



Vols de rêve et rêves de vol



COURS DE PREPARATION AU BIA



JACQUELINE ET LOUIS PEÑA
2021

SOMMAIRE GENERAL

INTRODUCTION AU COURS

ANNEXE : Programme BIA

PARTIE 1 : Météorologie et Aérologie ;

PARTIE 2 : Aérodynamique, aérostatique et principes du vol ;

PARTIE 3 : Etude des aéronefs et des engins spatiaux ;

PARTIE 4 : Navigation, réglementation, sécurité des vols, facteurs humains ;

PARTIE 5 : Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial

ANNEXE : Préparation d'une navigation

A noter que, dans ce cours, le texte surligné en **gris** est plutôt du domaine approfondissement et le texte surligné en **saumon** est à connaître.

Documentation – Bibliographie

J'ai beaucoup utilisé :

- Les cours du CAEA de Charles PIGAILLEM pour l'ensemble du cours pour l'aérodynamique et connaissance des aéronefs :

- Les cours Mermoz
- Mécanique du vol de Kermode
- Manuel du pilote d'avion
- Introduction au pilotage d'Emile Péro
- Manuel du pilote de vol à voile
- Le site du CNES

Pour la météo :

- Météo plein ciel de René Vaillant
- Manuel du pilote d'avion
- Manuel du pilote de vol à voile
- Fondamentaux de météorologie de Sylvie Malardel

L'histoire

- Histoire mondiale de l'aviation d'Edmond Petit
- Histoire de l'aviation de Gérard Pujol
- Histoire de l'aviation de Jame's Prunier
- Chroniques de l'Aviation
- Revues Icare

La réglementation

- Manuel du pilote d'avion
- Manuel du pilote de vol à voile
- La navigation
- Manuel du pilote d'avion
- Manuel du pilote de vol à voile

Plus des recherches sur Internet : Les illustrations ont été en partie prises sur internet ; si vous êtes l'auteur de l'une d'elles et si vous estimez que nous sommes en infraction avec la loi sur les copyrights, veuillez s'il vous plaît nous contacter afin que nous retirions l'élément concerné du polycopié.

Si vous trouvez une erreur dans ce cours, nous apprécierions beaucoup que vous nous en fassiez part afin de faire évoluer ce cours dans l'intérêt de tous.

Jacqueline Gombert-Peña

lpna@orange.fr

INTRODUCTION AU COURS

Brevet d'Initiation Aéronautique (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'au 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. 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.

ANNEXE : PROGRAMME BIA

1. Météorologie et aérologie

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

1.2 - Les masses d'air et les fronts

- Isobares, anticyclones, dépressions, cols, dorsales, talweg, 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

2. Aérodynamique, aérostatique et principes du vol

2.1 - La sustentation de l'aile - notions préliminaires

- Ecoulement de l'air sur un profil - notion de pression
- Caractérisation des forces aérodynamiques : portance, traînée
- Paramètres influençant les forces aérodynamiques - expressions algébriques
- Etude de la polaire (incidence, finesse, décrochage, Mach)
- Caractéristiques d'une voilure (géométrie, position, dispositifs hyper et hypo sustentateurs et d'aérofreinage)
- Relation assiette - pente - incidence
- Equilibre, stabilité et maniabilité de l'aéronef

2.2 - Etude du vol stabilisé

- Vol plané
 - Caractérisation du poids
 - Equilibre des forces
- Vol motorisé
 - Traction, propulsion
 - Ligne droite en palier
 - Virage en palier (facteur de charge, centrifugation)
 - Montée et descente

2.3 - L'aérostation : Principes généraux de sustentation

- Ballons à air chaud
- Ballons gonflés au gaz

2.4 - Le vol spatial : Principes généraux de la mécanique spatiale

- Trajectoire de lancement
- Mise en orbite
- Vols orbital et spatial

3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

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

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)

3.3 - Structures et matériaux

- Voilure
- Empennage
- Fuselage
- Atterrisseur

3.4 - Les commandes de vol

- Rôle : contrôle en tangage, roulis et lacet
- Technologies : mécanique, hydraulique et électrique

3.5 - L'instrumentation de bord

- Rôle et fonctionnement des instruments de communication, de pilotage, de navigation et de surveillance
- Interprétation de la lecture d'une grandeur

4. Navigation, réglementation, sécurité des vols

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

4.2 - Règlementation aéronautique

4.2.1 - Les organisations

- DGAC, EASA, 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 plateformes aéronautiques
- Contrôle aérien
- Hauteurs de survol et règles de priorité

4.2.4 - Titres aéronautiques

- Brevets, licences, qualifications

4.3 - Sécurité des vols

4.3.1. - Gestion des risques

- Rôle des facteurs humains
- Eléments 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 »)

5. Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial

5.1 - Du mythe à la réalité

- Mythe d'Icare
- Cerf-volant
- Utopie et projets (Léonard de Vinci)
- Imitation de la nature et ses limites
- Essor des ballons
- Controverse entre plus légers et plus lourds que l'air

5.2 - des précurseurs aux pionniers

- Approche scientifique du vol plané
- Premiers vols motorisés des plus lourds que l'air
- Innovations et exploits

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
- Développements des lanceurs, la conquête spatiale
- Automatisation (interface homme /machine, drone)

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 extensions de ses applications civiles (GPS, télécommunications)

[Retour au sommaire général](#)



COURS DE PREPARATION AU BIA

PARTIE 1

METEOROLOGIE et AEROLOGIE



JACQUELINE ET LOUIS PEÑA

2021

METEOROLOGIE et AEROLOGIE

Sommaire partie 1

[Retour au sommaire général](#)

Chapitre 1 : Introduction à la météorologie	page 9
Chapitre 2 : Généralités 1) l'atmosphère 2) circulation générale de l'atmosphère	page 12
Chapitre 3 : La température 1) définition 2) mesure 3) variations en surface 4) variations en altitude 5) échanges de chaleur dans l'atmosphère	page 16
Chapitre 4 : La pression atmosphérique 1) mesure 2) variations 3) atmosphère standard 4) isobares 5) altimétrie	page 20
Chapitre 5 : L'humidité 1) saturation 2) humidité absolue et relative 3) mesure	page 25
Chapitre 6 : Vents et champs de pression 1) l'air en mouvement 2) vent et pression atmosphérique 3) mesure du vent 4) les brises 5) situation à problèmes	page 27
Chapitre 7 : La visibilité 1) mesures au sol 2) évolution de l'humidité 3) formation de brouillard	page 34
Chapitre 8 : Les nuages et les précipitations	page 37
Chapitre 9 : Masses d'air – Fronts 1) définitions 2) masses d'air, fronts et systèmes nuageux	page 45
Chapitre 10 : Phénomènes dangereux	page 51
Chapitre 11 : L'information météorologique	page 55

Chapitre 1 : INTRODUCTION A 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, 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 (OMM au niveau mondial) .

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, ainsi que le climat qui en est issu et également la répartition des ressources en eau qui en résulte.

L'OMM comptait 193 États et territoires Membres en 2019.

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		
Mesure aérologiques	Radiosondages	Mesures spectrales (réception de l'énergie émise)
Baromètre 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)

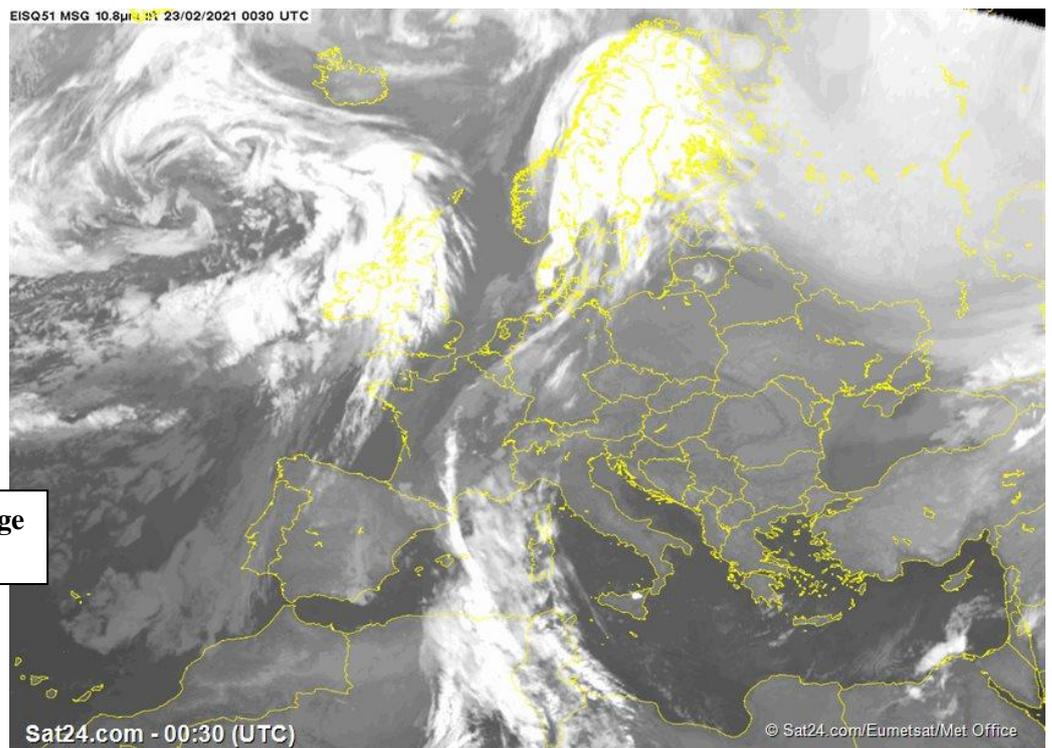
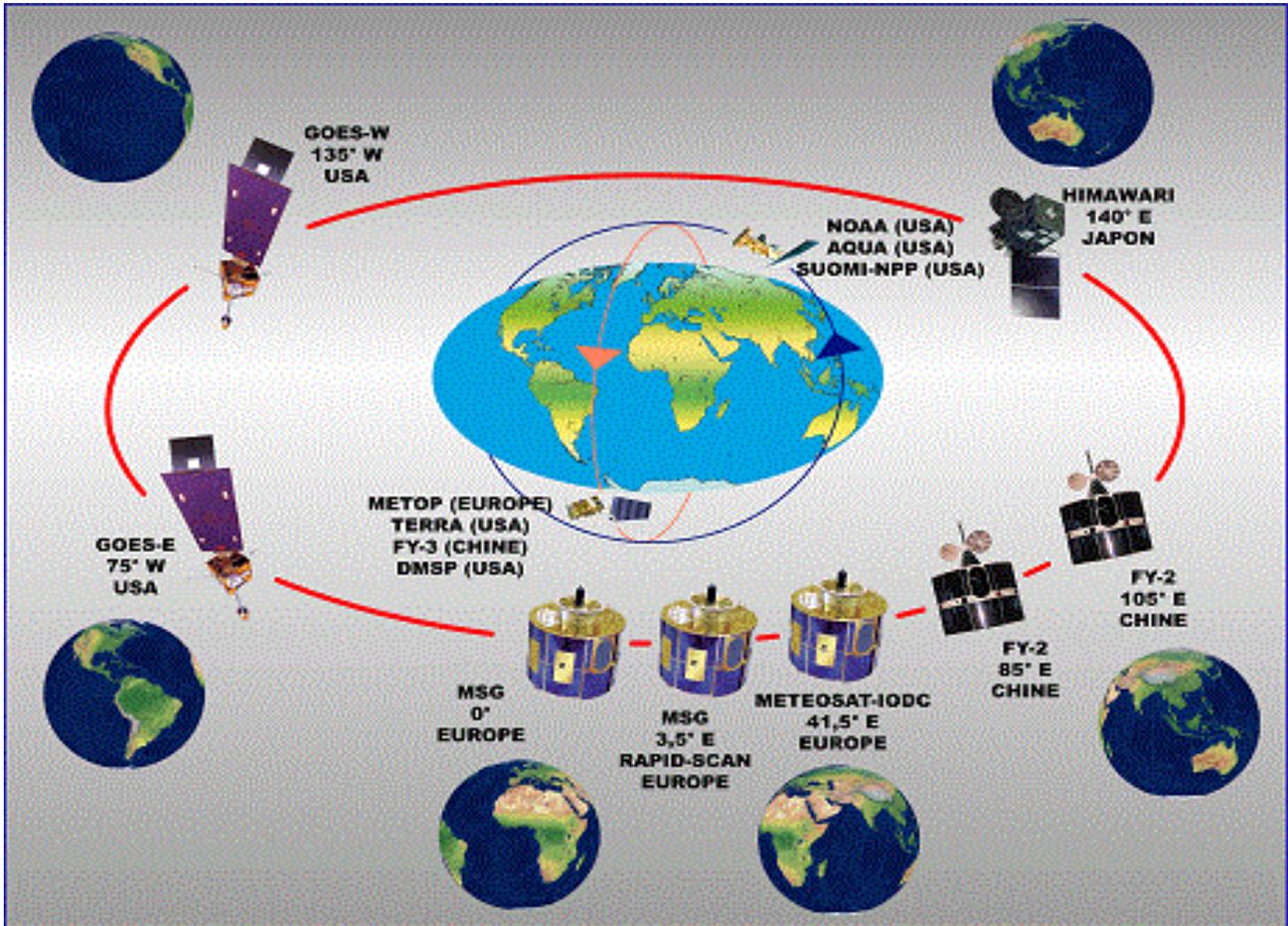
Stations météorologiques

Stations de surface	Stations aérienne	Stations spatiales
Stations terrestres Bateaux Balises marines	Ballons Avions drones	satellites géostationnaires (z = 36 000 km AMSL) USA : GOES ; Europe : EUMETSAT (METEOSAT ; METOP) satellites héliosynchrones (z = 850 km) (USA : NOAA)

Le premier satellite météo, Tiros 1, a été lancé par les Américains en 1960. Les images de l'atmosphère qu'il transmettait n'étaient pas vraiment exploitables. Mais depuis cette date, la technique a beaucoup progressé.

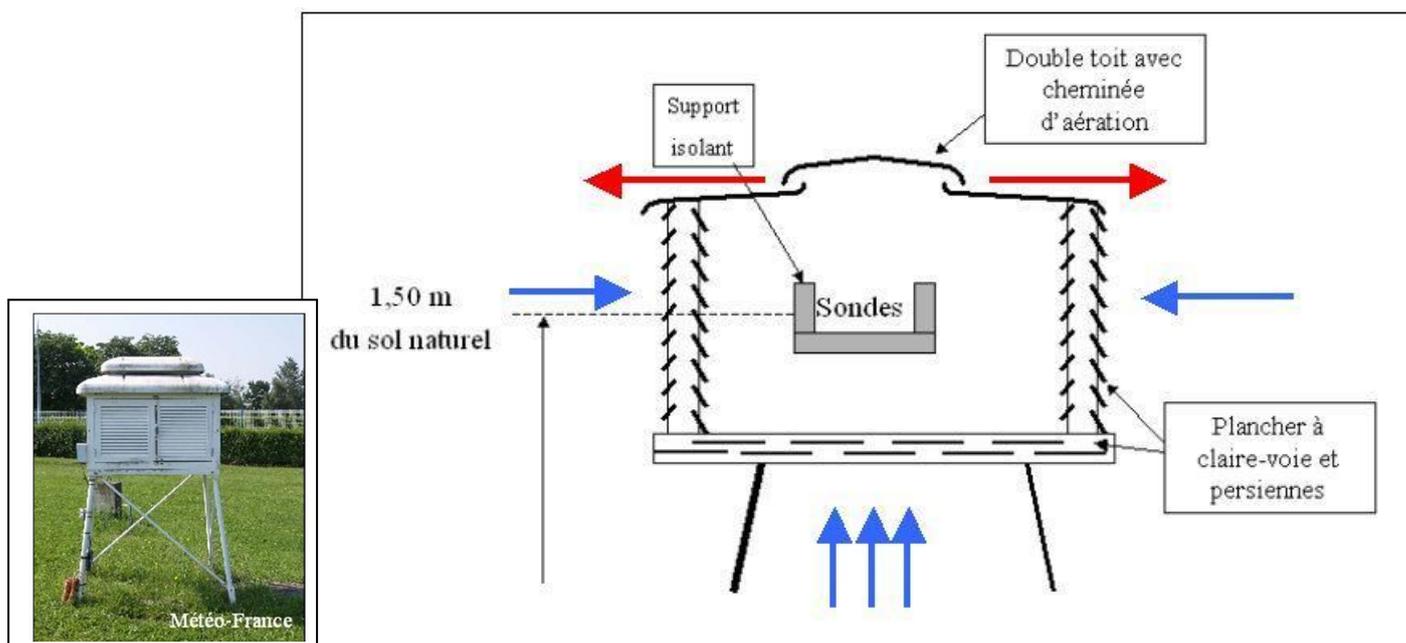
Actuellement, il existe deux familles de satellites météorologiques : les défilants et les géostationnaires. L'ensemble de ces satellites permet d'assurer une couverture complète et continue de la planète. Pour Météo-France, c'est le Centre de météorologie spatiale (CMS) à Lannion (Côtes-d'Armor) qui reçoit, traite et diffuse les informations des satellites météorologiques.

Satellites météorologiques opérationnels exploités au Centre de météorologie spatiale (situation en 2017)



**Meteosat- infrarouge
- Europe**

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



La météorologie étudie l'ensemble des phénomènes atmosphériques dans le système Terre-atmosphère. Nous allons donc évoquer quelques données concernant la Terre.

[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 2 : GENERALITES

1) L'atmosphère

• Composition de l'atmosphère terrestre

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

L'atmosphère terrestre est l'enveloppe gazeuse entourant la terre. On considère que sa densité est maximum au niveau de la surface de la Terre. Sa limite supérieure ~ 130 km.

Sa constitution est la suivante : 78 % de diazote (N₂) - 21% de dioxygène (O₂) - 1 % de gaz divers (Ar, CO₂, ...) + ozone en altitude (entre 15 et 45 km) + vapeur d'eau + impuretés.

Sa répartition verticale : 99 % de la masse entre 0 et 30 km d'altitude dont 50 % entre 0 et 5500 m.

Les deux premiers gaz représentent 99 % de l'air sec.

Le pourcentage de dioxyde de carbone dépend de l'activité industrielle. Celui d'ozone au niveau de la mer est très faible, mais devient plus important en altitude, dans la "**couche d'ozone**", entre **15 et 45 km**.

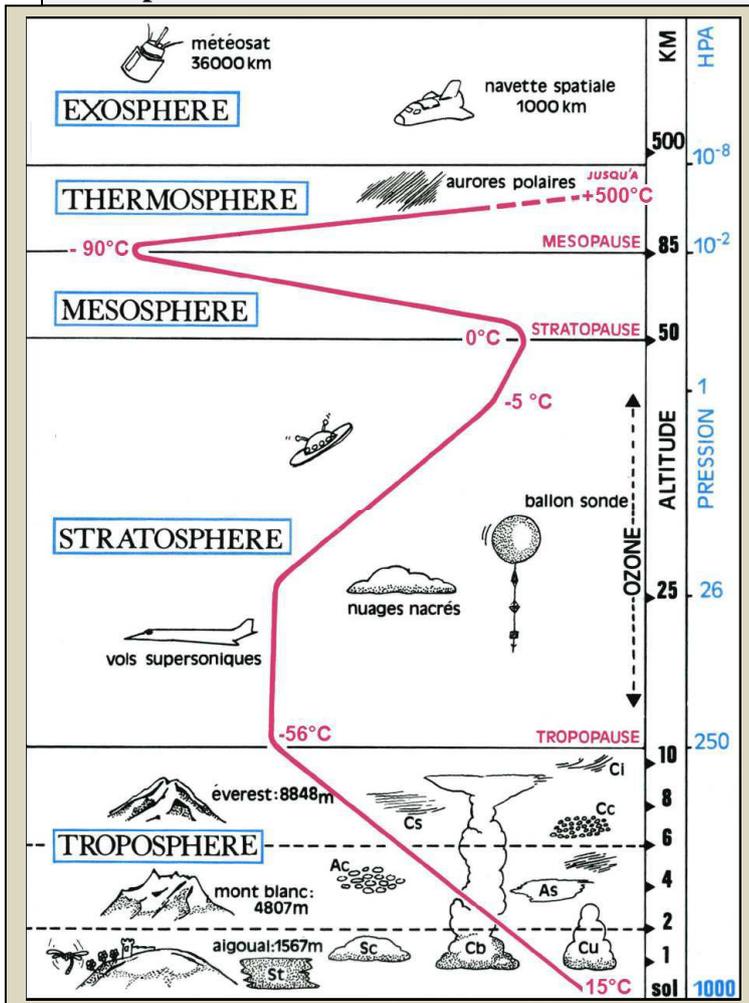
En plus de ces composants gazeux, on trouve en suspension dans l'atmosphère, des particules diverses de dimensions microscopiques (débris minéraux et végétaux, particules de sel marin provenant de l'évaporation des embruns, etc.).

La présence de ces divers corpuscules est importante car la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique nécessite la présence de ces "supports" solides appelés "**noyaux de condensation**".

L'atmosphère est divisée en plusieurs couches définies selon la température, en fonction de l'altitude.

La température est à l'origine de la circulation générale de l'atmosphère.

• Coupe verticale



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

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

La thermosphère (~ → 200 km)

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

La mésosphère (~ → 85 km)

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

La stratosphère (~ → 50 km)

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

La troposphère (~ → 11 km)

C'est la plus basse couche. Son épaisseur varie de 7 à 15km des pôles à l'équateur.

Elle est de 11km sous nos latitudes. C'est dans cette couche que se produisent les phénomènes météorologiques. La température diminue avec l'altitude pour descendre jusqu'à -50 / -60°C.

Nous nous intéresserons à la troposphère car c'est le siège de toutes les données météorologiques que nous traiterons.

Troposphère

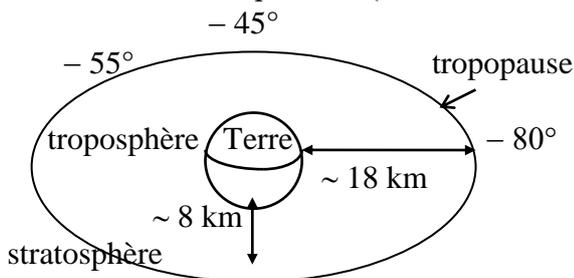
La température diminue de 6,5° par 1000 m ;
On voit apparaître deux couches :

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

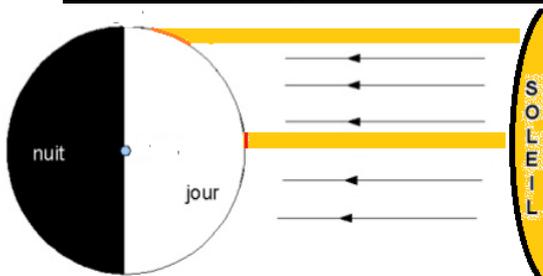
Tropopause

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).



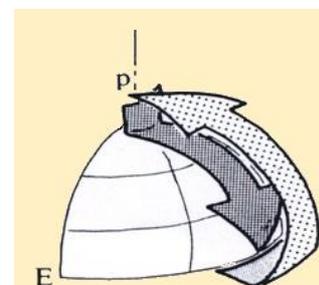
2) circulation générale de l'atmosphère



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

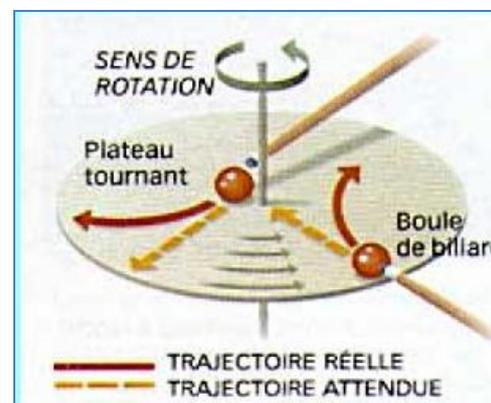
Si les mouvements atmosphériques n'existaient pas, la zone intertropicale se réchaufferait constamment alors que les zones proches des pôles se refroidiraient constamment.

En 1735, un météorologue amateur britannique nommé **Georges Hadley** imagine un modèle de transfert 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. Mais ...



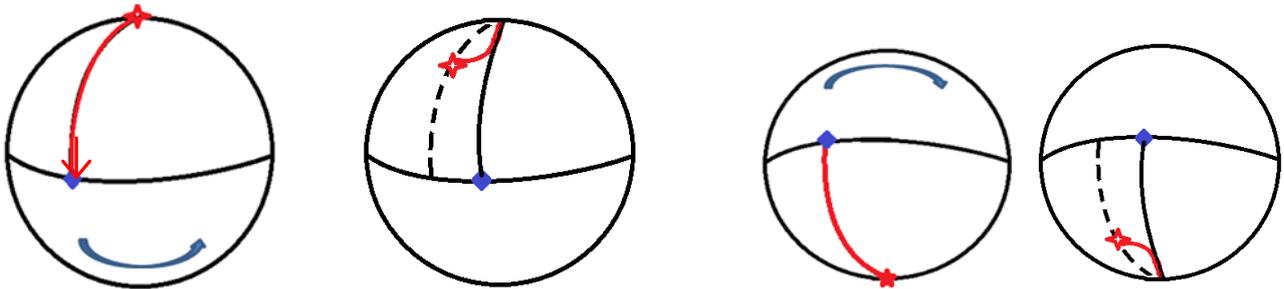
ce modèle ne tient pas compte de l'effet de Coriolis!

La Terre est une sphère qui tourne sur elle-même d'ouest en est. Un objet posé à l'équateur, ligne la plus éloignée de l'axe de rotation terrestre, a donc une vitesse beaucoup plus importante qu'un autre situé à proximité des pôles, c'est-à-dire plus proche de l'axe de rotation de la Terre.



Aussi, lorsque des masses d'air partent de l'équateur pour aller en direction des pôles, elles sont dotées d'une vitesse de rotation autour du Globe plus grande que celle des surfaces terrestres survolées. Ces masses d'air prennent alors de l'avance et sont déviées vers l'est (donc vers la droite).

A partir du pôle, si la Terre était immobile, le vent se déplacerait le long de l'arc



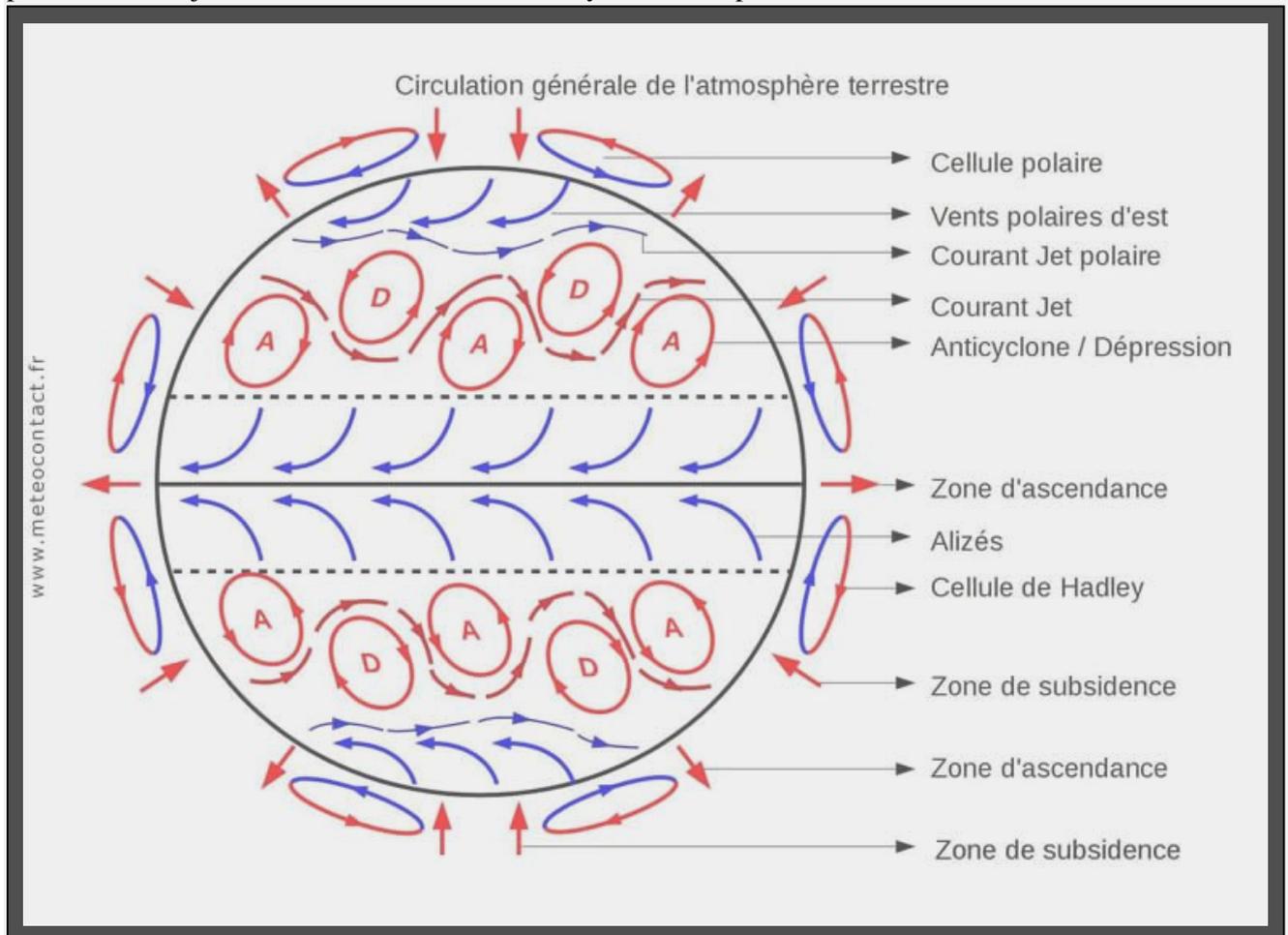
Mais pendant que le vent suit l'arc pointillé la Terre tourne donc la projection du point "vent" sur le sol décrit l'arc rouge.

résultats opposés en dessous de l'équateur.

On voit donc que le mobile est dévié vers sa droite dans l'hémisphère Nord et vers sa gauche dans l'hémisphère Sud.

C'est la « force de Coriolis ». On en reparlera dans le chapitre des vents.

Le modèle ci-dessous beaucoup plus complexe mais plus près de la réalité tient compte de la force de Coriolis, les échanges dans les cellules de Hadley (0-30°) et les cellules polaires (60-90°) étant relayées dans nos latitudes par les courants jets de haute altitude liés aux anticyclones et dépressions



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 :

1. le rayonnement solaire direct (environ 10%)
2. la restitution par le sol (environ 80%)
3. 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

Point n° 3 : Le passage d'un état à l'autre est accompagné d'un transfert d'énergie (dégagement ou absorption) appelé "chaleur latente".



En météorologie la chaleur latente peut désigner de façon générale la chaleur empruntée aux océans lors de l'évaporation et restituée à l'atmosphère lors de la condensation ; ce phénomène permet de transporter d'un point à un autre de la planète des quantités d'énergie très grandes.

exemple :

Vous êtes à la plage, il fait chaud donc vous allez vous baigner pour vous rafraîchir. Quand vous ressortez, vous êtes mouillé et cela continue à vous rafraîchir tant que vous n'avez pas séché complètement, en effet l'eau sur vous s'évapore (vaporisation) et ainsi absorbe de la chaleur, c'est pourquoi vous ressentez une baisse de la température ambiante et vous avez moins chaud !

Autre exemple : si vous n'avez pas de frigo et que vous vouliez boire de l'eau fraîche, mettez-la dans une bouteille en terre (non vernissée) ou dans ce qu'on appelle une « vache à eau » en toile suffisamment serrée pour ne pas laisser couler l'eau mais permettre l'évaporation. Avec l'évaporation il y a absorption de chaleur latente donc l'eau perd de sa chaleur initiale et vous boirez frais !

[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 3 : LA TEMPERATURE

1. Définitions

La température, exprime la notion...
de chaud
et de froid.



Elle illustre le niveau d'agitation qui anime les particules constituant les molécules.

Plus l'agitation est grande, plus la température est élevée.



Si l'agitation cesse, la température est minimale :
C'est le zéro "absolu".

0 K
(Kelvin)

-273° C
(Celsius)

Dans un fluide (gaz ou liquide) les molécules sont en agitation permanente et désordonnée ; c'est le **mouvement brownien** : les molécules se déplacent à grande vitesse et se heurtent sans cesse (un milliard de chocs par seconde !).

La température est une grandeur qui caractérise l'état d'agitation des molécules.

Si le mouvement brownien est arrêté le fluide est à sa température la plus basse possible, encore appelée **zéro absolu**.

Ne pas confondre la **chaleur** qui est une forme d'énergie et la **température**.

2) Mesure de la température. Unités

La température recherchée est celle de l'air.

En surface :

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

En altitude :

Des ballons de radiosondage effectuent deux fois par jour des mesures de pression, température et humidité jusqu'à 30 km d'altitude environ.

En fait la température est une grandeur repérable mais pas mesurable. Ce n'est que par abus de langage qu'on parlera de "mesure de température". Une échelle de comparaison est donc nécessaire pour chiffrer le degré de chaud ou de froid.

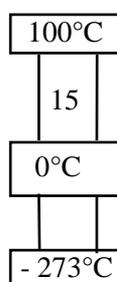
On aura donc :

$$0 \text{ K} = - 273^{\circ}\text{C} ; \text{ T (K)} = \text{t (}^{\circ}\text{C)} + 273$$



Echelle Farenheit utilisée seulement aux Etats Unis.

échelle Celsius



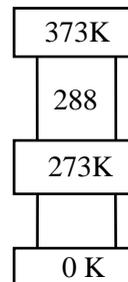
ébullition de l'eau **sous 1013,2 hpa**

atmosphère standard

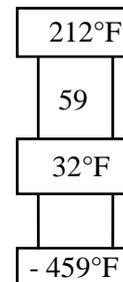
glace fondante sous 1013,2 hpa

agitation moléculaire nulle
(arrêt des mouvements browniens de la matière)

échelle Kelvin



échelle Farenheit

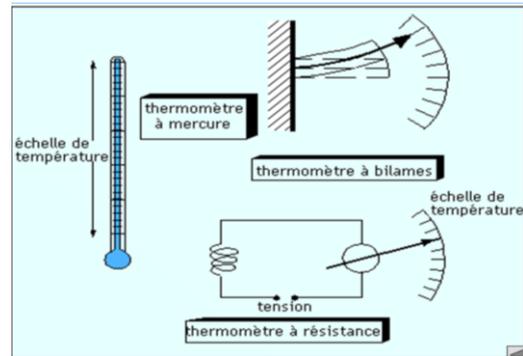


$$X^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} Y^{\circ}\text{F} - 32$$

Moyens de mesure de la température

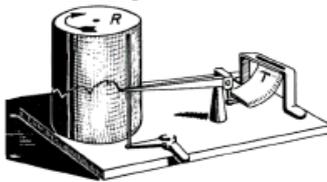
Thermomètres

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

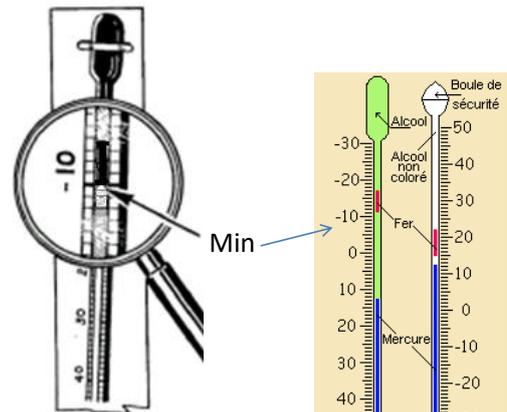


- Thermomètre à minima, maxima

- Thermomètre enregistreur



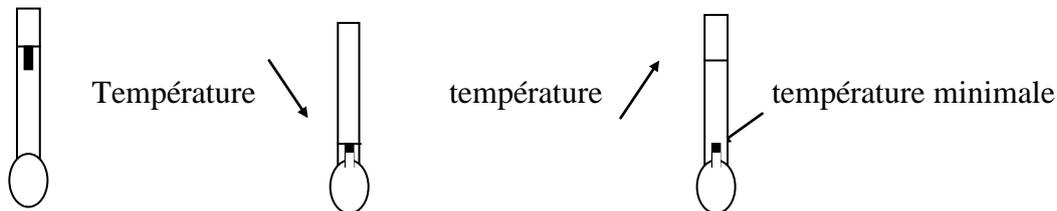
les températures sont enregistrées à l'aide d'un cylindre et d'un stylet encreur.



ou plus simple :

- 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.

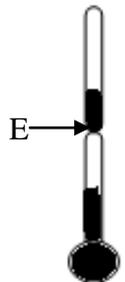


La partie supérieure de l'index indique la température minimale.

- Thermomètre à maxima

Le mercure sous l'effet d'une élévation de température se dilate et passe par un étranglement.

Quand la température diminue, le mercure ne peut refluer dans le réservoir car son propre poids ne peut lui faire franchir l'étranglement E. La température maximale est indiquée par l'extrémité de la colonne de mercure.



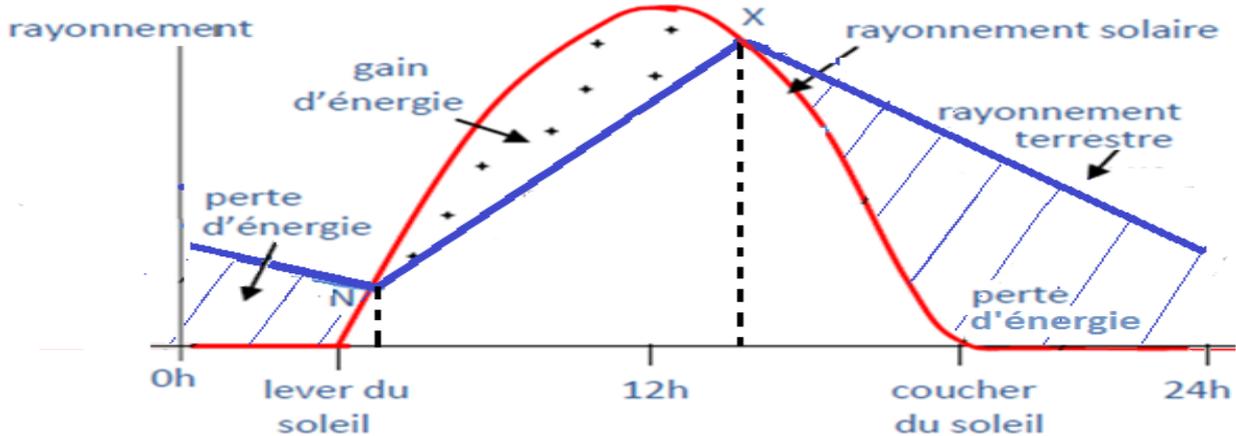
- Thermosonde :

ce capteur est une résistance de platine constituée par un enroulement non selfique dont la résistance varie en fonction de la température; un calculateur transforme l'intensité de courant circulant dans le capteur en une valeur de température.

3) Variations de la température en surface

Variations de température dans le temps, en un lieu

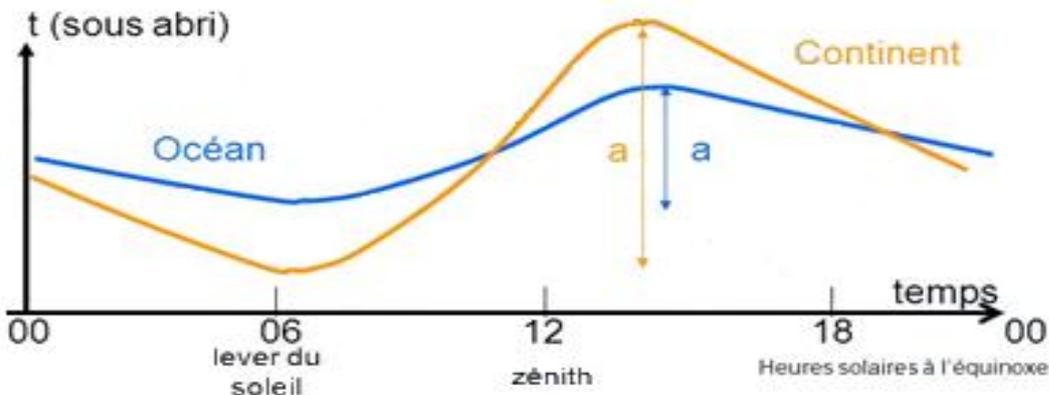
La température de l'air n'est influencée par la chaleur du soleil que de façon négligeable. Les échanges de chaleur se produisent surtout par le sol ; on s'intéressera donc en priorité à la température de la surface du sol . Tout corps émet un rayonnement d'autant plus intense qu'il est chaud : perte d'énergie du corps qui rayonne.



Remarque : l'amplitude $T_X - T_N$ est légèrement plus faible sous abri qu'au sol (car l'air est un très mauvais conducteur) le capteur de température est une thermosonde (résistance de platine).

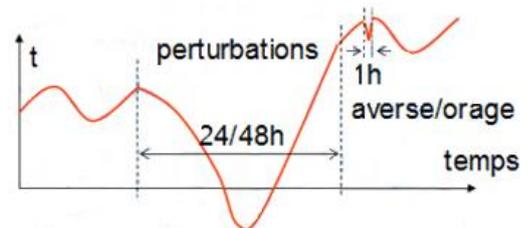
- sur 24 h (nycthémérales) d'après le schéma ci-dessus : par conditions idéales (ciel clair, vent calme ou faible)

- 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.
est forte quand le ciel est clair, faible quand il est couvert.

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

4) Variations de la température en altitude

Standard : la température en moyenne décroît dans toute la troposphère au fur et à mesure que l'on élève. Pour rendre internationale les règles de circulation, pour établir les normes d'utilisation des avions etc..., il a fallu fixer un taux de référence de cette décroissance.

Une statistique de l'altitude moyenne a fixé ce taux (gradient vertical) à $-6,5$ par 1000m ou -2 par 1000ft.

Gradient vertical standard de température : vitesse de variation de la température T avec l'altitude Z

$$-6,5^{\circ}\text{C} / 1000 \text{ m ou } -2^{\circ}\text{C} / 1000 \text{ ft}$$

La courbe standard a pour origine : le niveau de la mer qu'on suppose être à la pression de 1013,25 hPa et à une température de $+15^{\circ}\text{C}$ ($273^{\circ} + 15^{\circ} = 288^{\circ}$ en température absolue).

La fin de la décroissance a été " normalisée " à 11km, où la valeur atteinte est donc de $-56,5^{\circ}\text{C}$.

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

Il arrive que la température augmente avec l'altitude : on parle **d'inversion de température**: gradient positif. (La conséquence aéronautique sera souvent une atmosphère stagnante, très stable, où la visibilité et le plafond se détériorent) ou même que, sur une certaine épaisseur, la température soit constante : on parle **d'isothermie** et le gradient est nul. C'est également un indice de stabilité.

Dans le cas contraire, si la température décroît plus vite que le taux standard ($-6,5/1000\text{m}$), l'atmosphère est **instable** et un gradient de $1^{\circ}/100\text{m}$ se concrétise souvent par des nuages cumuliformes.

5) Echanges de chaleur

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.



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

Importance de la température en aéronautique

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.

[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 4 : LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

1) Mesure

Expérience de Torricelli (1643) :

La pression moyenne normale atmosphérique est celle de

760mm de mercure : 760 mm.Hg \cong **1013.25 hPa**

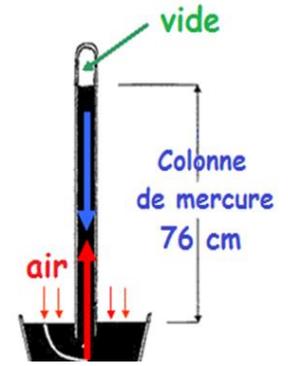
(autrefois mbar)

1 Pa = 1 N / m² ;

1000 hPa = 750 mm Hg

= 29,54 in Hg (pouces de mercure)

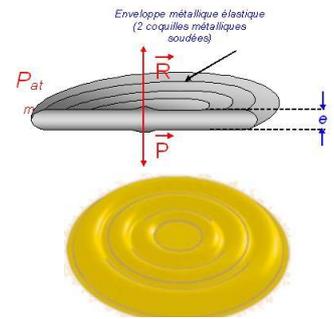
1 in = 2,54 cm



pression atmosphérique \approx 100 000 N/m² \approx 100 000 Pa \approx 10 N / cm² \approx 1 kg / cm²

Instruments de mesure : les baromètres

- baromètre à mercure : même principe que celui de Torricelli \rightarrow 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 baromètre à mercure.
- baromètre enregistreur ou barographe : même principe mais plusieurs capsules de Vidie superposées augmentent les déformations.
transmission électronique ou numérique (capteur capacitif au silicium)



2) Variations de la pression atmosphérique

Les variations horizontales des pressions sont données sur des cartes synoptiques (résultant d'observations toutes les 3 h).

Valeurs extrêmes au niveau de la mer : entre 950 et 1050 hPa , mais 867 hPa au centre d'un typhon dans le Pacifique et 1083,8 hPa en Sibérie.

Variations annuelles en fonction de la saison :
sur les continents : $P(\text{hiv}) > P(\text{été})$;
sur les océans : $P(\text{hiv}) < P(\text{été})$.

Variations 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

on parle de MAREE BAROMETRIQUE :

- **variations irrégulières : dues au passage des perturbations ; l'étude de ces variations est à la base de la prévision du temps.**

Variations en altitude

La pression diminue avec l'altitude mais elle diminue moins rapidement à mesure qu'on s'élève (décroissance exponentielle) :

- 1 hPa tous les 8,5 m soit tous les 28 ft près du niveau de la mer (jusqu'à 2000 m maxi)

3) Atmosphère standard

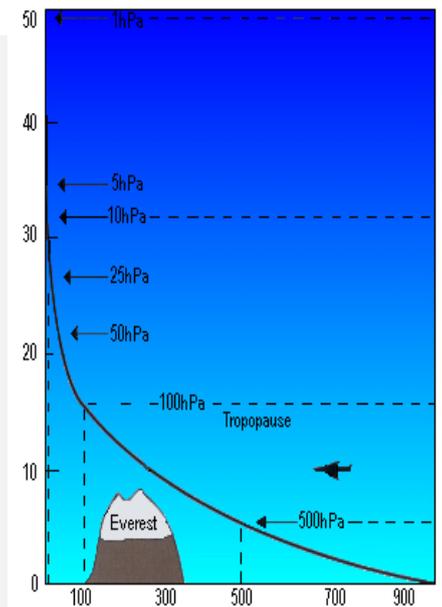
"théorique" sous 45° de latitude.

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

* 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



Ces pressions sont obtenues sur un baromètre à capsules avec ruban vibrant relié à un calculateur.

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 (**< 2000m**).



Remarque:

850 hpa → 5 000 ft;
700 hpa → 10 000 ft;
500 hpa → 18 000 ft;
300 hpa → 30 000 ft

Mesure des altitudes

A l'aide d'un altimètre : c'est un baromètre anéroïde 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).

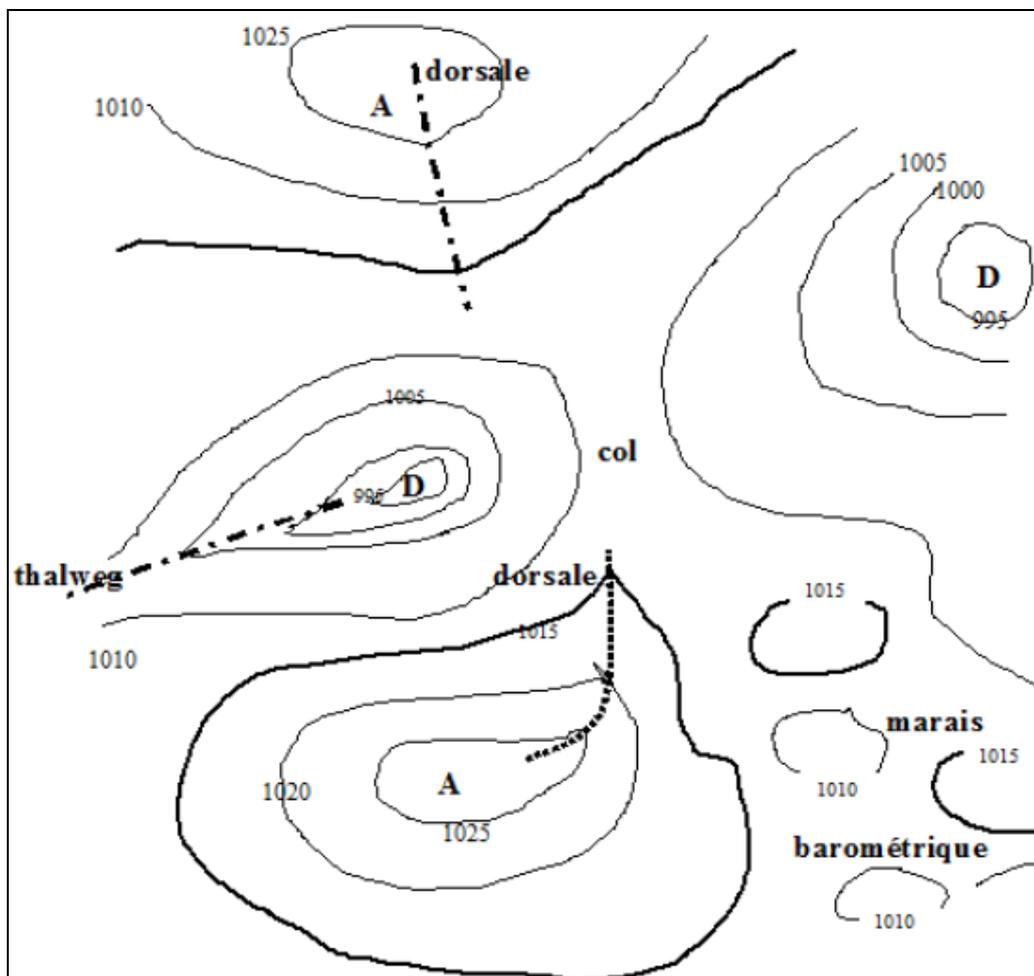
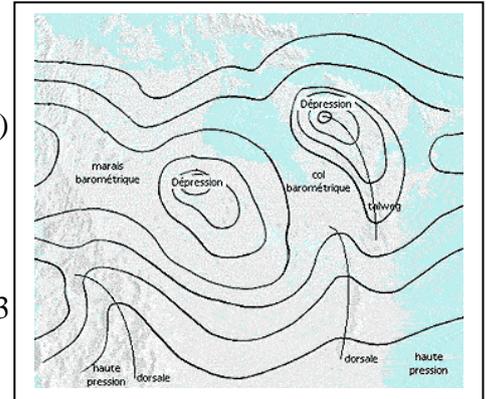
4) Carte d'isobares

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 :

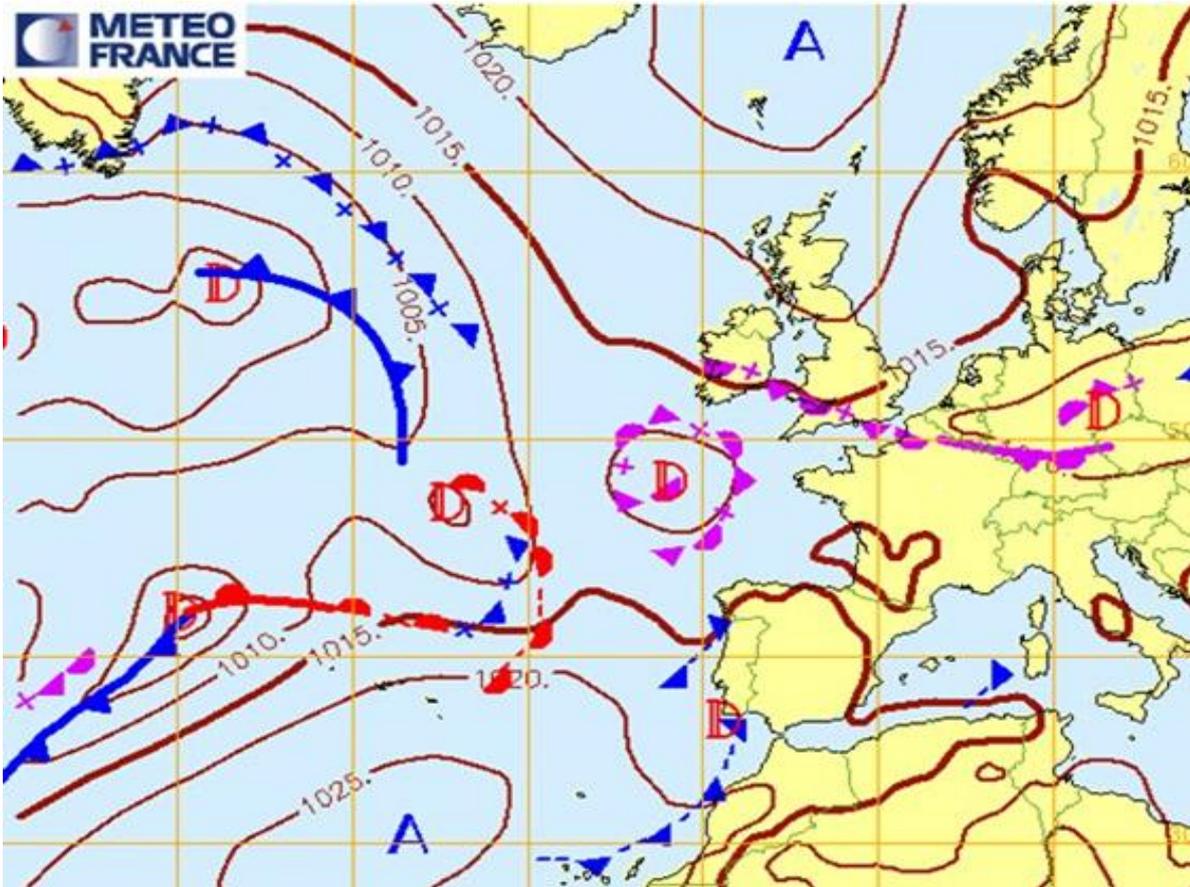
Marais barométrique (ne pas confondre avec marée barométrique) zone de l'atmosphère entre 2 systèmes météorologiques, dans laquelle la pression varie peu. Région où les isobares sont espacées et désorganisées. Il s'agit d'une zone où les vents sont calmes ou faibles et très variables (les isobares étant espacées). La pression barométrique dans cette région est souvent moyenne (autour de 1013 hPa). La présence d'un marais barométrique dénote une zone de mauvais temps stagnante.



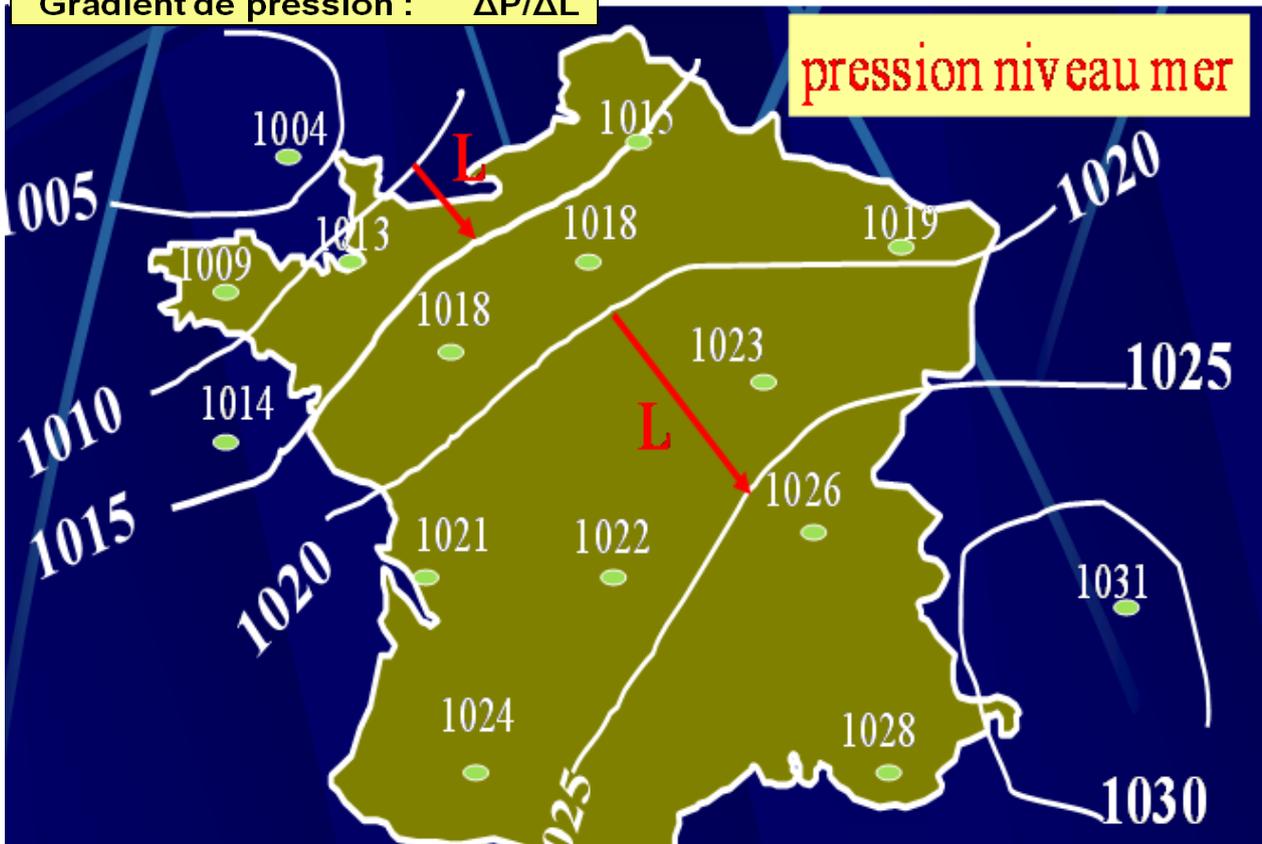
Dorsale :
crête de hautes pressions

Talweg
(ou thalweg) : creux barométrique: vallée de basses pressions.

Col :
Région située entre 2 dépressions selon un axe et entre 2 anticyclones selon un autre axe.
Il s'agit d'une zone de calme relatif. Les vents sont faibles et peuvent être relativement variables



Gradient de pression : $\Delta P / \Delta L$



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

5) Altimétrie en lien avec les chapitres : instruments et navigation.

Mesure des altitudes A l'aide d'un altimètre : baromètre anéroïde 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).

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 statique extérieure et la restitue sur un cadran gradué en pieds ou en mètres au vu de la décroissance de la pression avec l'altitude.

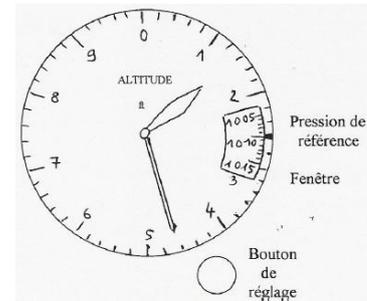
Il faut interpréter ses indications.

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.



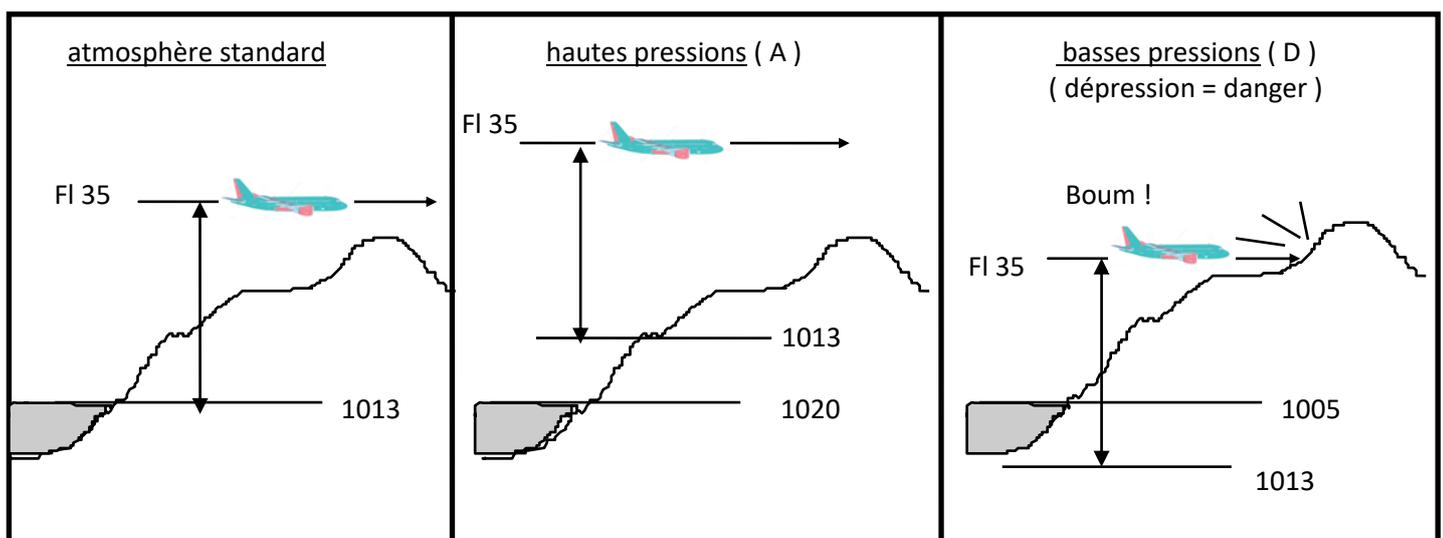
Etalonnage : Il correspond à l'atmosphère standard - ex : 850 hPa correspond à 5000 ft – donc l'altimètre n'indiquera une valeur réelle que si on est en conditions de l'atmosphère standard (rare).

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 !).



Règle des 3 D : Dérive Droite + Décroissance des températures + Dépression = Danger

[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 5 : L'HUMIDITE

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

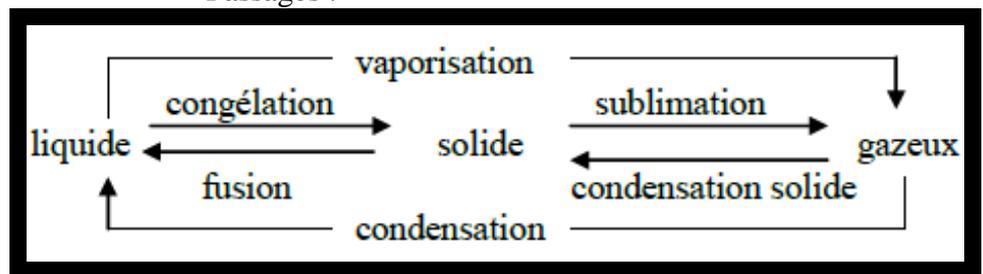
- solide : nuages de glace, neige, grêle
- liquide : bruines, pluie, nuages de gouttelettes d'eau
- gazeux : vapeur d'eau (*La vapeur d'eau est invisible*)



Dans le brouillard il n'y a pas d'évaporation



Passages :



1. Saturation

Pour une température et une pression donnée, un certain volume d'air humide ne peut pas contenir n'importe quelle quantité de vapeur d'eau; il existe une valeur limite et toute tentative pour introduire de la vapeur d'eau supplémentaire se traduit par la condensation de cet excédent de vapeur sous forme de gouttelettes liquides ou de cristaux de glace si la température est inférieure à 0°C.

Cet état limite s'appelle état de saturation. La vapeur d'eau est dite saturante.

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 et relative

Humidité absolue :

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

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.

et humidité relative : $h_1 = (6 / 7,2) \cdot 100 = 83 \%$ et $h_2 = (6 / 17,1) \cdot 100 = 35 \%$.

3) Mesure de l'humidité relative

- **Hygromètre et hygrographe** (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 encree qui se déplace le long d'un cylindre comme pour le baromètre et le thermomètre enregistreur.



- **Capteurs électrochimiques** (Capteurs à capacité)

qui peuvent mesurer le point de rosée de l'air d'où l'on déduira l'humidité relative.

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 ordinateur 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**

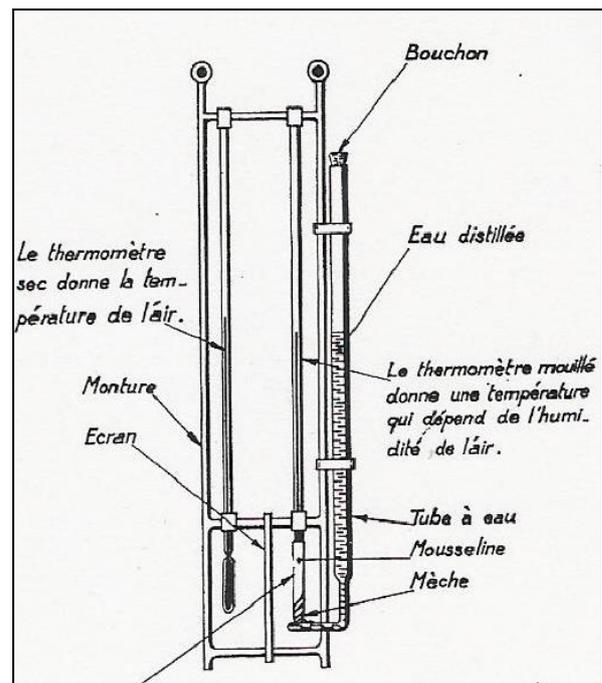
Il se compose de deux thermomètres à mercure ordinaires dont l'un a son réservoir entouré d'une mousseline maintenue humide grâce à un petit récipient rempli d'eau.

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 relative.

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



Température du point de rosée

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

La température du point de rosée est la température à laquelle il faut refroidir la particule d'air humide, en maintenant sa pression constante, pour qu'elle se sature; on la note t_d (dew point)

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.

[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 6 : VENTS ET CHAMP DE PRESSIONS

1) L'air en mouvement

* MOUVEMENTS VERTICAUX

L'air a la propriété de répondre à la loi des gaz parfaits : $PV = RT$

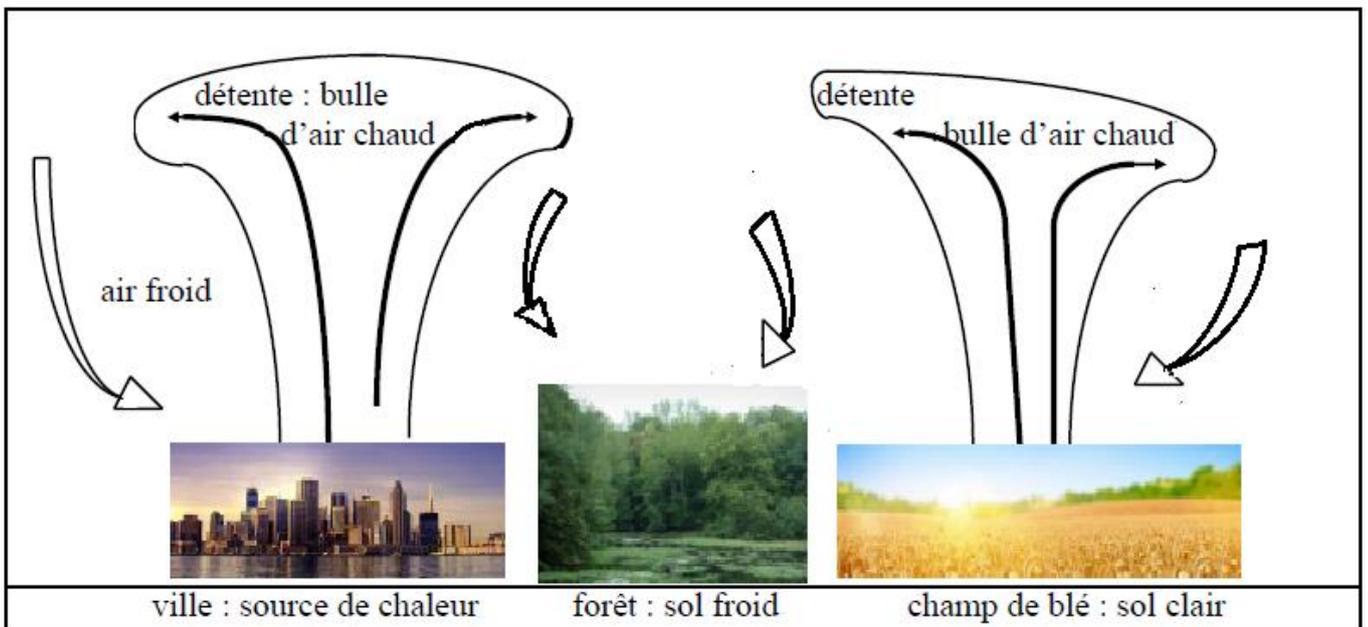
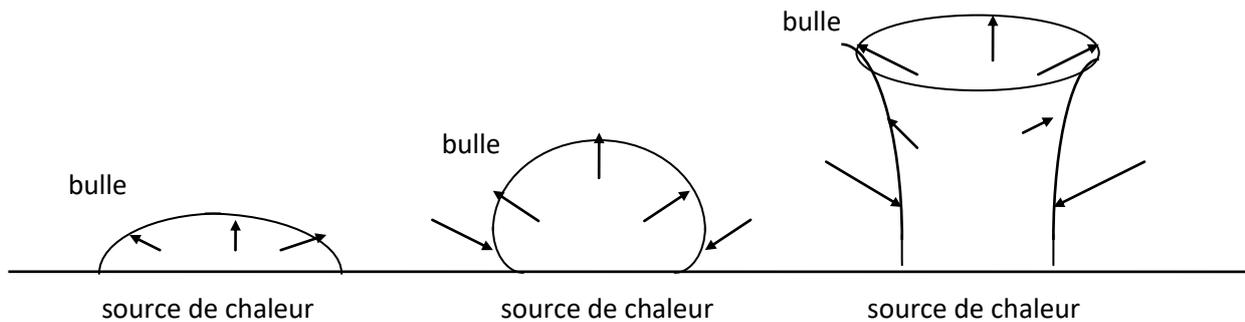
où P = pression , V = volume , T = température , R = constante

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 (« pompe »)

la masse d'air la plus froide descend : subsidence (« 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 seront 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.

Le vent est la matérialisation du déplacement de l'air. Le vent vertical essentiel en météorologie dans la circulation générale n'interviendra que peu dans l'information aéronautique. Dans la suite ici, on ne s'occupera que du vent horizontal.

2) Vent et pression atmosphérique

→ VITESSE

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.

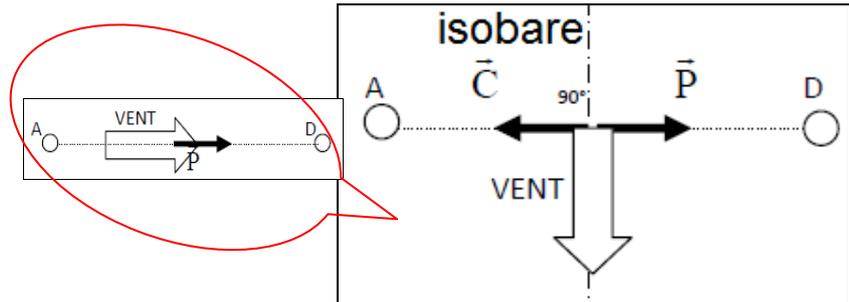
→ CHAMP DE PRESSIONS ET DIRECTION DU VENT

Il est logique de penser qu'il y a une force de pression qui va déplacer l'air des anticyclones vers les dépressions mais la rotation de la Terre donne naissance à une force perturbatrice :

la **force de Coriolis** perpendiculaire au vecteur vitesse de tout objet se déplaçant sur terre et située à droite de ce vecteur dans l'hémisphère nord, à gauche dans l'hémisphère sud

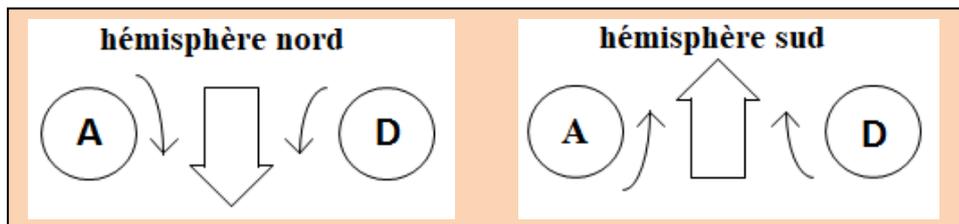


Quand le manège tourne, la balle est déviée



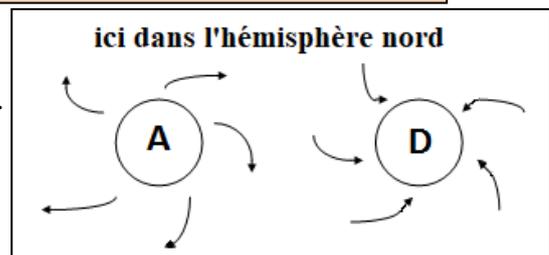
Le vent a tendance à souffler parallèlement aux isobares en laissant la dépression sur sa gauche

Loi de Buys-Ballot : Dans l'hémisphère nord, le vent tourne autour des anticyclones dans le sens des aiguilles d'une montre et autour des basses pressions dans le sens contraire. (C'est l'opposé dans l'hémisphère sud)



Remarque :

Le sol fait apparaître une "force de frottement"; elle est maximale au sol et diminue au fur et à mesure que la hauteur augmente (négligeable au dessus de 1500 m). La force de frottement a pour effet de donner au vent une direction faisant un angle d'environ 30° avec les isobares, le vent entrant vers l'intérieur de la dépression.



En altitude : la force de frottement diminue progressivement : le vent devient de plus en plus parallèle aux isobares et sa vitesse augmente.

En altitude, en France, les vents dominants sont de secteur ouest, leurs vitesses augmentent avec l'altitude : la plupart du temps moins de 15 kt au sol, 20 kt vers 5000ft, 30 kt vers 10000 ft, 50 kt vers 20 000 ft ; vers 35 000 ft on peut observer des vents de 100 à 150 kt, on est alors en présence d'un "jet-stream".

3) Mesures du vent

ATTENTION : direction avec le nord magnétique pour la circulation aérienne! (TWR)

→ **DIRECTION** : celle d'où vient le vent (girouette ; manche à air). L'angle est celui que fait la direction d'où vient le vent avec le nord géographique. Un vent du nord sera un vent du 360° (et pas 0°).



→ **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.

→ **RAFALES**

On parle de **rafale** quand le vent instantané dépasse d'au moins 10 kt le vent moyen.

On note par exemple : 36020G30 : vent du nord 360° (pas 0°) de 20 kt avec rafales à 30 kt (G pour « gust »)

→ **SYMBOLES** figurant sur les cartes VINTEM 700 hpa (10 000 ft) et 850 hpa (5000 ft)



vent du 270° / 20 kt



vent du 270° / 25 kt

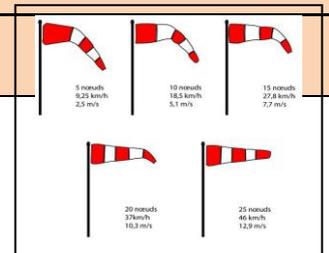


vent du 180° / 75 kt

On peut aussi consulter les messages codés de la météo : METAR ou TAF.

Il est nécessaire de connaître le vent

- Au sol pour les phases d'atterrissage et décollage.
- En altitude pour la navigation et le rayon d'action.



→ moyens de mesure

- Au sol, la manche à air ne donne précisément que la direction du vent; pour sa vitesse, si la manche pend le long de son support, le vent est calme; et approximativement 5 kt par bande.
- Mesure officielle du vent en surface : elle se fait à 10 m au dessus du sol, au sommet d'un pylône dégagé de tout obstacle artificiel; la direction est mesurée à l'aide d'une girouette (transmise par un mécanisme électrique); la vitesse est mesurée à l'aide d'un anémomètre: le moulinet en tournant génère un courant électrique d'autant plus fort que la vitesse est élevée. On peut ainsi mesurer la vitesse instantanée du vent et avec un calculateur : le "vent aéronautique" transmis par les tours de contrôle (vitesse moyenne sur les 2 dernières minutes, repéré par rapport au nord magnétique), le "vent synoptique" utilisé dans les messages météo codés : vitesse moyenne sur 10 minutes.

→ **le vent instantané.**

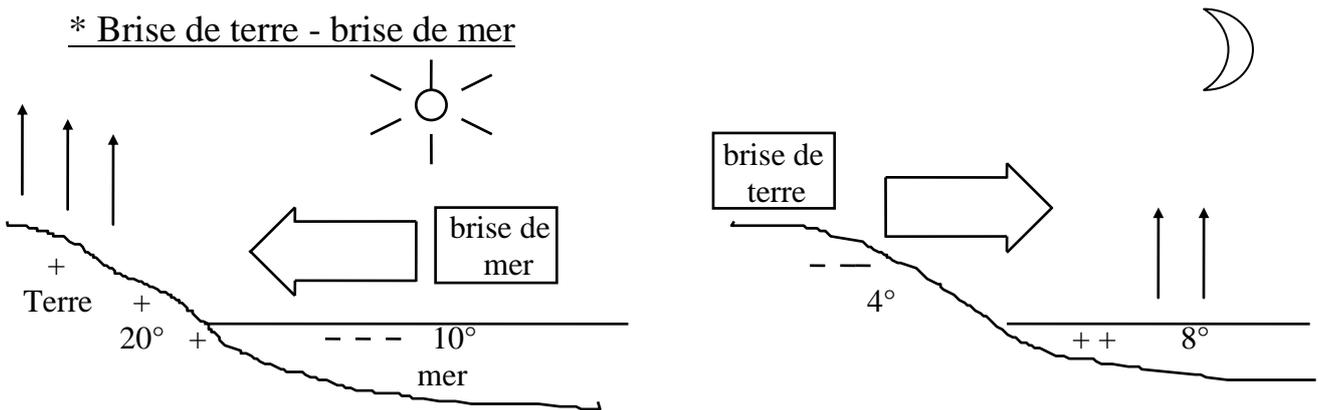
→ **le vent aéronautique** moyenné sur deux minutes (celui indiqué par la tour de contrôle au décollage et à l'atterrissage)

→ **le vent météorologique** moyenné sur 10 minutes qui figure dans les messages d'observation météo.

- Mesure du vent en altitude : faite par un nombre restreint de stations : on lâche un ballon gonflé à l'hélium, sa trajectoire permet de connaître direction et vitesse du vent aux diverses altitudes. Les positions du ballon sont déterminées du sol :
 - par l'optique à l'aide d'un théodolite
 - par radar : observations 4 fois par jour : 0 h , 6 h , 12h et 18 h UTCOn utilise aussi un profileur de vent qui ne nécessite pas l'envoi d'un ballon (radar Doppler pointant verticalement).

4) Influence thermique du sol : Les brises

* Brise de terre - brise de mer

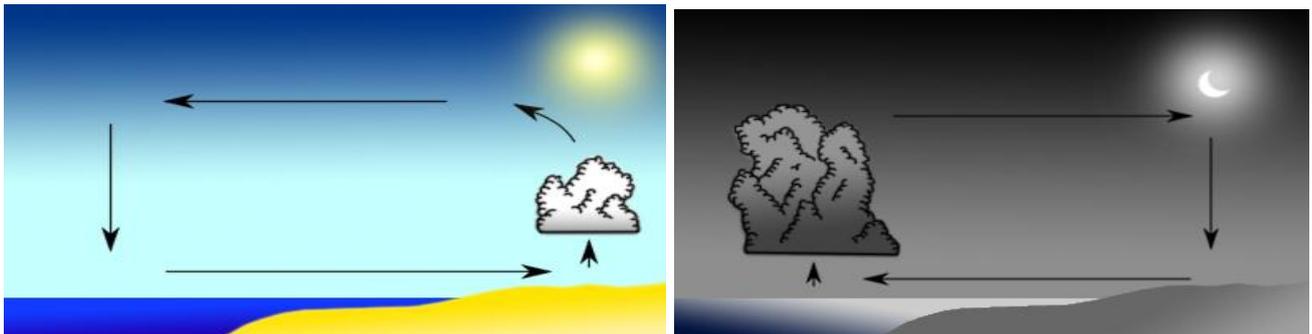


La variation de température de l'eau étant plus faible et moins rapide que celle de la surface de la terre, - **de jour**, la terre se réchauffe plus vite que la masse d'eau ; l'air au contact du sol s'élève, faisant place à une dépression qui "aspire" l'air plus froid situé au dessus de la mer.

La brise de mer s'établit en début d'après midi, peut se ressentir 20 km à l'intérieur des terres.

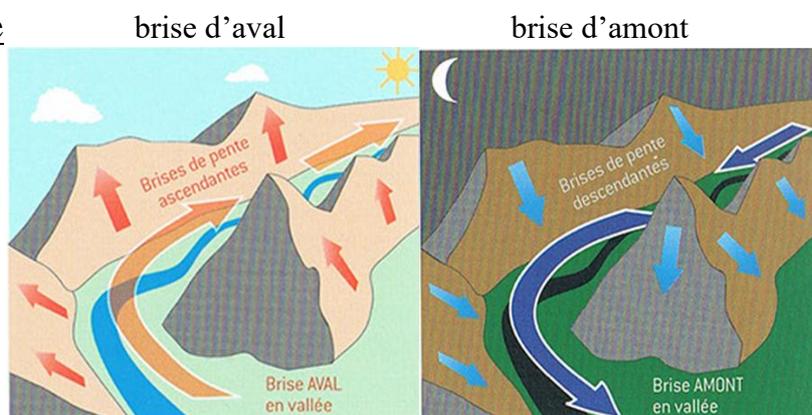
- **de nuit**, la masse d'air en contact avec le sol se refroidit plus rapidement que celle en contact avec la mer ; on assiste à l'effet inverse. Le vent au sol ou brise de terre est orienté de la terre vers la mer. Elle s'établit en milieu de nuit et est moins forte que la brise de mer, le jour.

Les brises de mer et de terre font avec le littoral un angle d'environ 70° (force de frottement).
s'il existe un vent du gradient, il tend à se combiner vectoriellement avec la brise.



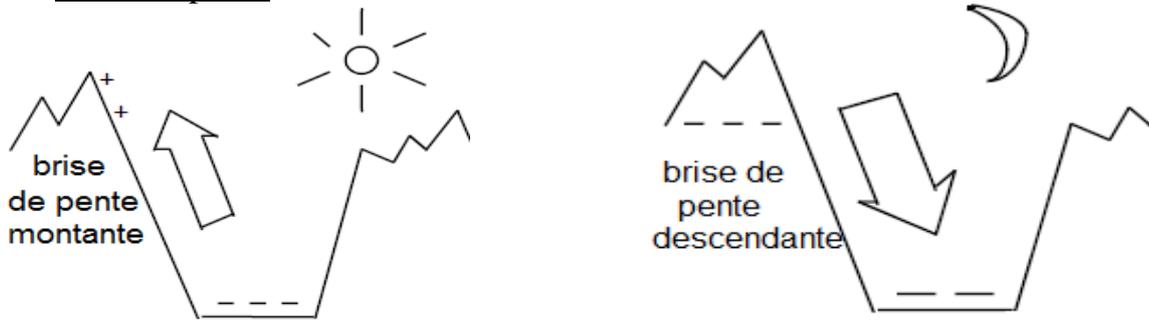
* Brise de vallée

- de jour : l'air au fond de la vallée étant plus chaud remonte vers l'amont; c'est la brise de vallée montante ou brise d'aval.

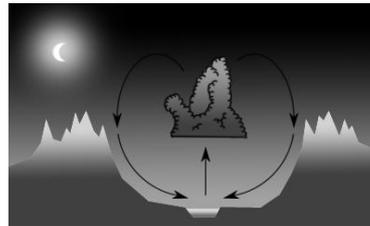
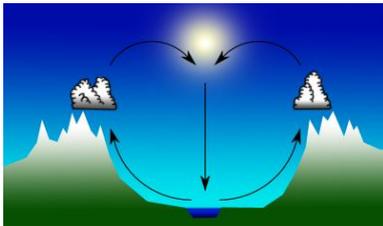


- de nuit : brise de vallée descendante appelée brise d'amont.

* Brise de pente



- de jour : * brise de pente montante : l'air au contact des pentes ensoleillées s'échauffe plus que celui au dessus de la vallée ; l'air chaud s'élève le long de la pente tandis que l'air au dessus de la vallée s'effondre.
- de nuit : on assiste aux effets inverses :
 - * brise de pente descendante : l'air refroidi s'écoule le long de la pente et alimente la vallée



Effet de vallée : vents locaux

Par phénomène de Venturi, le vent s'accélère lors du passage dans une vallée. Ceci donne lieu à des vents locaux : **Mistral , Tramontane et vent d'Autan**



Mistral et Tramontane :

dépresseion sur le golfe de Gênes
anticyclone sur les Açores



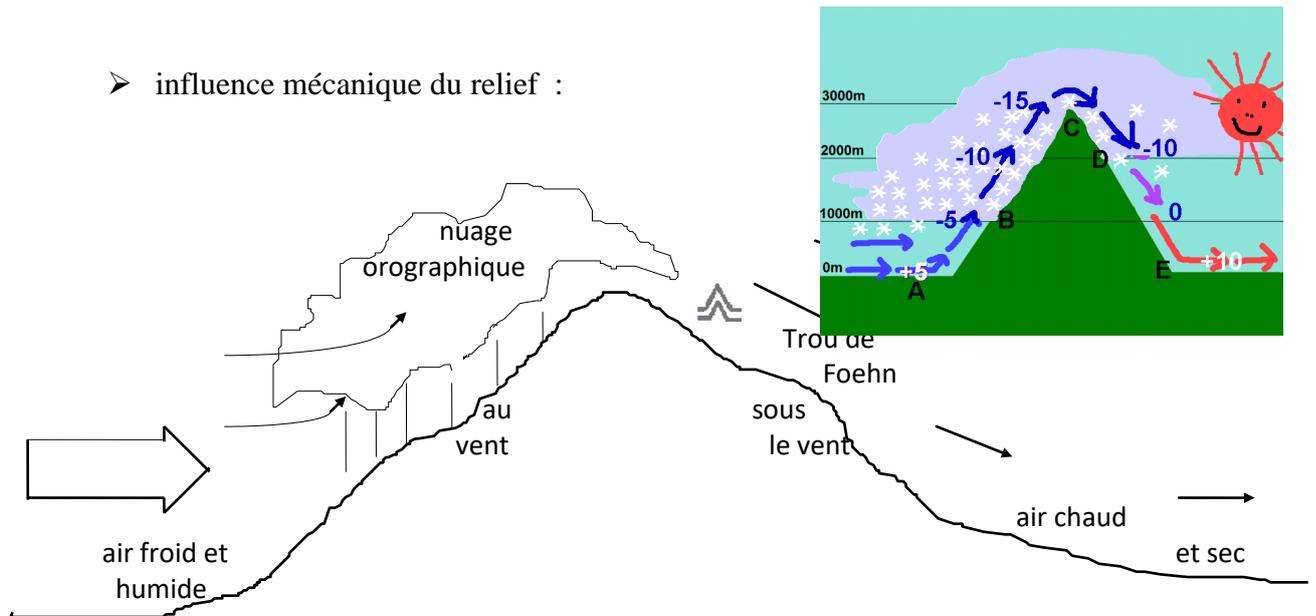
vent d'Autan :

dépresseion sur le Portugal
anticyclone sur l'Alsace



5) Effet de Foehn et onde orographique

➤ influence mécanique du relief :



- 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.

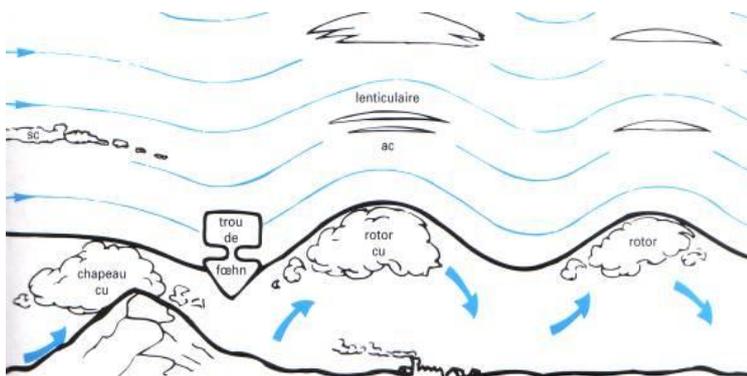
- du côté pente sous le vent :

◦ trou de Foehn : 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 vétévolé ira au vent de ces lenticulaires.



6) Situations à problèmes

- Vents de 15 à 25 kt en surface : souvent accompagnés de rafales* plus ou moins violentes : Sur un aérodrome, 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 %
* Rappel : On parle de **rafale** quand le vent instantané dépasse d'au moins 10 kt le vent moyen.
- Orages : à éviter; au sol, rentrer les avions !
- 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.

[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 7 : LA VISIBILITE

1) Mesures au sol

- 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.
- 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.
- 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).



Diffusomètre



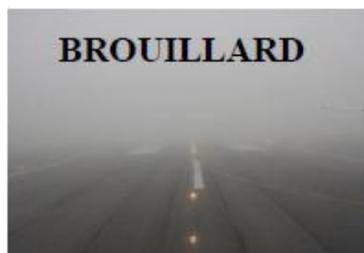
Les données sont lues sur un cadran dans les locaux de la météo et transmises aux pilotes par l'intermédiaire des services d'approche et d'atterrissage.

2) Visibilité en vol :

en général moindre que la visibilité 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 mais 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.

4) Définitions : brume, brouillard



BRUME (=) : suspension dans l'atmosphère de microscopiques gouttelettes d'eau : **1 km < visi < 5 km**.

BROUILLARD (≡) suspension dans l'atmosphère de petites gouttelettes d'eau : **visi < 1 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).

5) 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.

Autres types d'évolution

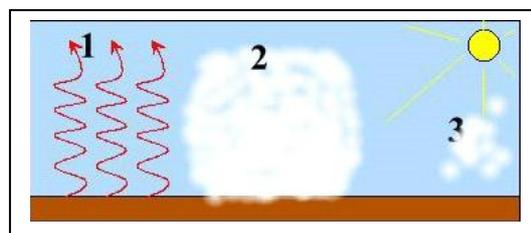
L'humidité relative est en moyenne plus forte en hiver qu'en été; en un lieu donné, elle peut varier brutalement, donc de façon très irrégulière, si les vents y conduisent des masses d'air tantôt maritimes, tantôt continentales.

FORMATION DU BROUILLARD

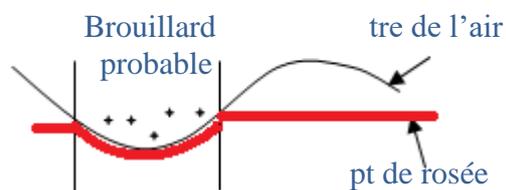
L'humidité relative passe par un maximum un peu après le lever du soleil ; si ce maximum vaut 100%, il y a saturation en vapeur d'eau, la condensation apparaît. Ce brouillard a pour origine le rayonnement terrestre qui a provoqué un refroidissement de l'air, c'est pourquoi on l'appelle brouillard de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



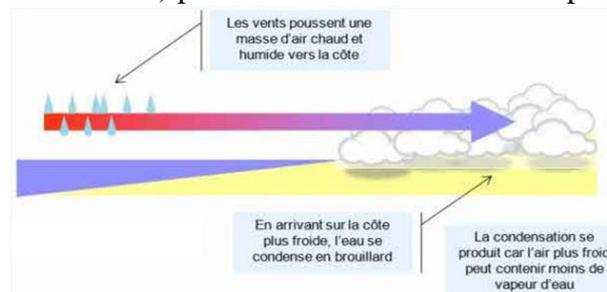
Phénomène local apparaissant en situation anticyclonique. **il se produit par ciel clair** (sans nuages), généralement de nuit et par **vent calme** de 2 à 5 kt. Il est dû au refroidissement de l'air (sans apport d'humidité) en contact avec un sol plus froid. On peut le prévoir en comparant la température de l'air et le point de rosée.



Remarque : la température du point de rosée change avec l'apparition du brouillard et suit la température de l'air.

Brouillard d'advection

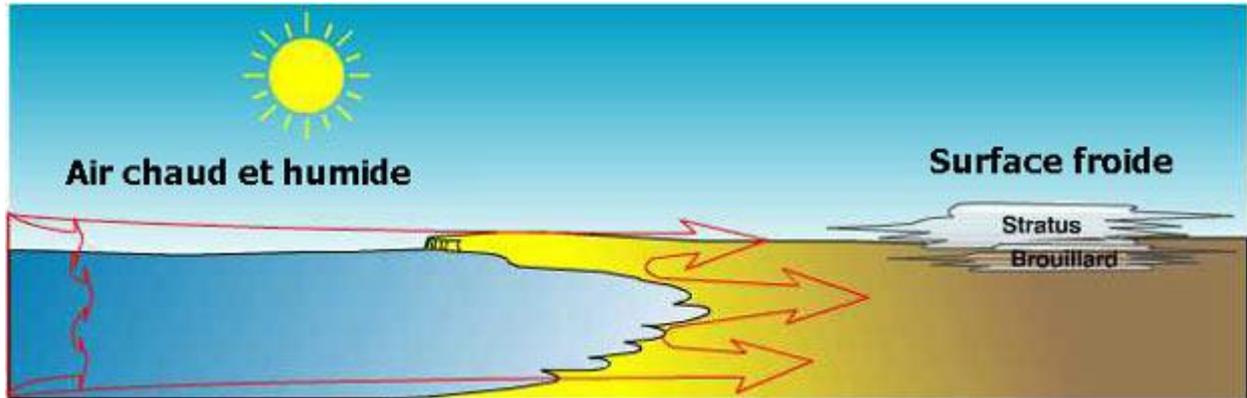
L'advection (déplacement des masses d'air) peut conduire l'air à circuler sur un sol froid; par suite, l'air se refroidit par sa base au niveau du sol. Si la température baisse jusqu'au point de rosée, il y a apparition d'un brouillard d'advection. Il est dû au refroidissement d'une masse d'air humide en mouvement (vent de 5 à 15 kt) passant sur une surface de sol plus froid



Il 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 le brouillard de rayonnement (du sol à 1500 – 2000 m); il est souvent accompagné de stratus et stratocumulus.

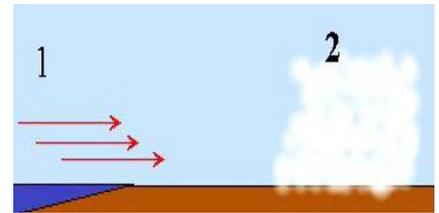
Brouillard côtier



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.

6) Vocabulaire et symboles météo

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	≡≡≡	*brume =	* brume sèche ∞			
* givrage	Y	faible	Y	modéré	Y	forte
* turbulence	∧	modérée	∧	forte		
*orages	⚡					

[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 8 : NUAGES ET PRECIPITATIONS

1) Formation

La formation des nuages dans l'air **instable** exige la présence d'un soulèvement d'air humide suffisamment puissant pour atteindre le point de condensation;

Une fois que le nuage est formé, les mouvements turbulents de l'air entraînent les gouttelettes à se heurter et à grossir : phénomène de **coalescence** (insuffisant néanmoins encore pour donner des précipitations).

La visibilité est 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.

L'instabilité entraîne de vigoureux déplacements verticaux de l'ordre de plusieurs mètres par seconde ; les nuages formés selon ce processus auront des formes boursouflées dans le plan vertical, on les appelle **nuages cumuliformes**.

Par contre d'autres processus, tels que le rayonnement, ont lieu dans une atmosphère parfaitement **stable**. Les nuages ainsi formés ont un développement vertical faible et s'étirent plutôt dans le sens horizontal ; on dit qu'ils sont **stratiformes**.

➤ **Les nuages cumuliformes** se forment :

- par **convection** ou **ascendances thermiques**.

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

Les **bases de tels nuages sont horizontales**.

Notez que l'ascendance d'air chaud nécessite AUSSI que de l'air redescende pour le remplacer. Ce courant descendant (schéma) est appelé **subsidence**.

- par **ascendance forcée** sur un relief montagneux ou **ascendance orographique** ou **onde de relief**.

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

- **par soulèvement frontal**

Dans une perturbation en mouvement, l'air chaud est soulevé à l'avant par la masse d'air froid antérieur (front chaud). L'air froid postérieur rejette l'air chaud en altitude (front froid).

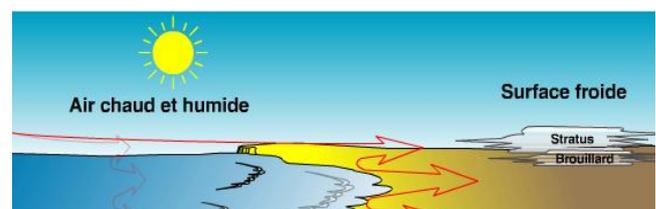
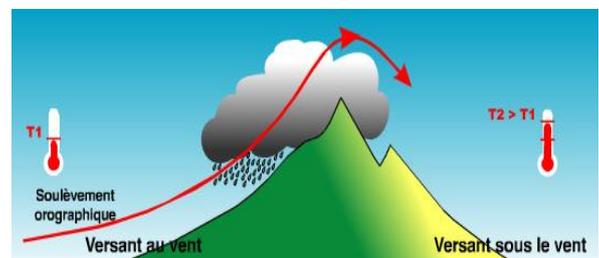
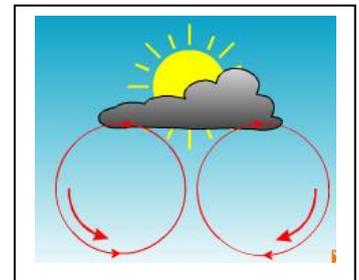
Le long des fronts se forment les nuages. Vrai également pour les nuages stratiformes.

➤ **Les nuages stratiformes** se forment :

- par **advection et refroidissement** par la base.

Ce mécanisme conduit à la formation de nuages bas ou brouillard. Phénomènes très fréquents dans les régions côtières. (vent modéré <15 kt)

On l'observe aussi l'été en mer lorsque de l'air relativement doux arrive sur des eaux froides.



L'allure générale des nuages, leur forme, est très liée au caractère stable ou instable de l'atmosphère.

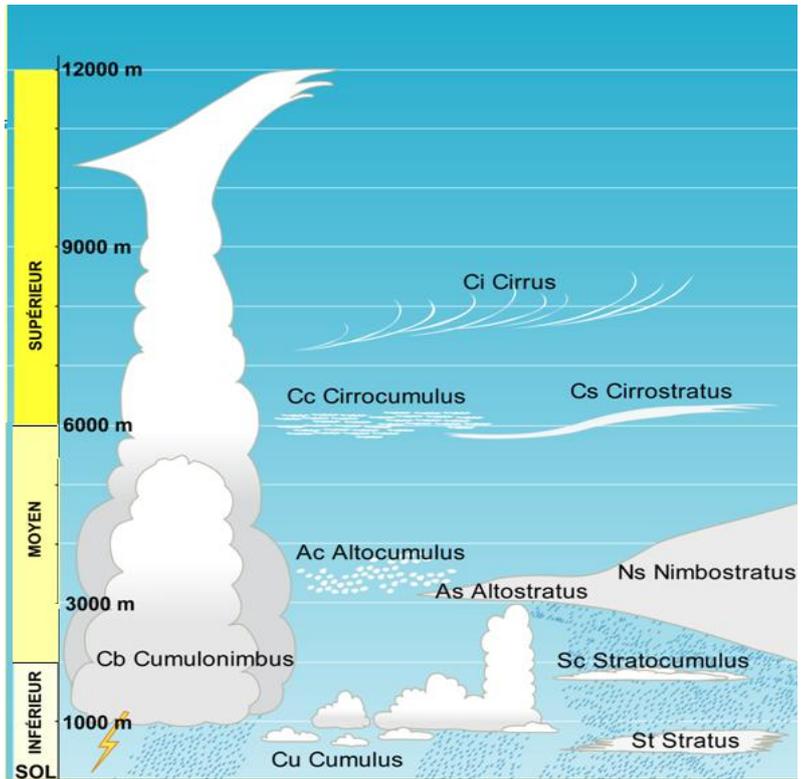
Remarque : Isothermie et inversion de température révèlent une parfaite stabilité de l'air. En particulier on voit que la tropopause constitue la limite supérieure des nuages (sauf quelques nuages d'orage tropicaux).

2) Les dix genres de nuages

Classification des nuages selon leur forme et leur hauteur : 10 genres

étage	filaments	voiles - couches		galets	nuages à grande extension verticale
supérieur + de 6 km 16000 à 42 000 ft	CIRRUS (Ci) stable	CIRROSTRATUS (Cs) stable		CIRROCUMULUS (Cc) instable	CUMULONIMBUS (Cb) instable et CUMULUS (Cu) instable
moyen 2 à 6 km 6500 à 16 000 ft		NIMBOSTRATUS (Ns) stable	ALTOSTRATUS (As) stable	ALTOCUMULUS (Ac) instable	
inférieur 0 à 2 km moins de 6 500 ft			STRATUS (St) stable	STRATOCUMULUS (Sc) faiblement instable	

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.



Ac floccus



Ac undulatus



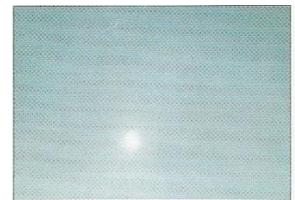
Ac castellanus



Ac lenticularis

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.



cumulus humilis



cumulus 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.

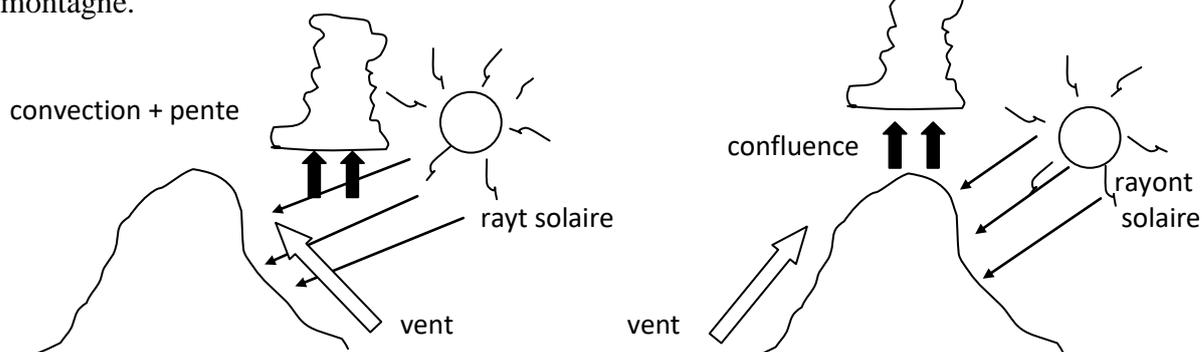
Base du nuage très sombre accompagnée souvent de nuages bas et déchiquetés. Le Cb est presque toujours accompagné de phénomènes dangereux pour l'Aéronautique.

