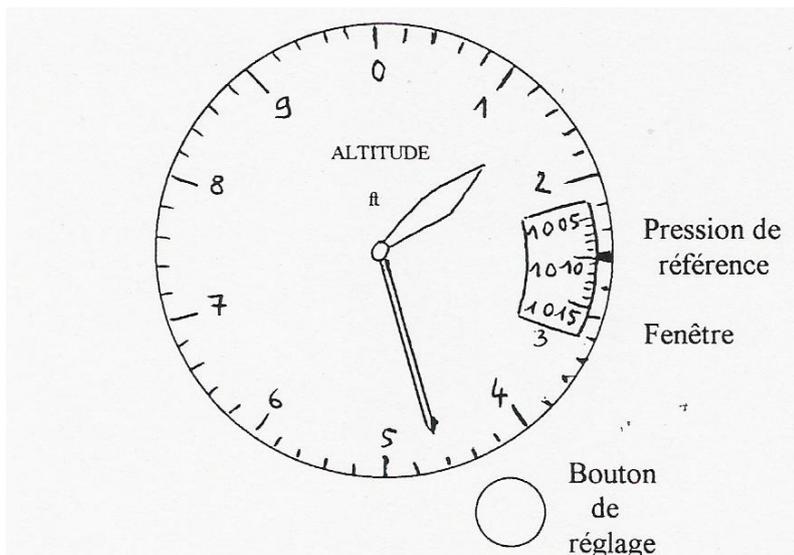
Un bouton de "recalage" permet de sélectionner la pression de référence en faisant tourner l'ensemble du mécanisme (et son aiguille) par rapport au cadran altimétrique.



Calages de l'altimètre

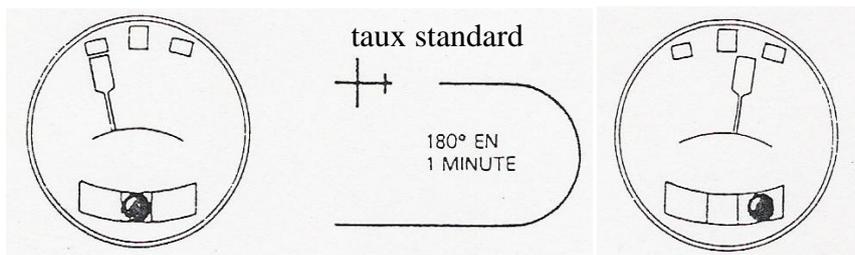
Caler un altimètre consiste à afficher dans la fenêtre de l'instrument, la pression de référence choisie.

A chaque calage barométrique correspond une altitude de référence : calage au QFE (niveau du sol), au QNH (niveau de la mer) ou encore au QNE (1013 hpa).



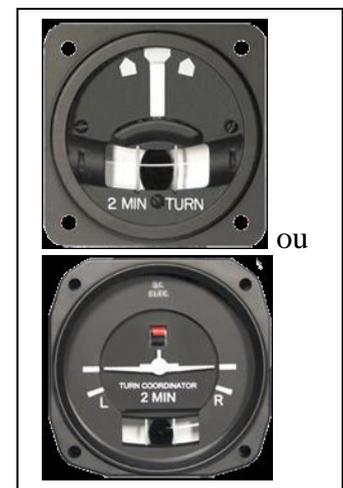
L'INDICATEUR DE VIRAGE ou bille-aiguille :

La bille renseigne sur la symétrie du vol, l'aiguille sur le sens du virage



virage à gauche symétrique

virage à droite glissé

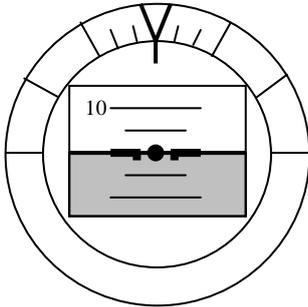


L'HORIZON ARTIFICIEL

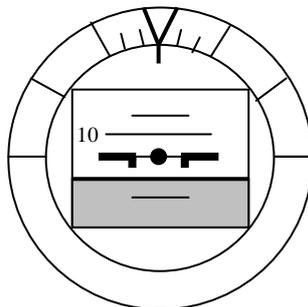
Il donne des informations d'assiette et d'inclinaison.
L'instrument est constitué d'un tambour (sur lequel figure la ligne d'horizon, le ciel en bleu et la terre en marron) associé à l'axe du gyroscope et d'une maquette représentant un avion solidaire du boîtier donc de l'avion.



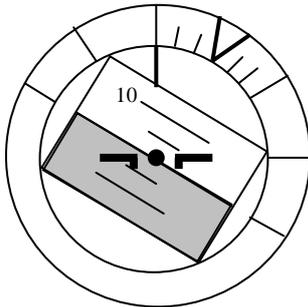
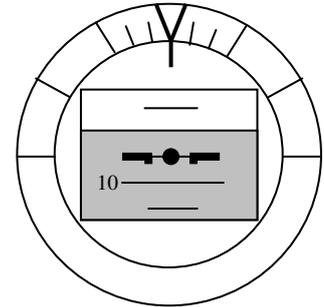
Assiette : 0°
Inclinaison nulle



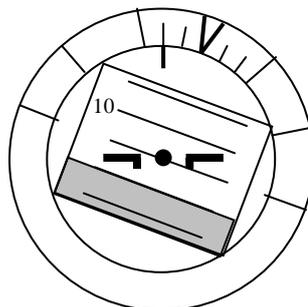
Assiette : $+5^\circ$ (à cabrer)
Inclinaison nulle



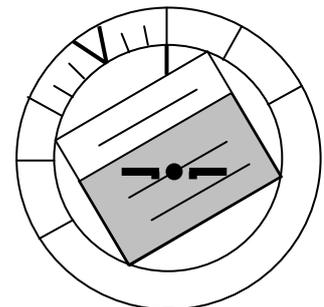
Assiette : -5° (à piquer)
Inclinaison nulle



Assiette : 0°
Inclinaison : 30° gauche



Assiette : $+5^\circ$ (à cabrer)
Inclinaison : 20° gauche



Assiette : -4° (à piquer)
Inclinaison : 30° droite



INSTRUMENTS DE NAVIGATION

LE COMPAS MAGNETIQUE

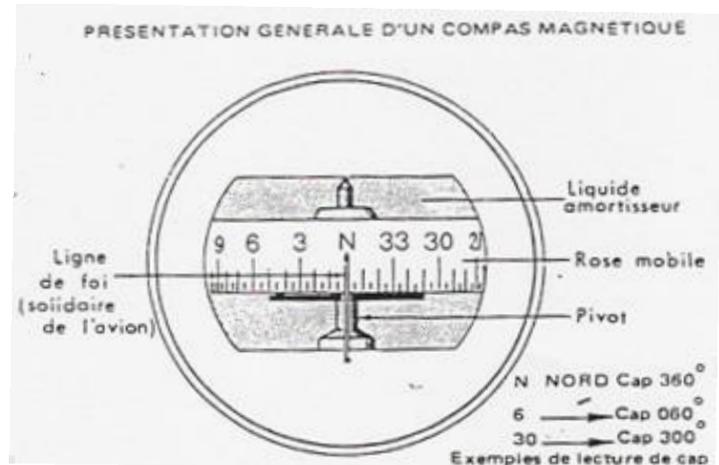
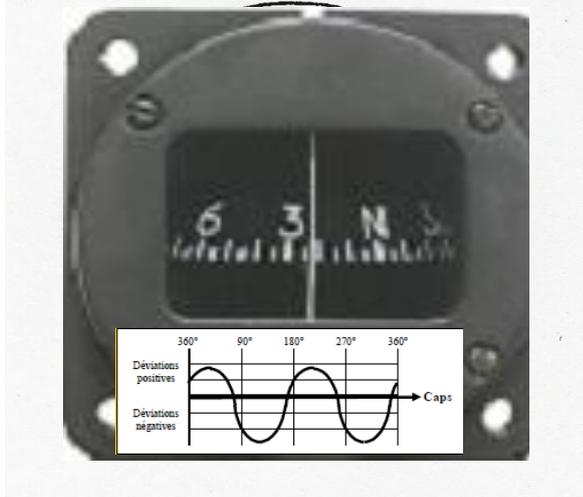
C'est une boussole placée dans un liquide spécial qui amortit les oscillations.

Inconvénients :

Il est instable lors des variations de cap et en atmosphère turbulente.

Il est sensible aux masses métalliques proches.

Le compas



LE DIRECTIONNEL OU CONSERVATEUR DE CAP

C'est un gyroscope libre dont l'axe est orienté selon la direction souhaitée.

Si la référence est le nord magnétique cet appareil indiquera le cap magnétique de l'avion.

Il faudra le « caler » avant chaque vol lorsque l'avion est aligné sur la piste (piste dont on connaît l'orientation).

Avantage sur le compas :

Il est beaucoup plus stable

Inconvénient :

L'orientation est fixe par rapport à une étoile et, la terre tournant sur elle-même et l'avion tournant autour de la terre, l'axe du gyroscope fera l'objet d'une précession par rapport aux références magnétiques de navigation:

il faudra recalibrer le directionnel tous les quarts d'heure en se fiant au compas magnétique; cette opération s'effectuera en vol.

Le directionnel :

à régler ici par rapport au compas ci-dessus de 10° vers la droite.



INSTRUMENTS DE RADIONAVIGATION

ABREVIATIONS :

- **VOR** : VHF Omni Range – T/VOR : Terminal VOR
- **DME** : Distance Measuring Equipment : en général associé à un VOR
- **ADF** : Automatic Direction Finder - radio-compass automatique : c'est le nom du récepteur
L'émetteur est le **NDB** : Non Directionnal Beacon ou **L** : Locator
- **ILS** : Instrument Landing System

REFERENCES : Elles sont matérialisées par l'émission d'ondes radioélectriques produites par des balises au sol et reçues par des appareils embarqués à bord des aéronefs.

Gisement : c'est l'angle compris entre la ligne de foi de l'avion et la droite reliant l'avion à la balise.

Relèvement : c'est l'angle compris entre la direction du nord (vrai ou magnétique) et la droite reliant la balise et l'avion.

Radial : ce sont des axes imaginaires disposés autour d'une balise comme les rayons d'une roue; ils sont définis par un angle de relèvement.
On distingue les QDM et les QDR.

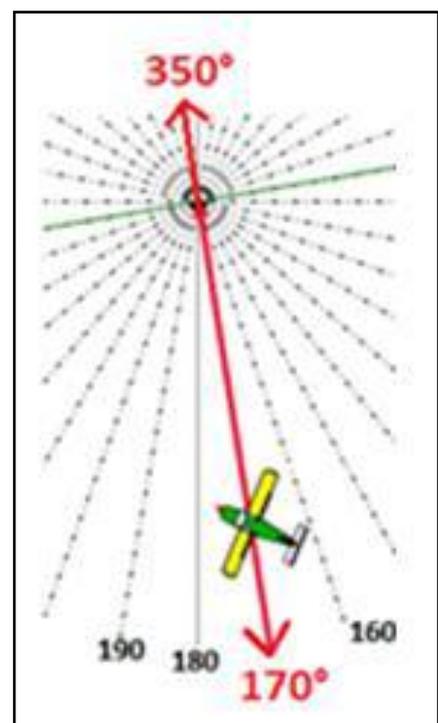
INDICATIONS :

QDM : cap magnétique à prendre pour rejoindre la balise,

QDR : cap à prendre pour s'éloigner de la balise / radial de la station sur lequel se trouve l'avion

Exemple:

L'avion est sur le **QDM 350** de la station, c'est-à-dire que pour rejoindre la station, il doit afficher un cap magnétique 350° (TO).
Il est sur le **QDR 170**, c'est-à-dire que la station le voit dans ses 170° ou encore que si l'avion affiche un cap magnétique de 170°, il tournera le dos à la station (FROM)



RADIO-COMPAS

Récepteur : ADF : Automatic Direction Finder - radio-compass automatique

Émetteur : NDB : Non Directionnal Beacon ou **L** : Locator

Il donne le gisement de l'avion : angle entre la ligne de foi de l'avion et la direction de la radio-balise .

L'ADF est le récepteur dans l'avion

Le boîtier de commande ADF permet la mise en route, la sélection de fréquence et des différents modes.

L'indicateur visuel ADF permet un affichage du gisement de la balise : angle entre la ligne de foi de l'avion et la direction de la radio-balise.



Pour plus de confort et afin d'éviter un calcul à effectuer lors d'une navigation, la rose est mobile. Si on affiche le cap magnétique suivi à la place du 0, l'indication de l'aiguille sur l'instrument fournit l'information du cap à prendre pour rejoindre la station au sol, donc directement le relèvement magnétique de la station par rapport à l'aéronef (QDM).

$$\text{QDM} = \text{Cm} + \text{Gis}^t$$

Le NDB est l'émetteur au sol

Portée du NDB : 150 NM ; portée du Locator : 20 NM

Représentation sur la carte : exemple : Dax



Les avantages des NDB

- Son utilisation est possible à basse hauteur
- La matérialisation de la position de l'avion par rapport à la balise est aisée

Les inconvénients :

- La balise émet dans des moyennes fréquences (200 à 2000 khz) sensibles aux perturbations atmosphériques : l'aiguille pourra indiquer la direction d'un cumulonimbus ...
- Les ondes peuvent être réfléchies par le relief (montagnes)
- Pas d'alarme indiquant automatiquement au pilote que la réception n'est pas possible.
- La conductibilité des ondes radio change entre la mer et la terre. Il en résulte des déviations le long des côtes.



V.O.R. VHF Omni Range

L'installation de bord comprend 2 éléments :

Un boîtier de commande qui permet d'afficher la fréquence d'une balise

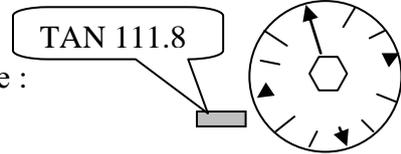
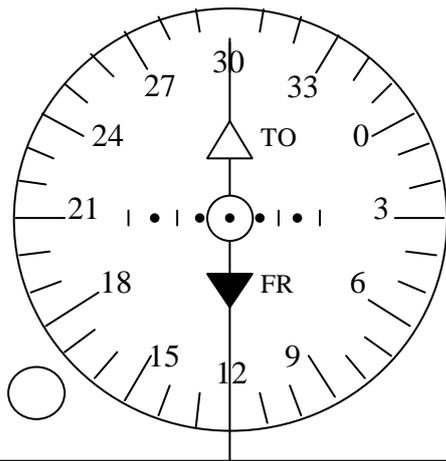
Un indicateur muni d'un bouton OBS permettant de sélectionner un radial en affichant ce dernier face à l'index : si le témoin « to » apparaît , il s'agit d'un QDM ; si le témoin « from » (fr) apparaît , il s'agit d'un QDR . La barre de tendance représente le radial sélectionné et le rond central représente l'avion. (l'indication est indépendante de l'orientation de l'avion)

Inconvénient : Il faut être assez haut pour recevoir le signal, celui-ci étant à portée optique.

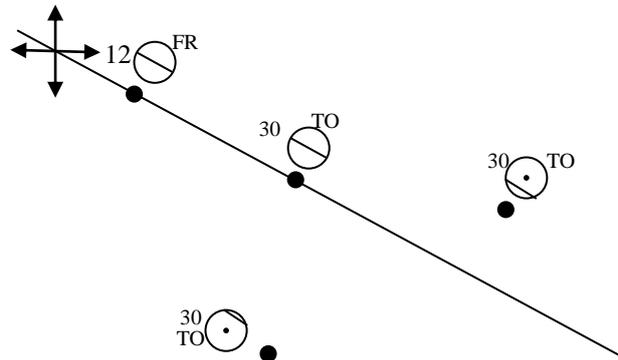
Les T/VOR ont une portée d'environ 25 NM

L'émission se fait dans la bande VHF de 108 à 117 Mhz

La représentation sur une carte d'une balise VOR est de la forme :



Vous êtes sur le QDM 300



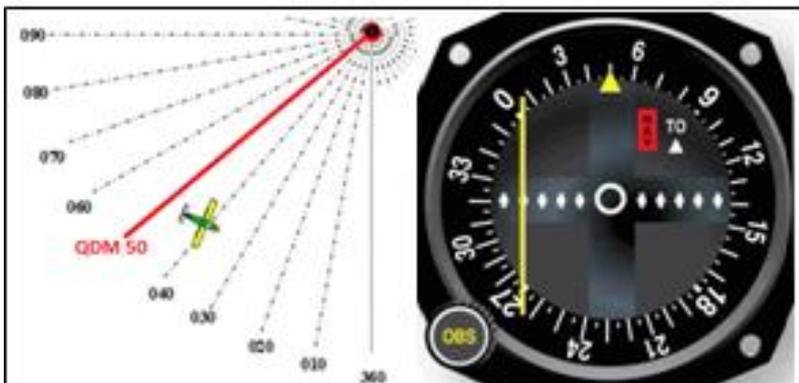
On peut utiliser le VOR :

- en homing, c'est à dire en se dirigeant vers la station (indication "TO") ou en s'en éloignant (indication "FR")
- en flanquement pour marquer un point, une entrée ou une sortie de zone...



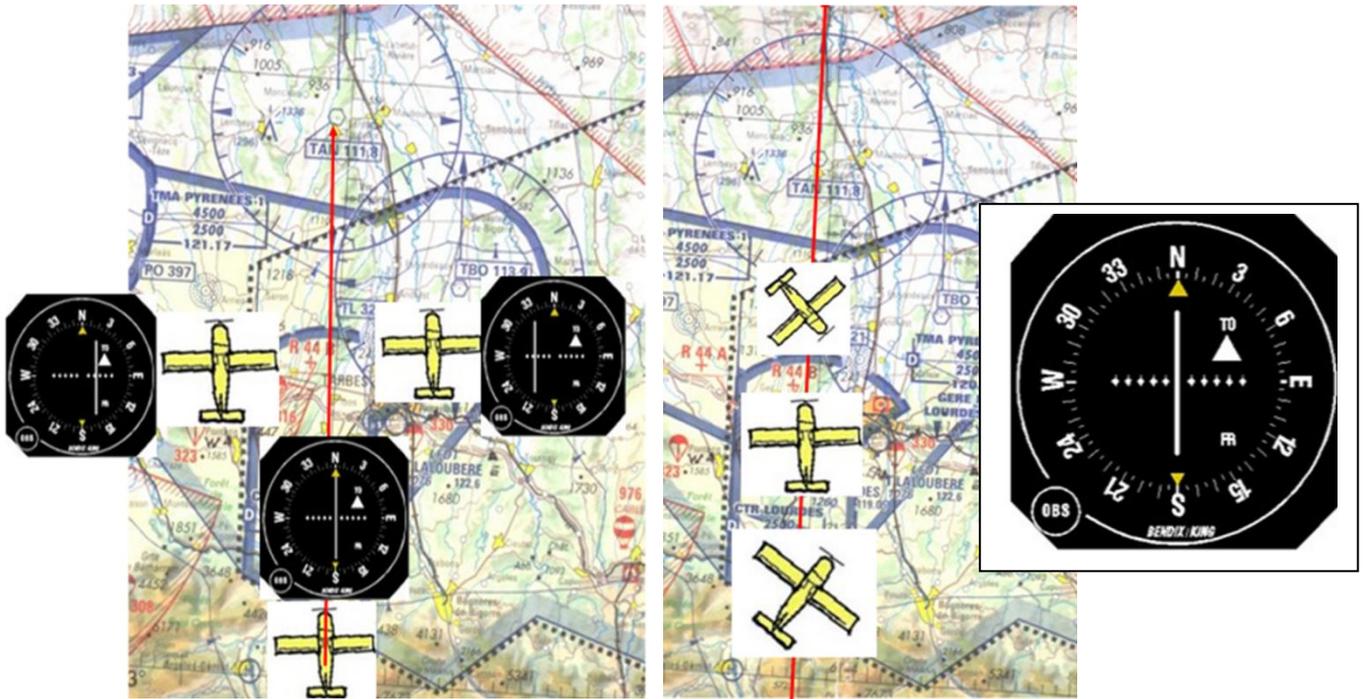
je suis sur le QDM 210.
Je dois prendre le cap 210° pour aller vers la station

je suis sur le QDR 340 →
de la station.
Si je suis au cap 340, je m'éloigne de la station



VOR - UTILISATION PRATIQUE

Si le cap de l'avion correspond à la sélection OBS, l'indication VOR est directionnelle.



L'indication reçue par les appareils situés sur un même QDM / QDR est la même et elle est indépendante du cap de l'avion.

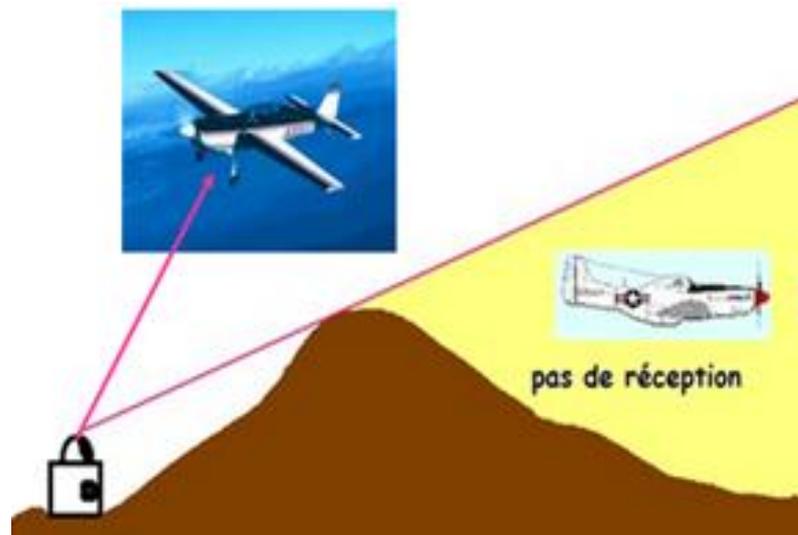
VOR : Avantages et inconvénients

Avantages :

- Indication stable
- Indication précise
- Insensible aux éléments météorologiques
- On sait quand il ne fonctionne pas

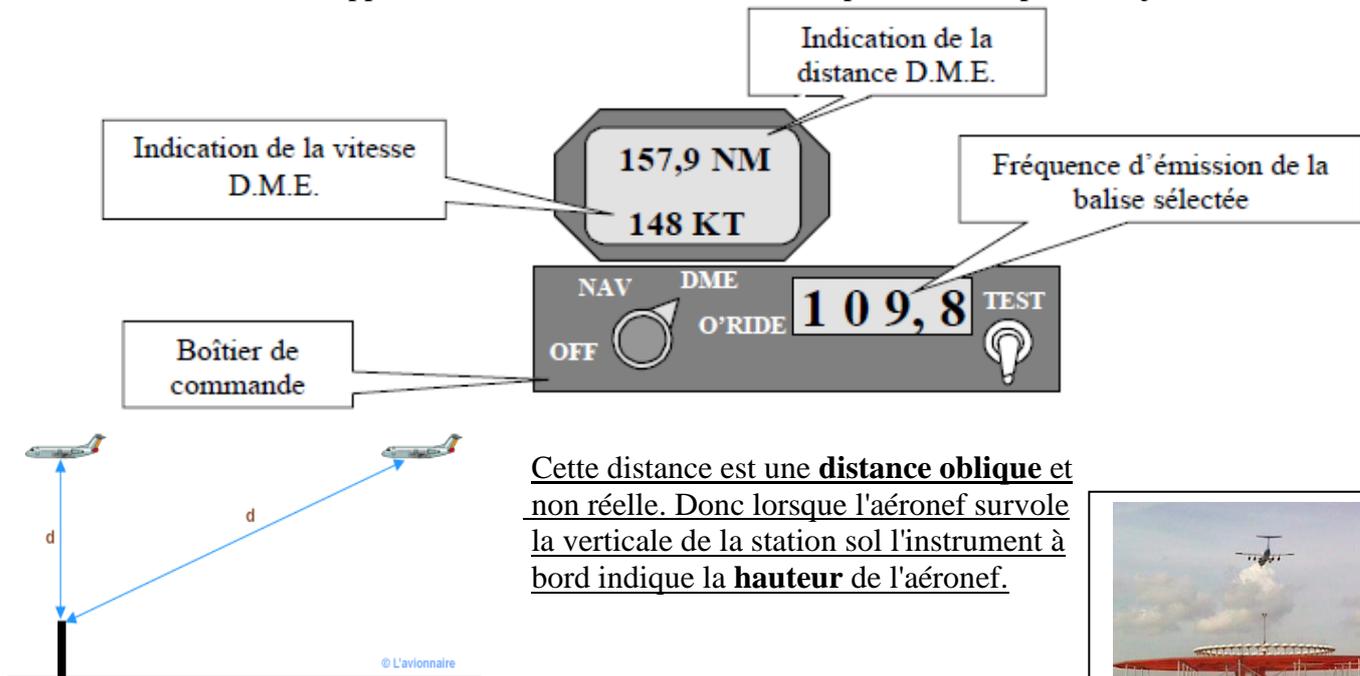
Inconvénients :

- Portée optique donc réception fonction de l'altitude



DME

Couplé avec un VOR, il informe le pilote de la distance directe qui le sépare de la balise VOR et de la vitesse de rapprochement de cette balise ou du temps nécessaire pour la rejoindre



Cette distance est une **distance oblique** et non réelle. Donc lorsque l'aéronef survole la verticale de la station sol l'instrument à bord indique la **hauteur** de l'aéronef.



VOR - DME

GPS

Le GPS est un système de positionnement par satellites qui couvre désormais toute la planète. En matière de navigation aérienne, il fournit au pilote de nombreuses indications dont

- sa position en latitude, longitude et altitude,
- sa V_p et par rapport au sol,
- la vitesse du vent ou encore
- la route à suivre pour parvenir à destination.

Quatre satellites sont nécessaires pour calculer une position en trois dimensions (latitude, longitude, altitude) avec :

- la route à suivre,
- la vitesse sol, la vitesse propre, le vent à l'altitude considérée,
- la distance le séparant du way-point considéré,
- l'heure d'arrivée au way-point considéré,
- d'autres renseignements en fonction des options choisies (écart de route par ex).



Précision horizontale de 100 à 300 m, verticale de 150 m mais pas d'intégrité c'est à dire pas de capacité du système à fournir une alarme en cas de défaillance.

Le GPS ne peut normalement pas se substituer aux équipements de radionavigation requis par la réglementation.

Décidé au début des années 2000, **Galileo** vise à rendre l'Europe indépendante du système de géolocalisation américain **GPS** (Global Positioning System). Pour cela, l'Europe a imaginé une constellation de 30 satellites concurrente du GPS américain, du système russe **GLONASS** et du système chinois **BEIDOU**.

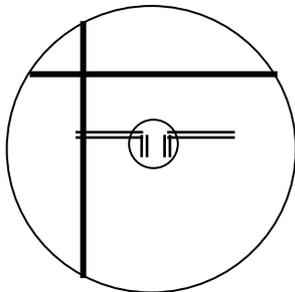
Équivalent du GPS américain, Galileo sera basé sur une constellation de 30 satellites en orbite à 23 222 km d'altitude. Il affichera une précision à quelques mètres qui ne sera égale qu'à partir de GPS III.

Actuellement 22 satellites sont opérationnels sur les 24 nécessaires à une couverture mondiale.

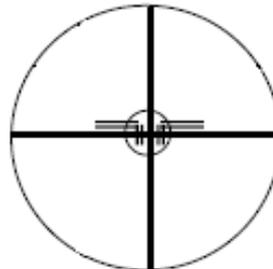
ILS : Aide à l'approche et à l'atterrissage :

Les signaux émis à partir du sol renseignent le pilote sur sa position :

- par rapport à l'axe de la piste (plan vertical idéal) appelé "**localizer**"
- et par rapport à l'axe vertical de descente, le "**glide path**".



Trop bas et à droite



parfait

TRANSPONDEUR (ALTICODEUR) :

ATTENTION ! Ce n'est pas un moyen de radio-navigation mais un appareil permettant à un contrôleur aérien de reconnaître l'avion (et son altitude) sur son écran radar.

Le transpondeur d'un aéronef est l'équipement embarqué qui permet aux radars secondaires des stations de contrôle aérien de déterminer la position de l'avion dans l'espace surveillé. Il permet également de donner une information de position aux autres avions se trouvant à proximité (40 miles nautiques, 8700 pieds au-dessus ou en dessous) si ces derniers sont équipés du système TCAS.



On affiche le code **7000** en attendant qu'un organisme de contrôle en impose un autre.

Codes particuliers :

7700 : détresse

7600 : panne radio

7500 : détournement

Positionnement des instruments

Voici les instruments de vol d'un tableau de bord classique d'un avion léger



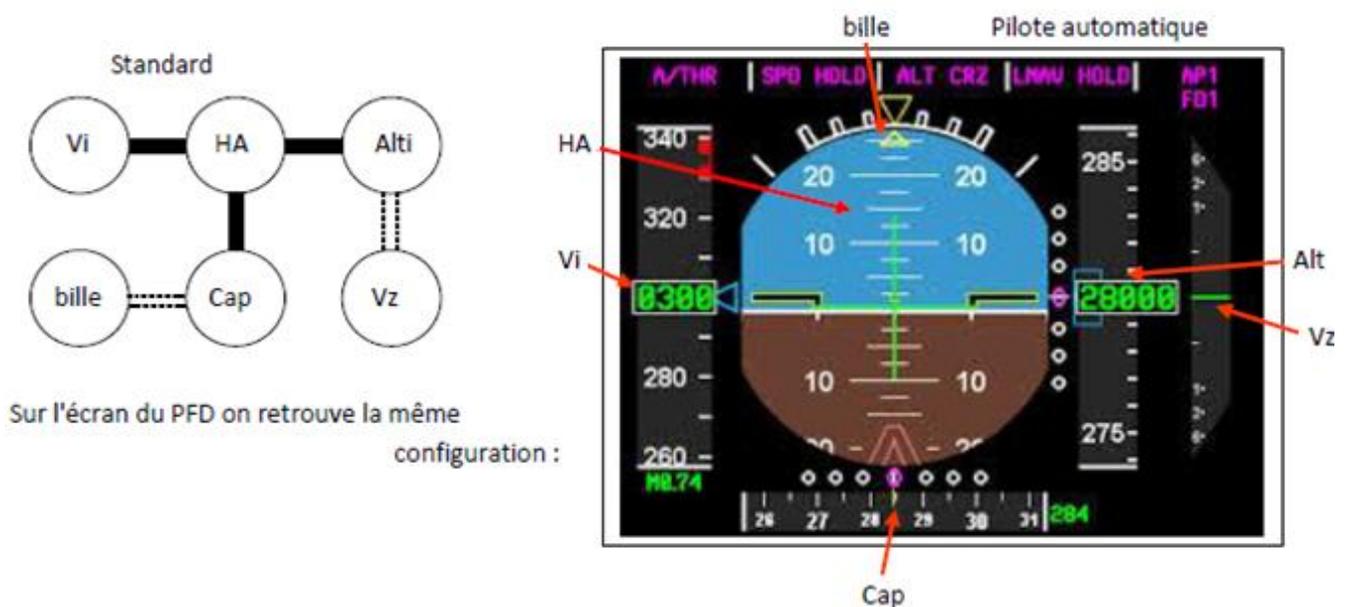
Après avoir "envahi" les tableaux de bord des avions de lignes et d'affaires, les instruments numériques arrivent sur les avions de tourisme. Mais si la présentation des informations change (écrans EFIS) le principe de fonctionnement des instruments reste le même.

Le PFD (Primary Flight Display) permet de visualiser les paramètres de vol (altitude, vitesse, assiette, cap, etc.) Selon le type d'aéronef et le nombre de membres d'équipage les instruments sont regroupés sur des écrans et, pour le pilote, sur le tableau de bord situé devant lui.

Les quatre instruments de base sont toujours disposés de la même façon (en configuration de **T** basique) : l'horizon artificiel au centre HA, l'anémomètre à gauche Vi, l'altimètre à droite, le gyro directionnel ou plateau de route en dessous.

Cette disposition permet d'optimiser le circuit visuel au cours du vol.

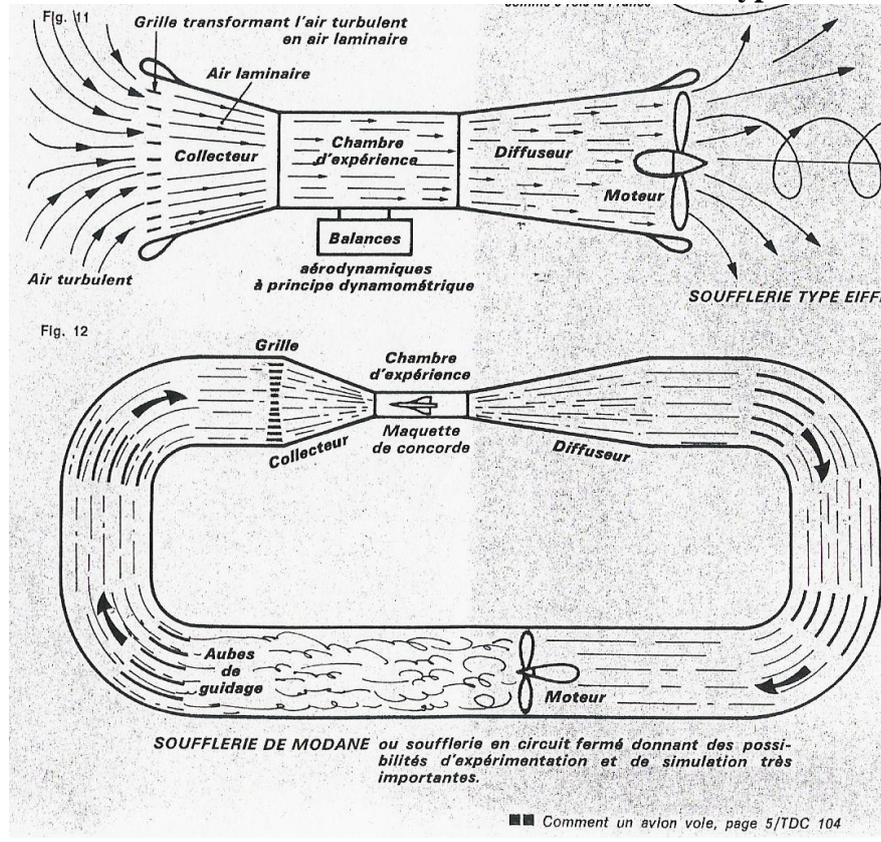
Sur les aéronefs les plus récents les instruments sont remplacés par des écrans rassemblant toutes les informations du T de base sur une seule surface de visualisation, les instruments conventionnels ne sont conservés qu'à titre de secours pour pallier une éventuelle défaillance des systèmes électroniques. Les écrans sont le plus souvent multi-fonctions, c'est-à-dire qu'ils sont prévus pour afficher l'ensemble des informations nécessaires à une phase de vol au gré du pilote. Originellement les écrans reprenaient les vues classiques des instruments analogiques. Ils sont progressivement remplacés par des visuels regroupant les informations selon des standards ergonomiques.



Partie 2

AERODYNAMIQUE, AEROSTATIQUE ET PRINCIPES DU VOL

Les souffleries à circuit ouvert (on dit aussi à veine ouverte)
dites de **type Eiffel**



Les souffleries à circuit fermé dites aussi à retour ou encore de **type Prandtl**

- **L'aérodynamique** est l'étude des phénomènes qui se créent autour d'un mobile (aéronef) en déplacement dans l'air. Il s'agit d'examiner en premier lieu le milieu dans lequel les aéronefs évoluent puis déterminer les critères pour qu'ils aient la forme la plus appropriée au vol.

- **La Mécanique du vol** est l'étude des forces s'appliquant à un aéronef en vol. Ces forces peuvent être regroupées en fonction de leur origine :

- * origine inertielle, fonction des accélérations subies par la masse de l'avion.
- * origine propulsive, générée par les moteurs de l'avion.
- * origine aérodynamique, induite par la vitesse de déplacement de l'aéronef.

Qu'est-ce qu'une force ?

Une force est une action mécanique exercée par un objet A (ou un ensemble d'objets) sur un objet B.

· Une force se traduit par des effets :

- de déformation (visible ou non : flexion d'une aile, compression d'un amortisseur,...)
- de modification d'un mouvement (accélération, ralentissement, mise en virage, décrochage...)

PROGRAMME

2 – Aérodynamique, aérostatique et principes du vol						
Compétences attendues	Savoirs associés	Niveau d'acquisition				Commentaires
		1	2	3	4	
<ul style="list-style-type: none"> • Repérer les interactions élémentaires entre un profil et l'air • Distinguer les différents types de vols • Différencier les forces aérodynamiques 	2.1 – La sustentation et l'aile – notions préliminaires <ul style="list-style-type: none"> - Écoulement de l'air sur un profil – notion de pression - Caractérisation des forces aérodynamiques : portance, traînée - Paramètres influençant les forces aérodynamiques – expression algébrique - Étude de la polaire (incidence, finesse, décrochages, Mach) - Caractéristiques d'une voilure (géométrie, position, dispositifs hyper et hypo sustentateurs et d'aérofreinage) - Relation assiette – pente – incidence - Équilibre, stabilité et maniabilité de l'aéronef 	■	■			<p><i>Ce chapitre peut avantageusement être illustré à l'aide d'expériences, de simulateurs, de vidéos, de logiciels...</i></p> <p><i>Les équations de base de l'aérodynamique peuvent être abordées pour étudier l'effet des différents facteurs, sans rentrer dans les calculs.</i></p>
	2.2 – Étude du vol stabilisé <ul style="list-style-type: none"> - Vol plané : <ul style="list-style-type: none"> ▪ caractérisation du poids ▪ équilibre des forces - Vol motorisé : <ul style="list-style-type: none"> ▪ traction, propulsion ▪ ligne droite en palier ▪ virage en palier (facteur de charge, centrifugation) ▪ montée et descente 	■	■			
	2.3 – L'aérostation <ul style="list-style-type: none"> - Principes généraux de sustentation : <ul style="list-style-type: none"> ▪ ballons à air chaud ▪ ballons gonflés au gaz 	■	■			
	2.4 – Le vol spatial <ul style="list-style-type: none"> - Principes généraux de la mécanique spatiale : <ul style="list-style-type: none"> ▪ trajectoire de lancement ▪ mise en orbite 	■	■			
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vols orbital et spatial 	■	■			

TABLE DES MATIERES 2

L'AIR ET SES PROPRIETES	<u>Page 52</u>
LA FORCE AERODYNAMIQUE	<u>Page 53</u>
SUSTENTATION - PORTANCE	<u>Page 53</u>
LA TRAÎNÉE	<u>Page 57</u>
EQUILIBRE DES FORCES EN VOL HORIZONTAL	<u>Page 58</u>
DESCENTE PLANEE RECTILIGNE	<u>Page 61</u>
VOL MOTORISES SUR PENTE	<u>Page 62</u>
LE VIRAGE	<u>Page 63</u>
POLAIRE DE L'AILE	<u>Page 65</u>
L'AEROSTATION	<u>Page 66</u>
FUSEES ET SATELLITES	<u>Page 67</u>

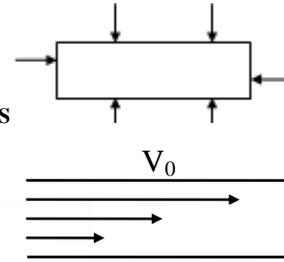
[retour au sommaire général](#)

1° - L'AIR ET SES PROPRIETES

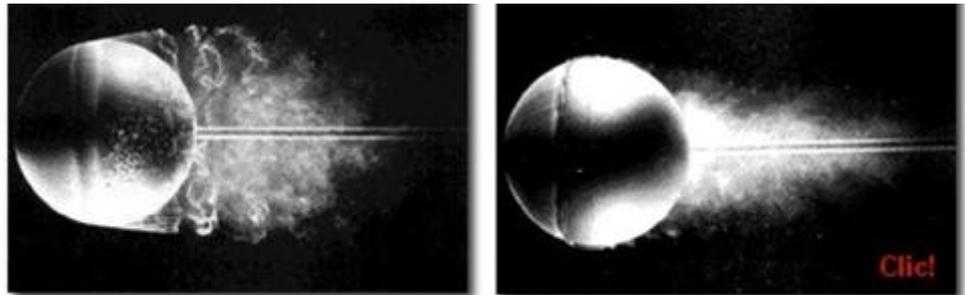
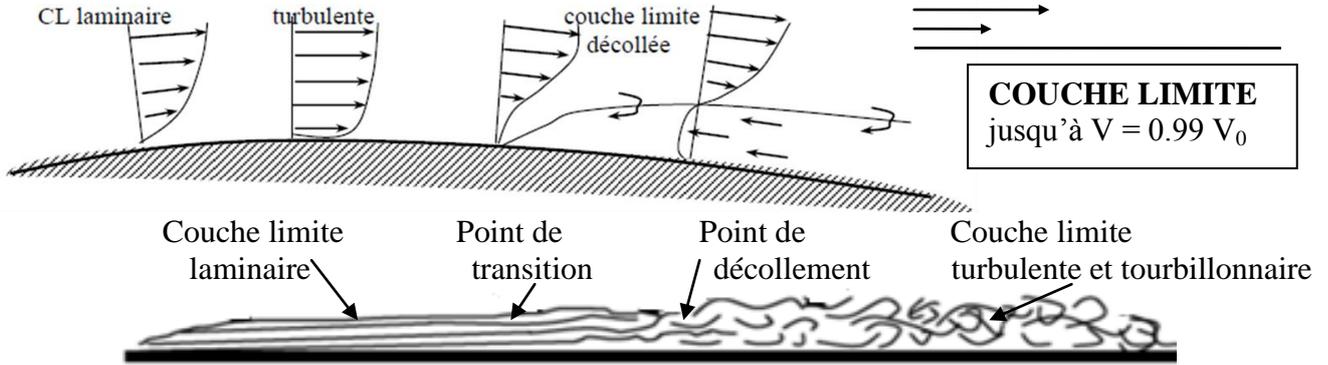
- composé de 21 % de dioxygène, de 78 % de diazote et de 1 % d'autres gaz.
- expansible : il occupe tout l'espace.
- compressible : négligeable pour des vitesses inférieures à 400 km/h.
- pesant : 1 m³ d'air pèse 1,225 kg.

La pression de l'air est perpendiculaire à toutes les surfaces.

C'est la **pression statique P_s**

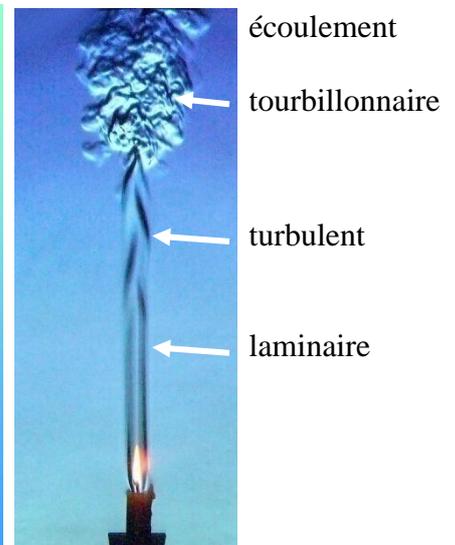
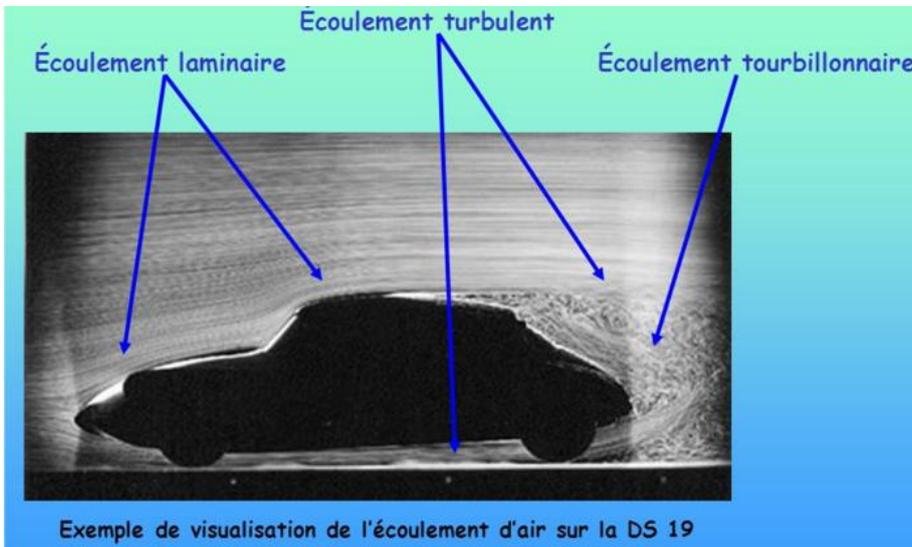


- viscosité de l'air : existence d'une couche limite.



bonne influence des turbulateurs sur la couche limite et la position des points de transition et de décollement

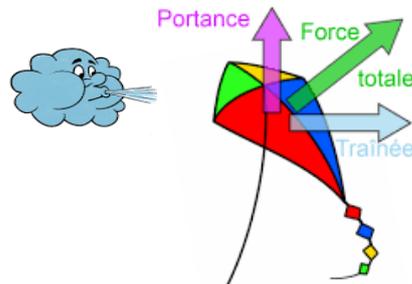
- écoulement de l'air : Il pourra être **laminaire, turbulent, tourbillonnaire**



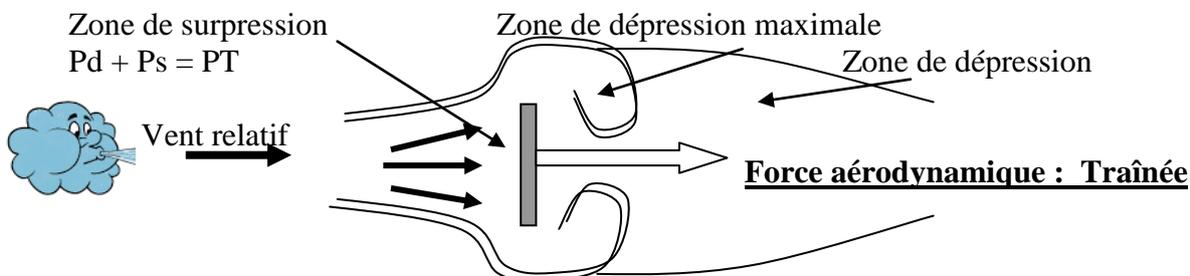
[retour au sommaire 2](#)

2° - LA FORCE AERODYNAMIQUE

C'est la force générée par l'ensemble des surpressions et dépressions exercées sur les surfaces d'un corps exposé à un vent relatif.



