



MANUEL
DU
BREVET D'INITIATION
AERONAUTIQUE

(édition 3.0. – 2019)



©CIRAS Toulouse



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, ...

Plus de 300 questions issues de l'examen sont proposées, dans les rubriques « pour s'entraîner » à la fin de chaque partie.

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

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** », qui nous a autorisés à reproduire ses schémas. Nous incitons tous les candidats et tous 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 :

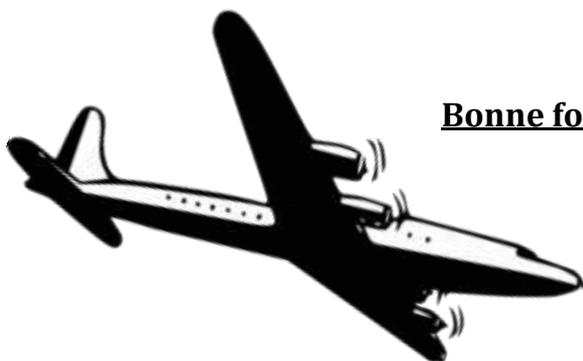
- **Aérodynamique, aérostatique et principes du vol**
- **Etude des aéronefs et des engins spatiaux**
- **Météorologie et aérologie**
- **Navigation, réglementation, sécurité des vols**
- **Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial**

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.

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

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

Relecture et mise à jour

J.C. Kraemer (CIRAS Toulouse, Education Nationale)

Contributions

Enseignants de l'Education Nationale

F. Robert et C. Pineau - Lycée Saint Joseph de Toulouse

F. Henaut - Collège A Faumier d'Alban

Reférent BIA de l'ENAC

J.P. Celton

Co-animateur du groupe BIA du CIIRAA (Armée de l'Air)

P. Ballester

Aide à la réflexion

J.C. Oules (animateur CIRAS) et S. Valenza (enseignant Collège de l'Isle sur Tarn)

Mise en forme et maquettage du manuel

Raphaël Le Bris (Association Morceau de Ciel Bleu)

Sommaire

Préambule

Chapitre 1 : Aérodynamique, aérostatique et principes du vol p. 1

Chapitre 2 : Etude des aéronefs et des engins spatiaux p. 51

Chapitre 3 : Météorologie et aérologie p. 149

Chapitre 4 : Navigation, réglementation, sécurité des vols p. 207

Chapitre 5 : Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial p. 261

Corrigé des QCM p. 327

Chapitre 1 : 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 vocabulary

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 :

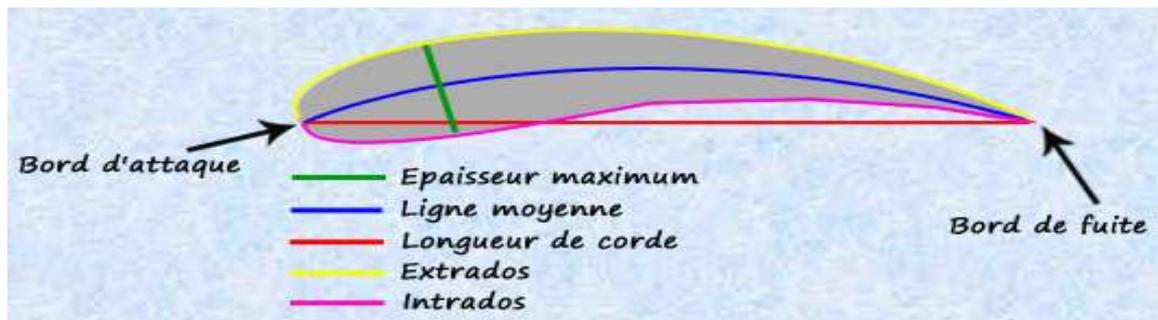


Figure 1.1.

- **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 : $\vec{V}_{vent\ relatif} = -\vec{V}_{avion}$.

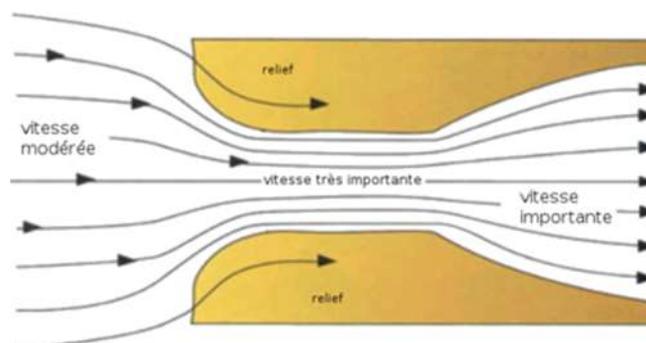


Figure 1.2.

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 $P + \frac{1}{2}\rho V^2 = \text{constante}$

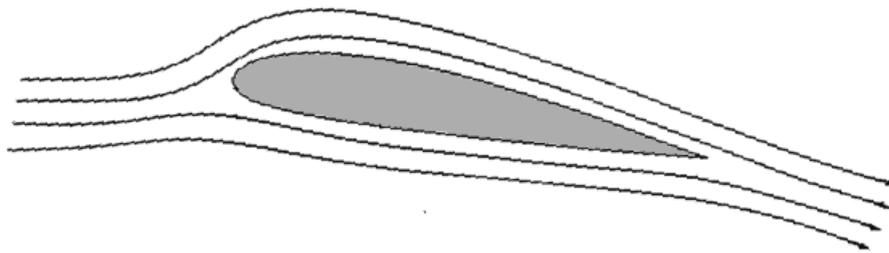


Figure 1.3.

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.

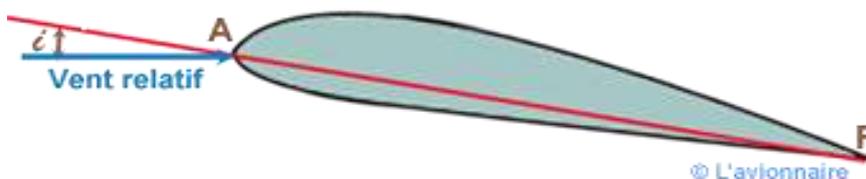


Figure 1.4.

D. Les forces aérodynamiques

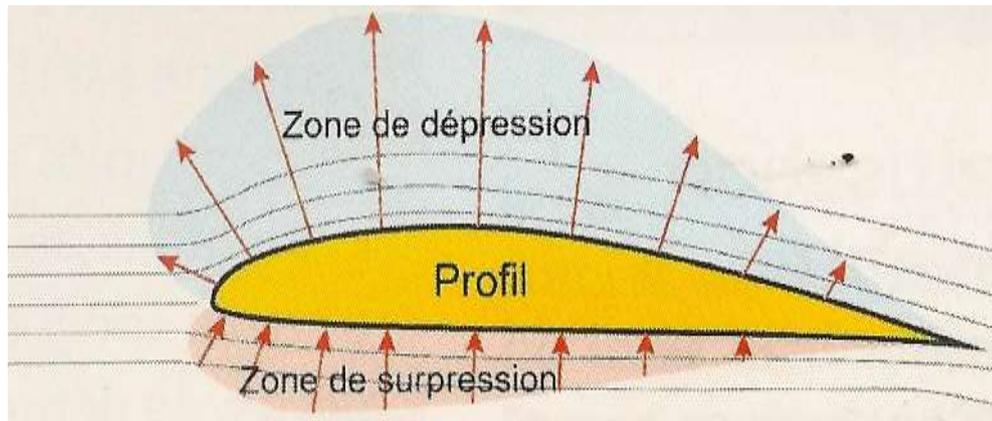


Figure 1.5.

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.

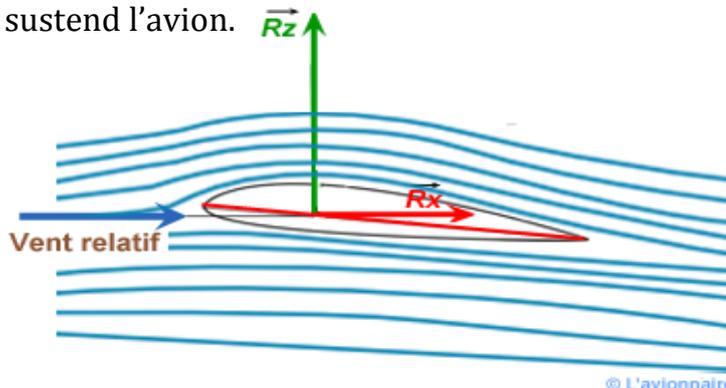
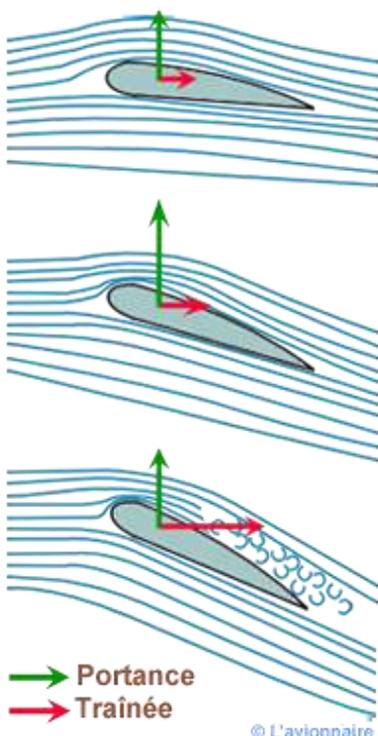


Figure 1.6.

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) :

$$R_z = 1/2 \rho V^2 \cdot S \cdot C_z \quad \text{et} \quad R_x = 1/2 \rho V^2 \cdot S \cdot C_x$$



Avec :

- * ρ = Masse volumique de l'air (en kg.m^3)
- * S = Surface alaire de l'avion (en m^2)
- * 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)

ρ diminue avec l'altitude \rightarrow 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 $\rightarrow C_z \approx 0,5$
 $\rightarrow C_x \approx 0,025$
- A l'atterrissage $\rightarrow C_z \approx 2,5$
 $\rightarrow C_x \approx 0,2$

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.

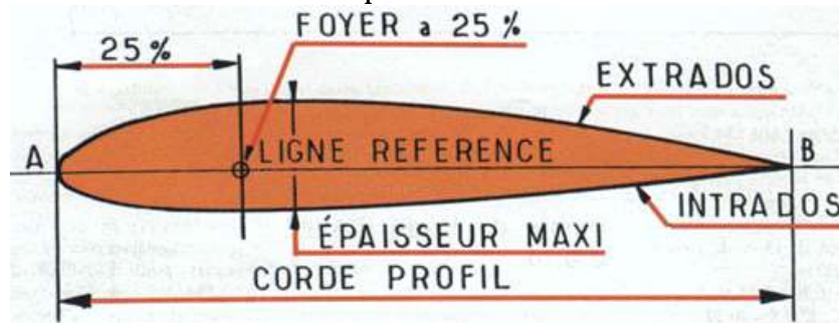


Figure 1.8.

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

Biconvexe symétrique

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.



Biconvexe dissymétrique

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.



Plan creux

extrados convexe + intrados concave

profils très porteurs à faible vitesse, mais trainée importante.

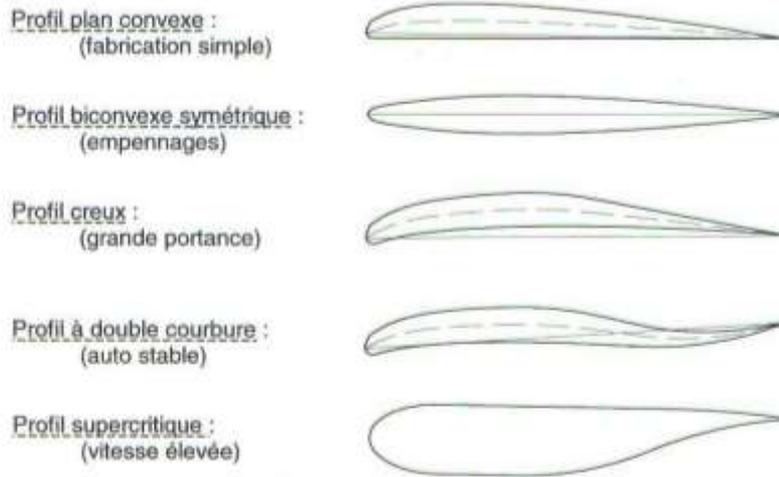
type de profil très utilisé autrefois pour les planeurs

La ligne moyenne est à simple courbure

permet aussi un angle d'incidence avant décrochage le plus grand possible

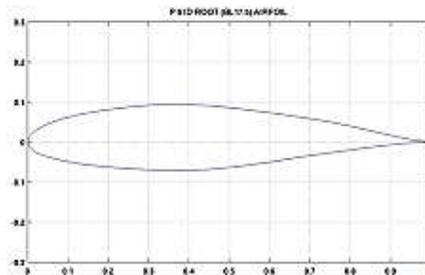


Figure 1.9.



Figures 1.9.bis

Exemples de profils P51D

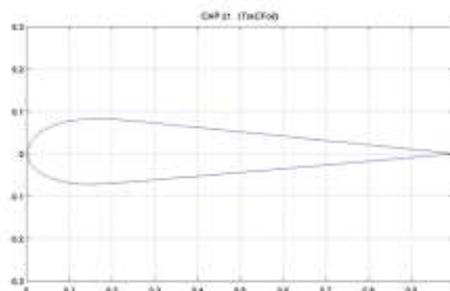


- Grand rayon d'action
- faible traînée à grande vitesse => écoulement laminaire étendue sur le profil d'aile.
- épaisseur maximale à la moitié de la corde => augmente le volume intérieur utile : permet de loger armement + train d'atterrissage + carburant directement dans l'aile.
- moins de portance 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

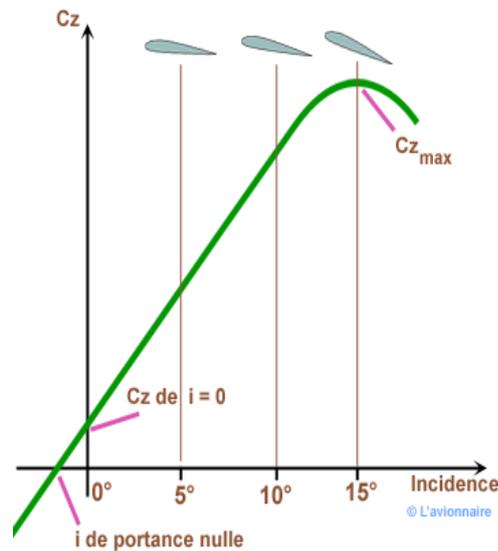


Figure 1.12.

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).

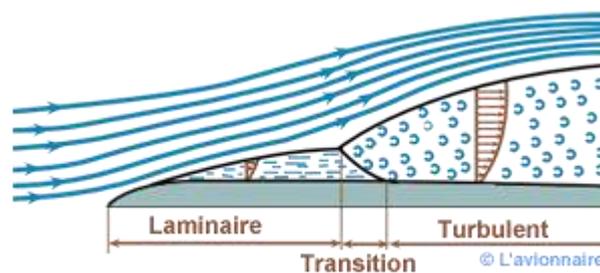
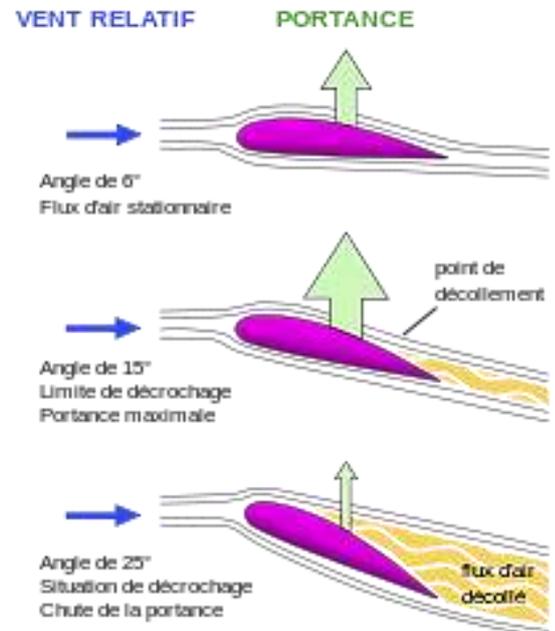


Figure 1.13

Si l'on incline l'aile au-delà d'un certain angle d'incidence, environ de 15° , 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**.

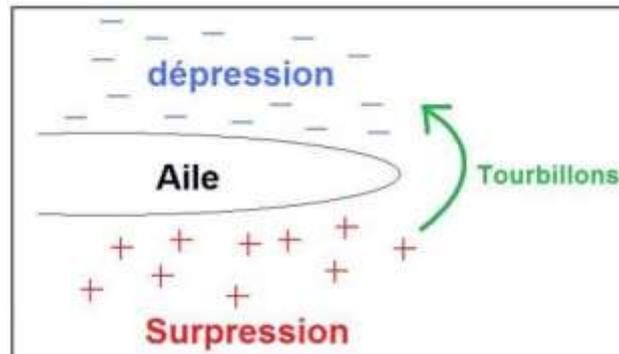


Figure 1.15.

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.

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.

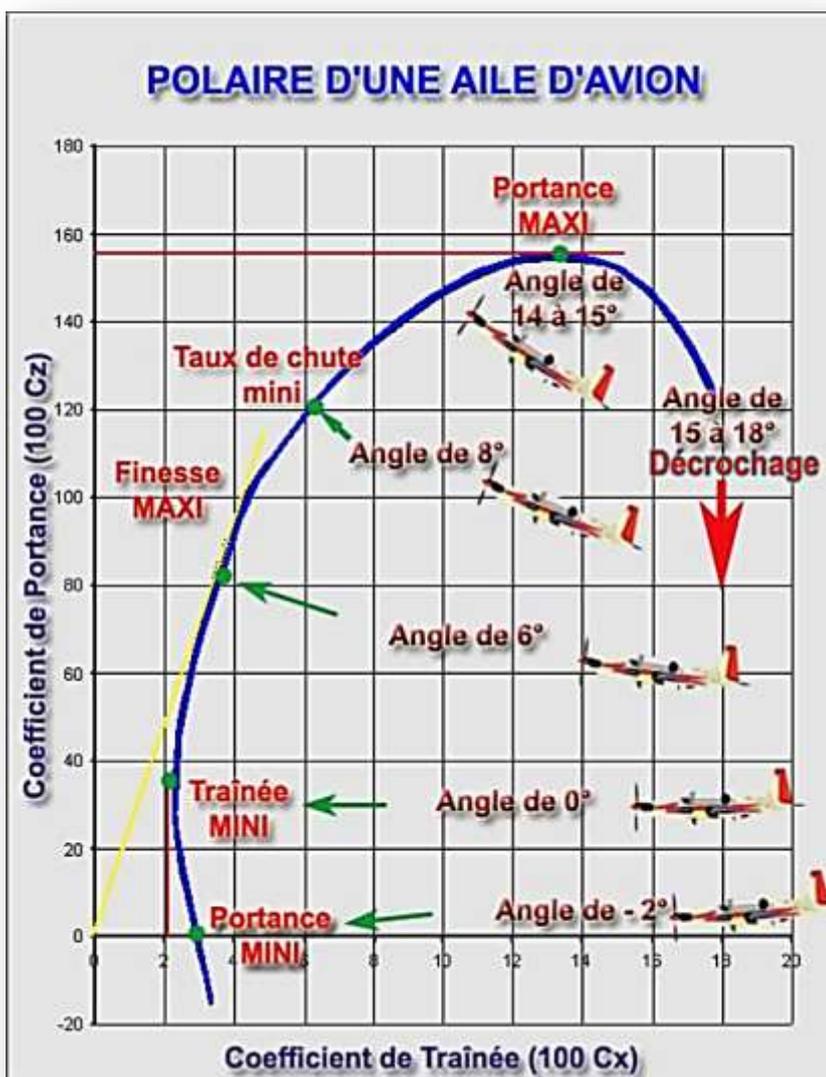
Il est essentiel sur un planeur de veiller à la propreté de l'aile.

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 :

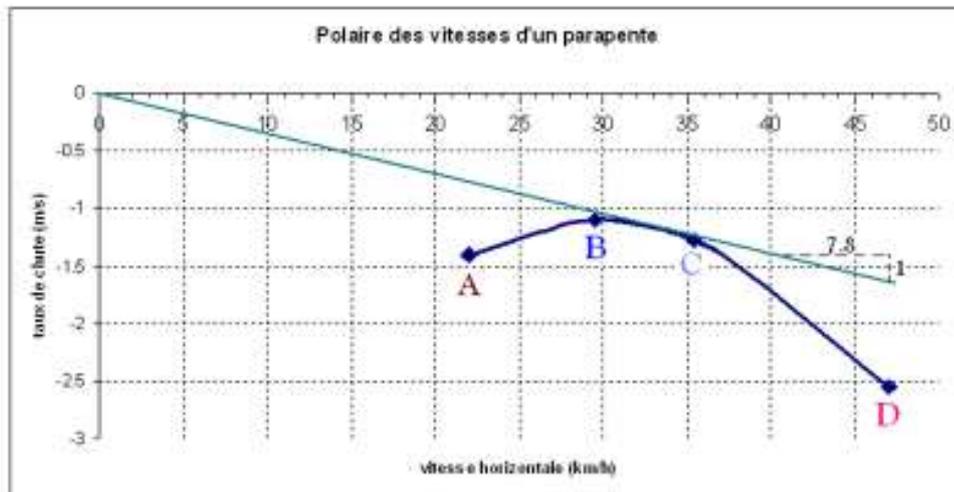
- A : Portance nulle
- B : Trainée minimale
- C : Finesse maximale (C_z/C_x maxi)
- D : Portance maximale
- E : Décrochage

Figure 1.18.

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.

Pour les **aéronefs non motorisés**, on utilise plutôt la polaire des vitesses :

Polaire des vitesses



Polaire des vitesses d'un parapente

A : vitesse de décrochage

B : Taux de chute mini

C : Finesse max (7,8)

D : vitesse max accélérée

Figure 1.19.

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.

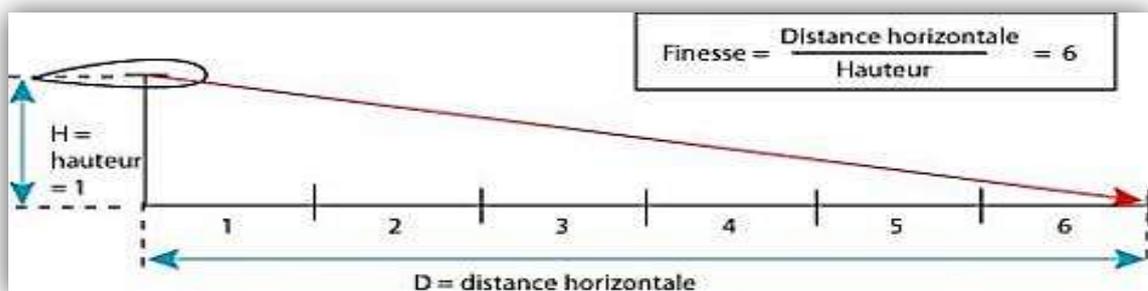


Figure 1.20.

III. Caractéristiques d'une voilure

A. Caractéristiques géométriques

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

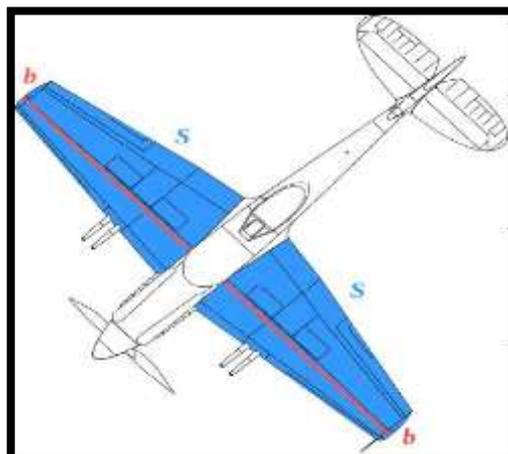


Figure 1.21.

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

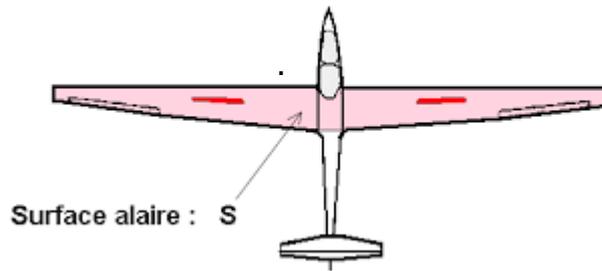


Figure 1.22.

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

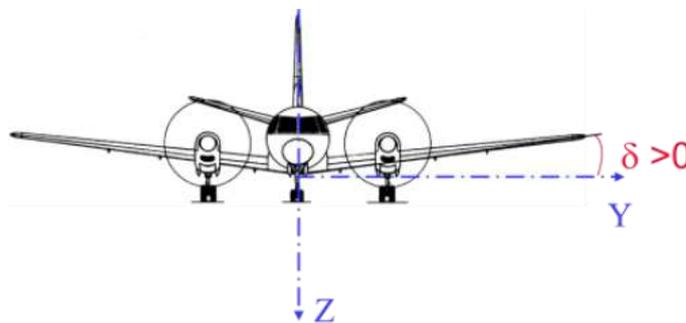
$$A = \frac{2b}{C_{moy}} = \frac{\text{envergure}}{\text{corde moyenne}} = \frac{\text{envergure}^2}{\text{surface alaire}}$$

A vaut environ :

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

- **Dièdre**

Figure 1.23.