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



Le cumulonimbus se forme :

- par convection : il est issu d'une situation qui commence toujours par un ciel peuplé de cumulus ; cette situation dure souvent de 2 à 4 h. Alors seulement, certains cumulus évoluent en cumulonimbus. Leur vie peut se prolonger au delà du coucher du soleil par :
 - * la restitution : certains sols emmagasinent la chaleur et la restituent en cours de soirée
 - * l'évaporation au sommet du Cb qui a pour effet de refroidir l'atmosphère à haute altitude et, par là, d'augmenter l'instabilité de l'air.Sur mer la situation est différente et les Cb sont dus à la présence de surfaces maritimes chaudes; rares le jour, ils se développent plutôt en fin de nuit.
- sur un front si la structure thermique verticale s'y prête.
- en montagne.



- phénomènes météorologiques associés aux cumulonimbus :
 - * 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.
 - * givrage : très important à l'intérieur.
 - * grêle : entre 5 et 30 mm parfois plus.
 - * mauvaise visibilité et nuages bas.
 - * foudre.

Stade ultime du développement d'un cumulus, le **cumulonimbus** est un nuage de très grande extension verticale.

Les cumulonimbus tropicaux peuvent par inertie dépasser la tropopause.

Sa base occupe également un grand espace. Elle est très sombre en raison de la densité du nuage et de sa hauteur.

Les Cb présentent souvent une partie supérieure en forme d'enclume. Ils donnent naissance à des orages et des averses violentes.

Leur traversée est très dangereuse pour les aéronefs en raison des très violentes turbulences que l'on y rencontre et des météores de grandes dimensions qui existent dans la partie supérieure.



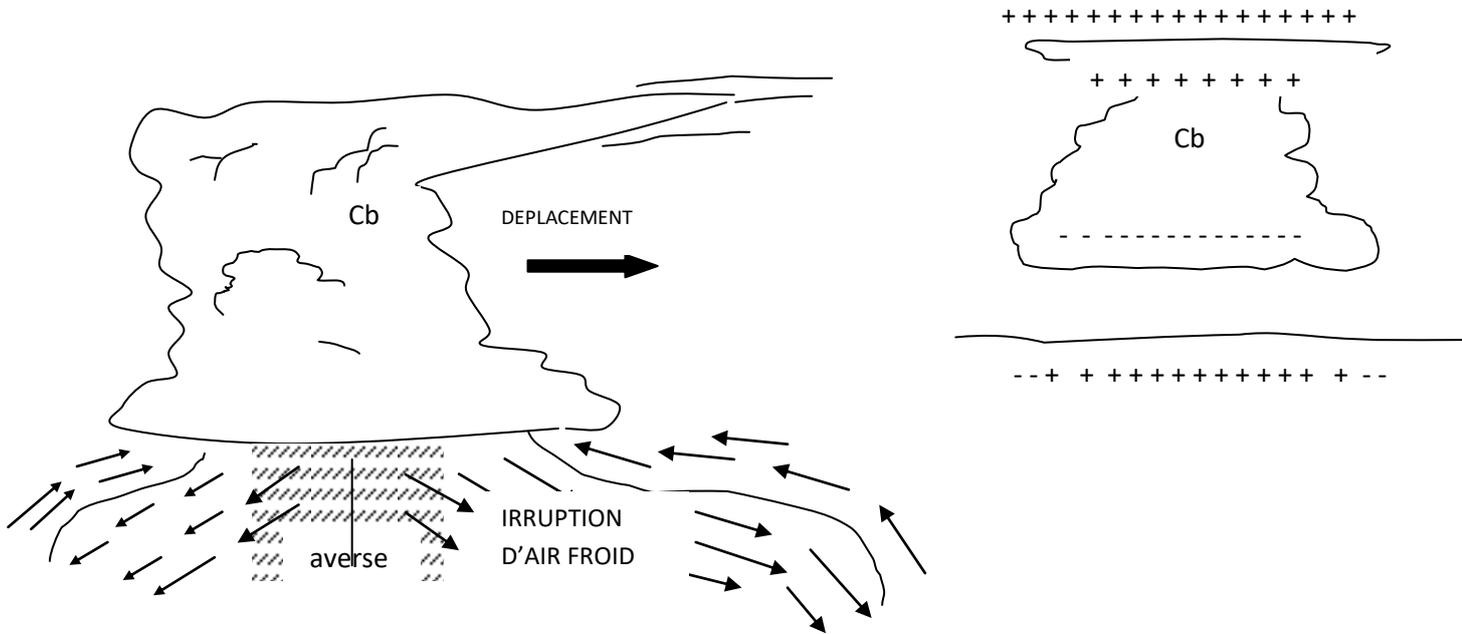
Cb calvus pileus



Cb capillatus

Sommet en forme d'enclume





AUTRES NUAGES PARTICULIERS



ARCUS

Nuage impressionnant d'aspect très menaçant, l'arcus prend la forme d'un long rouleau horizontal situé à l'avant d'un nuage d'orage (cumulonimbus). L'arcus est associé aux orages particulièrement violents : de fortes rafales de vent se produisent à son passage.

MAMMA

Les mammas ou "mammatus" sont des protubérances arrondies plus ou moins lisses qui ressemblent à des mamelles. Les plus impressionnants se forment souvent sous l'enclume des cumulonimbus, les nuages d'orage.





VIRGA

Les virgas sont des précipitations qui s'évaporent avant d'atteindre le sol. Ressemblant à des tentacules émergeant d'un nuage, les virgas sont plus ou moins obliques selon la force des vents.



nuages d'incendie ou pyrocumulus

De véritables cumulus peuvent se former par l'apport de chaleur et d'humidité issues des incendies. Coexistant avec la fumée, ils sont denses, sombres et bourgeonnants. Leur extension verticale peut se montrer importante.

Traînés de condensation

ou « cotras »

Ces nuages artificiels se forment dans le sillage des avions, par l'apport de vapeur d'eau et de noyaux de condensation provenant des rejets de produits de combustion. (atmosphère très humide et très froide)



3) Nébulosité

Nébulosité météorologique : C'est la fraction de voûte céleste occultée par les nuages ; on l'exprime en « octas » c'est à dire en huitièmes de ciel. Pour les besoins de l'aéronautique la nébulosité est exprimée de manière moins précise à l'aide des noms de code : OVC, BKN, SCT (voir § assistance météo)

Nébulosité partielle : elle a pour objet de détailler la nébulosité de chaque couche nuageuse présente dans le ciel, indépendamment de toutes les autres .

Ex : 1 / 8 de stratus à 200 ft; 4 / 8 de stratus à 800 ft et 7 / 8 d'altocumulus

Notion de plafond nuageux : c'est la couche nuageuse la plus basse au dessous de 6000 m dont la nébulosité partielle couvre plus de la moitié du ciel.

Utilisé exclusivement à des fins de réglementation aérienne, il ne figure pas en météo !

4) Précipitations

Météore : tout phénomène autre qu'un nuage, observé dans l'atmosphère ou à la surface du globe.

Précipitation : c'est un hydrométéore constitué par un ensemble de particules aqueuses, liquides ou solides, qui tombent d'un nuage ou d'un ensemble de nuages, et qui atteignent le sol.

Toute précipitation nécessite la condensation de la vapeur d'eau.

Les particules liquides et solides qui forment les nuages ont des dimensions si faibles (2 à 50 µm) que les quelques forces d'agitation de l'air les maintiennent en suspension.

Mais lorsque les gouttelettes d'eau des nuages ont assez grandi, elles deviennent trop lourdes pour être supportées dans le nuage; elles se mettent donc à chuter vers la terre.

Trois éléments déterminent la forme finale sous laquelle elle se présente, ce sont :

- les courants aériens,
- la température
- et l'humidité.

Il y a deux types de précipitations:

- **Précipitations stratiformes:** qui couvrent une grande étendue, qui durent longtemps mais de faible intensité, qui se produisent dans les zones de basse pression et qui sont associées à des nuages de types "stratus";
- **Précipitations convectives:** qui couvrent des petites surfaces, qui ne durent pas mais qui sont intenses, qui sont très localisées et produites par l'instabilité convective de l'air, et enfin qui sont associées à des nuages de types "cumulus".

Les précipitations peuvent tomber sous trois formes:

- **Précipitations liquides:** pluie et bruine.
- **Précipitations verglaçantes:** pluie verglaçante et bruine verglaçante.
- **Précipitations solides:** neige, neige roulée, neige en grains, cristaux de glace, grésil et grêle.

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.

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

Averses : 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

- **averses de pluie:** l'iso 0°C doit être assez élevé pour permettre la fusion de la neige ou des grêlons durant la chute. Elles proviennent d'altocumulus (Ac), de cumulus (Cu) ou de cumulonimbus (Cb).

- **averses 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.

- **averses 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										
	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

Formation des précipitations :

97% des nuages précipitants sont composés de particules liquides et solides en suspension.

La taille des particules constitutives du nuage ne dépassant pas 50µm, leur taille doit grossir pour atteindre au moins 100µm, pour que celles-ci soient emportées par la gravité et ainsi enclencher une précipitation.

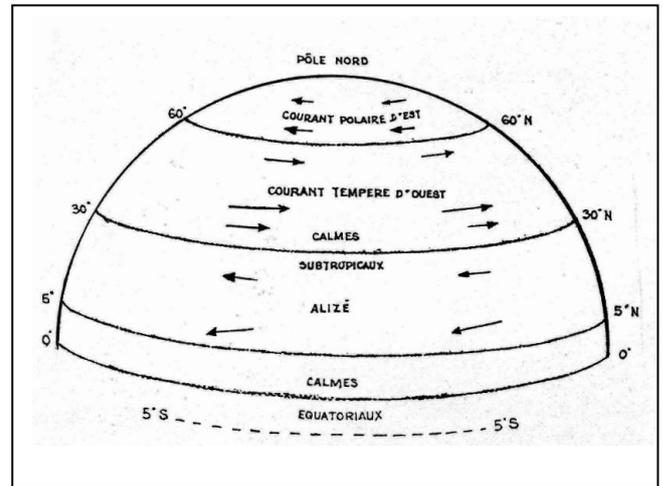
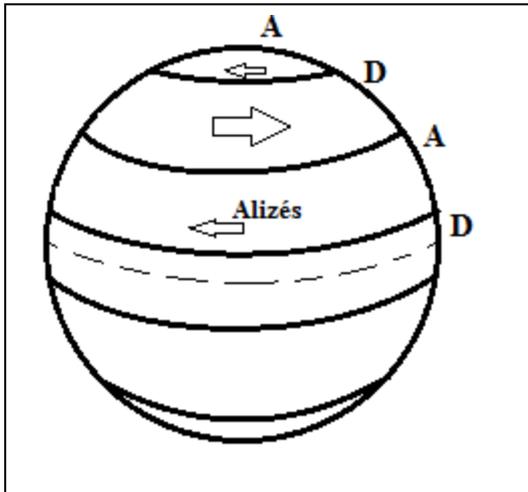
[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 9 : MASSES D'AIR - FRONTS

1) Masses d'air

* CIRCULATION ATMOSPHERIQUE GENERALE



Les différences de température créent du vent. Quelques exemples :



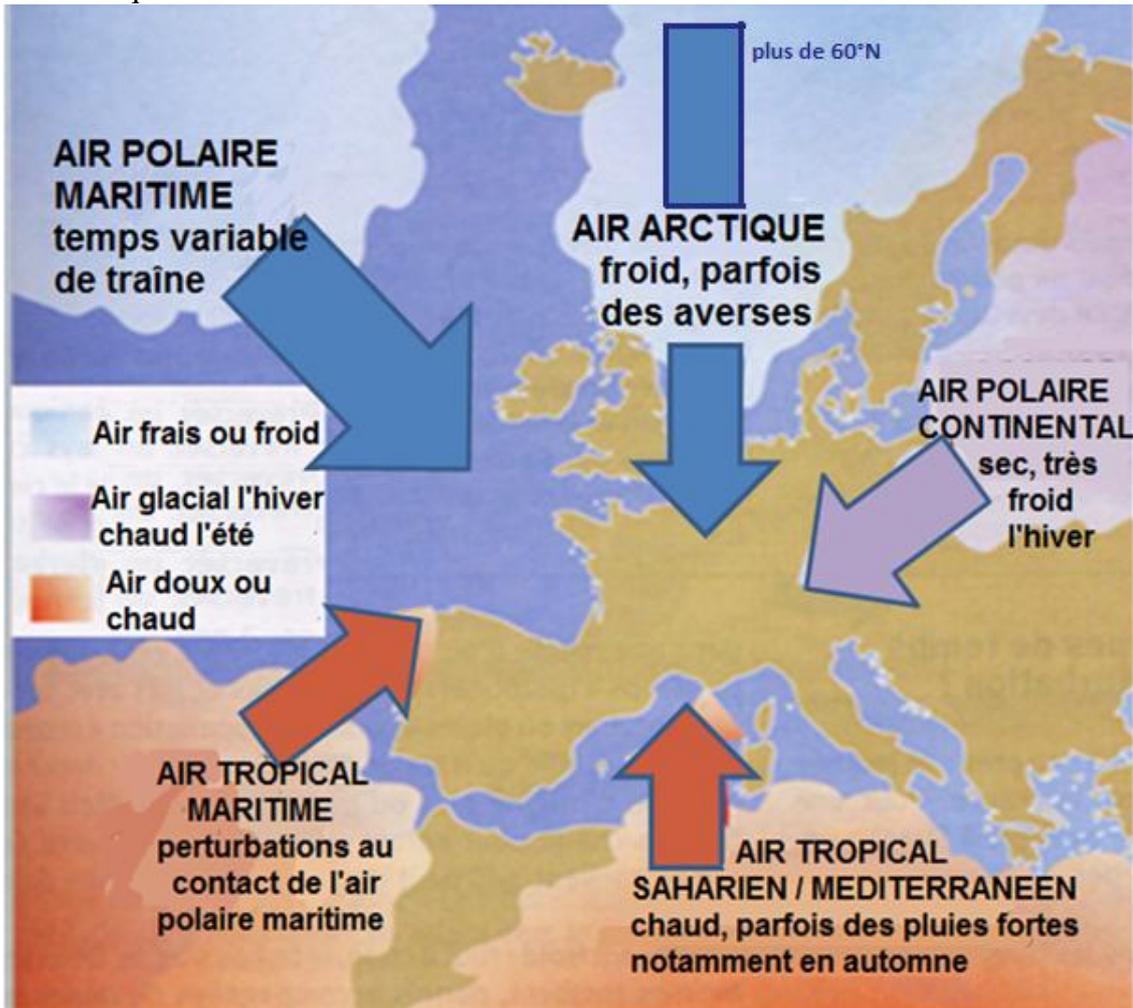
Compte tenu du sens de rotation des vents il s'ensuit un flux général d'ouest en est.

De grands volumes d'air acquièrent des caractéristiques de température assez semblables d'un bout à l'autre de ces volumes et sur de grandes épaisseurs; ces volumes sont appelés **masses d'air**; on y note une certaine homogénéité de température et d'humidité.

Anticyclones et dépressions sont à l'origine des vents qui déplacent ces masses d'air : par exemple, l'air froid et humide provenant des régions polaires contourne la dépression d'Islande par l'ouest et s'écoule du nord vers le sud au large de Terre Neuve ; Et l'anticyclone des Açores draine de l'air tropical, chaud et humide, qui circule du sud vers le nord sur l'ouest de l'Atlantique.

En se déplaçant (40 à 50 km/h) ces masses d'air ne changent de caractéristiques que très lentement (+ de 6 jours).

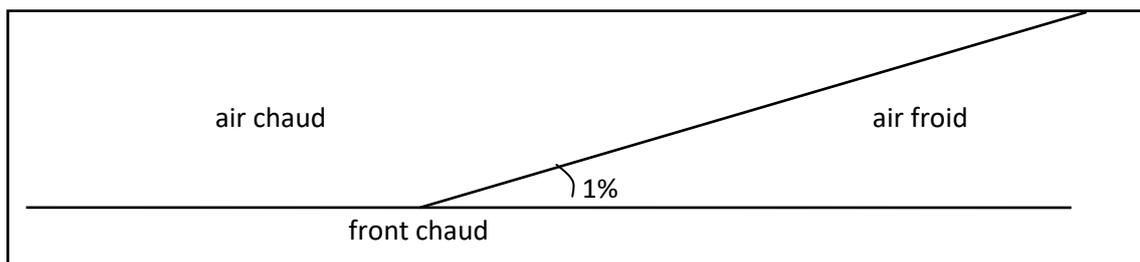
* **ORIGINES** : arctiques - polaires maritimes ou continentales - tropicales maritimes ou continentales - équatoriales.



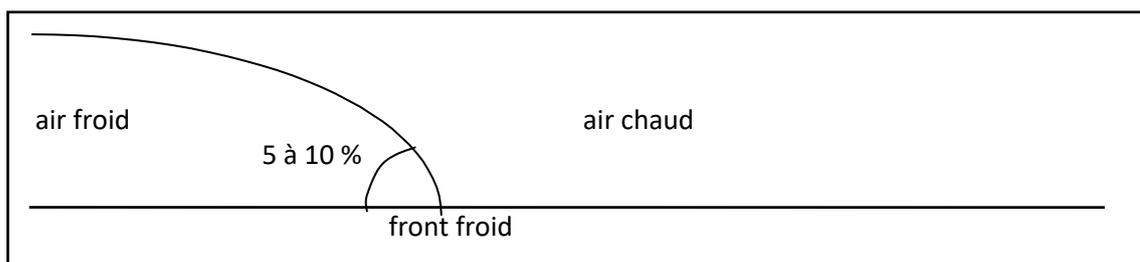
2) Description : masses d'air et fronts

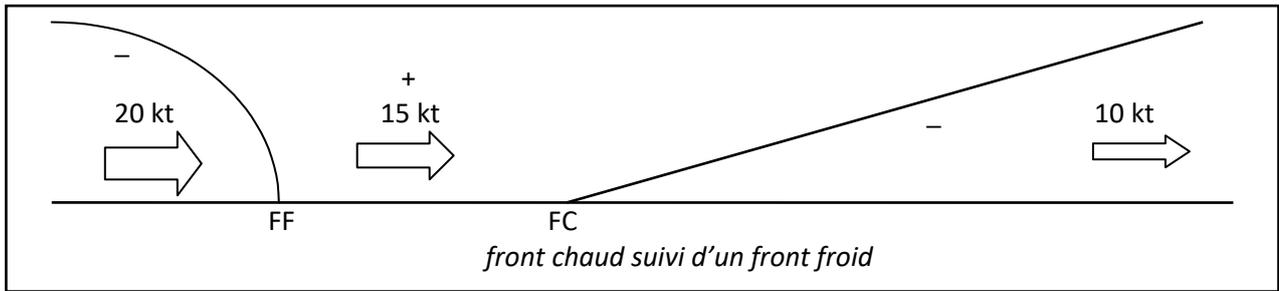
Deux masses d'air ne se mélangent pas.

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

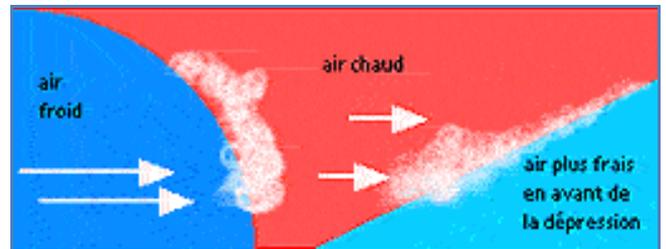


sens du déplacement : **W** **E**

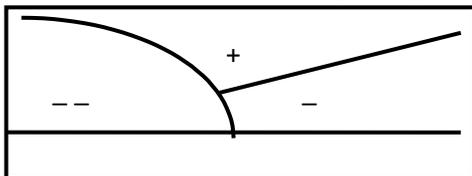




La masse d'air froid se déplace plus vite que la masse d'air chaud. Quand le FF coïncide avec le FC, on dit qu'il y a **occlusion**.

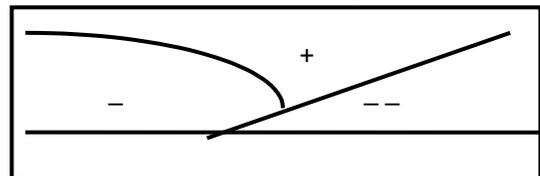


occlusion à caractère de front froid

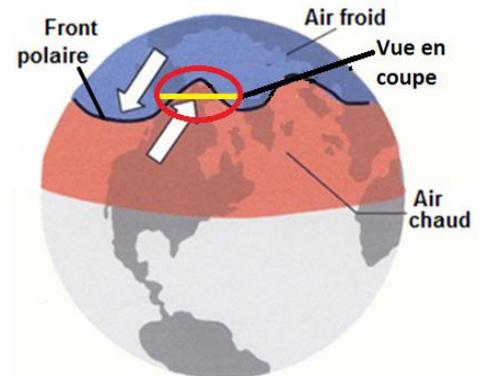
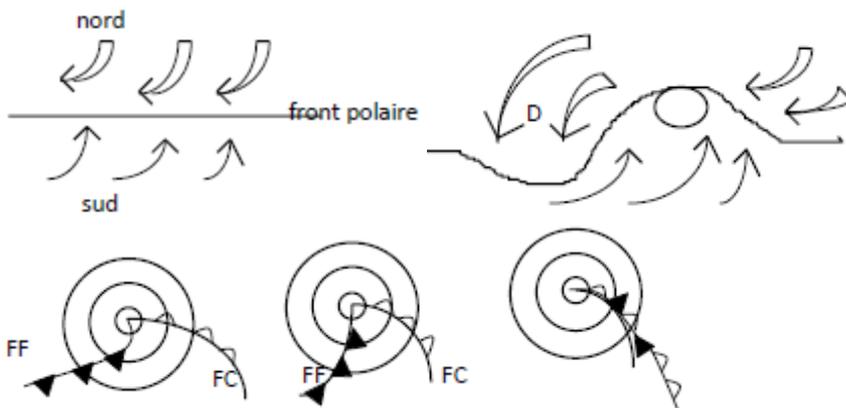


ou

occlusion à caractère de front chaud



3) Schéma de la vie d'une perturbation

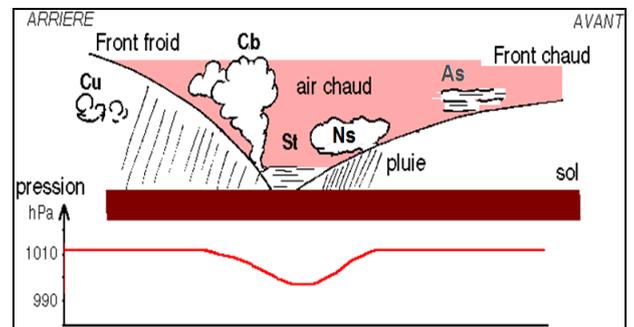


L'ensemble des 2 fronts constitue une perturbation.

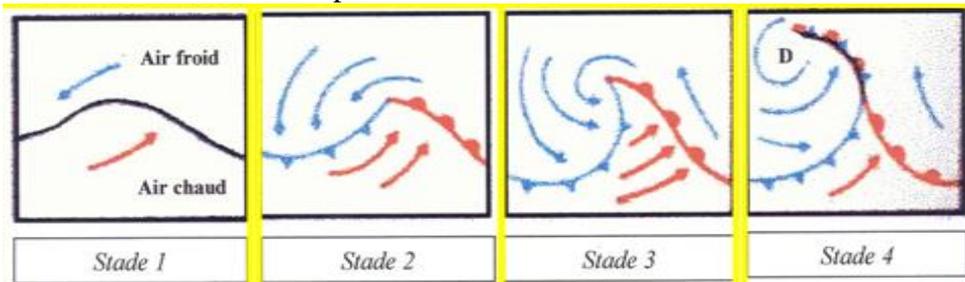
Evolution :

Au début : vaste secteur chaud qui se rétrécit jusqu'à l'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.



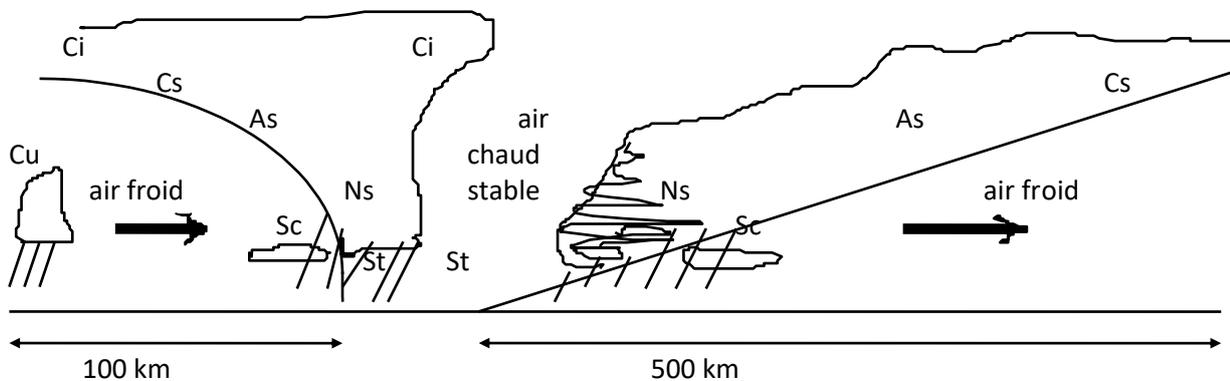
4) Les nuages et les fronts

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

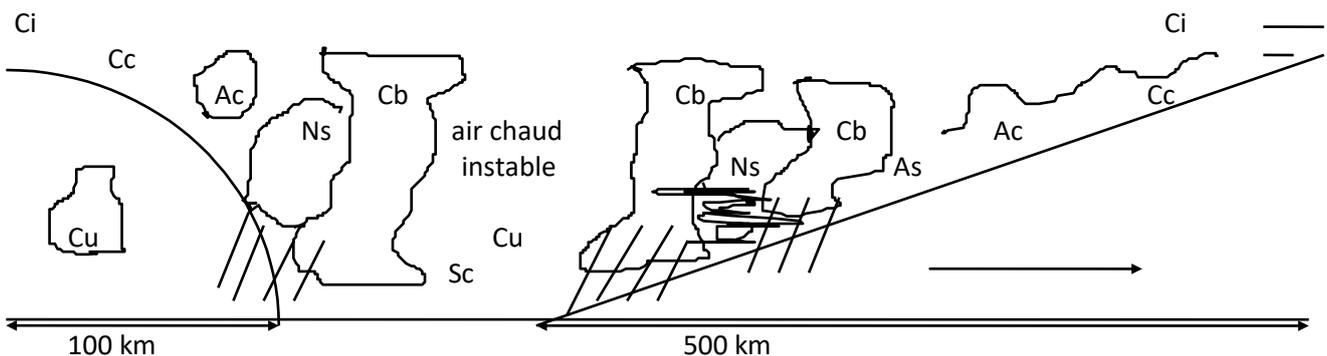


air chaud stable : Pour un observateur en avant du front chaud : Ci - Cs - As - Ns avec pluies persistantes et nuages bas déchiquetés.

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



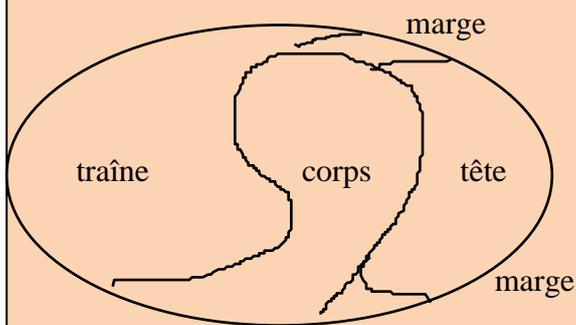
air chaud instable :

front chaud : Ci - Cc - Cs puis Ac avec sommets bourgeonnant préorageux. Ns et 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 d'où formation de cumulus.

*** SYSTEMES NUAGEUX**



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

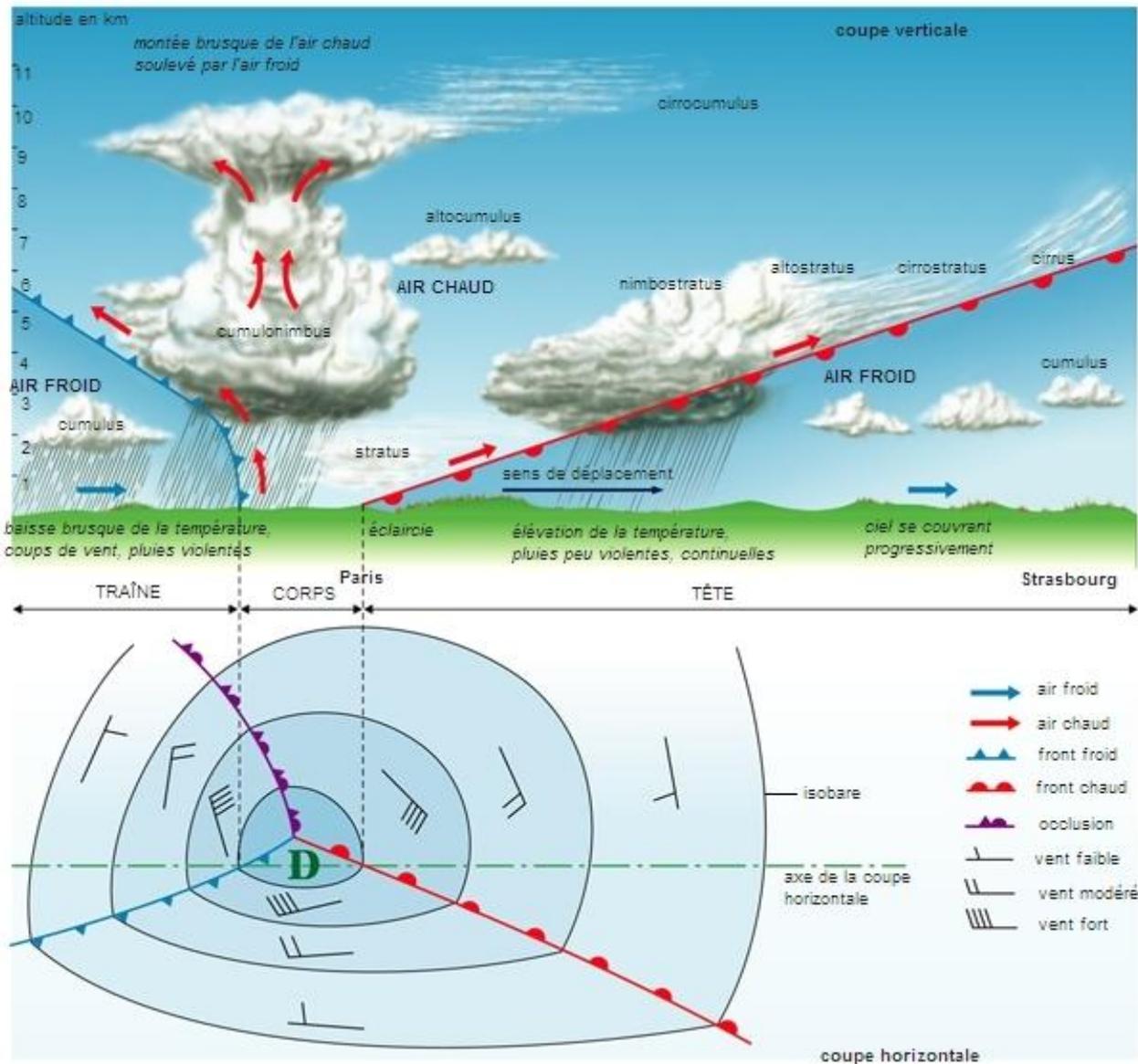
marges : zones latérales : nuages des étages supérieur et moyen.

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 sommaire météo](#)

Chapitre 10 : PHENOMENES DANGEREUX

1) Le brouillard :

VISIBILITE INFERIEURE A 1000 m



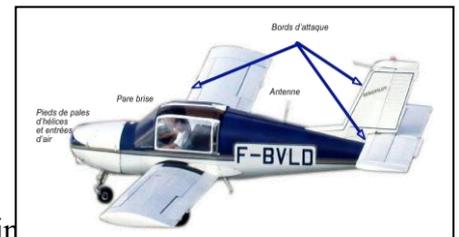
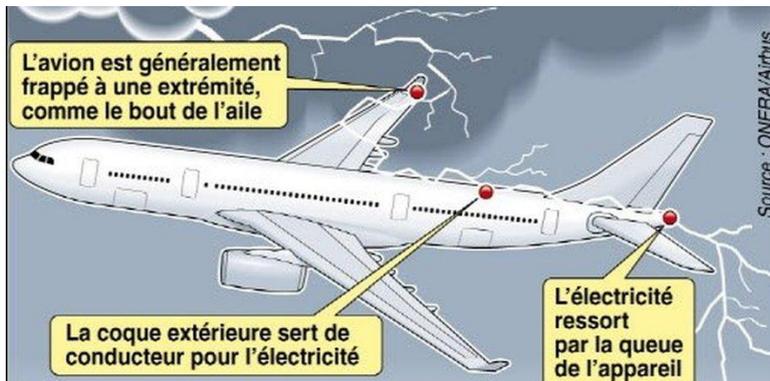
Rappel : la brume : visibilité de 1 à 5 km.

2) La foudre :

Les accidents liés à la présence d'orage sont extrêmement rares : tous les avions sont en moyenne touchés par la foudre toutes les 1500 heures, 1 à 2 fois par an.

Très rarement, le foudroiement peut avoir des conséquences sur l'appareillage, plus particulièrement sur la tête de l'avion, là où les radars et tous les systèmes électriques majeurs sont installés.

Cependant, une panne électrique est exceptionnelle car tous les systèmes électriques à l'intérieur de l'avion sont comme dans une cage de Faraday, totalement protégés et inaccessibles par la foudre. L'avion est conçu de telle manière que toutes les décharges électriques sont normalement évacuées vers l'extérieur.



3) Le givrage

DEFINITION : Dépôt de glace opaque ou transparent, adhérent à certains (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...).

CAUSES DE LA FORMATION : condensation solide de la vapeur d'eau.

Le sol et la végétation sont atteints en priorité par la gelée blanche mais c'est aussi vrai pour tout objet, soumis au rayonnement qui se refroidit la nuit plus vite que l'air; ainsi un avion dehors la nuit sera recouvert de gelée blanche dès que la température avoisinera 0°C, si l'air est suffisamment humide.

Le givrage est dû à la présence d'eau sous forme liquide à des températures négatives (surfusion). En impactant, elle se transforme en glace : il y a accréation sur l'avion.

Lors d'une descente rapide, de la gelée blanche peut apparaître sur un avion froid, même en air limpide.

Au sol, avant le décollage, il faut ôter les dépôts de neige ou de gelée blanche.

Le liquide de dégivrage est un mélange à base de propylène glycol ou éthylène glycol et d'eau qui est chauffé et pulvérisé sous pression pour ôter la glace et la neige accumulée sur l'appareil.



En vol

Sur les avions de transport, il existe deux types de systèmes pour lutter contre le givrage:

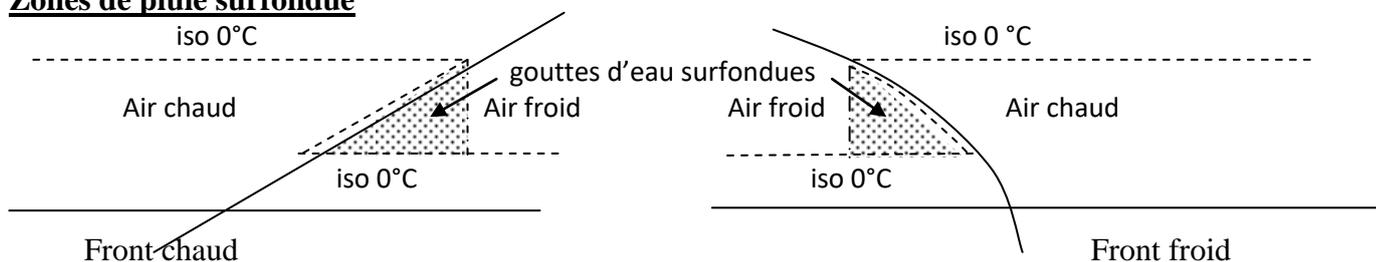
- les **systèmes de dégivrage** : généralement constitués de boudins gonflables, ils permettent de briser la glace formée généralement sur les bords d'attaque des ailes, que l'on a laissé s'accumuler dans une certaine limite.
- les **systèmes d'antigivrage** : ils fonctionnent en permanence afin de prévenir toute formation de glace sur l'aile grâce à :
 - * de l'air chaud à haute température circulant à l'intérieur des bords d'attaques, et prélevé sur les compresseurs haute pression des réacteurs,
 - * ou la diffusion de liquide antigel (glycol) par capillarité pour les avions ne disposant pas de compresseurs (moteurs à pistons).

Les pare-brises et les antennes sont dégivrés généralement par des résistances électriques.

Le verglas : C'est le seul type de givrage qui affecte la cellule en vol VFR.

Dépôt de glace généralement homogène et transparent provenant de la congélation de gouttelettes de bruine ou de gouttes de pluie en surfusion, sur les objets dont la surface est à température inférieure à 0°C ou très peu supérieure.

Zones de pluie surfondue



Les températures sont positives en dessous de l'iso 0 et négatives au-dessus

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.

La gelée blanche

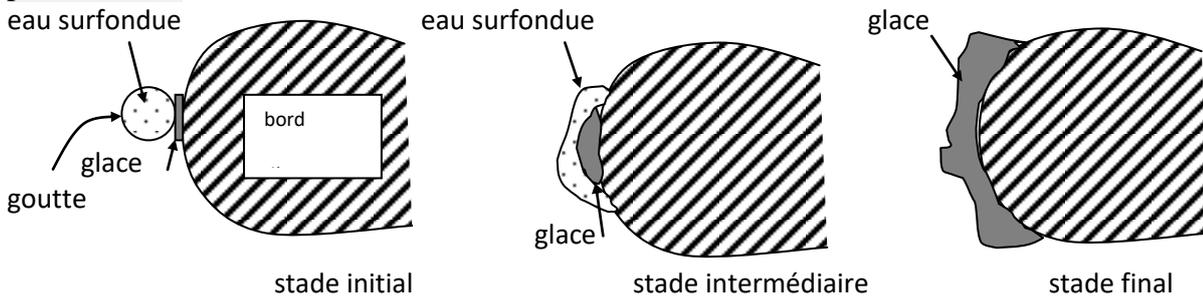
Sévérité : Givrage généralement faible mais pouvant gêner la visibilité à travers le pare-brise.

La gelée blanche se forme surtout sur surfaces métalliques, plus froides comme le toit des voitures ou l'entière surface d'un avion. Moins il y a d'humidité, plus la température de l'objet doit être basse pour créer ce dépôt.



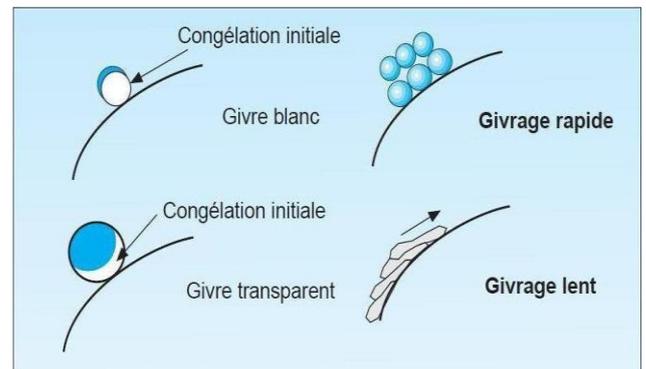
Le givre blanc

Sévérité moyenne. Ce givre est opaque : congélation rapide de petites gouttes qui se figent sans se déformer. Cela provoque une surface granuleuse qui se limite généralement aux bords d'attaques. Mais il peut s'accroître par l'avant et par la suite, il se forme des "cornes" sur le profil qui en dégradent les performances



Le givre transparent ou dur ou verglas

Formation : par solidification lente de gouttelettes en surfusion sur des surfaces à température faiblement négative. Il survient en milieu nuageux généralement instable, essentiellement pour des températures entre -35°C et 0°C . La formation lente permet un étalement du dépôt qui peut être très important et a de fortes propriétés adhérentes.



Aspect : glace claire, vitreuse et dure qui s'étale souvent irrégulièrement sur les surfaces des ailes, les pales d'hélice, les antennes, le pare-brise, et qui bouche les prises statiques, les tubes de Pitot, etc.

Il est difficile à briser ou à déloger, car il ne contient pas de bulles d'air emprisonnées pouvant affaiblir sa structure.

Ce type de givre est **très dangereux**, car sa transparence peut rendre sa détection difficile et il peut "contaminer" une grande partie de la surface de l'avion.

On ne s'y attend pas si on n'est pas informé du passage d'un front puisqu'on vole **hors des nuages, dans une zone de pluie**.

Lui aussi est dû au phénomène de surfusion.

Lorsque l'avion traverse une zone de pluie surfondue, le givrage est très intense et se propage au-delà des systèmes dégivreurs des avions qui en sont équipés.

C'est le givrage le plus dangereux, même pour les avions de transport.

Lorsque des grosses gouttes s'étalent, elle couvrent une surface importante et engendrent :

- la déformation des profils,
- une traînée importante,
- une augmentation du poids,
- une glace difficile à briser,
- un possible blocage de gouvernes.



Le taux d'accrétion de la glace est tel que les systèmes de dégivrage ou antigivrage ne parviennent pas à réduire le danger. Il faut immédiatement changer de route.

(GIVRAGE DU CARBURATEUR voir chapitre groupe motopropulseur)

4) La turbulence

	Modérée
	Forte

Turbulence (aéronautique) :

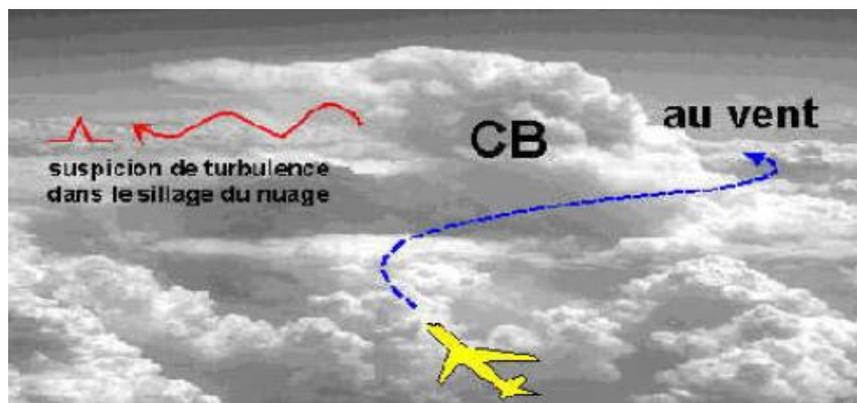
Variations de la direction ou de la vitesse du vent (accélération verticale ou horizontale) modifiant les paramètres de vol non compensées par des méthodes normales de pilotage.

Cisaillement du Vent :

Rafales :

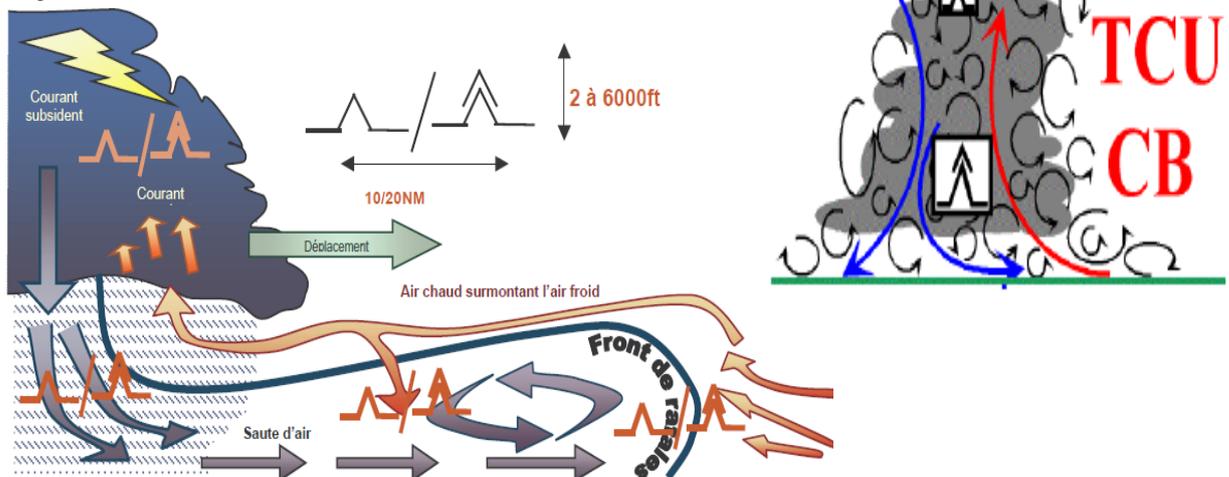
Écart entre vent instantané et vent moyen ≥ 10 kt.

- Turbulence orographique et onde de relief.
- Turbulence en air clair (CAT) due aux courants jets.
- Turbulence près des surfaces frontales, due au contraste thermique des masses d'air, au cisaillement horizontal, ainsi qu'aux mouvements verticaux induits.
- Turbulence due aux brises, vents de directions différentes entre le sol et le sommet de la circulation de brise qui se situe généralement vers 1000 ft.
- Turbulence de sillage nuageux générée par un cumulonimbus.



- Les nuages convectifs : La turbulence se manifeste aussi bien dans le nuage convectif qu'au-dessus, autour et en-dessous.

- Le front de rafale – siège de forts cisaillements, il se déplace à l'avant et avec la cellule orageuse.



[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)

Chapitre 11 : L'INFORMATION METEOROLOGIQUE

Par messages et/ou par cartes

1. Message d'observation

Le **METAR** : (METeorological Airport Report) adressé toutes les heures, d'autres messages peuvent venir les compléter en cas de changement important: ce sont les messages SPECI, validité 1h parfois ½ h

Exemples de METAR

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", "pas de nuage en dessous de 1500m", "pas de précipitation", "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 :

La nébulosité en octas est représentée par des mots :

FEW : **1 à 2 / 8** ; SCT (scattered) : **3 à 4 / 8** ; BKN (broken) : **5 à 7 / 8** ; OVC (overcast): **8 / 8** ;

La hauteur de la base des nuages est donnée en centaines de pieds : ici 2300 ft.

Le genre des nuages n'est précisé que dans deux cas particuliers : Cb (cumulonimbus) et TCU (Tower cumulus).

2. Message de prévisions

Le **TAF** (Terminal Area Forecast), 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.

Ne pas confondre ces deux types de messages : pour vous rappeler que le message de prévision est le TAF, pensez « TAF = T'As Faux » ! Que les météorologues me pardonnent !

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

3. Les messages particuliers

Le SIGMET (SIGnificant METeorological report), valable 4 h, observation ou prévision de phénomènes dangereux pour le vol. (orages, turbulence, givrage, ondes orographiques, tempêtes de sable ou de poussière, cyclones tropicaux, cendres volcaniques, nuages radioactifs.)

Message ATIS (Automatic Terminal Information Service) : message vocal sur répondeur diffusé toutes les heures par la tour de contrôle (fréquence radio et numéro de téléphone sur carte d'aérodrome).

Autre exemple de TAF

TAF: LFBY 130800Z 1309/1318 29008KT 8000 SCT020 SCT030 TEMPO 1309/1315
(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
29010G25KT 3000 -SHRA BKN020 BKN030TCU
(8) (9) (10) (11) (12)

- (1) Prédiction valable du 13 à 09 UTC au 13 à 18 UTC
- (2) Vent 8 kt de ouest/nord-ouest
- (3) Visibilité: 8000 m
- (4) Nuages épars à une hauteur de 2000 ft
- (5) Nuages épars à une hauteur de 3000 ft
- (6) Temporairement
- (7) du 13 à 09 UTC au 13 à 15 UTC
- (8) Vent 10 kt de ouest/nord-ouest avec des rafales jusqu'à 25 kt
- (9) Visibilité: 3000 m
- (10) faibles (-) averses (SH) de pluie (RA)
- (11) Nuages fragmentés à une hauteur de 3000 ft, Cumulus congestus. (12) Nuages fragmentés à une hauteur de 2000 ft

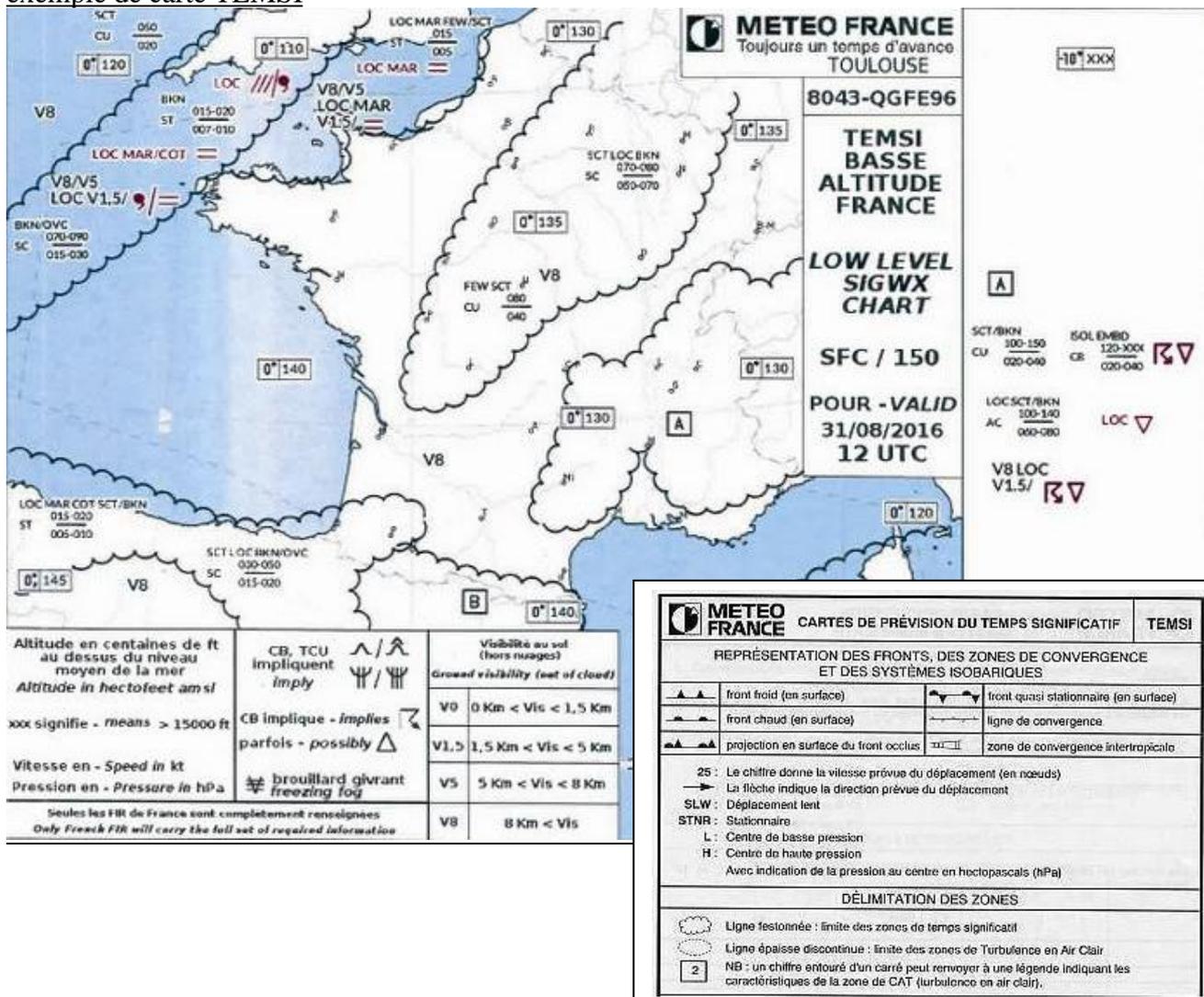
4) Les cartes

Cartes TEMSI du temps significatif (TEMps Significatif): carte de temps prévu pour une heure précise et une zone délimitée (France, Europe, etc...). Carte disponible 2 heures avant l'heure prévue: prévision de phénomènes du temps significatif en représentation symbolique et abréviations normalisées.

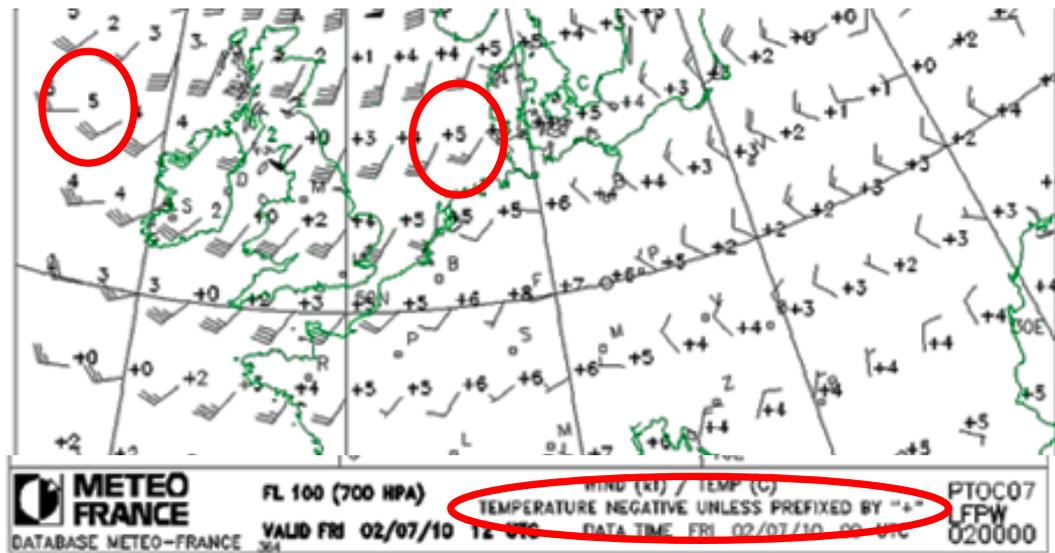
- pour un domaine géographique défini
- pour un espace vertical spécifié
- pour une heure fixe donnée

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.

exemple de carte TEMSI



Carte WINTEM (Winds and temperatures) : carte d'altitude donnant les tendances de vents et températures (FL20, FL50, FL100). (Extrait)



Remarque : Attention sur la carte +5 veut dire : + 5°C mais 5 veut dire -5°C

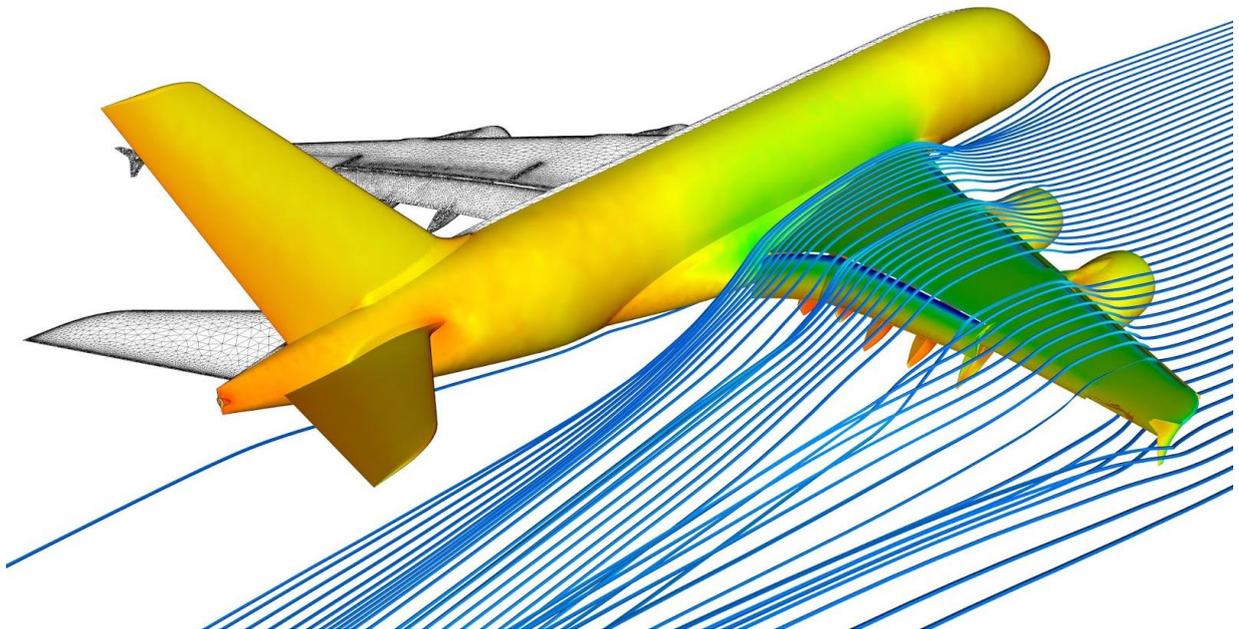
[Retour au sommaire général](#)

[Retour sommaire météo](#)



COURS DE PREPARATION AU BIA **PARTIE 2**

AERODYNAMIQUE, AEROSTATIQUE **et** **PRINCIPES DU VOL**



JACQUELINE ET LOUIS PEÑA
2021

AERODYNAMIQUE, AEROSTATIQUE

et PRINCIPES DU VOL

Sommaire partie 2

[retour au sommaire général](#)

Cliquez sur la page*

CH 1	LE CERF-VOLANT PLAT	Page 60
CH 2	L'AIR ET SES PROPRIETES	Page 62
CH 3	LA FORCE AERODYNAMIQUE	Page 63
CH 4	PORTANCE ET TRAÎNÉE	Page 67
CH 5	EQUILIBRE DES FORCES EN VOL HORIZONTAL	Page 68
CH 7	DESCENTE PLANEE RECTILIGNE	Page 71
CH 8	VOL MOTORISES SUR PENTE	Page 72
CH 9	LE VIRAGE	Page 73
CH 10	CAS PARTICULIERS DE PILOTAGE	Page 77
CH 11	POLAIRE DE L'AILE	Page 80
CH 12	L'AEROSTATION	Page 85
CH 13	MECANIQUE SPATIALE	Page 86

- **L'aérodynamique** est l'étude des phénomènes qui se créent autour d'un mobile (aéronef) en déplacement dans l'air. 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...)

Chapitre 1 : LE CERF-VOLANT PLAT

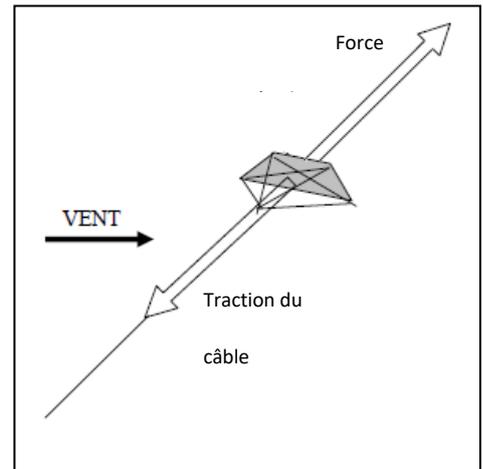
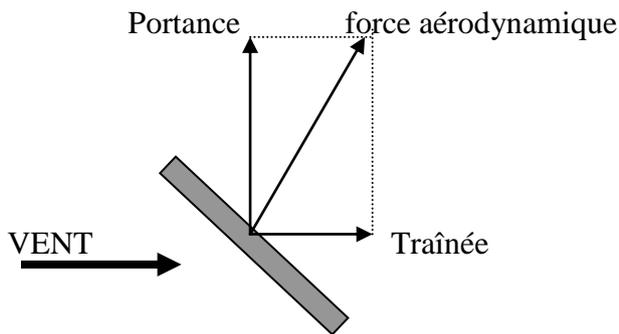
Le vol du cerf-volant est la conséquence de deux actions simultanées :

- La force du vent qui tend à emporter le cerf-volant.
- La force de traction de l'opérateur sur la corde qui retient le cerf-volant.

Apparition de la force aérodynamique : force qui tend à élever le cerf-volant tout en l'entraînant vers l'arrière.

Cette force aérodynamique F_a se décompose en deux forces :

- La portance perpendiculaire au vent.
- La traînée parallèle et de même sens que le vent.



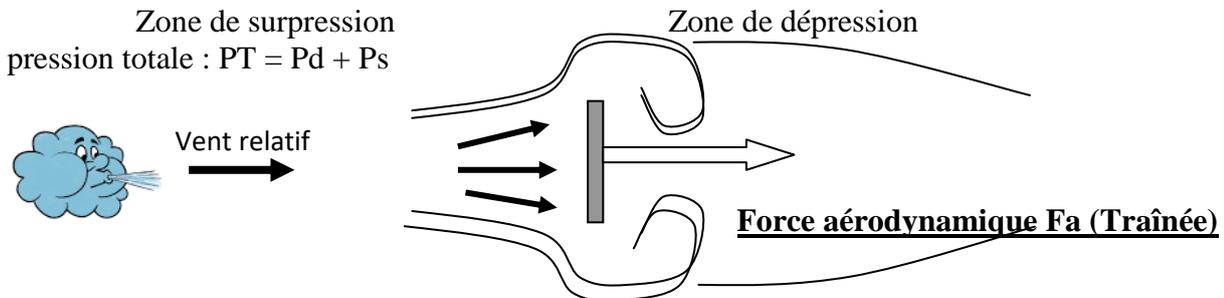
Définition de la pression :

Une pression P est l'application d'une force F sur une surface S : $P = F / S$

Par suite $F = P \times S$

La pression statique P_s est la pression exercée sur tout corps par l'atmosphère.

La pression dynamique P_d est la pression exercée sur une surface par l'action de la vitesse du vent.



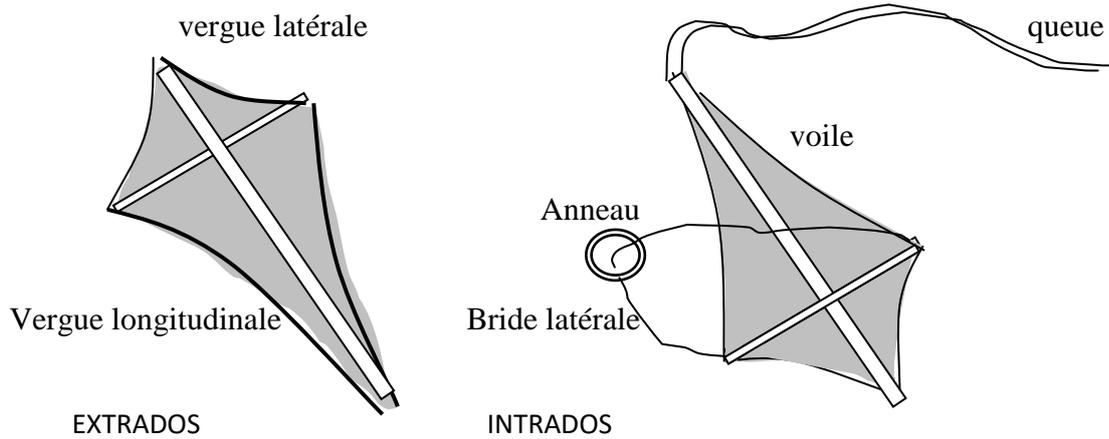
On appelle dépression Dep la différence entre la pression statique d'un fluide et une pression inférieure située dans un secteur de ce même fluide ; une dépression est à l'origine d'une aspiration.

$$F_a = PT \times S + Dep \times S$$

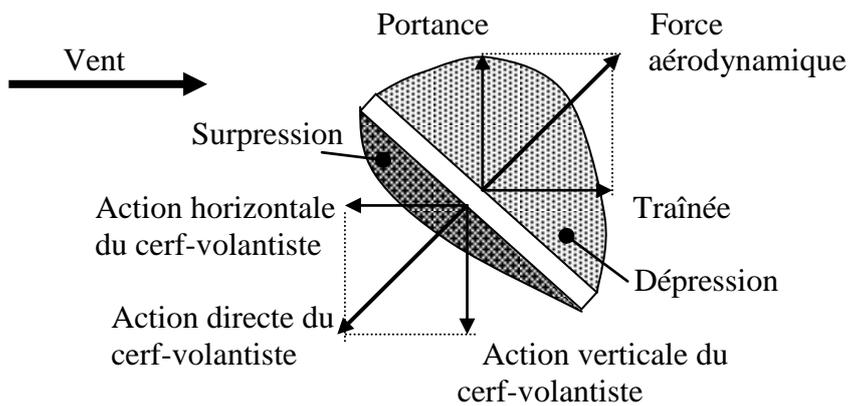


Une plaque verticale exposée au vent est donc soumise :

- sur la surface au vent, à une pression totale $P_t = P_d + P_s$
- sur la surface opposée, à une dépression



Forces et champs de pressions appliqués au cerf-volant



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire aérodynamique](#)

CHAPITRE 2 - L'AIR ET SES PROPRIETES

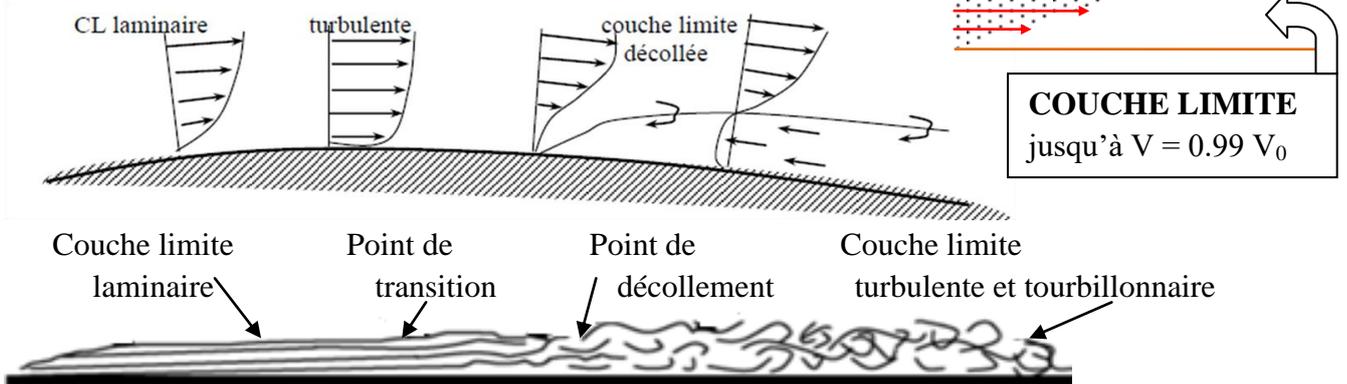
- composé de 21 % de dioxygène, de 78 % de diazote et de 1 % d'autres gaz.
- expansible : il occupe tout l'espace.
- compressible : négligeable pour des vitesses inférieures à 400 km/h.
- pesant : 1 m³ d'air pèse 1,225 kg.

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

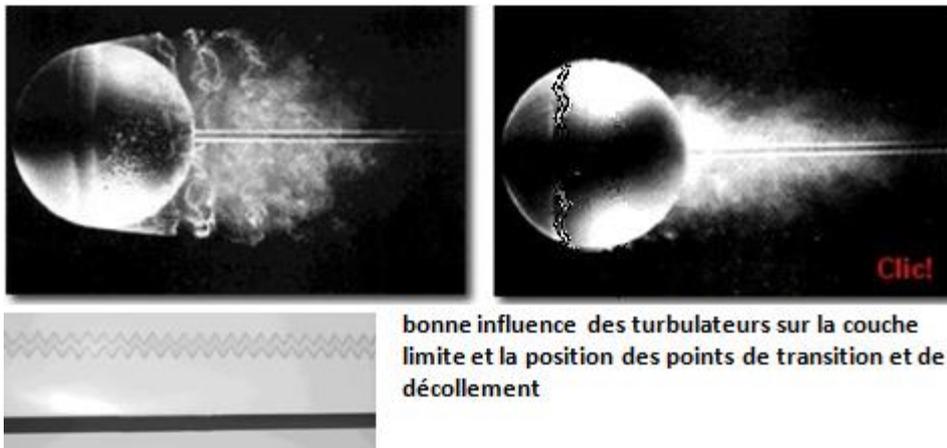
C'est la **pression statique** P_s



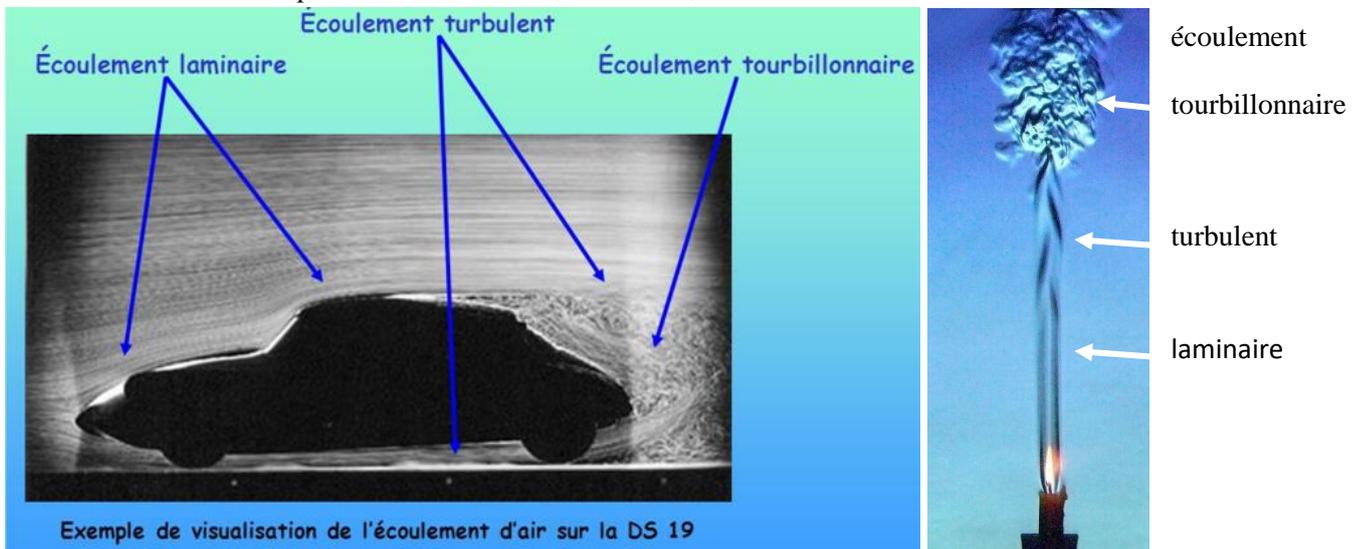
- viscosité de l'air : existence d'une couche limite.



Sur un profil aérodynamique le point de transition se trouvera à l'épaisseur maximale de l'aile



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



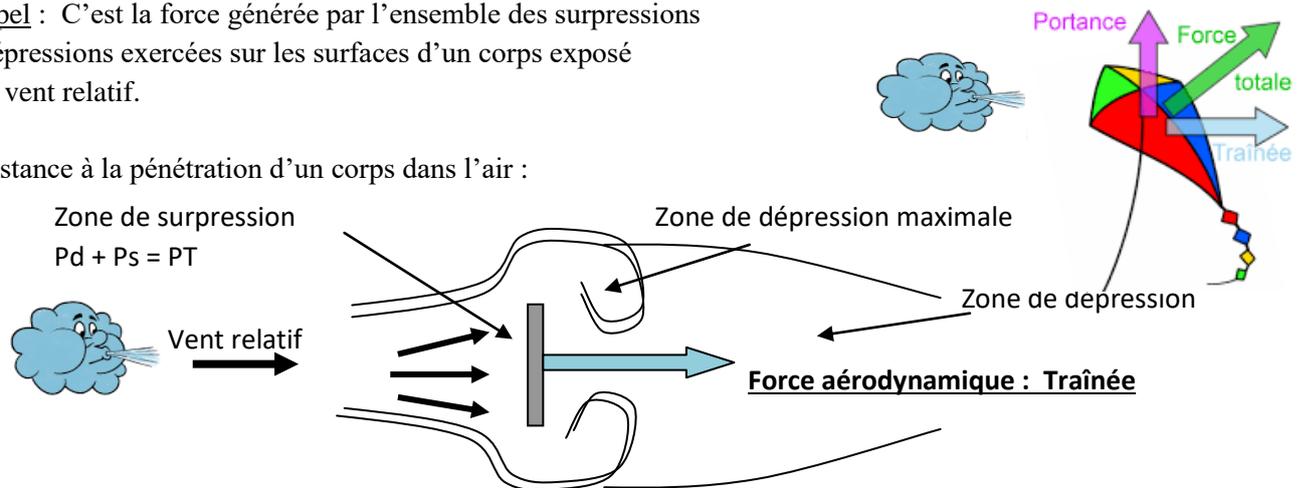
[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire aérodynamique](#)

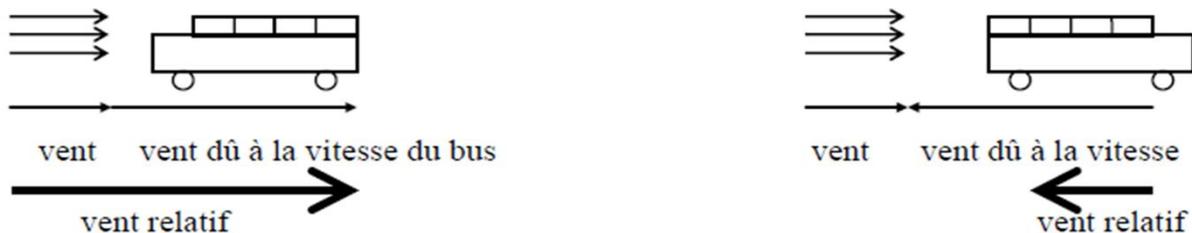
CHAPITRE 3 - LA FORCE AERODYNAMIQUE

Rappel : 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 :



1) Vent relatif



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

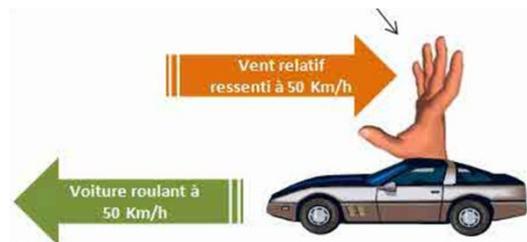
$$P_S + P_D = P_T \text{ pression totale.}$$

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

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



C'est cette propriété qui est appliquée dans les souffleries

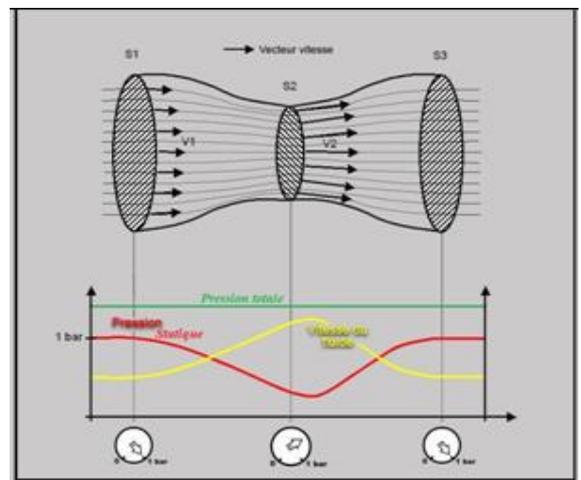


2) Effet venturi

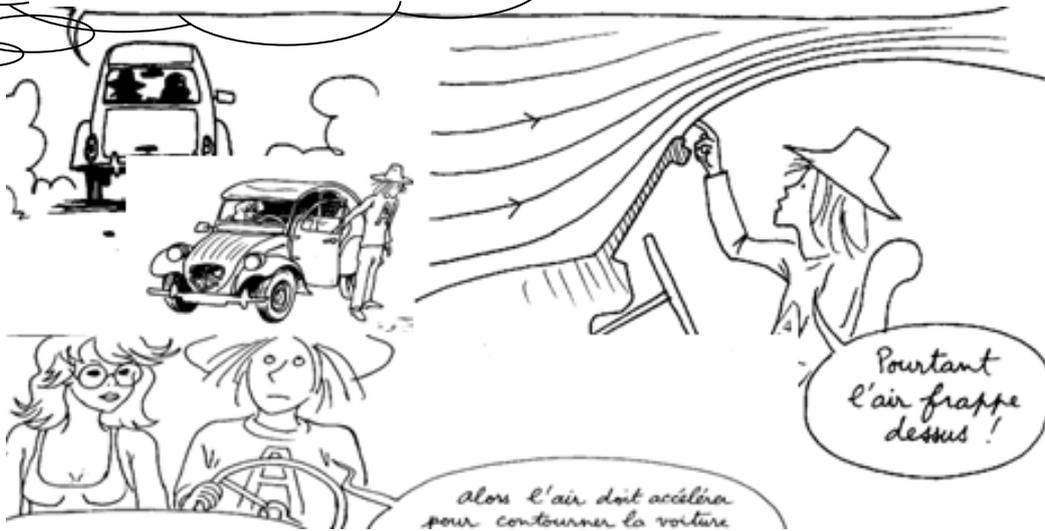
$$P_s + P_d = P_t = cte \quad (\text{seulement si } p = cte \text{ et } V < 0.3 c)$$

Si P_d augmente, alors P_s diminue

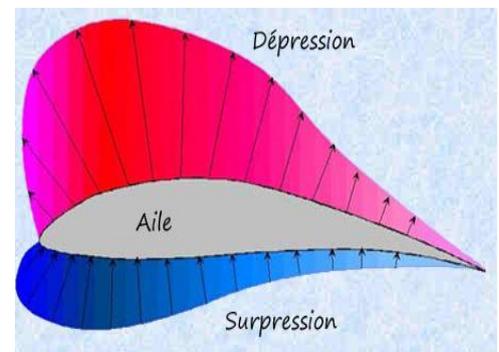
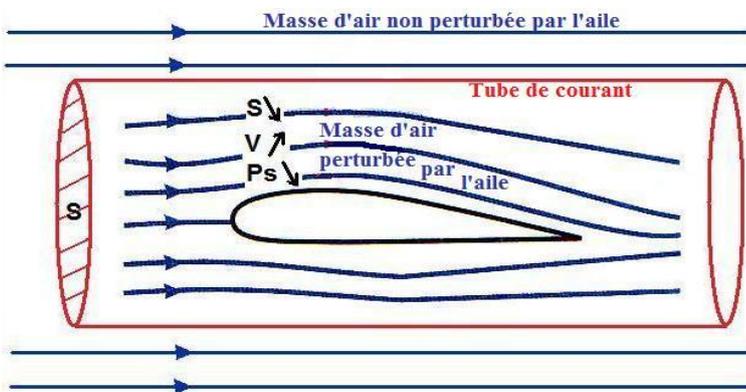
PRINCIPE DU TUBE DE VENTURI



C'est curieux, à l'arrêt, la capote était toute détendue et pendait vers l'intérieur.



d'après Jean-Pierre Petit :

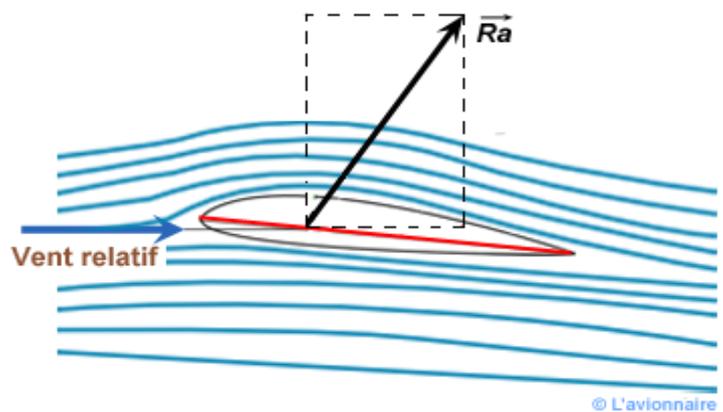
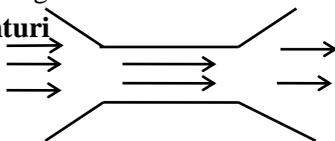


le véhicule subit une pression statique et une pression dynamique P_D (résistance de l'air)

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

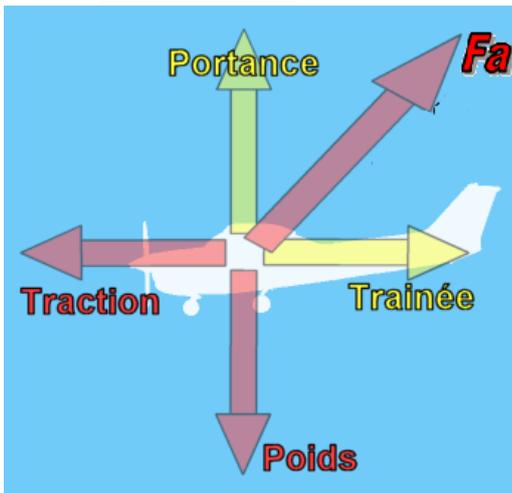
Or $P_T = \text{constante}$ donc P_s diminue quand P_D augmente

effet Venturi



© L'avionnaire

3) Vocabulaire



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 :
 - la **traînée** F_x , parallèle au vent relatif (donc à la trajectoire)
 - 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.

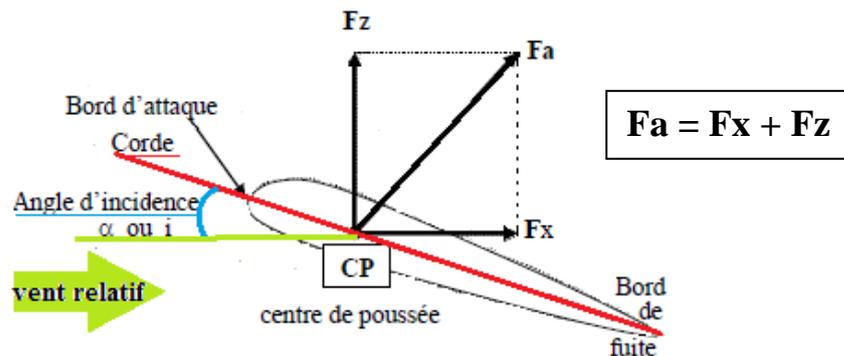
L'**incidence** : angle compris entre la direction du vent relatif (les filets d'air) et la corde de profil .

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

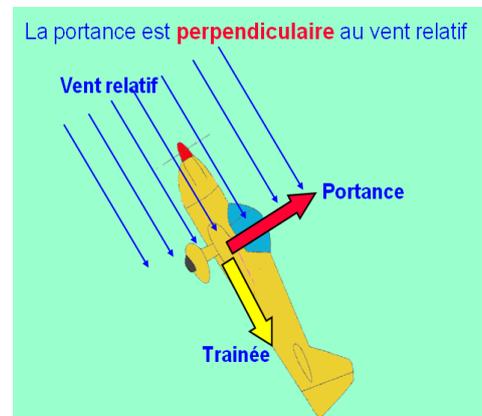
force de sustentation : force aérodynamique F_a ou résultante aérodynamique appliquée au centre de poussée qui se décompose en portance et traînée



F_z : portance (\perp au vent relatif) $F_z = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z$ avec C_z coefficient de portance

F_x : traînée (// au vent relatif) $F_x = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x$ avec C_x coefficient de traînée

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.

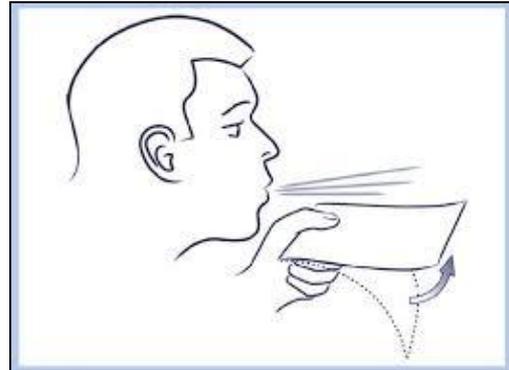
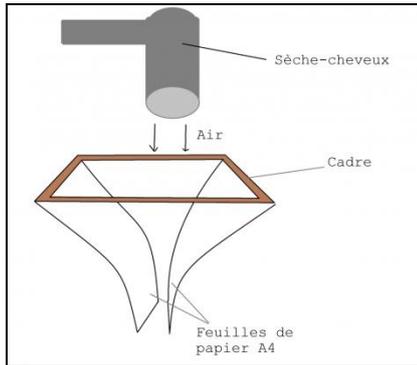


[retour au sommaire général](#)

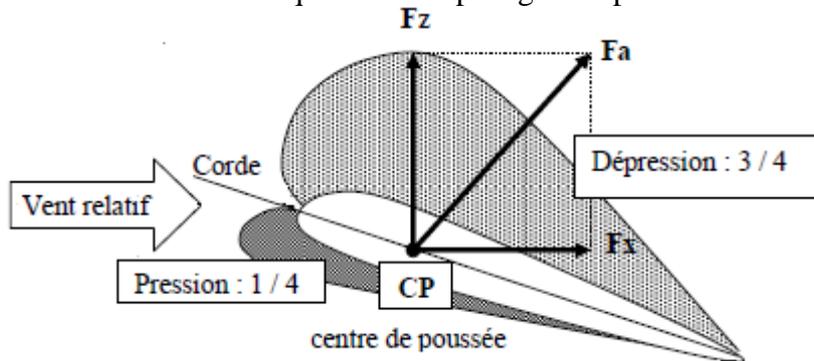
[retour au sommaire 3](#)

CHAPITRE 4 - PORTANCE ET TRAINEE

1) 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

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

incidence = 8°

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

2. LA TRAÎNÉE : $F_x = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_x$

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

Traînée totale F_x : elle se divise en deux grandes familles :

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

• Traînée de profil

→ **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, 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)

si $C = 1$



alors $C = 2$



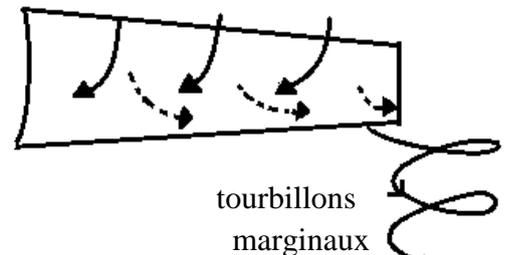
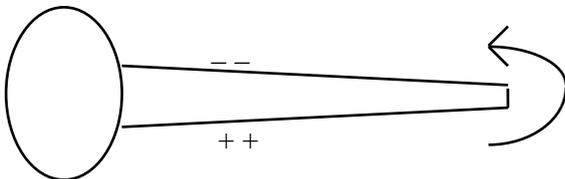
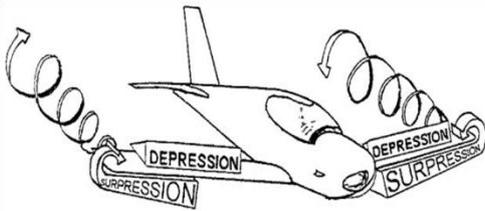
et $C = 12$



• 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 ; l'air sous l'intrados aura donc tendance à passer au dessus de l'aile au niveau des saumons.



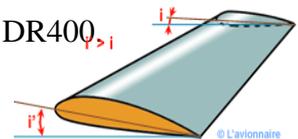
plus l'allongement est grand , plus la traînée induite est faible.

Pour diminuer la traînée induite, on pourra jouer sur :

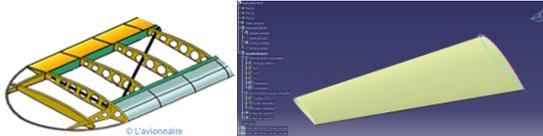
l'allongement, Un planeur a moins de traînée induite qu'un avion



le vrillage de l'aile, Cas du DR400



l'effilement,



les winglets. (sharklets chez Airbus),



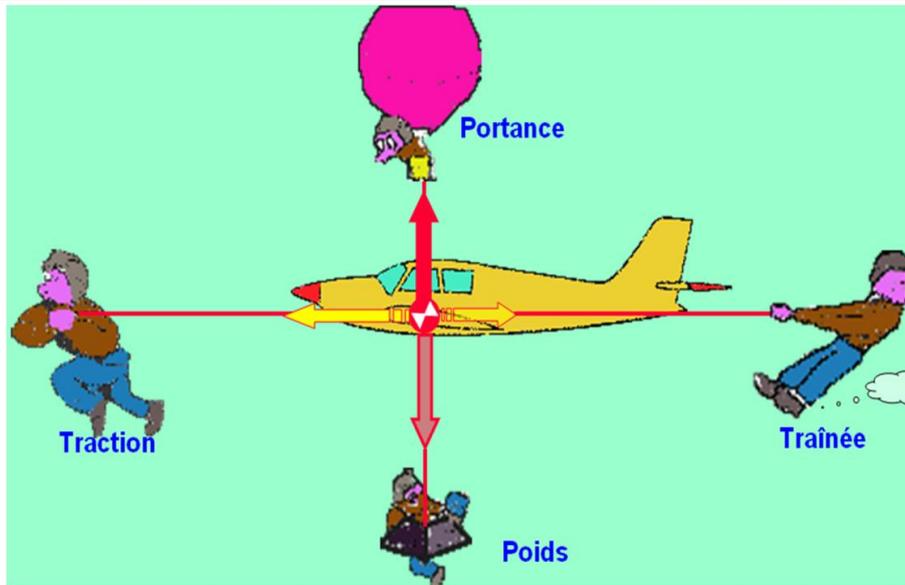
les réservoirs de bout d'aile peuvent servir de cloisons.



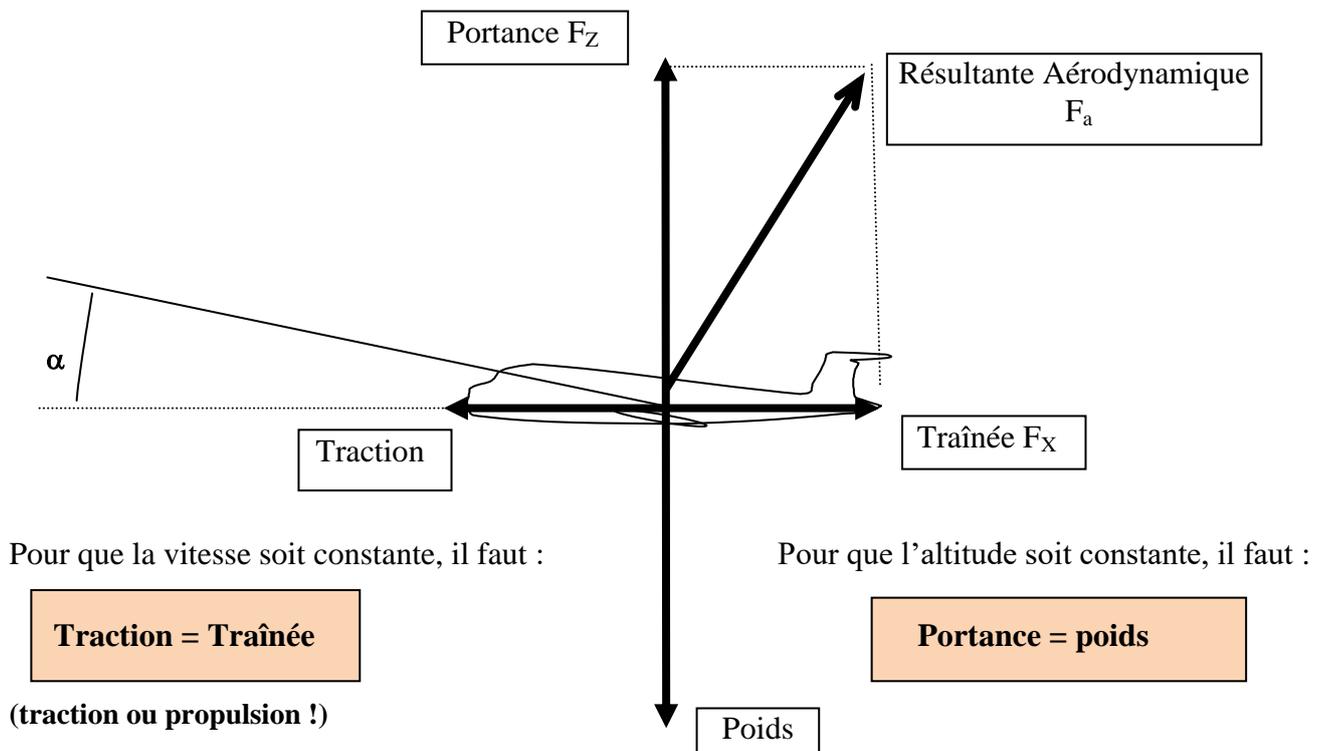
[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)

Chapitre 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 !

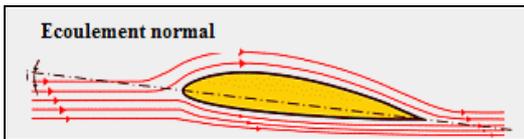
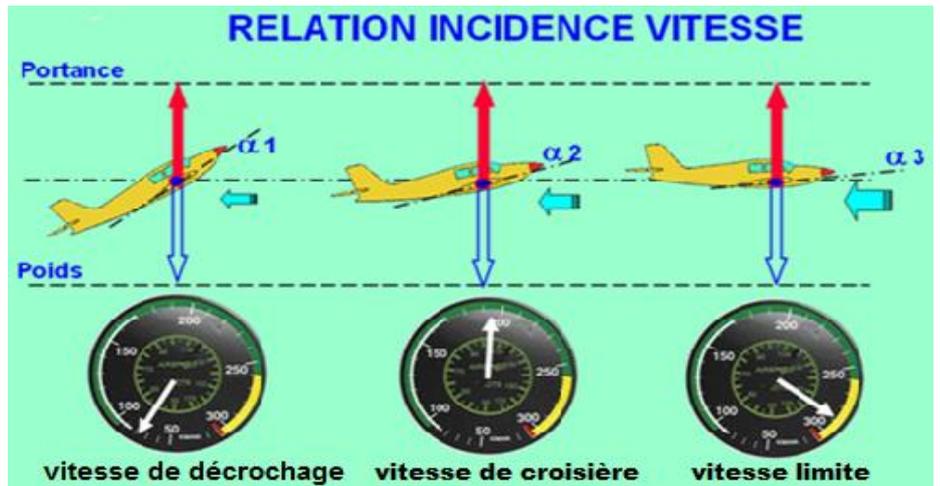
Si la traction diminue, la vitesse diminue, la portance diminue, l'avion descend !

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

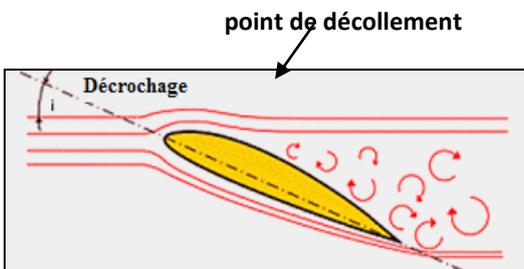
c) Décrochage



Vol : écoulement laminaire

Plages d'incidence de vol : 0° à 18 ~ 20°

Si l'incidence augmente le flux d'air devient tourbillonnaire.



A une incidence donnée :

décrochage : la portance diminue brutalement.

DECROCHAGE A INCIDENCE FIXE!

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

DECROCHAGE

VENT RELATIF **PORTANCE**

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

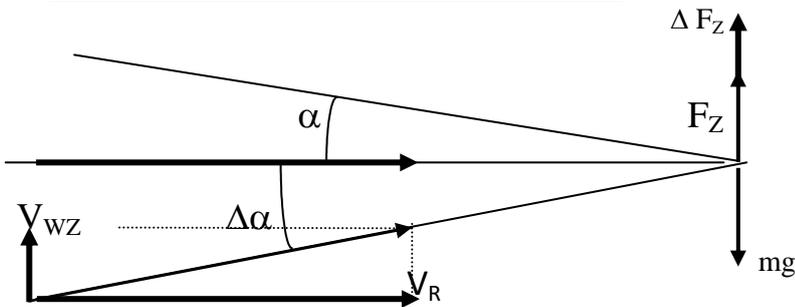
(2) Angle de 15°
Limite de décrochage
Portance maximale
point de décollement

(3) Angle de 25°
Situation de décrochage
Chute de la portance
flux d'air décollé

avertisseur décrochage

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.

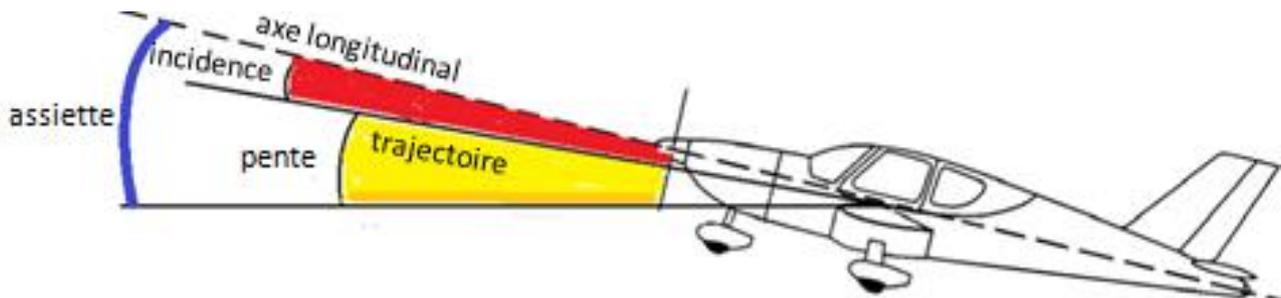
En turbulence, il faut réduire la vitesse d'autant plus que l'avion est plus léger.

