

# MANUEL DU BREVET D'INITIATION AERONAUTIQUE



# Préambule

Voici la 3ème édition du manuel BIA élaboré sous la direction du CIRAS de Toulouse et auxquels ont contribué des formateurs de l'Education Nationale, de l'association Un Morceau de Ciel Bleu, de l'ENAC et de l'armée de l'Air.

Comme dans les versions précédentes, le texte est limité au strict nécessaire, ce qui laisse une grande liberté pédagogique au formateur.

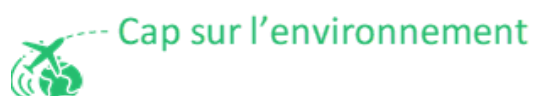
Chacun des 5 chapitres est structuré en 3 ou 4 parties indépendantes, correspondant à une session de formation d'environ 2 heures, incluant éventuellement visionnage de vidéos, lectures de documents, cartes, ... et présentations de maquettes, instruments, pièces, ...

Le vocabulaire anglais est ventilé intégralement au sein de chaque chapitre.

Le cours de cette année présente une nouveauté avec l'introduction de **certains aspects environnementaux relatifs au monde de l'aviation**.

Le secteur aérien a un impact avéré sur l'environnement et ses acteurs en ont conscience : on évalue aujourd'hui que l'aérien représente **2,5% des émissions mondiales de CO2, et 4% du réchauffement climatique**. Toutefois, c'est un secteur en constante évolution, qui met beaucoup de moyens en œuvre pour réduire au maximum son empreinte écologique, et ce **sur tous les plans** : conception, exploitation, maintenance, recyclage et réutilisation des matériaux...

Dans l'édition BIA, nous avons introduit des pastilles informative sur la transition écologique dans l'aérien. Vous les reconnaîtrez grâce aux logos « Cap sur l'environnement » disséminés dans les cours.



La plupart des figures sont en principe libres de droit et appartiennent à leurs auteurs respectifs. Merci de nous signaler toute omission.

Nous remercions en particulier chaleureusement D. Vioux, webmaster du site « [www.lavionnaire.fr](http://www.lavionnaire.fr) », qui nous a autorisés à reproduire ses schémas. Nous incitons tous les candidats et les passionnés à consulter son remarquable site.

## Présentation du programme

Afin d'acquérir les connaissances nécessaires pour se présenter à l'examen du BIA (Brevet d'Initiation Aéronautique), des cours sur les 5 thématiques, ci-dessous, seront dispensés par des intervenants connaissant le monde de l'aéronautique.

### Voici les cinq thématiques:

- **Aérodynamique, aérostatique et principes du vol**
- **Etude des aéronefs et des engins spatiaux**
- **Météorologie et aérologie**
- **Navigation, réglementation, sécurité des vols**
- **Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial**

En plus de celles-ci, vous retrouverez, à la fin de chaque chapitre, des notions d'anglais reprenant les éléments principaux vus dans la thématique, ainsi que plusieurs pastilles sur la transition écologique.

S'appuyant sur le nouveau programme BIA (2015) de l'Education Nationale, ce document est un complément des cours dispensés en classe ainsi qu'au travail personnel.

Il reprend simplement l'ensemble des notions mais n'est en aucun cas suffisant pour acquérir les connaissances pour se présenter à l'examen.

Soyez curieux et développez votre passion pour l'aéronautique ! Cela vous procurera une énorme satisfaction.



**Bonne formation à tous et bon vol !**

## **Rédacteur principal**

P. Le Bris (CIRAS Toulouse, Association Un Morceau de Ciel Bleu)

## **Relecture et mise à jour**

J.C Oules (animateur CIRAS)

J.P Celton (Enseignant ENAC)

## **Contributions**

### **Enseignants de l'Education Nationale**

J.C. Kraemer - F. Robert - C. Pineau - F. Henaut

### **CIIRAA (Armée de l'Air)**

P. Ballester (Responsable BIA Lycée Paul Riquet)



### **Groupe BIA AF Environnement -** **Membres de l'association *Aérien Ambassadeurs*** ***Avenir***

A. Rancher - D. Godelu A. Villevieille - M. Maillet – E. Rougon

### **Mise en forme et maquettage du manuel**

Raphaël Le Bris (Association Morceau de Ciel Bleu)

## Sommaire

<b>Chapitre 1 : Étude des aéronefs et des engins spatiaux .....</b>	<b>1</b>
Partie 1 : La Classification des aéronefs.....	3
I. Les familles d'aéronefs .....	3
A. Les Aérostats.....	3
B. Les Aérodynes .....	4
II. La Composition générale des aéronefs.....	7
III. Les véhicules aérospatiaux ou spatiaux .....	8
A. Les lanceurs.....	8
B. Les satellites .....	9
Partie 2 : Les Cellules.....	11
I. La Structure d'une cellule.....	11
A. Les Forces et les contraintes s'exerçant sur un avion.....	11
B. Les matériaux .....	12
C. La structure du fuselage .....	14
D. Structure de la voilure .....	16
II. La voilure .....	16
A. Emplanture.....	17
B. Géométrie.....	17
. Géométrie.....	17
C. Caractéristiques .....	19
D. Le Dièdre.....	19
III. Empennages et gouvernes.....	20
A. L'empennage .....	20
B. La gouverne de profondeur .....	22
C. Les ailerons.....	22
D. La gouverne de direction.....	22
IV. Le train d'atterrissage : .....	23
Partie 3 : Les Groupes Motopropulseurs (G.M.P.).....	26
I. L'Hélice .....	26
A. La Composition .....	26
B. Le Fonctionnement.....	27
C. Les différents types d'hélices.....	28
II. Les moteurs à pistons .....	28
A. La Composition .....	28
B. Le fonctionnement d'un moteur thermique.....	29

C.	L'Alimentation en carburant.....	30
D.	L'Elaboration du mélange air-essence .....	30
E.	L'Allumage .....	31
III.	Les turboréacteurs.....	31
A.	Le principe de fonctionnement .....	31
B.	Le Principe du Réacteur à simple flux.....	32
C.	Le Turboréacteur à double flux .....	32
IV.	Les autres turbomachines.....	33
A.	Le Turbopropulseur .....	33
B.	Le Turbomoteur.....	34
C.	Le Statoréacteur.....	35
Partie 4 :	Les Instruments de bord.....	36
I.	Les instruments barométriques.....	37
A.	L'Anémomètre (Airspeed Indicator) ou Badin .....	37
B.	L'Altimètre (Altimeter) .....	38
C.	Le Variomètre (Vertical Speed Indicator).....	39
II.	Les instruments gyroscopiques .....	41
A.	L'indicateur de virage (Turn and Slip Indicator) .....	41
B.	La Bille .....	42
C.	L'horizon artificiel (Artificial Horizon ou Attitude Indicator) .....	43
D.	Le conservateur de cap ou directionnel (Heading Indicator ou Directional Gyro Indicator DGI) .....	44
E.	Le compas (Magnetic Compass) (Instrument non gyroscopique) .....	45
III.	Les autres instruments.....	46
A.	Les instruments de radionavigation .....	46
B.	Les instruments de contrôle.....	46
C.	Les EFIS (Electronic Flight Information Systems).....	46
Complément :	English vocabulary .....	47
I.	Aircraft types.....	47
II.	Aircraft composition and structure .....	49
III.	Landing gear ; Wheel Layouts .....	50
IV.	Wings and controls .....	51
Wings angle .....	52	
Wings shapes .....	53	
Tails designs.....	54	
V.	Engines.....	56

<b>Chapitre 2 : Aérodynamique, aérostatique et principes du vol .....</b>	<b>61</b>
Partie 1 : Aérodynamique : .....	63
I. Comment vole un avion ?.....	63
A. Les Caractéristiques d'un profil d'aile : .....	63
B. L'écoulement de l'air autour du profil.....	63
C. L'angle d'incidence.....	64
D. Les forces aérodynamiques.....	65
E. Portance et trainée .....	65
F. Foyer .....	67
G. Exemples de profil .....	67
II. Etude de la polaire.....	69
A. Etude du coefficient de portance.....	69
B. Le décrochage .....	69
C. Etude du coefficient de trainée .....	70
D. La polaire d'une aile .....	73
E. La finesse .....	74
III. Caractéristiques d'une voilure .....	75
A. Caractéristiques géométriques.....	75
B. Becs et volets.....	77
C. Autres dispositifs.....	79
Partie 2 : Etude du vol stabilisé :.....	81
I. Les forces en jeu .....	81
A. En palier .....	82
B. En montée .....	82
C. En descente.....	82
II. Tangage-Roulis-Lacet .....	83
A. L'Axe de Tangage.....	83
B. L'Axe de Roulis .....	88
C. L'axe de Lacet.....	90
III. Le Facteur de charge .....	92
A. En vol longitudinal.....	92
B. En virage symétrique.....	93
C. Facteur de charge et vitesse de décrochage.....	93
IV. Le décollage et l'atterrissage.....	94
A. Le décollage .....	94
B. L'atterrissage .....	95
Partie 3 : Aérostation et vol spatial : .....	96

I. L'aérostation.....	96
A. La poussée d'Archimède.....	96
B. Les ballons à air chaud .....	97
C. Les ballons à gaz .....	97
D. Contrôle de la trajectoire.....	97
II. Le vol spatial .....	98
A. Trajectoire de lancement et mise en orbite .....	98
B. Vol orbital et spatial .....	100
Complément : English vocabulary.....	101
I. Aerodynamics.....	101
II. Mechanics of flight .....	102
<b>Chapitre 3 : Météorologie et aérologie .....</b>	<b>105</b>
Partie 1 : Température, pression et vent.....	107
I. L'atmosphère.....	107
A. Qu'est-ce que l'atmosphère ? .....	107
B. La Composition de l'atmosphère.....	108
C. L'atmosphère « standard » ou de référence.....	108
II. La température et les échanges thermiques.....	109
A. La température.....	109
B. Variations de température.....	109
C. Echanges thermiques.....	110
III. La pression et le vent.....	111
A. La Pression de l'atmosphère .....	111
B. La Mesure de la pression atmosphérique .....	112
C. Les Champs de pression .....	112
D. Les Calages altimétriques.....	114
E. La Mesure, la direction et l'observation du vent.....	115
IV. Les perturbations et les fronts.....	117
A. La circulation atmosphérique.....	117
B. Les Masses d'air .....	118
C. Les fronts.....	119
Partie 2 : Nuages et précipitations .....	120
I. L'eau dans l'atmosphère .....	120
A. Humidité .....	120
B. Autres phénomènes.....	121
C. La Trainée de condensation .....	122
II. Formation des nuages.....	122



A. Cas de la stabilité :.....	124
B. Cas de l'instabilité :.....	125
III. Classification des nuages.....	125
A. Noms des nuages.....	126
B. Les nuages associés aux fronts.....	127
IV. Les précipitations.....	127
A. La formation des précipitations.....	127
B. La classification des précipitations.....	128
Partie 3 : Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique.....	130
I. Brumes et brouillards.....	130
A. La Brume.....	130
B. La Brume sèche.....	130
C. Le Brouillard.....	130
II. Le givrage.....	131
A. Catégories de givrage.....	131
B. La Prévention / l'Élimination.....	133
III. Les cumulonimbus.....	134
IV. Les phénomènes météorologiques locaux.....	135
A. L'effet de Foehn.....	135
B. La Brise.....	136
C. Les ondes orographiques et la turbulence.....	137
D. Le Jet-stream ou Courant Jet.....	138
E. Les vents locaux.....	139
Partie 4 : L'information météorologique.....	140
I. Les cartes.....	140
A. Carte TEMSI- (TEMps Significatif).....	140
B. La Carte des vents et des températures prévues.....	142
II. Les messages.....	143
A. METAR : (METeorological Aerodrome Report ou METeorological Airport Report).....	143
B. Le TAF (Terminal Area Forecast).....	145
III. Le dossier météo.....	145
English vocabulary.....	147
Weather Vocabulary.....	147
Weather map and wind strength.....	150
<b>Chapitre 4 : Navigation, réglementation, sécurité des vols.....</b>	<b>151</b>
Partie 1 : Réglementation et sécurité.....	153

I. Organismes chargés de la Réglementation .....	153
II. Licences et Brevets .....	154
III. Certification, équipement et entretien des aéronefs.....	156
A. Certification et immatriculation .....	156
B. Signalisation des aéronefs .....	158
C. Autres équipements et sécurités.....	159
IV. Facteurs humains et accidents.....	160
A. Les règles de bon sens de la réglementation aérienne .....	160
B. Les effets de l'altitude .....	161
C. Les effets des accélérations .....	162
Partie 2 : Circulation aérienne .....	163
I. Les zones aéronautiques.....	163
A. VFR (Visual Flight Rules) ou « Vol à vue » .....	163
B. Rappel sur les niveaux de vol.....	164
C. Les espaces contrôlés .....	165
D. Les services de la circulation aérienne .....	168
E. Les Moyens de contrôle de la circulation aérienne .....	169
II. L'Aérodrome .....	171
A. Aérodrome contrôlé / non contrôlé.....	171
B. Les installations .....	171
III. Règles de vol.....	173
A. Règles de priorité .....	173
B. Le Circuit d'aérodrome .....	174
C. Communication en cas de panne radio.....	174
D. Hauteurs de survol.....	175
Partie 3 : Principes et outils de la Navigation .....	177
I. La mesure du temps.....	177
A. Le Mouvement de la Terre autour du Soleil .....	177
II. Se repérer sur la Terre .....	178
A. Les parallèles .....	179
B. Les méridiens.....	180
C. Les Cartes .....	180
III. Déclinaison et dérive.....	185
A. La déclinaison .....	185
B. Cap, route et dérive .....	186
IV. Méthodes de navigation : .....	187
A. Le cheminement à vue.....	187

B. L'estime .....	188
C. La radionavigation .....	188
Partie 4 : Préparer son vol.....	192
I. Préparation de la navigation .....	192
A. La Carte VAC.....	192
B. Mesure de distance .....	193
C. Estimation des vitesses sol.....	195
D. Log de Navigation.....	197
E. Calcul du carburant .....	198
II. Avant le départ.....	198
A. Les NOTAM (Notice To AirMen).....	198
B. Les cartes météo .....	198
C. Le Plan de vol .....	200
D. Les documents à emporter.....	200
English vocabulary .....	202
<b>Chapitre 5 : Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial.....</b>	<b>206</b>
Partie 1 : Les débuts.....	208
I. Du mythe à la réalité.....	208
II. Les aérostats .....	210
A. Les ballons.....	210
B. Les ballons dirigeables.....	211
III. Les pionniers de l'aviation (1890-1907) .....	213
IV. Les premiers records (1908-1913) .....	217
Partie 2 : D'une guerre à l'autre .....	221
I. La Première Guerre Mondiale (1914-1918) .....	221
A. Les missions aériennes .....	222
B. Les principaux évènements.....	223
C. Les As de la Première Guerre Mondiale : .....	225
D. Le bilan .....	226
II. L'Entre-Deux-Guerres (1919-1939) .....	227
A. Les grands Raids : .....	227
B. L'Aéropostale .....	232
C. Les débuts de l'aviation commerciale .....	235
III. La Deuxième Guerre Mondiale (1939-1945) : .....	237
A. L'avant-guerre .....	237
B. Les principaux évènements.....	239
C. Les As .....	242

D. Le bilan .....	243
Partie 3 : De 1945 à nos jours .....	246
I. Le « mur » du son .....	246
II. L'aviation militaire.....	247
III. L'aviation commerciale .....	249
IV. Les hélicoptères et les avions expérimentaux .....	253
A. Les hélicoptères .....	253
B. Les avions expérimentaux.....	253
Partie 4 : La conquête de l'espace.....	256
I. Les précurseurs .....	256
II. De Spoutnik à Apollo (1957-1972) .....	257
III. De Skylab à l'ISS (1973- aujourd'hui) .....	259
Pour s'entraîner: .....	262

# **Chapitre 1 : ETUDE DES AERONEFS ET DES ENGIN SPATIAUX**



Ce chapitre est divisé en 4 parties :

**Partie 1 : Les Familles d'aéronefs**

**Partie 2 : Les Cellules**

**Partie 3 : Les GMP**

**Partie 4 : Les Instruments de bord**

**Complément : English vocabulary**

Contenu du Chapitre :

**Partie 1 : La Classification des Aéronefs**

- I. Les familles d'aéronefs
- II. Composition d'un avion
- III. Les véhicules aérospatiaux

**Partie 2 : Les Cellules**

- I. La structure d'une cellule
- II. La voilure
- IV. Empennages et gouvernes
- IV. Le train d'atterrissage

**Partie 3 : Les groupes motopropulseurs (GMP)**

- I. L'hélice
- II. Les moteurs à pistons
- III. Les turboréacteurs
- IV. Les autres turbomachines

**Partie 4 : Les Instruments de bord**

- I. Les instruments barométriques
- II. Les instruments gyroscopiques
- III. Les autres instruments

**Complément : English vocabulary**

# Partie 1 : La Classification des aéronefs

## I. Les familles d'aéronefs

On classe les aéronefs (tout ce qui circule dans l'espace aérien) en deux grandes catégories :

- **les Aérostats** (« plus léger que l'air »)
- **les Aérodynes** (« plus lourd que l'air »)

### A. Les Aérostats

#### Les Ballons



Le Ballon à air chaud

#### Le Ballon Captif



Le Ballon à gaz (Hélium)

## 2. Les Dirigeables



A structure Souple ou Rigide

## B. Les Aérodynes

### 1. Les Non Motorisés



Le Modèle Réduit



Le Cerf-Volant



Le Planeur / Planeur Ultra Léger (PUL)



Le Parachute



Le Parapente



Le Deltaplane



**2. Les Motorisés**

a. A voilure fixe



Le Modèle Réduit

**Les Ultra légers motorisés (ULM) – 6 CLASSES**



**La Classe 1 : Paramoteur**



**La Classe 2 : Pendulaire**



**La Classe 3 : Multi-axes**

**A cela se rajoute :**

**La Classe 4 : Autogire**

*(voir page suivantes)*

**La Classe 5 : Aérostat**

*(voir pages précédentes)*

**La Classe 6 : Hélicoptère ULM**

*(voir pages suivantes)*

La masse maximale d'un ULM est de 300 kg (monoplace) ou 450 kg (biplace). La puissance est limitée à 45 kW (monoplace) ou 60 kW (biplace).

***Les Avions***



L'Avion à Hélice



L'Avion à Réaction

b. A voilure tournante (giravions):



L'Autogyre



L'Hélicoptère

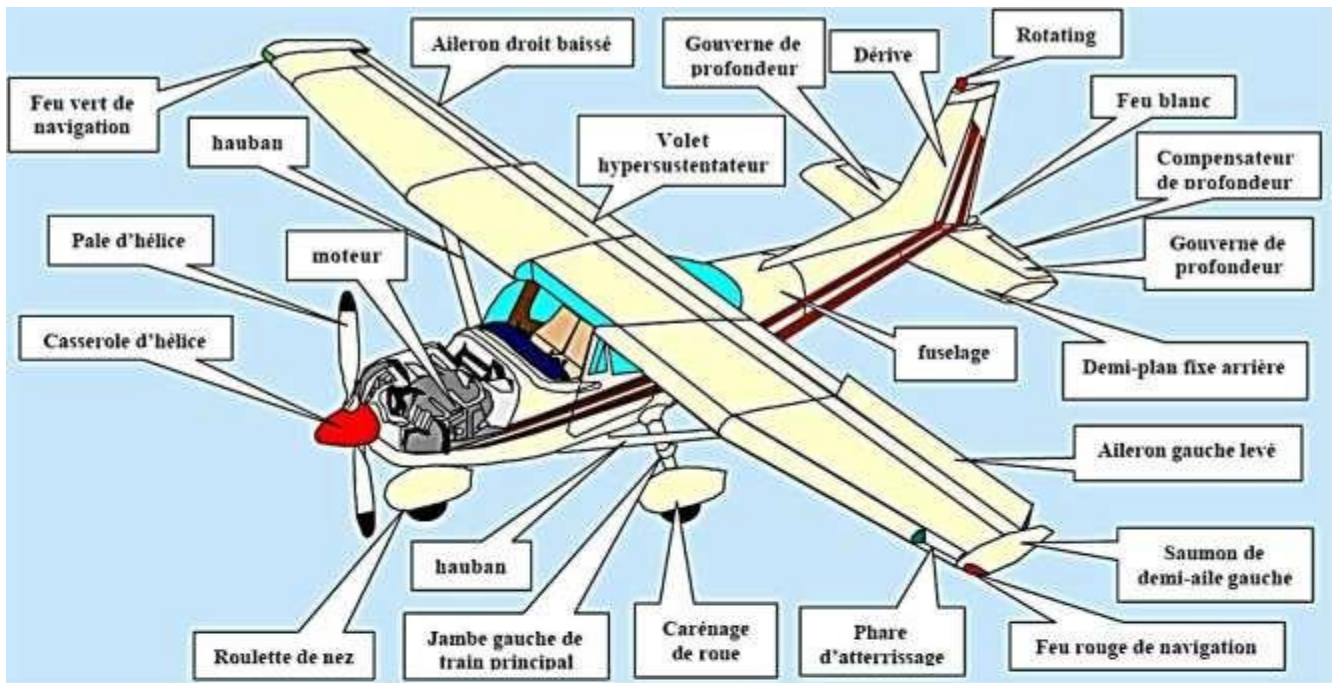


Le Girodyne

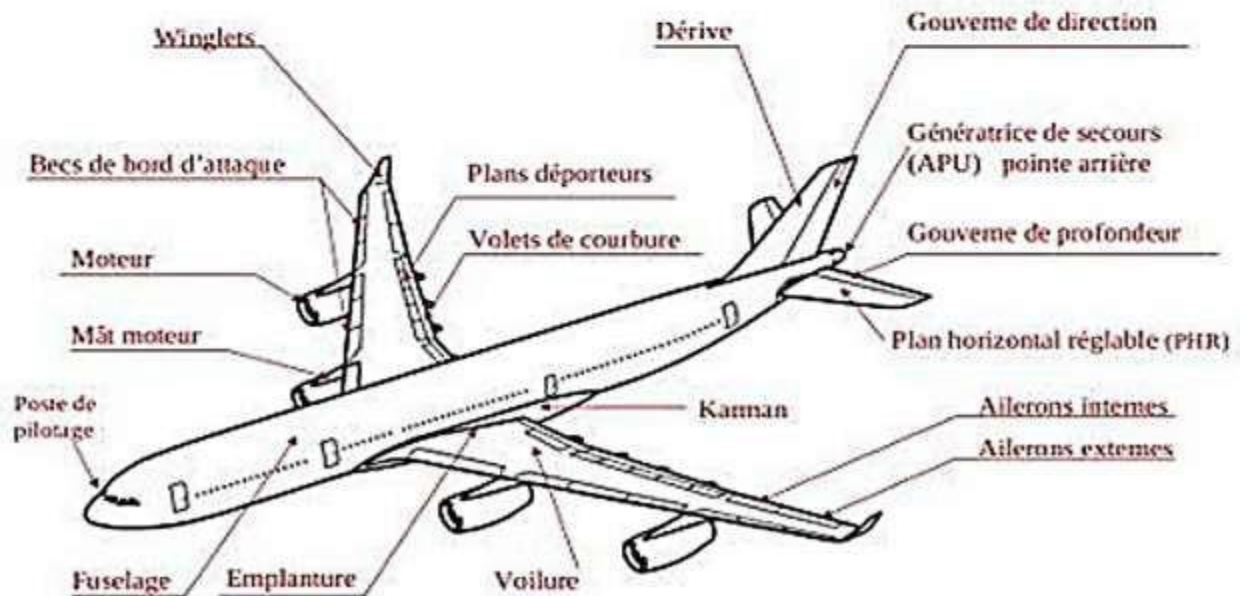


Le Convertible ou Hybride

## II. La Composition générale des aéronefs



### COMPOSANTES D'UN AVION



Figures 2.1. et 2.2.

### III. Les véhicules aérospatiaux ou spatiaux

Les véhicules aérospatiaux sont les lanceurs, fusées et vaisseaux habités. Les véhicules spatiaux sont les satellites et les sondes.

#### A. Les lanceurs

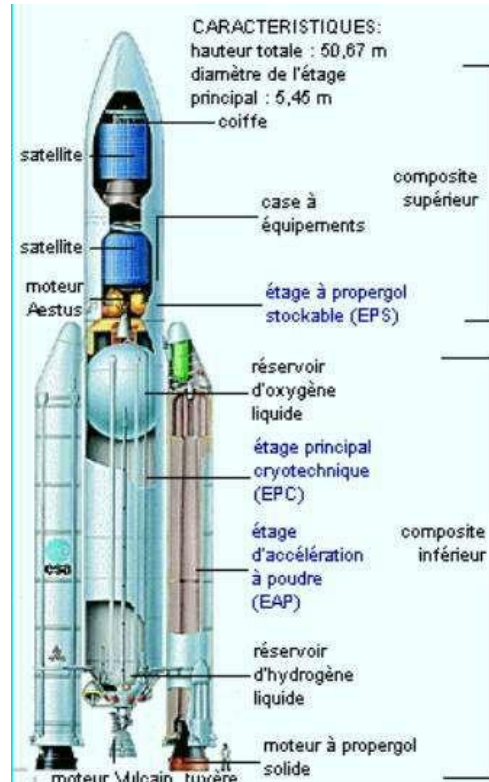


Figure 2.3.

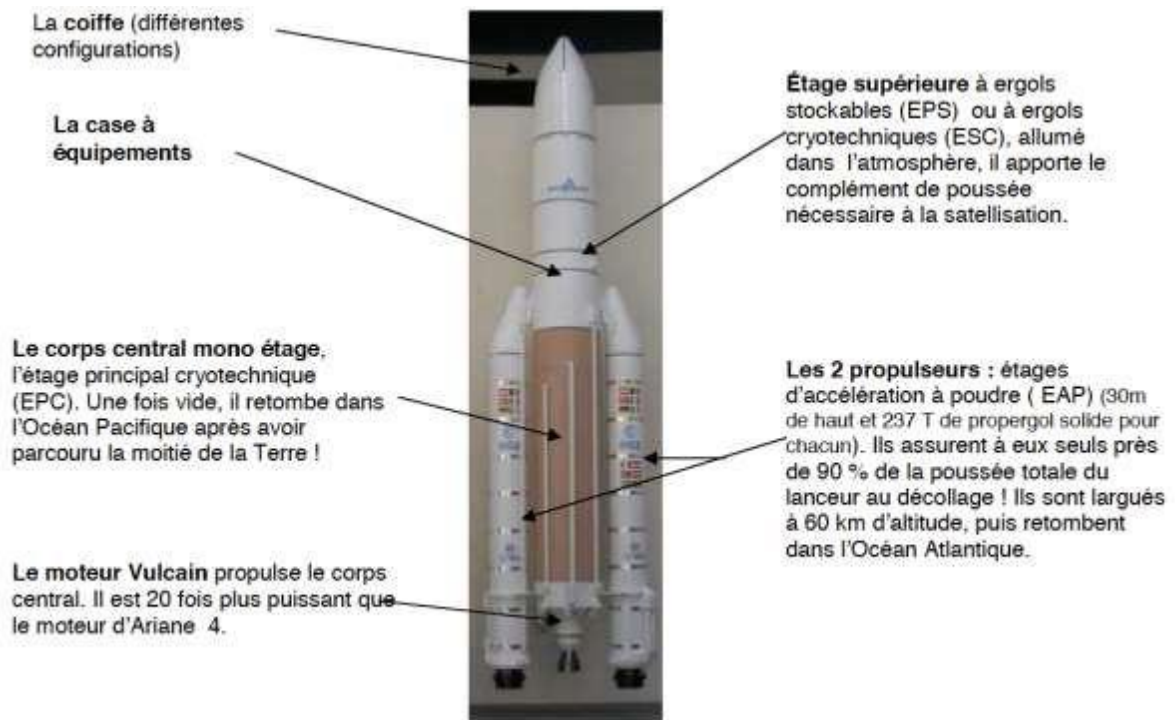


Figure 2.4.

## B. Les satellites

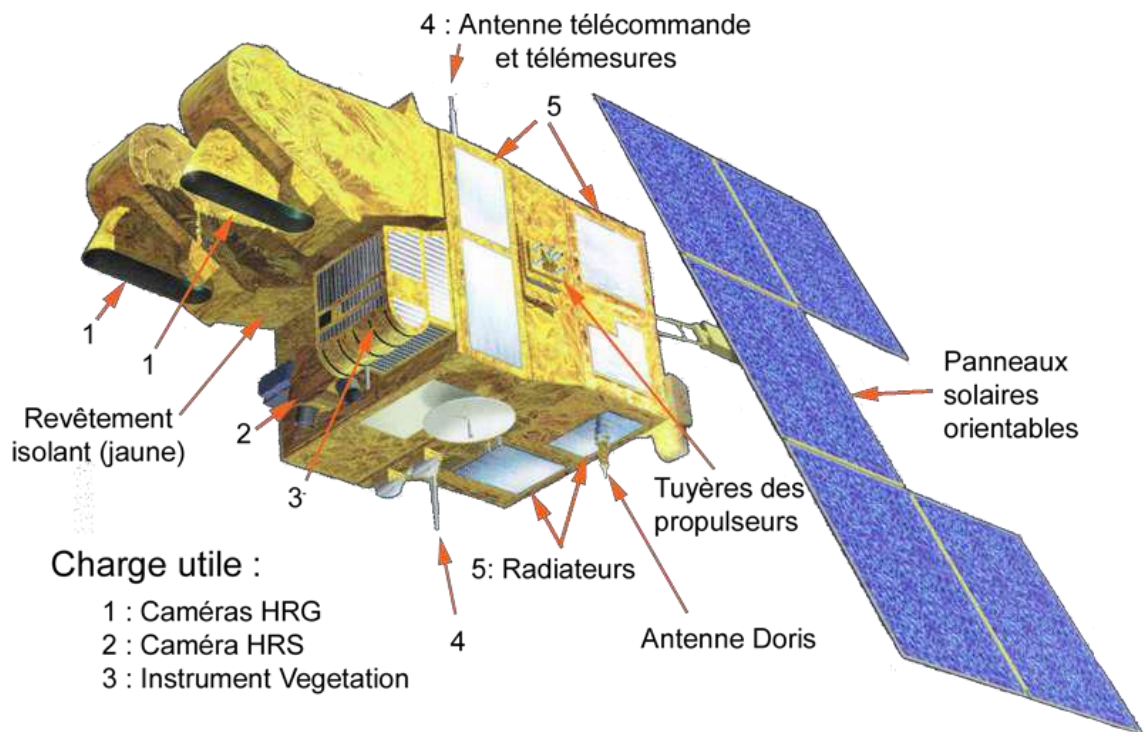


Figure 2.5.

### Cap sur l'environnement

L'exploration spatiale est extrêmement bénéfique pour la science et l'humanité ; toutefois, **elle génère des quantités très importantes de débris** qui orbitent ensuite autour de notre planète et entrent en collision entre eux, ce qui génère encore d'avantage de débris.

Figure 2.6.

L'ESA (European Space Agency) a répertorié environ **26 000 objets dans l'espace, dont seulement 7% sont en activité**. De plus, les plus petits débris de moins de 5 cm – qui ne peuvent être observés depuis la Terre du fait de leur petite taille – sont estimés à **500 000**. Pourtant, ces si petits débris peuvent causer **d'importants dégâts** sur les satellites et stations spatiales en fonctionnement. En guise d'exemple, on retiendra que **l'ISS, la station spatiale internationale, a dû altérer sa trajectoire à trois reprises en 2020 afin d'éviter des collisions** : ce sont des manœuvres complexes et coûteuses pour des satellites de cette taille.



Mais alors, comment remédier à ces enjeux ? Compte tenu du fait que des centaines de satellites sont envoyés chaque année en orbite, des projets visant à nettoyer l'espace commencent à voir le jour. C'est le cas de **la mission ClearSpace-1**, dont le lancement est prévu en 2025 par l'ESA et ClearSpace. L'engin aura pour mission de récupérer à l'aide de ses bras tentaculaires un débris de **112 kg** – provenant du lancement d'une fusée en 2013 – et de le guider **pour qu'ils se fassent tous deux désintégrer en entrant dans l'atmosphère.**

---

## Partie 2 : Les Cellules

### I. La Structure d'une cellule

#### A. Les Forces et les contraintes s'exerçant sur un avion

Les principales forces agissant sur un aéronef sont :

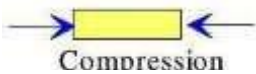
- le poids de l'appareil
- la portance et la traînée sur les ailes
- les efforts aérodynamiques sur les gouvernes
- la poussée ou la traction des moteurs

Ces forces provoquent des contraintes dans les différentes parties d'un système.

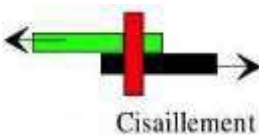
On distingue principalement les contraintes suivantes :



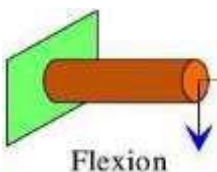
**Exemples :** les câbles, les bielles des commandes de vol, les éléments de structure, le revêtement de l'aile, les boulons, les pales de l'hélice, les tubes et les fixations du bâti moteur...



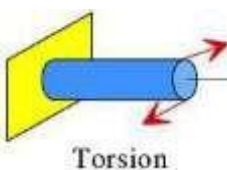
**Exemples :** les bielles du moteur, les commandes de vol, les éléments de structure du fuselage et de l'aile, les tubes du bâti moteur...



**Exemples :** le revêtement du fuselage, les fixations, les charnières, les boulons, les éléments encastrés comme les nervures ou les pales de l'hélice près du moyeu.



**Exemples :** les longerons, les nervures, les jambes de train d'atterrissage, les guignols, le pied de manche, les pales d'hélice...



**Exemples :** les axes de palonniers, le train d'atterrissage à lame lors du freinage et les éléments de structure comme le fuselage, les ailes, les ailerons, l'empennage...

Figure 2.7.

## B. Les matériaux

### 1) Bois

Principalement utilisé dans les débuts de l'aviation, le bois reste encore utilisé dans l'aviation « légère ».

Les variétés de bois sont choisies en fonction de leurs caractéristiques :

**Pièces maîtresses** : On utilise du bois dur provenant principalement de :



**Spruce** (Canada / Norvège)

*Léger (densité de 0,45)*

*Tronc très droit et sans nœud  
Souple et bonne tenue à la  
compression*



**Epicéa** (Europe)

*Tronc long avec peu de nœuds*

**Pièces secondaires** : On utilise du bois tendre et léger provenant principalement de :



**Sapin** (Amérique du nord /  
Europe / Asie)

*Densité de 0,50*

*Facile à raboter et à coller*



**Pin d'Orégon ou Douglas**  
(Canada / USA)

*Excellentes qualités  
mécaniques*

**Patins et fixation de trains** : On utilise du bois provenant principalement de :



**Frêne** (Europe)

*Plus lourd (0,69)*

*Bonne élasticité et possibilité  
de réaliser des formes courbes.*



**Hêtre** (Amérique du nord /  
Europe / Asie)

*Bois dur aux bonnes  
caractéristiques mécaniques.  
Ne se fissure pas.*



## 2) Toiles

- Dans les débuts : Lin et cotons
- Aujourd'hui : Dacron



Si le bois et la toile permettent de construire des avions qui peuvent atteindre des vitesses de 300 km/h, l'utilisation du métal va rendre les avions plus solides et plus rapides.

## 3) Métaux

Le matériau utilisé à la base est un alliage d'aluminium et de cuivre appelé **duralumin**. D'autres alliages comme le **Zicral**, le **Duralinox**, des alliages de **Magnésium**, de **Titane**, ... vont rapidement entrer dans la fabrication des avions.



*Le premier avion en métal est un avion allemand, le Junkers J9 en 1918.*

## 4) Composites

Apparus dans les années 60, les matériaux composites (fibres de verre, aramides, de carbone, de bore,...) sont de plus en plus utilisés sur les avions pour leur faible masse volumique, leur capacité à réaliser des pièces de formes les plus diverses et leurs excellentes caractéristiques mécaniques.

## C. La structure du fuselage

### 1) Treillis

Il s'agit de « longerons » assemblés entre eux par des « traverses » pour donner la forme souhaitée.

Elles peuvent être collées si elles sont en bois ou alors soudées pour les parties métalliques.

Le revêtement est souple (toile ou tôle mince). Cette structure est légère mais encombrante.



*Le Vickers Wellington*

### 2) Caisson semi-monocoque

Il s'agit de « cadres » (ou couples) assemblés entre eux par des « lisses » pour donner la forme souhaitée.

Les cadres absorbent les efforts de torsion, les lisses ceux de flexion.

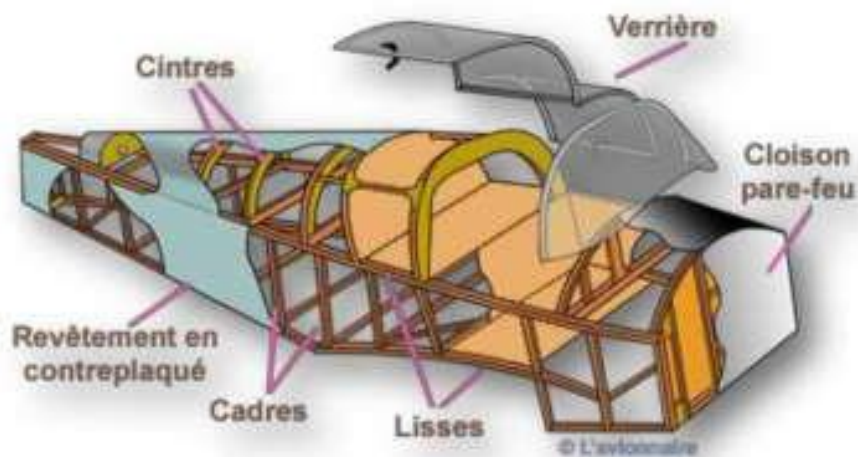


Figure 2.9. Structure Bois

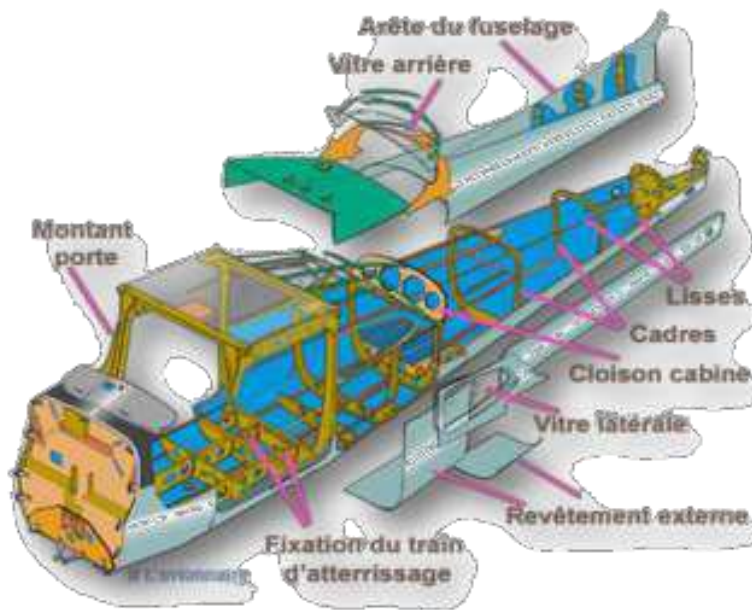


Figure 2.10. Structure Métal

3) Caisson monocoque

Le revêtement (fibre de verre ou de carbone) est directement vissé ou riveté sur les cadres et donc participe à la transmission et l'absorption des efforts. Utilisé pour les planeurs et ULM.

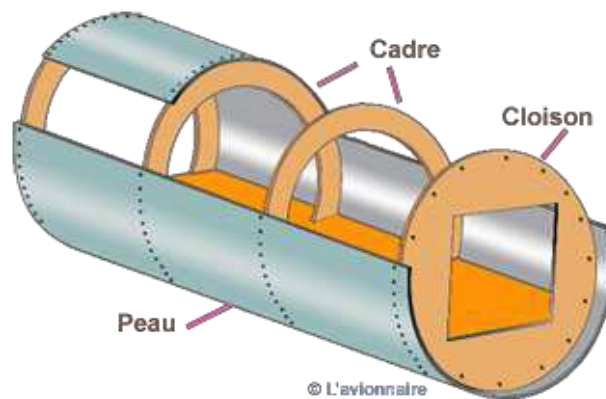


Figure 2.11.

## D. Structure de la voilure

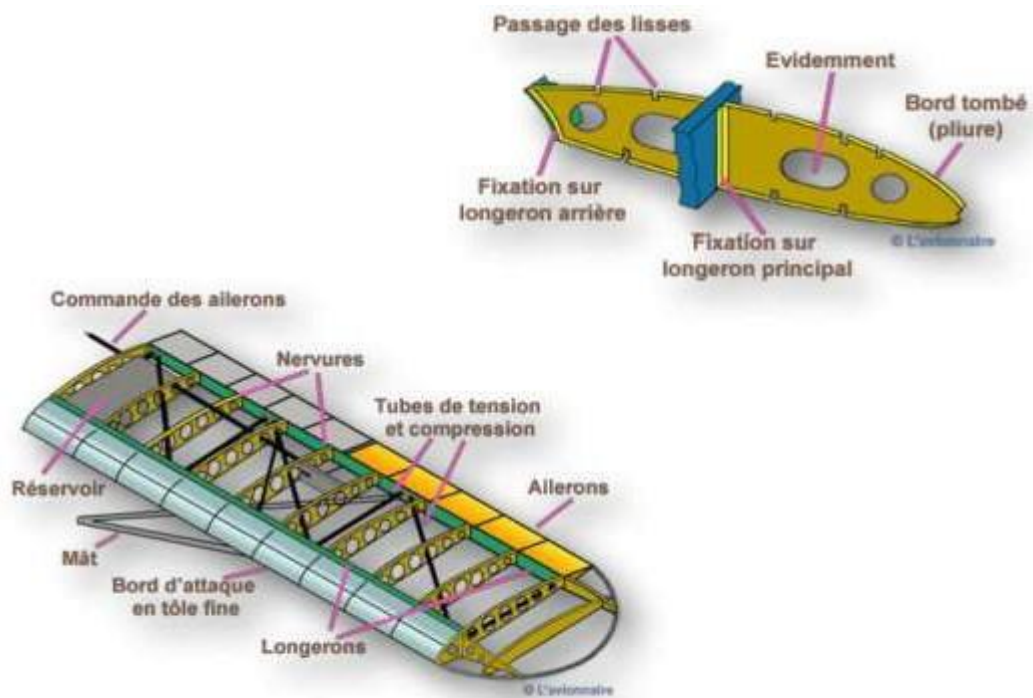
### 1) Treillis (pour les nervures)

Plutôt utilisés pour les avions en bois et toiles



### 2) Caisson

Les longerons reprennent les efforts de flexion et les nervures les efforts de torsion. Le carburant contribue à la rigidité de l'aile.



Figures 2.12 et 2.13.

## II. La voilure

L'ensemble de la voilure est constitué de deux ailes qui sont ancrées sur le fuselage.

Celles-ci sont conçues pour résister aux efforts que peuvent générer les différentes forces appliquées à l'aéronef, aussi bien en vol qu'au sol.

### A. Emplanture

En fonction de leurs ancrages sur le fuselage, les ailes peuvent être :



« Hautes »



« Médiannes »



« Basses »

### B. Géométrie



Les Ailes « Droites »



Les Ailes « Trapézoïdales »



Les Ailes « Delta »



Les Ailes « En Flèche »



Les Ailes « Elliptiques »



Les Ailes « Biplan »

Celle-ci permettra à l'avion d'être plus ou moins stable ou plus ou moins maniable

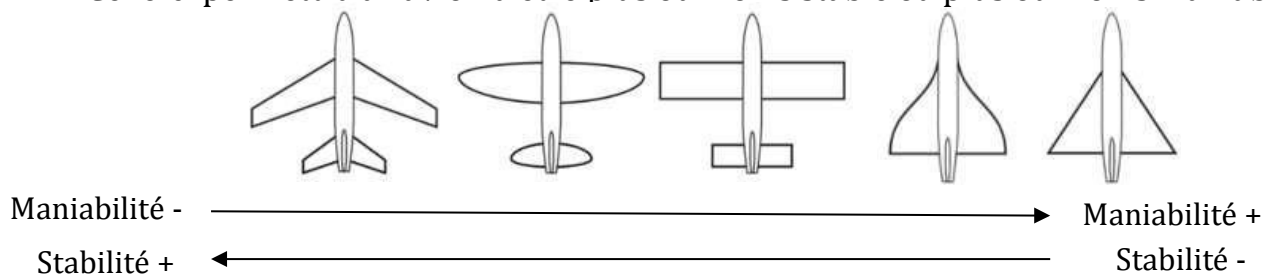


Figure 2.14.

C. Caractéristiques



Figure 2.15.

- **L'Emplanture** : Partie qui assure la jonction avec le fuselage
- **Le Karman** : Partie améliorant l'écoulement de l'air à l'emplanture
- **Le Saumon** : Partie se trouvant en bout d'aile
- **L'Extrados** : Partie supérieure de l'aile
- **L'Intrados** : Partie inférieure de l'aile
- **Le Bord d'Attaque** : Partie avant de l'aile
- **Le Bord de Fuite** : Partie arrière de l'aile

D. Le Dièdre



**Positif**

Le saumon est plus haut que l'emplanture



**Négatif**

Le saumon est plus bas que l'emplanture

### III. Empennages et gouvernes

#### A. L'empennage

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

##### Empennage Vertical

Il se trouve à l'arrière du fuselage et se compose d'un plan fixe (dérive) et de la gouverne de direction (mobile).

##### Empennage Horizontal

Il se trouve aussi à l'arrière du fuselage et est généralement posé sur l'empennage vertical.

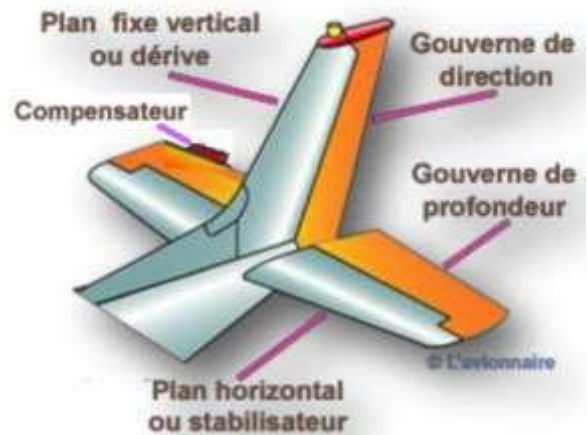


Figure 2.16.

#### Les principaux types d'empennages :



Le plus répandu :  
**Empennage**  
« Classique »



**Empennage**  
« Cruciforme »





**Empennage « en T »**



**Empennages en V  
(Papillon)**

On trouve des empennages horizontaux à l'avant de l'avion

On parle alors de configuration « **canard** »



## B. La gouverne de profondeur

Une gouverne est une surface mobile située sur des éléments de structure (voilure, empennage), qui permet de créer les forces nécessaires pour modifier l'attitude de l'avion.

Située sur l'empennage horizontal, elle permet de contrôler la montée ou la descente de l'avion.

C'est le **tangage** (modification de l'assiette).

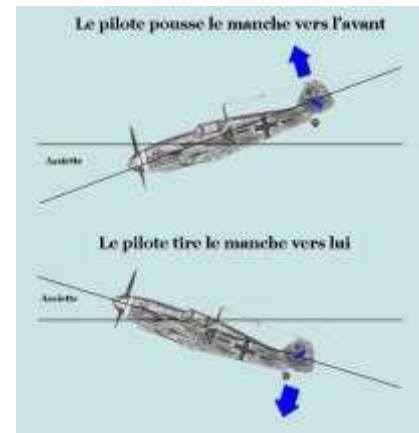


Figure 2.17.

## C. Les ailerons

Situés à l'extrémité de chaque aile, ils permettent de contrôler la mise en virage modifiant légèrement la géométrie des ailes de l'avion.

C'est le **roulis** (gauchissement de l'aile).

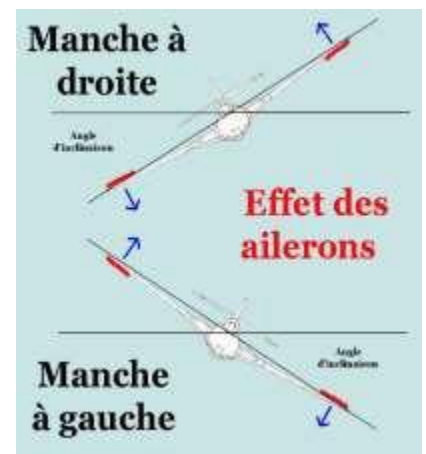


Figure 2.18.

## D. La gouverne de direction

Située sur l'empennage vertical, elle permet le contrôle du virage en agissant sur la gouverne de direction grâce aux palonniers.

C'est le **lacet** (Manœuvre des palonniers)

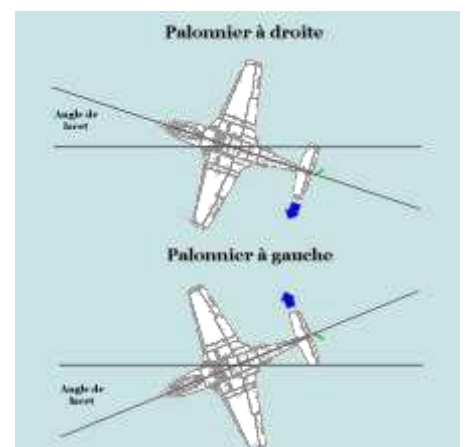


Figure 2.19.

Au sol, les palonniers permettent au pilote de guider l'appareil. Comme nous l'avons vu précédemment, le haut des palonniers d'actionner les freins lors du roulage sur la piste.

**Récapitulatif:**

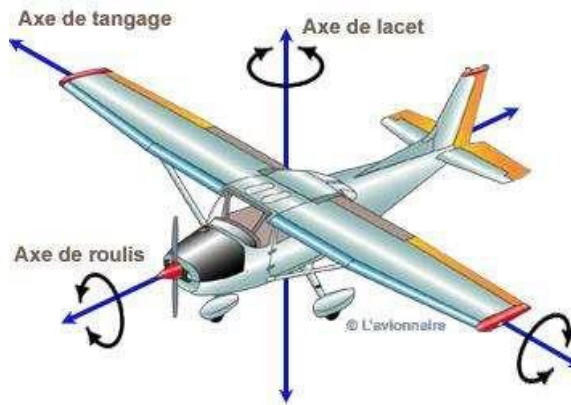


Figure 2.20.

La transmission des manœuvres des pilotes aux commandes se fait soit de façon mécanique (câbles, poulies, ...) soit de façon électrique (Airbus, Rafale,...).

Les **compensateurs** permettent de réduire les efforts pour le pilote. On distingue le compensateur de régime (Trim) et le compensateur d'évolution (Tab).

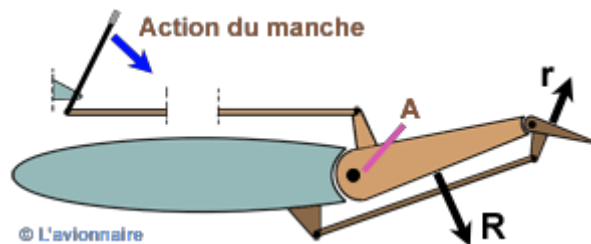


Figure 2.21.

**IV. Le train d'atterrissage :**

Il permet à l'avion de quitter et de retrouver le sol « en douceur ». Il est « fixe » ou « rentrant ». Celui-ci peut être constitué de roues, de flotteurs, de skis ou de patins.



Il se compose:

- d'un train principal : sous les ailes pour les avions légers et sous le fuselage pour un gros porteur
- d'un train auxiliaire qui peut être :
  - ☒ Une roulette de nez (**train tricycle**)
  - ☒ Une roulette de queue (**train classique**)

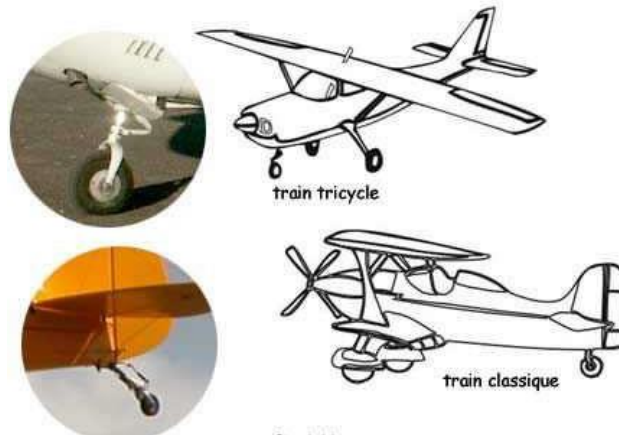


Figure 2.22.

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

Certains avions n'ont qu'un train principal situé sous le fuselage (**train monotrace**). L'équilibre latéral peut être assuré par des balancines en bout d'ailes.



En fonction de la charge que l'avion doit supporter on utilisera :



Une Roue Simple



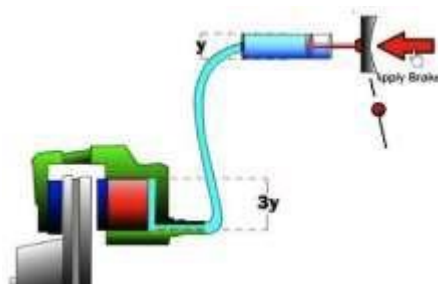
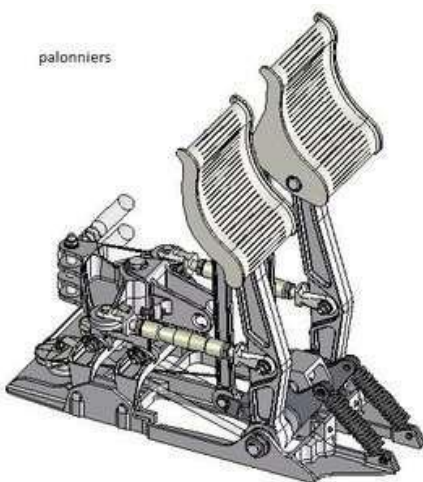
Un Boggie



Un Diabolo

Le train possède, en général, des dispositifs amortisseurs pour absorber l'impact à l'atterrissage.

Les freins sont disposés sur le train principal et se commandent le plus souvent avec les palonniers (haut du palonnier).



Figures 2.23. 2.24. et 2.25.

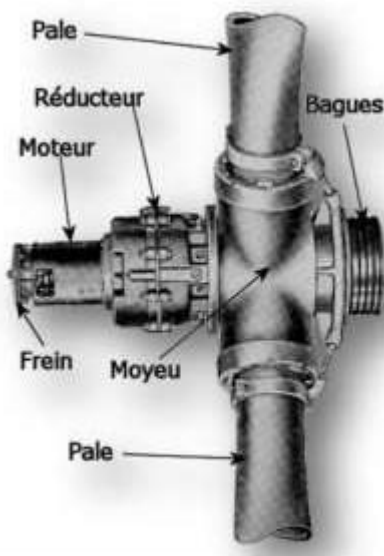
## Partie 3 : Les Groupes Motopropulseurs (G.M.P.)

### I. L'Hélice

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

#### A. La Composition

L'hélice se compose de :



- D'un moyeu centré sur l'arbre de sortie du moteur
- De deux ou plusieurs pales

→ La distance parcourue par l'hélice le long de son axe de rotation en un tour est appelé **Pas**.

→ L'angle formé par la corde de profil de l'hélice et le plan dans lequel tourne la pale est appelé **Calage ( $\beta$ )**.

Le Calage est un Angle

Le Pas est une Distance

Figure 2.26.

Le vent relatif  $V_r$  est issu :

- du déplacement de l'avion (vitesse avion)
- de la rotation de l'hélice (vitesse de rotation)

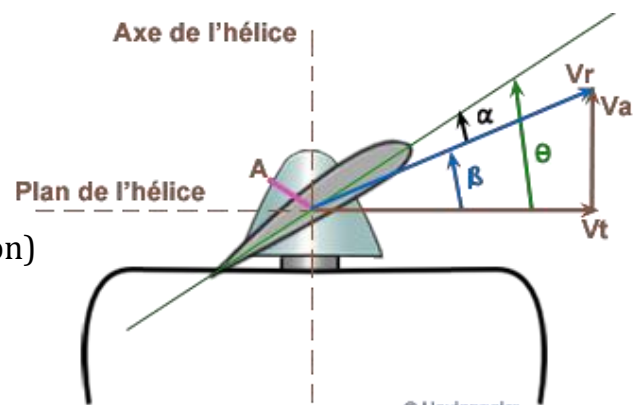


Figure 2.27.

La vitesse de rotation est limitée par la vitesse en bout de pale, qui ne doit pas être sonique (perte d'efficacité, bruit).

**B. Le Fonctionnement**

Le fonctionnement d'une hélice est le même que celui de l'aile d'un avion. Les forces aérodynamiques sur les pâles sont à l'origine de la traction et du couple résistant de l'hélice.

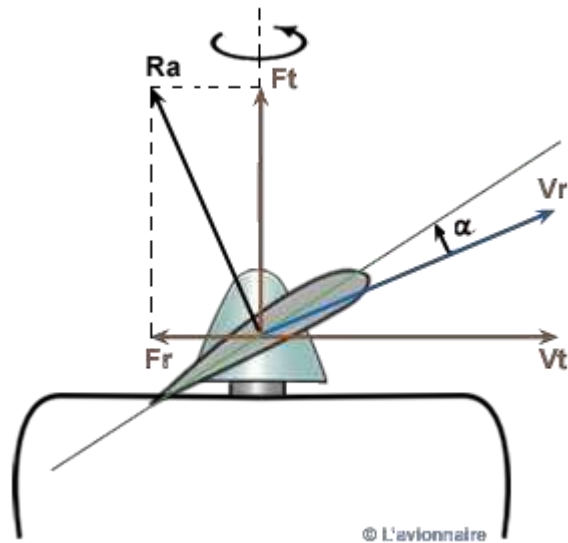


Figure 2.28.

La présence de l'hélice génère également des effets secondaires sur les axes de tangage, roulis et lacet.

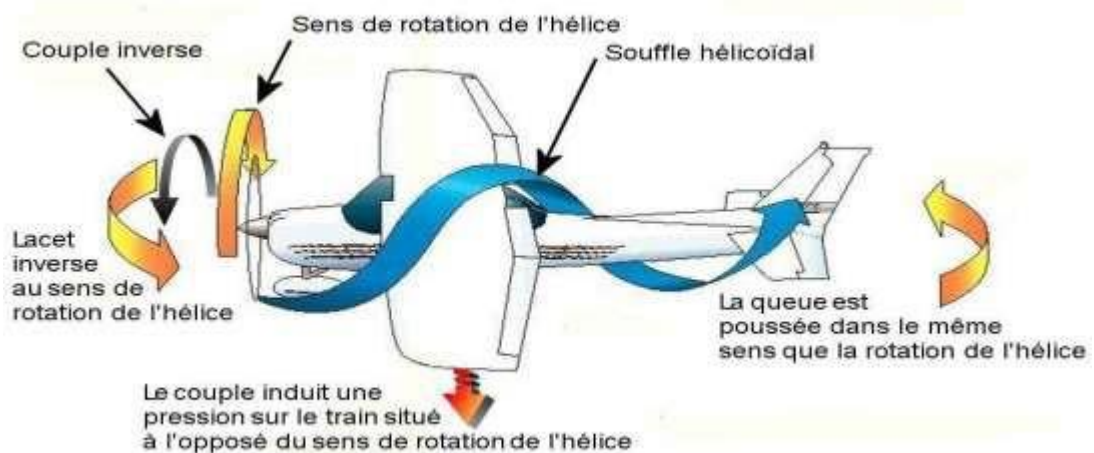


Figure 2.29.

### C. Les différents types d'hélices

Il en existe deux types :

#### 1) L'hélice à calage fixe

Cette hélice est surtout équipée sur les aéronefs de tourisme. Elle est, en général, en bois multicouche avec un bord d'attaque renforcé par une lame en laiton ou en alliage d'aluminium (plus lourde).

Ce type d'hélice à l'inconvénient de ne pas permettre d'adapter la vitesse en fonction des phases du vol.

#### 2) L'hélice à calage variable (ou pas variable)

Le pilote peut alors, grâce à un mécanisme, changer le calage des pales pour que la vitesse de rotation de l'hélice (donc du moteur) reste constante.

**Petit pas** : décollage, atterrissage

**Grand pas** : croisière

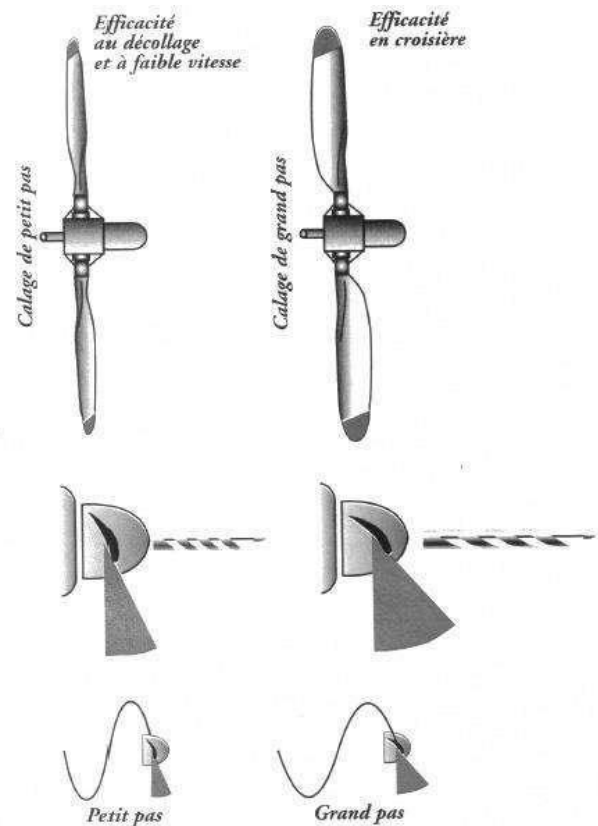


Figure 2.30.

## II. Les moteurs à pistons

### A. La Composition

L'ensemble est composé de :

- **De plusieurs cylindres (4 à 8)** très souvent munis **d'ailettes** pour le refroidissement (assuré par l'air) et dont la partie supérieure est fermée par **une culasse** et la base inférieure par **un carter**.

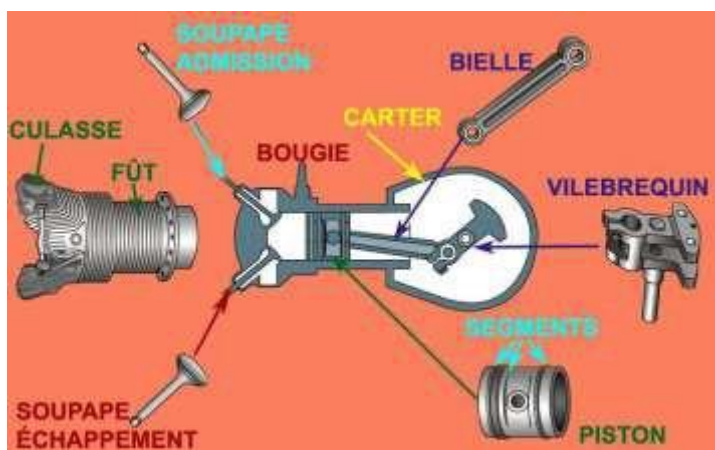
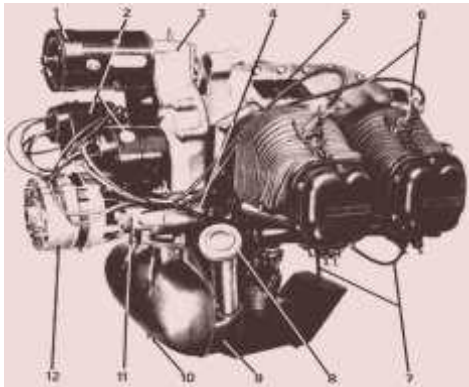


Figure 2.31.



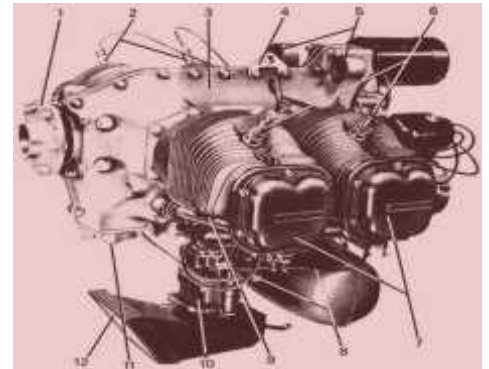
- **La culasse** est dotée de dispositifs appelés **soupapes** qui permettent l'admission des gaz frais et l'échappement des gaz de combustion, et d'un dispositif créant l'inflammation du mélange carburant/air : **les bougies**.



Moteur d'avion léger à 4 cylindres

← Avant

Arrière →



1. démarreur
2. magnétos
3. boîte de distribution
4. clapet de pression d'huile
5. plaque d'identification
6. bougies supérieures (cylindres droits)
7. fils des bougies supérieures
8. bouchon et jauge à huile
9. bêche à huile
10. bouchon de vidange
11. filtre à huile
12. alternateur

1. moyeu d'hélice
2. bougies supérieures (cylindres droits)
3. carter
4. anneau de levage
5. points supérieurs d'attache au bâti
6. bougies supérieures (cylindres gauches)
7. cache culbuteurs
8. fils des bougies inférieures
9. échappement
10. carburateur
11. couvercle du point de montage de la pompe à vide
12. filtre à air

Figure 2.32.