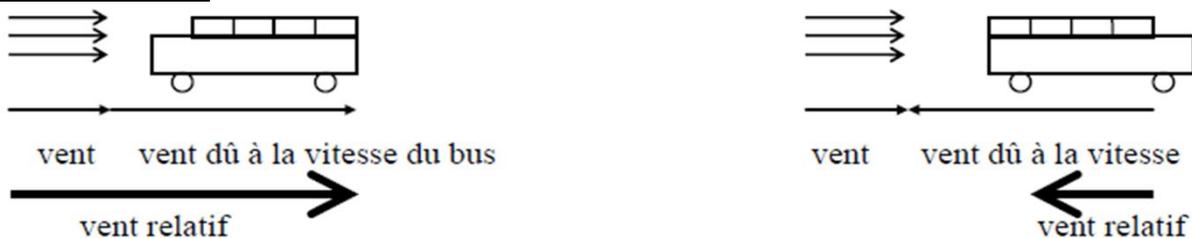
Résistance à la pénétration d'un corps dans l'air :



[retour au sommaire 2](#)

3° - SUSTENTATION

VENT RELATIF



Le véhicule subit une pression statique P_s et une pression dynamique P_D (résistance de l'air)

$$P_s + P_D = P_T \text{ pression totale.}$$

D'après la loi de Bernoulli qui s'applique pour des vitesses inférieures à 400 km/h :

$$P_s + P_D = P_T = \text{constante}$$

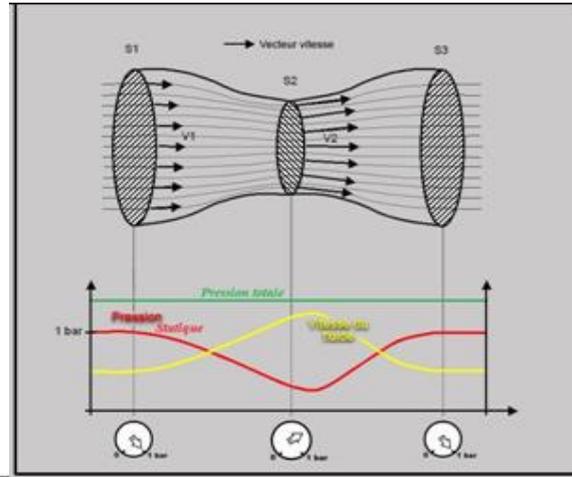


EFFET VENTURI

$$P_s + P_d = P_t = cte \quad (\text{seulement si } \rho = cte \text{ et } V < 0.3 c)$$

Si P_d augmente, alors P_s diminue

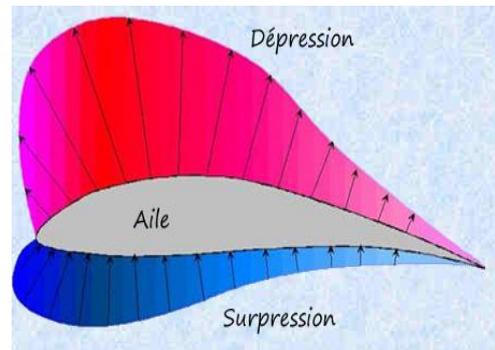
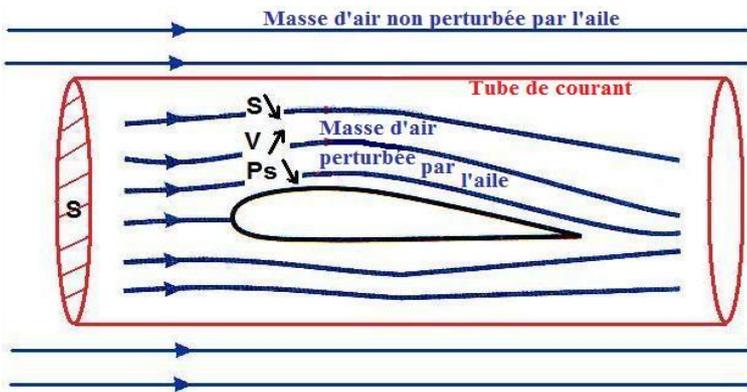
PRINCIPE DU TUBE DE VENTURI



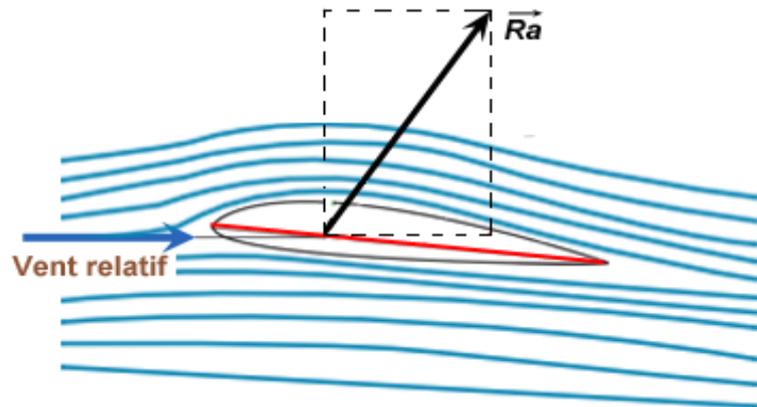
C'est curieux, à l'arrêt, la capote était toute détendue et pendait vers l'intérieur.
Et maintenant que nous roulons, elle est toute gonflée vers l'extérieur



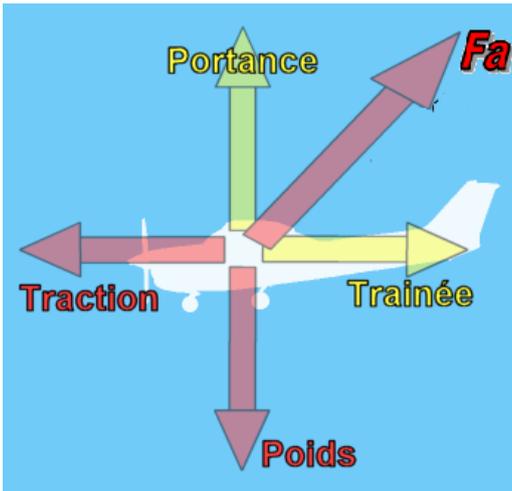
d'après Jean-Pierre Petit : "L'aspirisouffle"



le véhicule subit une pression statique et une pression dynamique P_D (résistance de l'air)
 $P_S + P_D = P_T$ pression totale
 Or $P_T = \text{constante}$ donc P_S diminue quand P_D augmente
effet Venturi



Quelques définitions



Les forces en présence sur l'avion sont :

- le poids vertical vers le bas
- la traction parallèle au vent relatif donc à la trajectoire
- la force aérodynamique

La force aérodynamique F_a est décomposée en deux forces : l'une, la traînée F_x , parallèle au vent relatif (donc à la trajectoire) et l'autre, la portance F_z perpendiculaire au vent relatif.

La corde de profil est le segment de droite compris entre le bord d'attaque et le bord de fuite.

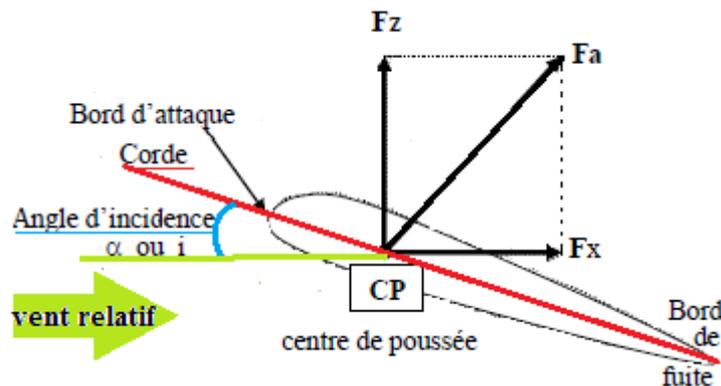
L'incidence : angle compris entre direction du vent relatif (les filets d'air) et corde de profil .

les coefficients aérodynamiques C_z et C_x varient en fonction de l'incidence

Le centre de poussée CP est le point d'application de la force de portance ; il se déplace suivant les variations d'incidence .

Le foyer est un point fixe de référence défini comme étant le point d'application des variations de portance. Situé au tiers avant de la corde de profil

force de sustentation : force aérodynamique F_a ou résultante aérodynamique appliquée au centre de poussée qui se décompose en portance et traînée



$$F_a = F_x + F_z$$

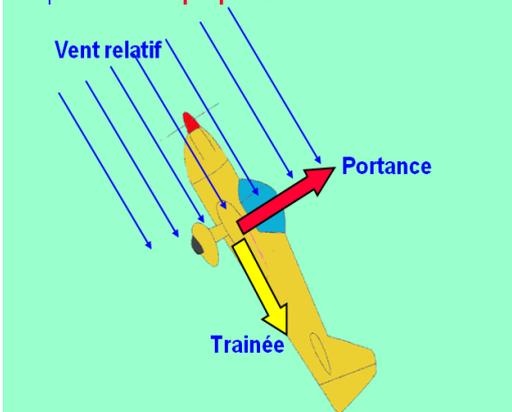
F_z : portance (\perp au vent relatif)

$$F_z = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z \quad \text{avec } C_z \text{ coefficient de portance}$$

F_x : traînée (// au vent relatif)

$$F_x = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x \quad \text{avec } C_x \text{ coefficient de traînée}$$

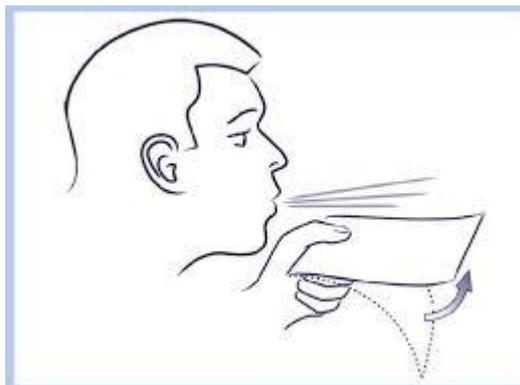
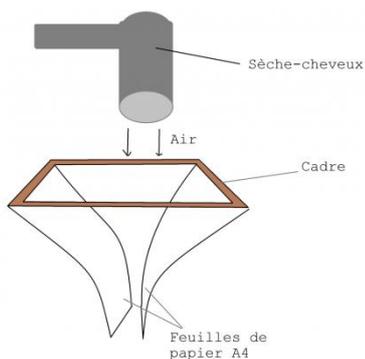
La portance est **perpendiculaire** au vent relatif



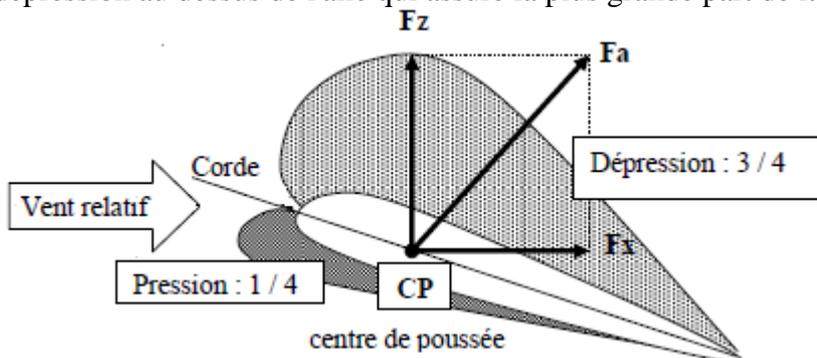
ATTENTION : La portance et la traînée ne sont respectivement verticale et horizontale que si la trajectoire (donc le vent relatif) est elle-même horizontale.

Ainsi sur le schéma ci-contre la position de la portance dans le cas d'un vol en montée.

LA PORTANCE $F_z = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_z$



Dans les deux cas, on souffle de manière constante et continue le long du papier. L'air ne se déplace pas du tout de l'autre côté de la feuille (c'est différent avec une aile d'avion), mais on met ainsi en évidence la dépression au dessus de l'aile qui assure la plus grande part de la sustentation (les 3/4)



CONSTAT EN SOUFFLERIE

Le profil étant soumis à la soufflerie, on constate :

L'apparition de dépressions sur l'extrados

incidence = 8°

L'enveloppe des dépressions est plus importante que celle des pressions (l'aile est plus "aspirée" que soulevée !)

L'apparition de forces de pression sur le bord d'attaque et l'intrados

4° - LA TRAINÉE $F_x = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_x$

C'est une force parallèle et de même sens que le vent relatif et de sens opposé au déplacement du corps

La traînée totale F_x se divise en deux grandes familles :

- La traînée de profil : traînée de frottement, traînée de forme
- La traînée induite F_{xi} qui dépend uniquement de la création de portance

Traînée de frottement : elle est due à la viscosité de l'air. Elle dépend de la vitesse, de la configuration et de l'état de surface et donc de la couche limite.

Traînée de forme : due à la résistance de l'air

$$\frac{1}{2} \rho S V^2 C$$

aux vitesses subsoniques
en milieu incompressible

ρ : masse volumique de l'air $\approx 1,225 \text{ kg/m}^3$

S : surface du corps (m^2)

V : vitesse (m/s)

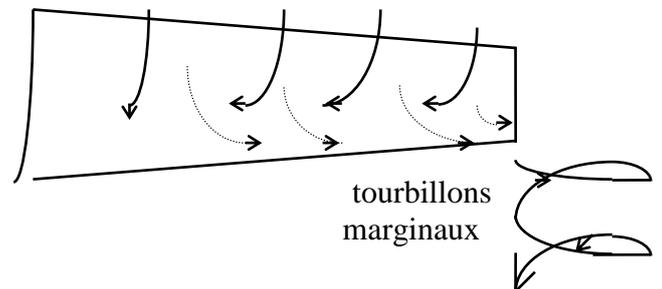
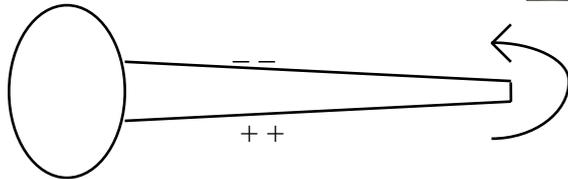
C : coefficient lié à l'objet (forme, état de surface, incidence)



Traînée induite :

Elle est due à la différence de pression entre extrados et intrados.

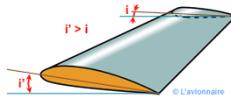
Pour une aile d'un allongement quelconque, l'extrados est soumis à des forces de dépression et l'intrados à des forces de pression.

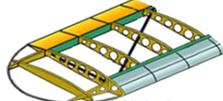
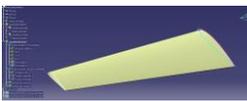


plus l'allongement est grand, plus la traînée induite est faible.

Pour diminuer la traînée induite, on pourra jouer sur :

l'allongement,  Un planeur a moins de traînée induite qu'un avion.

le vrillage de l'aile,  Cas du DR400.

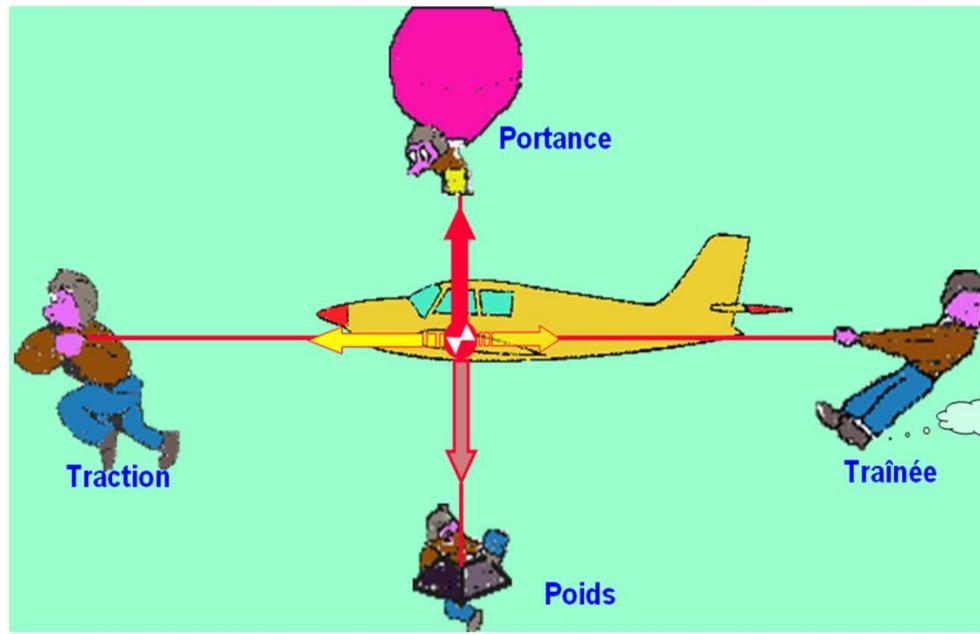
l'effilement,  

les winglets. (sharklets chez Airbus), 

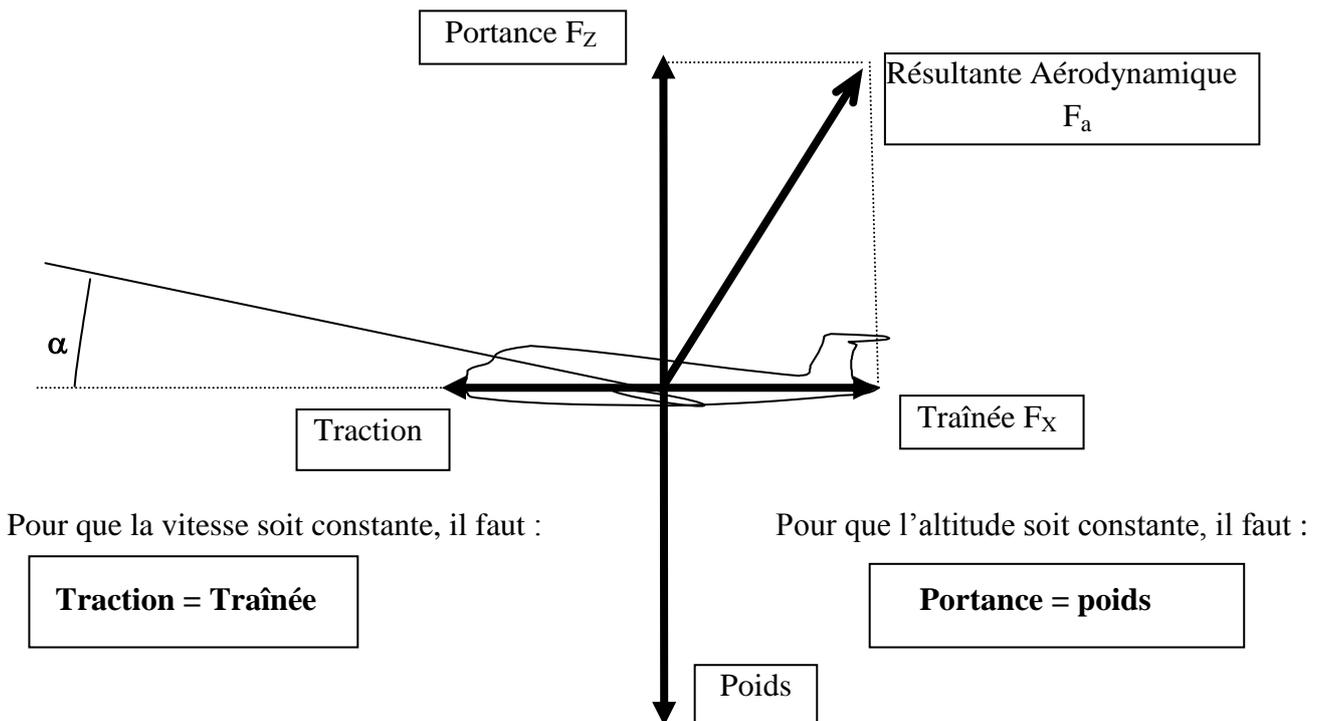
les réservoirs de bout d'aile peuvent servir de cloisons.  

[retour au sommaire 2](#)

5°) EQUILIBRE DES FORCES EN VOL HORIZONTAL



a) Vol en palier stabilisé Définition : vol horizontal à vitesse constante



b) Relation vitesse – incidence

Si la traction augmente, la vitesse augmente, la portance augmente, l'avion monte !

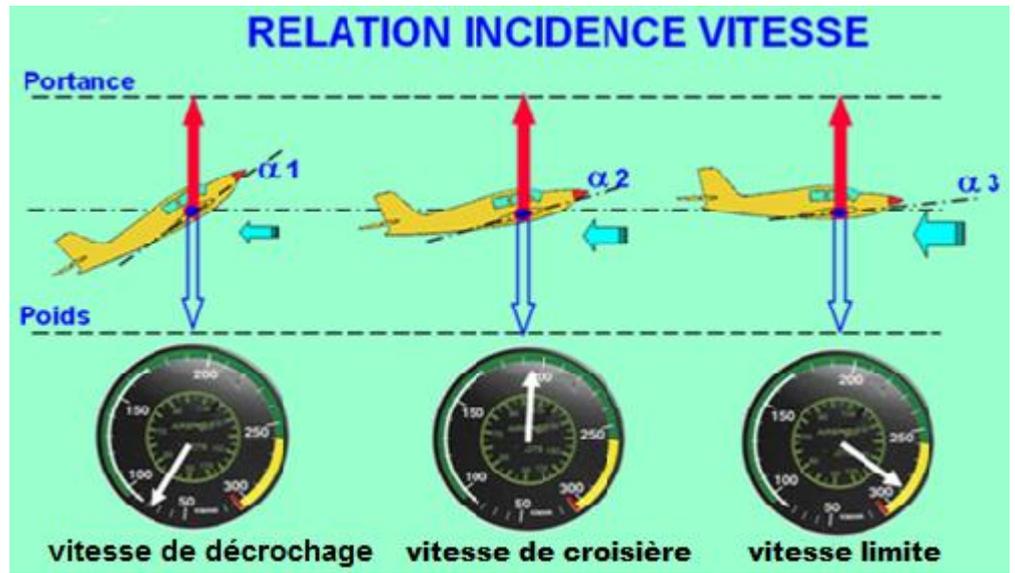
Si l'incidence augmente, la portance augmente, l'avion monte !

Si la traction diminue, la vitesse diminue, la portance diminue, l'avion descend !

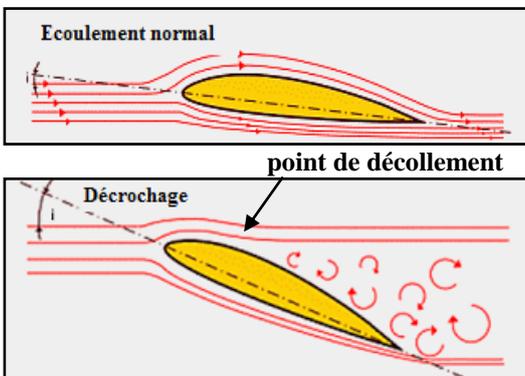
Si l'incidence diminue, la portance diminue, l'avion descend !

Pour effectuer un vol à altitude constante, il faut :

- si la vitesse augmente : diminuer l'incidence
- si la vitesse diminue : augmenter l'incidence
- si l'incidence augmente : diminuer la vitesse
- si l'incidence diminue : augmenter la vitesse



c) Décrochage



Vol : écoulement laminaire
 Plages d'incidence de vol : 0° à $18 \sim 20^\circ$
 Si l'incidence augmente le flux d'air devient tourbillonnaire.

A une incidence donnée :

décrochage : la portance diminue brutalement.

décrochage à incidence fixe !

La vitesse de décrochage, par exemple, augmentera avec la masse.

DECROCHAGE

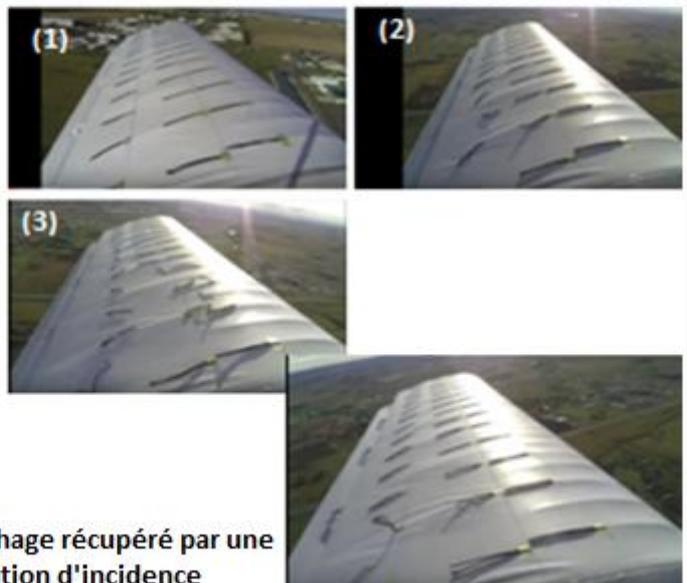
VENT RELATIF **PORTANCE**

(1) Angle de 6°
Flux d'air stationnaire

(2) Angle de 15°
Limite de décrochage
Portance maximale

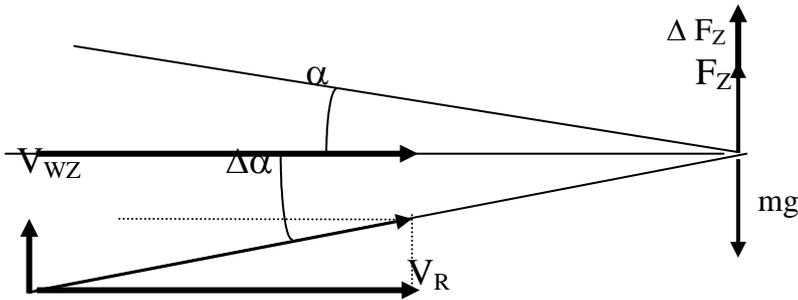
(3) Angle de 25°
Situation de décrochage
Chute de la portance

flux d'air décollé

décrochage récupéré par une diminution d'incidence

d) Effet d'une rafale ascendante



Une rafale ascendante a pour effet d'augmenter l'incidence et donc la portance; mais, si avant que n'ait lieu la rafale, l'avion volait à incidence max (vitesse minimale, portance max): décrochage!

Il faudra donc éviter les vols à faibles vitesses à basse altitude

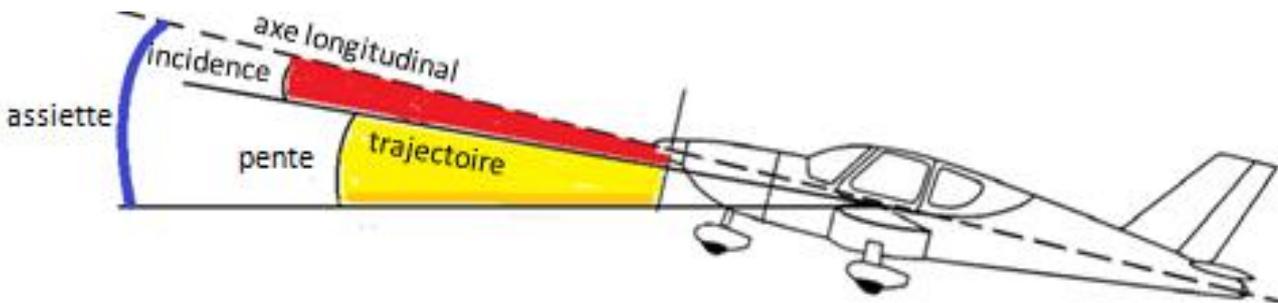
Il y a aussi augmentation du facteur de charge n

RELATION ASSIETTE, INCIDENCE, PENTE

cf annales :

18. L'assiette d'un appareil :

- a) est toujours égale à l'incidence.
- b) n'est pas en relation directe avec l'incidence.**
- c) est toujours inférieure à l'angle d'incidence.
- d) est toujours supérieure à l'angle d'incidence.



L'assiette est l'angle entre l'axe longitudinal de l'avion et l'horizontale.

Positive si assiette à cabrer, négative si assiette à piquer.

L'incidence de l'aile est l'angle compris entre la corde de l'aile et le vent relatif (ou trajectoire).

Mais dans le cas de l'avion :

L'incidence de l'avion est l'angle entre l'axe de l'avion et le vent relatif.

positive si l'air relatif attaque l'avion par en-dessous, négative si par en-dessus.

Remarque :

La différence entre l'incidence de l'aile et celle de l'avion sera **l'angle de calage**, angle entre la corde de l'aile et l'axe de l'avion.

La pente est l'angle entre la trajectoire et l'horizontale.

La pente est positive si la vitesse est au-dessus de l'horizontale.

Donc pour l'avion on aura la relation :

$$\text{Assiette} = \text{Pente} + \text{Incidence.}$$

[retour au sommaire 2](#)

6°) DESCENTE PLANEE RECTILIGNE

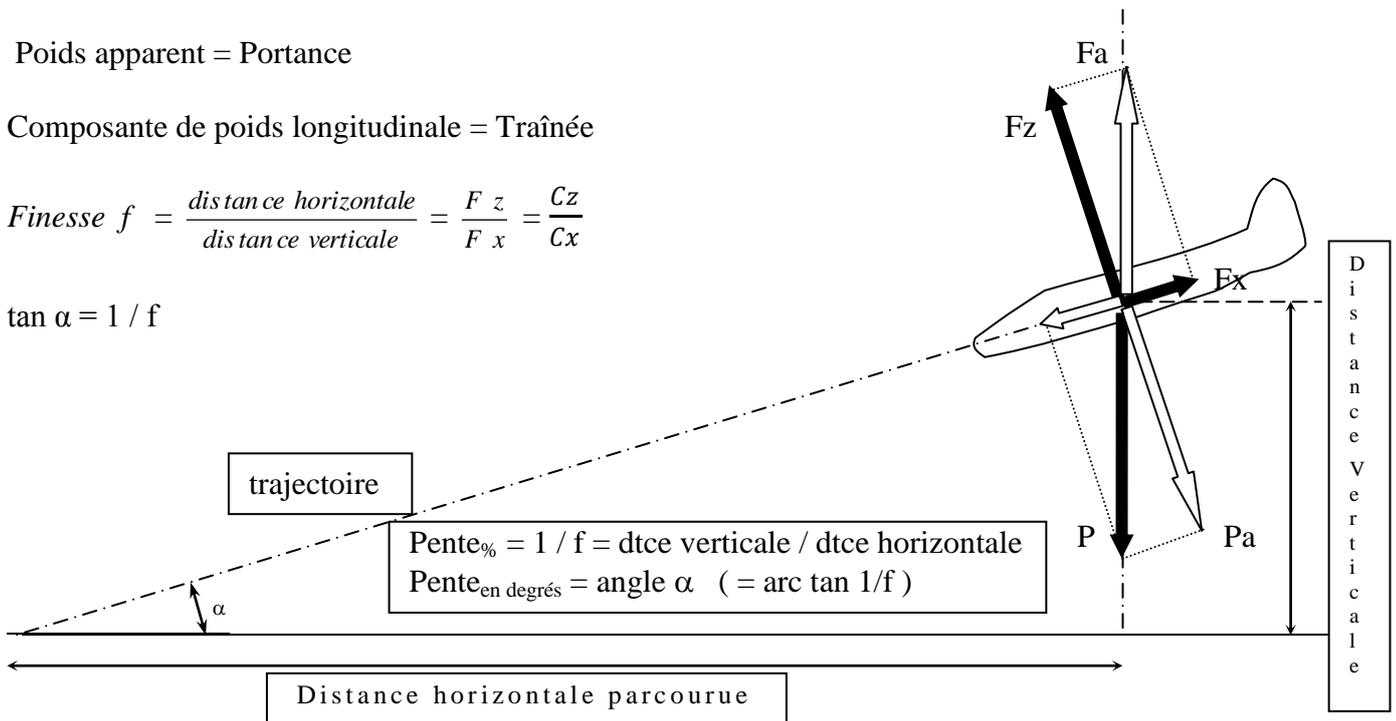
Poids = résultante aérodynamique

Poids apparent = Portance

Composante de poids longitudinale = Traînée

$$Finesse f = \frac{\text{distance horizontale}}{\text{distance verticale}} = \frac{F_z}{F_x} = \frac{C_z}{C_x}$$

$$\tan \alpha = 1 / f$$



LA FINESSE INDIQUEE EST TOUJOURS LA FINESSE MAXIMUM

exemple : Un avion de finesse 8 ne pourra jamais planer plus de 8 fois sa hauteur (sans vent, un peu moins par vent de face, un peu plus par vent arrière).

En descente planée (moteurs réduits) :

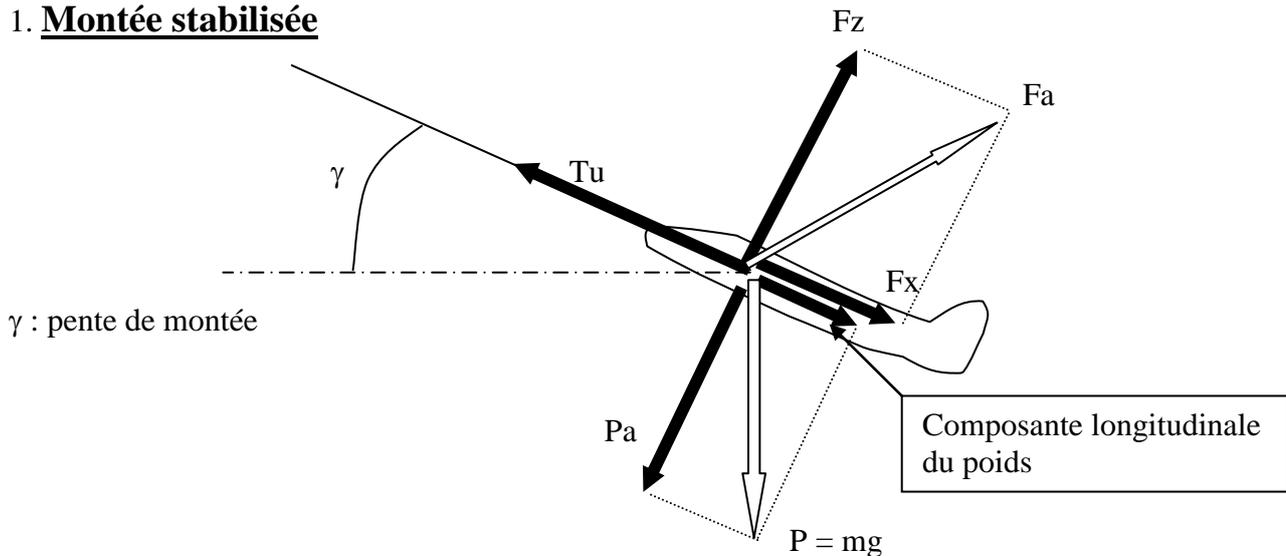
Pente et distance franchissable sont indépendantes du poids de l'avion mais la vitesse sur trajectoire est d'autant plus grande que le poids est élevé.

On détermine ainsi pour un avion l'angle d'incidence de finesse max. Par la suite on pourra bien sûr voler à cette incidence de finesse max dans toute autre configuration que le plané, par exemple en palier à l'incidence de finesse maximale, on obtiendra la plus grande distance franchissable. (consommation-distance minimale)

[retour au sommaire 2](#)

7°) VOL MOTORISES SUR PENTE

1. Montée stabilisée



Poids apparent $P_a =$ Portance F_z

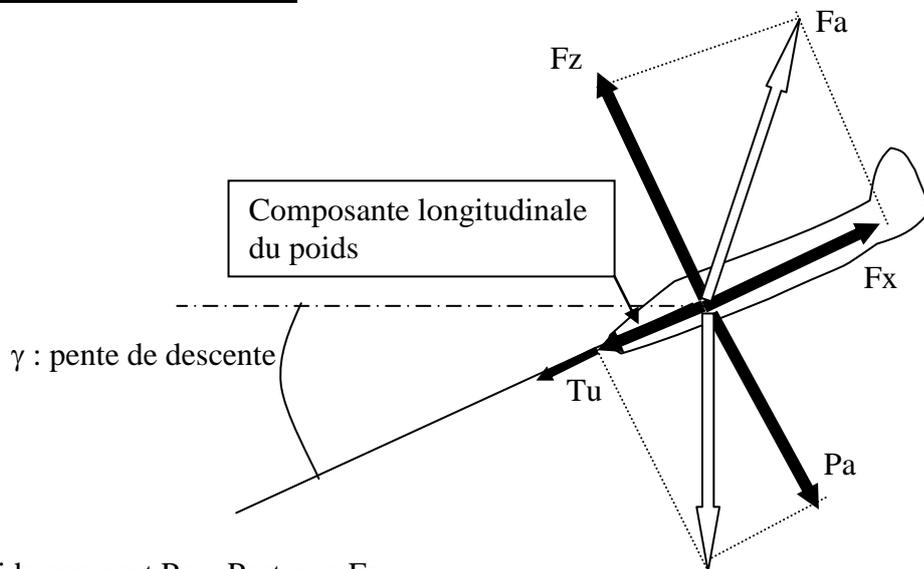
Traction $T_u =$ Trainée $F_x +$ Composante longitudinale du poids

Poids réel = Poids apparent + composante longitudinale du poids

Facteur de charge : $n = P_a / P$

Remarque : En montée stabilisée, le facteur de charge est inférieur à 1 : $n < 1$

2. Descente stabilisée



Poids apparent $P_a =$ Portance F_z

Traction $T_u +$ Composante longitudinale du poids = Trainée F_x

Poids réel = Poids apparent + composante longitudinale du poids

Facteur de charge : $n = P_a / P$

Remarque : En descente stabilisée, le facteur de charge est inférieur à 1 : $n < 1$

Ici encore : $n < 1$

[retour au sommaire 2](#)

8°) LE VIRAGE

En virage dans le plan horizontal, à vitesse constante (virage uniforme) une nouvelle force est appliquée à l'avion : la force centrifuge : $F_{cf} = m V^2 / R$, horizontale et dirigée vers l'extérieur du virage.

Pour que l'avion soit en équilibre, il faut que la résultante des trois forces qui lui sont appliquées dans le plan transversal ($F_z, P = mg, F_{cf}$) soit nulle

F_z doit vaincre un poids apparent P_a plus élevé que le poids réel P

α inclinaison

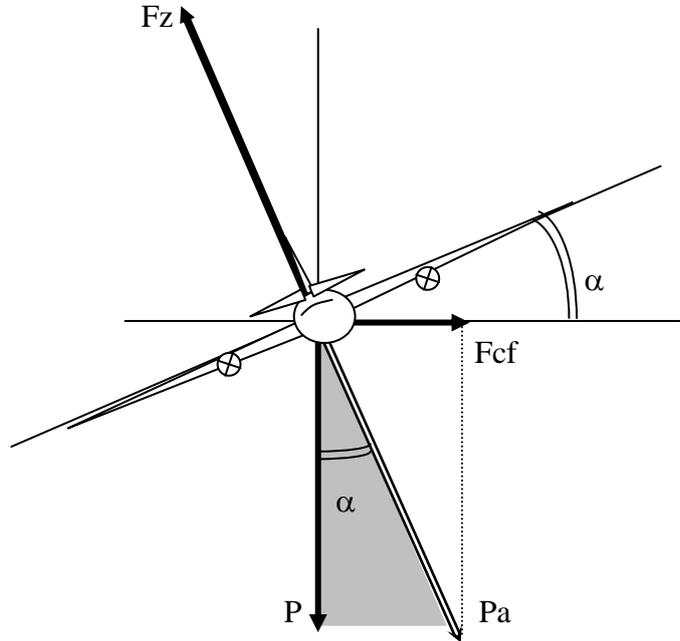
Par convention on appelle facteur de charge le rapport

$$n = P_a / P = \text{poids apparent} / \text{poids réel}$$

donc $P_a = n mg$

$$n = \frac{P_a}{P} = \frac{1}{\cos \alpha}$$

Ici $n > 1$

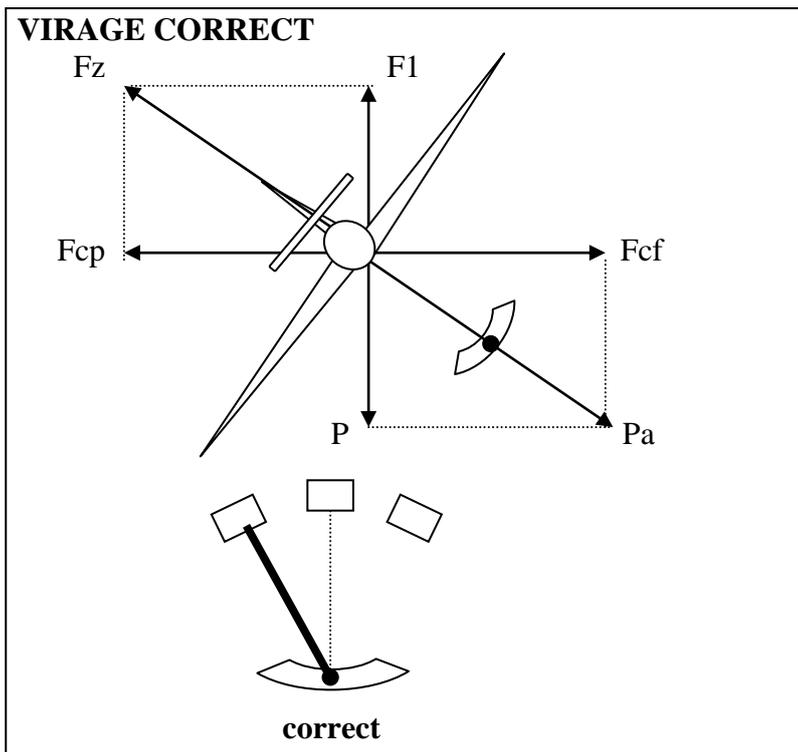


inclinaison α	0°	60°	30°	45°	α°
facteur de charge n	1	2	1,15	1,4	$n = 1 / \cos \alpha$
vitesse de décrochage	V	1,4 V	1,1 V	1,2 V	$V \sqrt{n}$

[retour au sommaire 2](#)

Mise en virage

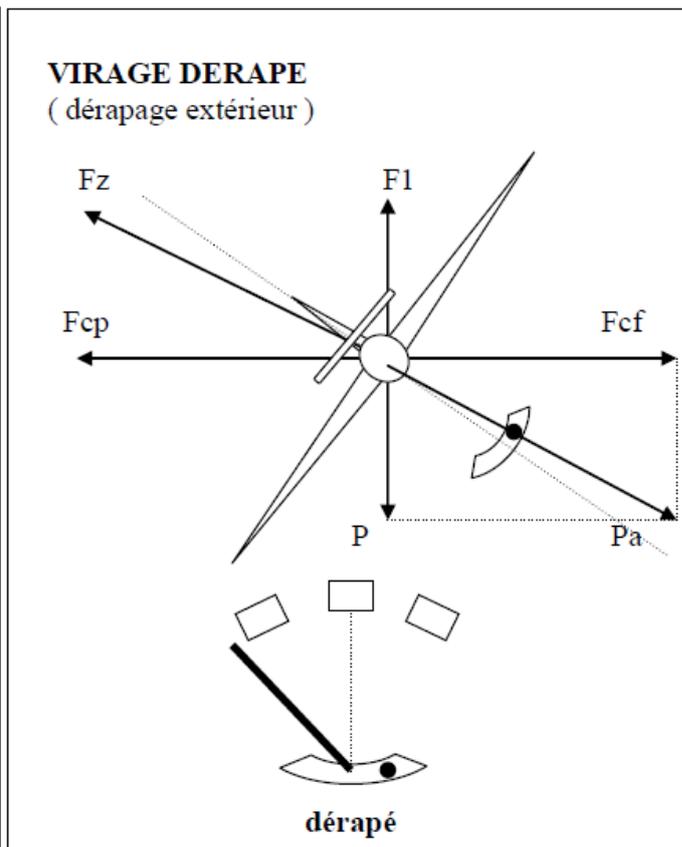
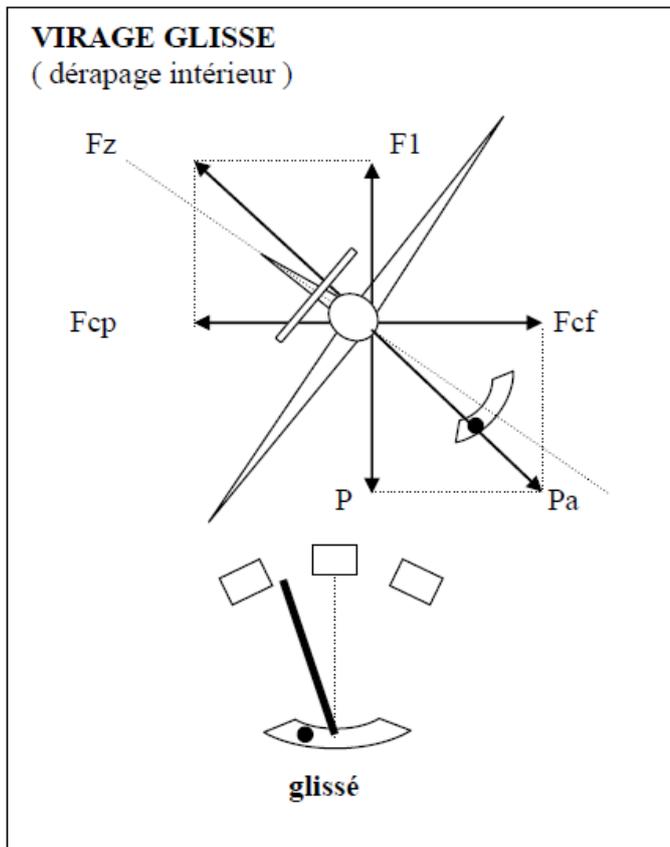
On crée une inclinaison à l'aide des ailerons commandés par le manche latéralement et on maintient la symétrie de l'écoulement de l'air autour de l'avion à l'aide de la gouverne de direction commandée par les palonniers. Il faudra donc conjuguer les gouvernes.



La bille indique la symétrie du vol.
(« le pied chasse la bille »)

L'aiguille indique un taux de virage.
(vitesse angulaire)

L'instrument s'appelle une **bille-aiguille** ou **indicateur de virage**.
(instrument gyroscopique)



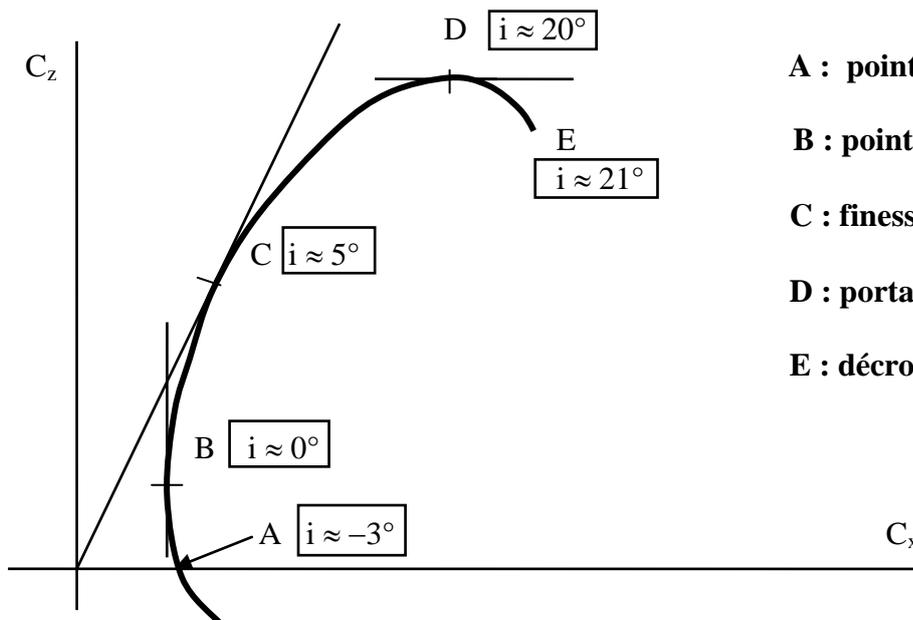
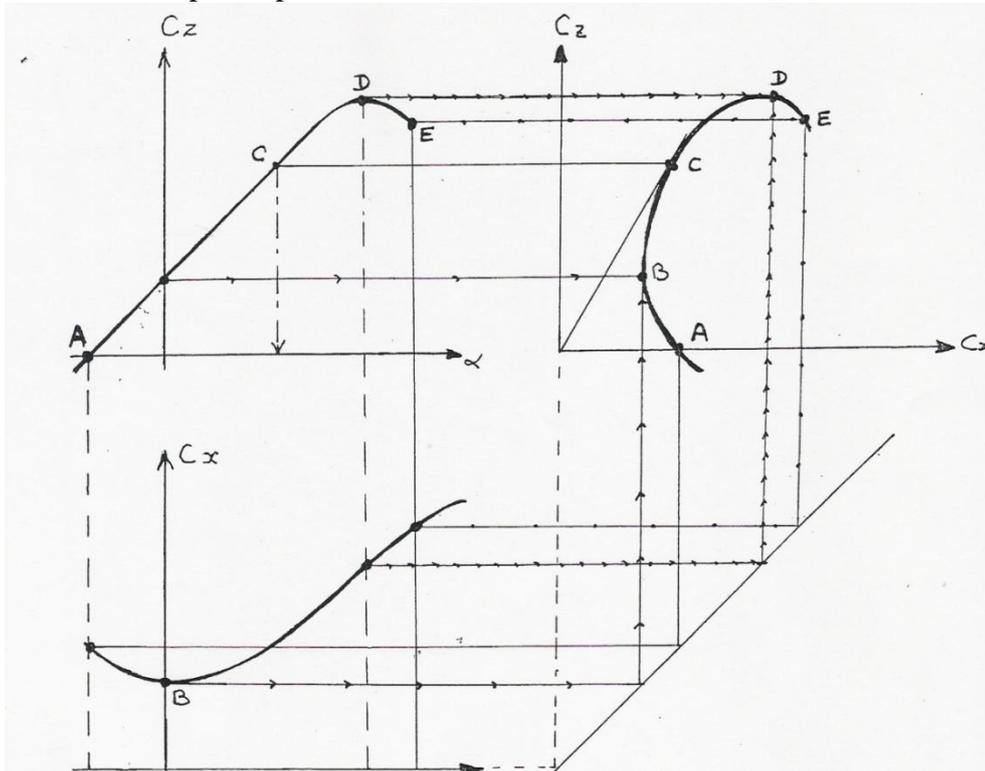
[retour au sommaire 2](#)

9°) POLAIRE DE L'AILE

Rappel : Portance $Fz = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z$ Traînée $Fx = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x$

Les coefficients C_z et C_x ne sont pas constants pour un même profil; ils varient en fonction de trois paramètres : allongement de l'aile, incidence, nombre de Mach. Si on considère une aile d'allongement infini utilisée dans des plages de vitesses de 0 à 300 km/h, seule l'incidence interviendra. La variation de C_z est sensiblement linéaire, celle de C_x semi-parabolique.