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 général](#)

[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)

Chapitre 6 - DESCENTE PLANEE RECTILIGNE

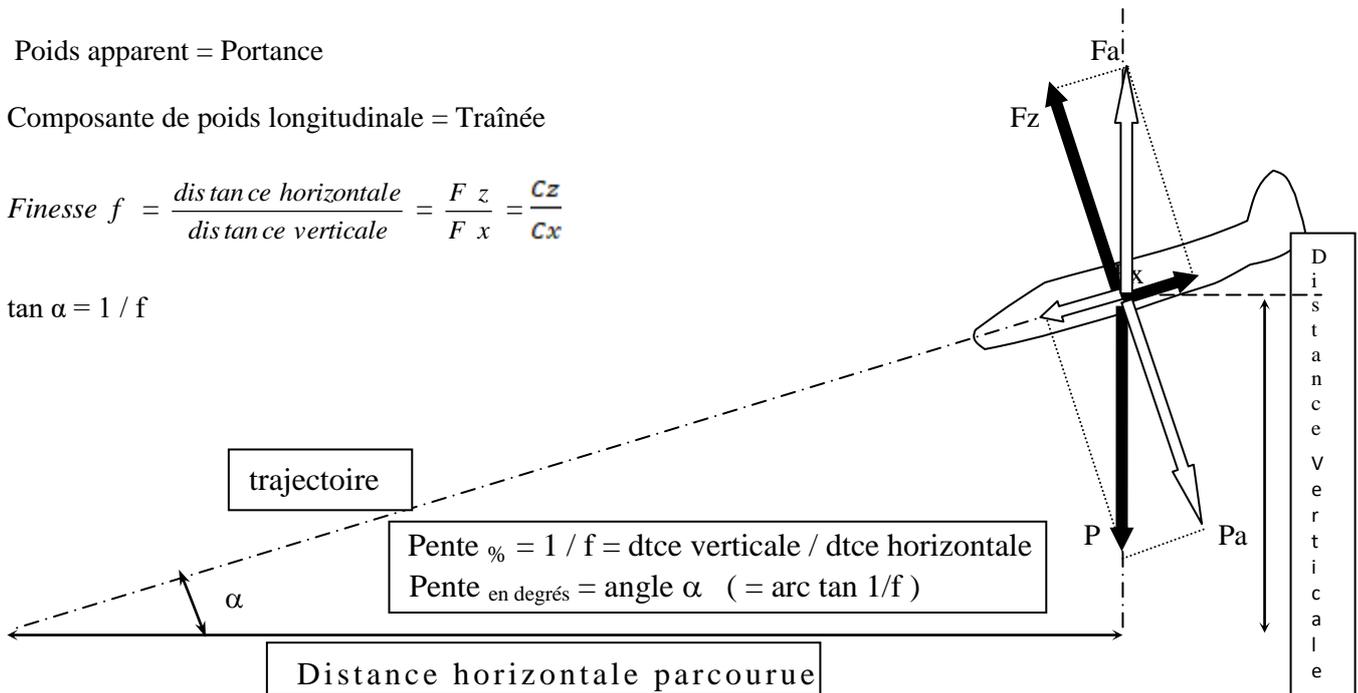
Poids = Force aérodynamique

Poids apparent = Portance

Composante de poids longitudinale = Traînée

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

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



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,

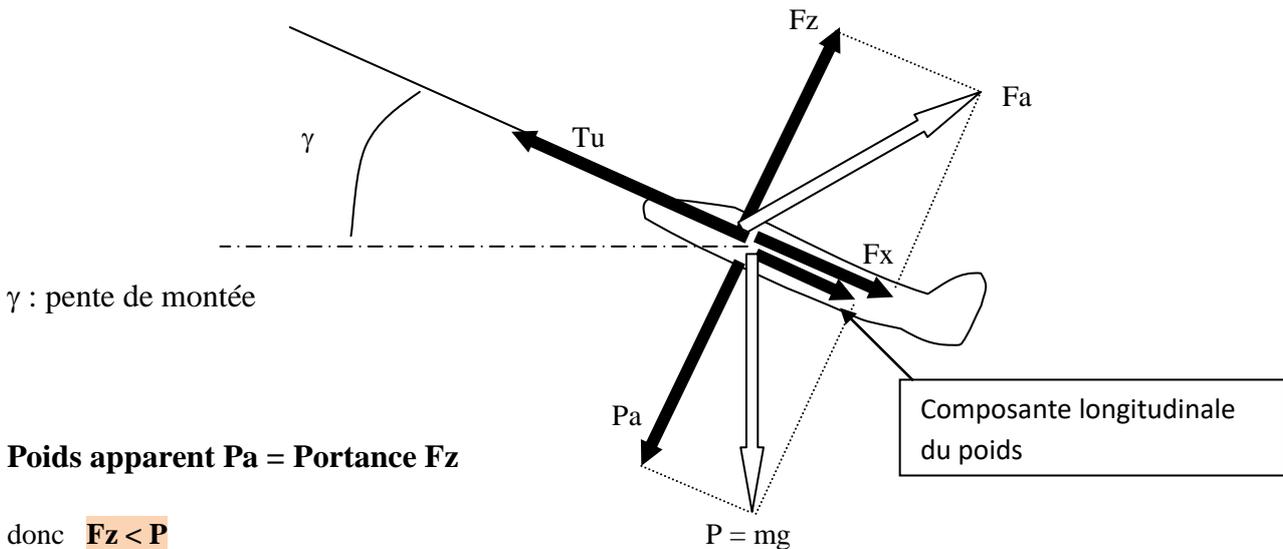
par exemple en palier à l'incidence de finesse maximale, on obtiendra la plus grande distance franchissable. (consommation-distance minimale)

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)

Chapitre 7 - VOL MOTORISÉS SUR PENTE

1. Montée stabilisée



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

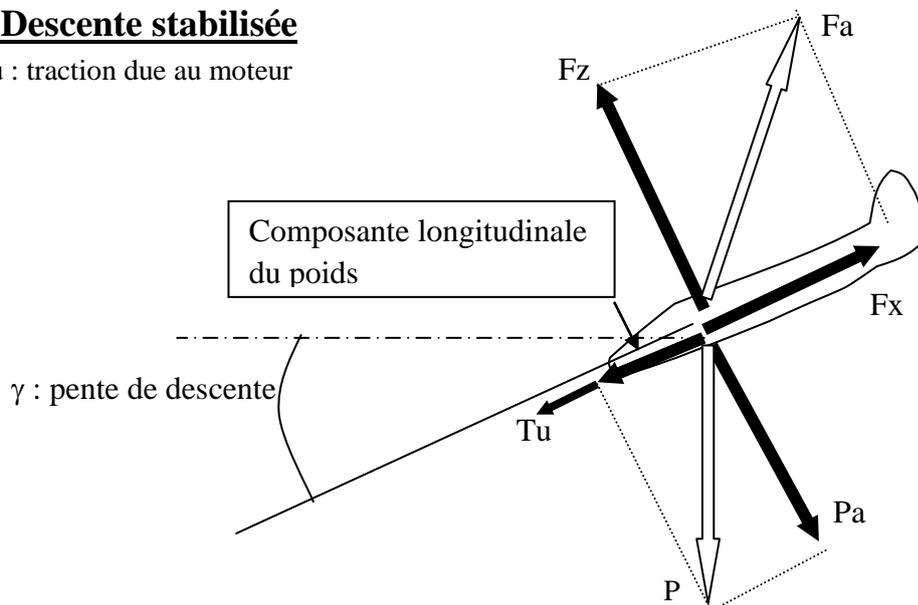
Poids réel = Poids apparent + composante longitudinale du poids

Facteur de charge : $n = P_a / P = F_z / P$

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

2. Descente stabilisée

T_u : traction due au moteur



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 : $n = P_a / P$ (Ici encore : $n < 1$)

En descente stabilisée, $F_z < P$ et donc le facteur de charge est inférieur à 1 : $n < 1$

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)

Chapitre 8 - LE VIRAGE

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

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

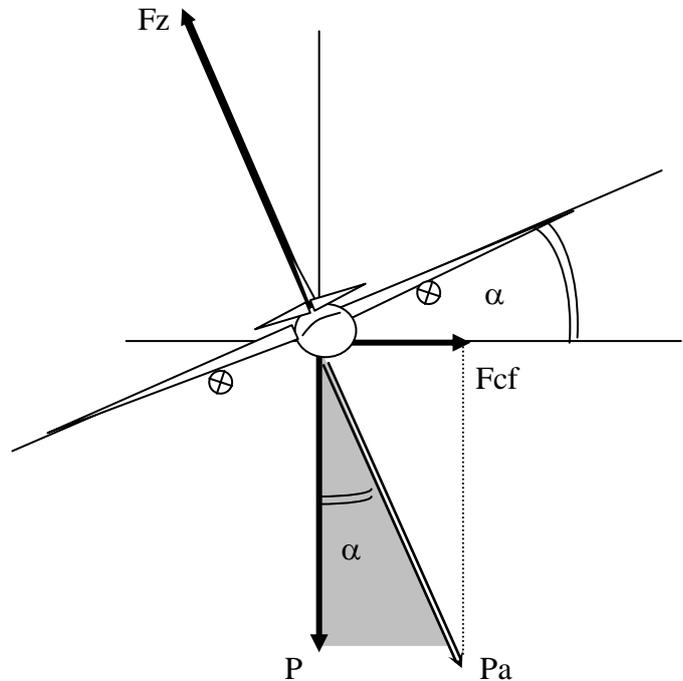
Par convention on appelle facteur de charge le rapport

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

donc $P_a = n mg$

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

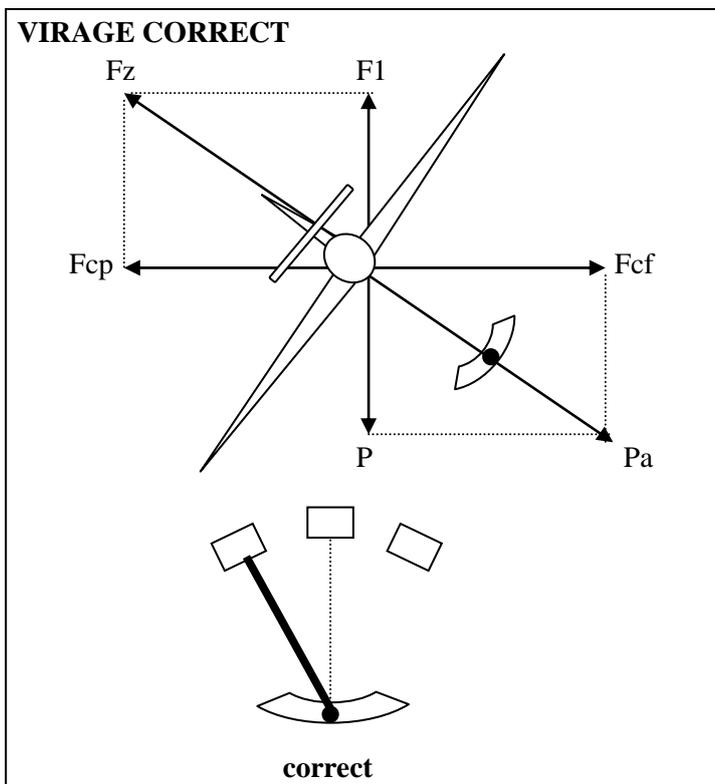
Ici **$n > 1$**



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	$V \sqrt{n}$

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.



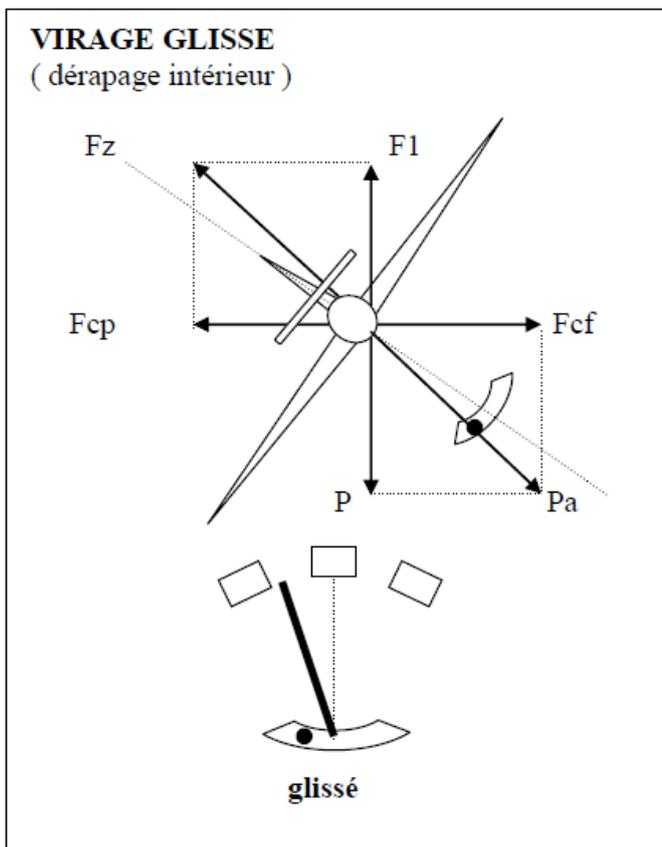
La bille indique la symétrie du vol

(« le pied chasse la bille »)

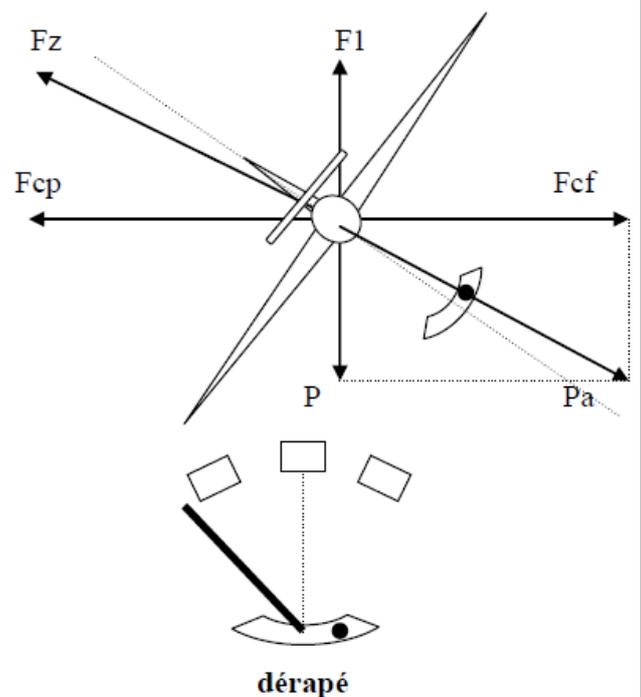
L'aiguille indique un taux de virage

(vitesse angulaire)

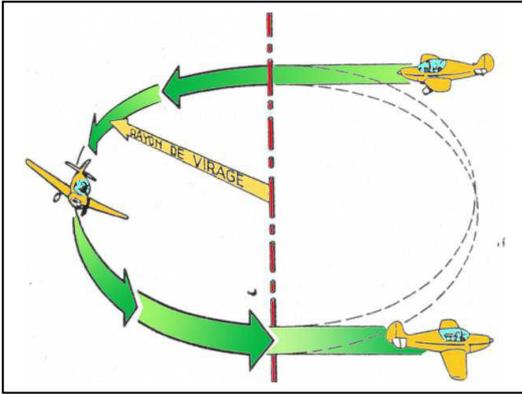
L'instrument s'appelle une **bille-aiguille** ou **indicateur de virage**.
(instrument gyroscopique)



VIRAGE DERAPE
(dérapage extérieur)



Les risques en virage



· Relation entre rayon de virage et vitesse

A inclinaison constante, le rayon de virage varie comme le carré de la vitesse, autrement dit, lorsque la vitesse est doublée, le rayon de virage est quadruplé.

Se souvenir qu'à inclinaison donnée :

- faible vitesse = petit rayon de virage
- grande vitesse = grand rayon de virage

· Relation entre le rayon de virage et l'inclinaison

A vitesse constante, le rayon de virage varie dans le sens inverse de l'inclinaison.

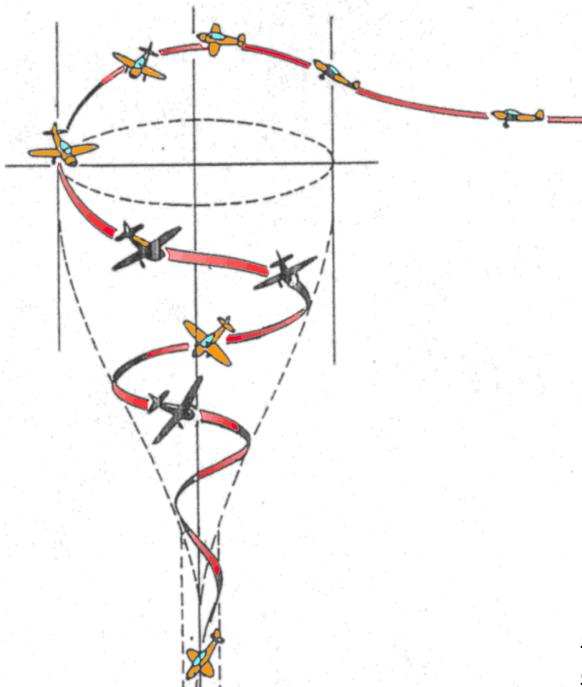
Retenir que :

- faible inclinaison = grand rayon de virage
- grande inclinaison = petit rayon de virage

DANGER EN VIRAGE

· Le décrochage en virage

Le premier danger vient de l'augmentation du facteur de charge (n) qui augmente avec l'inclinaison. Le risque de décrochage augmente... parce que la vitesse de décrochage augmente très rapidement.



On rappelle que l'avertisseur de décrochage se déclenche à 1.15 de V_s (donc 5 à 10 kt au-dessus de la vitesse de décrochage).

Il conviendra d'adapter les inclinaisons de l'avion en fonction de sa vitesse :

Le second danger vient de la dissymétrie. Un écoulement non symétrique risque de faire décrocher une aile avant l'autre... avec une conséquence immédiate : la mise en autorotation ou **vrille**.

-**La vrille** est un **décrochage dissymétrique entretenu**.

Lorsqu'un avion est installé en vrille, une de ses ailes est décrochée, l'autre non.

L'avion tourne sur lui-même avec le nez bas décrivant une spirale très serrée en descente verticale lorsque le phénomène est établi.

Pour sortir de vrille, il faut faire cesser la dissymétrie en utilisant le plein débattement de la gouverne de direction puis, presque simultanément,

"rendre la main" (pousser sur le manche) afin de réduire l'incidence de l'aile pour empêcher cette dernière d'atteindre ou de rester à ou au-delà de l'incidence de décrochage .

-**Le virage engagé** ressemble un peu à l'autorotation ou à la vrille en ce sens que l'avion décrit une spirale descendante très serrée.

Ces deux phénomènes sont pourtant radicalement différents. En effet, lors d'une vrille on observe un décrochage d'une aile et une dissymétrie, tandis que lors d'un virage engagé, l'avion vole parfaitement normalement à ceci près qu'il est en **virage très serré avec une très forte attitude à piquer**.

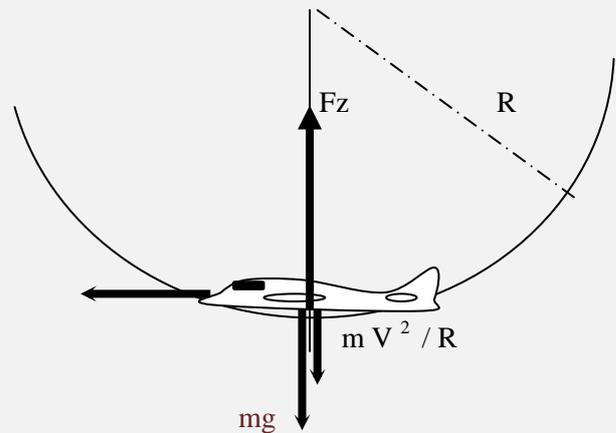
Le danger vient de l'augmentation mal contrôlée du facteur de charge.

La solution pour en sortir consiste à annuler l'inclinaison puis revenir au vol horizontal

Facteur de charge en ressource (virage dans le plan vertical)

Au bas d'une ressource, le poids apparent est aussi supérieur à mg .

n sera d'autant plus élevé que V sera grande et que le rayon R de la ressource sera réduit ; encore faut-il que l'aile soit capable de fournir la portance nécessaire à la ressource.



Test de facteur de charge statique

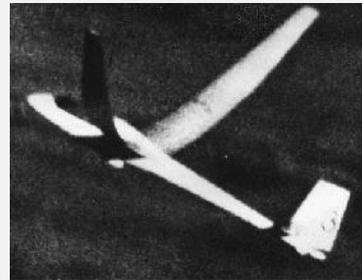
Des tests statiques puis dynamiques permettent de valider le domaine de vol d'un avion. Ils sont réalisés en grandeur réelle sur les prototypes et par des pilotes d'essais pour les tests en vol.



essai du choucas par Alpaero



test de flexion d'une aile en statique



facteur de charge de 6G pendant le test en vol du BK-7A en 1975



Flexion surprenante d'une aile de 787

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)

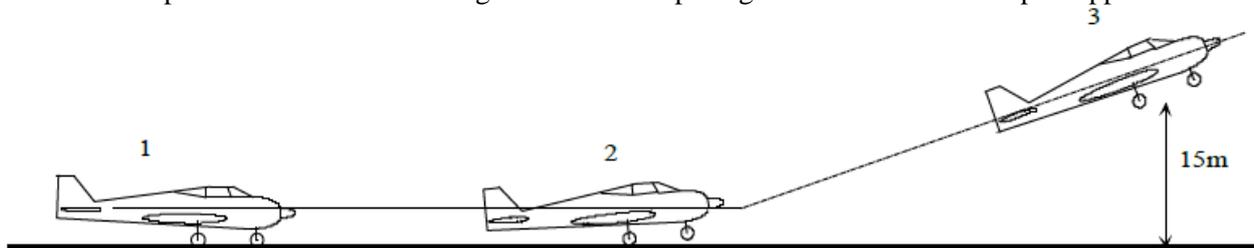
Chapitre 9 - CAS PARTICULIERS DE PILOTAGE

Décollage et atterrissage

Le décollage

Le décollage se décompose en trois phases :

- le roulage (1) : Pendant cette phase l'avion accélère sur la piste afin d'atteindre une vitesse lui permettant d'assurer sa sustentation par une portance suffisante. L'utilisation des volets permet de diminuer la vitesse nécessaire au décollage mais diminue l'accélération par augmentation de la traînée. En général on utilise un seul cran de volet. Cette position intermédiaire offre un bon compromis.
- la rotation (2) : Lorsque la vitesse de décollage est atteinte, on effectue la rotation pour placer l'avion à l'assiette de montée. Cela augmente la portance par augmentation d'incidence. La sustentation va se produire. Sur les petits avions, il est préférable de décoller plus rapidement principalement sur piste en herbe, boueuse... et de faire un palier d'accélération avant de monter.
- l'envol (3) : Dans cette phase l'avion a quitté le sol mais en est encore très proche. Il faut continuer à accélérer pour assurer la prise d'altitude. Le décollage se termine au passage à la hauteur de 15 m par rapport au sol.



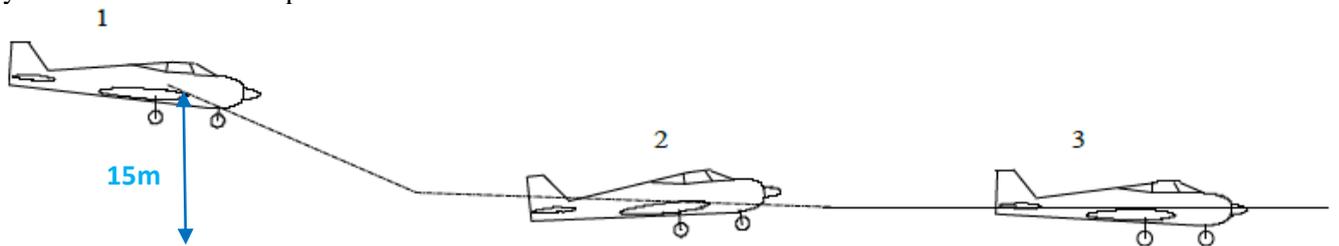
La distance de décollage est mesurée à partir de la mise des gaz jusqu'au passage des 15m.

Un terrain situé à haute altitude, une forte température ou un vent arrière augmentent la longueur de décollage.

L'atterrissage

L'atterrissage se décompose également en trois phases :

- la finale (1) : L'avion descend sur une pente stabilisée avec une vitesse constante. Par vent faible ou nul, le pilote sort les pleins volets et les bords de fuite afin de réduire la vitesse d'approche.
- l'arrondi (2) : Près du sol le pilote diminue l'assiette à piquer afin de tangenter le sol, on dit qu'il « arrondit ». Cette phase permet de prendre contact en douceur avec la planète.
- la décélération (3) : Une fois les roues au sol l'atterrissage n'est pas terminé. Il faut perdre sa vitesse sur la piste avant de pouvoir dégager vers le parking. Cette phase peut paraître une pure formalité mais il n'en est rien. Il faut rester vigilant pendant toute la décélération. Un freinage mal dosé peut entraîner un cheval de bois, un pylône* ou une sortie de piste.



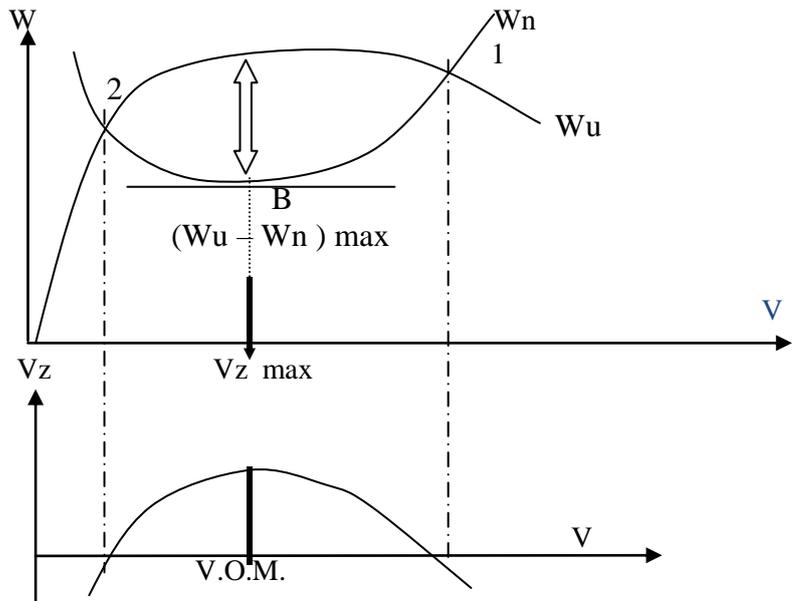
La distance d'atterrissage est mesurée entre le passage des 15m et l'arrêt de l'avion.

* Le cheval de bois survient quand l'avion pivote involontairement sur lui-même (tête à queue) tandis que le pylône, sur un avion à train classique, est provoqué par un excès de freinage qui provoque le basculement de l'avion vers l'avant. Bien souvent dans un cheval de bois, une aile touche le sol et cela peut se terminer en pylône !

Vz max et pente max

Vitesse ascensionnelle maximale
ou **Vitesse Optimale de Montée (VOM)**

Si la courbe W_u correspond à la puissance maximale disponible, on voit que la V_z maximale correspond à l'écart maximal entre les courbes W_u et W_n , soit à la vitesse correspondant au point B



Variations avec l'altitude :
Quand l'altitude croît, W_u diminue et W_n augmente, donc $(W_u - W_n)$ diminue et V_z également;

On montre toutefois que la vitesse correspondant à $V_z max$, dite "vitesse optimale de montée" (VOM) reste pratiquement constante.

Variations avec le poids : la vitesse ascensionnelle maximale diminue quand le poids augmente (d'où parfois des limitations de poids au décollage pour une piste donnée).

Pente maximale

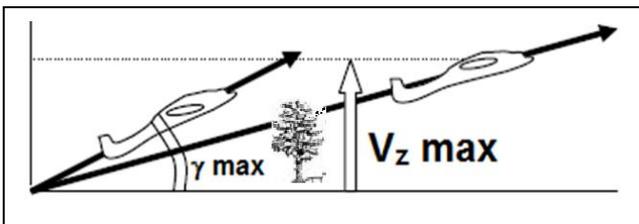
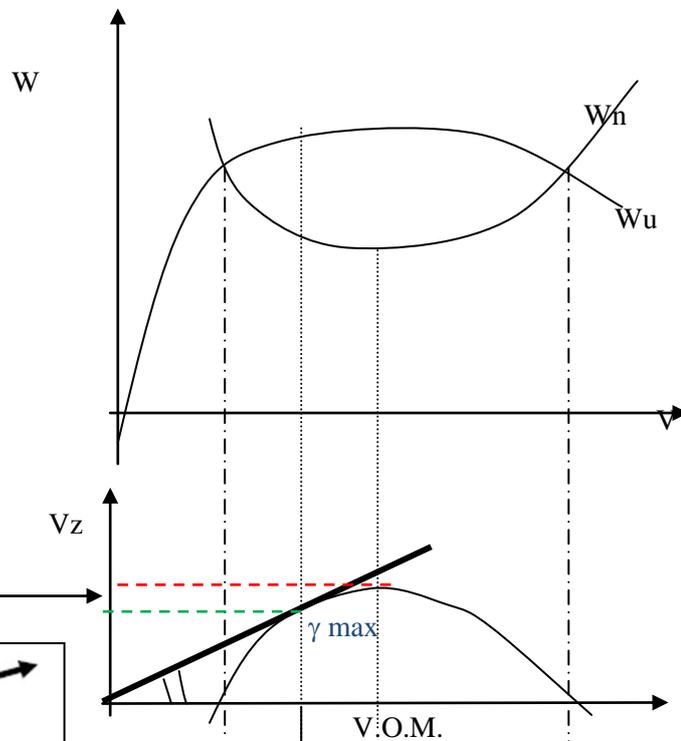
Il peut être nécessaire, dans certains cas de vol (trajectoire après décollage en présence d'un obstacle) de demander à l'avion de prendre une pente de montée maximale plutôt qu'une $V_z max$. On trouve cette pente γmax dans la courbe de $V_z = f(V)$; γ est représenté par la pente de la droite allant de l'origine au point représentatif (V_z / V).

On a γmax pour la tangente à l'origine de la courbe.

On trouve que γmax est obtenue pour :

- une vitesse bien sûr inférieure à la $V_z max$.
- une incidence supérieure à l'incidence de $V_z max$.

Pour monter à γmax , l'avion doit voler à vitesse plus faible, avec une V_z inférieure à celle de la montée à $V_z max$.



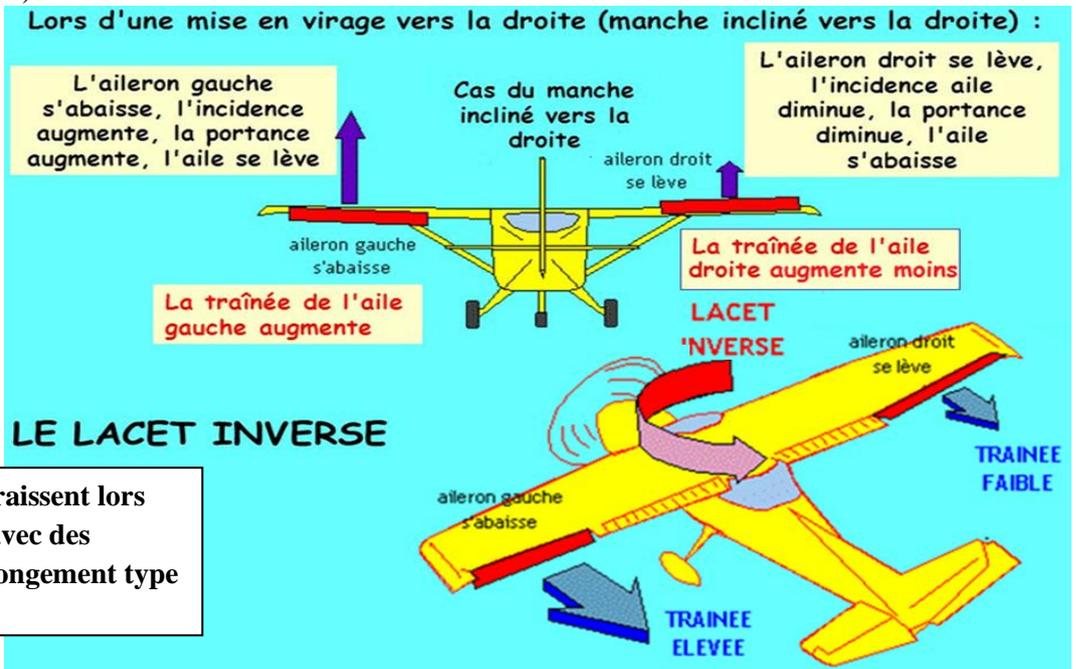
Variations avec l'altitude : Quand l'altitude croît, γmax diminue.
Variations avec le poids : γmax diminue quand le poids augmente

MOUVEMENTS PERTURBATEURS EN VIRAGE ; EFFET SECONDAIRE DES GOUVERNES

Le lacet inverse

En virage, deux actions : roulis (sous l'action des ailerons) et lacet (sous l'action de la direction) . Or, un braquage des ailerons provoque du roulis mais aussi du lacet dit "**lacet inverse**".

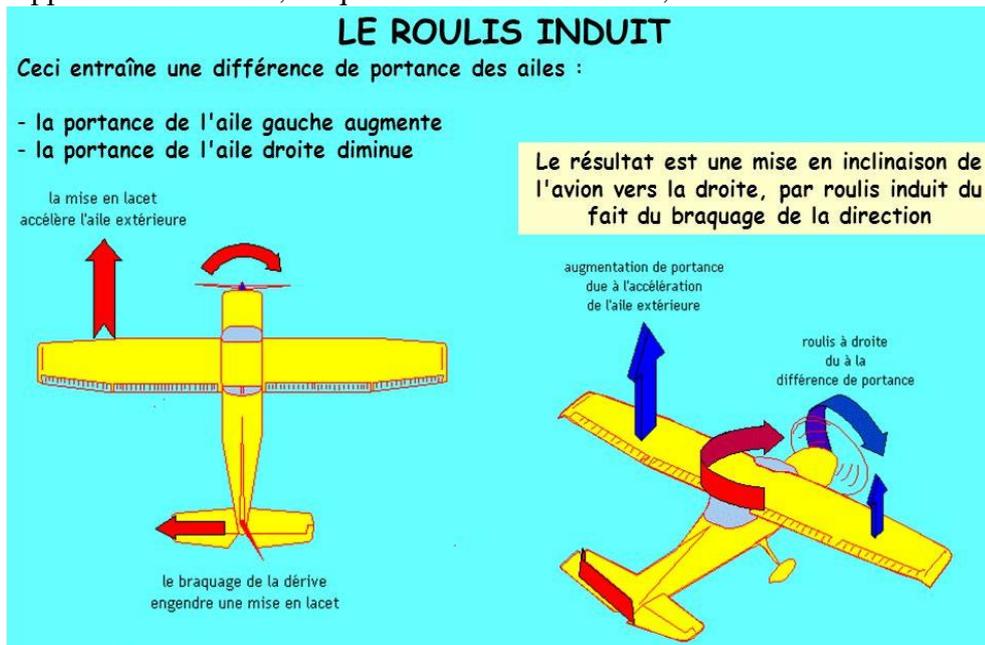
Si on "met du manche à droite", l'aileron droit est braqué vers le haut et le gauche vers le bas, d'où :roulis à droite (effet primaire) mais aussi augmentation de traînée sur l'aile gauche et diminution de traînée sur l'aile droite, donc un lacet à gauche, défavorable au virage à droite demandé (d'où le terme de lacet inverse).



Ces deux effets apparaissent lors des virages, surtout avec des appareils à grand allongement type planeurs

Le roulis induit

Un braquage de la direction provoque du lacet, mais également un mouvement de roulis dit "**roulis induit**". Si le pilote met "du pied à droite", il braque la direction à droite, créant un lacet vers la droite. L'aile gauche avance plus vite que la droite dans ce mouvement ; sa portance est augmentée par rapport à l'aile droite, ce qui crée un roulis à droite;



Pour les aéromodèles dits "2 axes" (profondeur et direction), le roulis induit aide donc clairement au pilotage.

[retour au sommaire général](#)

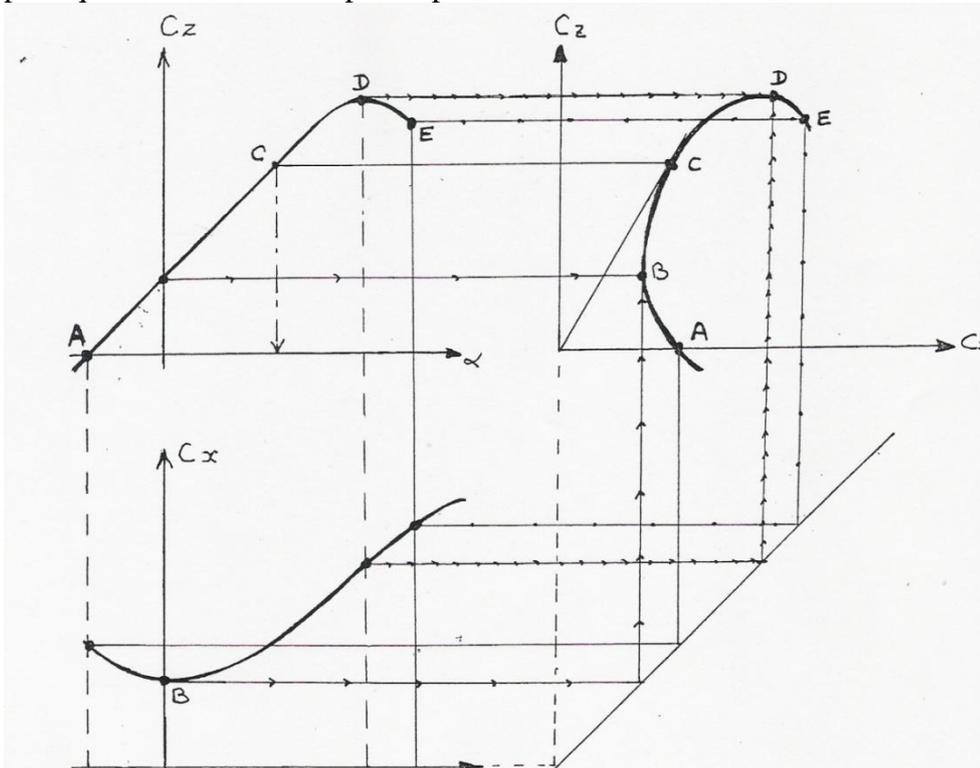
[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)

Chapitre 10 - POLAIRE DE L'AILE

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

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.

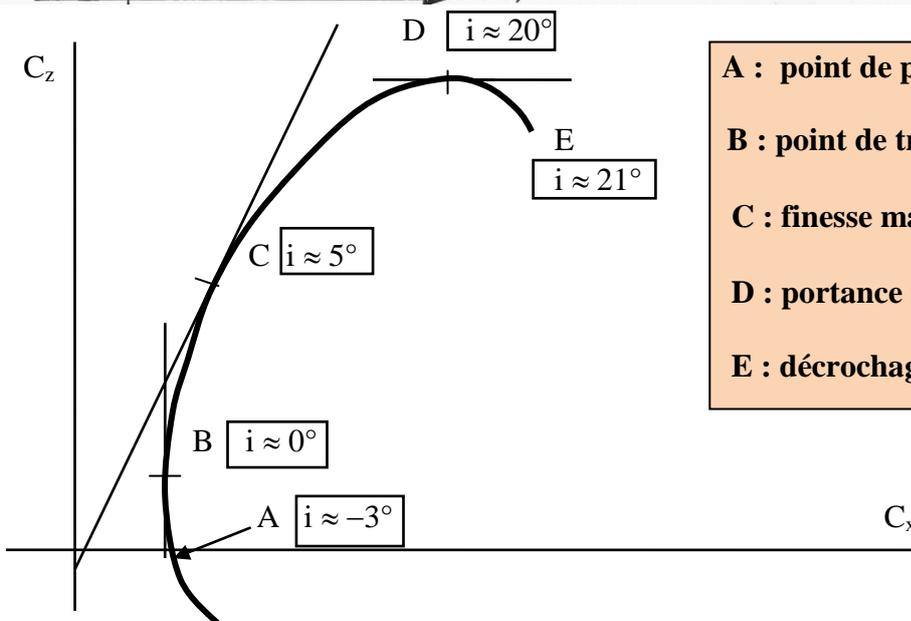
La polaire est une courbe **établie expérimentalement en soufflerie** pour un profil d'aile donné et indiquant les variations de portance donc de C_z en fonction des variations de traînée donc de C_x quand l'incidence varie. En fait on prend 100 C_z en fonction de 100 C_x et on multiplie l'échelle des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



Rappel:
 finesse maximum

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

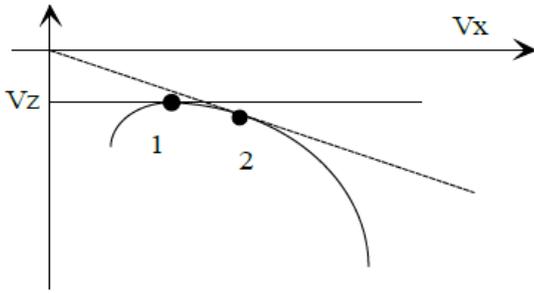
 distance maximum
 parcourue en plané



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

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

La polaire des vitesses est d'une utilisation moins courante que la polaire d'EIFFEL. En effet elle représente la vitesse verticale en fonction de la vitesse horizontale pour un vol en plané rectiligne. Elle permet de déterminer des qualités et défauts du profil mais ne s'avère plus intéressante que la polaire d'EIFFEL, que pour l'étude des vols planés.



Les points les plus importants sont :

- **le point (1)** qui représente la **vitesse verticale minimale** que l'on peut prendre pour planer. C'est à cette vitesse que la descente sera la plus longue en durée. Pour une vitesse inférieure, on décroche.

C'est à ce régime de vol que se placent les vélivoles et les parapentistes dans les ascendances. Cela leur permet alors de profiter de la vitesse verticale de la masse d'air pour gagner un maximum d'altitude par rapport au sol.

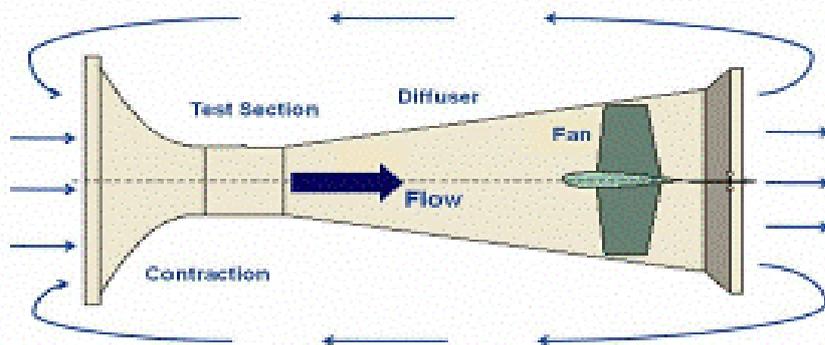
- **le point (2)** qui représente la vitesse pour laquelle la distance parcourue avant d'arriver au sol sera la plus grande : soit **meilleure finesse**.

Les souffleries aérodynamiques.

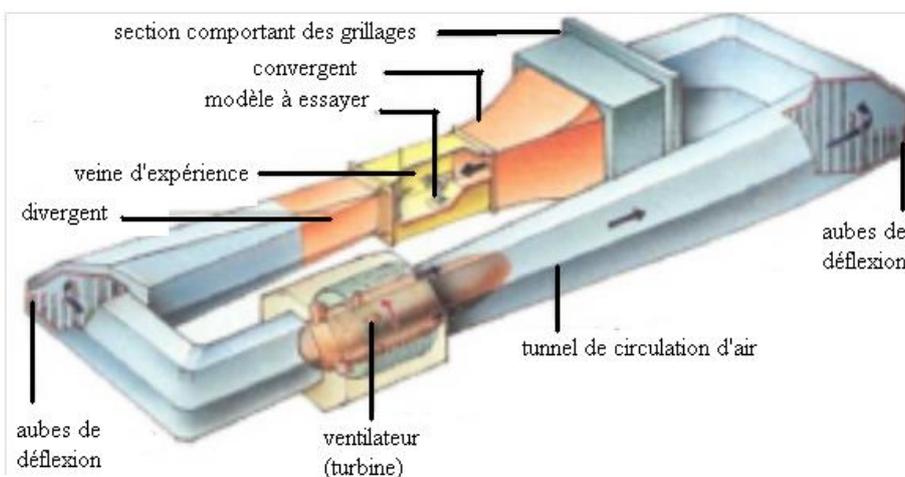
Ce sont des machines destinées à produire le vent nécessaire à un essai et une étude aérodynamiques. C'est là que sont déterminés en particulier le coefficient de traînée aérodynamique (C_x) et le coefficient de portance (C_z) pour un profil donné, par exemple un profil d'aile.

Les souffleries peuvent être classées suivant deux types en particulier :

· **Les souffleries à circuit ouvert** (ont dit aussi à veine ouverte) dite de **type Eiffel**. (les plus anciennes)



· **Les souffleries à circuit fermé** dites aussi à retour ou encore de **type Prandtl** (les plus modernes)



On distingue le **collecteur** qui, muni de **grilles** (ou **filtres**), permet d'obtenir un écoulement laminaire. Sa forme **convergente** permet d'accélérer l'écoulement qui alimente la **veine** ou **chambre d'expérimentation**.

La **chambre d'expérimentation** permet différentes mesures et observations.

Vient ensuite le **diffuseur** de forme divergente qui permet de ralentir l'écoulement sans générer de turbulence puis le **ventilateur** qui permet de créer et de maintenir l'écoulement.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire aérodynamique](#)

Chapitre 11 : QUALITES DE VOL

C'est l'étude de la position et des mouvements de l'avion autour de son centre de gravité.

LA STABILITE : C'est la capacité d'un avion de retourner à un équilibre de vol donné, lorsqu'il en a été écarté, sans que le pilote n'ait à intervenir.

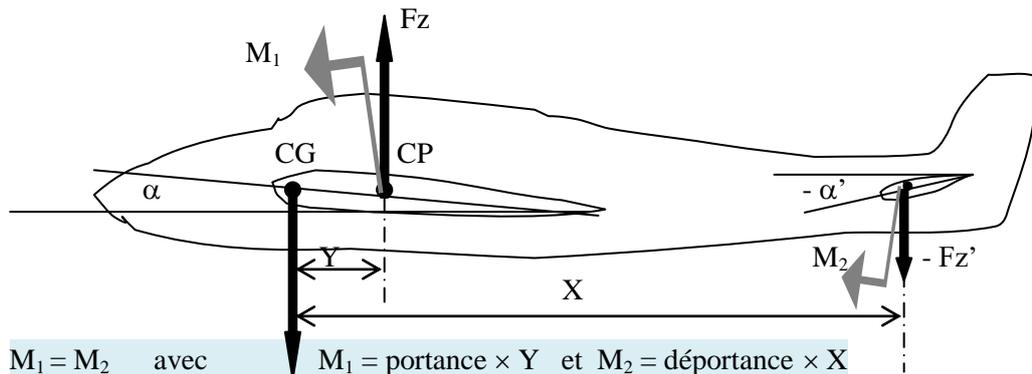
LA MANIABILITE : C'est l'aptitude d'un avion à changer d'attitude sans que le pilote ait à fournir un effort prohibitif sur les commandes.

EQUILIBRE LONGITUDINAL STATIQUE (avion de conception classique)

L'écoulement sur une aile se traduit par :

- Une force aérodynamique F (décomposée en portance F_z et traînée F_x)
- Un moment piqueur

Si l'aile était seule l'avion aurait tendance à basculer vers l'avant. Pour contrer ce basculement, on dispose d'un plan fixe horizontal déporteur à l'arrière de l'avion dont la force portante négative créée, elle, un moment cabreur.



La position du centre de gravité dépend de la répartition des charges embarquées (passagers, bagages, carburant...)

L'avion est dit "centré arrière" quand le centre de gravité est proche du centre de poussée : le rapport X / Y augmente, l'efficacité de la profondeur augmente, l'appareil est maniable mais instable. Dans le cas contraire, l'appareil est dit "centré avant" : le rapport X / Y diminue, l'efficacité de la profondeur diminue, l'appareil est stable mais peu maniable.

Devis de masse et de centrage

C'est l'opération qui consiste à déterminer la masse de l'avion et la position du centre de gravité de l'avion chargé (bras de levier L) afin de s'assurer que les gouvernes de profondeur permettront de contrôler les évolutions dans le domaine de vol défini par le constructeur.

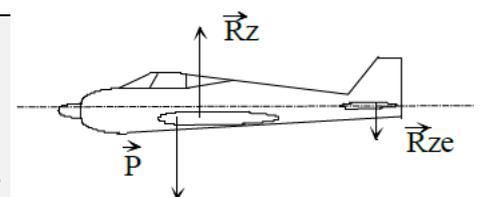
STABILITE LONGITUDINALE

Pour qu'un avion soit facilement pilotable, il faut qu'il soit stable. C'est à dire qu'il ait tendance à compenser naturellement les petites variations de vitesse ou d'attitude non désirées qui peuvent survenir.

La stabilité est dite longitudinale quand on étudie les mouvements autour de l'axe de tangage. L'avion sera stable en incidence si une petite augmentation de l'incidence provoque un retour à la position d'équilibre. Prenons l'exemple d'un avion de configuration classique (aile droite –empennage classique).

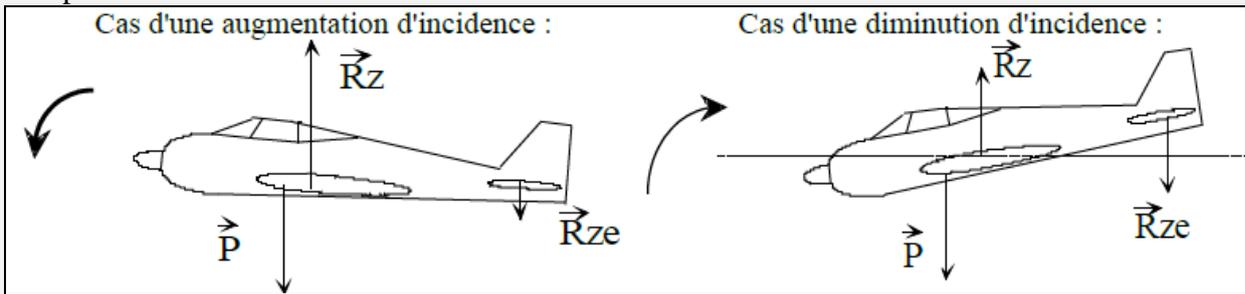
Dans ce type de configuration, le centre de gravité est en avant du foyer de l'aile et du centre de poussée. La voilure est porteuse et l'empennage est déporteur.

La portance de la voilure a tendance à faire basculer le nez de l'avion vers le bas mais la portance négative de l'empennage permet de contrer cette rotation afin d'assurer l'équilibre lorsque l'incidence varie un peu (sous l'effet d'une rafale de vent par exemple).



Variation de portance : cas d'une augmentation de portance

Dans le cas d'une augmentation d'incidence, la portance de la voilure augmente et celle de l'empennage devient moins négative. Il en résulte alors un couple à piquer qui tend à ramener l'avion dans sa position initiale.



Dans le cas d'une diminution d'incidence, il y a une **diminution de la portance** de la voilure et une augmentation de la déportance de l'empennage horizontal. Cela provoque un couple cabreur qui tend à ramener l'avion dans sa position d'origine.

Un avion est stable longitudinalement si le foyer de l'aile est *en arrière* du centre de gravité de l'avion.

Plus un avion est centré avant, plus il est stable.

Plus un avion est centré arrière, plus il est maniable.

Conséquence d'un centrage avant

- Augmentation de la stabilité
- Diminution de la maniabilité
- Braquage plus important de la gouverne de profondeur
- Augmentation de la traînée
- Augmentation de la consommation

Conséquence d'un centrage arrière

- Augmentation de la maniabilité
- Diminution de la stabilité
- Braquage moins important de la gouverne de profondeur
- Diminution de la traînée
- Diminution de la consommation

Stabilité latérale

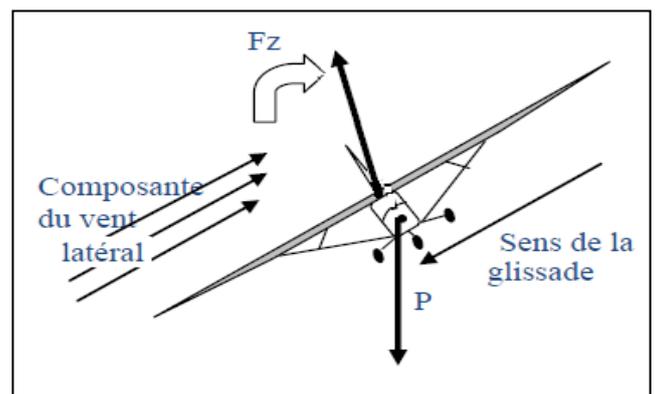
la stabilité latérale sera donnée principalement par :

- les surfaces latérales
- Is dièdre positif et la position des ailes,
- et la flèche positive

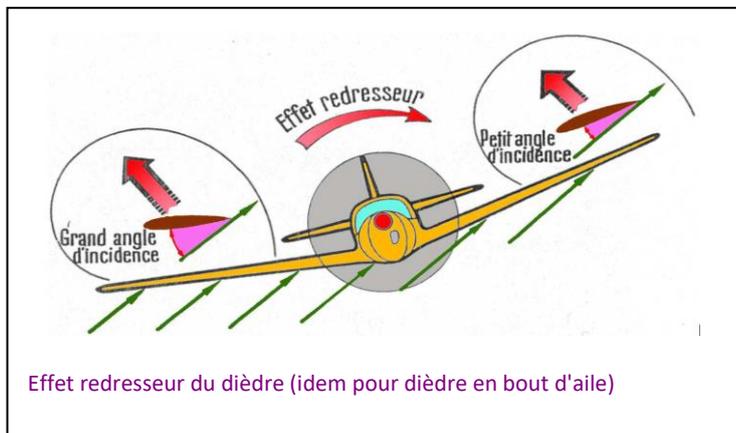
L'effet "Girouette"

Il se manifeste lorsque l'appareil est en **attaque oblique**, ses surfaces latérales étant alors soumises à l'action du vent relatif.

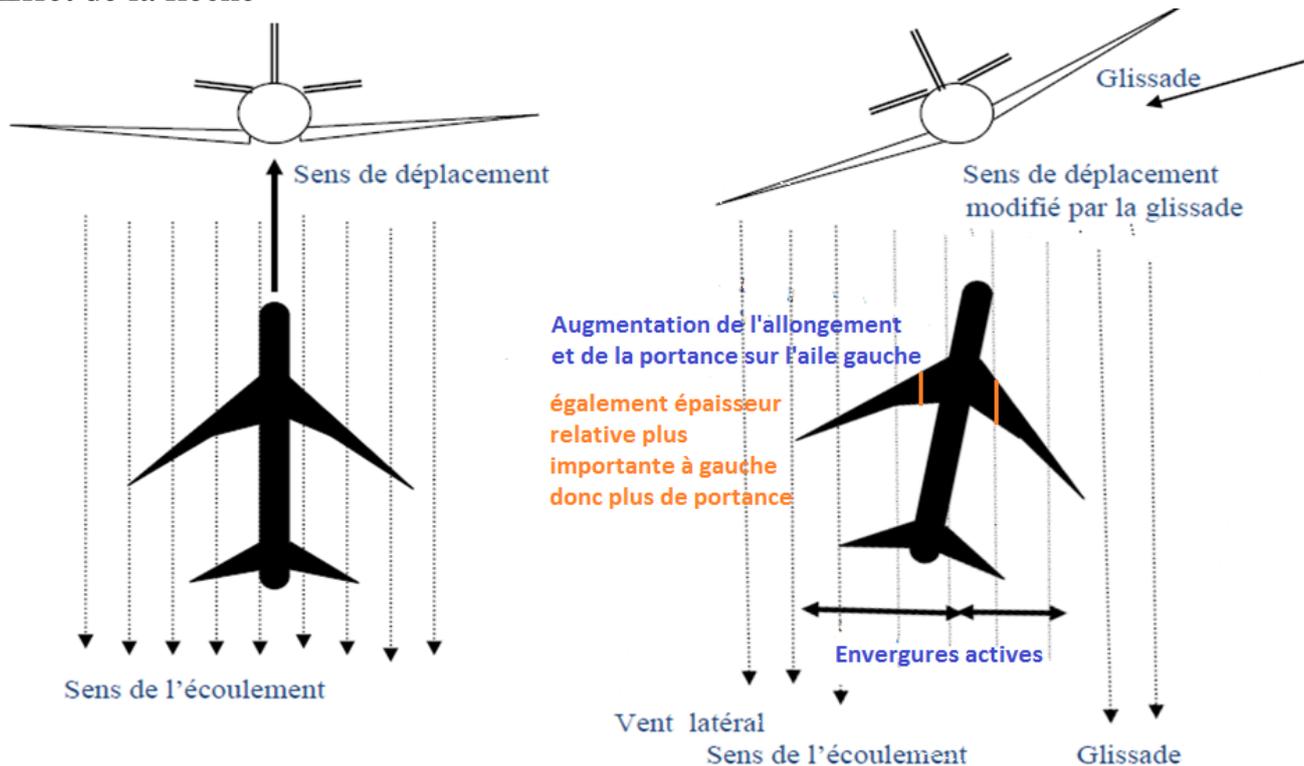
La plus grande partie de ces surfaces se trouvant située en arrière du centre de gravité, cet effet tend à faire tourner l'appareil autour de l'axe de lacet et à le ramener dans le vent relatif ... tel une girouette.



La présence de dièdre entraîne une augmentation de l'angle d'incidence de l'aile droite par rapport à l'angle d'incidence de l'aile gauche d'où, roulis à gauche favorable au redressement de l'avion (ou au virage à gauche si on l'inclinaison de départ était voulue)



Effet de la flèche



Un vrai problème : Le "Roulis Hollandais" (Dutch Roll)

C'est un roulis combinant deux oscillations qui s'auto-entretiennent. D'abord une **oscillation en lacet** suite à un mouvement de lacet (palonnier à droite ou à gauche). L'avion se met alors à osciller autour de l'axe de lacet.

A cause de l'oscillation en lacet, l'effet dièdre de l'avion conduit à un mouvement autour de l'axe de roulis : c'est le **roulis induit**. L'inclinaison en roulis amène une glissade et donc une nouvelle excitation en lacet. Le mouvement de l'avion est alors une combinaison de l'oscillation autour de l'axe de lacet, et de l'oscillation induite autour de l'axe de roulis. Ce mouvement de deux oscillations qui s'entretiennent mutuellement est appelé roulis hollandais.

Les avions qui ont une aile en flèche sont particulièrement sujet au Dutch Roll car le mouvement de lacet diminue l'angle de flèche pour l'aile qui avance et l'augmente pour celle qui recule.

Pour le contrer on utilise le Yaw Damper.

Le Yaw Damper est un amortisseur de lacet, qui aide à la conjugaison des commandes pour garder la boule au centre en virage et qui aide à combattre le roulis hollandais.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)

Chapitre 12 : L'AEROSTATION

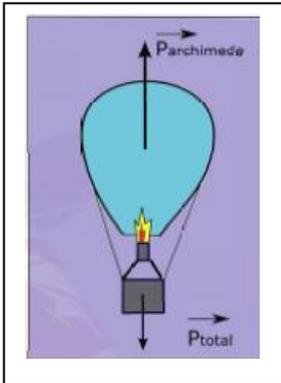
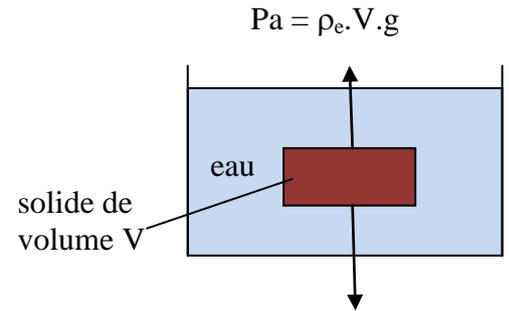
La poussée d'Archimède

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 doit être 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 :

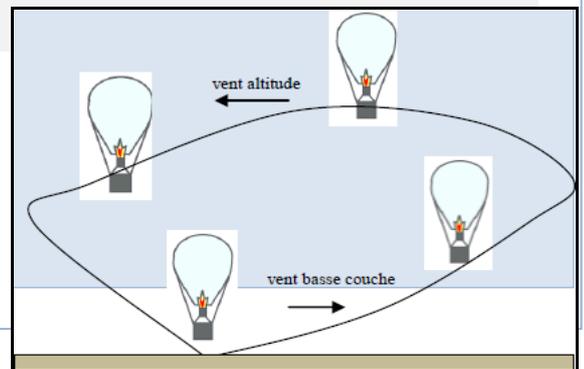
- une enveloppe très résistante retenant le cône d'air chaud et la sphère de gaz.
- une sphère de gaz remplie d'hélium.
- un brûleur alimenté par du propane liquide (en général) qui est stocké dans des réservoirs placés autour de la nacelle.
- une nacelle le plus souvent en matériaux composites qui permet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

[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)

Chapitre 13 : MECANIQUE SPATIALE

FONCTIONNEMENT DE LA FUSEE A PROPERGOL SOLIDE

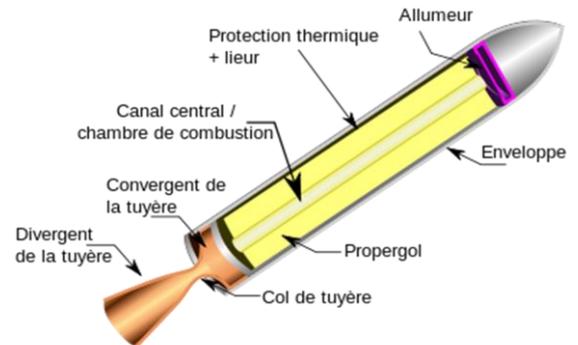
La fusée se présente comme un conteneur creux contenant une certaine quantité de propergol sous forme solide ou pulvérulente (poudre) assimilable à un explosif. Ce propergol est brûlé dans une tuyère, donnant une grande quantité de gaz chaud qui est éjectée avec force vers l'arrière de la fusée entraînant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



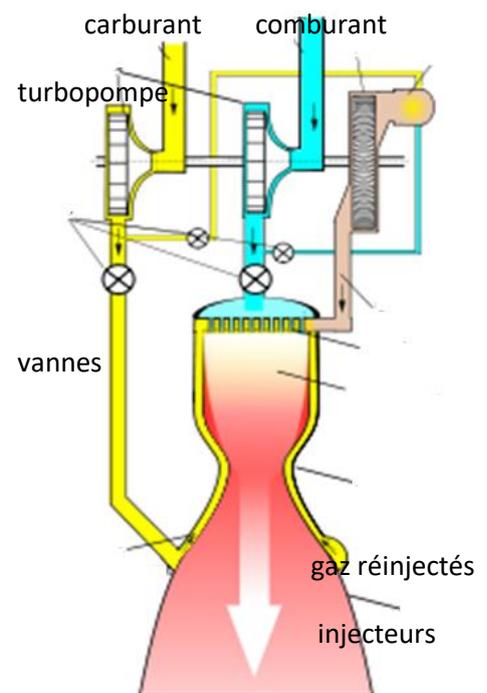
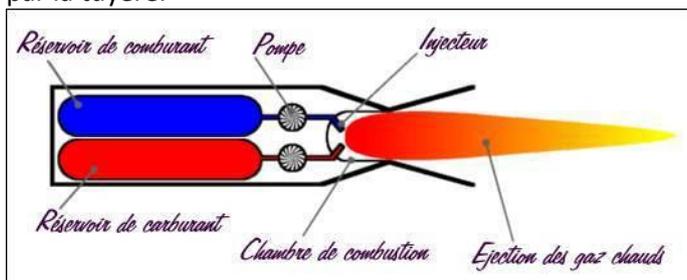
INCONVÉNIENT MAJEUR des moteurs à ergols solides : Une fois le moteur lancé, on ne peut plus l'arrêter jusqu'à ce que le carburant soit épuisé.

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 défecteurs 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

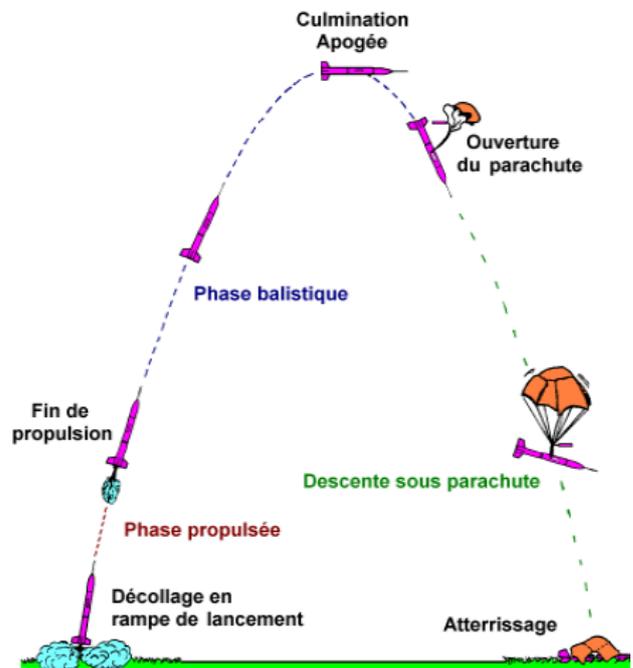
Elle comprend une partie où la fusée est guidée par la rampe de lancement et une partie où la fusée est livrée à elle-même.

➤ 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

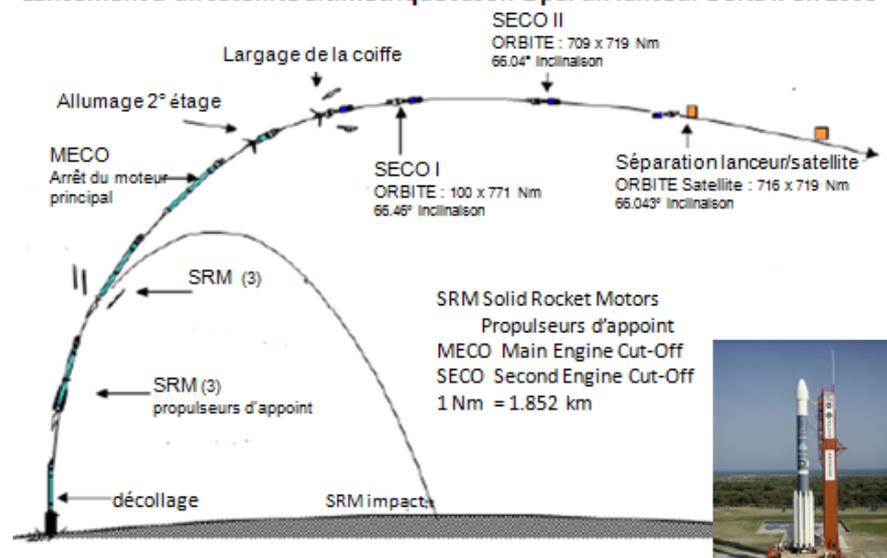
➤ La descente sous parachute.

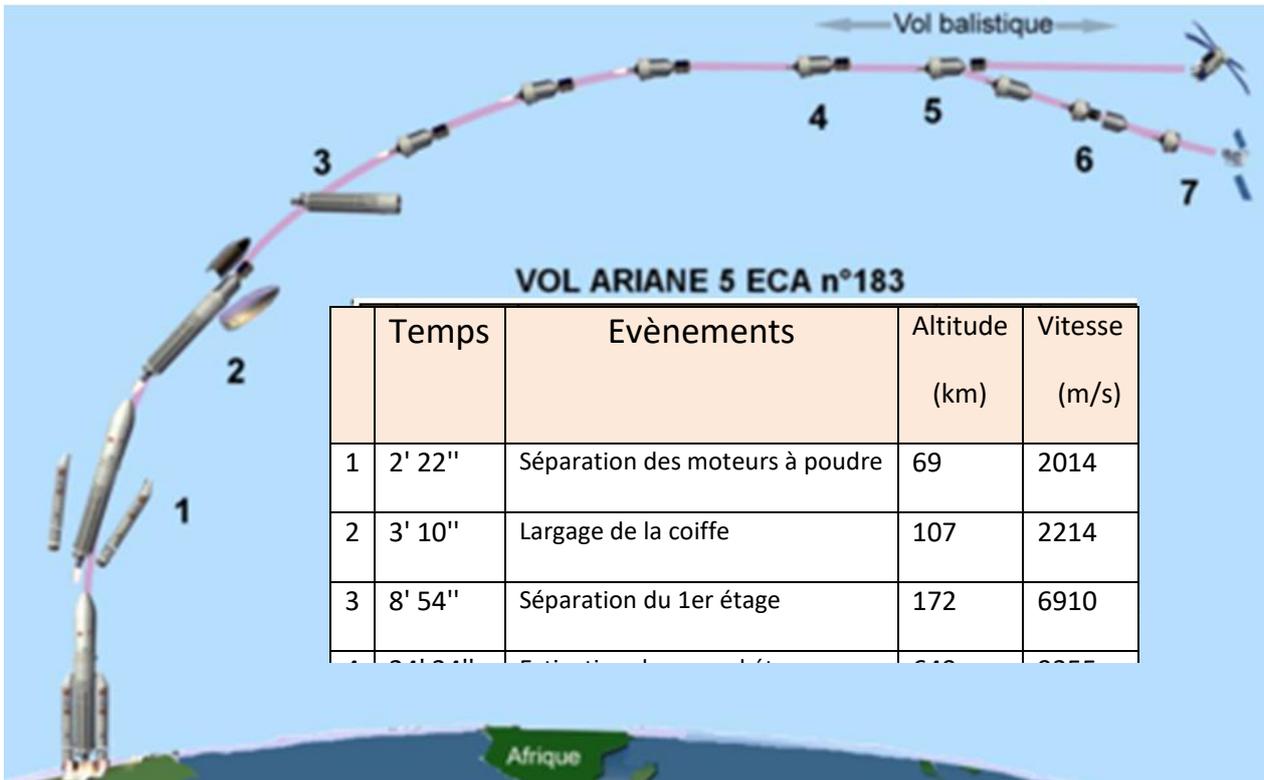
On appelle **stabilité** la capacité pour la fusée de conserver la même attitude (pointée vers le ciel) durant son déplacement.



LES PHASES DE VOL

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



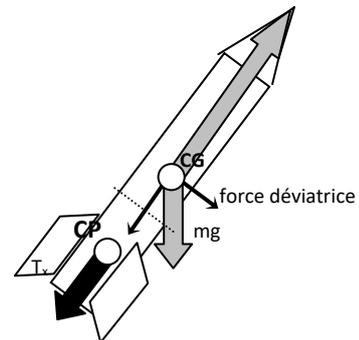


Le vol oblique

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



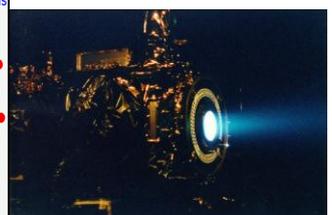
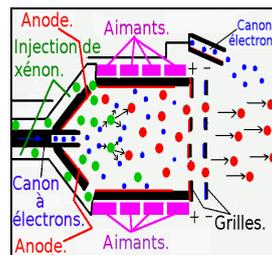
SONDES ET SATELLITES

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.

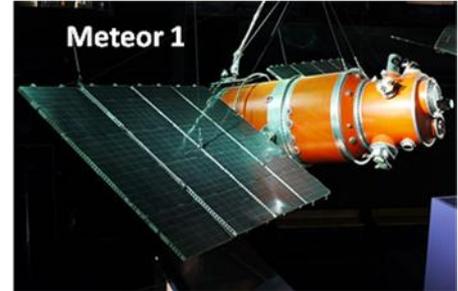


De par leur faible poussée, ils ne conviennent pas pour le lancement de véhicules spatiaux. Pour cela, les moteurs fusée conventionnels sont encore nécessaires. Mais, en principe, dès que le véhicule spatial a atteint l'espace, le moteur ionique peut prendre le relais.

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,

Ces deux types de moteur ont démontré leur efficacité.

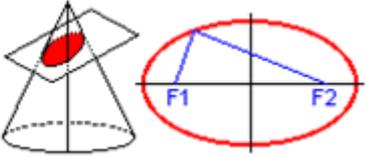


Une autre solution envisagée est le **MOTEUR NUCLÉAIRE**, ou atomique. Le principe est d'utiliser la fission nucléaire comme source d'énergie pour propulser les fusées.

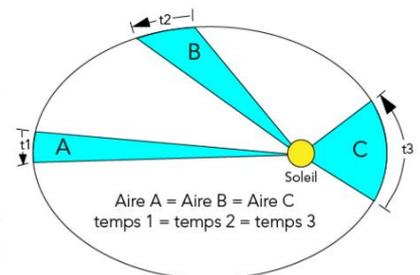
Les ingénieurs ont montré, sur un modèle de faible puissance que le concept était réalisable. Mais les risques d'une catastrophe naturelle de grande ampleur ont arrêté le projet.

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 :

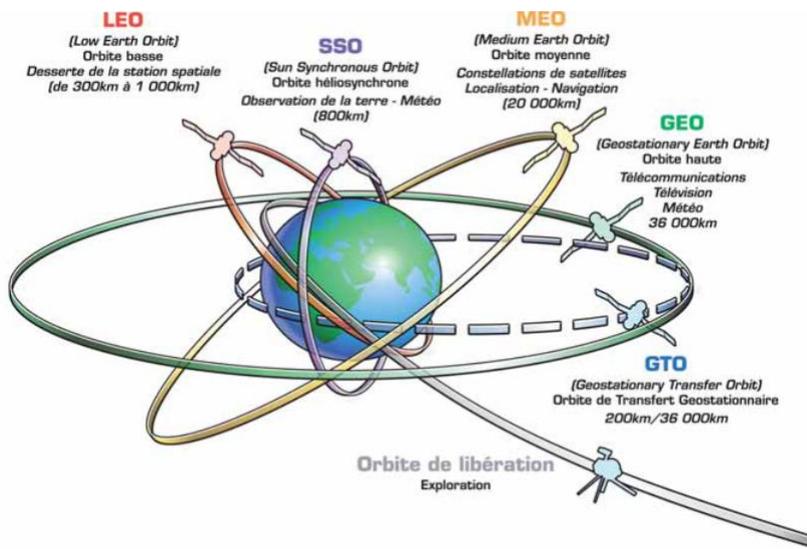
- des **orbites circulaires** qui peuvent être polaires, équatoriales ou d'incidences différentes; On distingue:
 - les **orbites circulaires basses** (200 à 1.000 km), utilisées pour les vols habités et pour les satellites d'observation,
 - les **orbites circulaires hautes** (surtout satellites de navigation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



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.

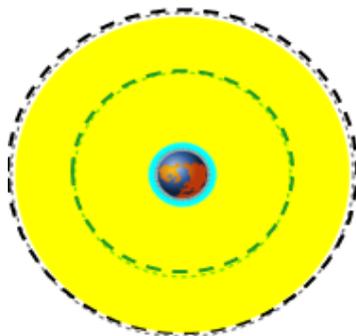
Orbite terrestre moyenne (MEO)

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.

LATITUDE 5 / N°90 / OCTOBRE 2010



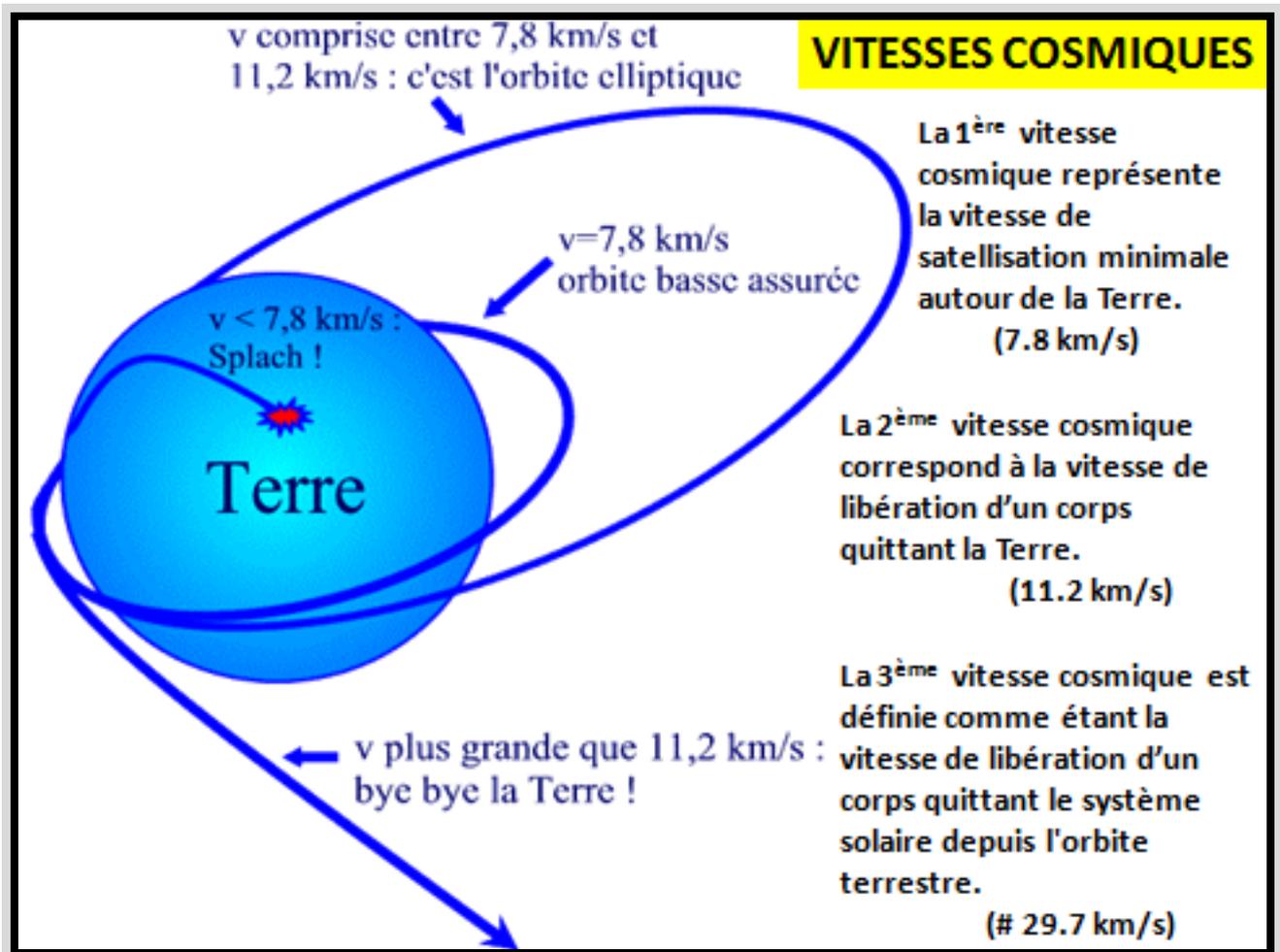
Orbites basses (cyan) et moyennes (jaune) à l'échelle.

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

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



Approximativement 2500 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.



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.

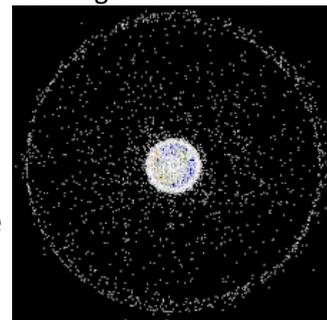
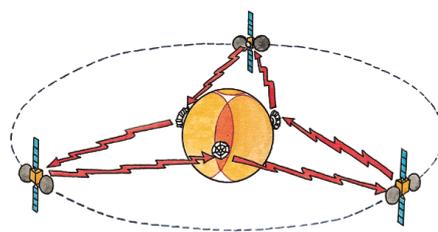
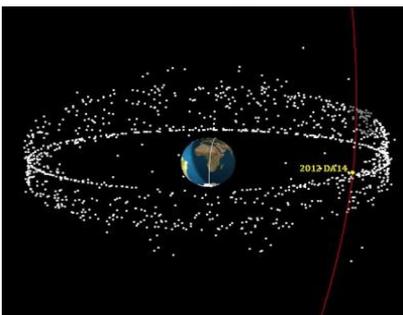
Le plan d'orbite d'un satellite artificiel héliosynchrone se présente toute l'année sous le même angle par rapport au soleil.

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.

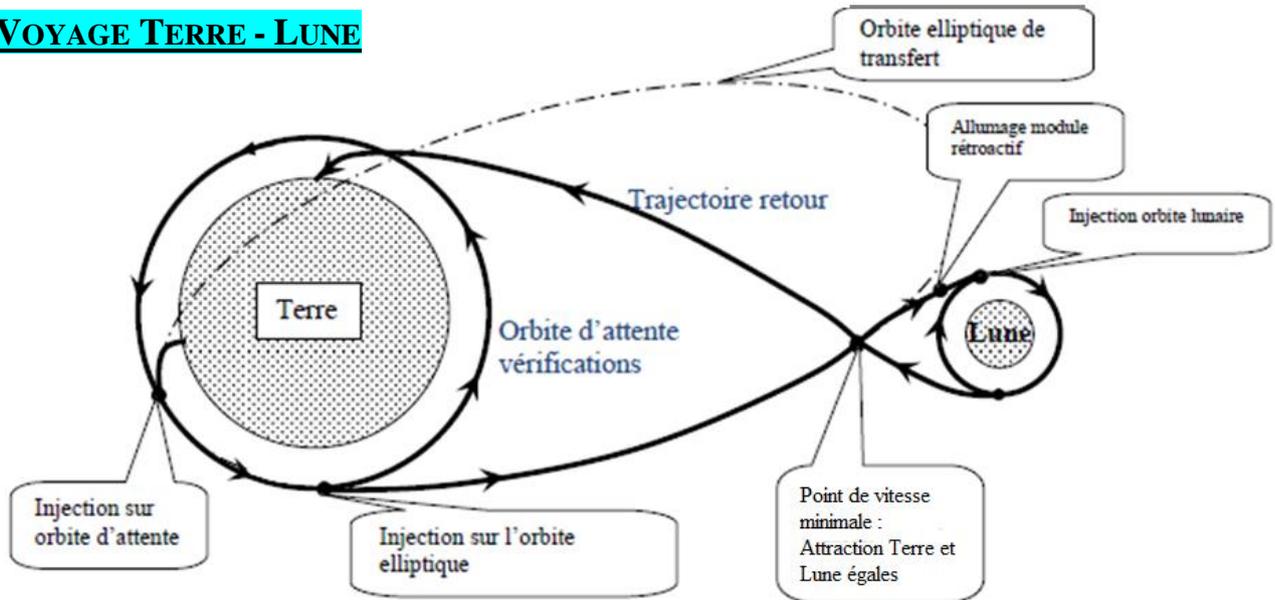
ORBITE GEOSTATIONNAIRE

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



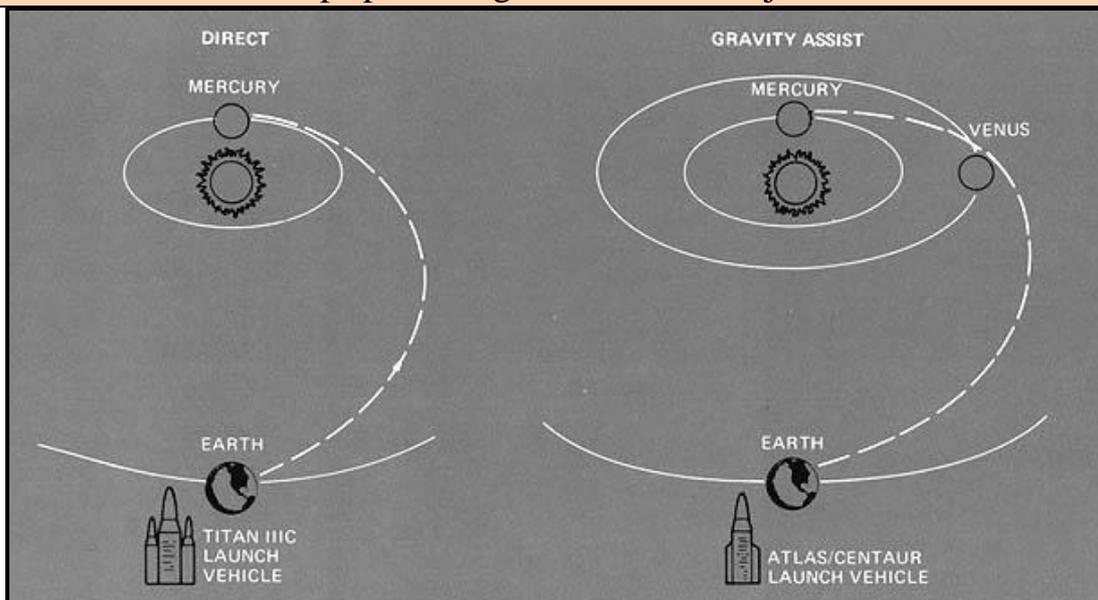
ALLER PLUS LOIN DANS L'ESPACE : SONDES

L'exploration planétaire, en particulier celles du système solaire externe, pose le problème de la distance à parcourir, et par suite de l'énergie et de la durée du trajet.

Sur Terre, le chemin le plus court entre 2 points – et donc le plus économique – est la ligne droite. Sur Terre, tout véhicule se déplace grâce à un système de propulsion. Mais l'expérience de nos déplacements terriens, aussi longs soient-ils, ne nous est ici d'aucun recours et nous induit en erreur. En effet, les lois de l'espace, bien plus subtiles, ainsi que les limitations techniques, nécessitent d'autres stratégies... Une fois la sonde propulsée dans la bonne direction, il lui reste à parcourir une distance pouvant être très longue.

Pour se déplacer, une sonde n'utilise que les lois de l'espace auxquelles elle est soumise pendant son voyage. En orbite autour du Soleil où des planètes qu'elle rencontre, elle se déplace grâce à la gravitation universelle : **assistance gravitationnelle**

La stratégie de l'exploration interplanétaire consiste donc à profiter de l'attraction mutuelle des corps pour diriger les sondes et ajuster leur vitesse.



La sonde Mariner 10 lancée en 1973 a été le premier engin à jouer de la gravitation pour modifier sa trajectoire et ainsi aller de Vénus à Mercure. A droite, la trajectoire incluant le survol de Vénus. A gauche, la trajectoire directe vers Mercure, nécessitant un lanceur beaucoup plus puissant.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 2 aérodynamique](#)



COURS DE PREPARATION AU BIA

Partie 3

ETUDE des AERONEFS et des ENGINS SPATIAUX



JACQUELINE ET LOUIS PEÑA
2021

Etude des aéronefs et engins spatiaux

Sommaire - Partie 3

[retour au sommaire général](#)

(cliquer sur la page)

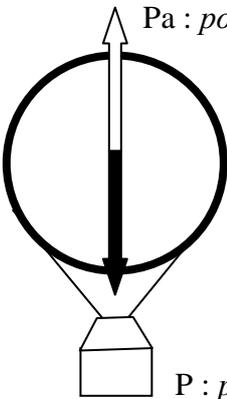
<u>Chapitre 1</u> : Le ballon	page 96
<u>Chapitre 2</u> : L'hélicoptère	page 98
<u>Chapitre 3</u> : L' aéromodelisme	page 99
<u>Chapitre 4</u> : Le parachute	page 103
<u>Chapitre 5</u> : L'aile delta souple	page 105
<u>Chapitre 6</u> : Vol libre - Le parapente	page 106
<u>Chapitre 7</u> : Le vol à voile	page 108
<u>Chapitre 8</u> : L'ULM	page 114
<u>Chapitre 9</u> : L'avion 1) Description générale 2) Voilure 3) Fuselage 4) Train d'atterrissage 5) Empennage 6) Les gouvernes 7) Les compensateurs 8) Hyper et hyposustentateurs	page 118 p 118 p 121 p125 p 126 p 127 p 128 p 130 p 132
<u>Chapitre 10</u> : Les propulseurs 1) Le groupe motopropulseur 2) L'alimentation 3) L'hélice 4) Les réacteurs 5) Le moteur électrique	page 134 p 135 p 136 p 137 p 139 p 142
<u>Chapitre 11</u> : Instruments de bord 1) Instruments de bord de conduite 2) Instruments de navigation	page 144 p 144 p 148
<u>Chapitre 12</u> : Fusées - satellites	page 155

Chapitre 1 – LE BALLON

Le ballon à air chaud

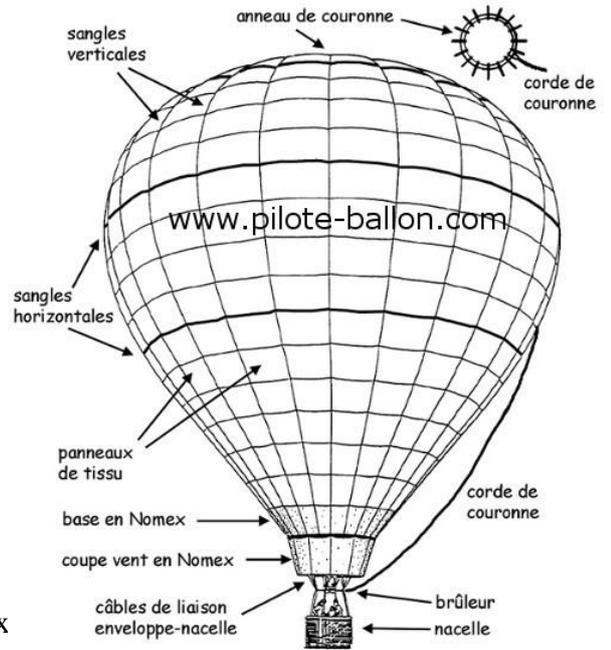
A volume égal, l'air chaud est plus léger que l'air froid (masse volumique plus faible); il s'ensuit une force verticale vers le haut:

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 aux turbulences.

L'enveloppe est constituée de panneaux de tissu (lés) assemblés cousus; elle est consolidée par une structure de sangles auxquelles elle est liée par couture aux intersections (maillage).

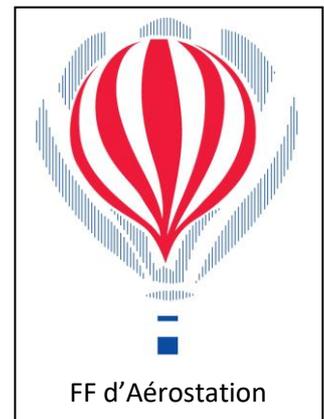
La nacelle est en osier et rotin tressés; Elle reçoit le pilote, les passagers et les équipements nécessaires (propane...)

Les soupapes : en tissu, sont commandées par des cordes à partir de la nacelle. Elles permettent de libérer de l'air chaud afin de descendre ; il peut y avoir une ou plusieurs soupapes : sommitale, latérale et panneau de déchirure rectangulaire, triangulaire ou circulaire.

Le brûleur permet de chauffer directement l'air à la flamme. Il est monté sur un cadre à cardan qui amortit les oscillations dues aux turbulences.

Le cadre de charge : cadre métallique tubulaire supportant le brûleur et assurant la liaison entre la nacelle et l'enveloppe en encaissant les efforts d'écartèlement produit par les câbles d'enveloppe.

Même principe pour le **ballon à gaz**.



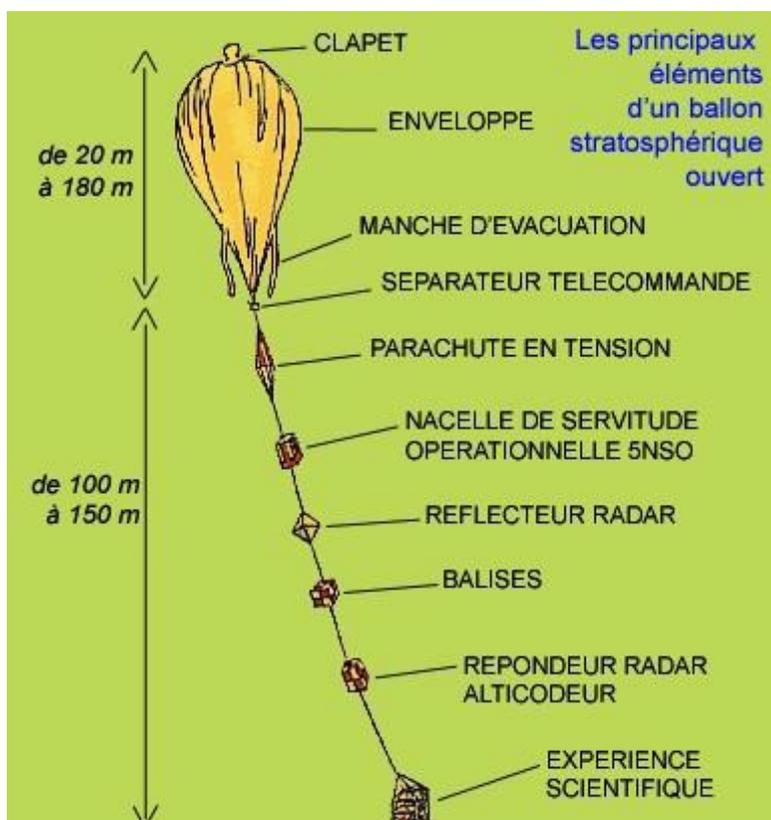
Une **Rozière** combine les deux techniques:
C'est un ballon mixte : hélium - air chaud



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.

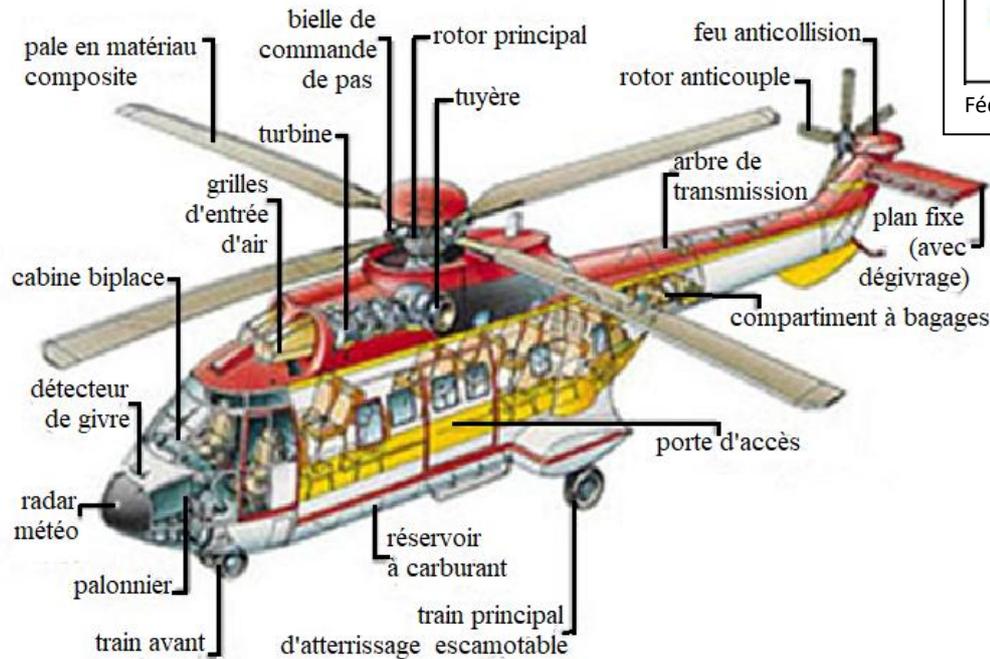
Un ballon stratosphérique est constitué de plusieurs éléments qui forment **la chaîne de vol** :

- **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 télémessure qui transmet au sol les résultats des expériences en temps réel.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 2 – 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 de lacet.

LES BIELLES DE COMMANDE DE PAS

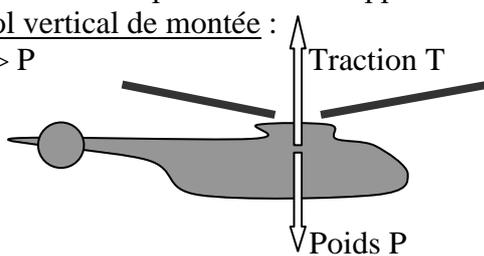
modifient, sur commande du pilote, l'angle d'incidence de chacune des pales, ce qui modifie la force de traction

LE PLATEAU CYCLIQUE

Adapte automatiquement la différence d'incidence entre la pale avançante et celle reculante et modifie, sur commande du pilote, l'inclinaison du plan de rotation du rotor, il permet donc le contrôle des évolutions de l'appareil autour des axes de tangage et roulis, et donc en particulier la vitesse horizontale de déplacement de l'appareil.

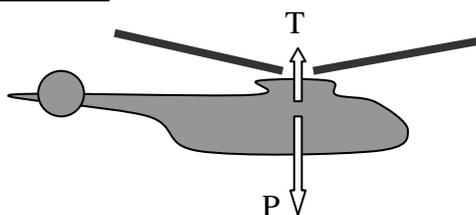
1 - vol vertical de montée :

$$T > P$$

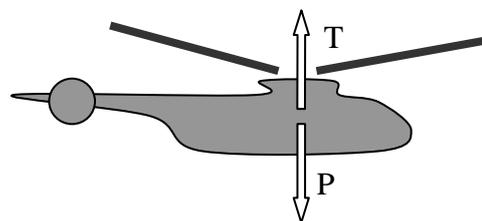


2 - vol vertical de descente

$$T < P$$

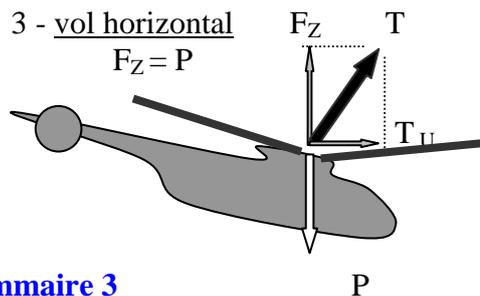


3 - vol stationnaire $T = P$



3 - vol horizontal

$$F_Z = P$$



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

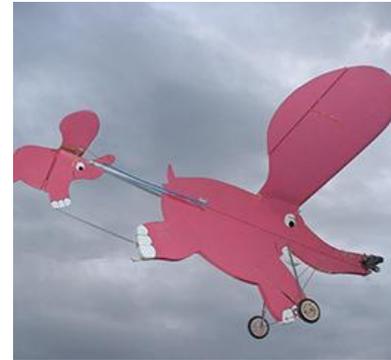
Chapitre 3 : AEROMODELISME



L'aéromodélisme regroupe toutes les disciplines qui ont pour but de faire voler un **aéromodèle, véritable machine volante en réduction.**

Cet aéromodèle pourra prendre la forme d'un avion, d'un planeur, d'un hélicoptère, d'une montgolfière, pour les types de machines les plus courantes...

Mais il pourra aussi être le fruit de l'imagination... ou être la réplique d'un engin volant existant ou ayant existé. On parle dans ce cas de **maquette volante.**



planeur



planeurs
motopropulsés



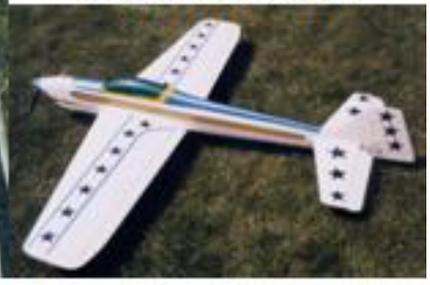
Les avions de voltige



l'avion de début



hélicoptère



l'avion de
transition

A
E
R
O
M
O
D
E
L
E
S

FFAM



Les maquettes

L'AEROMODELISME REGROUPE PLUSIEURS DISCIPLINES

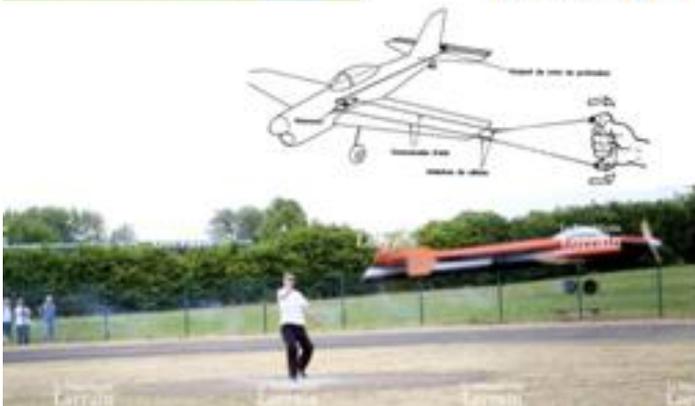
VOL LIBRE



VOL RADIOCOMMANDE



VOL CIRCULAIRE



MATERIAUX UTILISES

• BOIS

-balsa : densité 0,15 (150kg / m³) ; bois tendre et léger pris au cœur de l'arbre coupé entre 1 et 3 ans, vendu sous forme de baguettes de 1 cm² ou de planchette de 1m de long et 10cm de large dans des épaisseurs de 1 mm à 2 cm (+ 6 mm : sciage, -6 mm : rabotage).

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 . On ne l'utilise pas dans l'aile sauf pour les nervures d'implanture.

- spruce - peuplier : utilisés pour les longerons d'aile, vendu sous forme de baguettes de section carrée 10 × 10 ou 8 × 8 (mm) (parfois deux longerons reliés par du CTP).

- **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.

Remarque : les UV altèrent la fibre de verre, le carbone n'est pas résistant aux chocs mais est très rigide, on utilisera des composés hybrides : carbone - verre ou carbone - Kevlar.

Les fibres doivent être associées à une résine.

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

- COLLES

- vinyliques : colle blanche de menuisier

- cellulosiques : cellulose + dissolvant (acétone)

- bi-composant : colle époxy : résine + durcisseur

La dernière est la plus résistante mais la plus lourde . On utilise aussi pour les petites pièces la cyanoacrylate (super-glue) mais surtout pas la néoprène car celle-ci reste souple et n'a pas de résistance mécanique.

- OUTILLAGE

cutter - réglet - ciseaux - poncette ...

CHOIX D'UN MODELE

Un modèle de début aura ~1,5 m d'envergure, 1,2 m de longueur, pèsera 1,5 à 2 kg et aura un profil Clark Y plan convexe.

Conception personnelle du modèle ou sur plans ou boîte de construction (kit) à plusieurs stades de finition et souvent sans moteur

Les modèles auront une charge alaire d'autant plus petite que le modèle est réduit : # 50g/dm² mais pour un « petit - gros » (échelle > ¼) : # 100g/dm² (soit 10kg/m² et 10 fois plus pour un avion grandeur).



REALISATION

On découpe les pièces :

- fuselage : couples - lisses - flancs
- aile : longerons - nervures - bords d'attaque - bords de fuite - saumons
- clef d'aile : pièce en CTP, bois ou acier, qui relie les 2 demi-ailes
- empennages : dérive (dérive + gouverne de direction)
stabilisateur (plan fixe horizontal et gouverne de profondeur)

On les découpe dans des planches ou on les construit à partir d'un treillis de baguettes.

MATERIAUX DE FINITION

- **PAPIER MODELSPLAN** ou papier japon (autrefois pour le vol libre, actuellement surtout indoor (en salle))
papier d'épaisseur variable : grammage : 12g/m² pour les empennages, 21g/m² pour la voilure.
il est collé à l'enduit cellulosique (beaucoup plus dilué que la colle cellulosique : consistance du vernis).
Celui-ci donne une certaine étanchéité.
Plus moderne : le **FILM THERMORETRACTABLE** (solarfilm : se rétracte à la chaleur + une face collante)
film polyester tendu sur un caisson.
- **TISSU POLYESTER THERMORETRACTABLE**
- **COUCHE DE RESINE - FIBRE DE VERRE**

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

PROPULSION

Pour propulser ces aéromodèles, on fait appel soit

- à des moteurs thermiques dont la cylindrée va de quelques centimètres cubes pour un petit modèle jusqu'à 250 centimètres cubes pour des modèles de grandes dimensions,
- à des moteurs électriques jusqu'à 15 kw,
- ou, must technologique, à des microréacteurs jusqu'à 30 daN, qui confèrent un réalisme exceptionnel aux modèles de jets qui en sont équipés.

TELECOMMANDE

Les fréquences radio utilisées pour le contrôle des aéromodèles ou de leurs accessoires doivent être soit des fréquences «libres» (2,4 ghz qui fonctionne par balayage d'une gamme de fréquence) soit des fréquences spécifiquement autorisées pour cet usage.

REGLEMENTATION

- **Sites** Le vol se fera uniquement sur des sites de vol adaptés. En dehors des sites d'aéromodélisme publiés officiellement avec leurs restrictions particulières, les vols sont strictement limités, hauteur réduite (moins de 120 m dans des zones non interdites), interdiction de survoler des personnes ou des lieux publics ...
L'aéronef doit toujours rester en vue de son télépilote.
Le vol en mode automatique (programmation d'un aéronef pour qu'il exécute de façon automatique une trajectoire définie à l'avance) est autorisé, sous réserve que le vol soit exécuté sous la surveillance du télépilote qui à tout moment doit être en mesure de reprendre le contrôle manuel de l'aéronef.
Le droit à la vie privée des autres personnes doit être respecté avec l'usage des caméras embarquées.

➤ **Limitation de poids**

Tout propriétaire d'un aéronef de plus de 800g doit être muni d'un dispositif de signalement électronique(hors des terrains reconnus); il doit être inscrit sur le registre de l'aviation civile (portail Alpha Tango) , le pilote devant satisfaire à un test théorique et le n° d'enregistrement devant figurer sur l'aéronef, (les modèles de plus de 25 kg doivent en plus être immatriculés et contrôlés par la DGAC)

➤ **Pilotes**

Les télépilotes de plus de 14 ans d'aéronefs dont la masse (équipements et batterie compris) est supérieure ou égale à 800g doivent avoir suivi une formation télépilote de loisir.

Un vol par un jeune de moins de 14 ans se fera toujours sous supervision

➤ **DRONES (à titre professionnel)**

Les télépilotes doivent détenir un **certificat d'aptitude théorique de télépilote** 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**.