## B. Le fonctionnement d'un moteur thermique

### 1) Moteur à deux temps

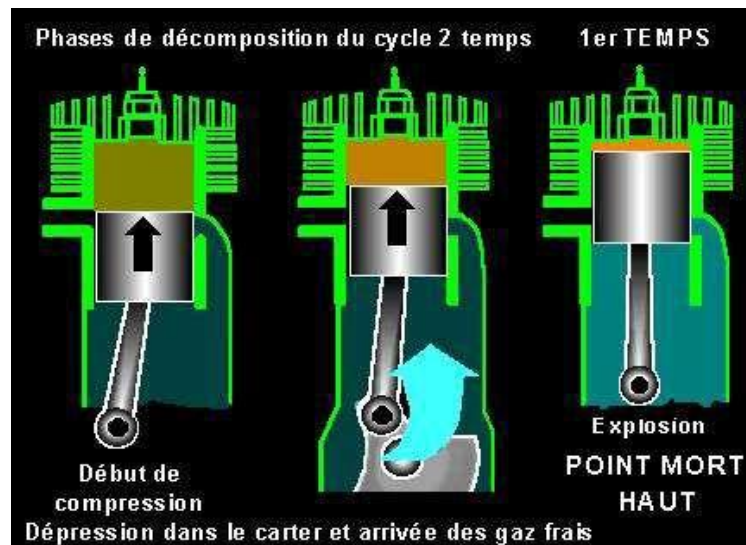


Figure 2.33.

2) Moteur à quatre temps

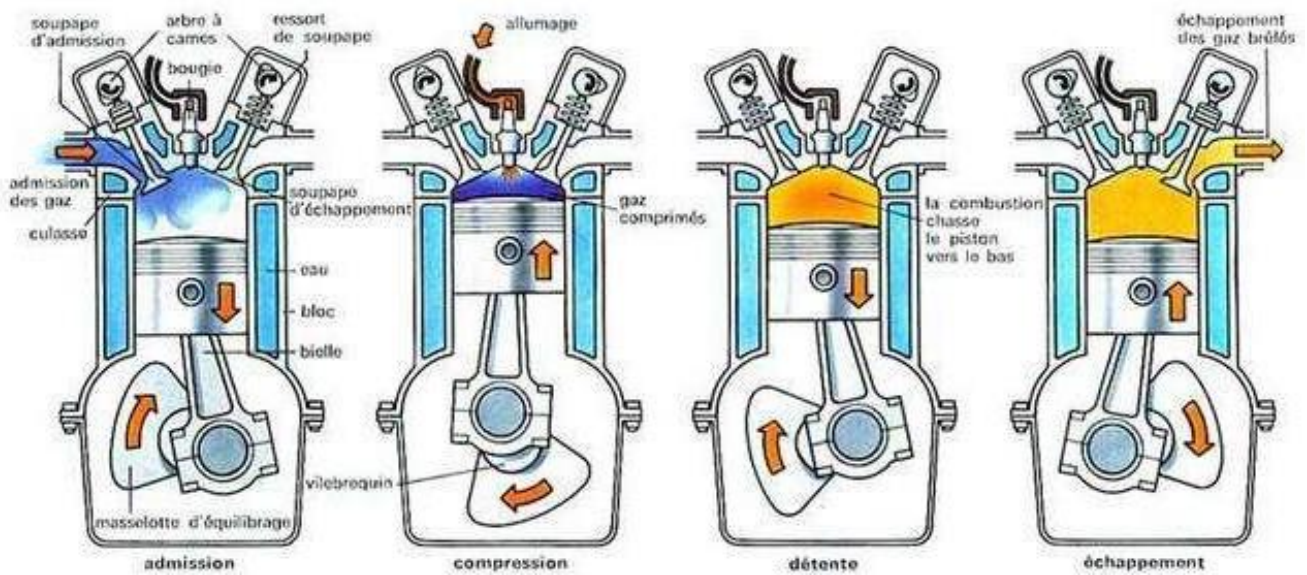


Figure 2.34.

C. L'Alimentation en carburant

Pour que l'essence parvienne des réservoirs jusqu'au dispositif de mélange, on utilise **une pompe mécanique** entraînée par le moteur, doublée **d'une pompe électrique de secours** que l'on mettra en fonction à la demande (par exemple au décollage).

D. L'Elaboration du mélange air-essence

Deux procédés sont utilisés :

- **L'injection**, qui consiste à vaporiser de fines gouttelettes d'essence directement dans la chambre du cylindre.
- **La carburation**, qui assure l'élaboration du mélange air-essence avant son entrée dans les cylindres (la masse volumique de l'air diminue avec l'altitude).

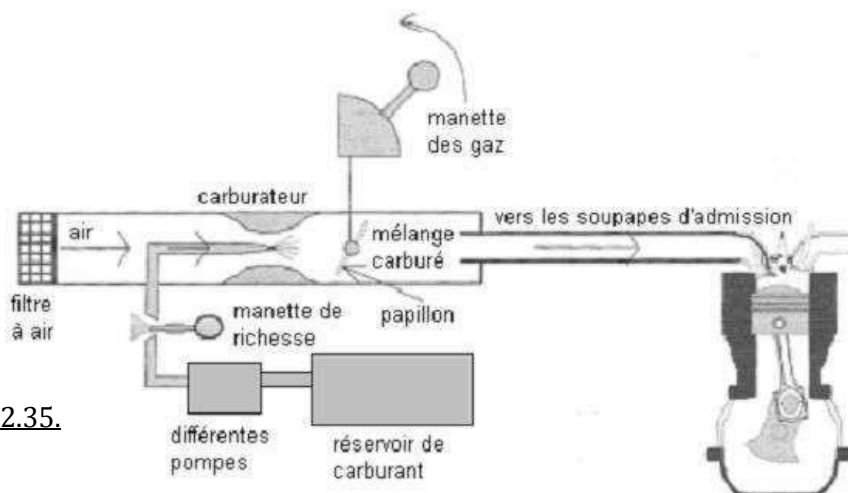


Figure 2.35.

La commande qui permet de faire varier la pression du mélange air-essence entrant dans les cylindres est la **manette des gaz** (en noir). La manette rouge est la manette de richesse, qui permet d'ajuster la quantité d'essence (mélange riche ou économique). La manette bleue est la commande du pas de l'hélice.



F  
Figure 2.36.

## E. L'Allumage

Il réside de la production d'une étincelle permettant de démarrer la combustion du mélange.

Il est réalisé par une bougie alimentée par une magnéto. Pour des raisons de sécurité le système est doublé (2 magnétos). Pour des raisons de rendement, on utilise 2 bougies par cylindre.

## III. Les turboréacteurs

### A. Le principe de fonctionnement

Lorsque l'on gonfle un ballon, la pression de l'air à l'intérieur du ballon est supérieure à la pression de l'air à l'extérieur.

Si on libère l'embouchure du ballon, alors l'air à l'intérieur du ballon va être éjecté et, par réaction, créer une force de même direction mais de sens opposé à la vitesse d'éjection.

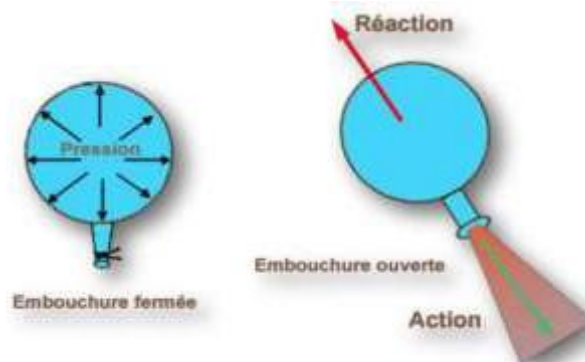


Figure 2.37.

Un turboréacteur fonctionne sur le même principe : il comprime l'air et ensuite l'éjecte à grande vitesse de façon contrôlée.

## B. Le Principe du Réacteur à simple flux

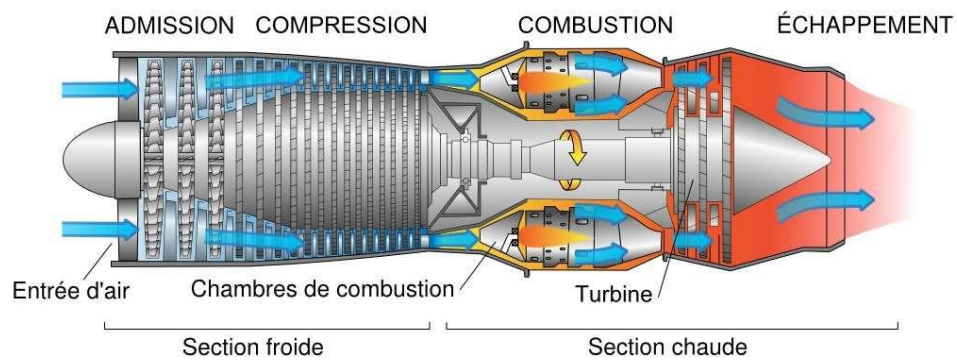


Figure 2.38. Réacteur monocorps

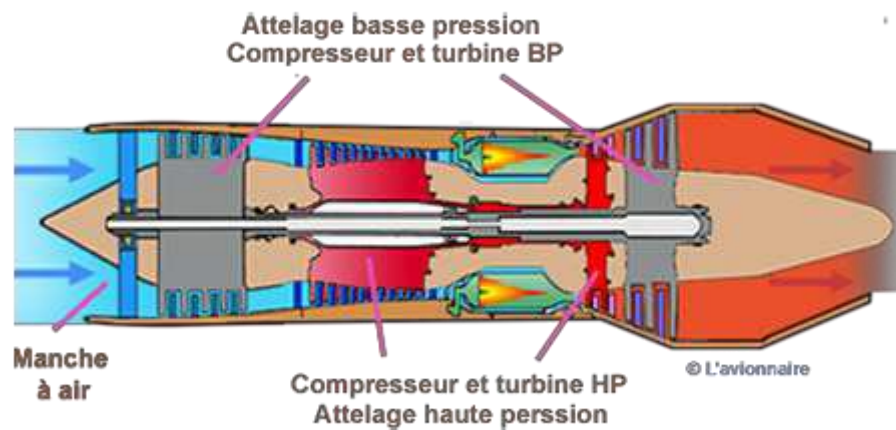


Figure 2.39. Réacteur double corps

## C. Le Turboréacteur à double flux

C'est le type de réacteur que l'on trouve sur la plupart des avions de ligne aujourd'hui.

Dans ce réacteur, deux débits d'air le traversent et le flux secondaire ne traverse pas la chambre de combustion.

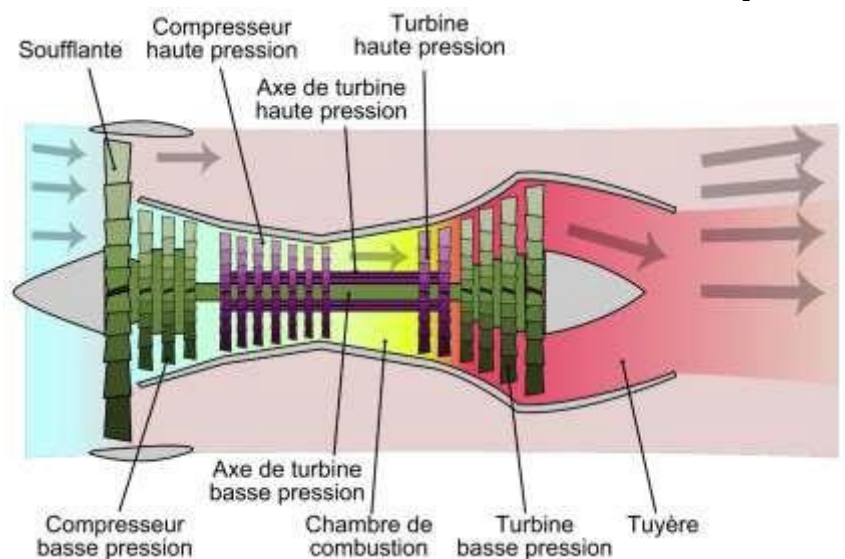


Figure 2.40.

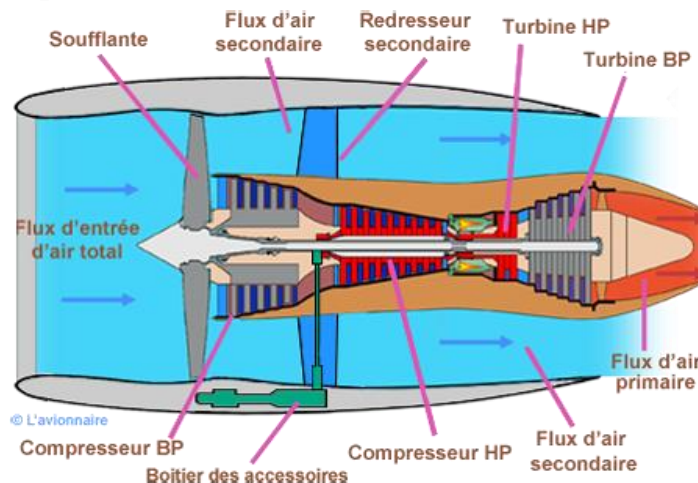
Le **taux de dilution** est le rapport des débits entre le flux froid et le flux chaud. Il vaut 11 sur les réacteurs les plus récents. Plus il est élevé, plus le réacteur est silencieux et économe en carburant. En revanche l'encombrement et la traînée sont plus importants.



## Cap sur l'environnement

Au cours du temps, les turboréacteurs ont évolué pour devenir de plus en plus efficaces et silencieux, grâce à une augmentation progressive de leur taux de dilution. Dans les turboréacteurs les plus récents, le taux de dilution est très fort, et **le flux froid génère environ 80% de la poussée.**

Figure 2.41.



Cela est particulièrement intéressant quand on sait que le bruit des moteurs est majoritairement lié à la différence de vitesse entre l'air chaud éjecté et l'air ambiant. Ainsi, **en réduisant la proportion d'air chaud éjecté, on obtient des moteurs moins bruyants.** De la même façon, **en réduisant la quantité d'air chaud pour une même poussée, on diminue la quantité de carburant nécessaire !**

## IV. Les autres turbomachines

### A. Le Turbopropulseur

Dans le Turbopropulseur, comme dans un Turboréacteur, l'air est aspiré par l'avant puis il est comprimé dans le compresseur avant de traverser les chambres de combustion. Mais cette fois, la turbine de sortie prélève la majeure partie de l'énergie des gaz pour faire tourner une hélice et le compresseur.

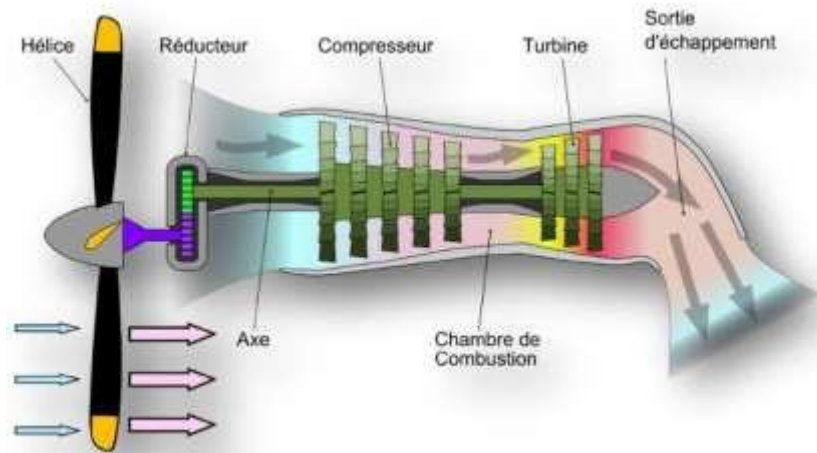


Figure 2.42.

Ce type de propulsion est utilisé pour des avions dont la vitesse se situe entre 300 et 800 km/h. Elle offre l'avantage d'une consommation plus faible et de meilleures performances au décollage.

## B. Le Turbomoteur

Utilisé sur **hélicoptère**, c'est un turbopropulseur dont le réducteur entraîne non plus l'hélice mais une boîte de transmission commandant à la fois le rotor principal et le rotor anti couple.

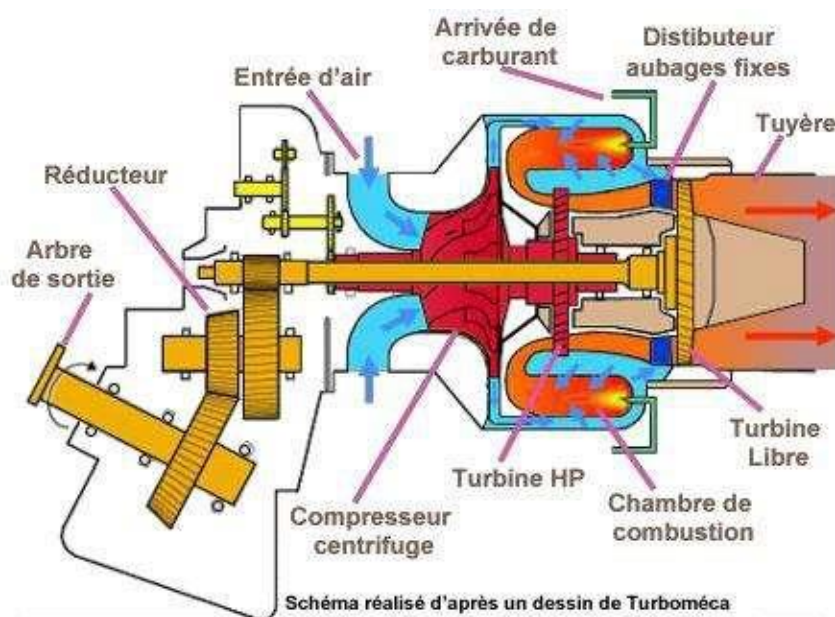


Figure 2.43.

### C. Le Statoréacteur

Un Statoréacteur est un système de propulsion qui utilise le cycle thermodynamique classique : compression/combustion/détente, et pour lequel la poussée est produite par éjection de gaz issu de la combustion d'un carburant, généralement le kérosène (il n'y a pas de partie tournante).

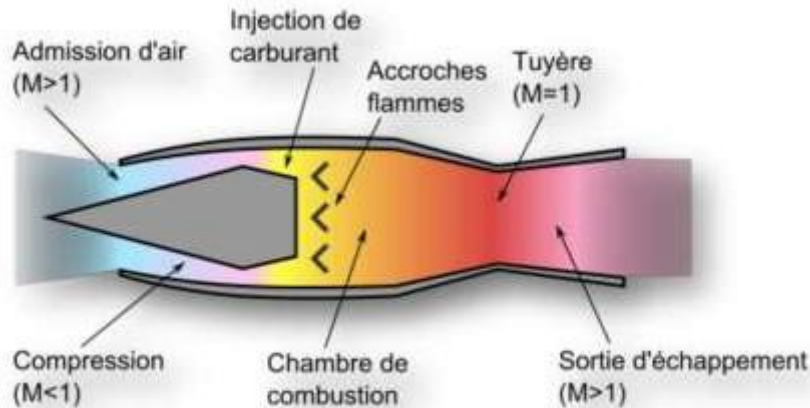


Figure 2.44.

Ce type de propulsion est aujourd'hui surtout utilisé pour propulser des missiles. Il permet d'atteindre de très grandes vitesses (au-delà de Mach 3) mais ne peut fonctionner de manière autonome à basse vitesse.

Dans un **pulsoréacteur**, un volet à l'entrée d'air génère des cycles de combustion (utilisé sur les V1 pendant la seconde guerre mondiale).

## Partie 4 : Les Instruments de bord



Chaque avion à un tableau de bord spécifique, pourtant on y retrouve certains instruments que l'on peut classer en trois grandes familles :

- Les instruments de **conduite** (altimètre, variomètre, anémomètre, horizon artificiel, conservateur de cap, indicateur de virage) dont la disposition est toujours la même. On appelle cette disposition le **T Basique**.



Figure 2.45.

- Les instruments de **contrôle** (pressions, températures, charges, moteur)
- Les instruments de **navigation** (Radio, GPS, VOR-ILS, ADF).

Nous détaillerons chacun de ces instruments par la suite.



On retrouve sur tous les appareils une « norme » de couleur :

- Le blanc pour les utilisations particulières
- Le vert pour les utilisations normales
- Le jaune pour les utilisations avec précautions
- Le rouge pour les utilisations interdites

## I. Les instruments barométriques

### A. L'Anémomètre (Airspeed Indicator) ou Badin

#### 1) Présentation

L'appareil indique la vitesse de l'avion par rapport à l'air. Il peut être gradué en nœud **kt** ou en **km/h**. (1kt = 1,852 km/h). Il possède un trait rouge ainsi que trois arcs colorés qui correspondent à des vitesses caractéristiques :



Figure 2.46.

**Arc blanc** : Zone d'utilisation des volets, allant de la vitesse de décrochage volets sortis à la vitesse maximale d'utilisation des volets (**VFE** : Velocity Flaps Extended).

**Arc vert** : Vitesse normale d'utilisation sans volet, allant de la vitesse de décrochage en lisse à la vitesse à ne pas dépasser lors de mauvaises conditions atmosphériques (**VNO** : Velocity Normal Operating).

**Arc jaune** : Zone interdite lors de mauvaises conditions atmosphériques.

**Trait rouge** : Vitesse à ne jamais dépasser (**VNE** : Velocity Never Exceed)

#### 2) Principe de fonctionnement

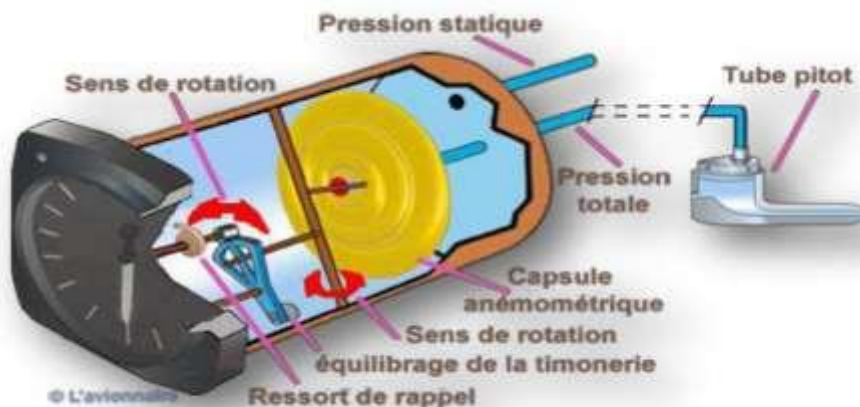


Figure 2.47.

Il mesure la différence entre la pression totale  $P_t$  et la pression statique  $P_s$  et la convertit en vitesse.

L'anémomètre donne une vitesse indiquée, qui diffère de la vitesse vraie selon l'adage « plus haut, plus chaud : plus vite ».

## **B. L'Altimètre (Altimeter)**

### **1) Présentation**

L'altimètre indique l'altitude en pieds ou en mètres ( $1\text{ft} \approx 0,3\text{ m}$ ).



Figure 2.48.

C'est un instrument barométrique. Il indique l'altitude de l'avion par rapport à une référence choisie (cf ci-dessous)

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

## 2) Principe de fonctionnement

La pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude augmente. Pour des altitudes pas trop élevées, une variation de 1hPa correspond à une variation de 28 ft soit 8,5 m.

Par simple mesure de la pression atmosphérique, on peut donc déduire l'altitude de l'avion.

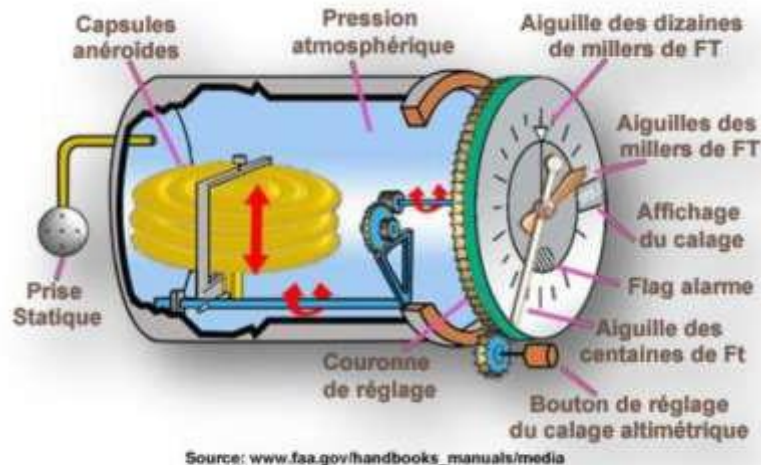


Figure 2.49.

## 3) Les différentes références altimétriques

Le niveau de la mer (calage QNH) : l'altimètre indique une **altitude**.

La piste (calage QFE) : l'altimètre indique une **hauteur** par rapport à l'aérodrome.

La pression 1013,25 hPa (calage standard ou QNE) : l'altimètre indique un **niveau de vol** (FL).

**Attention** : lorsque la température est plus froide que l'atmosphère de référence, l'altitude est sur-estimée.

## C. Le Variomètre (Vertical Speed Indicator)

### 1) Présentation

Le variomètre est aussi un instrument barométrique qui mesure une vitesse verticale de montée ou de descente.

Il est gradué en **ft/min** ou parfois en **m/s** ( $1\text{m/s} = 200\text{ft/min}$ ).

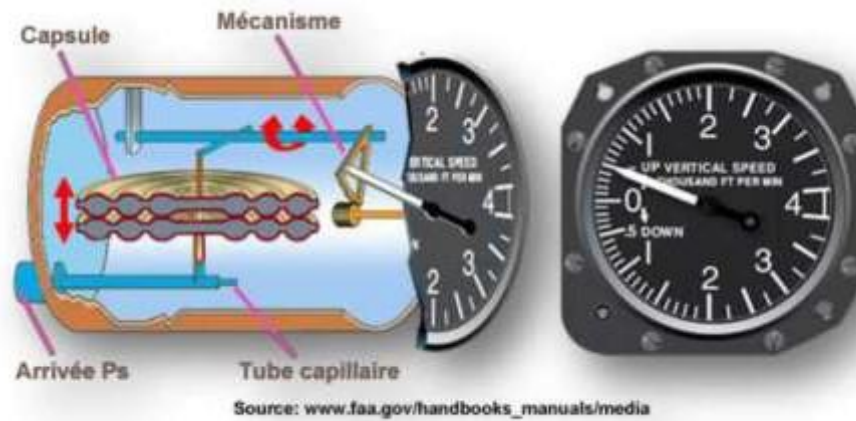


Figure 2.50.

## 2) Principe de fonctionnement

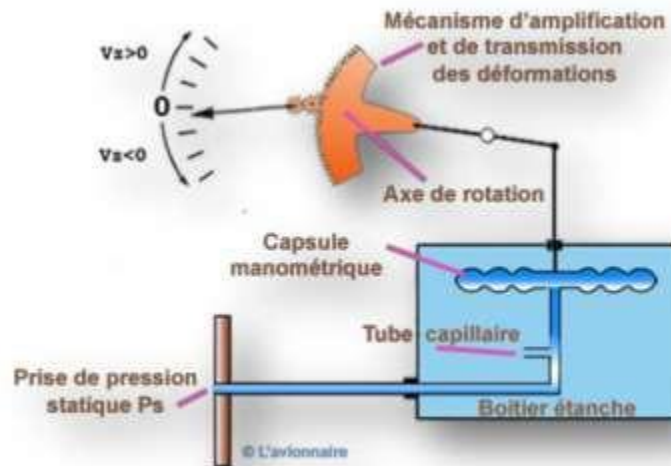


Figure 2.51.

L'appareil mesure la différence entre la pression atmosphérique et la pression de l'air à l'intérieur d'une capsule.

En vol horizontal (palier), les pressions sont équilibrées et l'aiguille indique zéro. L'avion monte, la pression atmosphérique diminue, mais comme la pression à l'intérieur de la capsule met un temps à s'équilibrer on peut mesurer cette différence de pression.

Le variomètre est utile au pilotage pour déterminer soit une vitesse ascensionnelle  $V_z$  supérieure à 0, soit un taux de descente  $V_z$  inférieure à 0, il est possible de l'utiliser également pour contrôler le vol en palier, même si cela est très difficile du fait du temps de réponse important.

## II. Les instruments gyroscopiques

### A. L'indicateur de virage (Turn and Slip Indicator)

#### 1) Présentation

Il est souvent associé à la bille et indique le sens si le virage est un virage taux 1 (360° en 2 minutes). Ceci est valable uniquement si la bille est maintenue au centre (symétrie du vol maintenue).

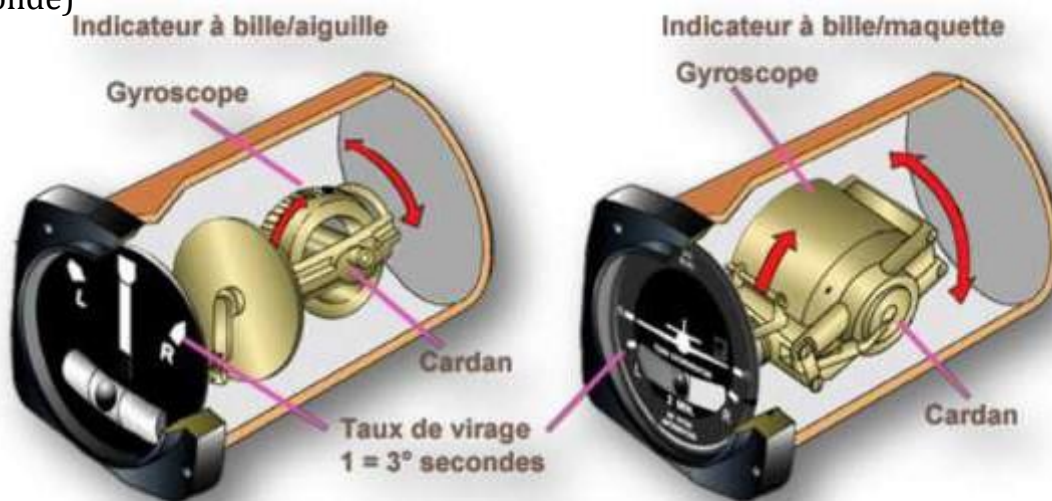


Figure 2.52.

#### 2) Principe de fonctionnement

L'indicateur de virage indique le sens et le taux du virage. Associé à un gyroscope, comme une toupie, il reste stable un certain temps dans l'espace.

Exemple : Pour un virage effectué au taux 1, l'avion tourne de 180° en 1 min (3° par seconde)



Source: [www.faa.gov/handbooks\\_manuals/media](http://www.faa.gov/handbooks_manuals/media)

Figure 2.53.

**B. La Bille**

**1) Présentation**

Elle ne fait partie ni des instruments barométriques, ni des instruments gyroscopiques mais se trouve associée à l'indicateur de virage.



Figure 2.54.

Par effet inertiel, elle renseigne le pilote sur la symétrie du vol. Pouvant être associée à un brin de laine sur la verrière, un pendule dans l'habitacle, elle permet de voir si l'axe de l'avion est parallèle au vent relatif.

**2) Principe de fonctionnement**

De par sa masse, la bille est constamment soumise aux forces résultantes des accélérations subies par l'avion dans le plan transversal. Le tube, étant lié à l'avion, la bille, agissant comme un pendule, indiquera la direction de la verticale apparente, qui se situe dans le plan de symétrie de l'avion en l'absence de force aérodynamique latérale).

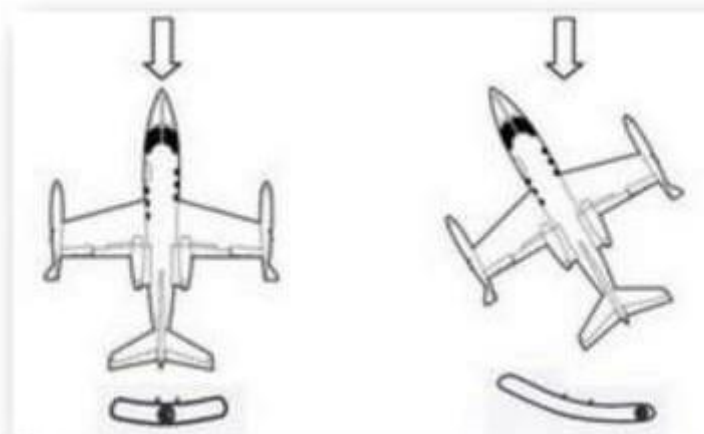


Figure 2.55.

On dit que « le pied chasse la bille », c'est-à-dire qu'il faut pousser le palonnier côté bille pour annuler le dérapage.

## C. L'horizon artificiel (Artificial Horizon ou Attitude Indicator)

### 1) Présentation

Il permet de restituer au pilote la position de « l'horizon naturel » lorsque celui-ci n'est pas visible : vol de nuit, trop de nuage, altitude importante...

Le pilote voit alors l'assiette et l'inclinaison de l'avion.



Figure 2.56.

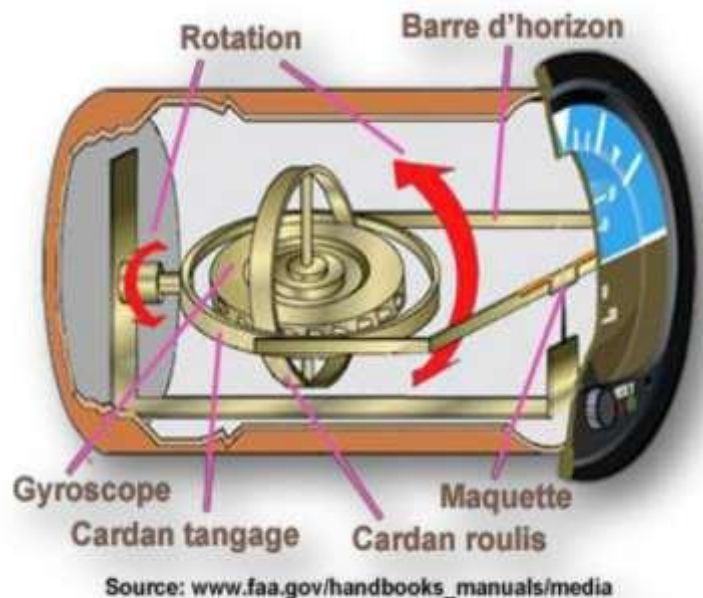
Il est constitué d'une :

- Maquette centrale qui représente un avion
- Sphère intérieure sur laquelle figure la ligne d'horizon en blanc, le ciel en bleu et la terre en marron.
- Couronne des valeurs d'inclinaison (10°, 20°, 30° ...)

### 2) Principe de fonctionnement

Lors d'un mouvement de l'avion, c'est l'ensemble avion-maquette qui se déplace autour de la sphère et de la couronne, ces dernières étant rendues fixes dans l'espace, par la toupie d'un gyroscope dont l'axe de rotation est maintenu à la verticale.

Figure 2.57.



## D. Le conservateur de cap ou directionnel (Heading Indicator ou Directional Gyro Indicator DGI)

### 1) Présentation

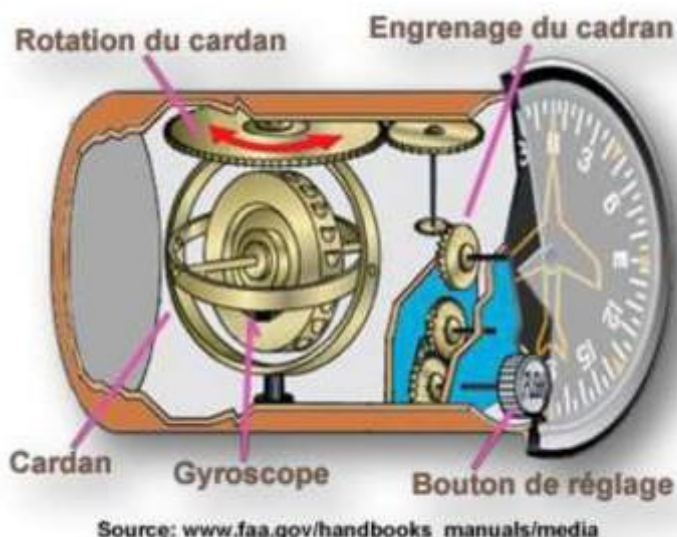
Il donne aussi le cap magnétique mais permet d'éviter les erreurs du compas (Masses métalliques proches, virages, atmosphère turbulent, accélérations, ...)



Figure 2.58.

### 2) Principe de fonctionnement

C'est un instrument gyroscopique à 2 ddl qui permet de conserver une direction fixe dans l'espace et donc de s'orienter. Il est stable et précis sur un temps « court ».



Cependant, au bout d'un certain temps, le gyroscope du directionnel peut perdre sa référence d'orientation, du fait de la rotation de la Terre et du déplacement de l'avion.

Cela oblige donc à se recalibrer sur la référence du compas, tous les quarts d'heure à l'aide de la molette.

Cette opération se fait en ligne droite et à vitesse constante.

Figure 2.59.



## E. Le compas (Magnetic Compass) (Instrument non gyroscopique)

### 1) Présentation

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



Une graduation de 0 à 360 degrés tourne devant une ligne de foi figurant l'axe de l'avion, ce qui permet au pilote de savoir le cap magnétique suivi.

Il indique en permanence la direction du Nord magnétique, quelle que soit la route suivie par l'avion.

Figure 2.60.

#### Remarques :

- L'angle séparant l'axe passant par le nord magnétique et celui passant par le nord géographique s'appelle la **déclinaison**.

- Celui que fait l'aiguille du compas par rapport à l'horizontale s'appelle **l'inclinaison**. (En France, aux alentours de 50° N de latitude, l'inclinaison est d'environ 65°).

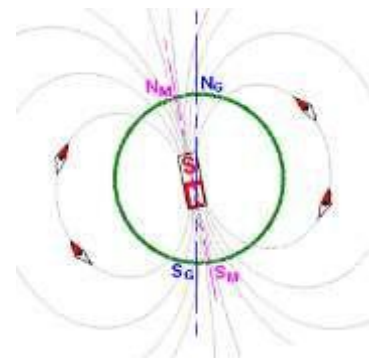
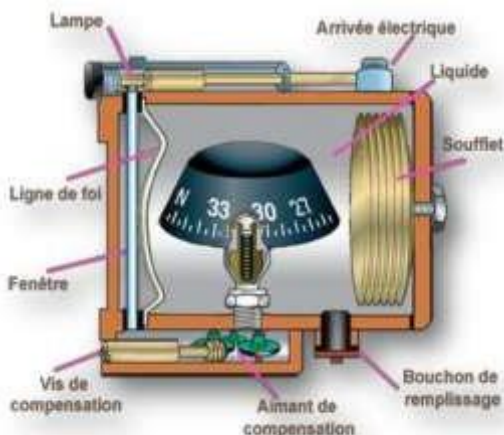


Figure 2.61.

### 2) Principe de fonctionnement



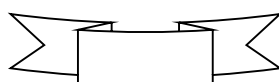
Il se compose d'un plateau circulaire gradué en degré, associé à un aimant orienté sur l'axe Nord-sud.

L'ensemble est posé sur un pivot et baigne dans un liquide amortisseur qui limite les oscillations.

Certaines directions particulières sont repérées par des lettres : N (nord) 360°, E (est) 90°, S (sud) 180°, W (ouest) 270°.

Le compas est très sensible aux accélérations de l'avion (virage, turbulence, ...) mais ne dérive pas dans le temps.

Figure 2.62.



### III. Les autres instruments

#### A. Les instruments de radionavigation

Voir le chapitre 4, partie 3

#### B. Les instruments de contrôle

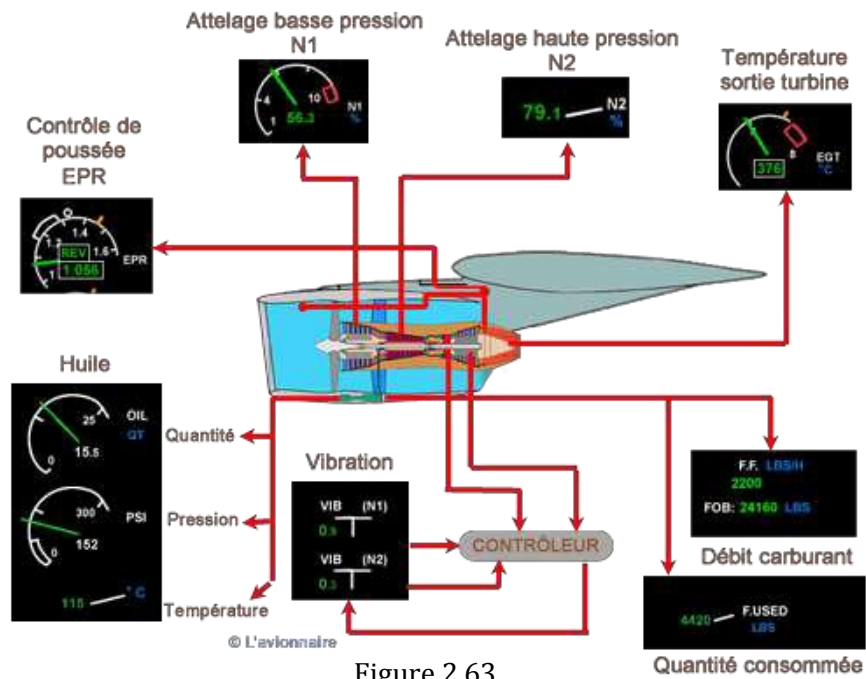


Figure 2.63.

#### C. Les EFIS (Electronic Flight Information Systems)



Figure 2.64.

# Complément : English vocabulary

## I. Aircraft types

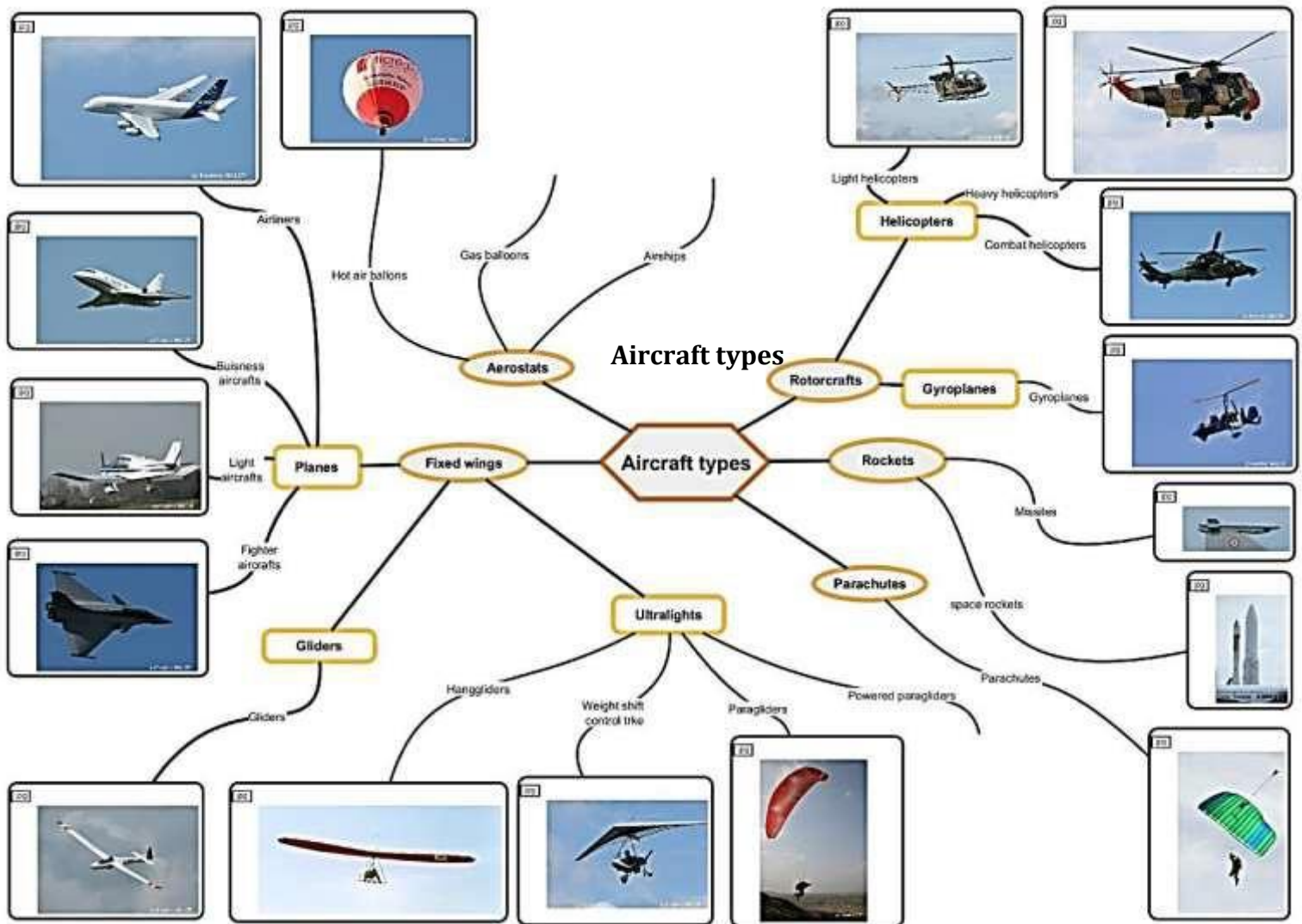


Figure 2.65.

Commercial Aircraft	
Avion d'affaires	Corporate/executive/business aircraft
Avion de ligne	Liner aircraft
Avion régional	Commuter aircraft
Court/moyen/long courrier	Short/medium/long haul aircraft
Mono/bi-couloir	Single/twin aisle
Avion militaire	Military aircraft (surveillance, recognition, bombing, combat, transportation)

Aérostat	Aerostat
Autogire	Autogyro
Convertible	Tilt rotor aircraft
Delta-plane	Hang-glider
Dirigeable	Airship, dirigible (us)
Girodyne	Girodyno
Hydravion	Seaplane, flying boat
Multiaxe	3-axes microlights
Paramoteur	Paramotor
Parapente	Paraglider
Pendulaire	Pendular
Rotor principal / de queue	Main / tail rotor
Ulm	Microlight
Voilure tournante, giravion	Rotorcraft
Vol à voile	Gliding
Vol libre	Free flight

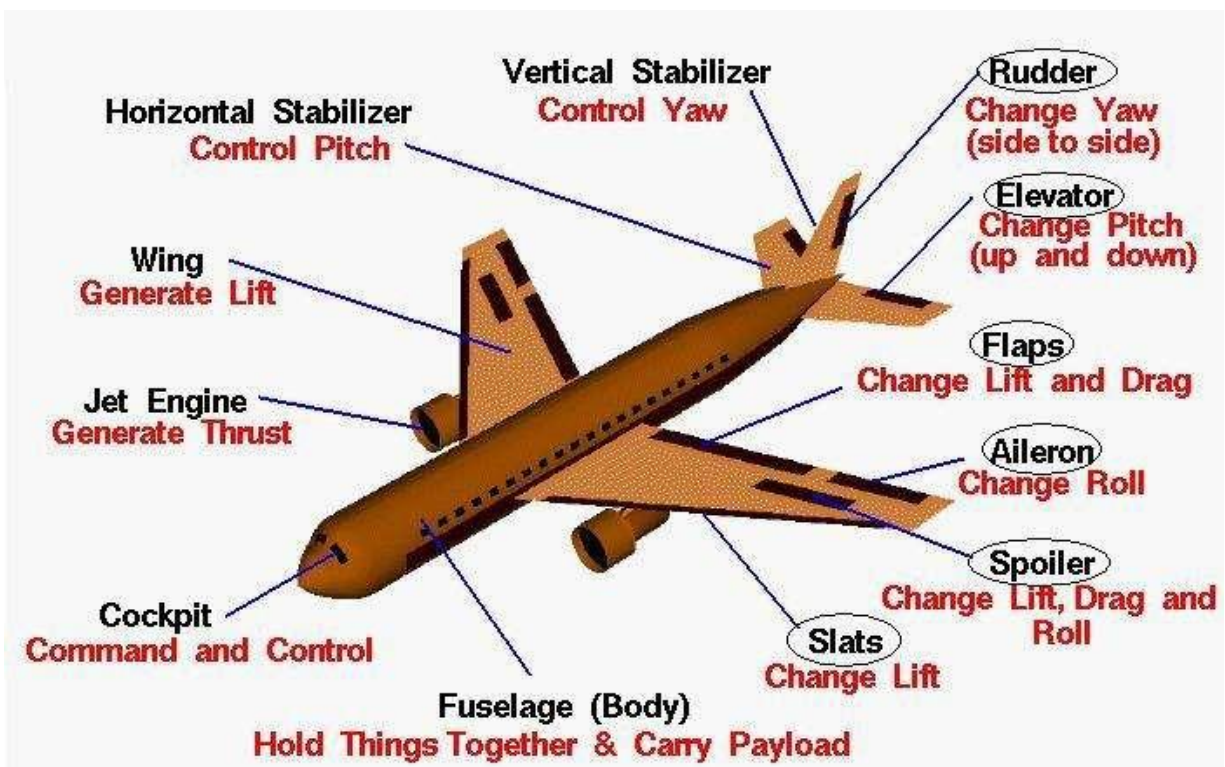


Figure 2.66.

## II. Aircraft composition and structure

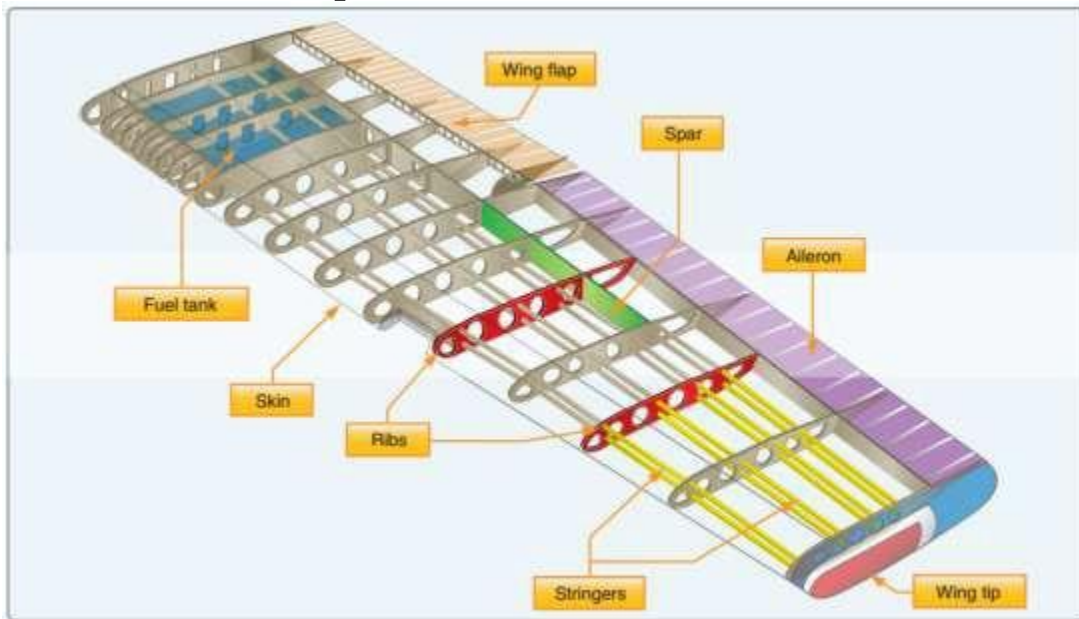


Figure 2.67.

Airframe	
Cadre	Frame
Caisson Central	Wing (Spare) Box
Aile En Porte A Faux	Cantilever Wing
Cisaillement	Shear Stress
Contrainte	Normal Stress
Couple, Cadre	Ring Frame
Déformation	Strain
Flexion	Bending
Flottement	Flutter
Lisse, Raidisseur	Stringer, Stiffener
Longeron	Spar
Nervure	Rib

### III. Landing gear ; Wheel Layouts



Twin wheels  
Nose gear of a Rafale



Single wheel  
Nose gear / Main gear  
of a Typhoon



6 wheels  
Bogie of an B777



Monotrace  
Landing gear of a Harrier fighter jet.

Landing Gear, Miscellaneous	
Diabolo	Diabolo, Twin Wheels
Empattement	Wheelbase
Emplanture	Wing Root
Fuselage	Fuselage
Jambe Atterrisseur	Gear Log/Strut
Mât	(Nacelle) Strut
Parebrise	Windshield (US) Windscreen (GB)
Patins Ou Skis	Skids
Réservoir	Fuel Tank
Sortir/ Rentrer Le Train	Extend /Retract The Gear
Train Atterrissage	Landing Gear, Undercarriage (GB) (Retractable/Fixed)
Train Classique	Tailwheel Or Taildragger Aircraft, Conventional Ger
Train Tricycle	Nosewheel Aircraft, Tricycle Landing Gear
Verrière	Canopy

#### IV. Wings and controls



High wing



Mid wing



Low wing



Shoulder wing

### Wings angle



Dihedral wings

Anhedral wing



Inverted gull wing



### Wings shapes



Straight wings



Tapered wings



Swept wings



Elliptic wings



Delta wings



Cropped delta wings and canard



← Biplane



Triplane →

## Tails designs



Low-set



Mid-set



High-set



T-Tail



Canard



V-Tail



Twin fin designs



<b>Wings And Controls</b>	
Aéroofrein	Airbrake
Aile Effilée, En Pointe	Tapered Wing
Aileron	Aileron
Bec	Slat
Braquage	Deflection
Cabrer	Pull The Nose Up, Pitch Up
Calage	Wing Setting
Carénage, Karman	Fairing
Commande	Control Or Steering Wheel
Commande De Direction	Rudder Control
Commande De Gauchissement	Aileron Control
Commande De Profondeur	Elevator Control
Commande De Vol Electrique	Fly By Wire Controls
Compensateur D'évolution, Volet De Compensation	Tab Or Trim Tab
Compensateur De Régime	Trim
Configuration Canard	Canard Foil System, Foreplane
Configuration Lisse	Clean Configuration
Dérive	Vertical Tail / Fin, Vertical Stabilizer
Dièdre	Dihedral
Dispositifs Hypersustentateurs	High Lift Devices
Empennage	Horizontal Stabilizer, Aft Tail, Empennage (US)
Envergure	Wingspan
Flèche	Angle Of Sweep (Forward, Backward)
Forme En Plan	Plan-Form
Gouverne	Control Surface
Manche	Control Stick
Palonnier	Cross Or Rudder Bar
Spoiler, Destructeur De Portance	Spoiler, Lift Dumper
Volet (Simple/Double Fente)	Flap (Single/Double Slotted)
Volet De Courbure, D'intrados	Plain, Split Flap

# V. Engines

## Piston Engine

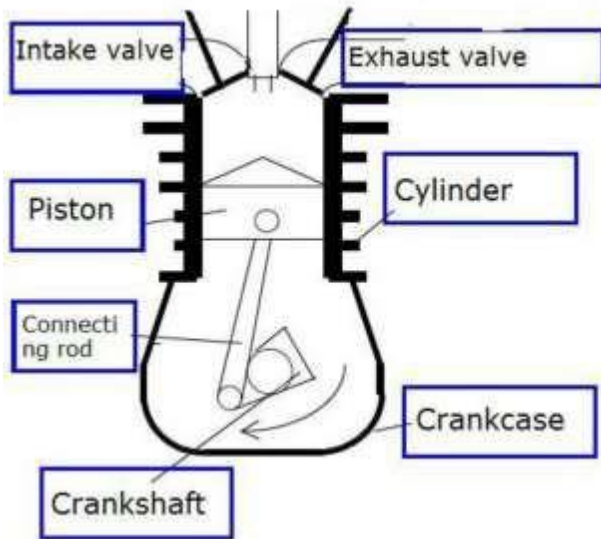


Figure 2.68.

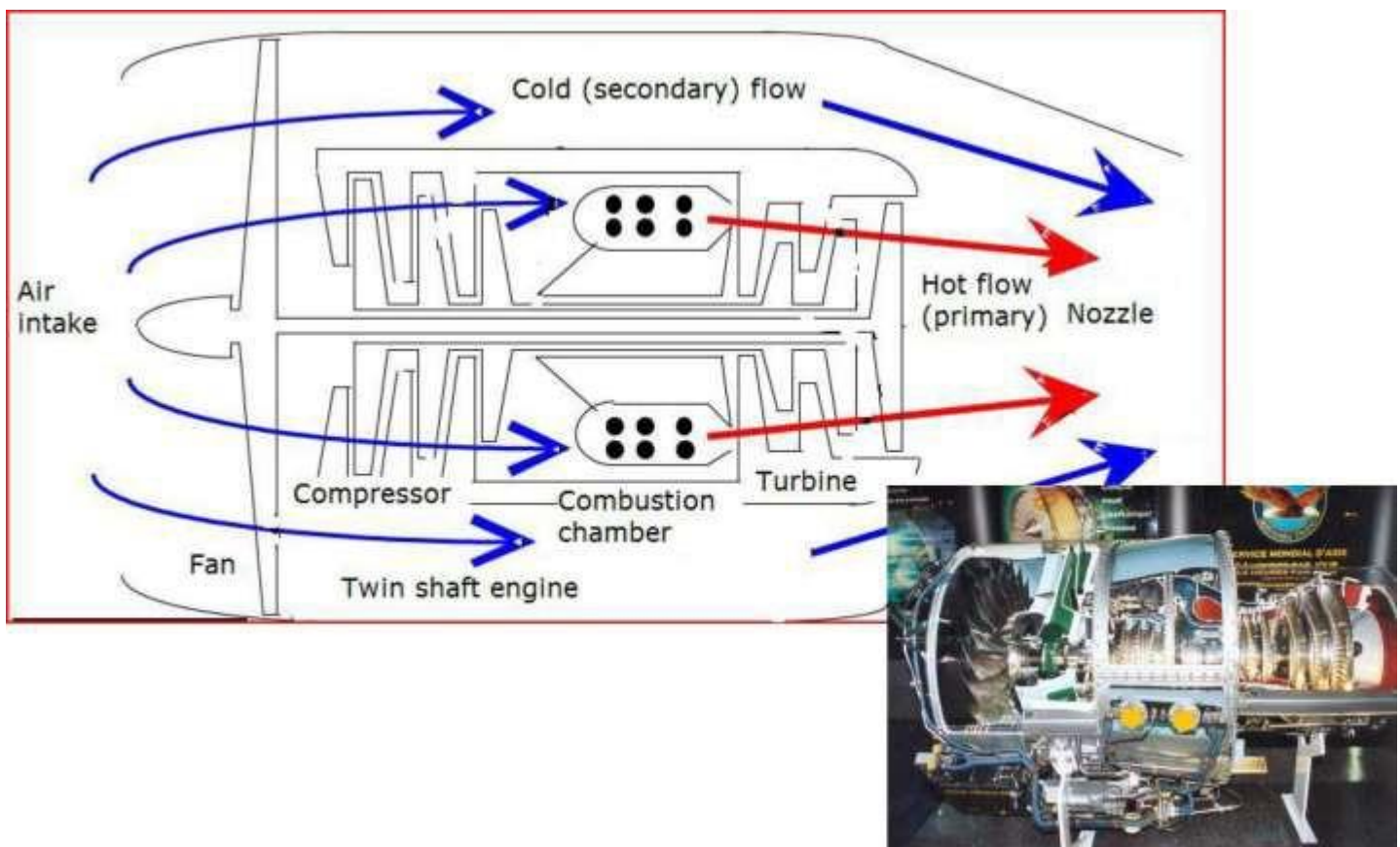


Figure 2.69.

<b>Propeller</b>	
Calage	Setting
Casserole	Spinner
Pale	Blade
Pas Variable / Fixe	Variable Pitch, Constant Speed Vs Fixed Pitch
Petit / Grand Pas	Low Or Fine / High Or Coarse Pitch
<b>Reciprocating Engine</b>	
Allumage	Ignition
Avoir Des Râtes	Splutter
Bielle	Connecting Rod
Bimoteur	Twin-Engine Aircraft
Bougie	Spark Plug
Carburateur	Carburetor
Carter	Crankcase
Collecteur	Manifold
Consommation Spécifique	Specific Fuel Consumption
Culasse	Cylinder Head
Cylindre	Cylinder
Dégivrage Carburateur	Carburettor Icing
Entrée D'air	Air Intake
Essence	Gasoline (Us), Petrol (Gb)
Gasoil	Diesel
Groupe Motopropulseur	Powerplant
Indice Octane	Fuel / Octane Grade
Manette Des Gaz	Throttle
Piston	Piston
Richesse	Mixture Composition (Lean/Rich)
Soupape D'admission	Intake Valve
Soupape D'échappement	Exhaust Valve
Tachymètre	Tachometer, RPM Indicator
Température Des Gaz D'échappement	Exhaust Gas Temperature (EGT)
Tours Par Minute	Revolutions Per Minutes (RPM)
Turbocompresseur	Turbocharger
Vilebrequin	Crankshaft
<b>Turbine Engine</b>	
Chambre De Combustion	Combustion Chamber
Compresseur	Compressor
Flux Primaire	Hot Or Primary Flow
Flux Secondaire	Cold Or Secondary Flow, By-Pass Air
Groupe Auxiliaire De	Auxiliary Power Unit

Puissance	(APU)
Inverseur De Poussée	Thrust Reverser
Kérosène	Aviation Jet Fuel, Jet A
Moteurs Arrière	Rear Podded Engine
Nacelle	Pod
Postcombustion	Reheat, Afterburner
Réacteur Double Corps	Twin Shaft Turbofan
Rotor Anti-Couple	Tail Rotor
Soufflante	Fan
Statoréacteur	Ramjet Engine
Taux De Dilution	By Pass Ratio
Turbine A Air Dynamique	Ram Air Turbine
Turbo Réacteur Double Flux	Turbofan Engine
Turbo Réacteur Simple Flux	Turbojet Engine, Straight Flow Turbojet
Turbo-Moteur	Turboshaft Engine
Turbopropulseur	Turboprop Engine
Tuyère	Nozzle

Turboprop Engine

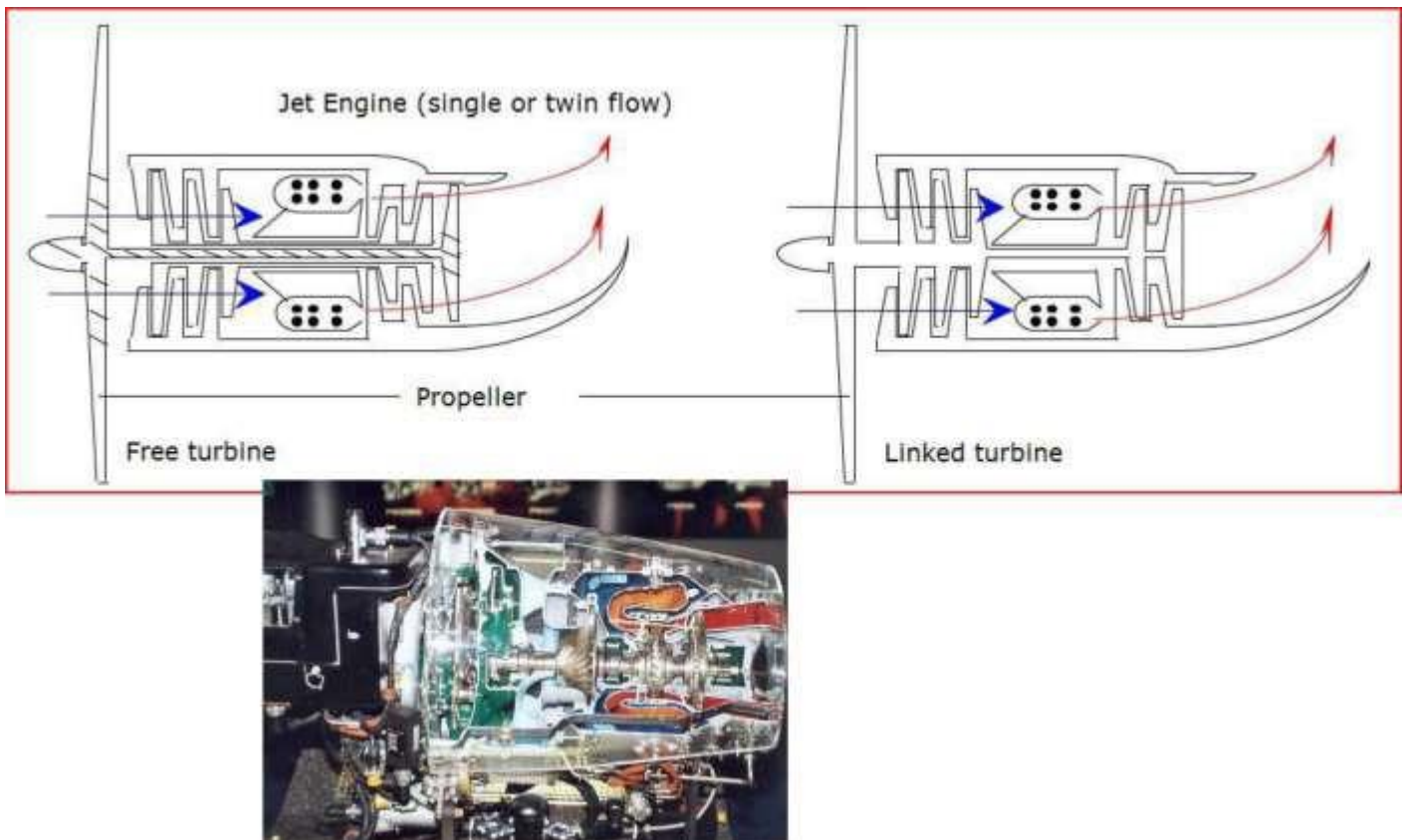


Figure 2.70.