- **Flèche**

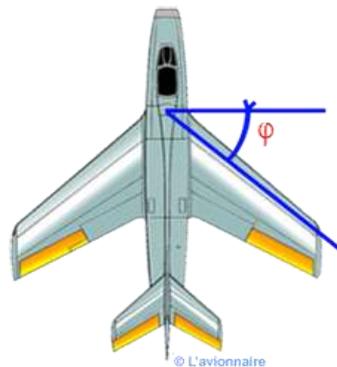


Figure 1.24.

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**.

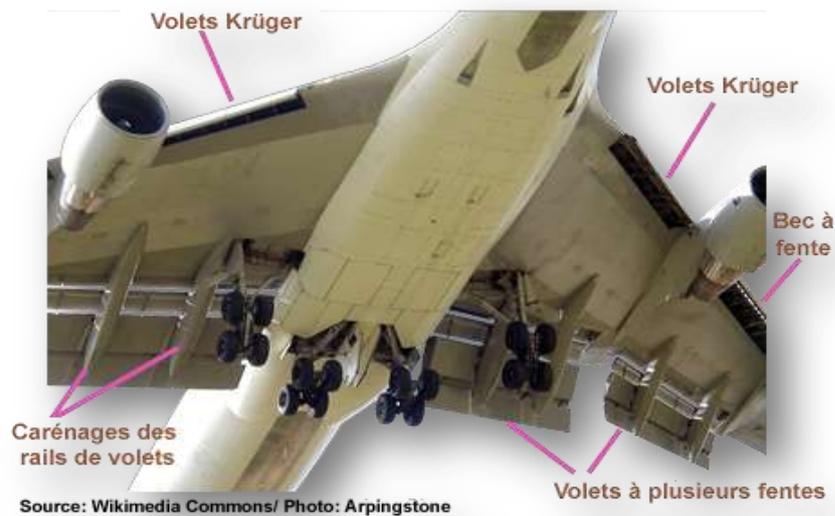


Figure 1.25.

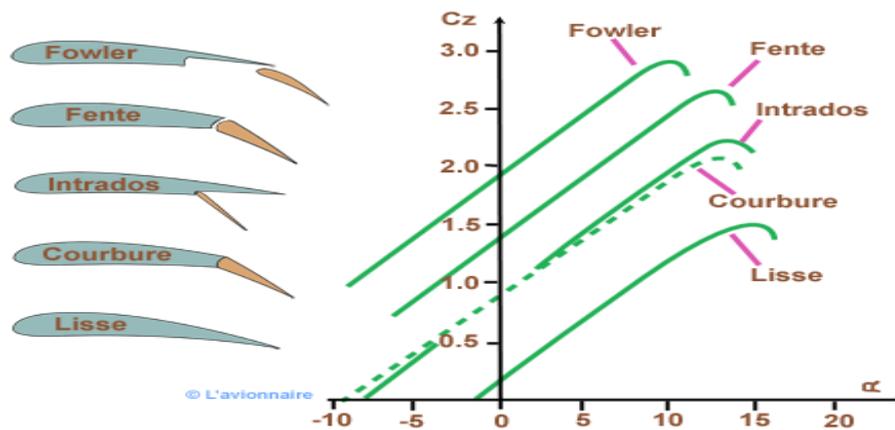
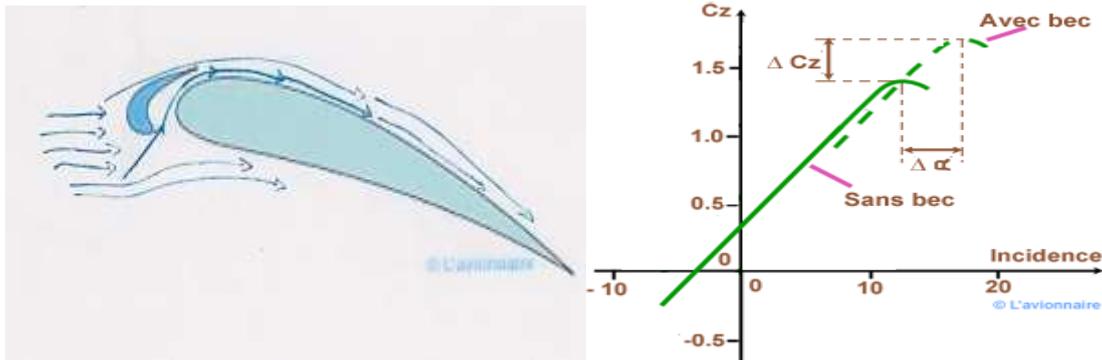


Figure 1.26.

A noter que les volets augmentent également la surface alaire.



Figures 1.27 et 1.28.

Les becs 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.

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 1.29.

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 au virage)

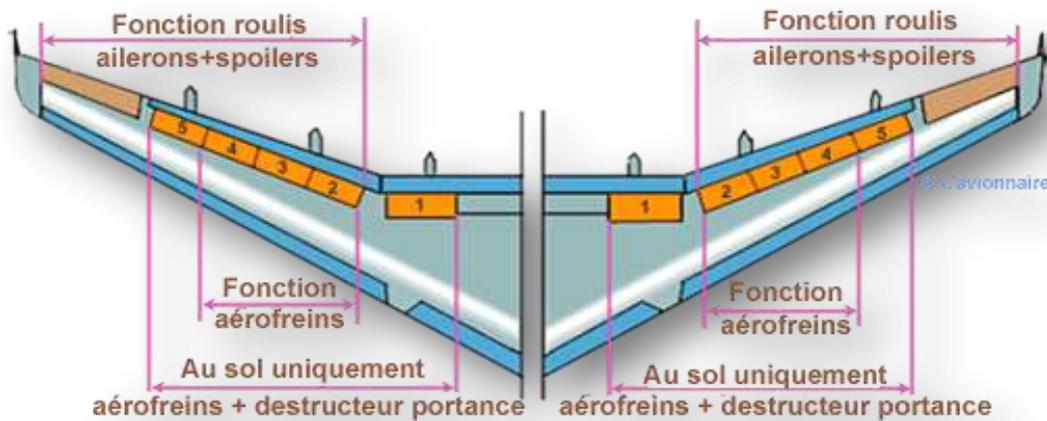
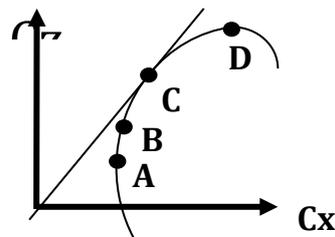


Figure 1.30.

Pour s'entraîner

1) Sur la polaire d'aile dessinée ci-dessous, on appelle point de traînée minimum :

- a) le point A
- b) le point B
- c) le point C
- d) le point D



2) Un corps se déplace à la vitesse de 100 km/h ; en passant à la vitesse de 300 km/h, sa résistance aérodynamique :

- a) ne change pas
- b) est multipliée par 9
- c) est multipliée par 3
- d) diminue légèrement

3) La traînée d'une aile est la somme :

- a) d'une traînée parasite et d'une traînée induite.
- b) d'une traînée et d'une portance.
- c) d'une traînée et d'un moment.
- d) d'une portance et d'un moment.

4) La traînée :

- a) diminue lorsque l'incidence augmente
- b) est indépendante de la vitesse
- c) augmente lorsque la vitesse diminue
- d) diminue lorsque la masse volumique de l'air diminue

5) La traînée induite d'une aile :

- a) augmente avec l'allongement
- b) diminue quand la portance augmente
- c) est une des conséquences de la présence de moucherons collés sur le bord d'attaque
- d) est une conséquence des différences de pressions entre intrados et extrados

6) Les caractéristiques d'un avion sont les suivantes : surface alaire : 20 m², vitesse de croisière : 100 m/s - C_z = 0,5 - masse volumique de l'air : 1,2 kg/m³. Quelle est sa portance ?

- a) 12 000 N b) 30 000 N c) 60 000 N d) 120 000 N

7) La portance est :

- a) proportionnelle à la masse volumique de l'air.
b) proportionnelle au carré de la vitesse.
c) proportionnelle au carré de la surface alaire.
d) les réponses a et b sont exactes.

8) Tous les facteurs énoncés ci-dessous influencent la force aérodynamique sauf un (indiquer lequel) :

- a) la température de l'air du jour. b) la propreté de l'aile.
c) le poids de l'aile. d) la surface alaire.

9) Le foyer d'un profil est :

- a) confondu avec le centre de poussée.
b) situé au bord d'attaque.
c) situé environ à 25% de la corde à partir du bord d'attaque.
d) situé environ à 25% de la corde à partir du bord de fuite.

10) Les turbulences de sillage d'un avion sont fonction :

- a) de sa vitesse. b) de son envergure.
c) de sa masse. d) toutes les réponses précédentes sont exactes.

11) Un planeur de finesse 40 vole en air calme, sa vitesse-air est de 108 km/h. Sa vitesse verticale est donc :

- a) 0,75 m/s. b) 1,08 m/s. c) 1,33 m/s. d) 40 km/h.

12) L'extrados d'une aile ou d'un profil désigne :

- a) sa partie supérieure. b) sa partie inférieure.
c) les extrémités. d) les aérofreins.

13) Le décrochage se produit toujours à :

- a) la même vitesse. b) la même incidence.
c) la même inclinaison. d) la même assiette.

14) Dans un écoulement d'air, lorsque les particules d'air sont animées de la même vitesse et suivent des trajectoires parallèles entre elles, on dit que l'écoulement est :

- a) tourbillonnant b) de couche limite c) turbulent d) laminaire

15) Lorsqu'une aile approche de l'incidence de décrochage, l'écoulement des filets d'air sur l'extrados devient :

- a) turbulent au bord d'attaque et laminaire au bord de fuite
- b) tourbillonnaire en avant du bord de fuite, les filets d'air « décollent » de la surface de l'aile
- c) laminaire sur tout le profil
- d) laminaire sur les deux premiers tiers de l'aile, turbulent proche du bord de fuite

16) La charge alaire est définie par le rapport :

- a) $\frac{\text{surface portante}}{\text{poids total de l'aéronef}}$
- b) $\frac{\text{poids de l'aéronef}}{\text{surface portante}}$
- c) $\frac{\text{poids de l'équipage}}{\text{surface des ailes}}$
- d) $\frac{\text{poids de l'aéronef}}{\text{poids des ailes}}$

17) Avec un volet hypersustentateur de bord de fuite sorti, un profil d'aile voit son C_z max :

- a) diminuer alors que son incidence max augmente.
- b) augmenter alors que son incidence max diminue.
- c) augmenter alors que son C_x diminue.
- d) augmenter alors que son incidence max augmente.

18) La corde d'un profil est le segment qui joint :

- a) l'emplanture à l'extrémité de l'aile
- b) les deux extrémités d'une aile
- c) le bord de fuite au bord d'attaque
- d) aucune des propositions ci-dessus n'est exacte

19) Parmi les dispositifs hypersustentateurs, on peut citer :

- a) les aérofreins
- b) les becs de bord d'attaque
- c) les volets de courbure
- d) les réponses b et c sont exactes.

20) L'angle de calage de l'aile est l'angle compris entre :

- a) la trajectoire et l'axe longitudinal de l'avion
- b) la corde de profil et l'axe longitudinal de l'avion
- c) la trajectoire et l'horizontale
- d) la corde de profil et l'horizontale

21) L'aile d'un planeur a une envergure de 15 m et une surface de 10 m² ; son allongement est :

- a) 5
- b) 12
- c) 20
- d) 22,5

22) Un avion a les caractéristiques suivantes : envergure 10 mètres, épaisseur relative de l'aile 0,20, profondeur moyenne de l'aile 1,0 mètre. Sachant que cette aile est rectangulaire, son allongement est de :

- a) 10
- b) 50
- c) 60
- d) 100

Partie 2 : Etude du vol stabilisé :

I. Les forces en jeu

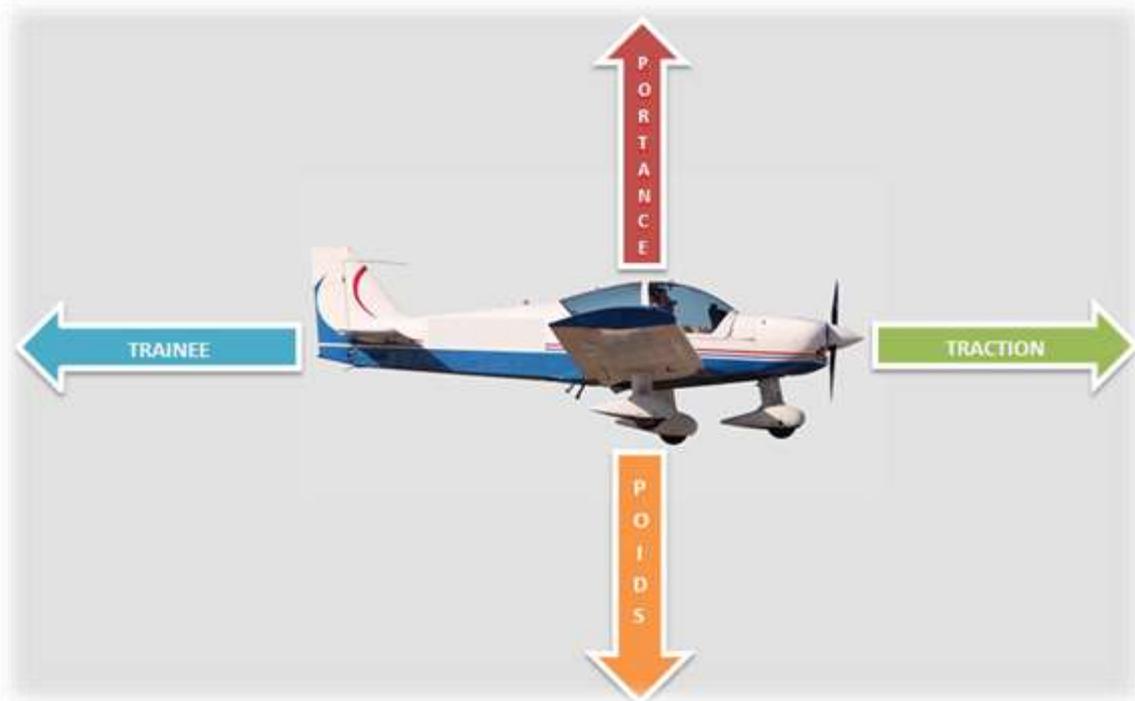


Figure 1.31.

- **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 :

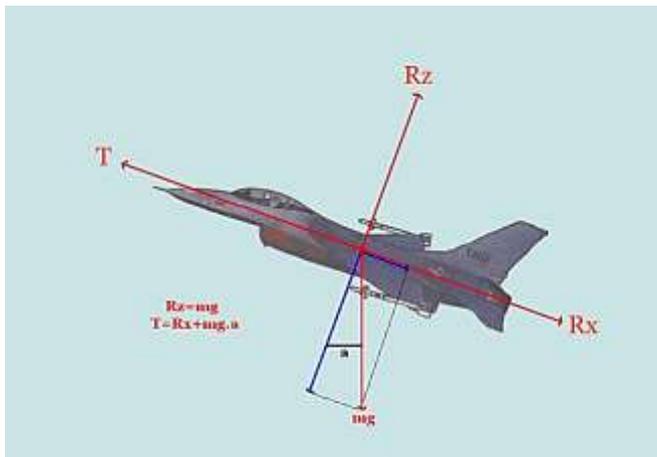
A. En palier

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



Figure 1.32.

B. En montée



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.

Figure 1.33.

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.

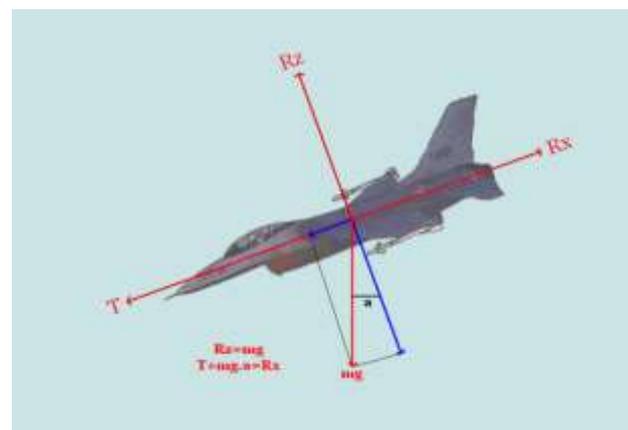


Figure 1.34.

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

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 :

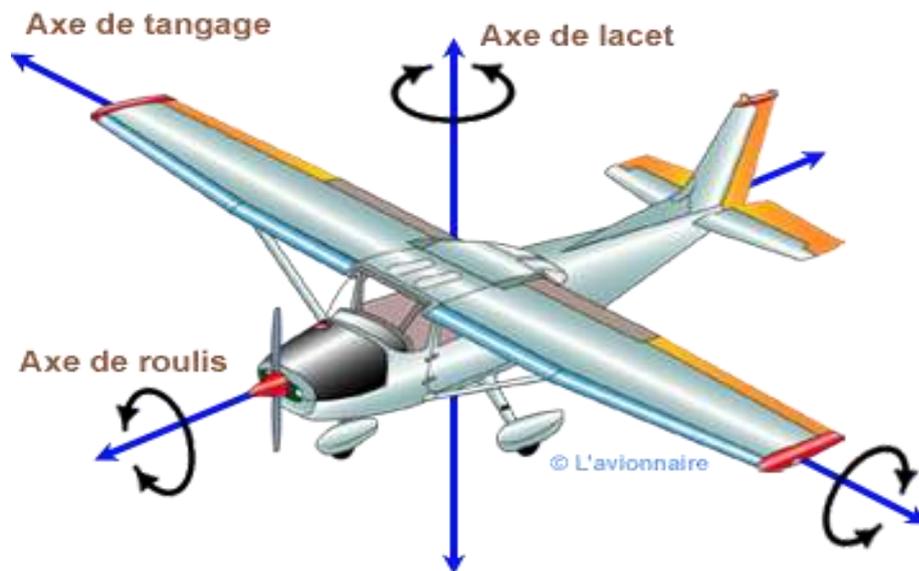


Figure 1.35.

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.

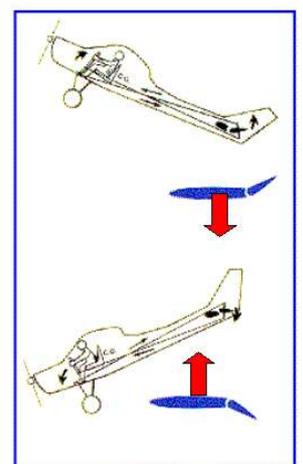


Figure 1.36.

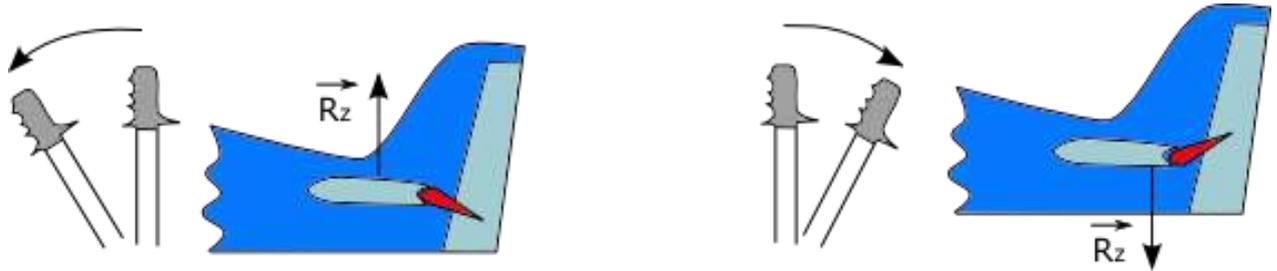


Figure 1.37.

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.**

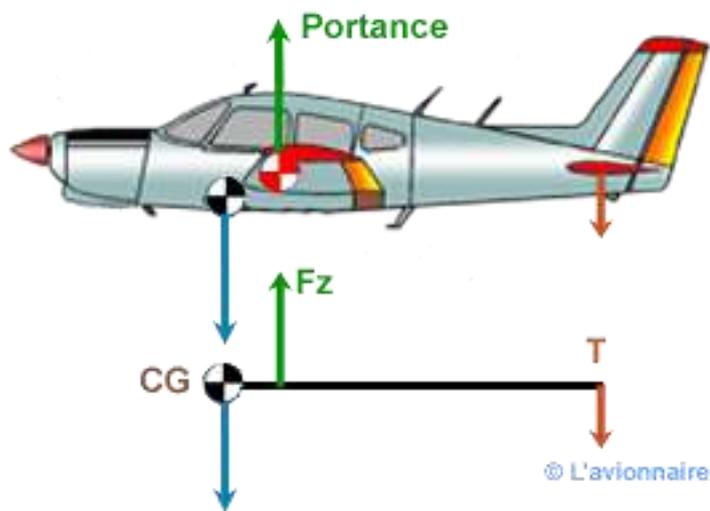


Figure 1.38.

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).

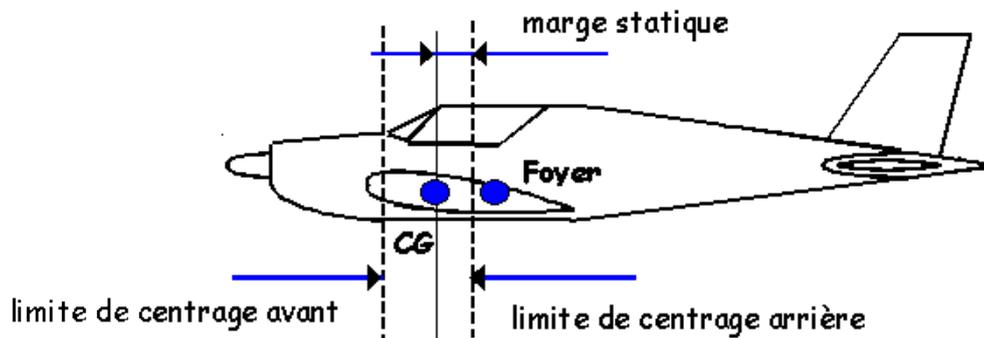


Figure 1.39.

Plus G est en avant de F (centrage avant), plus l'avion est **stable** mais moins il est **maniable** (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
Stabilité	AUGMENTE	DIMINUE
Manoeuvrabilité	DIMINUE	AUGMENTE
Braquage de la gouverne de profondeur	PLUS IMPORTANT	MOINS IMPORTANT
Trainée	AUGMENTE	DIMINUE
Consommation	AUGMENTE	DIMINUE

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).

3. Assiette, pente, incidence



Figure 1.40.

assiette = pente + incidence

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

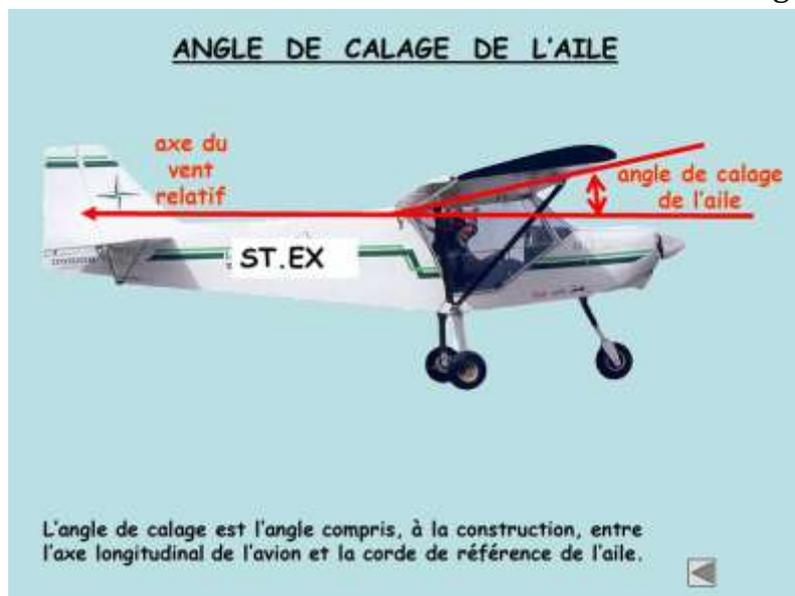


Figure 1.41.

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

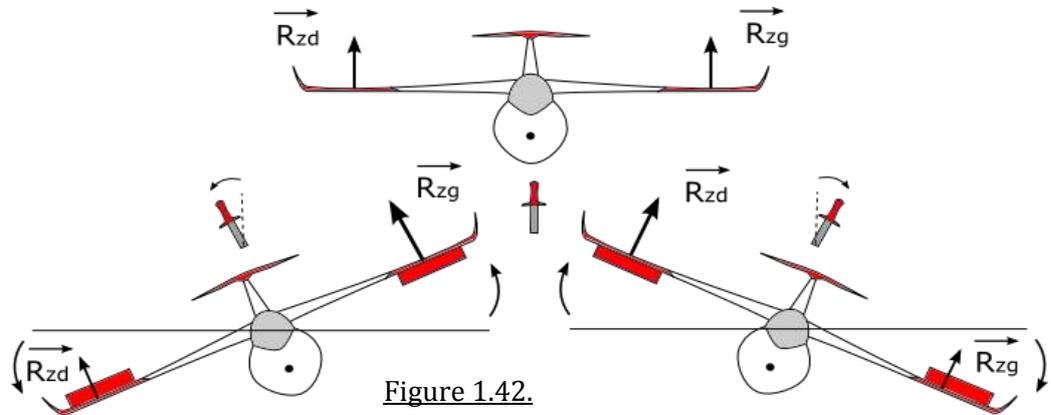


Figure 1.42.