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



L'exploitant d'un aéronef utilisé pour des activités particulières doit déclarer son activité à la DGAC, et renouveler sa déclaration à chaque modification de son activité et de manière systématique tous les 24 mois. Il doit documenter son activité et la façon dont il satisfait à ses obligations réglementaires dans un manuel d'activités particulières (MAP) qu'il tient à la disposition des autorités en cas de contrôle.

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.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 4 – LE PARACHUTE



FF de Parachutisme

Les parachutes individuels

→ Parachute de sauvetage : parachute dorsal utilisé en vol à voile et voltige.

vitesse d'utilisation : 1^{ère} catégorie 30 à 80 m/s ; 2^{ème} : 30 à 100 m/s ;
3^{ème} : 30 à 120 m/s

vitesse moyenne de descente et d'atterrissage : 6 m/s .

Il est formé :

* du harnais : permet le brêlage du parachutiste et supporte le sac contenant la voile pliée; il est composé d'une sangle principale en « U » dont la partie basse constitue le siège et dont les extrémités sont reliées aux étriers de suspension, d'une sangle dorsale qui forme les bretelles et la ceinture, de deux pattes de poitrine, de deux sangles cuissardes entre-jambes.

* du parachute extracteur : équipé ou non d'un ressort, il sort la voile de son sac et l'accompagne jusqu'à l'ouverture ; il est relié à la voile au niveau du croisillon de cheminée en haut de la coupole.

* de la voile : de type sphérique (calotte) comporte 16 à 28 fuseaux suivant les modèles, chaque fuseau se composant de 5 panneaux de tissu.

* des 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. Il peut y avoir jusqu'à 120 suspentes secondaires regroupées en 20 suspentes principales en « U » ; les étriers sont reliés à un émerillon qui permet la rotation du parachute autour de son axe de symétrie.

→ 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



LE PARACHUTISME



vol relatif



Canopy formation



skysurf



free fly



free style



Swooping



précision d'atterrissage



wing fly (wing suit)



Base jump



Soufflerie

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 5 – AILE DELTA SOUPLE (FFVL ou FFPLUM)

Utilisée en version Planeur Ultra Léger (PUL, FFVL) : deltaplane ou version Ultra Léger Motorisé (ULM, FFPLUM)

C'est une aile profilée creuse sans cellule; la courbure de son profil est obtenue par gonflement sous l'effet du vent relatif. Les ailes actuelles sont issues de l'aile en toile souple triangulaire Rogallo

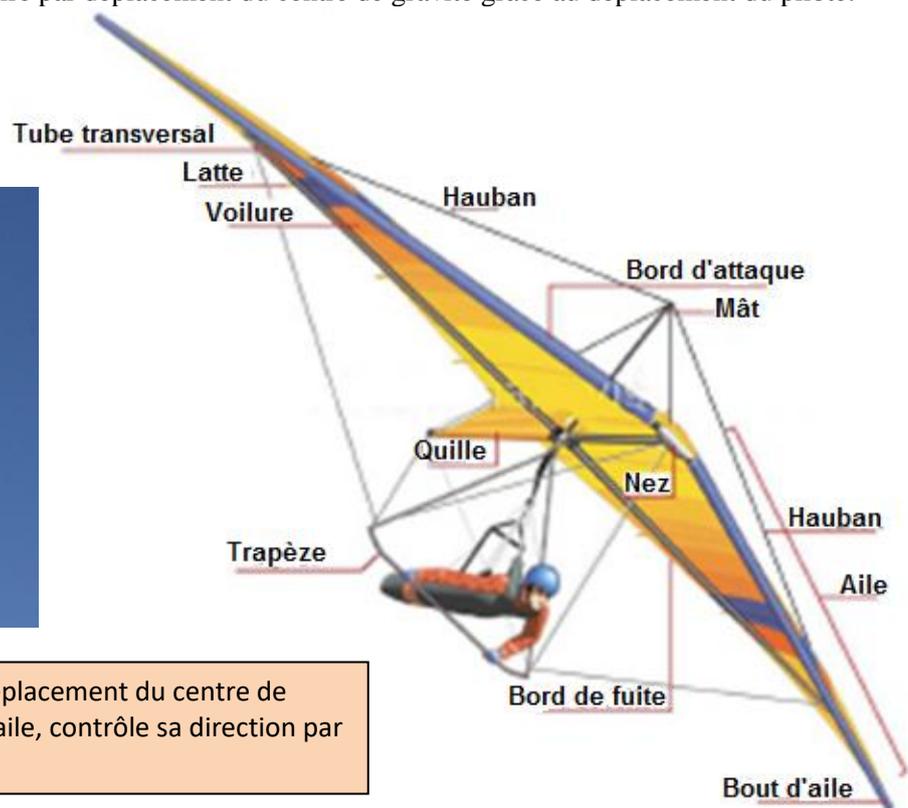
La voile : liée à la structure par des fourreaux, elle est constituée de laizes de toile Dacron ou de fibres carbonées ; elle est parfois munie de lattes longitudinales qui lui donnent un profil prédéterminé (aile semi-rigide)

La structure : Barre transversale et quille sont des tubes de duralumin généralement anodisés. Les deux sont accastillées au point d'intersection des axes d'évolution : roulis, tangage et lacet. 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.



Le pilotage est **pendulaire** par déplacement du centre de gravité : Le pilote, couché sous l'aile, contrôle sa direction par le déplacement de son corps.

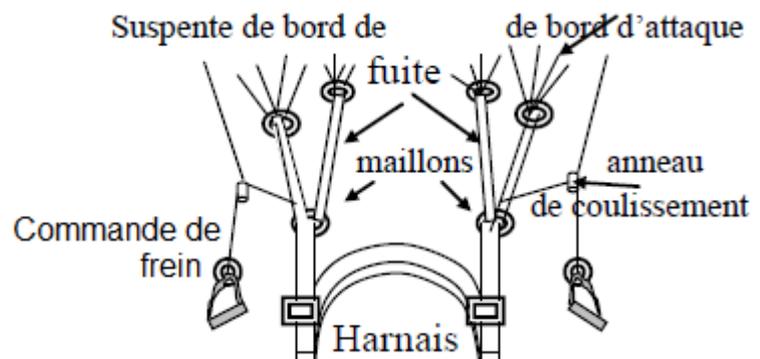
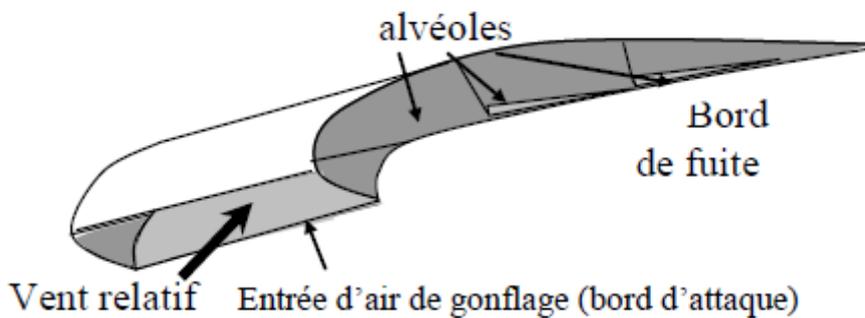
[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 6 – VOL LIBRE - LE PARAPENTE

La voile est une aile profilée par gonflage dû au vent relatif. Elle est de construction de type « caissons » se composant de fuseaux cellulaires. Une poignée 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), il dispose de deux points d'ancrage sur la sangle principale, points destinés à accrocher les élévateurs couplés par deux (avant et arrière)



et le paramoteur ?



issu du parapente
c'est un ULM de classe 1

Qu'en est-il du cerf-volant?



Festival de Berck



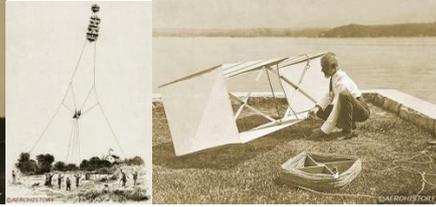
dragon chinois



Benjamin Franklin et le paratonnerre



Baden Powell et son « Levitor »



cerf volant cellulaire de Hargrave



festival de Chatellaion

Activité ancestrale ! D'anciens textes chinois font remonter l'origine du cerf-volant au IV^e siècle av. J.-C.. Avant même le premier millénaire, on savait construire en Chine des cerfs-volants assez grands pour soulever un passager. L'introduction du cerf-volant en occident remonte à la fin du XII^e siècle. À partir du XVIII^e siècle, son utilisation se développa dans les domaines militaires et scientifiques

Les autorités de l'aviation civile ne les considèrent pas comme des aéronefs. Pour une pratique normale, ces engins sont assimilés à des « obstacles mobiles » considérés différemment selon que leur hauteur dépasse ou non 50 mètres.

Et du kite ?

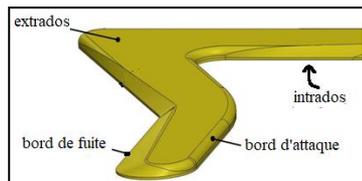


Le kite ou cerf-volant de traction, né dans les années 1980, associe un engin de glisse (une planche) ou de roulage (une planche à roulette, par exemple) à une aile de traction. Le kite est un sport de glisse mais n'est pas considéré comme un PUL Le mélange de glisse, de vitesse et d'aérien permet des combinaisons d'expression très variées : le freestyle (sauts et figures aériennes), la longue distance et la vitesse pure.

Il se décline sur différentes surfaces naturelles :

- sur l'eau c'est le kitesurf, avec une planche classique, une planche directionnelle ou sur foil (le Kitefoil).
- sur la neige, c'est le snowkite (à skis ou snowboard) ;
- sur la terre ou le sable, avec un buggy (tricycle), un mountainboard (planche à roulettes) ou des rollers.

Et le boomerang ?



Le boomerang est un objet volant aussi esthétique qu'intrigant en bois ou composite.

Pour le lancer : endroit dégagé, peu de vent dont on connaît la direction, bonne prise en main, inclinaison d'environ 20° pour le lancer, à 45° de l'axe du vent, lancer un peu vers le haut avec le maximum de rotation. Un bon lancer permet au boomerang de revenir vers vous.

La légende du boomerang :

« Aux premiers jours du Temps des Rêves les hommes devaient ramper sur leurs mains et leurs genoux car le ciel touchait presque le sol. Un jour, un vieux chef s'approcha d'une mare d'eau magique et se pencha pour boire. Alors qu'il se désaltérait, il vit un magnifique bâton tout droit dans l'eau. De la main il l'atteignit et s'en empara.

Et soudain il se dit : avec ce bâton, je peux repousser le ciel, et nous pourrions vivre debout! Alors il poussa et poussa le ciel jusqu'à l'endroit où il se trouve maintenant, et les arbres commencèrent à grandir, et les opossums gambadèrent sur les branches et les kangourous se mirent à sauter de joie. Le vieux chef regarda son bâton et vit qu'il était terriblement courbé. Se disant qu'il ne servirait plus à rien, il le jeta au loin, mais le bâton revint vers lui. Il le jeta de nouveau et le bâton revint encore. Alors il le garda et le baptisa boomerang. »

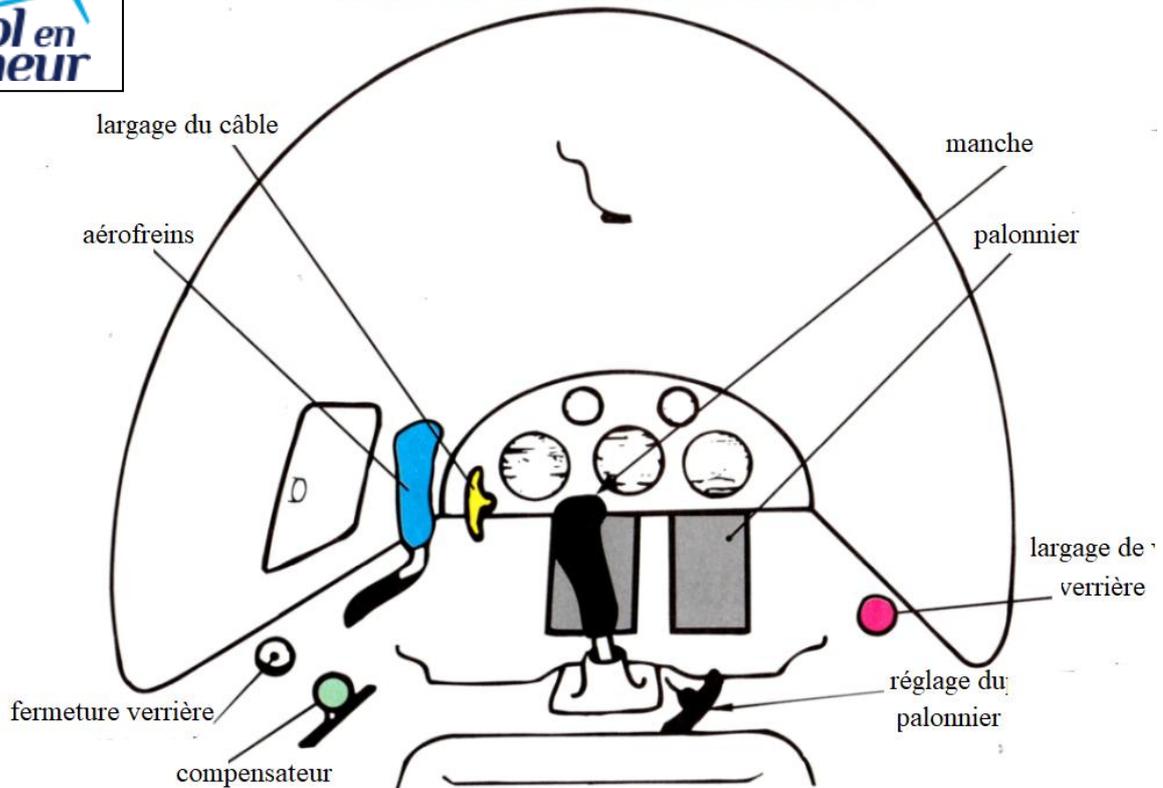
[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 7 : VOL A VOILE



PLANEUR SANS DISPOSITIFS SPECIAUX



Les couleurs : Poignée de largage : jaune ; poignée AF : bleue ; compensateur : vert ; largage verrière : rouge ; Sortie de train : noir

Plusieurs classes de planeurs:

- **libre** : pas de limitation d'envergure jusqu'à 30m et 60 de finesse



Duo Discus (20m)



C101 Pégase

- **Club** : 15 m : standard sans volets ; course avec volets

- **18 m**



ASG29 allongement 30 finesse 52



PW5 Piwi en France

- **Mondiale** : 1 type de planeur : 13 m

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

Le Brevet de Pilote Planeur:

Ce brevet est accessible à toute personne âgée de plus de 16 ans ayant satisfait à un examen médical par un médecin agréé pour les visites médicales aéronautiques. La formation peut commencer avant 16 ans mais le brevet ne peut être obtenu qu'à 16 ans révolus. Le brevet se passe en 2 temps (une épreuve théorique et une épreuve pratique). La formation préalable en double commande est de 8h minimum. Pour passer le test en vol il faut avoir effectué au moins 2h de vol dont un vol d'1h minimum et 10 atterrissages en solo plus 10 atterrissages minimum en double commande.

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:

- **lâché campagne**: permet, avec une formation en double et un vol test, de voler en solo hors du local d'un aérodrome.
- **emport de passager** : délivré suite à un vol de contrôle lorsque le pilote a au moins 50h de vol en qualité de commandant de bord.
- **qualification voltige**: suite à une formation adaptée sur planeur de voltige.
- **qualification de pilote remorqueur** (nécessite le Brevet de Base de pilote avion).
- **qualification d'instructeur**.

Perfectionnement : l'insigne d'argent : Un vol de plus de 5 heures, un gain d'altitude de 1 000 m, un vol comportant une branche de plus de 50 km.

Fonctionnement du planeur :

Il descend tout le temps ; finesse 27 à 40 (mais jusqu'à 70 de finesse). La finesse diminue à 6 avec les aérofreins sortis et on peut les sortir jusqu'à la VNE. Pour un élève finesse autorisée : 10 !

Pour mettre un planeur en l'air :

→ **Le remorquage**, derrière l'avion ou l'ULM



Les signaux :

- Roulette de queue retirée : on rentre les aérofreins
- Pour lever l'aile : le pilote lève le pouce
- Signaux avec la gouverne de direction : il y a un problème sur le planeur : parachute de queue sorti, AF sortis, bretelle dehors...
- 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

Le planeur est relié par un câble de 60m à l'avion ou l'ULM remorqueur. L'avion décolle et le pilote du planeur suit les mouvements de l'avion pendant la montée. Arrivé à la hauteur de largage, le pilote du planeur déclenche le crochet de largage, l'avion ou l'ULM redescend ensuite avec le câble. Les avions remorqueurs sont des avions dédiés à la tâche du remorquage. Ils sont équipés d'un rétroviseur, d'un variomètre gradué en mètres par seconde (comme le planeur) et d'un crochet permettant l'accrochage et le largage du câble.

Derrière le remorqueur une position haute est très dangereuse

→ treuillage



Le treuil : l'effet cerf-volant

Le planeur est relié au treuil par un câble fin et très résistant de 1000 à 1500 m de long. A la mise en puissance, le treuil enroule le câble très rapidement autour d'un grand tambour. Le moteur est soit thermique, soit électrique. Le câble peut être en acier ou, plus moderne, en kevlar. Son diamètre est de 5mm.

Le treuilleur est la plupart du temps un pilote du club qui a eu une formation spécifique au treuillage

Le treuillard communique avec le pilote par radio.

→ motoplaneur;

planeur à dispositif d'envol incorporé



Le premier à un moteur fixe non retractable que l'on peut bien sûr éteindre en vol, l'autre un moteur sur pylone retractable ce qui permet d'avoir un vrai planeur ballasté avec 60 kgs en permanence.

→ autrefois sandow.

Types de vol :

Sans moteur, le planeur ne fait que descendre en vol plané. Pour tenir en l'air, il lui faut trouver un courant ascendant.

On distingue 3 types d'ascendances donc 3 types de vol

Ascendances

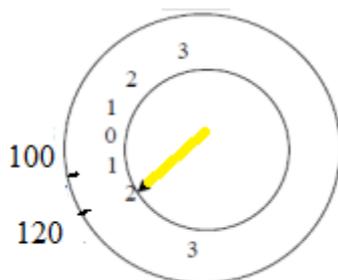
- Les ascendances dépendent de la température : - de 1°/100m : stable ; + de 1°/100m : état instable
- Pas d'ascendance sur l'eau ;
- Ça « pompe » moins sur une forêt (20°) que sur un champ de blé (24°).
- On cherche les pompes face au vent et côté soleil ;
- Il faut une certaine instabilité pour faire 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.

Aide au pilotage

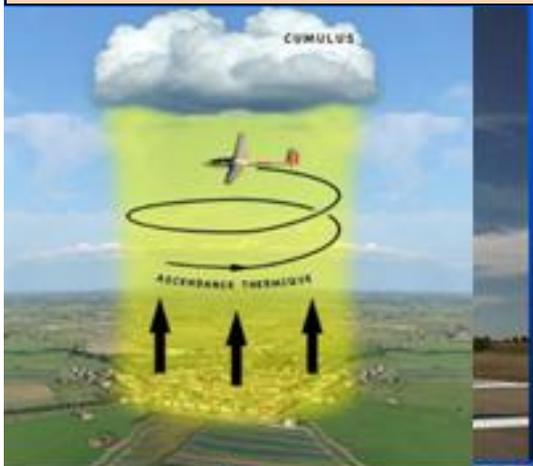
Anneau de Mac Ready

Exemple : On est à - 2

On doit voler à 125 km/h pour avoir la meilleure finesse



VOL THERMIQUE

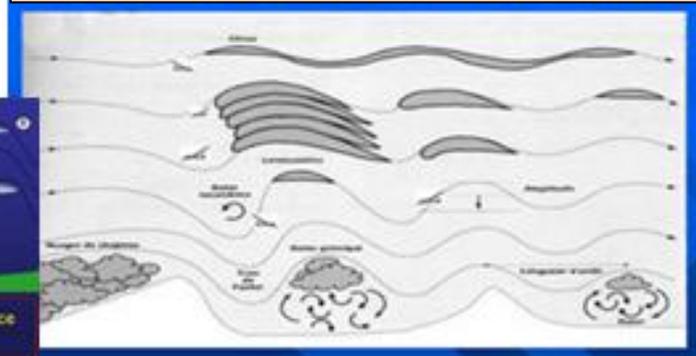


TYPES DE VOL

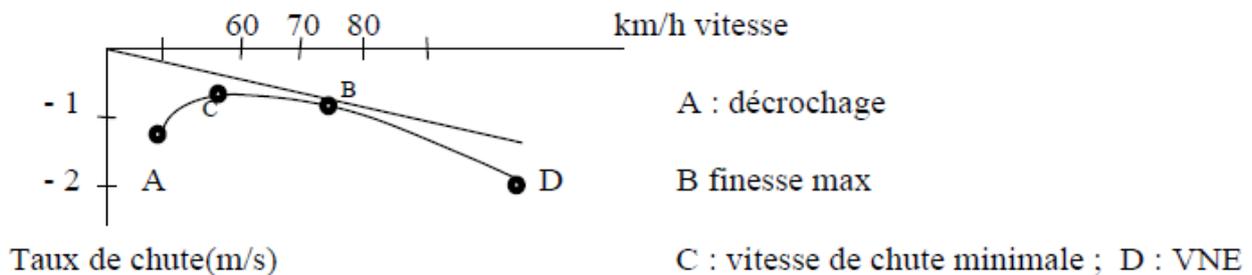
VOL DE PENTE



VOL D'ONDE



Polaire 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 mais aussi :
- 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.

Compléments : ANNALES

Certains planeurs sont équipés de 2 crochets : l'un est placé dans le nez du planeur, l'autre un peu en avant de la roue du train principal (le crochet arrière). Pour un décollage au treuil :

- a) on doit exclusivement utiliser le crochet avant. b) on doit exclusivement utiliser le crochet arrière.
c) on peut utiliser l'un ou l'autre. d) on ne doit utiliser aucun de ces 2 crochets

Quel est l'âge minimum pour être autorisé à voler seul en planeur?

- a) 14 ans. b) 15 ans. c) 16 ans. d) 18 ans.

Le port du parachute en planeur est:

- a) facultatif. b) obligatoire pour tous les planeurs. c) obligatoire uniquement pour les planeurs de voltige.
d) obligatoire uniquement si les conditions météorologiques sont mauvaises

Quels sont les nuages les plus favorables au vol à voile?

- a) les cirrus. b) les stratus. c) les cumulus. d) les altocumulus

Il arrive qu'un planeur soit obligé de se poser dans un champ. On dit qu'il fait:

- a) un cheval de bois. b) un bœuf. c) un veau. d) une vache

En vol remorqué quelle est la position la plus dangereuse?

- a) position haute derrière le remorqueur b) position écartée à droite ou à gauche
c) dans le souffle du remorqueur d) sous le souffle du remorqueur

A partir de quel âge peut-on passer son brevet de vol à voile?

- a) 14 ans b) 15 ans c) 16 ans d) 18 ans

Quelles sont les inclinaisons habituelles pour exploiter les thermiques de plaine classiques?

- a) 5° à 15° b) 25° à 45° c) 60° et un peu plus si le vent est fort
d) il ne faut surtout pas incliner le planeur car il risque de décrocher

Les pilotes de planeurs appellent familièrement les ascendances:

- a) des bombes b) des vaches c) des lifts d) des pompes

Un planeur se dirige vers une montagne, vent de face, et s'approche d'un nuage isolé ressemblant à un cumulus. Son variomètre indique soudain -7 m/s. Cela s'explique par:

- a) l'effet de foehn b) l'instabilité de l'atmosphère
 c) l'entrée dans un courant de rotor d) une forte convection thermique.

Vous envisagez d'utiliser une ascendance où se trouve déjà un autre planeur:

- a) vous faites comme si vous étiez seul b) vous l'avertissez par la radio de vous laisser de la place
 c) vous essayez en jouant sur la vitesse, de vous placer de façon diamétralement opposée, sans le perdre de vue
d) vous engagez la spirale juste devant lui, pour qu'il vous voit bien.

Vous êtes en vol de pente. Le relief est à votre gauche. Un autre planeur arrive en face de vous, à la même altitude:

- a) il a priorité. Vous dégagez à droite b) vous avez priorité et vous maintenez votre cap
c) vous faites une ressource pour passer au dessus d) vous sortez les aérofreins pour passer en dessous.

Pour remonter un planeur il faut d'abord:

- a) brancher les gouvernes b) monter l'empennage horizontal c) monter les ailes d) monter les winglets.

Pour démonter un planeur, après avoir débranché les commandes, on commence par démonter:

- a) les ailes b) l'empennage horizontal c) le train d'atterrissage d) les volets

Parmi ces dispositifs qui permettent tous d'atteindre un même but, quel est l'intrus?

- a) treuil b) remorqueur c) voiture de piste d) dispositif d'envol incorporé.

Sur un planeur, la commande des aérofreins est de couleur:

- a) jaune b) bleue c) verte d) noire

Dans la cabine du planeur, vous trouvez une commande de couleur jaune. C'est la commande:

- a) des volets. b) de la mixture. c) des aérofreins. d) de largage du câble.

Sur la verrière du planeur est fixé un fil de laine, qui sert:

- a) à évaluer la vitesse b) à prévenir de la proximité d'un risque de décrochage
 c) à contrôler la symétrie du vol d) à vérifier l'angle d'approche

L'extrémité du câble de remorquage possède 2 anneaux: un gros (Aérazur) et un plus petit (Tost).

- a) on peut utiliser indifféremment l'un ou l'autre pour tous les planeurs
- b) on doit utiliser le gros pour les planeurs biplaces, le petit pour les monoplaces
- c) on ne doit jamais utiliser le petit anneau
- d) on doit impérativement utiliser le type d'anneau adapté au type de crochet du planeur**

En France, le vol à voile à l'intérieur des nuages est:

- a) interdit**
- b) autorisé si le pilote a passé la visite médicale appropriée
- c) autorisé si le planeur est équipé d'un horizon artificiel
- d) autorisé si le pilote a la qualification de vol aux instruments.

Avant de s'installer à bord d'un planeur, il est nécessaire de vérifier le «centrage» et éventuellement de le corriger.

Si vous êtes trop léger, il faut:

- a) ajouter de l'eau dans les water-ballasts des ailes
- b) ajouter une charge convenable dans un logement situé dans la dérive
- c) ajouter un lest convenable placé à l'avant de la cabine**
- d) il est inutile d'ajouter quoi que ce soit, les planeurs modernes volent sans risque même avec un centrage au-delà de la limite arrière

Le vol à voile est un sport aérien d'origine:

- a) américaine
- b) soviétique
- c) japonaise
- d) européenne**

Un planeur standard a pour caractéristique:

- a) une longueur de 18 m
- b) une envergure de 20 m
- c) une envergure de 15 m**
- d) une masse de 300 kg

Parmi ces équipements, l'un est un dispositif obligatoire sur tout planeur; il s'agit :

- a) des volets de courbure
- b) des aérofreins**
- c) du train escamotable
- d) des ballasts

Parmi ces conditions à remplir pour lever l'aile d'un planeur au décollage, il faut enlever:

- a) aérofreins rentrés.
- b) pouce du pilote levé.
- c) symétrie du vol contrôlée.**
- d) axe de décollage dégagé

Le planeur avance dans l'air :

- a) grâce à son poids qui lui donne une vitesse descendante.**
- b) grâce à la force aérodynamique.
- c) grâce à la vitesse initiale donnée par le treuil ou le remorqueur.
- d) grâce au mouvement ascendant de l'atmosphère.

Un planeur récent présente une finesse maximale d'environ:

- a) 10
- b) 40**
- c) 90
- d) 120

Pour un planeur de conception récente, la vitesse limite (VNE) est d'environ :

- a) 90 km/h
- b) 140 km/h**
- c) 250 km/h
- d) 450 km/h

Un planeur de classe 18 m a pour caractéristique:

- a) une longueur de 18 m.
- b) un allongement de 18.
- c) une envergure de 18 m.**
- d) un train d'atterrissage fixe à 18° d'angle de chasse

Un seul de ces instruments est obligatoire dans un planeur. C'est :

- a) le transpondeur.
- b) la radio (VHF).
- c) l'indicateur de symétrie de vol (bille).**
- d) l'horizon artificiel.

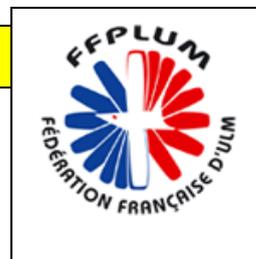
En altitude, l'anoxie représente une grave menace pour le pilote :

- a) dès 1.000 m
- b) à partir de 3.600 m**
- c) à partir de 6.000 m
- d) à partir de 10.000 m

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 8 – L'ULM



1) Qu'est-ce qui caractérise un ULM ?

Le terme d'ULM s'emploie pour désigner un "Planeur 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 :

- **Au maximum un appareil biplace.**
- **masse maximale au décollage, tout compris : 330 Kg pour un monoplace ou 500 Kg pour un biplace.** (Un dépassement est autorisé pour l'emport de certains équipements (parachute...) bien précisés par la réglementation.)

La réglementation européenne est en pleine mutation principalement pour la classe 3;

Prérequis : maintien de la Vc à 35kts (65 km/h)								
		classe 3-4-5-6		classe 1-2		crédit de masse non cumulable (selon annexe1)		
masse forfaitaire pilote et pax (mono/bi)		86/172		86/156		parachute		hydravion ou skis
masse forfaitaire carburant		33kg(45l)		mono: 11kg(15l) bi: 19kg(25l)		mono	15	30
						bi	25	45
Classe	Appellation	Masse max	Mm+ para	Mm + hydro/ski	Mv max	Mv max +para	Mv max + hydro/ski	Puiss. en kW/CV
1	Paramoteur mono	300	315	NC	203	218	NC	60/82
	Paramoteur bi	450	475	NC	275	300	NC	75/102
2	Pendulaire mono	300	315	330	203	218	233	60/82
	Pendulaire bi	450	475	495	275	300	320	75/102
3	Multiaxes mono	330	345	360	211	226	241	65/88
	Multiaxes bi	500	525	545	295	320	340	80/109
4	Autogire mono	330	345	360	211	226	241	85/115
	Autogire bi	500	525	545	295	320	340	105/143
5	Dirigeable mono	Pas d'exemption pour les biplaces construction de série autre que dans la limite 1200 m ³ air ;						85/115
	Dirigeable bi	400 m ³ gaz. Pour les actuels 2000 m ³ air et 800 m ³ gaz : construction amateur						105/143
6	Hélicos mono	330	345	360	211	226	241	85/115
	Hélicos bi	500	525	545	295	320	340	105/143

Masse : en kg Puissance maxi : en kW/CV Mm : Masse maximum Mv max : Masse à vide maximum NC : non concerné

- **Vitesse de décrochage maximale à 65 km/h**

Initialement conçus artisanalement, les U.L.M. ont beaucoup évolués. Fiables et sécurisés, les U.L.M. actuels bénéficient des techniques les plus sophistiquées. Leurs prix s'étalent de 3 000 € pour un paramoteur, à 60 000 € pour un 3 axes sophistiqués.

Les différents types d'ULM

Depuis 2012, il en existe **six grandes familles**:

CLASSE 1

Le **paramoteur**, apparu en 1980, est le plus petit aéronef autonome du monde et le moins cher. Le pilote est suspendu sous une aile de type "parapente" ou "parachute" et propulsé par un moteur léger à hélice qu'il porte sur le dos. Le pilotage s'effectue par action sur les suspentes du parachute

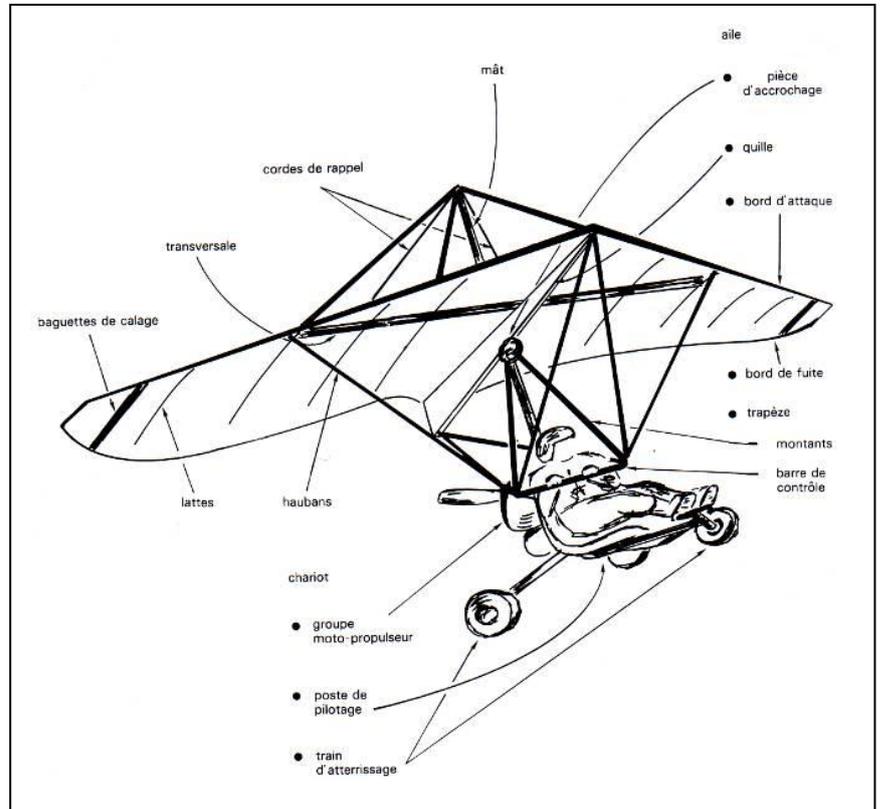


CLASSE 2

· Le pendulaire,

Aéronef monomoteur à hélice sustenté par une aile delta flexible sous laquelle est généralement accroché un chariot motorisé.

C'est l'U.L.M. tout-terrain car adapté aux pistes courtes. Il se pilote par déplacement du centre de gravité en agissant sur la barre de contrôle du trapèze. Vitesse de croisière, de 60 à 130 km/h.



CLASSE 3 : Le multiaxe,



Il se rapproche beaucoup d'un avion de tourisme par ses gouvernes et son équipement. Sa vitesse de croisière (de 65 à 250 km/h) et son confort lui permettent le voyage.

CLASSE 4 : L'autogire,

inventé par Juan de la Cierva dès 1929, est le précurseur de l'hélicoptère. Classé U.L.M. en 1998, il se caractérise par une voilure tournante entraînée par le vent relatif. Son moteur n'actionne qu'une hélice propulsive. Il se pilote comme un avion, par des gouvernes aérodynamiques et il est exceptionnellement maniable. Il peut voler lentement (25 km/h) mais aussi plus vite (130 km/h).

Peu encombrant, il est facile à transporter dans une remorque.



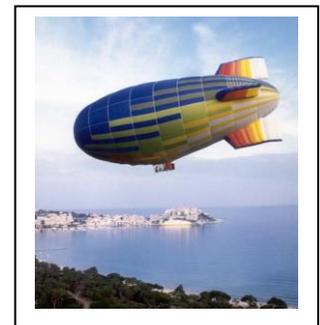
CLASSE 5 : L'aérostat ultra-léger.

comporte une enveloppe de sustentation et un système de propulsion qui le rend dirigeable.

· La puissance maximale est inférieure ou égale à 75 kW pour les monoplaces et à 90 kW pour les biplaces. La sustentation est assurée par une enveloppe contenant un gaz plus léger que l'air ambiant. Cela peut être un gaz inerte tel que l'hélium (type ballon), ou de l'air chauffé (montgolfière).

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

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



CLASSE 6 : L'hélicoptère ultra-léger.

Un hélicoptère ultraléger répond aux conditions techniques suivantes :

- *monomoteur dont la puissance maximale est inférieure ou égale à 85 kW pour un monospace et à 105 kW pour un biplace;*
- *la masse maximale est inférieure ou égale à 300 kg pour un monospace et à 450 kg pour un biplace.*
- *la charge rotorique à la masse maximale est comprise entre 8 et 20 kg au m².*



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 :

- * une partie théorique portant sur différents domaines de connaissances tels que la sécurité, la réglementation, la navigation, la météorologie et l'aérodynamique, la mécanique de vol...
- * une partie pratique démontrant les capacités du candidat à pouvoir manœuvrer un ULM de la classe considérée.

Une expérience supplémentaire, contrôlée par un test en vol, est nécessaire pour obtenir une "autorisation d'emport de passager".

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

Le brevet de pilote peut être obtenu selon une procédure simplifiée pour les personnes déjà titulaires de certains titres aéronautiques (brevet de pilote avion, planeur, hélicoptère ou autres...)

Quelle est la durée de la formation jusqu'à l'obtention du brevet ?

Cette durée est variable selon la classe d'ULM... et la facilité d'apprentissage de l'élève pilote.

A titre d'exemple, le programme de formation établi par la FFPLUM est de :

- * 30 leçons, soit environ 15 heures de formation en vol pour un brevet 'pendulaire',
- * 40 leçons, soit environ 20 heures de formation en vol pour un brevet 'paramoteur',
- * 50 leçons, soit environ 25 heures de formation en vol pour un brevet 'multiaxe' ou 'autogire'.

Un pilote ULM peut-il voler où il veut ?

Comme tous les engins volants, un ULM est soumis aux 'Règles de Circulation Aérienne'.

Il est de plus limité au mode dit de "Vol à Vue". Cela signifie qu'il ne peut voler que de jour (de 30' avant le lever du soleil, à 30' après le coucher du soleil), en dehors des nuages, avec une visibilité minimale définie par les règlements. Le pilote doit toujours avoir la vue du sol.

* Il peut évoluer librement dans tout l'espace aérien appelé 'espace non contrôlé', pour lequel il n'existe pas de contraintes spécifiques établies par les Services de la Navigation Aérienne.

* D'autres espaces dits 'espaces contrôlés' sont soumis à autorisation pour y pénétrer. C'est le cas par exemple des espaces situés autour ou à proximité des aérodromes, dans les couloirs aériens d'avions de ligne, dans certaines zones militaires...

* Enfin, il existe des espaces dont la pénétration est interdite, à titre temporaire ou permanent (certaines zones militaires, ou les centrales nucléaires par exemple).

Toutes ces informations sont reportées sur les cartes aéronautiques que les pilotes doivent avoir à bord de leur appareil lorsqu'ils s'éloignent de leur base d'attache.

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

Contrairement aux avions, un ULM peut décoller et atterrir en dehors des aérodromes. C'est là l'un de ses principaux attraits.

* 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'.

* Si le terrain est utilisé régulièrement, il est considéré comme 'plate-forme permanente' et doit faire l'objet d'un arrêté préfectoral d'autorisation d'utilisation.

* Les ULM peuvent, sauf cas particulier, décoller et atterrir librement sur les aérodromes 'non contrôlés' (cas de nombreux aérodromes à faible trafic) mais doivent demander une autorisation sur les

aérodromes 'contrôlés'.

* En cas d'atterrissage d'urgence, la priorité du pilote est d'assurer la sécurité de son vol, atterrissage compris, il choisit alors le terrain qui lui semble le mieux adapté à cette manoeuvre.

A quelle altitude un ULM peut-il voler ?

En dehors des procédures de décollage et atterrissage, la réglementation impose une hauteur minimum au dessus du sol, hors de tout obstacle artificiel ou rassemblement de personnes, de 500 pieds (env. 150 m). La nature des 'obstacles' survolés (usine, agglomération, rassemblement de personnes...) entraîne des hauteurs de survol minimum spécifiques.

L'altitude maximum réglementaire est de 19 500 pieds (env. 5 950 m).

Dans la pratique, le plafond dépend des qualités de la machine : plus on monte, moins l'air est dense, donc capable de 'porter' l'aéronef qui doit alors développer plus de puissance pour continuer à monter.

Compte tenu de ses caractéristiques de puissance et de surface portante, il existe ainsi pour chaque appareil un 'plafond théorique', qui se situe souvent entre 4000 m et 5000 m, à partir duquel il ne monte plus. Cette limite est amplement suffisante pour notre forme d'aviation.

La plupart des ULM évoluent entre 300m et 1500 m au dessus du sol, hauteur permettant de profiter au mieux du paysage.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 9 – L'AVION

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



1) Description générale

a) La cellule

Forme classique ou canard, elle comprend :

- la voilure composée de 2 demi-ailes (ou d'une aile) qui assurent la sustentation
- le fuselage reçoit la charge utile, l'équipage, les équipements et fréquemment le propulseur
- le train d'atterrissage : Il permet le roulage, le freinage et le contrôle de l'appareil au sol; à l'atterrissage, il encaisse le « choc » de prise de contact avec le sol. Sur avions légers, il peut être :
 - tricycle (2 roues principales et une roue avant)
 - classique (2 roues principales et une roulette de queue ou patin)
 - monorace (1 roue médiane et deux balancines)
 - fixe ou escamotable
- les gouvernes : permettent le contrôle de l'équilibre et des évolutions autour du centre de gravité
 - gouverne de profondeur : équilibre longitudinal ou évolution autour de l'axe de tangage ; symétrique par rapport à l'axe de l'avion
 - gouverne de direction : équilibre autour de l'axe des lacets
 - ailerons : équilibre et évolution autour de l'axe de roulis. Leur fonctionnement est simultané avec effets aérodynamiques inverses.
- les empennages : gouvernes de direction et profondeur + surfaces aérodynamiques fixes assurant la stabilité
 - plan fixe horizontal arrière : stabilité longitudinale
 - dérive : stabilité latérale autour de l'axe de lacet.
- les compensateurs : permettent de compenser les efforts sur les commandes effectués par le pilote. On distingue les compensateurs d'évolution et les compensateurs de régime.
- Les hypersustentateurs et hyposustentateurs : surfaces aérodynamiques mobiles permettant le contrôle de la finesse, suivant les besoins, par effet principal sur la portance et effet secondaire sur la traînée.

b) Le ou les propulseurs

Il assure la propulsion de l'appareil et fournit l'énergie nécessaire aux servitudes de l'appareil. On distingue :

Le(s) propulseur(s) à hélice(s) : groupe moto-propulseur (GMP) qui se compose d'un moteur à pistons et d'une hélice ou turbopropulseur (GTP) qui se compose d'une turbine thermodynamique et d'une hélice. Le GMP est fixé à la **cellule** de l'avion par le **bâti moteur** et isolé de la **cabine** par la **cloison pare-feu**. Les capots moteurs et la casserole d'hélice permettent d'assurer un écoulement aérodynamique ainsi qu'un bon refroidissement du moteur. Dans le capot moteur sont aménagées des **prises d'air** de refroidissement et d'alimentation en air du carburateur. Certains appareils possèdent en plus des **volets de capot**, petites surfaces mobiles destinées à améliorer la circulation de l'air autour des cylindres

Les propulseurs à réaction : turboréacteur (GTR) constitué d'une turbine thermodynamique ou statoréacteur et pulsoréacteur composés d'une chambre thermodynamique sans turbine.

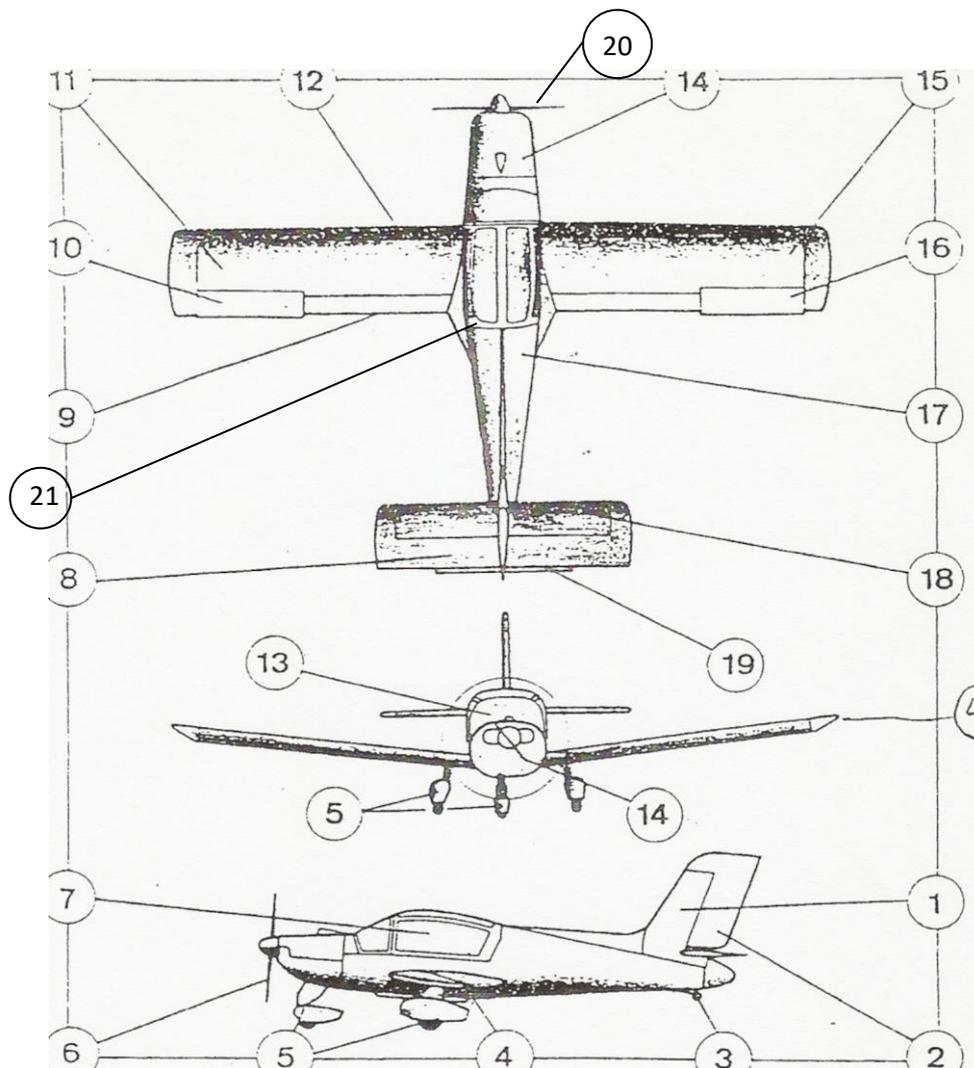
Le moteur électrique : commence tout juste à se développer. 1^{er} avion léger certifié en Europe en 2020

c) Les équipements

L'avionique : effectue le lien entre la machine et le pilote (instruments de bord, commandes, systèmes de gestion du vol, de navigation...)

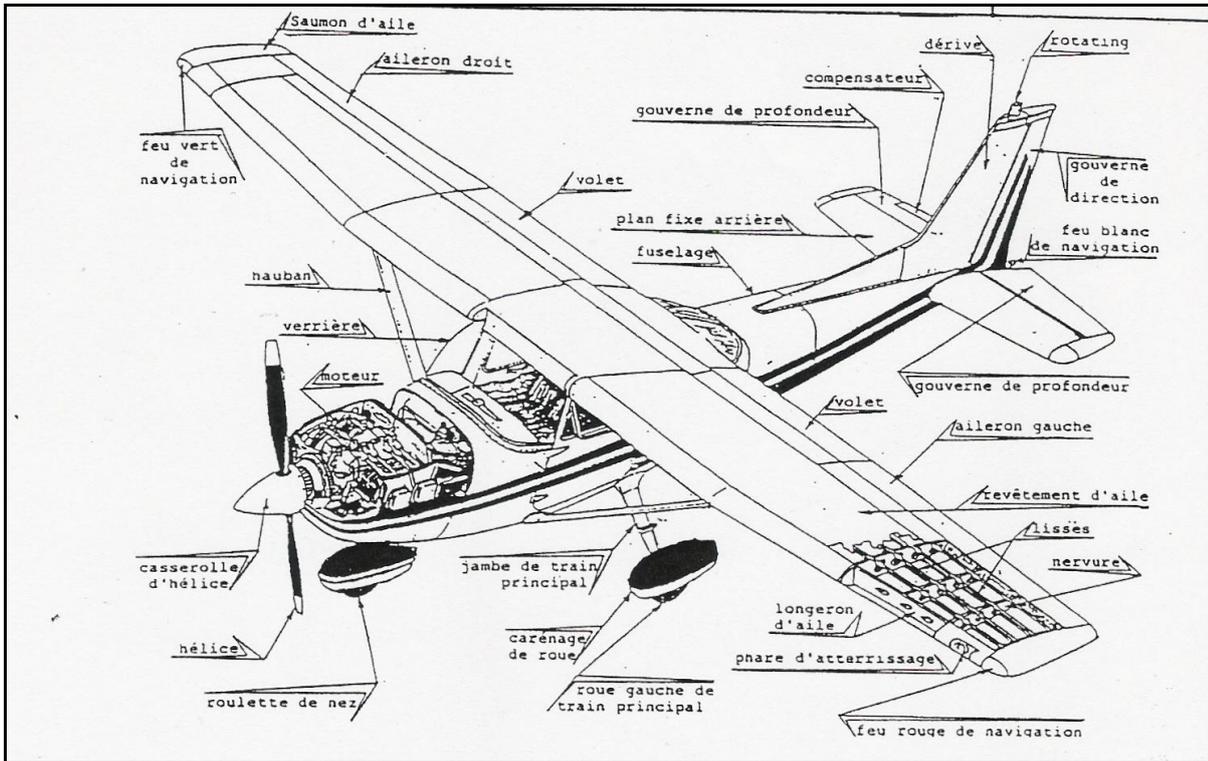
Les servitudes de bord : assurent des fonctions essentielles telles que distribution des énergies, protection physiologique, sécurité et sauvetage.

Ici, l'avion est un MS 880 RALLYE de la SOCATA cellule et groupe motopropulseur

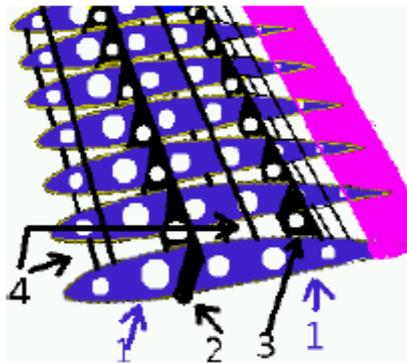


- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. Dérive (Plan fixe vertical) | 12 . Bord d'attaque |
| 2. Gouverne de direction | 13 . Pare-brise |
| 3. Béquille (ou roulette de queue) | 14. Capot moteur |
| 4. Saumon d'aile | 17. Fuselage |
| 5. Train tricycle (ou train classique) | 18. plan fixe horizontal |
| 6. Hélice tractive (ou propulsive) | 19 . Compensateur de profondeur |
| 7. Habitacle | 20 . Casserole d'hélice |
| 8. Gouverne de profondeur | 21 . Karman d'aile |
| 9. Volets de courbure (pas obligatoire : ex : piper J3) | 1 , 2 , 8 , 18 : Empennage |
| 10. et 16. Ailerons | parfois 18 + 8 : gouverne |
| 11. et 15 : demi-ailes | monobloc (ex : Robin DR400) |

Ici, l'avion est un Cessna 150

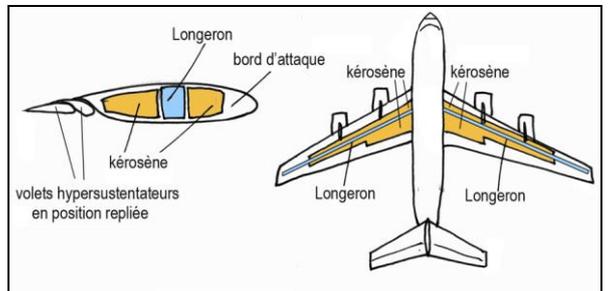


Constitution



- 1 : nervures
- 2 : longeron principal
- 3 : longeron arrière
- 4 : lisses

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



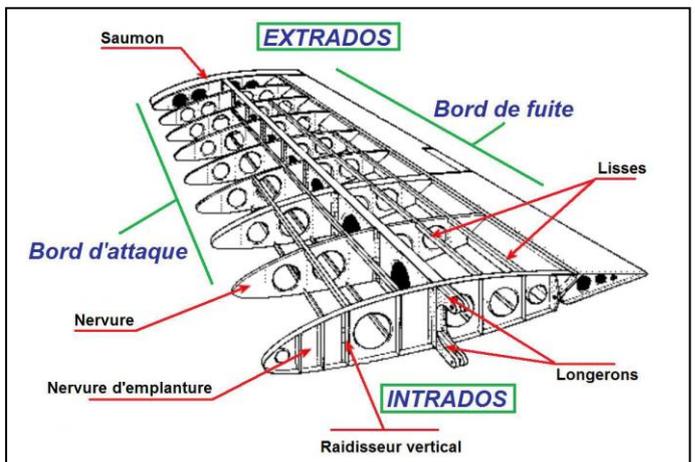
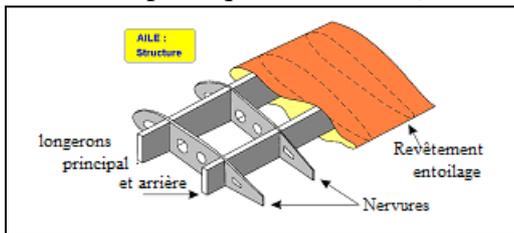
Si un avion possède une paire d'ailes disposées de part et d'autre du fuselage, c'est un **monoplan**,
 · S'il dispose de deux paires d'ailes, il est appelé **biplan**.

· Il y a eu aussi des **triplans**

Constitution d'une aile "classique".

La rigidité de l'aile est assurée par un ou plusieurs **longerons** et des **nervures**.

Le revêtement de l'aile peut être en bois, en métal, en plastique ou en toile (*entoilage*).



2. Voilures

Les différentes parties de l'aile

- **Bord d'attaque** : Bord avant de l'aile.
- **Bord de fuite** : Bord arrière de l'aile.

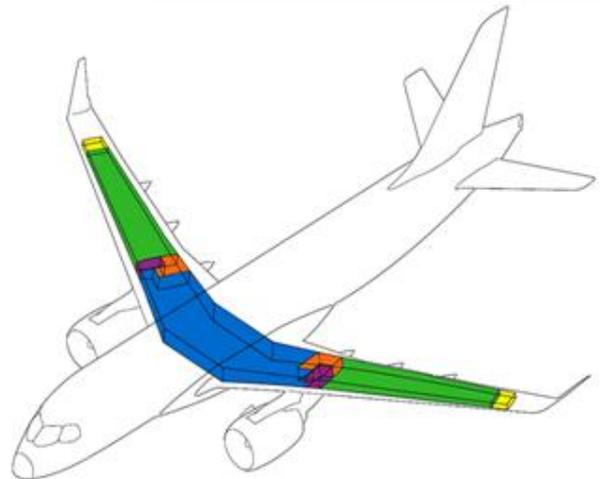
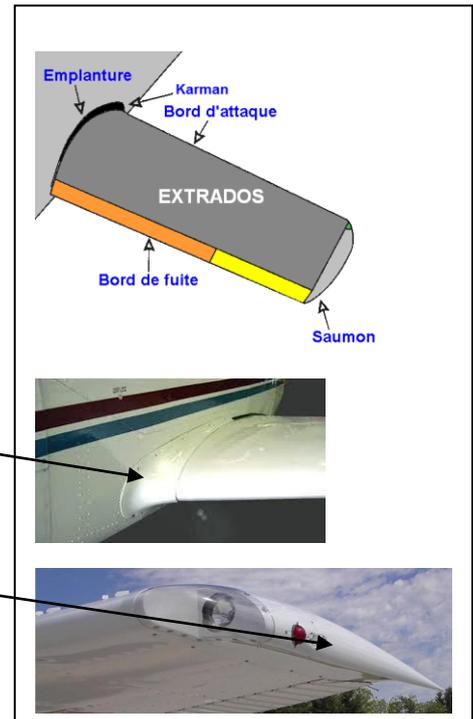
Sur le bord de fuite sont articulés les volets (le plus près du fuselage) et les ailerons; et sur le bord d'attaque les becs.

- **Emplanture** : Extrémité de l'aile reliée au fuselage.
- **Extrados** : surface supérieure de l'aile, comprise entre le bord d'attaque et le bord de fuite.
- **Intrados** : surface inférieure de l'aile, comprise entre le bord d'attaque et le bord de fuite

L'écoulement de l'air à cet endroit peu être optimisé par un carénage appelé : le **karman**, profilage aérodynamique de l'emplanture

Saumon : partie profilée à l'extrémité libre de l'aile. Ce saumon supporte les *feux de navigation*.

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



Caractéristiques géométriques

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

- L'**envergure** : par définition la distance entre les deux extrémités de l'aile.

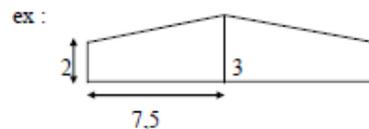
- La **surface alaire** (ou surface d'aile) est la surface de la projection horizontale du contour des ailes. Cela correspond à la totalité de la voilure, y compris celle qui traverse le fuselage

- La **charge alaire** est le rapport : *Poids de l'avion / Surface alaire*. (N/m²)



- **allongement** :

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



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

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

- avions de chasse: 4 à 6; gros porteur : 6 à 15; avions légers: 5 à 8; planeurs: 15 à 40
- 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

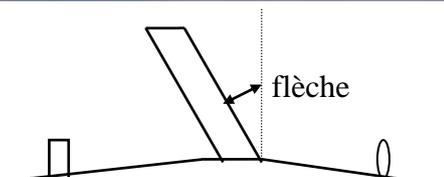
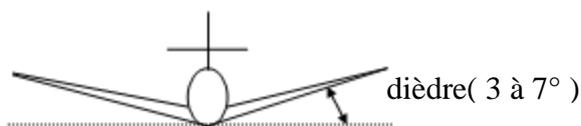
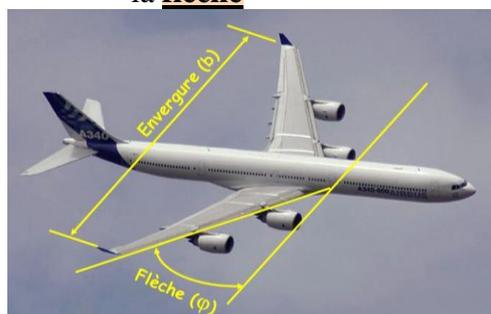
Les pales d'hélicoptères sont des ailes à très grand allongement

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

- **autres caractéristiques** : le **dièdre**

et

- la **flèche**



c'est l'angle formé par le plan des ailes et le plan horizontal; il peut être positif, nul (chasseurs et avions d'acrobatie) ou négatif (certains chasseurs ou gros porteurs).

C'est l'angle horizontal formé entre le lieu du quart avant des cordes et l'axe transversal de l'avion



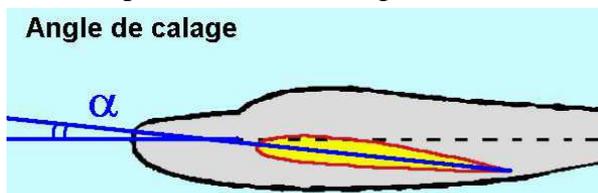
dièdre négatif : Lockheed Galaxy



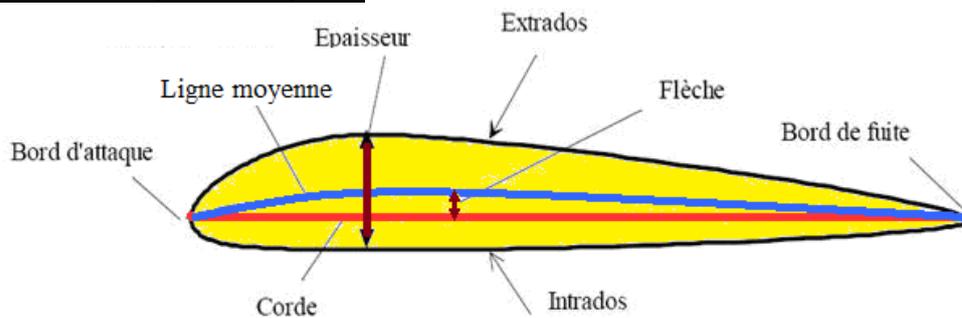
flèche inversée : Grumman X29

- **L'Angle de calage** : c'est l'angle entre la corde du profil d'emplanture et l'axe longitudinal de référence du fuselage, généralement horizontal à la vitesse de croisière.

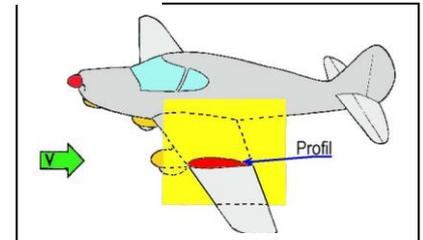
Ne pas confondre avec l'incidence.



- **caractéristiques d'un profil**



- **Profil** : Contour géométrique obtenu par une section verticale de l'aile, perpendiculaire à l'axe de tangage (vue en coupe)
- **Corde de référence** : segment, parallèle à l'axe longitudinal de l'avion, qui joint le bord d'attaque au bord de fuite. Sa longueur varie le long de l'aile.
- **Profondeur** : longueur de la corde de référence.
- **Ligne moyenne** : ligne située à égale distance de l'extrados et intrados.
- **L'épaisseur** maximale d'un profil d'aile se situe vers le tiers avant.

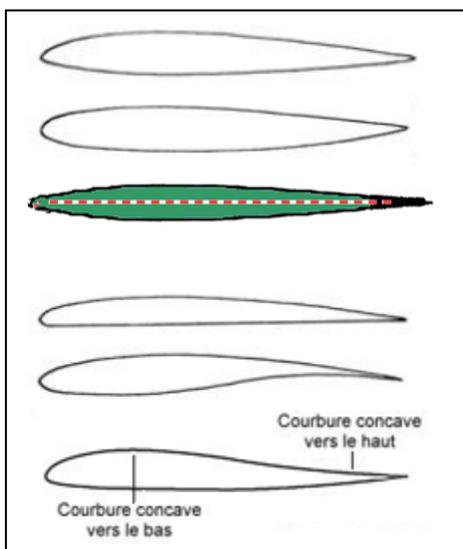


Historique

Au cours du temps les profils ont évolué et chaque nation a développé son propre programme de recherche sur les profils. Le plus fameux fut le profil américain NACA.

Il existe bien sûr beaucoup d'autres profils mais assez peu utilisés dans l'ensemble. Ainsi on peut citer les profils Eiffel dont les premiers furent élaborés par l'ingénieur du même nom. La famille la plus connue après les profils NACA est celle des Clark.

On distingue quatre types de profil : Biconvexe (symétrique ou non) avions ou planeurs de voltige ; Plan convexe ; Creux : Planeurs ; Autostable: ailes volantes,



Biconvexe dissymétrique

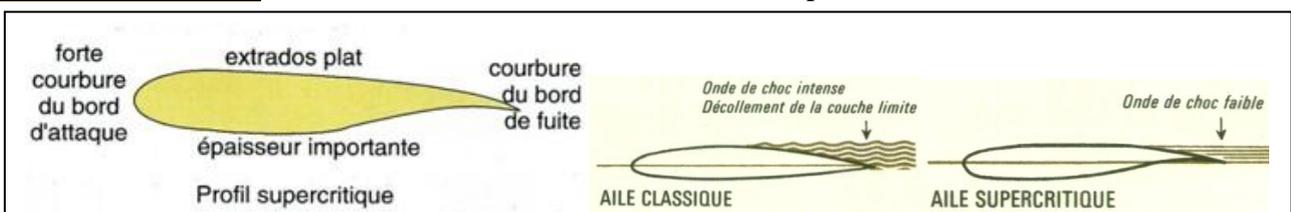
Biconvexe symétrique, utilisé pour les empennages
Cas particulier du **profil laminaire** mince, biconvexe, symétrique, sa forme dite "en lame de couteau". Son épaisseur est faible, n'entraînant pas d'onde de choc importante. Il est donc destiné aux **avions très rapides**.

Plan convexe

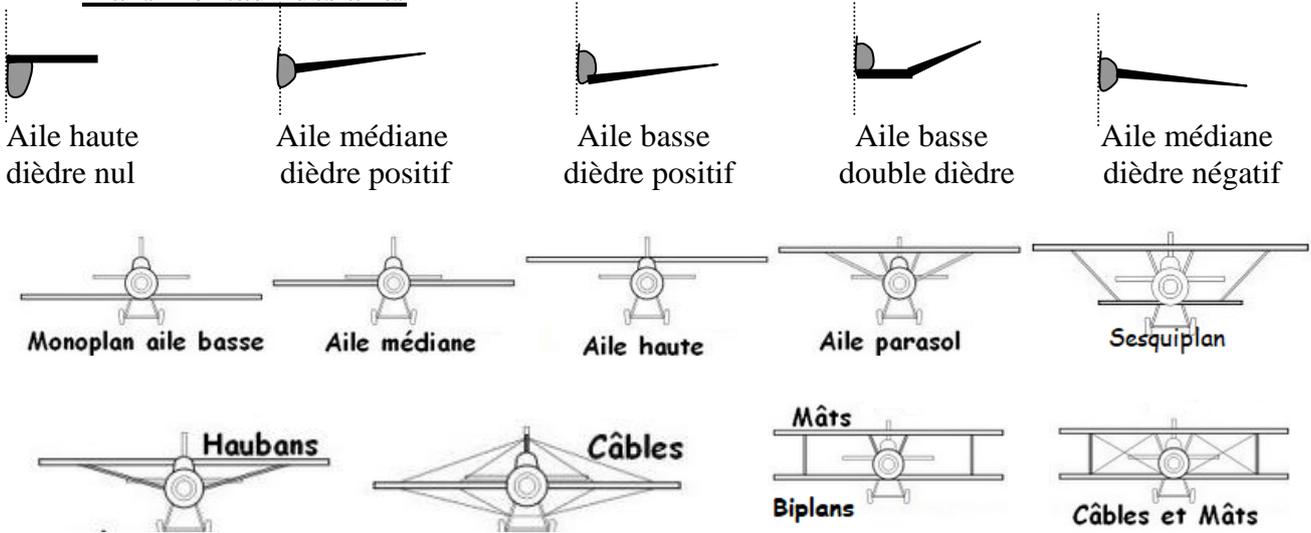
Creux : avions lents, grande portance

Autostable : double courbure

Profil supercritique L'onde de choc se forme très en arrière, à proximité du bord de fuite.



• Plans frontaux des ailes



• Plans longitudinaux de l'aile

→ formule classique : propulsion essentiellement tractée



Trapézoïdale en flèche Elliptique (Spitfire) Rectangulaire (Pilatus) Delta (Mirage 2000)



Gothique (Concorde)



Aile volante (Northrop B2 Spirit)



Trapézoïdale en flèche inversée (Grumman X29)



Géométrie variable (Mirage III G)



Aile en M ou aile de mouette

→ formule canard : propulsion poussée



Rutan Long EZ



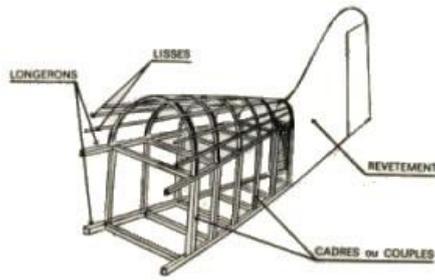
Beechcraft Starship

3. Fuselage

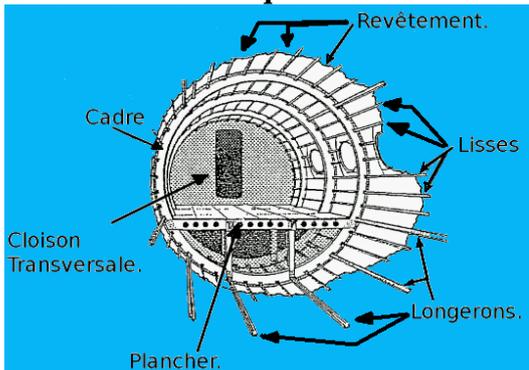
Le revêtement et la structure interne se partagent les efforts de résistance.

Il est formé par des longerons qui encaissent les efforts de flexion, des couples qui donnent la forme du fuselage et absorbent les efforts de torsion et de pressurisation, des couples forts : couples renforcés permettant le raccordement entre les tronçons de fuselage, des lisses qui raidissent le revêtement et encaissent une partie des efforts longitudinaux de traction ou de compression, d'un plancher qui supporte la charge marchande, de rails de plancher qui, fixés sur les longerons, encaissent les efforts de traction dus à la pressurisation

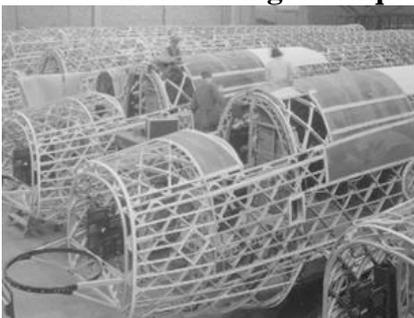
- Construction treillis bois ou métal



- Construction monocoque ou semi-monocoque



- Construction géodésique



sans longeron
utilisée avant 1940 sur les appareils «Junker». N'est plus utilisée
aujourd'hui qu'en aéromodélisme (et encore !)

Le premier cadre à l'avant du fuselage supporte la cloison pare-feu et le bâti-moteur



4. 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 principaux de trains d'atterrissage.

→ 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.



→ Le train tricyle

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 tricyle 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

train monoroue centrale

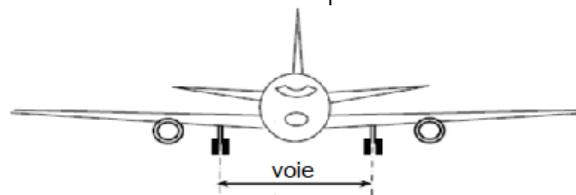
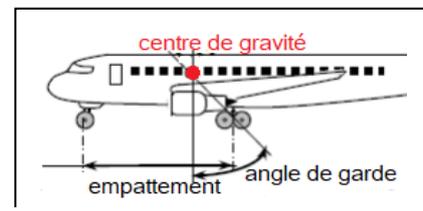
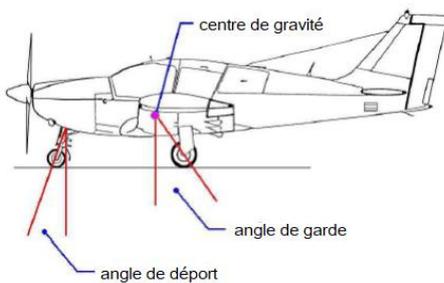
et balancines en bout d'aile

hydravion à coque ou à flotteurs,

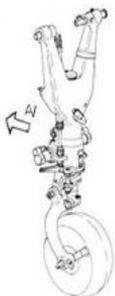
skis en montagne,



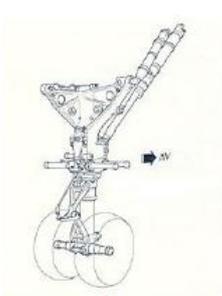
Voie, empattement, angle de garde et angle de déport



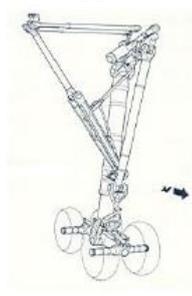
une roue



sur les gros avions : diabolo



boggie



5. L'empennage

L'empennage est formé de la gouverne de direction montée sur un plan fixe vertical ou dérive et de la gouverne de profondeur montée sur le plan fixe horizontal. Parfois il n'y a pas de plan fixe, la gouverne est alors dite monobloc (ex DR 400). Sur chaque gouverne il peut y avoir un ou des compensateurs. Parfois le plan fixe est lui-même réglable, cas particulier de compensation (ex Piper J3).



DR 400 : gouverne monobloc



Piper J3 : plan fixe réglable

- Plans frontaux des empennages

Classique ou Cruciforme



Capena

en Té



A400M

en Vé ou Papillon



Microjet 200

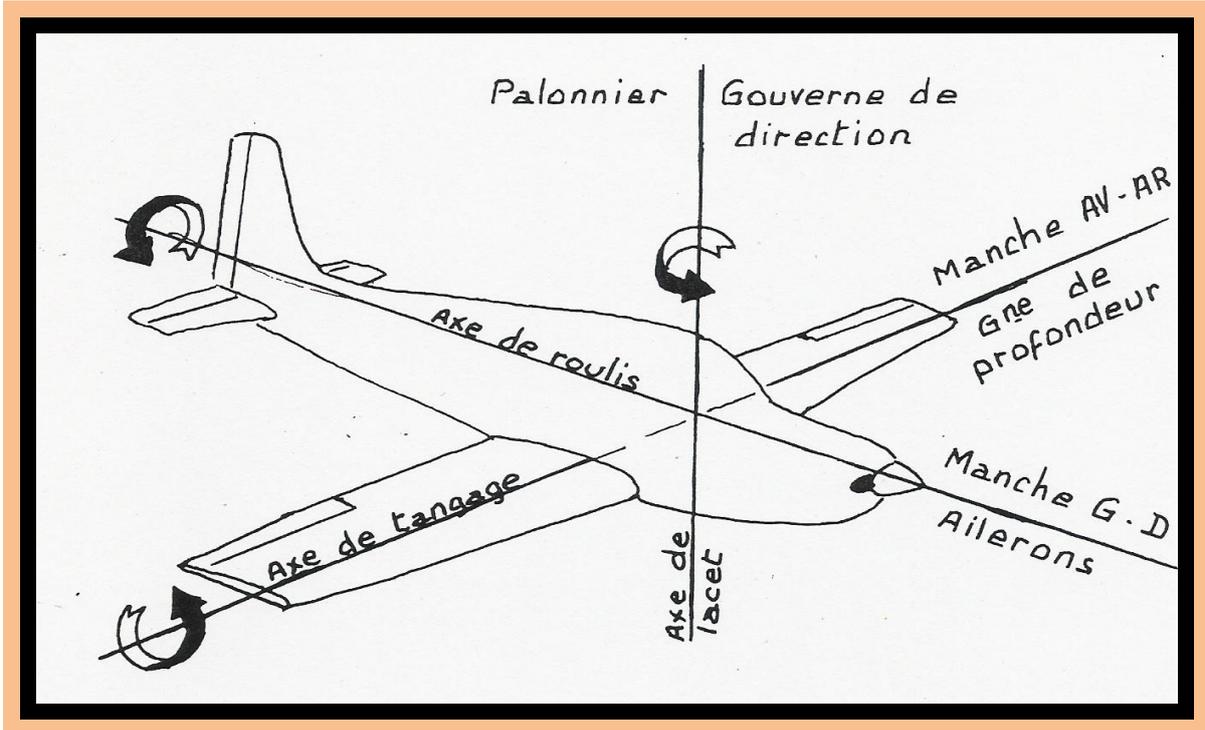
Double



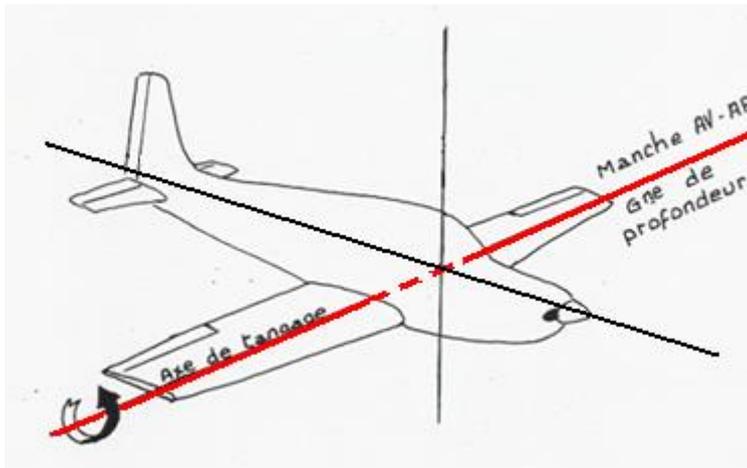
MH-1521 Broussard

6. Les gouvernes

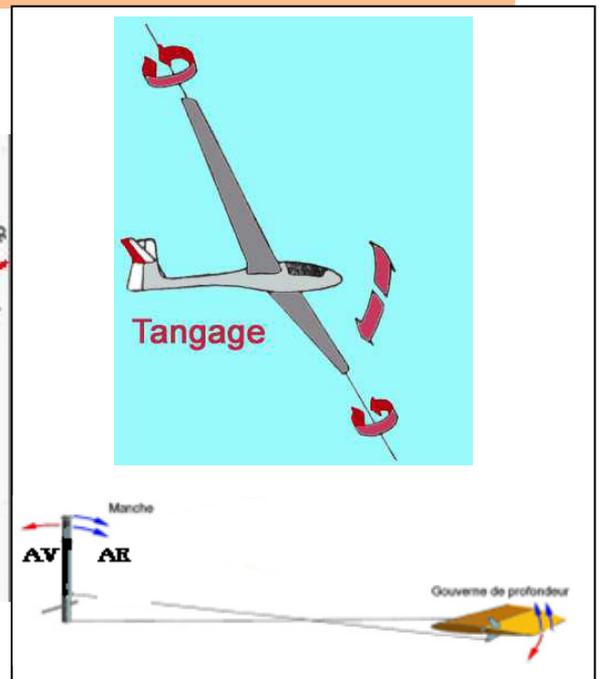
Axes de rotation de l'avion



La profondeur

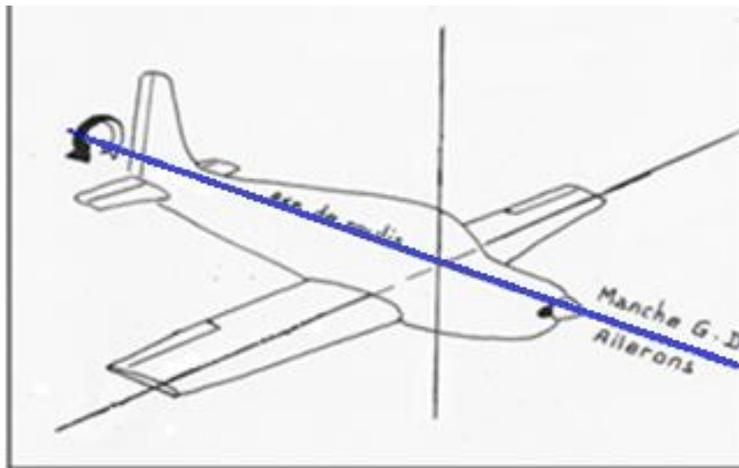


*Utilisation du manche et, depuis l'horizontale:
mise en montée, mise en descente*

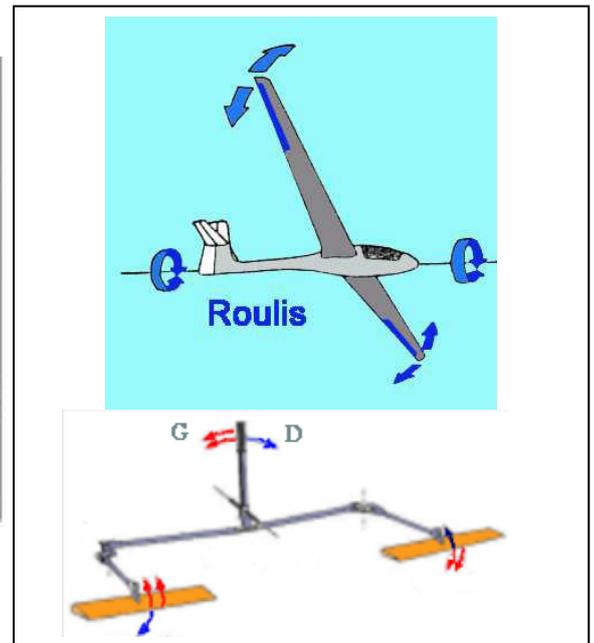


AXES DE L'AVION	GOVERNE	COMMANDES	MOUVEMENT DE L'AVION à partir de l'horizontale
TANGAGE	PROFONDEUR	MANCHE AVANT-ARRIERE	DESCENTE OU MONTEE

Les ailerons

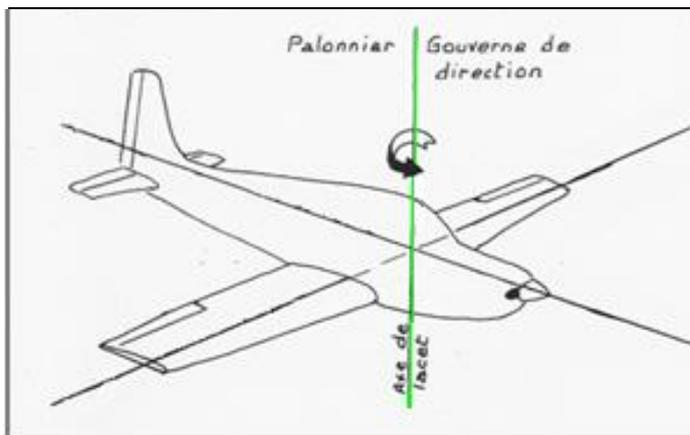


Utilisation du manche et mise en virage

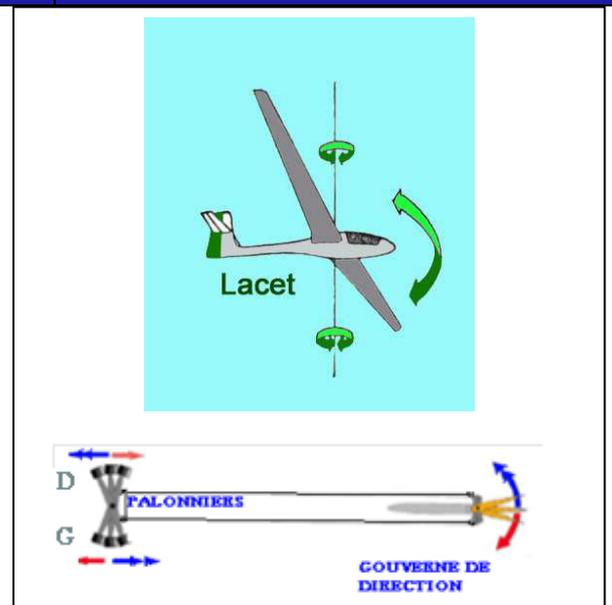


AXES DE L'AVION	GOVERNE	COMMANDES	MOUVEMENT DE L'AVION à partir de l'horizontale
ROULIS	AILERONS	MANCHE GAUCHE-DROITE	INCLINAISON LATÉRALE GAUCHE-DROITE

La direction



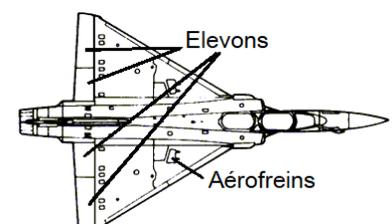
Utilisation du palonnier



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

Autre avion, autre voilure :

Un **élevon** est la gouverne placée sur chaque bord de fuite d'une aile Delta conjuguant l'action de gouverne de tangage (volet de profondeur) à celle de roulis (aileron). Le terme *élevon* est dérivé de la contraction de *elevator* (gouverne de profondeur) et *aileron*.



7. Les compensateurs

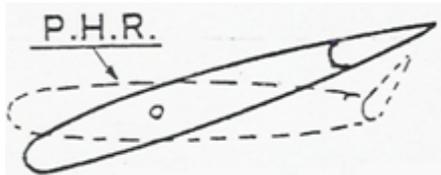
La compensation aérodynamique.

La force qu'il est nécessaire d'exercer sur une commande de gouverne pour la faire pivoter dépend de la force aérodynamique qui s'exerce sur elle de la part de l'écoulement d'air. Cette force est, elle, directement proportionnelle à la taille de la gouverne, à son braquage, et au carré de sa vitesse.

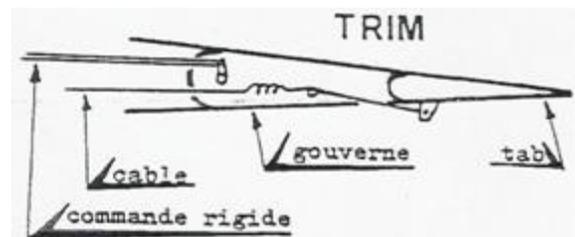
Il est donc tout naturel de penser que le pilote peut avoir des difficultés à piloter un avion dont les gouvernes sont de grande taille (gros avion), ou dont la vitesse est élevée.

→ 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 (ou le pilote) commande un nouveau calage du plan horizontal réglable (P.H.R.). (cf piper J3) Ce principe réduit la traînée



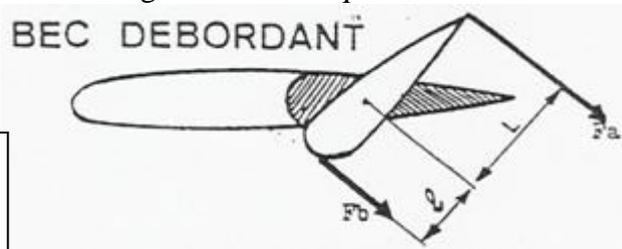
Le trim, ou tab commandé, permet au pilote de régler l'effet de la gouverne en fonction du régime de vol stabilisé recherché. (croisière, montée, descente, attitude)

→ Compensateurs d'évolution

Il est possible d'utiliser les forces aérodynamiques elles-même pour diminuer les efforts du pilote. Une façon courante de compenser est de reculer l'axe d'articulation de la gouverne pour le rapprocher du "centre de poussée" de la gouverne (centre des forces aérodynamiques), et ainsi réduire le bras de levier avec lequel la force aérodynamique agit sur la commande.



On peut aussi considérer que l'axe d'articulation n'a pas été déplacé, et que la partie de la gouverne qui se trouve devant, donc en amont de l'axe d'articulation, est une surface supplémentaire placée en avant de manière à ce que la force aérodynamique sur cette partie tende à favoriser le pivotement de la gouverne, et ainsi à aider le pilote dans ses "efforts". C'est ce que l'on appelle la surface de compensation. Ces compensateurs 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.

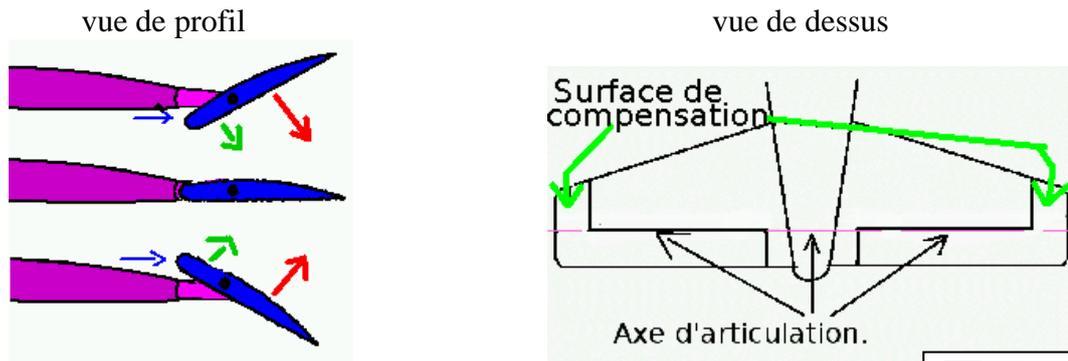


AXE DEPORTÉ



même principe sur toute la longueur gouverne.

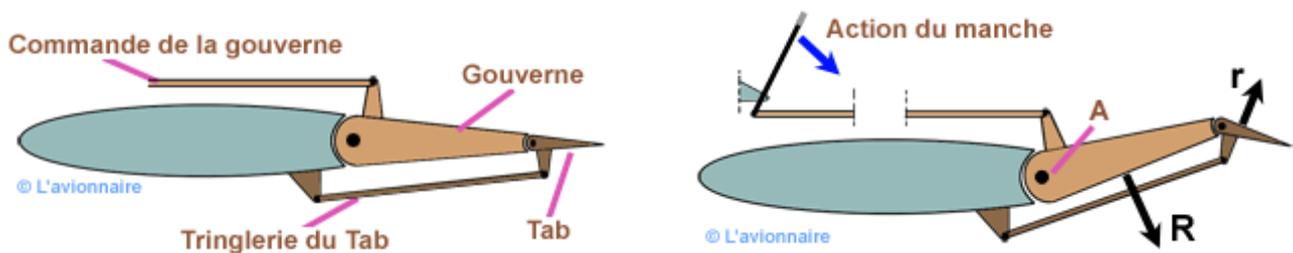
Beaucoup de modèles de gouverne sont à surface de compensation, comme ceci:



De même pour la gouverne de direction :
ici sur un cap 10



Tab automatique



La tringle du tab étant de longueur fixe, le braquage du tab de compensation sera fonction du braquage de la gouverne.

Autres systèmes de compensation d'effort :

Les servocommandes irréversibles qui, elles, fournissent la totalité des efforts nécessaires au braquage des gouvernes.

L'effort du pilote étant nul, il est indispensable de lui fournir un effort artificiel lui permettant de ressentir une sensation de pilotage.

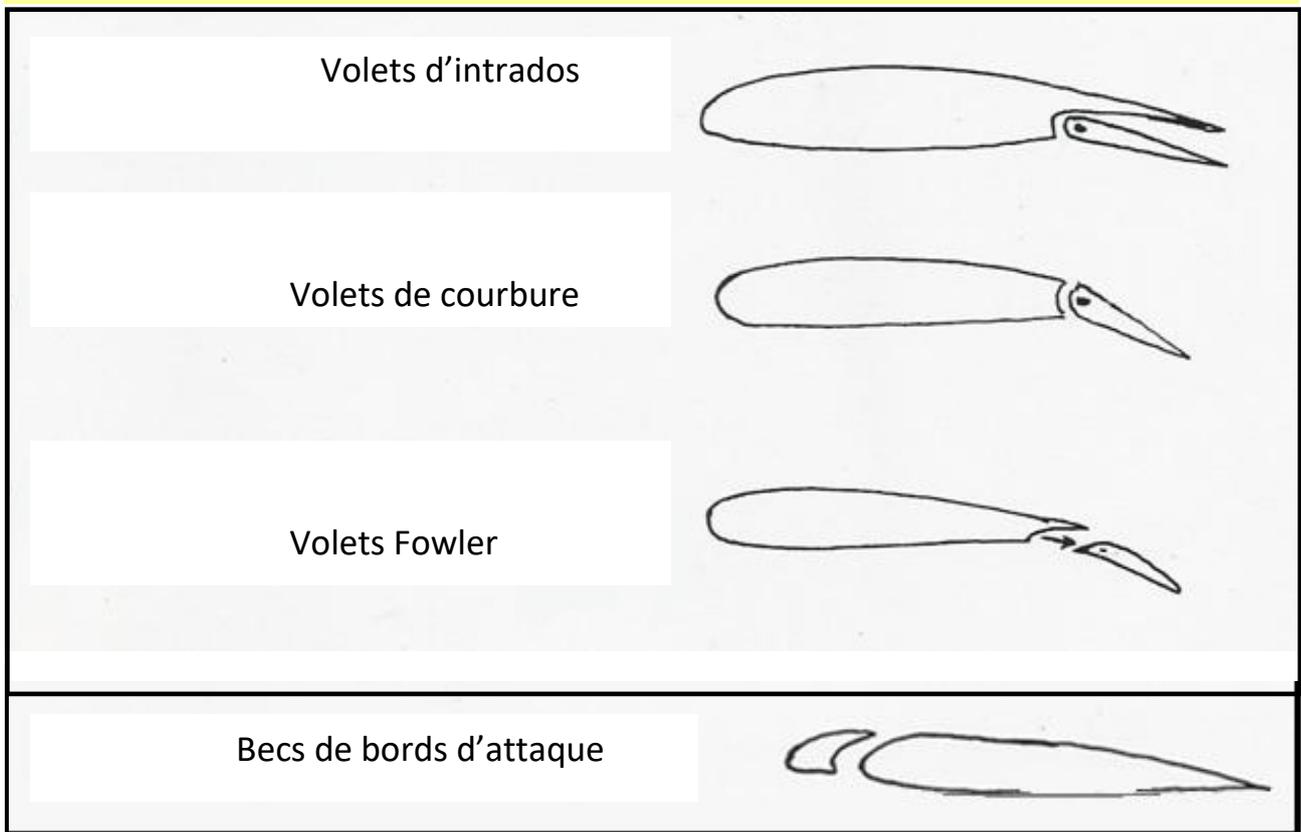
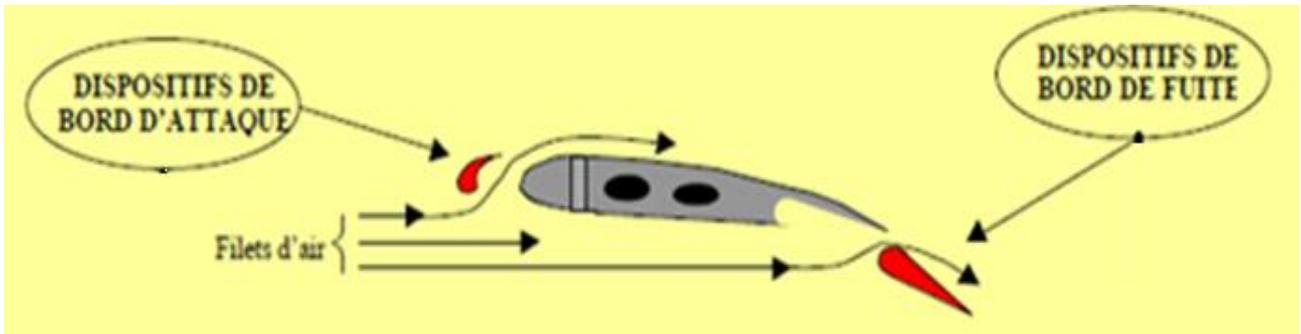
8. Les dispositifs hyper et hyposustentateurs

HYPERSUSTENTATEURS

Rôle des hypersustentateurs : Réduire les distances d'atterrissage et de décollage, ce qui permet aussi d'augmenter la masse de l'avion pour une même distance de décollage

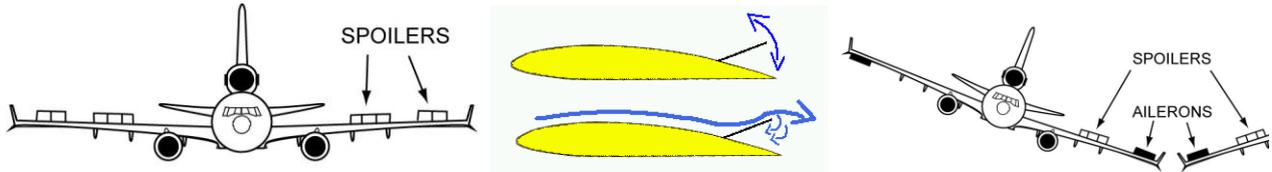
Trois traitements possibles :

- augmenter la surface portante de l'aile (recul d'un élément mobile),
- modifier la courbure de l'aile (rotation d'un élément mobile),
- améliorer la couche limite par recul du point de décollement des filets d'air (création d'un conduit d'orientation du vent relatif sur une partie de l'extrados).



DISPOSITIFS HYPOSUSTENTATEURS

Les déporteurs, ou destructeurs de portance:



Un **spoiler**, ou **destructeur de portance**, est une surface mobile, située sur la voilure, qui diminue la portance d'une partie d'une aile. L'action des spoilers peut être conjuguée ou substituée à celle des ailerons pour un pilotage plus fin.

L'effet de freinage aérodynamique associé est utilisé :

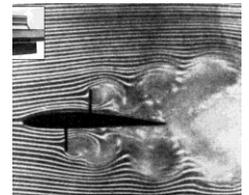
- symétriquement (des deux côtés) pour ralentir l'avion et/ou lui permettre de prendre une pente de descente plus forte.
- asymétriquement (d'un seul côté) pour générer des moments de lacet et de roulis favorables au virage (procédure utile à basse vitesse, quand les ailerons ont moins d'efficacité).

Les **spoilers** sont aussi très utiles lors du roulage après l'atterrissage puisqu'en diminuant la portance des ailes, le poids de l'avion est alors supporté en plus grande partie par le train d'atterrissage, ce qui est une condition nécessaire à un freinage efficace.



Un **aéroofrein** est un dispositif générateur de turbulences aérodynamiques servant à augmenter la traînée. Il est doté de surfaces mobiles modifiant l'écoulement de fluide autour du mobile.

Effet sur la traînée et sur la portance : les aérofreins placés sur les voilures d'avions augmentent la traînée et diminuent la portance, par décollage des filets d'air de la surface de l'aile. Ils sont utilisés:



- pour contrôler la pente de vol ou d'approche, pour augmenter la pente de descente sans augmenter la vitesse (effet de freinage). Ils font partie des éléments essentiels au pilotage d'un planeur en approche pour l'atterrissage.
- pendant l'atterrissage car, en plus de leur freinage propre, ils augmentent l'efficacité des freins en diminuant la portance de la voilure et en reportant le poids sur les roues.

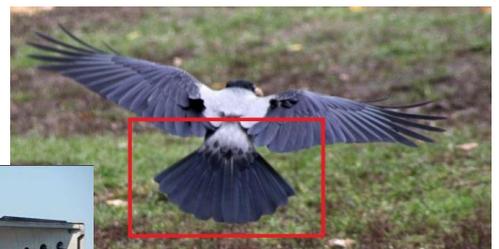
Mais, en générant plus de traînée, ils génèrent aussi **plus de bruit**.

Les AF peuvent être situés

sur le fuselage

sur/sous l'aile

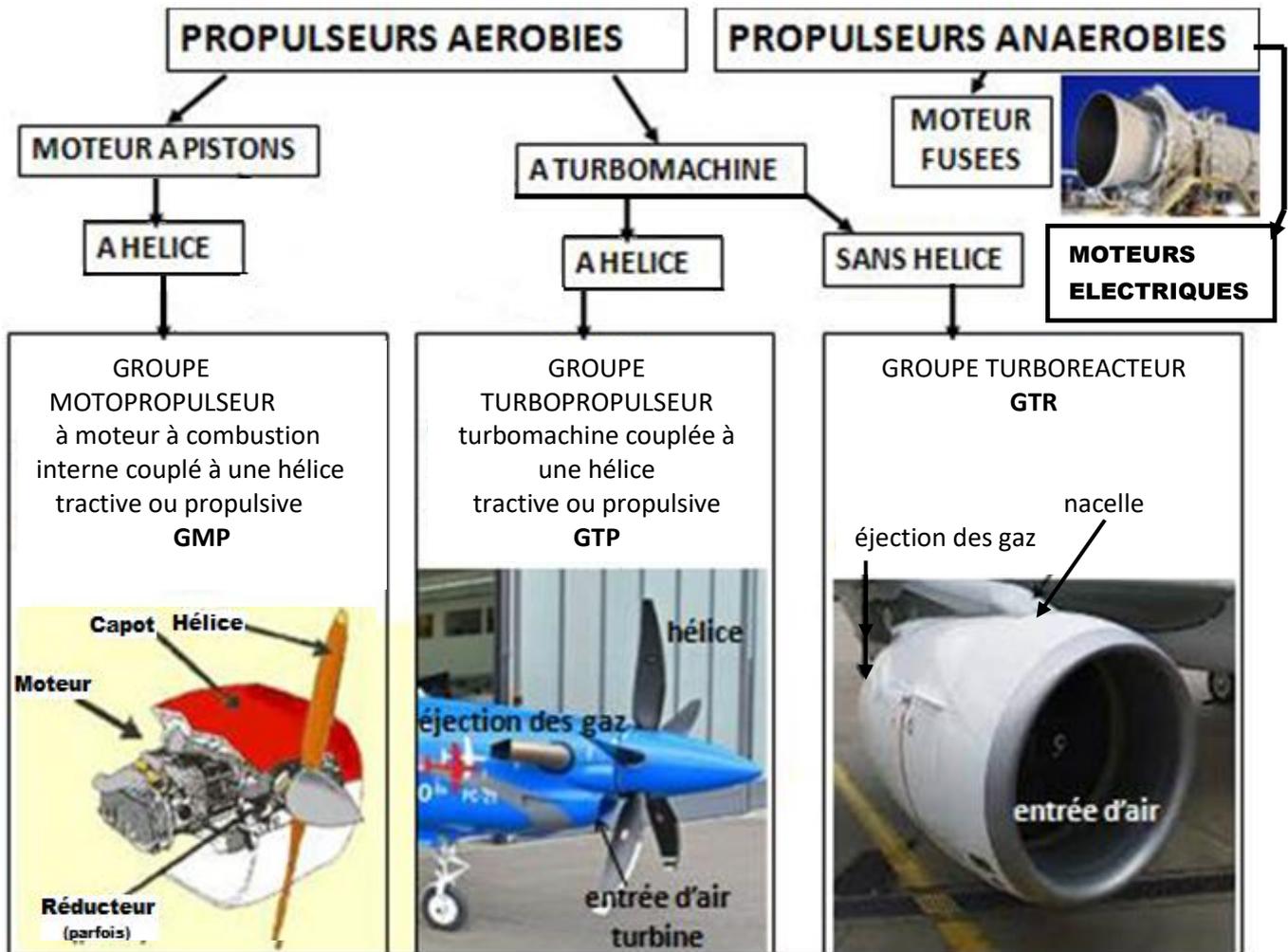
dans le cône de queue



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

CHAPITRE 10 : LES PROPULSEURS



Caractéristiques techniques

*Basse vitesse de rotation imposée par l'utilisation de l'hélice (2700 tr/min)

Carburant : essence 100 LL

Performances

Rendement de 25% à 35 %

Utilisation aux basses altitudes

Basses vitesses (150/200 kt)

Utilisation principale

Aviation légère et sportive
Travail aérien

Caractéristiques techniques

*Grande vitesse de rotation imposant un réducteur pour l'hélice

*Carburant : kérosène

Performances

Meilleur rendement aux moyennes altitudes

Vitesses moyennes

(→ 300 / 400 kt)

Utilisation principale

Fret ; Transport passagers court courrier
Transport militaire en opérations

Délivre une force de propulsion indépendante de la vitesse et appelée « poussée ».