Ramjet and Rocket Engine

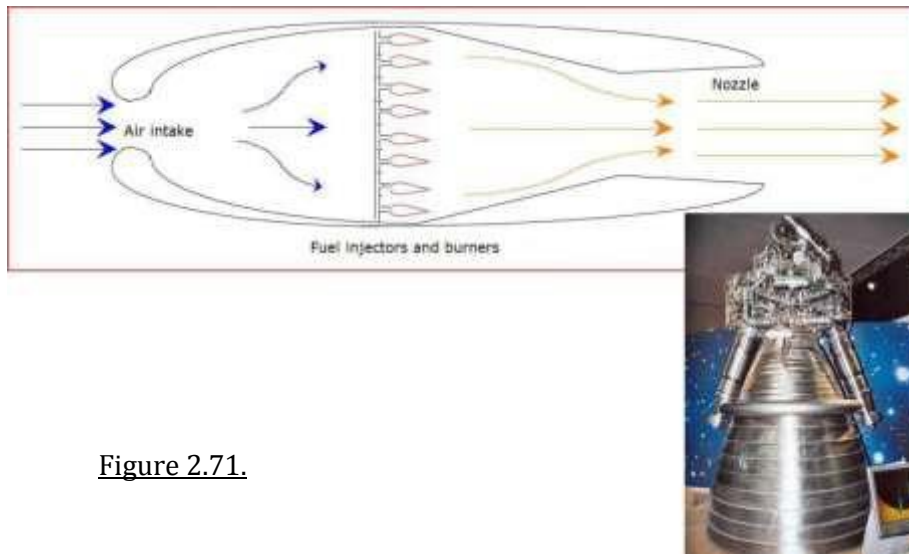


Figure 2.71.

V. Instruments	
Altimètre	Altimeter
Anémomètre	Airspeed Indicator
Capteur	Sensor, Detector, Probe, Transducer
Centrale Aerodynamique	Air Data Unit
Centrale Inertielle	Inertial Unit
Compas Magnétique (Boussole)	Magnetic Compass
Horizon Artificiel	Artificial Horizon, Attitude Indicator
Indicateur De Cap, Directionnel	Heading Indicator, Directional Gyro
Indicateur De Décrochage	Stall Warning Indicator
Indicateur De Virage	Turn And Slip Indicator, Slip Bubble
Interrupteur	Switch
Radiocompas	Automatic Direction Finder (ADF)
Radiogoniomètre	Visual Omni Range (VOR)
Recalage Gyroscope	Gyro Resetting
Système D'atterrissage Aux Instruments	Instrument Landing System (ILS)
Tableau De Bord	Instrument Panel
Tachymètre	Rpm Indicator, Tachometer

Variomètre	Vertical Speed Indicator, Rate Of Climb Indicator
Vitesse vraie	True Air Speed (TAS)
Vitesse indiquée	Indicated Air Speed (IAS)
Vitesse calibrée	Calibrated Air Speed (CAS)
Vitesse sol	Ground speed (GS)
Vitesse équivalente	Equivalent Air Speed (EAS)



## **Chapitre 2 : AERODYNAMIQUE, AEROSTATIQUE ET PRINCIPES DU VOL**



Ce chapitre est divisé en 3 parties :

**Partie 1 : Aérodynamique**

**Partie 2 : Etude du vol stabilisé**

**Partie 3 : Aérostation et vol spatial**

**Complément : English vocabular**

**Contenu du Chapitre :**

**Partie 1 : Aérodynamique**

- I. Comment vole un avion ?
- II. Etude de la polaire
- III. Caractéristiques d'une voilure

**Partie 2 : Etude du vol stabilisé**

- I. Les forces en jeu
- II. Tangage, roulis et lacet
- III. Facteur de charge
- IV. Décollage et atterrissage

**Partie 3 : Aérostation et vol spatial**

- I. Aérostation
- II. Vol spatial

**Complément : English vocabulary**

## Partie 1 : Aérodynamique :

### I. Comment vole un avion ?

#### A. Les Caractéristiques d'un profil d'aile :

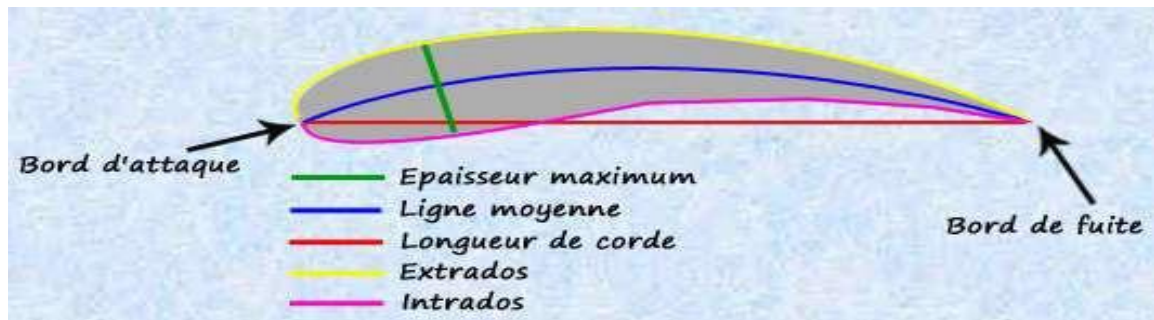


Figure 1.1.

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

#### B. L'écoulement de l'air autour du profil

Pour étudier le vol d'un avion dans l'air, il est équivalent de considérer l'avion immobile et l'air qui se déplace. On s'intéresse alors à la trajectoire de minces filets d'air, appelés lignes de courant. La vitesse de l'avion est remplacée par le vent relatif, qui souffle dans le sens opposé :  $\vec{V}_{\text{vent relatif}} = -\vec{V}_{\text{avion}}$ .

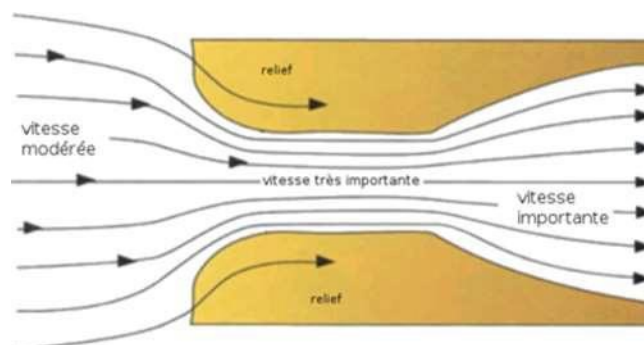


Figure 1.2.

Commençons par **l'effet Venturi**. Lorsque la section se rétrécit, la vitesse des filets d'air augmente et ils ont tendance à se rapprocher les uns des autres. Cet effet s'inverse lorsque la section augmente. Vous pouvez vérifier cela en pinçant l'extrémité du tuyau d'arrosage de votre jardin.

*Il est utilisé en aéronautique pour :*

- Expliquer les dépressions sur l'extrados et les surpressions sur l'intrados
- Expliquer les effets de Foehn en montagne
- Le mélange air/essence dans les carburateurs

**D. Bernoulli** a démontré (1738) que dans un fluide en écoulement, plus la vitesse du fluide est élevée et plus la pression y est faible et réciproquement.

Plus précisément, le long d'une ligne de courant, on a  $P + \frac{1}{2}\rho V^2 = \text{constante}$

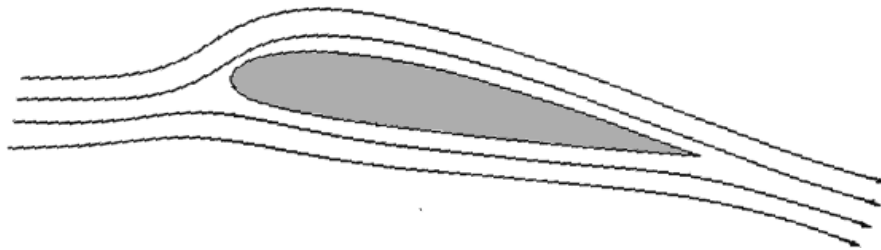


Figure 1.3.

Dans le cas d'un profil d'aile, la présence de l'**extrados** engendre un surplus de vitesse qui crée une **dépression**. Côté **intrados**, c'est l'inverse : il y a une diminution de la vitesse et apparition d'une **surpression**.

### C. L'angle d'incidence

C'est l'angle **i** compris entre la corde de profil de l'aile et la trajectoire de l'avion (matérialisée par le vent relatif). Il varie au cours du vol.

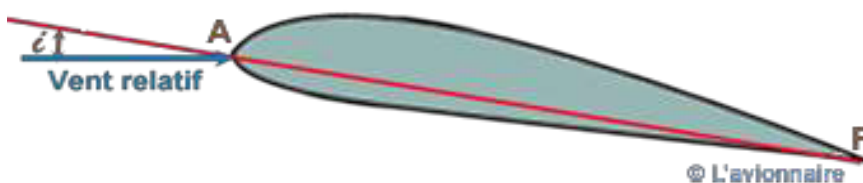


Figure 1.4.

## D. Les forces aérodynamiques

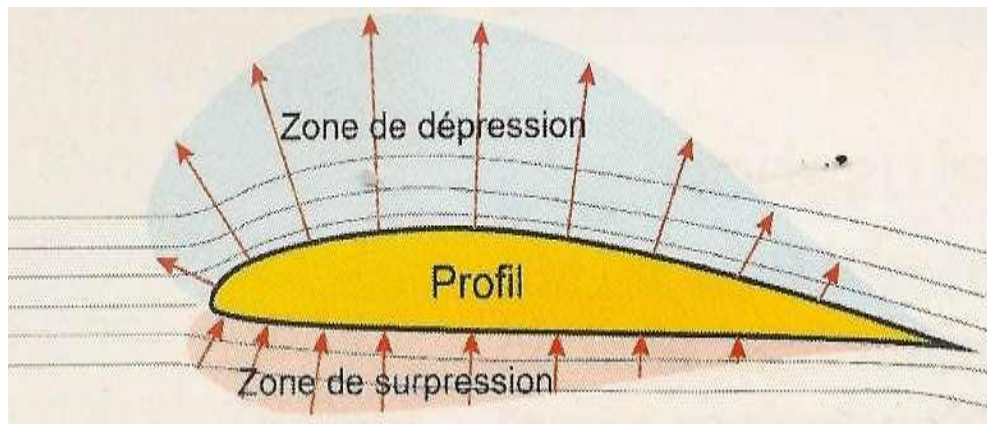


Figure 1.5.

La somme des forces pressantes sur toute la surface du profil est une **force aérodynamique**, dirigée vers le haut (et légèrement vers l'arrière). C'est cette force qui maintient l'avion en vol.

Cette force, la sustentation ou portance, est générée pour environ 2/3 par l'extrados de l'aile et pour environ 1/3 par l'intrados.

Le point où s'applique la force aérodynamique est appelé **centre de poussée (CP)**.

## E. Portance et traînée

La force aérodynamique qui s'exerce sur un profil est décomposée en deux termes :

- L'un parallèle au vent relatif : c'est la **traînée  $R_x$** , qui s'oppose à l'avancement de l'avion
- L'autre perpendiculaire au vent relatif : c'est la **portance  $R_z$** , qui porte ou sustend l'avion.

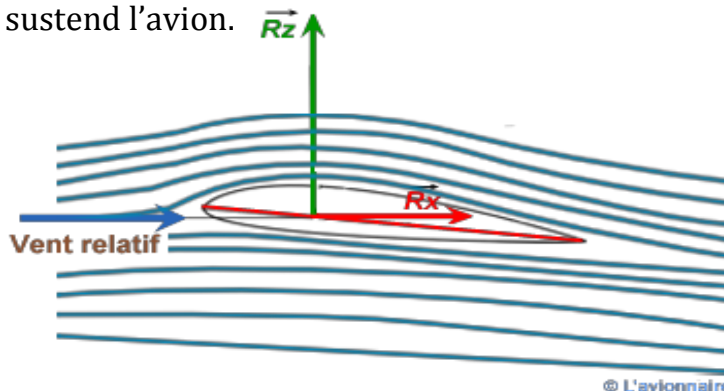
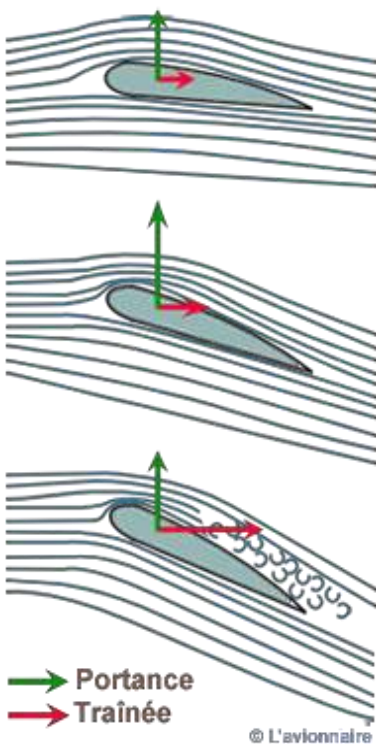


Figure 1.6.

Un constructeur d'avion cherche à obtenir la plus grande portance possible (pour maximiser la charge emportée) et la plus faible trainée possible (celle-ci s'oppose au mouvement de l'avion et augmente la consommation de carburant).

Deux relations jumelles permettent de calculer les valeurs de la portance et de la trainée (en newton-N) :

**$R_z = 1/2 \rho V^2 \cdot S \cdot C_z$     et     $R_x = 1/2 \rho V^2 \cdot S \cdot C_x$**



Avec :

- \*  $\rho$  = Masse volumique de l'air (en kg.m<sup>3</sup>)
- \*  $S$  = Surface alaire de l'avion (en m<sup>2</sup>)
- \*  $V$  = Vitesse de l'avion par rapport à l'air (en m.s)
- \*  $C_z$  = Coefficient de portance (sans unité) : dépend du profil et de l'angle d'incidence,)
- \*  $C_x$  = Coefficient de trainée (sans unité) : dépend du profil et de l'angle d'incidence)

$\rho$  diminue avec l'altitude → portance et trainée diminuent avec l'altitude.

Quand on double la vitesse, on multiplie par 4 portance et trainée.

Figure 1.7.

**La Portance ainsi que la Trainée varient avec l'incidence du profil.**

Pour un avion de transport civil :

- En croisière            →  $C_z \approx 0,5$   
                                  →  $C_x \approx 0,025$
  
- A l'atterrissage        →  $C_z \approx 2,5$   
                                  →  $C_x \approx 0,2$

### F. Foyer

Le foyer est le point du profil où s'appliquent les variations de portance dues à une variation d'incidence. C'est un point fixe.

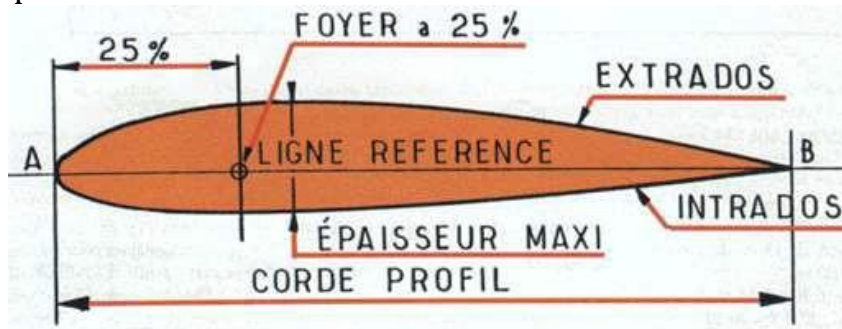


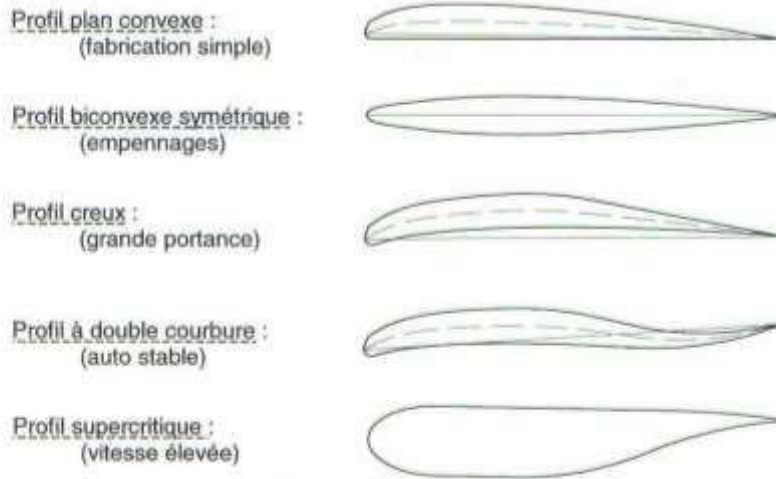
Figure 1.8.

En subsonique, F est situé derrière le bord d'attaque, à une distance correspondant à environ 25% de la corde du profil.

### G. Exemples de profil

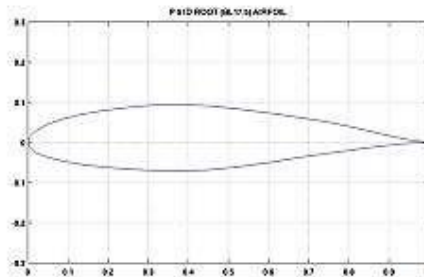
<p><b>Biconvexe symétrique</b>                  intrados extrados convexes symétriques par rapport à la corde.                  ligne moyenne rectiligne et confondue avec la corde.                  Faible trainée                  Utilisé pour les empennages verticaux et horizontaux, pour la voltige</p>	
<p><b>Biconvexe dissymétrique</b>                  courbure de l'extrados plus accentuée que l'intrados.                  La ligne moyenne est à simple courbure ( intrados et extrados convexes )                  profils les plus employés pour avion de loisir.                  portance élevée, même avec une incidence faible,                  grande stabilité.                  permet de ne pas décrocher, même avec un angle d'incidence élevé.</p>	
<p><b>Plan creux</b>                  extrados convexe + intrados concave                  profils très porteurs à faible vitesse, mais trainée importante.                  type de profil très utilisé autrefois pour les planeurs                  La ligne moyenne est à simple courbure                  permet aussi un angle d'incidence avant décrochage le plus grand possible</p>	

Figure 1.9.



Figures 1.9.bis

Exemples de profils P51D

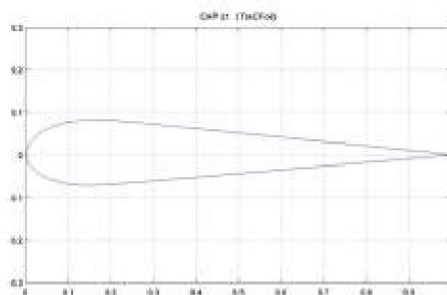


- Grand rayon d'action
- faible traînée à grande vitesse => écoulement laminaire étendue sur le profil d'aile.
- épaisseur maximale à la moitié de la corde => augmente le volume intérieur utile ; permet de loger armement + train d'atterrissage + carburant directement dans l'aile.
- moins de portance qu'un profil classique => montage de grands volets pour les basses vitesses.



Figure 1.10.

Exemples de profils CAP21



- Avion de Voltige
- Profil biconvexe quasi-symétrique => bonne portance en vol dos + faible traînée



Figure 1.11.



## II. Etude de la polaire

### A. Etude du coefficient de portance

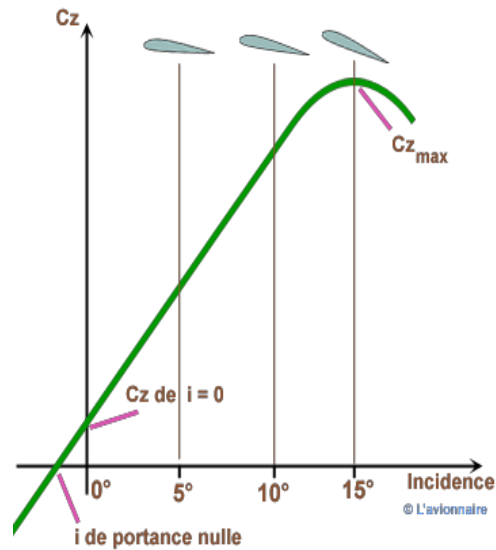


Figure 1.12.

Le coefficient de portance,  $C_z$ , augmente régulièrement avec l'incidence et atteint une valeur maximale (notée  $C_{z_{max}}$ ) puis chute brutalement : c'est le décrochage.

### B. Le décrochage

En raison de la viscosité de l'air, les forces de frottements sont concentrées dans une couche très fine (de l'ordre de grandeur du millimètre) appelée couche limite.

Celle-ci est d'abord **laminaire** (les particules suivent des trajectoires parallèles entre elles) puis **turbulent** après la transition (la couche limite s'épaissit et les trajectoires des particules fluctuent).

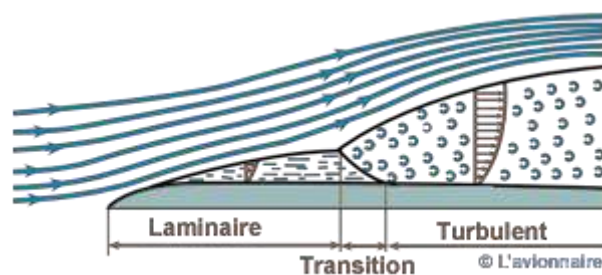
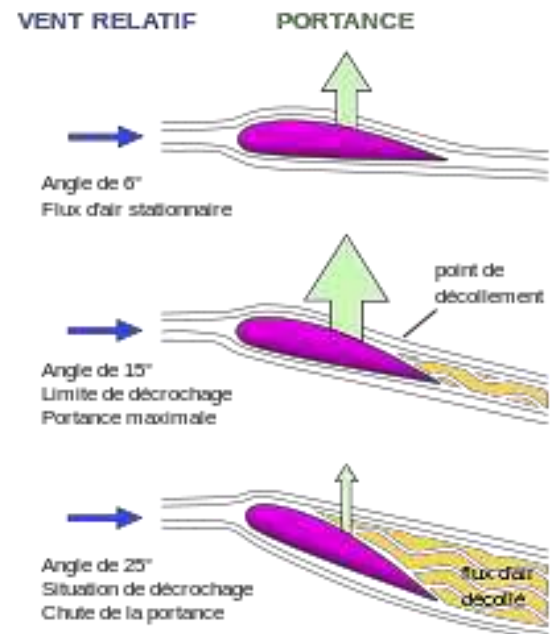


Figure 1.13

Si l'on incline l'aile au-delà d'un certain angle d'incidence, environ de  $15^\circ$ , l'écoulement de l'air devient **tourbillonnaire** (ou **décollé**) sur l'extrados car les filets n'ont plus suffisamment d'énergie pour coller au profil de l'aile.

### Résultat :

Une diminution rapide et importante de la portance (et une augmentation de la traînée)



F  
Figure 1.14.

Le décrochage se traduit alors par un avancement du centre de poussée (CP) et donc une abattée (basculement de l'avion vers l'avant). Si le décrochage est dissymétrique (il n'apparaît que sur une aile), alors il y a mise en vrille.

L'approche du décrochage se traduit par des **vibrations** dans le manche (buffet) car la gouverne de profondeur est située dans l'écoulement tourbillonnaire.

Il existe des **avertisseurs sonores de décrochage** (un capteur mesure directement l'incidence de l'aile et signale le dépassement de la valeur admissible).

## C. Etude du coefficient de traînée

3 phénomènes contribuent à la traînée :

- La traînée induite
- La traînée de frottement
- La traînée de profil.

## 1. Trainée induite

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

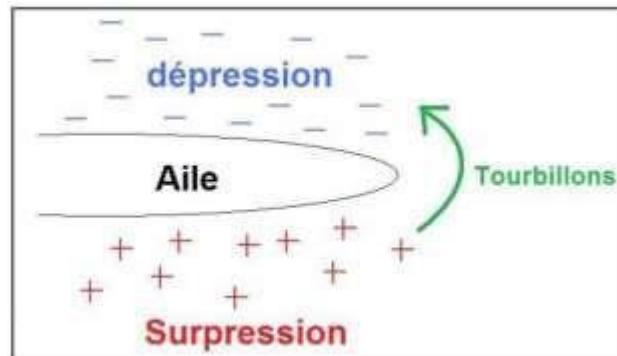


Figure 1.15.

Cet enroulement intrados/extrados de l'air forme alors des **tourbillons marginaux**, ainsi qu'une **turbulence de sillage**.




Figure 1.16.

La trainée induite est due aux tourbillons marginaux, qui modifient localement l'incidence. Elle augmente avec le carré de la portance et diminue lorsque l'allongement de la voilure augmente.

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



Figure 1.17.

 Cap sur l'environnement

En réduisant la traînée induite, les winglets améliorent à la fois les performances aérodynamiques de l'appareil et son **impact environnemental**.

→ Étude de cas : Le Boeing 737

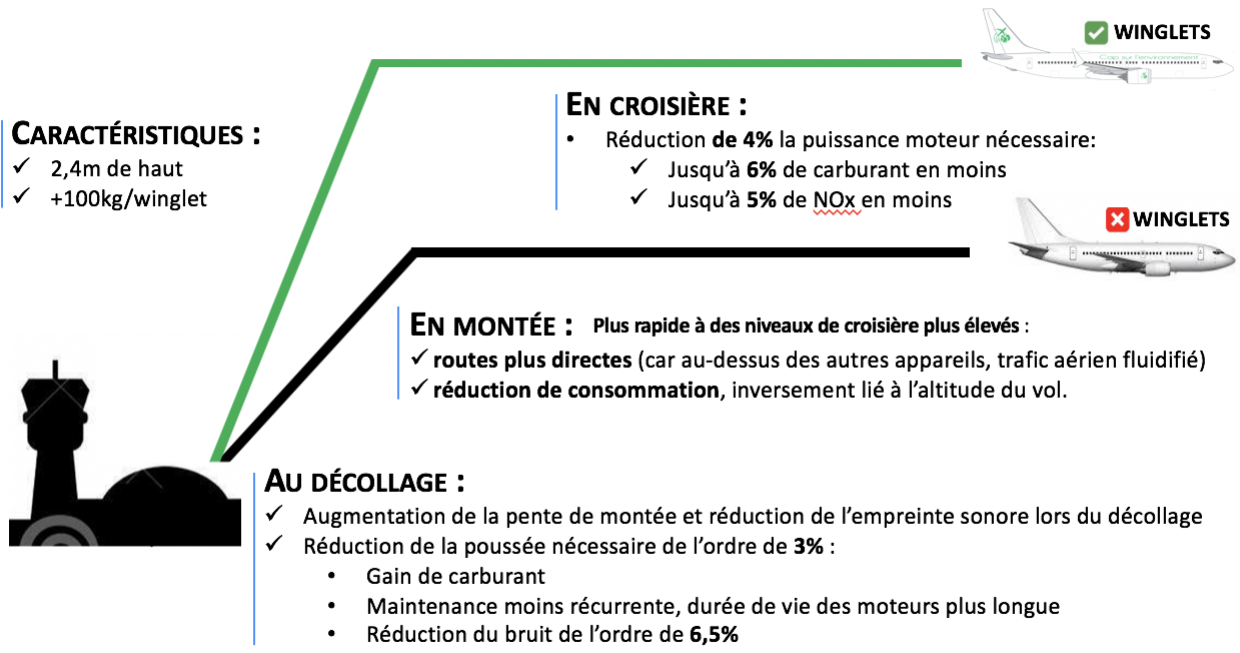


Figure 1.18.

**2. Trainée de frottement**

Elle a pour origine les frottements visqueux entre l'écoulement et la surface de la voilure, au sein de la couche limite. Elle peut augmenter notablement si l'état de surface de l'aile se dégrade (salissures, givre, ...) et réduire ainsi les performances de l'avion.

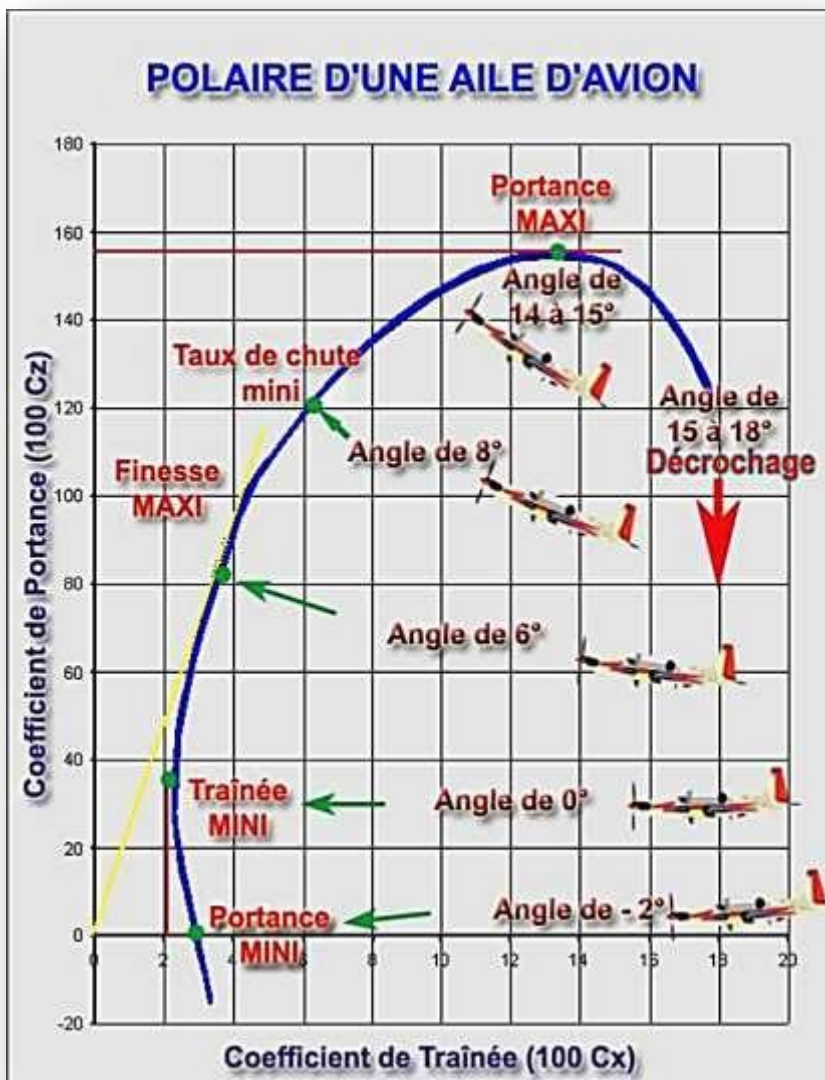
Il est essentiel sur un planeur de veiller à la propreté de l'aile.

**3. Trainée de profil**

Cette dernière composante a pour origine l'apparition d'un décollement de l'écoulement sur l'extrados et d'une zone tourbillonnaire. La trainée de profil augmente donc fortement lorsqu'on s'approche du décrochage.

**D. La polaire d'une aile**

C'est la courbe qui représente l'évolution de la résultante aérodynamique.



Elle donne les valeurs du coefficient de portance Cz en fonction de celles du coefficient de trainée Cx pour un angle d'incidence donné. En pratique, on représente 100 Cx pour dilater la courbe.

C'est une « carte d'identité » aérodynamique de l'aile qui indique ses caractéristiques.

**Les points caractéristiques d'une polaire sont :**

- A : Portance nulle
- B : Trainée minimale
- C : Finesse maximale (Cz/Cx maxi)
- D : Portance maximale
- E : Décrochage

Figure 1.19.

A noter : La polaire de l'avion complet inclut les contributions du fuselage, des empennages et du train d'atterrissage à la portance et surtout à la traînée.

### E. La finesse

Par définition, la finesse  $f$  est le rapport :  $f = C_z / C_x$

Plus ce nombre est élevé, plus cette aile porte bien, pour une traînée minimale.

Il existe un angle d'incidence pour laquelle la finesse est maximale.

Pour un avion de tourisme : la finesse maximale est de **10**

Pour un avion de transport civil moderne : elle est de **22**

Pour un planeur : elle est de **40** voire de **70** pour les plus performants, grâce à l'allongement très important de l'aile et l'absence de rugosités sur celle-ci.

Le point de finesse maximale joue un rôle important :

- Il permet de maximiser le rayon d'action pour un avion à hélice
- Il permet de maximiser l'autonomie et la pente de montée pour un avion à réaction

Pour un aéronef non motorisé ou en panne moteur et **en l'absence de vent**, on a :

$$\text{Finesse} = \frac{\text{Distance Horizontale}}{\text{Distance Verticale}} = \frac{\text{Vitesse horizontale}}{\text{Vitesse verticale}} = \frac{\text{Portance}}{\text{Trainée}} = \frac{C_z}{C_x}$$

La finesse représente donc « *combien de fois* » un aéronef peut parcourir sa hauteur. Un vent de face sera défavorable, un vent arrière favorable.

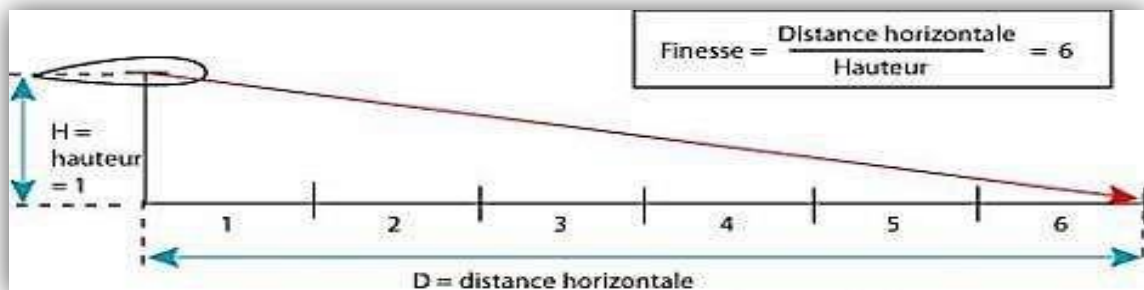


Figure 1.21.

### III. Caractéristiques d'une voilure

#### A. Caractéristiques géométriques

➤ **Envergure** : Distance entre les extrémités des deux ailes, notée **2b**

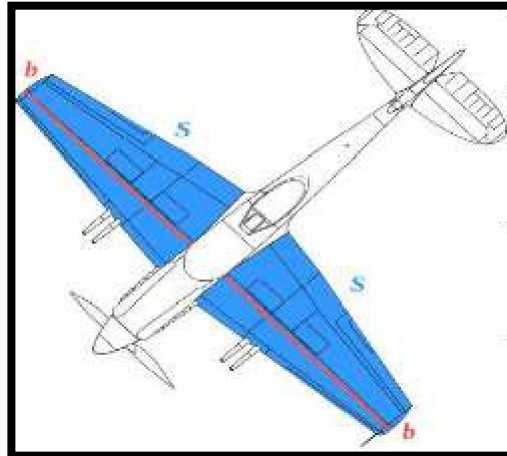


Figure 1.22.

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

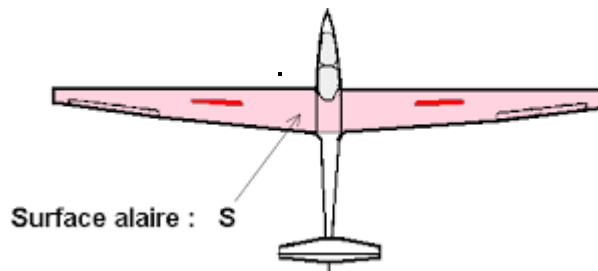


Figure 1.23.

➤ **Allongement** : Grandeur sans unité, notée **A**

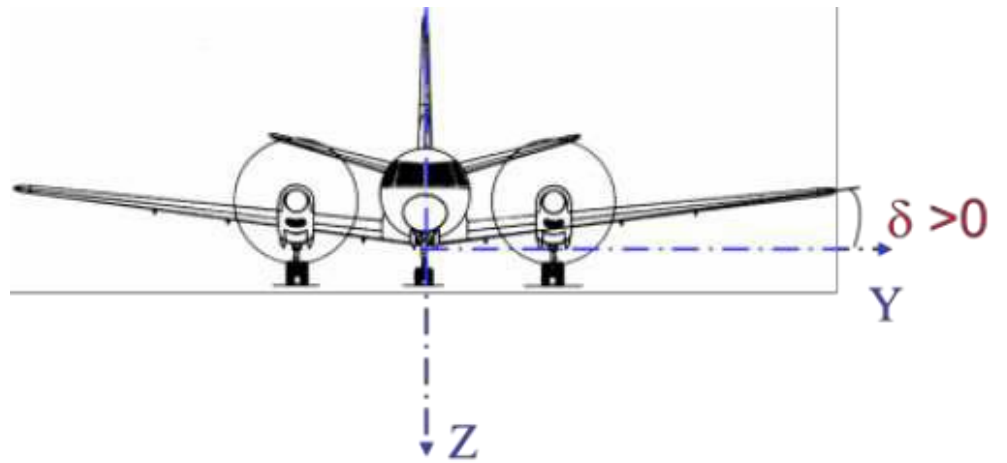
$$A = \frac{2b}{C_{moy}} = \frac{\textit{envergure}}{\textit{corde moyenne}} = \frac{\textit{envergure}^2}{\textit{surface alaire}}$$

**A** vaut environ :

- 5 pour un avion de combat
- 10 pour un avion de transport
- 25 pour un planeur.

**Dièdre**

Figure 1.24.



**Flèche**

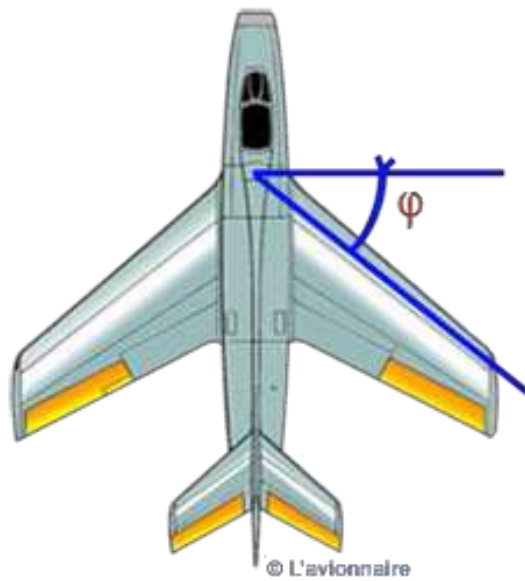


Figure 1.25.



## B. Becs et volets

Le décollage et l'atterrissage se font par nécessité à vitesse réduite. Pour conserver une portance suffisante, il est nécessaire d'augmenter  $C_z$  (c'est le rôle des **volets**) et de retarder au maximum le décrochage (c'est le rôle des **becs**). Becs et volets constituent les dispositifs **hypersustentateurs**.

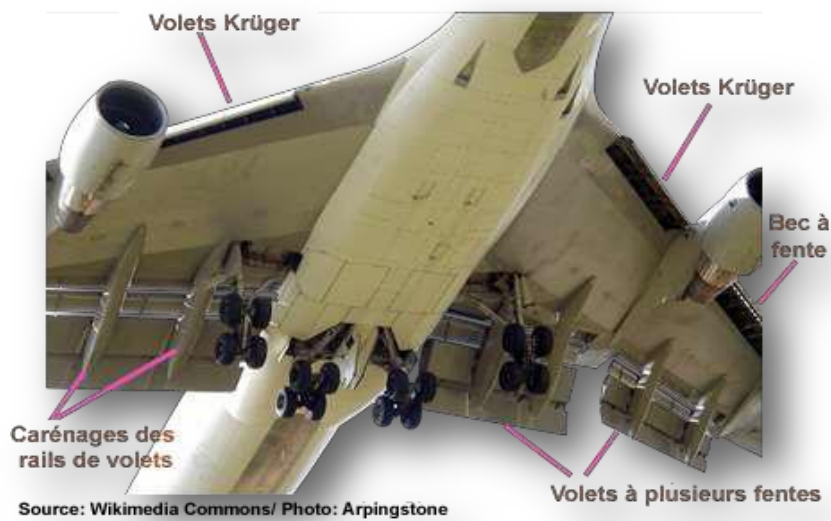


Figure 1.26.

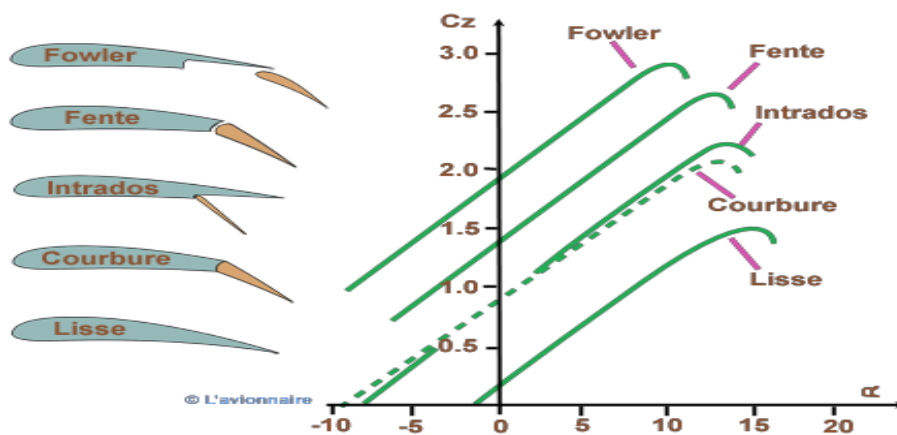
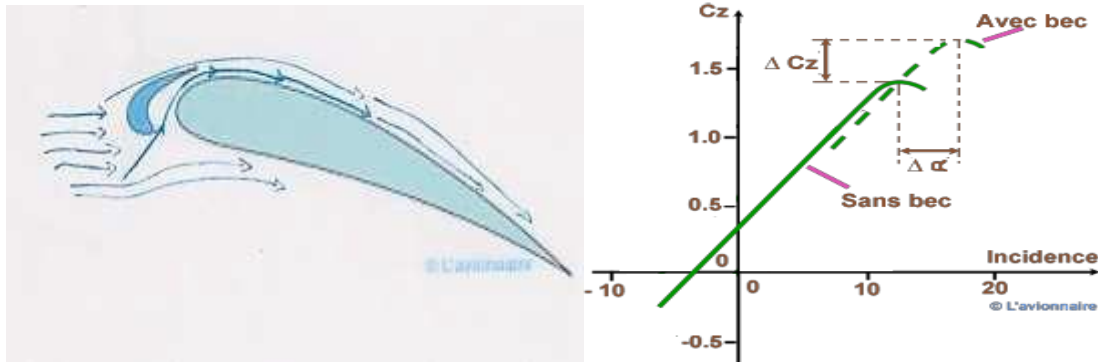


Figure 1.27.

A noter que les volets augmentent également la surface alaire.



Figures 1.28 et 1.29.

Les bords de fuite permettent de redonner de l'énergie à l'écoulement sur l'extrados et ainsi de repousser l'angle d'incidence du décrochage.

Les dispositifs hypersustentateurs augmentent la traînée et dégradent la finesse et donc la vitesse de montée. C'est pourquoi on ne braque pas entièrement les volets lors du décollage.

### Cap sur l'environnement

En fonction des caractéristiques de la piste utilisée et de l'environnement aéroportuaire, les pilotes ont la possibilité lors des phases de décollage et d'atterrissage de diminuer le braquage des volets afin de générer le moins de traînée possible. Les effets sont les suivants :

- Au décollage : meilleures pentes de montée, donc moins de nuisance sonore et un niveau de croisière atteint plus rapidement
- A l'atterrissage : moins de traînée, donc moins de consommation de carburant

→ **Un exemple concret** : lors de leurs arrivées à Roissy, les pistes étant longues, beaucoup de pilotes utilisent des braquages de volets plus faibles que d'habitude. Sur un Boeing 777, l'utilisation des volets 25 au lieu de 30 permet d'économiser jusqu'à 50 kg de carburant.

**Attention** : il faut toutefois garder en tête que l'utilisation d'un cran de volet inhabituel entraîne un changement d'assiette lors de l'atterrissage. Cela peut être déstabilisant pour un pilote, surtout **s'il n'a pas volé depuis longtemps**. Ainsi, l'application de cette procédure ne doit se faire que si le pilote s'en sent parfaitement capable compte tenu des conditions du jour (état physique, psychologique, météo...) : **l'économie de carburant ne doit en aucun cas primer sur la sécurité du vol !!!**

## C. Autres dispositifs

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

En vol, ils permettent de diminuer la vitesse et d'augmenter le taux de chute (en diminuant la finesse).

Au sol, ils contribuent au freinage afin de diminuer la longueur de roulage sur la piste.



Figure 1.30.

**Les Spoilers** sont des panneaux d'extrados qui sont utilisés symétriquement en fonction Aérofrein ou dissymétriquement en fonction Gauchissement (destruction de la portance sur l'aile intérieure du virage).

### Cap sur l'environnement

En ce qui concerne les moyens de freinage de l'avion au sol, il en existe trois types : **freins, aérofreins et « reverses »**. Les reverses consistent à inverser la poussée des moteurs : c'est un moyen de freinage extrêmement efficace mais très coûteux en kérosène. Ainsi, lorsque la longueur de piste le permet, il est possible de n'utiliser que les freins et aérofreins pour ralentir l'avion.

**→ Un exemple concret :** sur un Boeing 777, cette opération permet d'économiser **jusqu'à 80 kg de kérosène** : c'est beaucoup, surtout pour une opération si brève (de l'ordre de la minute) !

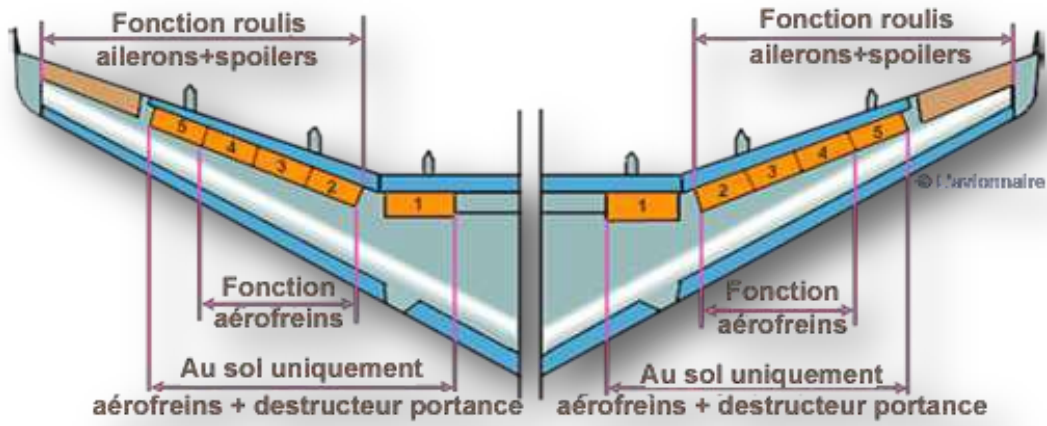


Figure 1.31.

## Partie 2 : Etude du vol stabilisé :

### I. Les forces en jeu

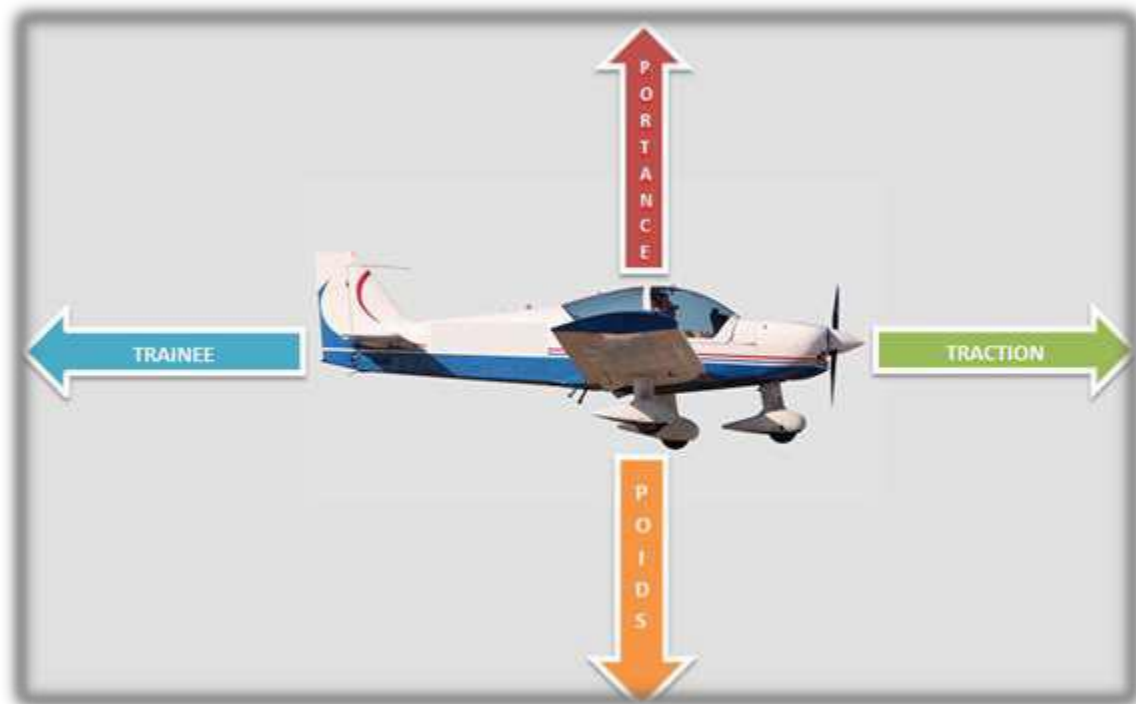


Figure 1.32.

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

Ces forces évoluent selon les phases de vol :

**A. En palier**

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



Figure 1.33.

**B. En montée**

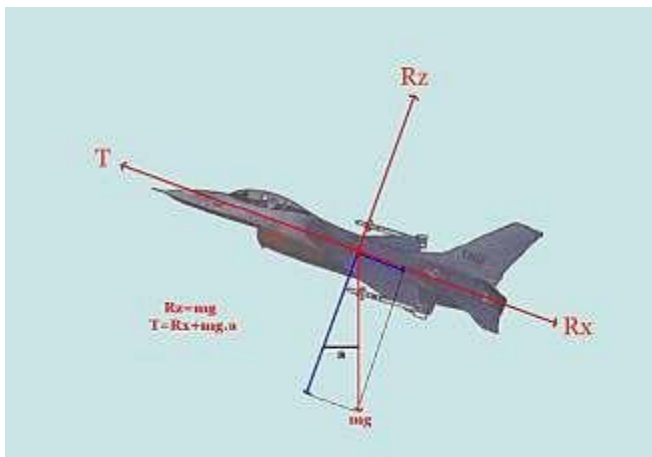


Figure 1.34.

La portance équilibre la grande  
composante du poids.

La traction équilibre la traînée + la petite  
composante du poids

La traction doit être **plus importante**  
qu'en palier.

**C. En descente**

La portance équilibre la grande composante  
du poids.

La traction + la petite composante du poids  
équilibrent la traînée.

La traction doit donc être **moins importante**  
qu'en palier.

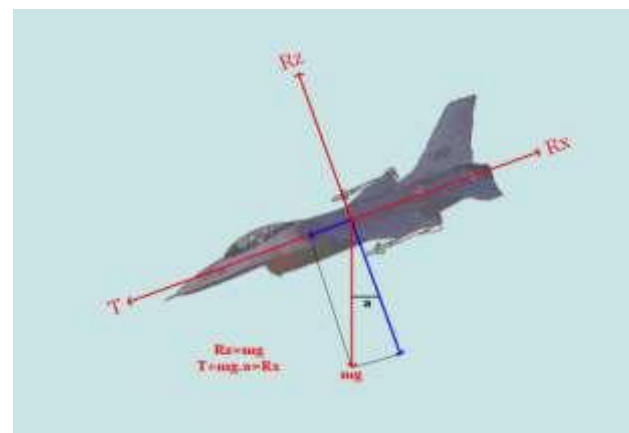


Figure 1.35.

Dans le cas du planeur  $T=0$ . La pente de descente est alors égale à la fines

## II. Tangage-Roulis-Lacet

Pour diriger l'avion : on utilise les efforts aérodynamiques créés sur de petites surfaces que l'on appelle **Gouvernes**.

Ceci va permettre de provoquer des rotations sur 3 axes de l'avion :

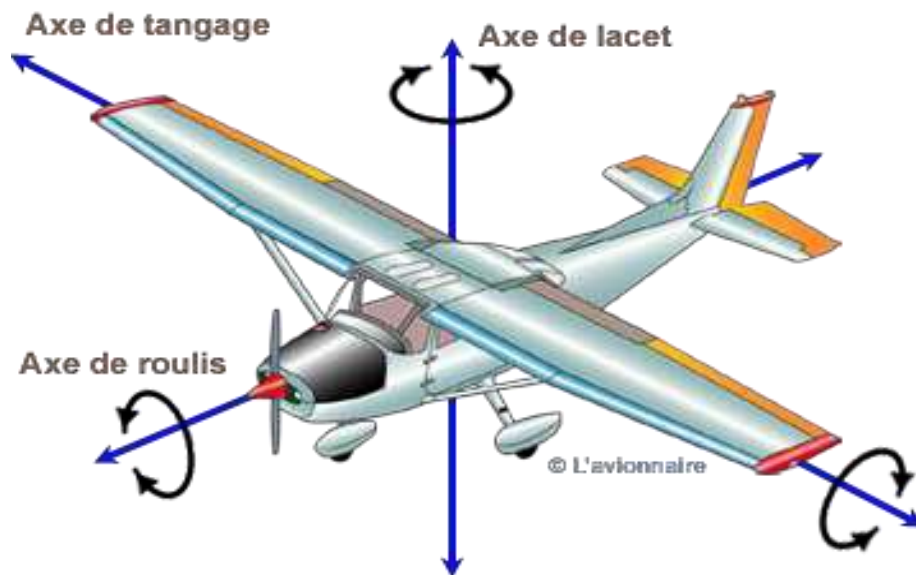


Figure 1.36.

### A. L'Axe de Tangage

*Déplacement du manche d'avant en arrière.*

- Pousser le manche vers l'avant fait descendre la **gouverne de profondeur** qui porte davantage.

De ce fait, l'avion pique.

- Tirer le manche vers l'arrière fait monter la **gouverne de profondeur** qui porte moins.

De ce fait, l'avion cabre.

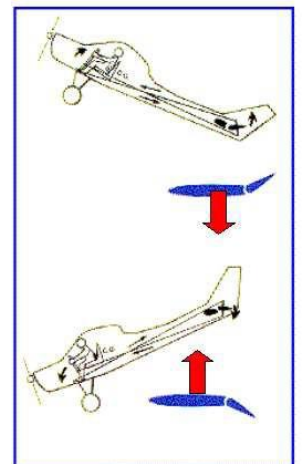


Figure 1.37.



Figure 1.38.

NB : sur une configuration canard, tout est inversé.

### 1. Stabilité

L'avion est **stable** si en cas de perturbation (une rafale verticale de vent par exemple), il revient de lui-même à l'équilibre.

Pour cela, il faut que le foyer avion F soit situé en arrière du centre de gravité de l'avion.

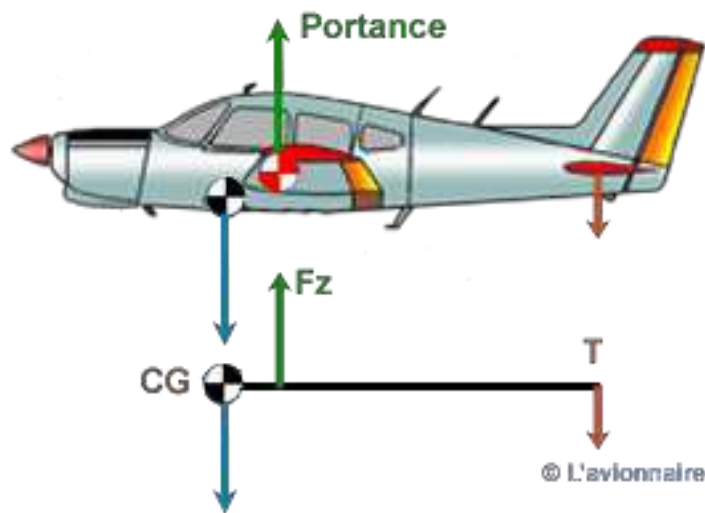


Figure 1.39.

Rafale => Incidence ↗ => Portance ↗ => Moment piqueur => Incidence ↘

Dans le cas contraire, l'avion pique encore plus du nez et c'est le décrochage !

Le foyer de l'avion est situé un peu en arrière du foyer de la voilure principale, du fait de la contribution de l'empennage horizontal.



## 2. Centrage

Le Centre de Gravité (CG) d'un avion n'est pas fixe, il dépend notamment du plan de chargement et de la consommation d'essence durant le vol, il faut donc établir un calcul de chargement pour équilibrer l'avion en vol.

**La règle absolue de la stabilité est que CG doit toujours être en avant de F !**

La distance FG est appelée **marge statique**, elle doit toujours être supérieure à 5% de la corde moyenne (limite de centrage arrière).

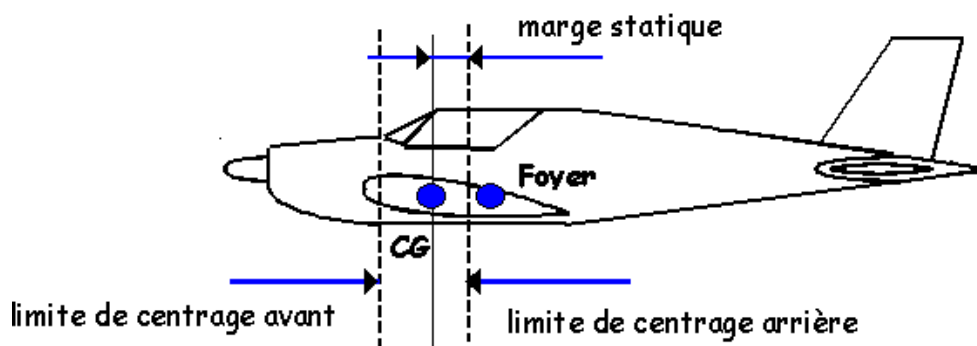


Figure 1.40.

Plus G est en avant de F (centrage avant), plus l'avion est **stable** mais moins il est **manié** (il réagit plus lentement aux commandes) et **manœuvrable** (les efforts au manche sont plus importants).

De plus, la déportance de l'empennage peut être trop importante (risque d'atteindre la butée, augmentation de la traînée de l'empennage et par conséquent une consommation d'essence ou de kérosène importante).

	Zone avant de la plage	Zone arrière de la plage
<b>Stabilité</b>	<b>AUGMENTE</b>	<b>DIMINUE</b>
<b>Manœuvrabilité</b>	<b>DIMINUE</b>	<b>AUGMENTE</b>
<b>Braquage de la gouverne de profondeur</b>	<b>PLUS IMPORTANT</b>	<b>MOINS IMPORTANT</b>
<b>Traînée</b>	<b>AUGMENTE</b>	<b>DIMINUE</b>
<b>Consommation</b>	<b>AUGMENTE</b>	<b>DIMINUE</b>

Certains planeurs sont pourvus de réservoirs d'eau (water-ballast) qui permettent de déplacer le centre de gravité en cours de vol.

**NB** : Les avions de chasse sont instables pour être plus maniables, mais les commandes de vol électriques corrigent en temps réel (vous le faites aussi inconsciemment sur votre vélo qui est instable en roulis).

## Cap sur l'environnement

Le centrage d'un avion et sa consommation de carburant sont étroitement liés. La réduction de consommation est souvent faite de compromis, comme nous l'expliquons ci-dessous :

Plus le centre de gravité est situé vers **l'avant** de l'appareil, plus le bras de levier sera important, et **plus la traînée générée par la gouverne de profondeur sera importante**. En conséquence, **la consommation de carburant est élevée**.

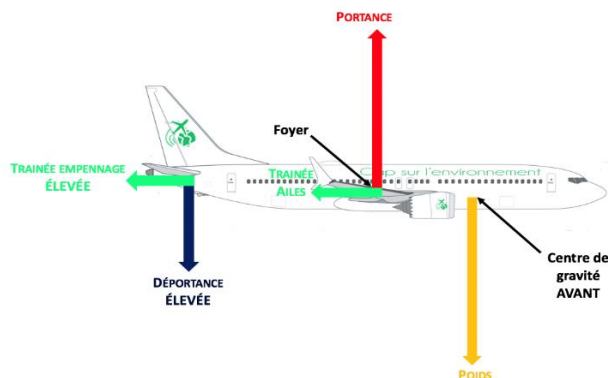


Figure 1.41.

A l'inverse, plus le centre de gravité est situé vers **l'arrière** de l'appareil, plus le bras de levier sera faible, et **plus la traînée générée par la gouverne de profondeur sera réduite**. En conséquence, **la consommation de carburant est basse**.

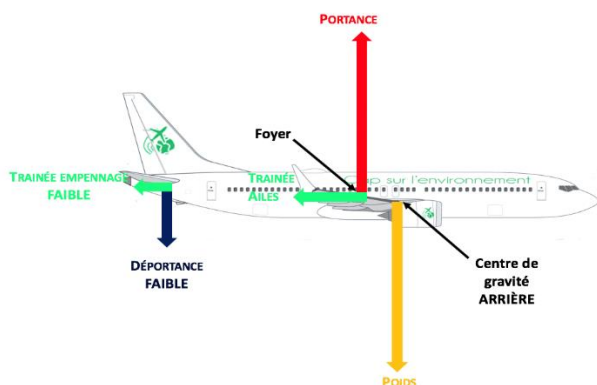


Figure 1.42.

**Ainsi, on a tout intérêt à optimiser le chargement de l'avion afin d'obtenir un centrage le plus arrière possible - en restant bien-sûr dans la plage de centrage autorisée afin de respecter les conditions de stabilité de l'appareil - !**

3. Assiette, pente, incidence



Figure 1.43.

**assiette = pente + incidence**

L'incidence de l'avion est différente de celle de l'aile du fait du calage non nul de cette dernière.

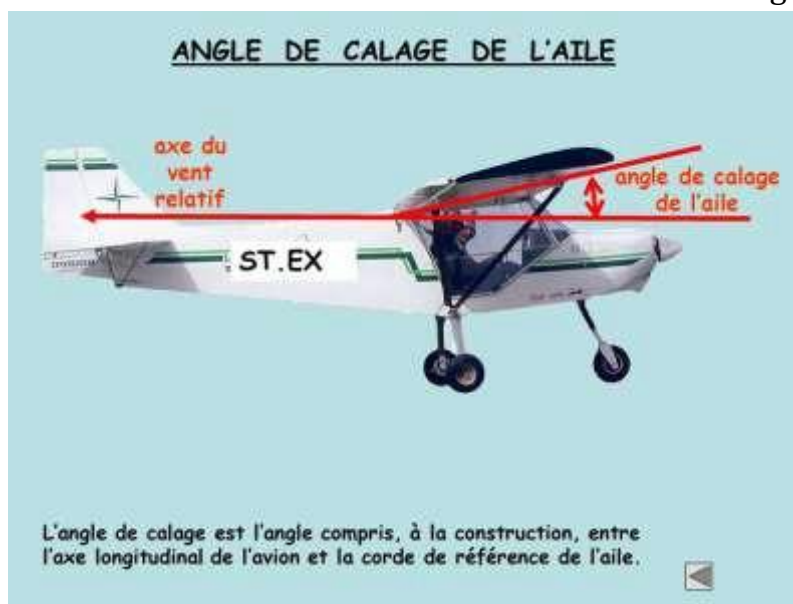


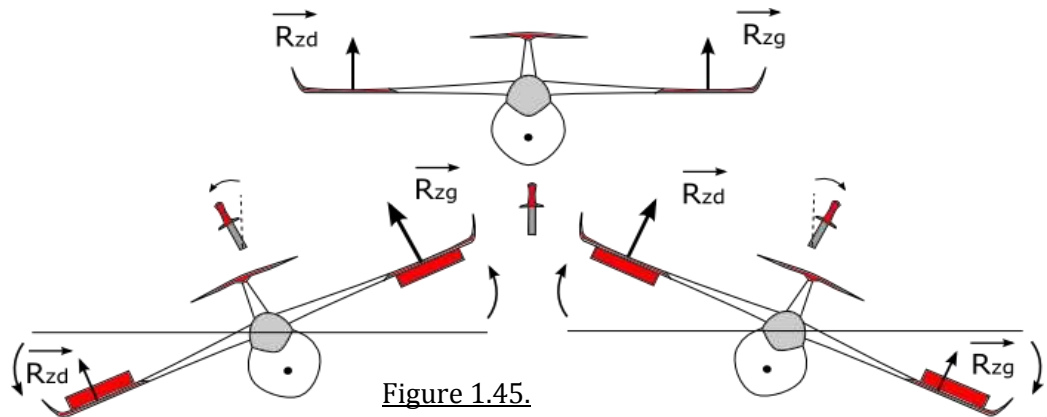
Figure 1.44.

L'objectif est de voler en croisière avec une assiette presque nulle (pour le confort des passagers et du personnel navigant mais aussi pour minimiser la traînée du fuselage) et d'avoir une portance non nulle au décollage (car l'assiette est nulle).

## B. L'Axe de Roulis

*Déplacement du manche de droite à gauche.*

### 1. Les ailerons



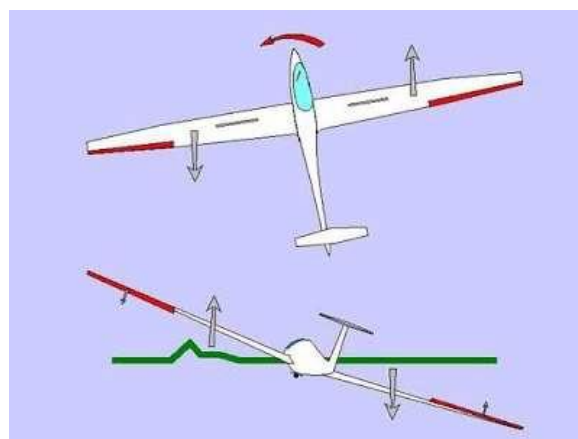
- Pousser le manche à gauche fait monter l'aileron gauche vers le haut et l'aileron droit vers le bas.