La polaire est une courbe établie expérimentalement en soufflerie pour un profil d'aile donné et indiquant les variations de portance donc de C_z en fonction des variations de traînée donc de C_x quand l'incidence varie. En fait on prend 100 C_z en fonction de 100 C_x et on multiplie l'échelle des C_x par 10 pour que la courbe ne soit pas trop étirée vers le haut.



- A : point de portance nulle**
- B : point de traînée minimum**
- C : finesse maximum**
- D : portance maximum**
- E : décrochage**

Rappel: finesse maximum:

$$f = \frac{C_z}{C_x}$$

distance maximum
parcourue en plané

Entre C et D : plage d'incidences de vol aux « **grands angles** » dit « **vol au 2^{ème} régime** » (utilisée dans la phase atterrissage)

[retour au sommaire général](#)

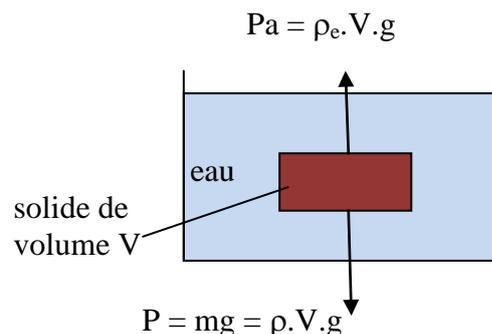
[retour sommaire 2](#)

L'AEROSTATION

La poussée d'Archimède

C'est la force due à la pression exercée sur un corps par le fluide (liquide ou gaz) dans lequel il est plongé. La poussée d'Archimède P_a est égale et opposée au poids du fluide déplacé

La résultante vectorielle est : $P + P_a$ (P : poids du corps)
Si le solide est moins dense que le fluide, il flotte.



La sustentation d'une montgolfière :

La poussée d'Archimède s'applique à l'air. La montgolfière est gonflée à l'air chaud qui est moins dense que l'air froid. Si la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe est suffisante, la poussée d'Archimède est supérieure au poids total de l'aérostat et il s'élève.

La température est contrôlée par des brûleurs. Une soupape et du lest permettent d'avoir un meilleur contrôle.

Inconvénient : la montgolfière consomme beaucoup d'énergie, tout le gaz consommé servant à réchauffer l'air du ballon.

La sustentation d'un ballon à gaz

Certains ballons sont gonflés avec un gaz (dihydrogène ou hélium) moins dense que l'air. La différence de masse volumique permet à la poussée d'Archimède de sustenter l'aérostat. Son enveloppe est étanche et le contrôle de la sustentation se fait à l'aide d'une soupape et de lest.

Inconvénient : Le ballon à gaz refroidit la nuit ou au passage de nuages, d'où perte de volume et obligation de jeter du lest.

Certains aérostats combinent les deux techniques. Ce sont des **rozières**.

La rozière est une sphère de gaz porteur plus léger que l'air (hélium) sous laquelle un cône d'air chaud, maintenu en température par un petit brûleur, permet de conserver la poche d'hélium à un volume constant. La rozière consomme très peu et présente beaucoup d'autonomie mais son gonflement est délicat. Elle est destinée à des vols de longue durée et de longue distance mais n'emporte que 2 à 3 personnes.

Elles sont formées de 4 parties :

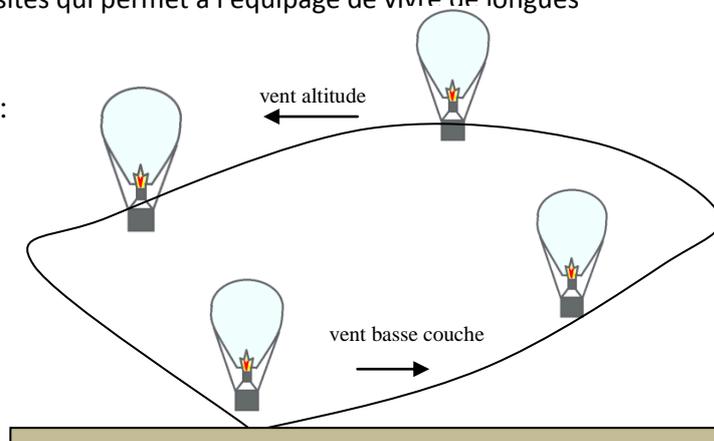
- une enveloppe très résistante retenant le cône d'air chaud et la sphère de gaz.
- une sphère de gaz remplie d'hélium
- un brûleur alimenté par du propane liquide (en général) qui est stocké dans des réservoirs placés autour de la nacelle
- une nacelle le plus souvent en matériaux composites qui permet à l'équipage de vivre de longues journées

Comment gérer la trajectoire d'une montgolfière :

Le contrôle du mouvement vertical se fait avec les brûleurs, le lest et la soupape.

Le mouvement horizontal se fait au gré des vents.

La différence de vent à différentes altitudes permet un certain contrôle de la trajectoire.



[retour sommaire 2](#)

FUSEES SATELLITES

FONCTIONNEMENT DE LA FUSEE A PROPERGOL SOLIDE

La fusée se présente comme un conteneur creux contenant une certaine quantité de propergol sous forme solide ou pulvérulente (poudre) assimilable à un explosif. Ce propergol est brûlé dans une tuyère, donnant une grande quantité de gaz chaud qui est éjectée avec force vers l'arrière de la fusée entraînant sa propulsion vers l'avant.

Le **DÉBIT MASSIQUE** est une grandeur caractéristique d'un propulseur.

Dans le cas d'un propulseur à poudre : c'est la masse de poudre brûlée par unité de temps. (kg/s)

Très fiable, ne posant pas de problème de stockage et de mise en œuvre, ce type de fusée est très utilisé sur les petits engins. De très nombreux types de propergol sont employés depuis la poudre noire jusqu'au mélange perchlorate d'ammonium / aluminium des boosters de la navette spatiale ou d'Ariane 5 .

Aujourd'hui ils sont encore utilisés comme propulseurs d'appoint lors de la poussée initiale.

INCONVÉNIENT MAJEUR des moteurs à ergols solides :

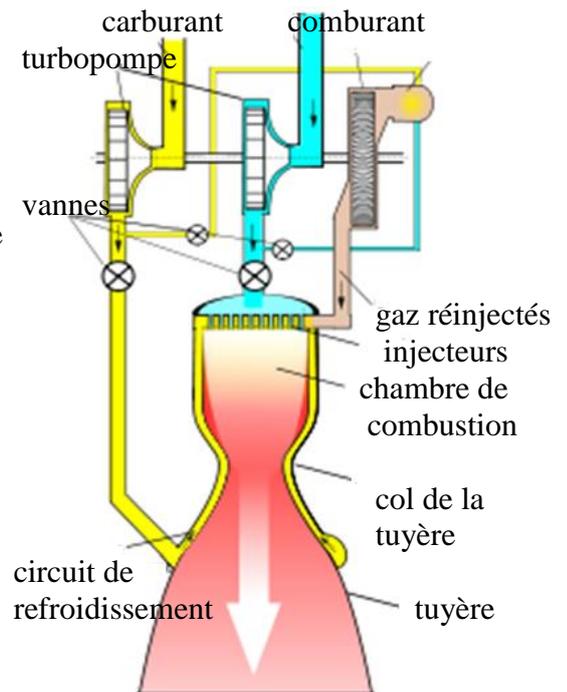
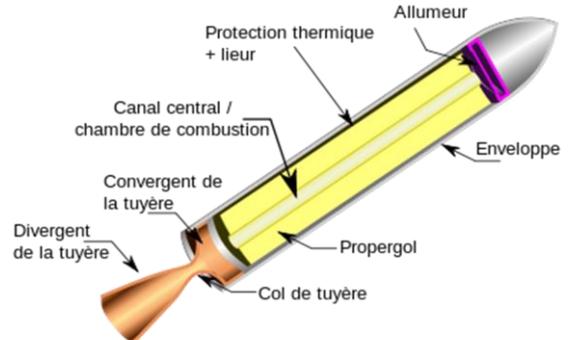
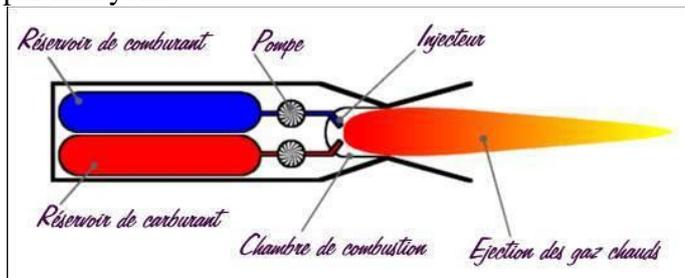
Une fois le moteur lancé on ne peut plus l'arrêter jusqu'à ce que le carburant soit épuisé .

FONCTIONNEMENT DE LA FUSEE A PROPERGOL LIQUIDE

Ce type de moteur utilise non pas un propergol simple mais un comburant et un carburant distincts et stockés indépendamment dans deux réservoirs.

Le comburant peut par exemple être du dioxygène liquide, le carburant du dihydrogène liquide. Les comburant et carburant sont aspirés par des pompes à haute pression et injectés dans une chambre de combustion où ils sont brûlés.

Ils produisent ainsi une grande quantité de gaz chaud éjectée par la tuyère.



La proximité d'un comburant et d'un carburant présente de très grands risques d'explosion; l'accident le plus fréquent sur ce type de moteur est la rupture des réservoirs entraînant rapidement une explosion (accident de la navette spatiale Challenger en 1987) En général, les réservoirs sont remplis quelques heures avant le lancement de manière à limiter les risques.

Néanmoins ils ont remplacé les moteurs à ergol solide comme propulseurs principaux. En effet, les moteurs à ergols liquides ont une force de propulsion environ deux fois supérieure à ceux à ergols solides. De plus, contrairement aux moteurs à ergol solide, ils sont extrêmement modulables et peuvent être éteints et rallumés en vol. Dans ces moteurs, l'oxygène liquide est utilisé comme comburant et le carburant est l'hydrogène liquide.

Mais tous ces moteurs consomment énormément et surtout sont très lourds, ce qui limite la masse utile qu'il est possible d'emporter dans la fusée.

LE VOL

Dans le système fusée, le décollage étant vertical, on se préoccupe très peu des lois de l'aérodynamique (portance entre autre), ce sont alors les lois de la balistique qui sont prises en compte.

La fusée décolle lorsque la poussée devient supérieure au poids. A noter que le poids diminue au fur et à mesure de la combustion (aucun apport extérieur).

Les réservoirs représentent 80 à 90 % de la masse et du volume total du système.

Contrôle et guidage de la fusée :

Le contrôle de trajectoire est effectué par des gyroscopes.

Le guidage (pilotage) s'effectue selon plusieurs systèmes

- Des tuyères orientables (ou déflecteurs de jet) pour la 1ère partie du vol (forte puissance)
- Parfois, pour les engins évoluant dans la troposphère, des gouvernes aérodynamiques
- Puis de petits moteurs auxiliaires pour les petites corrections en dehors de l'atmosphère terrestre.

Le vol d'une fusée se décompose en plusieurs phases

➤ La phase propulsée.

de l'instant de la mise à feu à la fin de combustion du propulseur

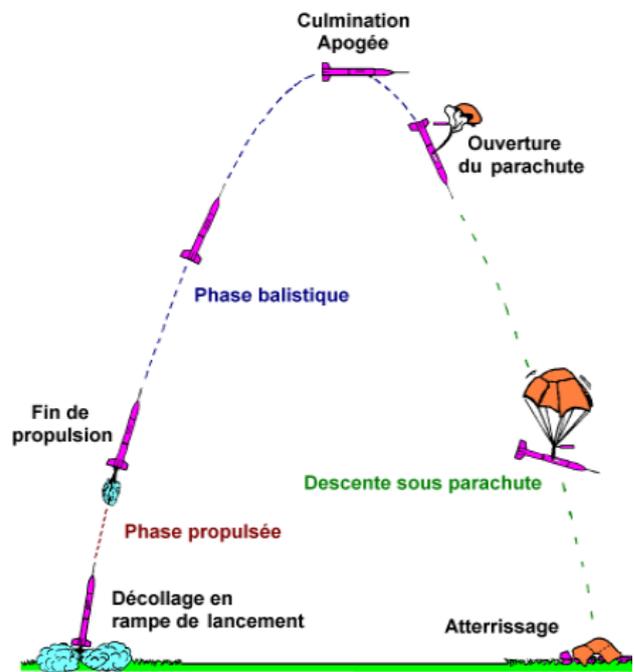
Elle comprend une partie où la fusée est guidée par la rampe de lancement et une partie où la fusée est livrée à elle-même.

➤ La phase balistique.

Après l'extinction du propulseur, la fusée, uniquement soumise à son poids et à la résistance de l'air, exploite la vitesse acquise pendant la propulsion pour atteindre son altitude maximale. Après la culmination, lorsque l'engin commence à retomber, la phase balistique se poursuit jusqu'à l'ouverture du parachute

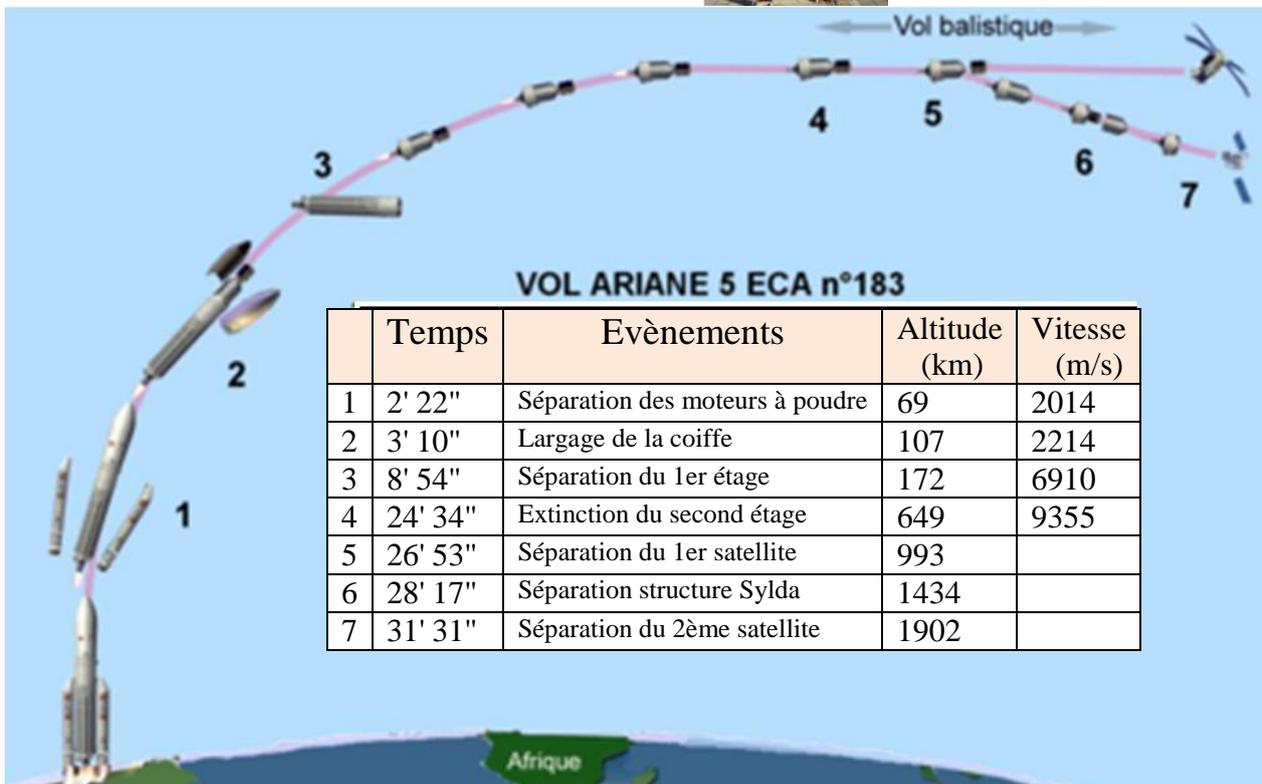
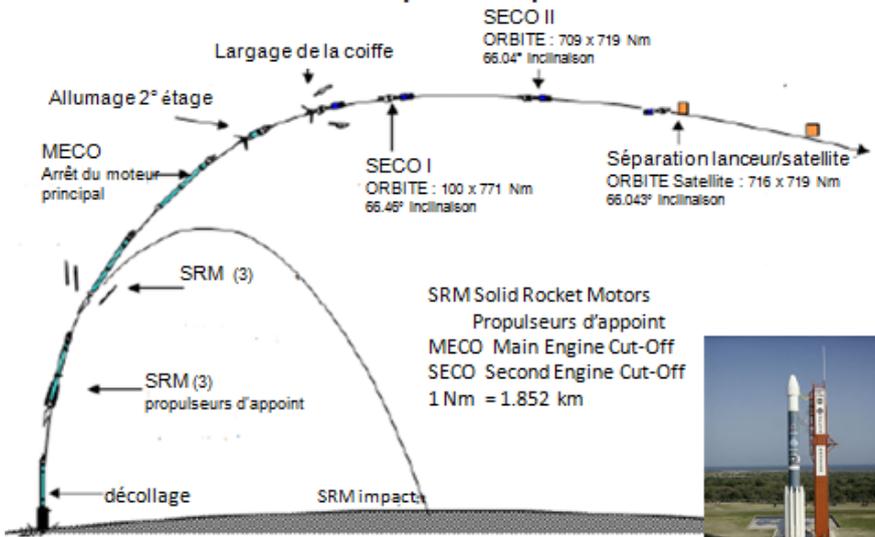
➤ La descente sous parachute.

On appelle **stabilité** la capacité pour la fusée de conserver la même attitude (pointée vers le ciel) durant son déplacement.



LES PHASES DE VOL

Lancement d'un satellite altimétrique Jason-2 par un lanceur Delta II en 2008



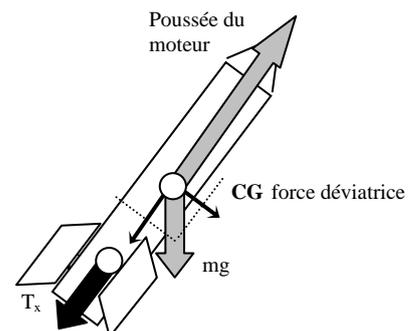
Le vol oblique

Le vol oblique se distingue par la décomposition du poids en deux forces. Sur la rampe de lancement, cette composante déviatrice est compensée par la réaction de la rampe.

Le poids se décompose en deux forces :

- composante sur l'axe de la fusée qui oppose une moindre résistance à l'avancement
- composante perpendiculaire à l'axe de la fusée (force déviatrice) qui tend à dévier la trajectoire en l'incurvant vers le bas.

Sur la rampe de lancement cette composante déviatrice est compensée par la contre-réaction de la rampe



SONDES ET SATELLITES

La plupart des vaisseaux spatiaux utilisent

- un système de propulsion chimique simple mais fiable mono-ergol
- ou un système de propulsion électrique pour le maintien à poste.
- Des actionneurs gyroscopiques ou roues d'inertie peuvent également être utilisés pour le contrôle d'attitude.
- Les satellites soviétiques utilisent la propulsion électrique depuis des décennies, une technologie qui commence seulement à devenir fréquente dans les pays occidentaux en particulier pour le maintien à poste nord-sud des satellites géostationnaires et la rehausse de leur orbite.
- Les sondes interplanétaires utilisent pour la plupart des moteurs chimiques,
- Cependant quelques essais d'utilisation de
 - moteur ionique (Dawn et Deep Space 1)

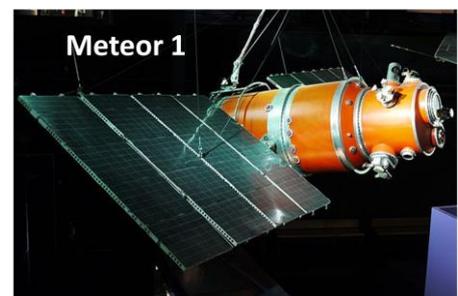
Dans un moteur ionique, le carburant n'est pas brûlé mais *ionisé*. Le matériel éjecté est ici du xénon, (cher à produire).

Les moteurs ioniques produisent une force de propulsion faible mais sur une très longue durée, donc sont particulièrement économes. Ils sont également beaucoup plus légers, permettant ainsi une économie supplémentaire de carburant.

De par leur faible poussée, ils ne conviennent pas pour le lancement de véhicules spatiaux. Pour cela, les moteurs fusée conventionnels sont encore nécessaires. Mais, en principe, dès que le véhicule spatial a atteint l'espace, le moteur ionique peut prendre le relais.

Il peut fonctionner très longtemps sans s'arrêter, si nécessaire durant des années. Avec son aide, des destinations extrêmement lointaines, comme Jupiter, peuvent être atteintes bien plus rapidement.

- ou à effet Hall, moteur à plasma stationnaire, ont démontré leur efficacité.



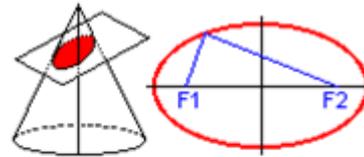
Une autre solution envisagée est le **MOTEUR NUCLÉAIRE**, ou atomique. Le principe est d'utiliser la fission nucléaire comme source d'énergie pour propulser les fusées.

Les ingénieurs ont montré, sur un modèle de faible puissance que le concept était réalisable. Mais les risques d'une catastrophe naturelle de grande ampleur ont arrêté le projet.

LOIS DE KEPLER

Première loi de Kepler :

la trajectoire suivie par un corps orbitant autour d'un astre est une ellipse, dont l'un des foyers est situé au centre de cet astre.



Deuxième loi de Kepler, (loi des aires) :

la ligne reliant un objet et le centre de l'astre balaie des aires égales en des temps égaux.

Troisième loi de Kepler :

Pour toutes les planètes du système solaire, on a le rapport

$$\frac{T^2}{A^3} = \text{cte}$$

T représente la période orbitale et A le demi-grand axe de l'ellipse.

Cette constante est indépendante de la masse de la planète choisie

GRAVITATION

La force de gravitation F_g est la force d'attraction existant entre deux masses M et m .

$$F_g = G \cdot \frac{M \cdot m}{D^2}$$

G est la constante universelle d'attraction

($G = 6,674 \cdot 10^{-34}$)

$D(m)$ distance entre $M(kg)$ et $m(kg)$

BASES DE LANCEMENT (COSMODROME en Russie)



Aux pôles, la vitesse de rotation est nulle. A l'équateur, elle est de 465 m/s (1674 km/h).

Ainsi, avant de décoller, le satellite, installé dans la coiffe de la fusée sur le pad de tir, possède déjà 5.7% de la vitesse nécessaire pour une orbite basse. Cette vitesse est autant de moins à donner pour la fusée, qui peut donc emporter plus de charge utile sans que son prix n'augmente.

Pour Kourou, cette vitesse est de 463 m/s, pour Cap Canaveral 410 m/s (inclinaison de 28,5°)

et Baïkonour de 323 m/s (inclinaison de 45,6°).

Pour profiter de cela, on envoie les lanceurs vers l'est et de préférence depuis un site placé près de l'Équateur. Par sécurité, on privilégie la présence de l'océan ou de zones désertiques au départ de la trajectoire des fusées (sauf Chine!)

LES ORBITES

Ce sont les trajectoires, parcourues par les engins spatiaux autour de la Terre (ou autour d'autres planètes). Le plan de l'orbite contient toujours le centre d'attraction... donc le centre de la Terre pour les satellites terrestres.

Selon leur distance par rapport à la terre, il y a :

- des **orbites circulaires** qui peuvent être polaires, équatoriales ou d'incidences différentes; On distingue:
 - les **orbites circulaires basses** (200 à 1.000 km), utilisées pour les vols habités et pour les satellites d'observation,
 - les **orbites circulaires hautes** (surtout satellites de navigation ou météo)
- des **orbites elliptiques**

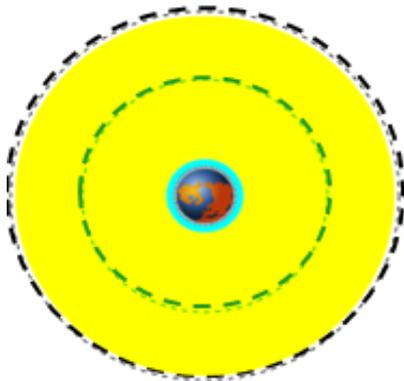
La vitesse dépend du rayon de l'orbite (loi des aires):

elle diminue lorsque le rayon de l'orbite augmente.

La vitesse d'un satellite dépend donc de son altitude :

plus le satellite est éloigné plus il évolue va lentement!

Ainsi, à 280 km d'altitude vitesse : 7,75 km/s et tour de la Terre en 1 h 30.
à 35 900 km d'altitude vitesse 3,07 km/s et tour de la Terre en # 24 h



Orbites basses (cyan) et moyennes (jaune) à l'échelle.

La ligne pointillée noire représente l'orbite géostationnaire (GSO)

La ligne verte pointillée représente l'orbite normale pour les satellites GPS.

Orbite terrestre basse (LEO)

zone allant jusqu'à 2 000 kilomètres d'altitude. On y retrouve des satellites de télédétection, des satellites de télécommunications ainsi que quelques stations spatiales, dont la Station spatiale internationale.

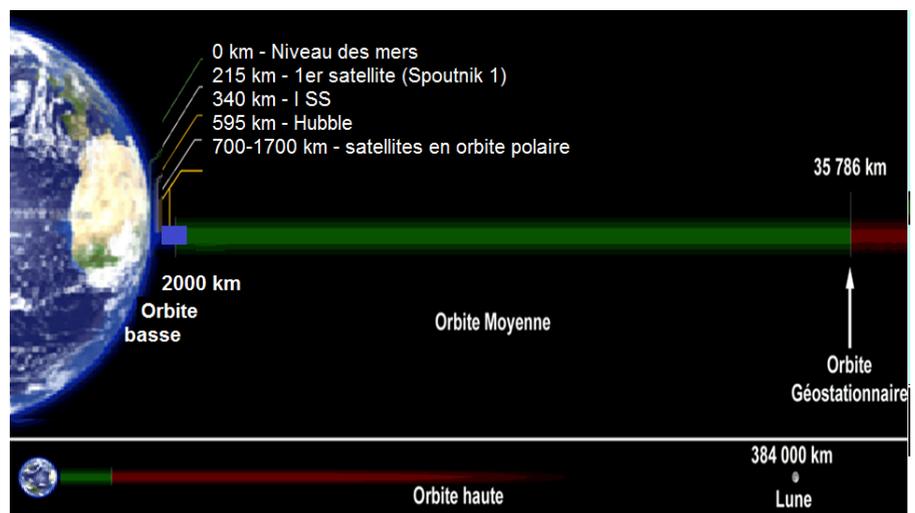
Orbite terrestre moyenne (MEO)

région de l'espace autour de la Terre située entre 2 000 et 35 786 kilomètres d'altitude, soit au-dessus de l'orbite terrestre basse et en dessous de l'orbite géostationnaire

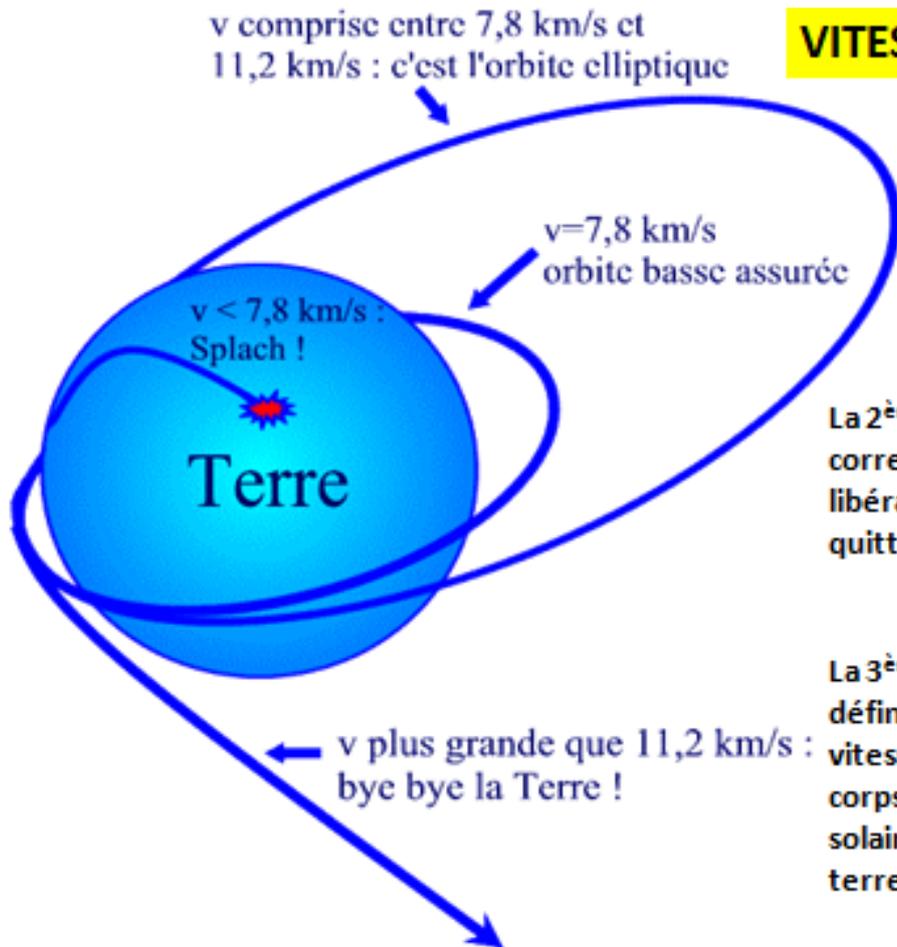
Orbite terrestre haute (HEO)

orbite terrestre dont l'apogée est situé au-dessus de l'orbite géostationnaire, soit environ 35 786 kilomètres.

Approximativement 2 500 satellites artificiels et des centaines de milliers de débris spatiaux orbitent autour de la Terre. Les sondes spatiales débutent généralement leur mission en parcourant une orbite terrestre avant de continuer leur trajet vers un autre corps céleste.



VITESSES COSMIQUES



La 1^{ère} vitesse cosmique représente la vitesse de satellisation minimale autour de la Terre. (7.8 km/s)

La 2^{ème} vitesse cosmique correspond à la vitesse de libération d'un corps quittant la Terre. (11.2 km/s)

La 3^{ème} vitesse cosmique est définie comme étant la vitesse de libération d'un corps quittant le système solaire depuis l'orbite terrestre. (# 29.7 km/s)

ORBITES PARTICULIERES

ORBITE CIRCULAIRE HELIOSYNCHRONE

Une orbite polaire est une orbite circulaire basse (entre 200 et 1 680 km) dont l'inclinaison, proche de 90°, la fait passer au-dessus ou près des pôles.

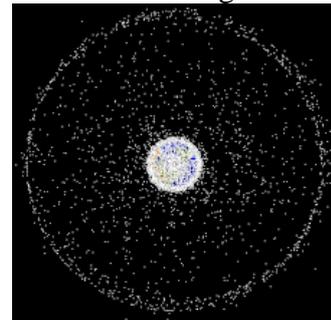
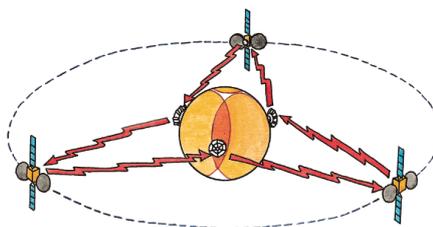
Le plan d'orbite d'un satellite artificiel héliosynchrone se présente toute l'année sous le même angle par rapport au soleil.

Une orbite héliosynchrone permet donc de s'assurer que le satellite survolera toujours à la même heure solaire locale une région quelconque de la planète.

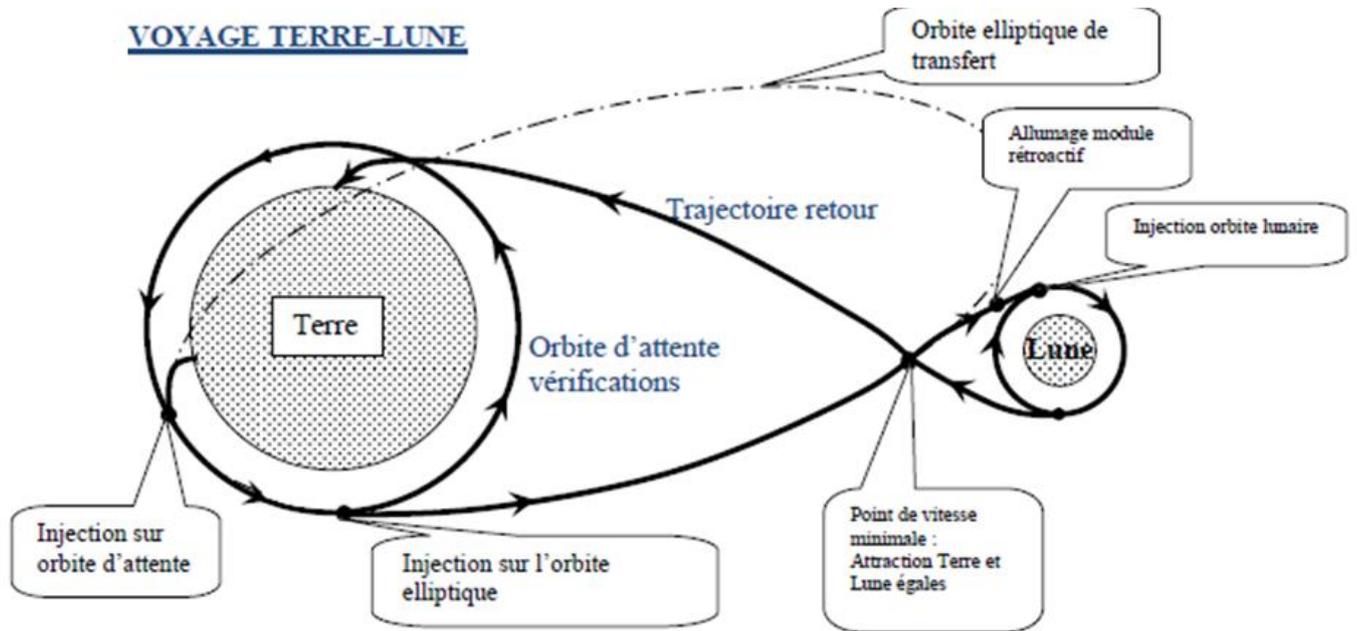
ORBITE GEOSTATIONNAIRE

L'orbite géostationnaire est une orbite circulaire sur laquelle un satellite se déplace dans le même sens que la planète (d'ouest en est pour la Terre) et dont la période orbitale est égale à la période de rotation sidérale de la Terre (soit environ 23 h 56 min 4,1 s).

Vu de la Terre, un satellite géostationnaire semble immobile dans le ciel : c'est l'orbite parfaite pour les satellites de télécommunications et pour certains satellites d'observation (météo) qui doivent couvrir une zone fixe. Trois satellites géostationnaires suffisent pour l'ensemble de la surface du globe terrestre.



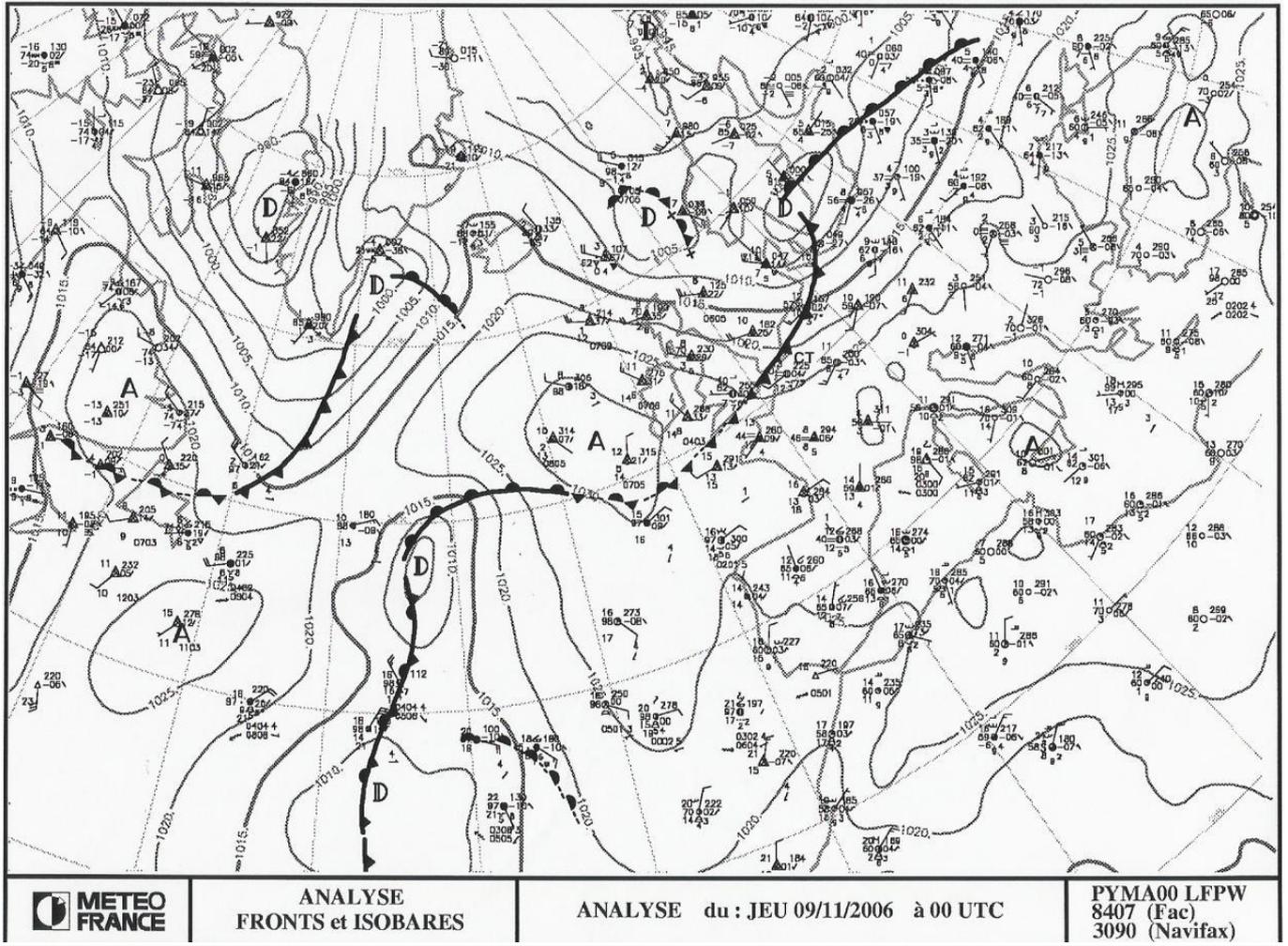
VOYAGE TERRE-LUNE



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 2](#)

METEOROLOGIE



PROGRAMME

1 – Météorologie et aérologie						
Compétences attendues	Savoirs associés	Niveau d'acquisition				Commentaires
		1	2	3	4	
<ul style="list-style-type: none"> Repérer les phénomènes météorologiques et aérologiques Utiliser des données météorologiques pour la préparation du vol Repérer les phénomènes dangereux 	1.1 – L'atmosphère - Composition - Pression atmosphérique - Températures - Masse volumique - Atmosphère standard - Instruments de mesure - Humidité de l'air et saturation - Phénomènes énergétiques (conduction, convection, rayonnement) - Stabilité et instabilité de l'atmosphère - Circulation générale					<i>Il ne s'agit pas de viser des compétences de prévisionniste, mais de donner les rudiments nécessaires à la compréhension des phénomènes météorologiques élémentaires.</i> <i>On peut aborder dans ce chapitre les notions de :</i> - cellules atmosphériques ; - variations de température saisonnières, journalières et locales. <i>Pour les phénomènes dangereux, il ne s'agit pas d'étudier dans le détail le mécanisme de ces phénomènes, mais de se concentrer sur leurs conséquences.</i>
	1.2 – Les masses d'air et les fronts - Isobares, anticyclones, dépressions, cols, dorsales, talwegs, marais barométriques - Perturbations et fronts					
	1.3 – Les nuages - Formation des nuages - Formation des brouillards et des brumes - Description et classification - Précipitations associées					
	1.4 – Les vents - Origine du vent et organisation globale - Carte des vents - Vents locaux					
	1.5 – Les phénomènes dangereux pour le vol - Turbulences - Précipitations - Orages - Brumes et brouillards - Givres					

TABLE DES MATIERES 3

Introduction	page 77
Température	page 79
Pression atmosphérique	page 83
Notions d'humidité	page 86
L'air en mouvement	page 88
Nuages	page 92
La visibilité	page 94
Masses d'air et fronts	page 96
Phénomènes dangereux pour l'aviation	page 99
L'information météorologique	page 101

[retour au sommaire général](#)

INTRODUCTION – LA METEOROLOGIE

Science qui étudie les phénomènes se déroulant dans les 30 premiers kilomètres de l'atmosphère. Trois espaces indissociables : climatologie , observation et prévision.

Historique : Les précurseurs : Aristote (– 385 à – 322 av.J-C) écrit le 1^{er} ouvrage de météorologie.

Evangelista Toricelli (1608 – 1647) invente le baromètre en 1643 et décèle l'influence de la pression sur les conditions météorologiques.

Le grand duc Ferdinand II de Toscane invente le thermomètre en 1640; Anders Celsius crée, en 1742, l'échelle thermométrique centésimale; John Hadley, en 1735, évalue l'effet de la rotation de la Terre sur les vents.

L'ère moderne : A la suite d'une forte tempête qui fit d'importants dégâts en 1854, J.J. Le Verrier (1811 – 1877), directeur de l'observatoire de Paris, organise un réseau de 24 stations météorologiques chargées de signaler les phénomènes dangereux.

En 1863, il établit la 1^{ère} carte météorologique.

En 1945, l'Organisation Nationale Météorologique (ONM) nouvellement créée a la charge de mettre en place un système de surveillance ainsi que des programmes d'étude.

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) est l'institution spécialisée des Nations Unies qui fait autorité pour tout ce qui concerne l'état et le comportement de l'atmosphère terrestre, son interaction avec les océans, le climat qui en est issu et la répartition des ressources en eau qui en résulte.

L'OMM comptait 189 États et territoires Membres en 2010. Elle a succédé à l'Organisation météorologique internationale (OMI), qui a été fondée en 1873. Créée en 1950, l'OMM est devenue en 1951 une institution des Nations Unies spécialisée dans la météorologie (le temps et le climat), l'hydrologie opérationnelle et les sciences géophysiques connexes.



Classification des phénomènes atmosphériques :

Nuages		Météores			
Suspensions aqueuses		Phénomènes atmosphériques perceptibles, visibles ou audibles			
Liquides	Solides	Hydrométéores	Lithométéores	photométéores	électrométéores
Gouttelettes	Cristaux de glace Flocons de neige	Précipitations aqueuses : pluie, neige, grêle, embruns, givre	Particules solides non aqueuses : brume sèche, fumée, soulèvement de poussière, sable	phénomènes optiques arcs-en-ciel, halos, couronne, mirages	phénomènes électriques éclairs, tonnerre, foudre, aurores polaires

Observation de l'atmosphère

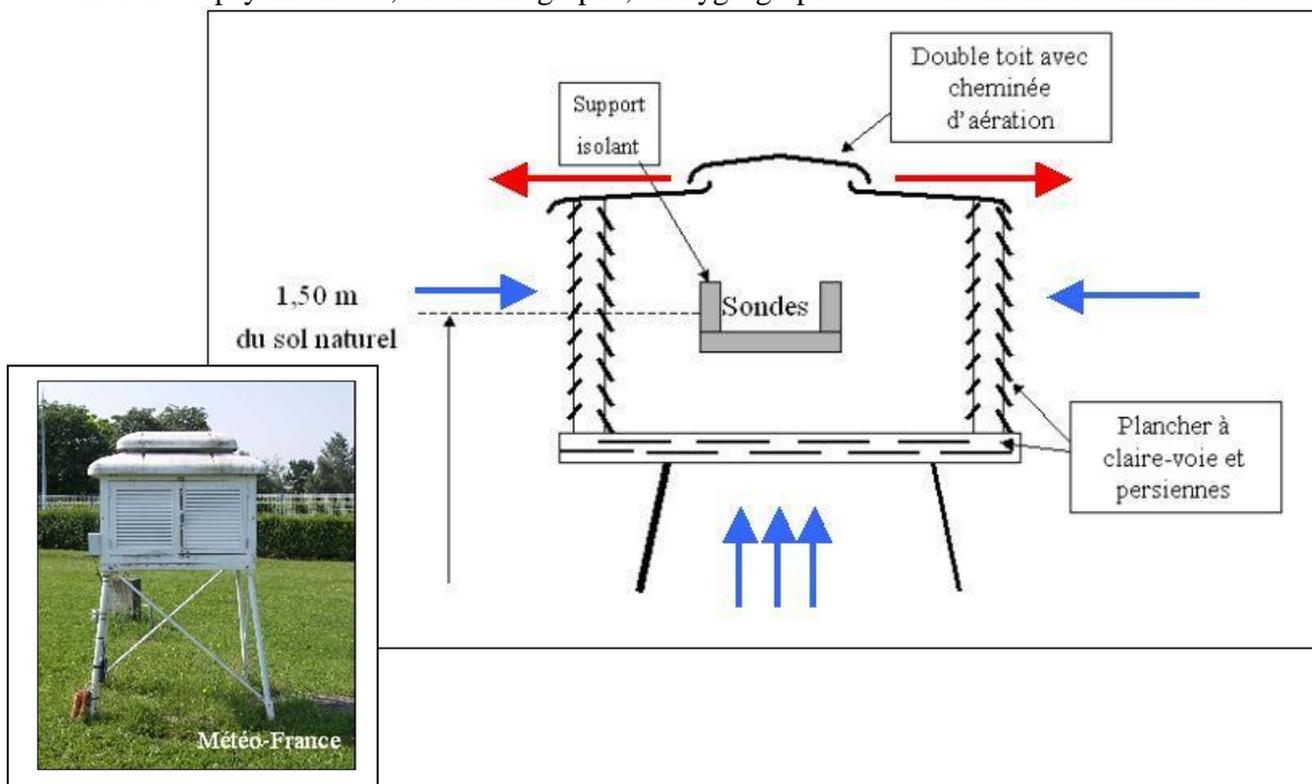
Appareils de mesures météorologiques		
Mesures aérologiques	Radiosondages	Mesures spectrales (réception de l'énergie émise)
Baromètres Thermomètre Hygromètre	sonar (sondeur acoustique) radar (électromagnétique) lidar (optique)	télescope optique pour le visible et l'infrarouge antennes dans le domaine des ondes longues imageur (surface sol) et sondeurs (spectre vertical)

Stations météorologiques

Stations de surface	Stations aériennes	Stations spatiales
Stations terrestres Bateaux Balises marines	ballons avions drones	satellites géostationnaires (z = 36 000 km AMSL) USA (GOES) –Japon –Inde –Europe (METEOSAT) satellites héliosynchrones (z = 850 km) (Tiros-N)

La météorologie étudie l'ensemble des phénomènes atmosphériques dans le système Terre-atmosphère.