Caractéristiques techniques

*Grandes vitesses de rotation (> 8000 tr / min)

*Carburant : kérosène

Performances

Meilleur rendement aux hautes altitudes

Grandes vitesses pouvant aller à des vitesses supersoniques

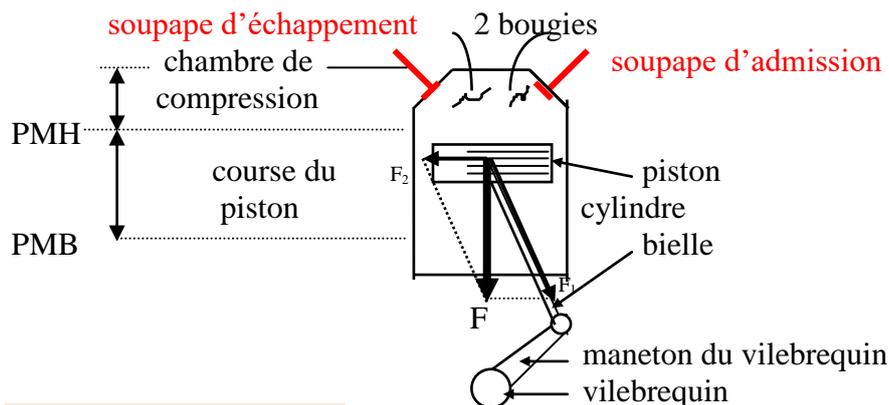
Utilisation principale

Transports fret ou passagers en moyens et longs courriers
Opérations tactiques

C'est le moteur à pistons avec hélice qui va principalement nous intéresser ici.

A. Le groupe motopropulseur (GMP)

PRINCIPE DU MOTEUR A QUATRE TEMPS :

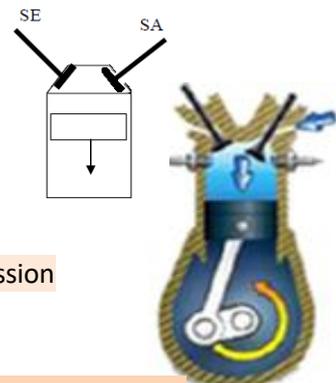


Premier temps : l'admission

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

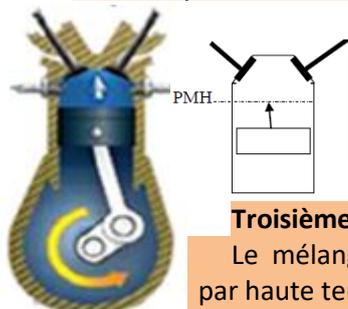
Tiré vers le bas par la bielle et le vilebrequin, le piston en descendant, aspire un nouveau mélange air/carburant provenant du carburateur.

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

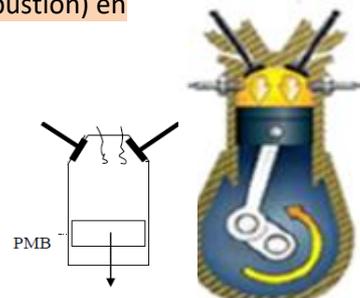
Le piston remonte sous l'action du vilebrequin. Le mélange air-essence est comprimé dans un petit espace (chambre de combustion) en haut du cylindre donc s'échauffe.



Troisième temps : combustion-détente (seul temps moteur)

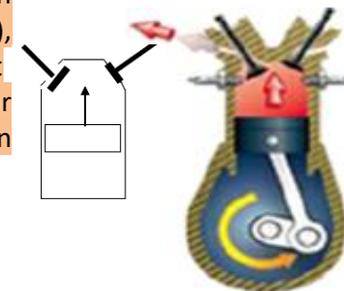
Le mélange est mis à feu par les bougies dont l'alimentation par haute tension électrique se fait aux moments appropriés.

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

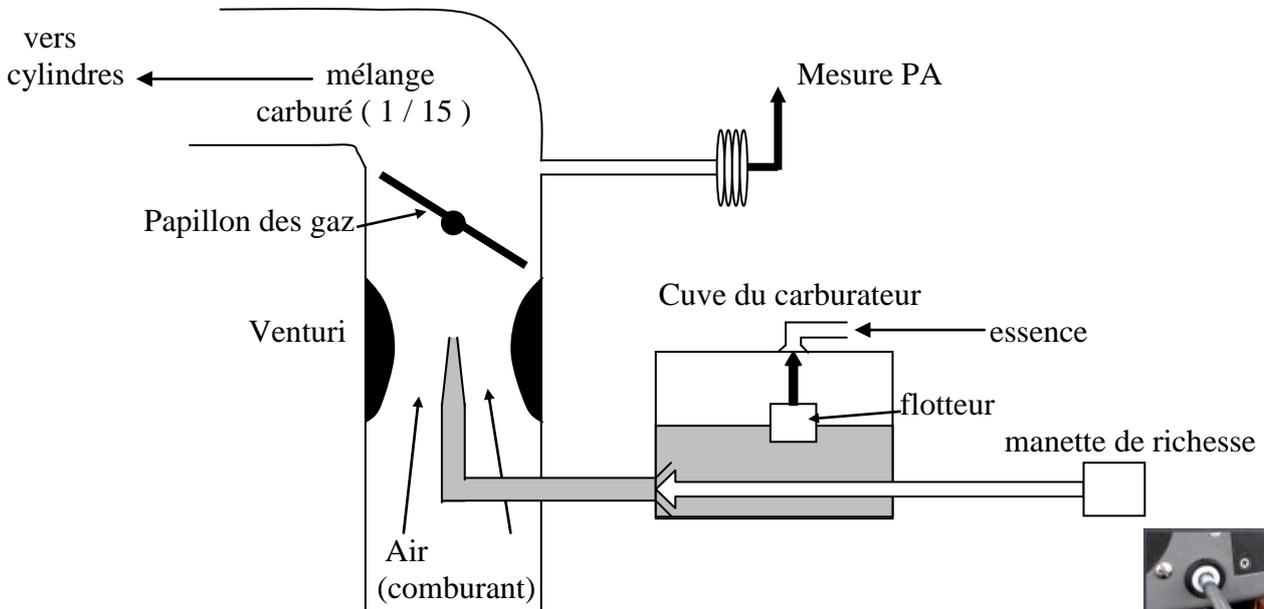
Lors du quatrième temps, le temps d'échappement, la presque totalité des gaz brûlés est rejetée par la remontée du piston vers la culasse. Juste avant que le piston atteigne le point mort haut, la soupape d'admission s'ouvre et la soupape d'échappement reste ouverte quelques instants après le point mort 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 ($+ 50^{\circ}$).

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 2 circuits, allumage et électrique, sont totalement indépendants l'un de l'autre.

→ **Refroidissement du moteur** : par air

→ **L'hélice**

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 (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)

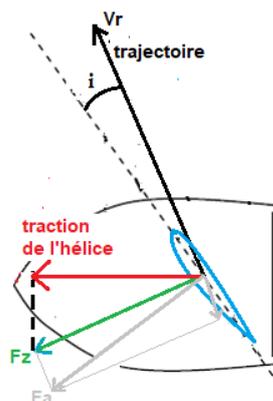
β : angle d'avance

i : **angle d'incidence**

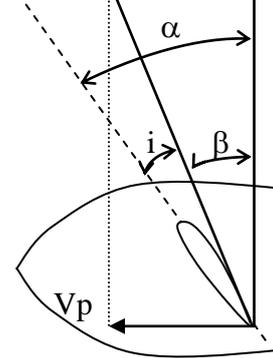
V_{tg} : vitesse de rotation de l'hélice

V_p : vitesse propre de l'avion

V_r : vitesse du vent relatif

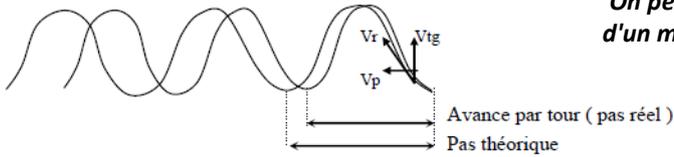


corde de référence V_r V_{tg}



La pale d'hélice fonctionne comme une aile; puisqu'il y a du vent relatif et une incidence, il y aura une portance perpendiculaire au vent relatif et la composante de cette portance F_z parallèle au déplacement de l'avion, constitue la force de traction de l'hélice

On peut facilement déterminer le pas ou l'avance par tour à l'aide d'un mètre à ruban et en effectuant des mesures sur l'avion voisin

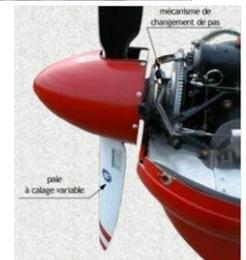


Pas de l'hélice : c'est la distance théorique parcourue par l'avion quand l'hélice a effectué un tour, alors que **l'avance par tour** est la distance réelle.

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 commandé.

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

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

L'hélice à droite sur la photo est en drapeau
l'autre à gauche est en petit pas vol



- * **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.



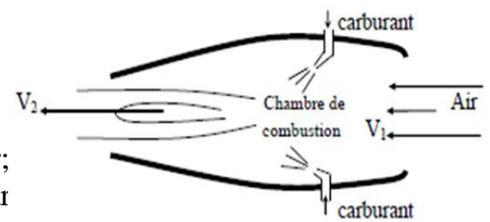
[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

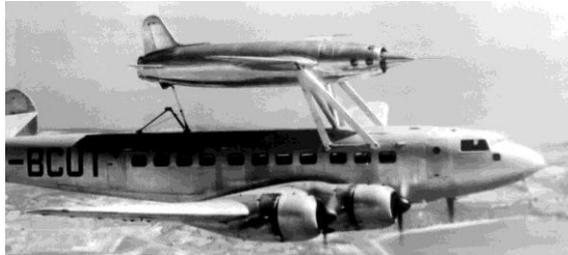
B. Les réacteurs

→ LE STATORÉACTEUR

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



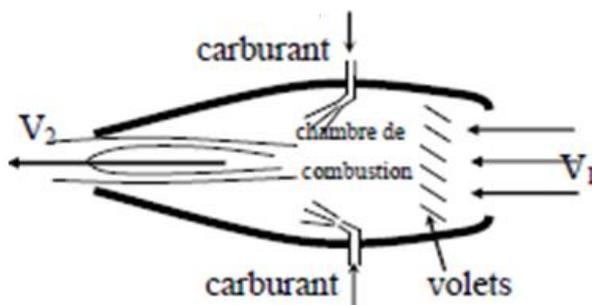
Leduc 010. Deux exemplaires sont construits. Le 01 commandé par le gouvernement français en 1937, voit sa construction suspendue pendant la guerre. Il sort de l'usine de Toulouse le 23 septembre 1946 et effectue ses essais en vol (attaché puis largué en vol plané à partir du 19 novembre 1946 avec le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

→ LE PULSOREACTEUR

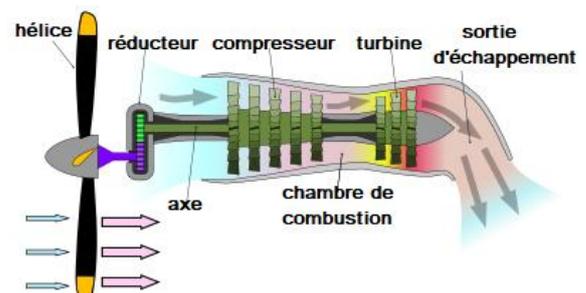
Dans un 1^{er} temps, l'air extérieur s'engouffre à travers des volets d'admission articulés disposés à la partie antérieure du moteur. Sous la pression de l'air comprimé, le carburant ouvre le clapet d'admission et pénètre en pulvérisation dans la chambre de combustion.

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 redevenant alors inférieure à la pression de l'air extérieur, les volets et le clapet d'admission s'ouvrent pour un nouveau cycle qui se reproduira au rythme de 47 par seconde.

V1 lancé à 500 km/h



→ LE TURBOPROPULSEUR (G.T.P.)



Par sa conception, le turbopropulseur obtient le maximum d'énergie possible pour faire tourner l'arbre de l'hélice, les gaz d'échappement ayant une température relativement faible et une vitesse d'éjection très réduite. Cette rotation de l'arbre moteur est renvoyée vers l'hélice au travers d'un réducteur mécanique. La poussée résiduelle d'échappement des gaz est faible (moins de 10 %), la majeure partie de la poussée étant produite par l'hélice avec un bien meilleur rendement qu'un réacteur classique, mais avec l'inconvénient de ne pas pouvoir approcher les vitesses supersoniques, du fait du risque de dépasser la vitesse limite en bout de pale d'hélice; ainsi il sera souvent monté sur les hélicoptères.

→ **Le turboreacteur (g.t.r.)**



I – Principe

Principe de Newton de l'égalité de l'action et de la réaction.

L'effet de propulsion due à la poussée s'exerce aussi bien dans l'atmosphère que dans le vide spatial.

Exemple : un ballon gonflé qu'on lâche :

Ejection des gaz = action

Accélération du ballon = réaction

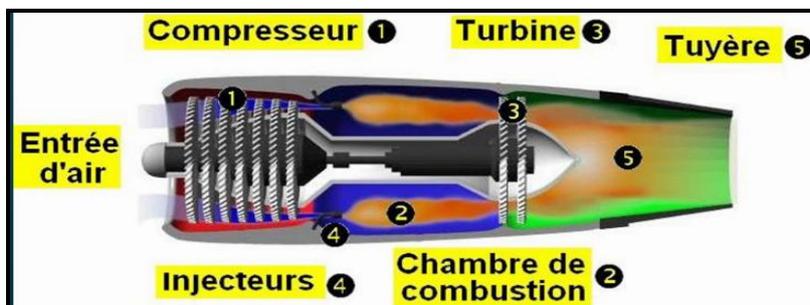
L'action se traduit par une force de poussée $F : F = m_e \cdot V_e$

où m_e est le débit-masse des gaz éjectés et V_e la vitesse d'éjection

Remarques :

- La poussée donne au mobile une accélération et non une vitesse.
- La poussée est indépendante de la vitesse de déplacement du mobile.
- La poussée est proportionnelle à la masse volumique de l'air donc proportionnelle à la pression atmosphérique et inversement proportionnelle à la température de l'air.
- La poussée diminue avec l'altitude (sur la masse volumique de l'air, la baisse de pression est prépondérante sur la température).

Le compresseur (1) va amener la pression de l'air à 25 atmosphères. Ce processus crée un échauffement et l'air arrive dans la chambre de combustion (2) à une température comprise entre 800 et 1200°C. Lorsqu'on injecte du kérosène, la température est suffisante pour amorcer la combustion du mélange.

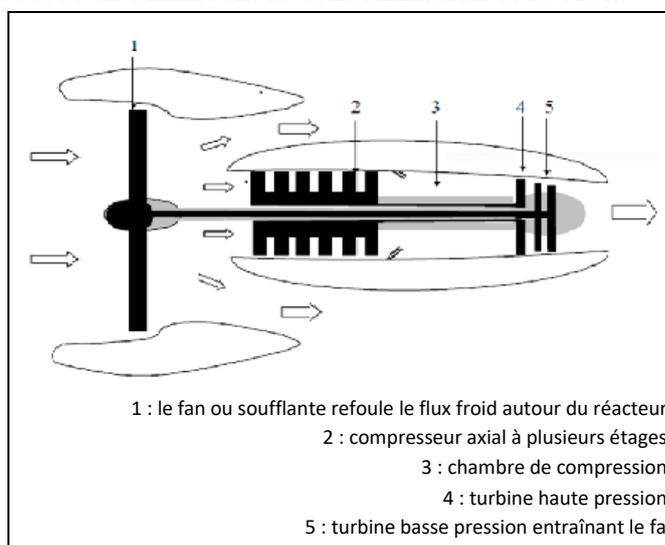
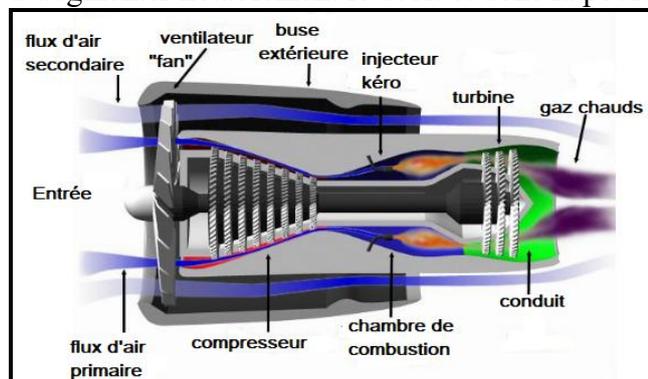


La température s'élève encore, les gaz brûlés se dilatent et sont donc éjectés vers l'arrière à très grande vitesse. C'est la propulsion « à réaction ». Ce phénomène est accentué par l'augmentation de la quantité de gaz générés par la combustion (CO2 et H2O notamment)

Au passage les gaz qui sont éjectés font tourner une turbine (3) reliée au compresseur (même axe) ce qui permet de maintenir le flux de fonctionnement.

Réacteurs à double flux

Les réacteurs « civils » modernes créent un deuxième passage d'air autour du réacteur avec pour effet d'augmenter notablement le débit et donc la poussée tout en diminuant la consommation et le bruit.



Post-combustion :

Le principe de la postcombustion est d'injecter du kérosène, via un canal prolongeant la tuyère du turboréacteur, dans les gaz d'échappement, qui s'enflamment alors spontanément sous l'effet de la chaleur. Le fait de réchauffer l'air en sortie de réacteur permet d'augmenter la vitesse de sortie des gaz, et donc la poussée du réacteur.

Ce mode de propulsion utilisé sur des avions de chasse est très consommateur de carburant.



F 14 Tomcat en post combustion, ça va décoller dans une micro seconde, le chien jaune à la main gauche pointée vers l'avant du porte avion !

Inversion de poussée : on utilise des volets qui dévient la trajectoire des gaz éjectés. Des sécurités (liées aux amortisseurs comprimés et aux gaz réduits) n'autorisent cette fonction qu'au sol.



Inverseur de poussée sur un Airbus A321

La procédure de freinage consiste alors, une fois que l'avion est au sol, à déployer les inverseurs, puis à augmenter le régime du moteur après le toucher des roues pour recréer de la poussée (le moteur étant pratiquement au ralenti lors de la phase d'atterrissage). Cette poussée sera alors dirigée vers l'avant avec un angle de 45°, pour éviter la réinjection des gaz de combustion dans le turboréacteur, et freinera l'avion.

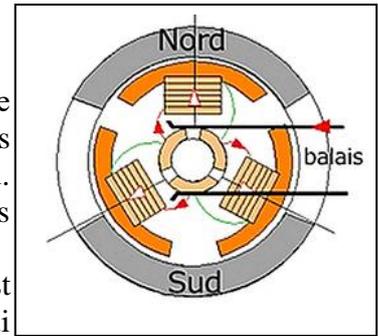
moteurs électriques

Le moteur à balais

Voici un moteur à balais, 3 bobines, 2 aimants.

Un moteur à balais se compose principalement d'un boîtier métallique cylindrique contenant un stator et un rotor. Le rotor compte plusieurs bobines qui peuvent soit avoir un noyau de fer doux soit sont sans noyau. Le stator se compose généralement de deux aimants permanents, montés très près de la partie extérieure métallique du rotor.

Les bobines du rotor reçoivent du courant par le collecteur, lequel est relié au courant continu de la batterie par deux balais (ou charbons) qui frottent sur sa surface.



Le collecteur change la polarité de la tension aux bobines à un certain instant lors de chaque tour du moteur, ce qui maintient le moteur en marche.

Le progrès s'est situé dans la réalisation des aimants permanents du stator qui sont devenus, au fil du temps, de plus en plus légers, à force magnétique constante (aimants « terres rares »). Les progrès de l'électronique permettent maintenant de passer à l'autre type de moteur, plus moderne, le moteur dit « brushless », moteurs sans balais ni charbons, donc sans organe de frottement – c'est important pour la fiabilité surtout en aviation.

Le moteur sans balais

un dispositif électronique extérieur pour les grandes puissances appelé onduleur convertit la tension continue de la batterie en trois lignes de courants alternatifs décalés de 120°. Ces moteurs sont donc du type alternatif synchrone, c'est-à-dire qu'ils vont tourner constamment à la même vitesse mais que si on fait varier la charge, c'est la consommation d'électricité qui croît et non le nombre de tours qui diminue (ou aussi asynchrone employé dans la voiture de sport Tesla), c'est l'électronique qui fait tout : transformation du courant continu en courant alternatif par un onduleur perfectionné et contrôle du nombre de tours et du couple.

Enfin, contrairement au stator du moteur à balais, le stator du moteur « brushless » porte les bobines tandis que le rotor est constitué normalement des aimants permanents.

C'est la formule d'avenir : Poids réduit, bon refroidissement des aimants et surtout absence de frottement... ce qui pour l'aviation est évidemment fondamental.

L'électronique autorise maintenant l'emploi de moteurs synchrones sans balais, elle permet enfin de disposer d'organes performants de commande du moteur qui remplacent les antiques rhéostats.

Et du côté des batteries...

C'est là que les progrès les plus importants ont été constatés depuis les années 1930 et c'est là que réside le gisement de progrès. Ces progrès rendront utilisables ou non les avions électriques.

Les voiturettes de golf utilisent des batteries au plomb et la Tesla de sport des batteries lithium polymère contenant 6 fois plus d'énergie.

Durée de chargement : 5h pour les batteries au plomb, de 1h30 à 2h pour celles au lithium

Toutefois la quantité d'énergie emmagasinée dans une batterie est toujours insuffisante, il faudrait que les batteries contiennent, à poids égal, 10 fois plus d'énergie que la meilleure batterie actuelle.

Il existe des pistes d'amélioration : la technologie LiPo est la plus répandue, mais des nouvelles générations d'accumulateurs sont désormais disponibles proposant un pouvoir de décharge encore supérieur comme les Li Fe Po4 (batteries nanophosphates). Malheureusement, pour l'aviation, ils sont légèrement plus lourds et surtout très onéreux.

Qu'en est-il donc enfin de l'avion électrique ?

Les problèmes: le poids de la batterie, dont dépend l'autonomie, poids qui devient crucial, et le fait qu'un moteur d'avion est un moteur stationnaire, sans variations de puissance importante au cours du vol. La puissance maximum est demandée au décollage puis le moteur fonctionne de façon constante à 60% de cette puissance.

Un avion ne peut s'arrêter n'importe où quand la batterie est presque vide.

Il faut en outre assurer la sécurité de la décharge de la batterie. Le risque d'une surchauffe existe. Il en résulte souvent l'explosion du pack.

Un avion à moteur thermique s'allège au cours du vol. Un avion électrique a un poids constant. Or le poids autorisé au décollage est supérieur au poids autorisé à l'atterrissage et 100 l d'essence correspondent au poids d'un passager !

En cas de panne, le moteur électrique à aimants permanents se bloque. L'hélice ne possédant pas de pas variable, on ne peut la passer en drapeau. L'avion voit alors sa traînée beaucoup augmenter, rendant l'atterrissage en campagne problématique.

Les avantages : Pas de bruit, un démarrage immédiat, un fonctionnement linéaire en fonction du nombre de tours, pas de pièces en frottement, donc presque pas d'usure mécanique ! Fini les bougies, fini les vidanges, fini l'huile et ses fuites mais que vont faire les mécaniciens ?

Ils vont changer l'électronique ! On en trouve partout dans l'avion électrique : électronique de puissance dans l'onduleur, électronique de gestion du nombre de tours, de la décharge de la batterie (éviter l'explosion du pack) et de toutes les servitudes.

L'avion électrique est-il écologique ? Que faire en effet des batteries usagées ? Le cadmium est hautement polluant tandis que le lithium – dont 30% des réserves mondiales se trouvent en Bolivie et qui n'existe qu'en quantité insuffisante – est hautement polluant mélangé à l'eau. Il faut rendre parfaitement étanches et résistants aux chocs les packs de batterie, lesquels en cas de crash dans un étang risquent de le polluer pour l'éternité.

Avenir :

Barrière technologique incertaine liée à la densité énergétique des batteries et à la gestion des hautes tensions (supérieures à 1 000 V) : Le principal facteur limitant tient à la densité énergétique des batteries, exprimée en Wh/kg, dont on attend une augmentation d'un facteur deux entre 2020 et 2027. Un axe de développement concernant une formule hybride avec un moteur classique est poursuivi par certains constructeurs pour accélérer la transition vers un mode tout électrique, à l'image de l'automobile.

L'Agence européenne de la sécurité aérienne (EASA) annonce le 10 juin 2020 sa première certification pour un avion entièrement électrique : le Pipistrel Velis Electro du constructeur slovène **Pipistrel**, spécialiste des petits avions-écoles.. Ce biplace a une autonomie d'une heure à une vitesse de croisière de 170 km/h. Bruit en vol : 60 dB. Selon le constructeur, il faut deux heures pour charger la batterie à 100 % à partir de 30 %. Depuis février 2019, la Fédération française aéronautique (FFA) utilise cet avion à l'aérodrome de Toussus-le-Noble.



Masse à vide (sans batteries)	552 lbs (251 kg)
Masse à vide (avec batteries)	831 lbs (377 kg)
Charge utile	380 lbs (173 kg)
Masse maximale au décollage (MTOW)	1212 lbs (550 kg)
Poids du système de batterie standard	277 lbs (126 kg)
Endurance	1 heure (PLUS 30 minutes de réserve)
Autonomie à Vitesse de Croisière	108 NM (200 km)

En février 2021, le constructeur dévoile son projet d'avion de transport régional de 20 places. Il vise une mise en service entre 2028 et 2030 pour des liaisons de 200 km à 1 000 km.

Le plan de relance de l'aéronautique présenté le 9 juin 2020 par le gouvernement français fixe l'objectif de lancer en 2035 le premier avion « vert » ou « zéro émission de CO₂ », et non en 2050 comme envisagé initialement. Le projet comporte plusieurs étapes : lancer le « successeur de l'Airbus A320 » vers 2030, avec un objectif de réduction de 30 % de sa consommation de carburant, tout en préparant l'étape suivante, le passage à l'hydrogène vers 2035 ; un premier prototype ou démonstrateur devait voir le jour vers 2026-2028 ; un avion régional hybride devrait également être conçu avant la fin de la décennie

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 11 : LES INSTRUMENTS

Trois grandes familles d'instruments : on étudiera ici les § 1et 3

1- instruments de conduite qui aident ou permettent le pilotage de l'avion: vitesse, altitude, assiette, position de l'avion, puissance moteur...

2- instruments de contrôle des paramètres de fonctionnement du moteur et des circuits associés : carburant, huile, électricité...

3- instruments de navigation et de radiocommunication : compas, radio et récepteurs VOR, ADF, DME, GPS ...

INSTRUMENTS DE CONDUITE

→ L'anémomètre : vitesse

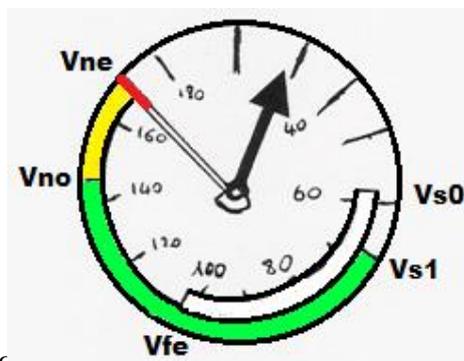
L'anémomètre donne une vitesse indiquée V_i qui n'est pas toujours la vitesse propre V_p de l'avion par rapport à l'air. En altitude $V_i < V_p$

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

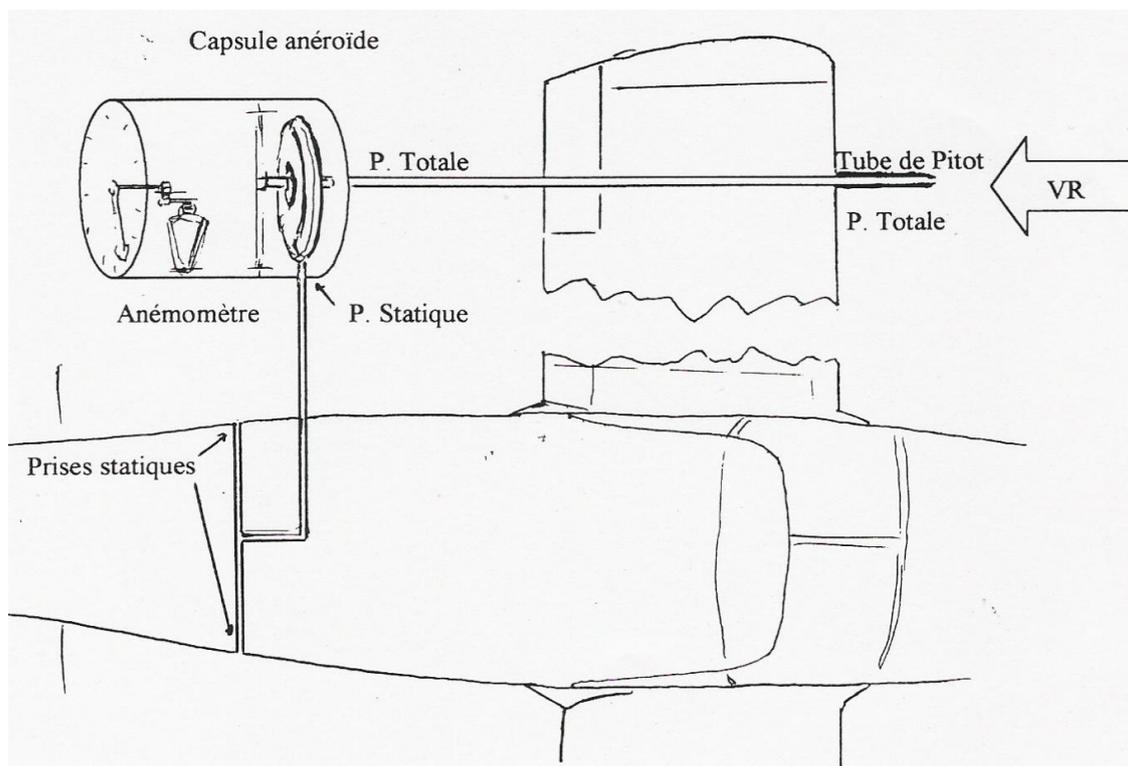
1 NM est la distance sur un grand cercle de la Terre correspondant à un angle de 1 minute (1').

Plages de vitesse :

- Zone d'utilisation normale : **arc vert**;
De **VS1**, vitesse de décrochage en lisse (stall : décrochage)
à **VNO**, vitesse à ne pas dépasser en atmosphère agitée.
- Zone interdite en turbulence : **arc jaune** ;
De **VNO** 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.



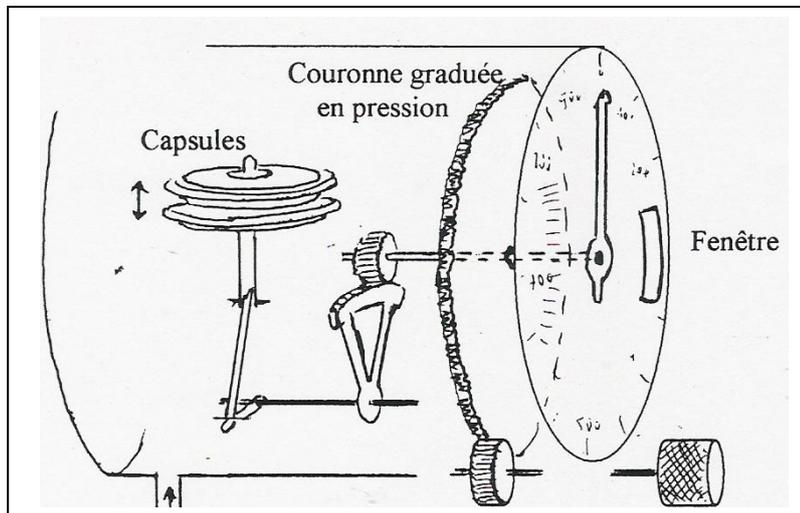
→ **L'altimètre barométrique**

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).

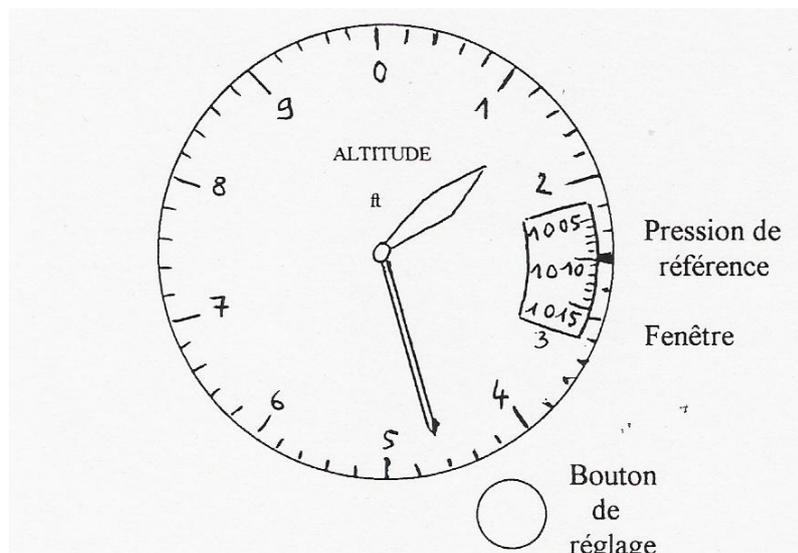
Un bouton de "recalage" permet de sélectionner la pression de référence en faisant tourner l'ensemble du mécanisme (et son aiguille) par rapport au cadran altimétrique.



Calages de l'altimètre

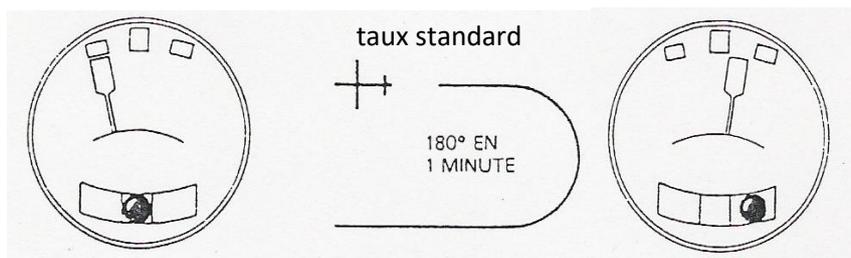
Caler un altimètre consiste à afficher dans la fenêtre de l'instrument, la pression de référence choisie.

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).



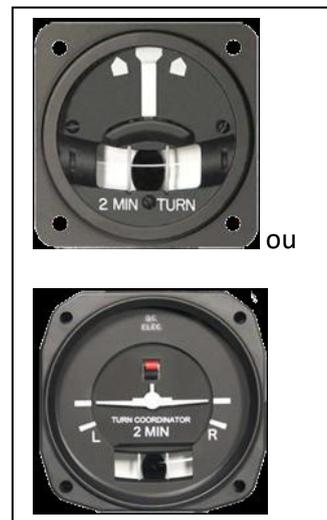
→ **L'indicateur de virage** ou bille-aiguille :

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



virage à gauche symétrique

virage à droite glissé

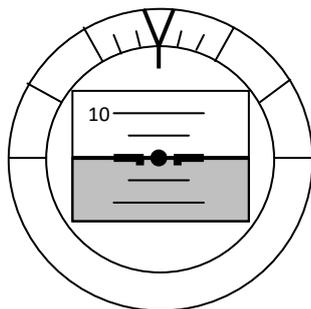


→ **L'horizon artificiel**

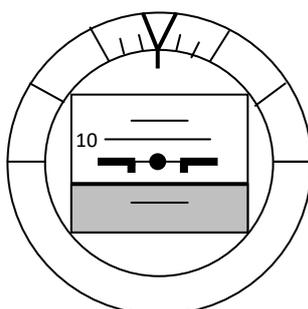
Il donne des informations d'assiette et d'inclinaison.
 L'instrument est constitué d'un tambour (sur lequel figure la ligne d'horizon, le ciel en bleu et la terre en marron) associé à l'axe du gyroscope et d'une maquette représentant un avion solidaire du boîtier donc de l'avion.



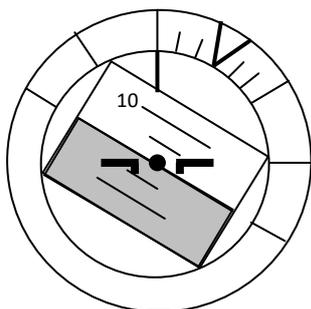
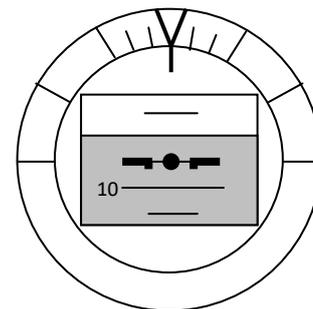
Assiette : 0°
 Inclinaison nulle



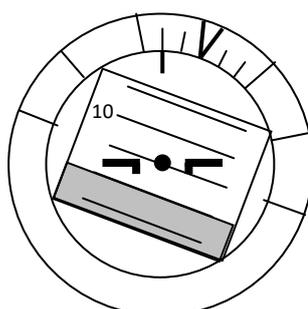
Assiette : + 5° (à cabrer)
 Inclinaison nulle



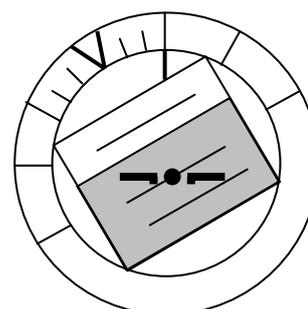
Assiette : - 5° (à piquer)
 Inclinaison nulle



Assiette : 0°
 Inclinaison : 30° gauche



Assiette : + 5° (à cabrer)
 Inclinaison : 20° gauche



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



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

INSTRUMENTS DE NAVIGATION

→ Le compas magnétique

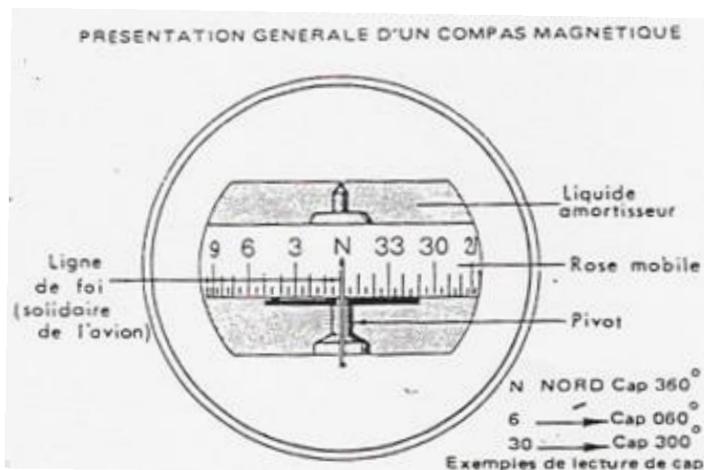
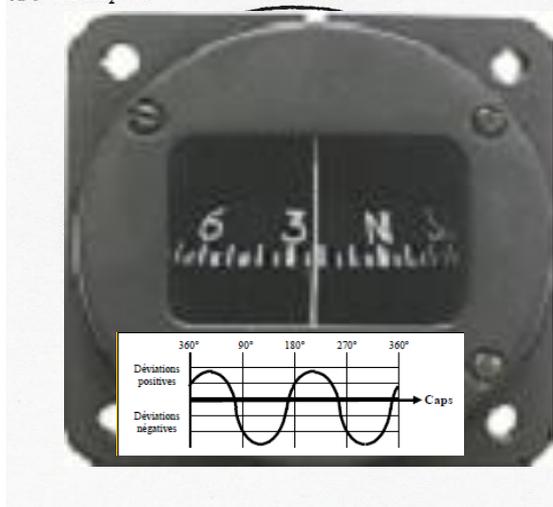
C'est une boussole placée dans un liquide spécial qui amortit les oscillations.

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.



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

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-compas 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.

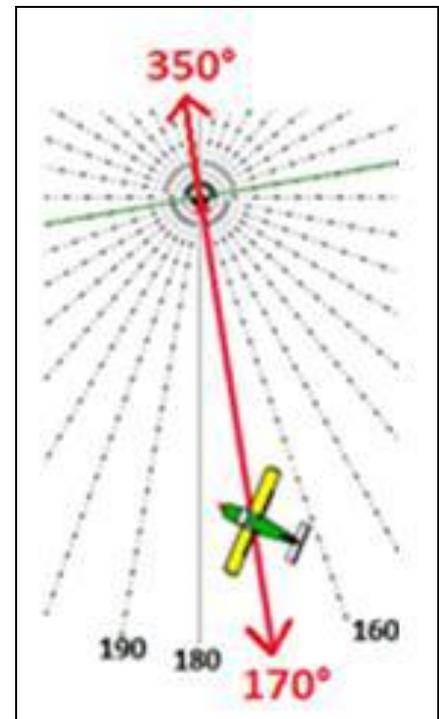
INDICATIONS :

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-compas 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.



Le gisement, ici, est de 300°.
En utilisation pratique on préférera dire 60° gauche.

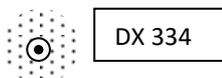
Pour plus de confort et afin d'éviter un calcul à effectuer lors d'une navigation, la rose est mobile. Si on affiche le cap magnétique suivi à la place du 0, l'indication de l'aiguille sur l'instrument fournit l'information du cap à prendre pour rejoindre la station au sol, donc directement le relèvement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

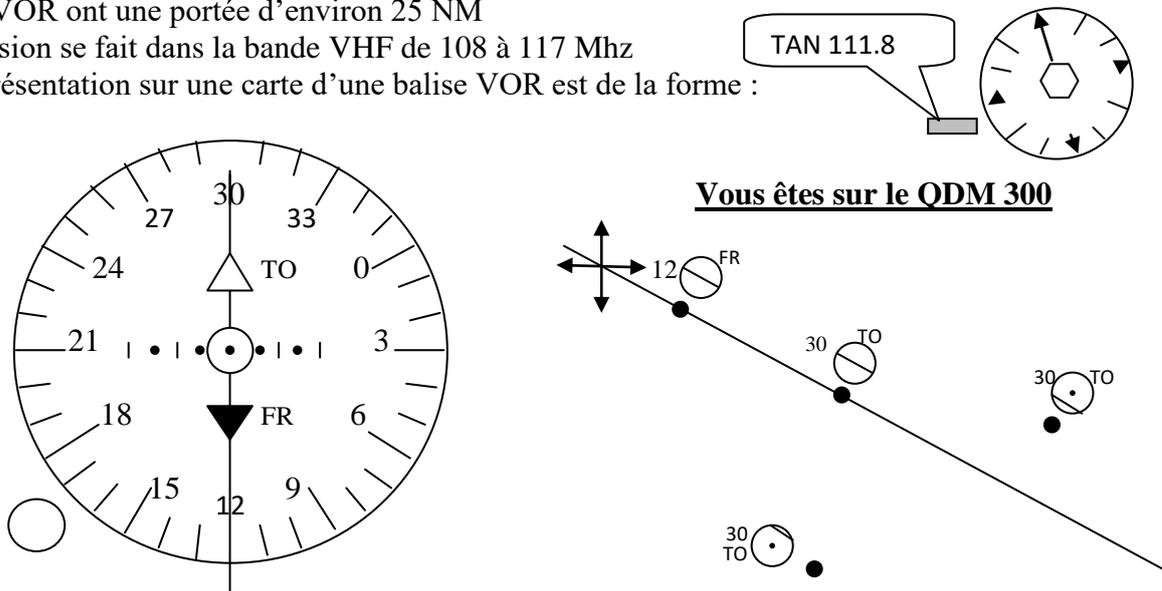
Un indicateur muni d'un bouton OBS permettant de sélectionner un radial en affichant ce dernier face à l'index : si le témoin « to » apparaît, il s'agit d'un QDM ; si le témoin « from » (fr) apparaît, il s'agit d'un QDR. La barre de tendance représente le radial sélectionné et le rond central représente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



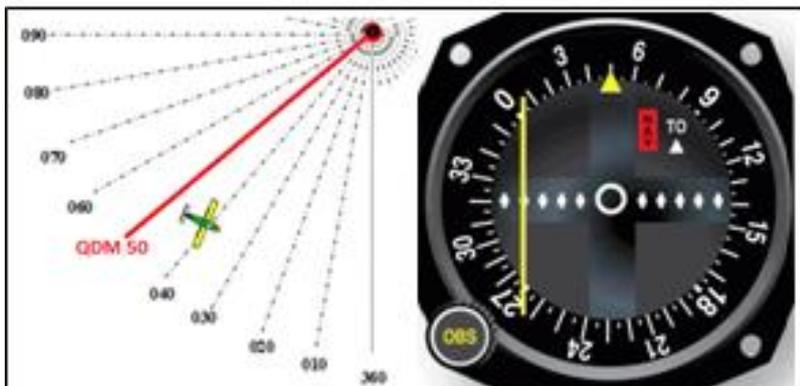
On peut utiliser le VOR :

- 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...



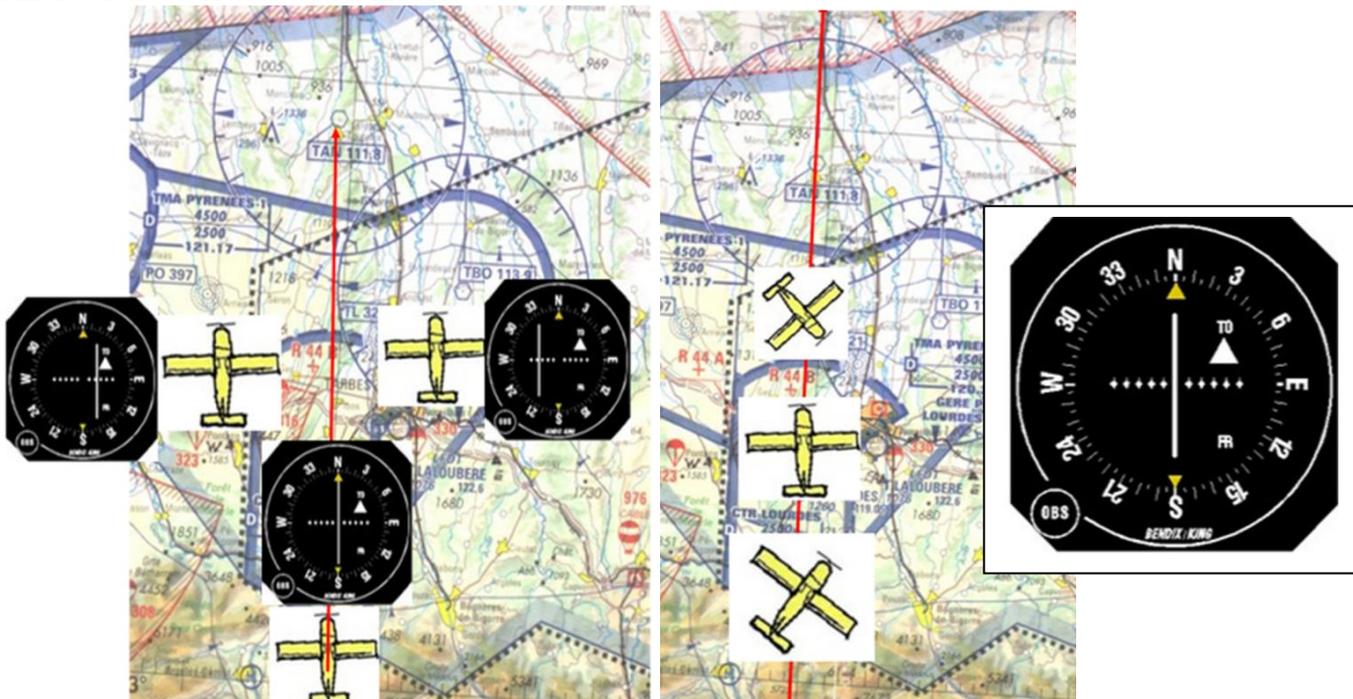
je suis sur le QDM 210.
Je dois prendre le cap 210° pour aller vers la station

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.

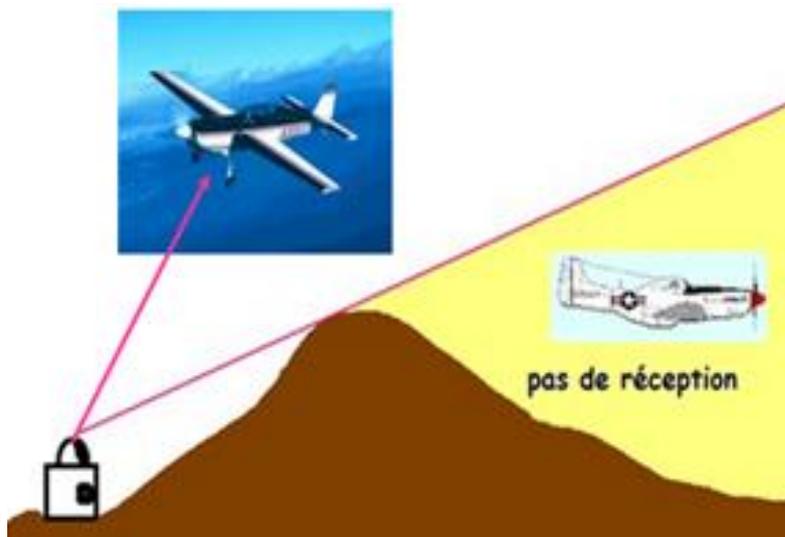
VOR : Avantages et inconvénients

Avantages :

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

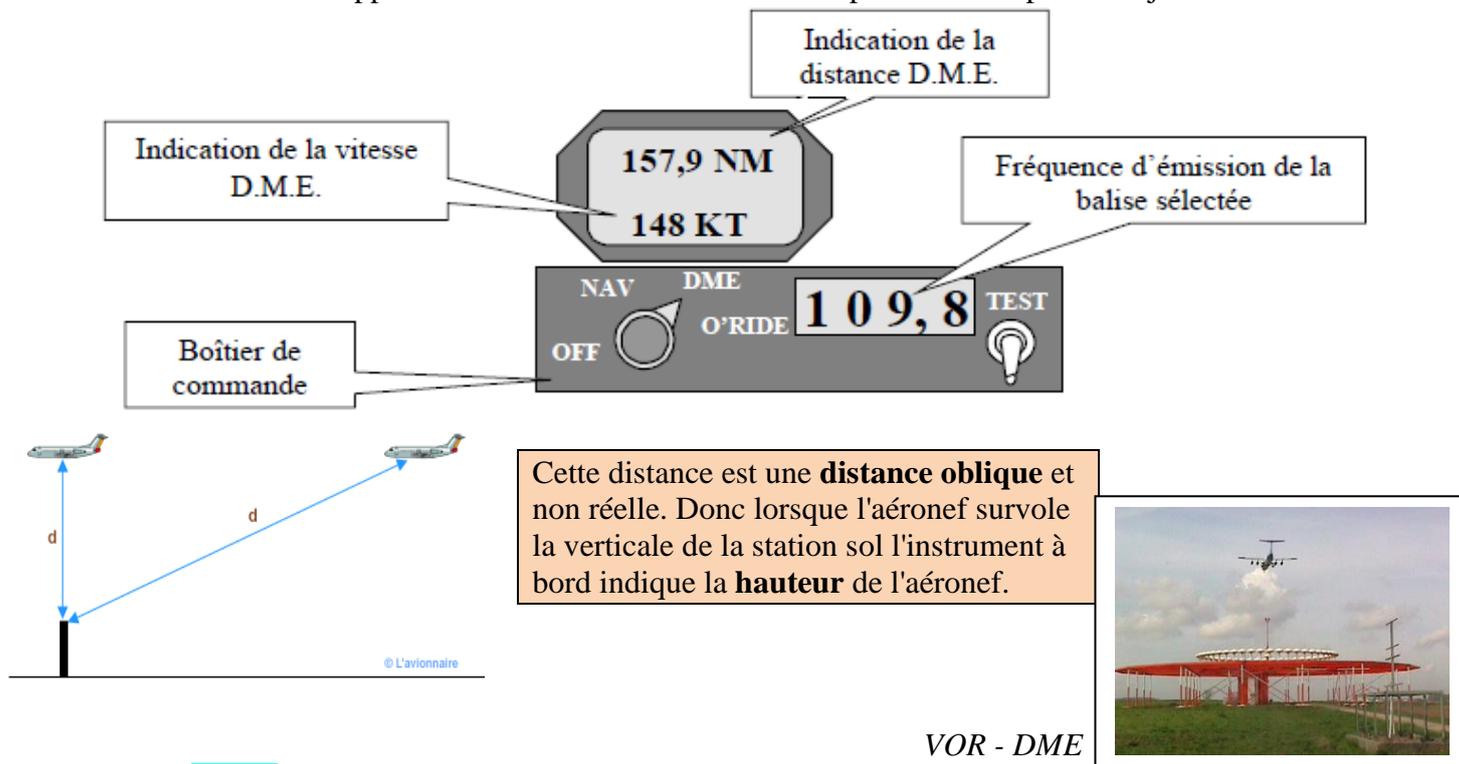
Inconvénients :

- Portée optique donc réception fonction de l'altitude



→ **DME** (Distance Measuring Equipment)

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



→ **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 Vp 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.

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**.

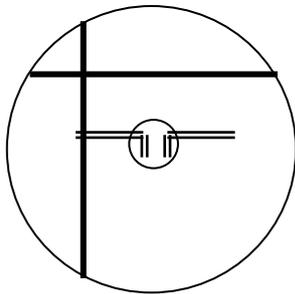
Équivalent du GPS américain, Galileo sera basé sur une constellation de 30 satellites en orbite à 23 222 km d'altitude. Il affichera une précision à quelques mètres.

Actuellement 26 satellites opérationnels assurent 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

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

POSITIONNEMENT DES INSTRUMENTS

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



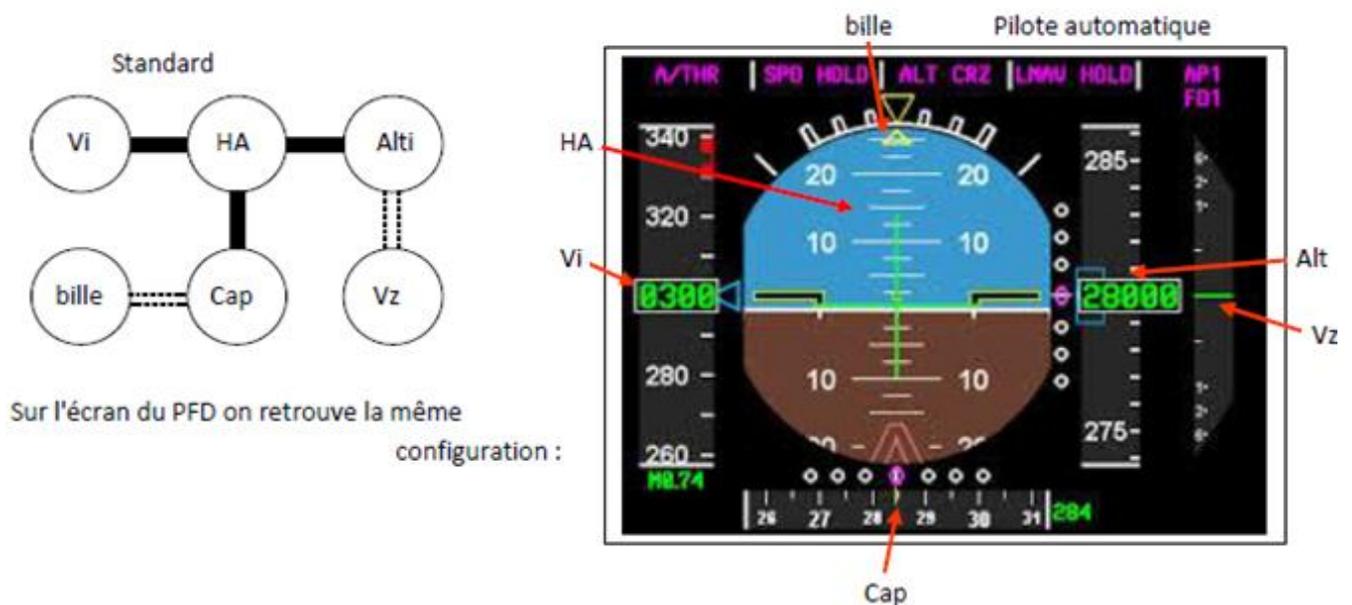
Après avoir "envahi" les tableaux de bord des avions de lignes et d'affaires, les instruments numériques arrivent sur les avions de tourisme. Mais si la présentation des informations change (écrans EFIS) le principe de fonctionnement des instruments reste le même.

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.



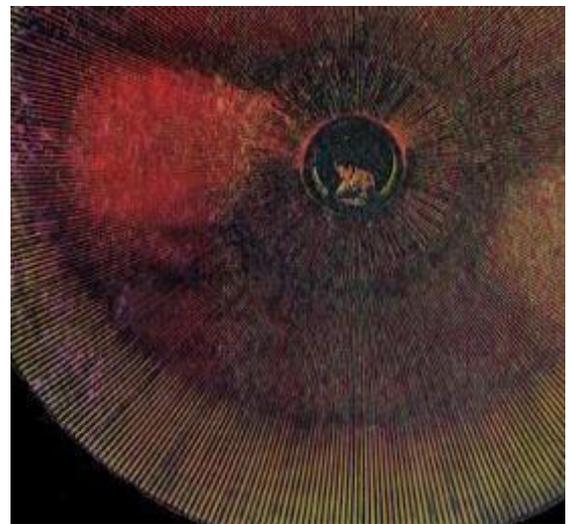
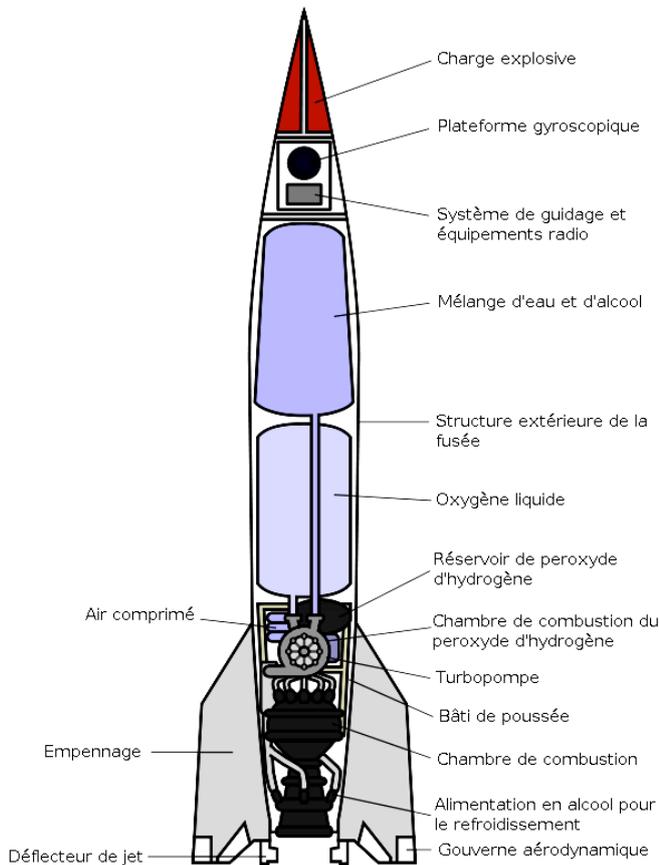
[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 3](#)

Chapitre 10 : FUSEES SATELLITES

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 !



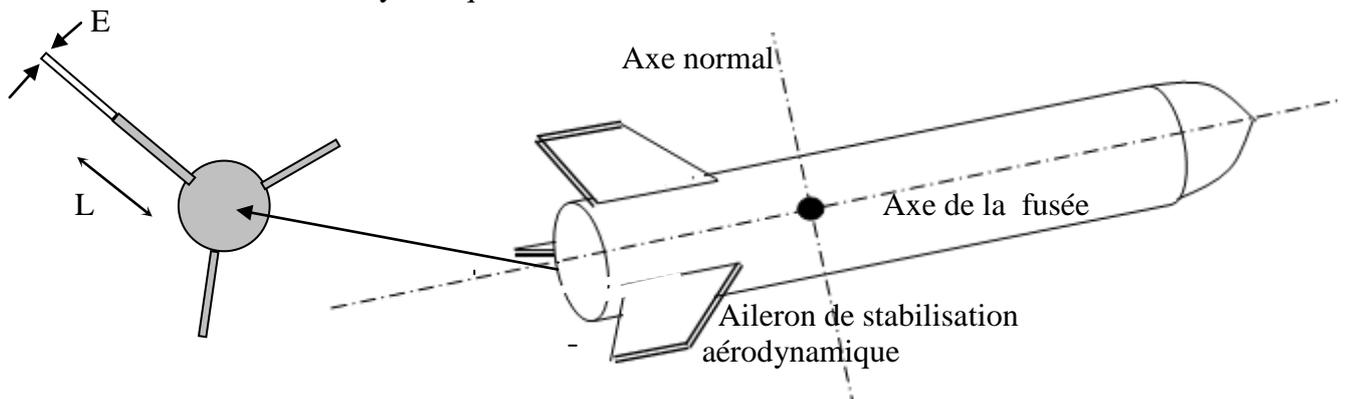
La photo montre l'intérieur de la tuyère d'une fusée Saturn 5, celle d'Apollo, le programme d'exploration humaine de la Lune. On peut voir qu'elle est entièrement constituée de tubes et on distingue un homme au centre, à travers l'ouverture qui débouche sur la chambre de combustion. Ces tubes servent 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 $S = \pi R^2 + 3 L \cdot E$



▪ **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).

- **RAPPORT DES MASSES ou INDICE DE CONSTRUCTION**

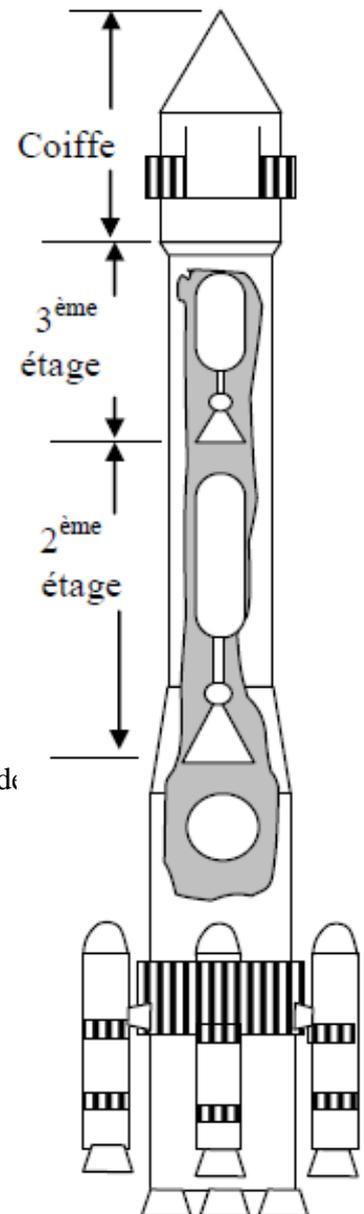
C'est le rapport

$$\ll \text{Masse totale au décollage} / \text{Masse finale} \gg$$

La charge utile contenue dans la coiffe n'exède 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.



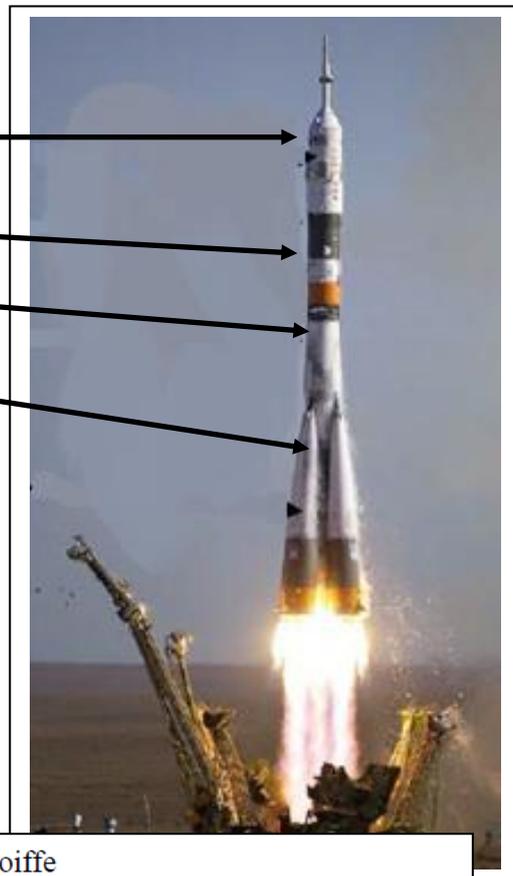
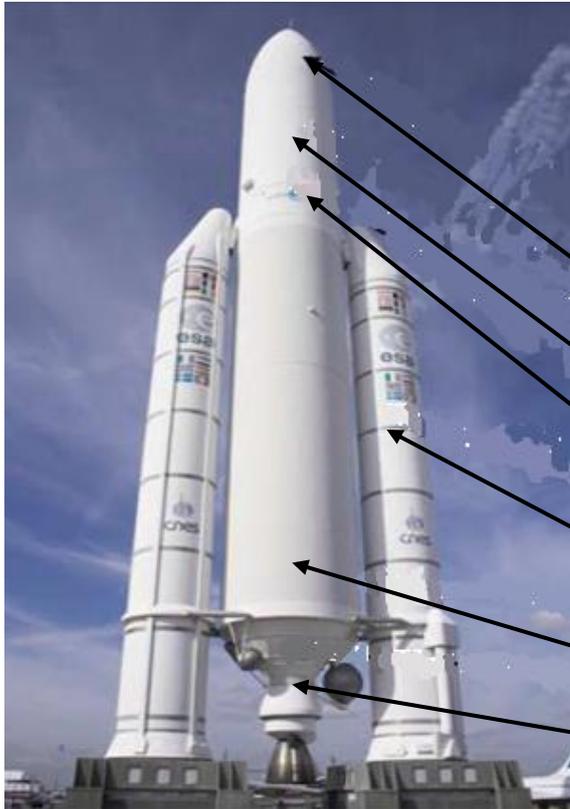
Composition générale des fusées

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

LA VIE D'UN SATELLITE

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.

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.

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

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

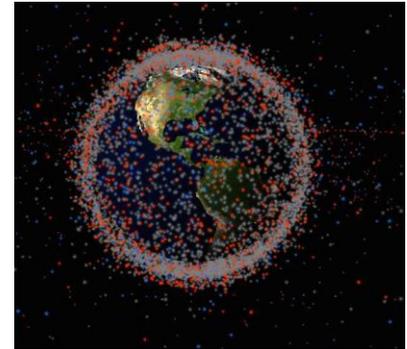
Un **satellite artificiel** est un objet fabriqué par l'être humain, envoyé dans l'espace à l'aide d'un lanceur et gravitant autour d'une planète ou d'un satellite naturel comme la Lune.

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 ou circulaire, être 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.

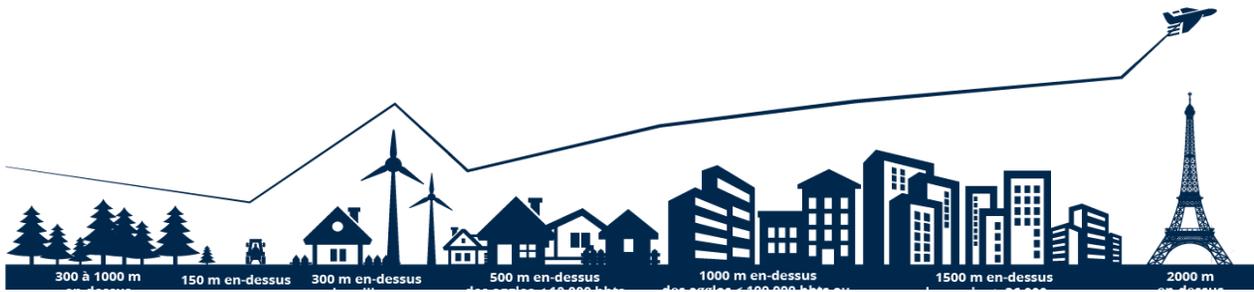


Le satellite est suivi par un centre de contrôle au sol, qui envoie des instructions et recueille les données collectées grâce à un réseau de stations terrestres.

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.

[retour au sommaire général](#)

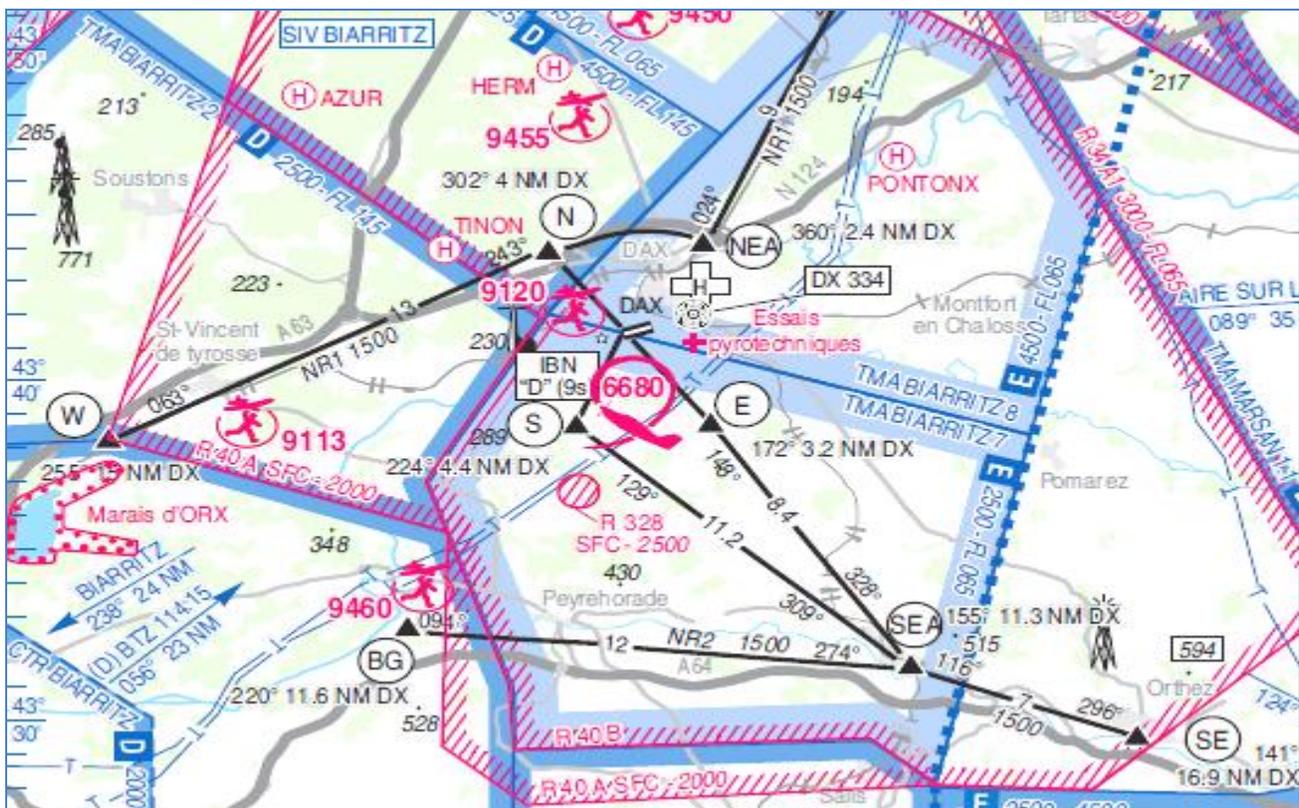
[retour au sommaire 3](#)



COURS DE PREPARATION AU BIA

Partie 4

NAVIGATION REGLEMENTATION SECURITE DES VOLS



JACQUELINE ET LOUIS PENA

2021

PARTIE 4

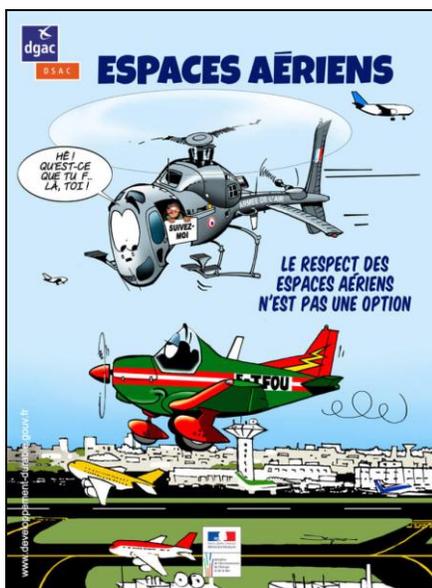
REGLEMENTATION – NAVIGATION – SECURITE DES VOLS

sommaire 4

Pour atteindre un chapitre cliquez sur la page

<p><u>Chapitre 1</u> : Généralités : Circulation aérienne</p> <p>Les organismes de gestion de la circulation aérienne</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Les services de la circulation aérienne 2) Les régimes de vol 3) Les divisions de l'espace aérien 4) Règles générales 5) Service d'alerte 	<p>page 161</p> <p>page 161</p> <p>page 162</p> <p>page 164</p> <p>page 165</p> <p>page 168</p> <p>page 171</p>
<p><u>Chapitre 2</u> : Réglementation propre à l'aérodrome</p>	<p>page 172</p>
<p><u>Chapitre 3</u> : Entretien des avions</p>	<p>page 177</p>
<p><u>Chapitre 4</u> : les licences de pilotes</p>	<p>page 178</p>
<p><u>Chapitre 5</u> : Sécurité des vols</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Généralités 2) Risques liés au matériel et à l'environnement 	<p>page 181</p>
<p><u>Chapitre 6</u> : Facteurs humains</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) les routes 2) les cartes 	<p>page 183</p>
<p><u>Chapitre 7</u> : Navigation</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) réglementation 2) références de la navigation 3) cartes 4) principes de la navigation 	<p>page 187</p>

[Retour au sommaire général](#)



Chapitre 1 – GENERALITES CIRCULATION AERIENNE

1. Organismes de gestion de la CA

Afin de réglementer de façon mondiale la circulation aérienne et faciliter ainsi les échanges entre les différents pays par la voie des airs, 150 pays se sont regroupés en 1947 pour former

l'O.A.C.I. (Organisation de l'Aviation Civile Internationale)

Les langues reconnues comme langues aéronautiques internationales sont par ordre de priorité l'anglais, le français, l'espagnol, le russe et le chinois.

Cette organisation établit des normes et règlements que les pays membres adoptent pour légiférer la Circulation Aérienne Générale (C.A.G) dans leur espace aérien national.

Au niveau européen c'est

l'EASA (European Aviation Safety Agency)

basée à Cologne, qui établit ces normes et règlements.

La DGAC (Direction générale de l'Aviation civile)

est l'autorité nationale française chargée d'appliquer ce règlement. En France la circulation aérienne est séparée en deux grandes catégories :

- la Circulation Aérienne Générale (CAG) pour les aéronefs civils
- la Circulation Aérienne Militaire (CAM) pour les aéronefs militaires.

Cette dernière étant elle-même divisée en deux parties : la Circulation Opérationnelle Militaire (COM) et la Circulation d'Essai et de Réception (CER).



Les autres intervenants sont les représentants des usagers : Industriels et associations.

Un siècle d'histoire industrielle

L'acte de naissance de l'industrie aéronautique française porte la date du 11 janvier 1908, un groupe de pionniers de l'aviation, au nombre desquels Robert Esnault Pelterie, Louis Blériot, Louis Breguet et Gabriel Voisin, sentant la nécessité de se dégager de la tutelle de l'industrie automobile et d'affirmer la vocation du plus lourd que l'air, crée une chambre syndicale des industries aéronautiques.

Parallèlement, un certain nombre de constructeurs d'aéroplanes avait constitué l'Association des Industries de la Locomotion Aérienne, qui organise à l'automne 1909 au Grand Palais la première Exposition internationale aéronautique.

La fusion fut réalisée en juillet 1910, sous la présidence de Robert Esnault-Pelterie Nouvelle étape en 1958 : la Chambre Syndicale élargit la compétence à l'Espace.

En 1975 enfin, apparaît la dénomination actuelle : **GIFAS**.

Aujourd'hui, le Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales est une fédération professionnelle qui regroupe 376 sociétés.

Son domaine recouvre les avions et les hélicoptères civils et militaires, les moteurs, les missiles et armement, les drones, les satellites et les lanceurs spatiaux, les grands systèmes aéronautiques, de défense et de sécurité, les équipements, les sous-ensembles et les logiciels associés.



Les fédérations



CNFAS : Le Conseil National des Fédérations Aéronautiques et Sportives regroupe 9 fédérations.



FFAM : FF d'aéromodélisme - FFA : FF d'aérostation - FFA : FF aéronautique



FFH : FF d'hélicoptère - FFP : FF de parachutisme - FFPLUM : FF de planeurs ultra-légers motorisés



FFVL : FF de vol libre - FFVP : FF de vol en planeur - RSA : Réseau du Sport de l'Air
FF des Constructeurs et Collectionneurs d'Aéronef

Les règles de l'air

On désigne sous le nom de règles de l'air un certain nombre de directives imposées à tout aéronef circulant quel que soit son régime de vol (CAG ou CAM).

Ce sont souvent des règles de bon sens, ainsi :

- Un aéronef ne sera pas conduit de façon négligente ou imprudente pouvant entraîner un risque pour la vie ou pour les biens d'un tiers.
- Nul ne pilotera un aéronef, ou ne fera fonction de membre d'équipage, s'il est sous l'influence de l'alcool, de narcotiques ou de stupéfiants susceptibles de compromettre les facultés nécessaires à sa fonction. (alcoolémie 0).
- Tout membre d'équipage doit s'abstenir d'exercer ses fonctions dès lors qu'il ressent une déficience physique de nature à lui faire penser qu'il ne remplit pas les conditions physiques d'aptitude à sa fonction. (notamment en cas de fatigue importante).

2. Les services de la CA

Le rôle des services de la CA a été défini dans les buts suivants :

- Assurer la sécurité de la circulation des aéronefs en vol comme au sol,
- Assurer l'écoulement rapide et régulier du trafic,
- Fournir les renseignements utiles au déroulement du vol,
- Déclencher la mise en œuvre des moyens de recherche et de sauvetage lorsque cela est nécessaire.

Pour que ces services soient pleinement efficaces il est alors obligatoire que les pilotes d'aéronefs respectent la réglementation de la CA.

CIRCULATION AERIENNE

SERVICES ET ORGANISMES

SERVICE D'INFORMATION DE VOL (F.I.S.)

Centres d'Information de Vol (CIV)
Service d'information de vol d'aérodrome (AFIS)

SERVICE D'INFORMATION DE TRAFIC

Au-dessus du FL 120 ou 2 000 ft / sol dans les espaces contrôlés

SERVICES DE CONTROLE

Service du contrôle régional (CCR)
Service de contrôle d'approche (APP)
Service de contrôle d'aérodrome (TWR)

SERVICE INFORMATION AERONAUTIQUE (SIA)

Bureau d'Information Aéronautique (BIA)

REGLES DE VOL

CONDITIONS DE VOL

VMC :
Conditions météorologiques minimales
IMC :
Condition météo nécessitant vol aux instruments

REGIMES DE VOL

IFR : vol aux instruments

VFR: vol à vue (VMC uniquement)

VFR de nuit: vol à vue de nuit .

VFR on Top : vol à vue au dessus des nuages

VFR spécial : conditions particulières sur clairance

NATURE DES ESPACES

ESPACES AERIENS CONTRÔLES

Espaces contrôlés spécialisés
Zones de contrôle d'aérodrome(CTR)
Régions de contrôle (CTA et TMA)
Voies aériennes (AWY)

ESPACES NON CONTRÔLES

Hors espaces contrôlés

ESPACES CLASSES

A - B - C - D - E - F- G

ZONES à STATUT PARTICULIER

P : interdites (prohibited)
D : dangereuses
R : réglementées

LES DOCUMENTS

LES NOTAM

(Notice To Air Men)
Concernent l'état et modifications temporaires des installations, d'un service de procédures, dangers...

On distingue:

NOTAM de classe 1 urgents
NOTAM de classe 2 prévisibles

PUBLICATIONS D'INFORMATION AERONAUTIQUE (AIP)

Manuel d'Information aéronautique (MIA)
Atlas des Aéroports (VAC)

LES DOCUMENTS

DOCUMENTS EQUIPAGE

Brevets, Licences, qualifications et extensions correspondant au régime de vol choisi

DOCUMENTS AERONEF

Certificat de navigabilité
Certificat d'Immatriculation (ou carte d'identification pour les ULM)
Certificat de limitation de nuisance
Licence de Station d'aéronef LSA(ancien¹ CEIRB)
Carnet de route Manuel de vol
Fiche de pesée et de centrage

LES DOCUMENTS

CARTE OACI 1/500 000 DE VOL A VUE

CARTE SIA DE RADIONAVIGATION A VUE AU 1/1 000 000

LIVRET : Compléments à la carte de France Radionavigation à vue

Autres cartes suivant vol projeté

<u>LE CONTROLE AERIEN</u>		
Trois services	→ Cinq fonctions	par, entre autres :
a. Service du contrôle de la CA 	a Prévenir les abordages 120.575 - par espacement (hauteur, distance, temps) - par information de trafic b Prévenir les collisions au sol c Accélérer et ordonner la CA	clairances informations de trafic
b. Service d'information de vol	d fournir avis et renseignements	CIV – SIV – ATIS ...
c. Service d'alerte	e Alerter les organismes appropriés	veille fréquence de détresse: 121,5

Divers organismes avec différentes fréquences assurent ces fonctions
 AD non contrôlé et sans AFIS : principe de l'auto-information.
 Espaces non contrôlés : fréquences attribués aux activités spécifiques :
 vol moteur : 123,5 - vol à voile : 122,5 - vol montagne 130,0 ...



3. Régimes de vol

→ Le vol à vue :

VFR (Visual Flight Rules) Le vol à vue est la façon la plus simple de voler, la plus libre aussi, où il s'agit simplement de voir et d'éviter. 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 (Visual Meteorological Conditions) qui dépendent du type d'espace aérien dans lequel évolue l'aéronef.

Dans tous les cas :



Au moins 1500 m de visi horizontale ou 30 s de vol (800 m pour les hélicos)
 et au moins 150 m (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.

Les règles du VFR peuvent varier si certaines conditions sont réunies (zones, visibilité, clairance...)



Le VFR spécial est une dérogation permettant de voler à vue en espace aérien contrôlé sans avoir les conditions VMC. La visibilité doit être de 1500m minimum, hors des nuages et en vue du sol.

Le VFR spécial est soumis à une clairance du contrôle



→ Le vol aux instruments :

IFR (Instrument Flight Rules) Le vol aux instruments peut se réaliser en VMC ou en IMC (Instrument Meteorological Conditions).

Il est réservé aux appareils avec équipements particuliers classés IFR, et équipages qualifiés.



4. Division de l'espace aérien

L'espace aérien français est divisé verticalement en 2 grandes régions :

- Espace aérien inférieur : jusqu'au niveau 195 inclus (5950 m).
- Espace aérien supérieur de Fl 195 à Fl 660 et au delà : vols VFR interdits sauf dérogation particulière.

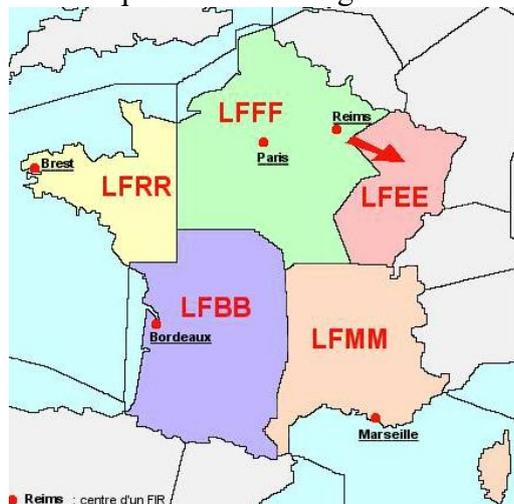
Et horizontalement en dessous du FL 195 et jusqu'au sol l'espace est divisé en

CINQ REGIONS D'INFORMATION DE VOL : FIR (*Flight Information Region*)

espaces aériens de dimensions définies à l'intérieur duquel le service d'information de vol et le service d'alerte sont assurés.

Les **FIR** (carte ci-dessous) : **Paris, Brest, Bordeaux, Marseille et Reims.**

Les **CRNA** (*centre en route de la navigation aérienne*) qui leur sont associés : Nord à Athis-Mons, Ouest à Loperhet, Sud-Ouest à Mérignac, Sud-Est à Aix-en-Provence, Est à Reims, gèrent tout l'espace aérien en route, c'est à dire tous les survols de la France, une partie de la Méditerranée et de l'Atlantique. Athis-Mons gère aussi l'espace aérien supérieur



[retour au sommaire général](#) [retour au sommaire 4](#)

CLASSES DES ESPACES AERIENS

Le rôle majeur de la division de l'espace aérien est d'éviter que des aéronefs ayant des vitesses d'évolution très différentes circulent aux mêmes endroits.

Dans cet espace aérien, seules des portions d'espace sont contrôlées.

En dessous du niveau 100, limitation de vitesse à 250 kt

Espace aériens contrôlés : A – B – C – D – E.

Espaces aériens non contrôlés : F – G.

Un espace aérien n'est contrôlé que pendant les heures d'ouverture. Normalement en dehors de ces heures un espace aérien contrôlé est déclassé en zone G.

En France les zones B et F n'existent pas.

Radio

IFR : obligatoires dans toutes les classes, VFR : obligatoire si le vol est contrôlé

Clairance

VFR et IFR : obligatoire si le vol est contrôlé

Transpondeur

Si j'ai, je dois ! L'état peut obliger l'utilisation dans un espace

• Espace aérien contrôlé :

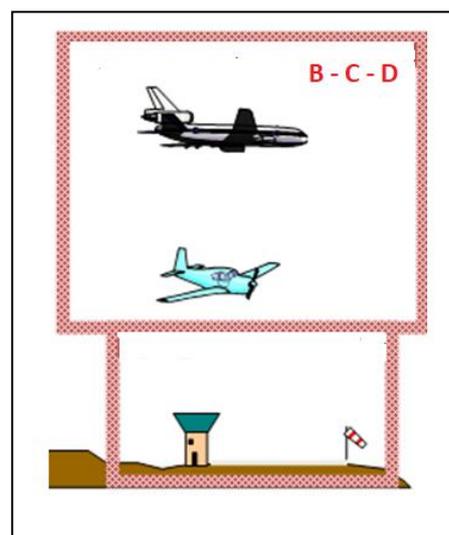
- a) Tout l'espace aérien au dessus du plus haut des deux niveaux : FL 115 ou 1000 ft AGL
Chacun de ces espaces est classé A – B – C – D ou E.

Zone A : réservée aux IFR ; VFR interdits



Zone B - C - D : IFR et VFR admis
espacement IFR et VFR selon la zone
Les vols VFR reçoivent des informations de trafic sur les vols IFR et les autres vols VFR.

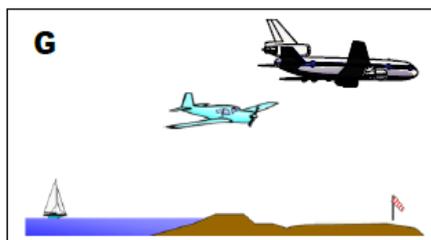
Zone E : IFR et VFR admis mais seuls
les IFR sont contrôlés



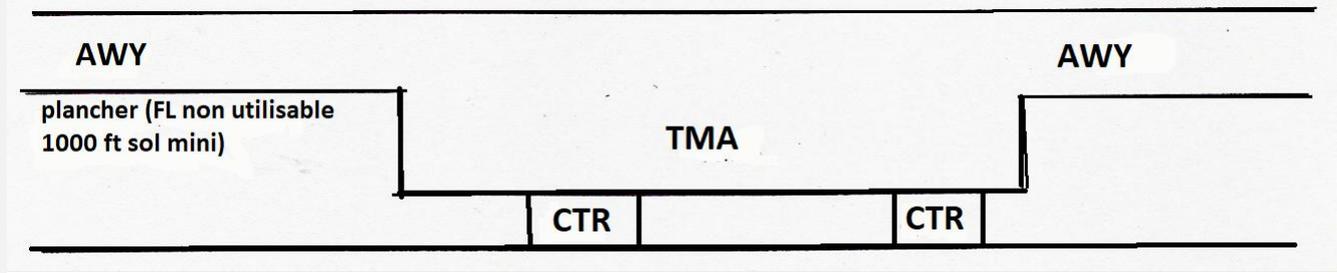
Zones F (pas en France) et **G**

Zones non contrôlées ; IFR et VFR admis

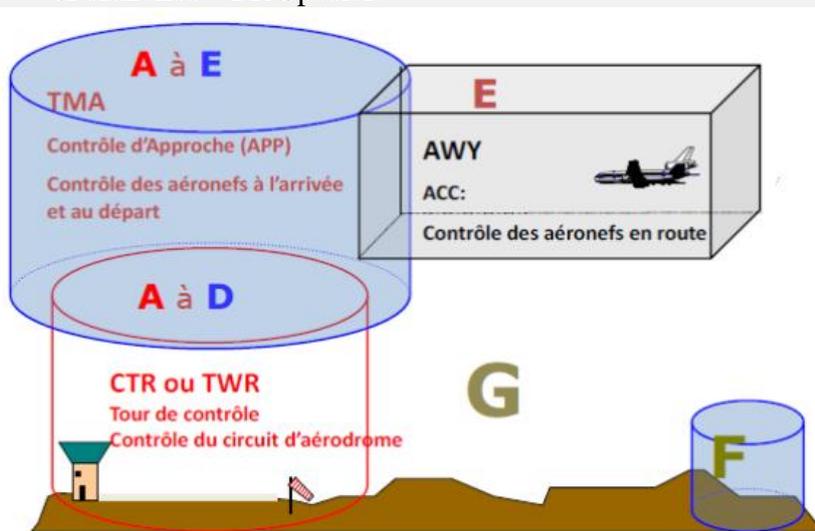
Tous les vols bénéficient du service d'information de vol, sur demande



- b) Voies aériennes (AWY) : couloir de 10 NM de large d'axe défini par des radiobalises;
Elles aboutissent dans les TMA;
Perméables aux vols VFR avec visi 8 km au dessus de FL100, 5 km au dessous et 300m des nuages.



- c) Régions de contrôle et de contrôle terminale (TMA)
Aux carrefours de routes aux environs d'un ou plusieurs aérodromes importants.
Perméables selon leur classement mais au moins 8 km de visi (5 km pour < FL 100, 1500 m des nuages en latéral, 300 m en vertical). Plancher à minimum 200m ou au dessus d'une CTR.
- d) Zone de contrôle d'aérodrome (CTR)
Centrées sur certains aérodromes.
De la surface du sol à un plafond en général de moins de 900m/mer ou 300 m/sol.
Pénétration selon la classe mais conditions VMC en VFR ou conditions VMC réduites spécifiées si clairance VFR Spécial.



e) Zones à statut particulier

Zones « D » : Zones dangereuses : pénétration prudentes
Zones « R » : Zones règlementées : pénétration sur clairance
Zones « P » : Zones à pénétration interdite

sous la responsabilité du CDB

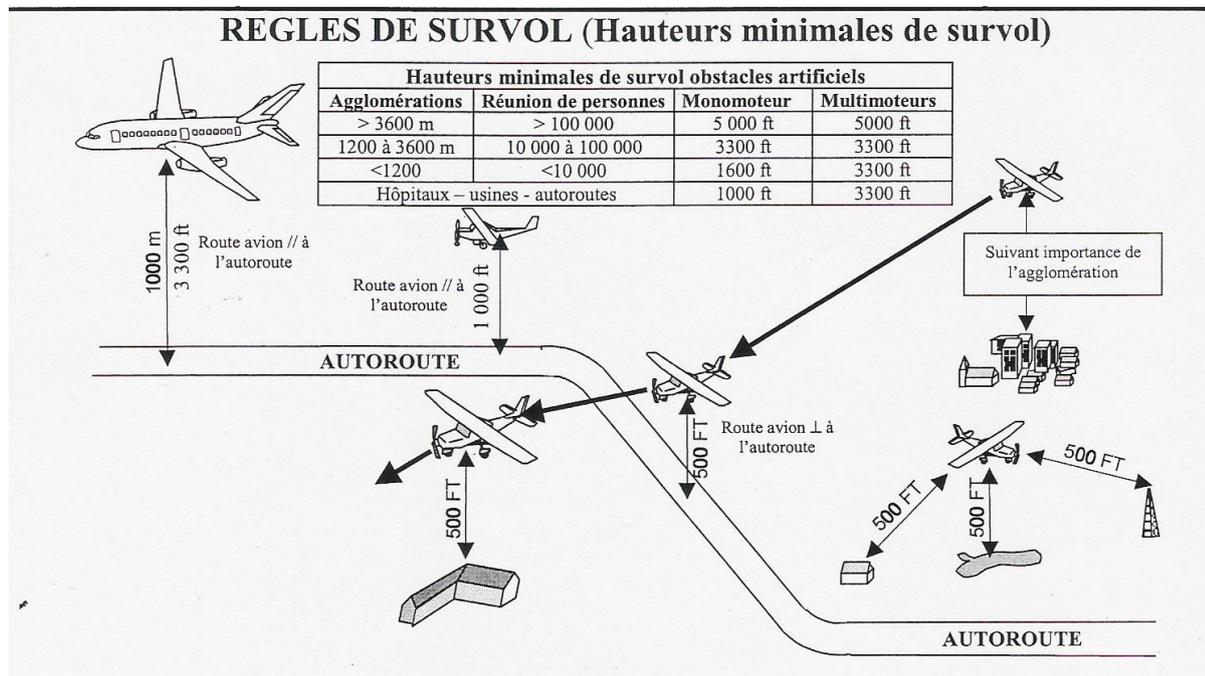
prohibited! aucun vol civil ni VFR ni IFR

- Espace aérien non contrôlé : libre classé en F (pas en France) ou G.
Les conditions VMC changent selon que le vol a lieu au dessus ou au dessous du niveau 3000 ft mer/sol.

5. Règles générales

a. Règles de survol

La hauteur minimale de survol est généralement de 500 ft.



Zones inhospitalières (régions terrestres désignées) Il n'y en a pas en France métropolitaine.

- plan de vol obligatoire.
- compte-rendu par radio toutes les heures et aux limites de FIR.
- message QRU (tout va bien) de 20 à 40 mn suivant le dernier contact.

Survol maritime : (nouvelle réglementation européenne) pour les monomoteurs, un gilet de sauvetage est obligatoire pour tout membre d'équipage si la distance à parcourir est supérieure à la distance de plané pour rejoindre la terre ferme, si un amerrissage pourrait intervenir (cas d'aérodromes en bord de mer avec trajectoires de départ et/ou d'arrivée au-dessus de l'eau). Au-delà de 30 mn à la vitesse de croisière normale ou à plus de 50 nm de distance des côtes, il faut un ou des canots de sauvetage pour tout l'équipage, des équipements de survie et un dispositif pour envoyer des signaux de détresse (lampe, miroir...).

Vol à haute altitude et équipement en oxygène (nouvelle réglementation européenne)

Vol > 10 000 ft : membre d'équipage relié à l'oxygène pour tout vol de plus de 30 minutes.

Vol > 13 000 ft : toute personne à bord reliée à l'oxygène.

b. Règle de priorité

- priorité à droite.
- priorité à l'aéronef le plus bas.
- priorité à l'aéronef le moins manœuvrant : dans l'ordre : ballon, planeur, dirigeable, avion remorqueur, avions en formation, avion seul.



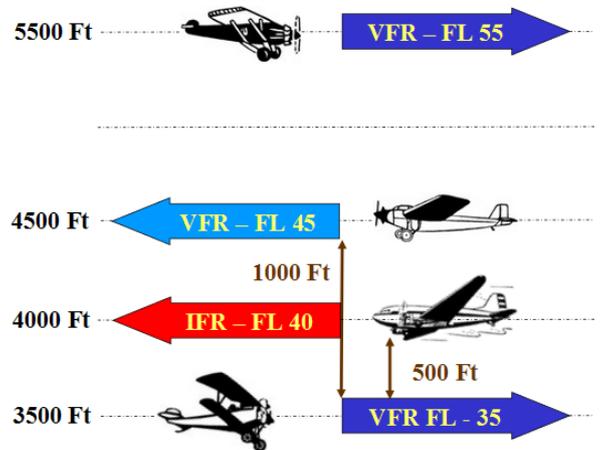
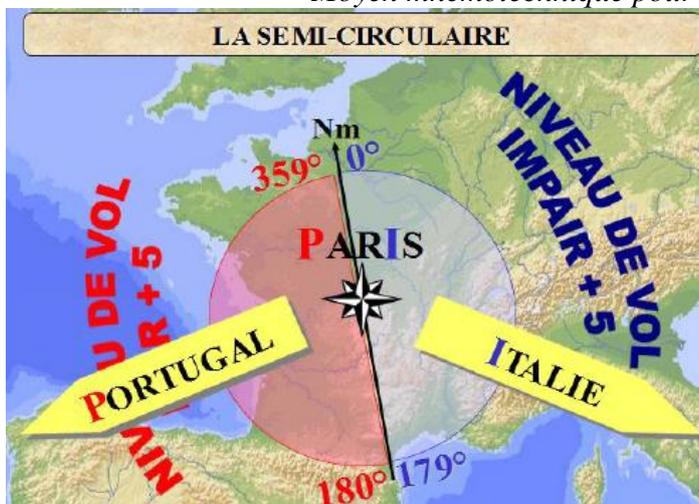
- évitement par la droite.
- dépassement par la droite, l'avion dépassé est prioritaire.
- routes convergentes : priorité à droite, l'avion non prioritaire s'écarte pour éviter la collision.

- c. **Règle de la semi-circulaire** : choix du niveau de vol en fonction de l'altitude pression et du cap magnétique. Voir l'altimétrie dans le chapitre Instruments
 Rappel : On parle d'**altitude** par rapport au niveau de la mer (QNH) AMSL.
 de **hauteur** par rapport au niveau du sol (QFE) ASFC ou AMG.
 de **niveau** de vol par rapport au 1013,25.

altimètre calé sur 1013,25 hpa , rappel : FL 45 veut dire 4500 pieds

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

*Moyen mnémotechnique pour se rappeler pair ou impair

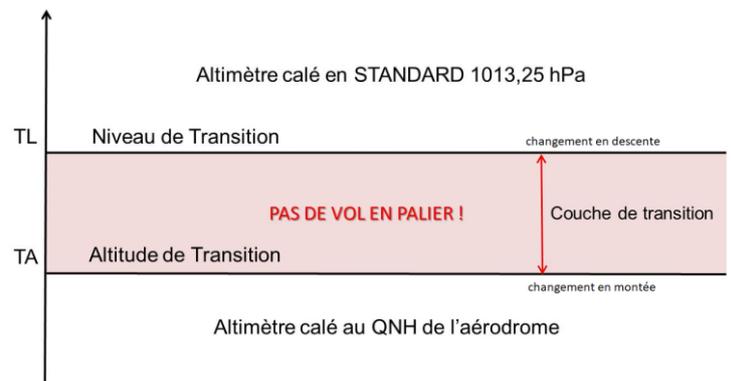


On assure ainsi un espacement de 500 pieds entre un IFR et un VFR.

On assure 1 000 pieds entre deux aéronefs en régime de vol identique, mais de direction opposée. Cette règle s'applique pour les vols d'altitude égale ou supérieure à 3 000 pieds ASFC (au dessus du sol) ou à l'altitude de transition si celle-ci est définie dans un espace aérien donné.

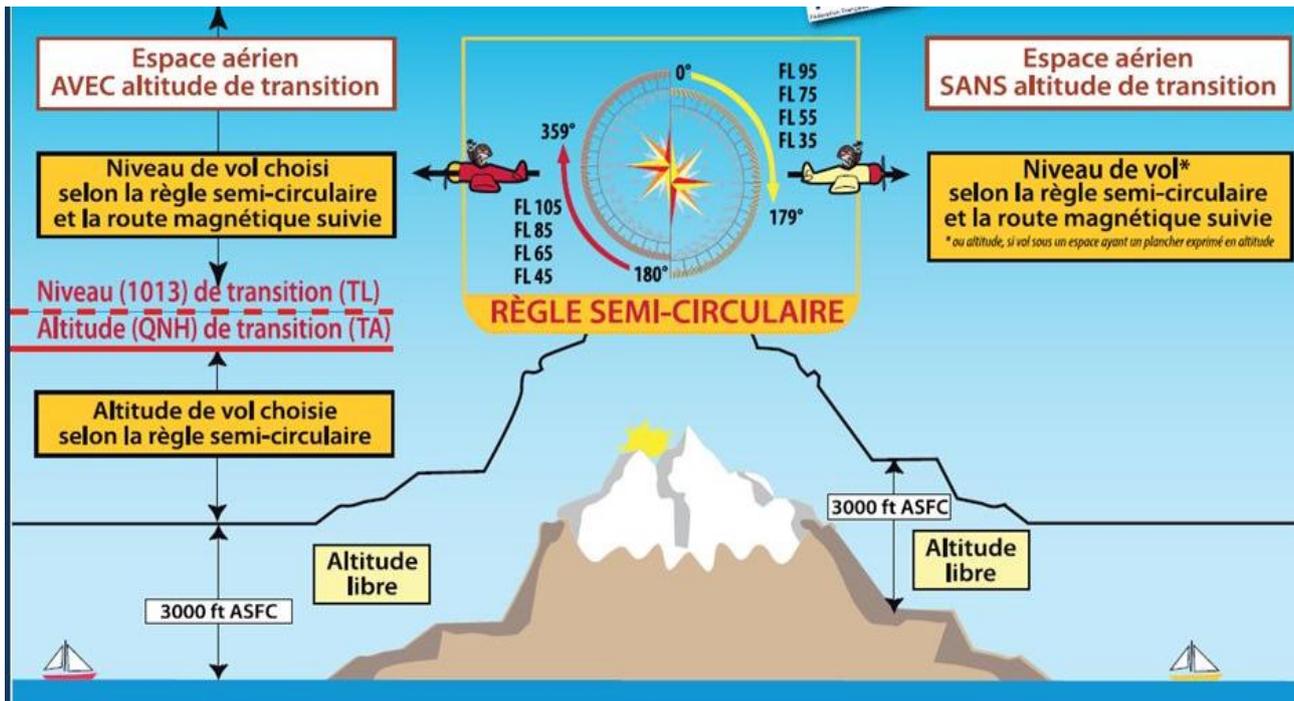
En effet, les organismes de contrôle définissent parfois une **altitude de transition** (TA) par rapport au QNH régional souvent 5000ft ; à cette altitude est associé le **niveau de transition** qui est le 1^{er} niveau de vol IFR utilisable au dessus de l'altitude de transition.