- 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.

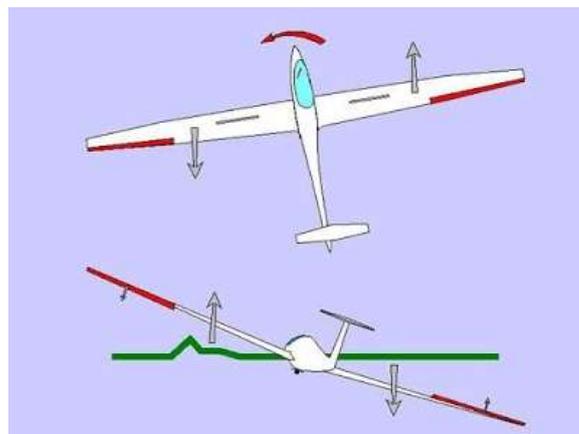


Figure 1.43.

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**

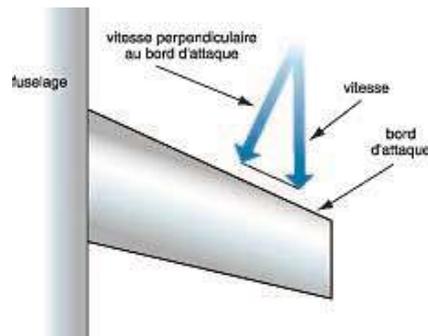


Figure 1.44.

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**

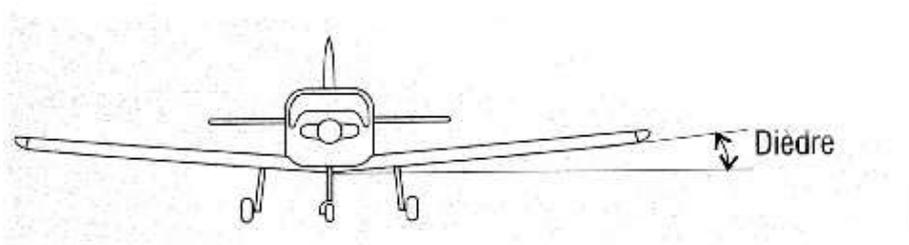


Figure 1.45.

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

➤ **La position de l'aile par rapport au fuselage**

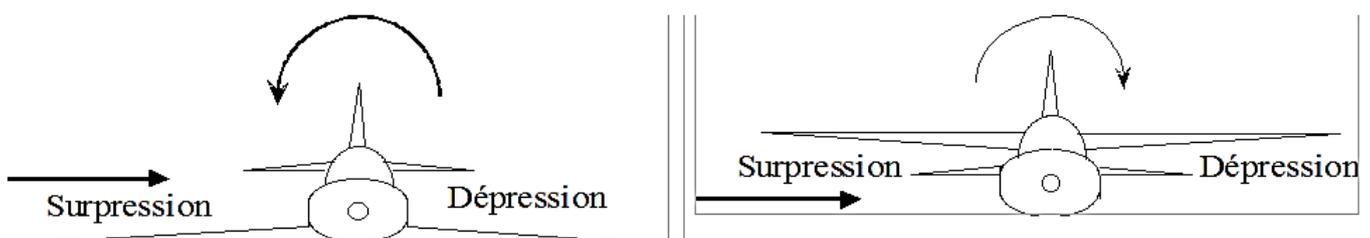


Figure 1.46.

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.

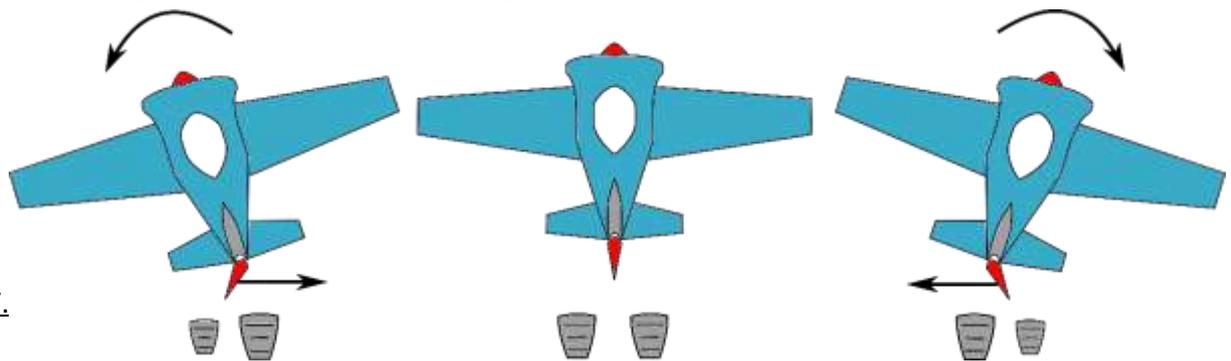


Figure 1.47.

➔ 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 roulis 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.

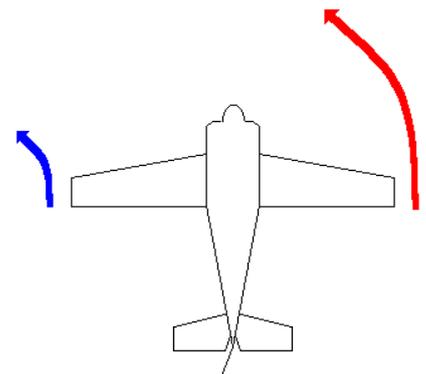


Figure 1.48.

3. Dérapiage 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.

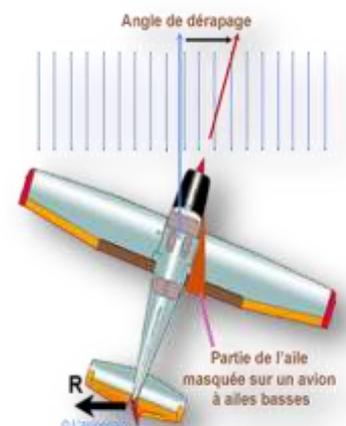


Figure 1.49.

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 1.50.

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.

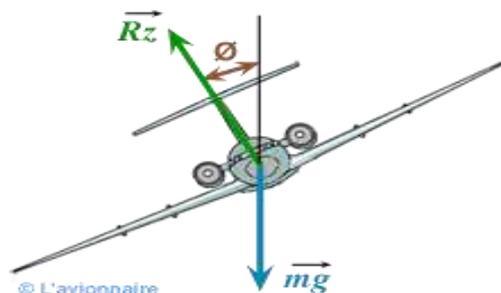


Figure 1.51.

Le facteur de charge en virage augmente avec l'inclinaison : $n = \frac{1}{\cos \Phi} > 1$

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.

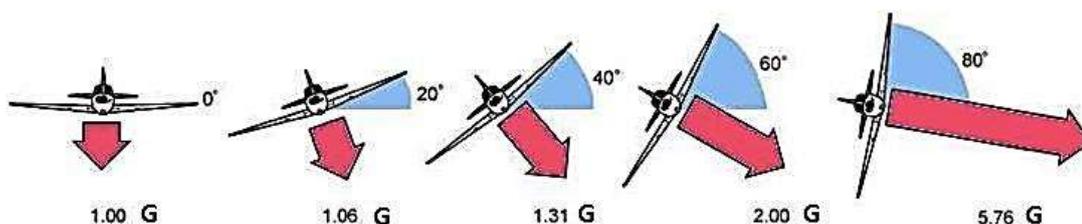


Figure 1.52.

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 évolue selon la racine carrée du facteur de charge :

$$V_{\text{décrochage}} = V_{\text{rectiligne palier}} \cdot \sqrt{n}$$

La vitesse de décrochage varie également avec :

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

NB : Ceci résulte de la relation $\frac{1}{2} \rho S C_{z_{\max}} V_{\text{decr}}^2 = n \cdot m \cdot g$

IV. Le décollage et l'atterrissage

A. Le décollage

Le décollage se fait en 4 étapes :

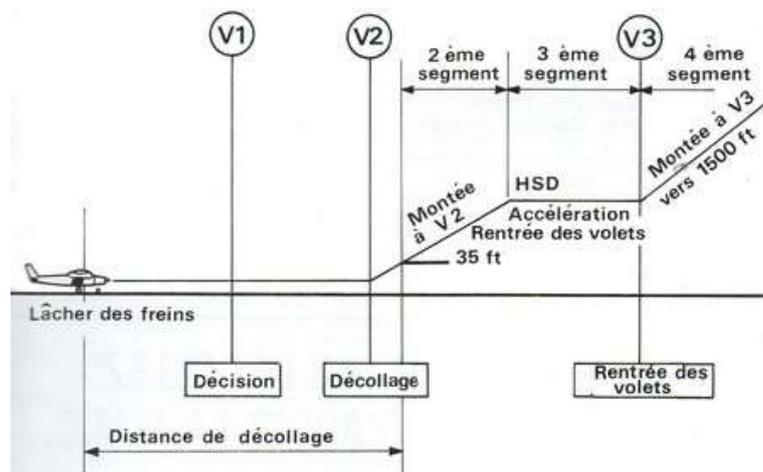


Figure 1.53.

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

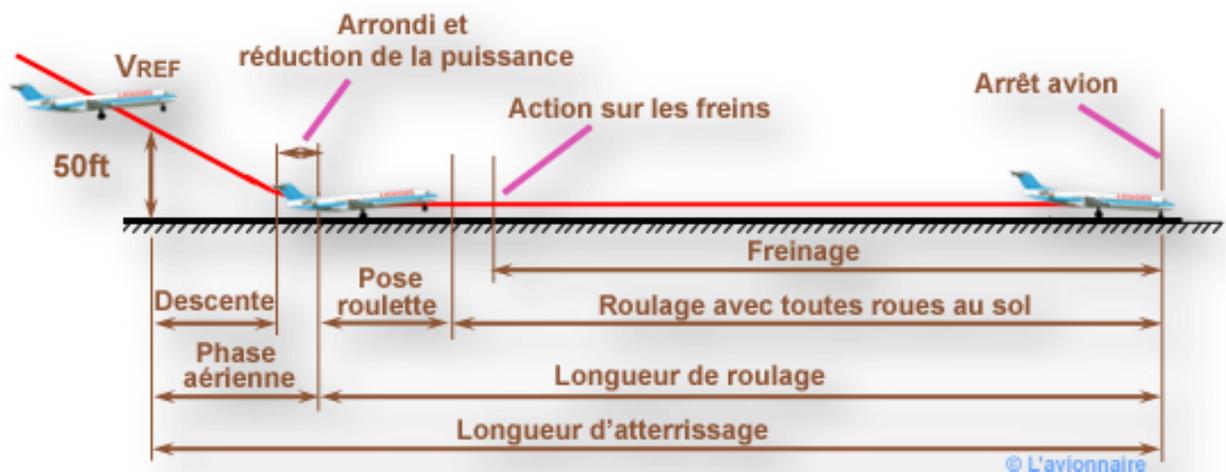


Figure 1.54.

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

Pour s'entraîner

23) En montée rectiligne uniforme, la traction de l'hélice :

- a) est supérieure à la traînée
- b) est inférieure à la traînée
- c) est égale à la traînée
- d) équilibre le poids

24) En montée rectiligne uniforme, la portance :

- a) est inférieure au poids.
- b) est supérieure au poids.
- c) est égale au poids.
- d) est égale à la traînée.

25) Un avion léger "centré arrière" sera :

- a) plus stable qu'un avion "centré avant".
- b) plus maniable qu'un avion "centré avant".
- c) moins sensible à la turbulence qu'un avion "centré avant".
- d) obligatoirement incontrôlable.

26) La longueur de roulage nécessaire au décollage augmente avec :

- a) l'altitude.
- b) la température.
- c) la composante de vent arrière.
- d) dans les trois cas précédents.

27) L'angle de pente est :

- a) l'angle entre l'horizontale et l'axe longitudinal de l'avion
- b) l'angle entre la corde de profil de l'aile et le vent relatif
- c) l'angle affiché sur l'horizon artificiel du pilote
- d) l'angle entre l'horizontale et la trajectoire réelle de l'avion

28) Le braquage des ailerons provoque un effet secondaire appelé :
 a) roulis inverse. b) lacet inverse. c) roulis réduit. d) lacet induit.

29) Le roulis induit est dû à :
 a) une traînée plus importante de la demi-aile située à l'intérieur du virage.
 b) une portance plus importante de l'aile extérieure au virage.
 c) la nervosité ou à l'émotivité du pilote.
 d) la position "vol dos".

30) Parmi les paramètres suivants, quel est celui qui augmentera la stabilité de l'avion en roulis :
 a) une voilure en flèche inversée. b) une voilure à dièdre inverse.
 c) une voilure avec un dièdre positif. d) une voilure de forme elliptique.

31) Par la manœuvre de quelle commande est gérée la symétrie du vol de l'avion :
 a) le déplacement latéral du manche
 b) le réglage de la puissance du moteur
 c) les palonniers qui agissent sur la gouverne de direction
 d) le déplacement d'avant en arrière du manche

32) Le lacet inverse est dû :
 a) à la plus grande augmentation de traînée de l'aileron levé
 b) à la plus grande augmentation de traînée de l'aileron abaissé
 c) à la nervosité ou à l'émotivité du pilote
 d) à la position "vol dos"

33) Un facteur de charge égal à 2 correspond à un virage :
 a) stabilisé à 30° d'inclinaison.
 b) stabilisé à 45° d'inclinaison.
 c) stabilisé à 60° d'inclinaison.
 d) effectué à 2 fois la vitesse de décrochage.

34) En vol rectiligne stabilisé en montée, le facteur de charge est :
 a) égal à 1. b) négatif. c) supérieur à 1. d) compris entre 0 et 1.

35) Un avion est en virage symétrique, à altitude et vitesse constantes. Le facteur de charge est égal au rapport :

- a) $\frac{\text{portance}}{\text{poids réel}}$ b) $\frac{1}{\cos(\text{inclinaison})}$
- c) $\frac{\text{poids apparent}}{\text{poids réel}}$ d) toutes les propositions précédentes sont exactes

36) Si un avion décroche à 100 km/h au facteur de charge « n = 1 », alors au facteur de charge n = 4, il décroche à :

- a) 100 km/h b) 141 km/h c) 200 km/h d) 400 km/h

37) A incidence et puissance constantes, la mise en virage d'un avion entraine :

- a) un maintien de l'altitude b) un gain d'altitude
c) une perte d'altitude d) une diminution de la vitesse

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* ».

$$\vec{\pi} = - \rho_{\text{fluide}} \cdot \text{Volume} \cdot \vec{g}$$

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 1.55.

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

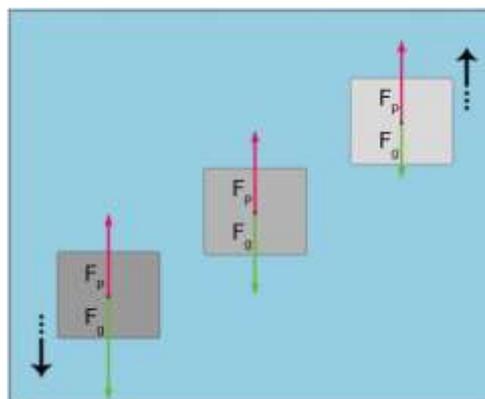


Figure 1.56.

La masse maximale du ballon est : $m = (\rho_{\text{fluide}} - \rho_{\text{ballon}}) \cdot \text{Volume}$

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.

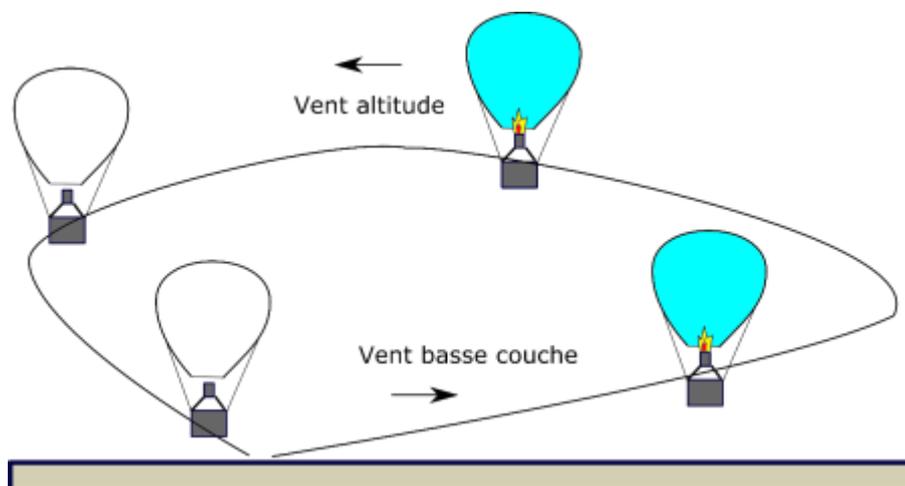


Figure 1.57.

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

A. Gravitation et pesanteur

Newton démontra que deux corps de masse m_1 et m_2 situés à une distance d l'un de l'autre sont soumis à une **force F, dite de gravitation**

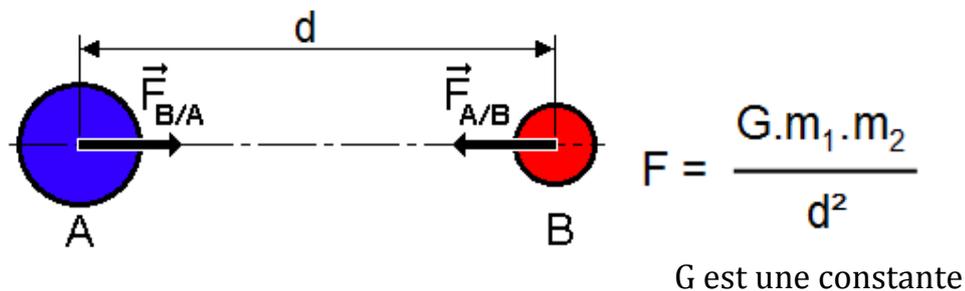


Figure 1.58.

C'est ce qui fait que tout corps à la surface de la Terre ayant une certaine masse sera attiré vers le centre de la Terre par une force qu'on nomme poids, avec la relation :

$$P = m \cdot g$$

- P = poids (en Newton)
- m = masse (en kg)
- g = intensité de la pesanteur exprimée en mètre par seconde par seconde (m/s^2).

L'accélération de la pesanteur à la surface de la terre est de $9.81 m/s^2$ et décroît avec l'altitude h.

g a une valeur six fois plus faible sur le Lune.

B. Trajectoire de lancement et mise en orbite

Pour lancer un projectile depuis la Terre, il est indispensable de lui donner une vitesse initiale.

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.

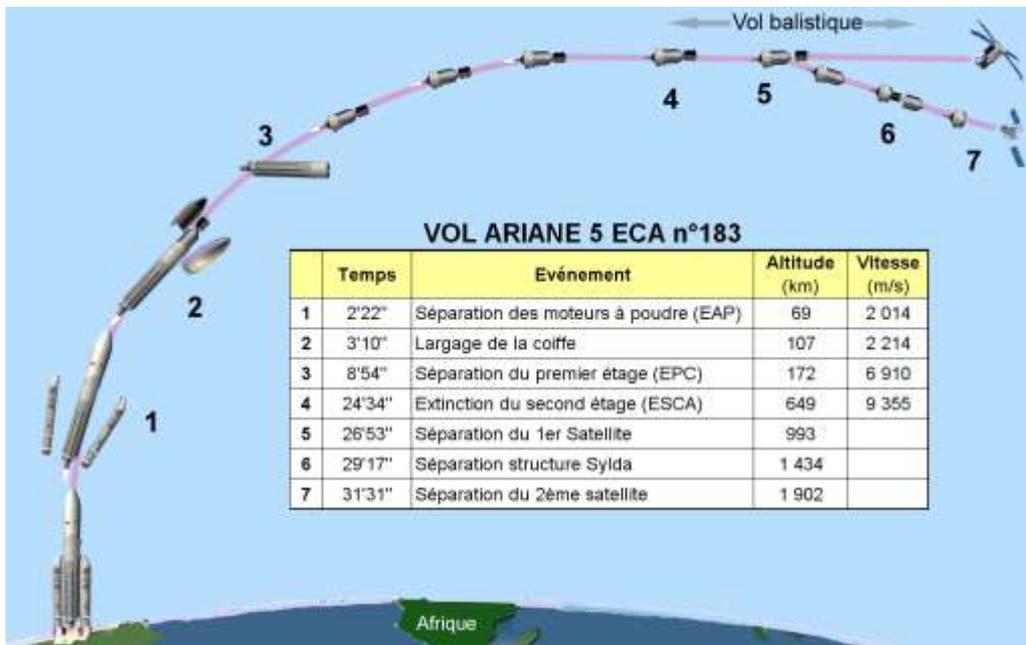


Figure 1.59.

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'apogée¹ est atteinte, une nouvelle augmentation de vitesse permet de stabiliser le satellite sur l'orbite définitive.

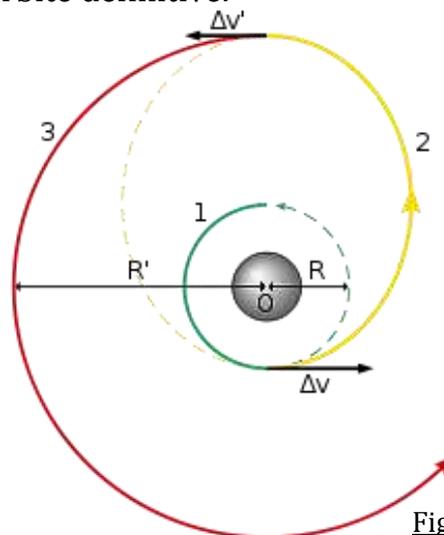


Figure 1.60.

¹ Point extrême de l'orbite elliptique d'un astre ou d'un corps céleste artificiel par rapport au centre de la Terre.

C. 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**.

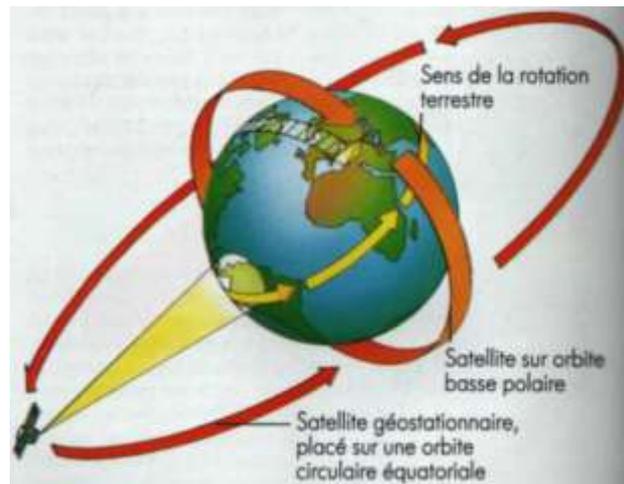


Figure 1.61.

- 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.

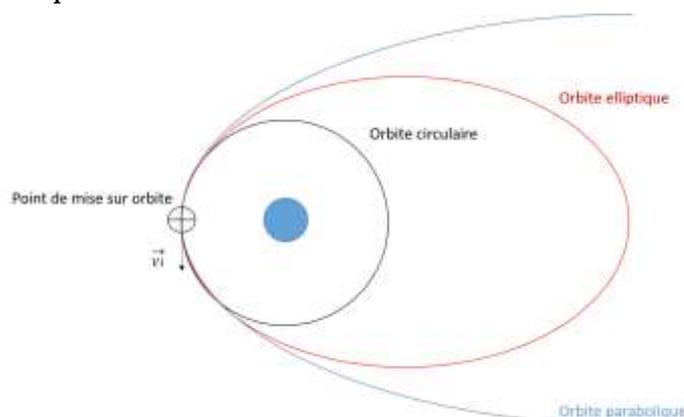


Figure 1.62.

Pour s'entraîner

38) Le volume de l'enveloppe d'une montgolfière est de 10 000 m³, la masse volumique de l'air extérieur est de 1,225 kg/m³ et la masse volumique de l'air chaud est de 1,100 kg/m³. La masse totale maximale de la montgolfière est de :

- a) 1 250 kg b) 12 250 kg c) 11 000 kg d) 1 100 kg

39) En cas d'élévation de la température extérieure, la force ascensionnelle d'un aérostat :

- a) n'évolue pas b) augmente c) diminue d) dépend exclusivement du vent

40) La vitesse de libération terrestre est de :

- a) 11 km/s. b) 111 km/s. c) 111 km/min. d) 11 knot/s.

41) La trajectoire initiale de lancement d'un lanceur spatial est contrôlée et assurée par :

- a) gyroscope et tuyères orientables. b) gyroscope, centrale aérodynamique, ailerons.
c) gyroscope, ailerons. d) centrale aérodynamique, tuyères orientables.

42) Le vol d'un lanceur de type fusée commence par :

- a) une phase centrifuge. b) une phase tractive.
c) une phase propulsée. d) une phase balistique.

43) Parmi les caractéristiques définissant une orbite héliosynchrone, on peut citer :

- a) inclinaison $\approx 90^\circ$. b) inclinaison = 0° .
c) Période = 23 h 56 min. d) altitude 36 000 km

44) Parmi les caractéristiques définissant une orbite géostationnaire, on peut citer :

- a) inclinaison = 90° . b) période = 23 h 56 mn.
c) longitude nœud ascendant = 180° . d) les propositions a et b sont exactes.