Alors la portance de l'aile gauche diminue et la portance de l'aile droite augmente.

Ceci provoque une inclinaison de l'avion vers la gauche.

### 2. Le lacet inverse

La portance de l'aile montante augmente donc sa traînée également, ce qui provoque une rotation autour de l'axe de lacet : le nez de l'appareil part à l'extérieur du virage.



*NB : Cet effet peut être annulé avec un braquage dissymétrique des ailerons ou en utilisant les spoilers comme gouverne de gauchissement.*

### 3. Stabilité

Un avion est stable en roulis si sous l'effet d'une perturbation (une rafale de vent latérale par exemple), cela génère un moment de roulis dans le sens opposé à la perturbation.

La stabilité en roulis dépend des facteurs suivants :

#### La flèche de la voilure

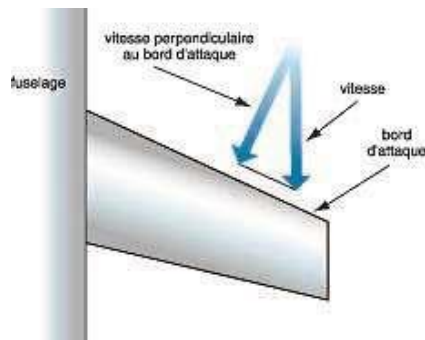


Figure 1.47.

En cas de vent latéral venant de la droite, l'aile droite verra une composante perpendiculaire au bord d'attaque plus importante que l'aile gauche et portera plus, d'où un mouvement de roulis vers la gauche.

#### Le dièdre de la voilure

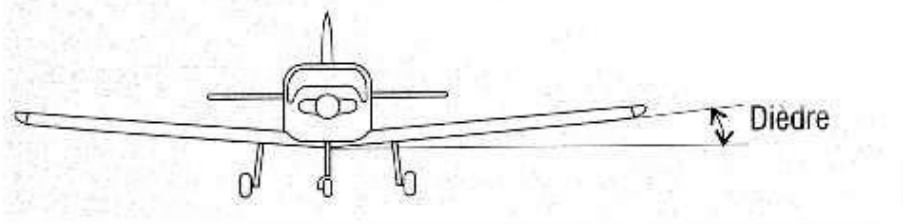


Figure 1.48.

Un vent venant de la droite aura tendance à soulever l'aile droite.

#### La position de l'aile par rapport au fuselage

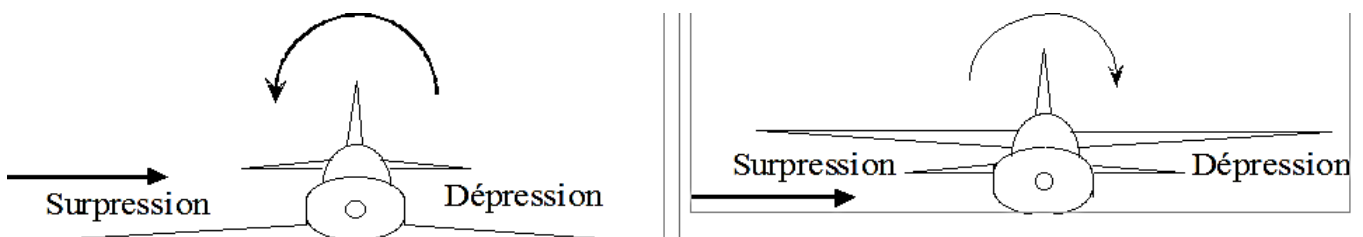


Figure 1.49.

C'est l'effet masque du fuselage qui génère une surpression du côté du vent. Le roulis engendré dépend de la position de l'aile.

Si la stabilité en roulis est trop importante, l'avion réagira trop lentement aux commandes. En général on associe la forme, la position et le dièdre de la manière suivante :

Type d'aile	Position	Dièdre
Droite	Haute	Environ nul
Droite	Basse	Positif
En flèche	Basse	Faiblement positif
En flèche	Haute	Fortement négatif

## C. L'axe de Lacet

*Manœuvre des palonniers (pédales).*

### 1. Les palonniers

- En appuyant sur le palonnier côté gauche, la gouverne de direction part vers la gauche.
- En appuyant le palonnier côté droite, la gouverne de direction part vers la droite.

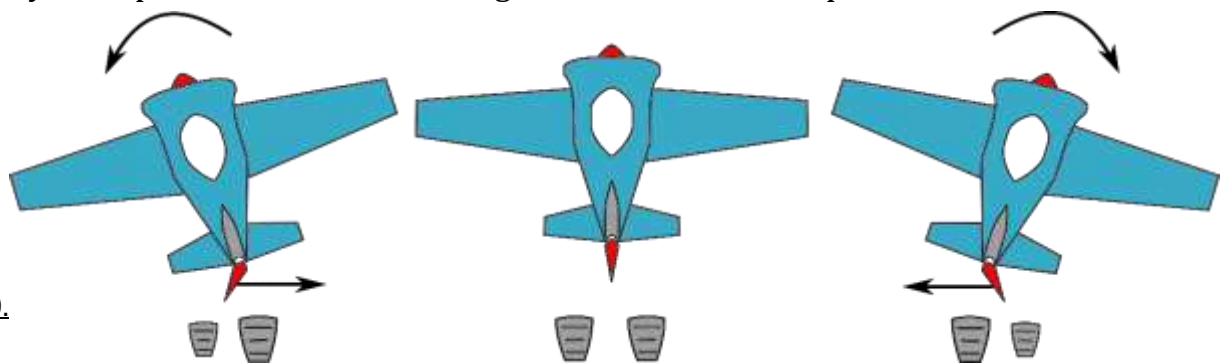


Figure 1.50.

➔ Cette action crée alors des forces aérodynamiques permettant de faire tourner l'avion autour de l'axe de Lacet.

**NB :** On ne peut pas sur un avion effectuer un virage à plat comme sur une automobile (du moins pas sur une durée et dans un espace raisonnable). Les forces aérodynamiques latérales sont trop faibles sur un avion moderne, 15% de la portance au plus). Il faut donc mettre du manche à droite ou à gauche et ainsi incliner la portance, créant une force latérale suffisante.

Lors du virage, il est nécessaire de « mettre du pied » du côté où l'on tourne afin de compenser le lacet inverse.

Donc :

- **Virage à droite** = Manche + Palonnier à droite
- **Virage à gauche** = Manche + Palonnier à gauche

En parallèle, il faut mettre un peu plus d'incidence pour compenser l'inclinaison de la portance et un peu plus de poussée pour compenser l'augmentation résultante de la traînée.

NB A vitesse donnée, le rayon du virage diminue lorsque l'inclinaison augmente.

A inclinaison donnée, le rayon du virage augmente avec le carré de la vitesse

## 2. Le lacet induit

Quand l'avion vire à gauche, l'aile droite parcourt un plus grand chemin et va plus vite. Elle porte donc davantage et ceci incline l'avion vers la gauche.

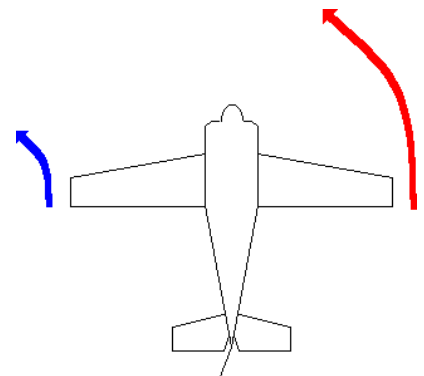


Figure 1.51.

## 3. Dérapage et stabilité

En cas de vent latéral en particulier, l'axe de l'avion n'est plus aligné avec la trajectoire. L'angle ainsi formé s'appelle **l'angle de dérapage** ou dérapage tout court. La traînée augmente fortement avec le dérapage.

La stabilité en lacet est assurée par la présence de la dérive, ou empennage vertical à l'arrière de l'appareil : **c'est l'effet girouette**. Le vent venant de la gauche sur la figure ci-dessus génère un effort latéral vers la droite qui remet l'axe de l'avion dans la direction du vent.

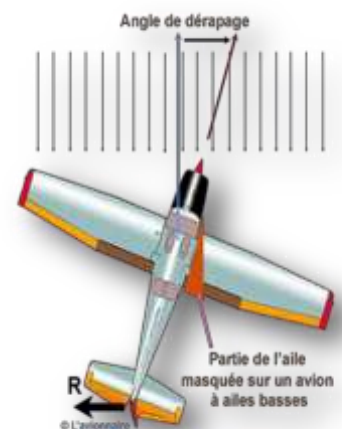


Figure 1.52.

### III. Le Facteur de charge

*Le facteur de charge = grandeur qui traduit l'effort appliqué à la structure de l'aéronef.*

Il correspond donc au rapport entre la charge totale supportée par la structure d'un appareil et le poids réel de cet appareil. Il est sans unité mais il s'exprime souvent en « g »

La plupart des avions légers peuvent supporter des facteurs de charge de + 4 à - 2

Les avions de voltige sont certifiés pour des facteurs de charge de + 6 à - 4

Ces valeurs sont des limites, qui figurent dans le manuel de vol de chaque avion.

#### A. En vol longitudinal

$$\text{Facteur de charge (vertical)} = \frac{\text{Poids apparent}}{\text{Poids réel (gravité)}} = \frac{\text{Portance}}{\text{Poids}}$$

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

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

- ✦ facteur de charge supérieur à 1 = sensation de tassement
- ✦ facteur de charge proche de 0 = sensation d'apesanteur (Ex : Avion Zéro G)
- ✦ facteur de charge négatif = sensation d'être projeté vers le haut



Figure 1.53.



### Facteur de charge en palier

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

### Facteur de charge en montée / descente rectiligne

La portance est inférieure au poids : le facteur de charge est inférieur à 1

### B. En virage symétrique

La portance doit augmenter pour équilibrer le poids et donc maintenir le vol en palier, c'est-à-dire à altitude constante.

*Ex : Lors d'un virage à 60°, le facteur de charge est égal à 2.*

*Cela signifie que l'appareil doit supporter deux fois le poids de l'avion, et les occupants ont la sensation de peser 2 fois leur poids.*

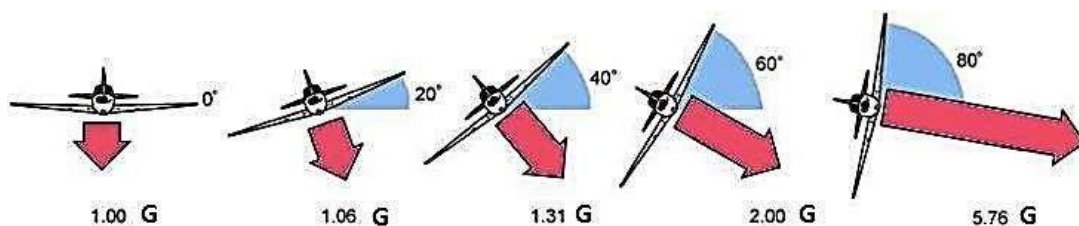


Figure 1.55.

### C. Facteur de charge et vitesse de décrochage

Dans tous les cas, l'avion doit voler au-dessus de la vitesse de décrochage, qui est une **vitesse minimale**.

La vitesse de décrochage varie également avec :

- La masse
- L'altitude
- La configuration de l'avion (train, volets)

## IV. Le décollage et l'atterrissage

### A. Le décollage

Le décollage se fait en 4 étapes :

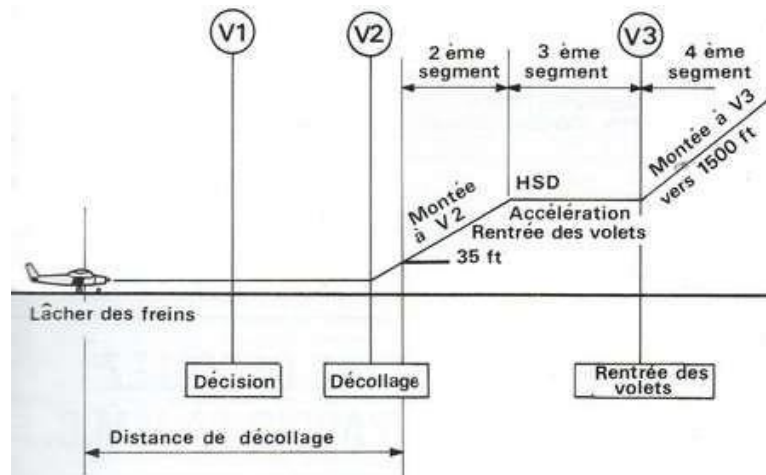


Figure 1.56.

1. Pendant la phase de roulement, l'avion accélère sur la piste afin d'atteindre une vitesse, lui permettant d'assurer sa sustentation par une portance suffisante.
2. Lorsque la vitesse de décollage est atteinte, le pilote effectue la rotation pour placer l'avion à l'assiette de montée.

Cela augmente la portance par augmentation de l'incidence.

3. L'avion quitte le sol et continue à accélérer vers sa vitesse de montée tout en prenant de l'altitude.
4. Le décollage se termine au **passage de la hauteur de 15 m (50 ft)** par rapport au sol pour les avions à hélice.

#### A SAVOIR :

Le décollage d'un avion se fait toujours face au vent pour décoller sur une distance plus courte.

L'utilisation des volets permet de diminuer la vitesse nécessaire au décollage.

**La longueur de décollage** augmente avec l'altitude et la température ainsi que la masse.

## B. L'atterrissage

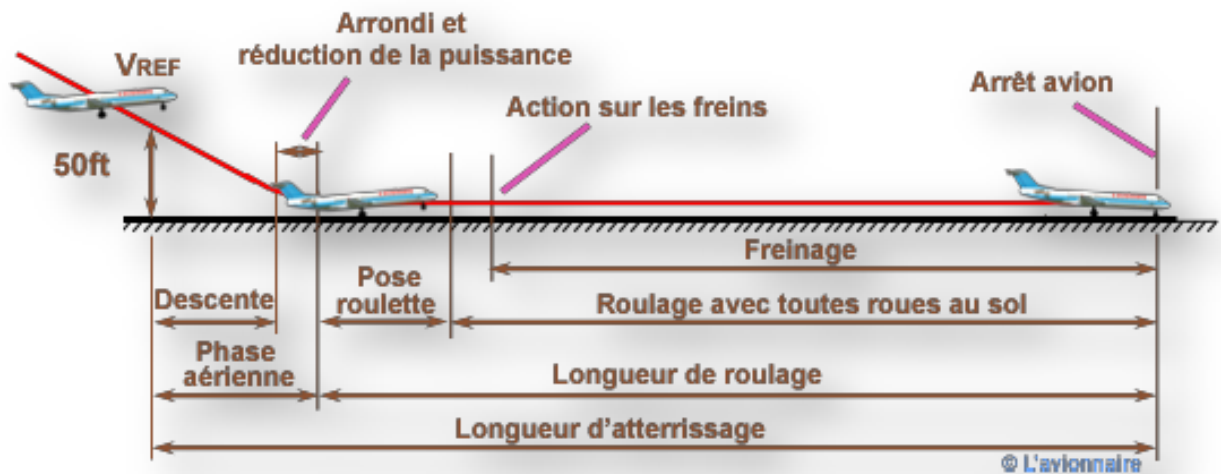


Figure 1.57.

L'atterrissage se fait en 5 étapes :

1. L'avion descend sur une pente finale stabilisée à la vitesse d'atterrissage.
2. Près du sol, le pilote « arrondit », c'est-à-dire qu'il cabre l'avion pour réduire la pente de descente afin de venir tangenter (toucher) le sol.
3. En même temps, il réduit complètement la puissance des moteurs. La vitesse décroît, ce qui réduit doucement la portance.
4. Le pilote relève le nez de l'avion pour que le train d'atterrissage principal prenne contact avec le sol en premier.
5. Enfin arrive la phase de décélération qui permet de réduire la vitesse sur la piste avant de se diriger vers le parking.

### A SAVOIR :

L'atterrissage d'un avion se fait face au vent pour atterrir sur une plus courte distance.

L'utilisation des pleins volets et des becs permet de réduire la vitesse d'approche.

La distance d'atterrissage augmente essentiellement avec l'altitude et la température.

## Partie 3 : Aérostation et vol spatial :

### I. L'aérostation

#### A. La poussée d'Archimède

« *Tout corps plongé dans un fluide (c'est-à-dire un liquide ou un gaz) subit une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du fluide déplacé* ».

Cette loi a été énoncée par le savant grec **Archimède** (287 – 212 av. J.C.)

La légende dit qu'il en prit brutalement conscience dans son bain, s'élançant alors dans la rue en criant « *Eurêka ! Eurêka !* »



Figure 1.58.

Si le corps est moins dense que le fluide, la poussée d'Archimède est supérieure au poids. Le corps monte.

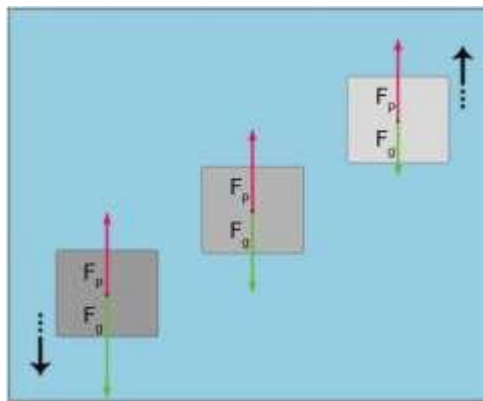


Figure 1.59.

**B. Les ballons à air chaud**

L'air chaud 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 du ballon et il s'élève.

La température est contrôlée par des brûleurs

**C. Les ballons à gaz**

Le dihydrogène et surtout l'hélium (non inflammable) sont moins denses que l'air.

**D. Contrôle de la trajectoire**

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

La masse volumique de l'air diminuant avec l'altitude, il existe une altitude maximale pour laquelle la poussée d'Archimède est égale au poids total du ballon.

Le mouvement horizontal se fait au gré des vents. La différence de vent à différentes altitudes permet un certain contrôle de la trajectoire.

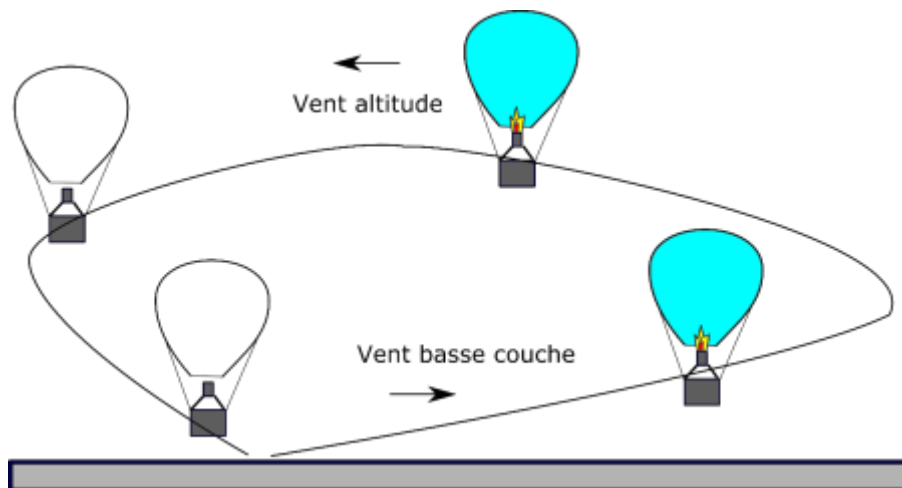


Figure 1.60.

## II. Le vol spatial

En ce qui concerne le vol spatial, il existe des contraintes liées à l'espace :

- 1) **Le vide** : pression nulle à l'extérieur d'une enceinte pressurisée → Conception des structures.
- 2) **L'absence d'air et donc d'oxygène** → Mode de propulsion spécifique (moteur de fusée)

### A. Trajectoire de lancement et mise en orbite

Pour lancer un projectile depuis la Terre, il est indispensable de lui donner une vitesse initiale pour contrer l'attraction terrestre.

Plus on augmente cette vitesse initiale et plus le mobile ira haut et loin.

Dans le cas de trajectoire au départ du sol, il faudrait une vitesse extrêmement élevée (plus de 7 km/s !) pour pouvoir mettre un satellite en orbite autour de la Terre.

La solution consiste à utiliser un lanceur qui fournit l'énergie nécessaire, et amène le satellite au point d'injection, à vitesse et à altitude prévues. Le satellite est alors mis en orbite basse circulaire autour de la Terre.

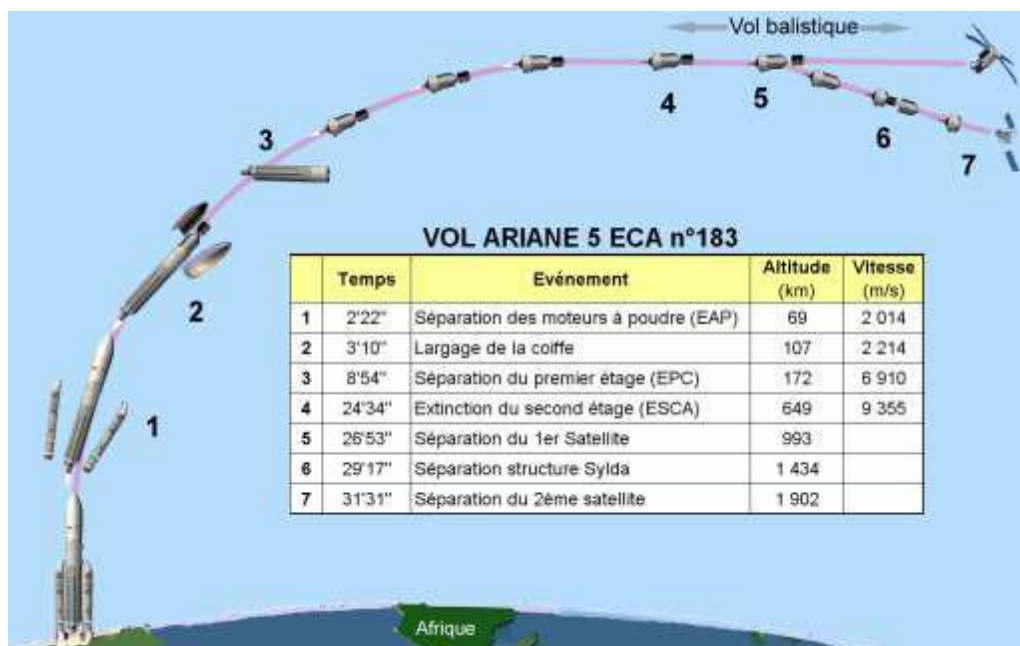


Figure 1.62.

Les propres moteurs du satellite (de faible puissance) permettent d'augmenter sa vitesse et de se positionner sur une orbite elliptique, ou orbite de transfert.

Dès que l'apogée<sup>1</sup> est atteinte, une nouvelle augmentation de vitesse permet de stabiliser le satellite sur l'orbite définitive.

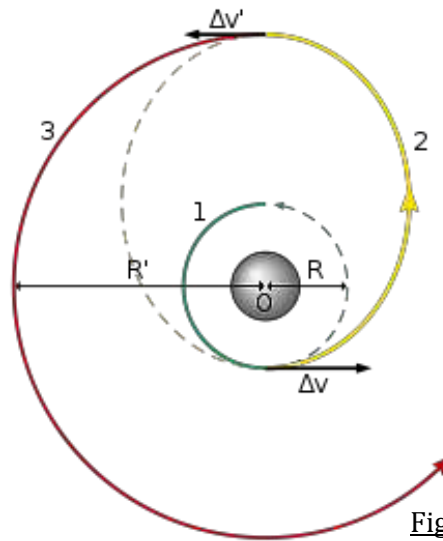


Figure 1.63.

L'apogée est le Point extrême de l'orbite elliptique d'un astre ou d'un corps céleste artificiel par rapport au centre de la Terre.

## B. Vol orbital et spatial

L'orbite d'un satellite dépend de sa mission :

- Un satellite de communication doit survoler en permanence la même région, il sera donc immobile par rapport à la Terre et décrira une orbite circulaire, dans le plan équatorial situé à environ 36000 km d'altitude.

C'est l'**orbite géostationnaire**.

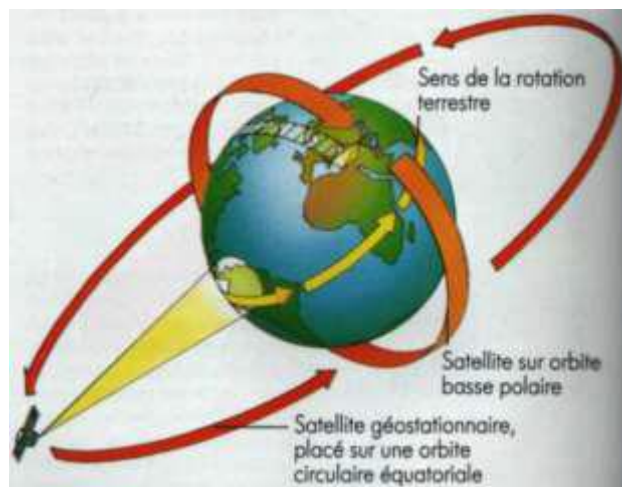


Figure 1.64.

- Un satellite d'observation (SPOT par exemple) doit survoler un site terrestre donné au cours d'orbites successives, dans les mêmes conditions d'éclairage. Ces orbites passent donc par les pôles à une altitude d'environ 820 km.

C'est l'**orbite héliosynchrone**.

Il existe des vitesses « remarquables » au point d'injection qui déterminent la nature de la trajectoire.

La vitesse minimale pour une trajectoire circulaire est de 7,75 km/s. Entre 7,75 et 11,2 km/s, la trajectoire est elliptique. Au-delà de 11,2 km/s (**vitesse de libération**), le satellite quitte l'attraction terrestre et devient une sonde spatiale.

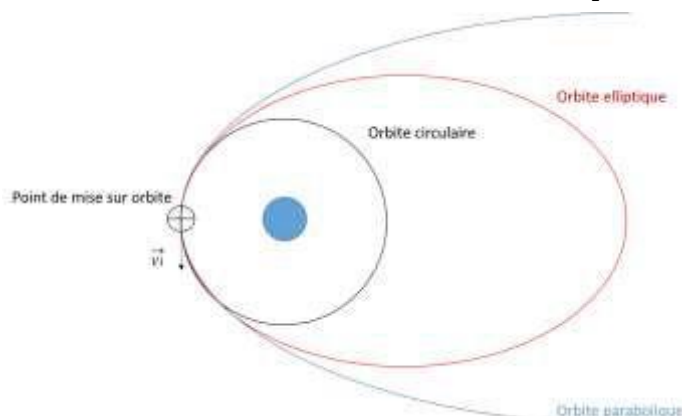


Figure 1.65.



# Complément : English vocabulary

## I. Aerodynamics

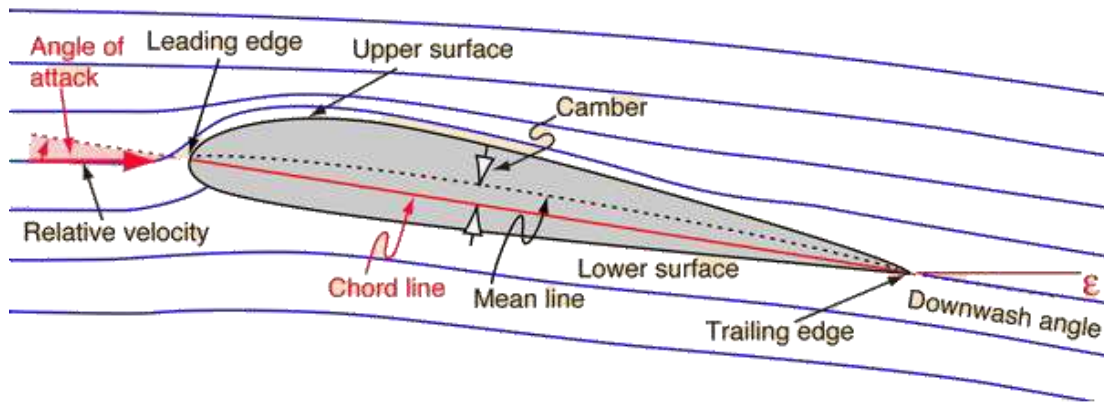
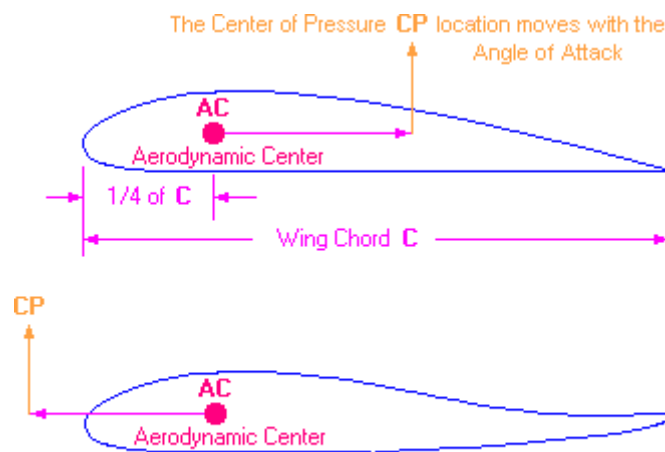


Figure 1.66.



Aircraft without stabiliser use a Reflexed Airfoil where CP may lie ahead of AC

Figure 1.67.

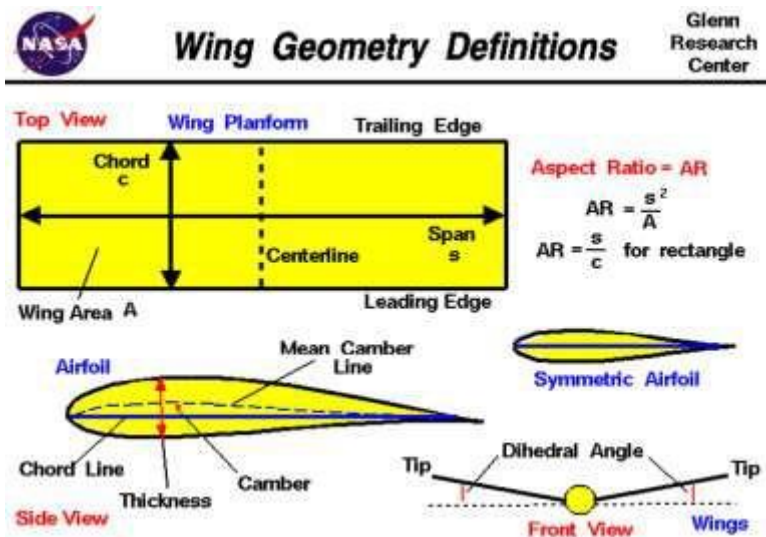


Figure 1.68.

Aerodynamics	
Allongement	Aspect Ratio
Angle D'incidence	Angle Of Attack
Angle De Dérapage	Sideslip Angle
Bord Attaque	Leading Edge
Bord De Fuite	Trailing Edge
Braquage	Deflection
Cambrure	Camber
Coefficient De Portance	Lift Coefficient $C_L$
Coefficient De Trainée	Drag Coefficient $C_D$
Corde Moyenne	Mean Camber Line
Décollement	Air Stream Separation
Décrochage	Stall
Ecoulement	Airflow
Extrados	Upper Wing Surface
Finesse	Efficiency, Lift To Drag Ratio
Foyer	Aerodynamic Center
Intrados	Lower Wing Surface
Polaire	Polar Curve
Portance	Lift
Profil	Airfoil
Tourbillon Marginal	Wing Tip Vortex
Trainée	Drag
Trainée Induite	Induced Drag

## II. Mechanics of flight

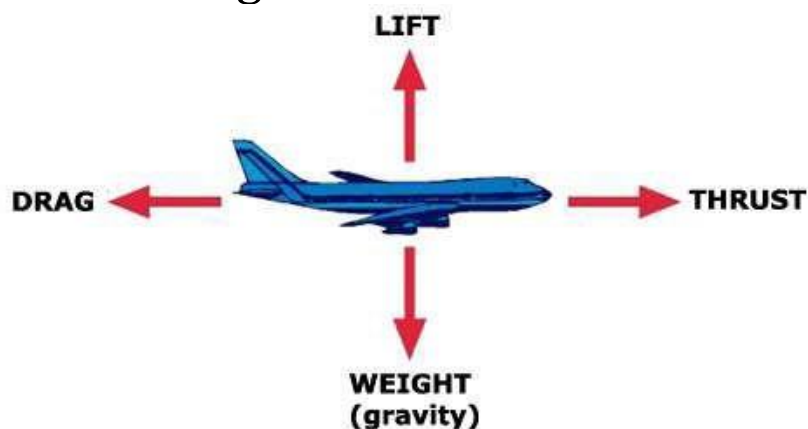


Figure 1.69.

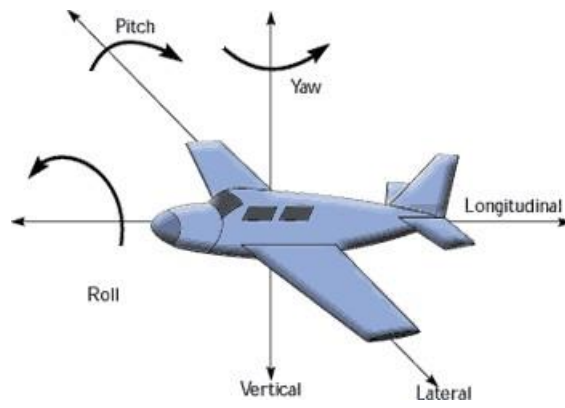


Figure 1.70.

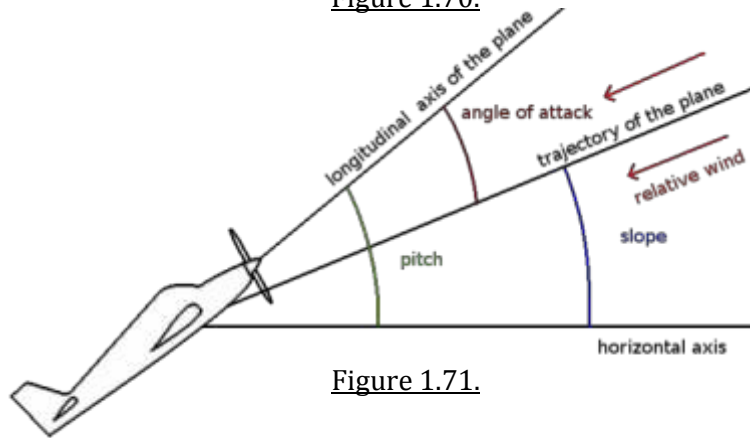


Figure 1.71.

Pitch movement control

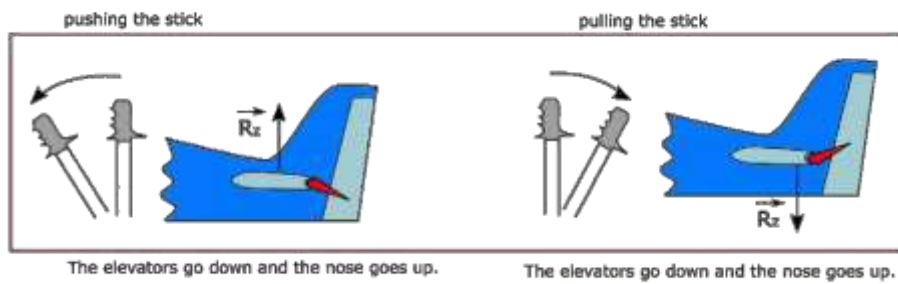


Figure 1.72.

Yaw movement control

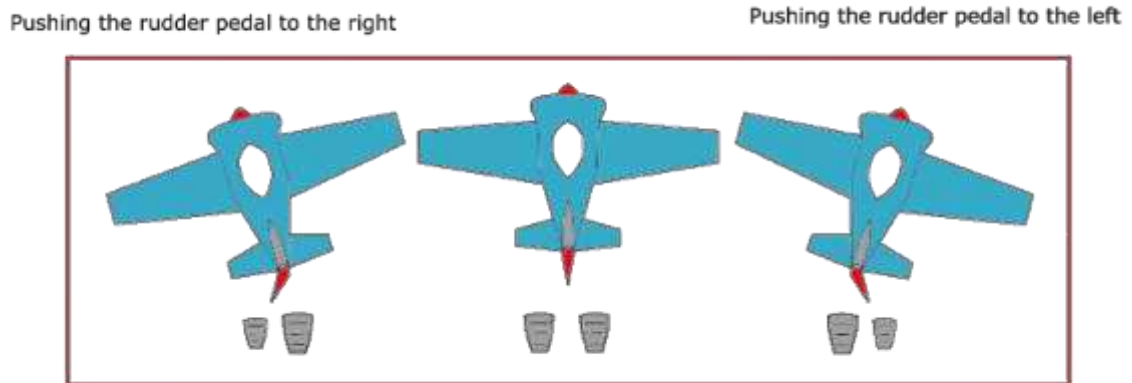


Figure 1.73.

Roll movement control

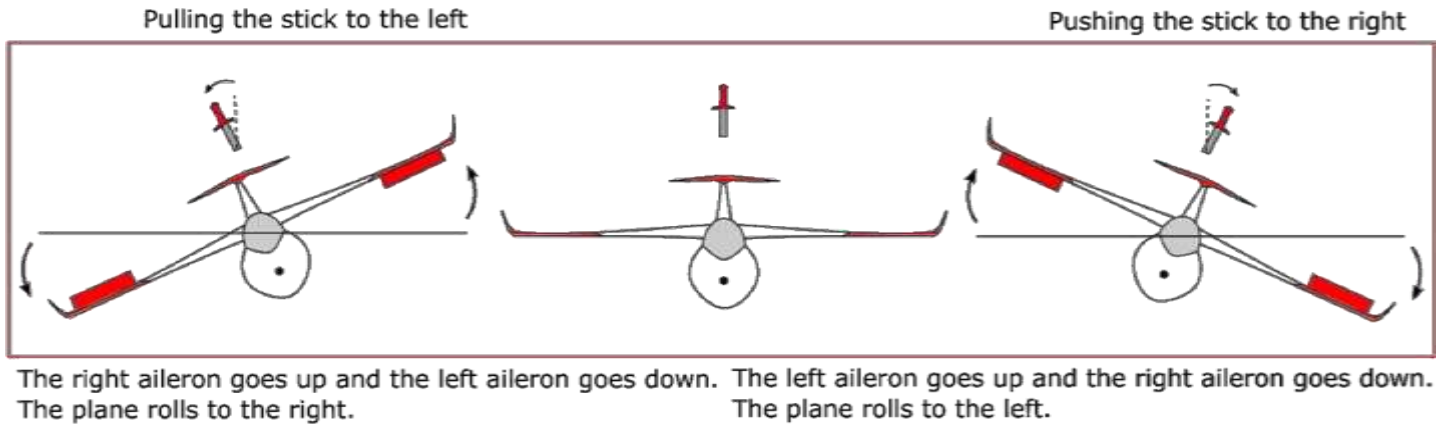


Figure 1.74.

Mechanics Of Flight	
Assiette (Longitudinale)	Pitch Attitude
Atterrissage	Landing
Autonomie	Range
Cabrer	Pull The Nose Up, Pitch Up
Centrage	Balance (Nose Or Tail Heavy)
Charge Alaire	Wing Load
Décollage	Take-Off
Dérapage, Glissade	Slip (Inward), Skid (Outward)
Effet Girouette	Weathercock, Direction Stability
Facteur De Charge	Load Factor
Inclinaison, Assiette Latérale	Bank Angle, Roll Attitude
Lacet	Yaw
Lacet Inverse	Adverse Yaw
Piquer	Pull The Nose Down, Pitch Down
Poussée Moteur	Engine Thrust
Roulis	Roll
Tangage	Pitch
Virage Stabilisé	Level Flight Turn, Flat Turn
Vitesse Ascensionnelle, Taux De Montée	Rate Of Climb
Vitesse De Décrochage	Stalling Speed
Vitesse De Descente	Rate Of Sink, Rate Of Descent
Vol En Palier	Level Flight
Vol En Palier Stationnaire	Steady Level Flight
Vrille	Spin

## **Chapitre 3 : METEOROLOGIE ET AEROLOGIE**



Ce chapitre est divisé en 4 parties :

**Partie 1 : Température, pression et vents**

**Partie 2 : Nuages et précipitations**

**Partie 3 : Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique**

**Partie 4 : L'information météorologique**

**Contenu du Chapitre :**

**Partie 1 : Température, pression et vent**

- I. L'atmosphère
- II. La température et les échanges thermiques
- III. La pression et le vent
- IV. Les perturbations et les fronts

**Partie 2 : Nuages et précipitations**

- I. L'eau dans l'atmosphère
- II. Formation des nuages
- III. Classification des nuages
- IV. Les précipitations

**Partie 3 : Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique**

- I. Brume et brouillard
- II. Givrage
- III. Les cumulonimbus
- IV. Les phénomènes météorologiques locaux

**Partie 4 : L'information météorologique**

- I. Cartes
- II. Messages
- III. Le dossier météo

**Complément : English vocabulary**

# Partie 1 : Température, pression et vent

## I. L'atmosphère

### A. Qu'est-ce que l'atmosphère ?



L'atmosphère est l'enveloppe gazeuse qui entoure la Terre, sur quelques centaines de Kilomètres (80 à 120 km).

Elle est divisée en plusieurs couches d'épaisseur variable dont les limites ont été fixées en fonction de l'altitude. Sous l'exosphère on distingue principalement quatre couches qui sont de haut en bas :

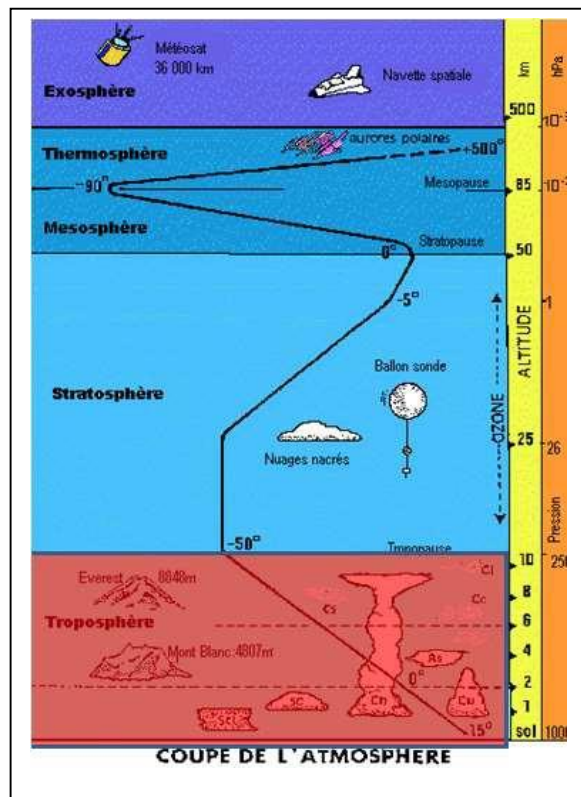


Figure 3.1.

- 1. La thermosphère :** Elle est la couche comprise entre 80 et 500 km. C'est dans cette couche que se trouve la station spatiale internationale (380 km) et les satellites en orbite « basse » (GPS, SPOT,...).
- 2. La mésosphère :** Elle est comprise entre 50 km et 80 Km. Au plus haut la température est de moins 100° C. Dans cette zone, la plupart des météorites brûlent en entrant dans l'atmosphère.
- 3. La stratosphère :** Elle s'étend de la Tropopause (10 km de haut) jusqu'à 50 km de haut. Elle contient la majeure partie de la couche d'ozone.
- 4. La troposphère :** Elle démarre à la surface de la Terre jusqu'à une hauteur de **11 Km** dans la zone tempérée. Cette limite est appelée la tropopause.

A de rares exceptions près (supersoniques, certains jets d'affaires), les avions commerciaux évoluent dans la troposphère.

**Les phénomènes météorologiques sont localisés dans la troposphère.**

## B. La Composition de l'atmosphère

L'air atmosphérique est un mélange d'air sec, de vapeur d'eau et de poussières.

L'air sec (99,97 %) est composé des gaz suivants :

■ <b>Diazote</b> (N <sub>2</sub> )	78%
■ <b>Dioxygène</b> (O <sub>2</sub> )	21%
■ <b>Argon</b> (Ar)	0,9%

auxquels s'ajoutent des traces d'hélium, dioxyde de carbone, dihydrogène.

## C. L'atmosphère « standard » ou de référence

Pour les besoins de l'aéronautique, il a été nécessaire de « figer » l'atmosphère en **une atmosphère moyenne, dite International Standard Atmosphere ou ISA.**

Cela permet de décrire les performances des aéronefs et de les localiser dans le plan vertical. On retiendra :

**Température au niveau du sol : 15°C**

**Pression au niveau de la mer : 1013,25 hPa**

La **masse volumique** (notée  $\rho$ ) vaut 1,225 kg/m<sup>3</sup> au niveau du sol. Elle **décroit avec l'altitude.**

La tropopause est fixée à 11 km. **La température y décroît de 6,5° tous les 1000 m soit 2° tous les 1000 ft.** Au-delà, la température est constante et égale à - 56,5°C.



## II. La température et les échanges thermiques

### A. La température

En France, la mesure des températures est établie en **degré Celsius noté °C**.

**NB** : L'unité internationale de température est le Kelvin :  $K = °C + 273,5$

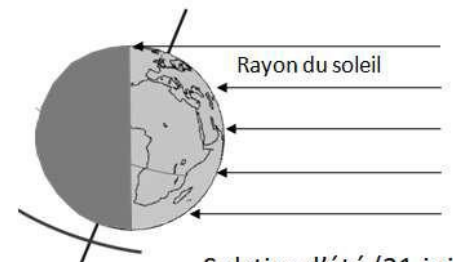
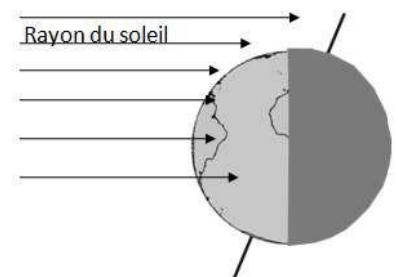
Le zéro absolu, ou 0 K correspond donc à  $- 273,15°C$ .

### B. Variations de température

**Les variations annuelles**: la durée d'ensoleillement varie en fonction de la position de la Terre sur son orbite et de l'angle d'incidence des rayons solaires (axe de la terre incliné de  $23°27'$  sur l'orbite). Il y a un décalage d'environ 1 mois par rapport aux solstices.

L'amplitude annuelle varie avec la latitude.

Solstice d'hiver (21 Décembre)



Solstice d'été (21 juin)

Figure 3.2.

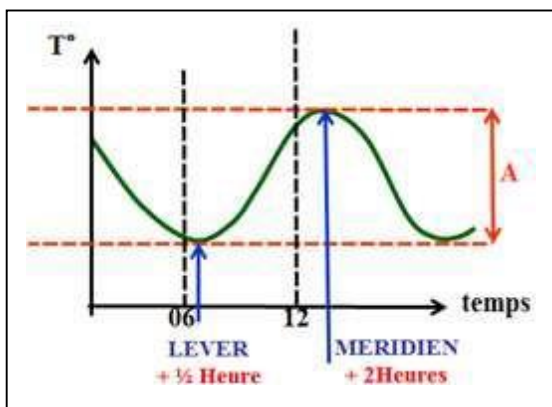


Figure 3.3.

#### Les variations quotidiennes :

Au cours de la journée la température passe par une valeur minimum (environ 1/2 heure après le lever du soleil) et par un maximum (2 heures après le passage du soleil à la verticale du lieu). Il existe également des variations locales liées à la nature du sol ou la nébulosité.

### C. Echanges thermiques

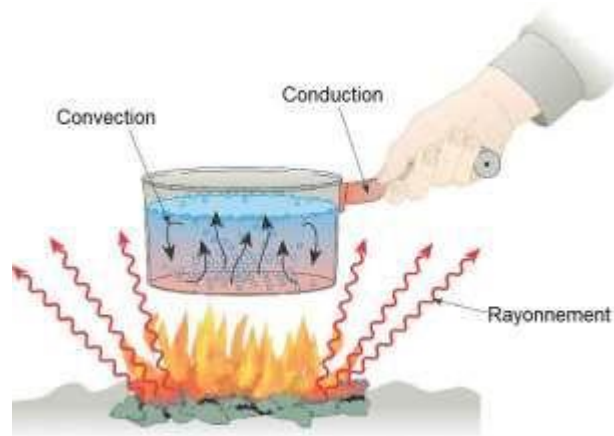


Figure 3.4.

Il existe 3 formes d'échanges thermiques :

- La **conduction**, par contact matériel
- La **convection** (mouvement vertical) ou l'advection (mouvement horizontal), par brassage de fluide, liquide ou gazeux
- Le **rayonnement**, par émission et la propagation d'ondes électromagnétiques (lumière visible ou infrarouge).

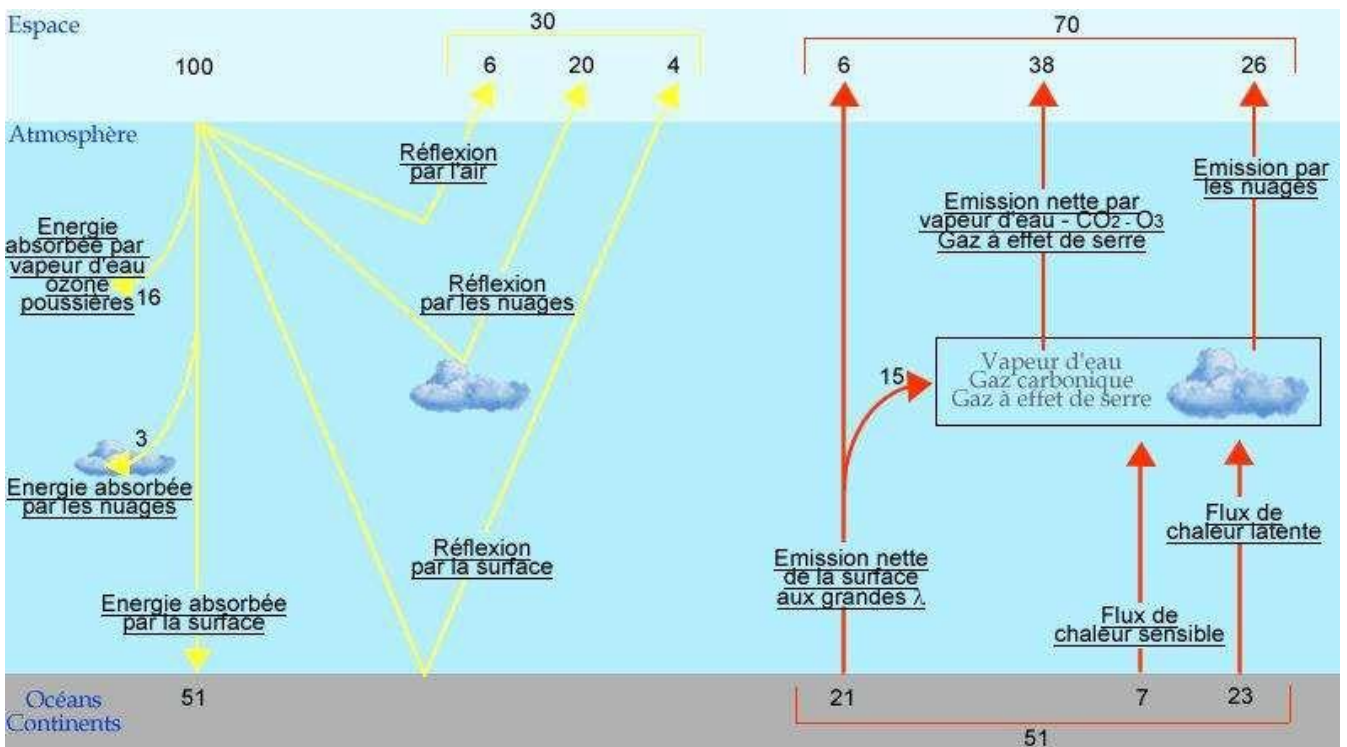


Figure 3.5.

Le rayonnement solaire est partiellement absorbé par la surface de la Terre, qui le rediffuse sous forme d'infrarouges vers les basses couches de l'atmosphère.

### III. La pression et le vent

$$P = \frac{\text{Force}}{\text{Surface}} = \frac{F}{S}$$

#### A. La Pression de l'atmosphère

La force « F » exercée par le gaz sur une surface « S », placée dans ce gaz, est due aux chocs des molécules, sur la surface.

Plus la pression du gaz est élevée et plus cette force sera importante.

Sur Terre, la pression est principalement due **au poids** de l'air situé au-dessus de nous.

La pression se mesure en Pascal (Pa) mais, en météorologie, on utilise plutôt **l'hecto Pascal (hPa) ou le bar.** (1 hPa = 100 Pa et 1000hPa = 1 bar)

La pression diminue quand on s'élève en altitude. Pour les altitudes inférieures à 10 000 ft, on retiendra un gradient de :

**- 1hPa pour 28 ft / 8,5 m**

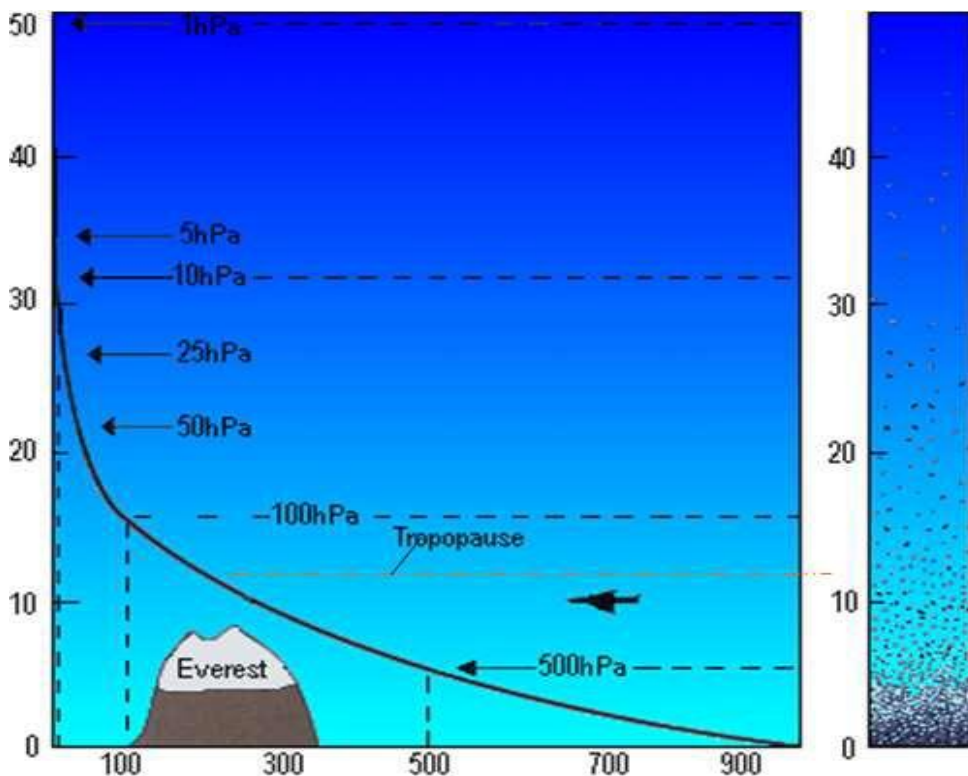


Figure 3.6.

## B. La Mesure de la pression atmosphérique

La pression atmosphérique se mesure à l'aide d'un baromètre :

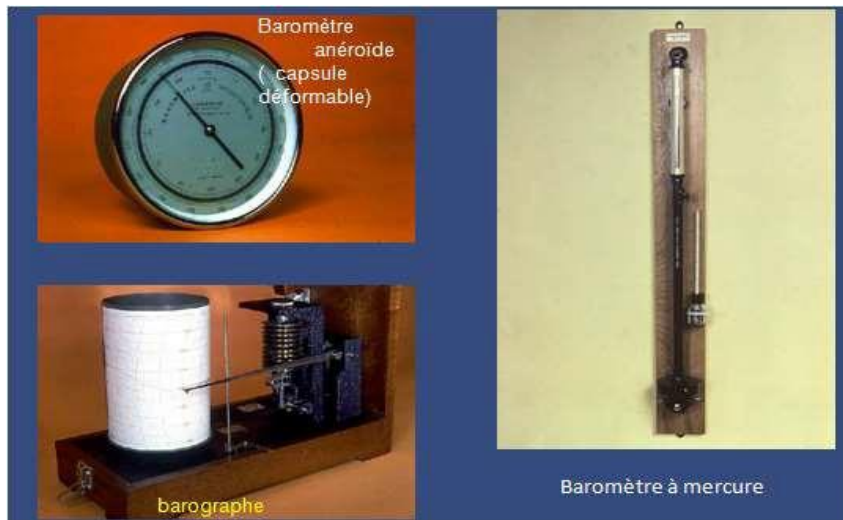


Figure 3.7.

## C. Les Champs de pression

**Anticyclone** : zone de hautes pressions

(Symbole A ou H),

**Dépression** : zone de basses pressions

(Symbole D ou L),

**Marais** : zone sans variation de pression significative (souvent proche de 1013 hPa),

**Isobares** : lignes qui relient les points de pressions égales.

**Dorsale** : crête de hautes pressions

**Talweg** : vallée de basses pressions

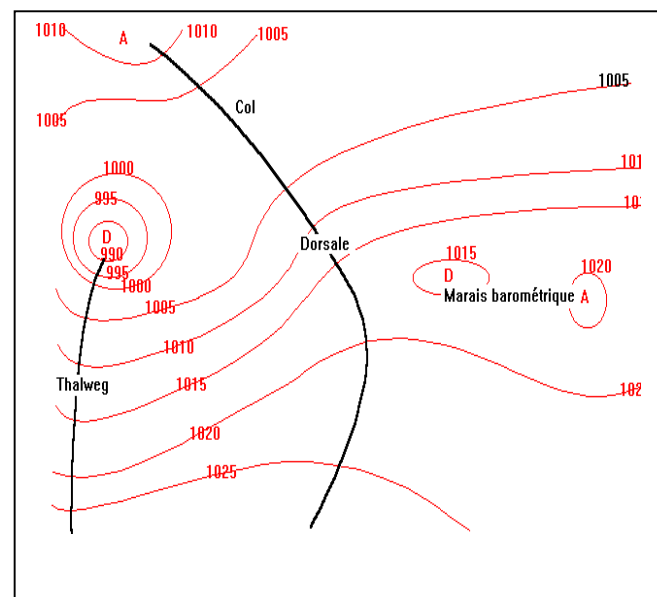


Figure 3.8.

Les différences de pressions sont à l'origine du vent. Celui-ci circule toujours des hautes pressions vers les basses pressions

**Le vent est d'autant plus fort que les variations de pression sont importantes (plus les lignes isobares sont resserrées, plus le vent sera fort).**

En tenant compte de la rotation de la Terre – **Force de Coriolis**- la direction du vent est déviée vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

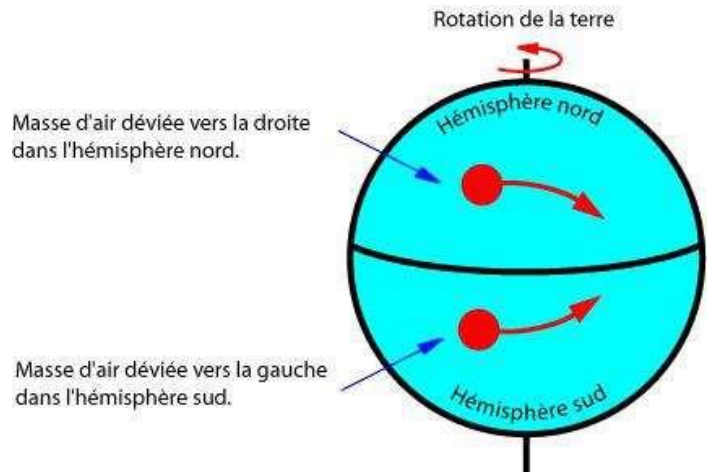


Figure 3.9.

**Cela fait que :**

- Dans l'hémisphère Nord, le vent tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un anticyclone et en sens contraire autour d'une dépression : règle de **Buys-Ballot**.
- Dans l'hémisphère Sud, c'est l'inverse

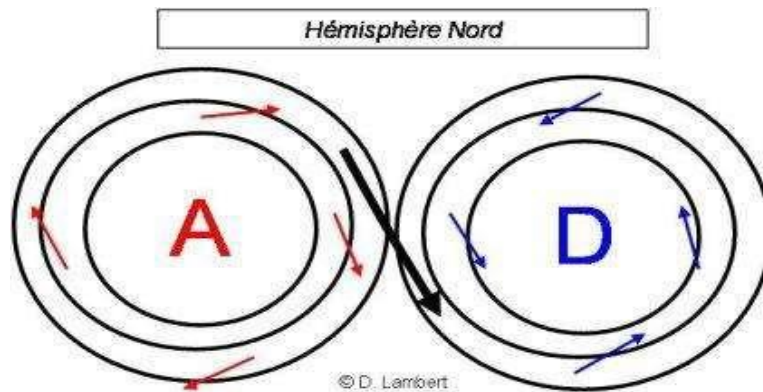


Figure 3.10.

Les frottements réduisent la vitesse du vent près de la surface et en conséquence la déviation due à la force de Coriolis diminue lorsque l'altitude diminue.

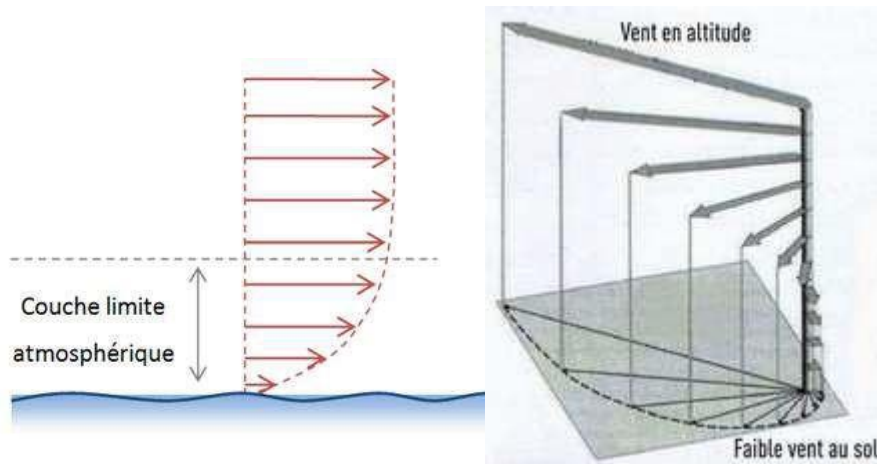


Figure 3.11.

### D. Les Calages altimétriques

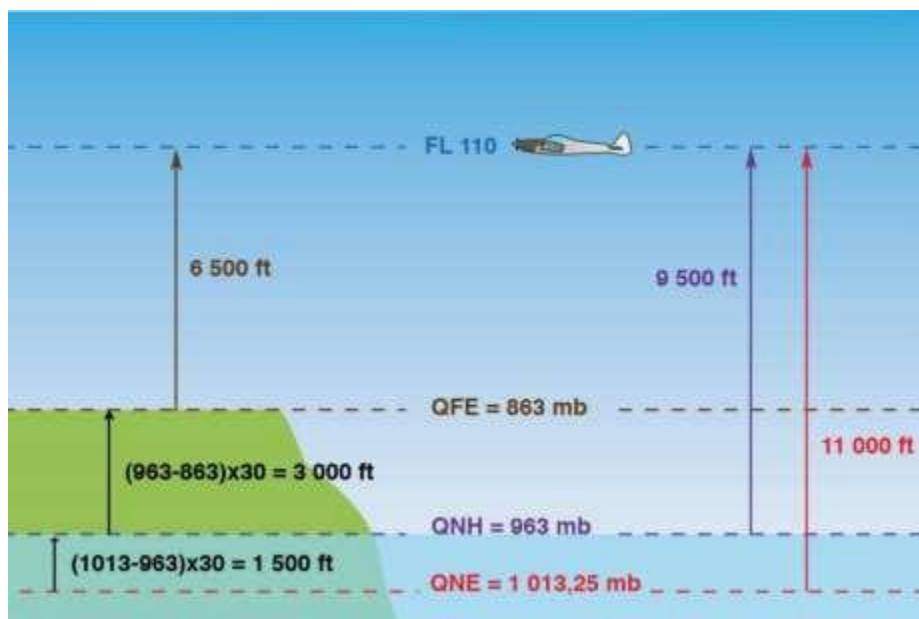


Figure 3.12.



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

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



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

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



**1013 hPa (QNE) : Pression atmosphérique standard au niveau de la mer.**  
Le calage 1013 est utilisé pour voler en niveau de vol (Flight Level).

## E. La Mesure, la direction et l'observation du vent

L'unité internationale de la vitesse est le **m/s** mais en aéronautique on utilise le nœud (**kt**).

Le nœud correspond à un mille nautique par heure.

$$1\text{kt} = 1,852 \text{ km/h} \approx 0,5 \text{ m/s}$$

La direction du vent indique toujours la provenance du vent.