Au dessous de l'altitude de transition on vole au QNH. Au dessus du niveau de transition, on vole en niveau de vol, calage 1013,25 hpa ;

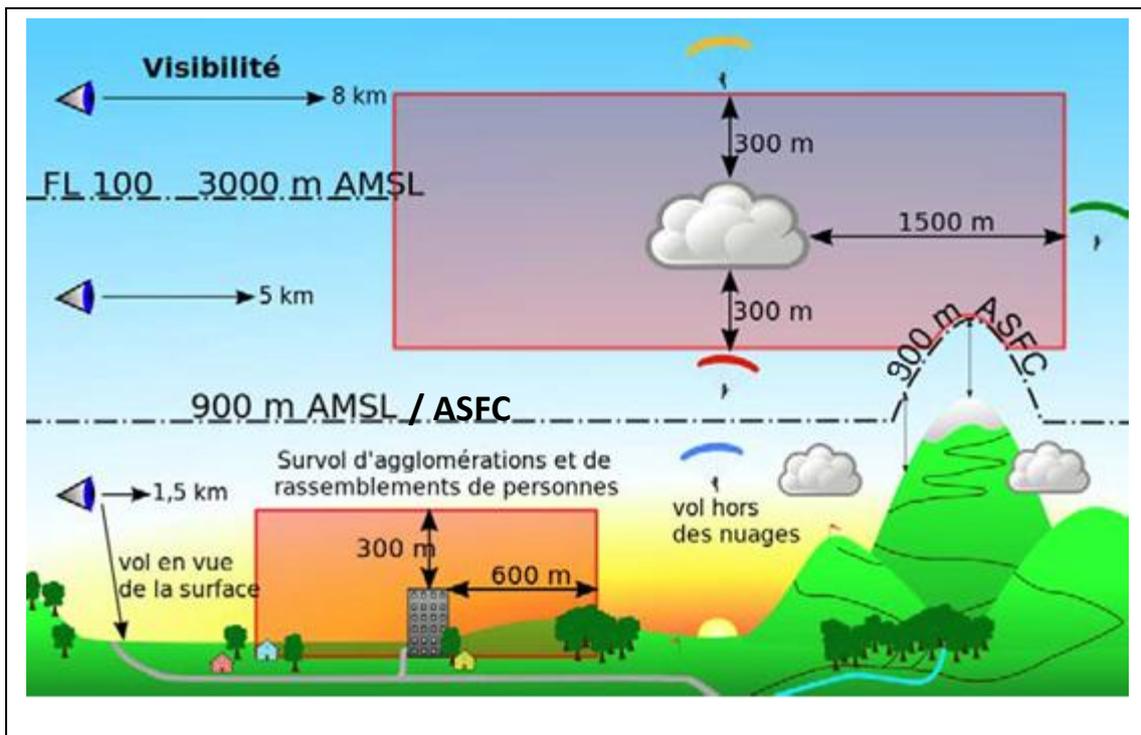


Le changement de calage se fait à l'altitude de transition en montée et au niveau de transition en descente.

Entre les 2 : la couche de transition :
il est interdit de voler en palier dans cette couche de transition.



Les limites du vol à vue : VMC et IMC



d. fréquences à connaître :

Fréquence de détresse 121.5

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

6. Service d'alerte

Fourni à tous les aéronefs sous plan de vol, aux aéronefs dont la présence est connue des organismes de la circulation aérienne

Phases d'urgence : (liées au plan de vol)

- incertitude : incerfa
- alerte : alerfa
- détresse : détresfa

L'urgence : toute situation où des difficultés contraignent un aéronef à atterrir

Signaux visuels : allumage et extinction répétée des phares d'atterrissage

Message radiotéléphonique : Panne-panne répété 3 fois

La détresse : il existe une menace de danger grave et imminent, un secours immédiat est demandé

Message radiotéléphonique : Mayday-mayday répété 3 fois

Radiobalise de détresse fonctionnant automatiquement à l'impact : elle émet sur deux fréquences 121,5 et 243 Mhz. En sont dispensés les planeurs, les CNRA, les avions en vol local (moins de 25 NM de l'AD de rattachement).

Tout message de détresse doit être lancé sur la fréquence de l'organisme avec lequel on est en contact, sinon sur 121,5.

Téléphone d'urgence aéronautique

Le **numéro 191** est un numéro d'appel gratuit, utilisable 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

Il est utilisable par tout usager en situation de détresse, par tout témoin direct d'un accident d'aéronef, ou par toute personne inquiète de la disparition d'un aéronef et de ses occupants.

INFRACTIONS ET INCIDENTS

Infraction : Non respect d'une des règles de la circulation aérienne.

Constatées par gendarmerie, DGAC, police aux frontières (organismes de contrôle contre aéronefs).

Incidents : chaque fois que la sécurité d'un aéronef est mise en cause.

- par un autre aéronef : procédure « RISQUE D'ABORDAGE » ancien^t AIRPROX.
- les services de la circulation aérienne : « RECLAMATION »

RADIOTELEPHONIE

Fréquences VHF : 118 à 136,975 Mhz : postes à 760 canaux espacés de 25 khz.

Depuis le 1^{er} janvier 2001, tous ces postes doivent être remplacés par des postes avec espacements de 8.33 khz donc avec trois fois plus de fréquences disponibles

* Alphabet :

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

* Les nombres : Les nombres composés d'un chiffre s'énoncent en français sauf : 1 dit « unité »

Les nombres à plusieurs chiffres s'énoncent par une série de chiffres séparés, 00 se dit « cent », 000 se dit « mille » ex 2300 : deux trois cent ; la virgule se dit « décimale »

* Expressions conventionnelles :

Affirme – autorisé – break break – collationnez – négatif – reçu – wilco

* Lisibilité des messages :

1 illisible – 2 lisible par instant – 3 difficilement lisible – 4 lisible – 5 parfaitement lisible

* On doit collationner toutes les données sauf météo

TRANSPONDEUR

Codes particuliers :
7700 : détresse
7600 : panne radio
7500 : détournement

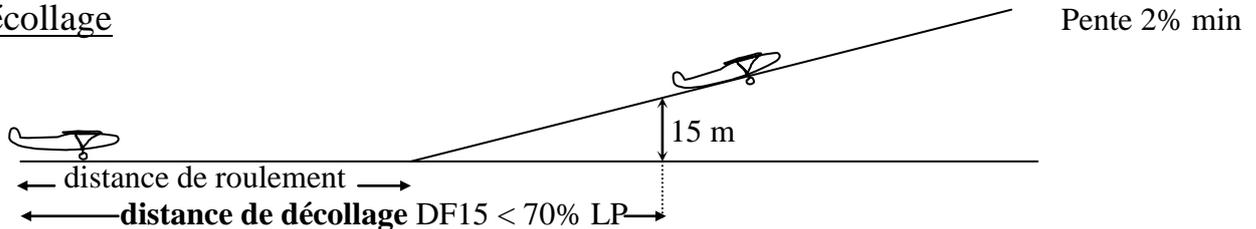
[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 4](#)

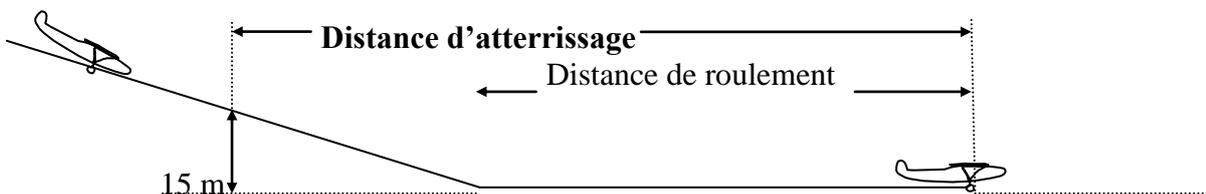
Chapitre 2 : REGLEMENTATION PROPRE A L'AERODROME

La piste : de dimensions variables, elle peut être en dur (béton, ciment, goudron), ou en terre battue ou gazonnée. Caractérisée par son numéro de piste : ex : piste 26 (260° : entre 255° et 264° magnétique). Possibilité de seuil décalé, d'un prolongement d'arrêt, d'un prolongement dégagé. Comme toujours on décolle et on atterrit face au vent.

Le décollage



L'atterrissage



Approche : pente de 5 % (3°)

Approche finale : L'autorisation d'atterrissage ne peut être donnée que si la piste est dégagée

Procédures d'atterrissage

→ En VFR : Le circuit d'aérodrome

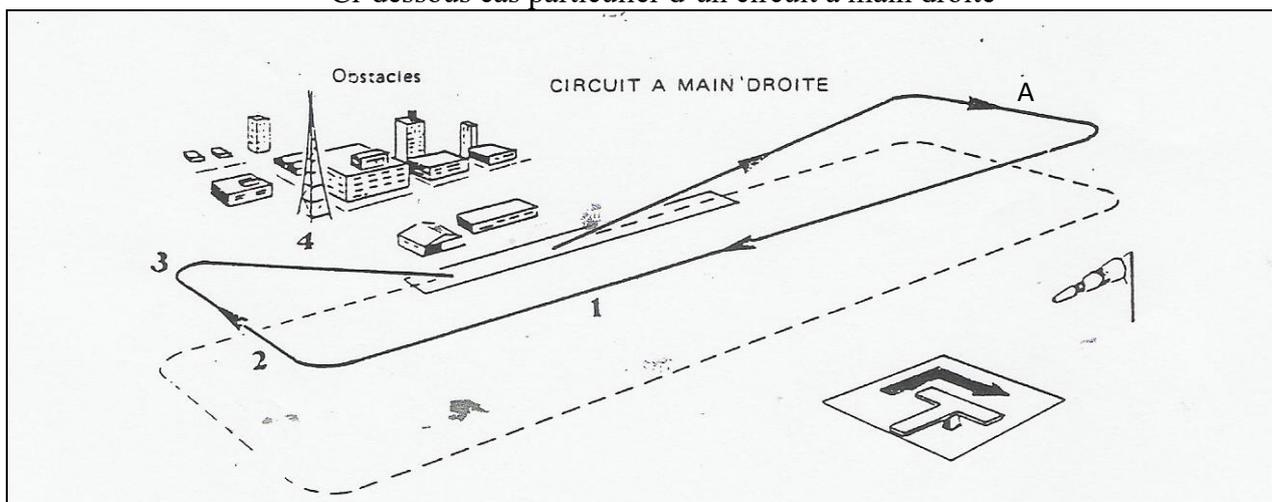
Le pilote doit s'y intégrer :

- * avec l'accord du contrôle si l'AD est contrôlé
- * de façon à assurer la sécurité si non

Montée initiale – vent traversier – vent arrière – étape de base – (dernier virage) – finale.

Le circuit type se fait à 1000 ft sol et à main gauche.

Ci-dessous cas particulier d'un circuit à main droite

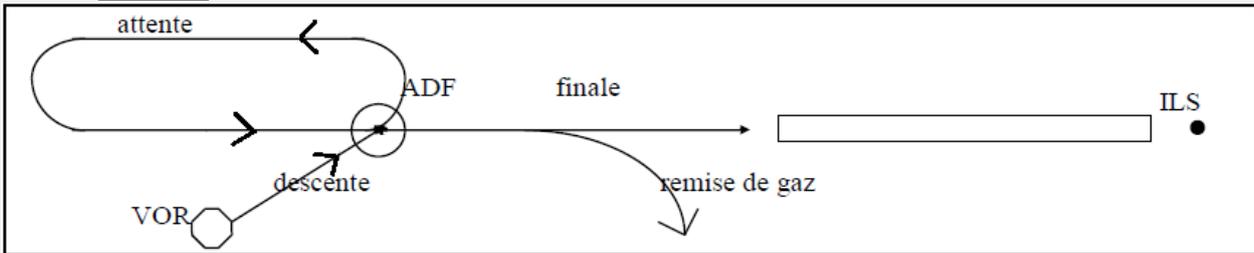


Un avion en 1 est dit en « vent arrière », un avion en 2 est dit en « étape de base »

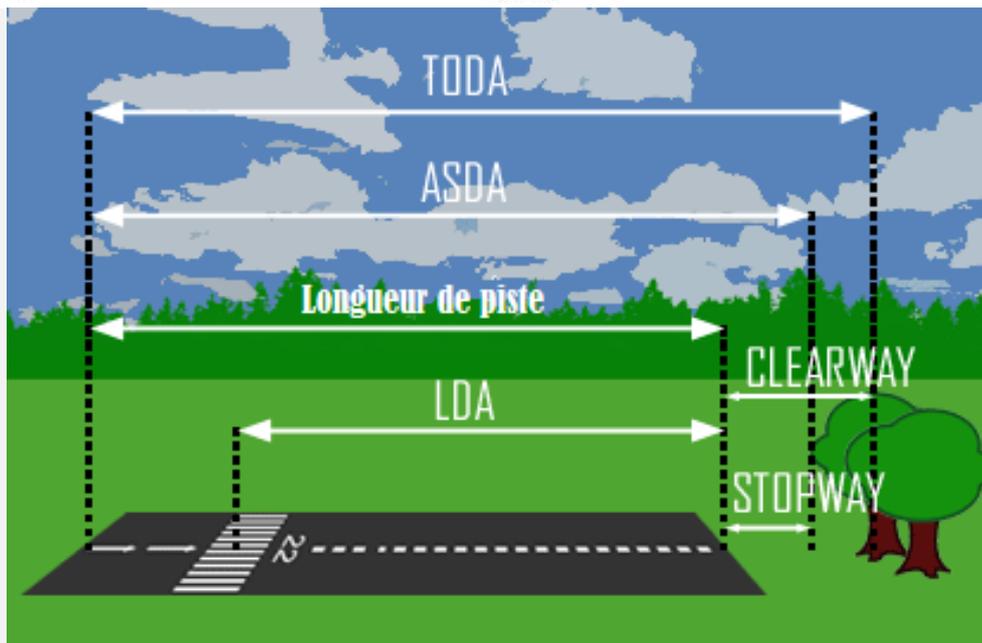
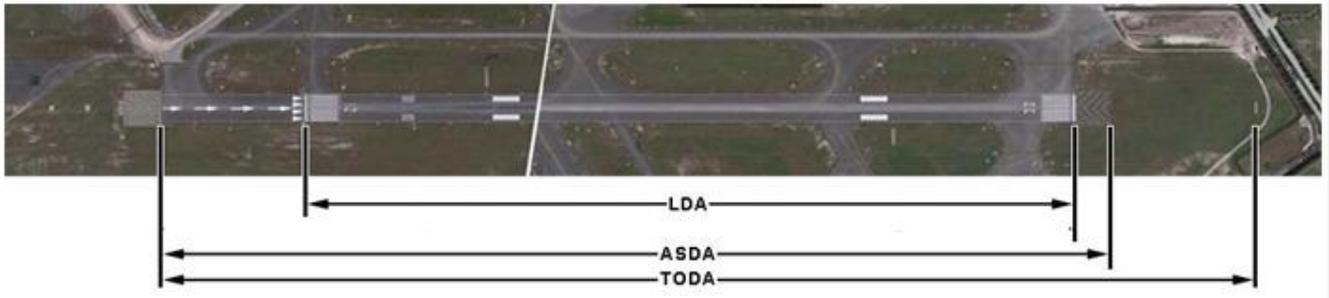
Un avion en 3 est dit en « dernier virage », Un avion en 4 est dit en « finale »

La première branche A en tournant après le décollage et la montée initiale est dite "vent traversier" mais ne participe pas réellement du circuit.

→ En IFR : Vol aux instruments



Dimensions d'un aéroport



- **TODA** (Take-Off Distance Available) : Distance utilisable au décollage, augmentée du prolongement dégagé.
- **ASDA** (Accelerate-Stop Distance Available) : Distance utilisable pour l'accélération-arrêt,
- **LDA** (Landing Distance Available) : Distance utilisable à l'atterrissage,

Signaux visuels au sol



Atterrissage interdit



Précautions spéciales à l'atterrissage



Direction d'atterrissage
←



Virage à droite après décollage et avant atterrissage



Piste ou voie de circulation fermée



Atterrissage, décollage et circulation uniquement sur pistes et taxiways



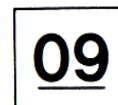
Vols de planeurs en cours



Vols d'hélicoptères



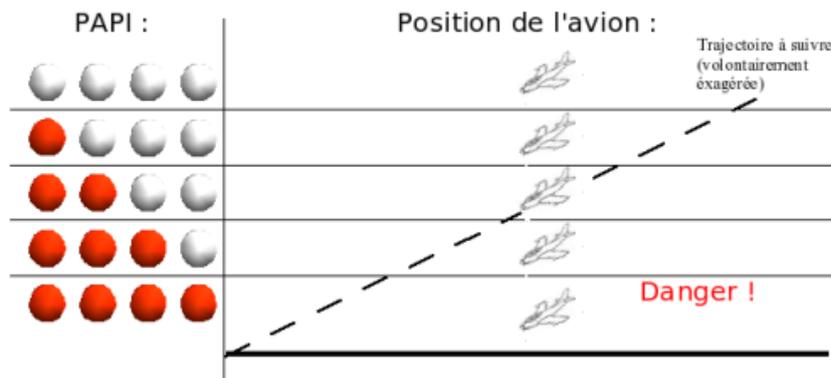
Parachutages en cours



Ces symboles, placés verticalement sur la tour, indiquent la tour de contrôle et la piste en service

Aides à l'atterrissage

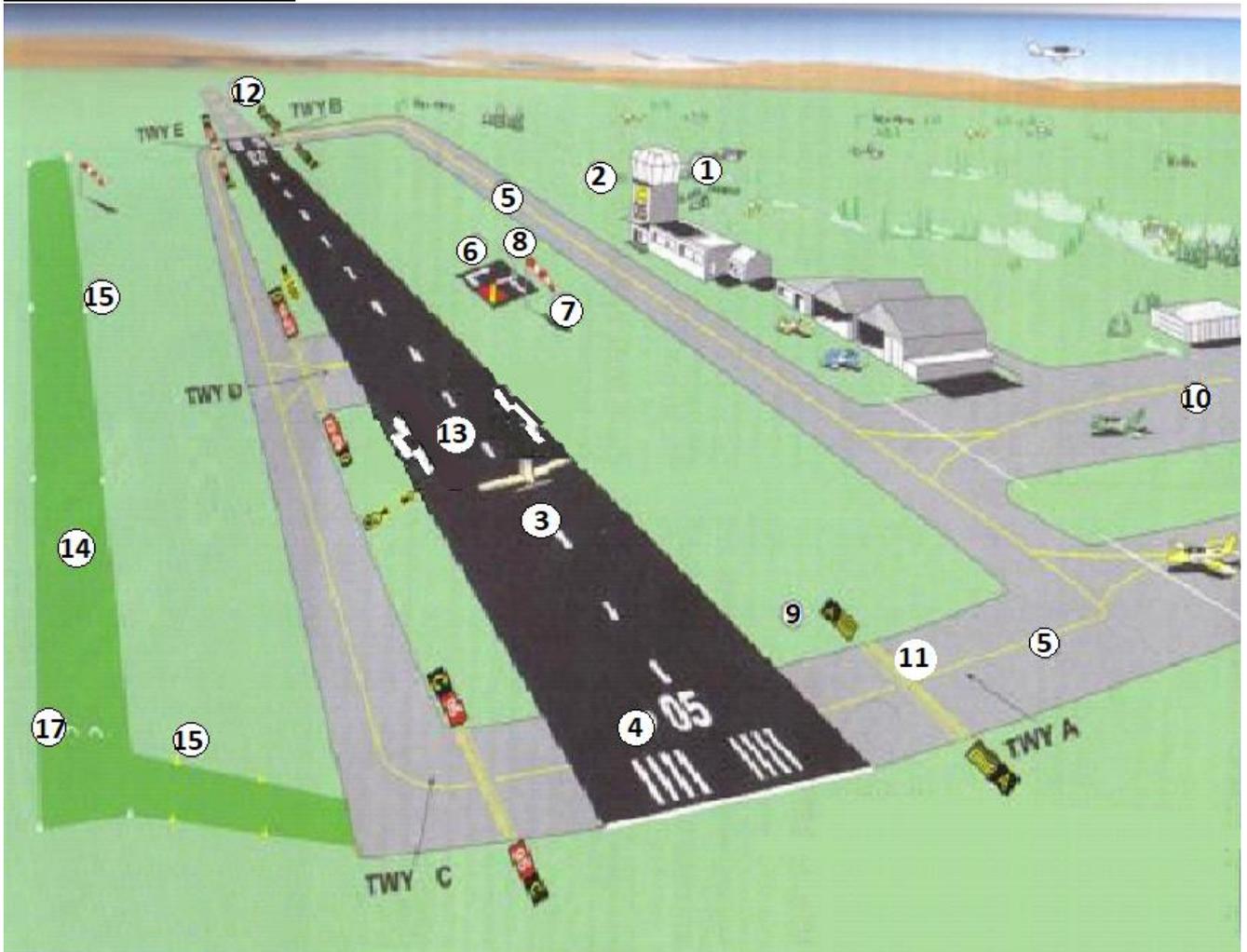
- **PAPI** (*Precision Approach Path Indicator* ou indicateur de pente d'approche)



- **VASI** (*Visual Approach Slope Indicator*)

Trop haut !		Bye Bye, vous « overshootez » la piste!
C'est bien !		Bonne Route!!
Trop bas !		Redresse, Redresse!!
Jamais !		White over Red: You are dead!!!

Aire de mouvements



1 Bureau de piste	6 Aire à signaux	10 parking avions	14 Piste en herbe
2 Tour de contrôle	7 « Té »	11 Point d'attente	15 Balises de taxiway
3 Piste en dur	8 Manche à air	12 Prolongement d'arrêt	17 Seuil décalé
4 N° de piste et seuil	9 Balises	13 Posé IFR	
5 Taxiway TWY			

Le bureau de piste (1) est situé près de la tour de contrôle, son rôle est :

- Vérification des documents règlementaires
- Liaison entre l'équipage et le CIV (centre d'information de vol), compagnies et responsables de la circulation aérienne
- Centralisation des renseignements concernant l'infrastructure, les mouvements d'avion...
- Perception des taxes d'atterrissage

La tour de contrôle TWR (2) :

Le service de contrôle est rendu par un fonctionnaire de l'Aviation Civile. Trois fréquences 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)

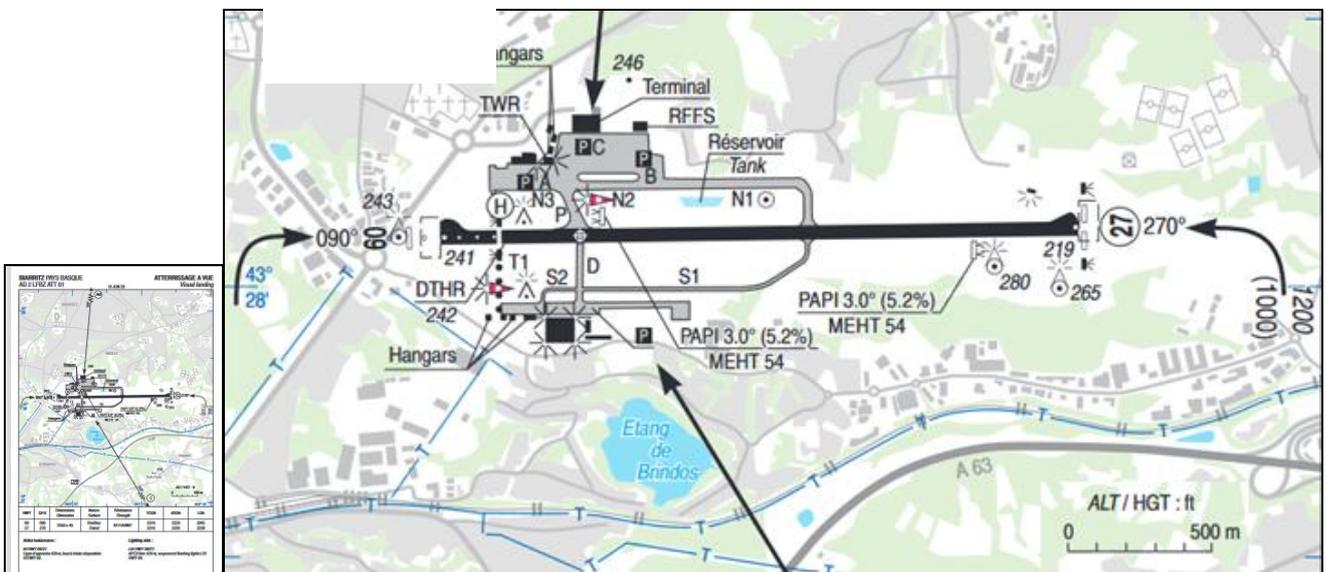
Le numéro de piste (4) est en dizaines de degrés par rapport au nord magnétique. Ici, 05 donc piste orientée au 50°. Dans l'autre sens ce sera la piste 230° (50+180) et donc notée 23.

Carte d'aérodrome : carte **VAC** (*Visual Approach Chart*) : **Exemple de Biarritz**



APPROCHE A VUE <i>Visual approach</i>	Ouvert à la CAP Public air traffic 18 JUN 20	BIARRITZ PAYS BASQUE AD 2 LFBZ APP 01	
		ALT AD : 245 (9 hPa) LAT : 43 28 06 N LONG : 001 31 52 W	LFBZ VAR : 1°W (15)
1.175 18.230 ☎ 05 59 22 43 72 BIARRITZ Approche/Approach 125.600 18.700 (L) : 121.950			
			VDF ILS/DME RWY 27 BZ 111.35

En haut à droite on que tout d'abord le nom du terrain « **BIARRITZ PAYS BASQUE** ». En gras « **BIARRITZ** » signifie que pour les communications radios, vous devez utiliser ce nom abrégé. En dessous, on distingue les activités exercées sur l'aérodrome (avion, hélicoptère). Dans le cadre suivant, ce sont les données de localisation comprenant les coordonnées GPS et l'altitude. Ici, l'altitude est de 245 m, on retrouve l'altitude pression 9hPa. En dessous, ce sont les données concernant le contrôle du terrain.



Cette carte contient beaucoup d'éléments très importants, entre autres : les flèches indiquant le sens des tours de piste : en 09 tour de piste main droite et en 27 tour de piste main gauche. Au départ de la flèche en 27, on lit : 1200 (1000). Cette information concerne l'altitude des tours de piste : 1200 ft QNH (1000 ft de hauteur). Toutes les altitudes sur la carte sont signalés en ft QNH.

En dessous de la carte, dernière chose importante pour le cdb, il y a un cartouche avec les informations concernant chaque piste : son QFU (orientation magnétique), ses dimensions (longueur x largeur en mètres), son type de surface (revêtue, herbe,...), sa résistance, et les valeurs des TODA (Take-Off Distance Available), ASDA (Accelerate-Stop Distance Available) et LDA (Landing Distance Available). Avec ces valeurs, vous allez pouvoir déterminer si votre appareil est apte ou non à atterrir ou décoller de ce terrain.

RWY	QFU	Dimensions <i>Dimension</i>	Nature <i>Surface</i>	Résistance <i>Strength</i>	TODA	ASDA	LDA
09	090	2250 x 45	Revêtue	62 F/A/W/T	2310	2250	2045
27	270	2250 x 45	Paved	62 F/A/W/T	2310	2230	2230

[retour au sommaire général](#)

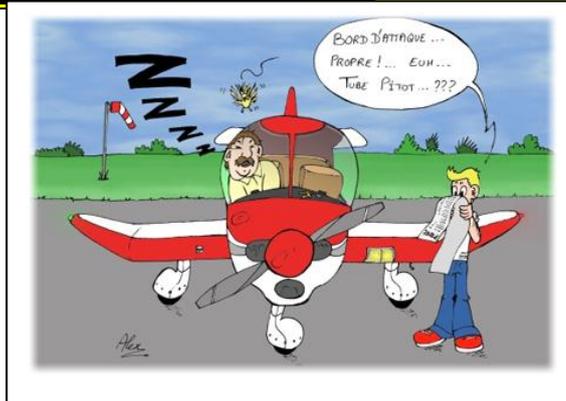
[retour au sommaire 4](#)

Chapitre 3 : 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** ».

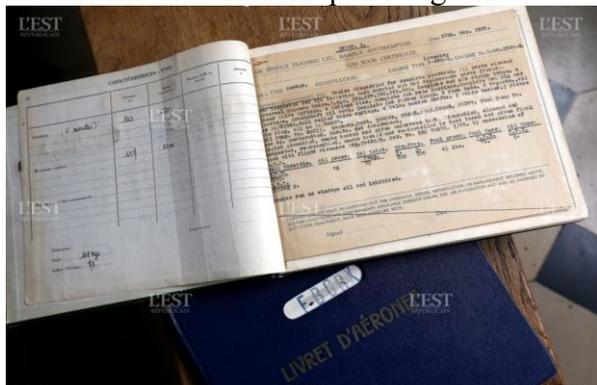
Si le mécanicien effectue une réparation sur un avion en situation « V » mais arrêté de vol, il marque sur le carnet de route une

« **APRS** », approbation pour remise en service.

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 général](#) [retour au sommaire 4](#)

Chapitre 4 : LICENCES 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 pilote privé avion (PPL)** : Europe et Monde

* 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 et 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 léger « 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)

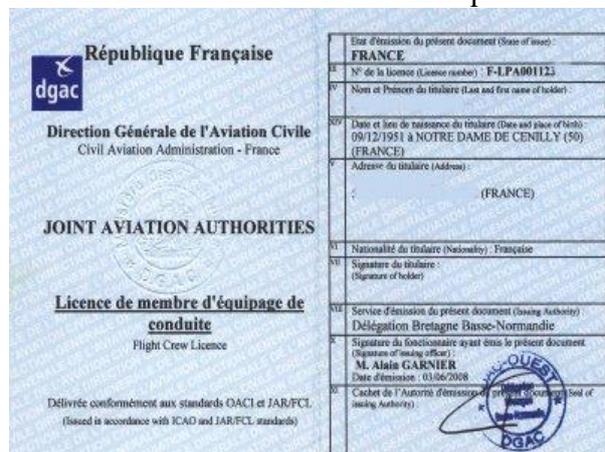
• Médical : Une visite médicale adaptée et propre au LAPL . Le recours au médecin généraliste prévu dans la réglementation européenne n'est pas envisagé en France (Ordre des médecins).

* Validité : le LAPL(A) a une validité « glissante » : le pilote devra toujours pouvoir justifier, dans les 24 mois précédant son vol, de :

→ Au moins 12 heures de CDB incluant 12 décollages et 12 atterrissages

ET → D'un vol d'entraînement d'une heure minimum avec un instructeur.

S'il ne justifie pas de cette expérience, le pilote devra, soit faire un test en vol avec un Examinateur 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.

Changement important en 2020 fin du brevet de base

Au revoir Brevet de Base, bonjour ABL !

Le Brevet de Base « européenisé », renaît de ses cendres sous la forme d'une « *autorisation de vol solo sans supervision* » baptisée **ABL (Autorisation de Base LAPL)**, délivrée non plus par la DGAC, mais par le responsable pédagogique de l'école de pilotage ATO ou DTO. Il pourra, en fonction des compétences de son élève, lui délivrer (ou lui retirer) cette autorisation de vol **en solo** sans supervision d'un instructeur,

- * dans un rayon de **25 Nm** autour de l'aérodrome de base,

- * **dès 16 ans**.

La délivrance de cette autorisation ne donne pas lieu à l'émission d'un titre mais seulement à une inscription sur le carnet de vol, les conditions minimales restant :

- * au moins **6 h de double** commande et **4 h de solo supervisé**

- * au moins **20 atterrissages** « solo supervisé»

- * du côté théorique : L'obtention du **BIA** permettra avec un complément de formation enseigné par l'instructeur en présentiel de prétendre à cette autorisation de vol solo.

Pour les non titulaires d'un BIA, passer un LAPL ou un PPL théorique sera nécessaire.

Les extensions, accessibles avec complément de formation restent également d'actualité emport passagers, restriction interdisant l'atterrissage sur un aérodrome autre que celui de départ etc..., avec à noter une formation théorique supplémentaire basée sur l'acquisition de compétences non-techniques (facteurs humains) pour la qualification « emport de passagers », en plus des 10 heures de vol en solo nécessaires.

Pas encore d'autorisation additionnelle voltige. En discussion!

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 4](#)

Chapitre 5 : SECURITE DES VOLS

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.

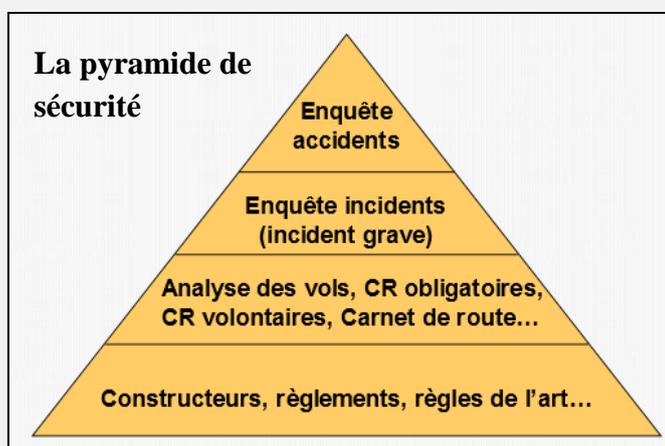
- **Règles communes de sécurité** : Elles sont applicables de manière uniforme dans toute l'UE (règles aussi améliorées au niveau international avec l'OACI et grâce à une coopération technique avec les pays tiers et la signature d'accords de sécurité avec les principaux partenaires en Europe et au-delà). La Commission Européenne collabore 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.

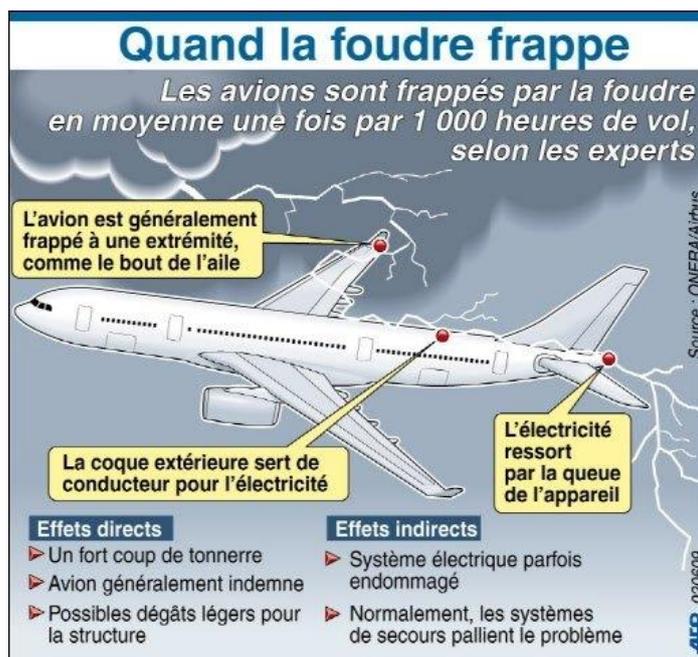
- **Les retours d'expériences (Rex ou Retex)** sont analysés à partir des enquêtes qui suivent les accidents ou certains incidents.



- **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



Le Bureau Enquêtes Accident

Sa mission :

- Continuer à améliorer la sécurité aérienne et maintenir la confiance du public au travers de ses enquêtes et études de sécurité conduites en toute indépendance avec efficacité et impartialité.
- Contribuer à la qualité et l'objectivité des enquêtes à l'étranger auxquelles il participe, a minima pour ce qui concerne les organismes français impliqués.
- Exploiter et mettre en valeur les données et enseignements de sécurité acquis par le BEA pour la prévention de futurs accidents en aviation civile.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 4](#)

Chapitre 6 : 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, obésité, insuffisance cardiaque ou respiratoire, hypotension artérielle, hypoglycémie, varices ; âge ; stress ; exercice physique avant le vol ; Tabac et alcool

Pas de plongée sous-marine moins de 24h avant le vol

- 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

MECANISMES DE L'EQUILIBRE ET DE L'ORIENTATION SPATIALE

a. 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...)

b. 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.

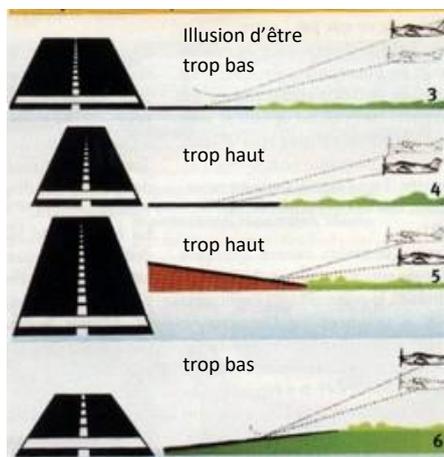
TROUBLES DE L'ORIENTATION

✚ On voit ce que l'on veut bien voir
✚ On voit ce que l'on peut voir
✚ On voit ce que l'on a appris à voir

- 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
- Rapport taille / distance et pistes en pente



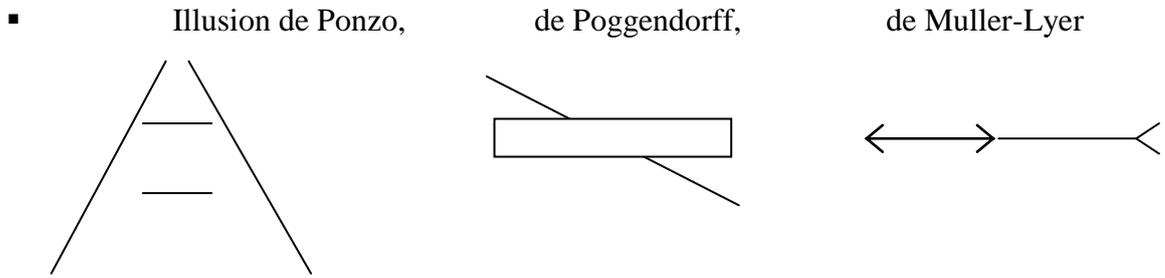
Les dimensions de la piste :

- une piste courte semble plus loin qu'une piste longue ;
- une piste large semble plus courte qu'une piste étroite.

Le pilote a donc tendance à se présenter :

- trop haut sur une piste longue et large.
- trop bas sur une piste étroite et courte

- 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



- **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**

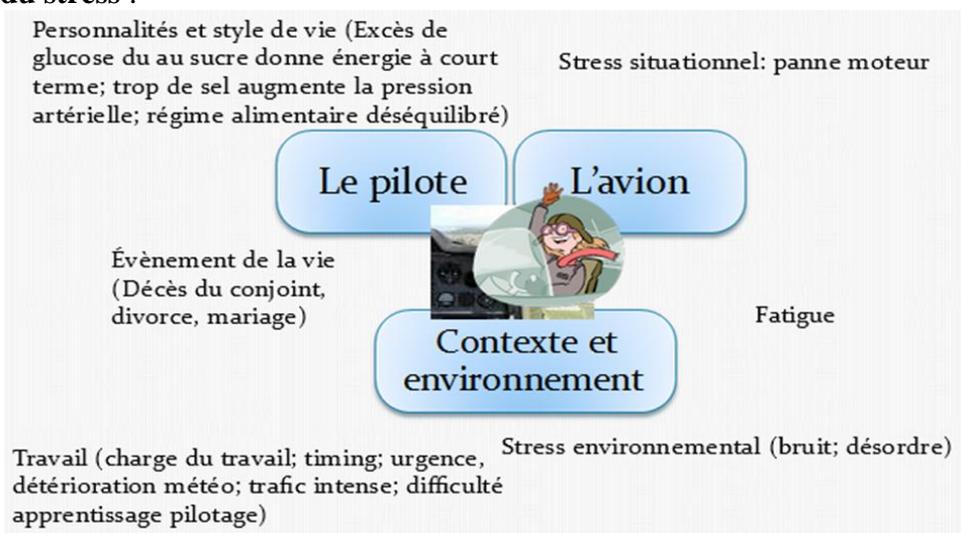
- Adapter nos facultés d'interprétation des sens naturels
- Connaître nos limites en matière de vol aux instruments
- Entraînement au vol aux instruments
 - Adapter sa vision de nuit : Période d'adaptation de l'ordre de 20 min ; Réduire au minimum l'environnement lumineux ; Utilisation préférentielle 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 mouvements continus des yeux et modifications légères de la position de la tête
- Vol sans visibilité**
 - Risque de désorientation temporo-spatiale, due à une discordance entre les informations: visuelles, vestibulaires et proprioceptives
 - Qualification IFR (Instrumental Flight Rules) + avion IFR + pilote entraîné !!!

La perte de référence visuelle est la première cause d'accident mortel en aviation légère. C'est aussi une des principales causes de perte de contrôle en vol.

Selon une étude canadienne, il reste en moyenne 178 secondes à vivre à un pilote qui perd les références visuelles, s'il n'a pas de notions de vol aux instruments (de 20 à 480s).

LE STRESS

- Obéit à un mécanisme physiologique faiblement contrôlable par la volonté
- N'est pas provoqué par les situations de l'environnement, mais par leur interprétation
- **Source du stress :**



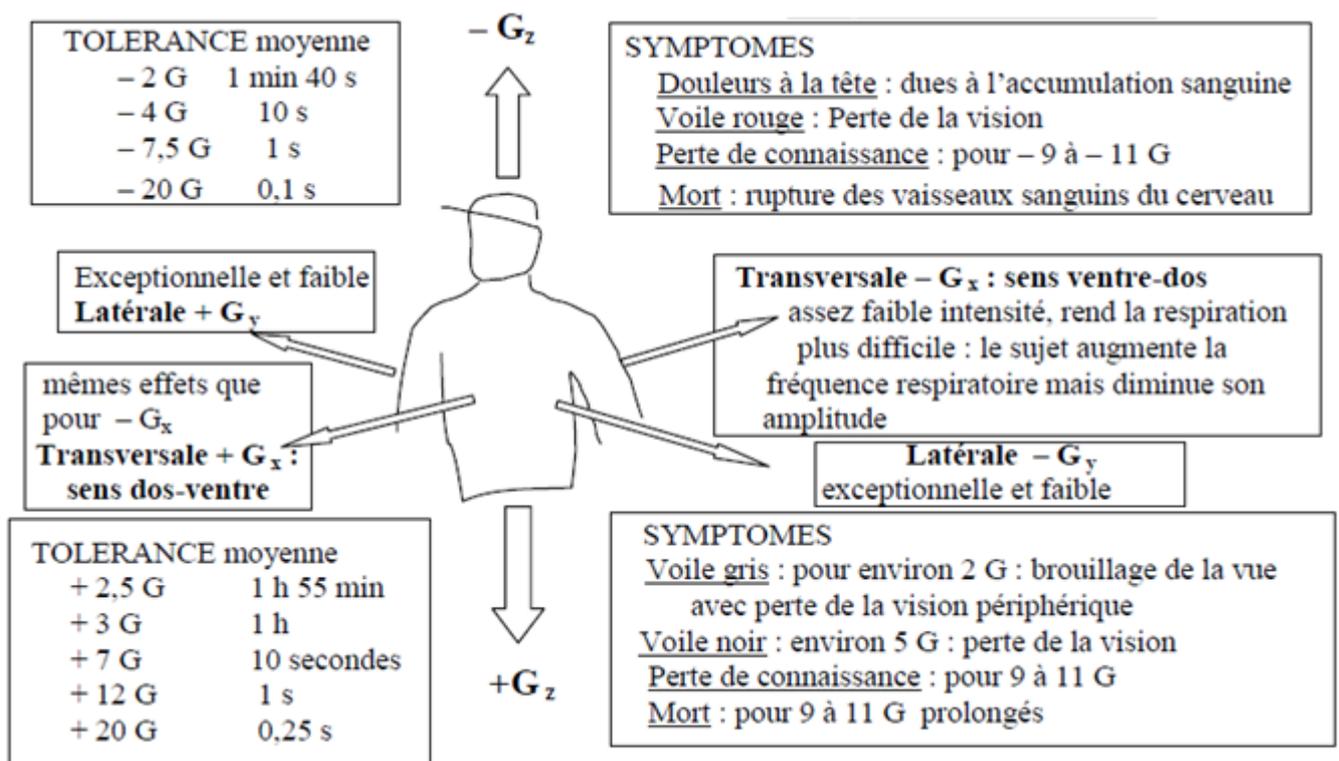
➤ Réactions émotives du stress ; symptômes comportementaux

- Bouche sèche, fonctions organiques auxiliaires neutralisées
- Le stressé est tendu, il ne peut agir avec précision, parfois brutalité
- La « tunnelisation » : la pensée devient réductive : schéma mental unique : pas de raisonnement possible ; les alarmes ne sont pas perçues
- Tendance au biais de confirmation, parfois jusqu'à l'absurde : effet de régression
- Fixation, blocage, impossibilité de revenir en arrière : excès de précipitation ; apathie ou agressivité ; Diminution des plans d'action, actions précipitées, appauvrissement des solutions possibles
- Augmentation des comportements à risque et des violations
- Hyperactivité : il faut agir à tout prix : le pilotage devient instable, désordonné
- Agressivité ou passivité totale dans les relations avec les autres : contrôleurs, passagers...

➤ La gestion du stress

- 1) S'occuper de l'avion : faire simple, revenir à l'essentiel, le faire voler !
- 2) S'occuper de soi : reprendre le contrôle en réorganisant sa respiration ; pas d'imagination déplacée. C'est le commandant de bord qui décide ; ne jamais baisser les bras ; retrouver une balise de « départ » pour un nouveau cycle de réflexion
- 3) S'occuper de l'extérieur : demander de l'aide à la radio ; utiliser les ressources de l'équipage

EFFET DES ACCELERATIONS



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 4](#)

Chapitre 7 : NAVIGATION

1. REGLEMENTATION

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 aéroport 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 (Notice To Air Man)

Diffusés par le SIA, consultable dans les BIA, sur le site du SIA, 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.

Dans tous les cas, on doit clôturer un plan de vol.

VFR « on top »

Au dessus des nuages mais trous au départ et à l'arrivée.

Interdit en dessous de 3000ft AMSL ou 1000ft ASFC.

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.

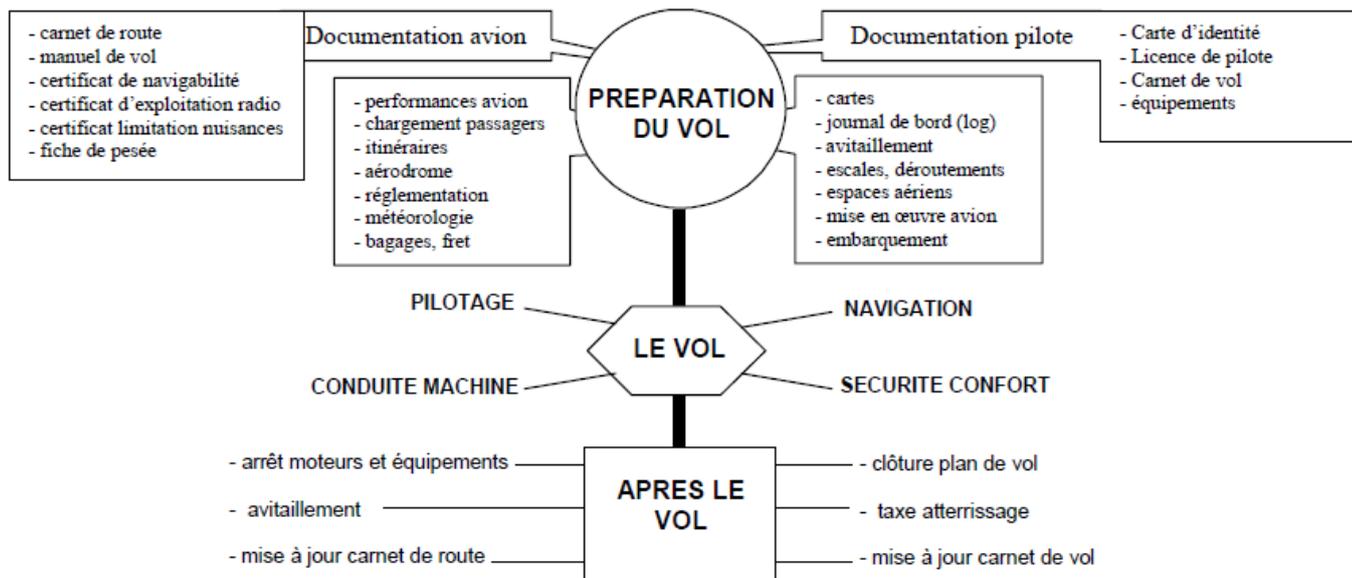
Equipements de survie : les avions, hélicoptères et planeurs évoluant dans des secteurs où les opérations de secours sont difficiles (vol en montagne...) doivent avoir à bord un dispositif de signalisation et du matériel de survie.

Equipement en oxygène

a) l'équipement en oxygène et son utilisation sont laissés à l'appréciation du pilote (qui sait!)

b) 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



Les obligations du commandant de bord

- Visite pré-vol obligatoire.
- Respecter les règles de l'air.
- Emport obligatoire de certains documents :
 - Manuel de vol.
 - Documentation de vol : cartes, couverture météo, log de nav, copie du plan de vol s'il y a lieu.
 - Carnet de route (à remplir au plus tard en fin de journée et après chaque changement de commandant de bord) et documents associés.
 - Documentation pilote (licence, qualif).
- Conditions d'emport de passagers : 3 décollages et 3 atterrissages dans les 3 mois précédents.
- Clôturer plan de vol et tout échange radio.

[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 4](#)

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

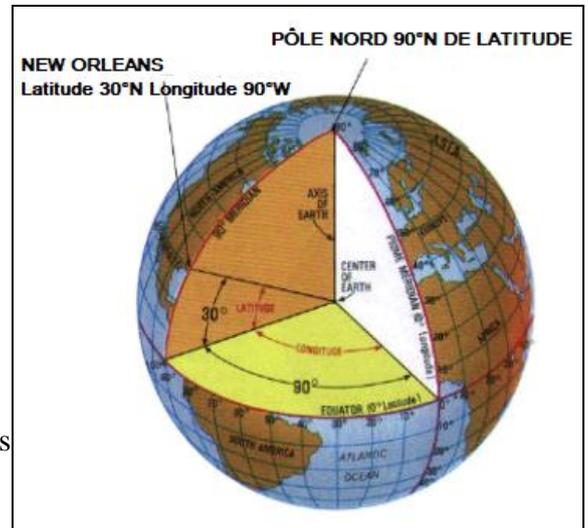
Unités : le kilomètre : km - le mile nautique : NM - (le statute mile: SM 1 SM = 1,609 km)

$$1 \text{ NM} = 1,852 \text{ km}$$

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:

$$\text{une minute d'arc (1')} \text{ mesure: } 1,852 \text{ km soit } 1 \text{ NM}$$

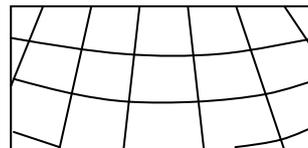


2. LES PRINCIPALES CARTES AERONAUTIQUES

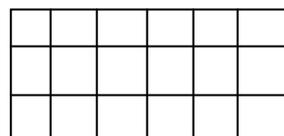
Une carte est une surface plane sur laquelle a été représentée par projection une portion de la surface sphérique de la terre. On appelle canevas la représentation des méridiens et des parallèles

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

3. PRINCIPES DE NAVIGATION

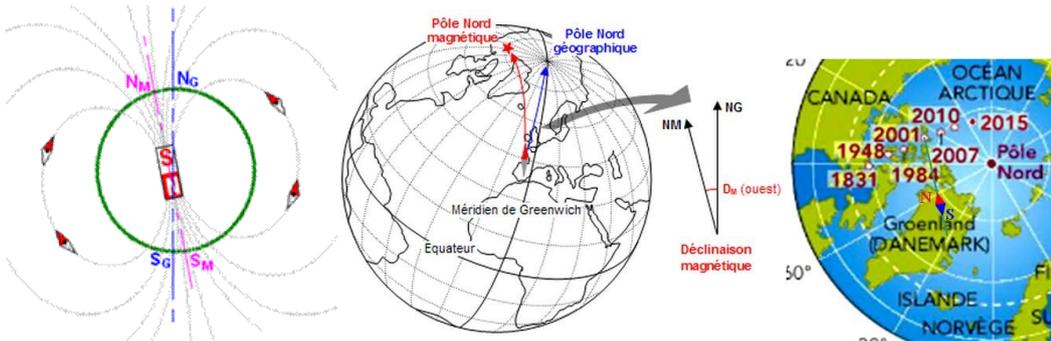
Trois types de navigation :

- * Cheminement
- * Estime (cap - montre)
- * Radionavigation (indispensable ON TOP)

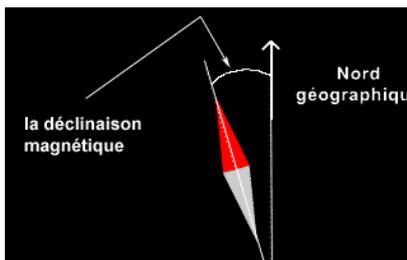
Trois « Nords » possibles :

- * 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

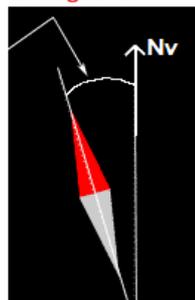
Nord géographique - Nord magnétique



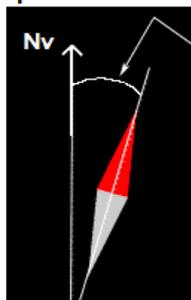
La déclinaison magnétique : D



D Ouest gauche et négative



D Est droite et positive



Nord magnétique - Nord compas

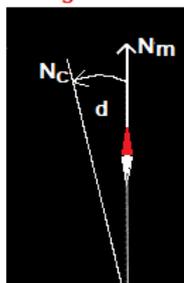


La Déviation : d

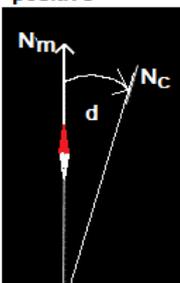
On aurait $C_c = C_m$ si l'avion n'émettait aucune perturbation magnétique, mais entre les masses métalliques et les courants induits, quand on allume des composants, cela génère des perturbations. Elles sont très faibles (souvent moins de 2 ou 3°, et cela dépend du cap, c'est la courbe qu'on a sous le compas).

Par contre, si on met un casque, un GPS ou autre chose dans le genre proche du compas, là, la déviation peut être de 90 ou 180 ° ...

d Ouest, gauche et négative



d Est droite et positive



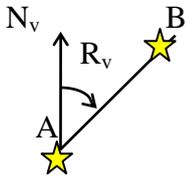
Définition d'un cap :

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

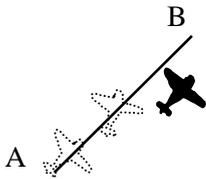
Soient un point de départ A et un point d'arrivée B .



à partir du nord vrai, on détermine sur la carte la route vraie R_v
 à partir de là, en tenant compte du vent, un cap vrai C_v
 à partir du nord magnétique une route magnétique et un cap magnétique C_m
 à partir du nord compas, un cap compas C_c

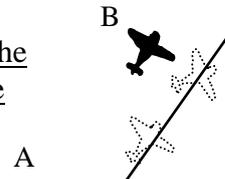
Et s'il y a du vent, il y aura (peut-être) une dérive X.

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 Gauche \longleftrightarrow néGative et Est \longleftrightarrow droite \longleftrightarrow positive

Exemple : On donne les paramètres : $R_v = 250^\circ$, $D = 3^\circ W$, vent du 010/20, dérive 10°
 Calculer le cap magnétique C_m

$D = 3^\circ W$ donc -3 ;

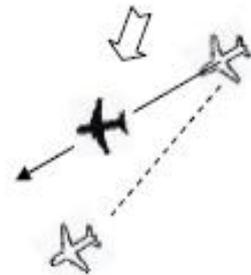
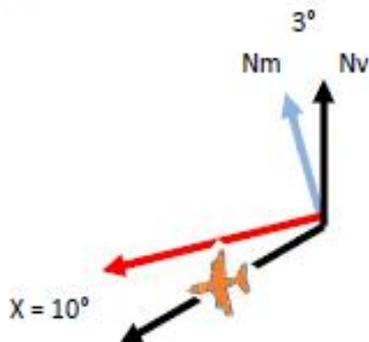
$R_v = 250$ vent du 010 donc le vent vient de la droite donc dérive gauche $X = -10$

Formule :

R_v	X	C_v	D	C_m
Retranchez votre	dérive	cela vous	donnera	chaque mesure

$250 - (-10) = 260$ et $260 - (-3) = 263$

Ou dessin :



[retour au sommaire général](#)

[retour au sommaire 4](#)

COURS DE PREPARATION AU BIA

PARTIE 5

HISTOIRE et CULTURE de l'AERONAUTIQUE et du SPATIAL

Bombe fusée

5700 km/h

Mirage 2000

2340 km/h

Concorde

2179 km/h

Boeing 747

978 km/h

Faucon pèlerin

350 km/h

Canadair

340 km/h

Ecureuil

222 km/h

Dirigeable

126 km/h

Hirondelle de cheminée

100 km/h



Dessin de Tom Cardamone
Paru dans la revue Icare n°97 éditée par le S.N.P.

JACQUELINE ET LOUIS PEÑA

2021

Partie 5

HISTOIRE et CULTURE DE L'AERONAUTIQUE ET DU SPATIAL

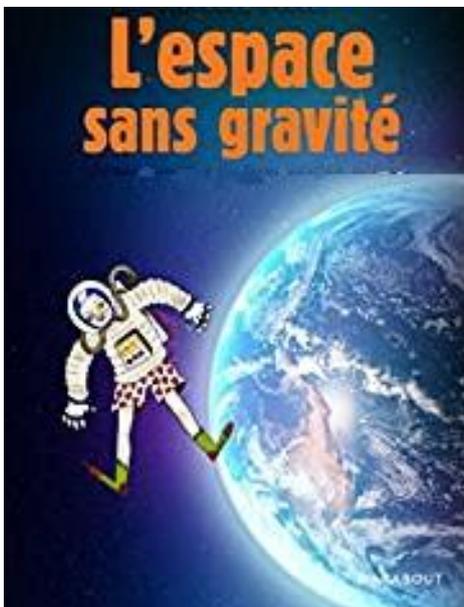
[retour au sommaire général](#)

Sommaire 5

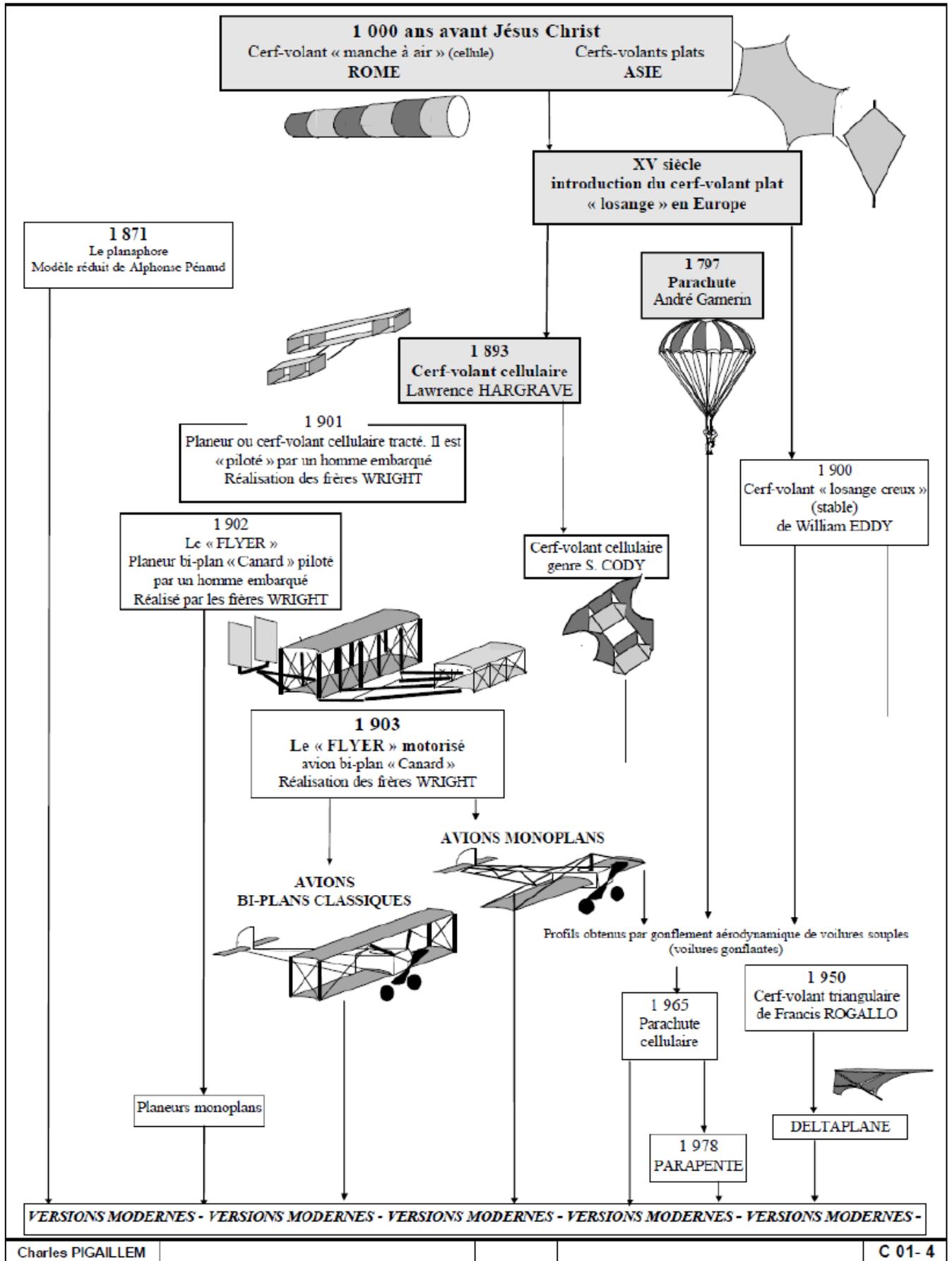
cliquez sur le numéro de page

<u>Introduction</u> : Généalogie des aérodynes	page 195
<u>L'AERONAUTIQUE</u>	
<u>Chapitre 1</u> : Avant 1903	page 196
<u>Chapitre 2</u> : 1903 – 1914	page 201
<u>Chapitre 3</u> : 1914 – 1918	page 206
<u>Chapitre 4</u> : Entre deux guerres	page 210
<u>Chapitre 5</u> : Deuxième guerre mondiale	page 220
<u>Chapitre 6</u> : L'après – guerre : 1945 – 1970	page 224
<u>Chapitre 7</u> : A partir de 1970	page 227
<u>LE SPATIAL</u>	
<u>Chapitre 8</u> : L'espace avant 1970	page 233
<u>Chapitre 9</u> : L'espace entre 1970 et 1999	page 239
<u>Chapitre 10</u> : L'espace à partir de 2000	page 244
1) L'ISS	page 244
2) Les puissances spatiales → Les plus récentes	page 246 page 246

<ul style="list-style-type: none"> → La Russie → La Chine → La France et l'ESA → Les Etats Unis 	<ul style="list-style-type: none"> page 247 page 247 page 251 page 253
3) Le tourisme spatial	page 258
4) Les facteurs politiques et stratégiques	page 258
5) L'espace lointain	page 260
6) Les années 2020-2021	page 261
7) Des missions remarquables <ul style="list-style-type: none"> → Cassini-Huygens → Rosetta-Philae → New Horizons 	page 264 page 264 page 266 page 271
8) L'essentiel depuis l'an 2000	page 273



GENEALOGIE DES AERODYNES



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

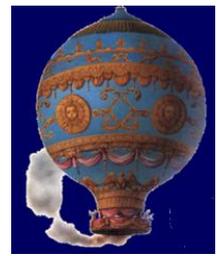
1783 : les frères **Joseph et Etienne MONTGOLFIER** inventent le ballon à air chaud : combustion au sol de paille dont la fumée est dirigée à l'intérieur du ballon : la « MONTGOLFIERE »

Avril : 1^o vol d'un ballon captif.

Septembre : 1^{er} vol devant le roi

Octobre : Pilâtre de Rozier embarque dans un ballon captif

21 / 11 / 83 : 1^o survol de Paris par **PILATRE DE ROZIER et le MARQUIS D'ARLANDES**, du château de la Muette à la Butte aux Cailles : 10 km en 25 minutes



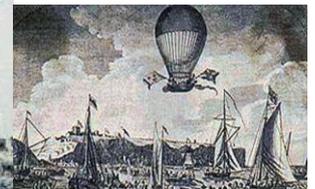
1 / 12 / 83 : Le physicien **Jacques CHARLES**, qui sait comment fabriquer de l'hydrogène, et **Nicolas ROBERT** (mécanicien) font voler le 1^o ballon à hydrogène (enveloppe, filet, soupape, agrès, nacelle, baromètre) : 2 h jusqu'à Nesle-la-Vallée



1784 : Le Marquis de **BRANTE** construit un ballon dont le combustible est de l'esprit de vin et le brûleur fournit une flamme dont l'intensité peut être réglée par l'aérostier en vol. L'air chaud est conduit par une cheminée de métal pour éviter l'incendie; mais ce modèle ne sera vraiment repris qu'au 20^{ème} siècle.

1785 :

17 janvier: 1^o traversée en ballon Douvres-Calais par François **BLANCHARD** et John **JEFFRIES** (ballon à gaz).

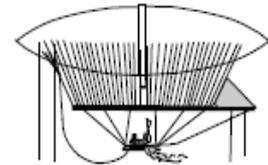


dès **1794** : aérostation militaire

(bataille de Fleurus et siège de Maubeuge).

19^o siècle : domaine scientifique.

1804 : Gay-Lussac monte à 7000 m pour étudier le magnétisme terrestre (2 ascensions).



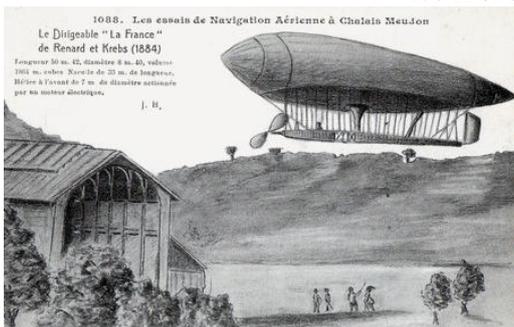
1852 : 1^o vol d'un **dirigeable** piloté par **H.GIFFARD**, propulsé par un moteur à vapeur de Longchamp à Trappes (24 km).

Henri Giffard a conçu une enveloppe de ballon qui ne laisse pas l'hydrogène s'échapper (caoutchouc et huile de lin)

vers **1860** : **NADAR** promoteur de la photographie aérienne.

1870 - 71 : poste aérienne pendant le siège de Paris.

1883 : 1^o dirigeable à moteur électrique inventé par les frères **TISSANDIER** (peu performant).



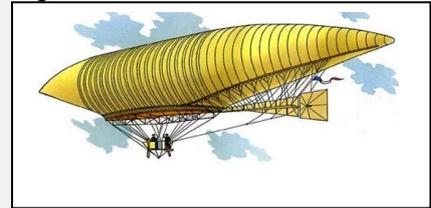
1884 : 9 août: les capitaines **RENARD** et **KREBS** réalisent le 1^o circuit fermé avec leur dirigeable baptisé

« **LA FRANCE** »

1898 : Alberto **SANTOS-DUMONT** construit plusieurs dirigeables moins performants mais gros succès médiatique : influence décisive auprès du grand public comme des industriels

1899 : Les frères **LEBAUDY**, industriels dans le sucre, se lancent dans la construction industrielle de dirigeables à l'aide de leur ingénieur maison Henry **JULLIOT** et un spécialiste de l'aérostation

Edouard **SURCOUF** : 1^{er} appareil « Le Jaune » en 1902 à Mantes la Jolie : un moteur Daimler de 40 CV à essence entraîne 2 hélices propulsives contrarotatives ; dès 1905 commande de l'Armée et en 1908, record d'altitude à 1510 m



De 1890 à 1900 : âge d'or des ballons

Afflux de sportifs et de touristes aisés; image scientifique avec des expériences comme le sondage météorologique de l'atmosphère à partir de 1892.

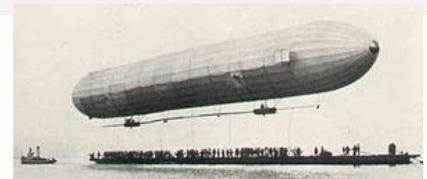
Beaucoup d'associations se créent, en particulier en 1898 « **l'Aéro-Club** » (devenu en 1903 Aéro-Club de France) : sur une idée du Comte Henri de la Valette officiellement créé par arrêté le 9 janvier 1899; 1^{er} président : le Marquis de Dion, créateur de l'Automobile-Club; il crée le 12 juin 1899 la « Coupe des Aéronautes » : 1^{ère} épreuve aérostatique sportive.

20^{ème} siècle :

————> **1904** : voyages au long cours souvent militaires

Domaine sportif avec **SANTOS-DUMONT** (1^o 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.



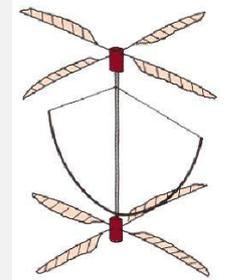
• **VOILURES TOURNANTES**

Précurseur : **LEONARD DE VINCI** a pratiquement tout inventé sur le papier. (vis aérienne hélicoïdale – parachute – ornithoptère – planeur...)

1861 C'est le vicomte de Ponton d'Amécourt qui fit apparaître, pour la 1^{ère} fois, le mot hélicoptère, dans un brevet déposé en Angleterre.

1784 : le 1^o hélicoptère en modèle réduit qui ait volé : maquette à deux hélices réalisée par **BIENVENU** et **LAUNOY**

1796 : Sir Georges **CAYLEY** fait voler un appareil sur le même modèle Rien de plus avant 1906.



• **APPAREILS A AILES BATTANTES** : Beaucoup de tentatives mais sans aucun succès.

• **CERFS-VOLANTS**

connus depuis l'antiquité : cerf-volant « manche à air » à Rome, plat en Asie

* en 1750 mesure des variations de température selon l'altitude (jusqu'à 915 m)

* utilisé en 1752 par **FRANKLIN** pour étudier l'électricité atmosphérique (aboutit au paratonnerre).

* En 1893 un australien **Laurence HARGRAVE** invente le cerf-volant cellulaire amélioré par la suite par Samuel **CODY**

* En 1900 William **EDDY** met au point le cerf-volant « losange creux » stable et à voile gonflante. En France, grande vogue du cerf-volant à partir de 1902 ———> utilisation militaire.

• **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^e siècle : nombreuses descentes spectaculaires à partir de ballons.

Pas de saut d'avion avant 1912.



• **LES PIONNIERS THEORICIENS**

* **Sir Georges CAYLEY** (1773 – 1857)

Inventeur anglais, très vite, il comprend la nécessité de vaincre la résistance de l'air et il représente les forces aérodynamiques; il prévoit que l'homme volera plus facilement en concevant séparément les moyens de sustentation et les moyens de propulsion en préconisant l'hélice et le moteur à gaz ou à explosion; il démontre que les profils creux ont une meilleure portance que les profils plats, il travaille sur les problèmes d'équilibre et de stabilité, invente les empennages et le dièdre.

* **Alphonse PENAUD** (1850 – 1880)

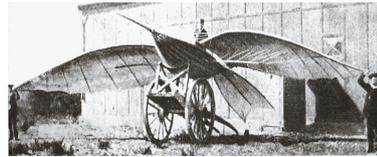
Le premier à utiliser des élastiques pour motoriser des modèles réduits à hélice. Il découvre lui aussi la nécessité des empennages et, le premier, explique la stabilisation du vol par l'empennage vertical (dérive); il prévoit le manche à balai, le train rentrant et l'aile en flèche.

* **Louis MOUILLARD** (1834 – 1897) Ornithologue et ingénieur, il construit plusieurs planeurs et réalise lui-même un vol de 40 m au ras du sol. Il invente le gauchissement par torsion de l'aile ; à partir de 1881 il publie de nombreux ouvrages qui inspireront notamment Octave CHANUTE et les frères WHRIGT

• **PLANEURS**

Au début seulement considéré comme un moyen d'aboutir au vol mécanique;

précurseur : L. de VINCI

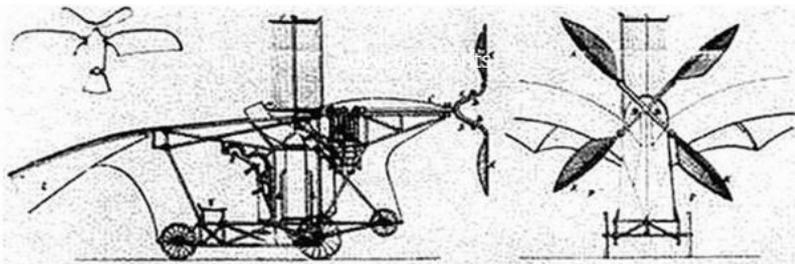


- **1856 - 1868** : quelques vols de **Jean-Marie LE BRIS**
- œuvre surtout théorique de PENAUD et MOUILLARD. (à la base de tous les vols futurs mais sans découvrir la cause du vol à voile). Presque tout est inventé en modèle réduit : Félix du Temple, Tatin, Goupil...
- Le père du planeur : **OTTO LILIENTHAL** (1848-1896) a construit des planeurs ancêtres des deltaplanes ainsi qu'un biplan issu du cerf-volant cellulaire de Hargrave. En 1889, il publie un livre « le vol des oiseaux comme base de l'aéronautique » : 1^{ères} données de base sur la portance et la traînée des profils creux. Premier pilote à avoir été photographié en vol. Nombreux vols de 1891 à 1896 où il se tue.
- Aux Etats-Unis, **Octave CHANUTE** s'inspire des travaux de Lilienthal sur les profils d'aile. Homme de communication, il devient le meilleur spécialiste d'aéronautique de la fin du 19^{ème} siècle et du début du 20^{ème}, construit un planeur à structure légère type treillis croisillonné.
- **JOHN J. MONTGOMERY** (1858 – 1911) Originaire de Californie, ornithologue, aérodynamicien, inventeur, concepteur et pilote, probablement le 1^{er} vélivole de l'histoire. En 1884 son planeur n° 1 a déjà un empennage cruciforme, pilotage pendulaire; le 17 mars 1884 il prend de l'altitude porté par une masse d'air pour la 1^{ère} fois de l'histoire du vol à voile. Surtout connu après 1905 pour des vols spectaculaires: largage de planeurs à partir d'un dirigeable
- **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^o manifestations publiques d'un plus lourd que l'air)



- **AVION**

- Précurseurs : plusieurs vols de modèles réduits : **Félix du Temple** 1857 - **Penaud** 1871 - **Stringfellow** - **Mouillard** - **Goupil** : ailerons à mouvement conjugué.
- **Clément ADER** (1841 – 1925) dès 1870 il étudie les cerfs-volants et propose au ministère de la Guerre un cerf-volant capable de soulever un observateur puis il se lance dans la construction de ballons libres.
En 1873, il construit un planeur de 9 m d'envergure en bois creux recouvert de plumes d'oie ; il s'élève de 1,5 m et peut ainsi évaluer finesse, portance et traînée
9 octobre 1890 : dans le parc du château d'Armainvilliers, il fait voler **l'EOLE** : 14 m d'envergure, forme de chauve-souris, moteur à vapeur de 12 CV, 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 III**.
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](#)

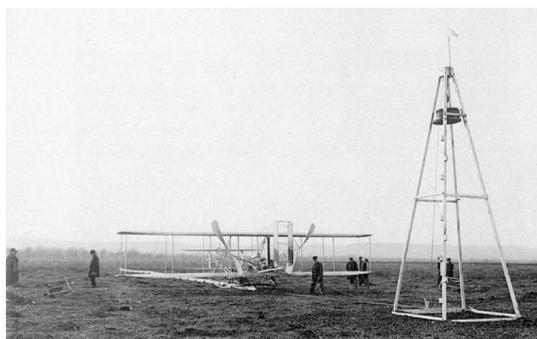
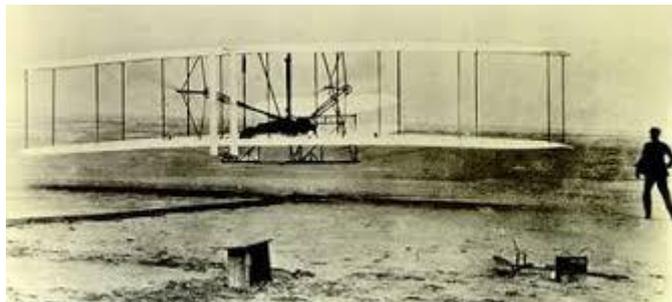
[retour au sommaire général](#)

Chapitre 2 – 1903 - 1914

AVIONS

- **Les Frères WHRIGT** (réparateurs de bicyclettes à Dayton en Ohio) sortent le premier avion de leurs ateliers: le « FLYER » : biplan formule canard, un moteur de 12 CV qu'ils conçoivent eux-mêmes, 2 hélices propulsives conçues selon le concept de « voilure tournante; leur rendement atteint 70% contre 50% pour les autres hélices. L'avion sera en fait catapulté.

Le **17-12-1903** en présence de 5 témoins à KITTYY 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.



Réplique du Flyer III (appareil de 1905) construite pour le centenaire (en 2005) du vol du 5 octobre 1905

1903 - 1905 : seulement les frères Whright ; ils construisent trois appareils

le 20 septembre 1904, à Dayton, ils parcourent le premier km en circuit fermé et en 1905 en parcourent un de 35 km.

1905 - 1907 : ils tentent de commercialiser leur « Flyer ».

1907 : reprise des vols - **1908** : venue en France de Wilbur : 1^{ère} présentation au Bois de Boulogne à Paris

• Premiers vols en France

Important mécénat :

- * 1900 : Prix Deutsch de la Meurthe : pour un circuit fermé en moins de 30 minutes au départ de St Cloud et contournant la Tour Eiffel : gagné par Santos-Dumont en aérostat le 19 octobre 1901
- * 1906 : Coupe Gordon Benett d'abord réservée aux ballons puis course de vitesse pour les avions d'avant guerre
- * 1908 : Coupe Michelin : récompense la plus grande distance couverte en vol : 1^{ère} édition en 1908 : W.Wright avec 39 km ; dernière édition en 1936 : Arnoux sur Caudron 680
- * 1912 : Coupe Deutsch de la Meurthe réservée aux avions pour faire progresser les performances (de 1912 à 1933)
- * 1913 : Coupe Schneider : course de vitesse pour les hydravions (de 1913 à 1931)

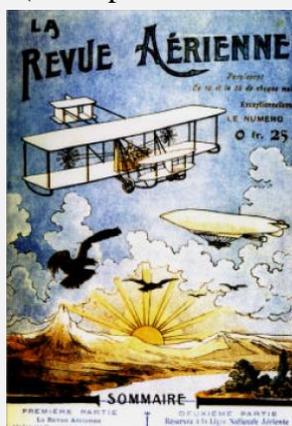
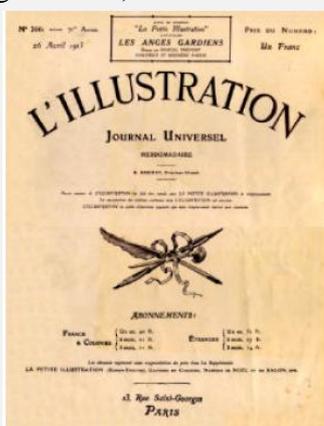
Presse aéronautique

Jusqu'en 1914, la presse aéronautique en France sera particulièrement abondante, plus qu'aujourd'hui, et elle est surtout très populaire.

"L'Aéronaute, l'Aérophile, l'Illustration" s'enflamment dès le début pour la conquête de l'air.

L'Illustration, journal fondé en 1843, sera le premier à publier des photographies en couleurs (autochromes) de Léon Gimpel.

La presse en France après 1900 touche au quotidien plus de cinq millions de personnes, directement (reportages sur les meetings aériens) ou indirectement (description des inventions, publicité).



Nombreux meetings et salons :

1909 : 1^{er} meeting militaire de Reims

Exposition internationale de la locomotion aérienne au grand Palais sur une idée de

R. Esnault Pelterie et André Granet. Renouvelée chaque année sauf durant les deux guerres, elle se déroule au grand palais jusqu'en 1952 et, après 1946 est associée à des présentations en vol à Orly puis à partir de 1953 devient le salon du Bourget.

Elle se déroule actuellement tous les 2 ans sous le nom de Salon International de l'Air et de l'Espace



Les vols

* **1905** : vols non homologués : FERBER (25/5) - TRAJAN VUIA (19/8)
création de la F.A.I. Fédération Internationale Aéronautique

* **1906** : 1^o 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 secondes.

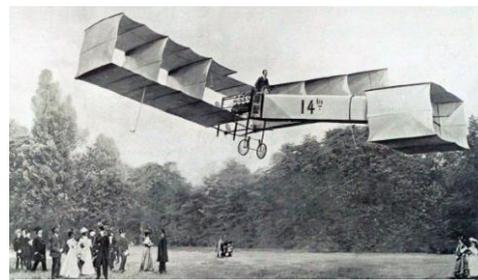
Dès 1906, les frères VOISIN ouvrent les premiers ateliers aéronautiques à Billancourt.

* **1907** : 1^o 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 : moteur de base de la plupart des aéronefs en France, équipe en particulier les avions de Breguet, Farman, Santos-Dumont, d'abord de 24 CV puis de plus de 50 CV
- 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.

Il gagne ainsi le prix de 25 000FF du Daily Mail ;

Blériot (1872 – 1936) ingénieur de Centrale, il pilote des planeurs Voisin et s'associe avec eux durant peu de temps ; dès 1907 il construit ses premiers monoplans. Après 1909 plus de 1500 Blériot XII seront construits



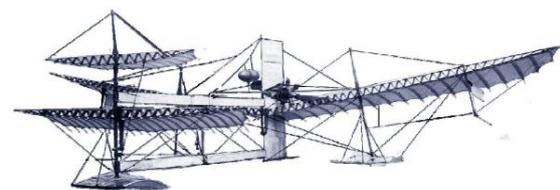
- grands meetings : le premier, à Reims, organisé par le Marquis de Polignac, puis à Juvisy...
- vol autour de la tour Eiffel par DELAMBERT (en 1901, Santos-Dumont l'avait fait en dirigeable)
- invention d'un anémomètre par **ETEVE** (obligatoire sur avion militaire dès 1911)
- moteur rotatif GNOME par 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 présenté en statique au salon de 1910



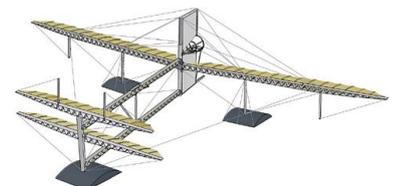
- * **1910** :

- **28 / 3** : 1° hydravion conçu, réalisé et piloté par **Henry FABRE** sur l'étang de Berre, monoplance type canard avec un moteur Gnôme de 50 CV. Appelé « aérohydroplane »

- 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 : Emile AUBRUN le 10 mars
- 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.
- 1^{ère} construction d'un simulateur de vol : le tonneau Antoinette



- * **1911** :

- 1^{er} vol dans la brume par Eugène ELY au départ de Paris
- 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 premiers bombardements (préparation à la guerre 14 -18).

- Création de l'inspection de l'aéronautique militaire française

- premier pilote automatique efficace, conçu par Elmer SPERRY

* **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

- 1^{er} vol d'un quadrimoteur construit par le russe Igor SIKORSKY

BILAN :

L'industrie avant guerre : 1148 avions ; 146 hydravions ; 2240 moteurs ; 15000 hélices.

Au début : biplans puis en 1908 monoplan (haubanné puis non); en 1914 : à nouveau biplans et même triplans.

Moteurs :

* Anzani : célèbre moteur à 3 cylindres en éventail d'environ 20 CV; équipe l'avion de Blériot qui franchit la Manche

* Antoinette (8 cylindres en V) de **Léon LEVAVASSEUR** moteur de base de la plupart des avions en France, équipe en particulier les avions de Breguet, Farman, Santos-Dumont , d'abord de 24 CV puis de plus de 50 CV

* Moteur en étoile de Robert Esnault-Pelterie (REP) : le 1^{er} construit en 1906 comporte sept cylindres en éventail; en 1907 il établit la théorie des moteurs en étoile à nombre impair de cylindres et rédige la théorie de l'équilibrage de ces moteurs. Son 2^{ème} moteur, 7 cylindres en étoile équipe son avion et le 18 juin 1908 est le 1^{er} pilote à voler sur monoplan. Les derniers moteurs en double étoile seront les modèles SNECMA-BRISTOL Hercules de 2080 CV sans soupape construits jusqu'à fin 1964

* **Moteur rotatif Gnôme des frères Seguin** après 1909 avec au début 50 à 70 CV puis en 1914 : 200CV avec un montage en double étoile. Monté au début sur un appareil Voisin et sur l'hydroplane d'Henri Fabre

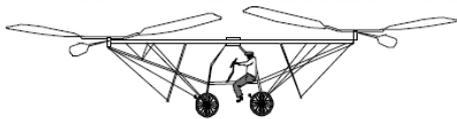
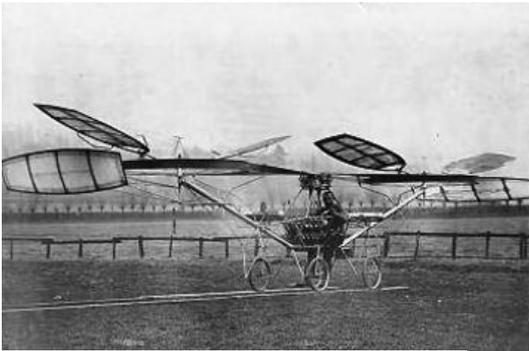
Hélices

* de Charles Renard avant 1905 et J-Baptiste Dorand qui reprend les travaux du Capitaine Renard Le Capitaine Renard étudie l'hélice sustentatrice, construit les 1ères hélices aériennes, s'intéresse au problème de l'hélicoptère puis celui de l'avion avant de décéder en 1905. De 1908 à 1910 le Capitaine Dorand reprend ces travaux avec des expériences en vol et au laboratoire Eiffel en démontrant ainsi les avantages des essais en soufflerie; établit les lois fondamentales des hélices propulsives, à pas ou diamètre variables; les rendements atteignent alors les 82 %. Il détermine le plafond de propulsion et met en évidence les deux régimes de vol horizontal de l'avion.

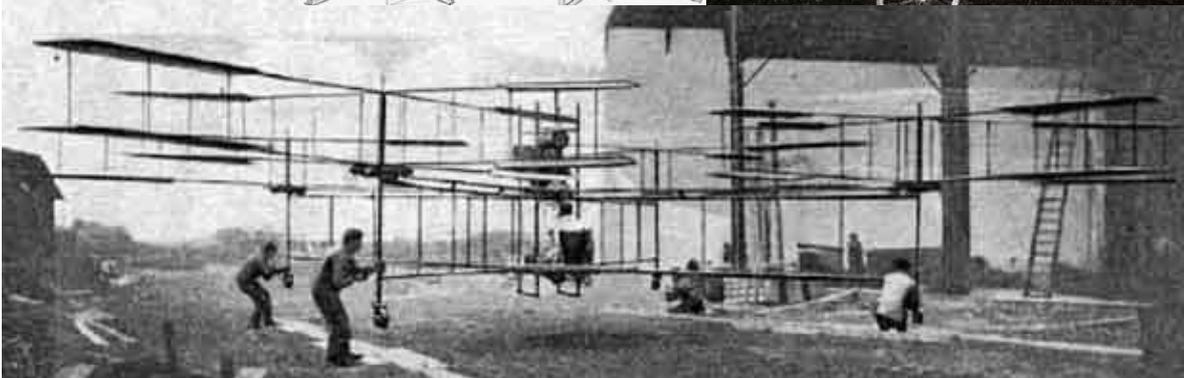
* de Lucien CHAUVIERE en 1904 : met au point une hélice en bois formée de lames de bois superposées dont le sens des fibres est parallèle aux efforts centrifuges; elle équipe le dirigeable de Clément Bayard et le Blériot XI de la traversée de la Manche.

VOILURES TOURNANTES

13 / 11 / 1907 : 1^{er} HELICOPTERE en vol libre par **Paul CORNU** : moteurs Antoinette de 24 CV, 4 hélices; 280 kg à 30 cm de hauteur.



1908 : **BREGUET** :



puis rien jusqu'en 1924 ...

PLANEURS

1902 : Robert Esnault-Pelterie, ayant découvert l'importance de la dépression sur l'extrados, construit un modèle identique à ceux des frères Wright mais en doublant l'entoilage d'intrados par un entoilage d'extrados; il découvre sur cet appareil la position du centre de poussée, en particulier celui de l'aile à profil creux

janvier 1905 : lors d'une conférence à l'Aéro-Club, il dénonce le système de gauchissement par déformation de la voilure et propose un système de gauchissement par surfaces aérodynamiques indépendantes; célèbre avec l'invention du manche à balai en 1907

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 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 **WHRIGT**

Le vol à voile ne naîtra néanmoins qu'après la guerre.

[retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

Chapitre 3 – 1914 - 1918

Etat au 4 / 8 / 1914 :

France : 282 avions dont 150 en réserve, 23 escadrilles, 15 dirigeables. L'aéronautique navale compte 14 pilotes et 16 hydravions.

Allemagne : 252 avions sur 34 escadrilles;

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.

A partir de 1915 les communications radio s'améliorent ; Potez et Bloch vont se rencontrer pour la 1^{ère} fois à Villacoublay sur des montages de postes TSF

* **COMBAT AERIEN EN VOL**

- En 1915, Oswald Böhme invente la stratégie de la patrouille à deux avions
- En 1915 la 1^{ère} torpille est lancée d'un hydravion anglais ; Sperry met au point un système de télécommande pour diriger les torpilles

La chasse a lieu surtout après 1916.

- 13 / 09 / 1915 : 1^{ère} attaque de troupes au sol : entrée en guerre de l'Italie aux côtés des alliés

* **BOMBARDEMENT** : Effet psychologique de l'avion bombardant les villes ennemies :

- Paris bombardé pour la 1^{ère} fois les 29 et 30 août 1914 ; on créera même un faux Paris lumineux pour tromper les attaquants
- Fin 1914, les anglais bombardent les usines Zeppelin à Friedrichshafen et les allemands font de nombreux raids sur Londres ;

A partir de 1915 les bombardement deviennent méthodiques

- Sur Londres les Zeppelins sont remplacés par des bimoteurs géants : les « Gotha »

Dès 1916, les bombardements de nuit remplacent ceux de jour.

Les pilotes :

Ils rêvent d'en découdre :

* En 1914, Nesterov se jette sur un avion ennemi : ce n'est à proprement parlé pas une victoire car les deux sont tués

* le 5 / 10 / 14 : 1^o combat aérien de l'histoire : victoire des français **FRANTZ** et **QUENAULT**.



L'esprit chevaleresque demeure : Pégoud (6 victoires) meurt le 31 Août 1915 : deux jours plus tard ses adversaires viennent jeter une couronne là où il est tombé

* 1^{er} as français : **René FONCK** avec 75 victoires

puis : **GUYNEMER** avec 53 victoires en 755 h de vol sur son Spad « Le Vieux Charles »
NUNGESSER 45 victoires ... **Maurice BOYAU** 35 victoires



M BOYAU



* 1^{er} as belge : Willy **COPPENS** avec 37 victoires

* En Grande-Bretagne , **MANNOCK** 73 victoires

* En Allemagne, l'As des As : l'allemand **Manfred VAN RICHTHOFFEN**

dit « le baron rouge » sur son Fokker triplan rouge avec 80 victoires

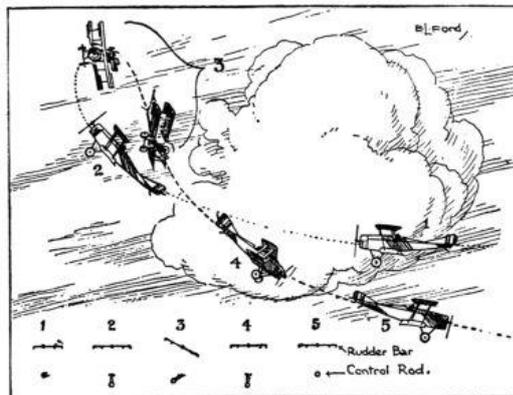
LILLE

UDET avec 62 victoires.

IMMELMAN dit « L'Aigle de Lille » 15 victoires

monte trois mitrailleuses sur son avion et invente une figure de combat qui portera son nom ; abattu en 1916

UDET L'AIGLE DE



Les avions :

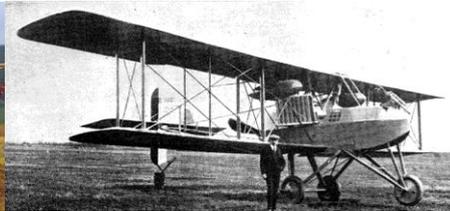
- Une première génération d'avions avec :
En Allemagne
le Taube ,



En France :
Voisin,

Nieuport 10,

Bréguet 14,



Caudron G3 ,

Bréguet Michelin
(Michelin fait don de 120 avions)

Morane AI

- Puis après 1915, une 2^{ème} génération d'avions :
En Allemagne

Fokker (surtout triplan Albatros) ;

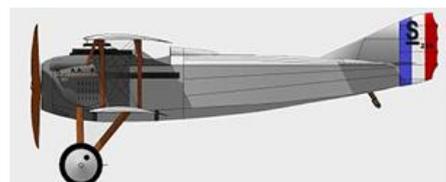
D VII



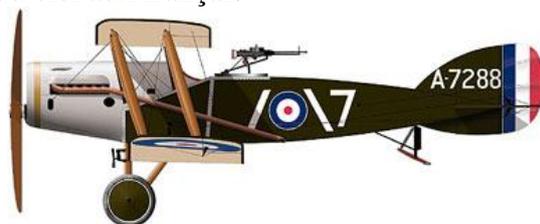
En France : Nieuport 15M ,

Caudron G6 et surtout

Spad VII (Deperdussin)



puis Spad XIII de 220 CV qui redonne la maîtrise du ciel aux français



Les Etats-Unis entrent en guerre le 06 / 04 / 1917 avec des Breguet 14 , DH 9 , Handley Page
La création de la Division Aérienne amène beaucoup de succès français à partir de 1917.

En France les avions se spécialisent :

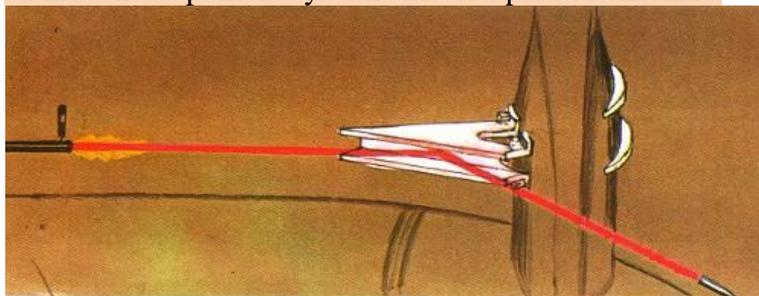
Morane : Chasse ; Voisin : bombardement ; Farman : reconnaissance ; Caudron : réglage des tirs d'artillerie

En 1817 : 1^{er} porte avions anglais : le « Furious » (pont de 65 m , longueur : 240 m)

Le 20 / 05 / 1917 , un hydravion anglais coule pour la 1^{ère} fois un sous-marin U36

Les innovations

- **1915 : Roland GARROS** équipe son avion d'une mitrailleuse tirant à travers l'hélice (blindée) en mettant au point le système inventé par SAULNIER.



FOKKER perfectionne le système par un dispositif de synchronisation du tir.

- 1915 : l'avion de guerre entièrement métallique JUNKER J1, le 1^{er} opérationnel (le tout premier a été créé en 1912 : le TUBAVION resté à l'état de prototype)



Tubavion

JUNKER J1



- 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

Bilans

Durant la guerre, nombre de pilotes tués en vol : France : 5600 ; G-B : 7500 ; Allemagne : 11400.
20 000 avions utilisés en France

[retour au sommaire 5](#)

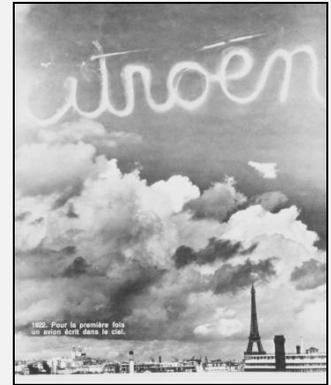
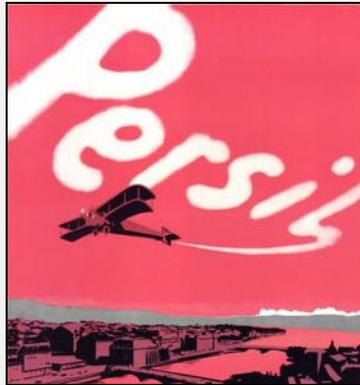
[retour au sommaire général](#)

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
- Les deux premiers aéroports internationaux seront en France ORLY et BISCAROSSE
- Travail aérien : beaucoup de présentations publiques : cascades...

Publicité : En 1919 le Major **John Clifford "Jack" SAVAGE** « écrit » dans le ciel; en 1925 , Citroën utilise ce support.



19 janvier 1919, Jules VEDRINES se pose sur le toit des Galeries Lafayette avec un Caudron G3 .
Le 7 août, GODEFROY passe sous l'Arc de Triomphe avec un Nieuport



Cinéma : surtout aux E-U

Parachutage de ravitaillement et de secours sur des lieux de catastrophe

Transport sanitaire – Vols météorologiques – Avions agricoles ...

Après 1918 l'Allemagne tourne les interdictions du Traité de Versailles en installant des usines à l'étranger : Junker et Fokker en Russie, Dornier en Suisse, Espagne et Italie, Heinkel en Suède.

➤ Le transport avant 1920

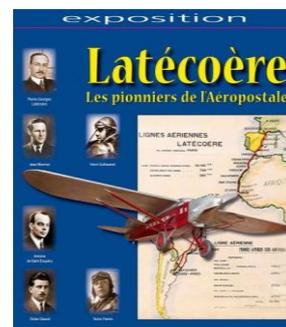
Tout commence par la poste : en **1917**, un service postal aérien est assuré entre Turin et Rome (le tout premier était en 1911 aux Indes par Henri Pequet) mais de même que pour les premiers transports de passagers, ce sont des lignes militaires

Beaucoup de compagnies aériennes naissent entraînant la création le 28 / 8 / 1919 de l' **IATA** (International Air Traffic Association) à La Haye.

Le 13 octobre 1919 la Société des Nations désigne un organisme pour établir les règles de la circulation aérienne, la 1^{ère} convention internationale ayant été signée à Paris le 19 octobre.

En outre, en **1919** :

- Les premiers transports civils réguliers ont lieu en Allemagne : le 5 février 1919 pour 5 passagers de Berlin à Weimar sur AEG
- 1^o transport public international : Paris - Londres en Goliath par les lignes FARMAN, le pilote BOSSOUTROT emmène 11 passagers (interdit ensuite par le protectionnisme anglais) en 2h35mn
- puis Paris – Bruxelles
- Pour le courrier , les lignes LATECOERE ouvrent la route Toulouse – Casablanca, 1^{er} tronçon sur la route de Santiago du Chili . Les lignes LATECOERE sont fondées par Pierre Georges Latécoère ; Beppo de Massimi en est le directeur général et engage Didier Daurat qui devient très vite directeur d'exploitation.



➤ Le transport entre 1920 et 1930

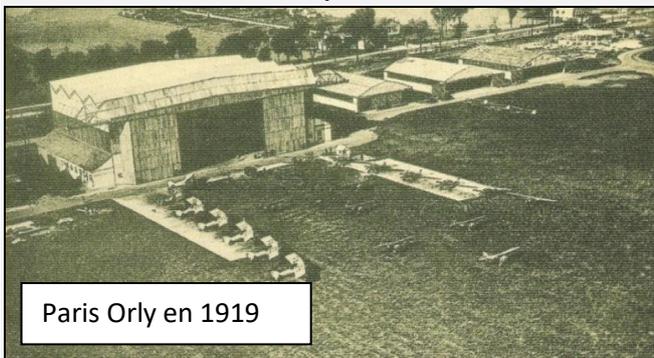
Le 7 juin 1922 : 1^{er} vol de nuit Paris-Londres-Paris avec 6 passagers

En 1923 Maurice NOGUES inaugure les vols de nuit sur Strasbourg-Paris et Belgrade-Bucarest

Autres réseaux : Franco - Roumaine devenue CIDNA ; Paris - Berlin (Farman);

Lufthansa, KLM Londres - Singapour (Imperial Airways); Bruxelles - Congo (Sabena),

Pan American Airways. L'infrastructure suit : aérodromes, liaisons télétypes entre aérodromes.



Paris Orly en 1919



Dornier DO X

En 1930 les USA transportent 165 000 passagers devant l'Allemagne (120 000) et le Canada (95 000)
En Europe le tiers des passagers est transporté par l'Allemagne le 2^{ème} tiers par la France (55 000), l'Italie (40 000) et l'Angleterre (18 000) les autres pays se partageant le 3^{ème} tiers.

Le record du nombre de passagers emmenés est détenu par le Dornier DO X qui le 21 octobre 1929 emmène 169 passagers au dessus du lac de Constance.

➤ Vol à Voile

Le 23 mai 1916 le bulgare MILKOV découvre le vol d'onde au dessus de Sofia mais cela passe inaperçu en raison de la guerre ; après la guerre le vol à voile se développe énormément dans les années 20 avec BOSSOUTROT, HARTH, HENTZEN, Eric NESSLER et THORET (tient 7h en l'air sur un avion moteur coupé).