45) La base de lancement spatial de Kourou est située proche de l'équateur pour profiter :

- a) d'une plus grande vitesse de rotation de la Terre b) d'un climat tempéré
c) d'une pression atmosphérique faible d) d'un espace aérien réservé à cet usage

46) Le pilotage de la sonde spatiale Philae nécessite :

- a) une poussée permanente et l'exploitation de l'attraction des astres
b) une poussée ponctuelle et l'exploitation de l'attraction des astres
c) uniquement l'attraction des astres
d) uniquement une poussée permanente

Complément : English vocabulary

I. Aerodynamics

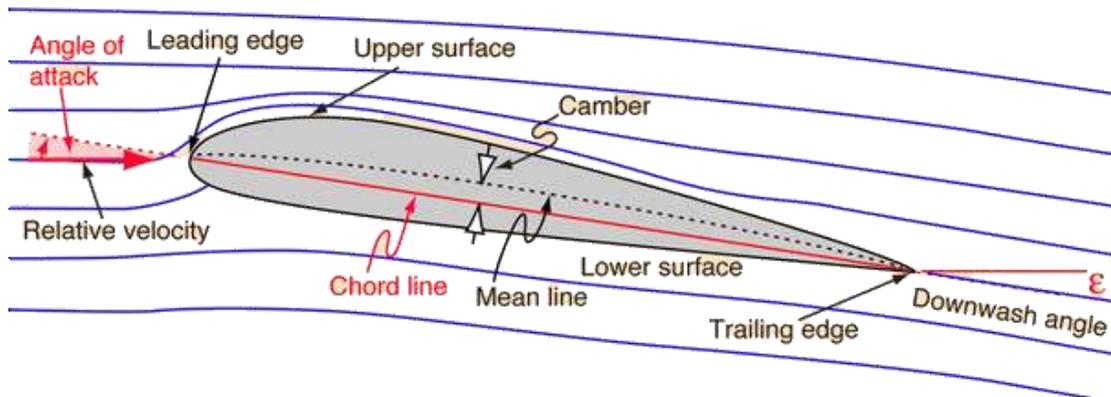


Figure 1.63.

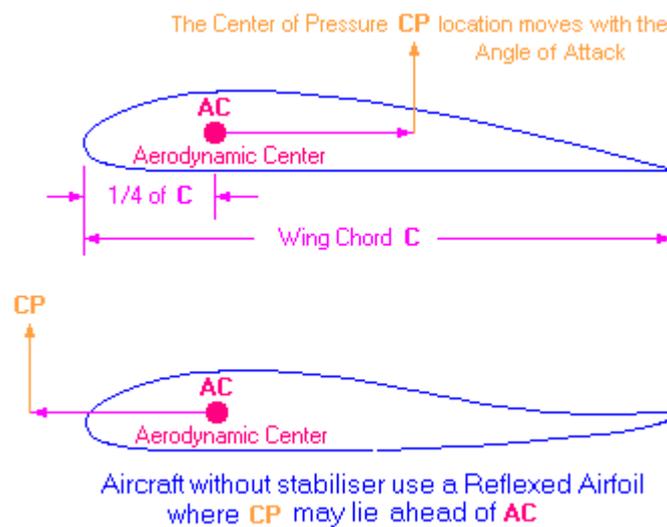


Figure 1.64.

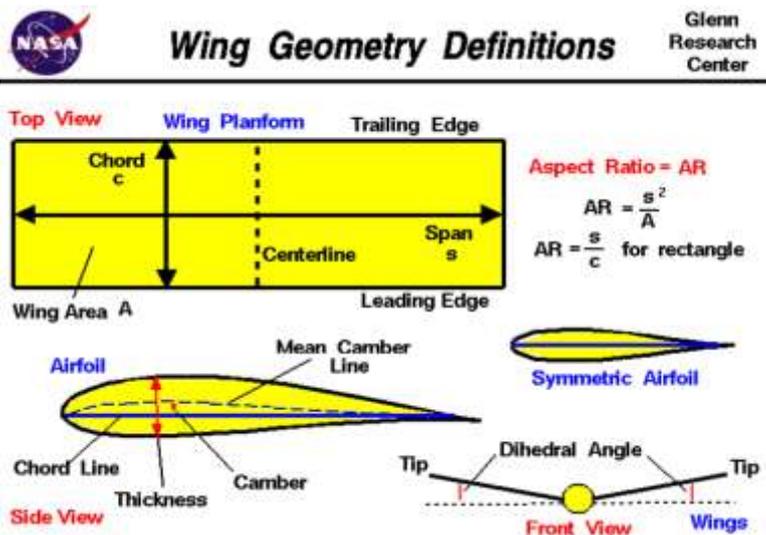


Figure 1.65.

Aerodynamics	
Allongement	Aspect Ratio
Angle D'incidence	Angle Of Attack
Angle De Dérapiage	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

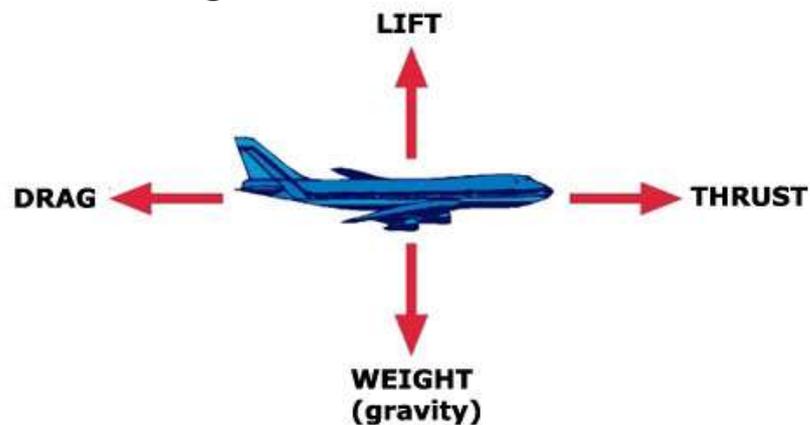


Figure 1.66.

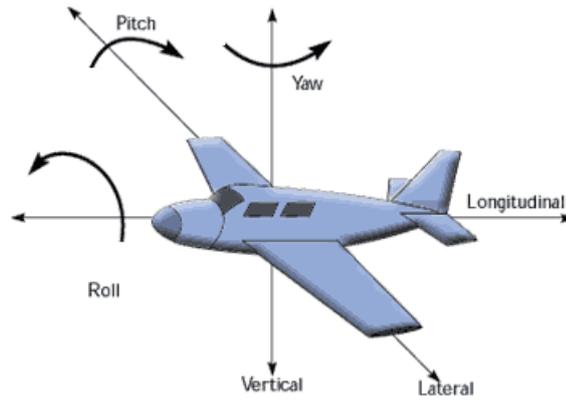


Figure 1.67.

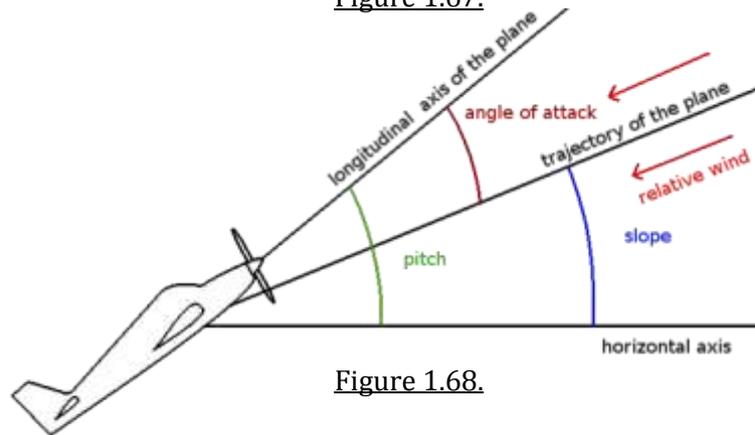


Figure 1.68.

Pitch movement control

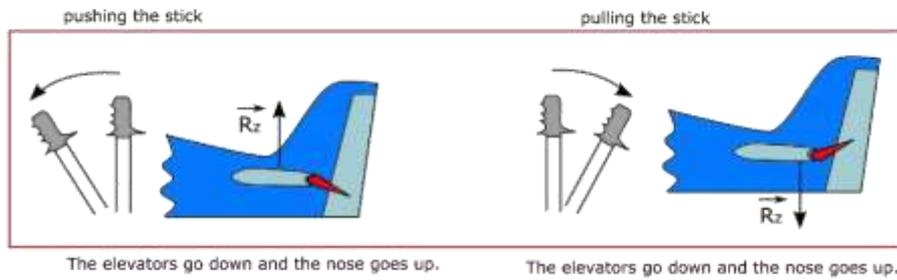
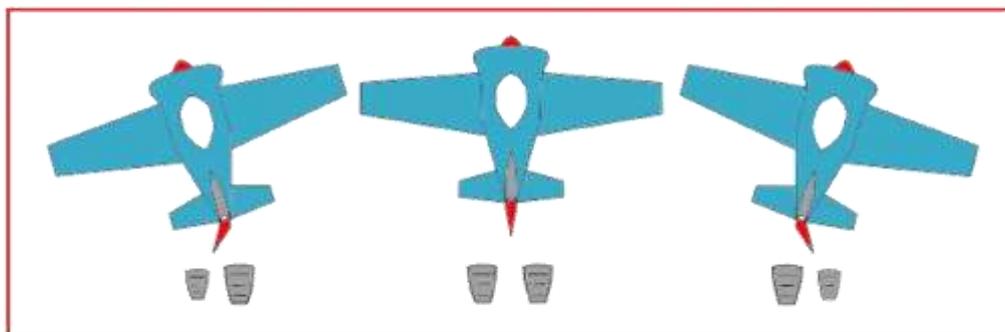


Figure 1.69.

Yaw movement control

Pushing the rudder pedal to the right

Pushing the rudder pedal to the left



The rudder moves to the left.

Figure 1.70.

The rudder moves to the right.

Roll movement control

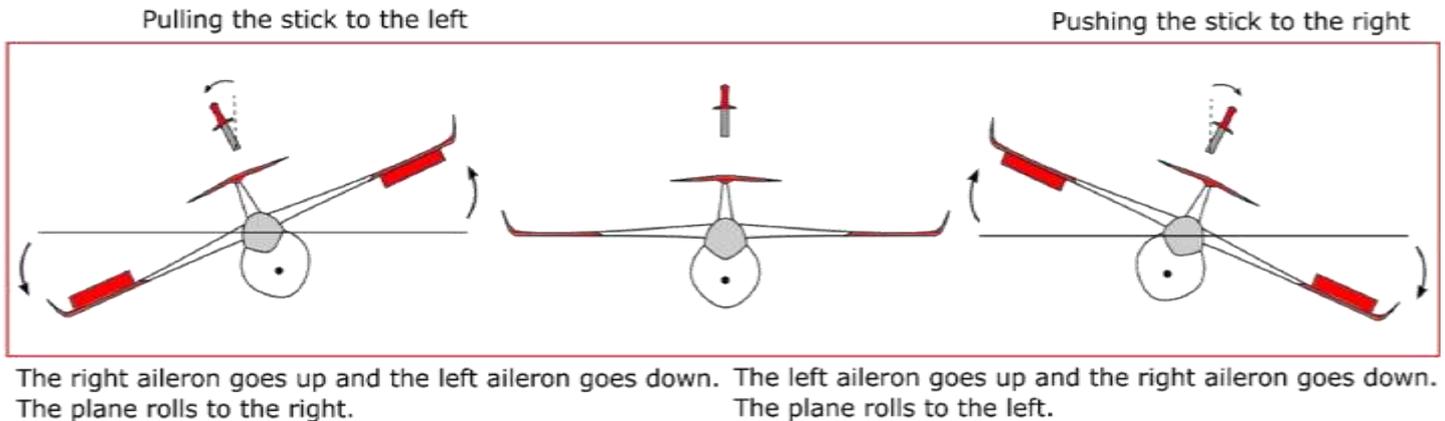


Figure 1.71.

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 Alaïre	Wing Load
Décollage	Take-Off
Dérapiage, 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

Pour s'entraîner

47) L'expression "leading edge" signifie :

- a) saumon d'extrémité d'aile b) bord de fuite d'une aile
c) bord d'attaque d'une aile d) carénage d'emplanture d'une aile

48) Décrochage en anglais se dit :

- a) spin b) stall c) fall d) roll

49) Which force is used to overcome gravity to a plane in normal flight ?

- a) weight b) lift c) thrust d) drag

50) What is drag ?

- a) the measure of the pull of the Earth on an object
b) a force that propels an airplane
c) a force that acts at a 90 degree angle to the airflow
d) a force that gives resistance

51) Un "slotted wing flap" fait référence à :

- a) Une aile extensible automatiquement
b) Un volet à fente
c) Un système de dégivrage des ailes et des volets
d) Un volet d'extrados utilisé uniquement par les hydravions

52) Les volets sont appelés :

- a) winglets b) foilers c) flaps d) spoilers

53) The whole back part of an airplane (except a canard plane) is called :

- a) nose b) cabin c) canopy d) empennage.

54) Les 3 axes autour desquels un avion peut se mouvoir sont les axes de roulis, tangage et lacet. En anglais et dans l'ordre, il s'agit de :

- a) pitch, yaw, roll b) roll, tangy, turn c) roll, pitch, yaw d) roll, hill, turn

55) Which part of a plane doesn't belong to the tail ?

- a) the rudder b) the vertical stabiliser c) the aileron d) the elevator

56) When I push the stick forward of my Piper PA 28...

- a) the left flap moves down b) the left aileron moves up
c) the elevator moves down d) the flaps and airbrakes move down

57) When I turn to the left the control wheel of my Piper PA 28...

- a) the left flaps moves down
- b) the left aileron moves up
- c) the nose wheel turns to the left
- d) the vertical tail turns to the left.

58) The flight controls are

- a) the air administration controllers
- b) located in the airport control tower
- c) all the warning lights systems
- d) the stick and the rudder

59) In horizontal and stabilized flight, when I push on the left rudder

- a) the vertical tail turn to the left
- b) the nose of my airplane goes to the left
- c) the ball of the "turn indicator" goes to the right
- d) all the answers are correct

60) Concerning an airplane, choose the right answer :

- a) the stick (or control wheel) changes the position of the ailerons and elevator
- b) the foot pedal rudder are connected to the vertical fin
- c) pushing the control column makes the rudder move up
- d) pulling the control column back makes the elevator go left

61) La gouverne de profondeur s'appelle en anglais :

- a) horizontal stabilizer
- b) lift tail
- c) elevator
- d) rudder

62) Les aérofrenes sont appelés :

- a) airflow controls
- b) airspeed controls
- c) airdrag system
- d) airbrakes

63) En anglais, les ailerons d'un avion sont appelés :

- a) elevator
- b) ailerons
- c) flaps
- d) winglets

64) La gouverne de direction s'appelle en anglais :

- a) horizontal stabilizer
- b) direction govern
- c) vertical tail
- d) rudder

65) En recherchant "stall-warning indicator" sur le WEB, vous lisez l'information suivante :

"A device that determines the critical angle of attack for a given aircraft, at which point the lift stops increasing and the aircraft will no longer sustain itself in steady-state condition (level flight or climb/descent). The indicator usually operates from airflow pressure sensors and computing devices which include accelerometers, airspeed detectors, and vertical gyros. The indicator may be a pointer over a dial, lights, or an audible signal. In some cases, the computer may actuate a control-column shaker to alert the pilot. "

Vous comprenez que :

- a) l'avertisseur de décrochage utilise un capteur de pression
- b) l'avertisseur de décrochage peut déclencher un signal sonore ou visuel
- c) certains avertisseurs de décrochage peuvent faire vibrer le volant ou le manche pour prévenir le pilote
- d) toutes ces réponses sont acceptables

66) Après lecture du texte suivant extrait d'un cours destiné aux pilotes :

" If you ever look closely at the wings of an airplane from the side, you will notice that they are not flat. The wing has a curved shape to it. This shape is called an airfoil. "

Ce texte explique, entre autre, que :

- a) une aile doit être fermée de chaque côté.
- b) en se plaçant sur les côtés d'une aile on découvre la courbure du profil.
- c) l'aile observée ici a une forme très spéciale elle présente un coté plat
- d) toutes les réponses sont exactes

Chapitre 2 : Etude des aéronefs et des engins 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

- IV. Les familles d'aéronefs
- V. Composition d'un avion
- VI. 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

1. Les Ballons



Le Ballon Captif



Le Ballon à air chaud



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

(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

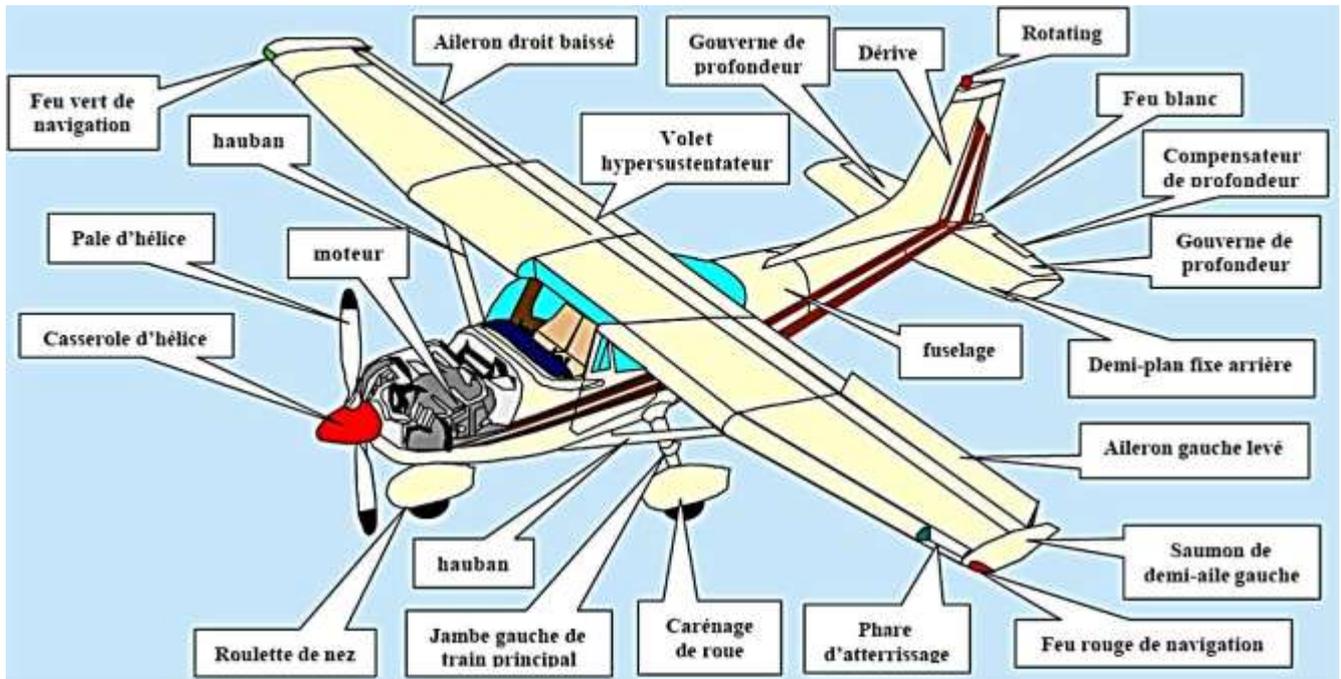


Le Girodyne

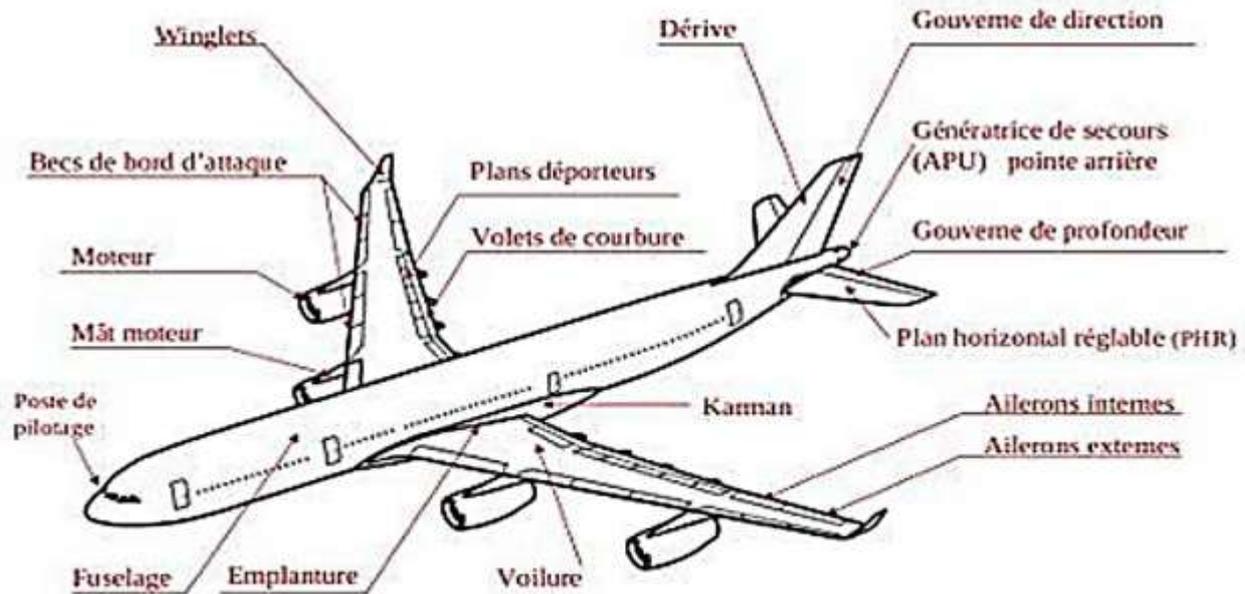


Le Convertible ou Hybride

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

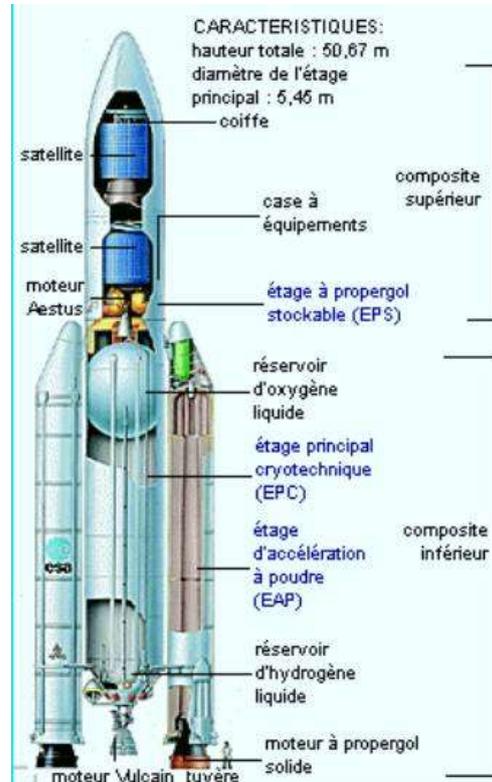


Figure 2.3.

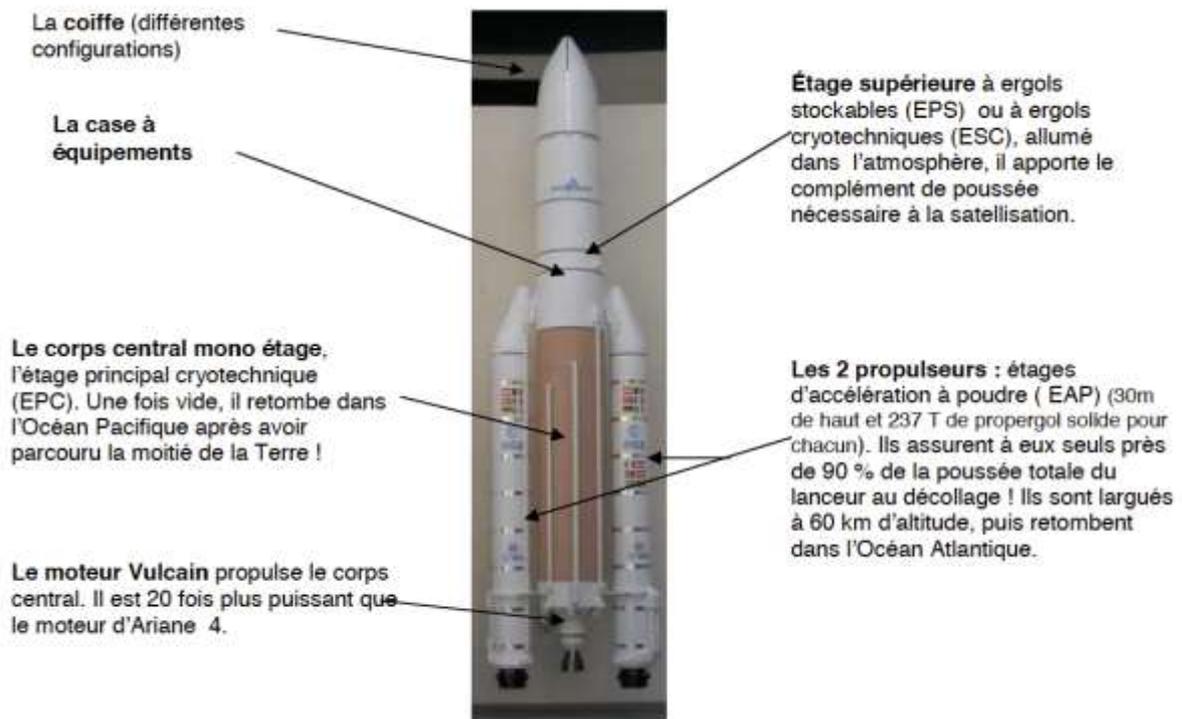


Figure 2.4.