À partir des années 1920-1930, les stations météorologiques de mesure ont utilisé des abris **de type Stevenson**, du nom de son concepteur, l'ingénieur écossais Thomas Stevenson (1818-1887). Ils accueillent un psychromètre, un thermographe, un hygrographe et des thermomètres mini-maxi.



Actuellement, les stations de Météo-France sont équipées d'abris miniatures ou « modèle réduit », comme sur les photographies ci-dessous. Les grands abris de type Stevenson sont encore utilisés par certaines stations, mais de façon plus restreinte.



et plus moderne



TEMPERATURE

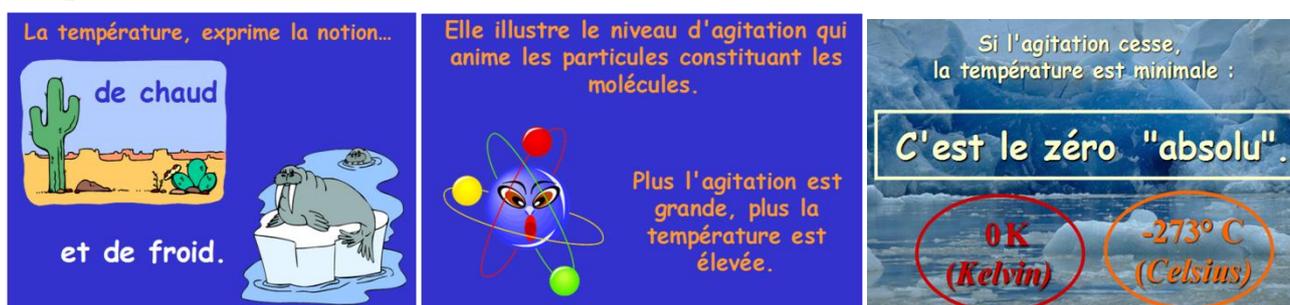
Atmosphère :

C'est l'enveloppe gazeuse qui entoure la Terre.

- densité maximum au niveau de la surface de la Terre
- limite supérieure ~ 130 km
- composition : 78 % azote ; 21 % oxygène ; 1 % gaz rares
 - + ozone en altitude (entre 15 et 45 km)
 - + vapeur d'eau
 - + impuretés
- Répartition en masse verticale : 99 % de la masse entre 0 et 30 km d'altitude dont 50 % entre 0 et 5500 m .

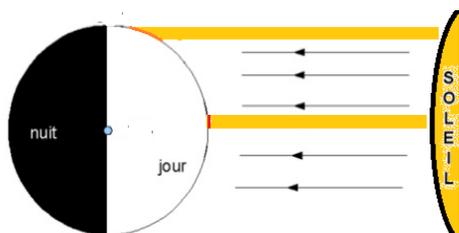
Trois points importants à étudier : température , pression et humidité .

Température



1. Les variations de température proviennent des échanges de chaleur par rayonnement , conduction ou convection .

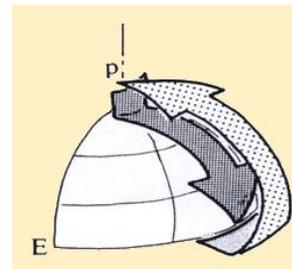
- par rayonnement : par le biais d'ondes électromagnétiques, le seul mode possible dans le vide ; c'est donc ainsi que la Terre reçoit la chaleur du Soleil (essentiellement lumière visible et rayonnement infra-rouge)
- par conduction : la chaleur se propage le long d'un corps ou d'un corps à l'autre par contact. Certains corps sont de bons conducteurs (métal), d'autres mauvais (bois, air). L'air étant mauvais conducteur, seule une faible épaisseur d'atmosphère peut se refroidir au contact d'un sol froid.
- par convection : possible seulement dans un fluide (gaz ou liquide) chauffé à sa base ; les parties du fluide plus chaudes ont tendance à monter et sont remplacées par du fluide plus froid qui s'échauffera à son tour et montera. Il se crée des courants de convection généralement organisés en cellules appelées cellules de convection. Ce mode d'échange joue un grand rôle dans l'atmosphère qui est chauffée à sa base de façon inégale par le sol. Des bulles d'air chaud vont se former et s'élever, apportant ainsi une certaine quantité de chaleur aux couches plus élevées de l'atmosphère. Ces échanges sont à la base de la circulation atmosphérique générale.



La Terre étant ronde, l'énergie reçue est plus importante sur la zone équatoriale, soit à la perpendiculaire des rayons du soleil, qu'aux pôles, donc à la parallèle des rayons du soleil.

Si les mouvements atmosphériques n'existaient pas, la zone intertropicale se réchaufferait constamment alors que les zones proches des pôles se refroidiraient constamment.

En 1735, un météorologue amateur britannique nommé Georges Hadley imagine un modèle de transferts d'énergie au sein de la troposphère. Ce modèle dit que dans la zone équatoriale, l'air, chauffé par les rayons solaires, devient moins dense et monte en altitude. C'est l'ascendance. Après cela, il se dirigerait vers les pôles en restant à haute altitude avant de rejoindre lentement le sol à mesure qu'il s'en approche. On parle alors de subsidence. En contrepartie, l'air froid des pôles se dirigerait progressivement vers l'Équateur en restant à basse altitude. Cela forme donc une cellule de convection ou une boucle de convection.



2. Gradient vertical de température :

vitesse de variation de la température T avec l'altitude Z.

La température diminue de 6,5° par 1000 m ;

On voit apparaître deux couches :

- * la couche turbulente → 1500 m sous l'influence thermique des sols
- * l'atmosphère libre : peu d'accidents de structure thermique verticale (inversion ou isothermie)

Pour l'atmosphère, la source de chaleur n'est pas le soleil mais la Terre.

En effet, la chaleur reçue par l'atmosphère a pour origine :

le rayonnement solaire direct (environ 10%)

la restitution par le sol (environ 80%)

la chaleur produite par la condensation de la vapeur d'eau lors de la formation des nuages, chaleur latente (environ 10%)

Les phénomènes physiques contribuant le plus au réchauffement de l'atmosphère sont la convection et la condensation

3. Autour de la Terre, il y a plusieurs couches :

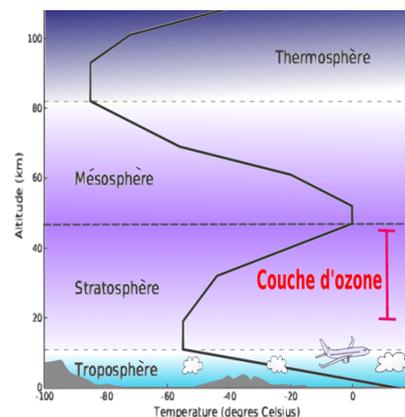
- a) la Troposphère (~ → 11 km) limitée par la Tropopause
- b) la Stratosphère (~ → 50 km) - Stratopause
- c) la Mésosphère (~ → 85 km) - Mésopause
- d) la Thermosphère (~ → 200 km)

4. Troposphère

La troposphère est la première couche en partant du sol contenant la majorité de la vapeur d'eau de notre atmosphère.

C'est dans la troposphère que se produisent la quasi-totalité des phénomènes météorologiques.

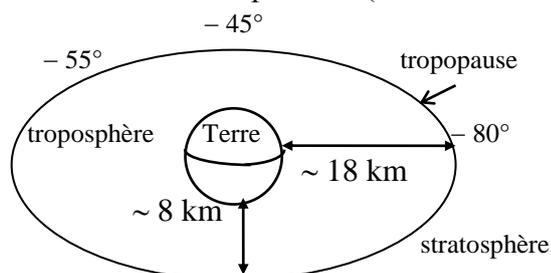
L'épaisseur de la troposphère n'est pas constante et varie selon la latitude, les saisons, la nature d'une masse d'air. La partie haute de la troposphère, que l'on nomme tropopause est le niveau où la température va cesser de décroître avec l'altitude. La tropopause demeure un élément majeur dans la formation des perturbations des régions tempérées.



5. Tropopause

C'est le niveau le plus bas (mais au dessus de 5 km) où la température diminue de moins de 2° par 1000 m (sur une épaisseur d'au moins 2000 m).

Elle limite le niveau supérieur des masses nuageuses sauf pour quelques cumulonimbus (nuages d'orage).



6. Importance de la température

Elle conditionne la masse volumique de l'air : influence sur la longueur de piste nécessaire au décollage, la consommation , le choix du niveau de vol.

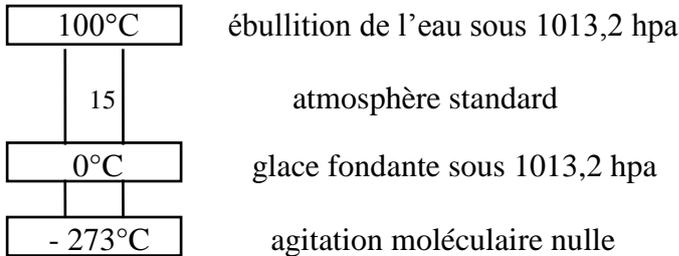
Elle occasionne des phénomènes dangereux pour l'aviation tels que le givrage.

7. Echelles thermométriques

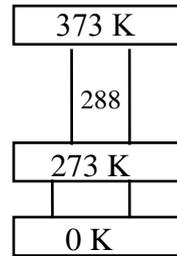
en météo pratique on utilise le *degré Celsius*

en météo théorique on utilise le *Kelvin*

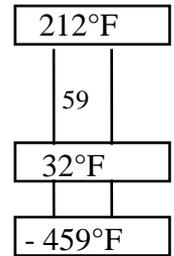
échelle Celsius



échelle Kelvin



échelle Fahrenheit



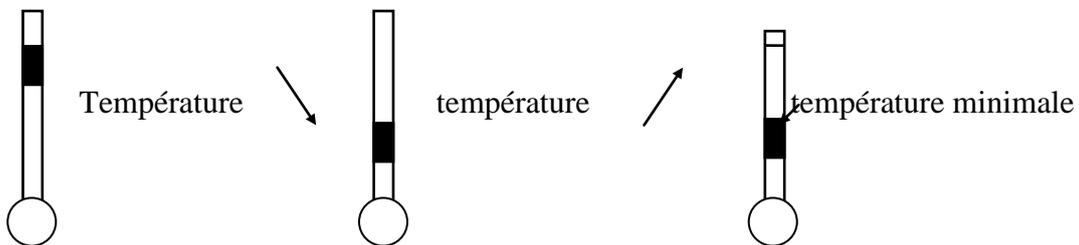
8. Thermomètres

- à mercure (MTO)
- à alcool
- métalliques à bilames : instruments de bord
- à résistance (platine ; or) : .. id ..

Les mesures au sol se font dans un abri ventilé à 1,50 m au dessus d'un sol gazonné.

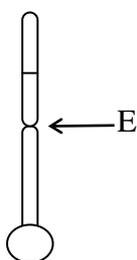
9. Thermomètre à minima

C'est un thermomètre à alcool. Un index en émail flotte dans l'alcool et est entraîné vers le bas quand la température descend.



La partie supérieure de l'index indique la température minimale.

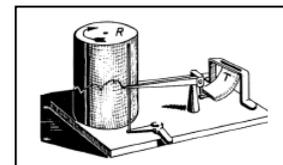
10. Thermomètre à maxima



Le mercure sous l'effet d'une élévation de température se dilate et passe par un étranglement E. Quand la température diminue , le mercure ne peut refluer dans le réservoir car son propre poids ne peut lui faire franchir l'étranglement.

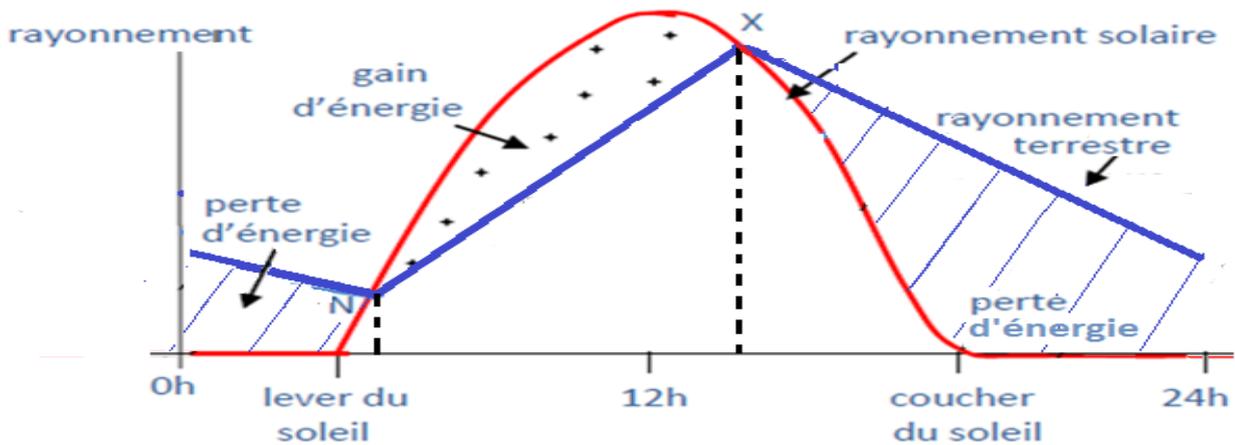
La température maximale est indiquée par l'extrémité de la colonne de mercure.

11. Thermomètre enregistreur

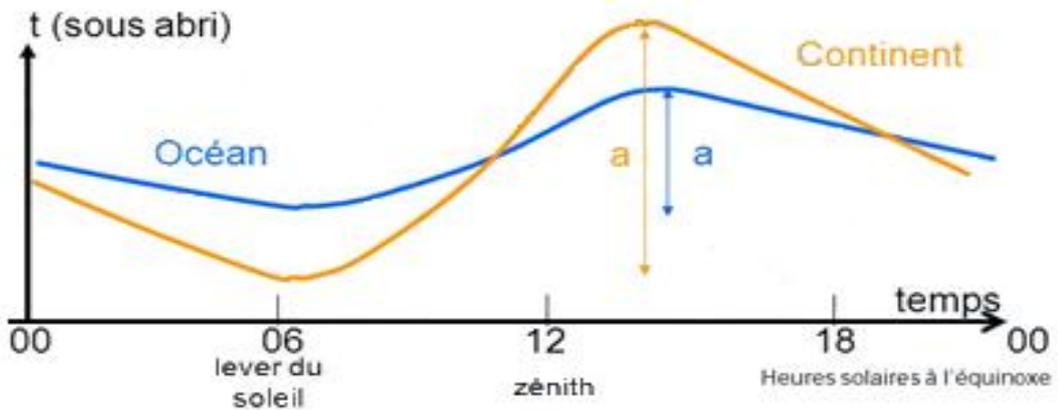


12. Variations de température dans le temps, en un lieu

* sur 24 h (nycthémerales)



- température minimale : $\sim \frac{1}{2}$ h après le lever du soleil.
- température maximale : 2 h après le passage du soleil dans le plan méridien.



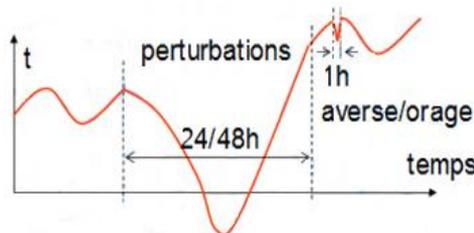
- l'amplitude diminue quand l'humidité augmente, augmente avec l'aridité du sol (est très faible sur la mer), est plus importante en été qu'en hiver, augmente quand la latitude diminue.

* sur l'année

- cycle des saisons.
- mêmes influences sur l'amplitude sauf qu'elle augmente quand la latitude augmente.

* variations accidentelles dues à :

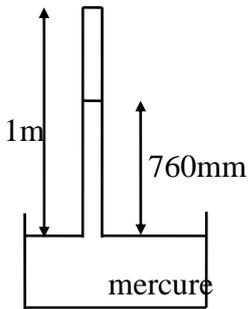
- la couverture nuageuse
- les précipitations
- les variations des vents
- les changements de masse d'air



Néanmoins au dessus de 2000 m pour une altitude donnée, la température est pratiquement stationnaire toute la journée.

PRESSION ATMOSPHERIQUE

1°) Expérience de Torricelli (1643) :



La pression moyenne normale atmosphérique est celle de 760mm de mercure :

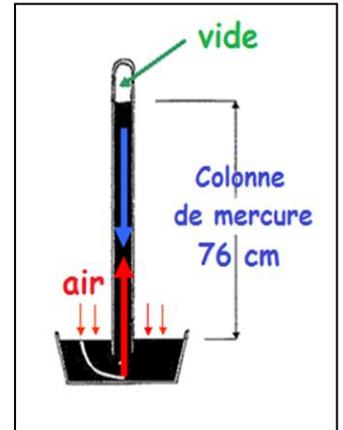
$$760\text{mm Hg} \cong 1013 \text{ hpa} \quad (\text{ autrefois mbar })$$

$$(1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2)$$

$$\text{pression atmosphérique} \approx 100\,000 \text{ N/m}^2$$

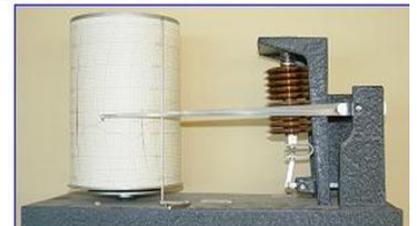
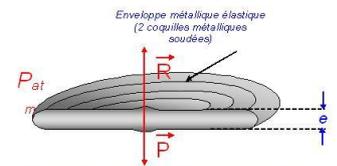
$$\approx 10 \text{ N} / \text{cm}^2$$

$$\approx 1 \text{ kg} / \text{cm}^2$$



2°) Instruments de mesure : les baromètres

- **baromètre à mercure** : même principe que celui de Torricelli: très précis mais encombrant et fragile.
- **baromètre métallique** ou anéroïde (n'utilisant pas de liquide)
principe : une capsule de Vidie : boîte métallique vide d'air et à parois cannelées (un ressort intérieur évite l'écrasement) ; quand la pression atmosphérique augmente ou diminue , elle aplatit plus ou moins la capsule.
Un levier transmet ces mouvements en les amplifiant et est relié à un cadran étalonné au départ avec un thermomètre à mercure.
- **baromètre enregistreur** ou barographe : même principe mais plusieurs capsules de Vidie superposées augmentent les déformations et les variations sont notées sur un cylindre enregistreur.

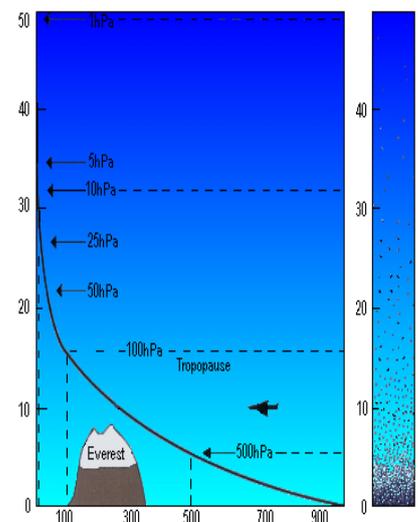


3°) Variations de la pression atmosphérique

- en un même lieu
 - variations quotidiennes faibles et régulières (moins de 1 hpa)
 $p \nearrow$ de 4h à 10h $p \searrow$ de 10h à 16h $p \nearrow$ de 16h à 22h $p \searrow$ de 22h à 4h
 - variations irrégulières : dues au passage des perturbations; l'étude de ces variations est à la base de la prévision du temps
- en altitude
la pression diminue avec l'altitude mais elle diminue moins rapidement à mesure qu'on s'élève .
- atmosphère standard « théorique » sous 45° de latitude

Loi de décroissance de la pression avec l'altitude : Laplace 1805

altitude en mètres	pression en hpa	température en °C
0	1013	15
1000	899	8,5
2000	795	2
3000	701	-4,5
4000	616	-11
5000	540	-17,5
6000	472	-24
7000	410	-30,5
8000	356	-37
9000	307	-43,5
10000	264	-50
11000	227	-56,5
12000	195	-56,5
15000	120	-56,5
20000	55	-56,5



Diminution de 1hpa tous les 28 ft ou 8,5 m au niveau de la mer.

On gardera cette valeur **uniquement dans les basses couches** de l'atmosphère (< 1000m)

$1 \text{ hPa} \rightarrow 28 \text{ ft} \rightarrow 8.5 \text{ m}$

→ mesure des altitudes :

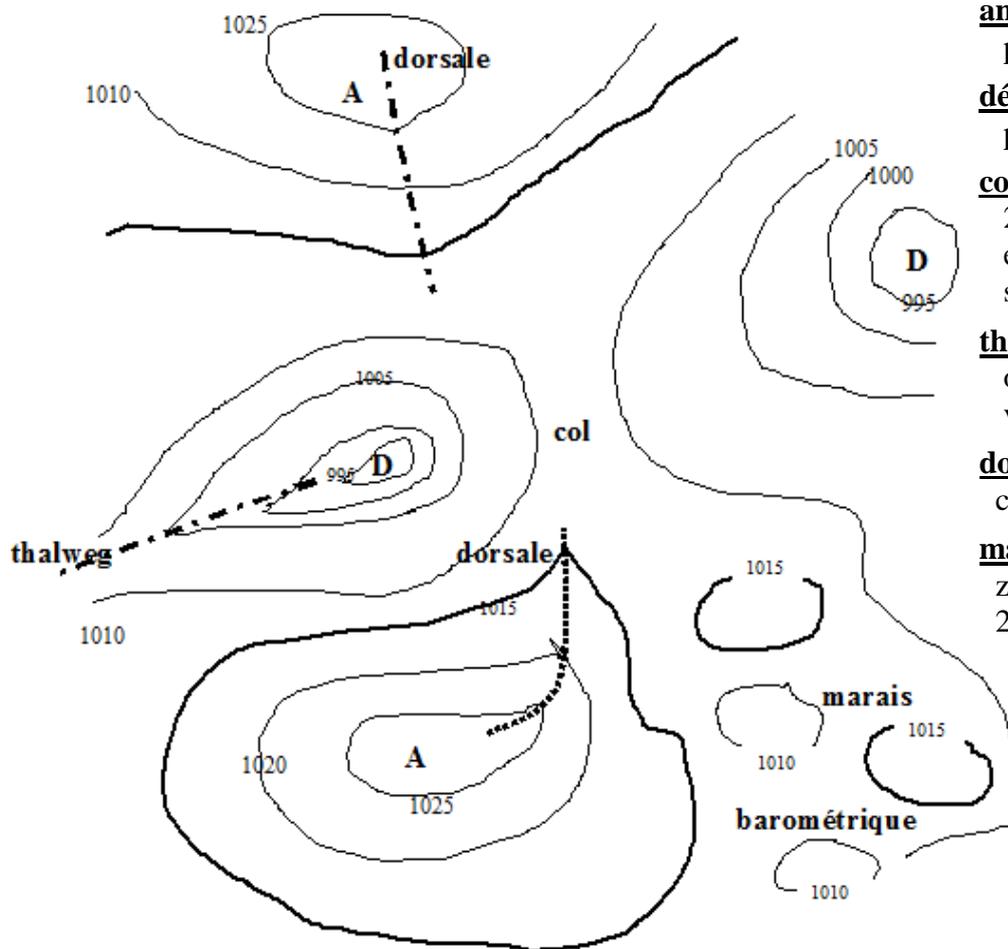
à l'aide d'un altimètre : c'est un baromètre dont la graduation en pressions est remplacée par une graduation en altitude. Le cadran est mobile par rapport au bâti de l'appareil afin de tenir compte des différences de pression par rapport à l'atmosphère standard (correction altimétrique).

4°) Carte d'isobares

On reporte sur une carte géographique les lignes d'égale pression : « isobares » ; la différence entre deux isobares consécutives est de 5 hpa . La ligne 1015 hpa (standard) est plus marquée que les autres.

Aspect régulier , peu sinueux , centrées sur des zones de hautes pressions : anticyclones (A) ou de basses pressions : dépressions (D)

vocabulaire à connaître : col – thalweg – dorsale – marais barométrique (ne pas confondre avec marée barométrique)



anticyclone : zone de hautes pressions

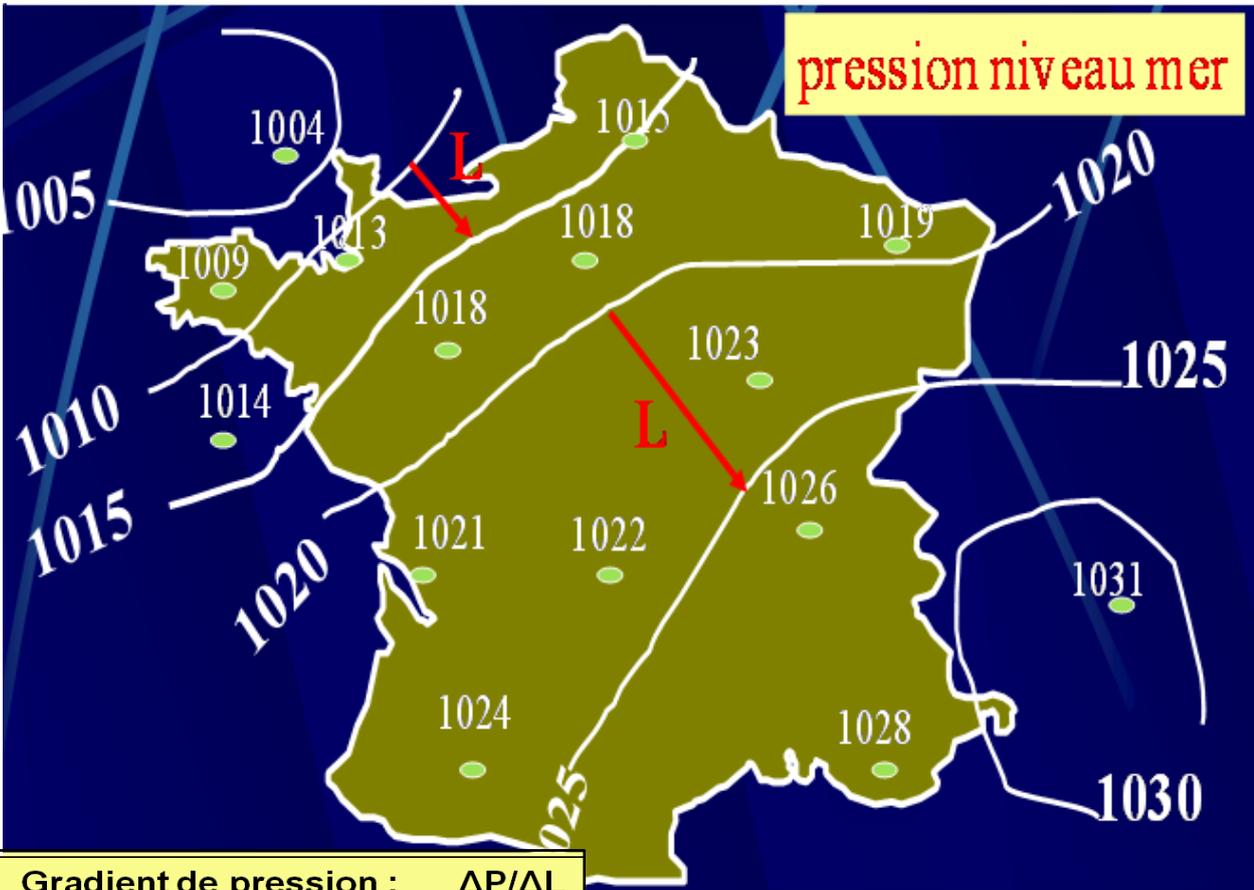
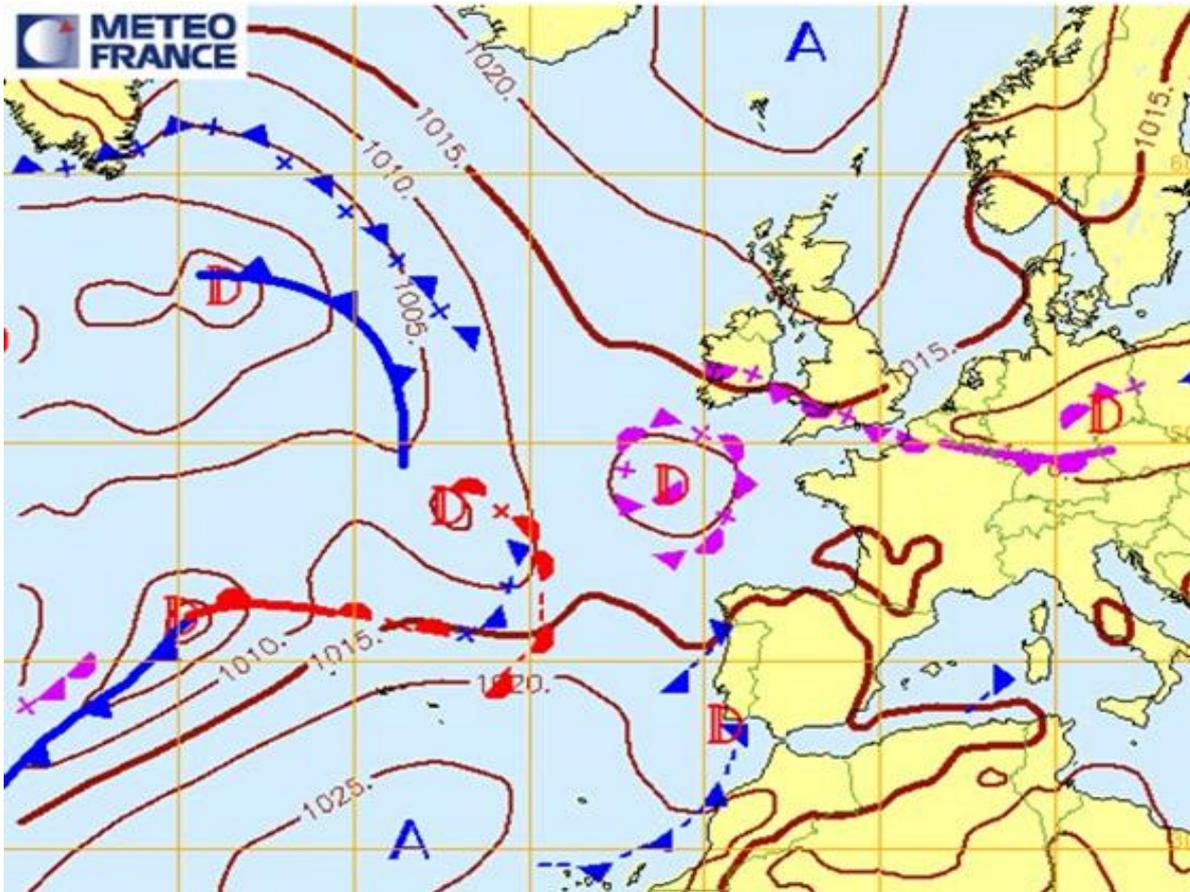
dépression : zone de basses pressions

col : point situé entre 2 dépressions selon un axe et entre 2 anticyclones selon un autre axe.

thalweg
ou creux barométrique :
vallée de basses pressions.

dorsale :
crête de hautes pressions

marais barométrique :
zone de l'atmosphère entre 2 systèmes météorologiques, dans laquelle la pression varie peu.



Plus le gradient est élevé, plus les isobares sont serrées et plus le vent sera fort

[retour au sommaire général](#)

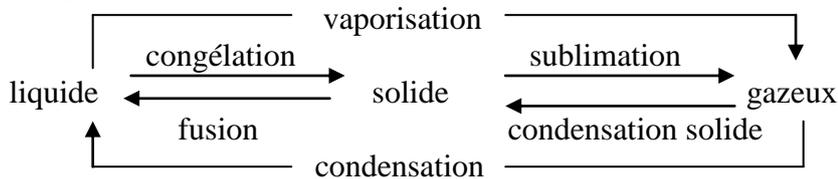
[retour au sommaire 3](#)

NOTIONS D'HUMIDITE

L'eau existe dans l'air sous ses 3 états :

- solide : nuages de glace, neige, grêle
- liquide : bruines, pluie, nuages de gouttelettes d'eau
- gazeux : vapeur d'eau (*La vapeur d'eau est invisible*)

Passages :



1. Saturation :

Pour une température et une pression donnée, un certain volume d'air ne peut contenir qu'un poids maximal de vapeur d'eau. Cet état limite s'appelle état de saturation. La vapeur d'eau est dite saturante. Plus la température est élevée, plus l'air peut contenir de vapeur d'eau.

Pour chaque température de l'air, il est possible de "dissoudre" une quantité maximale de vapeur d'eau

C'est cette quantité qui est appelée valeur de saturation.

Au delà de la valeur de saturation, la vapeur d'eau est rejetée sous forme liquide (gouttelettes) ou sous forme de cristaux de glace en fonction de la température.

C'est ainsi que naissent, la rosée, le brouillard, les nuages, la pluie, la grêle etc.

Mais cette transformation ne pourra s'opérer qu'en présence d'objets, poussières ou particules de chlorure de sodium fréquentes dans l'atmosphère que l'on appelle :

NOYAUX DE CONDENSATION

Sans eux le passage de l'état vapeur à l'état liquide ne se produit pas : on dit qu'il y a sursaturation (rare)

2. Humidité absolue :

C'est le nombre de grammes de vapeur d'eau contenus dans un mètre cube d'air.

3. Humidité relative :

La sensation physiologique d'humidité ou de sécheresse ne dépend pas de l'humidité absolue mais du rapprochement ou de l'éloignement de l'état de saturation. L'humidité relative (état hygrométrique) est le rapport entre la quantité f de vapeur d'eau existant réellement dans l'air (humidité absolue) et la quantité F qui permettrait d'atteindre l'état de saturation (dans les mêmes conditions de température et de pression), multipliée par 100 pour avoir un pourcentage.

Exemple : Dans une pièce, on laisse rentrer de l'air extérieur à 6°C contenant 6 g de vapeur d'eau par mètre cube.

Cet air nous paraît humide.

Fermons les fenêtres et chauffons la pièce jusqu'à 20°C ; nous avons une impression de sécheresse.

En effet, à 6°C, 1 m³ d'air est saturé pour 7,2 g de vapeur d'eau et à 20°C, pour 17,1 g

Donc humidité absolue : 6

$$\text{humidité relative : } h_1 = (6 / 7,2) \cdot 100 = 83 \% \quad ; \quad h_2 = (6 / 17,1) \cdot 100 = 35 \%$$



4. Mesures de l'humidité relative

* Hygromètre (peu précis)

- à lecture directe : une mèche de cheveux a la propriété de s'allonger ou de se raccourcir, suivant que l'air est humide ou sec. L'hygromètre a donc pour organe sensible une mèche de cheveux tendue dont les variations de longueur sont transmises, par un système de cames et leviers, à une aiguille mobile devant un écran gradué.



- Enregistreur : le stylet peut être muni d'une plume encreée qui se déplace le long d'un cylindre comme pour le baromètre et le thermomètre enregistreur

* Capteurs à capacité

Le capteur placé dans l'abri météo, est un condensateur à polymère hygroscopique ; ainsi l'isolant du condensateur est capable de capter la vapeur d'eau atmosphérique en quantité proportionnelle à l'humidité ; la capacité électrique du condensateur varie donc en fonction de l'humidité ; le condensateur est placé dans un circuit électronique qui transmet une fréquence liée à la capacité et donc à l'humidité ; un calculateur transforme la fréquence en d'autres paramètres permettant d'exprimer l'humidité tels que humidité relative, tension partielle de vapeur d'eau ou point de rosée.

* psychromètre

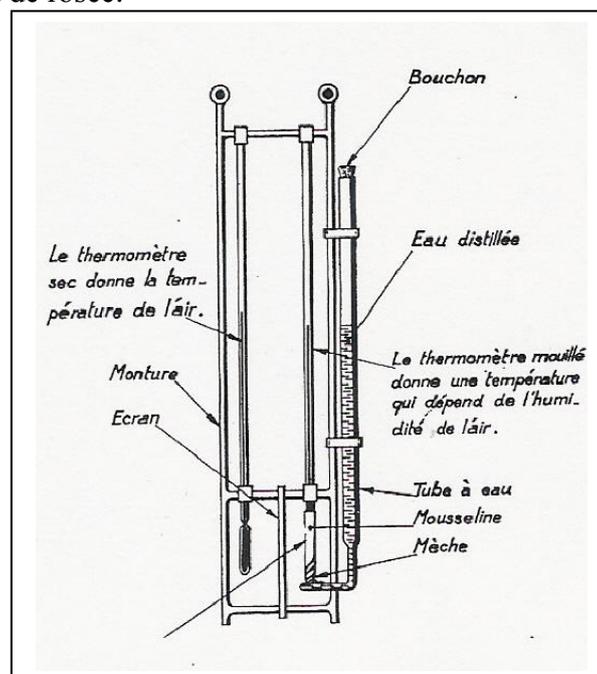
Il se compose de deux thermomètres à mercure ordinaires dont l'un a son réservoir entouré d'une mousseline maintenue humide grâce à un petit récipient rempli d'eau .

Plus l'air est sec, plus l'évaporation de l'eau sur le réservoir est rapide.

Cette évaporation plus ou moins rapide abaisse plus ou moins la température du thermomètre mouillé.

La différence de température entre les deux thermomètres permet, grâce à des tables, de calculer l'humidité absolue.

Si l'air est saturé, l'évaporation est nulle et les deux thermomètres indiquent la même température.



5. Température du point de rosée

C'est la température à laquelle il faut refroidir (à pression constante) une particule d'air pour qu'elle soit juste saturée. Pratiquement on utilise le point de rosée comme le psychromètre : on compare la température de l'air à celle du point de rosée ; plus l'écart est grand, plus l'air est sec

Le point de rosée est la température à laquelle il faut refroidir, à pression constante, une particule pour que celle-ci devienne saturée



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

L'AIR EN MOUVEMENT

* MOUVEMENTS VERTICAUX

L'air a la propriété de répondre à la loi des gaz parfaits :

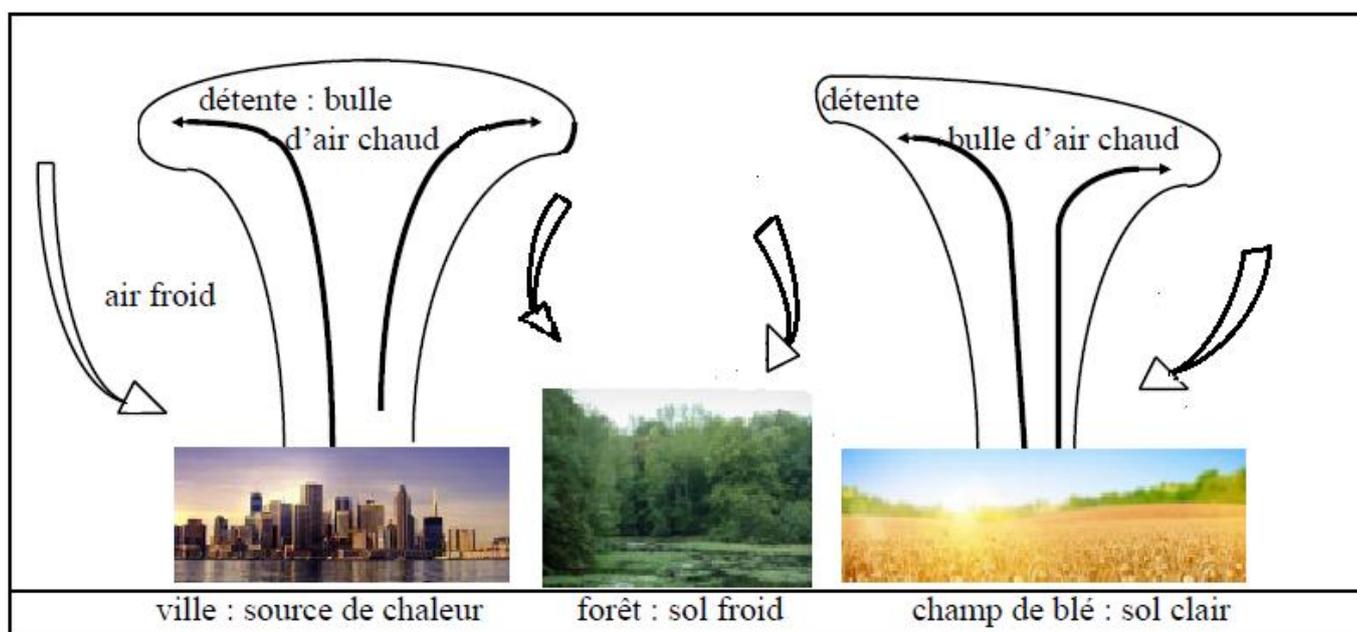
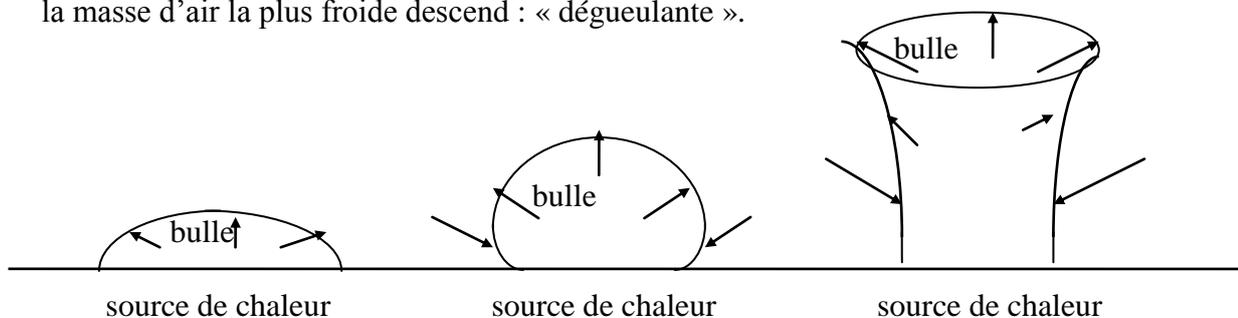
$$PV = RT \quad \text{où } P = \text{pression}, V = \text{volume}, T = \text{température}, R = \text{constante}$$

Par suite, - la compression provoque l'échauffement de l'air

- la détente provoque un refroidissement de l'air.

La masse d'air la plus chaude monte : ascendance thermique

la masse d'air la plus froide descend : « dégueulante ».



Lorsque l'air chaud monte, la pression diminue et donc l'air se refroidit. Ce refroidissement est dit « adiabatique » car il s'effectue sans échange de chaleur avec une autre masse d'air.

A l'inverse, lorsque l'air froid descend, il se réchauffe. Ce réchauffement est aussi dit adiabatique.

Ces mouvements verticaux de l'air sont à l'origine de la formation des nuages par détente, le refroidissement de l'air entraîné amenant au point de condensation.

Lorsque le point de condensation est atteint, on doit s'attendre à voir apparaître des gouttelettes d'eau, mais, pour cela, il faut qu'il y ait dans l'air, des noyaux de condensation (sinon, on est dans un état de sursaturation).

La visibilité est donc en général très faible dans un nuage (moins de 100 m).

Si la température est inférieure à 0°C, la condensation donne naissance à des cristaux de glace.

Les nuages sont donc constitués de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace ou d'un mélange des deux. Un nuage est un hydrométéore.

* **MOUVEMENTS HORIZONTAUX : Les vents**

Mesures du vent :

* direction : celle d'où vient le vent (girouette ; manche à air)

* vitesse : en m / s ou km / h ou kt : $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h} = 1,94 \text{ kt}$
mesurée par un anémomètre

* symboles :



vent du 270° / 20 kt



vent du 270° / 25 kt

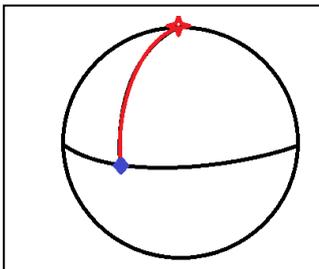


vent du 180° / 75 kt

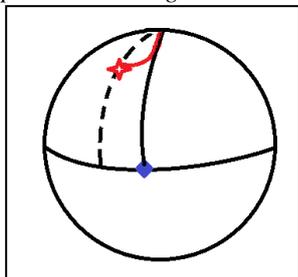
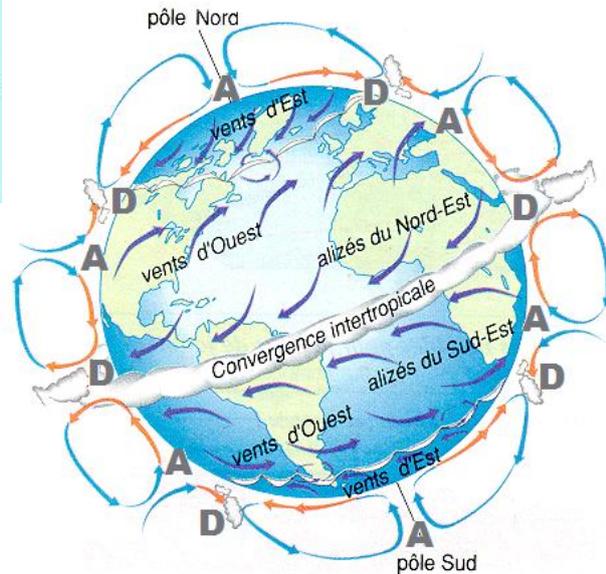
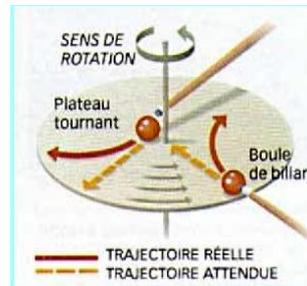
* **VENTS ET PRESSION ATMOSPHERIQUE**

Le vent est lié aux différences de pression atmosphérique (gradient de pression). La vitesse du vent est d'autant plus élevée que la différence de pression est grande et donc que les isobares sont serrés.