➤ Parachute

Le 1^{er} homme à sauter d'un avion avec un parachute est l'américain Berry en 1912.
1919 : 1^{ère} ouverture commandée (IRVING) ; 1924 : 1^{ère} ouverture retardée (BOSE)
1932 : Les premières unités de parachutistes sont créées en Russie.

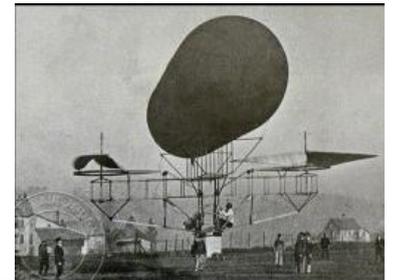
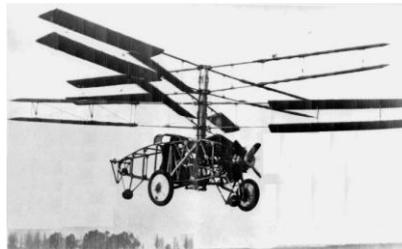
➤ Les dirigeables

Du 8 au 29 août 1929 le Graf-Zeppelin effectue un tour du monde en 4 étapes : Friedrichshafen – Tokyo – Los Angeles – Lakehurst - Friedrichshafen.
La traversée aérienne commerciale de l'Atlantique est assurée par le dirigeable. Néanmoins plusieurs accidents jusqu'au dernier le 6 mai 1937 : **Le Hindenburg** prend feu à Lakehurst à son amarrage ; ce sera la fin des dirigeables ; d'autant qu'à partir de 1939 les hydravions prennent le pas sur les dirigeables.



➤ Voilures tournantes

Peu de progrès : En 1924,
en Italie, **PESCARA**
atteint 736 m de hauteur
(ce record tient jusqu'en 1930).



OEMICHEN en France franchit 1 km de distance.

➤ Les innovations des années 20 :

• En 1920

train rentrant : première solution pratique en 1920

volets d'intrados : le 1^{er} brevet est déposé

le radiocompas est utilisé pour la 1^{ère} fois aux USA
GASTAMBIDE propose une **aile variable** (sans suite)

• En 1921 : **cabine pressurisée** aux USA

• En 1923 : Max Boucher crée l'avion « automatique »,
mis au point en 1924 mais arrêt faute de crédits.

BADIN crée le 1^{er} contrôleur de vol en regroupant sur un même instrument indicateur de pente et de virage et anémomètre.

• En 1924, un DH4 vole entre Dayton et New York entièrement aux instruments

• En 1926 : **Robert H. GODDARD** lance la 1^{ère} **fusée** à combustible liquide

• En 1929 : **DOOLITTLE** réalise le 1^{er} vol complet en **PSV** (Pilotage sans Visibilité) avec gyrohorizon et directional gyro de **SPERRY**.

• **MESSIER** réalise le premier **train rentrant** à commande hydraulique.

Un planeur allemand muni de fusée parcourt 3 km.

1^{er} vol du **GEE BEE** (Granville Brothers) qui va battre des records de vitesse.

• **Ravitaillement en vol :**

En 1920 , sur le Potomac , un avion prend au passage sur un radeau un bidon d'essence

En 1921 , un homme passe d'un avion à l'autre avec un bidon

26-27 juin 1923 : ravitaillement d'un avion à l'autre en essence par un tuyau ; ceci est aussi une tentative de record de durée : il y aura donc des ravitaillements en essence, en huile, en nourriture et même en courrier et journaux sur 24 h puis sur 36 h aux USA.

➤ Après 1925 : compétitions de **voltige** entre **FRONVAL** sur Morane AI , **FIESELER** sur Schwalbe, **DORET** sur Dewoitine en 1927 puis **UDET** et **DETROYAT**

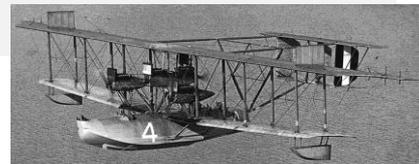


➤ Epoque des grands raids 1919 – 1930:

Les premiers grands raids avant 1920

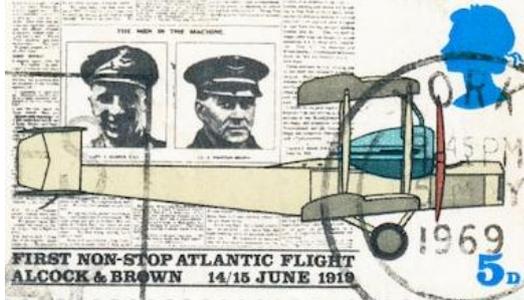
- En juillet **1918**, MAC LAREN relie Paris au Caire sur Handley Page
- LA TRAVERSEE DE L'ATLANTIQUE

16 mai 1919 : Trois hydravions Curtiss se lancent à partir de Terre-Neuve ; deux se posent sur l'océan près des Açores, le 3^{ème} après escale aux Açores et à Lisbonne rejoint Plymouth ; parfaitement équipés en radiogoniométrie, ils ont été suivis par 80 destroyers répartis sur l'océan.



14 JUN 1919 : 1^{ère} TRAVERSEE SANS ESCALE DE L'ATLANTIQUE NORD

réalisée par **John ALCOCK** (pilote) et **Arthur BROWN** (navigateur) sur un bombardier Vickers Vimy équipé de deux moteurs RollsRoyce de 350 CV; ils décollent de Terre Neuve et se posent à 3040 km de là, en Irlande, 16 heures et 12 minutes plus tard (l'avion se met en pylône dans un marécage). Ils gagnent ainsi les 10 000 livres de prix du Daily Mail (Alcock se tuera en avion un mois plus tard et Brown ne revolera jamais); Ce prix sera en fait donné une deuxième fois aux pilotes du dirigeable britannique R 34 qui, un mois plus tard réussit la traversée dans les deux sens.



Après 1920

- Vol en montagne

* 1^{er} avril 1921(!!!) : **Adrienne BOLLAND** franchit la Cordillère des Andes sur Caudron G3.



* 29 juillet 1921 : DURAFOUR (Suisse) se pose et redécoule du Mont Blanc

- 1922 : traversée de l'Atlantique sud en hydravion (CABRAL Portugais)
- 1924 : 1^o tour du monde



Quatre avions « Douglas World Cruiser » sont nés du 1^{er} contrat entre Douglas et l'armée américaine, ils portent le nom de 4 ville américaines : Seattle, Boston, Chicago et New Orleans.. Ils décollent le 17 mars 1924 de « Clover Field » à Santa Monica (Californie) pour Seattle où ils seront transformés en hydravions , contournent le Pacifique par le nord ; le 3 mai le Seattle heurte une montagne en Alaska et ils ne sont plus que 3 ; ils passent au Japon, sont à Paris pour le 14 juillet, contournent l'Atlantique par le nord et atterrissent à Santa Monica le 28 septembre soit 49 560 km, 28 pays traversés en 6 mois (15,5 jours de vol) à 135 km/h.

Les raids se succèdent dans toutes les directions ; en particulier :

- Pôle Nord

En 1925 échec d'AMUNDSEN à 254 km du pôle avec 2 hydravions Dornier Wal

Le 9 mai 1926, BIRD survole le pôle nord avec un trimoteur Fokker, puis le 12 mai AMUNDSEN le survole en dirigeable

Le 24 mai 1928, un italien Umberto NOBILE survole le Pôle avec un dirigeable, l'Italia ; le 25, il envoie un dernier message de détresse : le monde entier s'en émeut et de nombreux secours sont envoyés ; AMUNDSEN prend la tête des opérations de secours mais disparaît le 18 juin ; finalement un suédois LUNDBORD parvient à ramener Nobile jusqu'à un navire ; A son 2^{ème} voyage, il est accidenté et sera récupéré avec les 9 survivants de l'Italia par un bateau soviétique.

- **Pôle Sud**

Il sera survolé pour la 1^{ère} fois en 1929 par BALCHEN sur trimoteur Ford avec à son bord l'amiral BYRD, le radio JUNE et l'opérateur MAC KINLEY.

- **La « Ligne »**

En 1925, 1^o liaison Natal - Rio par MERMOZ pour les lignes Latécoère.
1^{er} courrier Casablanca – Dakar et Rio – Buenos Aires.

En 1927 Mermoz relie Toulouse à St Louis du Sénégal sans escale.

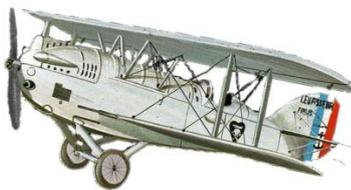
Des difficultés financières font que Marcel BOUILLOUX-LAFONT rachète les lignes Latécoère qui deviennent la **Compagnie Générale Aéropostale**.

- **1927 : L'année de l'Atlantique**

* Déjà, beaucoup d'accidents : entre autres :

En 1926, le trimoteur Sikorski de René FONCK explose au décollage de New York ; Fonck et Curtin sont sauvés mais pas le mécanicien ni le radio.

Le 8 mai 1927 : **NUNGESSER et COLI** tentent la traversée de l'Atlantique nord sur un avion marin biplan Levasseur baptisé « l'Oiseau Blanc ». Ils se perdent en mer semble-t-il sur l'estuaire du St Laurent où règne une terrible tempête de neige : 1^{ère} énorme fausse nouvelle journalistique en France où leur « arrivée » à New York a été largement diffusée.

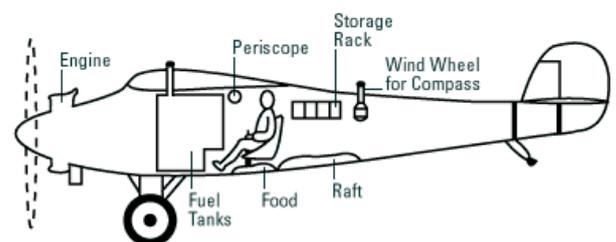


* Le succès :

20 et 21 mai 1927 : Charles LINDBERGH effectue New-York - Paris seul sur un monoplan RYAN à moteur Wright de 220 CV baptisé « le **SPRIT OF ST LOUIS** ».



The Spirit of St. Louis



Le pilote : Lindbergh gagne de l'argent avec des exhibitions de saut en parachute et du « cirque » en avion, bref passage dans l'armée où il transporte courrier et passagers, 25 ans et 1825 h de vol.

L'avion : La ville de St Louis du Mississippi lui donne 10 000 \$; Fokker et Bellanca ne veulent néanmoins pas lui confier un avion;

C'est la firme **RYAN** de San Diégo qui lui construit un monomoteur, monoplan à ailes hautes de 14 m d'envergure, 8,3 m de long sans pare-brise (fenêtre latérale et périscope), 915 kg à vide, charge utile de 1427 kg, moteur Wright de 225 CV , 1943 litres d'essence , 195 km/h



Le périple : Le 20 mai 1927, il décolle de New York à 7h 52 locales, rencontre brouillard et verglas, aborde les côtes de l'Irlande et se pose au Bourget à 22h 22 locales devant 200 000 spectateurs enthousiastes : vol de 33h 30mn sur 6300 km.

Suivront réceptions éclatantes à Paris, Bruxelles et Londres ainsi qu'à son retour aux US.

En 1927 eurent lieu 13 autres tentatives : 3 réussissent, mais 4 disparus en mer.

• 1927 : Le Pacifique

3890 km entre San Francisco et Honolulu : Les lieutenants MAITLAND et HEGENBERGER les franchissent les 28 et 29 juin sur un Fokker trimoteur en 25 h 50 (ils ont trouvé leur chemin avec l'aide de deux « beacons » à San Francisco et l'île Maui mais ils n'ont pas trouvé les vivres trop bien « rangés » !)

Même périple pour deux civils SMITH et BRONTE le mois suivant mais arrivés de justesse : en panne d'essence sur la plage !

- 1929 : à nouveau l'Atlantique par 3 français : **ASSOLANT, LEFEVRE et LOTTI** décollent du Maine sur un monoplan Bernard de 600 CV : l'oiseau canari, et arrivent en Espagne (La France avait refusé leur départ de Paris en raison des nombreux accidents survenus jusque là). Ils ont trouvé après le décollage un passager clandestin, l'américain Schreiber !



- du 27 septembre au 29 novembre COSTE et BELLONTE effectue Paris – Hanoï – Paris sur Bréguet Superbidon : « Point d'interrogation » : 24275 km dont 7905 km sans escale

➤ 1928 : Premier ministère de l'Air : avec Victor Laurent-Eynac pas toujours bien accueilli : « un cas de folie collective ! »

Les années vitesse et développement :

- A partir de 1927, la petite aviation se développe énormément : Eric NESSLER construit une avionnette Nessler-Salmson, biplace de 12 CV et gagne le « prix du bidon de 5 litres », permettant de préparer un brevet de pilote pour 15 francs de l'heure, ouvrant ainsi la voie à l'aviation populaire; de même le MOTH de De Havilland avec un moteur de 60 CV servira pendant 30 ans.

En 1931 politique d'aide à l'aviation en France : construction du MIGNET HM 14 baptisé « Pou du Ciel » interdit de vol par la suite. →

En 1936 ouverture des usines CESSNA.



Sortie du Caudron « Luciole », du Piper Cub aux USA.



- Après 1925 : compétitions de **voltige** entre FRONVAL sur Morane AI , FIESELER sur Schwalbe, DORET sur Dewoitine en 1927 puis UDET et DETROYAT.
- Ces compétitions dureront dans les années 30 ainsi que de nombreuses manifestations de puissance et défilés aériens, préparant la guerre.
- En 1931, la Patrouille d'Etampes (ancêtre de la Patrouille de France) est formée.
- La course à la vitesse commence surtout avec des hydravions (coupe Shneider). Durant toutes ces années coupes et trophées avec des records de vitesse sur des avions tels que : le GEE BEE , le SUPERMARINE, le MACCHI ;

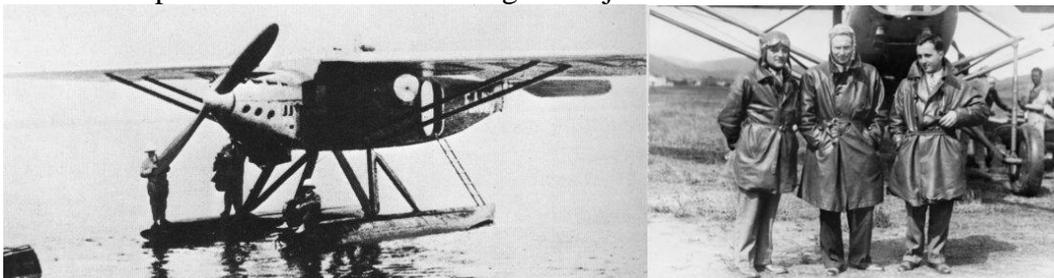


la lutte se fait entre les USA, la G-B et l'Italie : 1927, record de 453 km/h (G-B);
Le dernier record de vitesse homologué avant guerre : 755 km/h sur Messerschmidt-109

- Record d'altitude en 1927 : 11 710 m (USA) , en 1937 : 17083 m (Italie) : ce record est toujours valable pour un avion à moteur à pistons

➤ Encore quelques raids :

- 11 et 12 mai 1930 : première traversée postale de l'Atlantique Sud par **MERMOZ , DABRY et GIMIE** sur l'hydravion Laté 28 « Comte de la Vaulx »
Le courrier passe de Toulouse à Santiago en 5 jours !



- 1930 : Paris – New York : enfin réalisé par **COSTE et BELLONTE** sur leur Bréguet Superbidon "Point d'Interrogation" en 37h 18 min ; la traversée est – ouest, a déjà été réalisée deux fois en 1930 d'Irlande à Terre Neuve.



- 1931 : Premier tour du monde avec la traversée du Pacifique.
- Les italiens prennent une avance très importante en réalisant des vols de groupe au dessus de l'Atlantique.
- 1933 – 34 : la « Croisière Noire » : 22 000 km au dessus de l'Afrique (28 avions sur 30 Potez 25 arriveront au bout).
- 1938 : Howard Hugues boucle un tour du monde en 3 jours 19h sur un Lockheed « Electra ».



Des courses :

- Londres – Melbourne gagnée par un Comet de Havilland
Le DC2 puis le **Boeing 247** ouvrent la voie à l'aviation commerciale.



- En 1937, on a même pensé à une course de bimoteurs New York – Paris : 22 appareils sont engagés mais la course est annulée à la suite de la catastrophe du Hindenburg le 6 mai.



Et les femmes pilotes :

1. Hélène BOUCHER : nombreux raids et records de vitesse en août 1934 (445 km/h); elle disparaît en novembre 1934.

2. Amélia EARHARD franchit l'Atlantique seule à bord sur un Lockheed Vega les 20 et 21 mai 1932 . Elle trouvera la mort dans le Pacifique en 1937.

3. Maryse BASTIE : record de distance.

4. Lady HEATH : Le Cap – Londres ;

5. Lady BAILEY : Londres – Le Cap.

6. Maryse HILTZ : Paris - Saïgon et record d'altitude (14 310 m), record de durée 92h 36 min;

7. Amy JOHNSON : Angleterre – Australie.

8. Hanna REITSCH : pilote de vol à voile, pilote un hélicoptère en salle.

9. Jean BATTEN (néo-zélandaise) traverse l'Atlantique sud, relie l'Australie à l'Angleterre ...

10. En 1938 Jacqueline COCHRAN gagne le Bendix Trophy (course de la traversée des EU).



➤ Les innovations des années 30 :

- L'anglais Franck WHITTLE dépose un 1^{er} brevet pour un avion à réaction.
- Souffleries à la grandeur d'un avion : 1931 Langley; 1934 : Chalais-Meudon; 1936 : Berlin.
- Les hélices sont à pas variable et pas automatique.
- En 1931 le professeur Picard et Kieffer atteignent 15781 m en ballon.
- En 1930 apparition de la 1^{ère} hôtesse de l'Air.
- Premières études sur l'aile à géométrie variable.
- A partir de 1935, vol aux instruments et atterrissage automatique (1937) progressent très vite.
- En 1936, la Grande-Bretagne travaille à la mise au point du radar.
- En 1938 Boeing sort un avion pressurisé : le 307 Stratoliner.
- En 1939 Juan de la Cierva disparaît et avec lui les autogyres.

➤ L'aviation commerciale Très développée en France

- Couzinet sort un trimoteur « Arc-en-Ciel » pour Mermoz et la traversée de l'Atlantique sud.



- **1933** : Création d' **AIR FRANCE** par la fusion des compagnies Air Union, Société Générale des Transports Aériens (Farman), Compagnie Internationale De Navigation Aérienne , Air Orient et Compagnie Générale Aéropostale
- **1933** : création officielle de l' **ARMEE DE L'AIR** française.

Création de la **FNA**

1^o tour du monde en solitaire

Mise au point de l'hélice à calage variable par les USA

- **1935** : La sortie du DC 3 amène la rentabilité du voyage aérien



- en 1936 : 100^{ème} traversée de l'Atlantique Sud mais le 7 décembre **MERMOZ** disparaît avec l'équipage de « La Croix du Sud » (Laté 300).
- 1937 : premiers vols avec passagers sur l'Atlantique Sud
- 1937 : Air Bleu avec Didier Daurat reprend le service postal en France ; Raymond VANNIER inaugure le service de nuit en 1939
- 28 juin 1939 : premier vol transatlantique avec passagers : Port Washington – Marseille sur Boeing 314 « Yankee Clipper » de la PanAm : il y aura avant guerre 576 000 passagers entre Europe et Etats-Unis



➤ La guerre a été gagnée en 1935

Elle se prépare partout, sauf en France : Au dernier salon d'avant guerre, la France est la seule à proposer des avions de transport

- Les USA signent un accord avec **BOEING** pour le **B 17** sorti en 1935 ainsi qu'avec **DOUGLAS** pour la version armée du **DC3 « DAKOTA »**
- En 1935 Goering est ministre de l'Air en Allemagne et la Luftwaffe est créée : La Rhénanie est réoccupée
- En 1936, Hitler et Mussolini signent le pacte anti Komintern avec le Japon
- En Angleterre, on pense surtout à la défense avec le radar; la RAF crée les quatre commandements : Bomber – Fighter – Coastal et Training, commence à utiliser les Hawker « Hurricane » (sorti en 1935) et les « Spitfire » (sorti en 1936) en petit nombre
- Les USA s'équipent en Curtiss P40, P43, P47 « Thunderbolt » et F2F
- 1939 Allemagne : 1^o vol d'un avion à réaction : le **HEINKEL HE 178** équipé de 2 fusées.

➤ Théâtres d'opérations

- L'Italie écrase l'Ethiopie en 1936 (bombes et gaz asphyxiants)
- Guerre civile en Espagne : les allemands et italiens soutiennent Franco, les soviétiques soutiennent les républicains (Polikarpov)
- Les Japonais attaquent la Chine (aidée par l'américain Claire Lee CHENNAULT) à partir de 1937
- le 26 avril 1937 les Heinkel et les Ju 52 anéantissent la ville de **GUERNICA** (50 tonnes de bombes incendiaires et à fragmentation)
- 15 mars 1939 : les allemands rentrent dans Prague; le 17, la Russie et l'Allemagne se battent en Pologne

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.

HELICOPTERES



JUAN DE LA CIERVA invente l'autogyre :

Le 9 janvier 1923, l'Autogyre C4 s'élève à quelques mètres du sol sur une distance de 200 m ; le 31 janvier il boucle en 4 minutes un circuit de 4,5 km à 25 m d'altitude.

En 1928, un autogyre traversera la Manche.

De 1925 à 1940 l'autogyre se perfectionne. Construit en grand nombre dans de nombreux pays , il sera supplanté par l'hélicoptère car il est incapable d'un vol stationnaire.

En 1922 l'italien Pescara décolle avec un hélicoptère et en 1924 parcourt 736 m.

Le 4 mai 1924 le français Oemichen boucle le 1^{er} km en circuit fermé

En 1938 Hanna Reitsch réalise un vol stationnaire et quelques manœuvres dans le stade couvert de Berlin avec un hélicoptère Focke Achgelis à 2 rotors contrarotatifs qui détient le record de durée avec 1h 20 mn

Igor Sikorsky, le constructeur russe émigré aux Etats-Unis met au point la formule de l'hélicoptère moderne (un rotor principal et un rotor de queue) avec un vol captif du 14 septembre 1939, le 1^{er} vol libre n'ayant lieu que le 13 mai 1940

« *Le rapport mathématique entre les ailes et le poids du bourdon nous démontre que voler lui est impossible mais le bourdon l'ignore, c'est pourquoi il vole* » **Igor Sikorsky**.

[retour au sommaire 5](#)



[retour au sommaire général](#)

Chapitre 5 – DEUXIEME 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...

Les allemands ont 3500 avions dont 1500 chasseurs, les alliés 2500 avions

Entre 41 et 45 aux USA : 260 000 avions dont 12 000 B17; en Allemagne : 92 650 avions.

Les avions :

* les chasseurs :

- Allemands : **MESSERSCHMIDT BF 109**(1937); **JU 87 STUKA** (1935) puis **FOCKEWULF ZERO** au Japon puis les bombes volantes "ohka" pilotées par les Kamikases



BF 109



STUKA



ZERO Mitsubishi A6M



OHKA

Chez les alliés, plus de prototypes en évolution

- En France: **MORANE SAULNIER 406**, **DEWOITINE 520**, Leo 45...
- Angleterre: **HURRICANE**, **SPITFIRE** (peu), **TEMPEST** (1942) et Hawker **TYPHOON**
- USA : **MUSTANG** P51, **F 4 U CORSAIR** (1940),
- **YAK** en Russie...



Hurricane



Spitfire



Typhoon



Mustang



Corsair



Yak 3



B 17



B29

* Les bombardiers :

- Chez les alliés : quadrimoteurs B17 : les forteresses de l'enfer, Liberator, Avro Lancaster qui transportera la plus grosse bombe tactique du conflit : le «grand slam» de 9979 kg; le B29 « **SUPERFORTRESS** » (1942, 53 t)
- Chez les allemands : **HEINKEL 111** et **DORNIER 17**

* Les avions d'observations : Fieseler Storch...

* Les avions de transport :

Le trimoteur JU 52 chez les allemands qui utilisent aussi en Russie un Me 323 : hexamoteur dérivé du planeur géant Me 321 Gigant

Chez les alliés : surtout le Douglas C47 Dakota



Des pilotes :

En France : **CLOSTERMAN** (as des as français avec 33 victoires), René **MOUCHOTTE**, Saint-Exupéry disparu en 44 sur Lightning.

En Allemagne : Major Erich **HARTMANN** (352 victoires), 83 as totalisent plus de 100 victoires

En URSS : Ivan **KOJEDOUB** (62 victoires) suivi de **Alexandre POKRYCHKINE (59 victoires)???**

L'histoire :

- 10 mai 1940 : la Luftwaffe frappe partout en France
- Juillet à octobre 1940 : la **BATAILLE D'ANGLETERRE** : 3089 pilotes allemands tués; 446 alliés. 600 chasseurs abattent 3 000 avions grâce au radar
- La bataille se déroule aussi en **Méditerranée** où l'île de Malte est un gros enjeu
- Les allemands s'emparent de la Crête au détriment des anglais uniquement avec des parachutistes
- 11 / 11 / 40 1^{ère} victoire aéronavale sur l'Italie à Tarente par des avions venus du porte-avions « Illustrious »
- 23 juin 1941: opération Barbarossa les allemands détruiront 1136 appareils russes la plupart au sol

- 7 décembre 1941 : Attaque de l'aéronavale japonaise sur **PEARL HARBOR**.

Les USA entrent dans la guerre;

- 1^{er} mai 42 en Russie : formation d'un régiment de bombardement de nuit formé de biplans Polikarpov tous pilotés par des femmes (les sorcières de la nuit)
- En Grande-Bretagne, les Forces Françaises Libres s'organisent
- En Russie en 1942 est créée l'escadrille de Normandie (devenue **Normandie-Niemen** en 1944) engagée en combat à partir du 22 février 1943
- Le 1^{er} bombardement massif a lieu le 31 mai 1942 sur Cologne
- 8 novembre 1942, les alliés débarquent en Afrique du Nord; on utilise de plus en plus des planeurs pour le transport des troupes.
- Décembre 1942, 5500 avions sont fabriqués aux USA

- Adolf Galland cherche à imposer à Hitler le **Messerschmitt Me 262** à réaction qui sera le 1^{er} avion à réaction engagé en combat aérien.

- 1942 : 1^o vol du Boeing **XB29** qui larguera les bombes de Hiroshima et Nagasaki.
- 1943 : 1^{er} vol d'essai du prototype de chasseur à réaction De Havilland Vampire
- 3 octobre 1943, des services d'identification photographique découvrent et identifient la bombe volante V1

Avec le Japon :

- 7 décembre 41 : **PEARL HARBOUR par l'aéronavale japonaise**

- 19 / 04 / 42 : les américains bombardent Tokyo à partir d'un porte-avions Hornet avec 16 B-25 sous les ordres de Doolittle, qui iront (ou tenteront) se poser en Chine
- 8 mai 1942 : Bataille dans la mer de Corail
- 6 juin 1942 : **Bataille de Midway** : une des premières et plus grande bataille entre forces aéronavales, voit la victoire des Etats-Unis sur le Japon
- 25 octobre aux Philippines , les 1^{ères} unités de **kamikazes** sont engagées

En 1943 les alliés ont produit 1470517 avions contre 44 123 pour l'Axe

- 1943 : le Lockheed **CONSTELLATION**, étudié depuis 1939 effectue son vol d'essai et sera fourni à l'armée américaine plutôt qu'à la TWA
- A partir de 1943 des Lysander opèrent pour la résistance en France
- Les Etats-Unis deviennent l'arsenal des alliés, Boeing construit 15 Fortress par jour et les usines tournent 24h sur 24
- Les anglais appellent le C47 « Dakota »
- Les anglais lancent des raids sur Pennemünde pour retarder les allemands

- 13 juin 1944 le 1^{er} **V1** tombe sur Londres : petit avion sans pilote de 6 m d'envergure portant 1 tonne d'explosif propulsé par un pulsoréacteur inventé par Paul Schmidt volant à 500km/h
- 200 V1 par jour furent alors envoyés sur Londres
- 8 septembre un **V2** de 12 tonnes est envoyé sur Londres : véritable fusée stratosphérique téléguidée à 5500km / h à 100 km d'altitude , arrive au sol à une vitesse supersonique. En octobre 1944 les allemands en envoient 25 par jour sur Londres et 8 à 10 sur Anvers

La réaction

- En 1939 les allemands avaient déjà fait voler le Heinkel 178
- En 1940 : 1^{er} vol en Italie d'un avion à réaction de Caproni
- 15 mai 1941 : Whittle fait voler un GLOSTER METEOR biréacteur qui sera engagé en opérations seulement en 1945 (200 avions)
- 1^{er} octobre 1942 les USA font voler leur 1^{er} avion à réaction BellXP-59A AIRACOMET grâce aux travaux de Whittle mais il ne sera jamais opérationnel
- Développements techniques : avions à réaction, avions à forte charge, à long rayon d'action, fusées V1 et V2 en 1942 (VON BRAUN) à Pennemünde, avions à moteur fusée.
- 18 septembre 1944 : **le MESSERSCHMITT Me 262** entre en opérations dans une unité dirigée par Walter Nowotny (1400 exemplaires avant la fin de la guerre)
- 24 décembre à Liège : 1^{ère} mission d'un bombardier à réaction **ARADO 234B** « Blitz »

6juin 1944 : « le jour le plus long » : opération « Overlord » : le débarquement

- L'aviation alliée prépare le futur débarquement par des bombardements tactiques : en 4 mois, 6000 avions déversent 76 000 tonnes de bombes sur la France
- 11 000 appareils alliés avec 925 Dakota en 1^{ère} ligne , 3 divisions de parachutistes transportés par 2395 avions et 867 planeurs avec 1500 bombardiers et 2500 chasseurs
- Pour être reconnus les avions arborent autour du fuselage et des ailes 5 bandes blanches et noires alternées appelées « bandes d'invasion » ou « bandes de débarquement »
- 22 juin : les soviétiques lancent leur offensive générale
- 15 août : débarquement sud

7 Mai 1945 : reddition de l'Allemagne

Dans le Pacifique

Les japonais sont eux aussi au bord du désastre

9 mars bombardement massif de Tokyo

Les as : Américain : Major BONG (40 victoires). Japonais : SOUGITA (120 victoires)

6 août 1945 : Paul TIBBETS sur B29 « Enola Gay » lâche la première bombe atomique « Little Boy » sur **HIROSHIMA**

9 août 1945 : **NAGASAKI** : le B29 "Bock's Car" du major SWEENEY lâche la 2^{ème} bombe atomique « Fat Man »

Le 14 août 1945, le Japon capitule sans conditions.



30 avril 1944 : William Wyler sort le 1^{er} film documentaire sur Memphis Belle

En 1944 : création de l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) organisation regroupant les pays membres de l'ONU, dont le siège est à Montréal; elle est chargée de coordonner l'activité des compagnies et d'établir les règles du transport aérien.

Bilan après la guerre :

675 000 avions ont été construits

De 1939 à 1945 la puissance des moteurs a triplé passant de 1200 à 3500 CV

L'aviation semble évoluer vers une mécanisation plus complète; la superforteresse et le V2 représente le passé et le futur.

Les records avant et après guerre :

* Record de vitesse : 7 / 11 / 45 : 975 km/h (G-B) (1^{er} record à un jet) soit + 220 km/h

* Distance en ligne droite : 12 / 11 / 45 : 12 739 km (USA) : + 1220 km)

* Altitude : 23 / 03 / 48 : 18 119 m soit + 1000 m

L'Allemagne possède un grand nombre de physiciens, chimistes, savants atomistes et ingénieurs qui vont se partager entre les USA et l'URSS. La plupart des motoristes, à part Von Braun, rejoignent l'URSS ce qui expliquera l'avance de l'Union Soviétique en astronautique.

Dès 1945, on voit le développement du turboréacteur, l'invention de la turbine à hélice (turbopropulseur que Rolls Royce expérimente en vol le 20 septembre 1945 sur un avion Gloster Meteor) et l'application de la turbine à la propulsion de l'hélicoptère.

En France l'aviation d'après-guerre doit se reconverter à des usages civils, l'industrie aéronautique est largement amputée et des entreprises font l'objet de nationalisations visant à rationaliser la production; la France poursuit les études d'avant guerre : A Toulouse 1^{er} vol du bimoteur civil Breguet 500 « Colmar » (transport de 30 passagers) volontairement retardé par les ingénieurs pour ne pas servir le III^{ème} Reich et les militaires lancent de nombreux essais sur prototypes.

Les travaux secrets commencent à porter leurs fruits; les noms de Riffard, Hurel, Marcel Dassault ressortent de l'ombre après la Résistance et la déportation.

L'état signe un contrat avec le « groupe O » du professeur Oestrich de l'ancienne firme BMW qui installe ses ateliers à Rickenbach sur le lac de Constance : Atelier Technique Aéronautique de Rickenbach : **ATAR**

De même la **SNECMA** (Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation) succédant à Gnome-et-Rhône et à Lorraine

- 4 juin 1945: George Detré décolle le prototype du Stampe SV4 équipé d'un moteur Renault (140 cv)
- 1^{er} août : ouverture du centre d'essai en vol de Brétigny
- 22 septembre : Air France (nationalisée le 26 juin) reprend la ligne Paris – Londres
- On voit apparaître un tout nouveau concept : L'aile volante Northrop qui est en acier-magnésium

Les années qui suivent vont voir le développement des jets ainsi que des équipements et matériels de bord électroniques

[retour au sommaire 5](#)

Chapitre 6 – L'APRES GUERRE 1945 - 1970

L'ère du réacteur est ouverte

LES RECHERCHES : PROTOTYPES

En France :

- **11 novembre 1946, le « Triton » ou SO 6000**, 1^{er} avion français à réaction effectue son 1^{er} vol piloté par Daniel Rastel, chef pilote à la SNCASO, équipé d'un réacteur Nène de Rolls-Royce, le plus puissant réacteur du monde en service construit en France par Hispano-Suiza.
- **René Leduc met au point le « Leduc »**, sur le principe de la tuyère thermopropulsive qu'il avait inventée en 1936 ; le prototype expérimental du statoréacteur « Leduc 010 », piloté par Jean Gonord, a volé pour la 1^{ère} fois tuyère allumée, le 21 avril 1949, lâché à partir du quadrimoteur « Languedoc 161 » ; les essais en seront abandonnés en 1958 par faute de crédits.



SO 6000 Triton



Leduc 010 sur l'avion porteur Languedoc



Leduc 022 quittant le Languedoc

Compétition entre les grands pays :

1 – avions de chasse supersoniques - 2 – hélicoptères - 3 – avions de transport à réaction et aviation d'affaires - 4 – espace

Aux Etats-Unis :

- La guerre froide fera débloquer des crédits importants dans la course à l'armement
- Le 26 juin 1946, en Angleterre, Bernard LYNCH expérimente pour la 1^{ère} fois un siège éjectable « Martin Becker »

➤ (1) AVIONS DE CHASSE SUPERSONIQUES

LE MUR DU SON

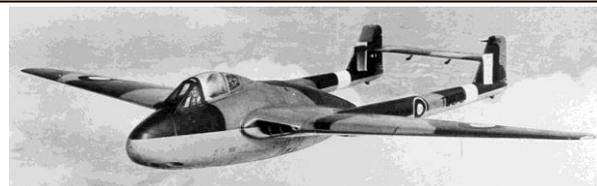
- **Le 14 octobre 1947, Chuck YEAGER passe le mur du son sur un Bell X1**, équipé d'un moteur fusée et largué à 6 000 m d'un bombardier B 29 (mach 1,06)



Bell X1



Chuck Yeager



Vampire 1

- En Angleterre, 9 septembre 1948, John Derry passe le mur du son sur De Havilland « Vampire ». Le Vampire (1^{er} vol 1943) équipera de nombreuses armées dont l'armée de l'air française et certains pays l'utiliseront jusqu'en 1980.
- En France, le 12 novembre 1952, **Roger CARPENTIER*** est le 1^{er} français à passer le mur du son sur un Mystère II; Sur ce même avion un américain Marion Davis avait passé le mur du son le 28 octobre 52.



Mystère-2



Mystère-4



Mirage 3 camoufrage 1969

- Le Mystère IV, construit en 1952, passe le mur du son le 18 janvier 1953 piloté par Kostia ROZANOFF, chef pilote chez Dassault; 1^{er} avion utilisé par la Patrouille de France (57 - 63)
- 17 novembre 1956 1^{er} vol du Mirage III. Il sera construit à plus de 1400 exemplaires; c'est le 1^{er} avion français à avoir passé Mach 2 le 24 octobre 1958 piloté par Roland GLAVANY

* Constantin ROZANOFF a été le premier français à passer le mur du son en vol horizontal

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	11800 kg	chasseur / Mach 2 en 1958
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

Les avions espions LOCKHEED **U2** (il a volé pour la 1^{ère} fois en 1955), devenant vulnérables aux missiles sol-air soviétiques et révélé en 1960, LOCKHEED étudie dès 1950, un appareil volant à Mach 3 et à 25 000 m d'altitude, études qui aboutissent à l'A-12 sorti en 1961 puis le **SR-71 BLACKBIRD** mis en service en 1966, tri-sonique furtif, 1er vol en 1964; mais c'est seulement en 1970 que l'existence de cet appareil fut dévoilée; puis le **LOCKHEED F117** (1981) étudié dès le départ pour avoir la signature la plus réduite possible. Il a été 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).

U2



➤ (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.
- Ensuite le Frelon suivi du Superfrelon (1^{er} vol 7 décembre 1962)
- 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 redécoule du Mont-Blanc avec un BELL 47 ; CESSNA (SKYHOOK), HUGUES, PIASECKI , VERTOL (banane volante , chinook) SIKORSKY.

- L'Atlantique vaincue en hélicoptère le 15 juillet 1952 par deux Sikorsky S 55 en 42h 25 mn .
- Les recherches sur l'**ADAV** (Appareil à Décollage et Atterrissage Verticaux, ex VTOL) aboutissent aux US en 1954 avec le Pogo de CONVAIR
Après 1962 les français sortent le « Balzac » de Dassault et les anglais le **Hawker Harrier** P 1127, 1er chasseur à décollage vertical, 1er vol 1966, mis en service 1969



➤ **(3) L'AVIATION COMMERCIALE**

- Fin 1945 , l'avion le plus utilisé est encore le DC 3 (sorti en 1935) qui sera relayé par le Douglas DC 4 en concurrence avec le Lockheed Constellation (transformé en Superconstellation dans les années 50)
- Le 1^{er} avion de ligne à réaction est le « **COMET** » **DH 106 DE HAVILLAND** (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)
- 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.
- **FOKKER** aux Pays-Bas devient leader du transport régional avec son Fokker F-27 biturbopropulseur.
- 1963 : 1er vol du **C160 Transall** du 1er consortium franco-allemand
- 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 deux 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.

➤ **(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 dont le 1^{er} vol a lieu 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](#)

[retour au sommaire général](#)

Chapitre 7 – A PARTIR DE 1970

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.

L'Aerospatiale, créée en 1970, est issue de plusieurs sociétés historiques (Arsenal,

Amiot/Caudron, Farman/Hanriot, Potez, Bloch, Blériot, Dyle/Bacalan, Loire/Nieuport, Lioré et

Olivier, Chantiers aéronavals Étienne Romano, Dewoitine, Mauboussin (Fouga), Morane-

Saulnier) nationalisées en 1936.

- Au Royaume-Uni restent un constructeur, British Aerospace et un motoriste, Rolls-Royce
Ainsi British Aerospace est issue d'Avro, Blackburn, De Havilland, Hawker, Armstrong, Vickers, Bristol...
- 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'Aérospatiale, 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.

Le secteur de l'Aviation Commerciale entre en pleine mutation sociale, financière et réglementaire : grèves , avions en retard, choc pétrolier de 1974, saturation des aéroports, attentats... La concurrence devient très sévère ; malgré cela le trafic augmente de 5 à 12 % par an et le secteur est congestionné ; l'URSS qui adhère à la Convention de Chicago en 1974 fait encore progresser les statistiques
Le secteur industriel occidental connaît un fort développement après une crise entre 1968 et 1973

Dans le domaine des **hélicoptères**, le groupe **EUROCOPTER** est au début du XXI^e siècle le premier fabricant d'hélicoptères civil au monde.

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).

En 2001, Eurocopter avait une part de marché mondiale de 40 % et de 30 % aux États-Unis. La part de marché mondiale sur le marché civil et parapublic est de 52 %, loin devant ses premiers concurrents Bell, Agusta, Boeing et Sikorsky.

Les constructeurs américains sont leaders dans le domaine militaire tandis que l'entreprise russe Mil, regroupé avec les autres constructeurs russe dans une holding Hélicoptères Russie, fait excellente figure.

Principaux constructeurs aéronautiques :

Compagnie	Consortium	Nationalité	Date de création	Activités
Airbus	Airbus Group	 Europe	1971	Aviation civile et militaire
Airbus Helicopters	Airbus Group	 Europe	1992	Hélicoptère
ATR	Airbus Group / Leonardo-Finmeccanica	 France	1981	Aviation civile
Bombardier Aéronautique	Bombardier Inc.	 Canada	1986	Aviation civile
Boeing	Boeing	 États-Unis	1916	Aérospatiale, aviation civile et militaire
Chengdu	Avic	 Chine	1969	Aviation civile et militaire
Comac	Avic	 Chine	2008	Aviation civile
Embraer	Embraer	 Brésil	1969	Aviation civile et militaire
Dassault Aviation	Groupe Dassault	 France	1929	Aviation civile et militaire
Iliouchine	OAK	 Russie	1933	Aviation militaire
Lockheed Martin	Lockheed Martin	 États-Unis	1995	Aviation militaire
Mikoyan-Gourevitch	OAK	 Russie	1939	Aviation militaire
Mitsubishi Heavy Industries	Mitsubishi	 Japon	1934	Aérospatiale, aviation civile et militaire
Pilatus Aircraft	Pilatus Aircraft	 Suisse	1939	Aviation d'affaire et avions d'entraînement
Saab	Saab	 Suède	1937	Aérospatiale, aviation civile et militaire
Soukhoï	OAK	 Russie	1939	Aviation civile et militaire
Tupolev	OAK	 Russie	1922	Aviation 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-Bolkov-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, un certain nombre de pays possèdent des armes nucléaires; les grandes puissances doivent revoir leur politique d'armement, l'ancien équilibre du temps de la guerre froide n'ayant plus cours; 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
- Lockheed introduit le « TRISTAR » qui sera sa dernière production civile
- En 1971 1^{er} vol du Mercure 100 de Dassault-Bréguet pour Air-Inter
- 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
- La France poursuit sa progression. Airbus devient co-leader de Boeing. Mac Donell-Douglas est repris par Boeing.
- 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
- 2003 : Fin des vols commerciaux du **CONCORDE**
- 11 septembre 2001 : Attaque terroriste contre New York et Washington
- 25 juillet 2000 : Le **CONCORDE** d'Air France F-BTSC s'écrase peu après le décollage.

➤ **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) ,
- CESSNA et RAYTHEON qui absorbe Beechcraft élargissent leurs gammes
- La SOCATA lance en 1988 le **TBM 700** : 1^{er} monomoteur à turbopropulseur pressurisé

➤ **AUTRES EVENEMENTS**

- en 1986 : **1° 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 : Gossamer Condor (1977), Gossamer Albatross (1979), 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,

Le 10 juin 2020, pour la première fois, un avion électrique est certifié par une autorité, l'Agence européenne de la sécurité aérienne : le Pipistrel Velis Electro

La piste des piles à combustible fonctionnant grâce à de l'hydrogène est également étudiée. En 2008, la recherche de Boeing fait voler un moto-planeur pendant 20 min à l'aide de cette technique

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](#)

[retour au sommaire général](#)

Chapitre 8 – L'ESPACE avant 1970

➤ Les précurseurs :

- **KEPLER** énonce ses trois lois de mécanique spatiale de 1606 à 1619, ce qui permit à **NEWTON** de découvrir le principe d'attraction universelle

- **Constantin TSIOLKOVSKY** (1857 / 1935) découvre dès 1883, que les fusées peuvent se propulser dans le vide par réaction et met au point en 1908 la fusée à propergols liquides hydrogène / oxygène . En 1903 il écrit un article donnant les principes de la propulsion par réaction dans l'atmosphère comme dans le vide ; ces travaux ne seront publiés qu'en 1923 après la révolution ; il poursuit alors ses recherches et invente les tuyères convergentes-divergentes, le refroidissement des parois de tuyères par circulations des ergols, le principe des fusées à étages, la création d'une gravité artificielle par la mise en rotation du vaisseau spatial, le recyclage en circuit fermé des produits du métabolisme des occupants d'un aéronef

➤ Les premières avancées techniques sont dues à cinq passionnés :

l'américain **GODDARD**, le français **ESNAULT-PELTERIE**, les russes **GLOUCHKO** et **KOROLEV**, l'allemand **OBERTH**

- **Robert Hutchings GODDARD** (1882 – 1945) professeur physicien américain, inventeur du bazooka, lance le 16 mars 1926 la première fusée à propergols liquides (12m d'altitude, 56m à 96 km/h) et en 1929, sa 1^{ère} fusée à mission scientifique transportant un baromètre, un thermomètre et une caméra ; il met au point la fusée à plusieurs étages, la stabilisation gyroscopique. Goddard est le père de l'aéronautique américaine.
- **Robert ESNAULT-PELTERIE** (1881 – 1957) jette les bases théoriques de l'aéronautique dès 1912 mais ce n'est qu'entre 1934 et 1937 qu'il obtient les moyens de faire fonctionner au banc d'essais de Satory les premiers moteurs fusées français à ergols liquides
- **Valentin Petrovitch GLOUCHKO** (1908 – 1989) futur motoriste, débute en 1929 ses recherches à Leningrad sur les moteurs à propergols liquides : kérosène et acide nitrique , c'est ce type de moteur qui propulsera la 1^{ère} fusée soviétique le 17 août 1933 ; Peu connu du grand public, il est très célèbre auprès des spécialistes : de 47 à 57 il crée la série des moteurs RD 100 à 108 à kérosène et oxygène liquide : mise en orbite de Spoutnik . En 1974 il est le grand patron de l'aéronautique soviétique et voit le 15 mai 1987, son moteur RD 170 alors le plus puissant du monde, propulser et mettre sur orbite la navette Bourane
- **Hermann OBERTH** (1894 – 1989) fait paraître en 1929 son ouvrage majeur « La route de la navigation dans l'espace » ; il prévoit les applications scientifiques et utilitaires des satellites : observation de la Terre, météorologie, élaboration d'alliages en micro-gravité, navigation et télécommunications ; il permet à l'Allemagne de prendre son avance durant la seconde guerre mondiale. En 1955, il rejoint Von Braun aux Etats-Unis où il collabore au programme spatial américain jusqu'en 1958
- **Serguei Pavlovitch KOROLEV** (1906 – 1966) , grand architecte de l'Aéronautique soviétique, en 1931, il organise le GIRD (groupe d'étude sur la réaction de Moscou) dont le projet est un planeur équipé d'un moteur fusée . Korolev refait et lance un V2 en 1947 à fin d'études, construit en 48 et 49 les fusées R1 et R2 de 600 km de portée et en 1953 propose les fusées intercontinentales R6 En 1954, il entreprend les fusées R7 qui mettront Spoutnik en orbite. Sa mort en 1966 est une catastrophe pour l'espace soviétique

➤ L'artisan du succès américain :

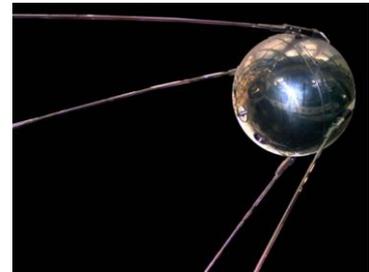
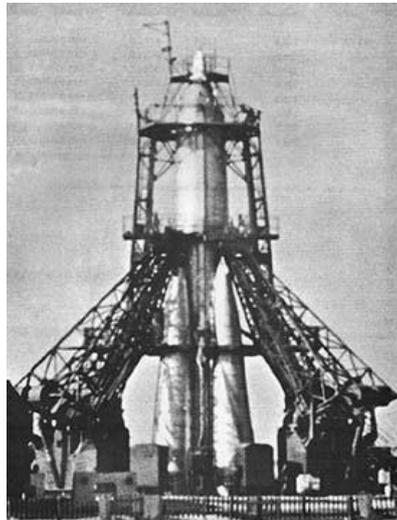
WERNER VON BRAUN (1912/1977) devient en 1930 l'un des assistants d'Oberth, bénéficie alors de moyens qui aboutiront aux fusées V1 (1940) et V2 (1942) qui atteignent la région parisienne le 6 septembre 1944 (V : Vergeltungswaffe) : 1^{ère} fusée stratosphérique balistique radioguidée; à la fin de la guerre il rejoint les USA et devient le père du programme spatial américain. Le 31 janvier 1958 la fusée Jupiter-C met en orbite le 1^{er} satellite américain Explorer-1 d'une masse de 14 kg ; le 20 juillet 1969 son rêve se réalise avec la fusée Saturn V en partance pour la Lune.

Après guerre plusieurs motoristes allemands sont partis en URSS, les aérodynamiciens et seulement Von Braun aux USA, d'où l'avance russe dans la conquête spatiale.

L'URSS prend au début une sérieuse avance sur les USA

Chronologie **URSS** - **USA**

- **4 octobre 1957** : 1^o satellite artificiel : **SPOUTNIK 1** (83 kg) lancé par l'URSS de Baïkonour, hors de portée des radars extérieurs : durée 3 mois, révolution de 96 mn sur une orbite de 230 à 950 km



- 3 novembre 1957 : **SPOUTNIK 2** avec la chienne **LAÏKA**
- 15 mai 1958 : Premier laboratoire spatial : **SPOUTNIK 3** qui transporte une tonne d'instruments
- 1959 : Pour l'URSS, objectif Lune avec Sergueï Korolev ; premières images de la face cachée de la lune par **LUNIK 3** ou Luna 3



- **12 avril 1961** : **YOURI GAGARINE** est le premier homme en orbite autour de la terre à bord de **VOSTOK 1** (108 min sur une orbite à 327 km d'altitude)

Les premiers satellites à missions scientifiques

- le 31 janvier 1958 : le satellite d'observation de la Terre : **Explorer est mis en orbite par une fusée Saturne V de Von Braun;**
- **le 1^{er} octobre 1958 : création de la NASA.**

- 1960 : 1° satellite du soleil : **PIONEER 5** (USA) ;
1° satellite météorologique : **TIROS 1** (USA)

AUX USA : JF Kennedy :

**« Avant 70, un homme sur la lune !
et ce sera un américain! »**

*cela paraissait utopique au vu des dimensions du
plus petit ordinateur de l'époque*

A. Shepard

V. Grissom

J. Glenn



la NASA lance :

- **le plan MERCURY** : 1 homme à bord, fusée Redstone puis Atlas en 62
5 / 5 / 61 : Alan SHEPARD (vol balistique mais Shepard contrôle la trajectoire de retour)
21 / 7 / 61 : V. GRISSOM (vol balistique)

20 / 2 / 62 : JOHN GLENN : 3,5 tours autour de la terre

- 1962 : **Satellite TELSTAR** : images entre USA et Europe
- 1963 : Premier satellite géostationnaire **SYNCOM 2**

1963 : Première femme dans l'espace : Valentina TERESHKOVA.

- 1964 : Premières photographies de la planète **Mars** transmises par la sonde **US MARINER**
- 1965 : Premier vol d'un vaisseau spatial multiplaces : **VOSKHOD 2**

18 mars 1965 : ALEXIS LEONOV devient le premier piéton de l'espace (emporté par Vostok 2)

- **le plan GEMINI** : 12 missions
- 2 hommes à bord ; vols de 1,2,3 jours
- 1° sortie dans l'espace d'un américain : **E. White** le 3 juin 1965
- décembre 1965 : 1° rendez-vous spatial : Gemini 7 rejoint Gemini 6 (fusée Titan 2)

1966 Luna 9 se pose sur la Lune et Luna 10 est le 1^{er} satellite artificiel de la Lune

le plan APOLLO (Lune) : avec la fusée Saturne V

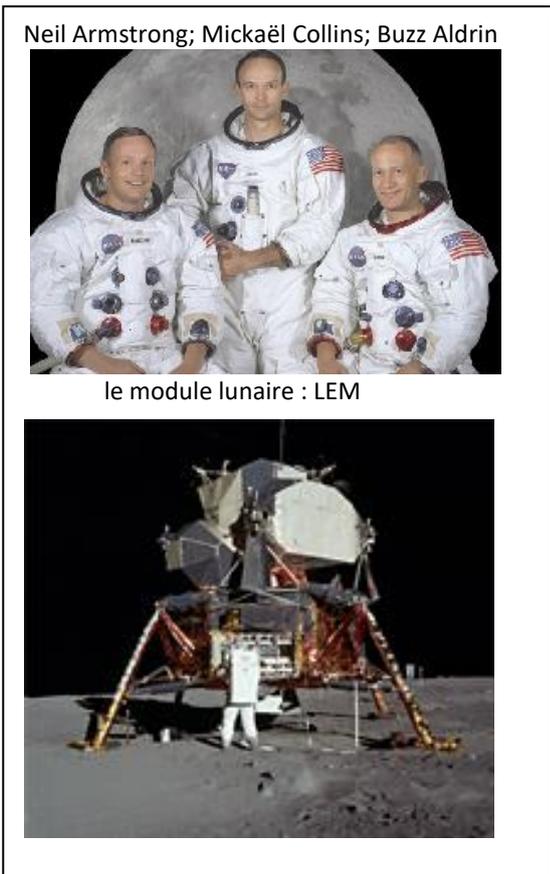
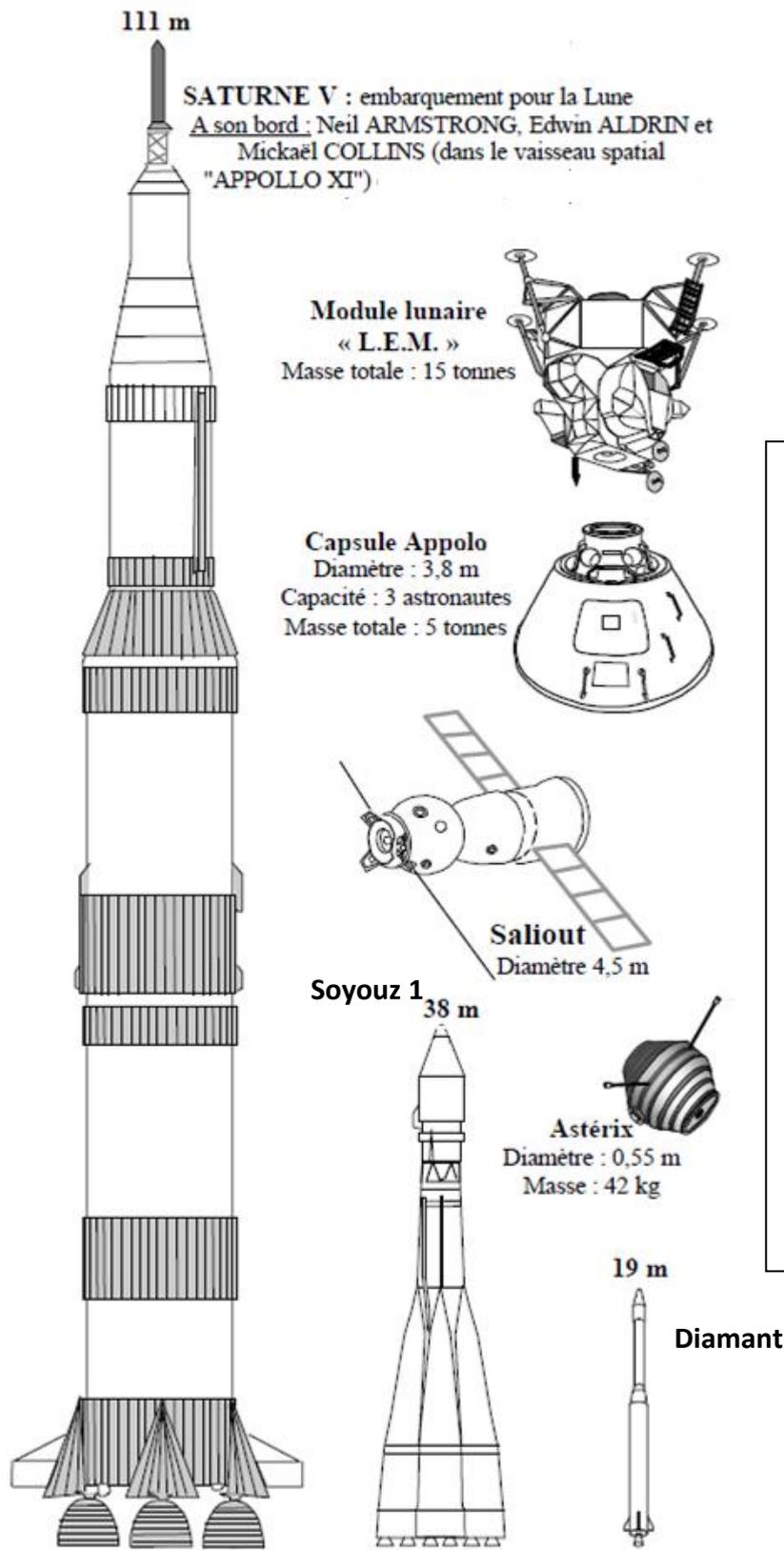
Apollo 1 en 1967 explose sur le pas de tir : parmi les trois victimes, **GRISSOM** a été le seul qui ait participé aux trois programmes.

21 / 7 / 69 : Neil Armstrong , avec Apollo 11 est le 1° homme sur la Lune (avec Aldrin dans le LEM Eagle, Collins étant resté dans la fusée) .

12 américains ont marché sur la Lune

Apollo 13 : explosion : les astronautes se réfugient dans le LEM

7 / 12 / 72 : **Apollo 17 : le dernier**



La guerre froide a été une guerre de technologie et dans beaucoup de cas le conflit Américano-Soviétique se retrouvait dans des situations non-militaires. Que ce soit le Championnat du monde d'échec de 1972 entre Bobby Fischer et Boris Spassky ou encore dans la course vers l'espace. En effet dès les années 60 les deux superpuissances ont débuté leurs développements de systèmes de propulsion pour des fusées, mais aussi pour des missiles nucléaires. Quoi qu'il en soit deux systèmes de propulsion ont marqué cette période de l'Histoire : Saturn V qui fut utilisé pour mettre des hommes sur la lune et Soyouz qui est toujours utilisé aujourd'hui pour acheminer des astronautes à la station spatiale internationale.

L'esprit, dans lequel ces deux fusées furent construites, était très différent. Saturn V est le plus gros et plus puissant lanceur jamais conçus tandis que Soyouz est le lanceur le plus utilisé de l'histoire.

Ces différences de philosophie ont influencé les technologies utilisées dans ces lanceurs.

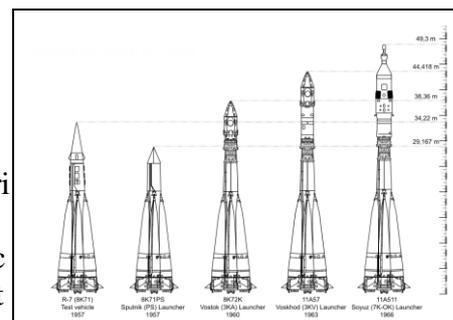
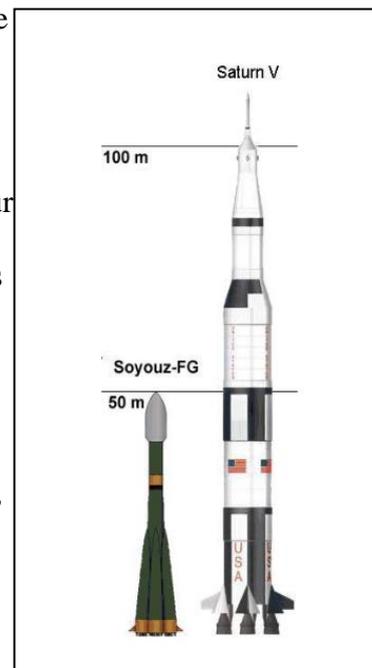
Saturn V fut lancée pour la dernière fois en 1973, pour mettre en orbite la station spatiale Skylab. Au cours de ce vol Saturn V a mis en orbite le plus lourd chargement de l'histoire avec une charge de 140 000 kg.

Saturn V n'aura été utilisée que 13 fois avec un coût très élevé.

Il est tout de même intéressant que la NASA se base beaucoup sur le modèle de Saturn V pour développer leur nouveau véhicule, le SLS (Space Launch System) qui aura pour but ultime d'envoyer des hommes sur Mars.

Soyouz :

Le lanceur Soyouz fait partie de la famille des fusées soviétique R-7 et est une amélioration du système Vostok. Les fusées R-7 furent au début des missiles balistiques intercontinentaux mais une fois modifiées, elles furent utilisées pour envoyer Spoutnik et Youri Gagarine dans l'espace. Soyouz fut introduit en 1966 et depuis cette date, il est devenu le système de lancement le plus utilisé avec plus de 1700 vols (en comptant toutes les variantes.) Contrairement à Saturn V, Soyouz a connu de nombreuses variantes.



➤ EN FRANCE : La France devient la 3^e puissance spatiale

- Précurseurs : 1865 : « De la Terre à la Lune » (J.Verne)
1930 : « L'Astronautique » (R.Esnault-Pelterie)

Durant l'occupation, le colonel Jean-Jacques Barré réalise la 1^{ère} fusée à ergols liquides française qui effectuera son 1^{er} vol le 15 mars 1945.

1950 : 1^o fusée française : **Véronique**

Premiers passagers français : 1961 : un rat Hector ; 1963 : un chat Félicette

- Les structures

Le 21 avril 1947 est créé le CIEES : Centre Interarmées d'Essais d'Engins Spatiaux

En 1962 le CNES est mis en place : organisme civil d'état qui étudie et finance des projets du CNRS, de l'ONERA.... conçoit et met en œuvre les programmes spatiaux français

En 1963 le CNES et la NASA signent un accord de coopération pour envoyer plusieurs satellites français avec des fusées américaines

26 novembre 1965 1° satellite français Astérix lancé par une fusée Diamant à partir de la base d'Hammaguir



*Le nom du satellite était à l'origine **A-1** (A pour armée). Après la réussite du lancement, il fut renommé **Astérix** en l'honneur du héros de la bande dessinée Astérix le Gaulois (la première proposition, non retenue, était **Zébulon**, personnage de la série d'animation Le Manège enchanté). Le premier satellite lancé par la fusée **Ariane**, le 24 décembre 1979 fut surnommé **Obélix**. Il pesait 1 600 kg. Son nom officiel était **CAT-1** (Capsule Ariane Technologique).*

La seconde fusée Diamant est tirée en 66 et les deux dernières en 67, de la base d'**Hammaguir**, le centre d'essais étant basé à Colomb-Béchar. Ces deux bases sont abandonnées le 1^{er} juillet 67 pour le centre spatial guyanais de **KOUROU**

Forte de son expérience, la France pourra proposer la construction de la fusée européenne Ariane dans les années 70

➤ **L'Europe de l'espace des années 60 à 70 :**

- En 1962 est créé le Centre Européen de Recherches Spatiales (CERS) : 7 satellites scientifiques seront envoyés entre 68 et 72 par la fusée américaine Scott
- 30 / 11 / 68 : Fusée Europa (F-D-I) : échec du à la liaison entre les étages, le projet sera abandonné
- 6 avril 65 : le 1° satellite européen de communications : Intelsat 1 surnommé **Early Bird**, est mis en orbite par une fusée delta américaine

[Retour au sommaire 5](#)

Chapitre 9 – L'ESPACE DE 1970 A 2000

L'année 1970 voit un nouveau monde se dessiner

Jusque là les pays capables d'envoyer un satellite dans l'espace avec leur propre lanceur (on parle de puissances spatiales) étaient seulement au nombre de 3 :

- L'Union soviétique, le 4 octobre 1957 avec le lancement de Spoutnik-1, par un lanceur R7-Semiorka
- Les Etats-Unis, le 1^{er} février 1958 avec le lancement du satellite Explorer 1 par le lanceur Juno 1
- La France, le 26 novembre 1965 avec le lanceur Diamant, depuis la base de lancement de Hammaguir, qui lance Astérix

A partir de 1970, ce scénario va changer. Ces 3 puissances spatiales sont rejointes par :

- Le Japon, le 11 février 1970 grâce au lanceur à poudre Lambda, qui envoya le satellite Osumi
- La Chine, le 24 avril 1970 avec un lanceur Longue Marche 1, qui lança Dong Fang Hong 1
- Le Royaume-Uni, le 28 octobre 1971 lors du lancement du satellite Prospero X-3, depuis la base de lancement de Woomera en Australie, avec son lanceur Black Arrow
- L'Inde, le 18 juillet 1980 avec le lancement du Rohini avec son Satellite Launch Vehicle
- Israël, le 19 septembre 1988 avec le lancement du satellite Ofek-1 sur son lanceur Shavit

Un besoin scientifique (Auteur: Gary Quinsac)

L'astronomie est science d'observation. Dans l'Antiquité, l'observation des objets célestes visibles à l'œil nu permet d'abord la mesure du temps. Ensuite, elle s'attache à prédire les mouvements des objets observés. Les observations étaient menées par des astrologues (qui parlent des astres) qui, au fil du temps, ont évolué pour travailler comme astronomes (qui étudient le mouvement des astres) et, aujourd'hui, astrophysiciens (qui utilisent la physique pour comprendre les astres). Au cours des siècles les instruments utilisés s'améliorent, permettant des observations toujours plus fines. Le XX^{ème} siècle marque un tournant, les astronomes se retrouvant confrontés à des limitations difficilement surmontables ainsi qu'à des besoins nouveaux :

- de nombreuses longueurs d'onde ne sont pas accessibles depuis le sol car elles sont absorbées par l'atmosphère de notre planète;
- la pollution atmosphérique limite la précision des instruments au sol ; la turbulence atmosphérique dégrade les images astronomiques ;
- on commence à vouloir effectuer des observations géophysiques et géographiques de notre planète pour la météorologie, la géodésie, la climatologie, l'inventaire des ressources naturelles, la reconnaissance militaire...);
- enfin, un besoin de grands relevés à l'échelle de toute la planète apparaît.

Pour certains objectifs, il apparaît alors nécessaire de satelliser les instruments d'observation.

Différentes applications actuelles

Dès le début de l'ère spatiale, les industriels emboîtent le pas des scientifiques et imaginent des applications commerciales. On retrouve ainsi, de nos jours, de nombreux types de satellites différents :

- satellites astronomiques, dédiés à l'observation d'objets spatiaux de l'Univers proche ou lointain. On peut citer le télescope spatial infrarouge Herschel et la mission de cartographie de notre galaxie Gaia, tous deux de l'agence spatiale européenne (ESA), ou encore le chasseur d'exo-planètes Kepler de l'agence spatiale américaine (NASA) ;
- satellites de communication, qui répondent à des besoins de télécommunication, tels que ceux d'Intelsat, premier fournisseur de services de télécommunication par satellites en 2008 ;
- satellites d'observation de la Terre, à visée non-militaire telles que la surveillance environnementale, la météorologie ou encore la cartographie. La famille de satellites SPOT développées par l'agence spatiale française (CNES) en fait partie ;

- satellites de positionnement et de navigation servant à localiser des récepteurs au sol. À titre d'exemple, nous pouvons citer les systèmes américain GPS, européen GALILEO, russe GLONASS et chinois BEIDOU;
- vaisseaux spatiaux habités, comme la famille de véhicules spatiaux soviétiques puis russes Soyouz ;
- stations spatiales, qui sont des structures artificielles développées pour que des humains puissent vivre dans l'espace. À la différence des véhicules spatiaux habités, celles-ci ne disposent pas d'un moyen de propulsion principal. La Station Spatiale Internationale (ISS) en est un exemple.

Dès le début des années 70,

→ **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

→ **1990 : Mise en orbite du télescope spatial Hubble** (NASA et ESA pour 15%)



Opération de maintenance



Nébuleuses : Les Piliers de la Création



la Tête de Cheval

Vue en infrarouge

Sa masse est de 11 tonnes, il fait la taille d'un bus ($13 \times 4 \times 4 \text{ m}^3$) et consomme 2,8 kW. Son orbite relativement basse (550 km d'altitude) a permis aux navettes spatiales américaines de venir effectuer des réparations et des remplacements d'équipements. Pour les observations dans l'infrarouge, Hubble devait être remplacé en 2020 par le **télescope spatial James-Webb**, aux capacités supérieures. Le 16 juillet 2020, il est annoncé que la date de lancement de James-Webb est repoussée au **31 octobre 2021**

→ **EN FRANCE et EUROPE :**

- **Premiers spationautes* français :**

Jean-Lou Chrétien (1982 Saliout7 URSS) puis **Patrick Baudry** (1985 navette Discovery USA)



1ère femme : **Claudie Haigneré** (née André-Deshays, en 1996: Mir puis en 2001: ISS)

* Un **astronaute**, également appelé **cosmonaute** pour les Russes, **taïkonaute** pour les Chinois, ou d'autres termes encore selon les pays, est le membre de l'équipage d'un véhicule spatial. Spationaute est un terme général souvent utilisé en Europe.

- **Satellites :**

Météosat : météo; Spot : observation terrestre; Iso : observation astronomique;

Helios : observation militaire ;

satellites GNSS : GPS (USA 1995), Galiléo (ESA 2017)



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 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.

- L'observation de la Terre est le premier poste de dépenses pour l'ESA
- Le programme Galileo de positionnement par satellite représente en 2015 le 2^{ème}.
- Lanceurs européens Ariane

Au début des années 1970, l'Europe spatiale naissante est en crise. Son programme de lanceur **Europa**, basé sur un premier étage issu d'un missile britannique, enchaîne les échecs. La France, forte de son statut de troisième puissance spatiale (grâce à sa fusée Diamant qui plaça sur orbite le satellite Astérix en 1965), propose alors un lanceur de 3ème génération de substitution le **L3S**. Et L3S devient Ariane! la création en 1975 de l'ESA (Agence Spatiale Européenne) fédère un peu plus la volonté spatiale de l'Europe.



Europa

24 décembre 1979 : depuis la base de Kourou, le 1^{er} lanceur de la famille **Ariane** offre un vol inaugural réussi à l'Europe ainsi qu'une indépendance pour l'accès à l'espace

Ariane 1 comprenait 3 étages pour une hauteur de 47,4 mètres. Il pouvait placer un peu plus d'une tonne sur orbite de transfert géostationnaire. Cette capacité passera à **1,8 tonne** au cours de son exploitation. Ariane 1 est rapidement remplacée par des versions plus puissantes, Ariane 2, Ariane 3 et Ariane 4, jusqu'à l'actuelle Ariane 5 beaucoup plus puissante, étage principal à ergol liquide.



Ariane 1

→ 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 : Soyouz est, depuis 1967, le seul véhicule spatial utilisé par l'aéronautique 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 : cet engin réutilisable est le 1^{er} cargo de l'espace, avec pour vocation d'injecter des satellites, laboratoires et sondes spatiales tout en étant récupérable; il sera construit à 5 exemplaires opérationnels

- la première Enterprise en 77 n'est jamais allée dans l'espace
- **12 avril 81** lancement de Columbia (désintégrée en 2003 lors de sa rentrée dans l'atmosphère),
- Challenger en 83 (désintégrée lors de son lancement 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 en mode automatique (sans cosmonautes). Le vol est une réussite technique, mais Bourane sera abandonnée pour des motifs financiers.



→ Stations spatiales orbitales

- **SALIOUT 1** est la première station habitée, lancée le 19 avril 1971 par l'URSS. Elle sera occupée pendant 24 jours par un équipage qui périra dans un tragique accident lors du retour sur Terre. Saliout 1 sera suivie par les stations Almaz rebaptisées Saliout. Jusqu'en 1991, sept stations SALIOUT se succéderont. Saliout 7 accueillera Jean-Lou Chrétien.
- **SKYLAB**: Le 14 mai 1973, la station spatiale américaine SKYLAB, associée à un observatoire solaire, est mise sur orbite par la fusée géante Saturn V (111m de hauteur, 2800 t); C'est une station géante de 76 tonnes, 2 étages d'habitation, orbitant à 435 km mais qui se désintègrera en rentrant dans l'atmosphère le 11 juillet 1979, victime d'une suractivité solaire exceptionnelle.
- **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 ; importance du point de vue médical pour les séjours de plus d'un an dans l'espace; 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, une fusée russe **PROTON** place en orbite le premier élément de l'ISS. Elle 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...

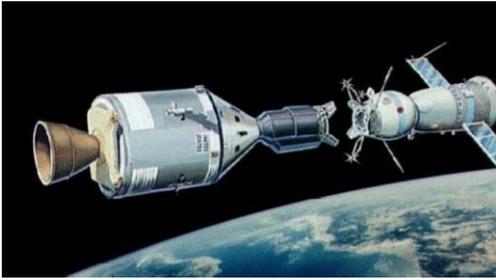
Un équipage permanent de six hommes et femmes vit et travaille à bord, en orbite à 400 kilomètres au-dessus de la Terre, relevé régulièrement, par groupe de trois.

Plus de 200 astronautes se sont succédés là-haut.

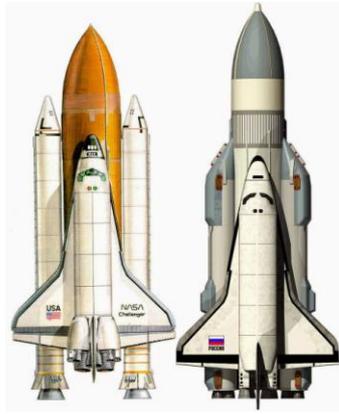
L'ISS fait le tour de la terre en environ 90 minutes, à une vitesse de 27 700 km/h.

Les six astronautes qui y vivent et travaillent ont donc la chance d'assister en moyenne à 15 ou 16 levers du soleil par jour !





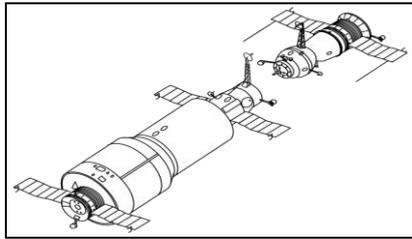
1975 arrimage Apollo-Soyouz



Challenger(83-86) et Bourane(88)



Mir et navette spatiale 1995



de Saliout 1 (1971) à

les stations spatiales



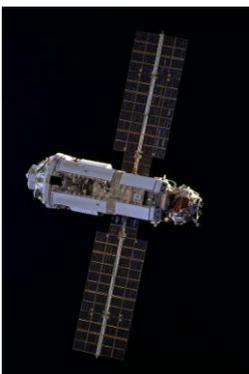
Saliout7 (1982- 91) Russie



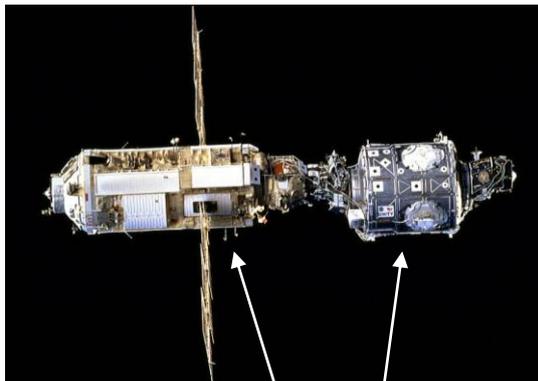
Skylab 1973-79 USA



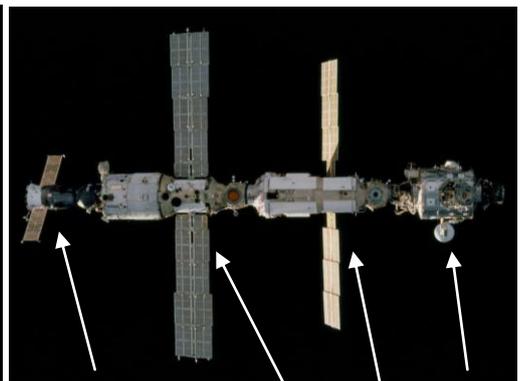
Mir 86-2001 Russie
ci-dessous de G à D :



Zarya, 1^{er} module



décembre 98 Zarya et Unity
de l'ISS-novembre1998

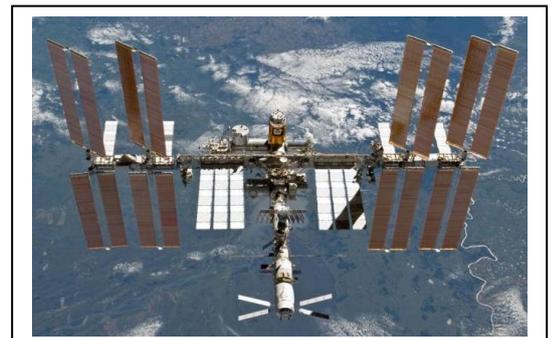


vaisseau Progress, Zvezda, Zarya, Unity

... pour arriver à la station actuelle

[Retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)



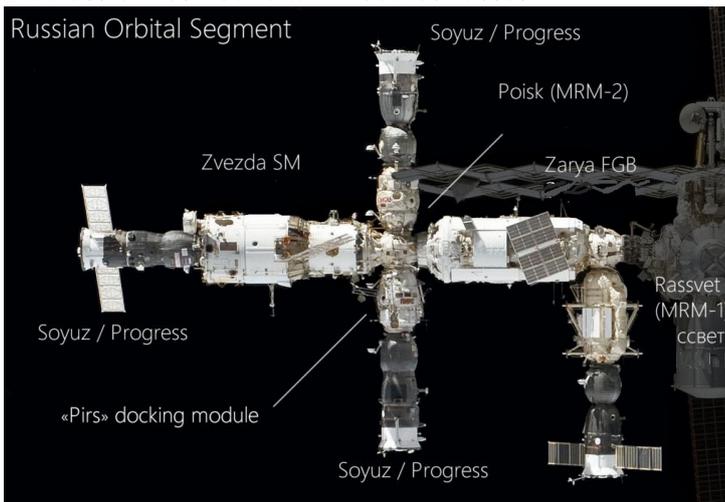
Chapitre 10 : L'ESPACE APRES L'AN 2000

Durant une grande partie du xx^e siècle, la rivalité politique entre les États-Unis et l'Union soviétique fut le vecteur principal de la conquête spatiale. L'effondrement du bloc soviétique ainsi que les crises économiques du bloc occidental ont ensuite conduit les principales puissances spatiales à mettre en place des programmes de coopération durable à l'échelle internationale, qui ont permis des réalisations ambitieuses comme la station spatiale internationale. Avec l'arrivée de nouveaux pays maîtrisant les vols spatiaux, comme la Chine, et de partenaires du secteur privé, ces forces évolueront avec une accélération des programmes d'exploration de l'espace.

1. L'ISS

« On considère souvent la Station spatiale internationale comme un simple laboratoire scientifique, mais on évoque rarement le fait que l'ISS est une base opérationnelle en orbite, qui oblige les pays participants à travailler ensemble », nous expliquait David Miller, directeur technologique de la Nasa, lors d'une interview en 2015. « Quelle que soit l'actualité, nous ne pouvons pas faire de pause dans la coopération ! L'ISS continue de se déplacer à 28 000 kilomètres par heure : l'équipe internationale doit rester concentrée sur ce qui se passe chaque jour à bord », précisait-il. Pour l'heure, l'ISS doit rester opérationnelle jusqu'en 2024, date jusqu'à laquelle les différents partenaires se sont engagés à financer le programme. Elle pourrait normalement être exploitée sous sa forme actuelle jusqu'en 2028. Elle fêtera alors ses 30 ans ! L'ISS est cogérée par cinq agences spatiales : la NASA (Etats-Unis), Roscosmos (Russie), l'ESA (Europe), JAXA (Japon) et l'ASC (Canada) et est financée par quinze pays (Etats-Unis, Russie, Japon, Canada et onze pays européens, dont la France)

La Russie : les nouveaux modules russes de l'ISS:

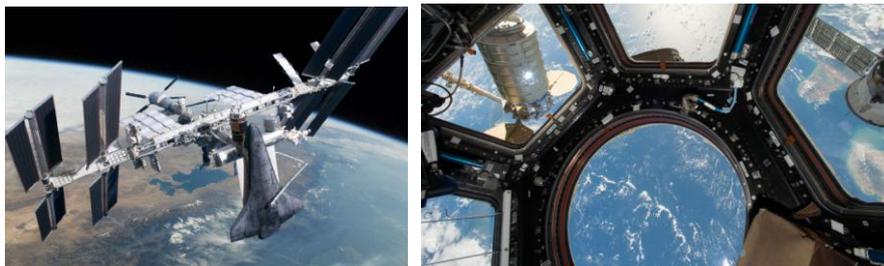


2001 : Amarrage du module **Pirs** : sas pour les sorties extravéhiculaires et autre point d'amarrage des vaisseaux Progress
2009 : Module **Poisk** , similaire à Pirs mais Poisk est également connu sous l'appellation de « Mini module de recherche 2 » par l'ajout de supports extérieurs pour installer des expériences scientifiques.

2010 : Module **Rassvet** de stockage et d'amarrage

mai 2021 ? Un nouveau module **Nauka** viendrait remplacer le module Pirs

L'Europe s'était engagée alors à fournir l'un des modules de la station (*Colombus*) – lancé en 2005 et opérationnel depuis –, ainsi que le *Véhicule automatique de transfert (ATV)*, énorme cargo non habité de plus de vingt tonnes pour le ravitaillement régulier de la station. Cinq lancements *ATV* par *Ariane 5* ont effectivement eu lieu de 2008 à 2014 et ont servi, entre autres, à régler en nature la part européenne des frais d'exploitation d'*ISS*.



Plus grand objet artificiel placé dans l'espace (110 m de longueur, 74 m de largeur et 30 m de hauteur. Chacune des 16 ailes de panneaux solaires mesure 35 m de long et 12 m de large, produisant un maximum de

120 kW. Son altitude entre 330 et 420 km a été choisie pour faciliter son assemblage/ravitaillement en orbite par les différents pays impliqués dans son exploitation.



Expérience de microgravité dans le module Columbus



L'ATV en orbite



La partie pressurisée de l'ATV

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 à 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 et le Dragon de la société SpaceX

Le vaisseau russe Soyouz assurera de manière exclusive la relève des équipages depuis l'arrêt de la navette spatiale américaine en 2011 jusqu'au 30 mai 2020 où un Crew Dragon de Space X a emmené pour la 1ere fois deux personnes sur l'ISS.



Capsule Dragon SpX-5 et vaisseau Cygnus capturés par le bras Canadarm-2 de l'ISS

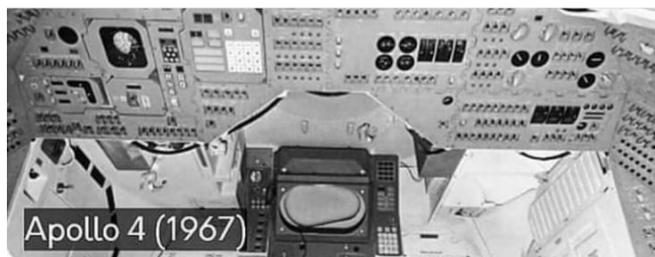


(2015)



CrewDragon en cours d'amarrage à l'ISS

Evolution en 50 ans :



Apollo 4 (1967)



Space Shuttle (2002)



Crew Dragon (2020)

[Retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

2. LES PUISSANCES SPATIALES

Le lanceur GSLV Mk III
est la fusée la plus
puissante de l'ISRO



L'Inde : donne la priorité aux satellites d'application (observation de la Terre, télécommunications, diffusions de programmes éducatifs). Elle développe plusieurs lanceurs de puissance croissante. La décennie 2000 est marquée par le lancement d'une première sonde spatiale vers la Lune.

L'Inde développe un lanceur léger, le **Small Satellite Launch Vehicle** : SSLV dont le premier vol est planifié début 2022.

Ce nouveau lanceur vise le marché des lancements commerciaux de nano, micro et mini satellites en plein essor. C'est un petit lanceur spatial développé par l'ISRO, l'agence spatiale indienne. Il est conçu pour placer des petits satellites en orbite basse.

L'Inde veut réaliser un premier vol habité dès 2022. Au moins quatre vyomanutes (ou gaganautes) sont en cours de formation pour devenir le premier Indien à voler dans l'espace.

La Corée du Nord : En décembre 2012, après plus de deux décennies de développement et, depuis 1998, trois essais manqués, la Corée du Nord réussit finalement à placer en orbite un petit satellite national expérimental, le Kwangmyongsong-3. En février 2016, elle annonce à nouveau le succès de la mise en orbite d'un nouveau satellite, Kwangmyongsong-4. Ce lancement, comme ceux qui l'ont précédé, a été vigoureusement dénoncé par la communauté internationale qui n'y voit, dans l'ensemble, qu'un paravent pour un programme de missile balistique intercontinental.

L'Iran : Même réaction. En février 2009, une fusée iranienne, *Safir-2*, met en orbite le premier satellite national. Le problème de sécurité lié aux armes nucléaires reste sous-jacent.

la Corée du Sud Suit de peu en 2013 la Corée du nord en envoyant un satellite avec un lanceur conçu en partenariat avec la Russie. La Corée du sud travaille sur un nouveau lanceur entièrement coréen (2021 ?), elle s'est spécialisée dans les petits satellites météo et observation de la Terre, plus une composante militaire d'observation (réponse à la Corée du nord ?)

Le Japon : Partenaire privilégié des Etats-Unis. Jusqu'en 1998 quand la Corée du Nord annonce ses premiers lancements, aucun objectif militaire pour lui et des programmes entièrement civils. Mais les responsables militaires japonais estiment que ce lancement cache en fait un test de missile balistique à longue portée donc le Japon décide de lancer des satellites espions pour surveiller son territoire ; Ce sera fait en 2003

Entre autres projets un nouveau lanceur **H3** et la future mission martienne **MMX, Martian Moons Exploration** : mission spatiale japonaise en cours de développement dont l'objectif principal est de ramener sur Terre un échantillon de sol de Phobos, un des deux satellites naturels de Mars. Au cours de la mission, la sonde spatiale doit effectuer une étude détaillée de Phobos et Déimos à la fois à distance et in situ (pour Phobos uniquement). La mission doit être lancée en 2024 avec un retour de l'échantillon sur Terre vers 2029. Pour développer cette nouvelle mission la JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) s'appuie sur son expertise sans égale dans le domaine des missions de retour d'échantillon de sol prélevés sur des corps célestes de petite taille. Celle-ci a été acquise avec les missions Hayabusa et Hayabusa 2 entre 2014 et 2020



QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) : c'est le nom du système japonais de positionnement par satellite développé par le Japon. Un outil à la précision diabolique, à dix centimètres près, quand les autres systèmes de GPS ont des marges d'erreur en mètres. Seul hic, **QZSS** ne couvre que l'Asie et l'Océanie.

[Retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

La Russie

19 février 2001 : fin de Mir

Destruction volontaire de la station Mir, qui est précipitée dans l'atmosphère et s'y consume.

Outre le lanceur lourd Proton, aujourd'hui trois variantes réalisent la majorité des vols :

-Soyouz U, est la plus ancienne des trois variantes et elle fut améliorée au fil des années. Mais depuis Avril 2015, la production de ce modèle est stoppée, et le dernier vol de cette variante a eu lieu le 22 février 2017.

-Soyouz FG, est une amélioration de Soyouz U et a volé pour la première fois le 20 mai 2001, et depuis octobre 2002, il est le seul lanceur utilisé par les Russes pour envoyer des cosmonautes sur l'ISS. Il est aussi possible de rajouter un ultime étage Fregat.

-Soyouz 2 (ou Soyouz ST), cette variante a pour but de remplacer le Soyouz FG d'ici 2019/2020. Tout comme de Soyouz FG, Soyouz 2 propose des étages supérieurs Volga et Fregat. Son premier lancé a eu lieu de 19 Octobre 2016

Les projets :

Le lanceur lourd **Angara 5** (2014 : 1^{er} vol, 2^{ème} en décembre 2020, 3^{ème} courant 2021) doit progressivement remplacer le lanceur Proton

Nouveau vaisseau spatial baptisé **Oriol** (Federatsia) (1^{er} vol 2023?) avec un nouveau lanceur Soyouz 5

Luna 25 est un atterrisseur lunaire russe devant se poser en octobre 2021 à proximité du Pôle Sud lunaire. Mission lancée du cosmodrome de Vostotchnyi, en Extrême-Orient russe, par un lanceur Soyouz 2.1b équipé d'un étage supérieur Fregat-M. Après son lancement, Luna 25 deviendra la 1^{ère} sonde lunaire lancée par l'URSS/Russie depuis la mission de retour d'échantillons Luna 24, en 1976.



La Chine

Son programme spatial, né dans les années 1960, est arrivé à maturité à la fin des années 1990.

Nouvel acteur fort de la géopolitique spatiale, la Chine maîtrise aujourd'hui l'ensemble des segments spatiaux : lanceurs, programmes satellitaires, stratégie militaire et exploration spatiale.

Elle dispose d'une famille de lanceurs *Longue Marche*. En termes de technologie satellitaire, la Chine maîtrise la construction et l'utilisation de satellites de télécommunication, d'observation, et la constellation de satellites de navigation *Beidou*

Le 15 octobre 2003, Yang Liwei devient le **premier chinois à aller dans l'espace** dans le cadre de la mission Shenzhou 5. La Chine devient la troisième nation spatiale après l'Union soviétique et les États-Unis capable de lancer des hommes dans l'espace.



Longue Marche



2003 Yang Liwei
1^{er} taikonaute



2013 : Wang Yaping donne un cours
de physique retransmis en direct à
la télévision à partir de Tiangong-1*



2008 Zhai Zhigang
1^{ère} sortie dans l'espace

* Tiangong1 est une mini station spatiale lancée fin 2011 (fin en 2016)

Le programme spatial habité, 1^{ère} priorité pour la Chine est couronné de succès.

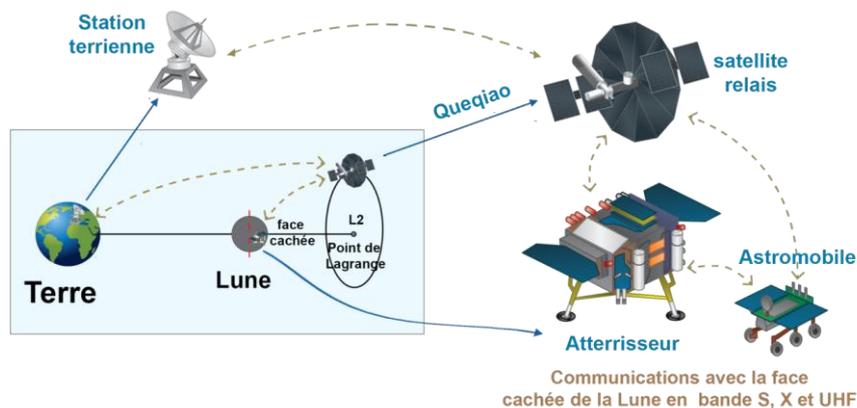
Le **programme chinois d'exploration lunaire** connu sous le nom de **Programme Chang'e** (Chang'e déesse de la Lune dans la mythologie chinoise), mené par la CNSA, l'agence spatiale chinoise, a pour but l'étude et l'exploration de la Lune par des robots, puis, à l'horizon 2025-2030, par des missions spatiales habitées. Le programme Chang'e devient la 2^{ème} priorité en 1994 à la suite du succès de la sonde spatiale Hiten lancée par le Japon. Le lancement de **Chang'e 1**, qui a lieu le **24 octobre 2007**, fait partie d'une vague d'engins spatiaux d'origine asiatique qui viennent réactiver l'exploration de la Lune et démontrent les ambitions de ces nouvelles puissances spatiales. Le lancement de la sonde spatiale chinoise est en effet précédé un mois plus tôt par celui de l'engin japonais Kaguya et suivi en 2008 par la sonde spatiale indienne Chandrayan-1. Contrairement aux habitudes des autorités chinoises, les images du lancement de Chang'e 1 sont diffusées en direct.

Chang'e 2 est lancée le **1^{er} octobre 2010** et atteint la Lune en cinq jours grâce à un lanceur plus puissant. En **2013** toujours lancé par une fusée Longue Marche, **Chang'e 3** fait atterrir un robot explorateur, Yutu1 « Lapin de Jade 1 ». Il a évolué sur la surface lunaire durant 31 mois -- bien plus que sa durée de vie supposée.

Puis la mission **Chang'e 4** dont le lancement a eu lieu le **7 décembre 2018**.

L'atterrisseur s'est posé sur la face cachée de la Lune le 3 janvier 2019 dans le cratère Von Kármán.

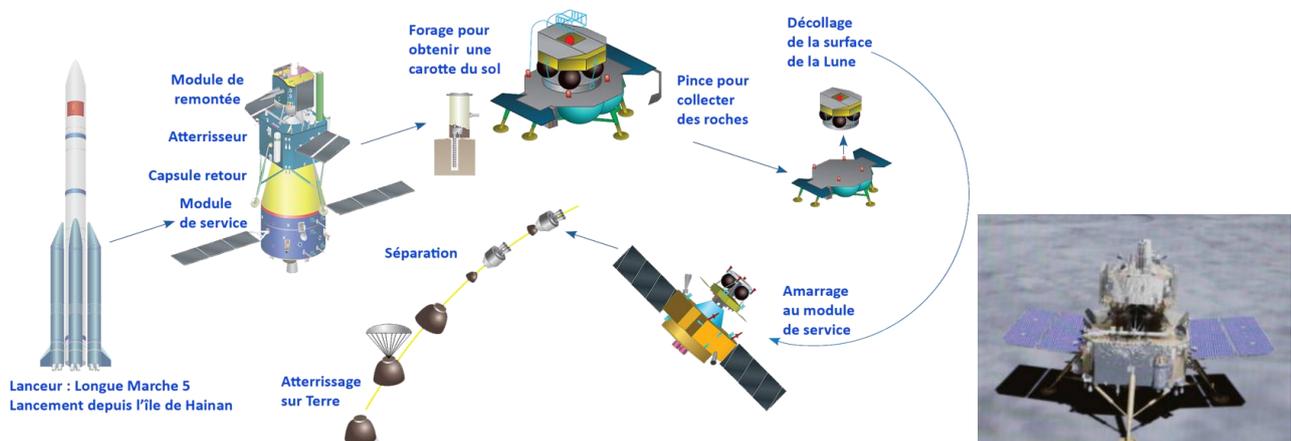
Il s'agit du premier atterrissage d'un engin spatial sur cette face de la Lune. Un satellite de télécommunications, baptisé Queqiao a été placé au point de Lagrange L2 du système Terre-Lune pour jouer le rôle de relais, la Lune faisant obstacle aux communications entre Chang'e 4 et la Terre. Peu après l'atterrisseur a déposé le rover Yutu-2 « Lapin de Jade-2 ».



De manière symbolique, la Chine visait une première spatiale puisque ni la NASA ni l'Union soviétique n'ont jamais posé d'engins spatiaux sur cette face non visible depuis la Terre.

2020 : la mission Chang'e 5 a pour objectif de ramener un échantillon du sol lunaire sur Terre.

La mission décolle le 23 novembre 2020 depuis la base de lancement de Wenchang sur l'île d'Hainan à bord du lanceur lourd Longue Marche 5. La sonde est injectée en orbite de transfert vers la Lune. L'atterrisseur se pose sur la Lune le 1^{er} décembre. Un bras robotique et une foreuse prélèvent des échantillons jusqu'à 2 mètres de profondeur puis les transfèrent dans le module de remontée.



Pour le retour d'échantillons, et contrairement aux sondes soviétiques Luna, la mission Chang'e 5 a recours à la méthode complexe du rendez-vous en orbite lunaire (cf programme Apollo). Chang'e 5 est constitué de quatre modules : l'orbiteur, l'atterrisseur, le module de remontée et la capsule de retour. Le module de remontée décolle le 3 décembre, s'insère en orbite autour de la Lune et vient s'amarrer automatiquement avec l'orbiteur, les échantillons sont transférés dans la capsule de retour. Le 13 décembre l'orbiteur manœuvre afin de quitter l'orbite lunaire en direction de la Terre.

Après son largage puis sa rentrée atmosphérique, la capsule se pose avec succès en Mongolie-Intérieure sous parachute le 16 décembre, avec 1 731 grammes d'échantillons.

Ce programme permet à la Chine de développer et maîtriser des technologies clés dans le domaine astronautique : contrôle de trajectoire orbitale, contrôle d'attitude ou communications longue-portée. En 2019, la Chine est premier rang en termes de lancement. Les lanceurs sont les fusées « Longue Marche CZ Chang Zheng ».

Ce sont aussi de nouveaux lanceurs privés qui sont attendus : **Zhuque-2** de LandSpace créée en 2015 par l'Université Tsinghua, ou bien le petit lanceur réutilisable de LinkSpace.

La société LinkSpace fait partie de la dizaine de start-up chinoises créées au milieu de la décennie 2010 dans le but de se positionner sur le marché du lancement des petits satellites en développant une famille de micro-lanceurs.

L'apparition de ces sociétés fait suite à la décision du gouvernement chinois en 2014 d'ouvrir à la concurrence ce domaine d'activité, jusque là réservé aux sociétés d'état.

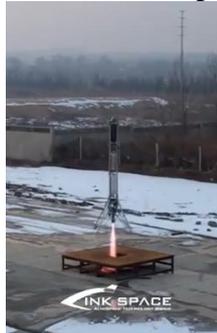
LinkSpace est créée dès 2014 par Hu Zhenyu, jeune étudiant de 21 ans passionné par les fusées. La société développe un micro-lanceur réutilisable, **New Line-1**, qui reprend la technique développée par la société américaine SpaceX pour son lanceur Falcon 9, c'est-à-dire l'atterrissage vertical du premier étage après sa séparation avec la fusée. Pour mettre au point la technique d'atterrissage vertical, LinkSpace utilise un prototype qui, après de nombreux tests en vol captif, a effectué un premier vol libre le 27 mars 2019. Premier vol du lanceur prévu en 2021 ?



1^{er} vol captif



vol libre



à 7 cm du centre de la cible !



Train d'atterrissage sorti



27 mars 2019



une équipe de jeunes !



La gamme offerte par Link Space

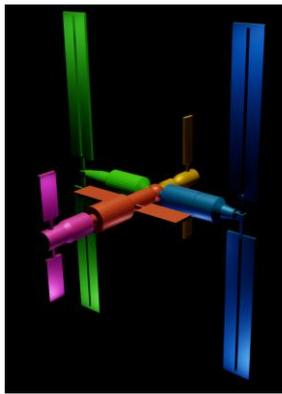


et leur écusson

Station spatiale : La Chine avait été délibérément écartée de la Station spatiale internationale (ISS) qui associe Américains, Russes, Européens, Japonais et Canadiens. Depuis, elle cherche à construire la sienne. Les stations spatiales Tiangong font partie du vaste plan (Projet 921) adopté par les autorités chinoises en septembre 1992. Le projet 921 comprend trois volets qui vont de l'élaboration d'un vaisseau spatial habité à la construction d'une station spatiale. Pour y arriver, elle a d'abord lancé un 1^{er} laboratoire orbital conçu par les ingénieurs chinois, Tiangong-1 ("Palais céleste 1"), placé en orbite en septembre 2011. Tiangong-1 a cessé de fonctionner en mars 2016.

Il était notamment utilisé pour l'entraînement des astronautes et pour des expériences médicales.

Le laboratoire était considéré comme une étape préliminaire dans la construction d'une station spatiale.



Tianhe
Tianzhou
Shenzhou
Wentian
Mengtian

En 2016, la Chine a lancé son deuxième module spatial, Tiangong-2 (fin en avril 2019). Les astronautes ont notamment réalisé des amarrages techniques.

Le 3^{ème} module Tiangong-3 devait être lancé en 2020 mais le programme spatial de la Chine a connu un rare revers à l'été 2017 avec le lancement raté d'une fusée Longue-Marche, cruciale car elle permet de propulser les lourdes charges nécessaires à certaines missions : aucun lancer durant 2 ans.

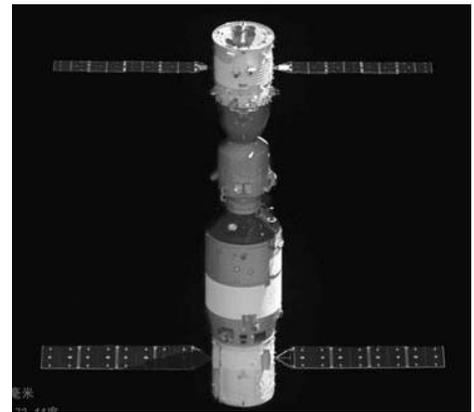
L'assemblage de la station spatiale devrait débuter en 2021 et achevé en 2023. La Chine deviendrait alors le troisième pays à en construire une par ses propres moyens (après les Etats-Unis et l'URSS).



Lanceur Longue Marche 5



Préparation du laboratoire orbital Tiangong 2



Shenzhou 11 amarré au laboratoire orbital Tiangong 2

Tiangong-3(# 60 tonnes) comporte trois modules dont l'assemblage doit être effectué en 11 missions. La station spatiale, placée sur une orbite basse de 300 à 400 km, permettra d'effectuer des expériences scientifiques en micro gravité, contribuera à la mise au point de technologies spatiales et préparera les équipages chinois aux vols de longue durée. Desservie par le vaisseau ravitailleur Tianzhou, elle hébergera pour des durées de 6 mois les équipages dont la relève est assurée par le vaisseau Shenzhou. L'assemblage de la station spatiale et le déroulement des opérations reposent sur plusieurs engins spatiaux :

- Le lanceur lourd Longue Marche 5B (Longue Marche 5 sans étage supérieur) dont le vol inaugural a eu lieu en avril 2020 est chargé de placer en orbite les trois modules : le module central Tianhe puis le module 1 Wentian et enfin le module 2 Mengtian. C'est le seul lanceur chinois ayant la capacité de placer les 22 tonnes de chaque module en orbite basse. Sa mise au point est donc un prérequis à la construction de la station spatiale.
- Le lanceur moyen Longue Marche 7 (premier vol en 2016) lancera le vaisseau cargo Tianzhou chargé de ravitailler les équipages de la station spatiale
- Le lanceur moyen Longue Marche 2F placera en orbite les équipages dans les vaisseaux Shenzhou.