B. Les satellites

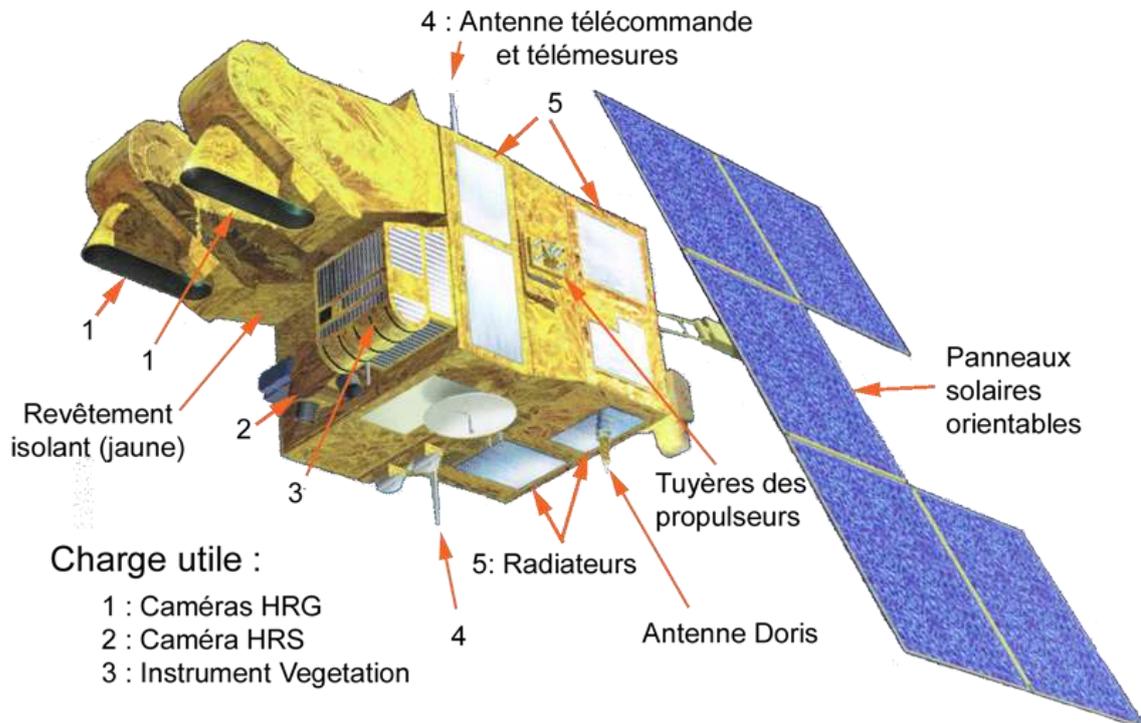


Figure 2.5.

Pour s'entraîner

1) Quelle est la mauvaise classification :

- a) aérodynes non motorisés : deltaplanes, planeurs
- b) aérostats : parachutes, ballons, dirigeables
- c) engins aérospatiaux : lanceurs, fusées
- d) engins spatiaux : satellites, sondes

2) Tout appareil capable de s'élever et de circuler dans l'espace aérien :

- a) est un aéronef
- b) subit des forces de portance et de trainée
- c) possède obligatoirement un moteur
- d) est piloté depuis l'intérieur de son cockpit

3) Sur un hélicoptère, le vrillage d'une pôle a pour but de tendre à :

- a) augmenter la portance de la pôle
- b) uniformiser la portance sur toute la longueur de la pôle
- c) diminuer la trainée
- d) déplacer le centre de gravité de la pôle

4) Le rotor anti-couple d'un hélicoptère :

- a) est généralement une hélice verticale qui permet de contrôler les rotations lacet de l'hélicoptère.
- b) sert de soutien au rotor principal.
- c) permet d'éviter que la structure de l'hélicoptère ne tourne sur elle-même.
- d) les propositions a et c sont exactes.

5) Un autogire :

- a) est un aéronef dont les ailes ont été remplacées par une voilure tournante libre en rotation.
- b) est un petit hélicoptère.
- c) est conçu pour décoller verticalement et effectuer un vol stationnaire.
- d) a un rotor et une hélice entraînés tous deux par le même moteur combinant ainsi tous les avantages de l'avion et de l'hélicoptère.

6) Une des caractéristiques d'un autogire est :

- a) son rotor est constamment entraîné par le moteur
- b) son rotor est entraîné par le vent relatif
- c) son rotor est utilisé par la propulsion
- d) son rotor est doté d'un pas collectif

7) Un paramoteur est :

- a) un aéronef classé dans la réglementation vol libre
- b) un aéronef classé dans la réglementation du parachutisme
- c) un aéronef classé dans la réglementation ULM
- d) un aéronef classé dans la réglementation des drones

8) le pilotage en vol d'un deltaplane s'effectue à l'aide du :

- a) trapèze
- b) manche à balai
- c) palonnier
- d) barreau de pilotage

9) Les lanceurs spatiaux utilisent principalement des propulseurs fonctionnant :

- a) au kérosène
- b) à l'oxygène et à l'hydrogène
- c) au méthane
- d) au gasoil

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 :

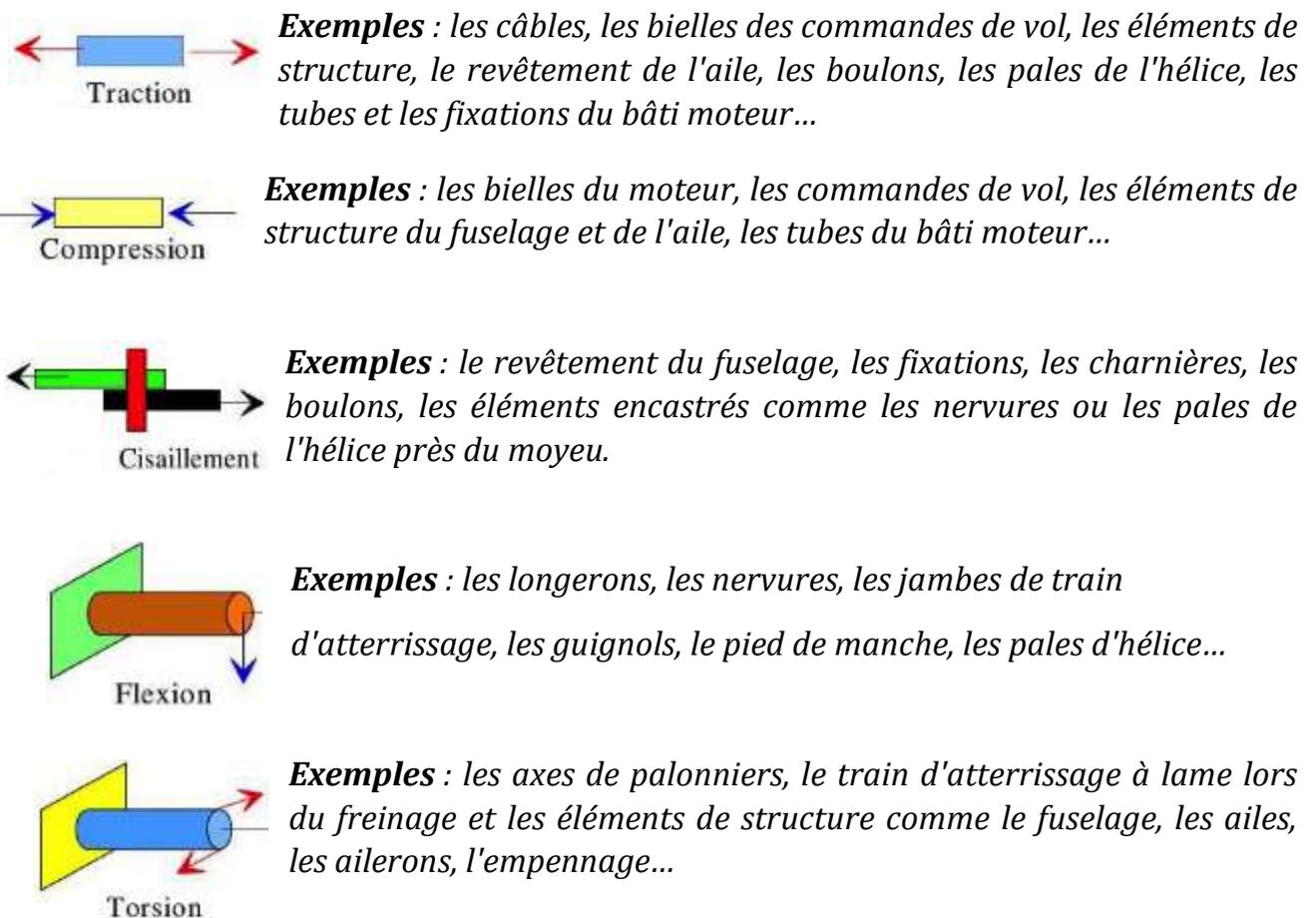


Figure 2.6.

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 **Zircal**, 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.

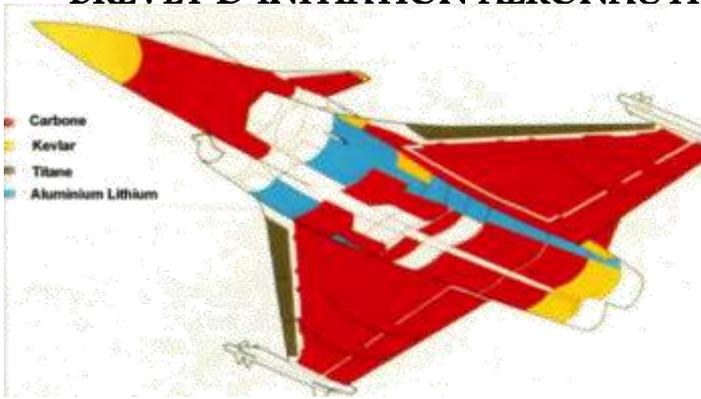


Figure 2.7. Exemple des matériaux utilisés sur un Rafale

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.

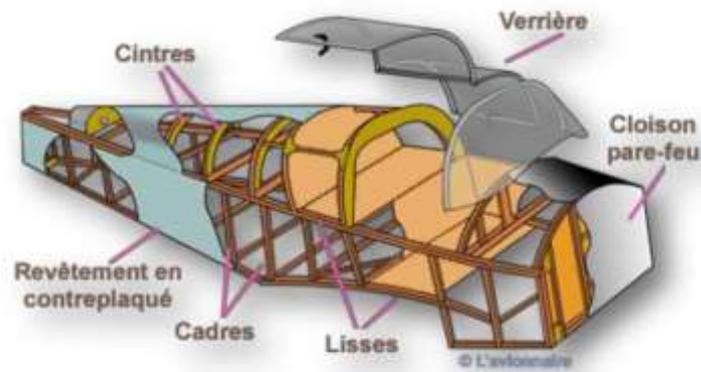


Figure 2.8. Structure Bois

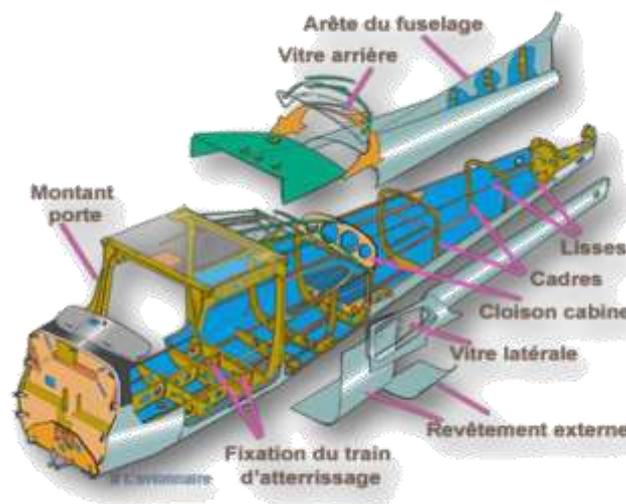


Figure 2.9. Structure Métal

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.

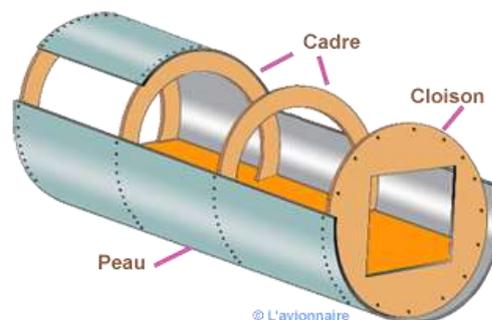


Figure 2.10.

D. Structure de la voilure

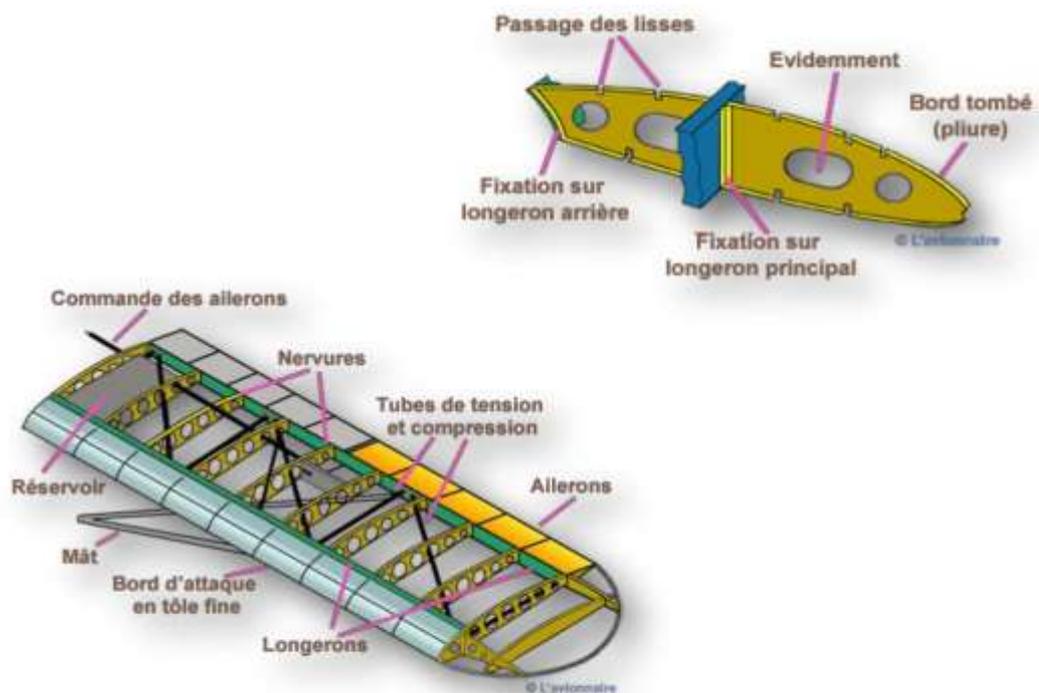
1) Treillis (pour les nervures)

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 2.11 et 2.12.

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

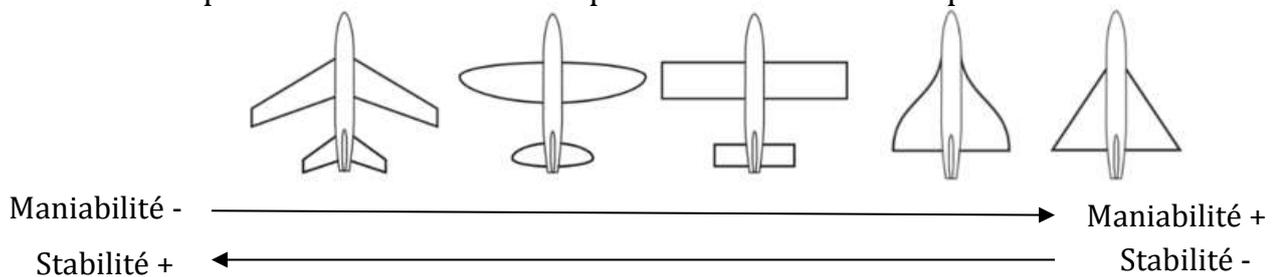


Figure 2.13.

C. Caractéristiques

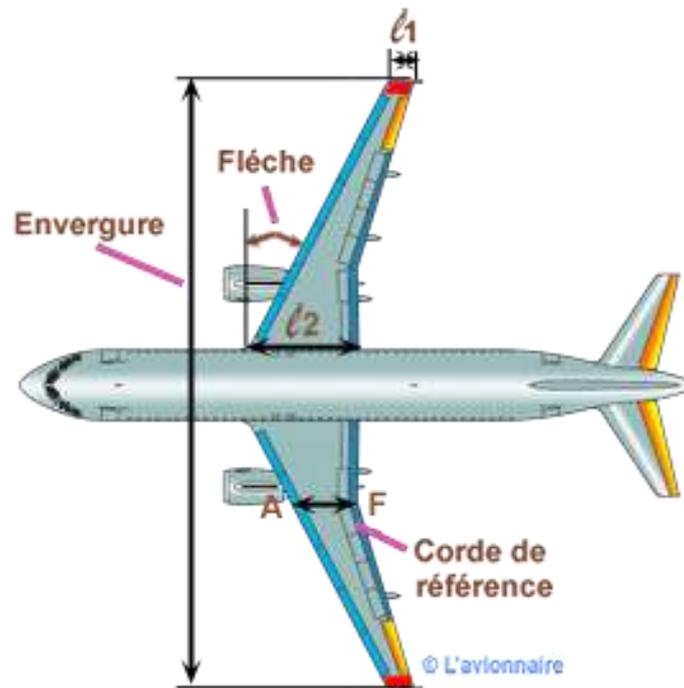


Figure 2.14.

- **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



Négatif

Le saumon est plus bas que l'emplanture

Positif

Le saumon est plus haut 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.

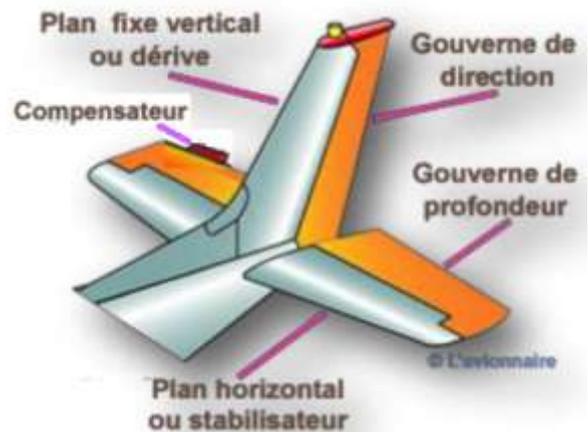


Figure 2.15.

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).

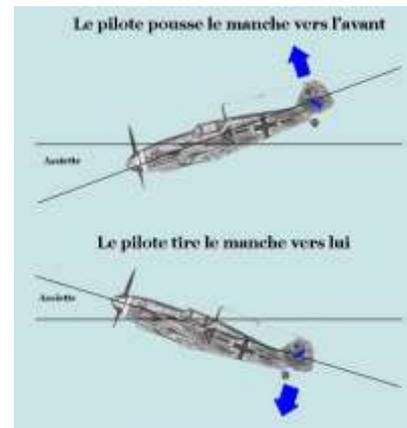


Figure 2.16.

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).

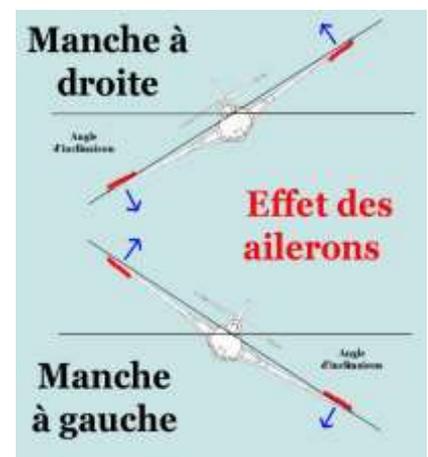


Figure 2.17.

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)

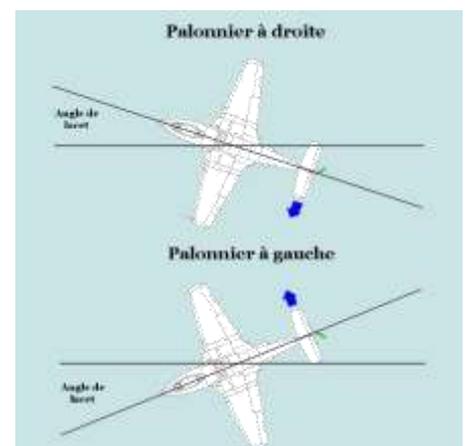


Figure 2.18.

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:

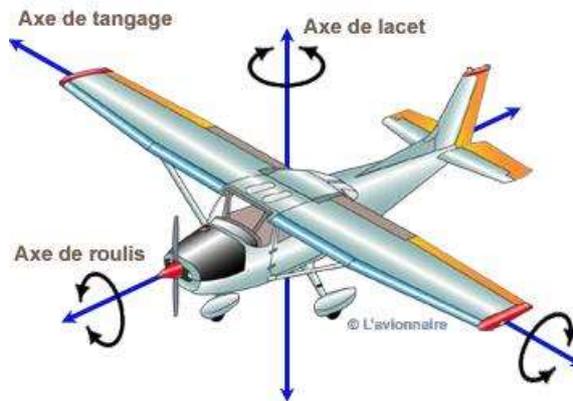


Figure 2.19.

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).

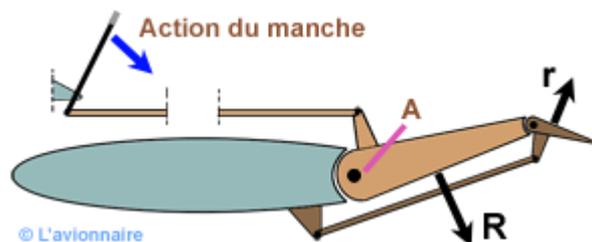


Figure 2.20.

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**)

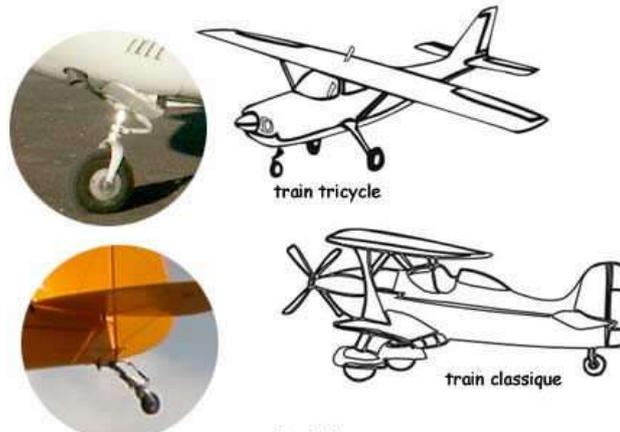


Figure 2.21.

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

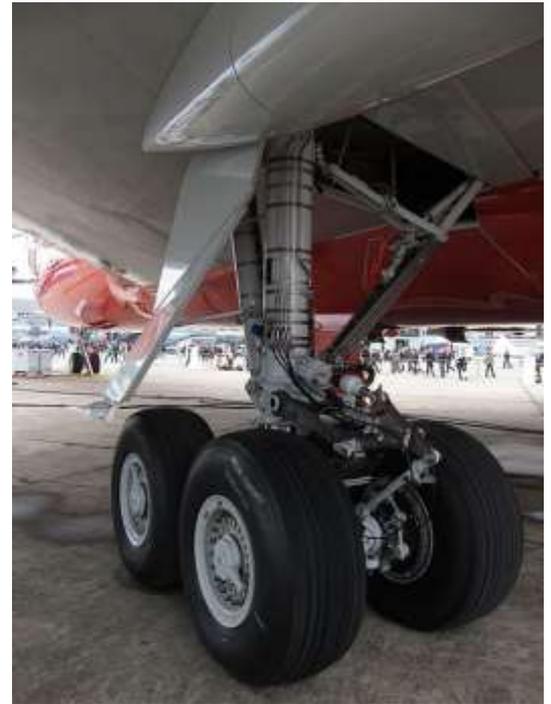
Certains avions n'ont qu'un train principal situé sous le fuselage (**train monorace**). L'équilibre latéral peut être assuré par des balancines en bout d'ailes.



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



Une Roue Simple



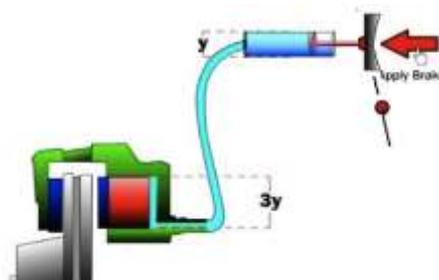
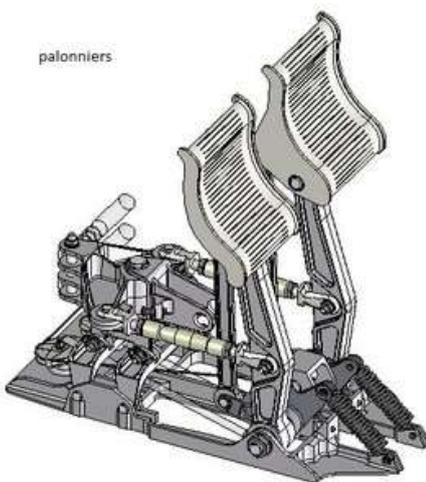
Un Boggie



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 2.22. 2.23 et 2.24.