Si la terre était immobile, le vent irait des hautes pressions vers les basses pressions perpendiculairement aux isobares mais la rotation de la terre entraîne une déviation : c'est la force de Coriolis

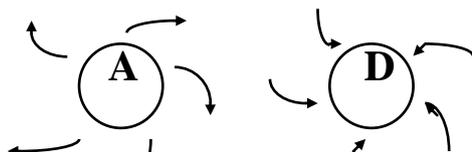


Si la Terre était immobile, le vent se déplacerait le long de l'arc rouge

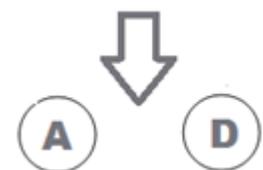


Mais pendant que le vent suit l'arc pointillé la Terre tourne donc la projection du point "vent" sur le sol décrit l'arc rouge

Un mobile est dévié vers sa droite dans l'hémisphère Nord et vers sa gauche dans l'hémisphère Sud
LOI DE BUYS-BALLOT : Dans l'hémisphère nord, le vent tourne autour des anticyclones dans le sens horaire et autour des basses pressions dans le sens antihoraire. C'est le contraire dans l'hémisphère sud.



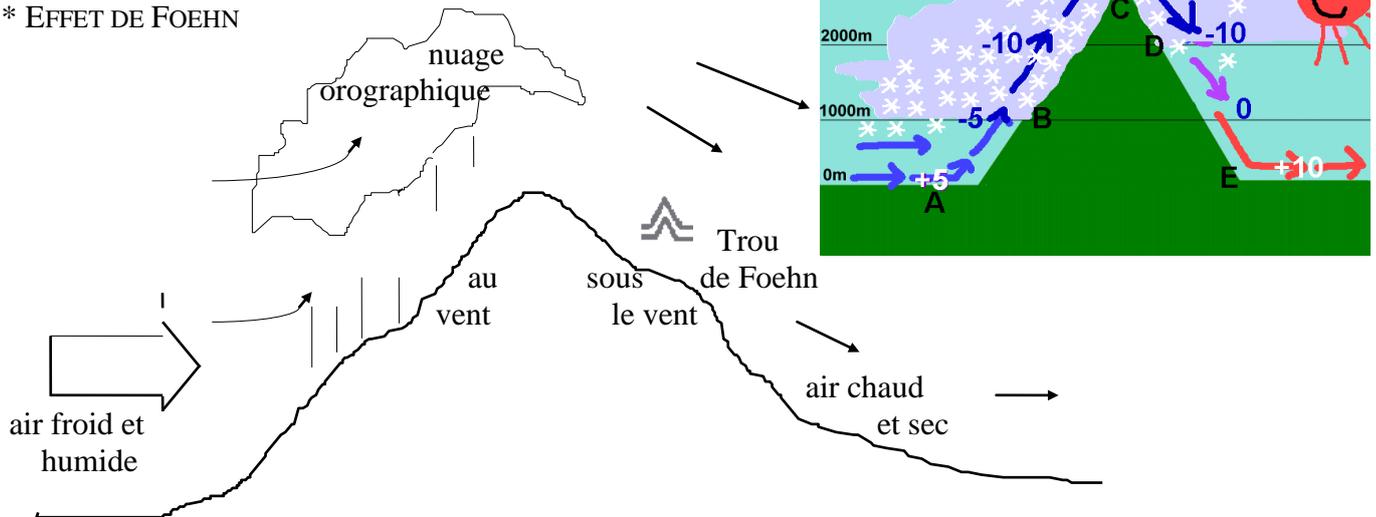
Au niveau du sol en raison des frottements, les vents ne sont pas vraiment parallèles aux isobares et *convergent de 30° vers les basses pressions*. Quand on s'élève, on observe avec la diminution des frottements une *augmentation de la vitesse* du vent avec une *rotation vers la droite*.



Face au vent dans l'hémisphère nord les basses pressions sont à droite et les hautes pressions sont à gauche.

* **INFLUENCE MECANIQUE DU RELIEF :**

* **EFFET DE FOEHN**



- du côté pente au vent : la masse d'air remonte la pente et se refroidit adiabatiquement; si cet air est humide, cela se traduit par la formation de nuages orographiques qui s'accrochent au relief.

- du côté pente sous le vent :

° trou de Föhn : après l'obstacle, la masse d'air redescend et se réchauffe adiabatiquement faisant place à une zone de ciel clair.

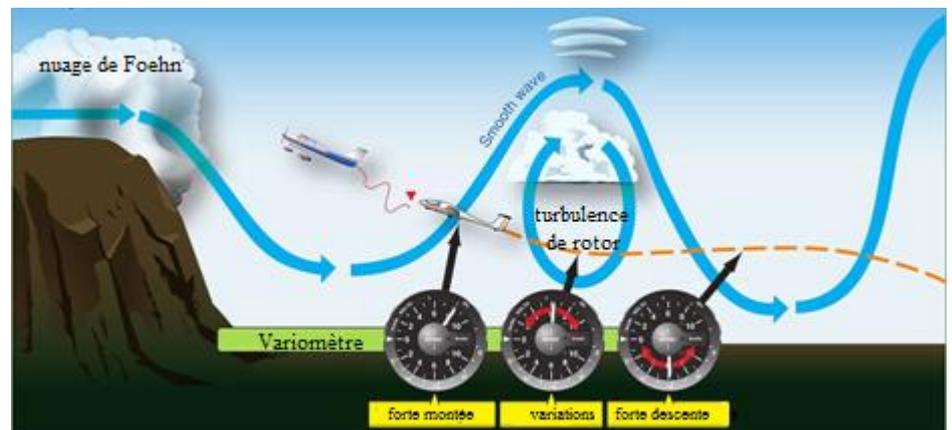
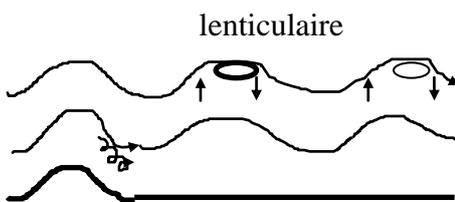
° turbulences : la zone de pente sous le vent est le siège de tourbillons à axes horizontaux appelés rotors ainsi que de mouvements verticaux qui peuvent atteindre jusqu'à 8 m/s.

Ces turbulences peuvent se remarquer par la présence de nuages de type : cumulus fractus.

° phénomène d'onde : (derrière une chaîne montagneuse)

Plus loin et plus haut (3 à 4 fois la hauteur) les rotors font place à des ondulations;

l'onde est matérialisée par de petits altocumulus appelés lenticulaires. Le vélivole ira au vent de ces lenticulaires.



* **EFFET DE VALLEE**

Par phénomène de Venturi, le vent s'accélère lors du passage dans une vallée. Ceci donne lieu à des vents locaux.



Mistral

Tramontane

Autan

Mistral et Tramontane :

dépression sur le golfe de Gênes;
anticyclone sur les Açores

Vent d'Autan : dépression sur le Portugal;
anticyclone sur l'Alsace

[retour au sommaire général](#)
[retour au sommaire 3](#)

NUAGES

Ils sont formés de fines gouttelettes d'eau ou de glace.
Classification des nuages selon leur forme et leur hauteur

étage	filaments	voile - couche		galets	nuages à grande extension verticale
supérieur + de 6 km	CIRRUS (Ci)	CIRROSTRATUS (Cs)		CIRROCUMULUS (Cc)	CUMULONIMBUS (Cb) et CUMULUS (Cu)
moyen 2 à 6 km	NIMBOSTRATUS	ALTOSTRATUS (As)		ALTOCUMULUS (Ac)	
inférieur 0 à 2 km		STRATUS (St)		STRATOCUMULUS (Sc)	

→ **STRAT-** = stable ; **CUMULO-** = instable ; **NIMBO-** = méchant

→ **CIRRO-** = étage supérieur ; **ALTO-** = étage moyen ; **STRATO-** = étage inférieur

CIRRUS (Ci)

Nuages séparés en forme de filaments blancs et délicats ou de bancs ou bandes étroits, blancs ou en majeure partie blancs. Aspect fibreux, chevelu ou éclat soyeux (ou les 2).

Toujours à très haute altitude (entre 20 000 et 40 000 ft)



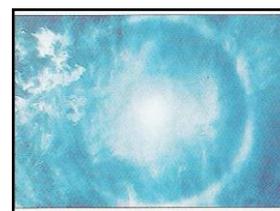
CIRROCUMULUS (Cc)

Banc, nappe ou couche mince de nuages blancs, sans ombres propres, composés de très petits éléments en forme de granules, de rides ... soudés ou non, disposés plus ou moins régulièrement: largeur apparente inférieure à 1° (le petit doigt, bras tendu). Comme les cirrus, entre 20 000 et 40 000 ft.



CIRROSTRATUS (Cs)

Voile nuageux transparent et blanchâtre, d'aspect fibreux ou lisse, couvrant entièrement ou partiellement le ciel, donnant généralement lieu à des phénomènes de halo. Se rencontrent à haute altitude.



ALTOCUMULUS (Ac)

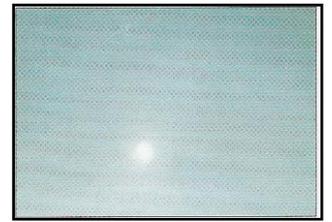
Bancs, nappes ou couches de nuages blancs ou gris avec ombres propres, composés de lamelles, galets, rouleaux de largeur apparente 1 à 5° (3 doigts bras tendu). Altitude moyenne entre 8 000 et 15 000 ft.

Des nappes sont souvent observées simultanément à plusieurs niveaux.



ALTOSTRATUS (As)

Nappe ou couche nuageuse grisâtre ou bleuâtre d'aspect strié, fibreux ou uniforme, couvrant entièrement ou partiellement le ciel, présentant des parties suffisamment minces pour laisser voir le soleil comme au travers d'un verre dépoli (pas de halo). Nappe de grande étendue entre 7 000 et 20 000 ft. Souvent accompagnée de pluie ou neige qui rend sa base floue.



STRATOCUMULUS (Sc)

Banc, nappes ou couche de nuages gris ou blanchâtres ayant presque toujours des parties sombres: dalles, galets, rouleaux d'aspect non fibreux, soudés ou non, disposés régulièrement, entre 1 000 et 7 000 ft, de largeur supérieure à 5°. Accroche souvent les reliefs montagneux. Sommet assez aplati.



STRATUS (St)

Couche nuageuse grise à base assez uniforme pouvant donner de la bruine ou de la neige en grains. Si le soleil est visible, son contour est nettement discernable. Parfois, bancs déchiquetés. Base rarement à plus de 1 000 ft. Epaisseur inférieure à 1 500 ft. Masque souvent les sommets des petites collines ou des constructions.



NIMBOSTRATUS (Ns)

Couche nuageuse grise souvent sombre avec chutes plus ou moins continues de pluie ou neige qui atteignent le sol. Souvent accompagné en dessous de nuages bas déchiquetés. Masque complètement le soleil.



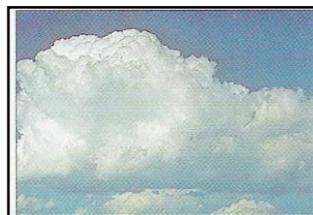
CUMULUS (Cu)

Nuages séparés, denses, à contours bien délimités, se développant verticalement en forme de mamelons, dômes, tours dont la région supérieure ressemble souvent à un chou-fleur. Au soleil, d'un blanc éclatant. Base sensiblement horizontale et un peu sombre.

Humilis



Congestus



Tower Cumulus



CUMULONIMBUS (Cb) (☉)

Nuages denses et puissants, extension verticale considérable en forme de montagnes ou tours. Partie supérieure en forme d'enclume, fibreuse ou striée. Base du nuage très sombre accompagnée souvent de nuages bas et déchiquetés. Le Cb est presque toujours accompagné de phénomènes dangereux pour l'Aéronautique.

C'est le seul nuage capable de provoquer orage et grêle.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)



LA VISIBILITE

Mesures au sol

1. visibilité météorologique : à l'aide de repères visuels dont on connaît l'éloignement , sur un tour d'horizon de 360° la visibilité météorologique est la visibilité observée la plus faible .
2. visibilité balises ou vibal : par exemple si, dans l'axe de piste, un technicien ne voit que 3 balises, sachant que leur espacement est de 60 m, la vibal est de 180 m.
3. portée visuelle de piste : à l'aide d'un transmissomètre : ensemble électronique implanté au voisinage du seuil des pistes des grands aéroports comportant :
 - un émetteur : lampe à vapeur d'iode dont la lumière est dirigée vers le récepteur
 - un récepteur analysant quantité de lumière reçue de l'émetteur
 - un luminancemètre déterminant la luminance de la voûte céleste
 - un calculateur qui calcule une visibilité appelée « portée visuelle de piste » (ou RVR : runway visual range);



Les données sont lues sur un cadran dans les locaux de la météo et transmises aux pilotes par l'intermédiaire des services d'approche et d'atterrissage.

4. Visibilité en vol : en général moindre que la visi horizontale mesurée par le météorologue ; de plus la visi n'est pas homogène : moins bonne près des nuages et surtout face au soleil. Au dessus de 5000 ft on vole en général au dessus de la couche de brume (« couche sale »), la visi horizontale est alors supérieure à la visi météorologique ms la visi oblique est inférieure.

Les troubles de la visibilité sont généralement dus à la présence de gouttelettes d'eau ou de poussières en suspension dans l'atmosphère.

Vocabulaire employé

BRUME (=) : suspension dans l'atmosphère de microscopiques gouttelettes d'eau : $1 \text{ km} < \text{visi} < 5 \text{ km}$



BROUILLARD (\equiv) suspension dans l'atmosphère de petites gouttelettes d'eau : $\text{visi} < 1 \text{ km}$

BRUME SECHE (∞) suspension dans l'atmosphère de particules sèches invisibles à l'œil nu mais assez nombreuses pour donner à l'air un aspect opalescent et une visi inférieure à 5 km

Ces trois phénomènes sont appelés des METEORES (comme tout phénomène météorologique autre qu'un nuage)

Evolution de l'humidité

Evolution diurne

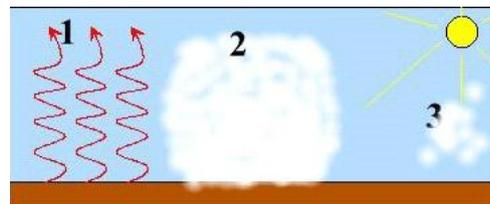
Il existe un rapport entre l'évolution diurne de l'humidité relative de l'atmosphère qui conduit à la saturation en vapeur d'eau à des heures précises et l'évolution diurne de température . La position de la température du point de rosée conditionnera alors l'apparition ou non de brouillard

FORMATION DU BROUILLARD

L'humidité relative passe par un maximum un peu après le lever du soleil ; si ce maximum vaut 100%, il y a saturation en vapeur d'eau, la condensation apparaît. Ce brouillard a pour origine le rayonnement terrestre qui a provoqué un refroidissement de l'air, c'est pourquoi on l'appelle brouillard de rayonnement

Le brouillard de rayonnement

Il se forme quand la température est en baisse donc la nuit et au lever du jour, et se dissipe en cours de matinée.



On peut le prévoir en comparant la température de l'air et le point de rosée.

Brouillard d'advection

L'advection (déplacement des masses d'air) peut conduire cet air à circuler sur un sol froid ; par suite, l'air se refroidit par sa base au niveau du sol. Si l'air atteint la saturation en vapeur d'eau, apparition de stratus d'advection :



phénomène à très grande échelle. Si la température baisse jusqu'au point de rosée, il y a apparition d'un brouillard d'advection (donc provoqué par un déplacement d'air, se déplaçant lui-même du fait du vent). Le brouillard d'advection apparaît n'importe quand dans la journée ou la nuit, apparaît souvent à la fin d'une chute de pluie et est accompagné d'un radoucissement de l'air (alors que le brouillard de rayonnement se voit par ciel dégagé et quand la température baisse) ;

Le brouillard d'advection commence avec l'arrivée de la masse d'air doux et humide (front chaud) et cesse avec son départ (front froid).

Son sommet est plus élevé que pour le brouillard de rayonnement ; il est souvent accompagné de stratus et stratocumulus, du sol à 1500 – 2000 m .

Brouillard côtier

Il est lié à la naissance de la brise de mer : en présence de turbulence et d'air humide sur la mer, la vapeur d'eau se condense et atteint le continent, poussée par la brise.

En pénétrant sur le continent, chaud à cette heure, le brouillard se décolle très vite du sol puis dès 2 km à l'intérieur des terres se transforme en stratus, va aussi loin que la brise de mer mais se désagrège quand on s'éloigne de la mer.

Le brouillard côtier est un phénomène qui n'a lieu que l'été, par situation anticyclonique et lorsque la masse d'air est très humide.

QUELQUES DEFINITIONS :

nébulosité : fraction du ciel occupée par tous les nuages visibles.

visibilité : distance maximale à partir de laquelle on commence à ne plus distinguer la nature d'un objet.

plafond : limite inférieure de la couche nuageuse.

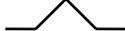
SYMBOLES METEO

* brouillard 

* givrage  faible

 modéré

 fort

* turbulence  modérée

 forte

* orages 

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

MASSES D'AIR - FRONTS

MASSES D'AIR

En se déplaçant (40 à 50 km/h) elles ne changent de caractéristiques que très lentement (+ de 6 jours)

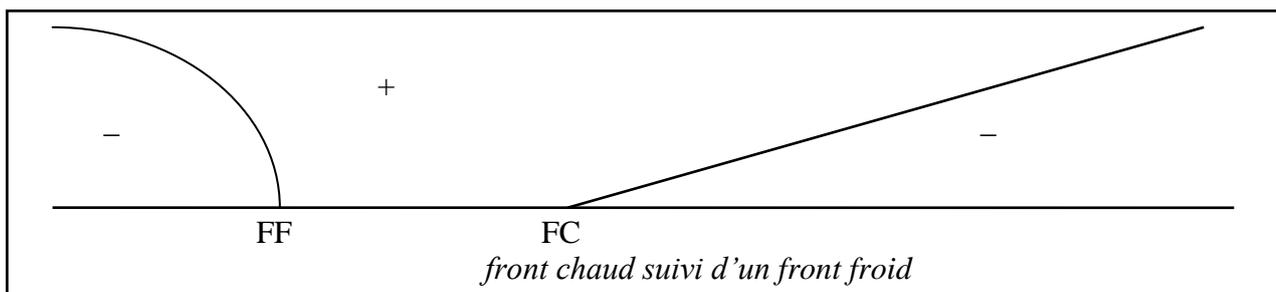
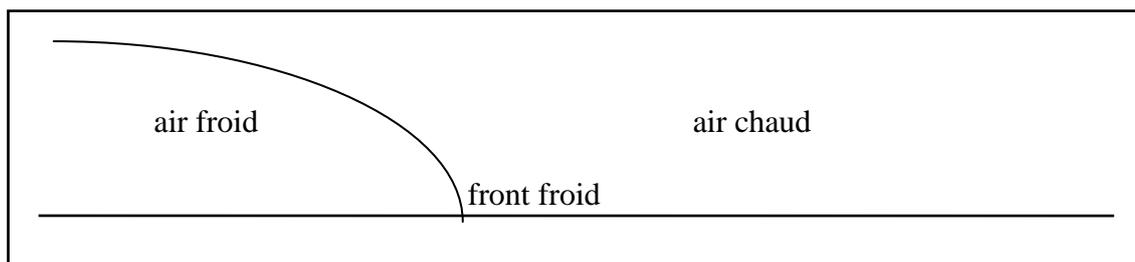
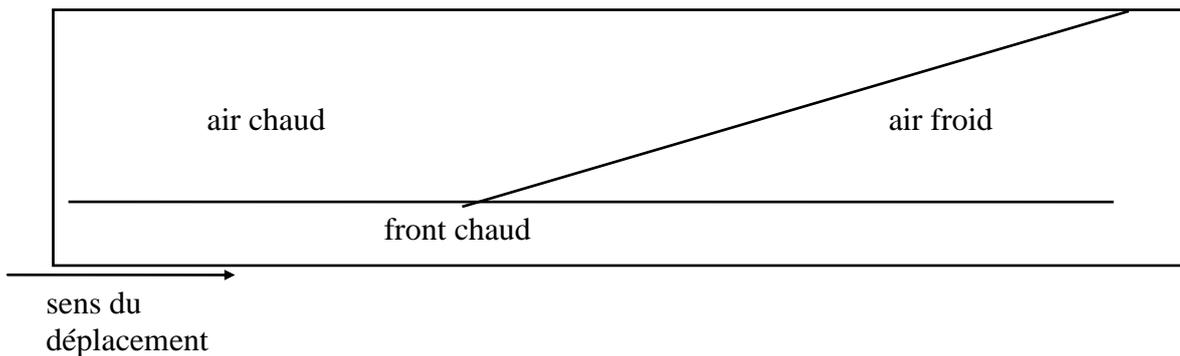
* ORIGINES :

- * arctiques - polaires - tropicales - équatoriales
- * maritimes ou continentales

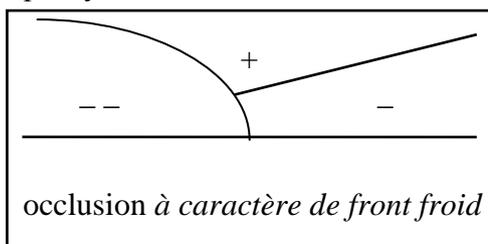
* DESCRIPTION :

Deux masses d'air ne se mélangent pas.

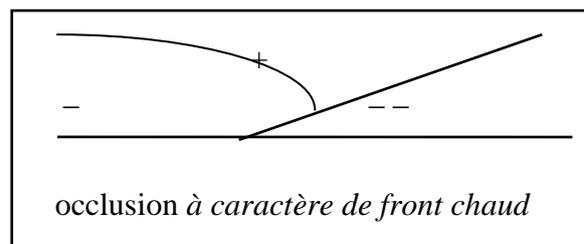
La surface entre elles est la **surface frontale**. La trace au sol de cette surface frontale est le **front**.



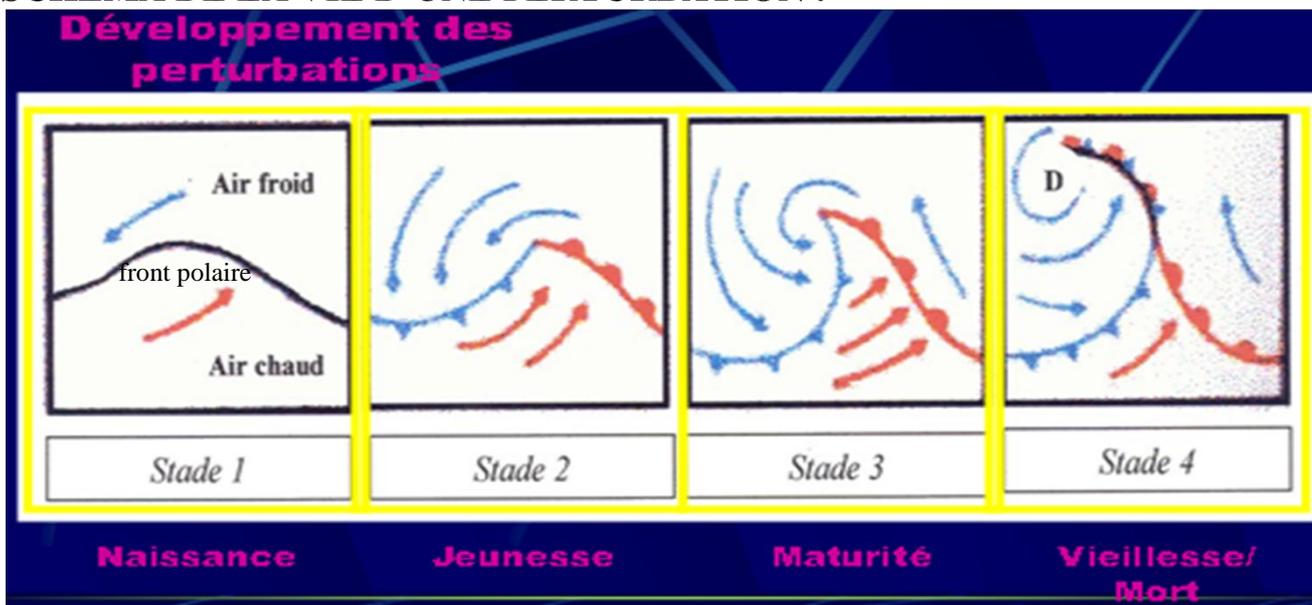
la masse d'air froid se déplace plus vite que la masse d'air chaud. Quand le FF coïncide avec le FC, on dit qu'il y a **occlusion**.



ou



SCHEMA DE LA VIE D'UNE PERTURBATION :



La cyclogénèse est le processus d'apparition ou d'intensification d'une dépression atmosphérique

Au début : vaste secteur chaud → occlusion

La vie d'une perturbation s'étale sur 3 à 6 jours ;

la dépression d'un diamètre de 200 km au départ atteint 500 à 1000 km à son épanouissement.

Les perturbations se déplacent d'ouest en est à environ 50 km/h. Elles sont associées en famille de 5 à 6 perturbations. C'est l'ensemble des 2 fronts qui constitue une perturbation.

LES NUAGES ET LES FRONTS

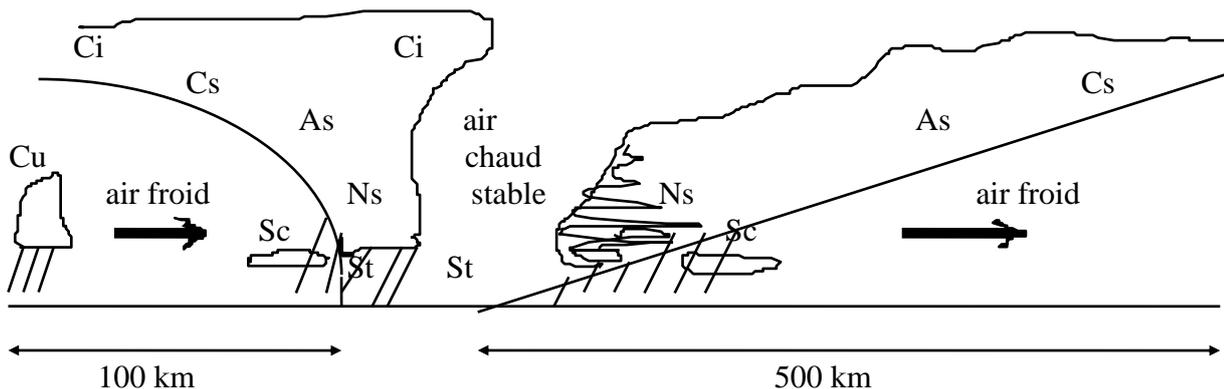
Les nuages sont dus aux mouvements ascendants de l'air chaud.

Ils présentent des caractères variables selon que la masse d'air chaud est verticalement stable ou instable.

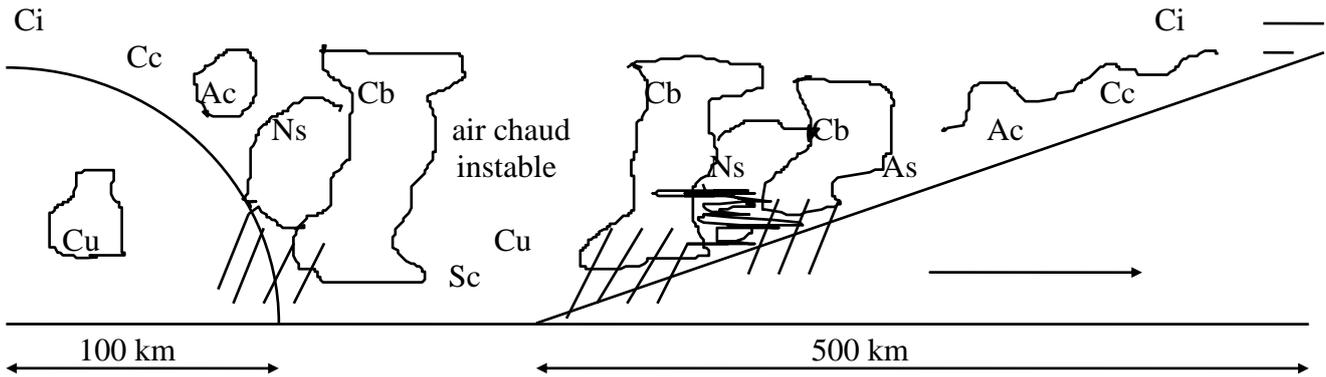
Si l'air chaud est stable : nuages en voile ou nappe continue.

Si l'air chaud est instable : nuages d'aspect cumuliforme.

* AIR CHAUD STABLE



*** AIR CHAUD INSTABLE**



air chaud stable :

Pour un observateur en avant du front chaud : Ci - Cs - As - Ns avec pluies persistantes et nuages bas déchiquetés.

Pour un observateur en avant du front froid : masses plus puissantes et plus actives mais passant plus vite (100 km); Ci et Ac puis très vite Ns avec pluies persistantes fortes et nuages bas déchiquetés. Après le passage du front froid les pluies diminuent et les nuages s'élèvent : As - Cs - Ci avec évolution plus rapide que le front chaud.

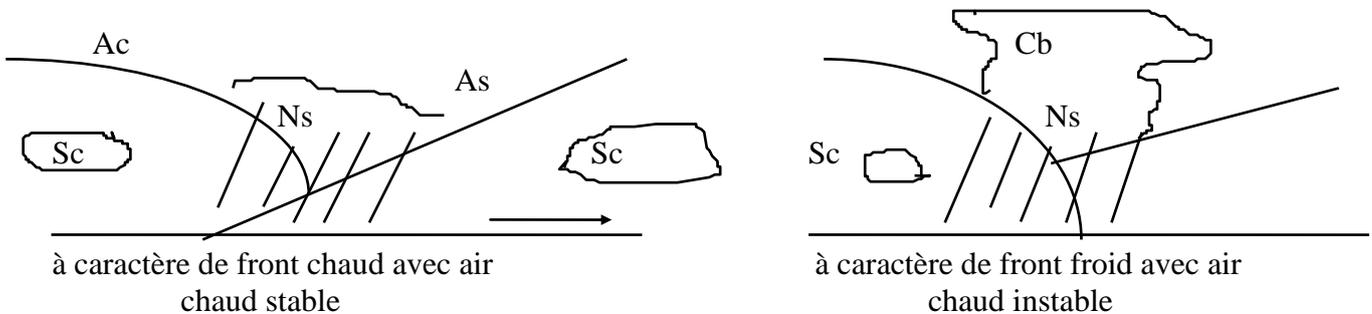
air chaud instable :

front chaud : Ci - Cc - Cs puis Ac avec sommets bourgeonnant préorageux. Ns avec Cb avec orages et averses mêlés à des chutes de pluie continues.

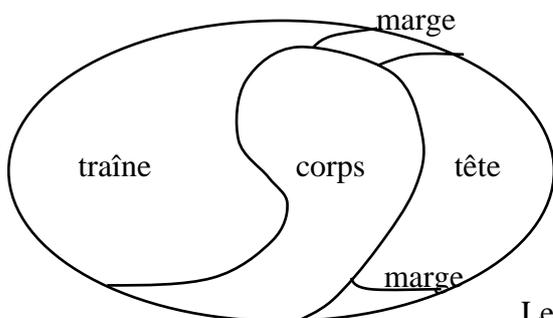
front froid : masse nuageuse puissante avec Cb : orages, averses violentes, variations de vents.

A l'arrière du front froid, l'air polaire se réchauffe par la base → formation de cumulus

*** FRONT OCCLUS**



*** SYSTEMES NUAGEUX**



tête : zone antérieure du système : nuages de l'étage supérieur : Ci - Cs - Cc . Temps encore beau.

marges : zones latérales : nuages des étages supérieur et moyen.

corps : zone centrale : nuages des étages moyen et inférieur avec précipitations prolongées.

traîne : zone postérieure : nuages à développement vertical : Cu - Cb avec averses.

intervalles : zone de séparation entre 2 systèmes.

Le ciel y est pur ou peu nuageux : nuages locaux qui naissent, évoluent et disparaissent sur place : Cu - St - brouillard

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

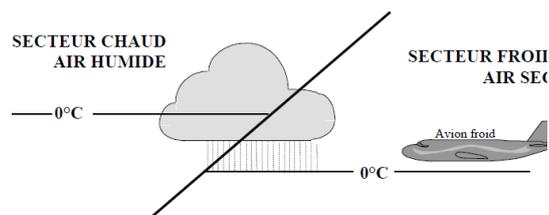
PHENOMENES DANGEREUX POUR L'AVIATION

* **précipitations** : hydrométéores, diminuent la visibilité

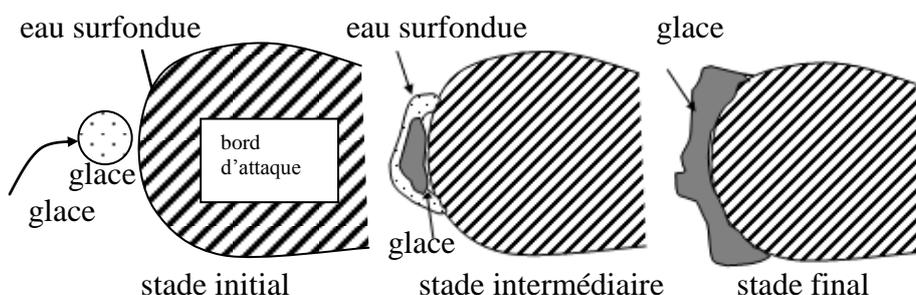
* **givrage de la cellule** : Dépôt de glace opaque ou transparent, adhérent à certains éléments d'un aéronef (ou d'un objet au sol) en particulier aux éléments exposés au vent relatif et à ceux présentant des parties anguleuses (bords d'attaque, rivets, mâts d'antenne, tube de Pitot...)

S'il y a de l'eau à l'état liquide à moins de 0° : surfusion, le contact avec l'avion la transforme en glace (surtout pour des températures entre - 10° et 0°):

- 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 correspondant
- blocage de commandes
- Réduction du rendement hélice et apparition de vibrations dangereuses
- Baisse de puissance moteur
- Givrage des vitres interdisant la visibilité à l'extérieur



Effet des précipitations surfondues sur l'avion : Le verglas se produit pendant la traversée d'une perturbation. En quelques minutes le profil se déforme et l'avion s'alourdit de quelques centaines de kg



LES FRONTS ACTIFS

- Perturbations violentes dangereuses pour la structure
- appareil sensible en roulis et tangage
- Risque de rencontre avec des orages orographiques
- Risque de givrage
- atterrissage délicat

* **givrage du carburateur** :

problème moteur

* **turbulence** :

* due au sol : obstacles - côté du relief sous le vent

* thermique : échauffement du sol surtout en milieu de journée

voisinage d'un cumulonimbus (Cb) : il faudra réduire la vitesse de l'avion.

* **orages et phénomènes électriques - grêle** :

le pilote doit consulter la météo avant tout voyage.

CUMULONIMBUS et ORAGES : à éviter ; au sol, rentrer les avions !

Orages d'origines thermiques, orographiques ou frontaux.

Cumulonimbus visibles ou cachés dans la masse de nuages: mauvaise visibilité et nuages bas

- Perturbations convectives dangereuses pour la structure et le contrôle du vol : courants verticaux sous le Cb :le plus souvent 800 à 1500 ft / min ; dans le nuage : 2000 ft / min parfois 6000 ft / min (110 km / h)
- turbulences : () les rafales peuvent atteindre ou dépasser les 50 kt
- Cisaillement de vent

- Foudroiement de l'appareil (rare), et éblouissement du pilote
- Dérèglement du compas magnétique
- mise hors service des appareils de radio et radionavigation
- Grêle pouvant détériorer l'appareil (entre 5 et 30 mm parfois plus)
- risque de givrage très important à l'intérieur

* visibilité

brouillard : visibilité inférieure à 1 km

brume : visibilité de 1 à 5 km

stratus

NUAGES BAS : Stratus et nuages orographiques pouvant s'accrocher au relief; brumes et brouillards

Le brouillard réduit considérablement la visibilité et sa formation peut être soudaine

* vents

- Vents de 15 à 25 kt en surface : souvent accompagnés de rafales plus ou moins violentes : l'approche finale sera effectuée avec une vitesse indiquée supérieure à celle préconisée d'environ 50 % de la vitesse du vent moyen
- Rafales thermiques en approche : augmenter la vitesse d'approche d'environ 10 %
- Orages : Rafales verticales rendant l'avion instable en roulis et tangage
Rafales au sol rendant l'atterrissage impossible sans risques de retournement
- Vent traversier : attention aux limites de l'avion (et du pilote !)
- Cisaillement de vent : souvent par temps orageux mais possible par vent calme (moins de 10 kt) surtout la nuit si la température de l'air est plus froide au sol qu'en altitude alors qu'un fort gradient horizontal de pression règne en altitude ; un cisaillement de vent sera alors observé au niveau de la limite air froid des basses couches-air chaud qui le surmonte à une hauteur souvent inférieure à 1000 ft donc danger extrême
- Effet du vent sur la turbulence de sillage

Saisons favorables aux vents forts : principalement printemps (mars-avril) et fin automne (fin novembre-début décembre); aussi pendant les orages de la saison chaude.

Précipitations et provenance

Bruine: très fines gouttelettes de diamètre inférieur à 0,5 mm, très rapprochées, provenant de St .

Pluie précipitation de particules liquides sous forme de gouttes de 3 à 5 mm de diamètre provenant de nuages plus épais du type As ou Ns parfois Sc.

Pluie surfondue les gouttes à l'état de surfusion se congèlent lors de leur impact sur le sol ou sur l'avion.

Neige précipitation de cristaux de glace (la plupart sont ramifiés ou étoilés); même origine que la pluie

Les averse : précipitations de courte durée, de forte intensité mais avec des variations importantes et rapides ; début et fin brusques ; assez souvent phénomènes se répétant à brefs intervalles. Toujours issues d'un nuage instable à forte extension verticale

- averse de pluie: l'iso 0°C doit être assez élevé pour permettre la fusion de la neige ou des grêlons durant la chute . proviennent d'altocumulus, de cumulus ou de cumulonimbus.

- averse de neige L'iso 0°C ne doit pas être à plus de 500 m pour que la neige reste en l'état, provient aussi de Ac ou Cu ou Cb.

- averse de grêle L'iso 0°C est proche du sol ou bien la taille initiale des grêlons est suffisante pour ne pas fondre avant leur arrivée au sol ; provient exclusivement d'un cumulonimbus

Tableau récapitulatif

Précipitation	Nuage d'origine									
	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Ns	Sc	St	Cu	Cb
Pluie continue					oui	oui	parfois			
Neige continue					oui	oui	parfois			
Bruine								oui		
Averse				oui					oui	oui
Grêle										oui

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

L'INFORMATION METEOROLOGIQUE

Le METAR : message d'observation, donc très fiable ; les paramètres d'observation ou mesures sont mis à jour toutes les heures ou demi-heure ; d'autres messages peuvent venir les compléter en cas d'aggravation ou d'amélioration : ce sont les messages SPECI

Notions de vocabulaire

Ex 1 :

LFBY	03 0800Z	32004KT	CAVOK	12/10	Q1015
Dax	date + heure UTC	vent en surface : du 320° pour 4 Kt	*	température et point de rosée	QNH 1015

* **CAVOK** : « visi \geq 10 km » et « pas de nuage en dessous de 1500m » et « pas de précipitation »
et « pas de Cb »

ex 2 :

LFBA	03 1000Z	18010G20KT	3500	RA	OVC023	03/M01	Q1015
Agen	le 3 à 10hUTC	vent du 180° pour 10Kt rafales à 20 Kt	visi 3500m	pluie	*	température 3° pt de rosée - 1°	QNH1015

* OVC023 :

nébulosité : FEW : 1 à 2 / 8 ; SCT : 3 à 4 / 8 ; BKN : 5 à 7 / 8 ; OVC : 8 / 8 ; NSC : pas de nuage à moins de 1500m ni de Cb

hauteur de la base des nuages en centaines de pieds : ici 2300 ft

genre de nuages dans deux cas particuliers : CB (cumulonimbus) et TCU (Tower cumulus ou cumulus congestus)

Le SIGMET (prévision) : avis de phénomène dangereux

Le TAF C'est un message de prévision ; il décrit le temps prévu sur l'aérodrome pour une durée de 9h (TAF court) ou 18h (TAF long). Réactualisés toutes les 3h, ils sont disponibles 1h à l'avance

Ex :

LFMN	180600Z	0312	26010KT	6000	OVC030	BECMG 0810	9999 BKN026
Nice	le 18 à 6h	validité 3h-12h	vent	visi6km	8 / 8 à 3000ft	devenant de 8 à 10h	+ de 10km 5 à 7 / 8 à 2600ft

Cartes TEMSI du temps significatif : prévision de phénomènes du temps significatif en représentation symbolique et abréviations normalisées

- pour un domaine géographique défini
- pour un espace vertical spécifié
- pour une heure fixe donnée

avec représentation des centres de pression, des fronts en surface et des lignes et zones de convergence, des zones de turbulence en air clair et des axes de jet, description des nuages

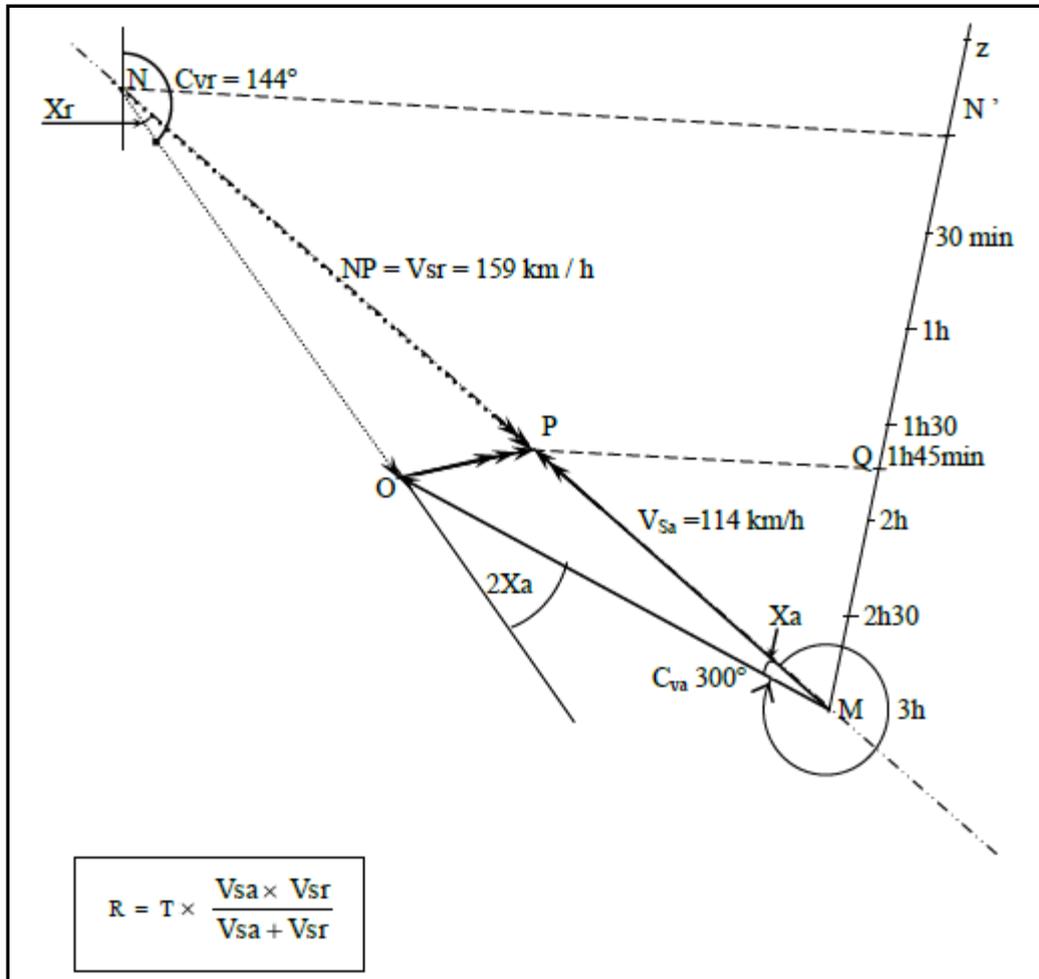
Cartes de vents et températures : à un niveau précisé

[retour au sommaire 3](#) [retour au sommaire général](#)

PARTIE 4

NAVIGATION, REGLEMENTATION

et SECURITE DES VOLS



[retour au sommaire général](#)

PROGRAMME

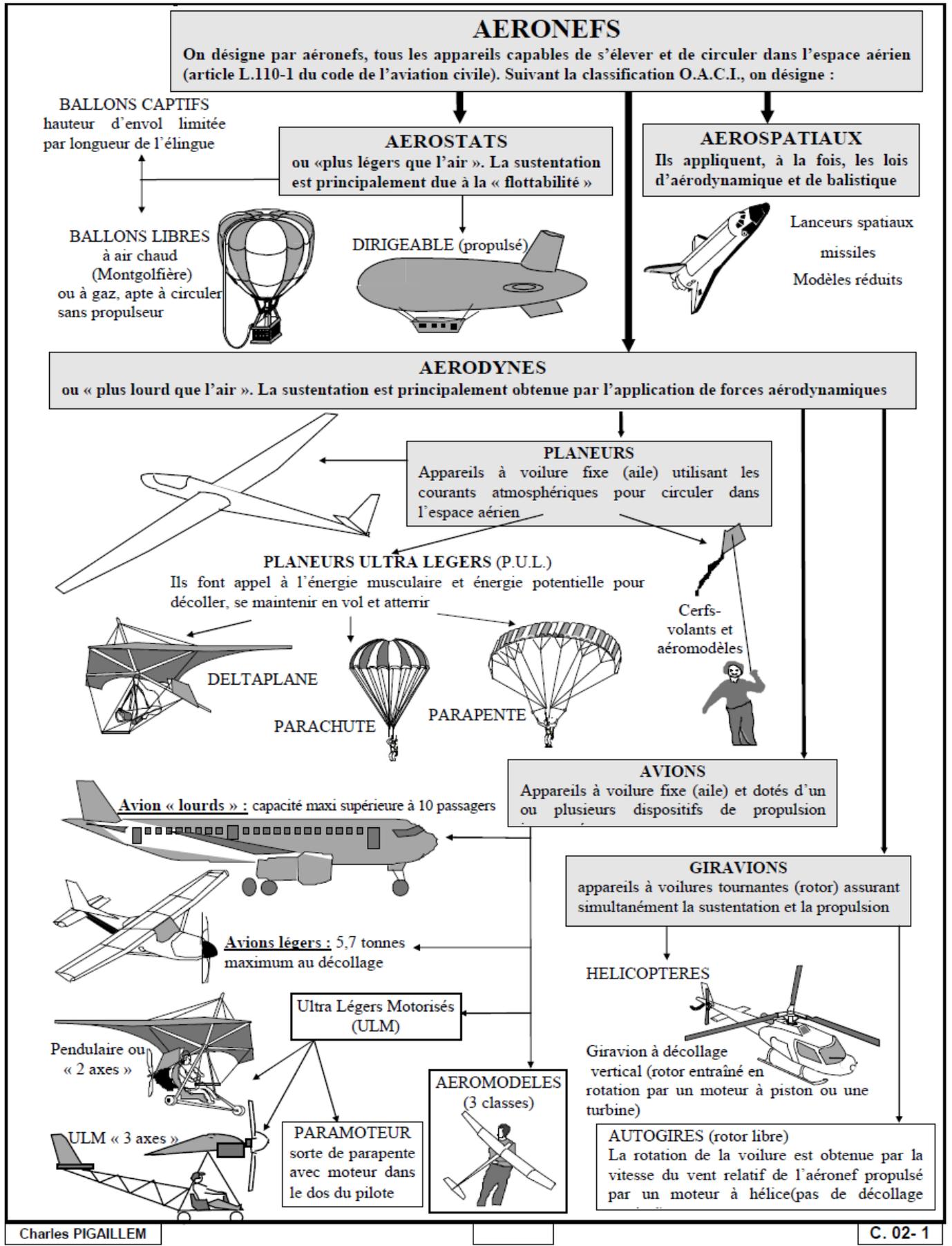
4 – Navigation, réglementation, sécurité des vols						
Compétences attendues	Savoirs associés	Niveau d'acquisition				Commentaires
		1	2	3	4	
<ul style="list-style-type: none"> Repérer les éléments essentiels à la préparation du vol Énoncer les principaux enjeux de la réglementation aéronautique Identifier les principaux enjeux de la sécurité des vols, notamment en termes de facteurs humains 	4.1 – La navigation 4.1.1 – Les grands principes de navigation - Navigation à l'estime et cheminement à vue - Route vraie, route magnétique, cap vrai, cap magnétique, déclinaison, déviation - Distance entre deux points d'une carte - Régimes de vol (vol à vue et vol aux instruments) 4.1.2 – Les outils de la navigation - Cartes aéronautiques (principe de représentation) - Aides à la navigation					<p><i>La lecture des cartes permet de faire comprendre la manière dont l'espace réel est représenté.</i></p> <p><i>Des applications numériques peuvent avantageusement être utilisées.</i></p>
	4.2 – Réglementation aéronautique 4.2.1 – Les organisations - DGAC, l'EASA, l'OACI - Fédérations délégataires et CNFAS - Organisations professionnelles 4.2.2 – Contrôle d'un aéronef - Règles générales d'entretien d'un aéronef - Documents de suivi d'un aéronef (carnet de route, certificat de navigabilité) - Visite prévol 4.2.3 – L'organisation de l'espace aérien - Classes d'espaces aériens - Zones à statuts particuliers (réglementées, interdites ...) - Aérodromes, infrastructures et plates-formes aéronautiques - Contrôle aérien - Hauteurs de survol et les règles de priorité					<p><i>La réglementation est un élément essentiel du monde de l'aviation. Elle n'est pas une simple contrainte mais une nécessité, dès l'origine, dans la construction des aéronefs, dans les conditions du pilotage ou le partage de l'espace aérien par exemple. Il faut en comprendre la signification, tout en prenant conscience de ses limites.</i></p>
	4.2.4 – Titres aéronautiques - Brevets, licences, qualifications					
	4.3 – Sécurité des vols 4.3.1 – Gestion des risques - Rôle des facteurs humains - Éléments d'accidentologie, culture de la sécurité 4.3.2 – Performances humaines et limites - Hygiène de vie - Stress - Perceptions et illusions sensorielles - Hypoxie 4.3.3 – Prise de décision - Culture de la sécurité et retour d'expérience (REX) - Identification des situations à risques (exemple : « objectif destination »)					<p><i>La sécurité est un élément central de l'activité aéronautique. Elle suppose une connaissance statistique et le retour d'expérience ; une connaissance médicale dans la dimension physiologique et psychologique ; une connaissance technique dans la conception des machines et une approche sociale et culturelle qui met en perspective la complexité de la gestion du risque.</i></p>

TABLE DES MATIERES 4

Définition et classification des aéronefs	Page 105
Altimétrie	Page 106
La circulation aérienne	Page 107
L'aérodrome	Page 110
L'entretien des avions	Page 113
Les licences de pilote	Page 114
Règlementation pour la navigation	Page 116
Navigation	Page 118
Sécurité des vols	Page 120

[retour au sommaire général](#)

DEFINITION ET CLASSIFICATION DES AERONEFS



[retour au sommaire 4](#)

ALTIMETRIE

But : Fournir une information de distance verticale par rapport à une référence choisie par le pilote
Un altimètre n'est qu'un baromètre : il enregistre la pression extérieure et la restitue sur un cadran gradué en pieds ou en mètres au vu de la décroissance de la pression avec l'altitude .
Il faut interpréter ses indications .