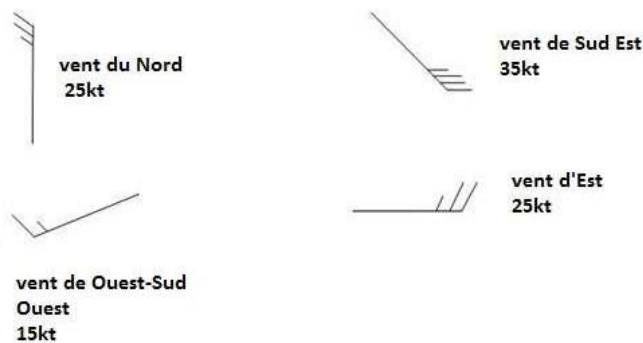
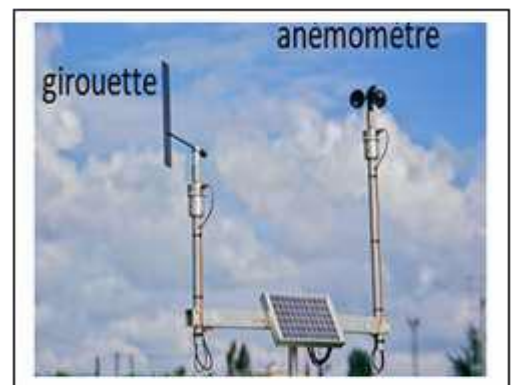


Figure 3.13.

La direction du vent est observée par une girouette (exprimée en degrés et mesurée dans le sens des aiguilles d'une montre) et sa vitesse par un anémomètre.



Sur un aéroport, on utilise une manche à air (chaque bande rouge ou blanche symbolise **5 kt** de vent).

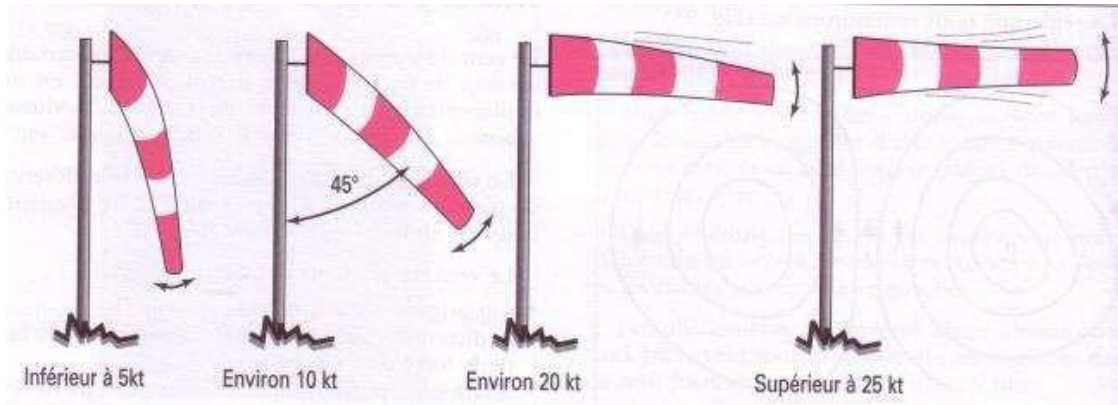



Figure 3.14.

Le vent, en altitude, est mesuré grâce au suivi radar des trajectoires de ballons sondes ou alors par des images satellites.

 **Cap sur l'environnement**

L'étude des données relatives au vent (METARs, WINTeMs...) est un excellent outil pour optimiser la consommation de carburant d'un vol. Lorsqu'ils en ont la possibilité, les pilotes choisissent judicieusement leur niveau de vol afin de profiter d'un maximum de vent arrière, ou dans le cas contraire pour limiter au maximum le vent de face.

L'exemple ci-dessous concerne un vol de Paris à Dijon. Les cartes sont des prévisions de la direction et de l'intensité du vent pour deux altitudes différentes (FL50 et FL100) :

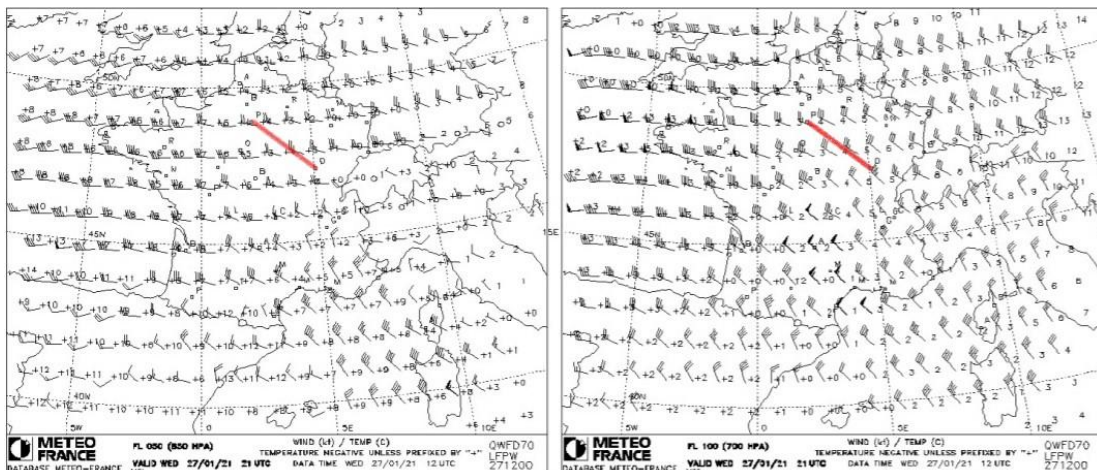


Figure 3.15.



L'étude de ces deux cartes montre que le vent moyen sur le trajet Paris-Dijon est le suivant :

- 320°/25 kts au FL50
- 320°/35 kts au FL100

**Ainsi, en décidant de voler au FL100 plutôt qu'au FL50, le pilote gagnera 10 kts de vent arrière. Pour un avion léger, cela représente une économie de carburant d'environ 10% !**

---

## IV. Les perturbations et les fronts

### A. La circulation atmosphérique

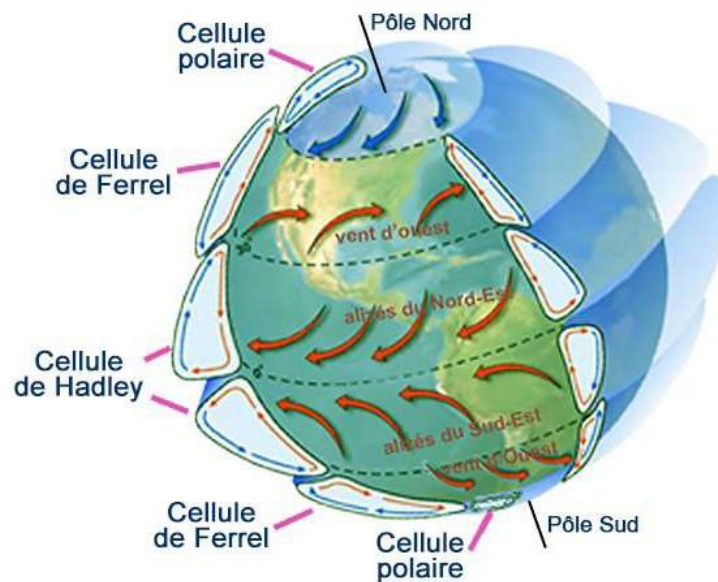


Figure 3.16.

Le déséquilibre thermique entre l'équateur et les pôles entraîne la formation de **3 cellules de convection**, l'air chaud ascendant étant remplacé par de l'air froid. Il en résulte :

- la formation d'un anticyclone aux pôles, une dépression au niveau du 60<sup>ème</sup> parallèle
- un anticyclone aux environs du 30<sup>ème</sup> parallèle
- une dépression près de l'équateur.

Combiné à la force de Coriolis, ceci explique la **circulation générale de l'air** à la surface du globe.

## B. Les Masses d'air

Une masse d'air est une grande étendue d'air dans laquelle la température et l'humidité varient peu. Aux latitudes entre 40° et 50°, on assiste à la rencontre entre deux masses d'air : l'une est d'origine polaire, elle est froide, tandis que l'autre est d'origine tropicale, elle est donc chaude.

Lorsqu'elles se rencontrent, **ces deux masses d'air ne se mélangent pas**. On observe l'inclusion d'une masse d'air tropical dans la masse d'air polaire. Cette inclusion est limitée par deux surfaces appelées fronts.

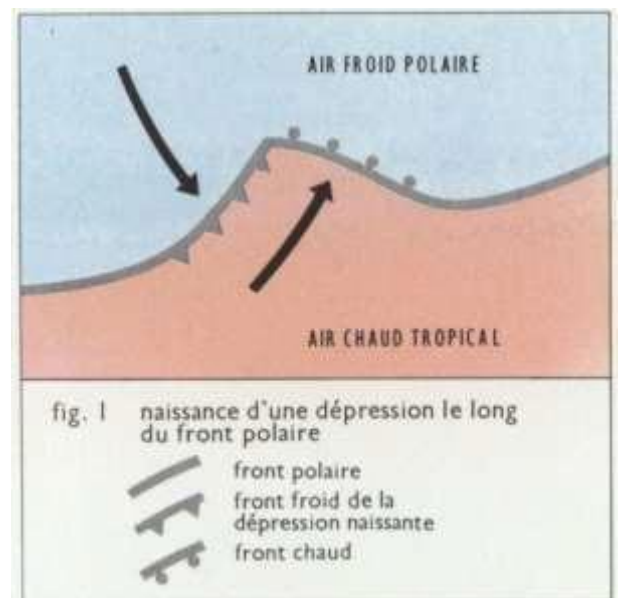


Figure 3.17.

### C. Les fronts

Un front est la surface de séparation entre la masse d'air froide et la masse d'air chaude.

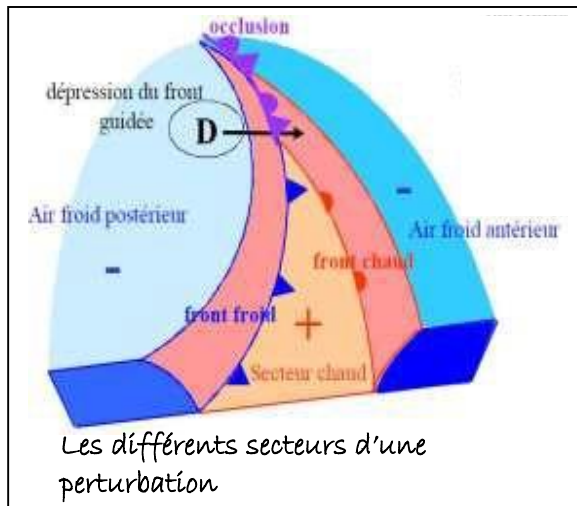


Figure 3.18.

- **Le front chaud** : l'air chaud repousse l'air froid devant lui et passe au-dessus.
- **Le front froid** : l'air froid postérieur pousse l'air chaud devant lui et au-dessus de lui.
- Le front froid se déplace plus vite que le front chaud. **L'occlusion** se produit lorsque le front froid rattrape le front chaud, le rejetant en altitude.

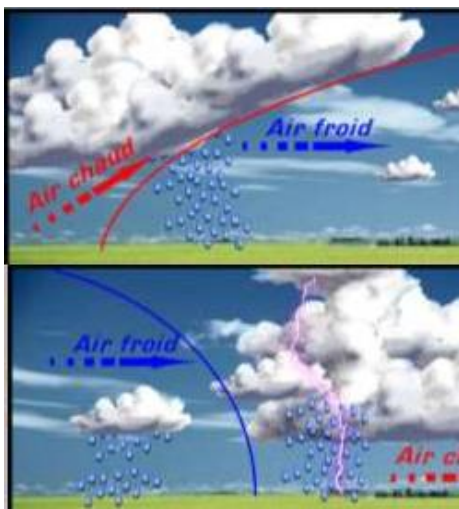


Figure 3.19.

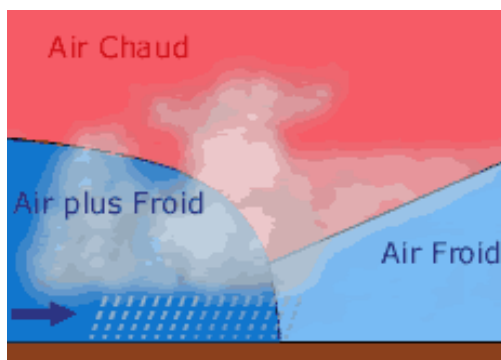


Figure 3.20

## Partie 2 : Nuages et précipitations

### I. L'eau dans l'atmosphère

L'eau dans l'atmosphère existe sous trois états :

- Etat solide : glace, givre, neige
- Etat liquide : pluie, brouillard
- Etat gazeux : vapeur d'eau (invisible)

#### A. Humidité

La vapeur d'eau est de l'eau à l'état gazeux contenue dans l'air. Pour un volume donné, plus la température est élevée, plus l'air peut contenir de la vapeur d'eau :

- 0°C : 5 g eau maxi/ kg air
- 20°C : 15 g eau maxi/ kg air
- 30°C : 22 g eau maxi/ kg air

**L'Humidité** est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air.

**L'humidité relative = degré hygrométrique =**  $\text{masse de vapeur d'eau réelle} / \text{masse de vapeur maximale}$

Elle se mesure à l'aide d'un **hygromètre** ou d'un **psychromètre**. Un hygromètre est un condensateur dont la capacité varie avec l'humidité relative. Un psychromètre est composé de 2 thermomètres dont l'un baigne dans de l'air saturé.



Figure 3.21.

**Le Point de rosée** est la température à laquelle doit être refroidi l'air pour que l'humidité relative atteigne 100%. **Plus la température mesurée se rapproche du point de rosée, plus l'humidité relative augmente.**

Lorsque la température diminue et atteint le point de rosée, l'humidité relative est de 100%, on se trouve à l'état de **saturation** : la **condensation intervient**. De fines gouttelettes d'eau se forment alors autour de poussières diverses en suspension dans l'air.



Figure 3.22.

Une autre façon d'atteindre la saturation est d'enrichir l'air ambiant en vapeur d'eau (présence d'une étendue d'eau ou d'une surface humide, transport d'air humide par le vent).

### B. Autres phénomènes

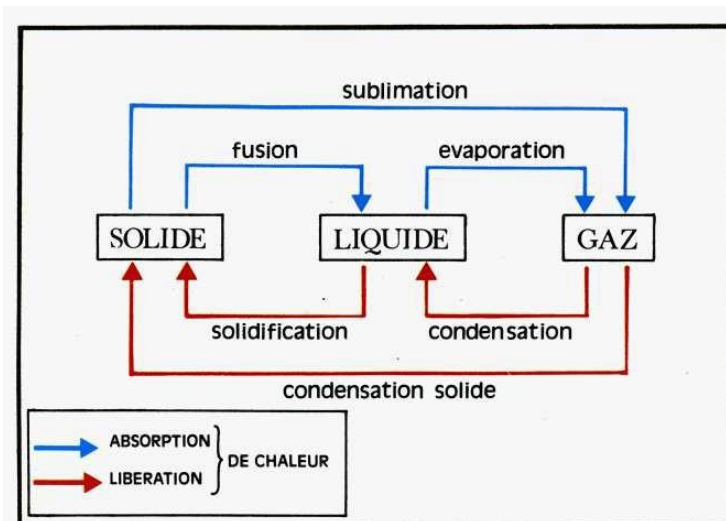


Figure 3.23.

L'énergie qu'il faut fournir (ou qui est restituée) pour faire changer d'état 1 kg d'eau s'appelle la **chaleur latente**.

L'eau refroidie en dessous de 0°C **se solidifie** (neige, glace). L'inverse est **la fusion**.

Dans l'atmosphère, les gouttelettes d'eau restent souvent liquides dans des conditions de température et de pression où l'eau devrait être à l'état solide. Elles sont **en état de surfusion**.

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

### C. La Trainée de condensation

Elle est créée par la condensation de la vapeur d'eau émise par les moteurs d'avion à très haute altitude.

Les gouttes d'eau en suspension deviennent alors des petits cristaux de glace, donnant naissance à des traînées blanches derrière l'avion.



Figure 3.24.

## II. Formation des nuages

On appelle nuage l'ensemble des gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace en suspension dans l'atmosphère.

Le sol est réchauffé par le rayonnement solaire et chauffe à son tour l'air en contact avec lui.

**L'air chaud est moins dense que l'air froid.** Par conséquent, une bulle d'air réchauffé se forme et se détache du sol, pour s'élever (poussée d'Archimède) à travers les couches situées au-dessus d'elle. L'air soulevé est remplacé par de l'air venant des couches voisines plus froides qui se réchauffe, à son tour, et ainsi s'établissent des **courants verticaux ascendants et descendants de convection**.

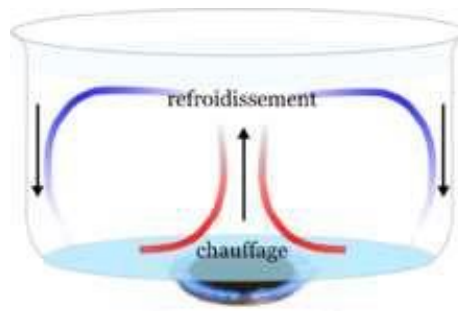


Figure 3.25.

En se soulevant, la bulle d'air se détend (car la pression diminue) et donc se refroidit (on parle de **détente adiabatique**, c'est-à-dire **sans échange de chaleur avec l'extérieur**).

Lorsque la température diminue, la quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir l'air diminue également, donc l'humidité relative augmente.

Lorsque l'humidité relative atteint 100%, la condensation apparaît autour de minuscules particules solides. Notons que du fait de la chaleur latente, **ceci a pour effet de refroidir plus lentement la bulle d'air** lors de son ascension.

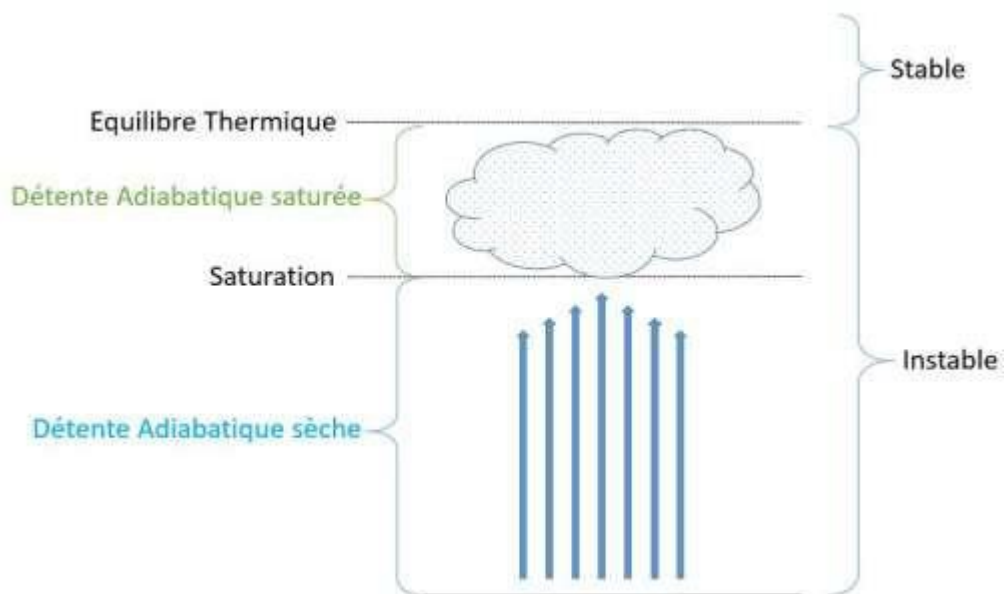


Figure 3.26.

**Les nuages se forment par le refroidissement de l'air qui monte.**

La forme du nuage dépendra du caractère **STABLE** ou **INSTABLE** de la masse d'air environnante.

**Hypothèse 1** : l'air ambiant se refroidit moins vite que la bulle d'air

**Hypothèse 2** : l'air ambiant se refroidit plus vite que la bulle d'air

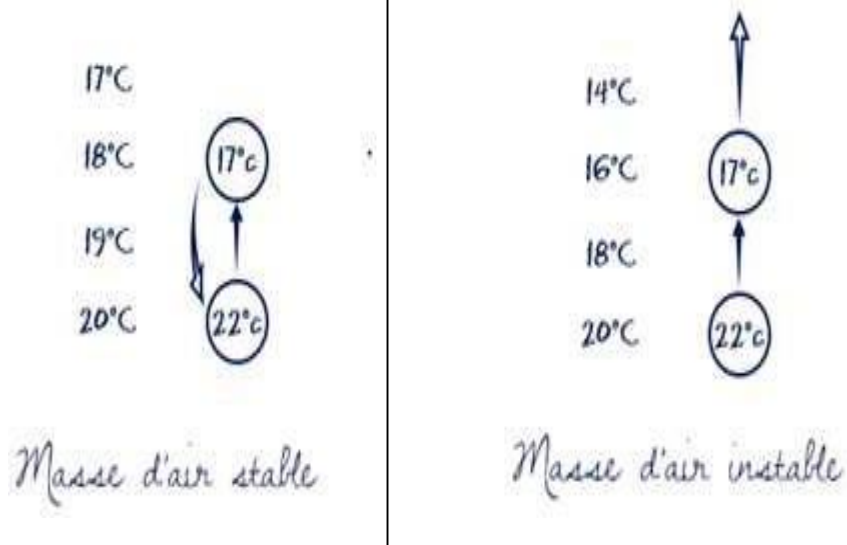


Figure 3.27.

**A. Cas de la stabilité :**

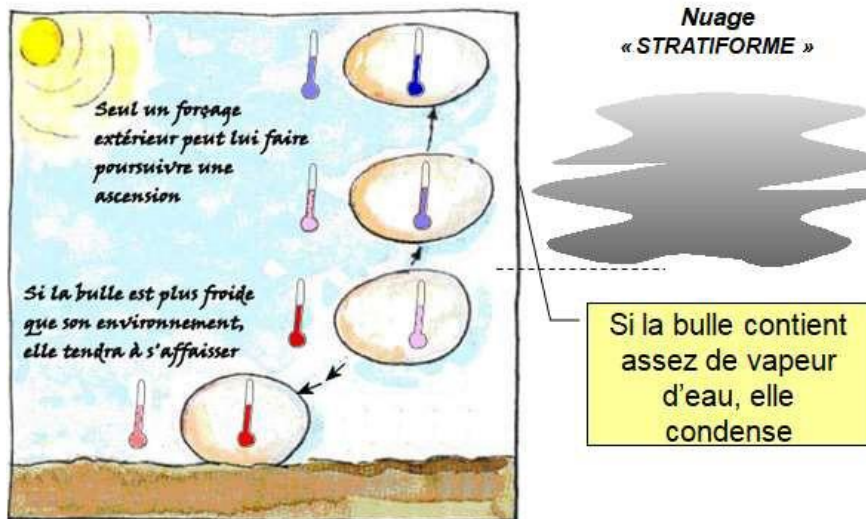


Figure 3.28.



## B. Cas de l'instabilité :

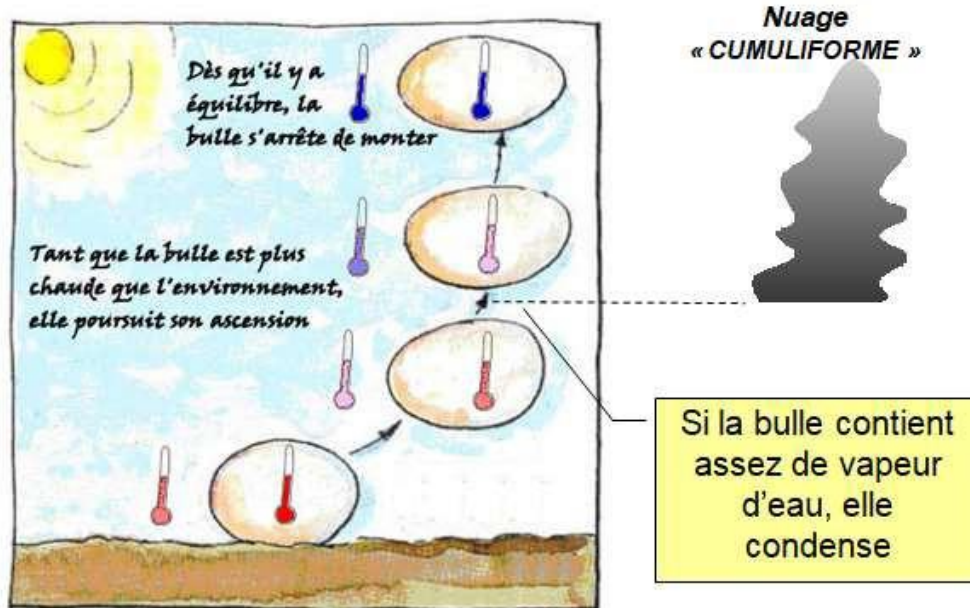


Figure 3.29.

**NB** Il existe d'autres mécanismes de formation des nuages, tels que le soulèvement orographique (passage d'un relief), le soulèvement frontal (air chaud qui s'élève au-dessus de l'air froid) ou le mélange de masses d'air de températures et d'humidité différentes. Le principe reste le même : en montant, l'air humide se détend, se refroidit et se condense.

## III. Classification des nuages

L'organisation Météorologique Mondiale (OMM) a été créée en 1950 et siège à Genève. Elle gère en particulier la classification des nuages et l'Atlas de la Météorologie, créé en 1956 et révisé en 2017.

### A. Noms des nuages

Il existe 10 genres de nuages.

#### Préfixe « Cirro » (glace)

Les nuages dont la base est située au-dessus de 6 Km de hauteur sont constitués de cristaux de glace

#### Préfixe « Alto »

Les nuages dont la base est située entre 2 et 6 km de hauteur sont constitués de cristaux de glace et/ou de gouttelettes d'eau liquide :

#### Pas de préfixe

Les nuages dont la base est située entre le sol et 2 km de hauteur sont constitués d'eau liquide

3 critères : l'étage, la forme et l'épaisseur

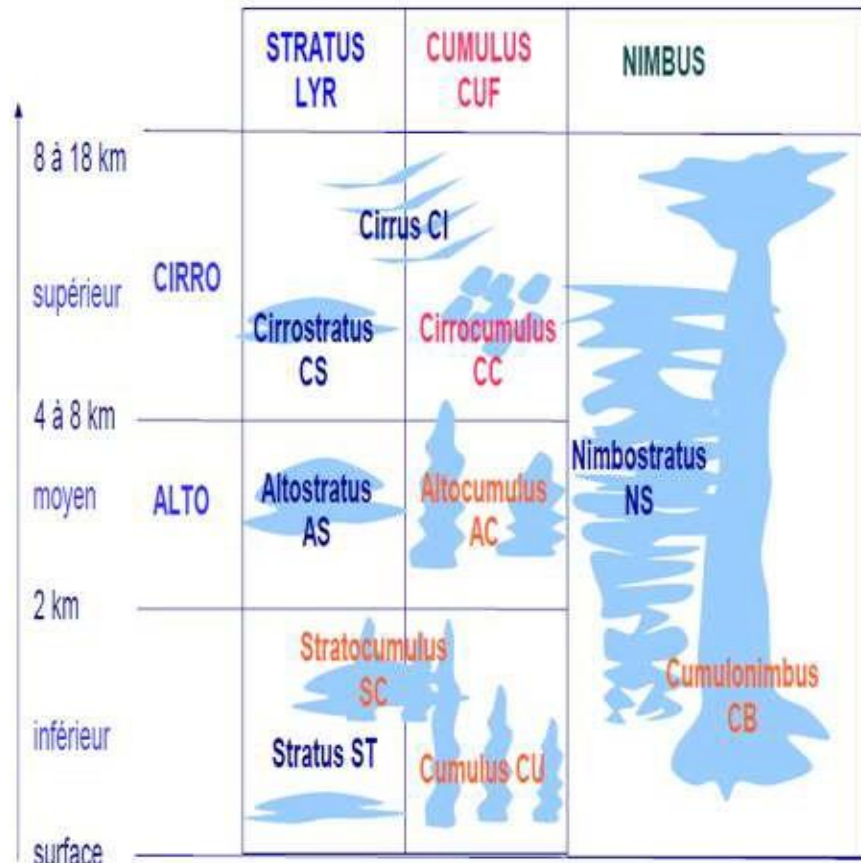


Figure 3.30.

« Stratus » = en couche, étendu (atmosphère stable)

« Cumulus » = amas moutonneux (atmosphère instable)

« Cirrus » = en filament

Certains nuages peuvent présenter une grande extension verticale : Ce sont les nuages caractéristiques de la précipitation et du mauvais temps : **Préfixe ou terminaison « nimbus »** (signifie porteur de pluie).

**Les différents nuages peuvent être visualisés sur les sites suivants :**

**meteofrance.com ou cloudatlas.wmo.int**

### B. Les nuages associés aux fronts

Cirrus (Ci), Alto Stratus (As), Nimbo Stratus (Ns), Strato cumulus (Sc), Cumulo nimbus (Cb), Alto cumulus (Ac).

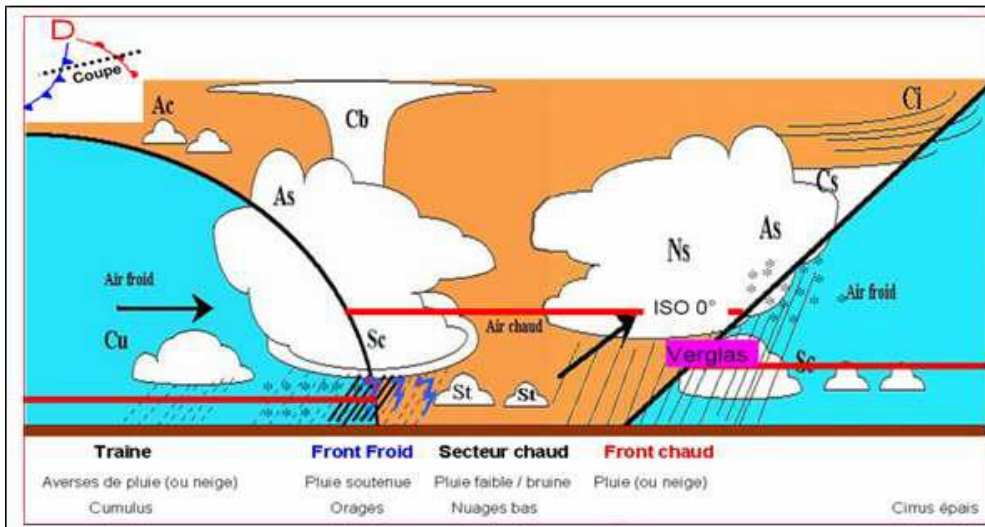


Figure 3.31.

## IV. Les précipitations

### A. La formation des précipitations

Dans la partie du nuage où la température est négative, coexistent des cristaux de glaces et des gouttelettes d'eau surfondues.

Par transfert de vapeur d'eau des gouttelettes vers les cristaux (effet Bergeron) et/ou par choc (coalescence), les éléments constitutifs du nuage grossissent et, sous l'effet de leur poids, ils précipitent.

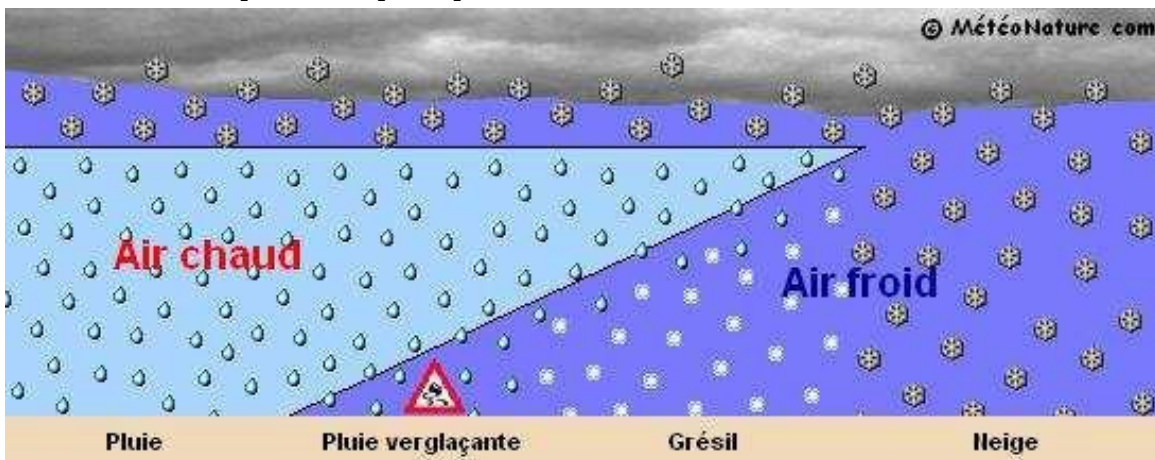


Figure 3.32.

Toute précipitation commence par un flocon de neige.

Si ce flocon, en tombant arrive dans une couche où la température est supérieure à 0°C, il se transforme en une goutte de pluie.

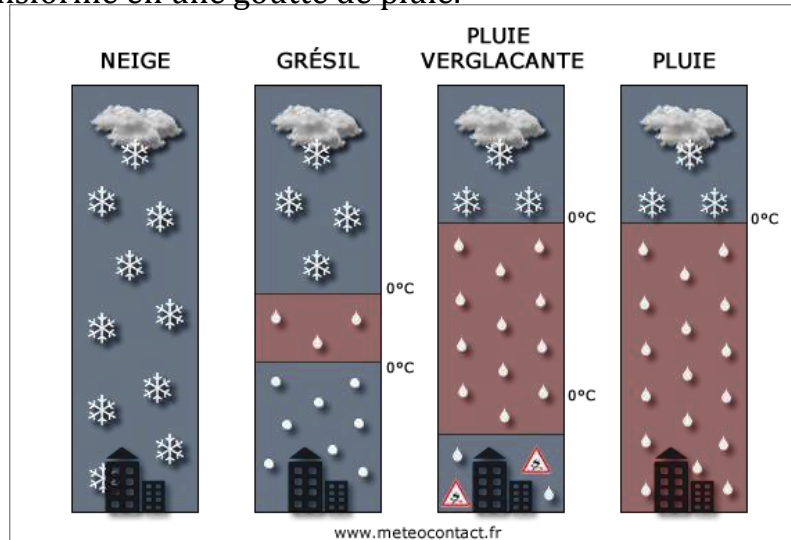


Figure 3.33.

## B. La classification des précipitations



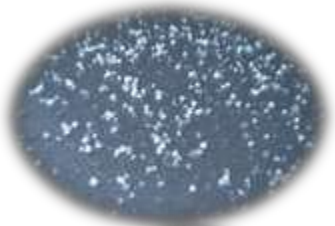
- **La bruine** : Très fines gouttelettes d'eau d'un diamètre inférieur à 0,5 mm, très rapprochées les unes des autres, et provenant des nuages bas (stratus, stratocumulus) ainsi que du brouillard.



- **La pluie** : Gouttelettes de plus grandes dimensions que la bruine provenant des nuages plus épais et de plus grandes étendues (altostratus, nimbostratus).



- **La neige** : Cristaux de glace dont la plupart sont ramifiés parfois étoilés. Pour des températures comprises entre 0° et -10°, les cristaux sont transformés en flocons dont le diamètre est compris entre 0,5 et 2,5 cm. Celle-ci possède la même origine que la pluie.



- **La grêle** : Globules de glace de dimensions importantes allant de quelques mn à quelques cm de diamètre, provenant des nuages à fortes extensions verticales (Cumulonimbus).



- **Les averses** : Précipitations brutales, intenses, très localisées et de courte durée. Elles proviennent des nuages instables à fortes extensions verticales (Cb, Ns ou gros Cu)

On distingue les averses de pluie, de neige et de grêle.

## Partie 3 : Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique

### I. Brumes et brouillards

#### A. La Brume

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



#### B. La Brume sèche



Elle est constituée de particules solides (sable, poussières ...) en suspension dans l'air, non saturé d'humidité.

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

#### C. Le Brouillard

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

Le brouillard se forme principalement par refroidissement d'une masse d'air humide.



Le refroidissement conduit à la saturation puis à la condensation.

Les conditions favorables à la formation de brouillard sont la présence d'une forte humidité, une baisse de température et peu de vent.

On distingue le brouillard :

- **de rayonnement** (réchauffement de la rosée du matin)
- d'évaporation (arrivée d'air froid et sec sur une étendue d'eau)
- d'advection (arrivée d'air chaud et humide sur un sol froid)
- de pente (soulèvement d'air humide)
- de mélange (de 2 masses d'air de températures différentes par brassage)

## II. Le givrage

C'est la formation, plus ou moins rapide, d'un dépôt de glace sur certaines parties de l'avion.

Ce dépôt de glace :

- alourdit l'avion
- modifie l'écoulement de l'air autour de l'avion et influe sur les performances de l'appareil
- peut bloquer les gouvernes, volets, sondes Pitot, ...
- peut étouffer le moteur (lors du givrage du carburateur)

### A. Catégories de givrage

#### 1. Le givre

Il se forme très rapidement lorsque l'avion vole dans une zone de pluie surfondue (eau liquide à une température où elle devrait être solide, entre 0 et -15°C).



Ce phénomène se produit notamment au niveau d'un front froid. L'avion qui traverse cette zone apporte à toutes les gouttes qu'il touche, l'énergie suffisante pour qu'elles passent directement à l'état solide. L'avion se couvre alors de glace en très peu de temps (bords d'attaque, hélices,... mais également dans certaines conditions la motorisation). Ce risque est indiqué sur les cartes et messages météorologiques.

## **2. Le verglas**

Congélation de pluie ou de bruine (gouttes assez grosses), surfondues ou non, sur une surface ou à l'impact d'un obstacle (en et hors nuage). Dépôt transparent qui se forme rapidement, pouvant atteindre des épaisseurs importantes sur toute la surface de l'avion.



## **3. La gelée blanche :**

La gelée blanche est une condensation directe de l'état gazeux à solide (elle n'est pas liée à un état de surfusion). Peut intervenir au sol après une nuit froide ou si l'avion traverse un air chaud après être sorti d'un air froid (condensation directe). Givrage faible pouvant diminuer la portance au décollage et gêner la visibilité sur le pare-brise.





## B. La Prévention / l'Élimination

1. **Au sol** : Dégivrage de l'avion avant son départ ainsi que l'application d'un liquide de protection efficace sur une courte durée.



Figure 3.34.

2. **En vol** : Anticipation et traitement du phénomène par la mise en marche de systèmes antigivrages de certaines parties de l'avion (chauffage du pare-brise, des pâles d'hélices, des tubes Pitot, gonflage des boudins de bord d'attaque).

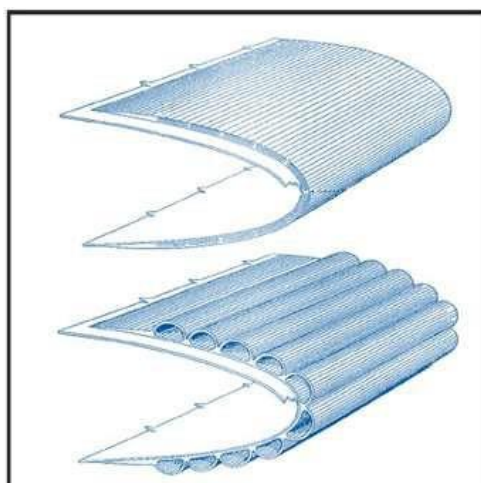


Figure 3.35.

### III. Les cumulonimbus

C'est le nuage le plus dangereux pour l'avion  
(y compris pour les gros avions de ligne) :

Il se forme dans les fronts froids toute l'année  
 Ou au printemps et en été après un fort  
 échauffement du sol.

Celui-ci provoque :

- **Du Vent** : Il est très violent et très irrégulier La direction peut changer brutalement. Les rafales peuvent atteindre 30 à 40 kt avec risque de cisaillement.

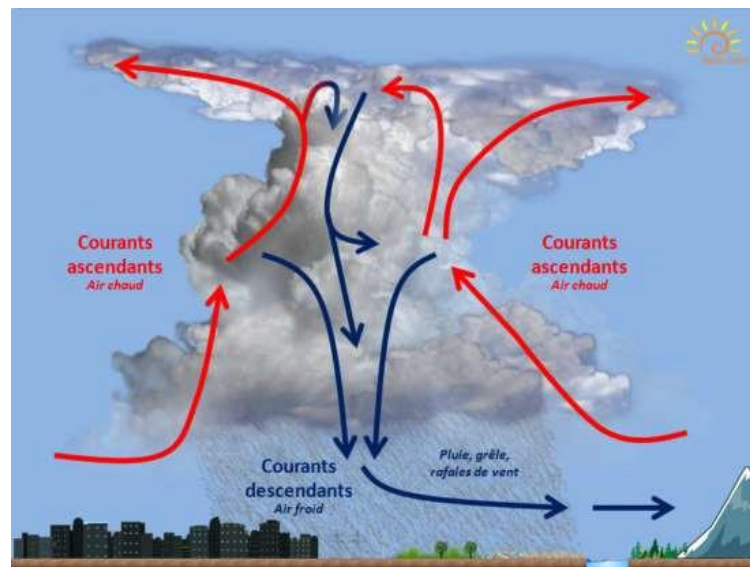


Figure 3.36.

- **Des Grains** : Vents violents accompagnés d'averses intenses,
- **Des Averses de pluie** : Elles sont très violentes et réduisent complètement la visibilité,
- **De la Turbulence** : Les vents verticaux peuvent avoisiner les 90 km / h,
- **De la Grêle** : Elle réduit la visibilité et peut endommager la cellule de l'avion,
- **De la Foudre** : Elle peut endommager les moyens de radionavigation.

Et même parfois l'avion en lui-même !

21-08-15 - Atlanta



## IV. Les phénomènes météorologiques locaux

### A. L'effet de Foehn

C'est un phénomène, spécifique aux régions montagneuses, qui explique le temps privilégié de certaines régions (Languedoc Roussillon, Alpes du sud, Alsace....) ainsi que le temps humide d'autres régions (Limousin, Vosges,....).

Il s'agit du franchissement d'un obstacle (montagne) par de l'air humide.

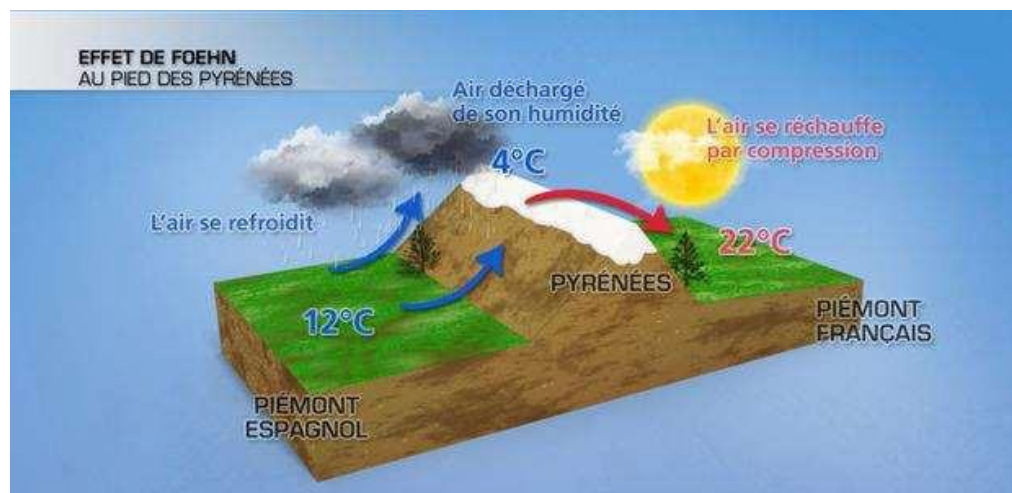


Figure 3.37.

L'air humide est soulevé par le relief, se détend et se refroidit jusqu'à la saturation (= la formation de nuages) et jusqu'à la formation de pluies ou de neiges.

De l'autre côté du relief, l'air descendant s'est déchargé de toute son humidité. Sa descente a alors pour effet de le réchauffer.

Le passage du relief assèche et réchauffe la masse d'air : **c'est l'effet de Foehn.**

## B. La Brise

C'est un vent local régulier qui s'établit près des lacs, de la mer, des montagnes et dans les vallées.

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

### 1. La Brise en région côtière

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

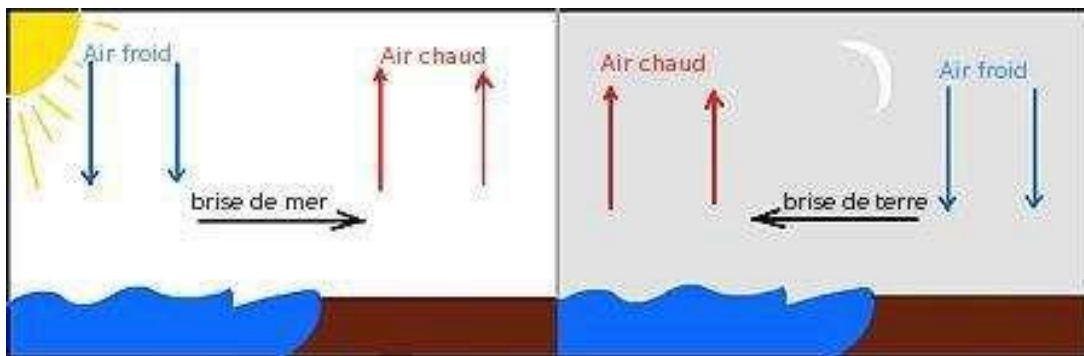


Figure 3.38.

- a) De jour : la Brise de mer :** Sous l'effet du rayonnement solaire, la surface de la terre se réchauffe plus vite que la masse d'eau.

L'air, au contact du sol, s'élève en faisant place à une dépression qui « aspire » l'air plus froid situé au-dessus de la mer. Elle dure du milieu de matinée jusqu'en fin d'après-midi.

- b) De nuit : la Brise de terre :** La masse d'air, en contact avec le sol, se refroidit plus rapidement que celle en contact avec la mer et provoque alors le phénomène inverse de la brise de mer. On la retrouve en fin de soirée.

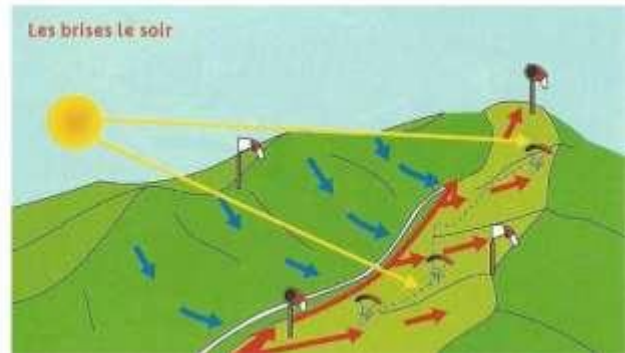
## 2. La brise en région montagneuse (ou brise de pente) :



a) **De jour**, l'air, au contact des versants ensoleillés, s'échauffe et s'élève le long des pentes.

Pour compenser l'air emprunté au fond de la vallée, un vent s'établit, remontant la vallée.

b) **En soirée et de nuit**, le phénomène inverse se produit.



Figures 3.39. et 3.39.bis

## C. Les ondes orographiques et la turbulence

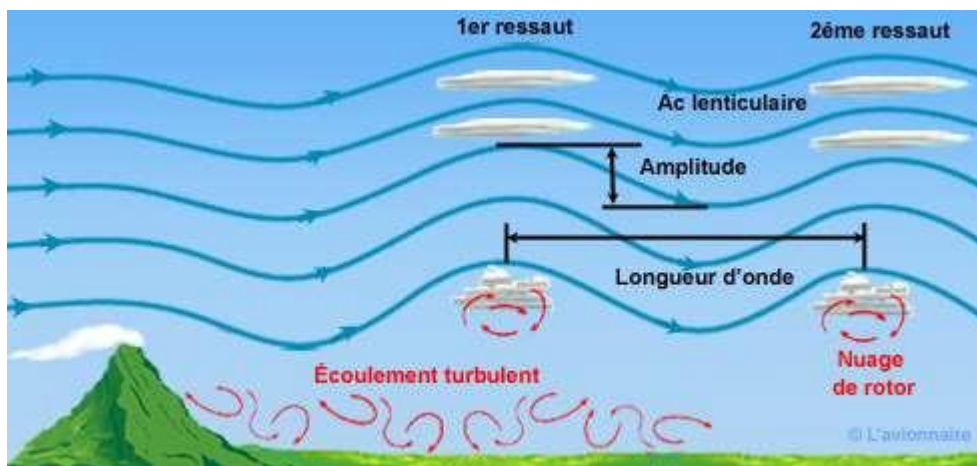


Figure 3.40.

La turbulence se développe également :

- sous les cumulus
- au contact de deux masses d'air
- en air clair (Clear Air Turbulence ou CAT, signalée sur les cartes météo) en présence de forts gradients de température et de pression

## D. Le Jet-stream ou Courant Jet

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

Le Jet-stream entoure le globe terrestre, et souffle d'Ouest en Est selon la rotation de la terre. Il se situe au niveau de la tropopause, à la jonction des cellules de convection (voir figure 3.15.)

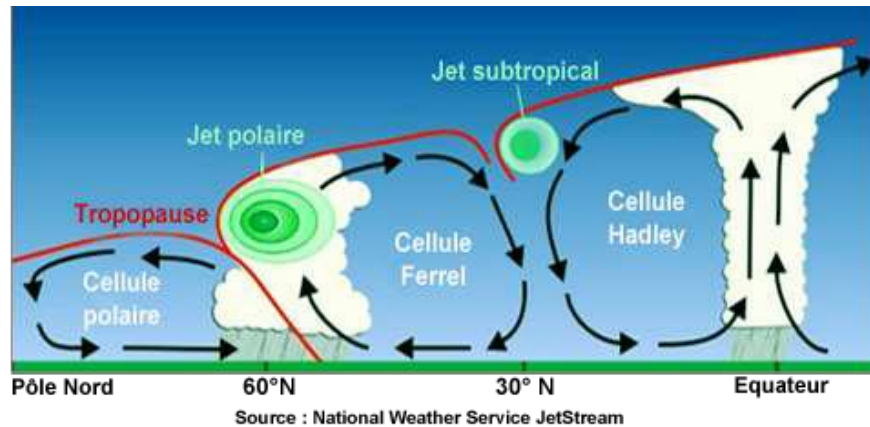


Figure 3.41.

La vitesse des vents à l'intérieur est d'environ 200 à 300 km/h.  
Les pilotes de ligne l'utilisent pour économiser du carburant.

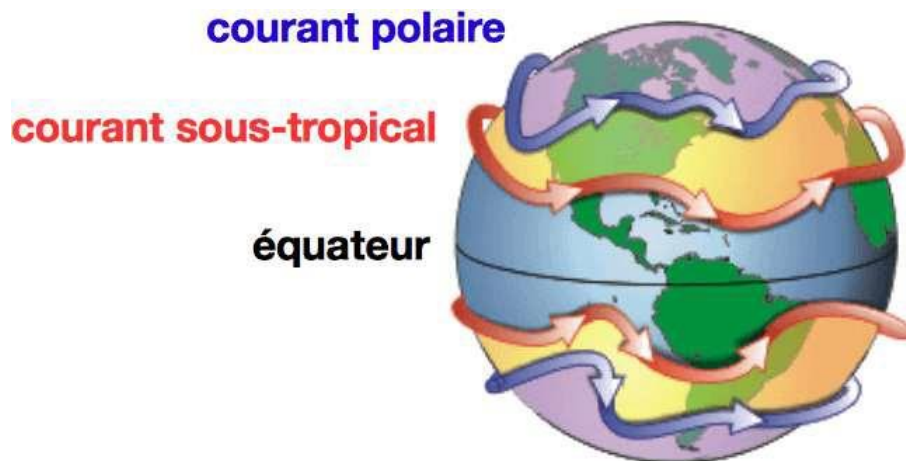


Figure 3.42.

**E. Les vents locaux**



Figure 3.43.

# Partie 4 : L'information météorologique

## I. Les cartes

### A. Carte TEMSI- (TEMps Significatif)

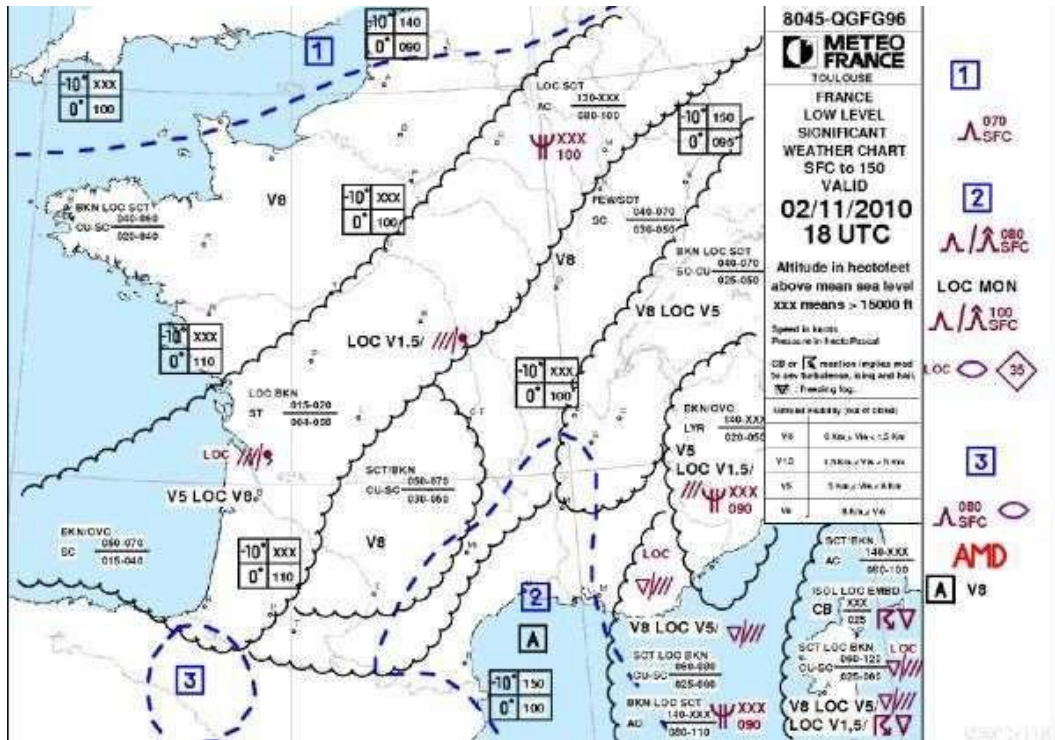



Figure 3.44.

Les cartes TEMSI (Temps Significatif) sont des cartes météorologiques de la France (il en existe pour l'Europe Occidentale), valables pour un niveau de vol précisé, leur validité est de 3 heures et elles sont disponibles 4 heures avant leur début de validité.

Elles indiquent notamment :

- la nature de l'emplacement des fronts
- les nuages présents ainsi que la couverture nuageuse
- l'orientation et la vitesse du vent
- les risques de givrage et de turbulence
- la température du point de rosée



 <b>METEO FRANCE</b>		<b>CARTES DE PRÉVISION DU TEMPS SIGNIFICATIF</b>	
<b>SYMBOLES DU TEMPS SIGNIFICATIF</b>			
	Pluie (Rain)	∞	Brume sèche de grande étendue (Widespread haze)
,	Bruine (Drizzle)	⋈	Turbulence modérée (Moderate turbulence)
~	Pluie se congelant (Freezing rain)	⋈	Turbulence forte (Severe turbulence)
*	Neige* (Snow)	CAT	Turbulence en atmosphère claire (Clear air turbulence)
▽	Averse* (Shower)	↘ ↙ ↘ ↙	Ligne de grains forts (Severe line squall)
△	Grêle (Hail)	⚡	Orage (Thunderstorm)
⋈	Givrage faible* (Light icing)	▨	Ondes orographiques marquées (Marked mountain waves) - MTW
⋈	Givrage modéré (Moderate icing)	⊙	Cyclone tropical (Tropical cyclone)
⋈	Givrage fort (Severe icing)	+	Chasse-neige élevée de grande étendue (Widespread blowing snow)
=	Brume de grande étendue (Widespread mist)		
≡	Brouillard étendu* (Widespread fog)		
⋈	Fumée de grande étendue (Widespread smoke)		
S	Forte brume de sable ou de poussière (Severe sand or dust haze)		
⋈	Tempête de sable ou de poussière de grande étendue (Widespread sandstorm or duststorm)		

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

Figure 3.45.

La nébulosité est codée comme-suit :

0/8	SKY Sky Clear	
1-2 /8	FEW	
3-4/8	SCT Scattered	
5-7/8	BKN Broken	
8/8	OVC Overcast	

## B. La Carte des vents et des températures prévues

Ces cartes fournissent la force du vent et les températures prévues à différents niveaux de vol.

Il y a 4 cartes par jour : 00h, 06h, 12h, 18h (*en Temps Universel*)

La température est inscrite avec un signe + (si elle est positive). Si elle est négative, il n'y aura pas de symbole devant. Par exemple :

- sur la carte, on lit +3. La température est donc de +3°C.

- sur la carte, on lit 1. La température est donc de -1°C.

Les flèches indiquent la direction du vent et le nombre de barbules, la vitesse.

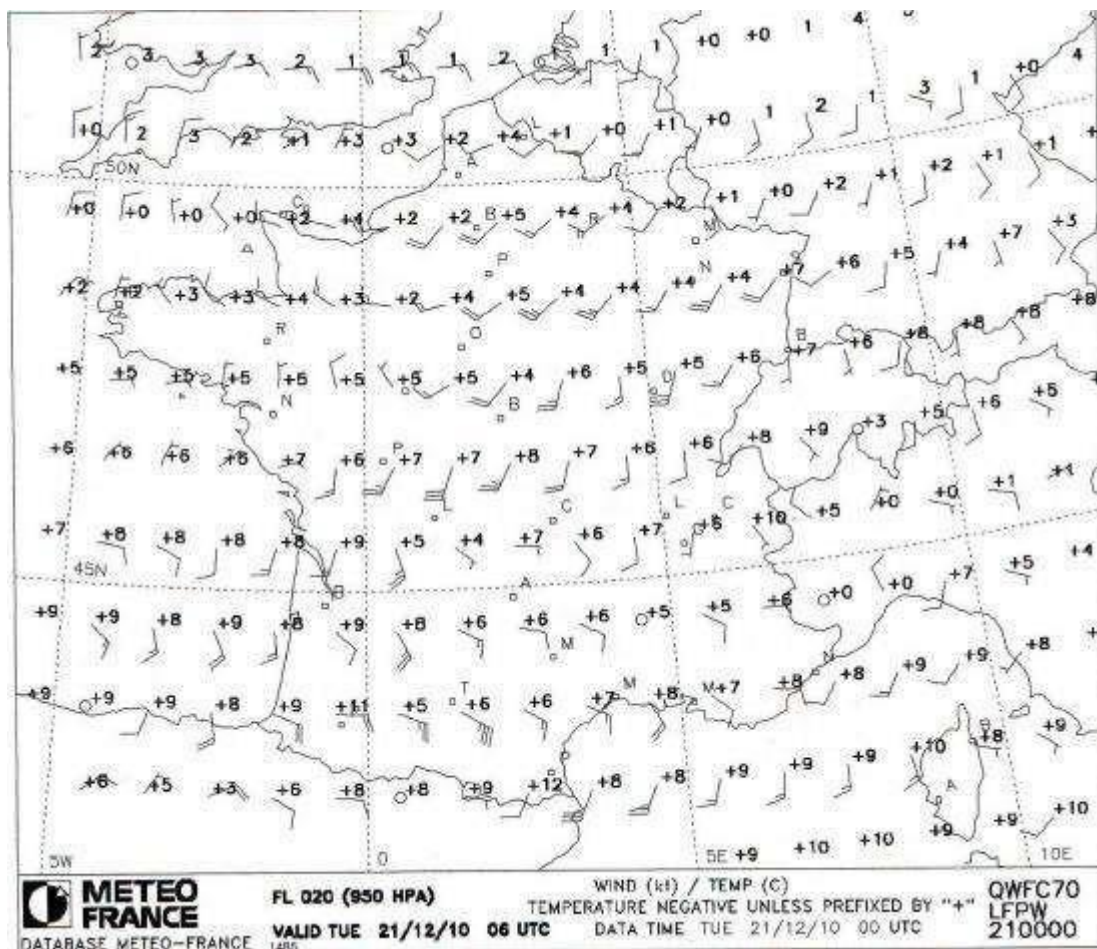


Figure 3.46.

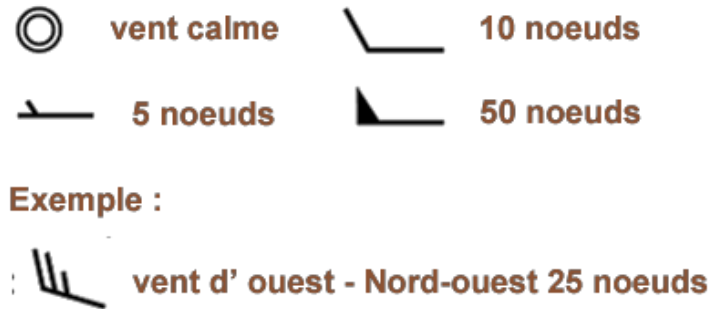


Figure 3.47.

## II. Les messages

### A. **METAR** : (METeorological Aerodrome Report ou METeorological Airport Report)

C'est un message d'observation météorologique du temps sur un Aérodrome.

Il est donc très fiable. Il est réédité toutes les heures ou toutes les demi-heures.  
C'est un message codé, toujours organisé de la même façon

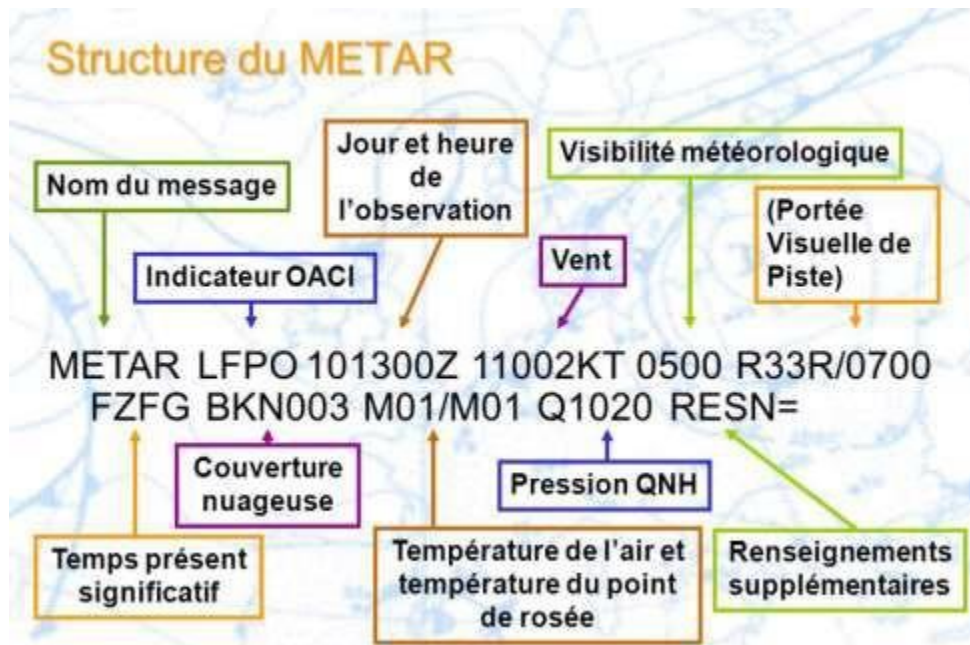


Figure 3.48.

Celui-ci possède quelques codes principaux :

QUALIFICATIF		PHÉNOMÈNE MÉTÉOROLOGIQUE			
INTENSITÉ OU PROXIMITÉ 1	DESCRIPTEUR 2	PRÉCIPITATIONS 3		PHÉNOMÈNES D'OBSCURCISSEMENT 4	AUTRE 5
Note : Pour les précipitations, les quali- ficatifs d'intensité s'appliquent à toutes les formes combinées.	<b>MI</b> Mince	<b>DZ</b> Bruine	<b>BR</b> Brume (Vis ≥ 5/8 SM)	<b>PO</b> Tourbillons de poussière/sable	
	<b>BC</b> Bancs	<b>RA</b> Pluie	<b>FG</b> Brouillard (Vis < 5/8 SM)	<b>SQ</b> Grain(s)	
	<b>PR</b> Partiel	<b>SN</b> Neige	<b>FU</b> Fumée (Vis ≤ 6 SM)	<b>+FC</b> Nuage en entonnoir (tromade ou trombe marine)	
	<b>DR</b> Chasse basse	<b>SG</b> Neige en grains			
- Faible	<b>BL</b> Chasse élevée	<b>IC</b> Cristaux de glace (Vis ≤ 6 SM)	<b>DU</b> Poussière (Vis ≤ 6 SM)	<b>FC</b> Nuage en entonnoir	
	<b>SH</b> Averse(s)				
Modérée (aucun signe)	<b>TS</b> Orage(s)	<b>PL</b> Grésil ou granules de glace	<b>SA</b> Sable (Vis ≤ 6 SM)	<b>SS</b> Tempête de sable (Vis < 5/8 SM) (+SS Vis < 5/16 SM)	
		<b>GR</b> Grêle			
+ Forte	<b>FZ</b> Verglaçant(e)	<b>GS</b> Neige roulée	<b>HZ</b> Brume sèche (Vis ≤ 6 SM)	<b>DS</b> Tempête de poussière (Vis < 5/8 SM) (+DS Vis < 5/16 SM)	
VC Voisinage		<b>UP</b> Précipitation inconnue (AWOS seulement)	<b>VA</b> Cendre volcanique (quelle que soit la visibilité)		

Figure 3.49.