Pour s'entraîner

10) En vol, la structure de l'aile d'un avion doit être capable de subir :

- a) une compression à l'extrados et une traction à l'intrados
- b) une traction à l'extrados et une compression à l'intrados
- c) une traction à l'extrados et à l'intrados
- d) une compression à l'intrados et à l'extrados

11) Au sol, le carburant contenu dans une aile, entraîne sur les longerons :

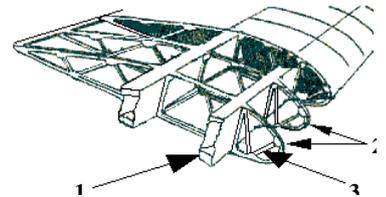
- a) un effort de cisaillement
- b) un effort de flexion
- c) un effort de torsion
- d) n'a pas d'influence sur la structure de l'aile

12) Les pièces se situant dans le sens longitudinal de l'aile et assurant la plus grande partie de la résistance sont :

- a) les traverses
- b) les longerons
- c) les lisses
- d) les raidisseurs

13) Identifier les éléments 1, 2 et 3 de la structure

- a) 1 = nervure 2 = couple 3 = lisse.
- b) 1 = longeron 2 = nervure 3 = entretoise.
- c) 1 = poutre 2 = traverse 3 = semelle.
- d) 1 = couple 2 = entretoise 3 = traverse.



14) Les couples :

- a) ont dans le fuselage le même rôle que les nervures dans les ailes
- b) sont situés en bout d'aile pour éviter les tourbillons marginaux
- c) sont les pièces maitresses du fuselage qui supportent les efforts de flexion
- d) sont toujours montés par paire pour augmenter leur solidité

15) Les avions de transport ont des réservoirs de carburant dans les ailes pour :

- a) que l'avion soit moins stable en vol quand l'air est turbulent
- b) obtenir du carburant plus froid donc plus dense, ce qui améliore le rendement des moteurs
- c) limiter la consommation des moteurs
- d) limiter les efforts au niveau de l'emplanture de l'aile

16) Le flutter explosif :

- a) est un accident causé par une fuite de carburant dans le circuit d'alimentation électrique.
- b) survient toujours au même nombre de Mach, quel que soit l'avion.
- c) est un flotteur de sécurité, présent sur les hydravions et dont le gonflement rapide a donné le qualificatif d'«explosif».
- d) est un phénomène de vibrations subies par la structure d'un avion qui entrent en résonance.

17) Un Karman est :

- a) un célèbre appareil de compétition utilisé dans les courses de vitesse aux USA (courses de pylônes).
- b) un carénage d'emplanture optimisant l'écoulement de l'air.
- c) un chariot de déplacement d'aéronef lourd sur les aires de parking des aéroports.
- d) un dirigeable gonflé au sulfure d'hydrogène.

18) Les spoilers :

- a) sont des limiteurs de traînée.
- b) sont des réducteurs de portance.
- c) sont toujours automatiques.
- d) ne servent qu'au sol pour ralentir l'avion.

19) Parmi les dispositifs suivants, lequel n'est pas un dispositif hypersustentateur :

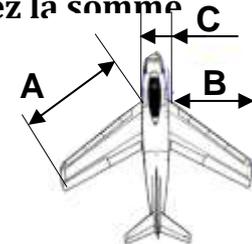
- a) les volets Fowler.
- b) les volets à fente.
- c) les becs de bord d'attaque.
- d) les aérofreins.

20) La gouverne de direction est une surface :

- a) fixe et horizontale placée à l'arrière de l'avion.
- b) mobile et verticale placée à l'arrière de l'avion.
- c) mobile et située à l'extrémité de chaque demi-aile.
- d) fixe et verticale placée à l'arrière de l'avion.

21) Pour déterminer l'envergure de cet avion, vous effectuez la somme des longueurs suivantes :

- a) $A + A$
- b) $B + B$
- c) $A + C + A$
- d) $B + C + B$

**22) Un avion qualifié de " canard " est caractérisé par :**

- a) la présence de becs de bord d'attaque, ayant la forme d'un bec de canard.
- b) son train d'atterrissage mixte (flotteurs avec roues déployables) permettant de se poser sur la terre ou sur l'eau.
- c) la nature de son revêtement d'aile comportant des micro-stries imitant celles des plumes d'un canard.
- d) une gouverne de profondeur placée en avant de l'aile.

23) Par rapport au train d'atterrissage classique, le train d'atterrissage tricycle a pour avantage :

- a) une meilleure visibilité au roulage.
- b) une traînée plus faible en vol.
- c) une meilleure stabilité au roulage.
- d) les propositions a et c sont exactes.

24) Le fluide d'un circuit hydraulique :

- a) est de l'eau utilisable sous basse pression et à une température supérieure à 0°C.
- b) est difficilement utilisable sur avion du fait de sa compressibilité.
- c) n'est utilisé qu'au-delà de 0°C pour actionner les freins et les vérins des trains escamotables.
- d) est utilisé sous pression pour actionner des commandes.

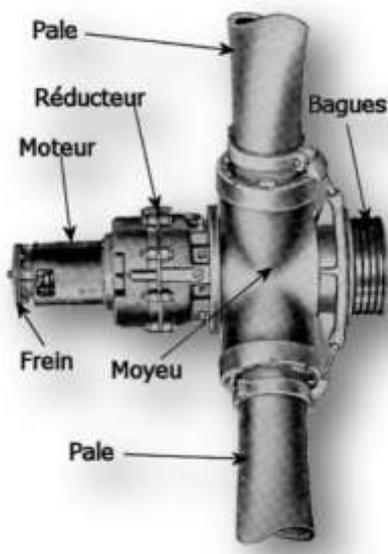
Partie 3 : Les Groupes Motopropulseurs (G.M.P.)

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 (β)**.

Le Calage est un Angle

Le Pas est une Distance

Figure 2.25.

Le vent relatif V_r est issu :

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

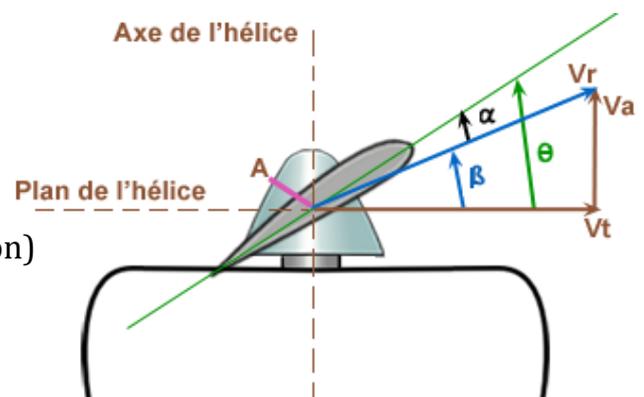


Figure 2.26.

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.

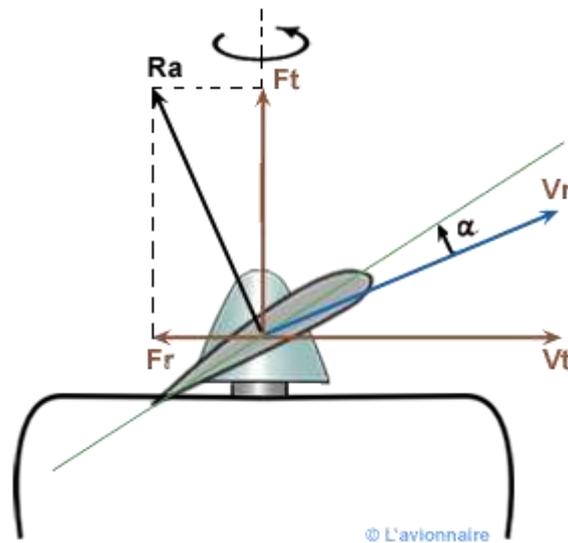


Figure 2.27.

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

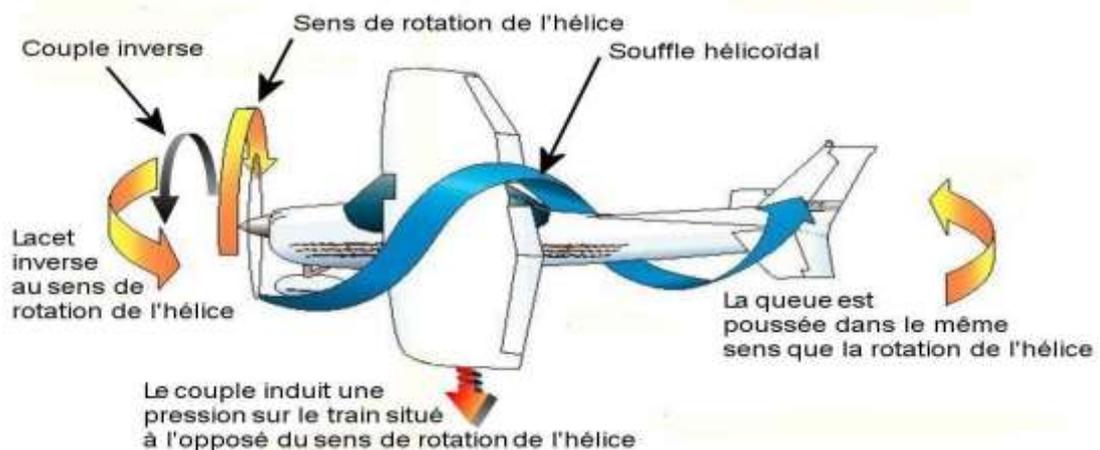


Figure 2.28.

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

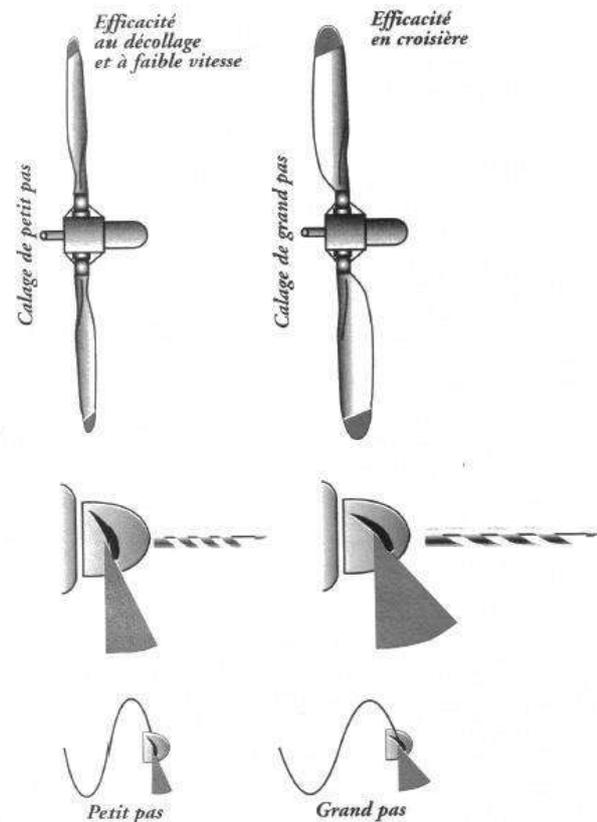


Figure 2.29.

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**.

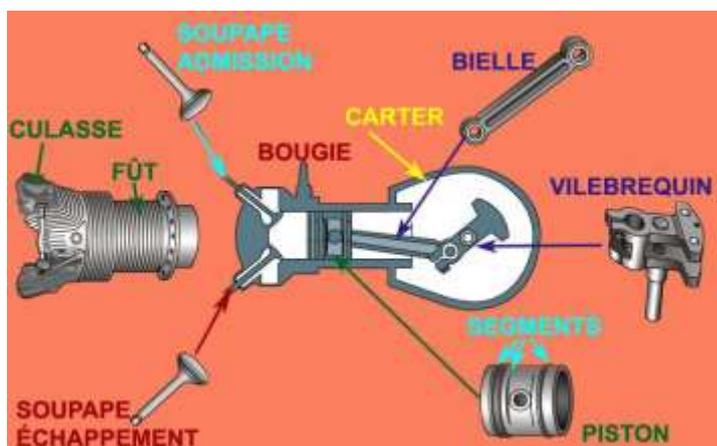
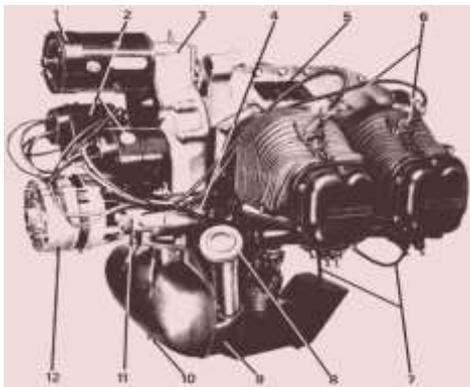


Figure 2.30.

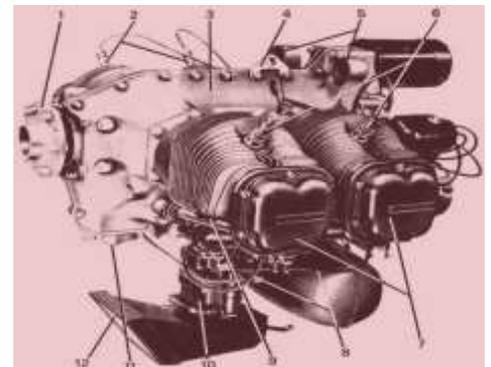
- La **culasse** est dotée de dispositifs appelés **soupapes** qui permettent l'admission des gaz frais et l'échappement des gaz de combustion, et d'un dispositif créant l'inflammation du mélange carburant/air : **les bougies**.



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. bâche 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 2.31.

B. Le fonctionnement d'un moteur thermique

1) Moteur à deux temps

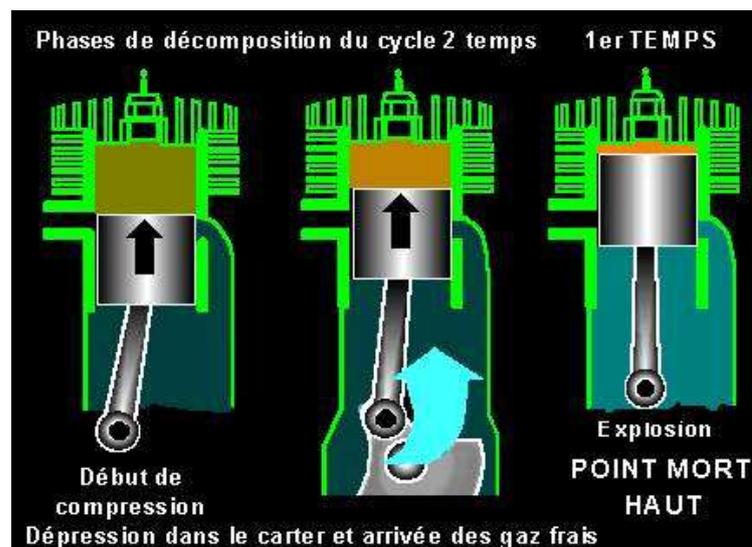


Figure 2.32.

2) Moteur à quatre temps

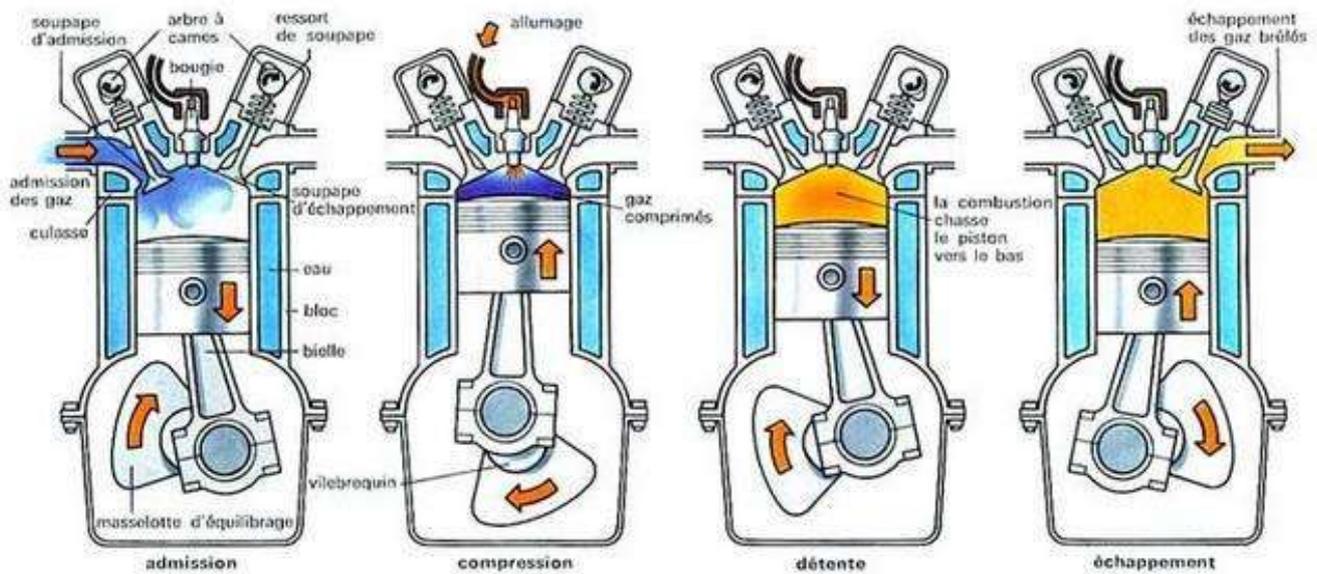


Figure 2.33.

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).

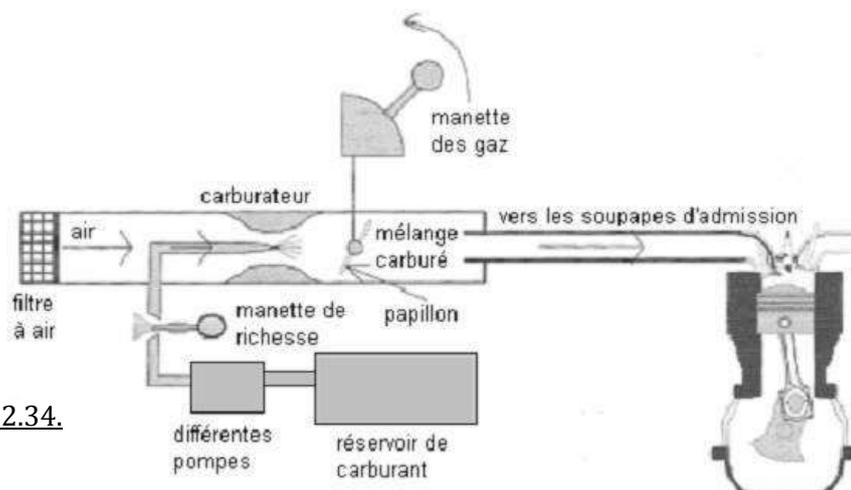


Figure 2.34.

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 2.35.

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.

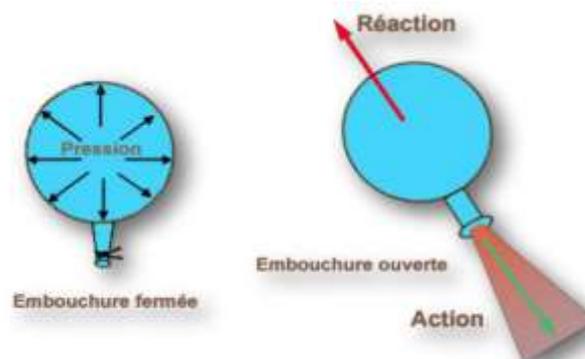


Figure 2.36.

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

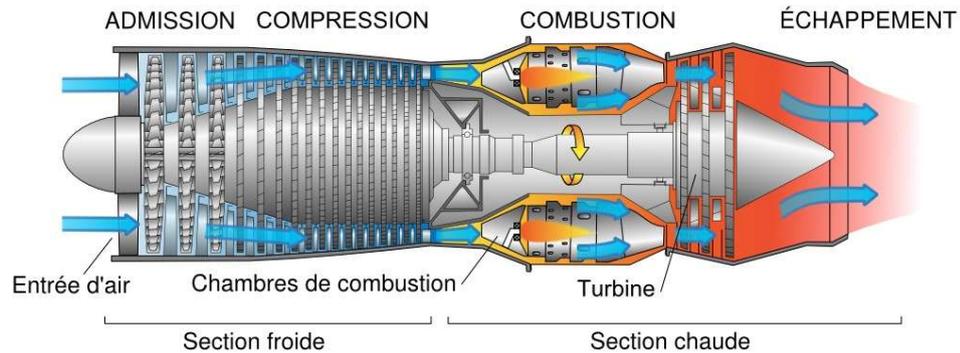


Figure 2.37. Réacteur monocorps

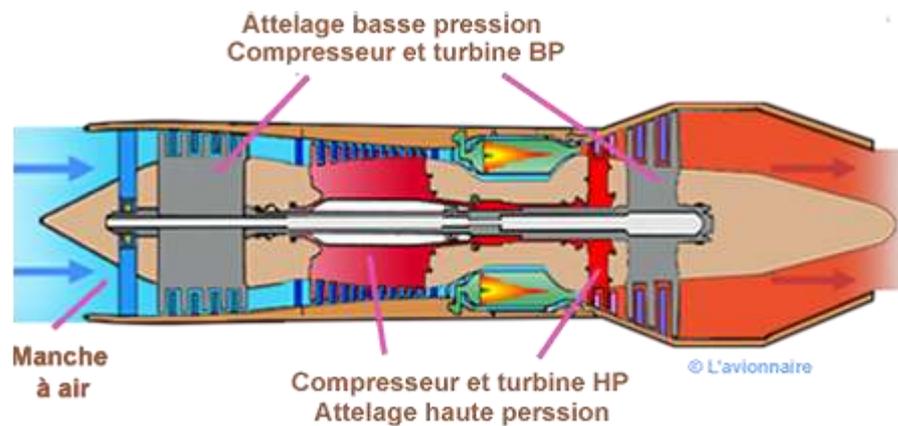


Figure 2.38. Réacteur double corps

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.

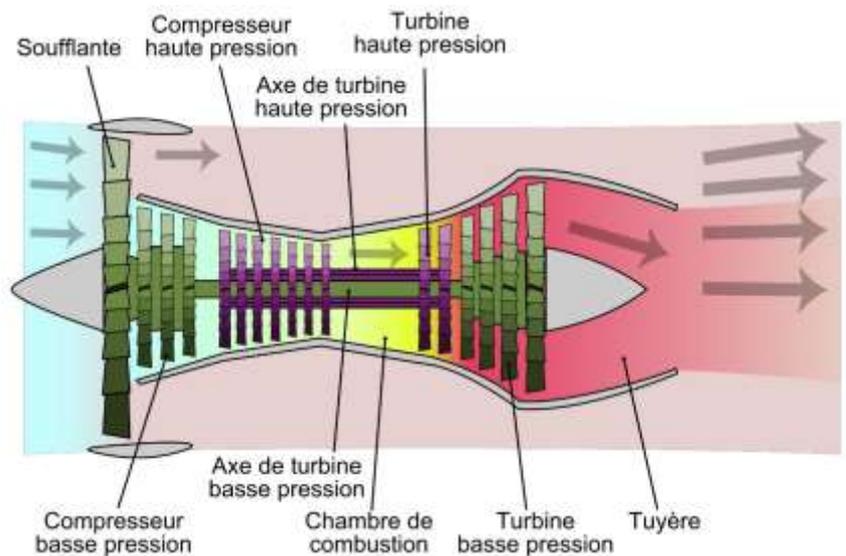


Figure 2.39.

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.

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.

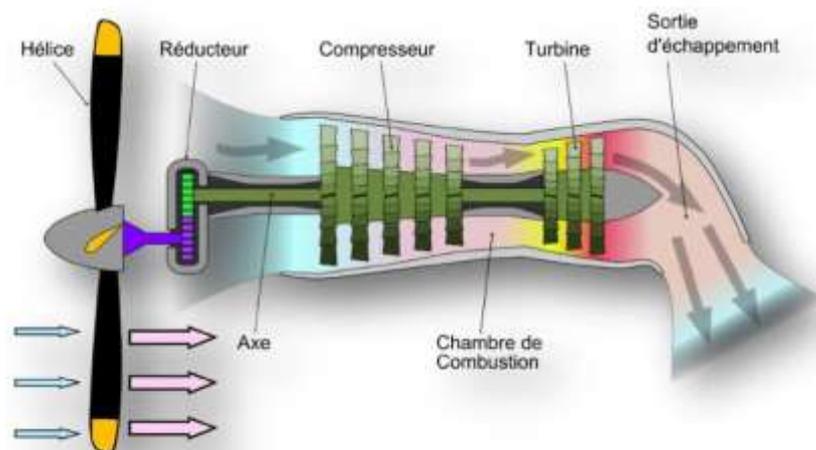


Figure 2.40.

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.