Présentation : Tous les altimètres sont munis d'une fenêtre où apparaît une échelle de pressions graduée en hectopascals (hPa).
Le cadran est gradué en pieds ou en mètres : 1 ft = 0,3 m - 1000 ft = 300 m

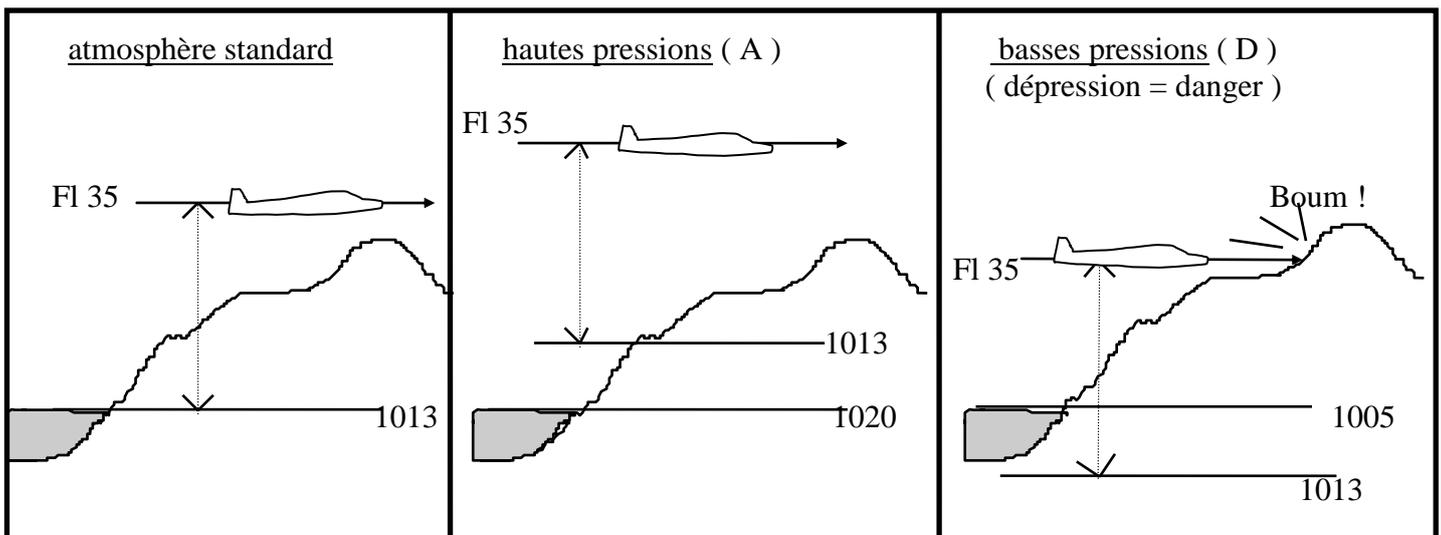
Etalonnage : Il correspond à l'atmosphère standard - ex : 850 hPa correspond à 5000 ft .
donc l'altimètre n'indiquera une valeur réelle que si on est en conditions de l'atmosphère standard (rare) .

Calage : Le pilote décide du choix de la pression de référence .

- calage par rapport à la pression au niveau de la mer : QNH . On aura une altitude .
- calage par rapport à la pression au niveau du sol en un lieu donné : QFE . On aura la hauteur par rapport au sol (tendance à disparaître).
- calage par rapport à la pression standard 1013,25 hPa : QNE . On aura une altitude pression , la seule permettant d'avoir une indication identique pour tous les avions . Elle est donc utilisée pour « étager » les trafics à des valeurs « rondes » réglementaires : les niveaux de vol FL .
ex : FL 55 désigne 5500 ft lus sur un altimètre calé au 1013,25 hPa .

Dans le cadre du vol à vue , seuls certains niveaux de vol sont utilisables selon la réglementation .
Remarque : Les surfaces isobares ne sont ni planes , ni parallèles entre elles puisque la pression varie selon le lieu . Un avion vole en général à une altitude « lue » constante mais pas forcément toujours à la même altitude vraie (donc attention au relief !).

exemple :



Remarque : La fenêtre de l'altimètre n'a de graduations que de 950 à 1050 hPa , alors pour les terrains situés en altitude - ex : 1500 m = 5000 ft = 850 hPa standard - on ne peut pas afficher le QFE alors on utilise le QNH .

[retour au sommaire 4](#)

LA CIRCULATION AERIENNE

D.G.A.C. : Direction générale de l'Aviation Civile.

Contrôle aérien : Services rendus :

- * **contrôle** : écoulement sûr, rapide et régulier du trafic aérien.
- * **information** : fournir tout renseignement utile au bon déroulement du vol.
- * **alerte** : pouvoir déclencher des moyens de recherche et de sauvetage si nécessaire.

Règles de la circulation aérienne générale (ni militaire, ni vols d'essais):

deux règles de vol : (1) vol à vue : VFR (conditions météorologiques : VMC)

(2) vol aux instruments : IFR (conditions météorologiques : I M C)

→ **VFR** : le pilote vole suivant des repères visuels au sol (exception : on top ou traversées maritimes); il vole à vue et doit assurer son espacement par rapport aux autres aéronefs et par rapport au sol.

Il faut des conditions météorologiques minimales dites VMC qui dépendent du type d'espace aérien dans lequel évolue l'aéronef. De toutes façons : au moins 1500 m de visi horizontale (800 m pour les hélicos) et au moins 150 m (ou 500 ft) au dessus du sol.

Sauf cas particuliers, les pilotes ne bénéficient que des services d'information et d'alerte et doivent appliquer entre eux les règles d'anti-abordage.

→ **IFR** : le pilote peut naviguer sans repère visuel au sol ; l'avion doit donc avoir un équipement IFR et le pilote, la qualification nécessaire. Il sera soumis aux autorisations du contrôle.

Règles d'anti-abordage

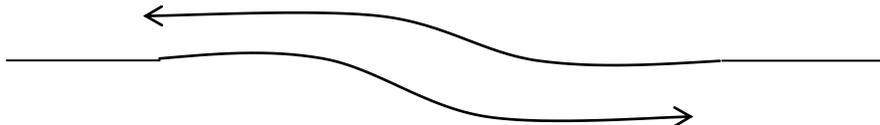
• REGLES GENERALES DE PRIORITE

- Priorité à droite
- Priorité à l'avion le plus bas
- Priorité à l'aéronef le moins manoeuvrant
- Ordre de priorité entre aéronefs de performances différentes : 1 : ballon – 2: planeurs – 3: dirigeables – 4 : avion remorquant – 5 : avions en formation – 6 : avion seul

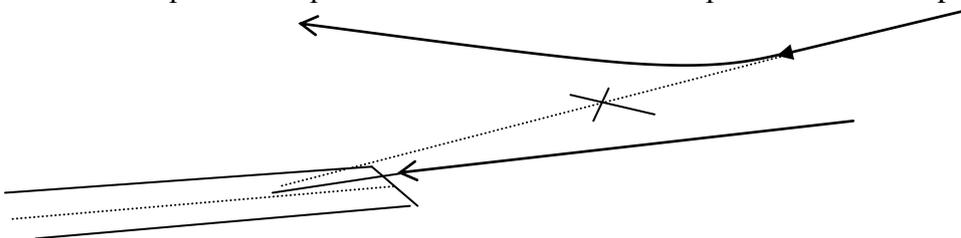
• DEPASSEMENT : Il s'effectue par la droite , l'avion dépassé restant sur sa trajectoire



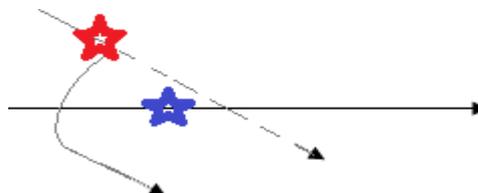
• RAPPROCHEMENT A MEME ALTITUDE : L'évitement s'effectue par la droite



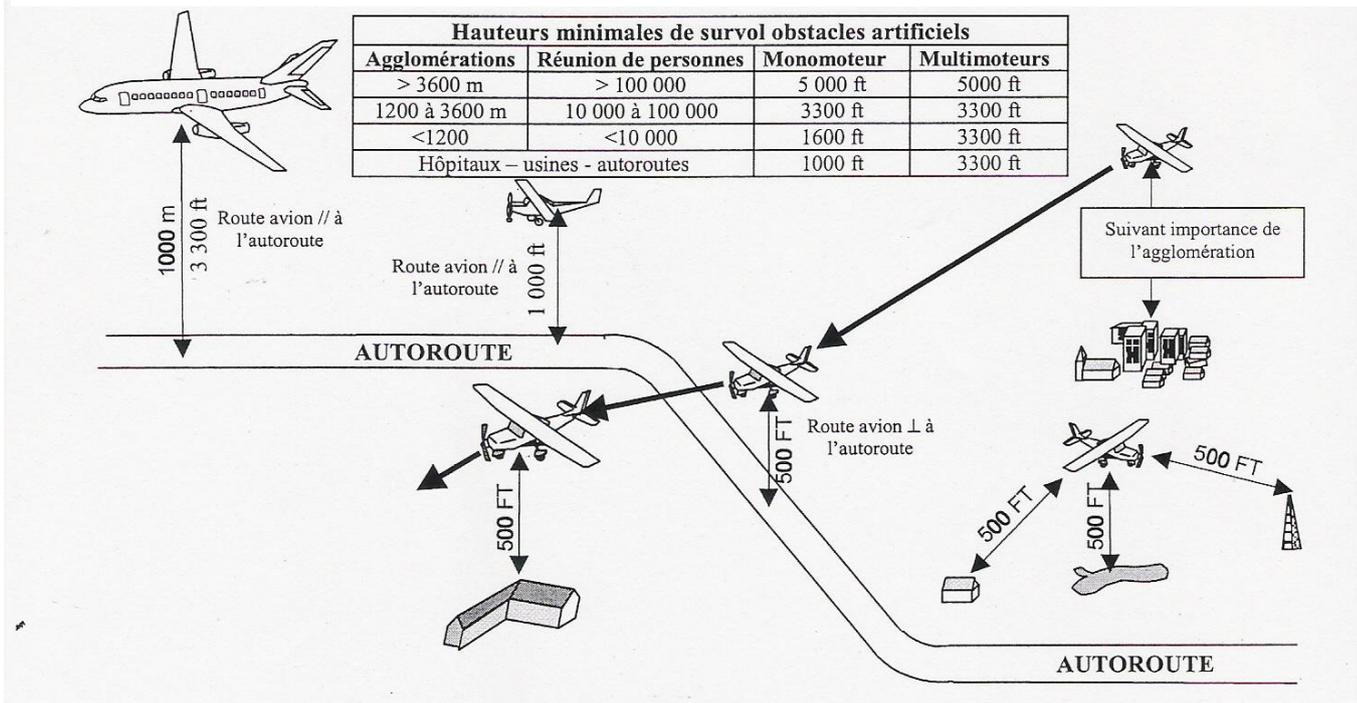
• APPROCHE FINALE : L'avion le plus bas a la priorité . L'avion le plus haut ne doit pas « souffler » la priorité en passant au dessous d'un avion plus en avant et à plus basse altitude



• ROUTE CONVERGENTE A MEME ALTITUDE : La priorité étant à droite l'avion non prioritaire s'écarte pour éviter la collision



• **REGLES DE SURVOL (hauteurs minimales)**



• **FREQUENCES A CONNAITRE** : Fréquence de détresse 121.5

- 123.5 : petits aérodromes non contrôlés;
- 122.5 : fréquence planeurs;
- 130.0 : montagne (ou voltige)

→ règle de la semi-circulaire en niveau de vol

PAIR (Portugal)		359° 0°	IMPAIR (Italie)	
VFR	IFR		VFR	IFR
FL 45	40		FL 35	30
65	60		55	50
85	80		75	70
...

- **L'espace aérien** : - espace aérien contrôlé : zones A,B,C,D,E.
- espace aérien non contrôlé : zones F, G.
- zones à statut particulier (contrôlées ou non) : * P : interdites
- * R : accès réglementé
- * D : précautions

Dans l'espace aérien contrôlé, à signaler :

- * les voies aériennes AWY , qui sont radiobalisées (VOR ou ADF radiocompas)
- * les zones terminales sur les grands aéroports : TMA - CTR

Tout l'espace aérien est codifié.

ESPACES AERIENS

Classe	Conditions de pénétration en vol à vue	Classe	Conditions de pénétration en vol à vue
A	pénétration non autorisée	E et F	Contact radio non obligatoire . vol non contrôlé mais visi horiz. 8 km ;
B	contact radio obligatoire pour autorisation visi horiz. 8 km ; vol hors des nuages		distance / nuages : 1,5 km horiz. ; 300 m verticalement
C et D	contact radio obligatoire pr autorisation visi horiz. 8 km ; distance / nuages : 1,5 km horiz. ; 300 m verticalement	G	Contact radio non obligatoire . vol non contrôlé ; visi horiz. minimale 1,5 km ; Vol au dessous de la surface S , hors des nuages et en vue du sol.

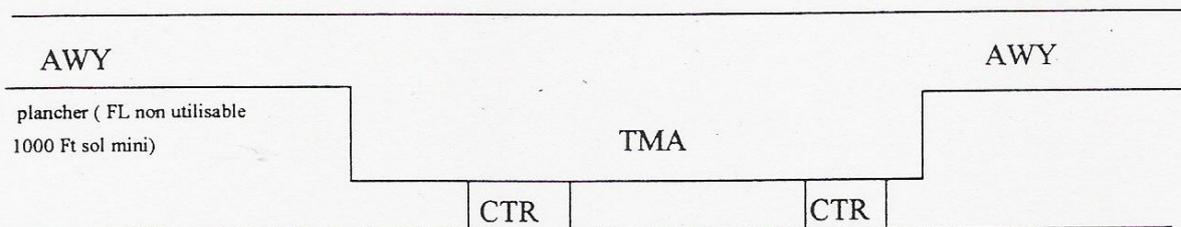
Zones à statuts particuliers :

Zones « D » : Zones dangereuses : pénétration prudente

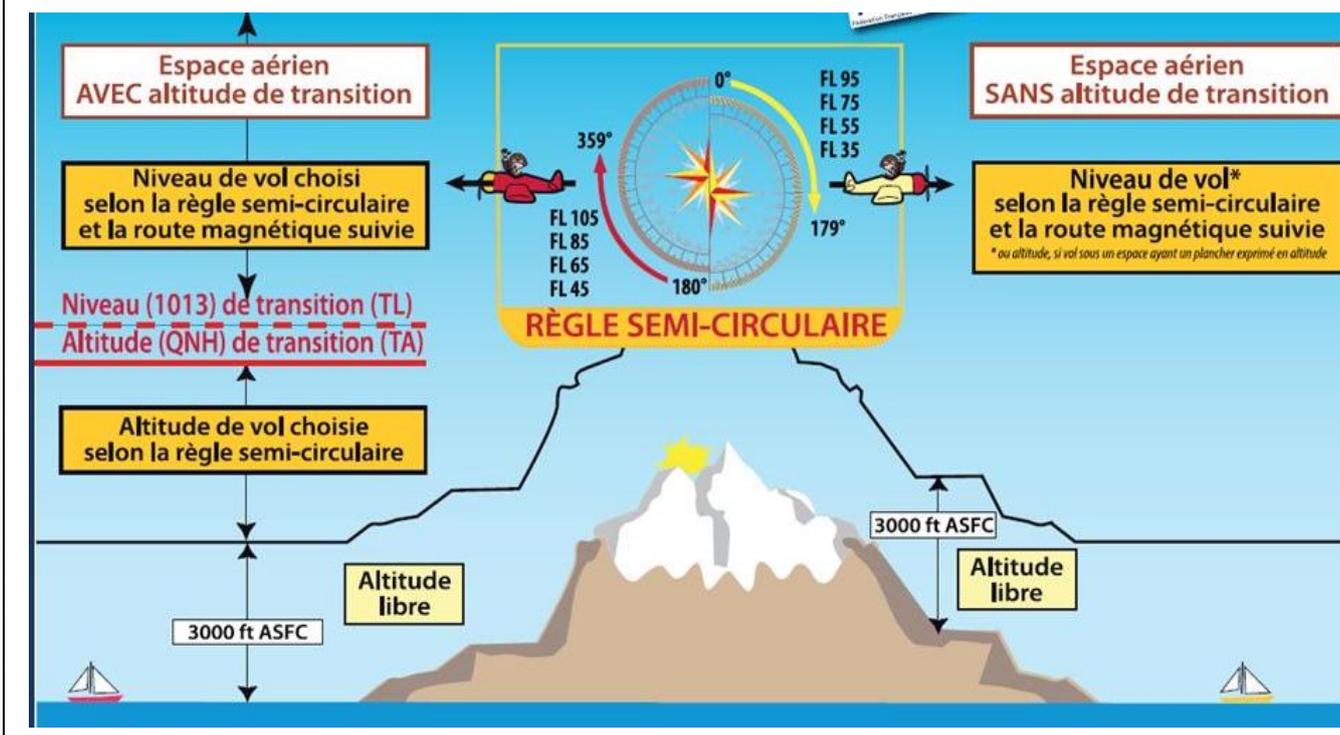
Zones « R » : Zones à réglementation particulière

Zones « P » : Zones à pénétration interdite

Zones terminales d'aérodromes



Les niveaux indiqués ci-dessous le sont pour des vols VFR. En IFR ils se termineraient par 0.

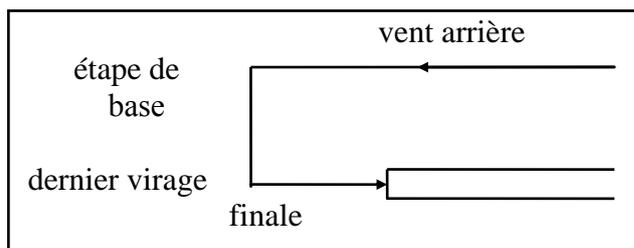


- **Les communications radio** sont, elles aussi, codifiées avec utilisation d'un code particulier pour l'alphabet :

A : alpha	J : juliette	S : sierra
B : bravo	K : kilo	T : tango
C : charlie	L : lima	U : uniform
D : delta	M : mike	V : victor
E : echo	N : novembre	W : whisky
F : foxtrott	O : oscar	X : x-ray
G : golf	P : papa	Y : yankee
H : hotel	Q : québec	Z : zoulou
I : india	R : roméo	1 : unité

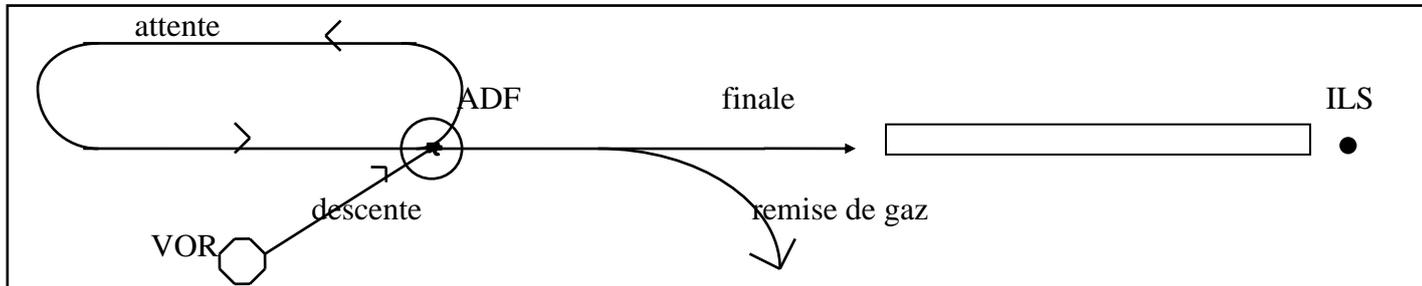
- **Procédures générales d'atterrissage**

- ✧ En VFR : le tour de piste
le pilote doit s'y intégrer :
* avec l'accord du contrôle si l'AD est contrôlé
* de façon à assurer la sécurité si non



- ✧ En IFR : en général le pilote est pris en charge par les contrôleurs aériens dans le respect des procédures. Celles-ci sont basées sur des installations radio qui permettent au pilote de s'approcher du terrain en suivant des axes radiobalisés assez précis pour descendre sans voir le sol et en évitant les obstacles ou le relief à proximité de l'AD.

exemple :



[retour au sommaire 4](#)

L'AERODROME

Signaux

Atterrissages interdits (croix jaune sur fond rouge)	Atterrissage et décollage uniquement sur piste	
Précautions particulières à l'approche et à l'atterrissage	Atterri., décol. et circulation sur pistes et taxiways	
QFU : piste en service désignée par l'axe magnétique d'approche et de décollage en dizaine de degrés.		
Sens de l'atterrissage (←)	Circuit à main droite	Circuit à main gauche
Vols d'hélicoptères	Vols de planeurs	Parachutages

① ②

Bureau de piste (BP)

Situé auprès de la tour de contrôle, il a pour rôle :

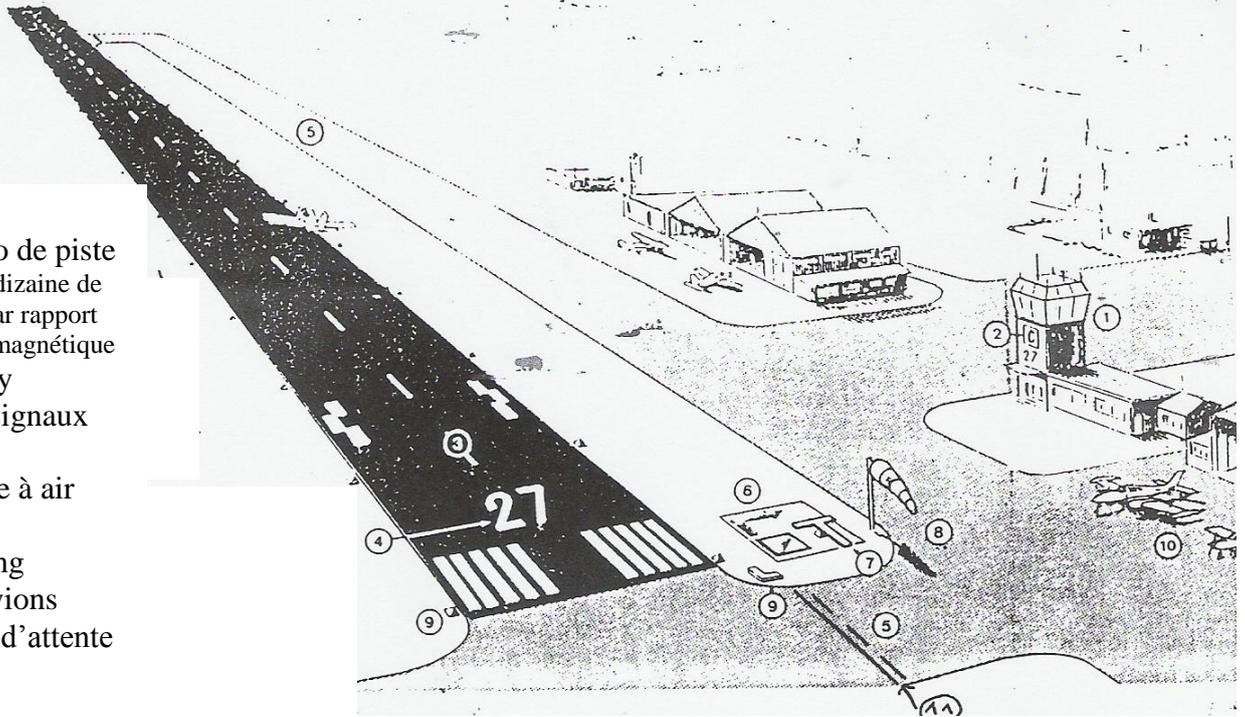
- vérification des documents réglementaires
- liaison entre l'équipage et le CIV, compagnies et responsables de la circulation aérienne.
- centralisation des renseignements concernant l'infrastructure, les mouvements d'avion....
- perception des taxes d'atterrissage.

Tour de Contrôle (TWR)

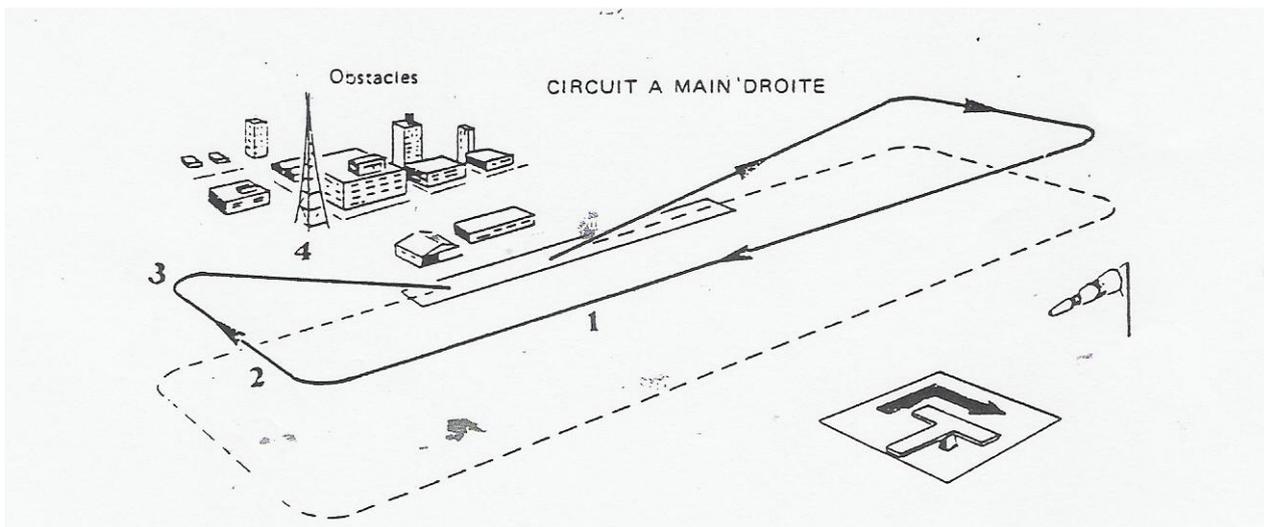
Le service de contrôle est rendu par un fonctionnaire de l'aviation civile. Trois fréquences radio possibles pour un même aéroport :

- Fréquence « tour » : pour tous les aéronefs engagés dans le circuit de piste ou au roulage s'il n'existe pas de fréquence sol
- Fréquence « sol » : pour les aéronefs au roulage
- Fréquence ATIS : informations enregistrées toutes les heures (consignes et météo)

- 3 : Piste
- 4 : numéro de piste
il est en dizaine de degrés par rapport au nord magnétique
- 5 : taxiway
- 6 : aire à signaux
- 7 : « Té »
- 8 : manche à air
- 9 : balises
- 10 : parking avions
- 11 : point d'attente

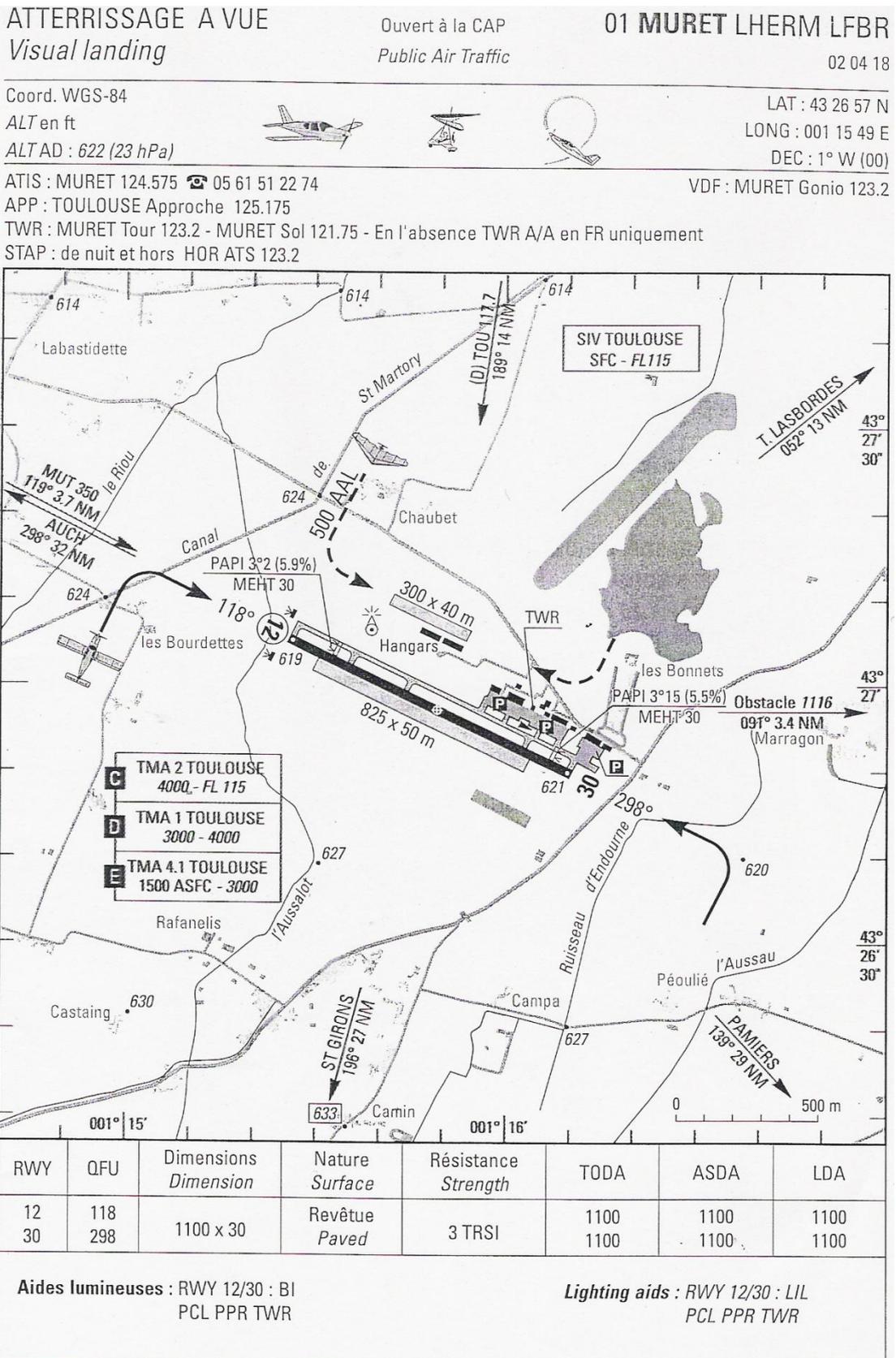


CIRCUIT DE PISTE : Un circuit standard est à main gauche



- Un avion en 1 est dit en « vent arrière »
- Un avion en 2 est dit en « étape de base »
- Un avion en 3 est dit en « dernier virage »
- Un avion en 4 est dit en « finale »

CARTE D'AERODROME : carte VAC



AMDT 05/02 CHG : TMA TOULOUSE.

© SIA

[retour au sommaire 4](#)

ENTRETIEN DES AVIONS

→ **visite pré-vol** systématique du pilote

→ L'entretien est réalisé ou supervisé par un **mécanicien agréé** du moins pour les avions munis d'un **CDN** (certificat de navigabilité).

La réglementation est moins contraignante pour les **CNRA** : certificat de navigabilité restreint d'aéronef construction amateur) ou **CNRAC** (de collection) mais l'utilisation de ces avions est soumise à des restrictions

→ **Entretien des CDN :**

* moteur : potentiel d'environ 2000 h . visites périodiques toutes les 50 h avec application des consignes de navigabilité et bulletins de service.

* hélice : métallique ou à calage variable, elles ont un potentiel d'environ 1000 h.

* cellule: les vérifications se font en même temps que le moteur (50 h). Elles sont plus approfondies en suivant un programme d'entretien à la plus proche des deux dates : 1000 h ou 2 ans puis 2000 h ou 4 ans.

Si l'atelier est agréé, le CDN a une validité de 3 ans. Il doit être revalidé par le bureau Véritas.

Un avion règlementairement en état de vol est dit en situation « **V** », sinon il est en situation « **R** ».

→ **Les documents de l'avion** comportent :

* ceux qui peuvent « rester à la maison » : - un livret moteur
- un livret cellule
- une fiche hélice

* ceux devant toujours être à bord de l'avion : le carnet de route et ses documents annexes : - CDN (en situation « V »)
- CI : certificat d'immatriculation
- fiche de pesée
- manuel de vol
- document de limitation de nuisances
- licence de station d'aéronef

Remarque : pour activité de voltige et compétition de vitesses autour de pylônes, l'emport des documents de bord n'est pas obligatoire

[retour au sommaire 4](#)

LICENCE DE PILOTE

Lors d'un vol, le pilote doit avoir sur lui sa licence en état de validité et son carnet de vol (à jour).
En France trois brevets et licences permettent de piloter un avion à titre privé.

→ BREVET ET LICENCE DE BASE (BB) : UNIQUEMENT FRANÇAIS (JUSQU'EN AVRIL 2018)

- * privilèges :
 - vol seul à bord sur le type d'avion utilisé pour la formation.
 - dans un rayon de 30 km.
 - en VFR .
 - en France.
- * autorisations additionnelles : sous réserves de certaines conditions
 - emport de passagers.
 - « posé » sur les aérodromes voisins.
 - voltige.
- * conditions :
 - au moins 15 ans
 - au moins 6 h de double commande et 4 h de solo
 - 20 atterrissages « solo »
 - épreuve théorique
 - épreuve pratique
- * renouvellement de la licence : la licence est valable 24 mois pour les moins de 40 ans ;
renouvellement avec une visite médicale + 10 h de solo dans les 12 derniers mois.
Si plus de 40 ans : validité 12 mois : visite médicale + 5 h de solo dans les 6 derniers mois.
Si le nombre d'heures est insuffisant il faudra passer un contrôle en vol.

→ BREVET ET LICENCE DE PILOTE PRIVE AVION (PPL) : EUROPE

- * privilèges :
 - vol seul ou avec des passagers mais sans rémunération.
- * conditions :
 - au moins 17 ans le jour du brevet.
 - au moins 45 h de vol : 25 h de double commande et 10 de solo dont 5 h au moins en navigation.
 - épreuve théorique.
 - épreuve pratique.
- * renouvellement de la licence : validité 12 mois.
 - une visite médicale valable 1 an pour les plus de 60 ans, 2 ans pour les plus de 40 ans et 5 ans pour les moins de 40 ans.
 - 12 h de vol dans les 12 mois précédant le renouvellement dont au moins 1 h avec un FI (Flight Instructor) - si moins de 12 h , test avec un FE (Flight Examiner)
- **LICENCE DE PILOTE D'AVION LEGER « LAPL » (LIGHT AIRCRAFT PILOT LICENCE): EASA**
 - *Privilèges: Pouvoir voler à titre non commercial sur des avions de classe SEP de masse maximale au décollage inférieure à 2 tonnes dans toute l'Europe des 27 et en Suisse (+ autres pays si accords bilatéraux).
 - Le pilote ne pourra emmener que 3 passagers au maximum et seulement une fois qu'il aura fait 10 heures de vol supplémentaire depuis l'obtention du LAPL.
 - *Conditions :
 - Ages minimums : 1er vol solo : à 16 ans au moins. Test LAPL : à 17 ans au moins.

- Pré-requis
 - a. Théorique : obtenir le PPL(A) Théorique.
 - b. Pratique : Au moins 30 heures de vol en instruction dont au moins 15 heures de vol en double commande et au moins 6 heures de solo supervisé incluant 3 heures de navigation et au moins un vol de 80NM avec un arrêt complet sur un aérodrome différent de celui de départ.
 - Examen pratique d'aptitude : Test LAPL(A)
 - Médical : Une visite médicale adaptée et propre au LAPL . Le recours au médecin généraliste prévu dans la réglementation européenne n'est pas envisagé en France (Ordre des médecins).
- * Validité : le LAPL(A) a une validité « glissante » : le pilote devra toujours pouvoir justifier, dans les 24 mois précédant son vol, de :
- a. Au moins 12 heures de CDB incluant 12 décollages et 12 atterrissages
 - b. D'un vol d'entraînement d'une heure minimum avec un instructeur.
- ET
- S'il ne justifie pas de cette expérience, le pilote devra, soit faire un test en vol avec un Examineur FE, soit effectuer les heures de vol manquantes sous la supervision d'un Instructeur FI(A)

COMPARATIF LICENCES LAPL ET PPL

	LAPL	PPL
Privilèges		
Déplacements	Dans toute l'UE dont la Suisse	Dans le monde entier
Qualifications pour avions	Monomoteurs à pistons < 2 t	Pas de limitation
Passagers	3 maxi, après 10h de vol solo	Pas de limitation
Vol aux instruments (IFR)	Pas de qualification possible	Qualification possible
Prérequis		
Début de formation	Pas d'âge	Pas d'âge
Premier vol solo	16 ans	16 ans
Présentation à l'examen	17 ans	17 ans
Aptitude médicale	Pour LAPL	Classe 2
Validité du médical	5 ans pour - de 40 ans limité à 42 ans 2 ans pour les plus de 40 ans	5 ans pour - de 40 ans limité à 42 ans 2 ans de 40 à 50 ans limité à 51 ans 1 an pour les plus de 50 ans
Formation		
Théorique (le même)	2 épreuves, 120 QCM 75% de réussite nécessaire à chaque épreuve	2 épreuves, 120 QCM 75% de réussite nécessaire à chaque épreuve
Heures de vol minimum	30	45
en double commande	15	25
en solo	6	10
dont navigation solo	3h, dont un vol de 80 Nm	5h, dont un vol de 150 Nm
Expérience récente exigée après l'obtention de la licence		
Heures de vol	12h dans les 24 mois précédant le vol (glissants)	12h dans les 12 mois précédant la fin de validité de la qualification de classe
Avec instructeur	et 1h dans les 24 mois précédant le vol (glissants)	dont 1h avec instructeur

Des qualifications complémentaires existent pour le VFR de nuit, le vol IFR, la voltige, l'utilisation d'avion à train rentrant et hélice à pas variable, le vol sur réacteur, l'utilisation d'altisurfaces... Pour la pratique de l'ULM, il existe des brevets spécifiques en fonction de la classe de l'aéronef (3 axes, pendulaires, paramoteurs, mongolfières...). Pour le vol à voile, il existe un brevet de pilote spécifique auquel s'ajoutent des qualifications supplémentaires pour le vol en campagne, l'emport de passagers,...

Remarques

- Si hospitalisation de + de 12h ou opération, médicaments, lunettes ... consulter AMC, AMS ou AME. Les visites médicales se font par un médecin agréé aéronautique.
- Pour emporter des passagers, il faut avoir effectué 3 décollages et 3 atterrissages dans les 90 jours précédents.

[retour au sommaire 4](#)

REGLEMENTATION pour une navigation aérienne

Emport du carburant

En navigation :

Quantité d'essence nécessaire pour atteindre la destination prévue + 30 minutes en régime de croisière le jour (sauf ULM et aérostats) ou + 45 minutes en VFR de nuit

Vol local : de jour 30 minutes d'autonomie, de nuit 45 minutes

Nouvelle réglementation:

a) vol local : de jour, avec un décollage et atterrissage sur le même aérodrome ET en gardant toujours à vue ce dernier, il est possible de partir avec seulement 10 mn de réserves en carburant. C'est une possibilité, pas une obligation ! Cela laisse la possibilité de faire un circuit basse hauteur...

b) en navigation de jour : il faut encore au moins 30 mn de carburant à l'arrivée, à la consommation de croisière.

c) en navigation de nuit : le minimum à l'arrivée demeure 45 mn de réserve.

Les quantités pour tout vol doivent prendre en compte les conditions météorologiques prévues sur le parcours (c'est-à-dire le vent réel), un possible retard dans le trafic, une réserve pour couvrir toute éventualité durant le vol (augmentation du temps de vol suite au trafic ou à la météo, consommation accrue, etc.). En cas de déroutement, les 30 mn minimum à l'arrivée sont à respecter.

NOTAM

Diffusés par le SIA, consultable dans les BIA, par minitel, sur le site OLIVIA (Outil en Ligne d'Intégration et de Visualisation d'Informations Aéronautiques)

Présence de neige ou verglas : SNOWTAM

Plan de vol (PLN)

Obligatoire pour tout franchissement de frontière, tout survol maritime, le survol de certaines régions terrestres précisées. Vivement recommandé au dessus du FL 115. Toujours possible

Déposé avant le départ, 30 mn avant pour VFR de nuit

Il doit être mis à jour à tout changement

Il ne reste valide que si on part dans le délai d'une heure

Si on annule le vol on doit annuler le plan de vol

Dans tous les cas, on doit clôturer un plan de vol : il n'est clôturé automatiquement qu'à l'atterrissage sur l'aérodrome d'arrivée à condition d'avoir été en contact avec le contrôle de l'AD

VFR « on top »

Au dessus des nuages mais trous au départ et à l'arrivée. Possible seulement au dessus de la surface S

L'avion doit être équipé d'un moyen de radionavigation et d'un moyen de radiocommunication

Pour le **temps de vol en VFR** on peut utiliser la demi-heure après le coucher du soleil

Météo en route et à destination : avant de partir en vol, le commandant de bord doit disposer de toutes les données météorologiques nécessaires au vol mais, désormais, un pilote ne peut pas décoller, ou poursuivre son vol, si les dernières données météo obtenues sur sa route ou à destination (à l'heure estimée d'arrivée) révèlent des paramètres inférieurs aux minimas VFR. En d'autres termes, si la prévision à destination n'est pas correcte à l'heure prévue d'arrivée, il n'est pas possible de décoller « pour aller voir » en tablant sur une prévision météorologique pessimiste...

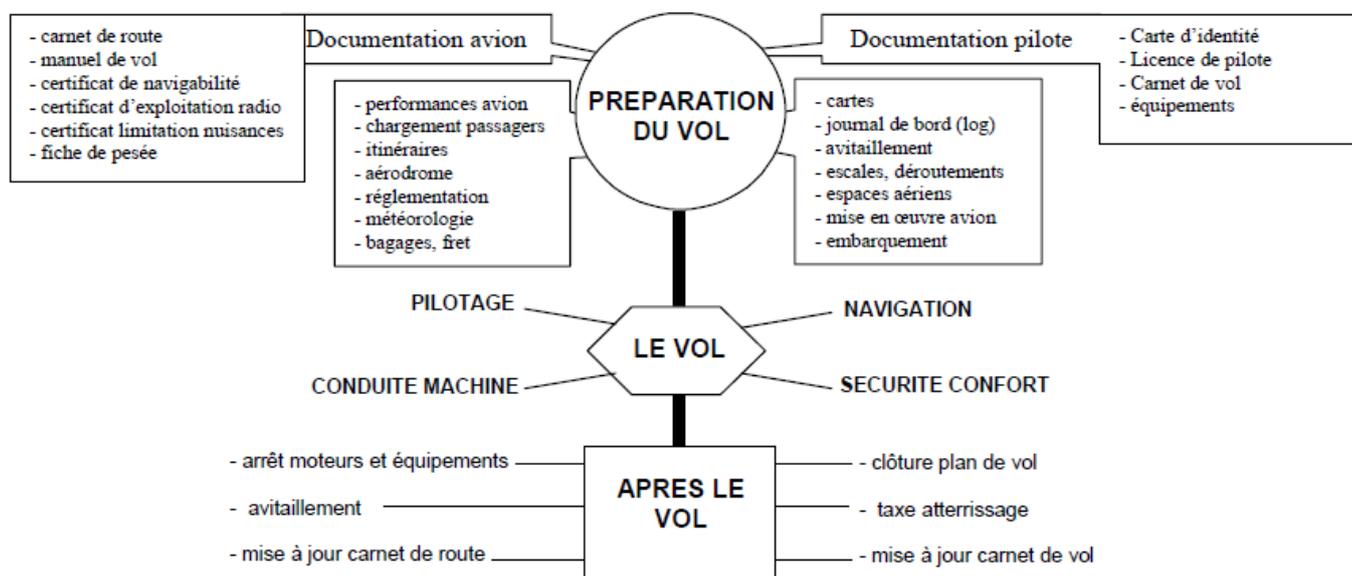
Passagers : le commandant de bord doit informer ses passagers sur les équipements et procédures d'urgence (localisation et fonctionnement des ceintures, issues de secours, gilets de sauvetage, masques à oxygène, canot de sauvetage, balise de détresse, etc.). Les passagers ne peuvent rester à bord lors de l'avitaillement de l'appareil si le carburant est de l'Avgas 100LL. Par contre, ils peuvent rester à bord « pour tous les autres types de carburants » (cas des moteurs diesel alimentés en Jet A) s'ils ont été prévenus, ne fument pas et ont leurs ceintures déboutées. Un « bébé » a forcément moins de 2 ans. Un siège adapté s'impose pour lui. Fini le regroupement d'enfants sur un même siège.