A noter que CAVOK signifie Ceiling and Visibility OK soit :

- Visibilité dominante supérieure à 10 km
- Pas de nuages sous 1500 m
- Pas de précipitations, orages, cumulonimbus ou cumulus bourgeonnant

## B. Le TAF (Terminal Area Forecast)

C'est un message de **prévision** météorologique.

Il existe des TAF courts (valable 9h) ou des TAF longs (valables 24h). Ils sont disponibles 1h avant leur début de validité. Il peut être accompagné d'un SIGMET, signalant les phénomènes dangereux.

La syntaxe ressemble aux METAR mais ils sont organisés différemment.

**Toutes les heures des METAR ou des TAF sont données en heures UTC (il faut donc ajouter 2h en été et 1h en hiver).**

**LFLY 140800Z 1409/1418 32010KT 9999 SCT025CB BKN050 TEMPO 0911 7000  
SCT015 BKN040 BECMG 1113 SCT050=**

La prévision concerne Lyon Bron, il a été émis le 14 à 8h (heure Zoulou ou UTC)

Le message est valable de 9h à 18h UTC avec un vent 320 pour 10Kt avec une visibilité supérieure à 10 Km. 3 à 4 octas par Cb à 2500 pied, 5 à 7 octas à 5000 pieds.

Baisse temporaire de la visibilité à 7000 mètre entre 9h et 11h

Evolution progressive entre 11h et 13h, 3 à 4 octas à 5000 pieds

## III. Le dossier météo

Lors de tout vol en aviation légère et commerciale, le pilote doit réglementairement préparer un dossier météorologique et l'embarquer à bord. Ce dossier comprend la situation générale, les prévisions nationales et locales, les différents messages utiles.

Toutes les données nécessaires sont accessibles sur le site Aeroweb ([aviation.meteo.fr](http://aviation.meteo.fr))

En vol VFR, avant de décider de partir, je dois avoir en mémoire les 5 éléments suivants :

- La visibilité
- La base des nuages
- La nébulosité des nuages
- La direction et la vitesse du vent

- Les phénomènes dangereux

En vol, le pilote se doit d'observer régulièrement le ciel et si nécessaire s'informer par radio (AFIS, contrôle, VOLMET).

# English vocabulary

## Weather Vocabulary

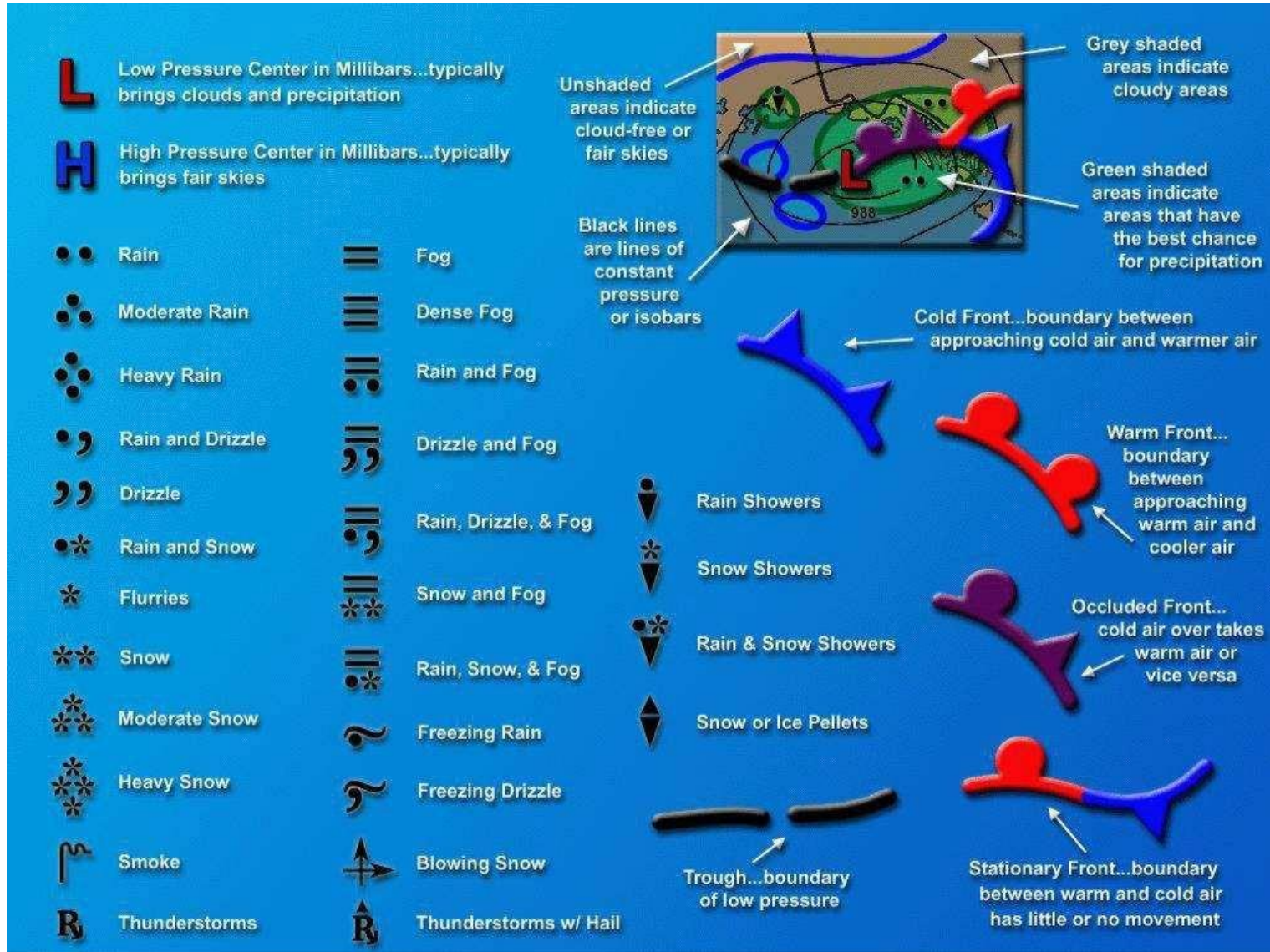


Figure 3.50.

Bank	Banc	BC
Becoming	Devenant	BECMG
Breeze	Brise	BR
Broken	Fragmenté	BKN
Blowing	Chasse Elevée	BL
Blowing Snow	Chasse Neige Elevé	BLSN
Mist	Brume	BR
Clear Air Turbulence	Turbulence En Atmosphère Claire	CAT

Ceiling And Visibility Ok	Plafond Et Visibilité Ok	CAVOK
Contrails	Trainées de condensation	
Cumulonimbus	Cumulonimbus	CB
City	Ville	CIT
Cloud	Nuage	CLD
Clear	Clair	CLR
Coast	Sur Les Côtes	COT
Dew Point	Point De Rosée	DP
Low Drifting	Chasse Basse	DR
Duststorm	Tempête De Poussière	DS
Dust (Widespread)	Poussière (Etendue)	DU
Drizzle	Bruine	DZ
Embedded	Noyé	EMBD
Funnel Cloud	Trombe Terrestre Ou Marine	FC
Forecast	Prévision	FCST
Few	Peu	FEW
Fog	Brouillard	FG
From ... Till	Depuis .... Jusqu'à	FM TL
Frequent	Fréquent	FRQ
Smoke	Fumée	FU
Freezing Rain	Pluie Verglaçante	FZ
Gust	Rafale	G XXkt
Hail	Grêle	GR
Fine Hail	Grésil	GS
High Pressure Centre	Anticyclone	H
Heavy	Fort	HVY
Haze	Brume Sèche	HZ
Icing	Givrage	IC
Intermittent	Par Intermittence	INTER
Intensively	S'intensifiant	INTSF
Isol	Isolément	ISOL
Low Pressure Centre	Dépression	L
Inland	Dans Les Terres	LAN
Locally	Localement	LOC
Line Squall	Ligne De Grains	LSQ
Layer	En Couches	LYR
Maritim	En Mer	MAR
Meteorological Report	Message D'observation Régulière	METAR
Shallow	Mince	MI
Moderate	Modéré	MOD
Mountain	Au-Dessus Des Montagnes	MON



Moving	En Mouvement	MOV
Mountain Waves	Ondes Orographiques	MTW
No Significant Change	Pas De Changement Significatif (Dans Les 2 Heures)	NOSIG
No Significant Cloud	Pas De Nuage Significatif	NSC
No Significant Weather	Pas De Temps Significatif Prévu	NSW
Obscure	Obscurci (Nuages)	OBSC
Occasionnaly	Occasionnellement	OCNL
Overcast	Couvert	OVC
Pellet	Granules De Glace	PE
Dust Devils	Tourbillons De Poussière	PO
Rain	Pluie	RA
Ragged	Déchiqueté	RAG
Recent	Récent	RE
Runway Visual Range	Portée Visuelle De Piste	RVR
Sand	Sable	SA
Scattered	Epars	SCT
Surface	En Surface, Au Sol	SFC
Snow Grains	Neige En Grains	SG
Shower	Averse	SH
Significant Meteorology Report	Phénomènes Significatifs (Dangereux)	SIGMET
Sky Clear	Ciel Clair	SKC
Snow Flurries	Bourrasques De Neige	SN
Special Report	Message D'observation Special	SPECI
Squall	Grains	SQ
Sandstorm	Tempête De Sable	SS
Stationary	Stationnaire	STNR
Terminal Aerodrome Forecast	Bulletin De Prévision Aérodrome	TAF
Tropical Cyclone	Cyclone Tropical	TC
Towering Cumulus	Cumulus Bourgeonnant	TCU
Temporary	Temporairement	TEMPO
Significant Weather	Temps Significatif (Prévision)	TEMSI
Tendency	Tendance	TEND
Thunderstorm	Orage	TS
Volcanic Ashes	Cendres Volcaniques	VA
Valley	Dans Les Vallées	VAL
Vicinity	Aux Environs	VC
Variable	Variable	VRB
Vertical Visibility	Visibilité Verticale	VV
Weakening	S'affaiblissant	WKN
Wind Shear	Cisaillement De Vent	WS

# Weather map and wind strength

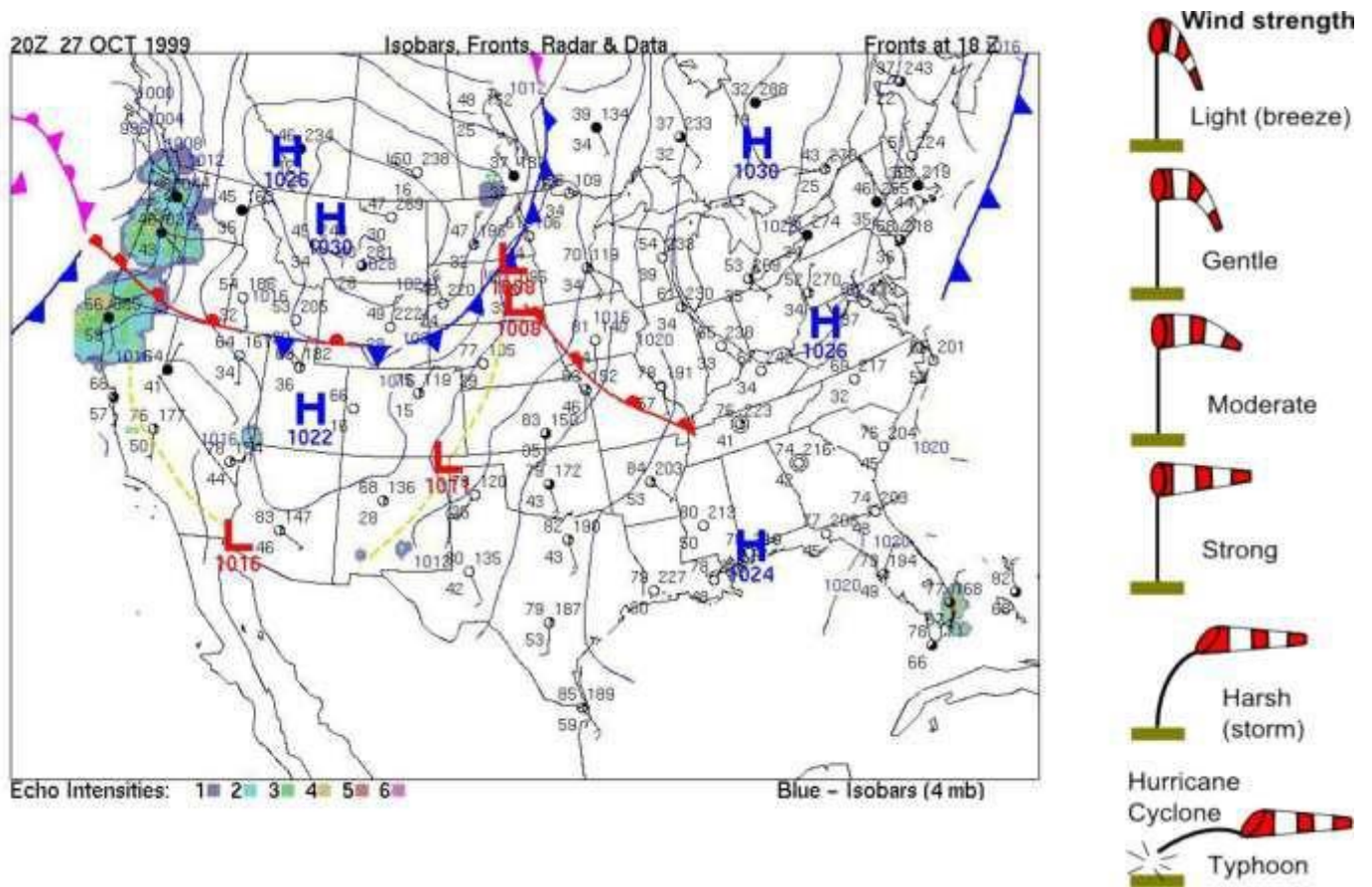


Figure 3.51.

## **Chapitre 4 : NAVIGATION, REGLEMENTATION, SECURITE DES VOLS**



Ce chapitre est divisé en 4 parties :

**Partie 1 : Réglementation et Sécurité**

**Partie 2 : Circulation Aérienne**

**Partie 3 : Principes de la Navigation**

**Partie 4 : Préparer son vol**

## Contenu du Chapitre :

### **Partie 1 : Réglementation et sécurité**

- I. Organismes chargés de la Réglementation
- II. Licence et Brevets
- III. Certification, équipement et entretien des aéronefs
- IV. Facteurs humains et accidents

### **Partie 2 : Circulation aérienne**

- I. Les zones aéronautiques
- II. L'aérodrome
- III. Règles de vol

### **Partie 3 : Principes et outils de la Navigation**

- I. La mesure du temps
- II. Se repérer sur la terre
- III. Déclinaison et dérive
- IV. Méthodes de navigation

### **Partie 4 : Préparer son vol**

- I. Préparation de la navigation
- II. Avant le départ

### **Complément : English vocabulary**

# Partie 1 : Réglementation et sécurité

## I. Organismes chargés de la Réglementation

Passant des avions de loisirs, réservés à quelques pilotes, à un moyen de transport pour des passagers de plus en plus nombreux, l'aviation a dû développer des règles et donc des organismes de régulation pour assurer la sécurité des personnes et des biens.

Il existe aujourd'hui plusieurs niveaux de régulation :

### - Mondiale : Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

C'est la convention de Chicago du 7 décembre 1944 est à l'origine de l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile (OACI).

Elle a pour but de définir les règles de circulation des aéronefs au niveau international.

Les langues reconnues comme langues aéronautiques internationales sont par ordre :  
**L'Anglais, le Français, l'Espagnol, le Russe et le Chinois.**



### - Continentale : European Aviation Safety Agency (EASA)



C'est le niveau pour les décisions pour la sécurité aérienne en **Europe**.

Elle est basée à **Cologne (Allemagne)**.

### - Nationale : Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)

C'est le niveau de décisions pour la sécurité aérienne en **France**.

Elle gère la sécurité et la sûreté du transport aérien et le contrôle aérien dans l'espace aérien français.

Elle assure les examens des personnels navigants professionnels, des pilotes privés et forme des cadres de l'Aviation Civile par l'intermédiaire de l'ENAC.



Les aéronefs civils sont alors soumis aux règles de la Circulation Aérienne Générale (CAG) tandis que les aéronefs militaires sont soumis à d'autres règles, qui dépendent notamment de leurs missions.

Il existe aussi des relais sur la réglementation au niveau du Conseil National des Fédérations Aéronautiques et Sportives (CNFAS) qui regroupe l'ensemble des fédérations à savoir :

- Fédération Française d'Aéromodélisme (FFAM)
- Fédération Française Aéronautique (FFA)
- Fédération Française d'Aérostation (FFA)
- Fédération Française d'Hélicoptère (FFH)
- Fédération Française de Parachutisme (FFP)
- Fédération Française de Planeur Ultra-Léger Motorisé (FFPLUM)
- Fédération Française de Vol Libre (FFVL)
- Fédération Française de Vol en Planeur (FFVP)
- Fédération Française des Constructeurs et Collectionneurs d'Aéronefs (RSA)

Le Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales (GIFAS) regroupe les entreprises françaises du secteur.

## II. Licences et Brevets

**Tout pilote doit posséder un Brevet et une Licence pour voler.**



### Un Brevet

Diplôme attestant que le pilote a suivi une formation et satisfait aux tests.

≠

### Une Licence

Titre provisoire permettant d'exercer les acquis du Brevet.

*Elle se renouvelle par un test médical effectué par un médecin agréé aéronautique et la justification d'une pratique.*

## **Les différentes Licences et Brevets :**

- ✓ **BIA** → Le Brevet d'Initiation Aéronautique s'effectue dans le cadre un établissement scolaire ou avec ou dans une structure reconnue par le CIRAS (*ENAC, associations aéronautique, aéro-club, ...*). Il comporte une initiation **théorique** et une initiation **pratique** en aéro-club mais ne permet pas à son titulaire de piloter seul à bord. Ce brevet permet également d'obtenir des bourses pour poursuivre sa formation vers les autres brevets.
- ✓ **BB (Brevet de Base)** → Ce brevet, valable uniquement en France, donne la possibilité aux candidats de voler seuls dans les 30 km autour d'un aérodrome. Le BB peut se préparer dès 15 ans et est en général une étape vers le PPL. Sa suppression est prévue pour 2020, où il sera partiellement remplacé par le LAPL.
- ✓ **Brevet ULM** → Ce brevet permet de piloter des ULM (1 passager maximum, limité en poids et puissance moteur) à partir de 15 ans et pour une durée illimitée. Un certificat de non contre-indication à la pratique de l'ULM délivré par un médecin généraliste suffit.
- ✓ **LAPL (Light Aircraft Pilot Licence)** → Ce brevet permet de piloter localement des avions à pistons de moins de 2 tonnes à partir de 17 ans, sans passager. Le premier vol solo peut avoir lieu dès 16 ans.
- ✓ **PPL** → Le Brevet de Pilote Privée (Private Pilot Licence), permet de voler seul ou avec des passagers sans limitation de distance. Pour l'obtenir, il faut être âgé de 17 ans (on peut être lâché en solo dès 16 ans), réussir les examens théoriques et avoir accompli au minimum 45 heures de vol dont 10h au moins en solo. Cette qualification ne permet pas d'être rémunéré pour son travail de pilote.

Il existe des qualifications complémentaires (d'une durée de validité limitée) telles que le vol aux instruments (IFR), le vol de nuit, la voltige, la conduite des avions à train rentrant et hélices à pas variable, le pilotage des turbopropulseurs ou des turboréacteurs.

- ✓ **CPL** → la Commercial Pilot Licence donne la possibilité de faire du transport à but commercial. Une fois son PPL en poche, il est possible de continuer sa formation pour faire de sa passion un métier en devenant commandant de bord sur avion. Il faut avoir déjà effectué 200 heures de vol et plusieurs habilitations (vol de nuit notamment) le jour de l'examen pratique. Cette qualification permet d'être rémunéré pour son travail de pilote.

- ✓ **ATPL** → il s'agit de la Licence de Pilote de Ligne (Airline Transport Pilot Licence). Elle permet d'occuper le poste de commandant de bord pour le transport aérien public. **Il s'agit du brevet de plus haut niveau en aéronautique.**

## III. Certification, équipement et entretien des aéronefs

- Pour les ULM et le vol libre, les machines sont pas obligatoirement certifiées et peuvent être entretenues par leurs propriétaires.
- Pour les avions, planeurs et hélicoptères, les machines doivent être homologuées et l'entretien fait l'objet d'un suivi (suivant les heures de vol et les indications portées sur le carnet de vol de l'appareil).

### A. Certification et immatriculation

**La certification des machines est assurée par la DGAC qui délivre un certificat de navigabilité.**

**Hormis les machines de vol libre, tous les appareils doivent être immatriculés.**

En Europe l'immatriculation comporte 5 caractères.



**Le premier désigne le pays (F- pour la France métropolitaine)**



**Alphabet aéronautique international :**

<b>Alphabet</b>	<b>Code international</b>	<b>Alphabet</b>	<b>Code international</b>
<b>A</b>	<b>Alpha</b>	<b>N</b>	<b>November</b>
<b>B</b>	<b>Bravo</b>	<b>O</b>	<b>Oscar</b>
<b>C</b>	<b>Charlie</b>	<b>P</b>	<b>Papa</b>
<b>D</b>	<b>Delta</b>	<b>Q</b>	<b>Quebec</b>
<b>E</b>	<b>Echo</b>	<b>R</b>	<b>Roméo</b>
<b>F</b>	<b>Foxtrot</b>	<b>S</b>	<b>Sierra</b>
<b>G</b>	<b>Golf</b>	<b>T</b>	<b>Tango</b>
<b>H</b>	<b>Hotel</b>	<b>U</b>	<b>Uniform</b>
<b>I</b>	<b>India</b>	<b>V</b>	<b>Victor</b>
<b>J</b>	<b>Juliatt</b>	<b>W</b>	<b>Whisky</b>
<b>K</b>	<b>Kilo</b>	<b>X</b>	<b>X-Ray</b>
<b>L</b>	<b>Lima</b>	<b>Y</b>	<b>Yankee</b>
<b>M</b>	<b>Mike</b>	<b>Z</b>	<b>Zulu</b>

Pour éviter des erreurs de compréhension à la radio, les pilotes utilisent cet alphabet aéronautique qui associe un mot à chaque lettre.

**La lettre qui suit le pays désigne le type d'avion :**

- ✈ F-AZ → Aéronef de collection
- ✈ F-B et F-G → Avion et hélicoptère
- ✈ F-C → Planeur
- ✈ F-W → Prototype
- ✈ F-Z → Aéronef des douanes
- ✈ F-J → Identification radio des ULM, leur immatriculation étant nnXXX, nn désignant le numéro de département de l'aérodrome d'attache.

## B. Signalisation des aéronefs

### 1. Le Vol de nuit

Le vol de nuit nécessite une qualification spéciale. Pour les latitudes comprises entre 30 et 60°, la nuit aéronautique commence 30 minutes après le coucher du soleil et finit 30 minutes avant le lever du soleil.

Jusqu'à 30 minutes après le coucher du soleil je peux encore voler en condition VFR de jour



L'avion doit posséder un équipement minimum en instruments et en éclairage de bord. Il doit être équipé de feux de signalisation en vol de nuit :

- Un feu vert en bout d'aile droite
- Un feu rouge en bout d'aile gauche
- Un feu blanc derrière
- Un feu à éclat (MTO)

#### Exercice de bon sens

Je pilote un avion en vol de nuit et j'aperçois les feux d'un autre avion.  
Pour les cas ci-dessous, préciser sa trajectoire.



L'avion vient droit sur vous



L'avion est devant vous et suit la même direction



L'avion se déplace de gauche à droite



L'avion se déplace de droite à gauche



L'avion vient sur vous en virage à gauche



L'avion est devant vous en virage à droite

## 2. Survol maritime

En cas de survol d'une étendue d'eau, chaque occupant de l'aéronef doit avoir un gilet de sauvetage.

De plus, au-delà de 30 minutes ou 50 NM des côtes, il doit en plus emporter des canots de sauvetage pour tous les occupants, un équipement de secours médical et de survie ainsi qu'une balise de détresse flottante et étanche. Un plan de vol est obligatoire.

## C. Autres équipements et sécurités

### 1. Le Parachute

Il est obligatoire pour la pratique de la voltige et dans les planeurs qui ne sont pas motorisés.

### 2. L'oxygène

Pour les aéronefs non pressurisés, elle est obligatoire pour le pilote pour  $Z > FL100$  au-delà de 30 minutes. Au-dessus de FL130, l'oxygène est obligatoire pour tous les occupants, quelle que soit la durée.



Pour les appareils pressurisés, l'altitude cabine doit être inférieure à 2500 m (8000 ft) et un équipement individuel de secours en cas de dépressurisation est obligatoire.

### 3. L'Autonomie en carburant



Pour entreprendre un vol, il faut emporter une quantité de carburant correspondant à la mise en route, au roulage, la montée, le vol, la descente et l'arrivée, en tenant compte du vent et des dernières conditions météorologiques.

D'après la dernière réglementation du 26 Juin 2016 :

- A défaut de connaître le vent, il faut prévoir une quantité nécessaire sans vent plus **au minimum** 10%, à laquelle s'ajoutent 30 minutes de réserve de jour, ou 45 minutes de nuit.
- En local, à vue du terrain, la réserve finale doit être au moins de 10 minutes.
- En local hors vue du terrain, la réserve finale doit être au moins de 30 minutes de jour

**En aucun cas, on ne peut poursuivre un vol avec moins de 15 minutes d'autonomie.**

## IV. Facteurs humains et accidents

### A. Les règles de bon sens de la réglementation aérienne

Un avion ne devra pas être piloté de façon négligente ou imprudente pouvant entraîner un risque pour le pilote et ce qui l'entoure.

Aucun pilote ne prendra les commandes d'un avion sous l'emprise de l'alcool, de narcotique ou de stupéfiants susceptible de compromettre ses facultés.

On ne pilote pas si l'on est fatigué ou stressé car cela peut entraîner des erreurs de jugements ou des altérations des réflexes.

En 2017, le BEA (Bureau d'Enquête Accidents) a recensé 30 accidents mortels et 177 accidents non mortels en France. Dans plus de 90% des cas, ce sont les facteurs humains qui sont impliqués.

## B. Les effets de l'altitude

La pression de l'air diminue, à mesure que l'on monte en altitude, il en est de même de la pression partielle d'oxygène dans l'air respiré.

Cela entraîne une diminution de l'apport en oxygène dans les tissus (et au cerveau).

Récapitulatif d'effets ressentis pour différentes altitudes :

**12 000 ft** : Maux de tête, fatigue

**18 000 ft** : Maux de tête, fatigue, somnolence, perturbation visuelles, trouble du comportement, perte de coordination

**22000 ft** : Palpitation, hyperventilation, collapsus, perte de connaissance

**25000 ft** : Convulsion, collapsus, perte de connaissance

**A 25000 ft** : le temps de conscience utile (durée pendant laquelle un individu conserve ses facultés mentales) est de 2min.

L'hypoxie est surtout ressentie lors de la montée. Plus on monte, plus les effets sont importants. Un sujet normal commence à ressentir les effets vers 10000 ft environ (soit 3000 m).

L'hyperventilation est engendrée par le stress, l'émotion ou l'anxiété. Le pilote évacue trop de CO<sub>2</sub>, ce qui peut conduire à la tétanie

Le barotraumatisme, dû à la hausse de pression ambiante lorsque l'avion perd de l'altitude, provoque une expansion des gaz présents dans les cavités corporelles.

- Une compression de l'oreille interne qui peuvent donner des otites et provoquer des vertiges
- Des problèmes de dents en cas de carie ou de plombages maltraités (problème d'étanchéité).
- Des problèmes de sinus ou des problèmes intestinaux

Pour une personne voyageant en avion, la pratique de la plongée sous-marine avec palier de décompression à la remontée (plus de 5 m), demande un repos de 24h avant de voler.

### **C. Les effets des accélérations**

Les accélérations ressenties sont susceptibles d'induire **des illusions sensorielles** et provoquer des **effets physiologiques** importants.

Les illusions apparaissent lorsque le pilote perd ses références visuelles (vol nuit ou aux instruments). L'orientation spatiale devient erronée (ex vol dans un nuage) car le système vestibulaire qui permet l'orientation dans l'espace ne repose plus que sur l'oreille interne et donc les accélérations perçues. Il peut en résulter également des vertiges.

Les effets physiologiques sont les suivants :

A +2g : Sensation de compression, tête et membres lourds, mobilité réduite.

A +3g : Augmentation des fréquences cardiaques et respiratoires.

A +4g : Perte de la vision périphérique, altération de la vision centrale (voile gris).

A +5g : Perte de la vision centrale (voile noir).

Les facteurs de charge négatifs peuvent se traduire par un voile rouge (afflux de sang vers la tête) à partir de - 3g



## Partie 2 : Circulation aérienne

### I. Les zones aéronautiques

#### A. VFR (Visual Flight Rules) ou « Vol à vue »

Il y a deux types de règles de vol :

- Le **vol VFR** (Visual Flight Rules) lorsque le vol est conduit conformément aux règles de vol à vue
- Le **vol IFR** (Instrument Flight Rules) lorsque le vol est conduit conformément aux règles de vol aux instruments

Le vol VFR nécessite des conditions météo permettant de conduire son vol en toute sécurité en appliquant la règle fondamentale « Voir et éviter ».

Ces conditions, dites VMC (Visual Meteorological Conditions), dépendent de l'altitude et sont :

- une visibilité minimale.
- une distance minimale par rapport aux nuages.

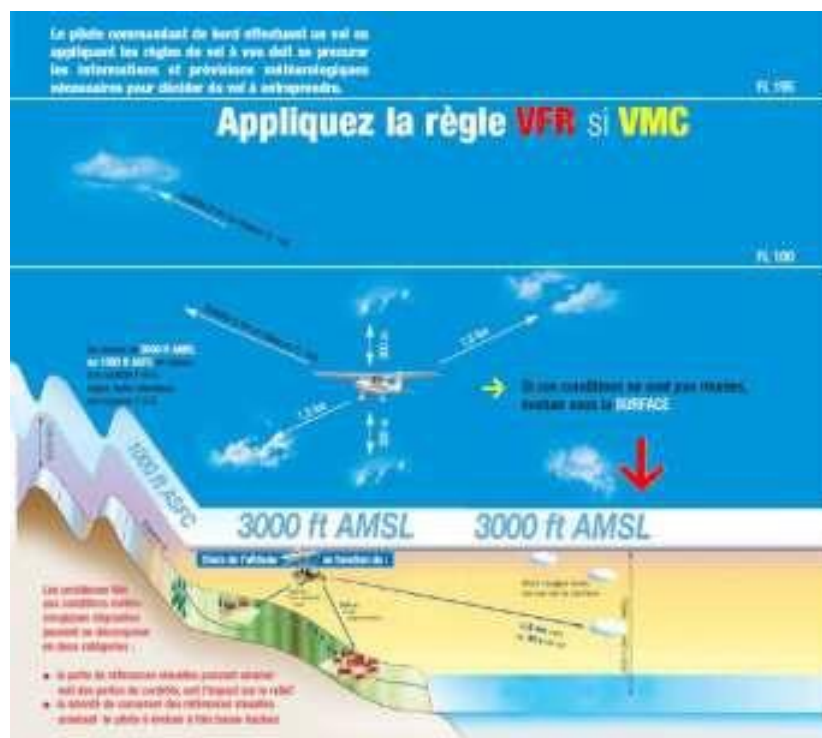


Figure 4.1.

Les conditions VMC s'opposent aux conditions IMC (Instrumental Meteorological Conditions) où le vol doit s'effectuer selon les règles de vol aux instruments ou IFR.

Classe d'espace	Contrôlé	Non contrôlé	Non contrôlé
Altitude de vol	toutes altitudes	Au-dessus des 2 plus hautes altitudes 3000 ft AMSL* ou 1000 ft AGL*	Au-dessous des 2 plus hautes altitudes 3000 ft AMSL* ou 1000 ft AGL*
Distance minimale par rapport aux Nuages	<b>1500 m</b> horizontalement <b>300 m</b> (1000 ft) verticalement	<b>1500 m</b> horizontalement 300 m (1000 ft) verticalement	<b>Hors des Nuages En vue de la Surface</b>
Visibilité minimale en Vol	<b>8km</b> à et au dessus du FL100 <b>5km</b> en dessous du FL100	<b>8km</b> à et au dessus du FL100 <b>5km</b> en dessous du FL100	<b>1500m</b> pour avions et 800m pour hélicoptères ou distance parcourue en 30 secondes de vol

AMSL = Au-dessus du niveau moyen de la mer (Above Mean Sea Level)

AGL = Au-dessus de la surface (Above Ground Level)

AAL = Au-dessus de l'Aérodrome (Above Aerodrome Level). Il s'agit de la hauteur entre l'avion et le point de référence de l'aérodrome comme s'il était en dessous de la position de l'appareil (même s'il n'y est pas). **Cette hauteur ne suit pas le relief.**

## B. Rappel sur les niveaux de vol

On utilise plusieurs références pour l'altitude :

- le QFE : donne la hauteur par rapport au terrain
- le QNH : permet de lire l'altitude par rapport au niveau de la mer
- le calage 1013 (dit standard ou QNE), utilisé en vol au-dessus 3000 ft AGL en espace aérien non contrôlé. Il permet de lire le niveau de vol (ou FL Flight Level) en centaine de ft

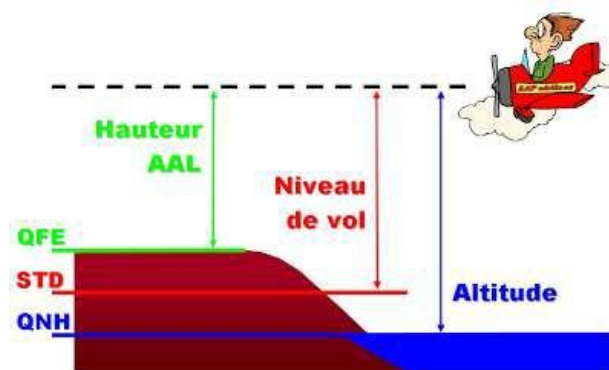


Figure 4.2.



Lorsqu'on utilise les niveaux de vol, la règle semi-circulaire s'applique.

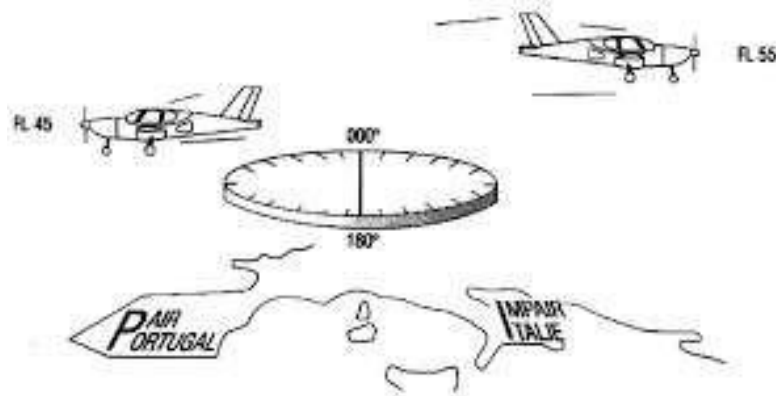


Figure 4.3.

Les chiffres des dizaines des niveaux de vol sont Impairs suivant la route magnétique 0 à 179° (vers l'Italie) et Pairs de 180 à 359° (vers le Portugal). Pour les vols VFR on ajoute 5, pour assurer une séparation de 500 ft entre vols IFR et VFR.

Impairs : 35, 55, 75, 95, 115, ... en VFR et 30, 50, 70, 90, 110, ... en IFR

Pairs : 45, 65, 85, 105, 125, ... en VFR et 40, 60, 80, 100, 120, ... en IFR

### C. Les espaces contrôlés

L'Espace aérien français est divisé en 2 grandes régions :

L'Espace supérieur (à partir du **FL 195 et jusqu'au FL 660**). On n'y trouve, en général, que des avions de ligne ou militaires et les aéronefs. Il est classé C sur tout le territoire.

L'Espace inférieur (du sol au **FL 195**). Le FL 195 et FL 195 00 on a enlevé les deux derniers chiffre.

Il est divisé en espaces :

- Contrôlés
- Non contrôlés
- A statut particulier

Selon les espaces il est possible d'y évoluer en IFR, en VFR ou les deux.

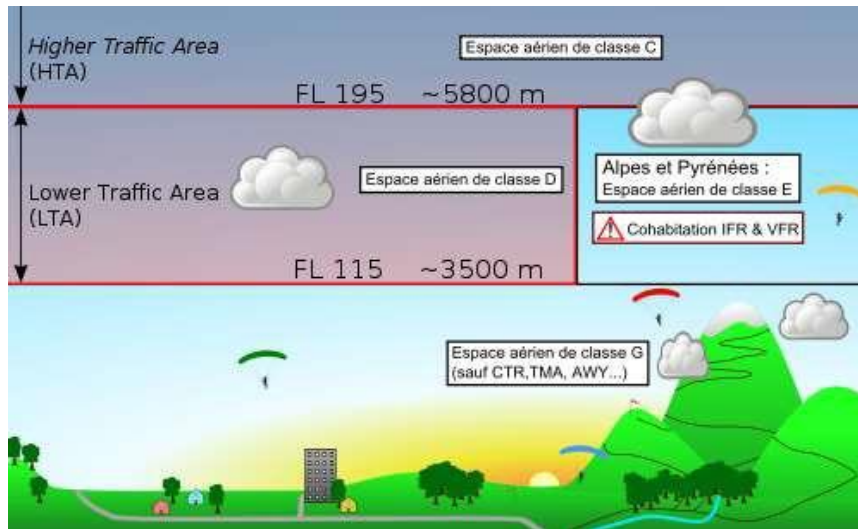


Figure 4.4.

L'Espace aérien français est divisé en plusieurs classes d'espaces : A, C, D, E et G (les espaces de classes B et F n'existent pas en France).

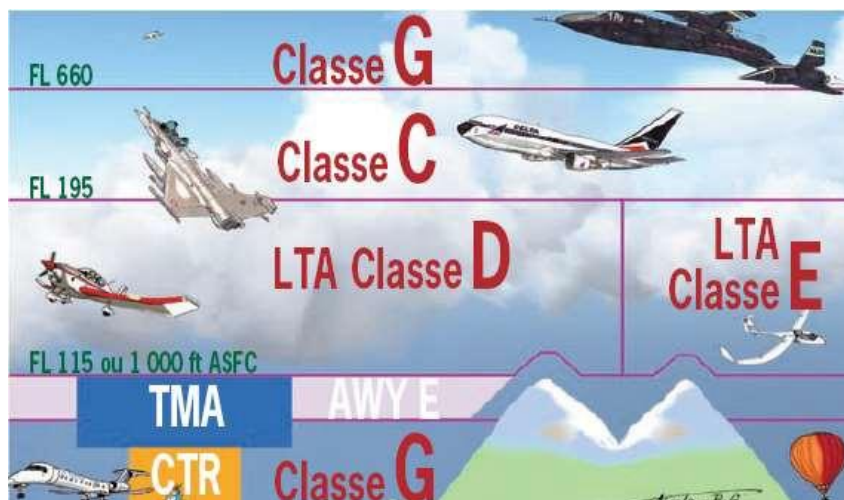


Figure 4.5.

**Pour le vol VFR :**

De la plus contraignante à la moins contraignante A -> G

- ✈ **Classe A** : interdite aux VFR
- ✈ **Classe C** : séparation avec les IFR. Information trafic avec les IFR et VFR. Contact radio obligatoire. Visibilité minimale : 8 Km. Distance par rapport aux nuages : 1,5 Km horizontalement et 300m verticalement.
- ✈ **Classe D** : Information trafic avec IFR et les VFR. Contact radio obligatoire. Visibilité minimale : 8 Km. Distance par rapport aux nuages : 1,5 Km horizontalement et 300m verticalement.

✈ **Classe E** : Information trafic avec les IFR et les VFR. Contact radio NON obligatoire. Visibilité minimale : 8 Km. Distance par rapport aux nuages : 1,5 Km horizontalement et 300m verticalement.

✈ **Classe G** : Vol non contrôlé. Visibilité minimale : 1,5 Km.

VFR	Espace Contrôlé					Espace Non Contrôlé	
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E	Classe F	Classe G
Conditions pénétration	VFR Interdit	Clairance			Non sauf VFR Spécial	Sans	Sans
Radio Obligatoire		Oui				Non	Non
Transpondeur Obligatoire		Oui				Non	Non

On trouve aussi des zones soumises à restrictions (aussi signalées et indiquées par une lettre) :

**P : Prohibited** (Zones interdites à tout aéronef)

**D : Dangerous** (Zones dangereuses à survoler selon les horaires)

**R : Restricted** (Zones à entrée restreinte sous certaines conditions)

Parmi les espaces contrôlés de l'espace inférieur on distingue plusieurs types de zone :

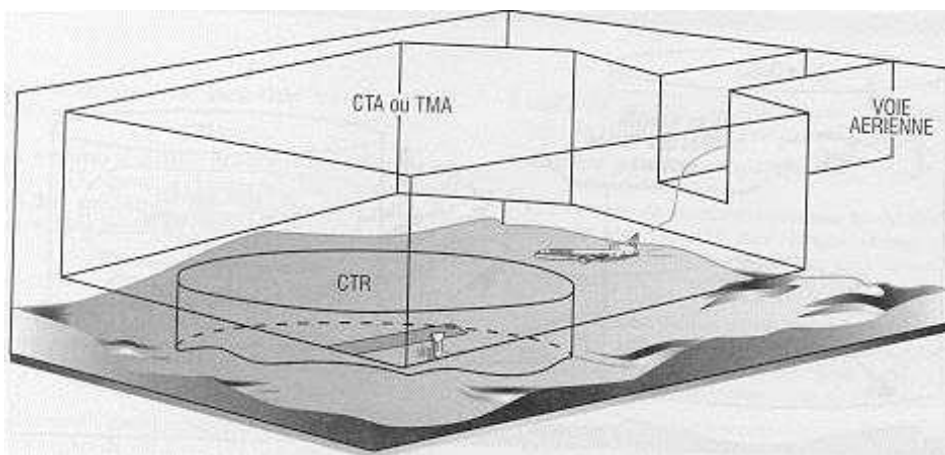


Figure 4.6.

- les **Airways (AWY) ou voies aériennes** : Ce sont des couloirs aériens dans lesquels les avions transitent entre les aéroports.

- les **TerMinal control Area (TMA)** : Ce sont des zones autour de l'aéroport, dans lesquels sont comprises les trajectoires de montée, de descente et d'attente des avions.
- Les **zones de Contrôle (CTR)** : Ils comprennent les trajectoires de décollage et d'approche finale des avions opérant sur l'aéroport.

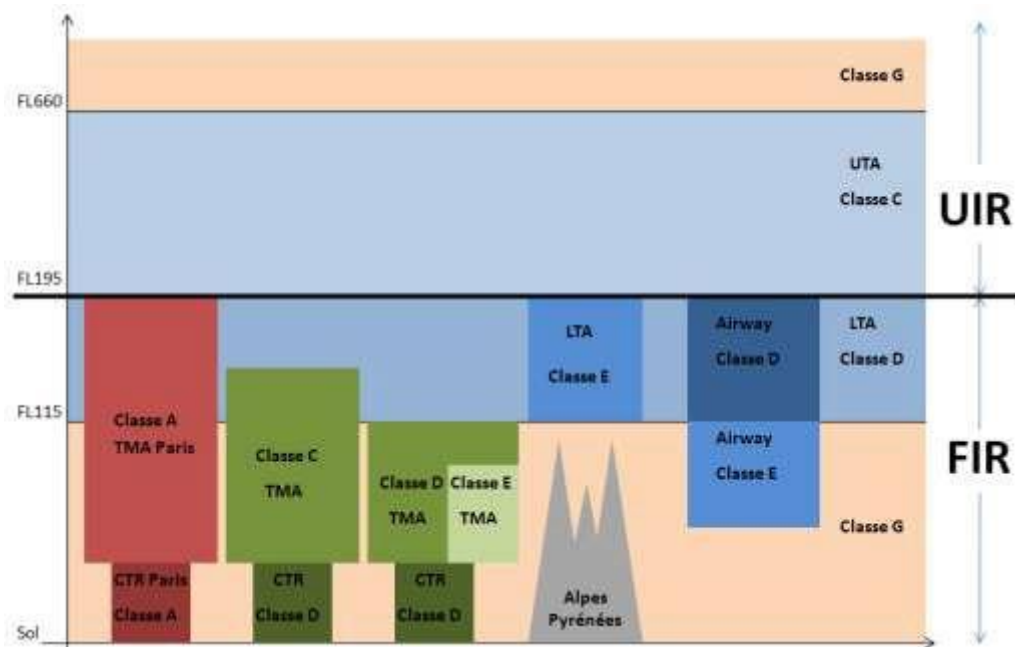


Figure 4.7.

## D. Les services de la circulation aérienne

- **le service du contrôle est chargé :**

- d'empêcher les abordages (en vol)
- d'empêcher les collisions (au sol)
- de régler la circulation aérienne

- **le service d'information de vol :**

- est chargé de fournir les avis et renseignements utiles à la bonne exécution des vols.

- **le service d'alerte :**

- est chargé de déclencher la mise en œuvre et de coordonner les secours lorsqu'un aéronef a besoin d'assistance. La fréquence de détresse internationale est 121,5 MHz.

## E. Les Moyens de contrôle de la circulation aérienne

### 1. Le radar primaire

C'est un système dont dispose les contrôleurs aériens pour détecter un avion et déterminer sa position par rapport à une station au sol.

Ce système n'a besoin d'aucun dispositif particulier à bord de l'avion.

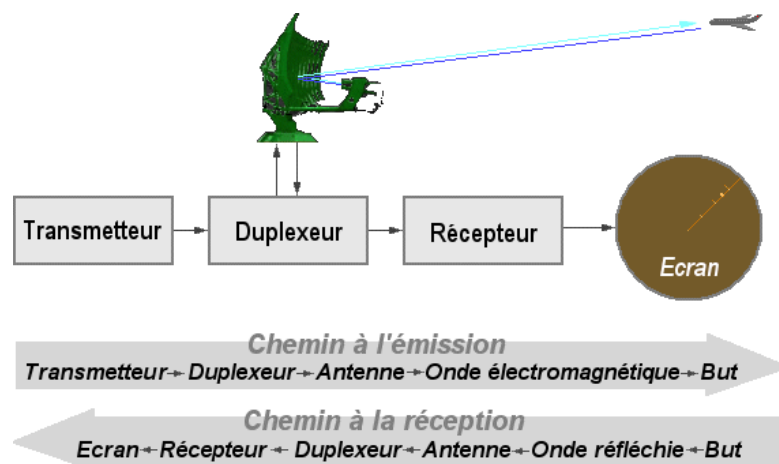


Figure 4.8.

Au sol, une antenne parabolique tourne sur elle-même en émettant des impulsions radioélectriques.

Lorsqu'une impulsion atteint les surfaces de l'avion, elle revient en écho à l'émetteur.

Le temps d'aller-retour, ainsi que l'orientation de l'antenne lors de la réception, permet de situer l'écho, et de visualiser l'avion sur l'écran du radar.

Ce radar est utilisé essentiellement pour les approches.

Le but est de repérer tous les mouvements dans un espace aérien.

### 2. Le radar secondaire

Il est généralement associé au radar primaire et permet l'identification des différents aéronefs.



Figure 4.9.

Le radar envoie à l'avion une interrogation à laquelle le transpondeur de bord fournit une réponse sur l'appareil (identification, altitude, ...)

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

C C F 3 2 1 <0772>	310							ID
tomcat			LGL	DIN	SE			13
C550 373 EDDK LFRT			02	23	31			03
ok8 now 350			08	08	08			01
1958	0807	120.15						

Figure 4.10.

Le radar secondaire est destiné au contrôle « en route » d'une portée de 250 NM.

En cas de difficultés, le pilote affiche, de sa propre initiative, un code signifiant sa difficulté :

- **7500 (détournement)**
- **7600 (panne radio)**
- **7700 (détresse)**

**Le code 7000 correspond à un vol VFR.**

## II. L'Aérodrome

### A. Aérodrome contrôlé / non contrôlé

On appelle aérodrome contrôlé, un aérodrome où le service du contrôle de la circulation aérienne est assuré (par la Tour ou TWR)

La circulation des aéronefs, au sol et en vol, est soumise à une autorisation délivrée par un contrôleur.

En l'absence de TWR, les pilotes font de l'auto-information ou bien il existe un AFIS (Aerodrome Flight Information Service).

Les paramètres d'information sont :

- La piste en service
- Direction, vitesse du vent à la surface et variations significatives
- Visibilité au sol
- QNH
- QFE
- Heure exacte
- Niveau de transition (niveau où il faut changer de calage altimétrique)
- Plafond
- Température de l'air

Un aéronef est considéré comme informé si les paramètres 1 à 5 lui ont été fournis.

### B. Les installations



Figure 4.11.

La vigie (TWR ou AFIS)

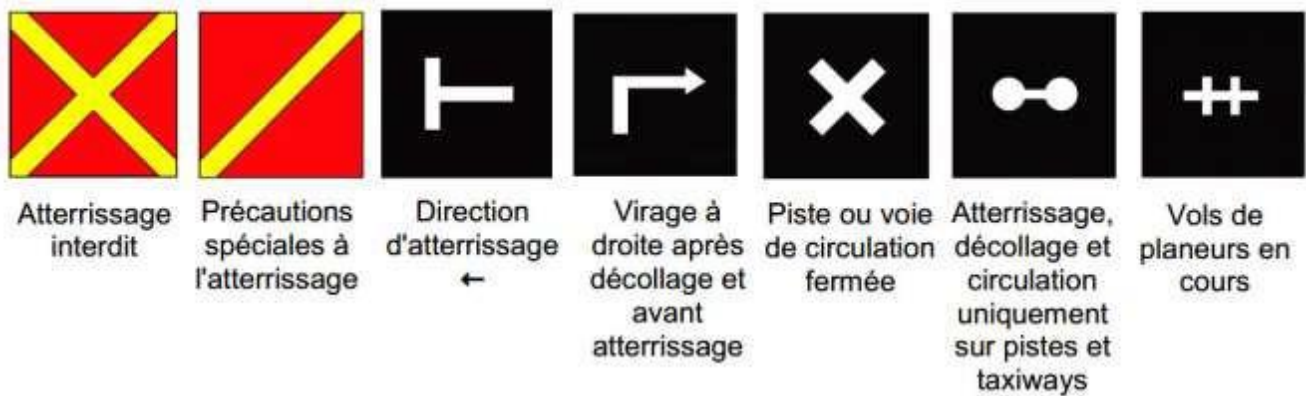
L'aire de trafic : stationnement, avitaillement, entretien

L'aire de manœuvre : piste(s), taxiway(s)

La piste de décollage et d'atterrissage est caractérisée par son numéro de piste.

Ce numéro (QFU) correspond à son orientation magnétique en dizaine de degrés, arrondis au plus proche. (Ex : une piste orientée au 052 magnétique est numérotée 05).

L'aire à signaux



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

La manche à air qui permet de déterminer la piste en service (décollage et atterrissage face au vent)

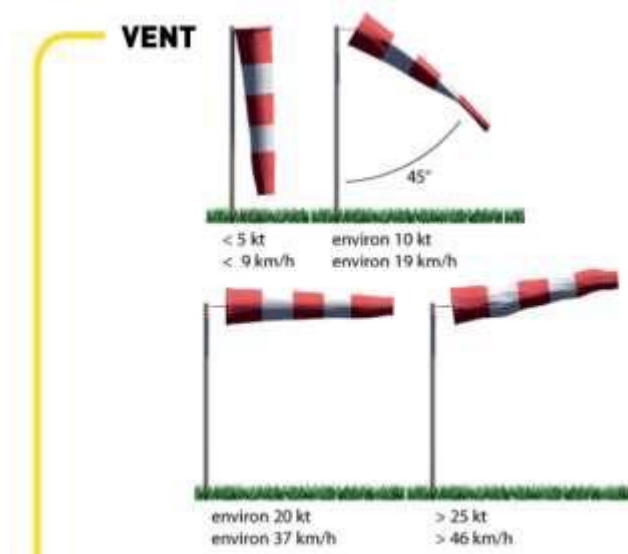


Figure 4.12.



On trouve également des parkings, des hangars, des terminaux et des installations de maintenance.

### III. Règles de vol

#### A. Règles de priorité

Le pilote en VFR est responsable de l'anti-abordage et de l'anti-collision :  
**Voir et Eviter.**



Figure 4.13.

Un aéronef en vol a toujours la priorité sur un aéronef au sol.

Le dépassement d'un aéronef s'effectue toujours sur la droite.

En cas de rapprochement de face, chaque appareil effectue un virage à droite.

Lorsque deux aéronefs se préparent à atterrir, c'est celui qui est le plus bas, qui est prioritaire.

Un aéronef à l'atterrissage ou en approche finale ne doit pas franchir le seuil de piste tant que l'aéronef qui le précède n'a pas franchi l'extrémité de piste ou amorcé un virage.

## B. Le Circuit d'aérodrome

Le tour de piste est le premier vol réalisé par un jeune pilote. Le sens peut se faire à droite ou à gauche selon le terrain et une altitude de 1000 ft/sol (cela est indiqué sur la carte VAC).

Taux 1 : 360° / 2mn en virage

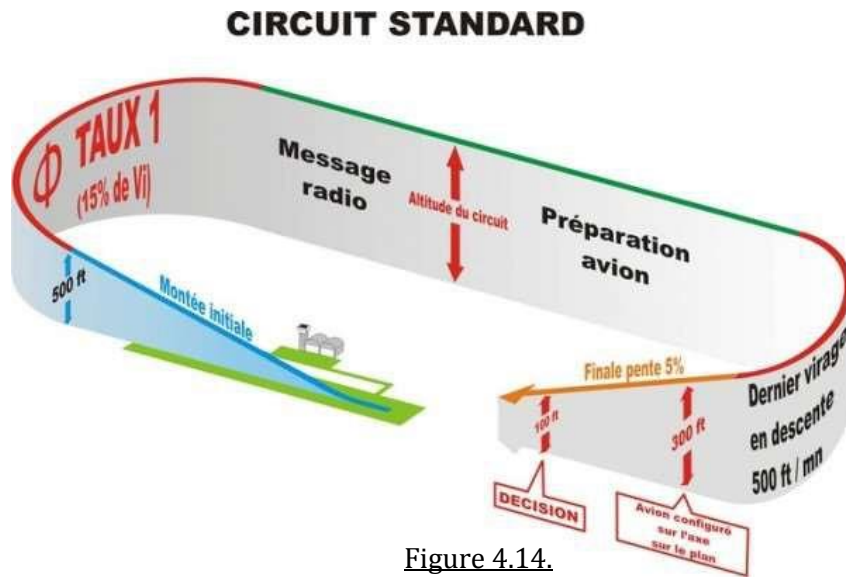


Figure 4.14.

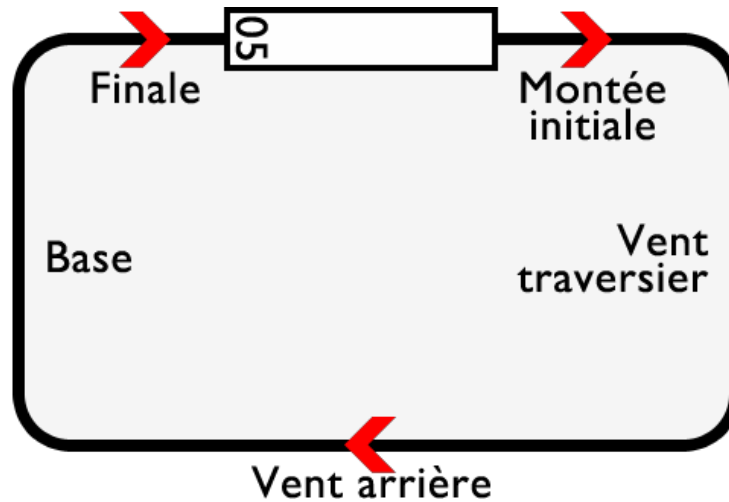


Figure 4.15. Tour de piste main droite

## C. Communication en cas de panne radio

Si la radio n'est plus utilisable, la tour peut communiquer avec le pilote avec des signaux lumineux.

**Si l'avion est en vol :**

- **Fusée rouge** : interdiction d'atterrir
- **Feu vert continu** : autorisé à atterrir
- **Feu rouge continu** : cédez le passage à un autre aéronef
- **Eclats verts** : revenez pour atterrir
- **Eclats blanc** : atterrissez et dégager la piste
- **Eclats rouges** : aéroport dangereux, n'atterrissez pas

**Si l'avion est au sol :**

- **Feu vert continu** : autorisé à décoller
- **Feu rouge continu** : arrêtez-vous
- **Eclats verts** : autorisé à circuler
- **Eclats blanc** : rentrez au parking
- **Eclats rouges** : dégagez la piste

**D. Hauteurs de survol**

Il existe des hauteurs minimales de vol :

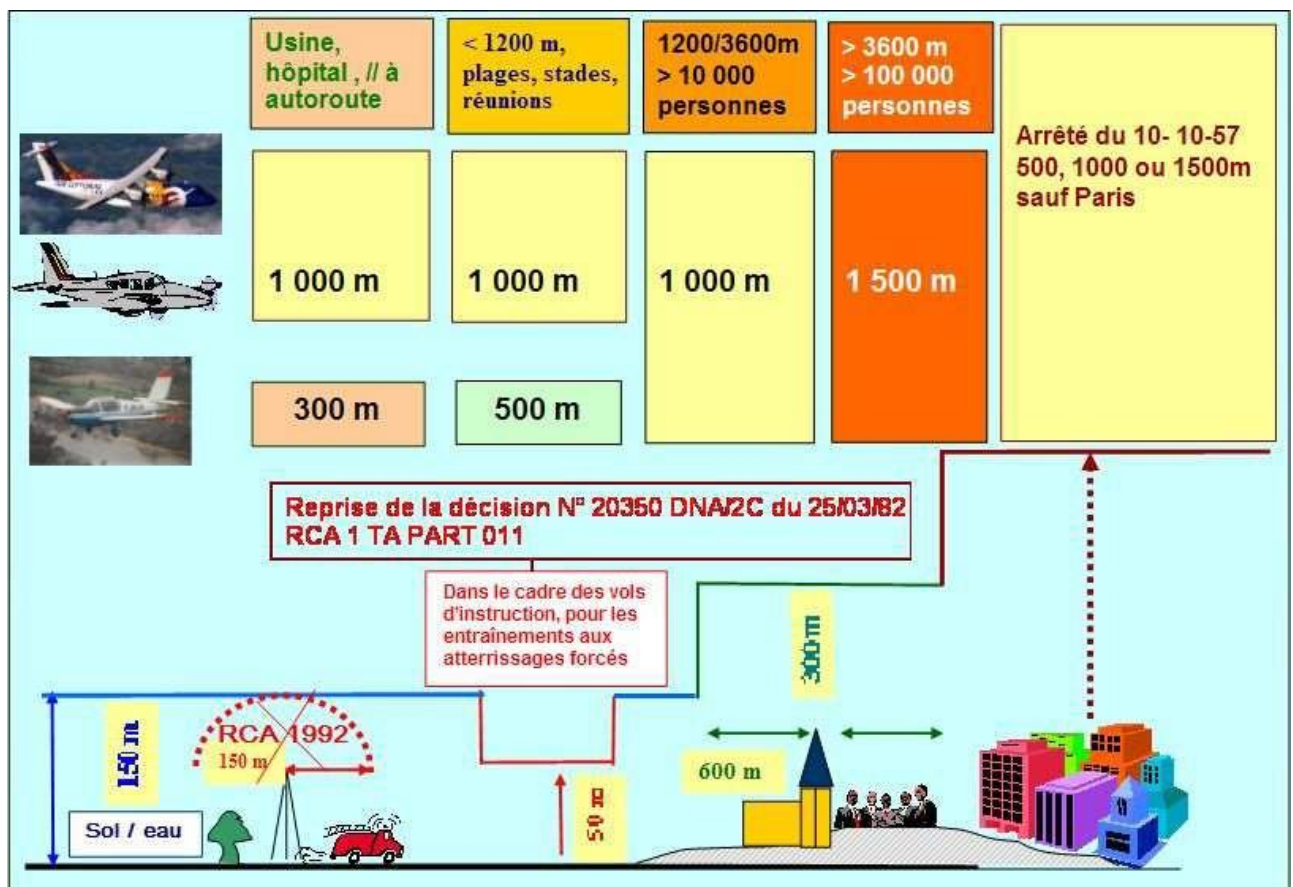


Figure 4.16.

**En particulier, aucun survol VFR n'est effectué :**

- Au-dessus des zones à forte densité (villes et rassemblements de personnes en plein air) à moins de 300 m (1000 ft).
- Au-dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 600 m autour de l'aéronef.

Dans les autres endroits que ceux spécifiés ci-dessus, un vol VFR ne doit pas être effectué à une hauteur inférieure à 150 m (500 ft) au-dessus du sol ou de l'eau.

Les cartes aéronautiques précisent par des pictogrammes spécifiques les hauteurs minimales de survol.






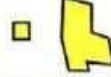
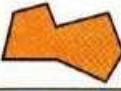
<b>RÈGLES DE SURVOL.</b>			
<b>A - AÉRONEFS MOTOPROPULSÉS</b>		<b>Hauteurs AGL minimales de survol (en pieds).</b>	
<b>Agglomérations, installations diverses, réserves et parcs naturels dont le survol est réglementé</b> <i>Built-up areas, various installations, nature reserves and parks over which flight is restricted.</i>		<b>Minimum AGL heights (in feet).</b>	
Les règles de survol des agglomérations telles qu'elles sont symbolisées sur cette carte résultent de la réglementation nationale, elles ne s'appliquent donc pas aux agglomérations appartenant aux pays limitrophes. <i>Rules for overflying built-up areas comply with national legislation and do not therefore apply to bordering countries.</i>		Hélicoptères <i>Helicopters</i>	Aéronefs monomoteurs à piston <i>Single piston-engined aircraft</i>
		Autres aéronefs moto propulsés <i>Other powered aircraft</i>	
Très petites agglomérations (non justifiables de l'application de l'arrêté du 10 octobre 1957 relatif au survol des agglomérations) <i>Small built-up areas</i>		<b>Règles de l'air / Rules of the air</b> <b>1000 Ft - Rayon / Radius 600 m</b>	
Parc ou réserve naturelle <i>Park or nature reserve</i>	Étendus <i>Large</i>  Très petits <i>Small</i> 	(Sauf indication contraire sur la carte) <i>(Unless otherwise stated on the chart)</i> <b>1000 Ft</b>	
Installations portant une marque distinctive <i>Site with special marking</i>		<b>1600 Ft</b>	
Agglomérations de largeur moyenne inférieure à 1200 m ou rassemblement de personnes et d'animaux <i>Small built-up areas less than 1200 m mean wide or gathering of people or animals</i>			
Agglomérations de largeur moyenne comprise entre 1200 et 3600 m ou rassemblement de 10 000 à 100 000 personnes <i>Medium built-up areas between 1200 m and 3600 m mean wide or gathering of 10 000 to 100 000 people</i>		<b>3300 Ft</b>	
Agglomérations de largeur moyenne supérieure à 3600 m ou rassemblement de plus de 100 000 personnes <i>Large built-up areas more than 3600 m mean wide or gathering of more than 100 000 people</i>		<b>5000 Ft</b>	
Ville de Paris <i>The city of Paris</i>	(ZONE P 23)	<b>6600 Ft AMSL</b>	
<b>B - AÉRONEFS NON MOTOPROPULSÉS</b>			
<b>La plus élevée des 2 hauteurs suivantes:</b> -hauteur permettant un LDG sans mettre en danger les personnes et les biens -1000 pieds au dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 600m autour de l'aéronef <b>Following heights whichever is higher:</b> -height permitting LDG without endangering people and properties -1000 Ft above higher obstacle in 600m radius from ACF			

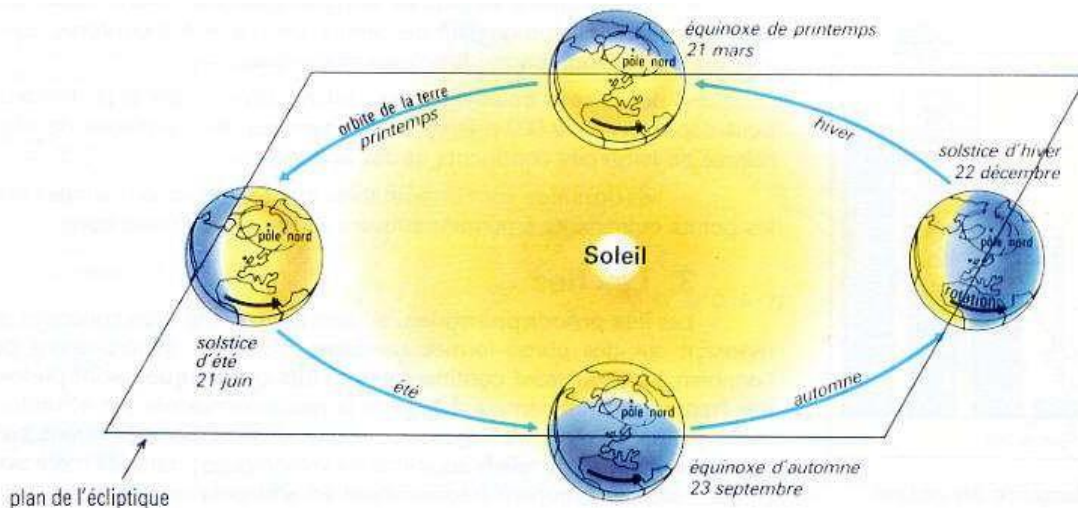
Figure 4.17.