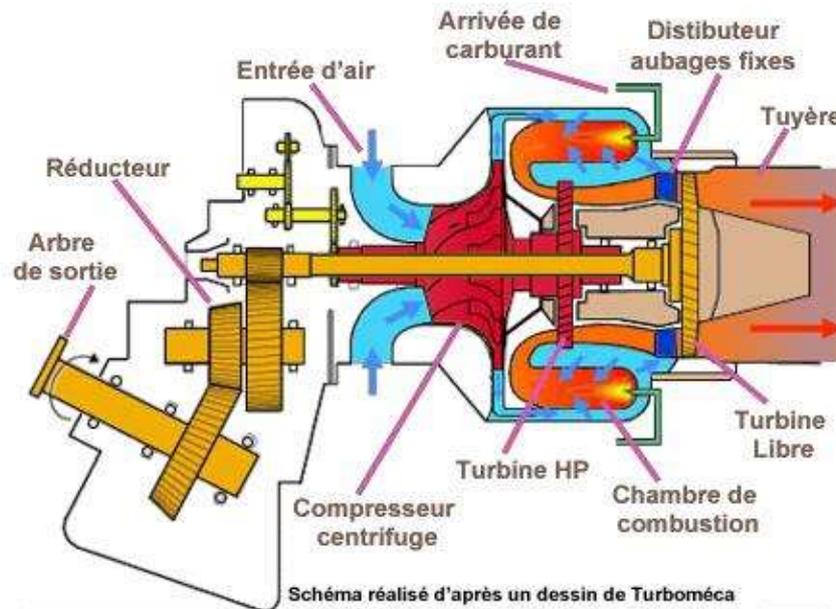


Figure 2.41.

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).

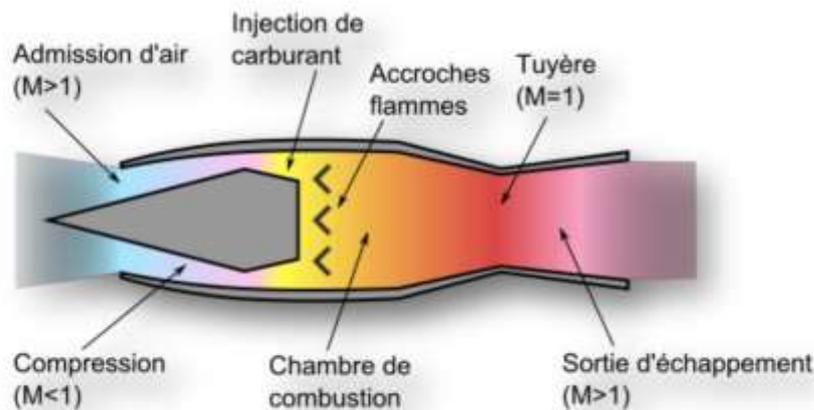


Figure 2.42.

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).

Pour s'entraîner

25) A bord des avions légers, on rencontre souvent une alimentation électrique en:

- a) 220 volts b) 110 volts c) 12 volts d) 50 Hz

26) La pompe électrique de gavage est utilisée :

- a) pour la mise en route du moteur.
 b) pour prévenir une panne de la pompe principale au décollage ou à l'atterrissage.
 c) pour lutter contre la formation de " vapor lock ".
 d) pour tous les cas ci-dessus.

27) Un avion " Push Pull " est un avion qui est équipé :

- a) d'un système de marche arrière permettant des manœuvres aisées au sol.
 b) d'une motorisation à deux positions (tout ou rien).
 c) de deux moteurs alignés sur l'axe longitudinal, fonctionnant l'un en traction l'autre en propulsion.
 d) d'un pilotage automatique par GPS, enclenché par une simple pression sur un bouton situé sur le manche (push) et libéré en tirant sur ce même bouton (pull).

28) Un des matériaux ci-dessous n'est pas utilisé pour la réalisation d'une hélice d'avion léger ou ULM. Indiquez lequel :

- a) un alliage tungstène-céramique. b) le bois.
 c) un alliage d'aluminium. d) un composite à fibres de carbone.

29) Mettre une hélice en drapeau consiste à amener les pales dans une position telle que :

- a) l'angle de calage soit nul b) l'angle d'incidence soit maximum.
 c) le pas soit nul. d) l'angle de calage soit voisin de 90°

30) Le rendement d'une hélice est défini par le rapport :

- a) $\frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance absorbée}}$ b) $\frac{\text{puissance absorbée}}{\text{puissance utile}}$ c) $\frac{\text{traction}}{\text{vitesse}}$ d) $\frac{\text{puissance}}{\text{traction}}$

31) Une hélice à calage variable est utilisée de la façon suivante :

- a) grand pas au décollage, petit pas en croisière.
 b) petit pas au décollage, grand pas en croisière.
 c) grand pas au décollage, drapeau en croisière.
 d) petit pas au décollage, drapeau en croisière.

32) Lorsqu'un avion s'élève, la diminution de la densité de l'air aura tendance à :

- a) provoquer un givrage carburateur. b) augmenter la puissance utile
 c) appauvrir le mélange. d) enrichir le mélange.

33) Durant un cycle de fonctionnement d'un moteur à pistons, le seul temps qui produit de l'énergie mécanique utile pour la propulsion est :

- a) l'admission. b) la compression. c) l'échappement. d) l'explosion-détente.

34) Dans un moteur 4 temps, lors de l'explosion (ou combustion) :

- a) une des soupapes est fermée.
b) les soupapes sont ouvertes.
c) les soupapes sont fermées.
d) l'ouverture ou la fermeture des soupapes n'a pas d'importance.

35) Un turbopropulseur a pour rôle de :

- a) compresser l'air admis dans les cylindres d'un moteur à pistons.
b) augmenter la pression aux injecteurs d'un moteur à pistons à injection.
c) entraîner une hélice.
d) servir de génératrice auxiliaire.

36) Dans un turboréacteur, l'air suit le trajet suivant :

- a) tuyère, turbine, chambre de combustion, compresseur.
b) compresseur, chambre de combustion, turbine, tuyère.
c) turbine, compresseur, chambre de combustion, tuyère.
d) compresseur, tuyère, chambre de combustion, turbine.

37) La plupart des moteurs d'avions légers est équipée d'un système de double allumage qui a pour principal avantage :

- a) d'améliorer la combustion et d'augmenter la sécurité en vol.
b) de diminuer l'usure des bougies.
c) de réduire la consommation de carburant.
d) de réguler la consommation électrique.

38) La composition idéale du mélange carburé air-essence correspond à une proportion de 1 gramme d'essence pour :

- a) 17 g d'air. b) 20 g d'air. c) 15 g d'air. d) 8 g d'air.

39) Dans un moteur à pistons, le vilebrequin :

- a) sert à limiter la course du cylindre.
b) transmet le mouvement des soupapes aux bielles.
c) transmet le mouvement des pistons aux cylindres.
d) transmet le mouvement des pistons à l'arbre de l'hélice.

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.



Figure 2.43.

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

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 2.44.

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

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

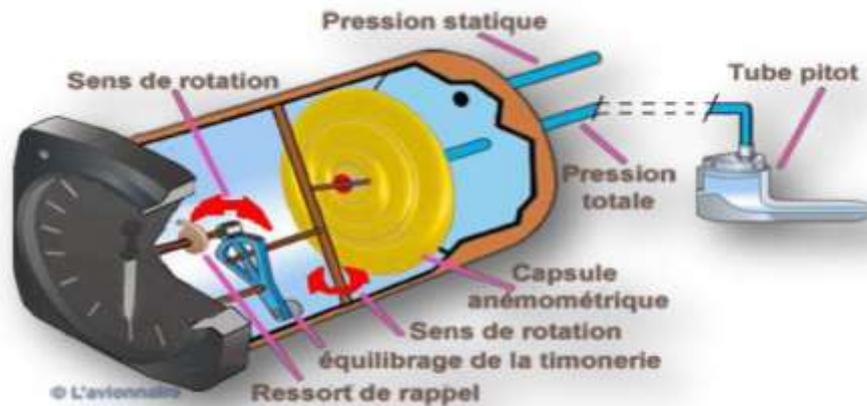


Figure 2.45.

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 (1ft ≈ 0,3 m).



Figure 2.46.

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.

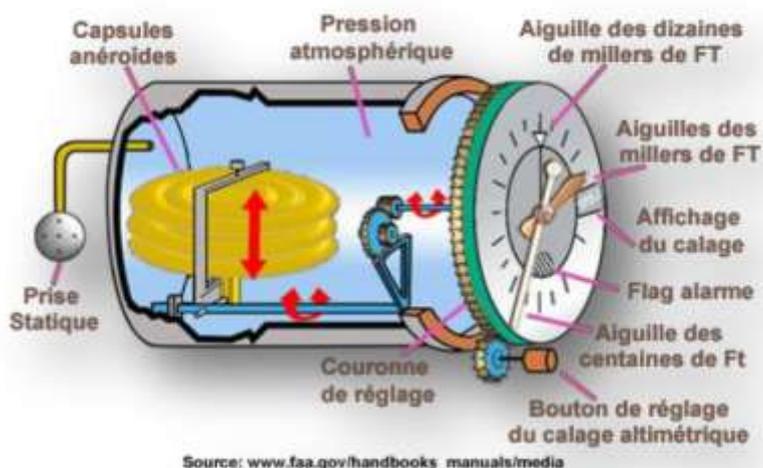


Figure 2.47.

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).

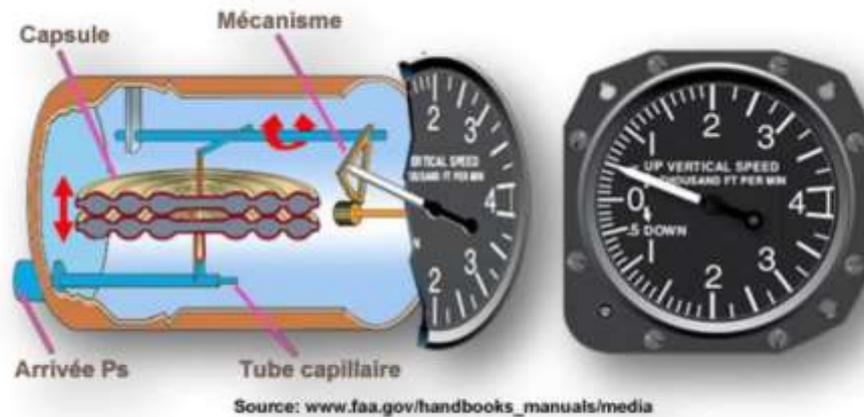
Attention : lorsque la température est plus froide que l'atmosphère de référence, l'altitude est sur-estimée.

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** ($1\text{m/s} = 200\text{ft/min}$).



Source: www.faa.gov/handbooks_manuals/media

Figure 2.48.

2. Principe de fonctionnement

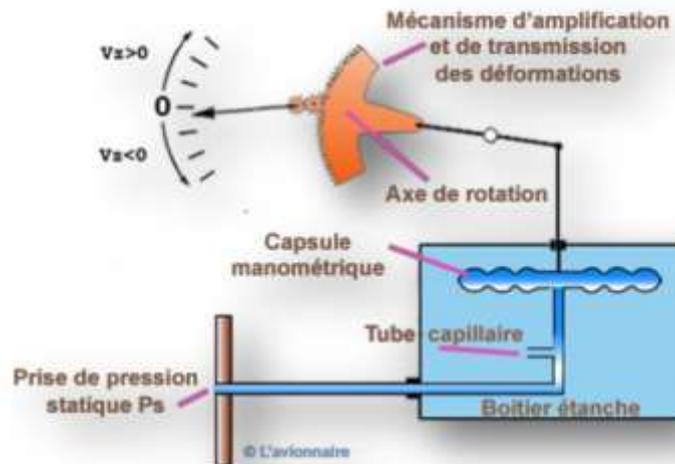


Figure 2.49.

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).



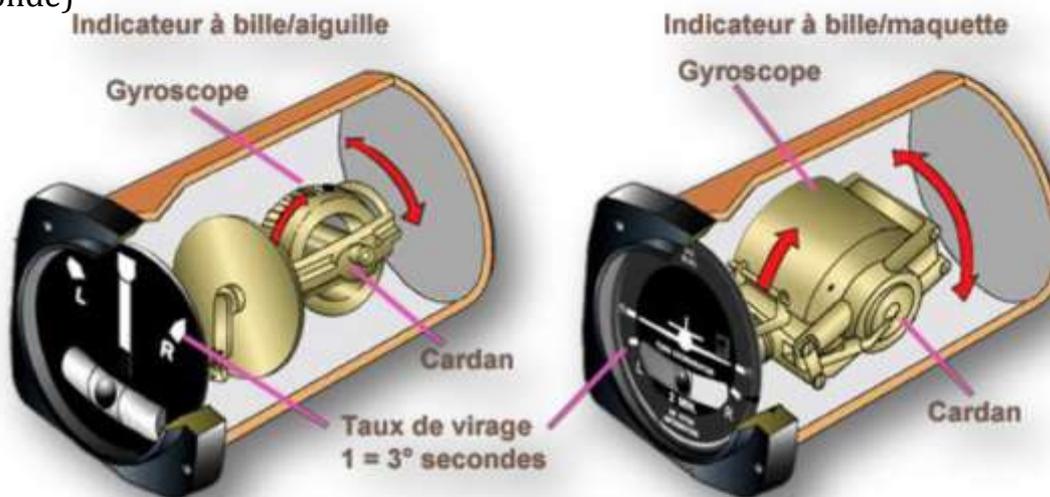
Figure 2.50.

2. Principe de fonctionnement

L'indicateur de virage indique le sens et le taux du virage.

Il est associé à un gyroscope à 1 degré de liberté (ddl) dont la référence est la verticale du lieu.

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

Figure 2.51.

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 2.52.

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).

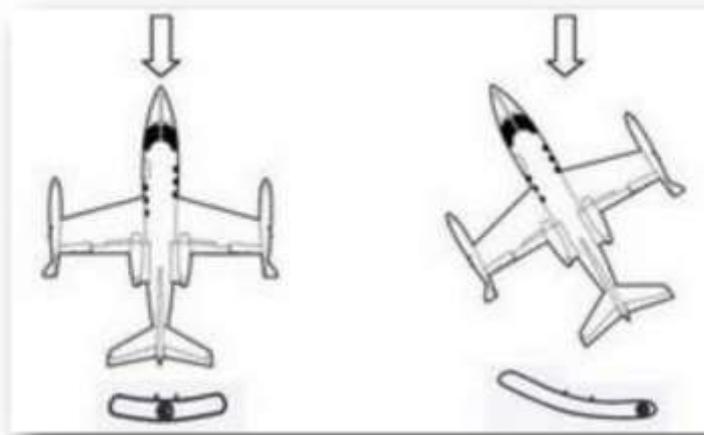


Figure 2.53.

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 2.54.

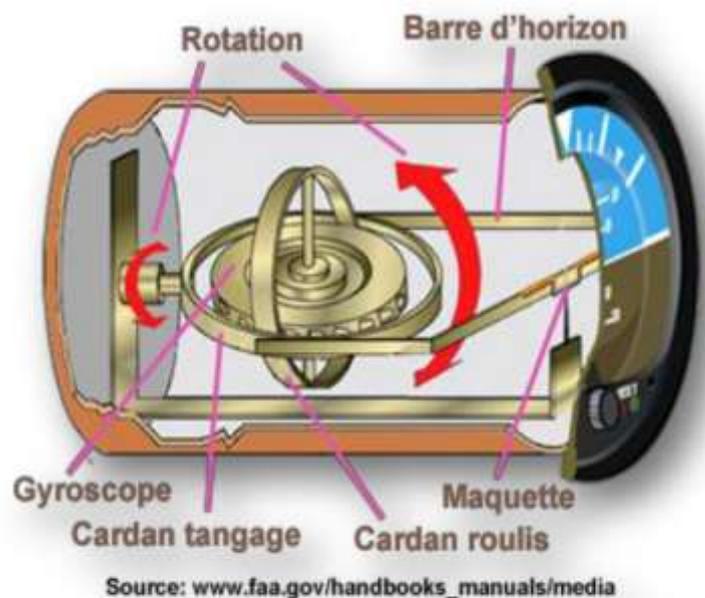
Il est constitué d'une :

- 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 à 2 ddl.

Figure 2.55.



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

1. Présentation

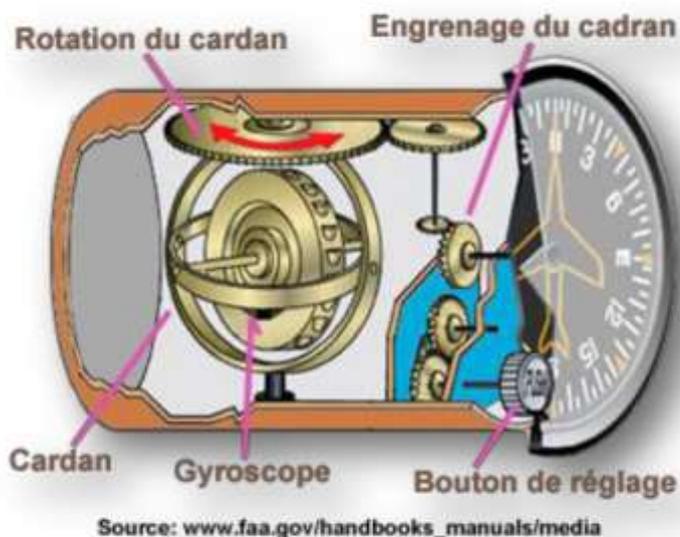
Il donne aussi le cap magnétique mais permet d'éviter les erreurs du compas (Masses métalliques proches, virages, atmosphère turbulent, accélérations, ...)



Figure 2.56.

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 2.57.

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, quel que soit la route suivie par l'avion.

Figure 2.58.

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°).

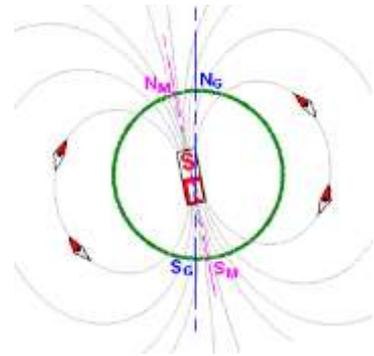


Figure 2.59.

2. Principe de fonctionnement

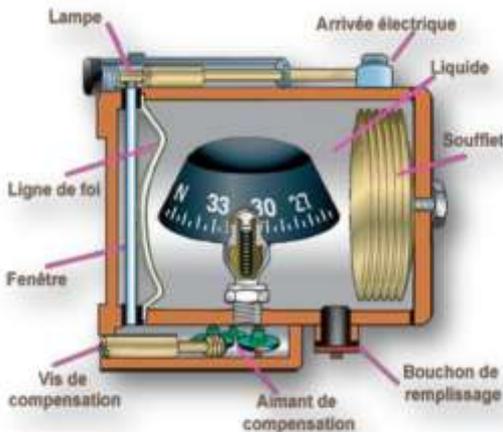


Figure 2.60.

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.

III. Les autres instruments

A. Les instruments de radionavigation

Voir le chapitre 4, partie 3

B. Les instruments de contrôle

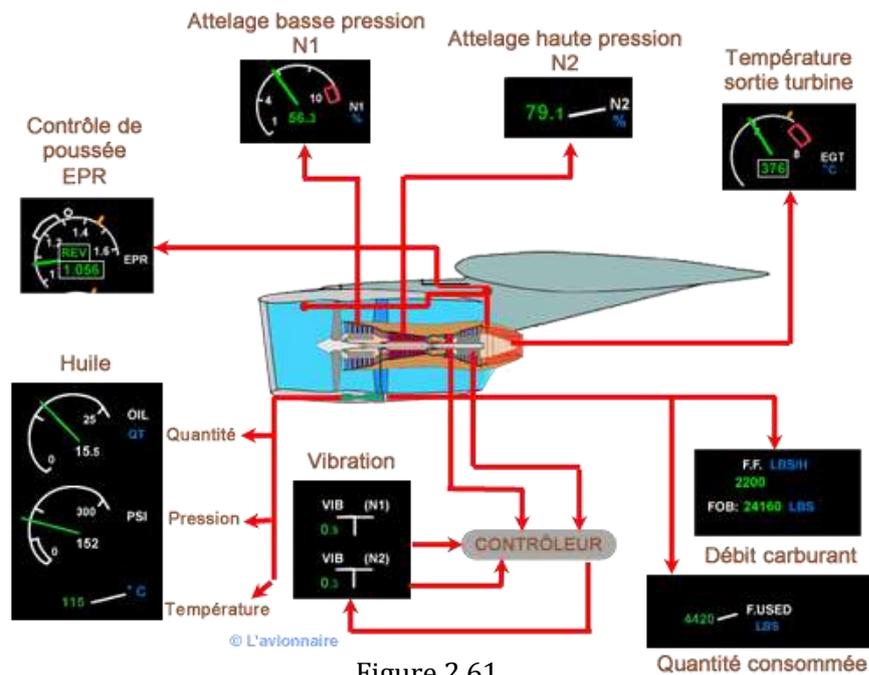


Figure 2.61.

C. Les EFIS (Electronic Flight Information Systems)



Figure 2.62.

Pour s'entraîner

40) Sur le cadran de l'anémomètre, la vitesse de décrochage en configuration atterrissage V_{s0} , est représentée par :

- a) le début de l'arc vert.
- b) le début de l'arc blanc.
- c) le début de l'arc jaune.
- d) un trait rouge.

41) Un variomètre permet de mesurer :

- a) la vitesse propre de l'avion.
- b) l'altitude de l'avion.
- c) la vitesse verticale de l'avion.
- d) l'orientation de la trajectoire de l'avion.

42) Parmi ces instruments, indiquez lequel n'a pas besoin d'être réglé par le pilote avant décollage :

- a) l'altimètre.
- b) l'indicateur de virage.
- c) le conservateur de cap (ou directionnel).
- d) aucune des propositions n'est exacte.

43) Une prise de pression statique obstruée :

- a) entraîne des indications fausses du variomètre et de l'altimètre.
- b) perturbe l'indication de l'horizon artificiel.
- c) perturbe l'indication du conservateur de caps (directionnel).
- d) est sans effet.

44) L'un de ces instruments de bord n'utilise pas de gyroscope pour son fonctionnement. Il s'agit :

- a) de l'indicateur de virage.
- b) de l'horizon artificiel.
- c) du conservateur de cap.
- d) du compas magnétique.

45) L'anémomètre est un instrument essentiel :

- a) pour la navigation malgré l'erreur due à la variation de densité de l'air en altitude
- b) pour le vol aux basses vitesses car son information peut éviter au pilote de faire décrocher son avion
- c) au décollage pour savoir quand l'appareil est capable de s'élever
- d) toutes les propositions ci-dessus sont exactes

Complément : English vocabulary

I. Aircraft types

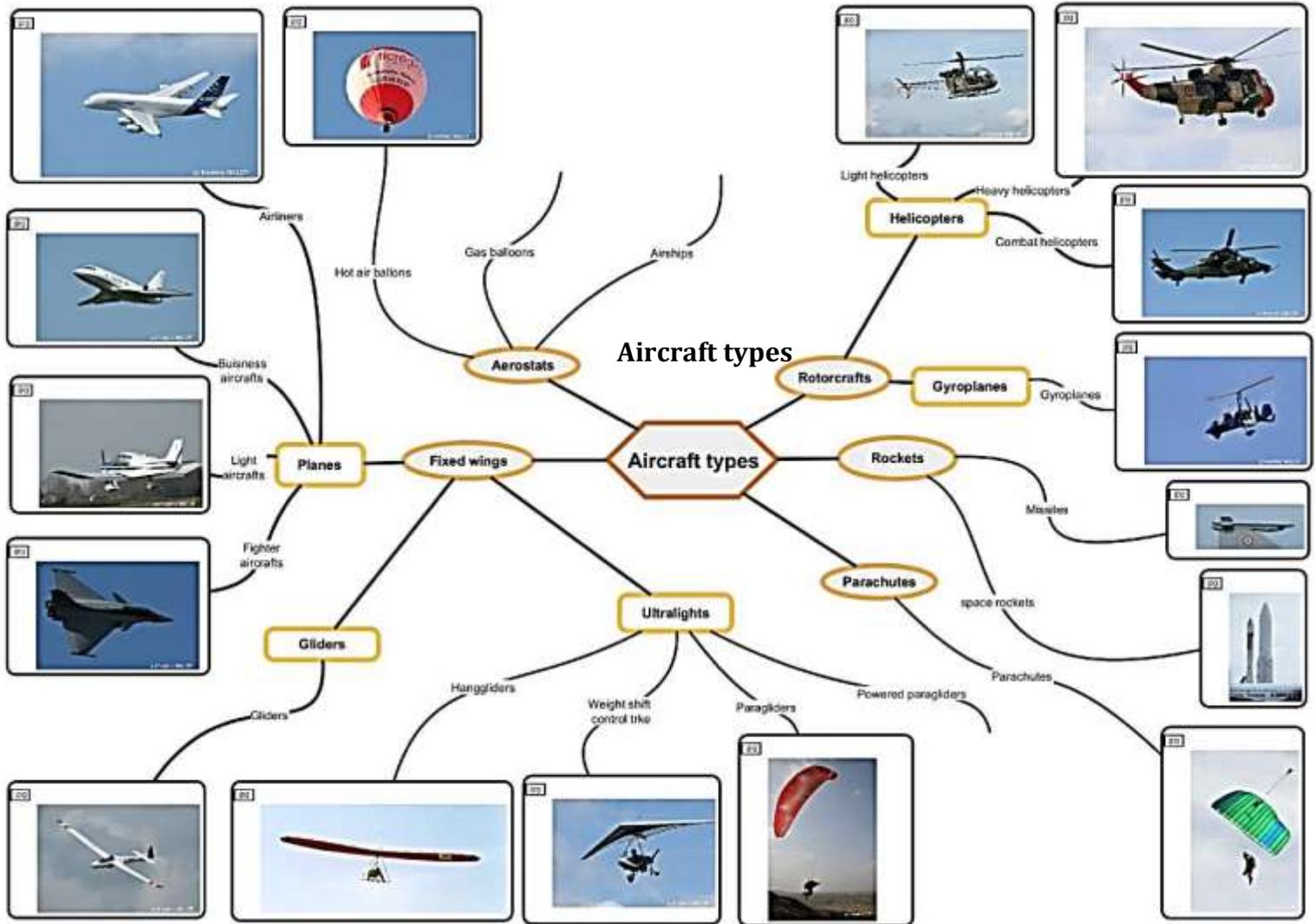


Figure 2.63.