Equipements de survie : les avions, hélicoptères et planeurs évoluant dans des secteurs où les opérations de secours sont difficiles (vol en montagne...) doivent avoir à bord un dispositif de signalisation et du matériel de survie.

Equipement en oxygène

- l'équipement en oxygène et son utilisation sont laissés à l'appréciation du pilote (qui sait!)
- si ce dernier n'y connaît rien ou ne veut pas prendre de responsabilités, il applique les conditions suivantes : vol > FL130, utilisation de l'oxygène par tous, vol entre FL100 et FL130, utilisation de l'oxygène par le pilote sauf pendant les 30 premières minutes.

Le travail du pilote



[retour au sommaire 4](#)

NAVIGATION

REFERENCES DE LA NAVIGATION

* Références terrestres

On appelle « grand cercle » tout cercle imaginaire sur la surface de la terre, concentrique et de rayon égal à celui de la terre

On appelle « petit cercle » tout cercle imaginaire sur la surface de la terre, et dont le plan est perpendiculaire à l'axe des pôles

L' équateur est le grand cercle dont le plan est perpendiculaire à l'axe des pôles

Un méridien est un demi grand cercle limité par les pôles

Un parallèle est un petit cercle

* Les coordonnées géographiques

La latitude est l'angle mesuré sur un même méridien formé par les rayons passant par le lieu étudié et par l'équateur. Elle s'exprime de 0 à 90° de latitude nord ou sud

La longitude est l'angle mesuré sur l'équateur formé par les rayons passant par le méridien du lieu et le méridien référence de Greenwich .

elle s'exprime de 0 à 180° de longitude est ou ouest

* Mesure des distances

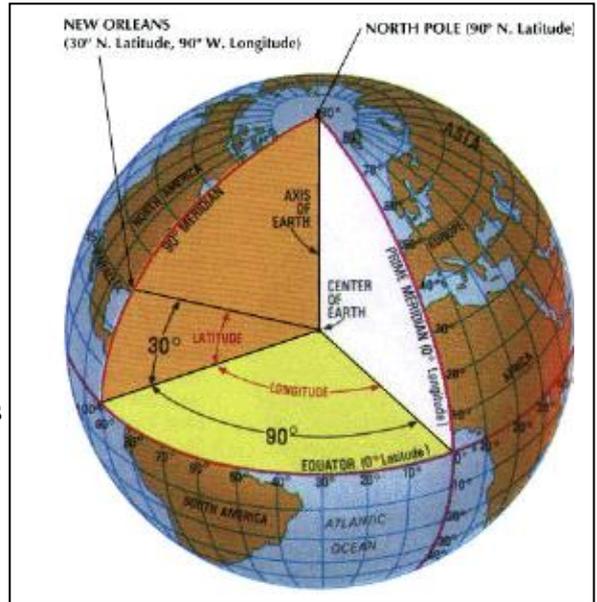
Unités : le kilomètre : km - le mile nautique : NM - (le statute mile: SM)

$$1 \text{ NM} = 1,852 \text{ km} \quad - \quad (1 \text{ SM} = 1,609 \text{ km})$$

Le rayon moyen de la terre étant de 6370 km la circonférence de l'équateur mesure 40 003 km
la longueur d'un arc de 1° sur un grand cercle vaut $40\,003 : 360 = 111,12 \text{ km}$

Par conséquent:

une minute d'arc (1') mesure: 1, 852 km soit 1 NM



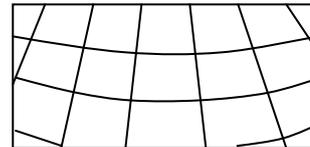
LES PRINCIPALES CARTES AERONAUTIQUES

Une carte est une surface plane sur laquelle a été représentée par projection une portion de la surface sphérique de la terre. On appelle canevas la représentation des méridiens et des parallèles

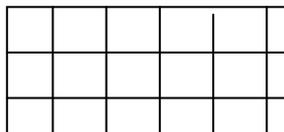
On appelle échelle d'une carte le rapport : distance sur la carte / distance à la surface de la terre

* Projection conique LAMBERT: utilisée pour les cartes aéronautiques de vol à vue et radionavigation

Les méridiens sont des droites concourantes et les parallèles des arcs de cercle concentriques



* Projection cylindrique MERCATOR:



. Carte aéronautique au 1 / 500 000

canevas Lambert : 1 cm représente 5 km; l'espace français est recouvert par 5 cartes;

teintes hypsométriques du relief; hydrographie en bleu clair ; routes en rouge ; voies ferrées en noir ; agglomérations en jaune ou orange; espaces aériens: surimpression magenta ou bleu foncé pour les limites horizontales

* Carte de radionavigation à vue : 5 cartes; échelle 1 / 1 000 000 sauf pour la région parisienne 1 / 500 000 fond topographique peu chargé au profit de la représentation des espaces aériens

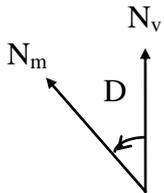
NAVIGATION

- Trois types de navigation :
- * Cheminement
 - * Estime (cap - montre)
 - * Radionavigation (indispensable ON TOP)

Trois « Nord » possibles :

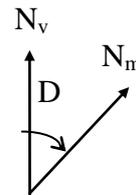
- le nord géographique ou nord vrai : pôle nord : N_v
- le nord magnétique indiqué par la boussole : N_m
- le nord compas indiqué par le compas de l'avion : N_c

nord géographique - nord magnétique



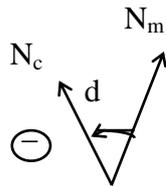
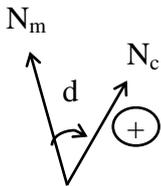
déclinaison magnétique : D

elle est « ouest et négative »
ou « est et positive »



nord magnétique - nord compas

Déviaton d : elle est positive ou négative



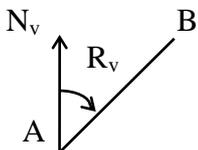
Définition d'un cap :

angle toujours positif compris entre la ligne de foi de l'avion et un nord de référence.

Définition d'une route :

angle toujours positif compris entre la trajectoire avion et un nord de référence

Soient un point de départ A et un point d'arrivée B .



A partir du nord vrai , on détermine sur la carte la route vraie R_v

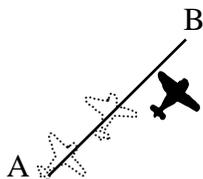
A partir de là , en tenant compte du vent , un cap vrai : C_v

A partir du nord magnétique une route magnétique et un cap magnétique : C_m

A partir du nord compas , un cap compas : C_c

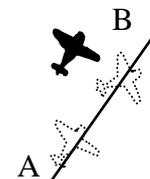
Et s'il y a du vent , il y aura (peut-être) une dérive X.

vent de gauche



dérive droite
et positive

vent de droite



dérive gauche
et négative

Formule :

R_v	X	C_v	D	C_m	d	C_c
Retranchez votre	dérive	cela vous	donnera	chaque mesure	du	cap compas

Se rappeler : ouest \longleftrightarrow **G**auche \longleftrightarrow né**G**ative et est \longleftrightarrow droite \longleftrightarrow positive

[retour au sommaire 4](#)

1) Généralités

En Europe

Pour l'aviation civile européenne, la sécurité des passagers, du personnel aérien et de l'environnement aérien relève d'une politique européenne de sécurité aérienne qui vise aussi à favoriser la libre circulation des biens, des services et des personnes.

« **règles communes de sécurité** » ; Elles sont applicables de manière uniforme dans toute l'UE (règles aussi améliorées au niveau international avec l'OACI et grâce à une coopération technique avec les pays tiers et la signature d'accords de sécurité avec les principaux partenaires en Europe et au-delà).

La Commission européenne collabore aussi avec l'Agence européenne de sécurité aérienne, Eurocontrol, les autorités nationales de l'aviation civile et les autorités responsables des enquêtes de sécurité dans les États-membres, ainsi qu'avec les aviateurs, les compagnies aériennes et les autres entreprises parties prenantes du « marché unique de l'aviation ». Ces règles communes s'appliquent à l'industrie et aux autorités de l'aviation civile, et sont la base de l'approbation initiale et la surveillance des entreprises engagées dans des activités aériennes dans le marché intérieur

Information sur la sécurité : La Commission européenne surveille le niveau de sécurité/fiabilité des compagnies aériennes dans le monde, et informe les Européens des risques potentiels pour leur sécurité. -

- **Les retours d'expériences (Rex ou Retex)** sont analysés à partir des enquêtes qui suivent les accidents ou certains incidents.

- **Pirep (Pilot Report)** : en cas de rencontre en vol de fortes turbulences, givrage, phénomènes orographiques, orages avec ou sans grêle, vents de sable ou de poussière, nuages de cendres volcaniques, cisaillements de vent... un pilote doit en informer l'organisme de contrôle le plus adapté pour prévenir les autres aéronefs de ces phénomènes pouvant affecter la sécurité des vols.

2) Risques liés au matériel et à l'environnement

Foudre, risque aviaire, panne de moteur, fatigue du métal, décrochage, feu,

Facteurs humains

NECESSITES GENERALES :

Le besoin de prendre en compte le facteur humain ; Incidents attribuables aux facteurs humains / erreur humaine ; Loi de « Murphy ».

PERFORMANCES HUMAINES ET LIMITES

Vision; Audition; Processus d'information; Attention et perception; Mémoire; Claustrophobie.

PSYCHOLOGIE SOCIALE

Responsabilité : individuelle et de groupe; Motivation et démotivation; Pression exercée par l'entourage; Produits de culture; Travail en équipe; Gestion, supervision et direction.

FACTEURS AFFECTANT LES COMPETENCES

Forme/santé; Stress : domestique et en rapport avec le travail; Pression des horaires et heures limites; Charge de travail : surcharge et sous charge; Sommeil et fatigue, travail posté ; Abus d'alcool, de médicaments, de drogue.

ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

Bruit et fumée; Eclairage; Climat et température; Déplacement et vibrations; Environnement de travail.

TACHES

Travail physique; Tâches répétitives; Inspection visuelle; Systèmes complexes.

COMMUNICATIONS

A l'intérieur et entre les équipes; Découpage et enregistrement du travail; Tenue à jour, en cours; Dissémination des informations.

PREVENTIONS ELEMENTAIRES

- **Prise en compte des prédispositions individuelles aux risques** :

Rhume, sinusite, aérophagie, otite, carie mal soignée, obésité, insuffisance cardiaque ou respiratoire, hypotension artérielle, hypoglycémie, varices... ; âge ; stress ; exercice physique avant le vol
Plongée sous-marine moins de 24h avant le vol ; Tabac et alcool.

- **Alimentation avant le vol**

Pas de boisson gazeuse ; repas léger (éviter les aliments favorisant l'aérophagie), ne pas être à jeun

- **Protection individuelle**

Couvre-chef ; lunettes de soleil

4. MECANISMES DE L'EQUILIBRE ET DE L'ORIENTATION SPATIALE

1. **Evaluation vestibulo-visuelle :**

- Evaluation de la position du corps : l'équilibre et l'orientation spatiale font appel à la vue et à l'appareil vestibulaire situé dans l'oreille interne
- Evaluation des mouvements du corps : seules les accélérations liées à la mise en mouvement du corps sont détectées et évaluées par les mesures vestibulaires mais les mouvements à vitesse constantes ne peuvent être appréciés que par la vue.
- Evaluation des distances et perception du relief : ces notions sont appréciées par la vision binoculaire ; la convergence des yeux est liée à la distance qui sépare de l'objet observé, le cerveau interprétant cette distance ; Cette évaluation est efficace jusqu'à 15 m et n'est possible que jusqu'à une distance de 100 m (au delà les yeux ont une orientation parallèle : réglage sur l'infini)
La vision centrale permet de percevoir les détails et couleurs sur un champ très restreint : 2° soit 3 à 4 cm à une distance de 1 m.
La vision périphérique sert de référence d'horizontalité par observation de l'horizon et sert à détecter les mouvements d'objets et variations de contraste (clignotements...)

Evaluation proprioceptive

La proprioception désigne la capacité du cerveau humain de connaître à tout instant la position du corps dans l'espace.

Détection au niveau des muscles, tendons, tissus... de la position des membres, de la vitesse et de l'accélération des mouvements au niveau des articulations et des accélérations de déplacement du corps.

En vol aux instruments, le pilote qui se fie aux mouvements de son corps (pilotage par sensation) court un grave danger. (178 secondes à vivre dans tous les cas)

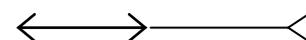
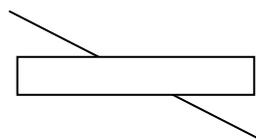
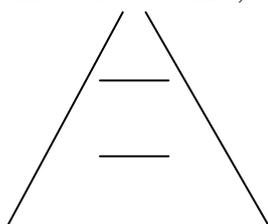
TROUBLES DE L'ORIENTATION

- **Illusions visuelles**

Illusions d'optique conditionnées par réfraction, conditions atmosphériques, éclairage et reflets, distorsion des pare-brises, température cabine, besoins en oxygène (surtout la nuit), accélérations

Illusions d'origine psychologique : vagabondage de l'esprit et illusions de perspective

- Conditions atmosphériques : l'humidité de l'air, voire la brume, « éloigne » la piste ou « augmente l'altitude »
- Les mirages
- Les dimensions de la piste : une piste courte semble plus loin qu'une piste longue ; une piste large semble plus courte qu'une piste étroite
- Attitude de l'avion : Le pilote en piqué sous-estime son altitude et il la surestime en montée
- Effet autocinétique : si on fixe un point lumineux dans le noir, il semble se déplacer latéralement
- Absence d'horizon : ciel couvert et sol enneigé ; ciel bleu et mer bleue
- Illusion d'inclinaison : la nuit ou en montagne, confusion entre horizon et relief incliné
- Illusion de Ponzo, de Poggendorff, de Muller-Lyer



- **Conflit vestibulo-visuel**

C'est une discordance entre les informations fournies au cerveau par les yeux et vestibulaires
Par exemple, une approche de nuit sans lumière extérieure donne lieu systématiquement à une surévaluation de la hauteur.

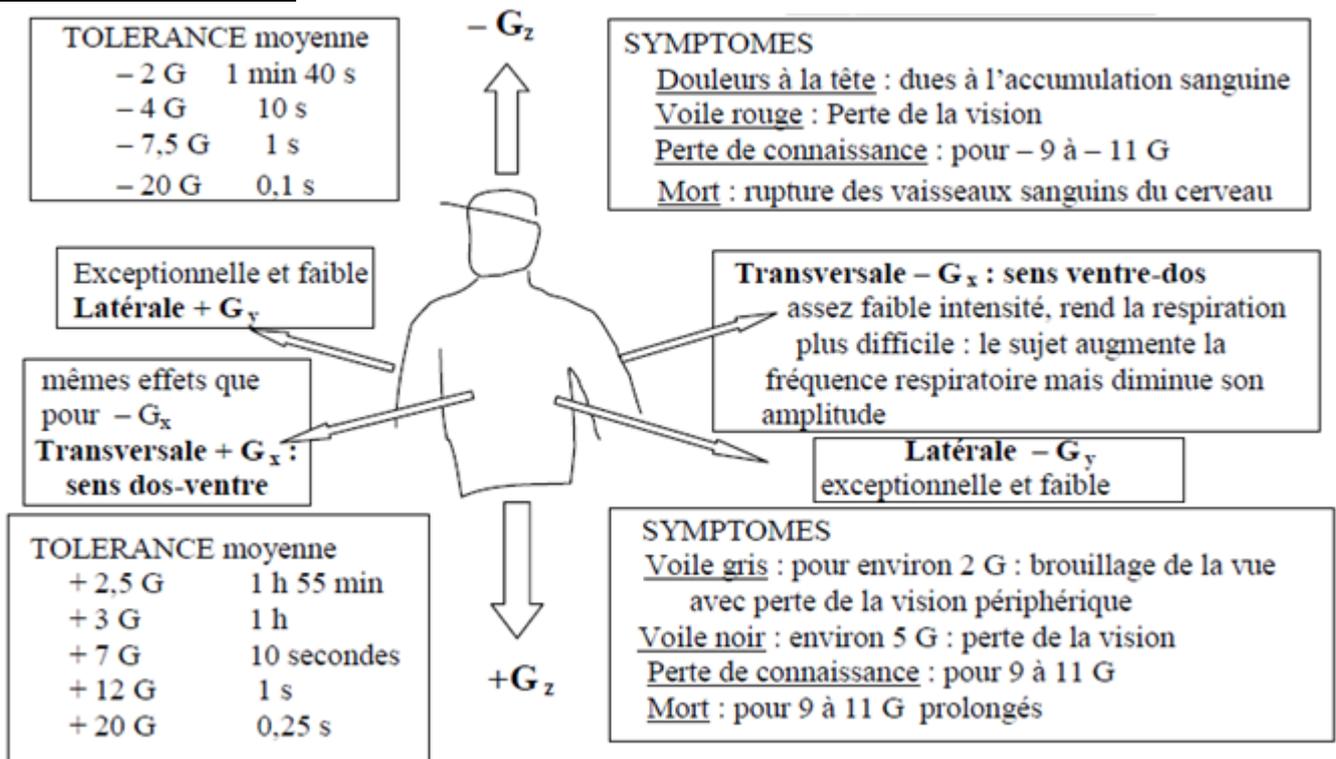
Le vol de nuit peut provoquer la perception de faux horizons.

en virage prolongé, les détecteurs du système vestibulaire reviennent à leur position de repos, la sensation de rotation disparaît. Une mise en virage lente peut passer inaperçue.

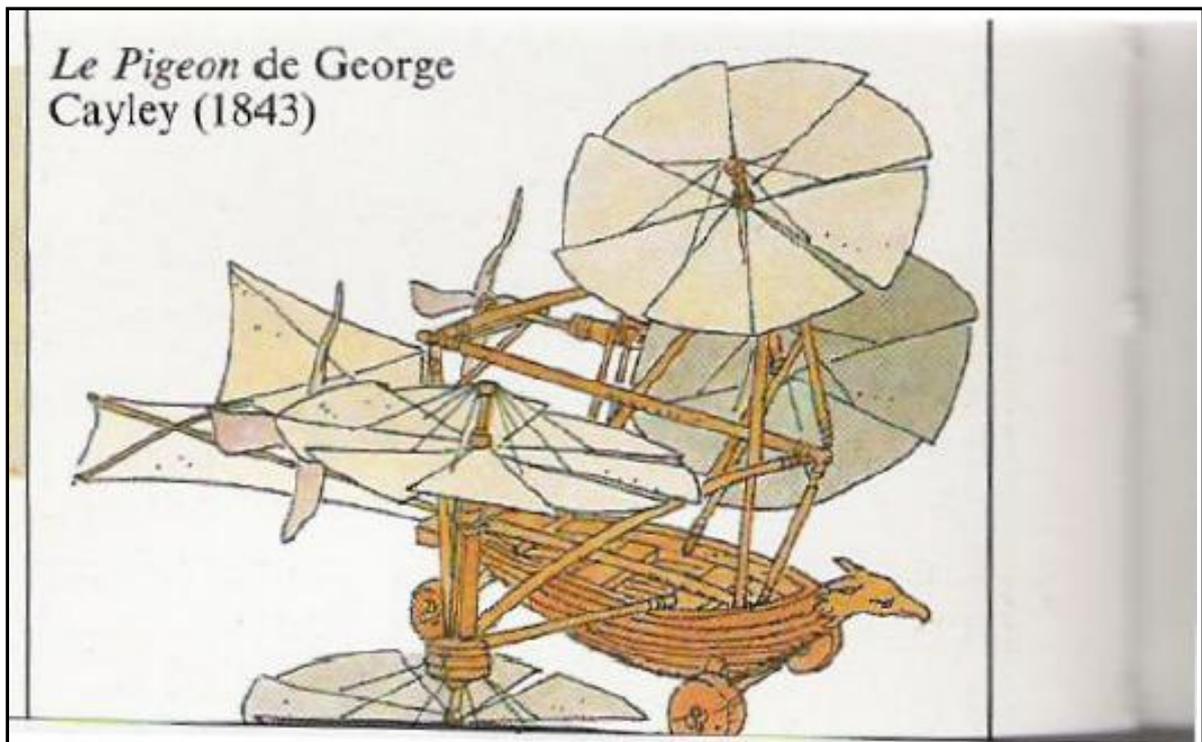
- **Lutte contre les illusions sensorielles**

- Adapter nos facultés d'interprétation des sens naturels
- Connaître nos limites en matière de vol aux instruments
- Entraînement au vol aux instruments
- Adapter sa vision de nuit :
 - Période d'adaptation de l'ordre de 20 min
 - Réduire au minimum l'environnement lumineux
 - Utilisation préférentielle d'une torche rouge pour la lecture des documents ou cartes
 - Ne jamais fixer une source lumineuse isolée mais observer toujours légèrement à côté
 - Effectuer un balayage continu de l'environnement par mouvement continu des yeux et modifications légères de la position de la tête

effet des accélérations



PARTIE 5
HISTOIRE ET CULTURE
DE L'AERONAUTIQUE ET DU SPATIAL



[retour au sommaire général](#)

PROGRAMME

technologies de l'histoire aéronautique et spatiale Rapprocher les éléments de l'histoire aéronautique et spatiale des enjeux culturels, sociaux et économiques	5.2 – Des précurseurs aux pionniers - Approche scientifique du vol plané - Premiers vols motorisés des plus lourds que l'air - Innovation et exploits		<i>Cette période peut être utilement insérée dans les développements sur l'étude des aéronefs ou les principes du vol. La dimension historique et culturelle n'est pas un chapitre indépendant du reste, mais constitue son horizon de compréhension.</i>
	5.3 – Les enjeux militaires et les évolutions de l'aéronautique et du spatial - Première guerre mondiale : les techniques et les hommes - Seconde guerre mondiale : le rôle décisif de l'avion et les innovations - Développement des lanceurs, la conquête spatiale - Automatismes (interface homme/machine, drone)		<i>Le rapport de l'aviation à sa dimension militaire en temps de paix ou de guerre doit être tout particulièrement contextualisé, notamment en termes d'accélération des innovations et l'essor des industries.</i>
	5.4 – Les enjeux économiques et les évolutions de l'aéronautique et du spatial - Grandes étapes du développement de l'aviation commerciale - Place de l'industrie aéronautique et spatiale dans l'économie, la diversité des métiers - Grandes avancées scientifiques et innovations - Le spatial et extension de ses applications civiles (GPS, télécommunication)		<i>La dimension économique et industrielle de l'aviation et du spatial est une évidence qu'il faut savoir replacer dans une dimension historique. Il s'agit de faire le lien de manière élémentaire entre les différentes variables qui expliquent le développement aéronautique et spatial : innovations techniques, retombées civiles des avancées militaires, etc...</i>

TABLE DES MATIERES 5

INTRODUCTION Généalogie des aérodynes	<u>page 125</u>
CHAPITRE 1 : avant 1903	<u>page 126</u>
CHAPITRE 2 : de 1903 à 1914	<u>page 129</u>
CHAPITRE 3 : Première guerre mondiale 1914-1918	<u>page 131</u>
CHAPITRE 4 : Entre deux guerres 1919-1940	<u>page 132</u>
CHAPITRE 5 : Deuxième guerre mondiale	<u>page 134</u>
CHAPITRE 6 : L'après deuxième guerre mondiale 1945-1970	<u>page 137</u>
CHAPITRE 7 : Après 1970	<u>page 140</u>
CHAPITRE 8 : L'espace avant 1970	<u>page 145</u>
CHAPITRE 9 : L'espace après 1970	<u>page 147</u>

[retour au sommaire général](#)

Chapitre 1 – AVANT 1903



La légende

Dédale réalisa pour le roi Minos un labyrinthe pour enfermer le Minotaure. Mais Minos y enferma Dédale et son fils Icare.

Les prisonniers ne trouvèrent pas la sortie, mais Dédale fabriqua des ailes de cire pour qu'ils quittent le labyrinthe en s'envolant. S'approchant trop du soleil, les ailes d'Icare fondirent et il se noya dans la mer.

Les premiers à faire voler un objet artificiel furent sans doute les chinois dès l'antiquité



En occident, le cerf-volant apparaît au 12ème siècle et connaît des applications scientifiques dès le 18ème siècle

1752 : Benjamin Franklin invente le paratonnerre



Mais, dès le début de la renaissance, c'est le génial Léonard de Vinci qui imagine les premières véritables machines volantes

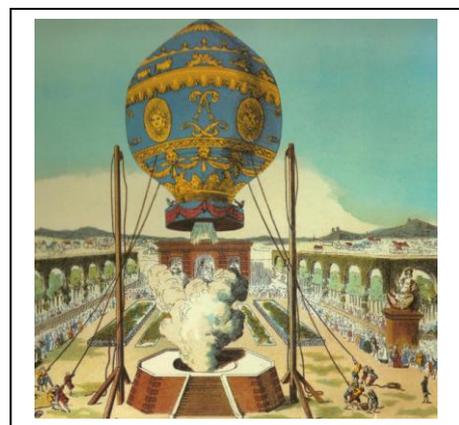


L'AEROSTATION

1783 : **Joseph et Etienne MONTGOLFIER** inventent le ballon à air chaud : la « MONTGOLFIERE».

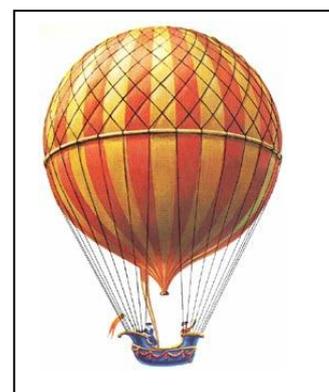
avril : 1° vol d'un ballon captif

21/11/83 : 1° survol de Paris par **PILATRE DE ROZIER** et le **MARQUIS D'ARLANDES**.



1/12/83 : Le physicien **CHARLES** et les frères **ROBERT** (mécaniciens) font voler le 1° ballon à hydrogène (enveloppe, filet, soupape, agrès, nacelle, baromètre).

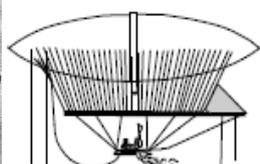
1785 : 1° traversée en montgolfière Douvres-Calais par **Blanchard** et Jeffries



dès **1794** : aérostation militaire (bataille de Fleurus et siège de Maubeuge)

19° siècle : domaine scientifique

1804 : Gay-Lussac monte à 7000 m .



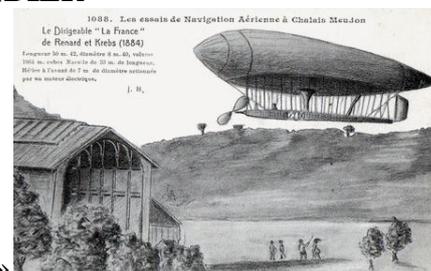
1852 : 1° vol d'un **dirigeable** piloté par **H.GIFFARD**



1860 : **NADAR** promoteur de la photographie aérienne

1870 - 71 : poste aérienne pendant le siège de Paris

1883 : 1° **dirigeable à moteur électrique** inventé par les frères **TISSANDIER**



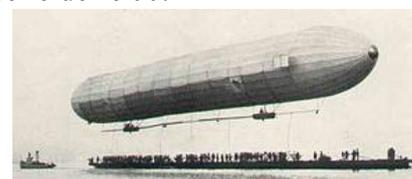
1884 : Le dirigeable « **La France** »

établit le 1° circuit fermé avec les capitaines **RENARD** et Krebs

20° siècle :

1904 : voyages au long cours souvent militaires, en France domaine sportif avec **SANTOS-DUMONT** (1° survol de Paris en 1901) et présentation à l'exposition universelle de 1900.

En France on reste attaché à la technique du ballon souple ou semi-rigide mais en Allemagne, avec les **ZEPPELIN** on se range à la conception du rigide dès 1895, mis en œuvre en 1900.



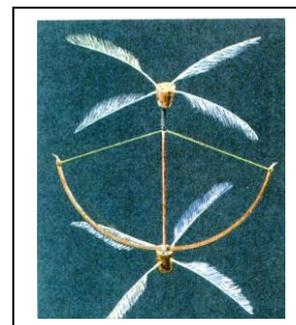
VOILURES TOURNANTES

Précurseur : **LEONARD DE VINCI** a pratiquement tout inventé sur le papier.

1784 : le 1° hélicoptère en modèle réduit qui ait volé :

maquette à deux hélices réalisée par **BIENVENU** et **LAUNOY**

Rien de plus avant 1906.



APPAREILS A AILES BATTANTES

Beaucoup de tentatives mais sans aucun succès.

CERFS-VOLANTS

connus depuis l'antiquité. utilisé par **FRANKLIN** pour étudier l'électricité atmosphérique (aboutit au paratonnerre).

en France, grande vogue du cerf-volant à partir de 1902 → utilisation militaire.

PLANEURS

Au début seulement considéré comme un moyen d'aboutir au vol mécanique ; précurseur : L. de VINCI

1856 - 1868 : quelques vols de **Jean-Marie LE BRIS**;

œuvre surtout théorique de **PENAUD** et **MOUILLARD**

(à la base de tous les vols futurs mais sans découvrir la cause du vol à voile). Presque tout est inventé en modèle réduit : Félix du Temple, Tatin, Goupil...

Le père du planeur : **OTTO LILIENTHAL** (1848-1896) a construit des planeurs ancêtres des deltaplanes ainsi qu'un biplan.

Nombreux vols de 1891 à 1896 où il se tue.

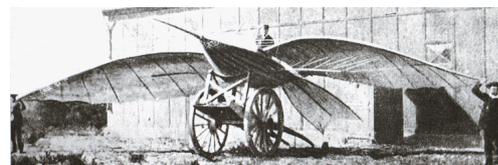
Aux Etats-Unis, **CHANUTE** s'inspire des travaux de Lilienthal sur les profils d'aile.

MONTGOMERY crée beaucoup de modèles réduits expérimentés après 1904.

LES FRERES WHRIGT travaillent en collaboration avec Chanute et réalisent plusieurs vols en planeurs dès 1900.

En France le capitaine **FERBER** travaille sur la stabilité des planeurs.

Important mécénat d' **Ernest ARCHDEACON** : les expériences de Chanute sont réalisées par **Gabriel VOISIN** (1° manifestations publiques d'un plus lourd que l'air).



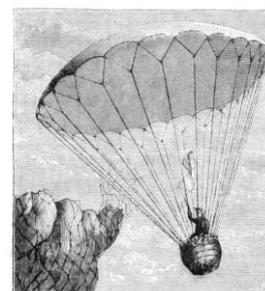
PARACHUTE

Précurseur : toujours L. de Vinci

22 - 10 - 1797 : première descente : **GARNERIN** se jette d'un ballon à 1000 m d'altitude (l'astronome Lalande lui suggère le trou central).

19° siècle : nombreuses descentes spectacles à partir de ballons.

Pas de saut d'avion avant 1912.



AVION

Précurseurs : plusieurs vols de modèles réduits : *Félix du Temple* 1857 - *Penaud* 1871 - *Stringfellow* - *Mouillard* - *Goupil* : ailerons à mouvement conjugué.



9 octobre 1890 : **CLEMENT ADER** fait voler l' EOLE : 14 m d'envergure, forme de chauve-souris, moteur à vapeur, hélice tractive à quatre pales, 300 kg. Vol sur # 50 m non homologué.

Expérience publique en **1897** avec un même type d'appareil à deux moteurs : l' AVION . Expérience ratée.

Le mot « AVIATION » est créé vers 1860 par un journaliste *De La Landelle* (qui travaille avec Nadar) Le mot « AVION » est créé par Clément Ader.

Puis **1903** ...

[retour au sommaire 5](#)

Chapitre 2 – 1903 - 1914

AVIONS

Les Frères **WHRIGT** sortent le premier avion de leurs ateliers (réparateurs de bicyclettes à Dayton en Ohio): le « FLYER » : biplan formule canard, un moteur, deux hélices propulsives.

Le **17 -12 - 1903** en présence de 5 témoins à **KITTY HAWKS** :

1° vol : Orville Whright : 36 m en 12 s. 2° vol : Wilbur Whright : 59 m en 11 s.

4° vol : 284 m en 59 s.

1903 - 1905 : seulement les frères Whright; construisent 3 appareils et en 1905 : circuit fermé de 35 km.

1905 - 1907 : ils tentent de commercialiser leur « Flyer ».

1907 : reprise des vols -

1908 : venue en France de Wilbur



Premiers vols en France

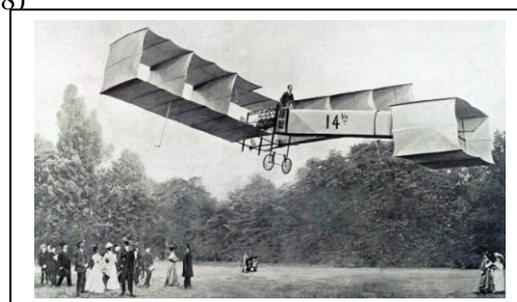
* **1905** : vols non homologués : FERBER (25/5) - TRAJAN VUIA (19/8)
- création de la F.A.I.

* **1906** : 1° vol contrôlé et homologué par **SANTOS-DUMONT** sur biplan XIV bis avec moteur Antoinette de 50 CV à Bagatelle : 7 m puis 60 m puis 220 m à 6 m de haut pendant 21 s.

Dès 1906, les frères **VOISIN** ouvrent les 1ers ateliers aéronautiques à Billancourt.

* **1907** : 1° vol d'un français : **CHARLES VOISIN** (30/3)

Robert ESNAULT-PELTERIE invente le manche à balai.



Entre 1905 et 1907 Robert Esnault-Pelterie invente: l'aileron, le manche à balai, le moteur en étoile et fait voler le 1er monoplan, le R.E.P.1

* **1908** : Avance de la France avec les frères **VOISIN**, **Louis BLERIOT**, **Henry FARMAN** (1° km en circuit fermé), **DELAGRANGE** (1° passager); avec les premiers voyages avec la création des sociétés :

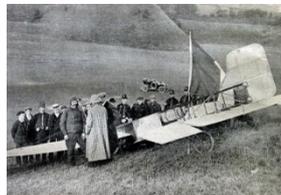
- **ANTOINETTE** (moteurs 8 cylindres en V) par **DORGAMBIDE** et **LEVAVASSEUR**.

- **FARMAN** Henry et Maurice à Mourmelon.

L'Aéro-Club de France crée un brevet de pilote (n°1 : Blériot ; n° 2 : Curtiss ...).

* **1909** :

- Le **25 / 7** , **Louis BLERIOT** traverse la **MANCHE** de Calais à Douvres sur monoplan n° XI avec un moteur Anzani à 3 cylindres en éventail : 25 CV ; ses concurrents malheureux : **DE LAMBERT** et **LATHAM**.



- grands meetings à Juvisy, Reims ...

- vol autour de la tour Eiffel par **DELAMBERT** (rappel : en 1901, Santos-Dumont l'avait fait en dirigeable).

- invention d'un anémomètre par **ETEVE**.

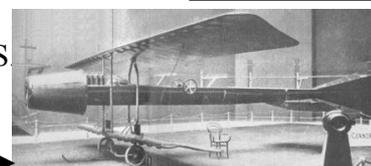
- moteur rotatif **GNOME** par les frères **SEGUIN**.

- l'Armée achète ses premiers aéroplanes.

- l'Aviation militaire (pas l'Armée de l'Air !) est créée par le Général **ROQUES**

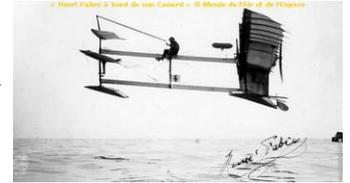
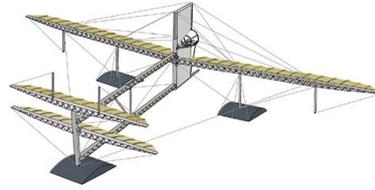
- Blériot et Farman ouvrent leurs écoles.

- le « **COANDA** » : biplan actionné par un turbopropulseur sera présenté en statique au salon de 1910.



* **1910** :

- **28 / 3** : 1° hydravion conçu, réalisé et piloté par **Henry FABRE** sur l'étang de Berre, monoplace type canard avec un moteur Gnôme de 50 CV.
- La Marine achète ses premiers hydravions.
- L'Armée de Terre : 39 pilotes; 29 avions. Le Brevet Militaire consiste en un voyage de 100 km.
- 1° brevet à une femme : la **BARONNE** de la **ROCHE**.
- 1° bimoteur : **SOMMER**.
- 1° vol de nuit : **FARMAN** et **SOMMER**.
- les records : **NIEUPORT** : + 120 km/h - 28 CV; **LATHAM** : + 1000 m d'altitude
- **Geo CHAVEZ** : traversée des Alpes (se tue en arrivant).
- **CAUDRON** ouvre son école.



* **1911** :

- 1° posé - décollé d'un navire : **ELY** sur Curtiss.
- réaction : en théorie, première turbine à gaz par **LORIN**.
- première carte aérienne : région de Chalons/Marne au 1/200 000
- grandes courses : Paris - Madrid par **Jules VEDRINES**
- Poser sur le Puy de Dôme (sur 17 m) : prix Michelin.
- première poste aérienne : **Henry PEQUET** aux Indes.

* **1912** : - **Roland GARROS** atteint 5610 m d'altitude.

- premiers hydravions à coque : Denhaut en France, Curtiss aux USA, avec le meeting de Monaco qui donne naissance à la **coupe Schneider**.
- première participation de trois sections d'aviation militaire à la guerre du Rif au Maroc avec les 1ers bombardements (préparation à la guerre 14-18).

* **1913** : - 1° looping : **NESTEROV** en Russie;

PEGOUD en France (le 24 / 9) qui fut aussi le premier parachutiste à abandonner son avion.

- traversée de la **MEDITERRANEE** par **Roland GARROS**.
- + 200 km/h par **PREVOST** sur **DEPERDUSSIN** : coupe Gordon Bennet



BILAN : L'industrie avant guerre : 1148 avions ; 146 hydravions ; 2240 moteurs ; 15000 hélices.

Au début : biplans puis en 1908 monoplane (haubanné puis non).

en 1914 : à nouveau biplans et même triplans. Moteurs : Anzani ; Antoinette (8 cylindres en V).

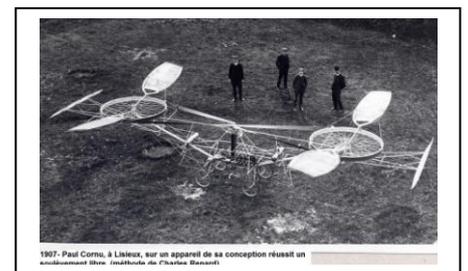
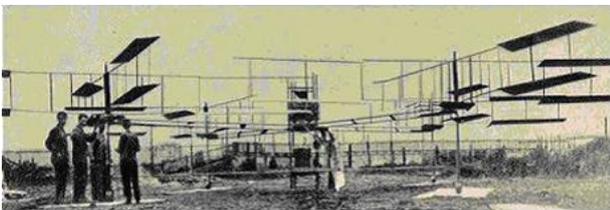
après 1909 : moteur rotatif Gnôme des frères Seguin avec au début 50 à 70 CV puis en 1914 : 200CV.

Après la guerre : 50 000 machines ; 190 000 ouvriers.

VOILURES TOURNANTES

13 / 11 / 1907 : 1° **HELICOPTERE** par **Paul CORNU** : moteurs Antoinette de 24 CV ; 280 kg à 30 cm de hauteur.

1908 : **BREGUET**



puis rien jusqu'en 1924 ...

PLANEURS

1904 à 1911 :

- aux USA : **MONTGOMERY** malgré la mort de son pilote **MALONEY** en 1905.

- en France : **FERBER** et **VOISIN** volent sur planeur Archdeacon;

tout est fait dans le but du vol motorisé.

- 1909 : gain d'altitude de 12 m.

- 1911 : gain d'altitude de 66 m et durée de 11 minutes par Orville **WHRIGHT**

Le vol à voile ne naîtra qu'après la guerre.

[retour au sommaire 5](#)

Chapitre 3 – 1914 - 1918

Au 4 / 8 / 1914 : France : 156 avions ; Allemagne : 258 avions ; G-B : 63 avions ; Russie : un petit nombre de gros porteurs, SIKORSKY quadrimoteurs.

Aucun avion n'était armé.

Leurs performances : 110 à 120 km/h (80 km/h pour les biplans), plafond le plus haut : 3000 m.

Intérêt de l'aviation :

- * observation des mouvements de troupes et emplacement de l'artillerie ennemie.
- * combat aérien en vol
- * effet psychologique de l'avion bombardant les villes ennemies; dès 1916, les bombardements de nuit remplacent ceux de jour.

Les pilotes :

* le 5 / 10 / 14 : 1° combat aérien de l'histoire : victoire des français **FRANTZ** et **QUENAULT**.



1° as français :

René FONCK avec 75 victoires

puis : **GUYNEMER** avec 54 victoires



tous 2 de l'escadrille des cigognes



As des As : l'allemand **Manfred VAN RICHTHOFFEN** dit « le baron rouge »

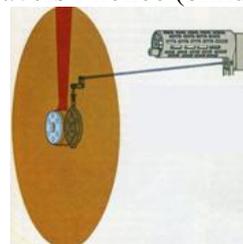
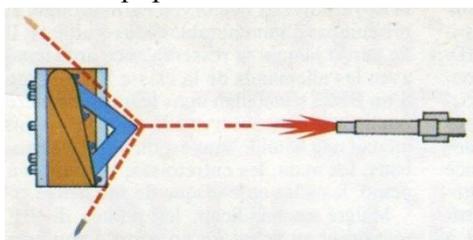


* 1° as français : **René FONCK** avec 75 victoires puis : **GUYNEMER** avec 54 victoires

* As des As : l'allemand **Manfred VAN RICHTHOFFEN** dit « le baron rouge ».

La chasse a lieu surtout après 1916.

1915 : **Roland GARROS** équipe son avion d'une mitrailleuse tirant à travers l'hélice (blindée).



FOKKER perfectionne le système par un dispositif de synchronisation du tir.

La création de la Division Aérienne amène beaucoup de succès français à partir de 1917.

Les nouveautés pendant la guerre :

* 1915 : l'avion de guerre entièrement métallique **JUNKER J1** (le tout 1° a été créé en 1912 : le **TUBAVION**)

Les premiers essais en vol.

* 1917 : le service des essais en vol est créé.

Mise au point en France du tir synchronisé par **ALKAN** et **GARROS**.

Les moteurs atteignent 350 et même 500 CV.

Création du compresseur par **RATEAU** : gain d'altitude

Durant la guerre, nombre de pilotes tués en vol : France : 5600 ; G-B : 7500 ; Allemagne : 11400.

[retour au sommaire 5](#)

Chapitre 4 – ENTRE DEUX GUERRES

L'industrie aéronautique est énorme, sans commune mesure avec les besoins civils, d'où : un développement industriel sur le travail aérien et le transport aérien.

Beaucoup de présentations publiques : cascades...

1919 :

* 1^o transport public international : Paris - Londres en Goliath FARMAN par BOSSOUTROT (interdit ensuite par le protectionnisme anglais)

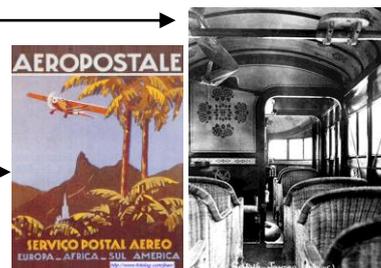
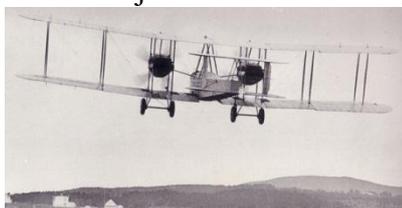
* LATECOERE inaugure la ligne postale : Toulouse - Casablanca. Pierre Latécoère crée une ligne dédiée au transport du courrier qui deviendra l'Aéropostale en 1924.

Didier Daurat est nommé directeur d'exploitation. Il en est le directeur technique et en fait le véritable patron des pilotes.

* Beaucoup de compagnies aériennes se créent entraînant la création à La Haye, le 28/8/1919 de l'IATA (International Air Traffic Association).

Epoque des grands raids :

* 14 et 15 juin 1919 : 1^o traversée de l'Atlantique nord par ALCOCK et BROWN sur Vickers Vimy.



* 1921 : Adrienne BOLLAND franchit la cordillère des Andes sur Caudron G3.

* 1922 : traversée de l'Atlantique sud en hydravion.

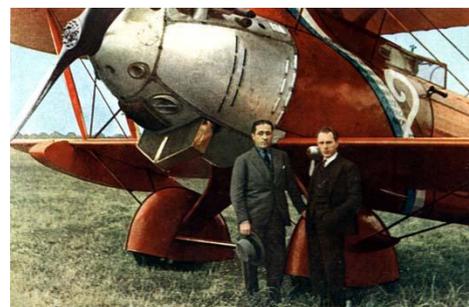
* 1923 : 1^o ravitaillement en vol.

* 1924 : 1^o tour du monde

* 1925 : 1^o liaison Natal - Rio de l'Aéropostale par MERMOZ.

* 8 mai 1927 : NUNGESSER et COLI tentent la traversée de l'Atlantique nord et se perdent en mer sur un biplan Levasseur baptisé « l'Oiseau Blanc ».

Caudron G.3



* 20 et 21 mai 1927 : LINDBERGH effectue New-York - Paris seul sur un monoplane Ryan à moteur Wright de 220 CV : « le Spirit of St Louis ». Il atterrit au Bourget le soir à 10h devant 200 000 spectateurs ; vol de 33h 30mn sur 6300 km.

Autres réseaux : France - Roumanie ; Paris - Berlin (Farman); Lufthansa;

Londres - Singapour (Imperial Airways); Bruxelles - Congo (Sabena).

L'infrastructure suit : aérodromes, liaisons télétypes entre aérodromes.

1928 : création du ministère de l'Air français

1929 : survol du pôle sud par BALCHEN.

1930 : Paris - New-York par COSTES et BELLONTE sur le « Point d'Interrogation ».

1932 : 1^o traversée de l'Atlantique Nord en solitaire par une femme : Amelia EARHARD.



sur Lockheed Vega 5B



1933 : Création d' **AIR FRANCE**.

Création officielle de l' **ARMÉE DE L'AIR** française.

Création de la FNA

Mise au point de l'hélice à calage variable par les USA

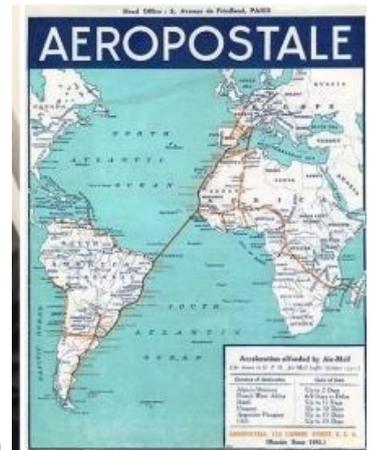
1° tour du monde en solitaire

1935 1er vol du DC3

1936 : **MERMOZ** disparaît avec l'équipage de « La Croix du Sud » (Laté 300).