## Partie 3 : Principes et outils de la Navigation

### I. La mesure du temps

#### A. Le Mouvement de la Terre autour du Soleil

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



La Terre tourne sur elle-même d'Ouest en Est, de  $15^\circ$  par heure et par conséquent  $1^\circ$  équivaut à 4 minutes.

Figure 4.18.

- **L'Heure UTC (Temps Universel Coordonné) :**

En tous points de la Terre, il est 12h00 UTC lorsque le soleil passe au méridien de Greenwich. L'heure UTC est utilisée pour les plans de vol, les observations et prévisions météorologiques et les horaires de lever et coucher du soleil.

- **L'Heure locale :**

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

- **L'Heure locale légale :**

Cette heure est décidée par le gouvernement de chaque pays pour faciliter des échanges économiques avec des pays voisins.

En France HL = UTC + 1 en hiver et HL = UTC + 2 en été. A 12h00 UTC, ma montre indique donc 13 heures en hiver et 14 heures en été.

**Attention** : heure légale se traduit par « local time » sur les GPS

- **L'Heure du Fuseau :**

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

**On a divisé la terre en 24 fuseaux de 15° de différence de longitude chacun (15°x24=360°).**

**L'heure est constante à l'intérieur d'un même fuseau.**



Figure 4.19.

## II. Se repérer sur la Terre

Pour pouvoir définir la position d'un point sur la surface de la Terre, l'Homme a élaboré un système de référence géographique : **les parallèles** et **les méridiens**.

## A. Les parallèles

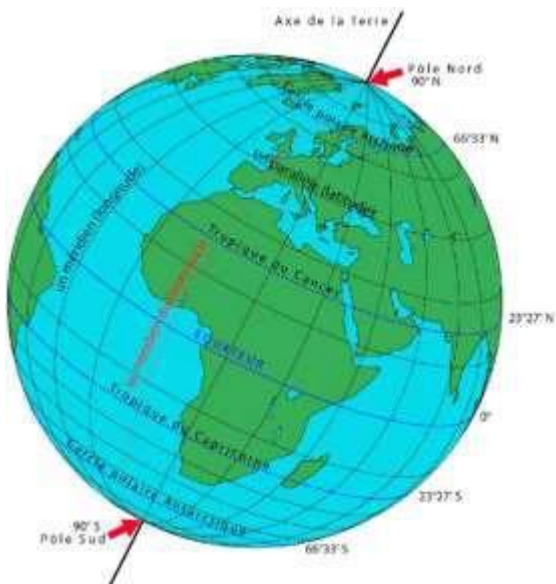


Figure 4.20.

Pour pouvoir déterminer la position d'un point dans l'axe nord/sud, il faut déterminer des **parallèles**.

**L'équateur est le grand cercle** (son centre est le centre de la Terre) **de la sphère terrestre perpendiculaire à la ligne des pôles**.

A partir de celui-ci, on a tracé des parallèles sur la sphère terrestre.

On peut donc repérer un point, à la surface de la Terre, selon qu'il se trouve sur un parallèle situé au nord ou au sud de l'équateur.

L'angle entre la position du point et l'équateur s'appelle **la latitude**.

On indique une latitude en écrivant N ou S selon le fait que nous soyons au nord ou au sud de l'équateur.

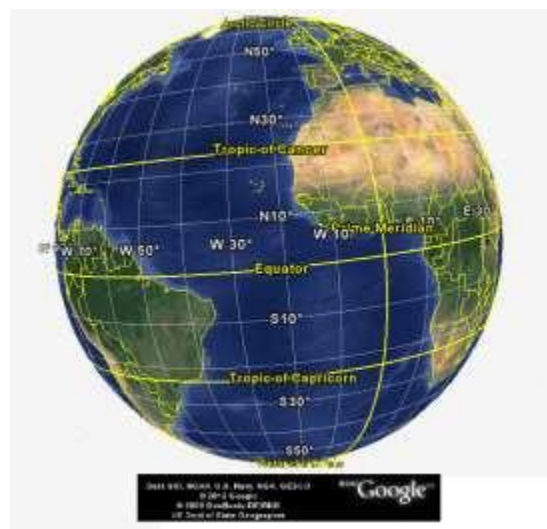


Figure 4.21.

La latitude varie de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  (indiquée par 2 chiffres). Par exemple pour Toulouse :  $43^\circ 36' 15''$  Nord

## B. Les méridiens

Ce sont des demi-cercles sur la surface de la Terre qui rejoignent les deux pôles.

Les méridiens se comptent **en degrés**.

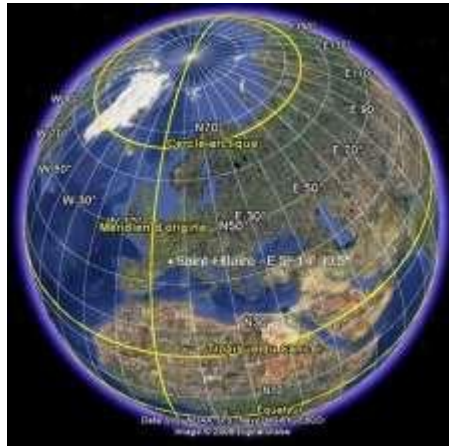


Figure 4.22.

Il a été nécessaire de déterminer un méridien de référence. Il a été convenu que ce serait le méridien qui passe par l'observatoire de Londres, à **Greenwich**.

On peut donc repérer un point, à la surface de la terre, selon qu'il se trouve sur un méridien à l'est (E) ou à l'ouest (W) du méridien d'origine (Greenwich).

L'angle entre le méridien du point et celui de référence est appelé **longitude**.

Les longitudes varient donc de  $0^{\circ}$  à  $180^{\circ}$  (3 chiffres). Par exemple pour Toulouse :  $001^{\circ}26'37''$  Est

**Il y a une heure de décalage entre 2 fuseaux, ou encore 4 minutes pour un écart de  $1^{\circ}$  de longitude (à la même latitude).**

## C. Les Cartes

Les cartes ont pour but de représenter la terre de façon plane alors que celle-ci est sphérique.

Pour la navigation VFR les cartes doivent être **conformes (un angle sur la Terre = un angle sur la carte)**

Pour réaliser ces cartes, il existe 2 grands types de projection :



## 1. La projection Mercator (ou cylindrique)

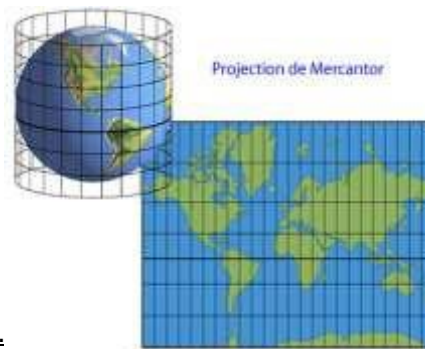


Figure 4.23.

La projection de Mercator a pour avantage d'être conforme mais l'échelle se dilate lorsqu'on va vers les pôles et les continents sont déformés (le Groenland semble plus gros que l'Amérique du Sud alors qu'en réalité c'est l'inverse).

Cette carte permet de naviguer entre l'Equateur et les Latitudes de 60° N/S environ.

## 2. La projection Lambert (ou conique)

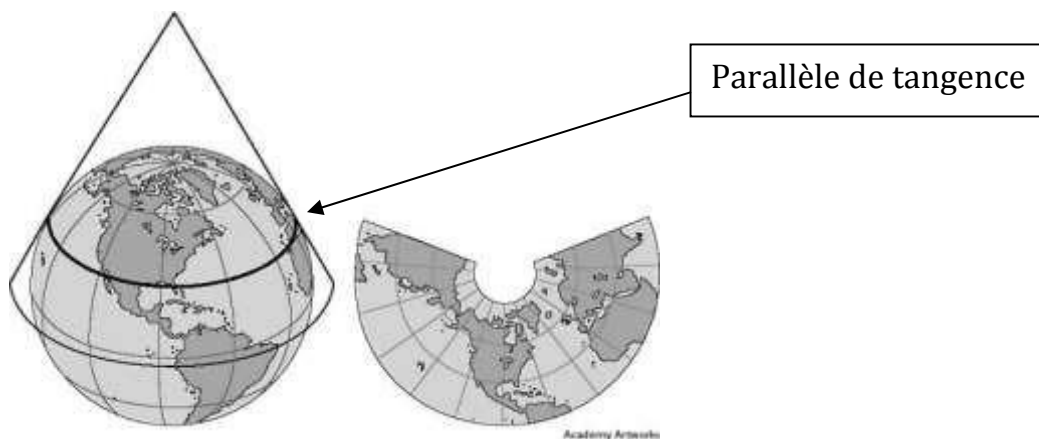


Figure 4.24.

La projection Lambert a l'avantage de restituer plus fidèlement les proportions des continents. L'échelle se dilate lorsque l'on s'éloigne du parallèle de tangence. Elle est également conforme.

Cette carte est utilisée pour les cartes aéronautiques VFR de France métropolitaine.

### 3. Les Unités de distances

#### Le mille nautique ou Nautical Mile (NM) :

Cette longueur équivaut à la longueur d'un arc de cercle à la surface du globe qui a un angle de  $1/60^\circ$  (ou encore 1' d'arc) centré sur le centre de la Terre.

**1 NM = 1,852 km**

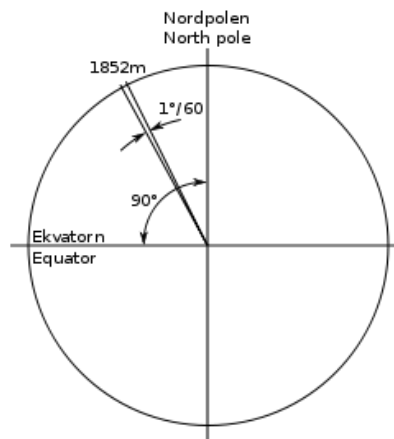


Figure 4.25

NB : Le Pied ou Foot / Feet (Ft) : **1 Ft = 0,3048 m**

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

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

**L'Echelle d'une carte :**

$$\text{Echelle} = \frac{\text{ab Carte}}{\text{AB Terre}}$$

Les deux distances sont exprimées **dans la même unité.**

#### 4. Les principales cartes aéronautiques

Elles sont consultables à l'adresse suivante :

<https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/carte-oaci-vfr>

##### - La Carte OACI :

C'est une carte au 1/500 000<sup>e</sup> (échelle : 1cm = 5 km)

Il faut 4 cartes (une Nord-Ouest, Nord-Est, Sud-Ouest, Sud-Est) pour couvrir toute la France. Elles permettent de naviguer à vue jusqu'à 3000 Ft AFSC ou FL115.

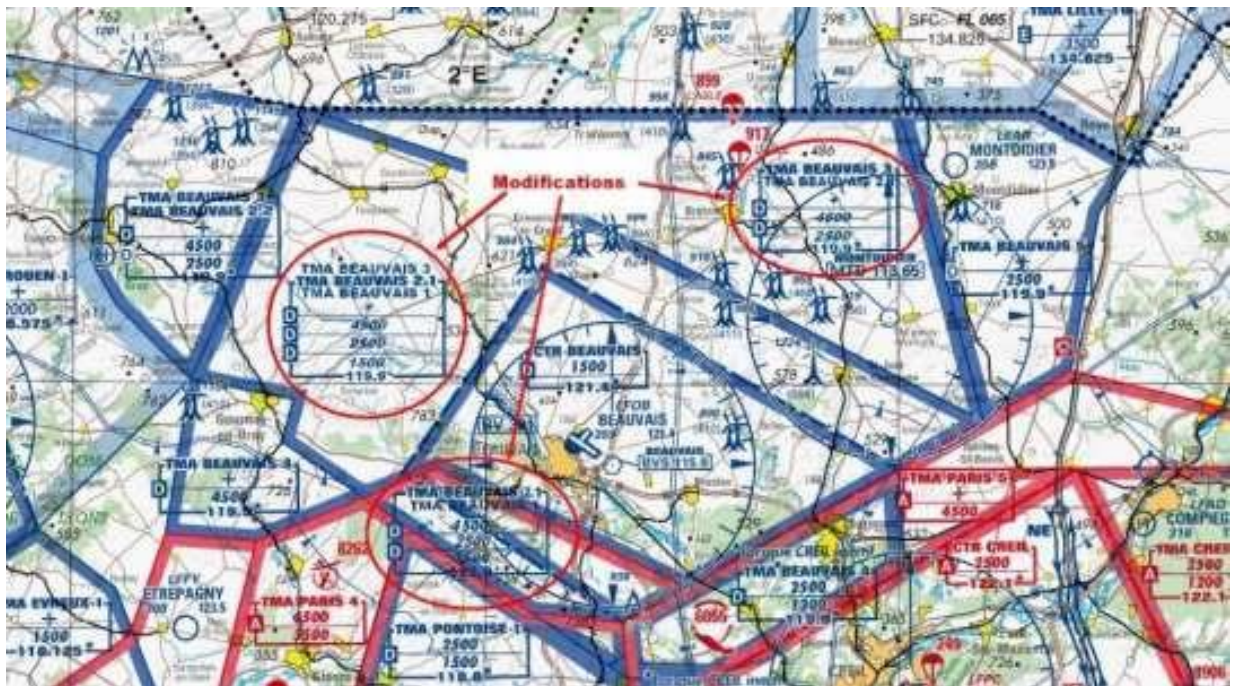


Figure 4.26.

## - La Carte SIA (France) :

C'est une carte au 1/1 000 000<sup>e</sup> (échelle 1cm=10 km)

Il faut 2 cartes (Nord et Sud) pour couvrir la France.



## Cette carte fait apparaître :

- la terre (peu de détails du relief, des cours d'eau et des forêts)
- les principales routes et voies ferrées
- des zones aéronautiques
- des itinéraires aéronautiques
- les aérodromes et aéroports

Figure 4.27.

Elle permet une première approche de la navigation et un suivi des zones en vol mais ce n'est pas la carte principale utilisée pour naviguer à vue. L'espace aérien couvert s'étend de la surface au niveau de vol 195.

### III. Déclinaison et dérive

#### A. La déclinaison

##### 1. La Direction

Une direction est toujours comptée dans le sens des aiguilles d'une montre à partir d'une origine (le nord géographique ou le nord magnétique).

Les angles sont compris entre 0 et 360° (Toujours 3 chiffres – Ex : Cap vrai 005°)

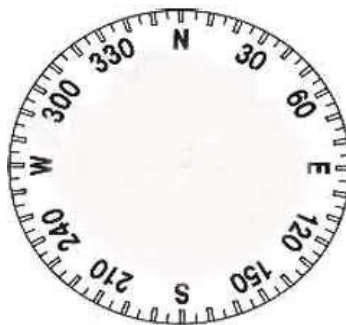


Figure 4.28.

##### 2. Les différents « Nord »

#### Le Nord vrai : Pôle Nord géographique

Toute direction mesurée par rapport au Nord vrai est dite « vraie ». (Ex : Cap vrai – Route vraie)

**Le Nord magnétique** : Il existe un champ magnétique terrestre.

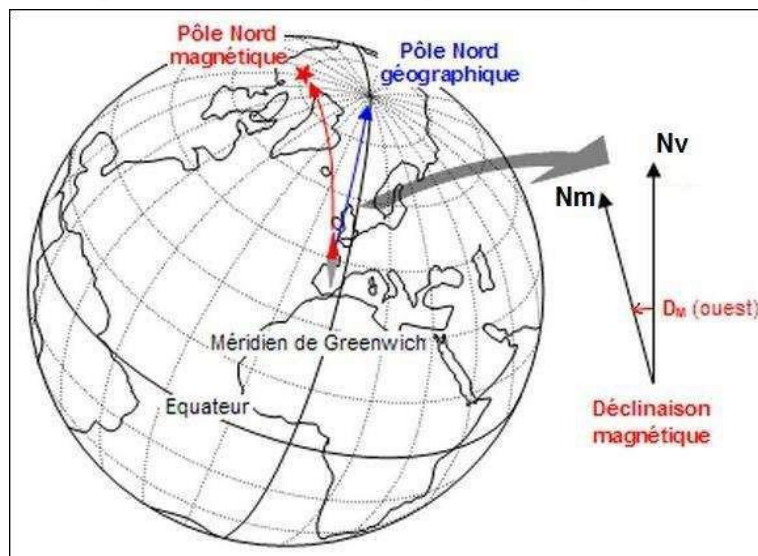


Figure 4.29.

Tout se passe comme si la Terre contenait un aimant gigantesque, passant par son centre, mais dont l'axe ne coïnciderait pas exactement avec la ligne des pôles géographiques. Le pôle nord (magnétique) se trouve aux environs du nord du Canada) 86°N – 172° Ouest en 2017 et se déplace de 55 km/an actuellement vers la Sibérie.

Toute direction mesurée par rapport au nord magnétique est dite « magnétique » (*Ex : Cap magnétique / Route Magnétique*).

### 3. Déclinaison magnétique (Dm) : Angle entre le Nord vrai et le Nord magnétique.

Dm est Est ou positive si le Nord magnétique est à l'est du Nord vrai.

Dm est Ouest ou négative si le Nord magnétique est à l'Ouest du Nord vrai.

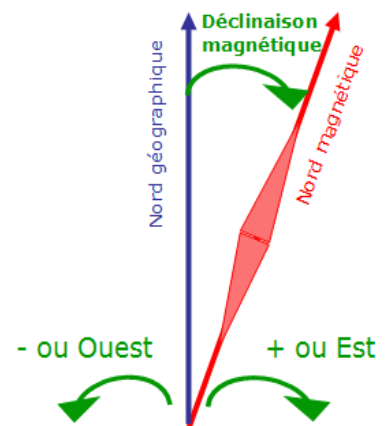


Figure 4.30.

Si on a choisi sur la carte de suivre un cap vrai  $C_v=56^\circ$ , il faudra en vol suivre un cap magnétique  $C_m = 56^\circ - D_m$

## B. Cap, route et dérive

- **Cap** : Angle entre le Nord et l'axe de l'avion
- **Route** : Angle entre le Nord et la trajectoire au sol de l'avion
- **Dérive** : Angle entre le Cap et la route. L'écart est dû au vent, qui souffle du cap vers la route.

Le vent venant de la droite, je derive vers la gauche (la dérive Négative)

Le vent venant de la gauche, je derive vers la droite (la derive est positive)

$$\text{Route} = \text{Cap} + \text{Dérive}$$

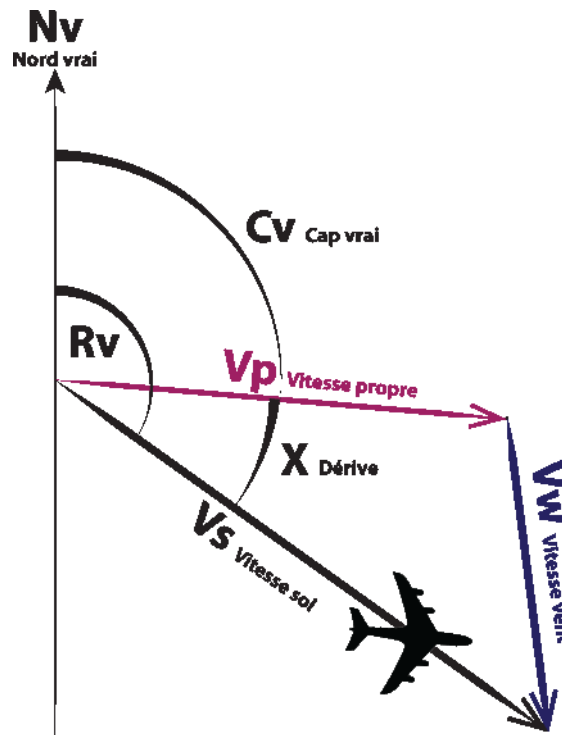


Figure 4.31.

## IV. Méthodes de navigation :

### A. Le cheminement à vue

Il consiste à suivre les lignes naturelles caractéristiques du relief (cours d'eau, voies ferrées, des routes ...)



Figure 4.32.

## B. L'estime

Suivre un cap donné pendant un temps donné pour naviguer entre 2 points (on utilise le **cap et la montre**). Durant le vol on utilise des repères intermédiaires de contrôle (avec estimation et correction du vent).



Figure 4.33.

## C. La radionavigation

La **radionavigation** consiste à naviguer de balises en balises, qui émettent des ondes électromagnétiques.

Le VOR (VHF OMNI RANGE)

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



La **station sol** émet un signal dans toutes les directions.

Le VOR matérialise dans l'espace les 360°, directions d'une rose centrée sur la station et calée sur le nord magnétique.

Figure 4.34.



VOR - Utilisation pratique

Se diriger vers la station

S'éloigner de la station



Cap avion  $\approx$  affichage OBS (QDM)  
Indication TO

Cap avion  $\approx$  affichage OBS (QDR)  
Indication FROM

Le **QDM** est le relèvement magnétique de la station par l'aéronef ou la route magnétique à suivre pour rejoindre la station.

Le **QDR** est un relèvement magnétique relevé par une station. C'est l'angle mesuré à la station entre le Nord magnétique et l'avion.

Figure 4.35.

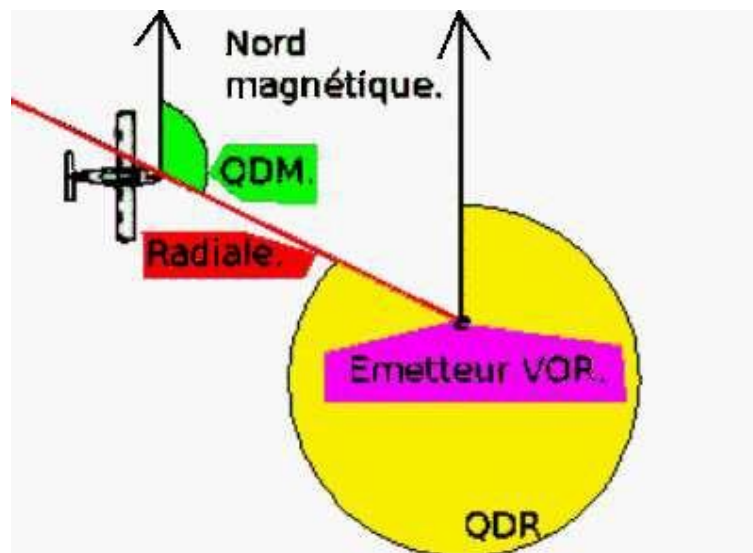


Figure 4.36.

Le récepteur de bord permet de matérialiser les informations sur la position de l'avion. Le bouton « OBS » permet de sélectionner la route choisie en faisant tourner la couronne graduée.

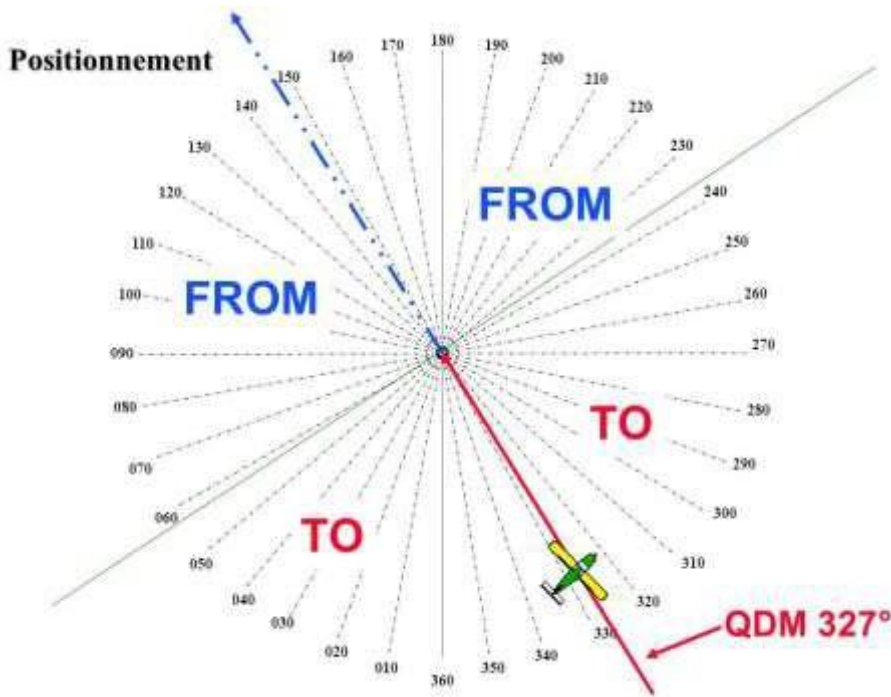


Figure 4.37.

La barre de tendance donne la position de l'aéronef par rapport à la route :

- barre à gauche, je tourne à gauche pour revenir sur ma route
- 
- barre à droite, je tourne à droite pour revenir sur ma route jusqu'à ce que ma barre de tendance soit centrée.
- Le triangle "TO ou FROM" m'indique si j'ai passé la station ou non.

Le VOR est précis, peu sensible à la météo mais sa portée est limitée aux faibles altitudes. Sur la même fréquence, il y a souvent un DME (Distance Measuring Equipment) qui mesure la distance oblique entre l'avion et la station au sol.

### 1. L'ADF (Automatic Direction Finder ou radiocompas)

C'est un moyen de Radionavigation implanté à proximité de certains aérodromes.



Source; Telerad

**La balise au sol** émet des signaux

A bord de l'avion, l'aiguille du radiocompas indique la direction de la balise. Plus précisément le **Gisement** est l'angle entre l'axe avion et la direction de la station.

Figure 4.38.



Figure 4.39.

**Relèvement Magnétique (QDM) = Cap Magnétique + gisement**

## 2. Le GPS (Global Positioning System):

C'est un instrument permettant, à l'aide de signaux émis par plusieurs satellites, de connaître à bord de l'avion, sa position (latitude, longitude et altitude). Certains modèles sont certifiés pour le VFR mais la route DOIT être confirmée régulièrement par d'autres moyens de radionavigation. Et/ou des repères au sol.



Figure 4.40.

## Partie 4 : Préparer son vol

### I. Préparation de la navigation

**Avant le décollage il est nécessaire de préparer sa navigation.** Pour cela, le pilote utilise :

- des cartes aéronautiques
- la documentation du terrain de départ et d'arrivée (plus des déroutements)
- les NOTAM (Notice To AirMen) et les prévisions météorologiques. Les NOTAM indiquent en particulier les ZIT (zones interdites temporaires) et les ZRT (zones réglementées temporaires)
- la documentation de l'avion pour les calculs de performances (montée, descente, vitesse de croisière ...) et consommation en carburant.

Les points les plus importants de la préparation du vol sont la visualisation et l'étude des procédures du départ, du trajet et de l'arrivée.

#### A. La Carte VAC

Pour la procédure de départ et d'arrivée il faut consulter la carte VAC (**Visual Approach Chart**).

C'est la carte d'un aérodrome qui permet au pilote d'avoir l'ensemble des informations sur celui-ci : aéronefs autorisés, code OACI, altitude, fréquence AFIS, longueur de piste (TODA = Take Off Distance Available), ...

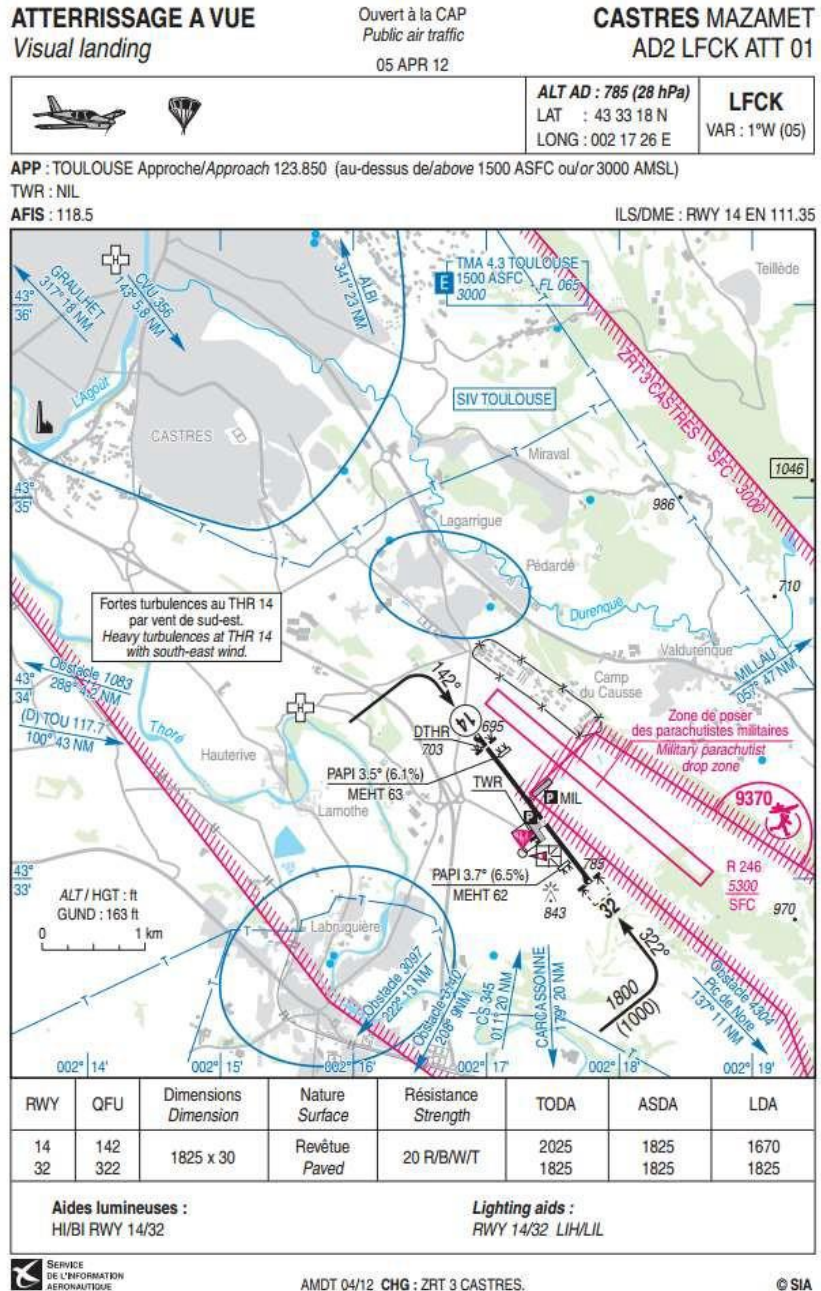


Figure 4.41

**B. Mesure de distance**



Figure 4.42.

On mesure la distance entre le point de départ et le point d'arrivée avec une règle graduée. On reporte ensuite cette mesure **sur le méridien, gradué en minute**, en se plaçant à la latitude moyenne entre les 2 points.

$$1^\circ = 60 \text{ NM}$$

Tracé d'une route sur une carte :

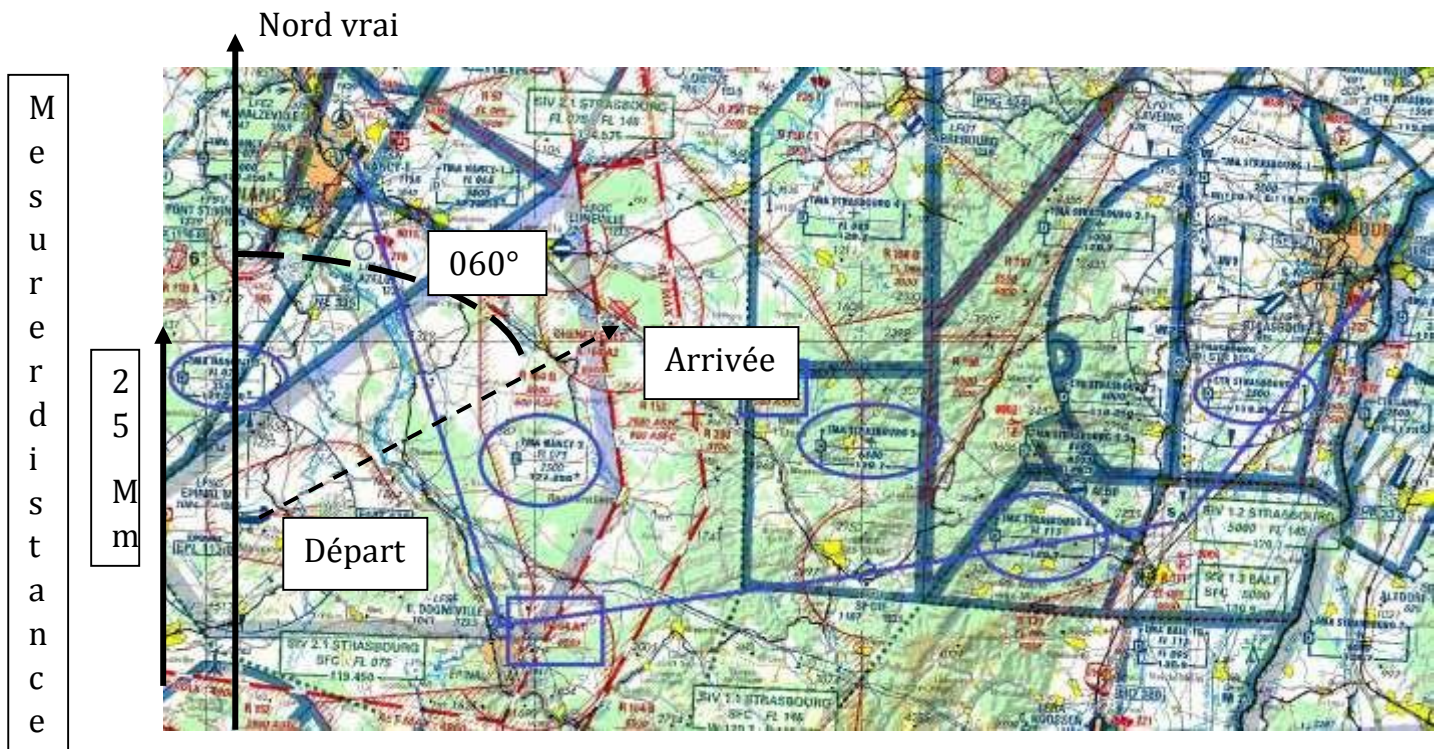


Figure 4.43.

**Le tracé fait apparaître :**

- La route à suivre (ici 060°)
- Le cap magnétique permettant de la suivre entre 2 points (il est calculé à partir de la Dérive Magnétique lue sur la carte)
- L'altitude de vol prévue
- Une altitude de sécurité

On devra y rajouter :

- Le temps sans vent entre 2 points
- Des repères de temps permettant de contrôler la route au fur et mesure de la navigation

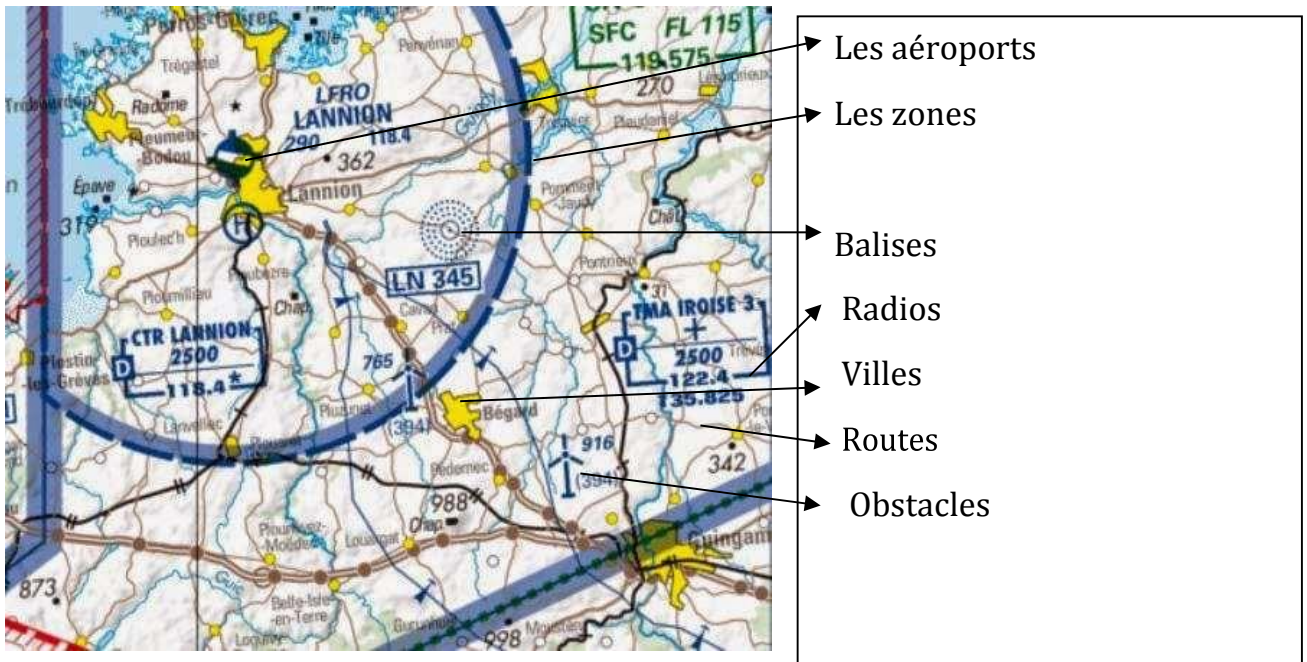


Figure 4.44.

### C. Estimation des vitesses sol

- **La Vitesse propre :** C'est la vitesse horizontale de l'avion par rapport à la masse d'air
- **La Vitesse sol :** C'est la vitesse de l'avion par rapport au sol

L'écart entre les 2 provient du vent. Le **vent effectif** est à ajouter ou retrancher à votre vitesse selon le cas.

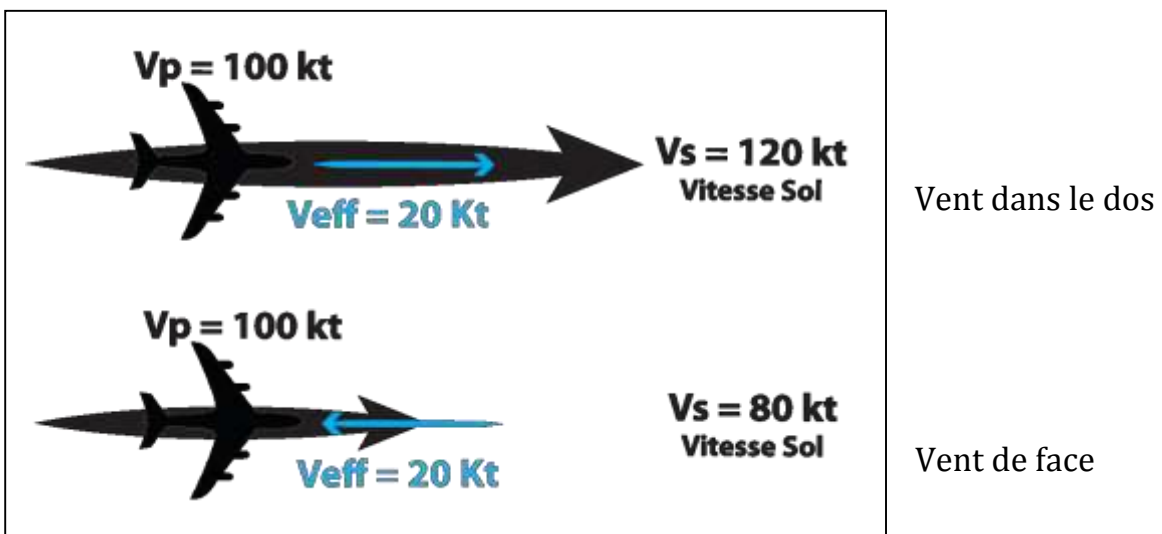


Figure 4.45.

Le **vent latéral ou traversier** génère une dérive, qui est l'angle entre le cap et la route : route = cap + dérive

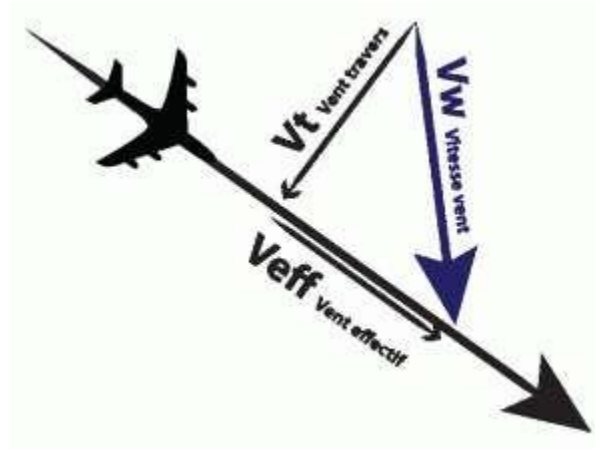


Figure 4.46.

Le vent vient de ma droite : J'ai une dérive gauche ( - )

Le vent vient de ma gauche : J'ai une dérive droite ( + )

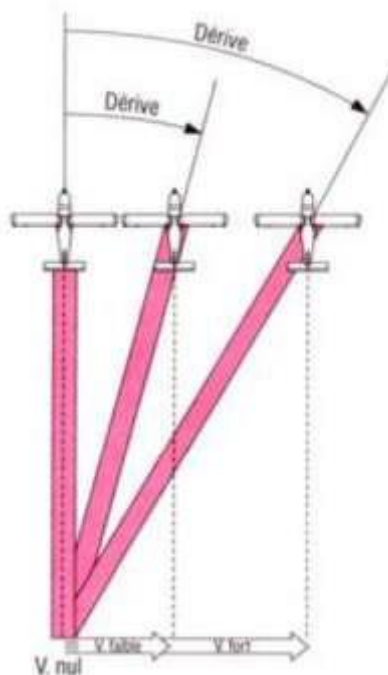


Figure 4.47.

La dérive dépend du rapport vent latéral / vitesse avion.

La route = Cap + dérive (la dérive est noté X) . Donc  $R=C+X$



D. Log de Navigation

Il s'agit de récapituler les informations essentielles durant le vol.

On y note en particulier :

- Le bloc départ et le bloc arrivée qui sont les heures de mise en route et d'arrêt du moteur, très important pour le bilan carburant
- Le Fb, **facteur de base**, qui est le nombre de minutes pour parcourir 1 NM (  $Fb = 60/V$ , V en kt)
- Le temps de vol et le cap corrigés compte tenu du vent
- Les points de report et heures estimées d'arrivée, à remplir en vol au fur et à mesure de la progression
- Les informations de vol (altitudes, fréquences radio, VOR, ADF)

QNH :		BD : 1415		Vp : 85 kt	Vw : 5 Kt	Xm : 3.5				
Trsp. :		BA :		Fb : 0.7	α	0	30	45	60	90
Rm	Dist	sans w		Heures E/R	Reports					
		T			X	0	2	2,5	3	3,5
		avec w			Te	3,5	3	2,5	2	0
X					Bes. La Vèze LFQM 122.200 ↑ 3.500ft QNH Contact B.Info 135.850					
200 204	18	12,5	12,5		Salus les B.					
200 204	16	11,5	11,5		Lac Chalain					
195 203	24	17	17		Oyonnax LFK 123.500 Contact OYONNAX 123.500 ↑ 3.500ft QNH					
350 347	15	10,5	11		Orgelet Contact Lons. 123.500					
325 323	11	8	8,5		Lons le Saunier LFGL 123.500 ↑ 3.000 ft QNH Contact BALEINFO 135.850					
045 042	14	10	10		Poligny Bes. La Vèze LFQM 122.200 Contact LFQM 122.200					
035 033	27	19	19							
TOTAL		124	88,5		Aérodrome d'arrivée LF LK					
Roul/décol 10'...18 ..L		Piste		OYONNAX ARBENT 1755 ft 123.500						
Délestage.....52...L		QNH								
Vent .....5...L		Tdp G / D								
Réserve 20' ....12...L		QFE								
Choix CdeB.....6...L		VHF 123.5		tdp 2.800 ft						
Integration 10'...12...L		Atis								
Carbu. mini 105 L		Conso		V rotat° 100 KMH		D. décollage				
Embarqué 120 L		35 L/H		V montée 120 KMH		D. atterrissage				
Auton. départ...4...H...00...mn				V approche 110 KMH		Date : 31.10 Avion : MS 886				
Extinct. mot. à...18...H...15...mn				Couché du soleil (HL)....17...H...12...min						

Chrono - Cap - Altitude - Estime - Radio - Radio-nav - Moteur - carburant

Figure 4.48.

## E. Calcul du carburant

Les consommations de l'avion sont indiquées sur le manuel de vol de la machine.

Pour le roulage, le décollage, le circuit d'arrivée et le retour au parking on considère une quantité forfaitaire.

La quantité de carburant est calculée à partir du temps de vol (conso en l/h pour telle vitesse et telle altitude).

Le calcul se fait en tenant compte du vent. La quantité de minimum de carburant à emporter est majorée de + 30 minutes de jour (ou 45 minutes de nuit) de réserve.

## II. Avant le départ

### A. Les NOTAM (Notice To AirMen)

Ce sont des informations publiées sur des sites spécialisés à destination des équipages. Elles permettent d'informer de danger particuliers ou de modifications provisoires des procédures.

*Exemple :*

```
LFRW-AVRANCHES LE VAL SAINT PERE  
LFFA-W0136/17  
Q)LFRR/QWPLW/IV/ M/AW/000/140/4840N00124W005  
A) LFRW AVRANCHES LE VAL SAINT PERE  
B) 201705250000 C) 201705292359  
D) SR-SS  
E) PARACHUTAGES SUR AD AVRANCHES :  
- PSN : 483939N 0012421W  
- INFO : RENNES INFO 126.950MHZ.  
F)SFC G)FL140
```

Figure 4.49.

### B. Les cartes météo

- Carte TEMSI- (TEMps Significatif)

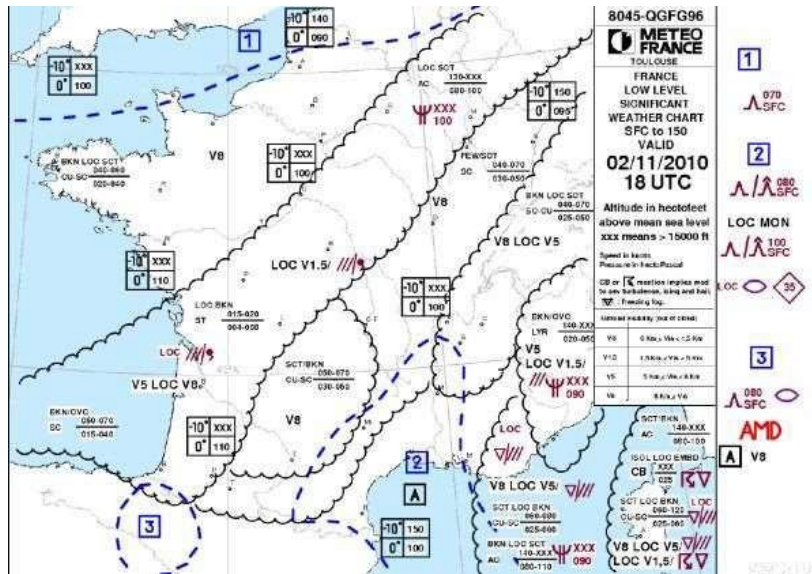


Figure 4.50.

- Message TAF (TYPES OF AERONAUTICAL FORECASTS)

LFLY 140800Z 1409/1418 32010KT 9999 SCT025CB BKN050 TEMPO 0911 7000  
SCT015 BKN040 BECMG 1113 SCT050=

- METAR : (METeological Aerodrome Report mais parfois défini par METeological Airport Report)



Figure 4.51.

- Tableau des heures de lever et coucher du soleil

Les conditions VMC (Visual Meteorological Conditions) pour voler en VFR doivent être respectées.

## C. Le Plan de vol

Pour pouvoir gérer le trafic, de façon optimale, les services de la circulation aérienne exigent le dépôt d'un plan de vol dans les cas suivants :

- Vol IFR (vol contrôlé).
- Vol VFR de nuit en voyage.
- Vol VFR avec franchissement de frontière.
- Vol avec un survol maritime (au sens réglementaire).
- Vol contenant un survol de zones inhospitalières.
- Vol passant par des régions ou des zones désignées par le ministère.

The image shows a screenshot of the French Flight Plan Form (Formulaire de plan de vol / Flight plan form). The form is divided into several sections with various fields for data entry. Key sections include:

- 1. TYPE DE VOL (Flight type):** Options for IFR, VFR, etc.
- 2. INFORMATION GÉNÉRALE (General information):** Fields for origin, destination, and other flight details.
- 3. INFORMATION SUR L'AVION (Aircraft information):** Fields for aircraft type, registration, and equipment.
- 4. INFORMATION SUR LE PILOTE (Pilot information):** Fields for pilot name, license number, and other details.
- 5. INFORMATION SUR LE VOL (Flight information):** Fields for altitude, speed, and other flight parameters.
- 6. INFORMATION SUPPLÉMENTAIRE (Additional information):** Fields for special requirements and other notes.

Figure 4.52.

Cela permet bénéficier de façon optimale des services du contrôle aérien.

## D. Les documents à emporter

- Licence en cours de validité, pièce d'identité, certificat médical à jour
- Le manuel de vol de l'aéronef
- L'original du certificat d'immatriculation (sauf si vol local)
- L'original du certificat de navigabilité
- Le certificat d'assurance de responsabilité civile
- Le carnet de route de l'aéronef (sauf vol local)

- Le certificat acoustique
- Les données du plan de vol
- Les cartes actualisées et appropriées pour la route suivie
- Le dossier météo (visibilité, base des nuages, nébulosité, vent et précipitations)

## English vocabulary

Security	
Carnet de bord	Log-book
Carnet de route	Journey log book
Certificat navigabilité	Airworthiness certificate
Combinaison anti-g	G-suit
Durée de vie	Service life
Enregistreur de conversation	Cockpit voice recorder (CVR)
Enregistreur de vol, boîte noire	Flight data recorder (FDR), blackbox
Feu à éclat	Revolving light
Feu anticollision	Flashing light
Fidélité	Reliability
Gilet de sauvetage	Life jacket, Mae West
Immatriculation	Registration number
Incident	Failure
Manuel de vol	Flight manual
Manuel entretien	Maintenance manual
Panne essence	Fuel starvation
Plan de vol	Flight plan
Révision	Overhaul
Visite prévol	Pre-flight inspection/check
Voile noir	Blackout

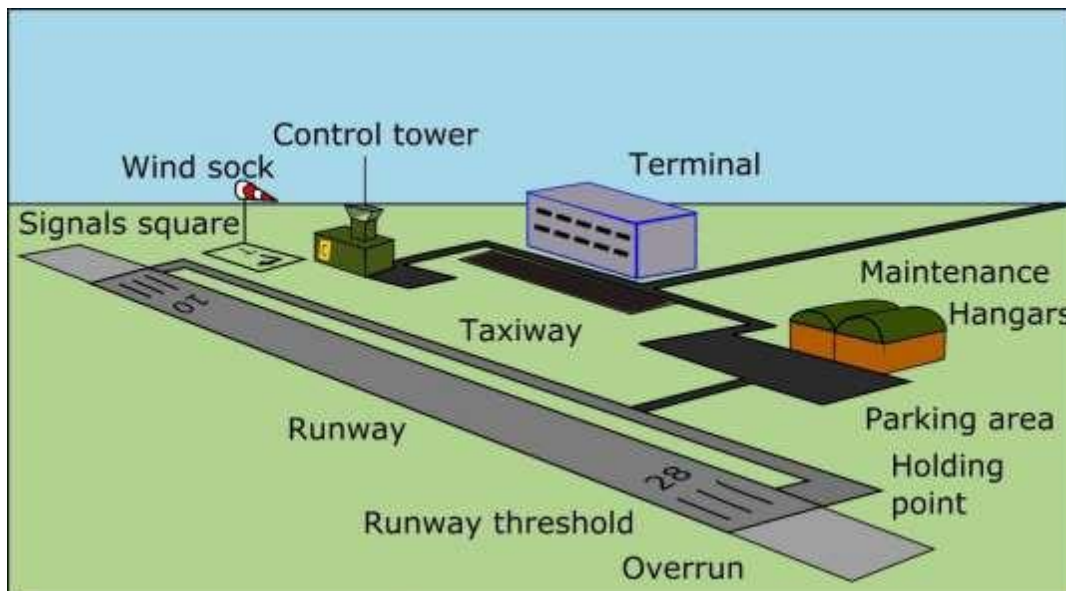


Figure 4.53.

<b>Flight rules, airfield</b>	
Aéro-club	Flying club
Aire de trafic	Ramp
Aire de manoeuvre ou de stationnement	Apron
Aires à signaux	Signal squares
Alignement de descente	Glide path
Approche	Approach
Arrondi	Flare out
Autorisation, clairance	Clearance
Avitailleur, camion citerne	Bowser
Balked landing	Atterrissage avorté
Circuit d'attente	Holding pattern
Circuit de piste	Traffic or airfield pattern
Code transpondeur	Squawk
Contrôle aérien	Air traffic control (ATC)
Couloir aérien	Airway
Croisière	Cruise
Dernier virage	Final turn
Déroutement	Track diversion
Descente	Descent
Escale	Stopover
Espace aérien contrôlé	Controlled airspace
Etape de base	Base leg
Etat de la piste	Runway condition
Finale	Final (approach)
Indicateur de trajectoire d'approche PAPI	Precision approach path indicator (papi)
Load classification number (LCN)	Indice de charge des pistes
Manche à air	Wind sock
Montée	Climb
Piste	Runway
Piste en service	Duty runway
Point d'attente	Holding point
Remise des gaz	Go around, overshooting
Roulage	Taxiing
Survole	Fly-by
Taux de virage standard	Standard rate turn
Taxes d'atterrissage	Landing fees
Transpondeur	Transponder
Vent arrière	Downwind leg
Vol en attente	Loiter

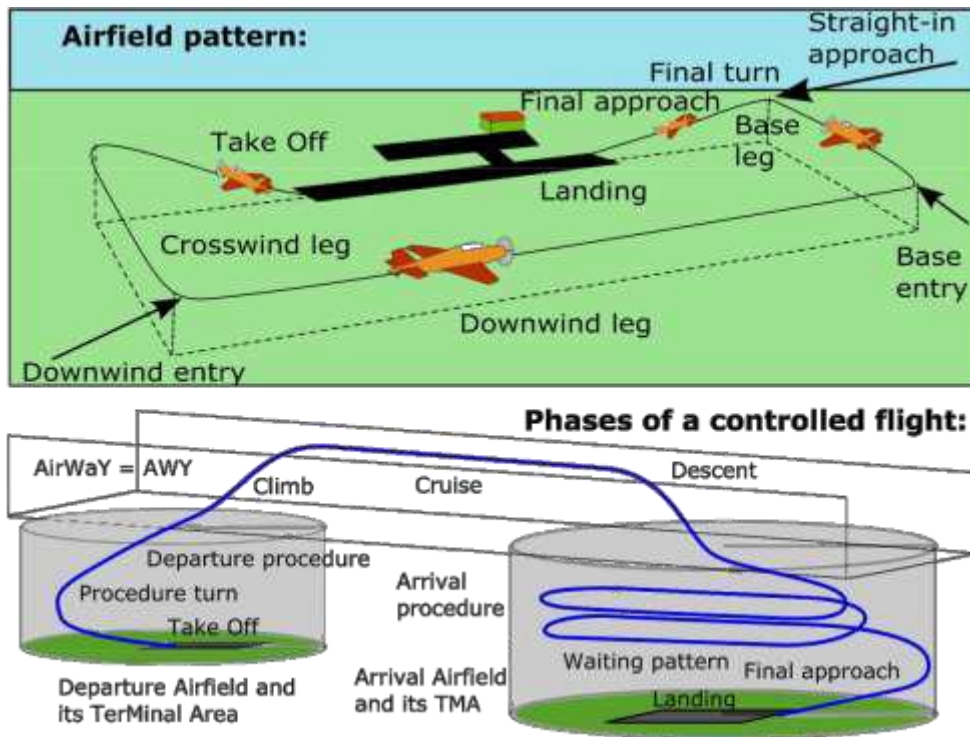


Figure 4.54.

Navigation	
Babord	Port
Cap (vrai/géographique, magnétique)	Heading (true, magnetic)
Cap compas	Compass heading
Déclinaison	Magnetic declination
Dérive	Drift angle
Déviation	Quadrantal error
Fuseau horaire	Time belt
Gisement	Bearing
Guidage	Vectoring
Heure UTC	Zulu time
Navigation à l'estime	Dead-reckoning
Prendre un cap	To set a heading
Radiocompas	ADF
Radiogoniomètre	VOR
Relèvement	Bearing
Route (vraie/géographique, magnétique)	Track (true, magnetic)
Tribord	Starboard
Vent arrière	Downwind
Vent de face ou debout	Headwind
Vent traversier	Crosswind, wind across
Vitesse sol	Ground speed



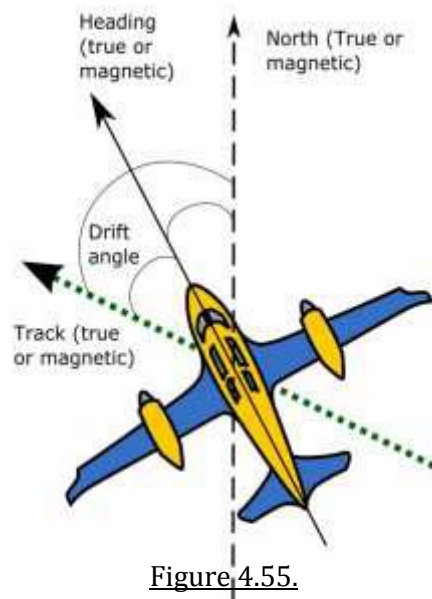


Figure 4.55.

# **Chapitre 5 :**

## **HISTOIRE ET CULTURE DE L'AERONAUTIQUE ET DU SPATIAL**



Ce chapitre est divisé en 4 parties :

**Partie 1 : Les débuts**

**Partie 2 : D'une guerre à l'autre**

**Partie 3 : De 1945 à nos jours**

**Partie 4 : La conquête de l'espace**

Contenu du chapitre :

**Partie 1 : Les débuts**

- I. Du mythe à la réalité
- II. Les aérostats
- III. Les pionniers de l'aviation (1856-1907)
- IV. Les premiers records (1908-1913)

**Partie 2 : D'une guerre à l'autre**

- I. La Première Guerre Mondiale (1914-1918)
- II. L'Entre Deux-Guerres (1919-1939)
- III. La Seconde Guerre Mondiale (1939-1945)

**Partie 3 : De 1945 à nos jours**

- I. Le « mur » du son
- II. L'aviation militaire
- III. L'aviation commerciale
- IV. Les hélicoptères et les avions expérimentaux

**Partie 4 : La conquête de l'espace**

- I. Les précurseurs
- II. De Spoutnik à Apollo
- III. De Skylab à l'ISS

## Partie 1 : Les débuts

### I. Du mythe à la réalité

L'idée de naviguer ou de s'élever dans les airs est aussi ancienne que l'humanité.

Les dieux messagers des mythologies antiques comme **Mercure** pour les Romains (ou **Hermès** pour les Grecs) sont représentés avec des ailes.



La légende la plus connue est celle de **Dédale et d'Icare**.

Pour s'enfuir d'une tour où ils sont enfermés, Dédale a l'idée de fabriquer des ailes imitant celle des oiseaux, confectionnées avec de la cire et des plumes.

Une fois celles-ci confectionnées, Dédale met en garde son fils en lui interdisant de s'approcher trop près du soleil ainsi que de voler au-dessus de l'eau car ceci était trop dangereux.

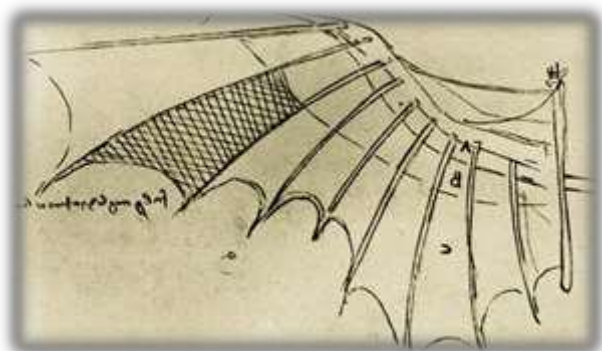


Malheureusement, Icare oublie cet interdit : Il prend trop d'altitude ce qui fait fondre la cire de « ses ailes ». Il meurt précipité dans la mer. Dans la réalité plus on s'élève en altitude et plus la température diminue.

**Les années 1500** : Apparition des premières études sur le vol des oiseaux.

**Léonard de Vinci** conçoit, dessine des machines volantes, proche de l'avion, de l'hélicoptère et du parachute. Il dessine l'hélice.

Pourtant il ne fera aucune tentative pour les réaliser.



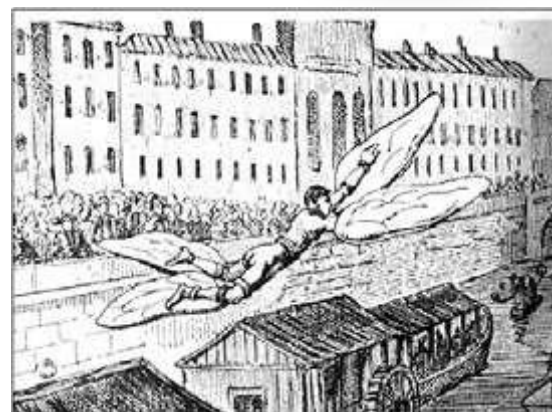
**Les années 1600** : Le philosophe **Descartes** ne croit pas que l'homme puisse voler par ses propres moyens. Il estime que l'homme manque de force et ne dispose pas de moyens assez puissants pour s'élever dans les airs.



Mais de nombreux téméraires vont tenter leur chance ...



Besnier (1678)



Marquis de Bacqueville (1742)

## II. Les aérostats

**Dans les années 1700** : deux directions vont progressivement s'opposer ...

- Les partisans des plus légers que l'air qui sentent bien que leur rêve de s'élever dans les airs est réalisable ...
- Les partisans des plus lourds que l'air qui veulent voler comme les oiseaux ... Mais malheureusement, ils ne trouveront pas de sitôt le moteur dont ils ont besoin pour mener à bien leurs projets.

### A. Les ballons

**Le 4 juin 1783** : Les **frères Montgolfier** font la démonstration que l'on peut s'élever dans les airs avec le premier ballon captif à air chaud. Ils renouvellent l'expérience le **19 septembre** à Versailles en présence du roi Louis XVI, embarquant un mouton, un canard et un coq.



**Le 21 novembre 1783** : **Pilâtre de Rozier** et le Marquis d'Arlandes réalisent le premier vol libre en ballon. Ils parcourent 9 km au-dessus de Paris en 26 minutes.

**Le 1er décembre 1783**, c'est le premier vol d'un ballon à hydrogène qui dure plus de 2h à 500 mètres d'altitude, réalisé par Jacques Charles et Nicolas-Louis Robert.

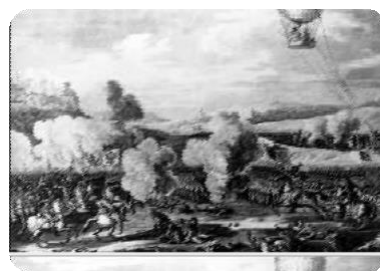
**En 1785** : **JP Blanchard** et son passager J. Jeffries réalisent la traversée de la Manche, entre Douvres et Calais, à bord d'un ballon à hydrogène.



**Le 15 juin 1785** : **Pilatre de Rozier** se tue dans l'incendie de son ballon, dans une tentative de traversée de la Manche de la France vers l'Angleterre.

C'est la première catastrophe aérienne !

En 1794 : Le ballon est utilisé, à des fins militaires, comme moyen d'observation lors de la bataille de Fleurus contre les troupes anglo-hollandaises.



En 1797 : **André-Jacques Garnerin** effectue le 1<sup>er</sup> saut en parachute depuis un ballon (680 m hauteur) au-dessus de Paris.

En 1804 : Gay-Lussac atteint 7000 m et étudie le champ magnétique terrestre et la composition de l'air.

En 1858 : Nadar réalise la première photographie aérienne de Paris depuis un ballon captif.

En 1870 : Les ballons sont utilisés pour transporter le courrier depuis Paris assiégée par les Prussiens.

En 1999 : Bertrand Picard et Brian Jones réalisent le 1<sup>er</sup> tour du monde en ballon sans escale.

En 2012 : Felix Baumgartner bat le record d'altitude en ballon (39 000 m) lors de son saut en parachute.

## B. Les ballons dirigeables

L'inconvénient principal du ballon est l'absence de moyen de pilotage.

Un ballon est entraîné par le vent et donc circule à la même vitesse et dans la même direction que lui.

En 1852 : Vol du 1<sup>er</sup> dirigeable, mu par un moteur à vapeur. **Henri Giffard** parcourt 27 km entre Paris et Elancourt à une vitesse moyenne de 8 km/h.

En 1884 : Vol du dirigeable « La France » de **Charles Renard**, qui réalise le 1<sup>er</sup> vol contrôlé en circuit fermé.

Il est actionné par un moteur électrique de 8,5 ch qui entraîne une hélice placée à l'avant de l'appareil.

En 1898 : **Santos-Dumont** adapte un moteur à essence sur un dirigeable.

En 1901 : Il contourne la Tour Eiffel avec son Santos Dumont VI !



En 1906 : l'Allemagne développe des dirigeables de grandes tailles grâce au **Baron Von Zeppelin**.



A partir de 1928, les Graf-Zeppelin, longs de 236 m, sont constitués de cinq ballons enfermés dans une carcasse en aluminium, recouverte de toiles et actionnée par cinq moteurs de 530 CV. Ceux-ci pouvaient emporter jusqu'à 24 passagers dans un confort digne des grands bateaux de croisières à travers le monde.