Juin 2020 : La Chine a lancé l'ultime satellite servant à finaliser son système de navigation Beidou (concurrent du GPS américain).

Juillet 2020 : elle a envoyé une sonde vers Mars et devrait déposer en mai prochain un véhicule sur le sol martien.

[Retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

La France et l'ESA

Depuis plus de 40 ans, la France a développé une coopération internationale non seulement dans le cadre européen, à travers les programmes mis en œuvre par l'Union européenne (Galileo, Copernicus) et l'Agence spatiale européenne, mais également par le biais des partenariats bilatéraux qu'elles a établis avec les principales nations spatiales que sont États-Unis, Russie, Japon, Chine, Inde et selon des axes prioritaires propres à chaque partenariat : grandes missions très innovantes technologiquement avec les États-Unis, missions scientifiques d'étude du climat ou d'océanographie avec l'Inde ou la Chine, recherche et technologie avec le Japon et avec la Russie. D'autres partenariats spécifiques se développent avec plusieurs autres pays ayant développé leurs propres capacités spatiales ou ayant manifesté la volonté de s'en doter.

• Objectifs militaires :

En juin 2019, Emmanuel Macron annonce la création d'un commandement de l'espace au sein de l'Armée de l'Air, qui est appelée à devenir à terme l'Armée de l'Air et de l'Espace.

Dans le cadre de la loi de programmation militaire 2019-2025 la France renouvelle l'ensemble de ses capacités spatiales d'observation, de communication et de renseignement électromagnétique pour répondre aux nouvelles menaces et permettre de préserver la liberté d'accès et d'utilisation de l'espace, indispensable à une autonomie stratégique.

- Le programme CSO, Composante Spatiale Optique, développé dans un cadre national au sein du programme MUSIS (*Multinational space-based imaging system*), est résolument ouvert aux partenariats européens par le biais d'accords bilatéraux : l'Allemagne, la Suède, la Belgique et l'Italie ont déjà rejoint la communauté CSO via des accords de coopération.

La CSO est une série de trois satellites de reconnaissance optique. Déployés entre 2018 et 2022 ils doivent succéder, avec des performances accrues, aux satellites de génération précédente Helios.

Comme CSO-1 en 2018, le deuxième satellite de la constellation CSO-2 a été lancé le 29 décembre 2020, depuis le centre spatial guyanais.

Opérationnel depuis près de deux ans, le satellite CSO-1, placé sur une orbite de 800 km pour la mission reconnaissance, démontre ses performances au quotidien en offrant notamment la possibilité de traiter un plus grand nombre de cibles d'intérêt. Dédié à la mission d'identification, le satellite CSO-2 sera quant à lui positionné à une orbite plus basse, à 480 km d'altitude, pour offrir une meilleure résolution.

L'arrivée de CSO-3, qui sera positionné à 800 km de la Terre pour compléter la mission de reconnaissance, va augmenter la fréquence de prise de vue des zones d'intérêt.

Les clichés seront envoyés à la base suédoise de la station polaire Kiruna située au nord du Cercle polaire arctique. Le positionnement géographique de ce site permet d'effectuer des transferts d'images toutes les 90 minutes. Ce partenariat avec la Suède repose sur un échange qui permet à ce pays allié d'avoir accès à des informations recueillies par CSO-1. Des accords de coopération s'étendent à d'autres pays. L'Italie et l'Allemagne obtiendront des informations recueillies par les nouveaux satellites français en échange d'un accès à leurs satellites radars dont ne dispose pas la France.

- Le système CERES, basé sur une constellation de 3 satellites permettra de recueillir régulièrement sur l'ensemble du globe les informations permettant de cartographier et d'analyser le fonctionnement des émetteurs électromagnétiques dans les bandes de fréquences d'intérêt radar et télécommunication. Le programme, entré en phase de réalisation en janvier 2015, prend en compte le retour d'expérience des démonstrateurs spatiaux Essaim et Elisa (constellation lancée en 2011). Les 3 satellites devraient être lancés en 2021.

- Syracuse 4, pour *système de radiocommunication utilisant un satellite* anciennement connu sous le nom de Comsat NG (acronyme de *Communication par satellite de nouvelle génération*), est un programme de télécommunications par satellite militaire français qui doit être déployé en 2021-2023

Pour tous ces programmes, 3 industriels français sont regroupés au sein d'un consortium pour répondre aux besoins : Airbus Defence and Space, Thales Systèmes Aéroportés (TSA) et Thales Alenia Space (TAS). Le Centre national d'études spatiales (CNES) intervient en délégation de maîtrise d'ouvrage sur les parties segment sol de contrôle et lancement.

Début mars 2021, l'armée française réalise à Toulouse, son 1^{er} exercice militaire spatial, baptisé « Aster X », en hommage à l'irréductible Gaulois qui avait donné son nom au 1^{er} satellite artificiel français placé en orbite en 1965. La France y a invité des militaires allemands, italiens et américains.

- **Participation à l'ISS :**

Laboratoire européen Columbus; module pressurisé Spacelab; bras télémanipulateur européen ; cargo de ravitaillement ATV



L'ATV « Jules Verne »
Mise en service :
9/3/2008

Premier tricolore dans l'espace depuis 2008, **Thomas Pesquet**, âgé de 38 ans, a décollé, 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 avant de rentrer sur Terre le 2 juin 2017, après une mission de plus de six mois à bord, baptisée Proxima. Ingénieur aéronautique et pilote de ligne Air France, il est ainsi devenu à 39 ans le plus jeune astronaute de l'histoire de l'Agence spatiale européenne (ESA) après sept années d'entraînement technique et physique. Dixième Français à aller dans l'espace, Thomas Pesquet a mené 60 expériences scientifiques et réalisé deux sorties pour des opérations de maintenance du laboratoire en orbite.



L'astronaute français va rejoindre la Station spatiale internationale pour un nouveau séjour de plusieurs mois au printemps dans le cadre d'une mission organisée par la Nasa et SpaceX. Le vol est planifié pour l'instant le 20 avril 2021.

- **sondes et orbiteurs** Nombreuses sondes envoyées comme Galileo partie en 1989 à destination de Jupiter ou [Cassini-Huygens](#) lancée en 1997 pour Saturne, Vénus express; [Rosetta / Philae](#) pour une comète; Mars express;
Bepi Colombo (survol de Mercure; collaboration avec le Japon) **BepiColombo** est une mission d'exploration de la planète Mercure, lancée le 19 octobre 2018. Elle est développée par l'Agence spatiale européenne conjointement avec l'Agence d'exploration aérospatiale japonaise (JAXA). Les deux orbiteurs qui composent la mission doivent se placer en orbite autour de Mercure en décembre 2025. L'orbiteur MPO, développé par l'ESA, emporte 11 instruments et doit étudier l'intérieur et la surface de la planète Mercure ainsi que son exosphère. L'orbiteur MMO, développé par l'agence spatiale japonaise JAXA, comprend 5 instruments scientifiques et a pour objectif l'étude du champ magnétique, de l'exosphère ainsi que des ondes et des particules situées dans l'environnement immédiat de la planète. Un troisième module, le *Mercury Transfer Module*, ou *MTM*, dont le maître d'œuvre est l'ESA, prend en charge la propulsion des modules MPO et MMO jusqu'à l'orbite de Mercure.

Ariane 5 : Son premier vol a eu lieu en 1996.

L'actuelle Ariane 5 est devenue un acteur majeur du marché des lancements ouverts à la concurrence via la société **ARIANESPACE** créée le 26 mars 1980 chargée de sa commercialisation (le CNES en détient 34% du capital).

Arianespace a acquis plus de la moitié du marché des lancements de satellites commerciaux en orbite géostationnaire, essentiellement des satellites de télécommunications.

Pour faire face à l'augmentation de la masse des satellites, le lanceur est refondu complètement, donnant naissance à la version Ariane 5 capable de placer près de 9,5 tonnes en orbite de transfert géostationnaire.

26 /11/2019 : **Ariane 5 effectue le 250^{ème} vol d'un lanceur Ariane** toutes versions confondues de la 1 à la 5, symbole d'une continuité dans la volonté de donner à l'Europe un outil concret de souveraineté pour l'accès à l'espace qui se double d'un acteur fort sur le marché des lancements.

Ariane 6 doit prochainement reprendre le flambeau en apportant les adaptations nécessaires pour répondre à l'évolution des demandes, notamment tarifaires, et la transformation d'un marché bousculé par l'arrivée de nouveaux acteurs comme SpaceX.

Le 1^{er} étage supérieur complet d'Ariane 6 a rejoint le site du Centre aérospatial allemand (DLR) de Lampoldshausen. Les données recueillies lors des essais à feu, effectués dans des conditions proches du vide afin de simuler l'environnement spatial, permettront de qualifier cet étage comme « bon pour le vol », étape majeure du développement d'Ariane 6 dont le vol inaugural est maintenant prévu pour le **2^{ème} trimestre de 2022**

Toute la difficulté pour l'ESA sera alors d'évaluer la période de « transition », entre la fin de vie d'Ariane 5 (8 lanceurs restent à tirer, dont l'un est réservé au lancement du James Webb Telescope) et la montée en puissance d'Ariane 6. L'ESA gère aussi la famille de lanceurs légers Vega. Arianespace est la société française chargée de la commercialisation et de l'exploitation des systèmes de lancement spatiaux développés par Arianespace, à savoir les familles de lanceurs Ariane et Vega. Et depuis 2007, à la suite d'un accord conclu entre l'Agence spatiale européenne (ESA) et l'agence spatiale russe Roscosmos, Arianespace assure également le lancement de lanceurs Soyouz à Kourou.

Les Etats-Unis

Peu après la catastrophe de la navette Columbia lors de sa réentrée atmosphérique en 2003, les Américains inaugurèrent le programme Constellation, qui comprenait la création d'une nouvelle famille de lanceurs (Ares) pour relayer les navettes et assurer aux Etats-Unis un accès autonome durable à l'espace, avec comme objectif le retour des astronautes sur la lune puis des vols habités vers la planète Mars à l'horizon 2020. Contrainte par les exigences de restrictions budgétaires, la nouvelle Administration Obama dut mettre un terme à ce projet peu pragmatique et trop coûteux.

Dès 2006, la NASA a été invitée à passer ses premiers contrats dits de « services commerciaux de transport en orbite » (COTS);

En 2011, la Nasa décide de mettre un terme au programme des navettes spatiales,

une fois l'assemblage de la station spatiale achevé, et de remplacer la flotte par Orion, un vaisseau multifonctions. D'ici sa mise en service, la Nasa n'aura d'autres choix que de se tourner vers la Russie pour envoyer ses astronautes dans l'espace. Les retards dans le développement d'Orion poussent la Nasa à lancer en 2006 le Commercial Crew Development (CCDeV) De ce fait, on assiste à l'émergence d'une nouvelle industrie spatiale à vocation plus directement commerciale qui s'est exprimée à travers des entreprises emblématiques comme Space-X ou Orbital ATK (repris par Northrop Grumman) dans le domaine du lancement, capables de devenir des partenaires de l'agence au-delà du rôle classique de sous-traitant. Les applications spatiales évoluent avec l'espoir pour les investisseurs de nouveaux débouchés dans le secteur de l'information. La concurrence avec les nouvelles puissances spatiales est un moteur très fort pour la NASA. Au programme COTS succédera un premier **programme concernant le transport d'équipages vers la station spatiale**. Ce



programme CCDev (Commercial Crew Development) a vu se développer **Space X** qui s'affiche ainsi comme le leader de la « nouvelle industrie » dans l'activité de lancement, presque à égalité avec Boeing. Une 3^{ème} vague de contrats concernant cette fois le réapprovisionnement de l'ISS à compter de 2019 jusqu'à sa fin de vie supposée intervenir en 2024, a confirmé en 2016 l'installation de Space-X et Orbital ATK comme principaux prestataires de transport par capsules (respectivement Dragon pour Space-X et Cygnus pour Orbital ATK).

Des investissements encore inégalés à ce jour continuent de faire des États-Unis la première puissance spatiale dans le monde. Cette première place repose sur les deux piliers que sont l'exploration spatiale habitée et le développement de l'espace militaire.

L'époque récente s'est même caractérisée par une croissance des dépenses militaires liée à un sentiment croissant de vulnérabilité face à la montée en puissance de la Chine et le maintien par la Russie de capacités importantes.

L'un des programmes militaires les plus avancés actuellement aux États-Unis est l'avion spatial Boeing X-37B, dont les 2 exemplaires ont déjà effectué plusieurs vols orbitaux de longue durée (6 en octobre 2020) pour le compte de l'US Air Force (OTV-1 à 5) et de la Space Force (OTV-6). Il s'agit d'un engin de type navette spatiale, entièrement automatisé, capable de modifier son orbite lui-même et de survivre à une rentrée atmosphérique, avant de se poser en vol plané, le tout en emportant des satellites et expériences dans son compartiment à charge utile. Le décollage s'effectue quant à lui sur des lanceurs dits "commerciaux". La durée de vol la plus longue de l'X-37B est de 780 jours (octobre 2020).

Au delà des missions, le changement le plus important pour le spatial militaire américain est la création le 20 décembre 2019 de la United State Space Force, dite "Space Force", destinée à la conduite des opérations militaires dans l'espace.



Principaux acteurs dans les accords commerciaux :

Blue Origin (litt. « origine bleue », en référence à la planète Terre) est une société créée en 2000 par le milliardaire **Jeff Bezos, fondateur et principal actionnaire d'Amazon.com**, dans le but de développer de nouvelles technologies permettant d'abaisser le coût d'accès à l'espace. Blue Origin a fait ses débuts en développant New Shepard :

- **New Shepard** est une fusée réutilisable conçue pour lancer une capsule emportant des touristes spatiaux sur une trajectoire suborbitale culminant à environ 100 kilomètres. La fusée décolle et atterrit verticalement. La capsule est larguée par la fusée à la fin de la phase propulsive et décrit une trajectoire parabolique avec une phase d'apesanteur avant de revenir au sol suspendue sous des parachutes. New Shepard a effectué son 1^{er} vol en avril 2015.

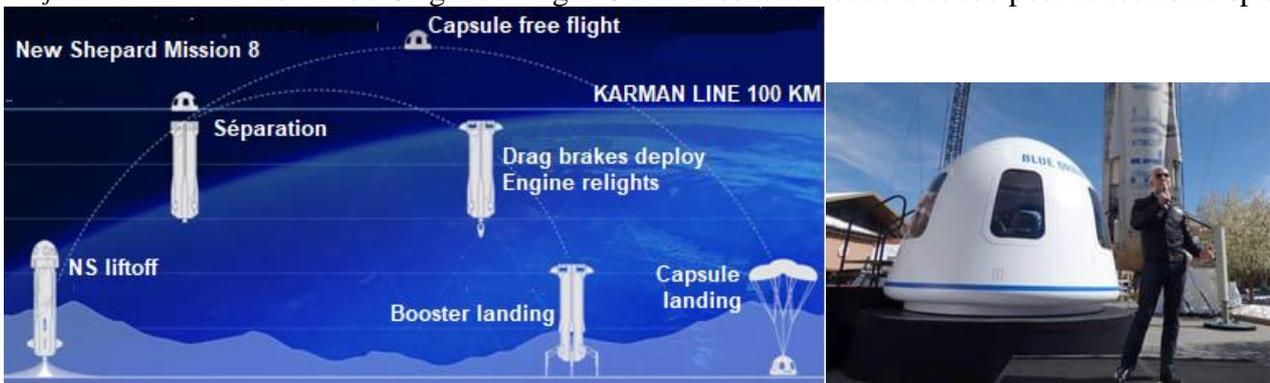
Essais de la fusée avec sa récupération



la capsule New Shepard, 6 places, emmène la poupée mannequin Skywalker pour ses essais



L'équipe teste le confort des sièges et la vision panoramique



Fin 2016, Jeff Bezos annonce le développement d'un nouveau lanceur, le New Glenn.

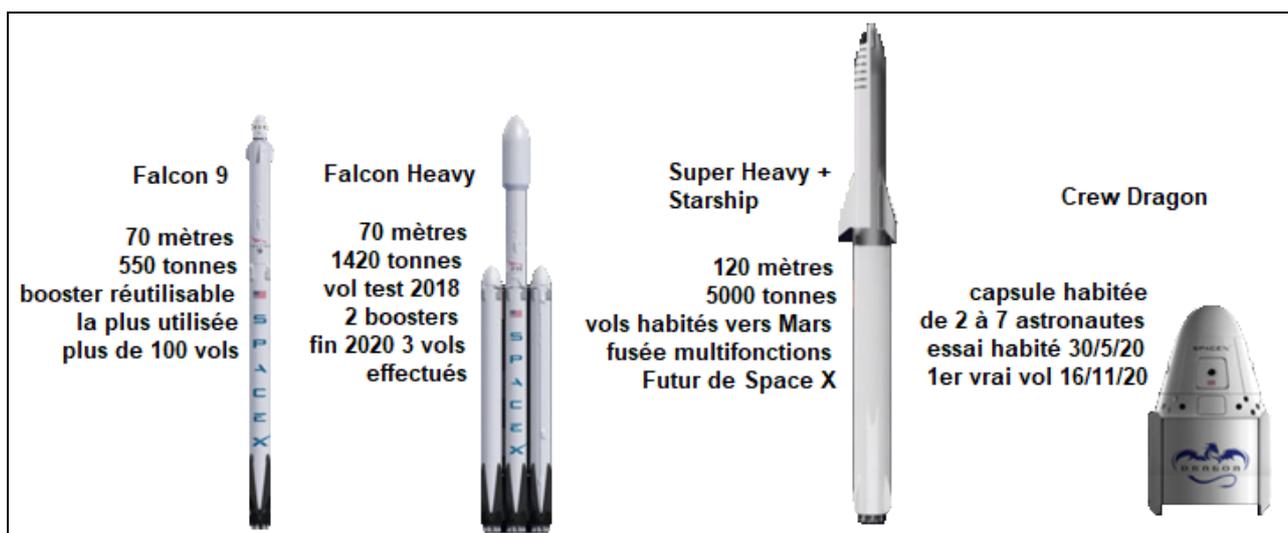
- **New Glenn** est un lanceur lourd qui devrait effectuer son 1^{er} vol en 2021 depuis la base de Cap Canaveral, Le 1^{er} étage est réutilisable et revient se poser à la verticale sur un navire. Avec ce lanceur Blue Origin vise à la fois le marché des satellites militaires et celui des satellites commerciaux.

- **BE-3 et BE-4** : Blue Origin est en passe de devenir un des principaux motoristes américain en développant deux moteurs-fusées entièrement nouveaux : le BE-3 et le BE-4. United Launch Alliance (ULA), une co-entreprise créée entre Boeing et Lockheed Martin, sélectionne le BE-4 pour propulser le premier étage de son nouveau lanceur baptisé Vulcan.

Space X

Il n'est pas évident de s'y retrouver dans les nombreux projets que pilote SpaceX. L'entreprise américaine fondée en 2002 par **Elon Musk (Tesla ; Paypal)** poursuit depuis plusieurs années de nombreux chantiers en parallèle, en particulier du côté des véhicules spatiaux :

- l'évolution de la fusée Falcon 9,
- le lanceur Falcon Heavy
- la construction de Starship et
- Le vaisseau Crew Dragon, appelé dans un premier temps Dragon V2, est la réponse de SpaceX au Commercial Crew Development initié par la Nasa
- le tourisme spatial dans les objectifs commerciaux



Le lanceur Starship a pour ambition de remplacer tous les véhicules spatiaux actuels de SpaceX. En effet, d'après Elon Musk, le coût d'un lancement du Starship sera à terme inférieur au coût de lancement d'une Falcon 9. Ceci est en partie dû à la réutilisation de tous les étages de Starship/SuperHeavy, mais également à l'atterrissage du lanceur sur son pas de tir pour un nouveau départ rapide et à sa construction en acier inoxydable. Mais il n'est pas encore opérationnel

Première mission opérationnelle du Crew Dragon : 16/11/2020

La fusée Falcon 9 de SpaceX a propulsé le vaisseau Crew Dragon avec les astronautes de la NASA Michael Hopkins, Victor Glover et Shannon Walker, ainsi que Soichi Noguchi de l'agence spatiale japonaise Jaxa. Ils séjourneront à bord de la station spatiale pour une mission scientifique de six mois. Une fois sur orbite, l'équipage a commencé à se préparer pour le rendez-vous avec le complexe orbital, prévu 27 heures après le décollage. Le vaisseau, baptisé Résilience, s'amarrera au module Harmony le 17 vers 04 heures du matin. La manœuvre sera effectuée en mode automatique. Mais à tout moment, les astronautes auraient pu reprendre le contrôle si nécessaire.



Le 2^{ème} vol est prévu pour le vaisseau « Endéavour » le 20 avril 2021 avec Thomas Pesquet.

Boeing

Le **Boeing CST-100 Starliner** (*Crew Space Transportation 100*) est un véhicule spatial développé par la société Boeing pour le compte de la NASA, pour effectuer la relève des équipages de la Station spatiale internationale. Le véhicule est capable de transporter un équipage de sept astronautes en orbite terrestre basse. CST-100 Starliner est l'un des deux véhicules développés en réponse à l'appel d'offres du programme Commercial Crew Development (CCDeV) lancé en 2010 ; Lancé, le véhicule spatial dispose d'une autonomie de 48 heures mais est conçu pour rejoindre la Station spatiale internationale en 8 heures. Une fois amarré à la Station spatiale, il peut séjourner 210 jours dans l'espace. Le CST-100 Starliner est conçu pour être réutilisé 10 fois après remise en condition opérationnelle. Le véhicule spatial CST-100 Starliner doit être placé en orbite par un lanceur Atlas V N22 de United Launch Alliance (ULA).

Installation du CST-100

dans la coiffe de la fusée Atlas



L'intérieur du module pressurisé CST-100



et celui du Crew Dragon



Les astronautes sélectionnés pour les 1^{er} vols à bord du CST-100 et du Crew Dragon

Virgin Galactic : Virgin Group est un groupe industriel anglais fondé par Richard Branson en 1970. Ce groupe opère dans divers domaines, dont celui des vols suborbitaux depuis 2004 grâce à sa filiale Virgin Galactic. Virgin Galactic est né de l'accord réalisé en 2004 entre Richard Branson et Burt Rutan le concepteur du "Space Ship One" qui vient de gagner l'Ansari X Prize (inspiré des nombreux prix du début du XX^e siècle, qui ont incité le développement de l'aviation) 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, cofondateur de Microsoft a sponsorisé le Space Ship One mais ne s'engagera pas sur le projet de tourisme spatial.

Richard Branson et Burt Rutan créent, d'une part la société The Spaceship Company (TSC) pour construire en série plusieurs engins reprenant la technologie de SpaceShipOne et d'autre part Virgin Galactic, qui propose dès 2005 au grand public d'effectuer des vols jusqu'à une altitude de 100 km. Dès les premières réservations, Virgin Galactic passe commande à TSC de 5 navettes spatiales Space Ship Two et de deux avions porteurs White Knight Two



SpaceShipTwo de Virgin Galactic



et son avion porteur le White Knight Two



Voici maintenant 15 ans que Richard Branson et ses équipes cherchent à proposer des séjours touristiques dans l'espace. Richard Branson a plusieurs fois repoussé la date du premier voyage touristique dans l'espace. En 2014, son vaisseau avait eu un accident, causant la mort d'un des pilotes. Cette fois, il affirme que plusieurs vols d'essai doivent encore avoir lieu avec deux vols habités, avant que le milliardaire lui-même ne s'envole en 2022 ?...

Virgin Orbit : Virgin Orbit est une société du groupe Virgin qui fournit des services de lancement de petits satellites. Le 17 janvier 2021, leur LauncherOne a atteint son orbite avec succès et a déployé avec succès 10 cubesats.



Un CubeSat est un satellite de moins de 1,33 kg selon la définition officielle, de 10×10×10 cm ou « 1U », et utilisant généralement des composants commerciaux « sur étagère » pour son électronique de vol notamment.

[retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

3. LE TOURISME SPATIAL

À la suite des problèmes budgétaires rencontrés par l'agence spatiale russe suite à la crise économique qui a touché leur pays dans les années 90, les responsables du programme spatial russe ont pris l'initiative de réserver une place dans les vaisseaux Soyouz à des voyageurs payants. Donc certains, à condition d'être particulièrement fortunés, peuvent, à compter de 2001, réaliser leur rêve. 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.

28 avril 2001 :



Dennis Tito premier touriste de l'espace.

Homme d'affaires californien, sa fortune est estimée à 200 millions de dollars ; Il contacte les Soviétiques en 1991. Il achète 20 millions de dollars un voyage sur Mir. Celle-ci détruite, ce sera la Station internationale.

Vol orbital et suborbital

On considère qu'on est dans l'espace si on dépasse l'altitude de 100 km (ligne de Karmán). On peut parvenir à cette altitude dans le cadre d'un vol orbital ou suborbital. En vol orbital, la vitesse horizontale de l'engin spatial est de plus de 7,7 km par seconde et lui permet de se maintenir en orbite. Dans le cadre d'un vol suborbital, l'engin utilisé qui s'apparente plus à un avion ou à un planeur parvient à cette altitude avec une vitesse horizontale inférieure à la vitesse de satellisation minimale et retombe vers la Terre une fois que la gravité contrebalance la vitesse ascensionnelle acquise lors de la phase propulsée de son vol. Durant quelques minutes l'avion se trouve en chute libre et ses passagers font l'expérience de l'apesanteur (ou impesanteur). Au fur et à mesure que l'avion perd de l'altitude, l'atmosphère devient plus épaisse et la traînée s'accroît ; l'avion décélère et l'apesanteur disparaît.

4 octobre 2004 : Premier vol spatial privé réalisé par "**Space Ship One**" avec un vol à 100,095 km d'altitude. C'est à cette occasion que l'expression « tourisme spatial » est inventée par les journalistes américains

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.

4. LES FACTEURS POLITIQUES ET STRATEGIQUES

La plupart des puissances spatiales emploient des satellites-espions. Les USA, la Chine et la Russie en ont de large panoplies, l'Inde et Israël ayant aussi quelques facultés dans ce domaine. Le Japon, face à la menace Nord-coréenne, a décidé d'en lancer quatre. Le programme militaire de la France en prévoit plusieurs d'ici 2025.

Ces satellites sont capitaux pour les militaires, toute guerre moderne étant une guerre des informations, et on comprend dès lors que les puissances spatiales tiennent à garder leur pas de tir en cas de conflit. Un centre aménagé dans un pays équatorial, même bon allié, poserait des difficultés en cas de guerre : il serait difficile à défendre et y livrer les fusées relèverait de l'exploit. De plus, le choix d'un tel emplacement prendrait pour l'opinion l'aspect d'une délocalisation. Le centre spatial génère, directement et indirectement, une activité économique importante, que l'on préfère naturellement garder en terre nationale.

C'est pour ces raisons, par exemple, que les USA ont installés leur centres spatiaux à Cap Kennedy (à l'époque, Cap Canaveral : 28,45°Nord) et à Vandenberg (Californie) 34,63° Nord, aux points les plus méridionaux de son territoire métropolitain, plutôt que d'utiliser ses territoire d'outre-mer, comme une de ses îles du Pacifique (Jarvis, tout près de l'équateur, fut envisagé), ou Porto Rico. Si la France avait

perçu son programme spatial comme avant tout militaire, elle n'aurait jamais installé un centre à Kourou, qui en temps de guerre serait quasi inutilisable. De leur côté, les soviétiques auraient pu, à leurs heures de gloire, installer un centre dans un "pays frère" proche de l'équateur. Mais voilà : le Vietnam aurait peut-être accepté, mais il fallait que les fusées traversent la Chine... Quant à Cuba, inutile d'y penser : impossible d'y faire quoi que ce soit sans que les avions-espions américains l'observent.

Autre exemple : une plate-forme maritime telle qu'était Sea Launch ne peut qu'avoir une vocation civile, pour deux raisons : elle est internationale et elle serait impossible à ravitailler en temps de guerre (il faudrait même la laisser dans un port, à l'abri).

Qu'en est-il des évolutions à venir? Ces dernières années, on a beaucoup entendu parler de SpaceX et de ses programmes de lanceurs réutilisables. Ceux-ci sont de plus en plus médiatisés notamment avec le lancement du 6 février 2018 où Elon Musk décida de mettre une voiture Tesla en orbite autour de Mars.

Alors qu'aucun lancement d'Ariane 6 n'a encore été effectué, Arianespace s'est déjà penchée sur le projet Ariane Next. Les objectifs de ce lanceur: baisser les coûts de lancement et augmenter la fréquence des tirs. Pour ce faire, la société veut récupérer l'étage principal. Différentes solutions sont envisagées:

- le Toss-Back qui est la manœuvre effectuée par la Falcon 9 (voir ci-dessus)
- le Glider, l'étage est freiné par propulsion de fusée puis effectue un vol plané à l'horizontale à l'aide de surfaces portantes avant de se poser à l'horizontale.
- Le Fly Back, il s'agit ici d'équiper l'étage de 4 turboréacteurs aérobies dans le nez de celui-ci, permettant de se poser à l'horizontale tel un avion sans avoir à garder de l'oxygène pour le vol de retour, celui de l'air étant ici utilisé

Au niveau Français, Dassault Aviation se penche sur des mini-lanceurs qui auraient la possibilité de mettre une charge de 75kg en orbite basse. Ceux-ci seraient transportés par un Rafale puis lâchés à la manière d'un missile pour aller se positionner en orbite.

Tous ces projets reflètent un intérêt commun, qui est d'ouvrir les portes de l'espace au plus grand nombre. Comme le disait Constantin Tsiolkovski «La Terre est le berceau de l'Humanité, mais l'on ne passe pas sa vie dans son berceau.»

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, un astéroïde ?

En fait, tous ont Mars dans la tête : poser un jour le pied sur la planète rouge.

5. L'ESPACE LOINTAIN

Actuellement, cinq vaisseaux de construction humaine continuent de voguer dans notre Système solaire, en direction de ses frontières : **Voyager 1 et 2**, mais aussi **Pioneer 10 et Pioneer 11** (qui ont cessé d'émettre depuis 2016), qui foncent dans d'autres directions, ainsi que **New Horizons**, la dernière en date (partie en 2006, elle a survolé Pluton en 2015).

Aucune sonde n'en est encore jamais sortie.

L'observation de l'espace nécessite beaucoup de patience, car les instruments pour collecter des données mettent du temps à atteindre leur objectif.

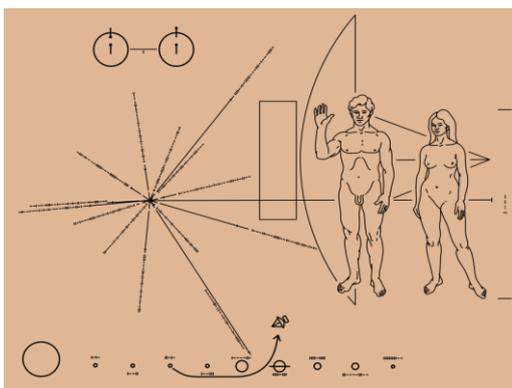
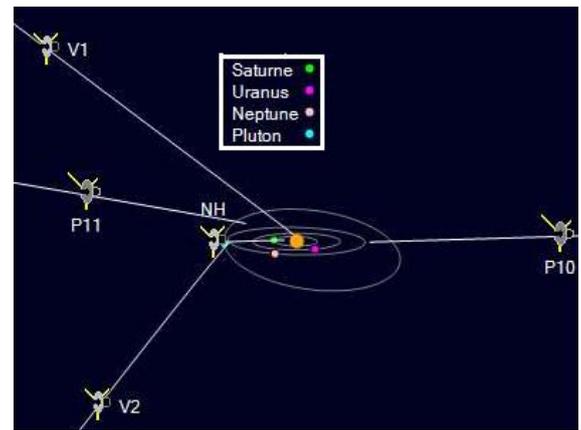
La NASA met sur pied en 1972 le programme Voyager pour exploiter une conjonction exceptionnelle des planètes extérieures qui doit permettre aux sondes de survoler plusieurs planètes pratiquement sans dépense en carburant, en utilisant l'assistance gravitationnelle. Les sondes spatiales Voyager-1 et -2 sont des jumelles, ayant été envoyées en 1977, respectivement le 5 septembre et le 20 août. Voyager-1 dispose d'une électronique mieux blindée car la sonde s'approche plus près de Jupiter tandis que Voyager-2 a des générateurs thermoélectriques à radioisotope plus puissants car elle doit visiter la planète la plus éloignée de la Terre. Leur mission principale était de permettre à la NASA d'approcher les planètes situées à la périphérie du système solaire.

Jusqu'à présent, les deux engins continuent à envoyer des informations, Mais certains instruments de mesure ont été désactivés pour économiser de l'énergie, comme les spectromètres à infrarouge et ultraviolet sur Voyager 2.

Jusqu'à présent, Voyager-1 est la sonde spatiale ayant décollé de la terre qui est allée le plus loin dans l'espace. La sonde, à une vitesse moyenne de 61.000 km/h, a atteint les limites du système solaire et est entrée dans l'espace interstellaire le 25 août 2012. Elle se trouve actuellement à plus de 22 milliards de kilomètres de notre Soleil.

Quant à Voyager 2, partie le 20 août 1977, et qui a visité les quatre planètes géantes (elle est la seule à avoir approché Uranus et Neptune), elle n'en est qu'à 18,7 milliards. Mais il faut tout de même presque 17 heures à la lumière pour faire le voyage jusqu'à nous. Pour comparaison, elle ne met que 8 minutes à parcourir la distance Terre-Soleil. Voyager 2 a quitté l'héliosphère le 5 novembre 2018.

Les sondes Voyager sont, en 2020, toujours en état de fonctionnement ; plusieurs de leurs instruments continuent à transmettre des informations sur le milieu environnant.

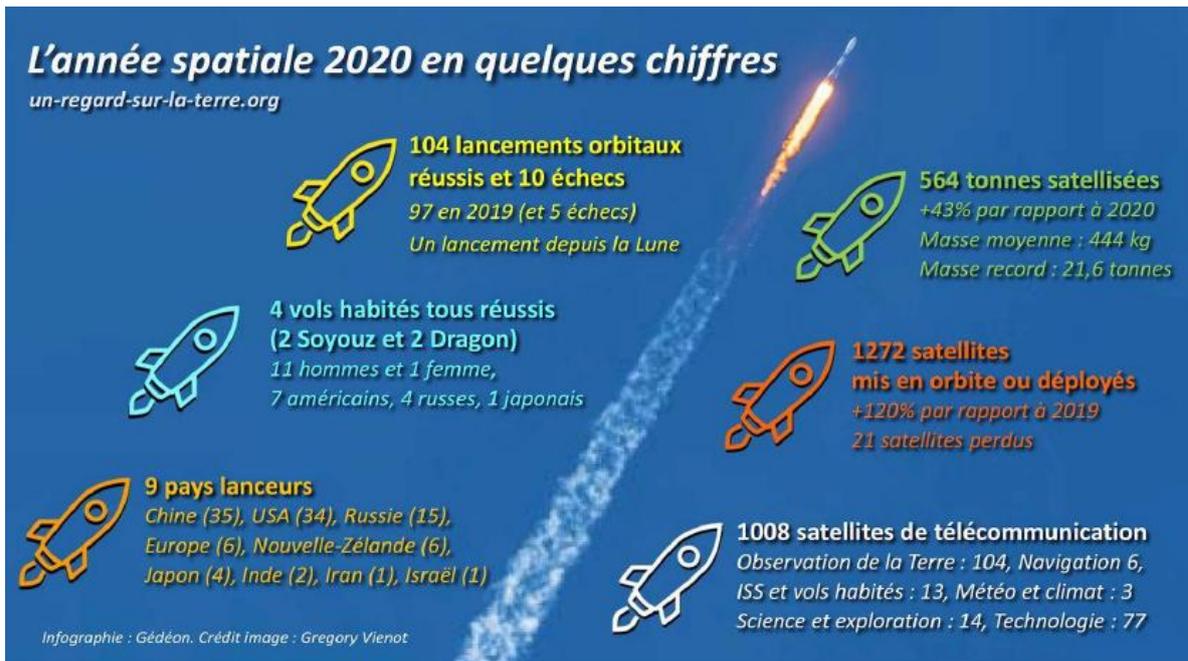


Parties plus tôt, respectivement en mars 1972 et en avril 1973, les sondes Pioneer 10 et 11 ont parcourues 118 et 97 unités astronomiques.

Elles aussi sont encore loin de la bordure du Système solaire... mais elles emmènent toutes les deux une plaque gravée en or « carte de visite » adressée à d'hypothétiques extraterrestres ; De même les sondes Voyager emmènent des disques vidéonumériques

Pioneer 11 n'est plus en communication avec la Terre depuis 1995, mais la sonde a encore fait parler d'elle pendant les années 1990 et surtout au début des années 2000. Sa sœur et elle, semblaient expérimenter une force attractive en direction du Soleil d'origine inconnue, et à une distance suffisamment grande de celui-ci. Les spéculations sur l'origine de cette force sont allées bon train, car il pouvait s'agir d'une signature de l'existence d'une nouvelle physique. L'« anomalie de Pioneer », comme on l'a appelée, a finalement trouvé sa solution avec la prise en compte du flux de photons généré par les parties chaudes de la sonde.

6. ANNEES 2020-2021 :



- Début de Crew Dragon : **30 mai** 1^{er} vol avec équipage ; **16 novembre** 1^{er} vol opérationnel ,
- des échantillons d'astéroïdes récoltés et pour certains, ramenés sur Terre :
 - La mission OSIRIS-REx, (université de l'Arizona) : La sonde spatiale, après deux années de transit, se place en orbite autour de l'astéroïde Bénou début **décembre 2018**. Après une phase d'étude, la sonde spatiale effectue le prélèvement des échantillons de sol de l'astéroïde le **20 octobre 2020**. Le retour sur Terre de la capsule contenant ces échantillons est prévu pour septembre 2023.
 - **23 novembre** : lancement de Chang'e5 (Chine) et 13 décembre retour des échantillons lunaires.
- Trois missions vers Mars : Emirats arabes unis : Mission Hope **19 juillet** ;
Chine : Tianwen-1 **23 juillet** ; NASA : astromobile Persévérance **30 juillet**

Tous les 26 mois, les positions de la Terre et de Mars sur leur orbite les placent dans une configuration idéale afin d'entreprendre un voyage vers la planète rouge. L'été 2020 étant l'une de ces « fenêtres de tir » favorables, les **Émirats Arabes Unis (19 juillet 2020)**, la **Chine (23 juillet)** et les **États-Unis (30 juillet)** en ont profité pour y envoyer leurs explorateurs robotiques. Ce sont donc en tout 2 orbiteurs et 2 rovers (la mission chinoise est «double» avec un orbiteur et un rover) qui s'élancent vers Mars en vue de l'atteindre en février 2021.

Émirats Arabes Unis

Objectif Mars : Partie de Terre depuis le site de lancement à Tanegashima, au Japon, le 19 juillet 2020 à destination de Mars, la sonde Hope des Émirats arabes unis s'est insérée en orbite autour de la Planète rouge le 9 février 2021. Les Émirats arabes unis deviennent ainsi la cinquième nation à atteindre la Planète rouge et la première nation arabe à réaliser un voyage interplanétaire. Ce sera la première mission à fournir une vue « *complète du système météorologique dans toutes les régions de la planète à tous les moments de la journée* ». Hope, en orbite géostationnaire observera notamment les changements du climat martien entre la haute et la basse atmosphère, sur toute la surface de la planète, à tout moment de la journée et pendant toutes les saisons de l'année.



L'équipe scientifique émiratie de la mission est en grande majorité constituée de femmes

Chine

Objectif Mars : La sonde chinoise **Tianwen-1** a été lancée en direction de la planète Mars à bord d'un lanceur **Long March 5** du centre spatial de **Wenchang**, situé sur l'île de Hainan le 23/07/2020.

Tianwen-1 est arrivé en orbite autour de Mars le 10 février 2021 et installé sur une orbite elliptique avec un périhélie à 265 kilomètres et un apogée à quelque 12.000 kilomètres. L'atterrissage du rover est prévu en mai dans Utopia Planitia, une vaste plaine de l'hémisphère Nord de Mars où des observations radar ont indiqué la présence de vastes quantités de glace sous la surface. L'orbiteur, qui embarque sept instruments, est conçu pour fonctionner pendant au moins une année martienne, soit deux ans. Quant au rover, il devrait rouler sur la planète pendant au moins 90 jours et dispose de six instruments

Objectif Lune : Entre le 23 novembre et le 16 décembre 2020, la Chine a relevé haut la main tous les défis posés par la mission sur la **face cachée de la lune**: le décollage d'une fusée Longue Marche-5, la mise en orbite autour de la Lune, l'atterrissage sur l'astre dans une zone montagneuse, la récolte et la sécurisation de matière au sol, le décollage à partir de l'astre, l'amarrage en orbite à la capsule chargée du retour sur Terre, la rentrée atmosphérique puis l'atterrissage final en parachute dans un désert de Mongolie intérieure.



L'atterrisseur du rover martien de la Chine testé dans des conditions simulant la gravité martienne

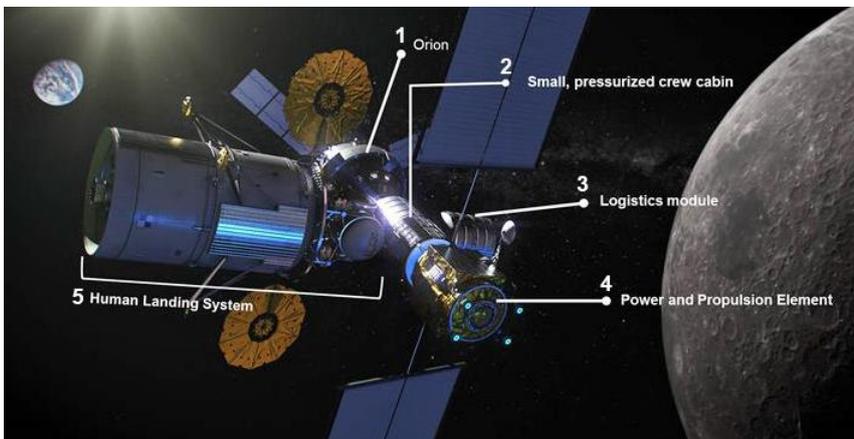


récupération de la capsule contenant les fragments de Lune le 17 décembre 2020

Etats-Unis :

Objectif Lune : Le **programme Artémis** est un programme spatial habité de la NASA, dont l'objectif est d'amener un équipage sur le sol lunaire d'ici 2024 et préparer les futures missions habitées sur Mars. Artémis, du nom de la déesse grecque personnifiant la Lune dans la mythologie grecque. Il s'agit d'une référence explicite au programme *Apollo*, qui est nommé d'après Apollon, le dieu grec et frère jumeau d'Artémis.

L'architecture de la mission lunaire, telle que définie en mai 2019, repose sur la disponibilité de plusieurs vaisseaux spatiaux : le lanceur lourd **Space Launch System**, la station spatiale lunaire **Lunar Orbital Platform-Gateway** qui joue le rôle de relais entre l'orbite lunaire et la surface de la Lune, le vaisseau **Orion** qui est utilisé pour transférer l'équipage entre la Terre et la station spatiale lunaire et le vaisseau lunaire HLS (**Human Landing System**) chargé de déposer l'équipage sur le sol lunaire puis de le ramener à la station spatiale. Plusieurs vols de lanceurs commerciaux sont également prévus pour positionner des missions robotiques à la surface de notre satellite afin de préparer l'arrivée des équipages et ravitailler la station spatiale lunaire.



La station spatiale lunaire sera en 2024 limitée à deux modules : le module d'habitation HALO (2) et le module qui fournit l'énergie et la propulsion PPE (4).

Sur le schéma sont amarrés les autres vaisseaux impliqués dans les premières missions Artemis : un vaisseau de ravitaillement (3), le vaisseau Orion (1) et le vaisseau lunaire (5) qui doit déposer l'équipage sur le sol.

Objectif Mars : après sept mois de voyage depuis le 31 juillet 2020, le rover Perseverance a atterri sur le sol martien le 19 février 2021. Pour la NASA, c'est son neuvième atterrissage sur Mars et le cinquième d'un rover. Avec un peu plus d'une tonne, **Perseverance** est le plus gros engin mobile déposé sur la surface de la quatrième planète. Il était aussi bardé de caméras et de capteurs destinés à saisir le déroulé de cette délicate manœuvre. Cette séquence inédite, car jamais un atterrissage martien n'avait pu être documenté en images de la sorte, va bien au-delà de son aspect spectaculaire. Lors de la conférence de presse NASA du 22 février, les ingénieurs ont expliqué que si le film des événements suivait de très près ce que l'équipe d'hommes et de femmes du JPL avait envisagé, il subsistait quelques surprises sur lesquelles tout le monde allait se pencher. Le but ? **Améliorer et même affiner la procédure d'une arrivée sur Mars** avec pour objectif une précision plus grande si possible et aussi un éventuel gain de masse. En effet, quelques kilogrammes en moins sur le système d'atterrissage pourraient permettre d'accueillir un instrument scientifique (ou plusieurs) en plus sur de prochaines missions. Le robot, qui comporte six roues, a à peu près les mêmes dimensions que le rover Curiosity qui poursuit depuis huit ans sa mission sur la planète : environ 3 m de long, 2,7 m de large et 2,2 m de hauteur. Il pèse 1 025 kilos, soit 126 de plus que Curiosity.

Il dispose de 7 instruments scientifiques, dont une caméra sur mât, des appareils de mesure de la température, de l'humidité, des principaux gaz..., et d'un radar permettant d'observer les structures géologiques souterraines.

Son instrument principal est le SuperCam qui, comme le ChemCam de Curiosity, pourra examiner la composition des roches en les illuminant par laser.

Le Supercam a été mis au point par le Centre national d'études spatiales (CNES) avec l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP) de Toulouse.

Enfin, son bras robotique pourra forer le sol sur 6 cm de profondeur, et collecter des échantillons qui seront ramenés à Terre dans une future mission encore à programmer, dont le « Fetch » rover serait construit par Airbus et comprendrait plusieurs éléments réalisés par l'ESA.



Personne n'avait jamais vu un parachute s'ouvrir dans l'atmosphère martienne, ni un rover être descendu à la surface de cette planète



Envoyée pour chercher des preuves de l'existence d'une forme de vie ancienne, la sonde a d'autres ambitions. Le rover a en effet apporté avec lui un petit appareil volant, nommé Ingenuity. Il s'agit du premier hélicoptère envoyé sur une autre planète. Et le défi est immense ! Comment faire voler un appareil dans un environnement où la pression atmosphérique est cent fois moins grande que la nôtre ? Avec un poids de seulement 1,8 kilogramme, Ingenuity

est conçu de façon à être suffisamment léger pour s'élever dans une atmosphère aussi fine. Muni de quatre pieds en carbone, et de deux hélices tournant cinq fois plus vite que celles d'un hélicoptère sur Terre, Ingenuity transporte aussi avec lui des batteries et des panneaux solaires pour évoluer dans un environnement où les températures peuvent atteindre les -90°C . Son unique mission sera de prouver qu'il est possible de voler sur Mars puisque l'hélicoptère "n'aura à son bord aucun instrument scientifique", précise la Nasa. Mais plusieurs étapes cruciales devront d'abord être validées avant d'espérer assister au 1^{er} vol: il faut qu'Ingenuity quitte le rover Perseverance, puis de s'adapte aux températures glaciales de Mars en s'alimentant automatiquement grâce à ses panneaux solaires. La réussite de cette mission est décisive pour les années à venir et la suite de l'exploration de la planète Mars qui pourrait se jouer dans les airs.

[retour au sommaire 5](#)

7. QUELQUES MISSIONS ENTHOUSIASMANTE

A- CASSINI - HUYGENS ; 1997

La sonde spatiale *Cassini-Huygens* a achevé sa mission par une étude des anneaux internes et des satellites les plus proches de Saturne dont la lune géante Titan et la surprenante Encelade en les survolant à faible distance. La mission s'est achevée après vingt ans, le 13 septembre 2017, sur un bilan scientifique considérable, qui occupera les scientifiques durant plusieurs décennies.

Le 15 septembre elle a volontairement plongé dans l'atmosphère de Saturne. Fin de mission.

Son histoire : En 1982, les communautés scientifiques américaine et européenne étudient de manière indépendante l'envoi d'une mission d'étude de Saturne. Après avoir travaillé sur des projets séparés, la NASA et l'ESA lancent à la fin des années 1980 le développement d'une mission conjointe : la NASA développera l'orbiteur Cassini et l'ESA l'atterrisseur Huygens, qui se posera sur Titan.

Le projet frôle à plusieurs reprises l'annulation, suite aux difficultés budgétaires de la NASA. Des mouvements écologistes tentent aussi d'interdire le lancement de la sonde spatiale, à cause du plutonium embarqué pour alimenter en énergie la sonde spatiale.



Finalement la sonde Cassini-Huygens est lancée le 15 octobre 1997 par un lanceur lourd, Titan IV-B.

Le voyage durera 7 ans ;

Transit de Cassini-Huygens vers Saturne : la sonde spatiale, particulièrement lourde donc difficile à accélérer par son lanceur, a recours à quatre reprises à l'assistance gravitationnelle des planètes (Terre, Vénus à deux reprises et Jupiter) pour obtenir une vitesse suffisante pour atteindre Saturne.

Le module orbital Cassini s'est inséré sur l'orbite de Saturne le 1^{er} juillet 2004.

Le 25 décembre 2004 dernière vérification

L'horloge interne est

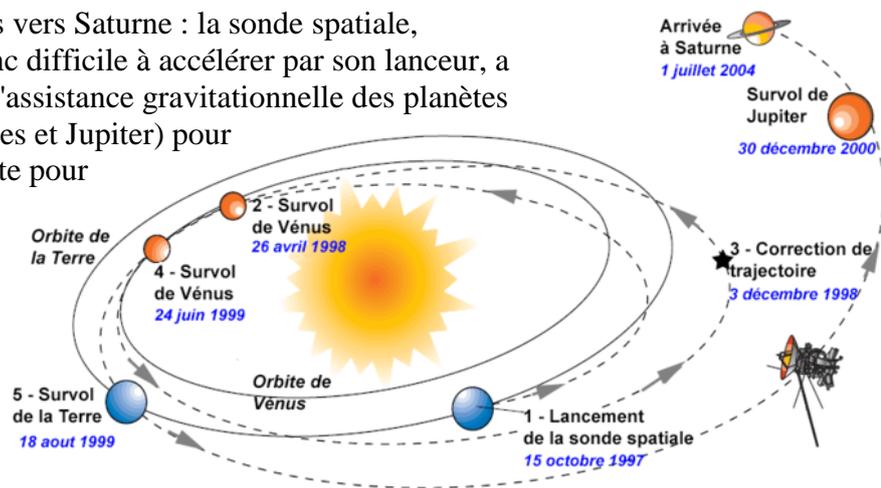
synchronisée avec l'heure précise

à laquelle doivent être activés les systèmes de la sonde (15 min avant son entrée dans l'atmosphère).

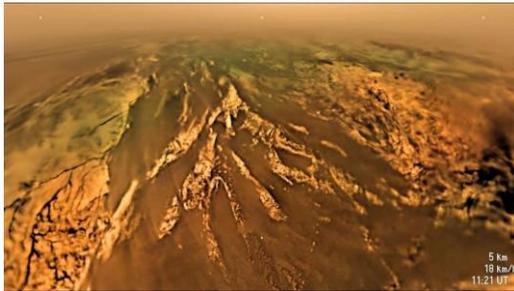
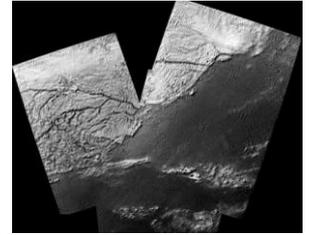
Huygens est ensuite détachée de Cassini et navigue dans l'espace pendant 22 jours avec un seul système actif : l'alarme destinée à l'activation de ses équipements et de ses instruments.

La sonde spatiale pénètre dans l'atmosphère de Titan le 14 janvier 2005.

Huygens se pose sur Titan à une vitesse de 5 à 6 m/s (une vingtaine de km/h) après 2 h 27 min de descente. La surface est solide mais souple. Posée, Cassini continue à recueillir des informations.



Le module européen, réalisé par l'ESA (l'agence spatiale européenne), a rempli sa mission presque parfaitement. (Un défaut de transmission n'a pas permis de recueillir la totalité des relevés de Huygens. il a photographié la surface durant la descente sous parachute, grâce à trois caméras. Le mouvement de rotation du module accroché à son grand parachute a permis des vues à 360°. Sous la couche de nuages, Huygens a ainsi montré un réseau fluvial, des montagnes et des lacs, très grands pour certains. Huygens a pu analyser l'atmosphère, composée essentiellement d'azote et montrer la présence de méthane, à environ -180 °C (la température ambiante sur Titan), qui constitue la vapeur des nuages et les gouttes de pluie. C'est donc du méthane liquide qui coule dans les rivières et emplit les lacs. La présence de molécules organiques (c'est-à-dire à base de carbone) plus complexes a été mise en évidence par ces analyses et aussi par celles de Cassini, qui aura survolé 127 fois Titan.



Le module Huygens révèle un monde inconnu et complexe. L'altitude est ici de 5.000 m et l'engin, sous son parachute principal, descend à moins de 20 km/h.

Dernière image envoyée par le module Huygens, qui vient de se poser sur la surface de Titan, le 14 janvier 2005. Ces cailloux sont en fait des glaçons d'eau.



La complexité de cette chimie organique atmosphérique était inattendue.

L'atterrissage s'est passé en douceur, sur un sol meuble. Des images de la surface ont pu être transmises. Malgré la perte du canal A, la mission Huygens est une grande réussite et reste l'atterrissage le plus lointain jamais effectué. L'exploit n'est pas mince car les couches nuageuses épaisses n'avaient jamais permis de cartographier la surface.

La mission de Cassini normalement jusqu'en 2008 sera prolongée jusqu'en 2017, complétée par le « Grand Final », avec 22 orbites la faisant passer entre Saturne et l'intérieur des anneaux et plongeant final dans l'atmosphère de Saturne le 15 septembre 2017, pour éviter tout risque de contamination sur les lunes potentiellement habitables et qui pourraient être étudiées un jour. Total : 20 ans. Fin de la mission ou pas, les astronomes sont encore loin d'en avoir terminé avec Cassini-Huygens. On dénombre à ce jour 31 lunes autour de Saturne mais leur nombre est certainement supérieur. Les mesures de l'orbiteur Cassini ont pour but d'étudier ces satellites, d'en découvrir de nouveaux certainement.

Encelade, une lune habitable ?

La vie ailleurs est, avec Encelade, au centre d'une des autres grandes révélations de Cassini-Huygens. Avant son arrivée sur place, cette petite lune de Saturne, de 500 kilomètres de diamètre seulement, était considérée comme un astre mort. Aucun spécialiste ne se serait risqué à envisager qu'elle puisse présenter une trace quelconque d'activité. Mais, en 2005, la sonde Cassini observe que d'énormes panaches de vapeur d'eau et de grains de glace sont émis au niveau de sa surface, dans une région du pôle sud fortement fracturée. Les 23 survols qui seront effectués au total par l'engin spatial aboutiront à la conclusion que ces jets de plusieurs centaines de kilomètres de haut correspondent vraisemblablement à des remontées de liquides d'un océan sous-glaciaire. Celui-ci serait peut-être à l'origine de phénomènes semblables à ceux qui se manifestent, sur Terre, au niveau des sources hydrothermales des dorsales océaniques. Il s'agit là d'une énorme surprise, car jusqu'alors, le seul corps du système solaire connu pour posséder une « mer intérieure » était le satellite Europe de Jupiter (qui est plus près du Soleil). Les astronomes ayant démontré en 2012 que Titan cachait aussi dans son sous-sol un compartiment de ce type, c'est la notion même de « zone d'habitabilité » – c'est-à-dire de région des systèmes solaires où l'on pourrait trouver de l'eau à l'état liquide à la surface ou à l'intérieur de corps célestes –, qui a été remise en question par la mission Cassini-Huygens.

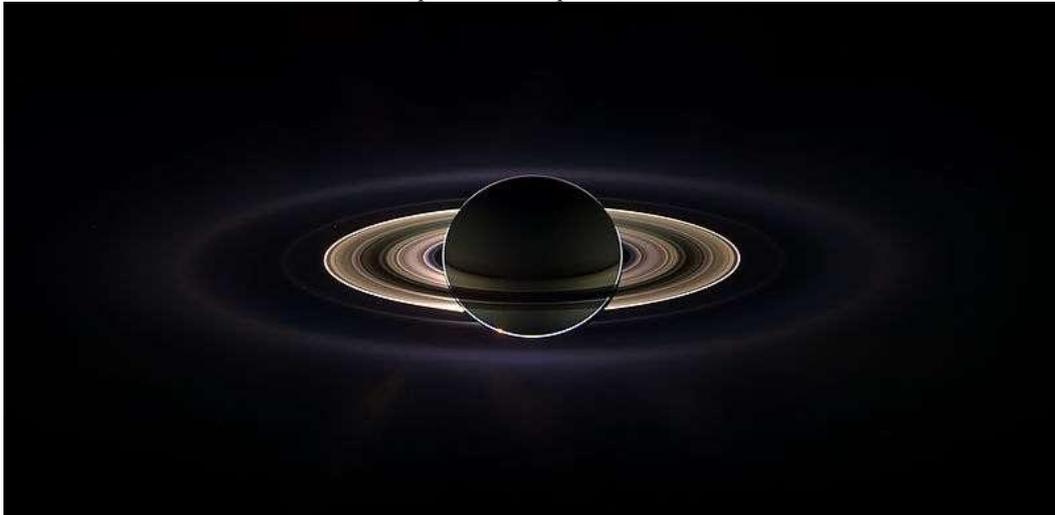
[Retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

Les anneaux de Saturne : une énigme

Les milliers d'anneaux en orbite autour de Saturne sont composés de particules de glace et de roches dont la taille est très variable. Il s'agirait de morceaux de satellites n'ayant pu s'agglomérer du fait de leur proximité avec Saturne. Relativement proches les uns des autres, ces anneaux évoluent à des vitesses différentes. Ils ont un diamètre de 300.000 km pour une épaisseur de 1 km, ce qui les rend en proportion plus fins qu'une lame de rasoir. Les mesures effectuées par Cassini doivent permettre de comprendre comment ces anneaux se forment et maintiennent leur orbite autour de Saturne. Elles donneront également des indications précieuses sur leur composition.

Eclipse de soleil par Saturne



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 (*l'héliopause est la limite où le vent solaire du Soleil est arrêté par le milieu interstellaire.*).

B- ROSETTA- PHILAE ; 2004

Le 3 juillet 1985, la sonde européenne Giotto s'élançait de Kourou à la poursuite de la comète de Halley pour un périple qui allait devenir légendaire. Elle croisa la comète en 1986 et disposa d'une demi-heure pour effectuer l'essentiel de ses observations. Elle la survola à la distance record de 600 km et en profita pour réaliser les seules images fines et détaillées d'un noyau cométaire. Mise en sommeil à la fin de sa mission, la sonde sera finalement réveillée en février 1990, après une longue période d'hibernation, et dirigée vers la comète Grigg-Skjellerup, qu'elle survolera en juillet 1992 à une distance de 200 km.

Giotto est la 1^o mission planétaire de l'ESA. Son succès aura favorisé le développement des activités scientifiques de l'ESA et suscité une reconnaissance et un élan de sympathie mondial. Sans ces deux survols réussis, la mission Rosetta n'aurait certainement pas vu le jour.



Vue d'artiste



Photo prise par Giotto

Rosetta est une mission spatiale de l'ESA dont l'objectif principal est de recueillir des données sur la composition du noyau de la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko (surnommée « Tchouri ») et sur son comportement à l'approche du Soleil. La sonde spatiale, d'une masse de trois tonnes, s'est placée en orbite autour de la comète puis, après une période d'observation de plusieurs mois, a envoyé, le 12 novembre 2014, un petit atterrisseur, **Philae**, se poser sur sa surface pour analyser, *in situ*, la composition de son sol et sa structure. Le comité scientifique européen a décidé sa construction en 1993, après l'abandon d'un projet commun avec la NASA, avec l'objectif d'améliorer notre connaissance du processus de formation du Système solaire, dont les comètes constituent des vestiges. Rosetta est la sixième sonde spatiale à observer une comète à faible distance, mais elle est la première à se placer en orbite autour de celle-ci et à poser un atterrisseur sur son noyau. La mission représente à plusieurs titres un défi technique. La distance entre la Terre et la comète nécessite que la sonde soit autonome durant les phases critiques. L'atterrisseur doit pouvoir réussir à se poser sur un noyau cométaire dont la constitution et le comportement sont inconnus. Enfin, la sonde doit survivre, au niveau thermique et énergétique, aux grandes variations d'amplitude de l'éclairage solaire imposées par sa trajectoire.

Première partie de la mission : 2004-2011



La sonde était enfin prête à s'envoler en 2003, vers la comète 46P/Wirtanen. Mais un problème technique qui fit exploser le lanceur Ariane-5 a obligé de différer son départ et, par conséquent, de choisir une nouvelle cible atteignable : 67P/Churyumov-Gerasimenko. Découverte le 23 octobre 1969 par les astronomes ukrainiens (alors soviétiques) Klim Churyumov et Svetlana Gerasimenko, l'astre était supposé être relativement peu actif, donc peu menaçant pour la mission étant donné sa période orbitale de 6 ans et demi, son périhélie à 186 millions de km du Soleil et sa relative petite taille (estimée alors à un kilomètre).

Finalement, la sonde a pu quitter la Terre à bord d'une fusée Ariane 5 version G+, le 2 mars 2004. Un an plus tard, elle revenait dans les parages de notre Planète bleue pour bénéficier d'une assistance gravitationnelle qui allait lui permettre d'augmenter sa vitesse. En février 2007, même chose avec cette fois, Mars. Rosetta revint nous voir en novembre 2007 et novembre 2009. Entre temps, la sonde européenne a survolé, en prélude, les astéroïdes Steins, en septembre 2008,

Sur une orbite à 353 millions de kilomètres du Soleil, Steins mesure 4,6 km dans le sens de la longueur, et tourne sur lui-même en 6,05 heures. Tout au long du mois de juillet, les instruments de Rosetta, qui s'en approche à 8,62 km/seconde, ont été réveillés et testés.

La manœuvre est particulièrement délicate. La vitesse relative et la proximité entre Rosetta et Steins contraignent les techniciens à mettre au point une procédure de suivi pour éviter tout bougé dans les prises de vues, qui ne peut être obtenue que par une rotation de la sonde sur elle-même.

Puis Lutetia, en juillet 2010 : Le retour scientifique du survol de l'astéroïde Lutetia est remarquable. Les données obtenues par la sonde Rosetta, en route pour « Tchouri », montrent qu'il s'agit d'un planétésimal, «un précurseur de planète » ! Rosetta est passée à une vitesse de quelque 54.000 km/h, à seulement 3.170 kilomètres de la surface de cet astéroïde, un des plus grands jamais observés par une sonde.

Le 8 juin 2011, alors que Rosetta s'éloigne toujours plus du Soleil, la sonde est volontairement **mise en sommeil** pour 31 mois car ses panneaux solaires ne lui fournissent plus assez d'énergie. Durant son hibernation les communications avec la Terre sont coupées mais la sonde n'est pas complètement inactive durant cette phase : un logiciel particulièrement complexe ausculte régulièrement les

équipements et les instruments scientifiques et s'assure que les composants de la sonde restent dans la plage de températures prévue en utilisant si nécessaire des résistances thermiques. Durant cette période la trajectoire de *Rosetta* atteint son point le plus éloigné du Soleil. Cette hibernation aura permis d'économiser une énergie précieuse.

2^{ème} partie de la mission : 2014-2015



20 janvier 2014 : Rosetta se réveille toute seule

Et c'est de cette hibernation que la sonde s'apprête à sortir. Son réveil interne a été « programmé au 20 janvier 2014 à 10 h 00 TU ». Rosetta va réchauffer ses instruments de navigation, puis arrêter sa rotation pour pointer son antenne principale vers la Terre et informer l'équipe au sol, qui la suit depuis le Centre européen d'opérations spatiales (Darmstadt, Allemagne), qu'elle est toujours en vie. « Les 11 instruments de la sonde et les 10 instruments de l'atterrisseur seront allumés et vérifiés » progressivement, au fur et à mesure que Rosetta s'approchera de la comète.

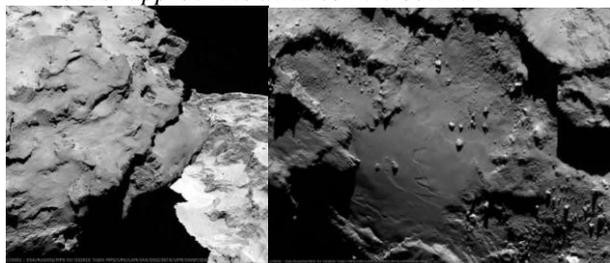


La joie de l'équipe européenne au réveil de Rosetta

Rosetta a dû ralentir pour s'approcher progressivement de la comète Tchouri, comme un avion de chasse qui intercepte un appareil suspect. La vitesse relative devait tomber à environ 1 m/s (3,6 km/h). En mai 2014, la sonde a entamé la complexe manœuvre d'approche de la comète, sous l'œil des techniciens réunis au centre de contrôle de l'ESA à Darmstadt, en Allemagne, tandis que l'agence spatiale européenne commence à diffuser des images rapprochées de la comète.

Surprise ! Peu avant son arrivée, le 6 août 2014, les chercheurs et les techniciens ont découvert que ce noyau cométaire aussi grand que le mont Blanc est bilobé. Il ressemble à un canard pour le bain : tête, cou et corps.

Vues rapprochées de la comète obtenue



avec l'instrument Osiris le 6 août 2014

Tchouri photographié par la NavCam de Rosetta le 22 août 2014,



à 63,4 km du centre de la comète.

Phase suivante de la mission, placer Rosetta sur une orbite elliptique autour de la comète, le temps de s'en approcher suffisamment. Cette approche est délicate.

En effet, même si une reconstruction en 3D de la comète a été réalisée, sa masse n'est pas connue avec précision et les ingénieurs de l'Esa ne peuvent pas savoir à quelle vitesse une orbite, même éphémère, peut être obtenue.

Rosetta va s'approcher lentement de la comète

La meilleure manière de mesurer le champ de gravité autour de la comète... est de s'en approcher. Les accélérations et décélérations subies trahiront la force de la gravitation. La trajectoire prévue dans les prochaines semaines est une originale succession de triangles, de plus en plus petits et de plus en plus proches de l'astre. La manœuvre se fera du côté de la comète opposé à la queue pour éviter à l'engin de recevoir une pluie de poussière et de glace.

Ensuite, une fois la gravité connue, les « pilotes » de l'Esa injecteront Rosetta sur une trajectoire qui lui fera parcourir des ellipses autour de Tchouri. Ils espèrent approcher l'engin à 30 km d'abord puis à environ 10 km et moins encore. C'est à ce moment que commencera la périlleuse mission du petit Philae, un atterrisseur qui se détachera de la sonde pour aller se poser sur la comète.

Après délibération, un secteur d'atterrissage a été choisi pour l'atterrisseur Philae, et baptisé Agilkia sur le plus petit des deux lobes.

Philae se pose le 12 novembre 2014.

Comme on le sait, tout ne s'est pas passé exactement comme prévu ce jour-là : La descente s'est très bien passée, mais les harpons ne sont pas déclenchés comme prévu. Aussi Philae fit bien le «*touchdown*» tant attendu, mais on apprit quelques dizaines de minutes plus tard que c'était un premier bond(à 38 cm de hauteur). Il en fit encore un autre avant de se retrouver coincé dans un creux étroit situé à quelques centaines de mètres de l'endroit initialement choisi... Grand soulagement car, étant donné la faible gravité qui règne sur ce corps d'à peine plus de 4 km de long, Philae aurait pu s'envoler perdu à jamais dans l'espace (si rebond de 50 cm), l'atterrisseur de 100 kg subit sur la comète le poids correspondant à celui d'une masse de 1 g sur Terre ! en dépit de ces péripéties sur la tête de la comète, il a pu fonctionner 60 heures. Certes, dans un lieu peu ensoleillé mais pour les scientifiques et les ingénieurs, le défi était relevé et la moisson de données a dépassé leurs espérances.

• atterrissage prévu • atterrissage réel



Après quelques jours de travail, le robot s'est ensuite endormi, faute d'énergie suffisante.

L'aventure est encore loin d'être finie. Équipée de 11 instruments, Rosetta a déjà parcouru plus de 700 millions de km en compagnie de Tchouri, survolant cette dernière à différentes altitudes, entre 100 et 6 km au début (les premiers mois) et plus de 400 km ensuite... Fin septembre, début octobre, la sonde s'est même exceptionnellement éloignée de 1.500 km afin d'étudier les interactions de la chevelure de la comète avec le vent solaire.

Le 13 août 2015, Tchouri atteignait le point le plus proche du Soleil de son orbite elliptique de 6 ans et demi, le périhélie. Un moment très attendu par tous les scientifiques car cela leur permet d'observer en direct les modifications à la surface du noyau bilobé, de mieux comprendre tous les processus de dégazage, caractéristiques des comètes.



La fin de la mission est planifiée pour le 30 septembre, car en octobre les communications avec la Terre seront réduites à cause d'une conjonction solaire d'une durée d'un mois. Selon les plans arrêtés par l'agence spatiale, la propulsion de Rosetta est utilisée le 29 septembre, pour ralentir la sonde spatiale alors que celle-ci se trouve à environ 20 km de distance de la surface. Cette manœuvre déclenche une chute, à une vitesse terminale de 90 cm/s soit 3,24 km/h. La sonde doit s'écraser dans la région de Ma'at, située sur la « tête » de la comète, à proximité immédiate de plusieurs puits naturels dont les parois présentent des structures grumeleuses de plusieurs mètres. Celles-ci pourraient être la signature des composants initiaux de la comète, qui ont fusionné au tout début de la formation du système solaire.

Durant sa descente vers son objectif, qui dure environ 14 heures, la sonde spatiale prend des photos avec ses caméras et effectue des mesures des propriétés de gaz, de la poussière cométaire ainsi que du plasma. Les autres instruments sont éteints, pour réduire la consommation électrique. La trajectoire retenue permet la transmission des données en temps réel vers la Terre mais il faut 40 minutes pour qu'elles parviennent au sol. La sonde spatiale entame cette descente depuis une altitude d'environ 19 km, le 29 septembre à 20 h 50 UTC, et atteint le sol le 30 septembre vers 11 h 20 UTC. Le centre de contrôle de l'ESA met officiellement fin à la mission, à 11 h 19 UTC. Moment d'émotion intense pour tous ceux qui se sont passionnés pour cette aventure ; certains chercheurs de l'ESA travaillent pour cette mission depuis 1988 et c'est 27 ans de leur vie qu'ils voient se dérouler.

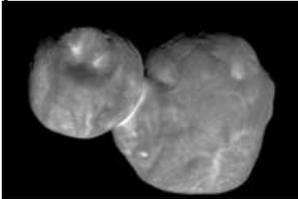
[retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

[retour sur puissances spatiales](#)

C- NEW-HORIZONS ; 2006

New Horizons est une sonde de l'agence spatiale américaine (lancée le 19 janvier 2006 par une fusée de forte puissance Atlas V-551), dont l'objectif principal est l'étude de la planète naine Pluton et ses satellites (réalisé mi-juillet 2015), puis après de légères modifications de trajectoire, en 2019, elle a pu explorer Arrokoth, un petit corps de la ceinture de Kuiper découvert à la suite d'observations astronomiques réalisées en 2014, et pourrait éventuellement en étudier un autre (restant à découvrir).



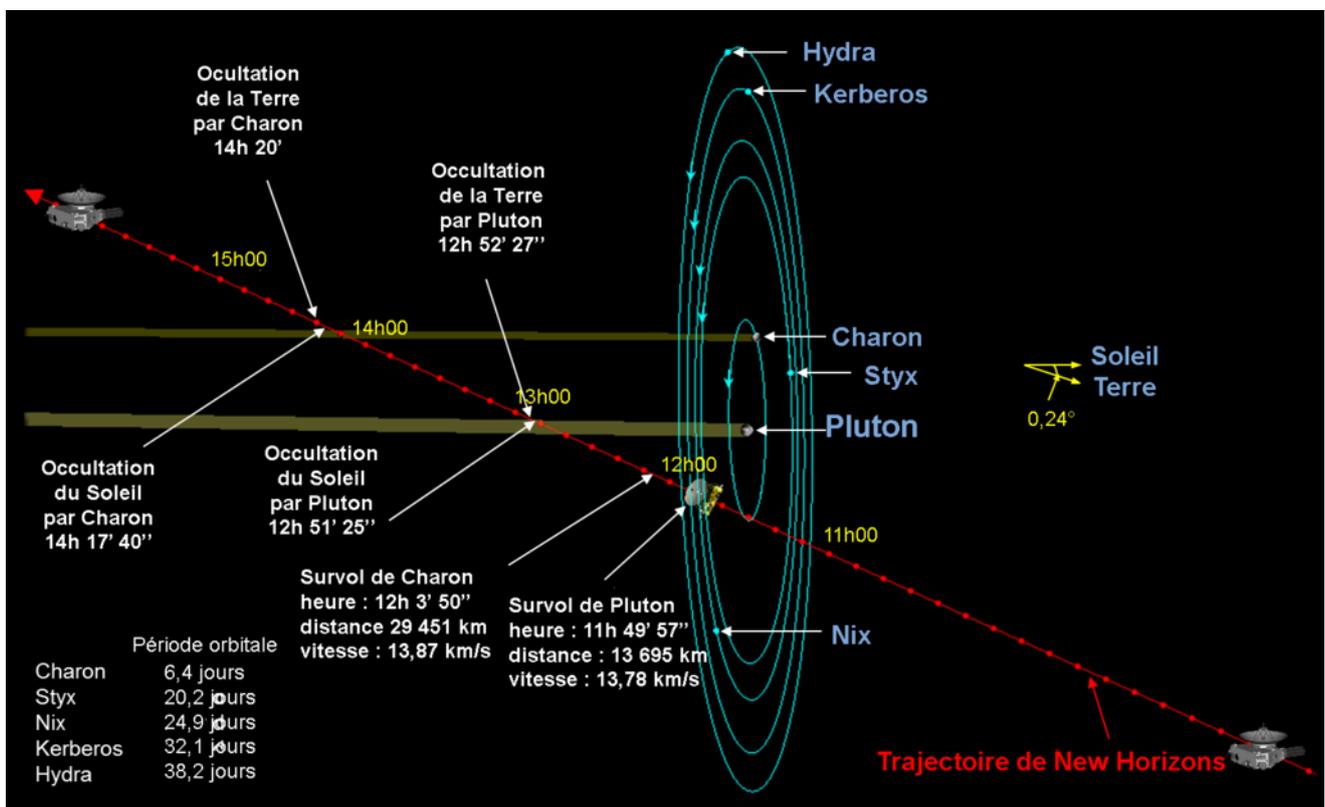
Arrokoth : seulement 33 km sur 15 km max !!!



Pluton

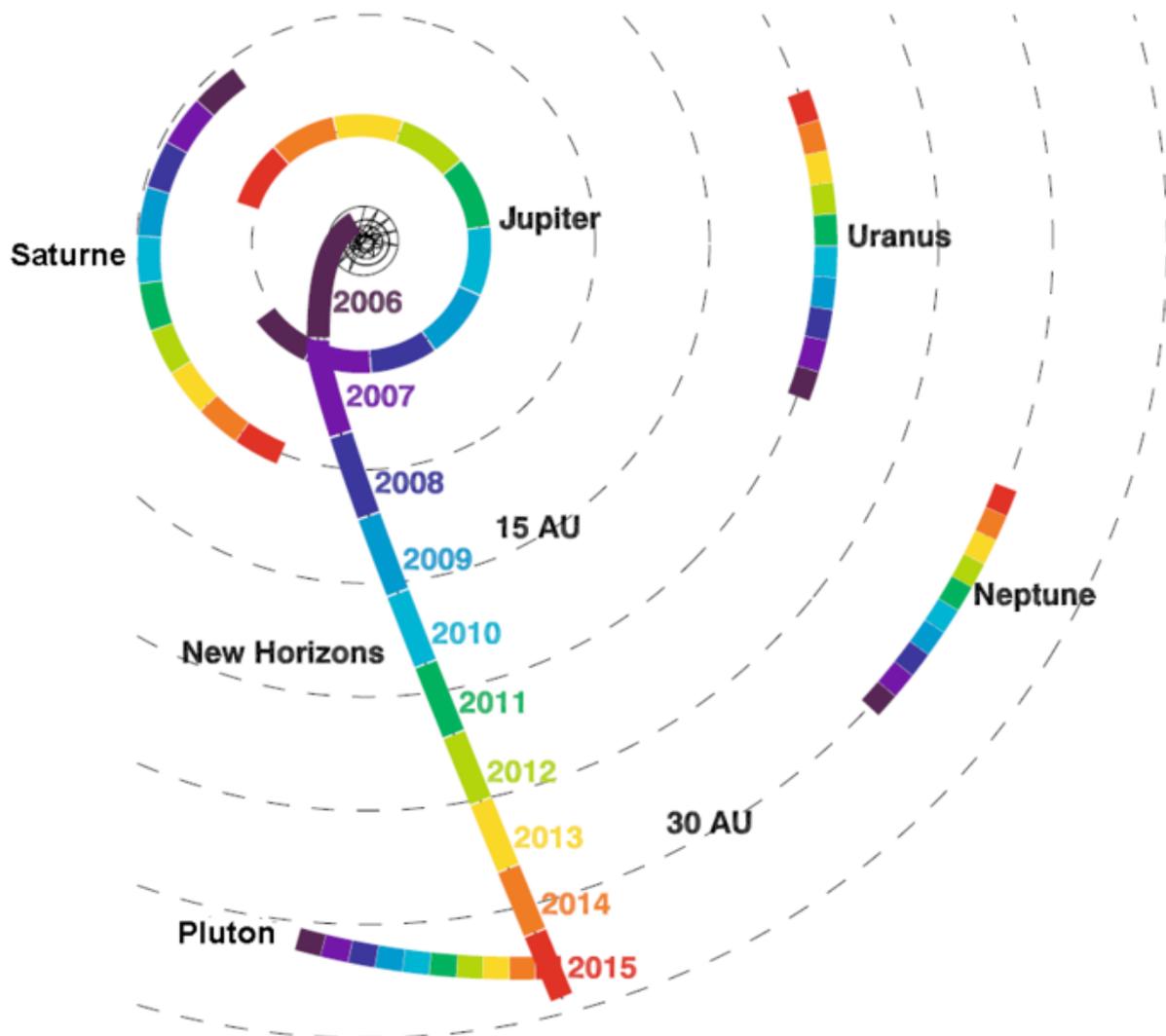
New Horizons est la première mission spatiale qui explore cette région du Système solaire. La sonde spatiale *New Horizons* a survolé Jupiter le 28 février 2007, ce qui lui a permis de gagner 4 km/s grâce à l'assistance gravitationnelle de cette planète. Le survol de Jupiter a également permis de calibrer les instruments, tout en faisant des observations scientifiques intéressantes sur le système de Jupiter, en particulier son atmosphère, ses satellites et son champ magnétique.

Les résultats de la mission *New Horizons* ont complètement bouleversé les connaissances sur Pluton et ses satellites. De très nombreuses données portant sur la géologie, ainsi que la composition de la surface et de l'atmosphère, ont été collectées. Elles ont démontré que Pluton, contrairement aux hypothèses courantes, était resté très actif sur le plan géologique depuis sa création. La planète naine présente un éventail particulièrement riche de phénomènes atmosphériques et de formations géologiques, qui rivalisent par leur diversité avec ceux de la planète Mars.



Trajectoire de *New Horizons* durant son survol de Pluton : la sonde spatiale traverse à très grande vitesse (13,78 km/s soit près de 50 000 km/h) le plan orbital formé par Pluton et ses satellites (dont l'orbite et la position sont indiquées en vert sur le schéma) en passant à 11 000 km de Pluton. Les

occultations du Soleil puis de la Terre par Pluton puis par Charon au cours des deux heures suivantes sont utilisées pour préciser la composition de l'atmosphère, la masse et la température des deux corps.



Trajectoire de *New Horizons* et des planètes externes de 2006 à 2015

La sonde a reçu en été 2020 une mise à jour de ses systèmes informatiques et a récemment envoyé des photos : Actuellement, la sonde est si éloignée de la Terre – plus de 6 milliards de km – qu'elle observe désormais les étoiles Proxima Centaure et Wolf 359 à des **positions** apparentes différentes de celles vues à partir de la Terre

[retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

8. L'ESSENTIEL DEPUIS L'AN 2000

31 octobre 2000		Début de la présence humaine permanente dans l'espace, à bord de l'ISS.
19 février 2001	 Russie	Destruction volontaire de la station Mir, qui est précipitée dans l'atmosphère et s'y consume.
28 avril 2001	 Russie	Dennis Tito premier touriste de l'espace.
15 octobre 2003	 Chine	Premier vol habité dans l'espace de la Chine par Yang Liwei avec la capsule Shenzhou 5
14 janvier 2005	 Europe	La sonde européenne Huygens se pose sur Titan.
9 mars 2008	 Europe	Lancement du plus gros vaisseau cargo à ce jour, l'ATV
8 juillet 2011	 USA	Dernier décollage de la navette spatiale Atlantis, ce qui met fin au programme des navettes spatiales américaines.
29 septembre 2011	 Chine	Première station spatiale chinois, Tiangong 1
25 août 2012	 USA	Voyager 1 est la première sonde à quitter le système solaire en franchissant l'héliopause et premier artefact à pénétrer le milieu interstellaire en sortant de l'héliosphère. Elle constitue l'objet d'origine terrestre le plus éloigné à ce jour, dérivant dans l'espace intersidéral à plus de 20 milliards de kilomètres de la Terre.
12 novembre 2014	 Europe	Premier atterrissage sur une comète. La sonde spatiale européenne Rosetta est placée en orbite autour de la comète Tchouri et envoie un petit atterrisseur, Philae, afin d'analyser la composition de son sol et sa structure.
14 juillet 2015	 USA	Premier survol de Pluton par la sonde New Horizons.
25 novembre 2015	 USA	Premier atterrissage vertical d'une fusée, par Blue Origin avec sa New Shepard.
21 décembre 2015	 USA	Premier atterrissage vertical d'une fusée orbitale, la Falcon 9.
1er janvier 2019	 USA	Premier survol d'un objet de la Ceinture de Kuiper, par la sonde New Horizons
3 janvier 2019	 Chine	Premier atterrissage sur la face cachée de la Lune, par l'atterrisseur chinois Chang'e 4

11 avril 2019	 Israël	Premier atterrisseur lunaire israélien (Beresheet) à atteindre l'orbite lunaire (lancé par une fusée américaine privée Falcon 9), mais ne parvient pas à se poser en douceur et s'écrase sur la Lune.
6 septembre 2019	 Inde	Premier atterrisseur lunaire indien, Chandrayaan-2, qui se crashera.
5 mai 2020	 Chine	Premier vol d'un vaisseau spatial chinois à capacité lunaire.
30 mai 2020	 USA	Premier vol spatial habité accompli par une entreprise privée. L'entreprise privée SpaceX d'Elon Musk envoie, au moyen de leur fusée Falcon 9 et de leur capsule Crew Dragon, 2 astronautes rejoindre la Station spatiale ISS.
23 nov au 16 déc 2020	 Chine	La mission Chang'e 5 ramène sur terre des échantillons lunaires
9 février 2021	 EAU	Mise en orbite de la sonde Al Amal autour de Mars avec succès, les Émirats arabes unis deviennent la 12 ^{ème} puissance spatiale.(mission HOPE)
10 février 2021	 Chine	mise en orbite de la sonde Tianwen-1 autour de Mars, l'atterrissage du rover est prévu fin avril, début mai
18 février 2021	 USA	4 ^{ème} astromobile à rouler sur le sol martien. Le but de Perséverance est de voir si il y a déjà eu de la vie sur Mars.

[retour au sommaire 5](#)

[retour au sommaire général](#)

ANNEXE

PREPARATION D'UNE

NAVIGATION

[retour au sommaire général](#)

Navigation : Vous allez vous mettre à la place d'un élève pilote préparant une navigation au départ de l'aérodrome de Agen (LFBA) et à destination d'Auch (LFDH). Pour répondre à ces questions, vous pourrez être amené à utiliser les documents D1, D2 et D3 figurant ci-dessous.

→ **Document 1** : En tête de la carte VAC d'Agen

APPROCHE A VUE
Visual approach

Ouvert à la CAP
Public air traffic
31 DEC 20

AGEN LA GARENNE
AD 2 LFBA APP 01

	ALT AD : 204 (8 hPa) LAT : 44 10 29 N LONG : 000 35 26 E	LFBA VAR : 1° E (20)
---	---	--------------------------------

→ **Document 2** : Extrait de la carte VAC de Auch

ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

Ouvert à la CAP
Public air traffic
27 FEB 20

AUCH GERS
AD 2 LFDH ATT 01

	ALT AD : 411 (15 hPa) LAT : 43 41 13 N LONG : 000 36 00 E	LFDH VAR : 0° (15)
---	--	------------------------------

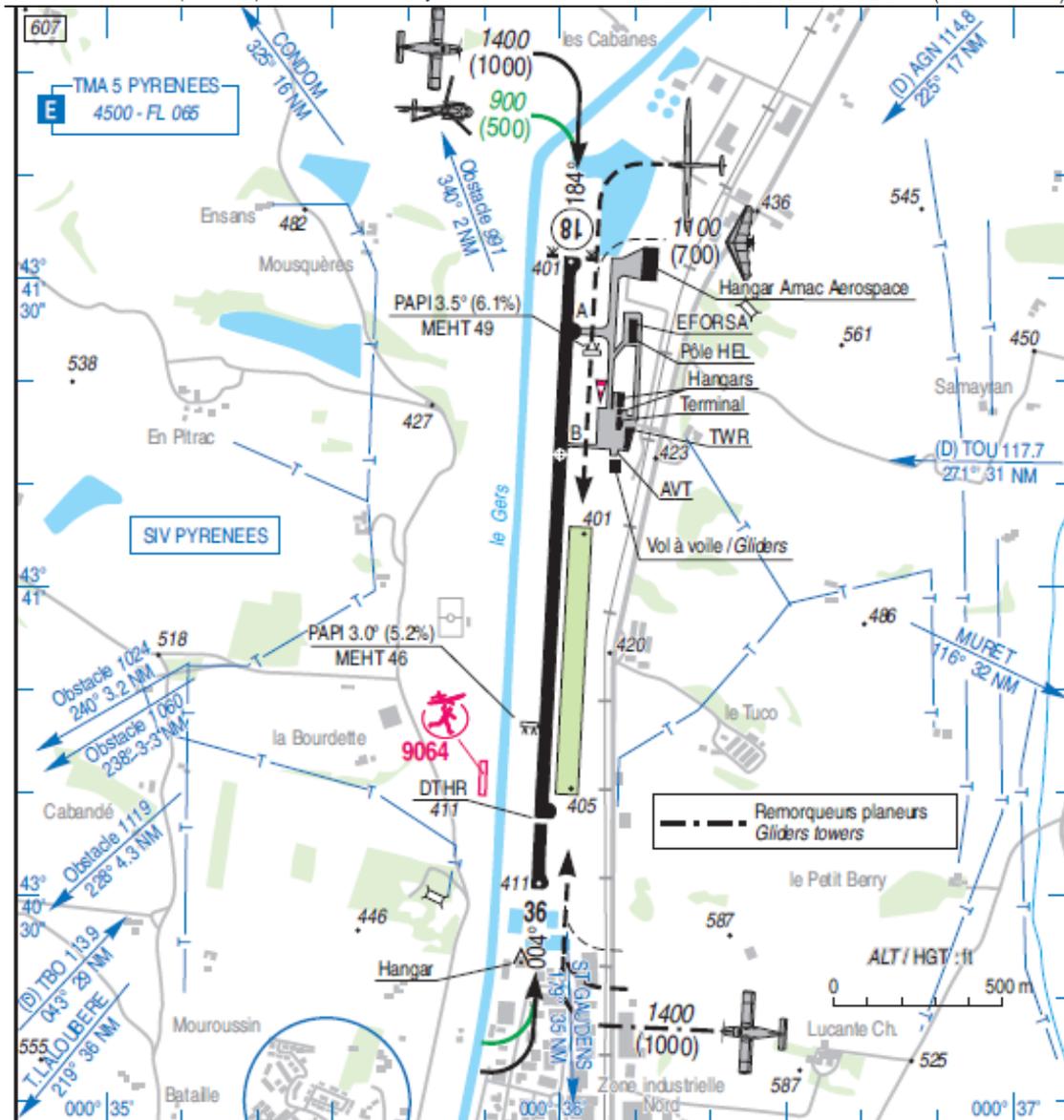
APP : PYRENEES Approche /Approach 128.800 (au dessus /above 4500).

TWR : NIL

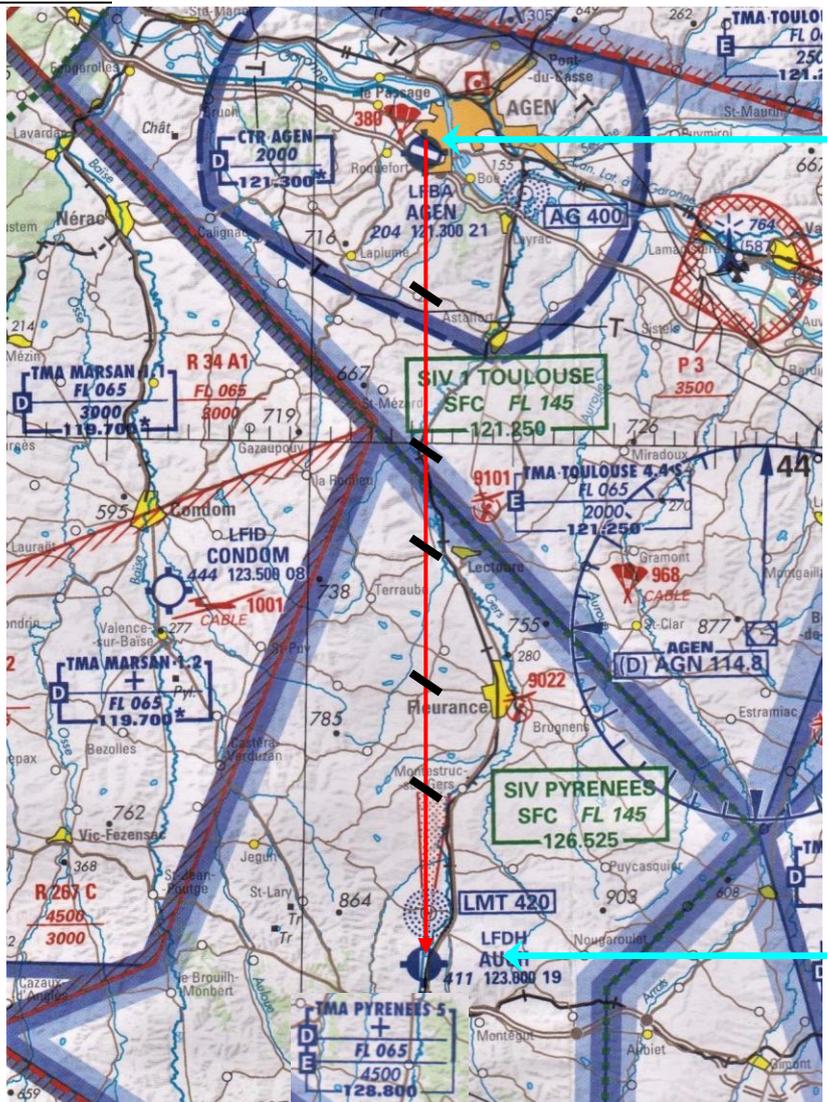
AFIS : 123.000.

Absence AFIS A/A (123.000) FR seulement /only.

STAP : hors /out HOR ATS : 123.000 (voir / see TXT)



→ Document 3 : extrait carte OACI échelle 1 : 500 000



Agen
LFBA

Dans ma navigation quelle balise me sera la plus utile ?

Le VOR d'Agen ?

Le radiocompas d'Agen ?

Le radiocompas d'Auch ?

La seule dans l'axe de ma route :

Le locator d'Auch mais sa portée ne sera que de 30 à 50km

repères

Auch
LFDH

décollage d'Agen (LFBA) et atterrissage à Auch (LFDH) : Pour ma 1^{ère} navigation avec mon moniteur, je voudrais faire celle-ci à l'altitude de 2500 ft. A partir de l'étude du document 3, je peux répondre aux questions suivantes :

- 1 Le point le plus haut proche de ma route étant signalé à 864ft je passerai sans problème **vrai V** - faux F
- 2 Au départ dans la CTR d'Agen, pas besoin de contacter la tour puisque je suis au dessus de 2000ft **V - F**
Au décollage, je suis bien à moins de 2000 ft !
- 3 Il faut contacter le SIV de Toulouse sur 121.25 pour traverser la zone E au sud de la CTR d'Agen **V - F**
car c'est une zone E où le contact n'est pas obligatoire même si je suis à plus de 2000 ft (mais j'ai le droit de contacter si je le souhaite)
- 4 Il me faudra aussi contacter le SIV Pyrénées sur 126.625 et la zone E dans laquelle se trouve Auch **V - F**
même remarque qu'en 3 mais en plus ici la zone commence à 4500 ft et je ne suis pas dedans

Je vais maintenant préparer ma navigation : j'ai tracé en rouge sur la carte un segment reliant Agen à Auch ; je mesure ce segment et je trouve 10,8 cm ;

5. calculer la distance réelle séparant ces deux aérodromes, l'échelle de la carte étant au 1/500 000, la distance réelle Agen- Auch sera de : a) 54 Nm ; b) 54 km ; c) 108 Nm ; d) 108 km

1 cm représente 5 km donc 10,8 cm représente 10,8 x 5 = 54 km

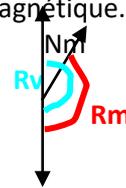
6. Je remarque sur les documents 1 et 2 que Agen et Auch ont, à moins d'une minute près, la même longitude. J'en déduis que la route vraie sera : a) 360° ; b) 180° ; c) 90° ; d) 270°

180° car Auch est au sud d'Agen

7. Votre instructeur vous indique que la déclinaison magnétique est de 1° Est, pour obtenir votre route magnétique vous devez:

- a) soustraire cette déclinaison à la valeur de la route vraie.
- b) additionner cette déclinaison à la valeur de la route vraie.
- c) ignorer cette indication car la route vraie est toujours identique à la route magnétique.
- d) multiplier cette valeur par le facteur d'échelle de la carte.

on doit soustraire 1° à 180° soit 179° car le nord magnétique est à 1° à l'Est du nord géographique



8. A partir des toutes dernières informations météorologiques, votre instructeur vous indique, qu'en vol, vous aurez un vent du 200° pour 10 kt, vous en déduisez que:

- a) vous aurez une dérive droite.
- b) **vous aurez une dérive gauche. car le vent viendra de la droite**
- c) Vous n'aurez pas de dérive car un vent de 10 kt ne se sent pas du tout.
- d) le vent souffle en provenance du Sud donc vous n'aurez pas de dérive mais vous irez plus vite.

9. Les prévisions météorologiques indiquent également une visibilité horizontale de 7000 m et une couverture nuageuse faible à partir de 12000 ft. Pour votre vol prévu à l'altitude de 2500 ft, cela implique que:

- a) les conditions de vol à vue ne sont pas suffisantes, le vol doit être reporté.
- b) les conditions de vols correspondent au vol aux instruments.
- c) les conditions de vol à vue ne sont pas suffisantes mais vous tentez quand même le vol.
- d) **les conditions de vol à vue sont respectées.**

10. En vol, la météo peut toujours se dégrader, votre instructeur vous demande de prévoir un déroutement, il vous faut donc repérer sur la carte (document D3) :

- a) un raccourci.
- b) les autoroutes qui constituent de très belles pistes d'atterrissage.
- c) **l'aérodrome de Condom car situé environ à égale distance de Agen et de Auch**
- d) la piste d'aéromodélisme de Fleurance car située à mi-chemin et au plus proche de la route suivie.

11. Votre route passant à moins de 5 km de la TMA de Marsan:

- a) vous demandez une clairance radio sur la fréquence 119.70 MHz.
- b) vous contactez la TMA de Marsan pour obtenir l'autorisation de passer.
- c) **en étant attentif, vous ne prévoyez pas de traverser cette zone, vous n'êtes pas obligé de la contacter.**
- d) vous déposez obligatoirement un plan de vol.

12. L'heure du décollage est prévue pour 14h, votre instructeur vous demande de vérifier les notams nécessaires pour la navigation :

- a) il suffit de contacter par téléphone d'Auch.
- b) **sur le site du SIA, sur Notam, « Route étroite », on trouvera les notams nécessaires en particulier pour Agen, Auch et Condom.**
- c) Le contrôleur d'Agen donnera tous les éléments au moment du départ
- d) un notam est une « notice to airmen », je ne peux pas y accéder puisque je suis un élève pilote.

13. Pour ce vol d'instruction, vous allez prendre un avion ayant déjà été utilisé par trois autres pilotes dans la matinée :

- a) la visite pré-vol est donc inutile.
- b) la visite pré-vol doit être réalisée obligatoirement par le chef mécanicien qui n'est pas votre instructeur.
- c) **la visite pré-vol doit être réalisée par votre instructeur.**
- d) en tant qu'élève pilote, vous êtes le seul responsable de la visite pré-vol.

14. Au décollage d'Agen, votre instructeur vous demande d'être vigilant vis à vis des aéromodèles évoluant à proximité de l'aérodrome. En France, la fédération qui gère les aéromodèles est la :

- a) **FFAM**
- b) FFA
- c) FFVP
- d) FFVL

15. Après avoir pris le cap à destination d'Auch, votre instructeur vous parle du cheminement, cette méthode consiste à :

- a) suivre uniquement les autoroutes.
- b) suivre les indications du GPS.
- c) suivre le chemin communiqué par le contrôle aérien.
- d) **suivre des repères sol caractéristiques.**

16. A mi-chemin, vous apercevez une montgolfière devant vous, légèrement sur votre gauche et à la même altitude, sa trajectoire converge avec la vôtre :

- a) la priorité à droite impose pour la montgolfière de changer son altitude de vol.
- b) vous utilisez votre phare d'atterrissage pour prévenir la montgolfière de votre arrivée.
- c) **la montgolfière est prioritaire et vous devez modifier votre trajectoire pour l'éviter.**
- d) vous êtes réglementairement prioritaire et vous maintenez votre trajectoire.

17. En vol, si la météo se dégrade fortement devant vous, votre instructeur pourrait vous conseiller de :

- a) **faire demi-tour.**
- b) maintenir votre trajectoire en espérant que cette dégradation n'est que passagère.
- c) descendre rapidement pour voir le sol.
- d) maintenir votre trajectoire en découvrant les bases du vol aux instruments.

18. Au bout de 10 minutes de vol, vous ressentez des nausées, votre instructeur vous tend un sac à vomir que vous ne tardez pas à utiliser...Vous êtes victime:

- a) **d'un conflit vestibulo-visuel.**
- b) d'une otite barotraumatique.
- c) d'une hypoxie.
- d) d'une embolie pulmonaire.

19. Sur votre route, vous apercevez la ville de Lectoure :

- a) vous pouvez la survoler à moins de 150 m pour saluer les habitants
- b) vous pouvez la survoler en vous maintenant exactement à 150 m au dessus des habitations.
- c) vous devez obligatoirement éviter de la survoler.
- d) **vous pouvez la survoler mais à une altitude minimale dépendant de l'étendue de la ville.**

20. Sur le document D2, la carte VAC indique deux valeurs pour le tour de piste situé à l'Ouest de l'aérodrome : 1400 ft et (1000 ft) :

- a) 1400 ft et 1000 ft pour le même calage QNH.
- b) 1400 ft et 1000 ft pour le même calage QFE.
- c) 1400 ft pour un calage QFE et 1000 ft pour un calage QNH.
- d) **1400 ft pour un calage QNH et 1000 ft pour un calage QFE.**

La différence correspond à l'altitude du terrain

21. Avant d'intégrer le tour de piste pour vous poser, vous effectuez un survol de l'aérodrome pour observer la manche à air qui indique:

- a) le numéro de la piste en service.
- b) **le sens et la vitesse du vent.**
- c) le sens d'atterrissage, dos au vent.
- d) la température de l'air.

22. comme vous vous y attendiez avec un vent du 200° vous allez vous poser sur la piste 18. Vous avez aussi regardé l'aire à signaux. Parmi les signaux suivants, lesquels devriez-vous voir ?



1



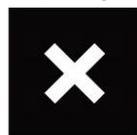
2



3



4



5

a) 1, 3, 4

b) 1, 3, 5

c) **2, 3, 4**

d) 3, 4

Mon log de nav

Avion APM 20 vitesse 180km/h

Date :

Nav de Agen

à Auch

Distance 54 km

Temps 18 min

Autonomie 4h

Repères	Cap	Temps	HE	HR	Observations
Agen LFBA	179		14h		vent de 18 km/h presque de face donc le temps sera un peu plus long la carte VAC de Condom donne piste 29-11 fréq123.5 Auch piste 18-36 freq 123.0 balise LMT 420
route Astaffert-Laplume sortie de CTR		3 min 30s	14h04		
angle voie ferrée entrée zone Auch		3 min	14h07		
Lecture		2 min 12s	14h09		
Fleurance		3 min 20s	14h12		
travers Montestruc		2 min	14h14		
Auch		4 min	14h18		

Remarque : ceci est un exemple ; en temps normal on ne prend pas des repères toutes les deux minutes mais la plupart du temps toutes les 10-15 minutes ; ici on se serait contenté de prendre un repère intermédiaire, par exemple Fleurance.

[retour au sommaire général](#)