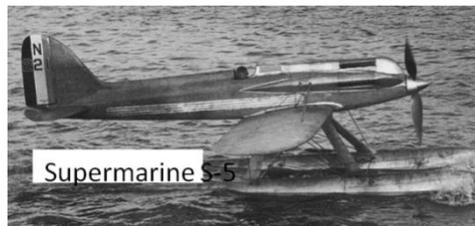


Laté 300 – Croix du Sud



1937 Bombardement massif de Guernica par les JU 87 Stuka et les Heinkel 111

Durant toutes ces années coupes et trophées avec des records de vitesse sur des avions tels que :



1935 : l'avion le plus célèbre, le **DOUGLAS DC3 "DAKOTA"**

1939 : 1° vol d'un avion à réaction : le **HEINKEL HE178**



DIRIGEABLES

Transport de masse par les **ZEPPELINS** : transports réguliers sur l'Atlantique Nord en 70 à 100h.

Abandonnés en 1937 après l'accident du **HINDENBURG**.

GYROPTERES

1923 : **Juan de la CIERVA** invente l'**AUTOGIRO**.



[retour au sommaire 5](#)

Chapitre 8 – 2ème GUERRE MONDIALE

Tout le matériel a été essayé en 1937 lors du bombardement de **GUERNICA** par les **JU 87 STUKA** lors de la guerre d'Espagne.

En France, le Front Populaire nationalise les constructeurs d'avions pour mieux les contrôler : Dewoitine, Bréguet, Potez...

Entre 41 et 45 aux USA : 260 000 avions dont 12 000 B17
 en Allemagne : 92 650 avions.

Les avions : **JU 87 Stuka** ;

Messerschmitt BF 109 ;

Fockewulf FW190



Spitfire MK 14

puis

Zéro ,

Mustang ,

Yak ,

Tempest...



Des noms : **Closterman**, as français auteur du « Grand Cirque » terminera la guerre sur Tempest avec 33 victoires,

Saint-Exupéry disparu en 44 sur Lightning.



10 mai 1940 – 22 juin 1940 : BATAILLE DE FRANCE

Les Dewoitine D520 ou les Curtiss Hawk américains ne peuvent rien contre les Messerschmitt Bf 109 E
 Le Blitzkrieg porte bien son nom: en mai-juin 1940, la France s'effondre!

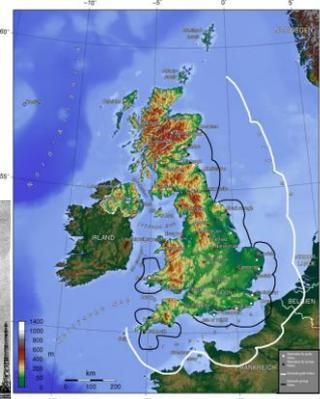
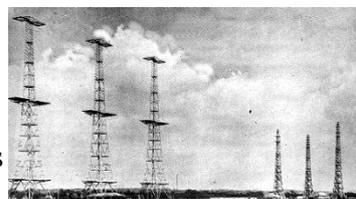
L'ARMISTICE EST SIGNE LE 22 JUIN 1940 !

Durant le mois de juillet 1940, la Luftwaffe tente vainement d'isoler la Grande Bretagne en coulant les convois de navires circulant dans la Manche.

08 juillet - 30 septembre 1940 : la BATAILLE D'ANGLETERRE :

3089 pilotes allemands tués; 446 alliés.

Les Messerschmitt Bf 109 des as allemands arriveront presque à détruire la RAF malgré un rayon d'action trop faible. Mais le renseignement allemand surestime les pertes anglaises et la couverture radar est un immense avantage.



Septembre 1940, nouveau changement d'objectif : les bombardiers allemands s'en prennent aux populations civiles de Londres, c'est le Blitz. Mais la population résiste et les chasseurs Hurricane et Spitfire infligent des très lourdes pertes à la Luftwaffe.



Malgré des bombardements qui dureront jusqu'en 1941 et de rudes combats au dessus de la Manche, la guerre se déplace sur le terrain méditerranéen.

L'Afrika Korps de Rommel est soutenu par des appareils allemands et italiens qui mènent la vie dure aux anglais.

Fin mai 1941, au prix de pertes terribles, les parachutistes allemands prennent seuls l'île de Crète.



L'été 1941 voit surtout **l'attaque de l'URSS** par les troupes allemandes (opération Barbarossa).

L'Armée Rouge et son aviation, dépassées, sont écrasées.

1942, année charnière de la Guerre. Bien aidés par les alliés qui leur fournissent du matériel, les Russes vont arrêter les Allemands à Stalingrad avec leurs propres chasseurs, utilisés jusqu'à la victoire de 1945 notamment par l'escadrille Normandie Niémen.



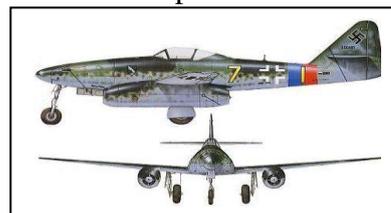
Au dessus de l'Allemagne, les bombardiers britanniques attaquent de nuit; le jour ce sont les B-17 et B-24 américains et leurs tapis de bombes qui prennent le relais. Ils sont accompagnés par les chasseurs d'escorte P-51 Mustang qui anéantiront les chasseurs allemands. A tel point qu'à la fin de la Guerre le danger viendra surtout de la Flak, la DCA allemande.

08/11/1942:

En Afrique du Nord les Alliés débarquent (opération Torch) et Rommel ne tardera pas à être vaincu.

Développements techniques : avions à réaction, avions à forte charge, à long rayon d'action, fusées V1 et V2 en 1942 (VON BRAUN), avions à moteur fusée.

1944 : 1^{er} avion à réaction engagé en combat aérien : le MESSERSCHMIDT « Me 262 ».



Les Allemands les lancent dans la bataille en trop petit nombre et de plus ils les utilisent comme bombardiers et non comme chasseurs.

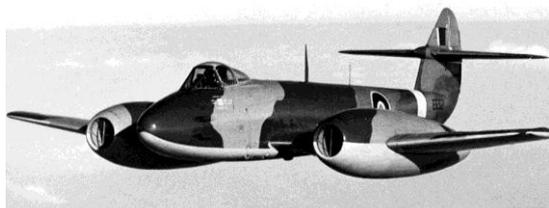
Le V1 est une bombe volante et le premier missile de croisière de l'histoire de l'aéronautique. Utilisée durant la Seconde Guerre mondiale, du 13 juin 1944 au 29 mars 1945 contre le Royaume-Uni, puis également contre la Belgique (pendant l'hiver 1944-1945), le V1 est remplacé plus tard par **le V2**.



Le 6 juin 1944 les parachutistes américains et britanniques sont les 1^{ers} à « débarquer » en Normandie.

1945 : création de la SNECMA.

1945 : GLOSTER METEOR. biréacteur anglais.



GUERRE DU PACIFIQUE

Dès l'été 1941, un groupe de pilotes américains commandés par Claire Lee Chennault, s'engage aux côtés des Chinois dans leur lutte contre le Japon: Les Tigres Volants!



07/12/1941 : PEARL HARBOUR (Aéronavale japonaise) : Entrée en guerre des USA
1942 : 1° vol du Boeing **B29** qui larguera les bombes de Hiroshima et Nagasaki.
En 1942, la bataille de Midway est une victoire pour l'aéronavale américaine.



Bientôt seuls les **Kamikaze** sont susceptibles de porter des coups aux navires américains.
Mais les combats restent durs et les USA sont pressés d'en finir et d'impressionner les Russes.

6 / 8 / 45 : A bord du bombardier B29 « Enola Gay » le pilote Paul Tibbets largue la 1^{ère} bombe atomique
« Little Boy » sur **HIROSHIMA**

9 / 8 / 45 : A bord du bombardier B29 « Bockscar », le pilote Charles Sweeney largue la 2^{ème} bombe
« Fat Man » sur **NAGASAKI**

Les deux bombes tuent environ 200 000 personnes. Le Japon capitule le 2 septembre mettant fin à une guerre terrible où l'avion s'est imposée comme l'arme n° 1!

1943 : Premier vol du Lockheed CONSTELLATION



[retour au sommaire 5](#)

Chapitre 6 – L'APRES 2ème GUERRE MONDIALE

24/07/1946 première utilisation expérimentale du siège éjectable Martin Baker par Bernard Lynch

Compétition entre les grands pays :

- 1 - avions de chasse supersoniques
- 2 - hélicoptères
- 3 - avions de transport à réaction
- 4 - espace

➤ (1) AVIONS DE CHASSE SUPERSONIQUES

6 / 11 / 45 : premier appontage d'un avion à réaction

14 / 10 / 47 : **Chuck YEAGER** passe le mur du son sur BELL X1 largué d'un B29.

En 1953 : Mach 2,43 (2640 km/h : mur de la chaleur) en Europe :

1949 : Grande Bretagne : John DERRY sur VAMPIRE



L'ensemble du siège Martin-Baker Mk 1 pesait environ 78 kg dont 64 étaient éjectés. Le parachute était derrière le dos du pilote, et un kit de survie sous ses fesses.



Vampire

France : 1° avion à réaction le SO 6000 « TRITON » (11/11/46)



SO6000 Triton

le MD-450 Dassault Ouragan sera le 1^{er} avion de chasse à réaction de conception française équipant l'Armée de l'air



Ouragan

passage du mur du son par **CARPENTIER** le 12/11/52 sur DASSAULT Mystère II (L'américain Marion DAVIS l'avait passé aussi sur Mystère II le 28/10/52) en palier le 17/01/1953 : Constantin ROZANOFF



Mystère II

1947-1955 : René LEDUC développe le statoréacteur (tuyère thermopropulsive) porté par un Languedoc (1er vol 21/04/1949)



Avions militaires Marcel DASSAULT :

	1° vol	moteur	vitesse max.	poids	type
OURAGAN	1949	Hispano Suiza Nene	940 km/h	7900 kg	chasseur
MYSTERE II	1952	Hispano Suiza Verdon	1120 km/h	7500 kg	chasseur
ETENDARD IV	1958	Snecma Atar	1099 km/h	10200 kg	chasseur embarqué
MIRAGE III	1956	id.	2230 km/h mach 2 en 1958	11800 kg	chasseur
MIRAGE IV	1959	id.	2340 km/h	31600 kg	bombardier
MIRAGE 2000	1978	Snecma M53 P2	2340 km/h	16500 kg	chasseur
RAFALE	1986	Snecma M88	2130 km/h	20000 kg	chasseur

- **Avion fusée X 15 :**
6104 km/h et 106 000 m d'altitude en 1963



LES AVIONS ESPIONS

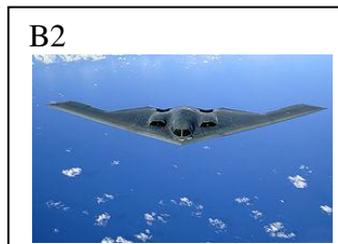


LOCKHEED U2

SR-71 BLACKBIRD mis en service en 1966, tri-sonique furtif, plafond 25900m, 1er vol en 1964; mais l'existence de cet appareil ne fut dévoilée qu'en 1970.

LOCKHEED F117 (1981) étudié dès le départ pour avoir la signature la plus réduite possible. Panama (89) guerre du Golfe(91) Kosovo (99) Irak en 2003. Retiré du service le 21 avril 2008. et le **NORTHROP B2** (1989) aile volante destinée à l'origine au bombardement de cibles soviétiques durant la guerre froide, il intervient en Serbie durant la guerre du Kosovo en 1999, puis en Afghanistan (2001), en Irak (2003), et en Libye (2011).

Le **F22 RAPTOR** mis en service en 2005 au départ créé pour remplacer F15 et F16



➤ (2) L'HELICOPTERE

- Les progrès après 1945 sont issus des travaux de René Dorand, Heinrich Focke ... et surtout **Igor SIKORSKY**.
- En France l'activité reprend avec le gyroplane Breguet de 1948 puis Paul Morain construit l'Ariel d'où sortira le **DJINN** (SO 1220) 1^{er} hélicoptère à réaction construit en série.
- L'AEROSPATIALE fut la première à monter sur un hélicoptère **ALOUETTE II** un moteur à turbine lui permettant d'obtenir le **record mondial d'altitude** :
Le 6 juin 1955 Jean BOULET à bord de l'Alouette II bat le record du monde de hauteur atteignant 8209 m et surpassant le Djinn (4 789m)
- Puis l'ALOUETTE III (premier vol le 28 février 1959) se posera en novembre 1960 avec 2 pilotes et 250 kg de matériel dans l'Himalaya à 6005 m d'altitude . Le 13 juin 1955, Jean Boulet atteint 10 984 m sur Alouette III équipée d'une turbine Turboméca Artouste.
- avril 1991: 1er vol de l'hélicoptère de combat européen **TIGRE**
- Aux Etats-Unis de nombreuses firmes sont en compétition :
BELL : le 6 juin 1955 Jean Moine se pose et redécollé du Mont-Blanc avec un BELL 47;
CESSNA (SKYHOOK), **HUGUES**, **PIASECKI** ,
VERTOL (banane volante, chinook) **SIKORSKY**.
- Recherches sur l'**ADAV** (Appareil à Décollage et Atterrissage Vertical, ex VTOL)
Après 1962 les anglais sortent le Hawker Harrier P 1127, 1er chasseur à décollage vertical, 1er vol 1966, mis en service 1969



➤ (3) L'AVIATION COMMERCIALE

1945 L'IATA (International Air Transport Association) est créée (siège à Montréal) Transports intercontinentaux réguliers en Superconstellation. 1943 – 1990; 856 exemplaires; Autonomie : 8 000 km; Vitesse : 600 km/h; 80 à 102 passagers
Le 1^{er} avion de ligne à réaction est le **DH 106 DE HAVILLAND « COMET »** (1^{er} vol 27 juillet 1949, mis en ligne le 2 mai 1952) mais accidents catastrophiques de pressurisation puis TUPOLEV 104, BOEING 707 (1954), BOEING 747 (1969)

Le transport régulier prend son essor à partir de 1955

- Sud-Aviation sort en 1955 le SE 210 « **CARAVELLE** » célèbre pour ses deux réacteurs placés à l'arrière amenant ainsi un plus grand confort pour les passagers (reine du secteur moyen courrier)



Comet De Havilland



Caravelle

- Boeing s'intéresse aux avions de ligne à réaction à partir de 1950 et sort le **BOEING 707** ; le 1^{er} de série vole le 20 décembre 1957 et révolutionne le secteur long courrier.
- Le record des ventes sera néanmoins battu par le **B 737** lancé en 1965 (3050 vendus)
- En 1969 Boeing fait voler le 747 et ouvre l'ère des paquebots volants.
- **1^{er} février 1969 : 1^o vol d'un avion supersonique CONCORDE** (F-GB) piloté par André TURCAT: mise en service en 1974, boycotté par les USA. Seules 2 compagnies l'exploitent: Air France et British Airways. Arrêté en 2000
- Avions cargos : Lockheed C5A « GALAXY » militaire (1968), ANTONOV AN-225 (1988) le plus gros avion du monde, « SUPER GUPPY » utilisé par Airbus à partir des années 70, l'**A-320**, le premier appareil civil à commandes électriques. 1987 (1988) 12 390 exemplaires commandés; Autonomie : 6 000 à 11 000 km; 107-220 passagers



Concorde



Super Guppy



- il existe aussi des avions plus légers comme les **ATR 42 -72**.

➤ (4) L'AVIATION D'AFFAIRES

Née juste après la guerre :

- en 1946 Marcel Bloch (Dassault) présente son 1^{er} avion quadriplace à hélices le MD 500 puis en 1948 le MD 312
- Morane-Saulnier présente le 1^{er} jet d'affaires en 1954 : le « Paris » biréacteur (1^{er} vol en 1954)
- Beechcraft sort en 1963 le « King Air 90 »
- Dassault : le 4 mai 1963 piloté par René BIGAND le Mystère 20 rebaptisé Falcon 20



FAITS NOTABLES

En 1967 le prototype du **CANADAIR CL 215 Pelican** (Canada) effectue son 1^{er} vol C'est le plus célèbre des avions de lutte contre les incendies il sera utilisé la 1^{ère} fois en juin 1969

[retour au sommaire 5](#)

La course aux performances n'est plus d'actualité; Mach 2 est le standard maximal opérationnel dans l'aviation militaire.

Par contre c'est maintenant la recherche de la fiabilité et de l'optimisation des matériels; les propulseurs consomment moins, la pollution et le bruit diminuent. L'électronique envahit tous les systèmes.

La coopération internationale devient courante : les consortiums et les fusions se multiplient et la concurrence est de plus en plus sévère.

L'aviation légère et sportive connaît un renouveau avec l'apparition des ULM.

Avec l'Europe, l'aviation civile se réorganise avec de nouvelles réglementations.

Après la course à l'espace des années 60, c'est l'heure de son exploitation avec le développement de la recherche scientifique et ses applications civiles ou militaires : télécommunications, surveillance écologique et météorologique, espionnage...

Les lanceurs spatiaux européens et japonais viennent concurrencer leurs aînés américains et soviétiques dans la mise en orbite de satellites artificiels.

Au cours de la première moitié du XX^e siècle, la construction aéronautique était répartie dans l'ensemble du monde industrialisé. La Première Guerre mondiale vit la production alors artisanale d'aéronefs devenir une véritable industrie.

En 1918, la France possède alors la première industrie aéronautique au monde.

A partir des années 1920/1930, prédominance des États-Unis dans la construction d'avions civils

Au début des années 1940 le complexe militaro-industriel des États-Unis se développe rapidement et surpasse ses rivaux.

De la fin de la Seconde Guerre mondiale aux années 1980, l'industrie aéronautique civile et militaire est dominée par les États-Unis, (quelques fois dépassé dans ce dernier domaine par l'URSS dans le cadre d'une course à l'armement)

La France, avec les appareils de Dassault est dans le peloton de tête.

Au niveau civil, l'Europe réussit plusieurs innovations :

Le Comet du britannique De Havilland sera le premier avion civil à réacteurs;

la Caravelle, de Sud-Aviation, inaugure un nouvel emplacement pour les réacteurs ;

Le Concorde, premier transporteur civil volant à Mach 2 lancé par la France et le Royaume-Uni.

L'Europe réussit ensuite à partir des années 1980, *via* Airbus fondé au début des années 1970, à établir une concurrence efficace dans le domaine du transport civil et être à égalité ou surpassant Boeing depuis les années 1990 dans le domaine des avions de ligne.

À la fin des années 2000 et début des années 2010, en moyenne il se construit dans le monde pour l'aviation commerciale et d'affaire environ 1500 avions de plus de 100 places, 1000 avions à vocation régionale et 1000 jets d'affaire.

Le regroupement des industriels de l'aéronautique

L'importance des investissements et la longueur des cycles nécessaires pour développer un nouvel appareil ont précipité le regroupement des industriels à travers des rachats et fusions.

- En France il ne subsiste que deux constructeurs de cellules :
 - Aerospatiale absorbé depuis 2000 par European Aeronautic Defence and Space Company
 - Dassault : unique producteur d'avions de combat français
- un constructeur de moteurs : SNECMA
- un équipementier majeur : Thales.
- Au Royaume-Uni restent un constructeur, British Aerospace et un motoriste, Rolls-Royce
- En Allemagne, un constructeur, la DASA (Deutsche Aerospace AG) issue de la fusion de Messerschmitt, Bölkow et Dornier forme le second pilier d'EADS.

EADS, European Aeronautic Defence and Space Company, rassemble depuis 2000 les activités d'Aerospatiale, DASA et CASA et se classe parmi les 2 grands constructeurs mondiaux avec Boeing.

- Aux États-Unis, en 1940, il y avait 17 constructeurs dans l'aéronautique militaire américaine, depuis la fin du XX^e siècle, ils n'étaient plus que trois pour les cellules: Boeing, Northrop Grumman, et Lockheed Martin, un pour les équipements Rockwell Collins, deux pour les moteurs United Technologies et General Electric.

En parallèle à ces restructurations, de nouveaux constructeurs émergent dans les pays industrialisés : en Chine avec Comac,

en Amérique du Sud avec Embraer au Brésil.

En Russie, l'OAK (Compagnie aéronautique unifiée) est créée en février 2006, rassemblant les principales unités de constructions civiles et militaires: Soukhoï, MiG, Iliouchine, Tupolev, Yakovlev, Beriev, Irkout.

Enfin, le Japon se lance également avec Mitsubishi Heavy Industries, Kawasaki Heavy Industries qui développent un projet de biréacteur.

Dans le domaine des **hélicoptères**, le groupe **EUROCOPTER** est au début du XXI^e siècle le premier fabricant d'hélicoptères civil au monde? loin devant ses premiers compétiteurs Bell, Agusta, Boeing et Sikorsky.

Il a été créé en 1992 à partir de la fusion des divisions hélicoptères du français Aérospatiale Matra et de l'allemand DaimlerChrysler Aerospace AG (DASA).

Les constructeurs américains sont leaders dans le domaine militaire

➤ L'AVIATION MILITAIRE

Coopération industrielle :

- Dassault-Bréguet et British Aircraft Corporation ont créé en 1966 la société SEPECAT pour construire le « **JAGUAR** » dont le 1^{er} exemplaire est livré en 1972.
- Messerschmitt-Bolkow-Blohm, Aeritalia et British Aircraft construisent l'avion de chasse à géométrie variable « **TORNADO** » : 1^{er} vol en 1974.

La génération 70-80 connaît une évolution permanente durant 30 ans avec des équipements renouvelés utilisant de plus en plus l'électronique. Voir sans être vu : la priorité est d'obtenir des appareils furtifs mais aussi d'augmenter la manœuvrabilité et la performance des systèmes d'armes avec des missiles de plus en plus sophistiqués

- Le DASSAULT « **MIRAGE 2000** » est le 1^{er} avion de combat équipé de commandes électriques de vol, de systèmes d'arme et de navigation avancés ; il effectue son 1^{er} vol le 10 mars 1978, c'est un monoréacteur Snecma M53
- Dassault fait ensuite voler le « **RAFALE** » le 4 juillet 1986 (pilote : Guy Mitaux-Maurouard) bi-réacteurs Snecma M88 destiné à remplacer les Super Etendard de l'Aéronavale Française : cellule essentiellement en composites
- Toujours en 1986, la Grande Bretagne, l'Espagne et l'Italie créent le consortium **EUROFIGHTER** chargé d'étudier et de construire le **TYPHOON**, grand rival du point de vue économique du Rafale car choisi par les principaux pays européens

L'effondrement du bloc soviétique en 1989 surprend les occidentaux; les conflits se multiplient, Les recherches se développent tous azimuts pour prévenir toute éventualité : hypermanœuvrabilité des appareils, furtivité, polyvalence des aéronefs, développements des moyens de renseignements aériens :

- les drones ...
- Lockheed F117 « Night-Hawk » (1983) avion furtif non supersonique utilisé pendant la guerre du Golfe en 1991 et en Yougoslavie en 1998
- Northrop B2 bombardier furtif (1989)

L'aéronautique navale :

- Les Etats-Unis détiennent la suprématie avec 12 porte-avions géants polyvalents et la plus puissante flotte aérienne embarquée
- La Russie a du mal à maintenir ses deux porte-avions qu'elle hérite de l'ex-URSS : elle doit adapter ses Mig 29 à la marine
- La France se situe au 3^{ème} rang avec d'abord le porte-avions Clémenceau puis le Charles De Gaulle
- L'Angleterre n'a que des porte-aéronefs légers sans catapulte

L'Armée de l'Air française :

Le Jaguar et l'Alpha jet remplacent progressivement en 1972 le Mystère IV et le Fouga Magister. Durant les années 80, la France se lance dans un programme de modernisation : Rafale, hélicoptères de combat, missiles air-air, air-sol et sol-air

- Le consortium franco-allemand AEROSPATIALE et DEUTSCHE AEROSPACE « EUROCOPTER » est créé et développe le « TIGRE » : 1^{er} vol : avril 91

Aux USA

- Lockheed F117 « Night-Hawk » (1983) avion furtif non supersonique utilisé pendant la guerre du Golfe en 1991 et en Yougoslavie en 1998 ;
- Northrop B2 bombardier furtif (1989)

Les très gros porteurs :

« SUPER GUPPY , Mac Donnell-Douglas C17 « GLOBMASTER 3 » militaire (1991)

➤ L'AVIATION COMMERCIALE

Les années 70 marquent le début d'une nouvelle ère pour l'aviation commerciale ;

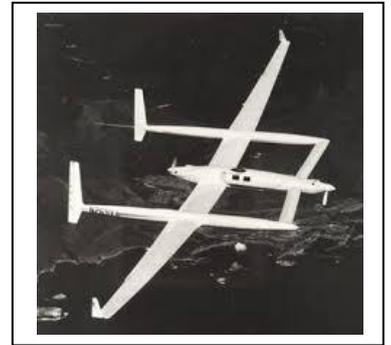
- C'est la mise en exploitation du supersonique Concorde qui sera un échec commercial mais une réussite technologique fabuleuse
- Avec le 747 né en 69, Boeing démocratise le transport aérien et assure sa suprématie
- En 1970 est fondé le consortium européen AIRBUS
- En 1972 : Airbus sort l'A 300 avec turbofans qui détrône le Mercure
- Le 22 février 1987 : sortie de l'AIRBUS A320 ; 1^{er} à commande électrique et 1^{er} né d'une nouvelle gamme d'appareils
- Boeing sort en 1988 le B 747-400 qui peut transporter jusqu'à 568 passagers sur 13000 km
- Le 25 octobre 1991 L'AIRBUS A340 effectue son 1^{er} vol.
- Le BELOUGA (à partir d'un A320) remplacera le Super Guppy chez Airbus à partir de 1996.
- En 1998 le Boeing B-777 , 1^{er} Boeing à commandes électriques est censé prendre la relève des 747 et concurrencer l'A 340
- 27 avril 2005 - : premier vol de l'AIRBUS A380
- 16 novembre 2004 : le X-43 de la NASA atteint la vitesse de Mach 10
- 25 juillet 2000 : Le CONCORDE d'Air France F-BTSC s'écrase peu après le décollage.
- 2003 : Fin des vols commerciaux du CONCORDE
- 11 septembre 2001 : Attaque terroriste contre New York et Washington

➤ L'AVIATION D'AFFAIRES

- **DASSAULT FALCON** confirme sa suprématie dans l'aviation d'affaires haut de gamme: le le Falcon 7 X qui a volé en 2005 suivi du Falcon 5X puis en 2015 le Falcon 8X
- mais est concurrencé par **BOMBARDIER** et **EMBRAER** (Empresa Brasilia Aeronautic) ,
- La SOCATO lance en 1988 le **TBM 700** : 1^{er} monomoteur à turbopropulseur pressurisé

➤ AUTRES EVENEMENTS

- en 1986 : **1^o vol autour du monde sans escale** : Dick RUTAN et Jeanna YEAGER sur un avion de Burt RUTAN : **VOYAGER** ; 41 000 km en 9 jours
- 20 mars 1999 : **Le premier tour du monde sans escale en ballon** est bouclé par le Breitling Orbiter III de **Bertrand PICCARD**.



Des avions sans carburant

- Avions à propulsion musculaire : Daedalus (1988)
- Avions électriques
- Avions solaires : Solar Impulse (2009)



L'avion à pédale
Daedalus (1988)



L'avion solaire
Solar Impulse (2009)



L'ULM électrique
MC30E (2011)



Concept E-Fan
par Airbus (2016)

10 juillet 2015: 1ère traversée de la Manche par l'avion électrique Airbus E-Fan ((1er vol en 2014)
mars . juillet 2016 : premier tour du monde en avion solaire, le Solar Impulse piloté par Bertrand Piccard et André Borschberg,

Premier homme à franchir le mur du son

le 14 octobre 2012 : **Felix Baumgartner**
parachutiste et sauteur extrême autrichien.

Lors de son saut 3 records :

- en chute libre, la vitesse a été estimée à 1 342,8 km/h soit Mach 1,24 à l'altitude considérée (la vitesse du son dépend de la température de l'air, et valait 1 083 km/h au lieu de 1 248 km/h à 25 °C à la pression atmosphérique normale),
- Record du saut le plus haut (38 969,3 m).
- Record de l'altitude la plus élevée jamais atteinte par un homme en ballon.



Traversée de la manche en aile à réaction.

Le 26 septembre 2008 à 14h19, **Yves Rossy** (Airman, Jetman, Rocketman, Fusionman) a réussi la traversée de la Manche avec son aile à réaction 99 ans après celle de Louis Blériot. Largué depuis un avion Pilatus piloté par Jean-Marc Colomb au-dessus de Calais, il a plongé de plusieurs centaines de mètres à près de 300 km/h avant de stabiliser son aile et de diriger à environ 200 km/h vers la côte anglaise pour rejoindre un champ près de Douvres, après un peu moins de dix minutes (9 minutes et 7 secondes) de vol.



[retour au sommaire 5](#)

Chapitre 8 – L'ESPACE avant 1970 (guerre froide)

→ Les précurseurs :

Constantin Tsiolkovsky (1857/1935) découvre dès 1883, que les fusées peuvent se propulser dans le vide par réaction et met au point la fusée à propergols liquides.

R.H. Goddard lance en 1926 la première fusée à propergols liquides (12m d'altitude, 56m à 96 km/h). Goddard est le père de l'aéronautique américaine.

Werner Von Braun (1912/1977) fusées V1 (1940), V2 (1942) en Allemagne; père du programme spatial américain. Après guerre les motoristes allemands sont partis en URSS, les aérodynamiciens et seulement Von Braun aux USA, d'où l'avance russe dans la conquête spatiale.



lancement aux USA d'une fusée V2 par Von Braun



Von Braun devant Saturn V

→ premiers succès

EN URSS

4 / 10 / 57 : Spoutnik 1

1er satellite artificiel : (83kg)

3 / 11 / 57 : Spoutnik 2

avec la chienne Laïka

1959 : Pour l'URSS, objectif Lune

avec **Sergueï Korolev**;

premières images de la face cachée de la lune

1966 : Mort de Sergueï Korolev

12 avril 61 :

Youri Gagarine est le premier homme en orbite autour de la terre à bord de Vostok 1 (3 tours en 108 min)

1963 : 1° femme dans l'espace : **Valentina Tereshkova**

1964 1er vol vaisseau multiplace VOSKHOD 2

18 mars 1965 : **Alexis Léonov** devient le premier piéton de l'espace (emporté par Vostok 2)

1966 : Luna 9 se pose sur la lune (Océan des tempêtes) et Luna 10 est le 1er satellite artificiel de la lune



AUX USA :

1958 : Explorer; 1er satellite

Création de la NASA

1960 : 1er satellite du soleil: **Pioneer 5**

1er satellite météorologique : **Tiros 1**

JF Kennedy : « Avant 70, un homme sur la lune ! »

CONQUÊTE DE LA LUNE : La NASA lance :

* le plan Mercury : 1 homme à bord

5 / 5 / 61 : Alan Sheppard (vol balistique)

21 / 7 / 61 : V. Grissom ()

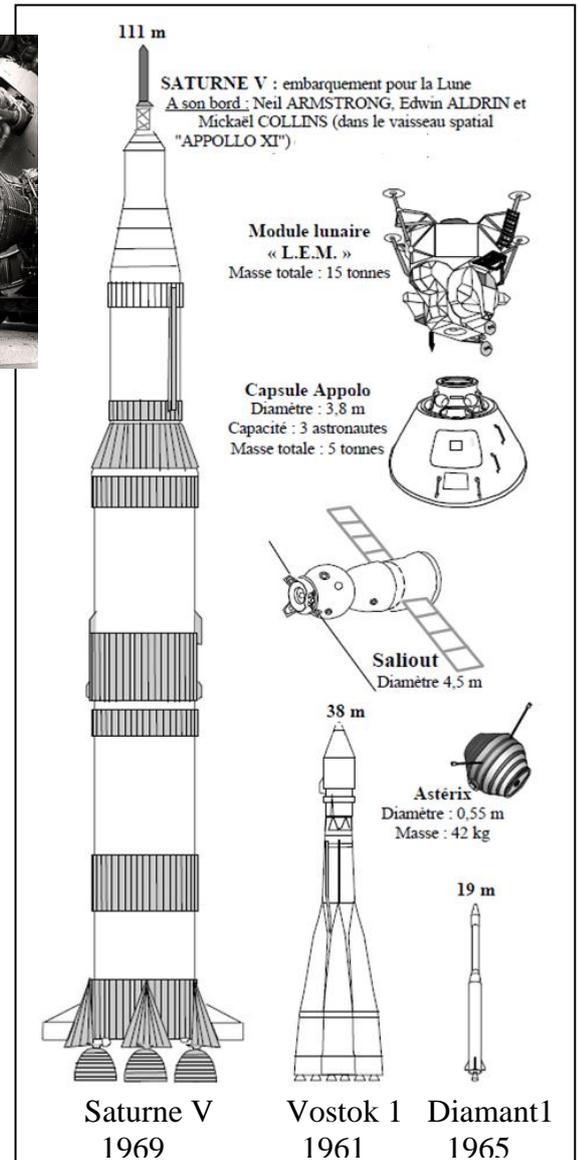
20 / 2 / 62 : **John Glenn** : 3,5 tours autour de la terre

* le plan Gémini : 2 hommes à bord

vols de 1,2,3 jours

3 juin 1965 : 1ère sortie dans l'espace d'un américain : **E. White**

décembre 1965 : **1er rendez-vous spatial** : Gemini 7 rejoint Gemini 6



cela paraissait utopique au vu des dimensions du plus petit ordinateur de l'époque

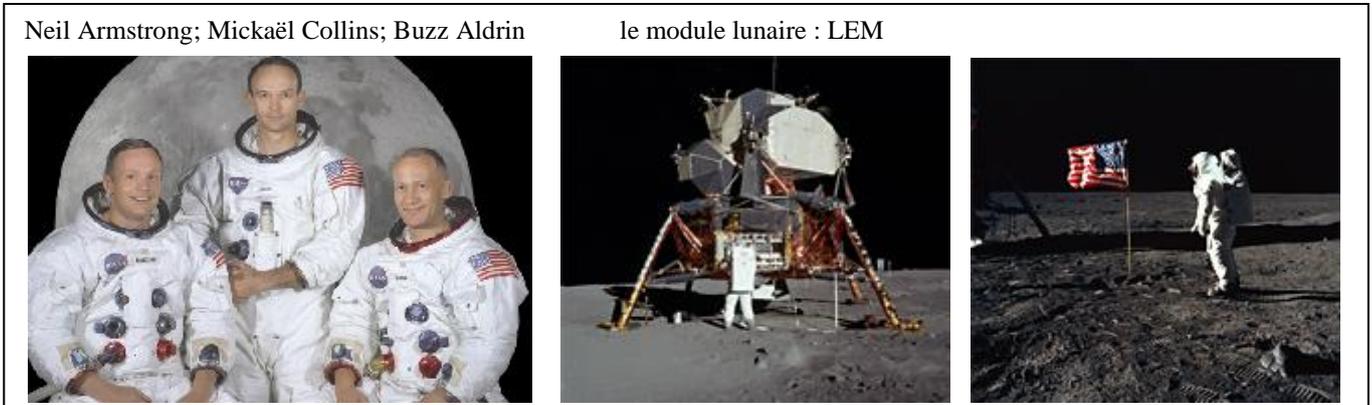


* le plan Apollo (Lune) : avec la fusée **SATURNE V**

1967 : Apollo 1 explose sur le pas de tir

28/12/68 : Apollo 8 : 1er satellite habité de la lune : Anders, Borman, Lowel

21 / 7 / 69 : Neil **ARMSTRONG** , avec **APOLLO 11** lancé par une fusée **SATURNE V**, est le 1er homme à se poser (LEM) et à marcher sur la Lune (avec Aldrin, Collins étant resté dans la fusée).



Apollo 13 : explosion : les astronautes se réfugient dans le LEM

7 / 12 / 72 : Apollo 17 : le dernier

En tout 12 américains ont marché sur la Lune

Satellites :

10/07/1962 1er satellite de télécommunications **TELSTAR**

1962 : US Mariner 2 transmet les premières informations sur Vénus

1963 : 1er satellite géostationnaire **SYNCOM 2**

1965 : 1ères photos de Mars (US **MARINER 4**)

EN FRANCE :

précurseurs : 1865 : « De la Terre à la Lune » (J.Verne) -

1930 : « L'Astronautique » (R.Esnault-Pelterie)

1950 : 1^o fusée française : **Véronique**

Premiers passagers français : 1961 : un rat Hector ; 1963 : un chat Félicette

1961 : Création du CNES

La France devient la 3ème puissance spatiale

26 novembre 1965 : 1er satellite français **ASTERIX** lancé par une fusée **DIAMANT** de la base d'Hammaguir

30 / 11 / 68 : **Europa** (F-D-I) : **échec** du à la liaison entre les étages

10 / 3 / 70 : Diamant B

AU JAPON

11 février 1970 : 1er lancement d'un satellite par le Japon sur leur fusée Lambda Le Japon devient la 4ème puissance spatiale

[retour au sommaire 5](#)

Chapitre 9 – L'ESPACE après 1970

→ **De très nombreux satellites et sondes** sont lancés, ainsi :

1971 : 1er satellite de Mars

1973 : survol de Jupiter (PIONEER 10)

1974 : 1ères photos de Mercure (MARINER 10)

1975 : Venera 9 (URSS) 1er satellite de Vénus

1976 : Sondes VICKING sur Mars

1978 : 1er des 24 satellites du système américain GPS (Global Position System) NASTAR

1979 : Images de Saturne (Pioneer 11)

1989 US VOYAGER 2 explore Neptune

→ **EN FRANCE et EUROPE :**

Astronautes français :

J-L Chrétien (1982 Saliout7 URSS) - **P. Baudry** (1985 navette Discovery USA) -

JP Haigneré (1993 et 1999 station Mir URSS)...

1ère femme : **Claudie Haigneré** (née André-Deshays, en 1996: Mir puis en 2001: ISS)

Satellites :

Météosat : météo; Spot : observation terrestre; Iso : observation astronomique;

Helios : observation militaire; Entelsat II : telecom

30 mai 1975 : création de **l'agence spatiale européenne** (E.S.A.)

→ **E.S.A. ou A.S.E.**

L'Agence spatiale européenne compte vingt-deux états membres (depuis l'adhésion de la Hongrie, le 24 février 2015) qui mettent en commun leurs ressources pour développer les lanceurs, les véhicules spatiaux et les installations sol dont l'Europe a besoin pour être autonome dans le domaine spatial.

- Observation de la Terre premier poste de dépenses pour l'ESA
- Le programme Galileo de positionnement par satellite représente en 2015 le deuxième poste de dépenses
- Lanceurs européens Ariane

24 décembre 1979 : La première version, **Ariane 1**, effectue son vol inaugural depuis la base de Kourou (Guyane française). Elle est rapidement remplacée par des versions plus puissantes, Ariane 2, Ariane 3 et Ariane 4 qui effectuent leur premier vol respectivement en 1986, 1984 et 1988. Pour faire face à l'augmentation de la masse des satellites, le lanceur est complètement refondu, donnant naissance à la version Ariane 5 capable de placer près de 9,5 tonnes en orbite de transfert géostationnaire. Son premier vol a eu lieu en 1996.

Ariane 5 : beaucoup plus puissante , étage principal à ergol liquide

- Observation du soleil
- sondes et orbiteurs
Huygens / Cassini;
Vénus express;
Rosetta / Philae;
Mars express;
BepiColombo (Mercure avec le Japon)

Participation à l'ISS : **laboratoire européen Columbus**; **cargo de ravitaillement ATV**; bras télémanipulateur européen.

- **Spacelab** a constitué la contribution européenne au programme de la navette spatiale; c'est un laboratoire spatial modulaire utilisé durant certaines des missions de la navette spatiale américaine pour réaliser des missions de microgravité ou faire fonctionner des instruments dans le vide. Il comprenait plusieurs types de composants qui étaient installés dans la soute cargo de la navette spatiale. Le principal composant était un module pressurisé qui permettait aux astronautes scientifiques de mener des expériences.



Vues artistiques de l'ATV "Jules Verne" de l'ESA sous différents angles. Il est entré en service le 9 mars 2008. Documents CNES et [ESA](#)

→ Vaisseaux spatiaux

URSS : programme **Soyouz véhicule spatial habité, soviétique puis russe**, destiné à la desserte des stations Saliout, Mir et de la Station spatiale internationale : Le vaisseau Soyouz est, depuis 1967, le seul véhicule spatial utilisé par l'astronautique soviétique et russe pour placer en orbite ses cosmonautes.

1975 : **1er arrimage russo-américain** Apollo Soyouz décidé en 72
à partir de 75, on va vers les stations spatiales habitées.

→ Navettes spatiales

USA : Six **navettes** ont été conçues depuis 1976 :

Enterprise (77, jamais allé dans l'espace),

Columbia (12 avril 81, désintégrée en 2003 lors de sa rentrée dans l'atmosphère),

Challenger (83 désintégrée au décollage en 86),

Discovery (1979 à 2011), Atlantis(1985 à 2011) et Endeavour (1992 à 2011).

DANS LE FUTUR : vaisseau spatial ORION

URSS : 15 novembre 1988 1er et unique vol de la navette spatiale Bourane

→ Stations spatiales orbitales

- **SALIOUT 1** par l'**URSS** : 19/04/1971 Première station habitée : Jusqu'en 1991, sept stations SALIOUT se succéderont
- **SKYLAB**; par les **USA** : 14/05/1973 (désintégrée en 79) :
- **MIR** par l'**URSS** : En 1986 débute la construction de la station modulaire Mir. Elle comporte en particulier, installé en 95, un module d'arrimage de la navette américaine; la station est ravitaillée 6 à 7 fois par an par un Cargo Progress et la relève des hommes est effectuée par un vaisseau Soyouz ; record de durée : plus d'un an dans l'espace, importance du point de vue médical; l'ensemble est une masse de 127,6 tonnes. Elle tiendra jusqu'en 1999 et sera volontairement détruite par rentrée contrôlée dans l'atmosphère.

- **ISS, Station Spatiale Internationale :**

début de construction : 20 novembre 1998

évolue à 400km d'altitude; construite et assemblée conjointement par : Etats-Unis, Canada, Russie, Japon, France et 8 pays européens regroupés au sein de l'agence spatiale européenne ESA. 110 mètres d'envergure et 400 tonnes de modules-laboratoires (américains et russes, mais aussi européens et japonais), des panneaux solaires immenses, des vaisseaux et des cargos de fret amarrés aux sas... Un équipage permanent de six hommes et femmes vit et travaille à bord, en orbite à 400 kilomètres au-dessus de la Terre, relevé régulièrement, par groupe de trois. Plus de 200 astronautes se sont succédés là-haut.

laboratoire pour les sciences de la vie et de la matière, observation de la Terre, sciences de l'univers et recherches technologiques; un français, Thomas Pesquet décollera, cap sur l'ISS, le 15 novembre 2016, avec une Américaine et un Russe, à bord d'un vaisseau Soyouz depuis la base de Baïkonour, au Kazakhstan.

Pour placer en orbite les composants de la station, mais également assurer le ravitaillement et rehausser l'orbite régulièrement dégradée par la traînée atmosphérique, plusieurs vaisseaux spatiaux se relaient : ATV européens(2008 2014), les cargos Progress russes, le HTV japonais(depuis 2009), après le retrait de la navette spatiale, la NASA a lancé le programme COTS qui confie à des acteurs privés le développement et le lancement de vaisseaux-cargos qui sont en service depuis 2012:

- le Cygnus de la société Orbital Sciences
- le Dragon de la société SpaceX

Le vaisseau russe Soyouz assure de manière exclusive la relève des équipages depuis l'arrêt de la navette spatiale américaine. La construction de la station doit s'achever en 2017. Elle devrait être utilisée au moins jusqu'en 2024.

→ autres faits

1990 Mise en orbite du télescope spatial **Hubble**

Nombreuses sondes envoyées comme Galileo partie en 1989 à destination de Jupiter ou Cassini-Huygens lancée en 1997 pour Saturne. D'autres missions furent aussi lancées plus récemment comme Mars Express en 2003, Venus Express en 2005 ou New Horizons en 2006.

Le plus lointain corps céleste visité à ce jour est Pluton, à proximité duquel est passée la sonde New Horizons en juillet 2015. Toutefois, compte tenu de la déclassification de Pluton en 2006, on peut dire que toutes les planètes du système solaire avaient été visitées depuis 1989, suite au survol de Neptune par la sonde Voyager 2. Cependant, de nombreux objets transneptuniens et autres astéroïdes restent à explorer, et les sondes Voyager commencent tout juste à toucher aux confins de l'héliopause.

2013 : Lancé en 1977 par la NASA, la sonde **Voyager 1 est sortie du système solaire**

12 novembre 2014 : Premier robot posé sur une comète, l'atterrisseur **Philae** déposé par la sonde spatiale européenne **Rosetta** sur la comète 67P Churyumov-Gerasimenko

→ **La Chine (avril 1970)** devient à son tour une puissance spatiale puis le **Canada** .

Chine : 15 octobre 2003: Yang Liwei premier taïkonaute (astronaute) envoyé dans l'espace par la Chine à bord du vaisseau Shenzhou 5 lancé par la fusée "Longue Marche"

→ TOURISME SPATIAL

4 octobre 2004 : Premier vol spatial privé réalisé par "**Space Ship One**" avec un vol à 100,095 km d'altitude

Le tourisme spatial s'est d'abord développé à l'initiative des responsables du programme spatial russe, à la recherche de sources de financement suite à la crise économique qui a touché leur pays dans les années 1990. Sept personnes ont pu ainsi effectuer un séjour de quelques jours dans la station spatiale internationale entre 2001 et 2009 en déboursant entre 20 et 35 millions de dollars.

L'expression « tourisme spatial » a été inventée par les journalistes américains, après la réussite du vol suborbital de SpaceShipOne.

Ce vol effectué dans le cadre d'un concours l'Ansari X Prize était destiné à prouver que le grand public pouvait avoir accès à l'espace.

Les concurrents devaient concevoir un engin capable de monter jusqu'à une altitude de 100 km (de manière conventionnelle limite inférieure de l'espace) à deux reprises dans un délai maximum de 15 jours. Paul Allen, le riche co-fondateur de Microsoft, sponsorisa l'ingénieur Burt Rutan, patron de la société Scaled Composites. Le pilote d'essai Brian Binnie réussit les deux vols consécutifs et fit remporter à sa société les 10 millions de dollars.

Les Américains Elon Musk, à la tête de Space X, Jeff Bezos et sa société Blue Origin, ou encore le britannique Richard Branson, dirigeant de Virgin Galactic, sont les acteurs les plus emblématiques du New Space. Ce mouvement regroupe aujourd'hui plus de 1000 entreprises, de taille plus ou moins importante, principalement implantées aux Etats-Unis. Leur but : démocratiser l'accès à l'espace et investir dans ce nouvel eldorado.

Un aéroport dédié à cette activité et situé à Las Cruces dans le désert du Nouveau Mexique est construit pour un coût de 250 millions de dollars et est inauguré le 17 octobre 2011.

→ Conclusion :

Le nouveau défi : quitter l'orbite terrestre pour des missions d'exploration lointaine, à bord du vaisseau Orion sur lequel travaillent conjointement la NASA et l'ESA?

Vers la Lune, vers un astéroïde ?

En fait, tous ont Mars dans la tête : poser un jour le pied sur la planète rouge.

[retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)