Lors de la première guerre mondiale, le Zeppelin est utilisé par l'Allemagne pour bombarder Londres. Ils seront rapidement détrônés par l'aviation.

En 1910 : C'est la première traversée de la manche en dirigeable



**En 1930** : Le dirigeable Anglais R101 (hydrogène) s'écrase tuant ses 48 passagers.

**En 1937** : Nouvel incident encore dû à l'hydrogène et à l'électricité statique, qui va provoquer dans le New Jersey devant les caméras :

La catastrophe du Zeppelin « Hindenburg ».

36 des 97 passagers à bord de l'appareil vont périr dans les flammes.



Cet accident spectaculaire et dramatique marquera la fin des vols de dirigeables jusqu'à un redémarrage récent.

### III. Les pionniers de l'aviation (1890-1907)

**En 1809** : Le baron anglais **Georges Cayley** publie un ouvrage dans lequel il décrit pour la première fois la portance et la trainée. Il explique que la solution aile fixe + propulsion est préférable aux ailes battantes. Il invente l'empennage et la dérive et réalisera ultérieurement des modèles réduits de planeurs.



**En Décembre 1856** : Apparition du premier signe que l'on peut faire voler un « plus lourd que l'air ». En effet, en Bretagne, sur la plage de Saint Anne-la-palud, **Jean Marie Le Bris** va réussir à faire s'élever son planeur l'Albatros.



Sa machine décolle, posée sur une charrette, face au vent et tirée par un cheval.



**En 1857** : Felix du Temple fait décoller un modèle réduit de 700 g propulsé par une machine à vapeur.

**En 1890** : L'aéroplane entre dans l'histoire de l'aviation avec le décollage sur 50 m de l'Eole de **Clément Ader**, né à Muret près de Toulouse.



L'appareil est muni d'un moteur à vapeur de 20 ch alimenté par alcool et d'une hélice quadripâle à pas variable.



**Entre 1890-1896 : Otto Lilienthal** réalise plus de 2500 vols avec ses planeurs.

*« Inventer un avion n'est rien. Le construire est un début. Voler c'est tout »*

*« Nous devons voler et tomber... voler et tomber... jusqu'à ce que nous puissions voler sans tomber ! »*



**En 1897 : Clément ADER** réalise une évolution de l'Eole équipée de deux moteurs, et celle-ci va s'élever sur 200 m. Son appareil porte le nom d'avion (N°3)

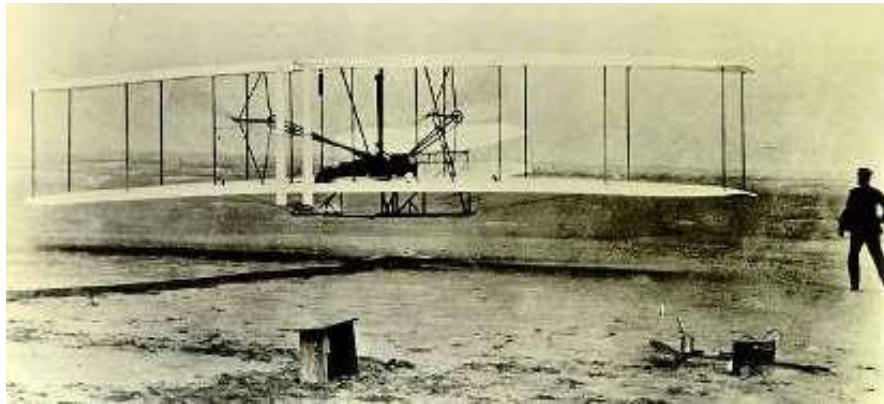
*« Qui sera maître de l'air sera maître du monde »*

**De 1898 à 1903** : L'ingénieur américain d'origine française **Octave Chanute** va développer des planeurs et synthétiser les connaissances de l'époque.

Sa route va croiser aux Etats-Unis celle de deux frères, fabricants de bicyclettes : **Orville et Wilbur Wright**.



En 1903 : Flyer (la machine volante) des **frères Wright**, réalise son **premier vol** à Kitty-Hawk en Caroline du Sud.



Il est équipé d'un moteur de 12 CV en aluminium. Le vol dure 59 s sur 260 m.

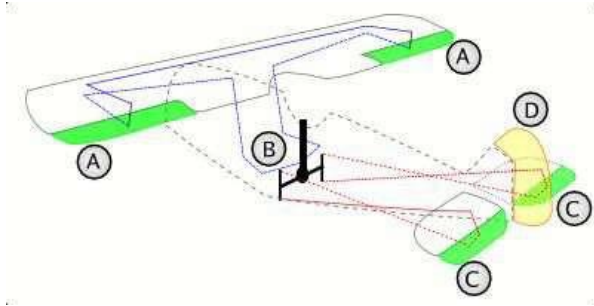
En 1904 : les **frères Wright** réalisent le premier vol en circuit fermé sur le Flyer II (1240 m en 1 min 36).

En 1905 : Le Flyer III vole 38 min sur 39 km à une moyenne de 61,5 km/h !

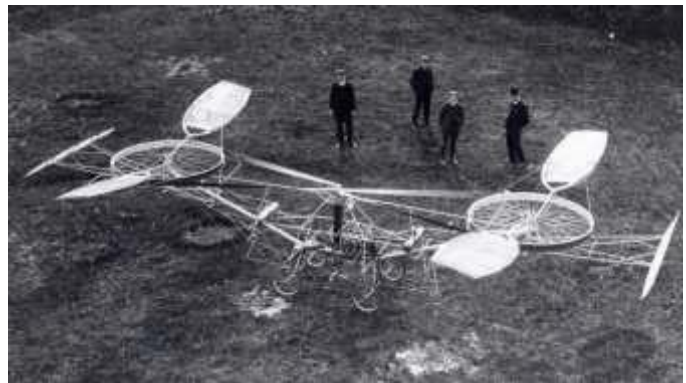
En 1906 : **Santos Dumont** avec son avion « 14 BIS », muni d'un train d'atterrissage (deux roues de bicyclette), réalise un vol de 220 m à 5 m au-dessus du sol près de Paris. C'est le premier vol homologué d'un plus lourd que l'air. Il est muni d'un moteur « Antoinette » de 24 CV.



En 1906 : le français **Robert Esnault-Pelterie** invente le « manche à balai » qui commande les ailerons et les gouvernes de profondeur. **Louis Blériot** invente un dispositif similaire surnommé « la cloche ».



En 1907 : Paul Cornu réalise le premier hélicoptère.



#### IV. Les premiers records (1908-1913)

En 1908 : Henri Farman, sur un avion de Gabriel Voisin, réalise le premier kilomètre homologué en circuit fermé.

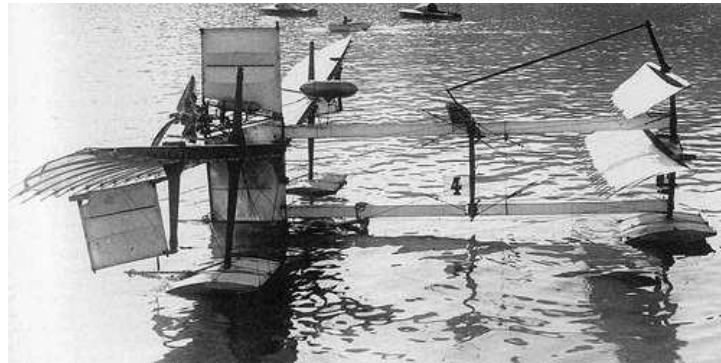
C'est aussi Farman qui réalise la même année, le premier vol avec un passager. Wilbur Wright quant à lui remporte la coupe Michelin et porte le record de distance à 124 km.



En 1909 : Louis Blériot, avec son Blériot XI, un monoplan de sa fabrication, réalise la traversée de la Manche.



**En 1910** : **Henri Fabre** fabrique le premier hydravion (Le « canard ») qui décolle de l'étang de Berre.



**En 1910** : **Le général Roques** regroupe les services de l'aérostation et de l'aviation militaires. Il officialise le terme avion, en hommage à Clément Ader.

**En 1911** : **Eugene Ely** réalise le premier appontage sur un croiseur américain dans la baie de San Fransisco.

**En 1913** : **Roland Garros** traverse la Méditerranée avec un Morane type H. La traversée dure 7h53 sur 730 km.



**En 1913** : l'aviateur **Adolphe Pégoud**, saute de son monoplan Blériot en parachute. Il réalise la même année un looping et un vol sur le dos. Il sera le premier As de la 1<sup>ère</sup> guerre mondiale (5 victoires).



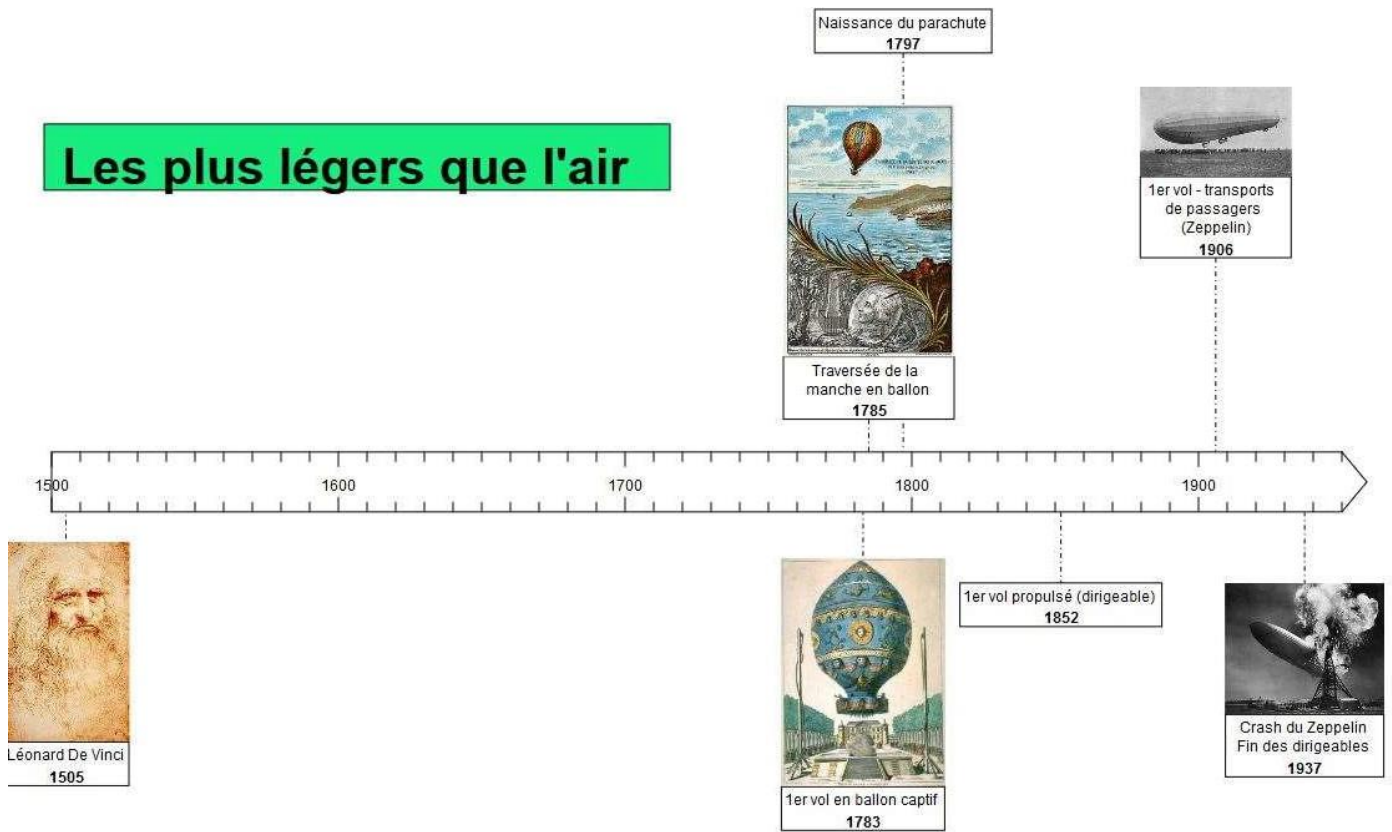
Toujours **en 1913** : l'ingénieur **Deperdussin** permet à Maurice Prévost d'atteindre les 200,8 km/h avec son avion très moderne (aile basse, aucun haubanage et un moteur de 160 cv).



Tandis qu'**Igor Sikorsky**, fabrique en Russie le premier quadrimoteur, le Bolchoï.



**Les plus légers que l'air**



# Les lourds que l'air



1er vol de l'Albatros  
Jean-Marie Le Bris  
1856



Création de l'Éole et du mot AVION  
Clément Ader  
1897



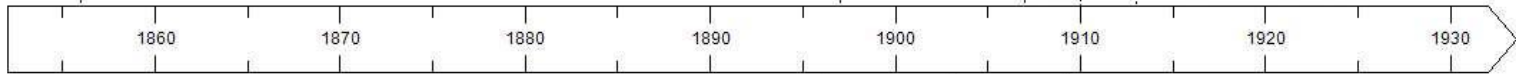
Traversée de la Méditerranée  
Roland Garros  
1913

1er vol en hydravion  
Henri Fabre  
1910

1er Hélicoptère  
Paul Cornu  
1907

1913 1er saut en parachute d'un avion - Pégoud

1901 Contournement de la Tour Eiffel - Santos Dumont



Vois d'Otto  
Lithenthal  
1890 à 1896



1er vol du Flyer  
Frères Wright  
1903

1906 Invention du manche à balai - Robert Esnault-Pelterie



Traversée de la Manche  
Louis Blériot  
1909



## Partie 2 : D'une guerre à l'autre

### I. La Première Guerre Mondiale (1914-1918)

**En 1914** : Début de la guerre, les avions militaires sont peu nombreux et servent surtout à l'observation, la surveillance et pour le renseignement.

L'avion est un moyen, plus pratique que le ballon captif, pour voir de l'autre côté de la colline.

Le 2 septembre, **Louis Bréguet** observe les mouvements de l'armée allemande vers Paris. Il avertit l'état-major et contribue ainsi à la victoire de la Marne.

**De Février à Décembre 1916** : La bataille de Verdun fait rage pendant 10 mois et les militaires commencent à voir les possibilités offertes par l'aviation.

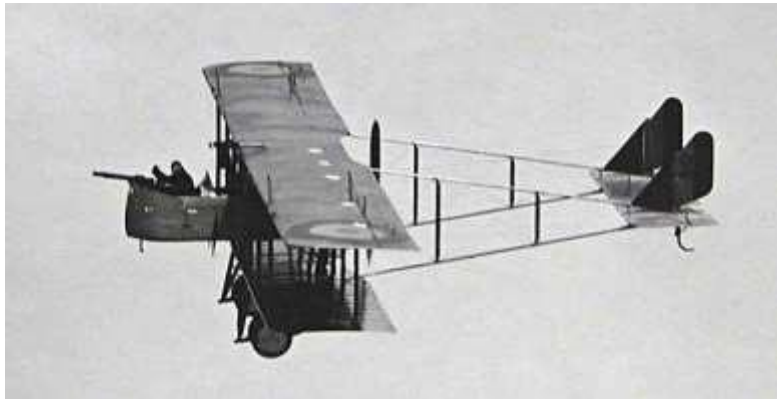
*« Balayez-moi le ciel ! Je suis aveugle ! ».*

Et dès lors, l'aviation se procure une place importante dans le conflit (chasse, bombardement) et dans tous ceux qui se dérouleront par la suite.



## A. Les missions aériennes

### 1. Les Farman et Caudron pour la « Reconnaissance »



*Farman MF-11*

### 2. Les Morane, Nieuport et Spad pour la « Chasse »



*Spad XIII*

Mais aussi le Fokker DVII allemand et le Sopwith Camel anglais.

### 3. Les Voisin et Breguet pour le « Bombardement »



*Breguet XIV*

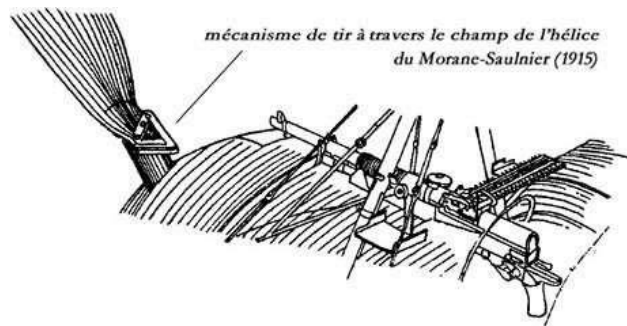
Mais aussi le Gotha allemand et le de Havilland DH9 anglais.

## B. Les principaux évènements

**En 1914** : Le sergent **Joseph Frantz** et son mécanicien-mitrailleur, le caporal **Louis Quenault**, à bord de leur biplan Voisin, croisent la route d'un Aviatik allemand qu'ils parviennent à abattre, remportant ainsi la première victoire aérienne de l'histoire.

*(A l'époque on se tire dessus à la carabine).*

**En 1915** : **Roland Garros** réalise le premier tir avec une mitrailleuse à travers l'hélice de son Morane (balles déviées).



Le système sera perfectionné par Fokker qui synchronisera hélice et mitrailleuse.

**En 1915** : Le premier vol d'un **avion entièrement métallique**, le Junkers J1 (allemand).



**En 1916** : Des pilotes volontaires américains se sont regroupés dans une nouvelle escadrille baptisée « Lafayette » en souvenir de l'aide des Français pour l'indépendance de ce pays.



En 1916 : **Marcel Bloch** (qui deviendra plus tard **Marcel Dassault**) conçoit la meilleure hélice de l'époque (l'Eclair).



En 1917 : Un chasseur anglais décolle du pont de l'HMS Furious.



*C'est le premier « porte-avion » de l'histoire.*

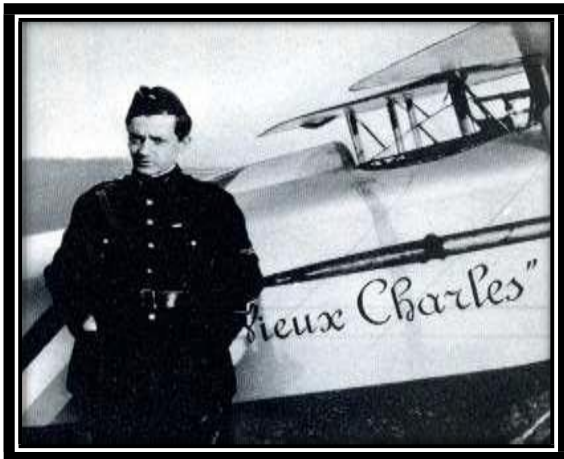
En 1917 : L'armée française regroupe les meilleurs pilotes au sein d'une même escadrille « Les cigognes ». La Royal Air Force sera créée en 1918, indépendante de l'armée de terre et de la marine.

C. Les As de la Première Guerre Mondiale :

France



René Fonck  
75 victoires



Georges  
Guynemer  
54 victoires



Charles  
Nungesser  
45 victoires

**Allemagne**

Manfred Von Richthofen (le baron rouge, le Cirque Volant)	80 victoires
Ernst Udet	62 victoires
Max Immelmann (inventeur d'une figure acrobatique)	17 victoires

**Anglo-saxons**

James Mc Cudden (GB)	57 victoires
Mike Mannock (GB)	50 victoires
Albert Ball (GB, le Guynemer anglais)	44 victoires
Billy Bishop (CAN)	72 victoires
Eddie Rickenbaker (USA)	26 victoires

**D. Le bilan**

148 aéronefs en France en 1914, 4 500 en 1918

52 000 aéronefs et 92 000 moteurs construits en France, 48 000 aéronefs en Allemagne et 40 000 en Grande-Bretagne

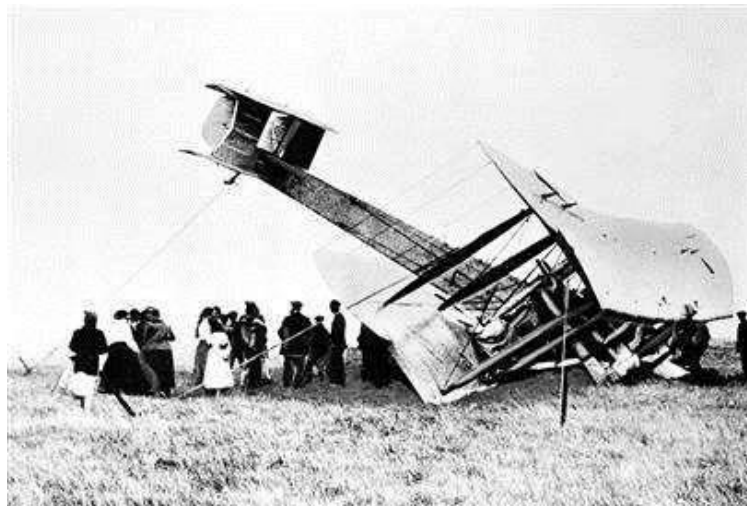
Les moteurs sont passés de 200 à 400 CV, les charges utiles de 250 à 2500 kg.

## II. L'Entre-Deux-Guerres (1919-1939)

### A. Les grands Raids :

En 1919 :

- **Roget** et **Coli** partent de Paris pour rejoindre Kenitra au Maroc.
- **Alcock** et **Brown** traversent l'Atlantique Nord sans escale de Terre Neuve à l'Irlande (3100 km en 16h12) sur Vickers Vimy.



- **Poulet** part de Paris pour rejoindre Rangoon.

En 1921 : **Adrienne Bolland** traverse la Cordillères des Andes (6000 m) avec son Caudron G3.





### Témoignage de cette jeune femme :

« J'ai volé pendant un certain temps, sans rien dans la tête que la peur. De plus, j'avais horriblement froid. Mes moyens ne m'avaient pas permis de m'équiper convenablement et je m'étais couverte tant bien que mal avec un pyjama, une combinaison de coton et un matelas de vieux journaux. J'avais les doigts gelés, malgré le papier-beurre dont j'avais essayé de les envelopper. Pas d'inhalateur, bien sûr, et le col, avec sa statue du Christ, était à 4 080 mètres. Je devais passer vers 4 200. Je volais depuis près de trois heures. J'avais beau avoir pour neuf heures d'essence, je n'en menais pas large. Tout à coup, sur ma droite, j'aperçois des cours d'eau qui coulaient dans l'autre sens. Et tout de suite après, la plaine, avec une grande ville presque droit devant moi. Santiago ? Ce n'était pas certain, mais des villes de cette importance, il me semblait qu'il ne devait pas y en avoir des quantités au Chili.

Le temps de me poser la question et j'étais dessus. On m'avait dit que l'aérodrome était à 7 kilomètres de la ville. Je fais un virage à gauche et j'aperçois, sur le terrain, des points qui brillaient sous le soleil. En m'approchant, j'ai compris: on m'attendait avec la musique militaire...

Avec mes doigts raides, j'ai eu l'impression que je n'arriverais jamais à me poser sans casse. Mais tout s'est passé on ne peut mieux. On avait étendu sur le terrain trois drapeaux: celui d'Argentine (d'où je venais), celui du Chili et le drapeau français. J'ai touché, hélice calée, au beau milieu de nos couleurs. Je ne l'avais pas fait exprès, mais tout le monde a crié au miracle: «Quelle précision !». »

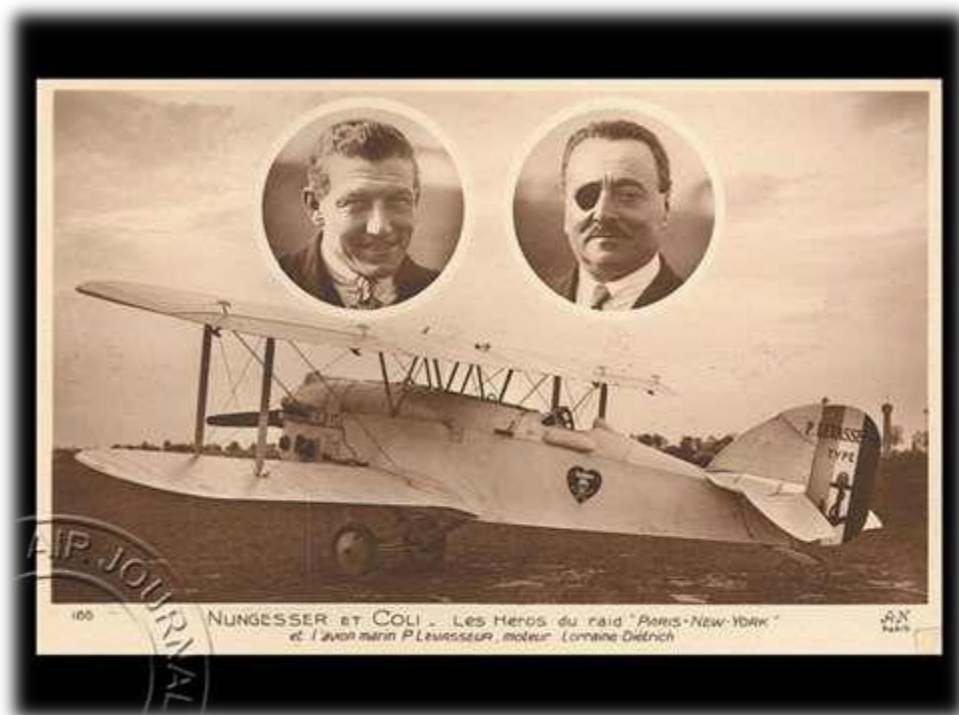
**En 1923 :** Kelly et Mac Ready réalisent la traversée du continent américain sans escale (4088 Km) entre New-York et San Diego.



En 1923 : C'est aussi le premier ravitaillement en vol réussi.



En 1927 : Nungesser et Coli tentent la traversée de l'Atlantique Nord sans escale à bord de leur biplan Levasseur (L'Oiseau blanc). Ils disparaissent en mer.



Quelques jours plus tard, **Charles Lindbergh** relie **New York à Paris Le Bourget** avec le « Spirit of St Louis », en 33 h 30.



**En 1927** : Costes et Le Brix traversent l'Atlantique Sud sans escale du Sénégal au Brésil sur Breguet 19.

**En 1930** : **Coste et Bellonte** avec le Breguet 19 « Point d'interrogation » traversent l'Atlantique Nord de Paris à New York.



En 1931 : 1<sup>ère</sup> traversée du Pacifique sans escale entre les USA et le Japon (Panghorn et Herdon)

En 1932 : Une femme réussit la traversée de l'Atlantique Nord en solitaire à son tour.

C'est **Amélia Earhart**. Elle disparaîtra en 1937 lors d'une tentative du tour du monde.



### Quelques françaises célèbres

**Maryse Bastié** : détentrice de records féminins de distance et durée, traverse l'Atlantique Sud en 1936. Capitaine dans l'armée de l'air.

**Hélène Boucher** : record de vitesse toutes catégories sur 1000 km en 1934 sur Caudron Renault

**Maryse Hilsz** : record féminin d'altitude en 1936, grande résistante, 1<sup>ère</sup> femme reçue dans l'armée de l'air



**En 1938 : Howard Hughes** bat le record du tour du monde en 3 jours 19 heures et 24 mn aux commandes d'un Lockheed Electra (le 1<sup>er</sup> tour du monde date de 1933).



## **B. L'Aéropostale**

Au lendemain de la Première Guerre, la France a énormément d'avions dont elle ne sait que faire.

**Pierre Georges Latécoère** a l'idée d'utiliser ces avions pour transporter le courrier dans les colonies française. Il fonde les lignes Latécoère qui deviendront **l'Aéropostale** en 1927.



**En 1919** : Avec le pilote **Lemaître**, il réalise un vol de Toulouse à Casablanca avec une escale à Barcelone Alicante et Malaga.

Il porte au **Maréchal Lyautey**, qui le reçoit sur le champ d'aviation, le Journal "Le Temps", arrivé le matin à Toulouse avec un bouquet de violettes.

La Ligne est alors née très rapidement, et va se développer dans toute l'Afrique du Nord, Dakar (1925) puis vers l'Argentine et le Brésil (1928).

Des pilotes aventuriers vont écrire sa légende : **Guillaumet, Mermoz, St Exupéry...**



Le directeur de l'exploitation est **Didier Daurat**.

En 1928 : **Mermoz** traverse l'Atlantique Sud avec un Hydravion (Latécoère 28) pour le premier vol commercial qui va jusqu'à Buenos Aires.



A partir de 1929 : Le courrier est acheminé de Buenos Aires à Santiago du Chili en passant les Andes.



Lors d'une de ses périlleuses traversées, **Guillaumet** est obligé de se poser en catastrophe dans les Andes.

Devant les éléments déchainés, il passe 48h, blottit entre les sacs de courriers dans les restes de l'avion. Puis il marche, durant 5 jours, dans la neige et le froid avant d'être retrouvé, épuisé et gelé !

Dans son livre « Terre des hommes » : **Saint Exupéry** rapporte la phrase de son ami lors de leurs retrouvailles : « Ce que j'ai fait, je te le jure, jamais aucune bête ne l'aurait fait ».

En 1933 : l'Aéropostale est intégrée à la nouvelle compagnie Air France.

**En 1936** : **Mermoz** disparaît aux commandes de son Latécoère 300 (Croix du sud). Son dernier message :  
« Coupons... moteur... arrière droit »



C'est la fin d'une époque et de l'aventure de l'Aéropostale.

**A partir de 1930** : Toutes les grandes explorations sont terminées.

Presque toutes les liaisons ont été faites. L'aviation a perdu un peu de son caractère aventureux et héroïque pour devenir une routine.

L'Explorateur est remplacé par le Commandant de bord.

## **C. Les débuts de l'aviation commerciale**

**Dès 1919** : Les techniques ont suffisamment évolué pour permettre d'envisager une exploitation commerciale des avions.

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



Les premières compagnies sont créées : KLM (1919), Aeroflot (1923), Lufthansa (1926), PanAm (1926), fondée par **Juan Trippe**, TWA (1930), rachetée par **Howard Hughes** en 1939.



**En 1933** : Air France voit le jour, avec le regroupement de cinq compagnies Françaises (l'Aéropostale, Air Union, Farman, C.I.D.N.A et Air Orient).

**En 1933** : 1<sup>er</sup> vol du Boeing 247, 1<sup>er</sup> avion commercial à train escamotable. C'est le début de la suprématie américaine dans l'aviation de transport.

**En 1935** : Naissance d'un avion de légende, le DC3 (Dakota en version militaire), conçu par Arthur Raymond.

Il sera construit en 17 000 exemplaires jusqu'aux années 1970 !

C'est un avion rentable pour les compagnies aériennes, capable de transporter 21 passagers à travers les Etats-Unis en faisant une seule escale.



Lors de la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale, il devient C-47 et sera mobilisé sur tous les champs de batailles.

**En 1938** : Boeing sort le B 307 Stratoliner, premier appareil à cabine pressurisée. A partir de ce moment, les avions peuvent voler au-dessus des turbulences météorologiques (6000 m), rendant le voyage plus calme et plus sûr.





### III. La Deuxième Guerre Mondiale (1939-1945) :

#### A. L'avant-guerre

**En 1934** : L'Armée de l'Air est créé. Elle était avant intégrée dans l'Armée de Terre.

**En 1935** : L'Armée de l'Air Française possède 1500 avions et la Luftwaffe 0 ! (Le traité de Versailles interdisait à l'Allemagne de posséder une aviation militaire motorisée).

Deux ans plus tard la France est passée à 1800 avions et l'Allemagne 5000 avions !

#### Les principaux avions Français de l'époque :

##### 1. Les chasseurs



*Dewoitine D-520*



*Morane-Saulnier MS 406*

## 2. Les bombardiers



*Bloch MB200*

**En 1937** : Lors de la Guerre Civile en Espagne, la légion Condor de la Luftwaffe d'Hitler, bombarde la ville de Guernica.

Cette « démonstration de force » de l'aviation Allemande se soldera par 2000 morts et la ville rasée !



Ju 87 « Stuka »

**En 1939** : L'Allemagne fait voler le Heinkel 178, le premier avion à réaction. Les premiers réacteurs sont mis au point en Grande-Bretagne et en Allemagne en 1928.



La même année, Fritz Wendel bat le record de vitesse sur Messerschmitt Bf109 : 755 km/h.

## B. Les principaux évènements

**En 1940** : L'Allemagne envahit la France, la Belgique et la Hollande grâce à sa supériorité sur terre et dans le ciel.

C'est aussi la bataille d'Angleterre qui voit s'affronter sur les côtes de la Manche, la Luftwaffe allemande et la chasse anglaise composée :



*Spitfire, conçu par Reginald Mitchell*



*L'Hurricane*

L'Angleterre stoppe l'aviation allemande lors de la Bataille d'Angleterre.

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



B17 Flying Fortress

**En 1941** : L'aéronavale japonaise lance une attaque surprise sur la base américaine de Pearl Harbor à Hawaii.



Cette attaque, plonge les USA dans la Deuxième Guerre Mondiale.

En 1942 : La première action contre le Japon est le Raid Doolittle (bombardement de Tokyo avec des B-25 partis du porte-avion USS Hornet).



Ce raid fut « une piqure de moustique » pour les Japonais mais qui montra l'importance des porte-avions dans le conflit.



Les pertes importantes de bombardiers :

- Halifax, Lancaster (Anglais)
- B17, B24 (Américains)

Ceci amène les USAAC à développer des avions de chasse d'escorte.



P51 Mustang



P47 Thunderbolt

**En 1944** : Les Allemands mettent en service le premier chasseur à réaction, le Me 262.

Cet avion révolutionnaire atteint 860 Km/h, soit 100 km/h de plus que l'appareil allié le plus rapide.

Les Britanniques mettent alors en service le chasseur à réaction « Gloster Météor » pour intercepter les «bombes volantes » V1 qui ravagent Londres.



**Le 6 juin 1944** : Débarquement des troupes alliées en Normandie, avec la participation de 11.000 avions dont 2.400 avions de transports, de troupes et 860 planeurs.



En 1944 : Disparition en mission **d'Antoine de St Exupéry** aux commandes de son P38 Lightning au-dessus de la Corse.



Le 6 Août 1945 : Une forteresse volante B-29 "Enola Gay" pilotée par **Paul W Tibbets** va larguer la première bombe atomique "Little Boy" sur la ville de Hiroshima.

<https://rha.revues.org/4102-ftn7>



Une 2<sup>ème</sup> bombe sur Nagasaki mettra un terme au conflit avec le Japon.

## C. Les As

En France, c'est **Pierre Clostermann, 33 victoires**, vu ici dans son Hawker Tempest, qui a raconté ses missions au sein de la RAF dans son livre « *Le grand cirque* ».



L'escadrille Normandie-Niemen est une escadrille de volontaires de la France libre, incorporée à l'armée de l'air russe, volant sur Yak3.



Chez les allemands : **Erich Hartman**, « le démon noir », 352 victoires et **Adolf Galland**, auteur de « *les premiers et les derniers* ».

Chez les britanniques, **Douglas Bader**, 45 victoires, amputé des 2 jambes.

Chez les Russes, les femmes pilotes étaient surnommées « *les sorcières de la nuit* ».

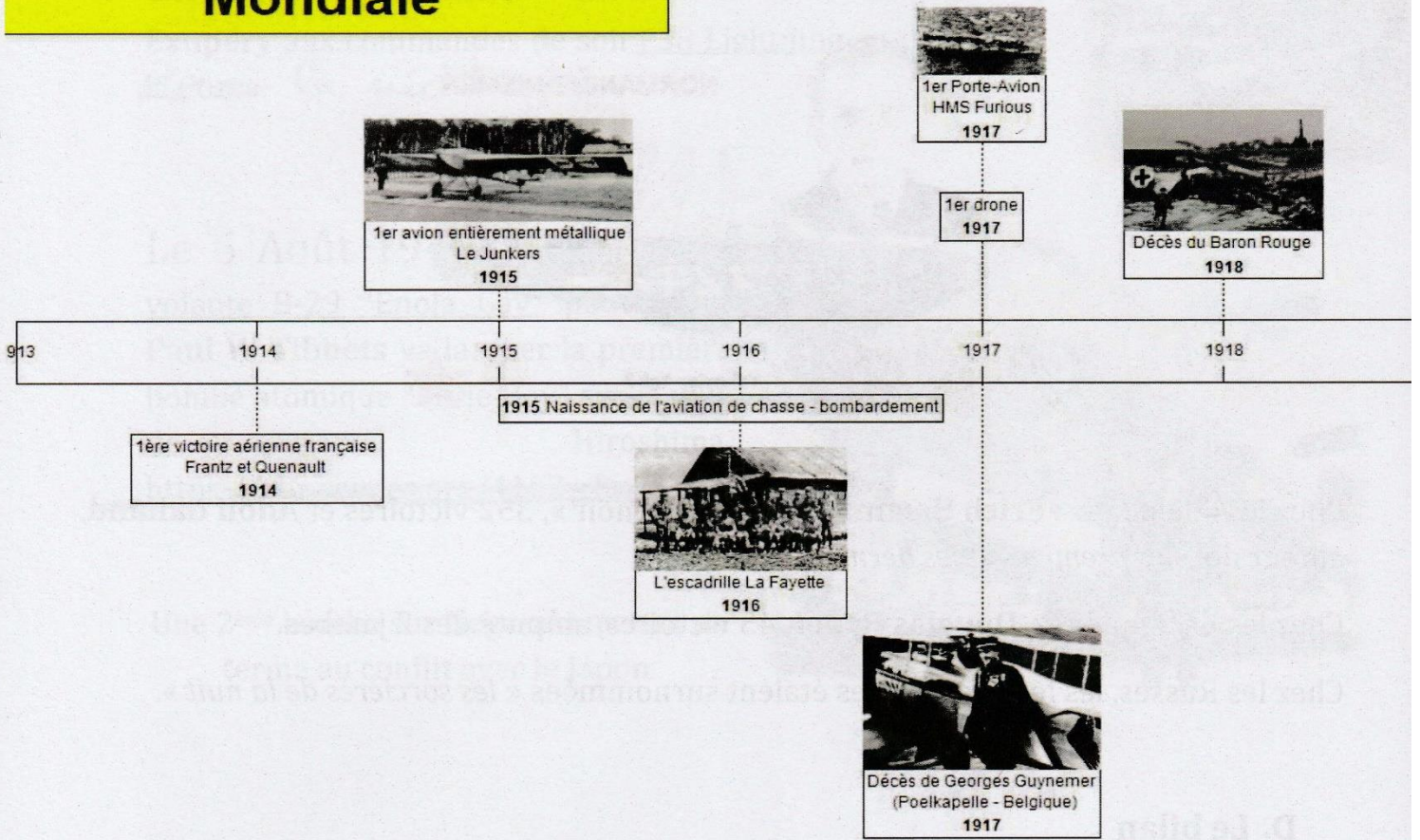
## D. Le bilan

La puissance des moteurs est passée de 1000 à 2500 CV.

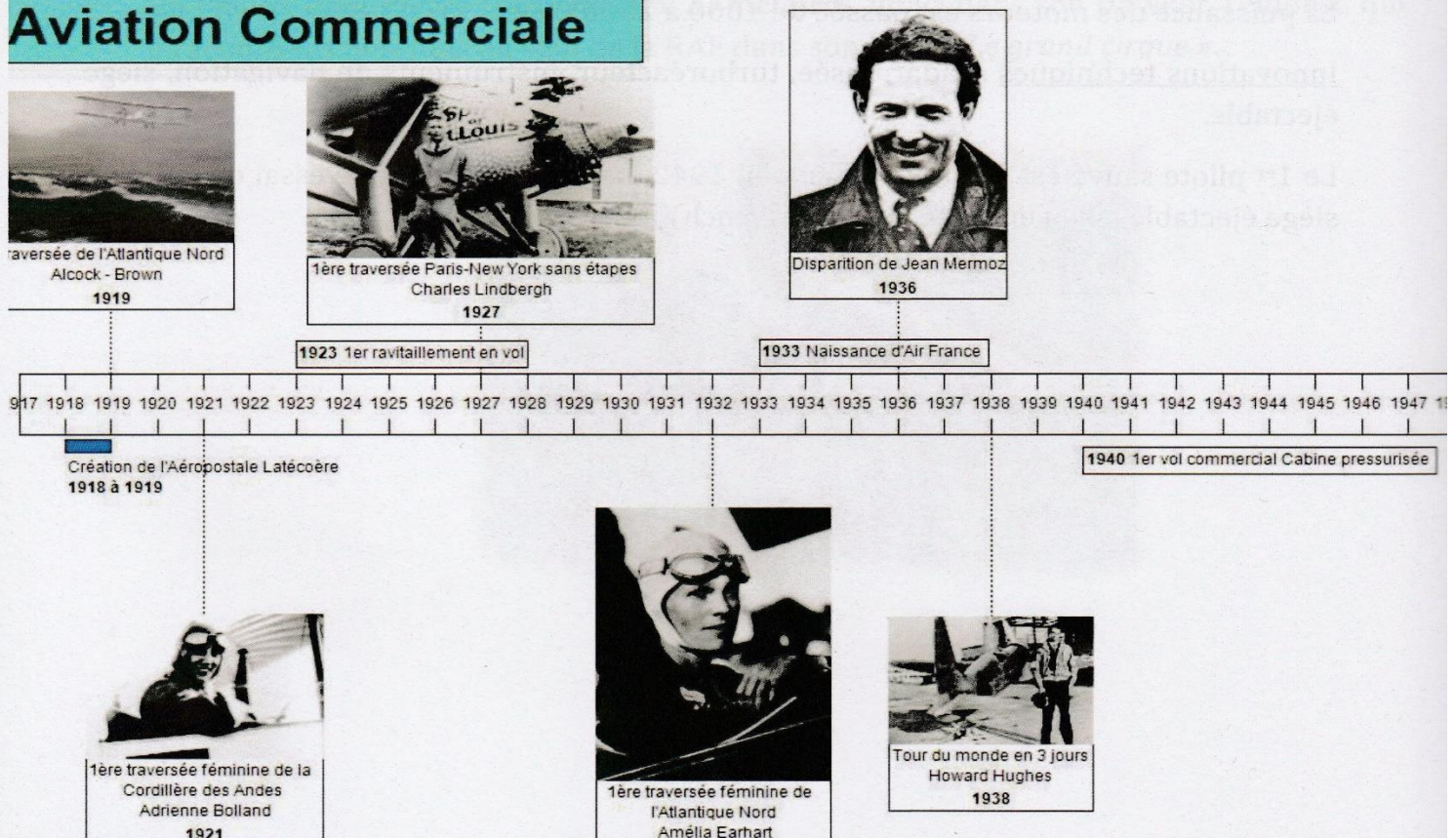
Innovations techniques : radar, fusée, turboréacteur, instruments de navigation, siège éjectable.

Le 1<sup>er</sup> pilote sauvé est Helmut Schenk en 1942. Le premier véritable essai en vol d'un siège éjectable a lieu en 1946 (Bernard Lynch).

# Première Guerre Mondiale



# L'Entre-deux-guerres Aviation Commerciale





# Seconde Guerre Mondiale



Bombardement aérien de Guernica  
1937



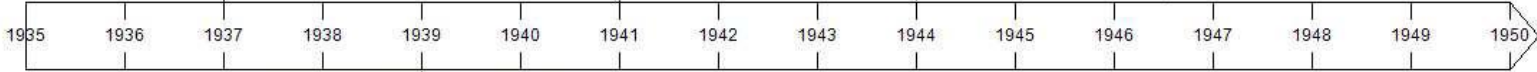
1er vol - avion à réaction - UK  
Gloster Whittle  
1941



Disparition d'Antoine de St Exupéry  
1944

1939 Offensive allemande - Pologne

1944 Tir balistique V1 allemand



1er vol - avion à réaction - Allemand  
Heinkel  
1939



1er vol - avion à réaction - USA  
Bell P59  
1942



Attaque japonaise de  
Pearl Harbor  
1941



1ères Bombes atomiques  
frappent :  
Hiroshima  
Nagasaki  
1945

## Partie 3 : De 1945 à nos jours

### I. Le « mur » du son

Après la deuxième guerre mondiale, les avions à réactions sont militaires et s'approchent de la vitesse du son (environ 1100 km/h selon la température).

Les pilotes qui ont atteint cette vitesse rapportent que l'avion est instable et que les commandes durcissent.

**En 1945** : le pilote allemand Mutke aurait franchi le mur du son lors d'un piqué à 12000 mètres avec son Messerschmitt 262

**En 1947** : La Société Bell-Aircraft (USA) mène une série d'essais, pour le compte de l'US Air-Force.

L'avion fabriqué, pour cette tentative, était le Bell X-1, avion entièrement métallique, et très robuste.

Pour le dessiner, les ingénieurs s'inspirèrent d'une balle de pistolet Browning.

Il était pressurisé et largué d'un B-29 modifié.



**En octobre 1947** : **Chuck Yeager** aux commandes de son Bell X1, grimpe à 12 000m et franchit le mur du son en piqué. (Voir le film *L'étoffe des héros*). Le pilote britannique John Derry fera de même sur un Vampire en 1948.

En 1952 : **Roger Carpentier** est le premier pilote français à passer le mur du son en piqué sur un Mystère II.

En 1953 : Développement du premier avion militaire de série à passer le mur du son en palier, c'est le Super Sabre F-100 américain de North American.



son

En 1954 : **Kostia Rozanoff** est le premier pilote français (et européen) à passer le mur du son en palier sur un Mystère IV.

## II. L'aviation militaire

En 1946 : le premier avion à réaction français voit le jour, il s'agit du SO-6000 Triton conçu secrètement pendant l'occupation allemande, par Lucien Servanty, le père du futur Concorde.

En 1949 : Développement du premier chasseur à réaction de série de conception française (**Dassault Ouragan**).



En 1949 : l'ingénieur français **René Leduc** réalise le premier avion à tuyère thermopropulsive. Le statoréacteur est né !

Il équipera par la suite le SR 71.



En 1961 : Les français réalisent le premier avion de combat européen capable de passer Mach 2 : le Mirage III de Dassault.



En 1961 : 1<sup>er</sup> vol du Harrier, aéronef à décollage et atterrissage verticaux (ADAV). Seul appareil de ce type mis en service avec le Yak38.

En 1978 : **Dassault** réalise le premier vol du Mirage 2000.



En 1981 : 1<sup>er</sup> vol du Lockheed-Martin F117, avion furtif, dévoilé en 1991 lors de la première guerre du golfe.



En 1986 : premier vol du Rafale.



### Une française célèbre

**Jacqueline Auriol** : 1<sup>ère</sup> européenne à franchir Mach 1 sur Mystère II en 1953 puis Mach 2 en 1963 sur Mirage III.



### III. L'aviation commerciale

En 1946 : Premiers vols commerciaux transatlantiques (Lockheed Constellation)



**En 1949** : Les britanniques dévoilent le quadriréacteur De Havilland DH-106 Comet, 1<sup>er</sup> avion de ligne à réaction. Il connaît une série d'accidents dus à la pressurisation de la cellule.



**En 1957** : Le Boeing B 707 effectue son 1<sup>er</sup> vol.



Cet avion va révolutionner le transport aérien et sera construit en 9000 exemplaires ! Sa forme est celle de quasiment tous les avions de transport de passagers depuis lors (ailes en flèche, réacteurs séparés et disposés sous la voilure).

**En 1955** : La France réalise son premier avion de ligne à réaction : La Caravelle, dont les deux réacteurs sont accrochés à l'arrière de l'appareil, ce qui sera repris par de nombreux constructeurs.

L'appareil sera produit en 280 exemplaires et sera exploité par Air Inter jusqu'en 1991.



**En 1963** : Dassault développe un avion d'affaire en appliquant des solutions techniques éprouvées sur ses avions militaires. Il reprend aussi l'idée de Sud Aviation pour la Caravelle des moteurs à l'arrière de l'appareil. Dans un premier temps baptisé Mystère 20, il portera le nom de **Falcon 20**, plus facile à prononcer pour les Américains.



**En 1968** : C'est la course à l'avion supersonique ! Et ce sont les russes avec le Tupolev 144 qui réalisent le premier vol.

Un accident au Bourget retarde sa mise en service. Un autre accident, en 1978, réduit l'utilisation des appareils produits au transport de fret et de passagers dans l'espace soviétique.



**En 1969** : C'est le premier vol d'essai du Concorde à Toulouse-Blagnac avec **André Turcat** aux commandes.

C'est le début de l'exploitation d'avions supersoniques pour le transport de passagers.



En 1976, les vols commerciaux débutent et s'achèveront en 2003.

Le coût du carburant, de l'entretien et l'accident de l'an 2000, ont eu raison du bel oiseau blanc.

**En 1969** : Le Boeing 747 vole pour la première fois.

Les premiers exemplaires seront livrés un an plus tard à Air France pour la ligne Paris - New York.



**En 1969** : Pour lutter contre la concurrence américaine, les Européens créèrent Airbus-Industries, consortium qui regroupe la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni, l'Espagne.

**En 1972** : C'est le premier vol du A300 qui lance l'histoire d'Airbus. Il entre en service chez Air-France en 1974. Son principal rival sera le B767.



**En 1987** : Airbus lance le A 320, le premier avion à commandes de vol électriques et un équipage limité à 2.



**En 1991** : 1er de l'Airbus A340 1<sup>er</sup> quadriréacteur d'Airbus. Boeing ripostera avec le B777.

**En 2005** : 1<sup>er</sup> vol de l'A380, très gros porteur, rival du B747.

**En 2013** : C'est le premier vol du A350, avion réalisé en grande partie en matériaux « composites (fibres de carbone).





## IV. Les hélicoptères et les avions expérimentaux

### A. Les hélicoptères

**En 1923** Juan de la Cierva invente l'autogire

**En 1939** Igor Sikorsky met au point le premier hélicoptère moderne, le VS300 équipé d'un seul rotor principal et d'un rotor de queue.

**En 1955** L'Alouette II est le premier hélicoptère au monde équipé d'une turbine à gaz. Jean Boulet battra en 1972 le record d'altitude à 12 442 mètres à Istres.



### B. Les avions expérimentaux

**En 1963** : Le X15 (avion fusée) atteint 107 960 mètres et Mach 6,7 en 1967.



**En 1979** : Le Gossamer Albatross (avion à pédale) traverse la Manche en 2h49.



En 1986 : Dick Rutan et Jeanna Yeager réalisent le 1<sup>er</sup> tour du monde sans escale ni ravitaillement sur Voyager



En 2004 : Le X43 (statoréacteur) atteint Mach 10

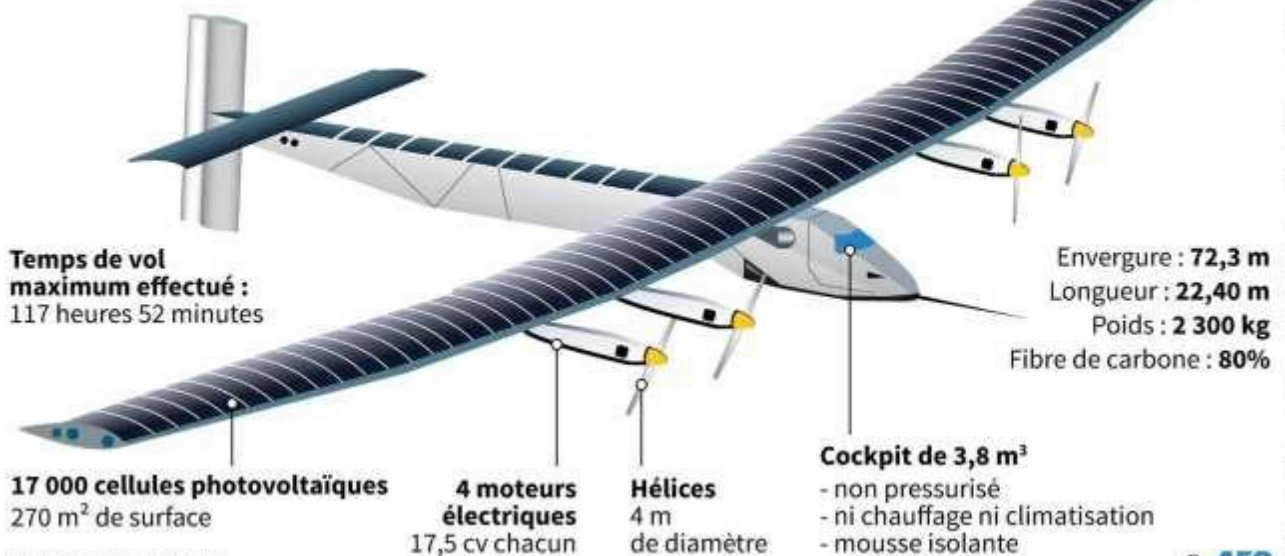
En 2015 : L'E-fan d'Airbus et le Cri-Cri électrique traversent chacun la Manche



En 2016 : Solar Impulse II boucle son tour du monde, avec comme pilotes André Borschberg et Bertrand Picard.

## Solar Impulse 2, l'avion solaire

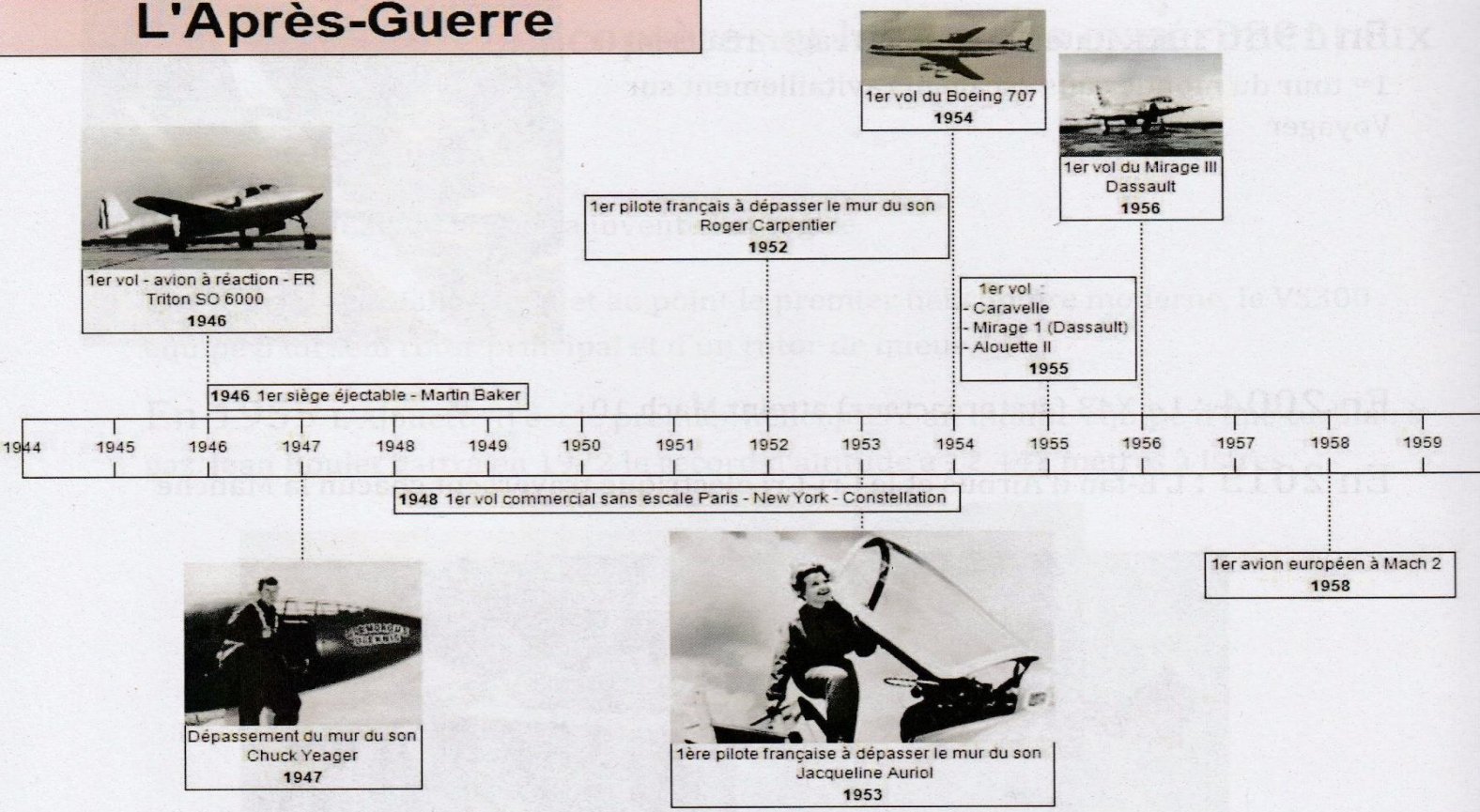
Après plus d'un an de vols et 43 041 km parcourus, il a bouclé son tour du monde



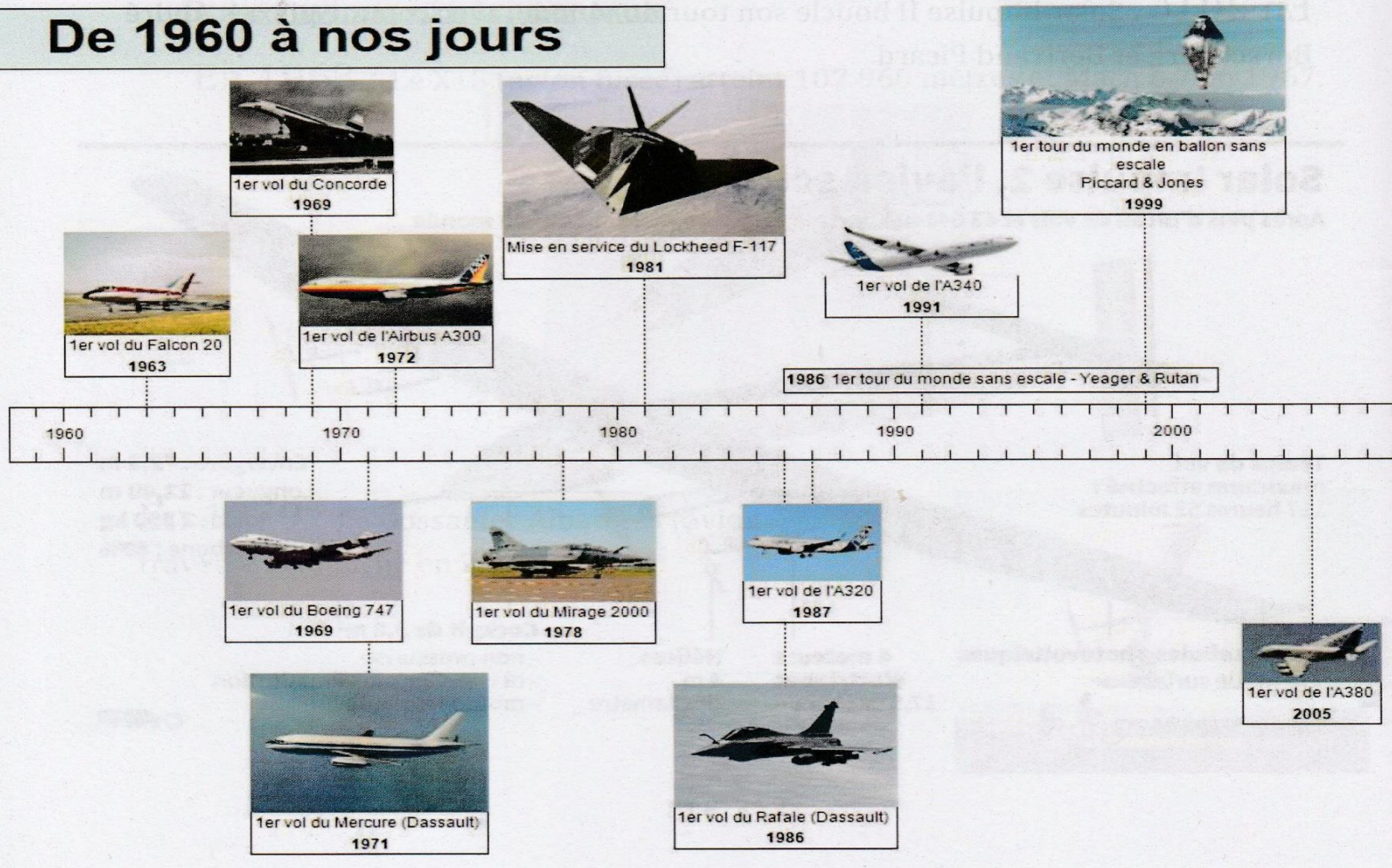
Source : solarimpulse.com

© AFP

# L'Après-Guerre



# De 1960 à nos jours



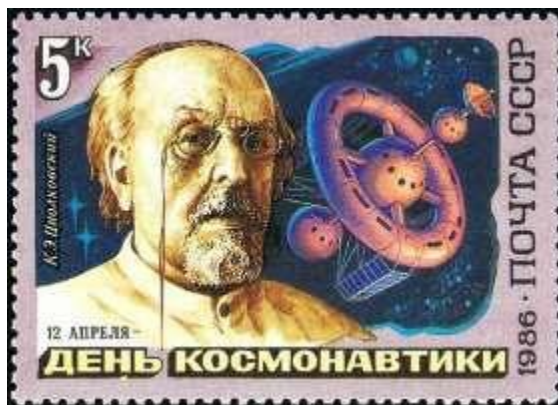
## Partie 4 : La conquête de l'espace

### I. Les précurseurs

**En 1903** : **Constantin Tsiolkovski**, scientifique russe, décrit le principe d'une fusée assez puissante pour se libérer de l'attraction terrestre et atteindre d'autres planètes.

Il aborde alors la forme de la chambre de combustion, le guidage de la trajectoire de la fusée, ... Tous ses principes seront repris par la suite.

*« La Terre est le berceau de l'Humanité, mais on ne passe pas sa vie dans un berceau. »*



**En 1926** : L'américain Robert Goddard fait voler la 1<sup>ère</sup> fusée à propergols liquides

**En 1942** : **Wernher von Braun** contribue au lancement de la fusée V2 qui atteint 85 km !



## II. De Spoutnik à Apollo (1957-1972)

En 1957 : Les Russes lancent le premier satellite artificiel, « Spoutnik 1 » qui tourne autour de la terre à une altitude comprise entre 258 et 947 km. Il mesure 58 cm de diamètre et pèse 83,6 kg. Il est lancé par la fusée R7, mise au point par **Serguei Korolev**.



Il s'en suivra « Spoutnik 2 » et la chienne **Laïka** à bord le mois suivant.

En 1961 : **Youri Gagarine** à bord de Vostok 1 est le premier homme dans l'espace.



**En 1961** : Le premier astronaute américain est **Alan Shepard**.

Il fait partie du premier programme spatial américain : **Mercury** qui sera suivi de **Gemini** puis **Apollo**.



**En juillet 1962** : Le premier satellite de télécommunication américain « Telstar »

Ce satellite sera l'inspiration du personnage emblématique de Star Wars : R2-D2



**En 1963** : La 1ère femme (russe) est mise en orbite dans Vostok 6 : Valentina **Terechkova**.



**En 1965** : 1ère sortie extra-véhiculaire (**Alexei Leonov**)

**En 1965** : Diamant A : fusée française qui lance le premier satellite français (Astérix). La France devient la 3<sup>ème</sup> puissance spatiale.



En 1969 : Le programme Apollo permet la conquête de la lune.



**Apollo 11** : Neil Armstrong est le premier homme à marcher sur la lune.

« C'est un petit pas pour l'homme, mais un pas de géant pour l'humanité »



La fusée Saturn V construite par Wernher Von Braun effectua son 1<sup>er</sup> vol en 1967.



### III. De Skylab à l'ISS (1973- aujourd'hui)

En 1971, Saliout 1 (URSS) est la première station orbitale. Les USA lanceront Skylab en 1973.

En 1979 : Le premier vol d'Ariane (lanceur Européen) depuis Kourou.

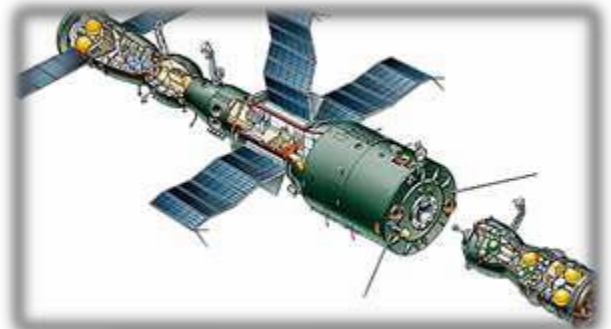


**En Avril 1981** : La Première navette spatiale américaine : Columbia

Il y aura en tout 135 missions jusqu'en 2011 et 2 accidents majeurs (destruction de Challenger en 1986 et Columbia en 2003). Une navette russe, Buran, volera 1 seule fois en 1988



**En Juin 1982** : Le Premier Astronaute Français: **Jean Loup Chrétien** rejoint la station Russe « Saliout 7 » à bord de Soyouz T6.



**En 1996** : La première française dans l'espace est **Claudie Haigneré**. Elle séjourne 14 jours à bord de la station Mir.



**En 1998** : Lancement du 1er élément de la Station Spatiale Internationale (ISS). Le premier équipage arrivera en 2000.





## Pour s'entraîner:

Il existe sur internet des sites qui vous permettront de vous entraîner à l'examen du BIA. L'examen étant un QCM, plus on en fait, plus cela entre dans la tête.

Utiliser les ressources du site du CIRAS de Montpellier (vidéo, supports pédagogique)  
<http://www.ac-montpellier.fr/pid35970/ressources-pour-les-eleves-et-les-professeurs.html>

Pour les annales, voici le site le plus complet:  
<http://aero-scolaire.ac-orleans-tours.fr/php5/ciras.htm>

Autres ressources utiles :

- Le site <http://www.test3000.net/>
- L'application **QuizBIA** (disponible sur le Play Store – Android pour le smartphone)