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	Girodyne
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

II. **Aircraft composition and structure**

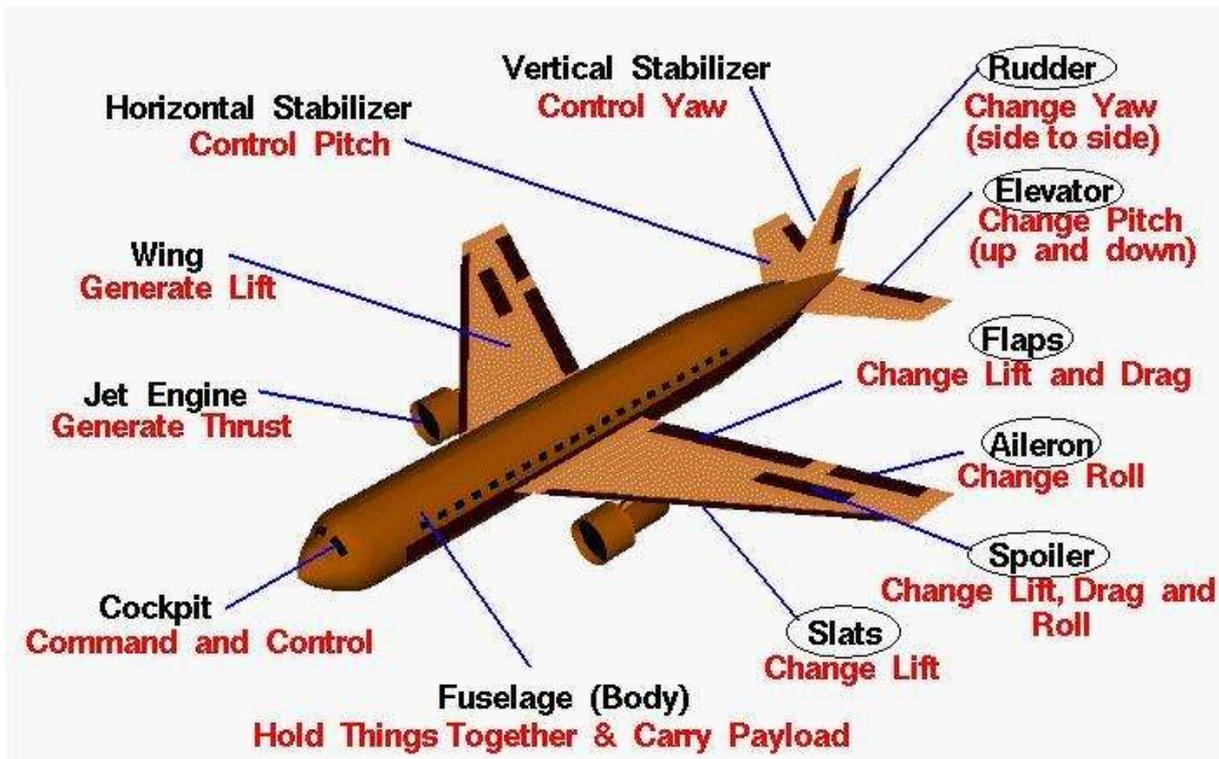


Figure 2.63.

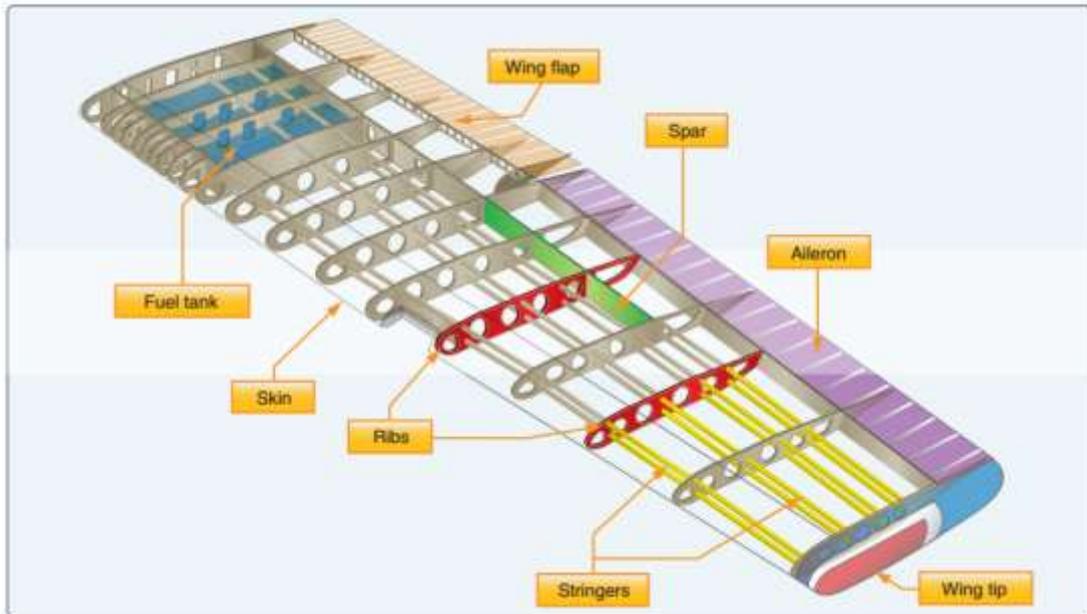


Figure 2.64.

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

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

III. 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 canards



← Biplane



Triplane →

Tails designs



Low-set



Mid-set



High-set



T-Tail



Canard



V-Tail



Twin
fin
designs



Wings And Controls	
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

IV. Engines

Piston Engine

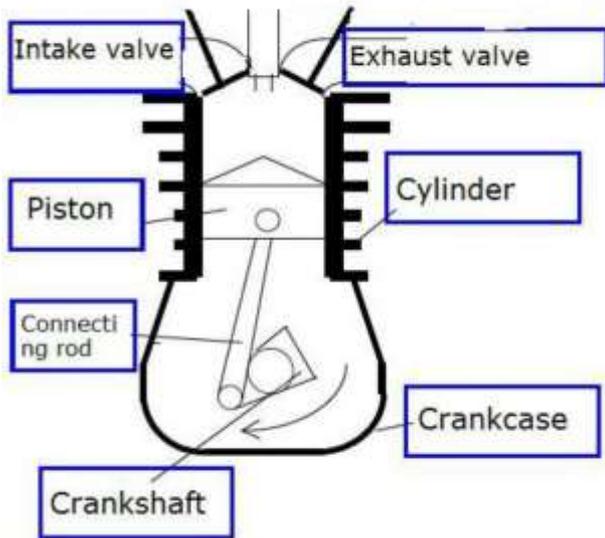


Figure 2.65.

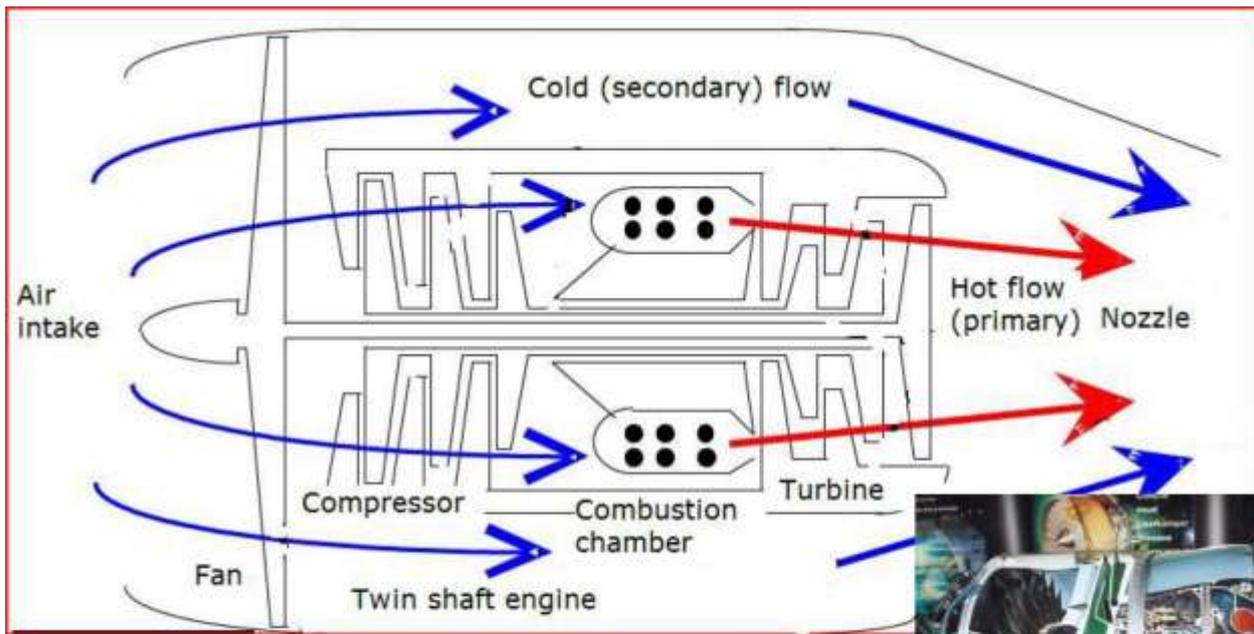


Figure 2.66.

Propeller	
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
Reciprocating Engine	
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
Turbine Engine	
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

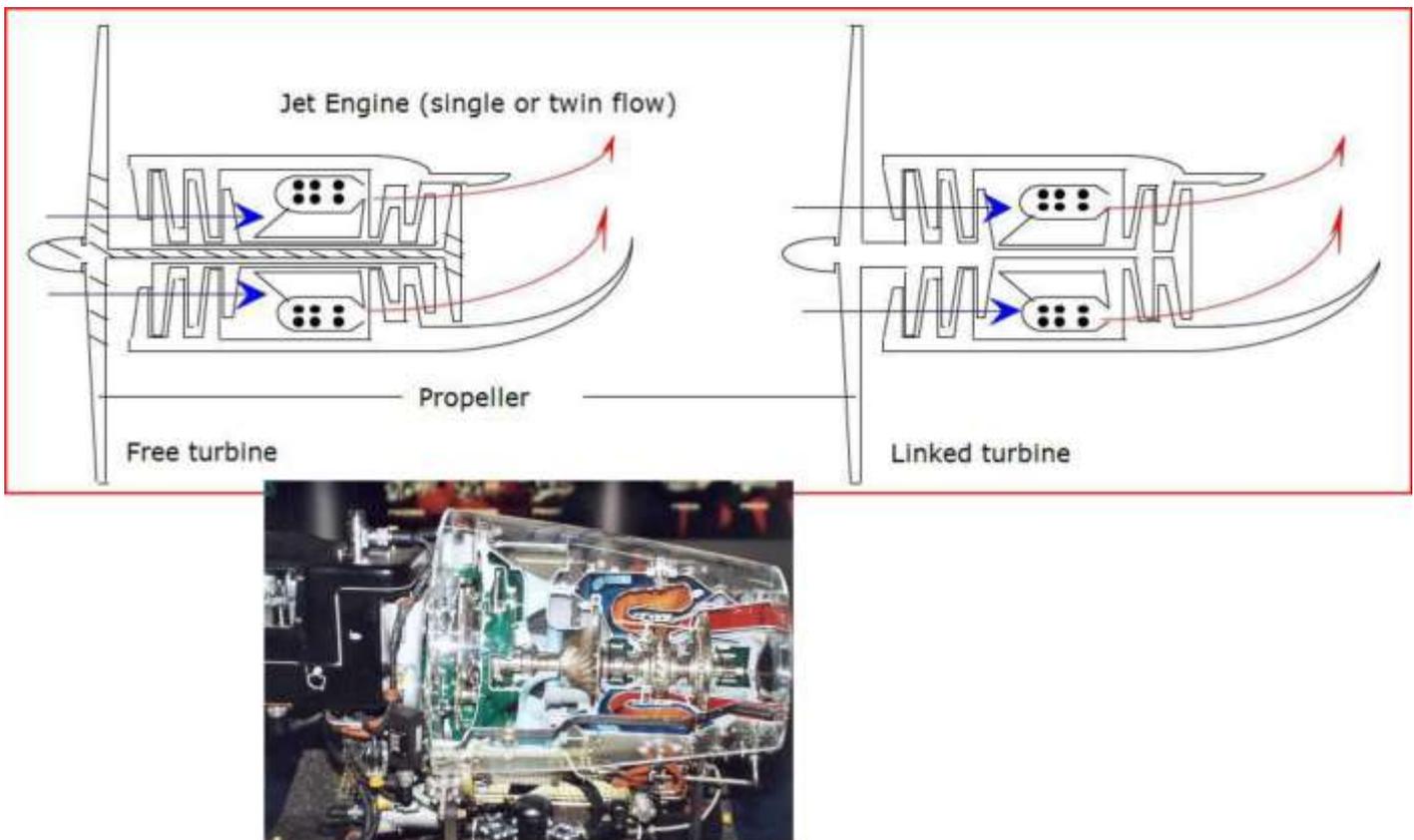


Figure 2.67.

Ramjet and Rocket Engine

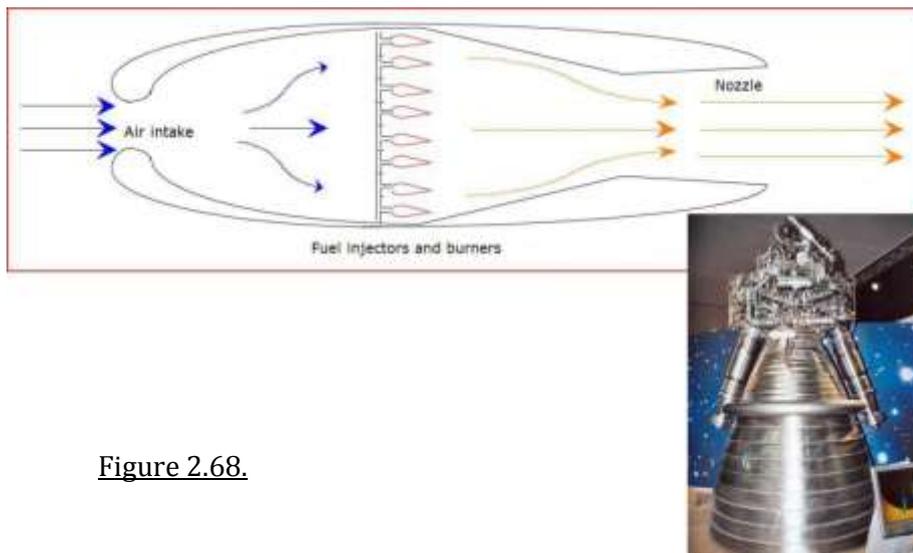


Figure 2.68.

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)

Pour s'entraîner

46) Un delta plane est appelé en anglais :

- a) hang-glider b) glider c) paraglider d) glider-plane

47) The purpose of a trim tab is :

- a) to roll the aircraft
 b) to set the landing gear down
 c) to reduce the force needed to move a control surface
 d) to communicate with the control tower

48) A « sweptback wing aircraft » désigne un avion :

- a) à ailes hautes b) à ailes basses
 c) équipé d'un plan canard d) à ailes en flèches

49) Le terme « steerable nose wheel » désigne :

- a) une roulette de nez fixe b) une roulette de queue orientable
 c) une roulette de nez orientable d) le pneu avant orientable

50) En anglais, sortir le train d'atterrissage se dit :

- a) to open the landing box b) to extend the landing gear
 c) to open the main landing wheels d) to take out the wheels

51) Le copilote déclare « the gear warning light has becom green ». Que doit comprendre le commandant de bord ?

- a) Le phare du train d'atterrissage s'est allumé en vert
 b) Le feu du train droit est allumé en vert
 c) Le voyant du train d'atterrissage étant devenu vert, le train est maintenant sorti
 d) Le voyant d'alerte du train d'atterrissage étant allumé, il faut attendre qu'il passe au vert

52) Traduisez en anglais : "bougies d'allumage du moteur".

- a) Engine candles of ignition b) Motor fan sparking plugs
 c) Ignition motor candles d) Engine spark plugs

53) L'étincelle de la bougie dans un moteur à pistons provient de la haute tension fournie par :

- a) the battery
- b) the battery on start-up and then the alternator
- c) the starter motor
- d) the magnetos

54) Le terme anglais « pitch » concernant une hélice fait référence à :

- a) sa longueur
- b) son pas
- c) son mode de fixation au moyeu
- d) sa corde

55) Les « strobe lights » sont :

- a) les feux de brouillard
- b) les feux d'atterrissage
- c) les feux de navigation
- d) les feux à éclat

56) La « True Air Speed », ou TAS, représente :

- a) la vitesse au sol d'un avion
- b) la vitesse air d'un avion
- c) la vitesse par rapport aux nuages d'un avion
- d) la vitesse de croisière d'un avion

57) La « Ground Speed », ou GS, représente :

- a) la vitesse propre d'un aéronef
- b) la vitesse d'un aéronef par rapport aux nuages
- c) la vitesse de croisière d'un aéronef
- d) la vitesse sol d'un aéronef en vol

58) L'anémomètre est appelé :

- a) speedmaster
- b) airspeed indicator
- c) tachymetre
- d) anemospeedmeter

59) A quel instrument de mesure fait référence l'EGT ?

- a) c'est un instrument de mesure de distance Echoradar.
- b) c'est un instrument Gyroscopique.
- c) c'est un instrument qui mesure une Température des gaz d'échappement.
- d) C'est un instrument qui donne des informations pour le roulage dans un aéroport

60) L'altimètre est appelé :

- a) elevation indicator
- b) altimeter
- c) highmeter
- d) altipressuremeter

61) Lors d'une recherche sur internet concernant le "TB 10 Tobago GT", vous lisez des informations suivantes :

"As with previous models, the Socata TB 10 Tobago GT model 2004 is a 4/5-seater single-engine airplane, with fixed gear and constant speed propeller, combines a comfortable cabin with good cruise performance for a moderate operating cost. Easy to fly, even at low speed, the Tobago GT blends simplicity with safety. Its considerable wing load factor and the effectiveness of its ailerons endow the aircraft with remarkable stability, even under the most difficult flight conditions."

Vous comprenez que :

- a) Le TB 10 Tobago est un monomoteur pouvant accueillir 5 personnes. Qu'il est équipé d'une hélice à pas fixe mais d'une grande efficacité. En outre la maintenance de cet avion s'effectue pour un coût élevé.
- b) Le TB 10 Tobago est un avion monomoteur équipé d'une hélice à vitesse constante. Le TB 10 allie simplicité et sécurité. Cet avion, remarquablement stable même dans les conditions de vol les plus difficiles, dispose d'ailerons très efficaces.
- c) Le TB 10 Tobago est un monomoteur pouvant évoluer à vitesse constante grâce à un pilote automatique de croisière. Cet avion est très stable sauf à basse vitesse lorsque la charge alaire trop importante nécessite d'avoir recours aux très efficaces ailerons.
- d) Le TB 10 Tobago est un monomoteur pouvant accueillir 4/5 personnes. Son turbopropulseur lui permet d'évoluer à vitesse constante ce qui diminue son cout d'exploitation.

62) Which definition best sums up this short article?

The engine sucks air in at the front with a fan. A compressor raises the pressure of the air. The compressed air is then sprayed with fuel and an electric spark lights the mixture. The burning gases expand and blast out through a turbine and then through the nozzle, at the back of the engine. As the jets of gas shoot backward, the engine and the aircraft are thrust forward.

- a) the combustion chamber
- b) the role of the fan
- c) a turboprop engine
- d) how a turbofan works

63) Vous lisez l'information suivante :

An attitude indicator (AI), also known as gyro horizon or artificial horizon, is an instrument used in an aircraft to inform the pilot of the orientation of the aircraft relative to earth. It indicates pitch (fore and aft tilt) and bank or roll (side to side tilt) and is a primary instrument for flight in instrument meteorological conditions. Attitude indicators also have significant application under visual flight rules, though some light aircraft do not have them installed

Vous pouvez déduire de ce texte que :

- a) l'horizon artificiel permet de connaître la position de l'avion par rapport à la Terre.
- b) cet instrument gyroscopique est primordial lors d'un vol sans visibilité.
- c) cet instrument fait référence à seulement deux des trois axes de référence d'un avion.
- d) toutes les réponses sont exactes.

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

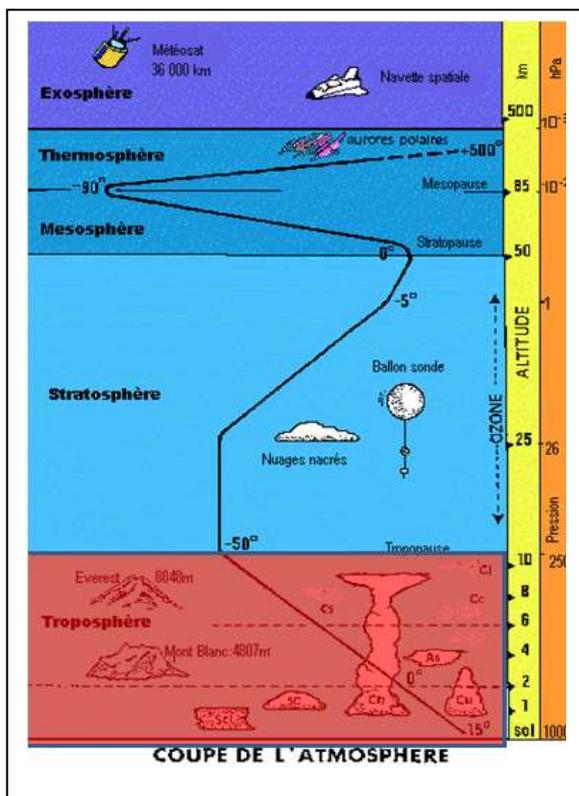
I. L'atmosphère

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 :



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.

Figure 3.1.

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 :

■ Diazote (N₂)	78%
■ Dioxygène (O₂)	21%
■ Argon (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 Atmosphère 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 ρ) vaut 1,225 kg/m³ 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 : $K = °C + 273,5$.

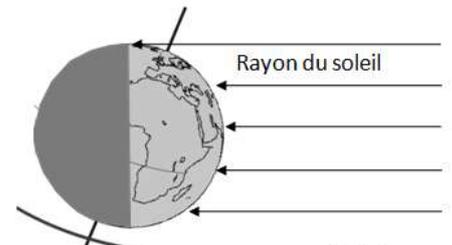
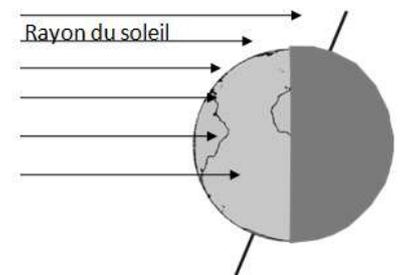
Le zéro absolu, ou 0 K correspond donc à - 273,15°C.

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.

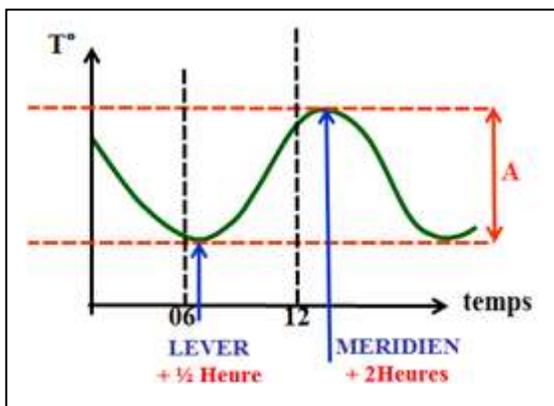


Figure 3.3.

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

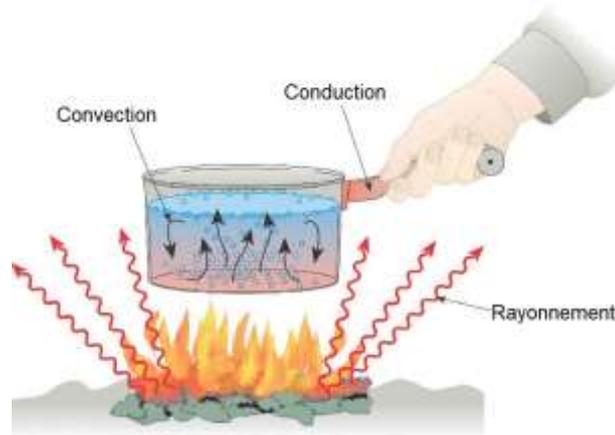


Figure 3.4.

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).

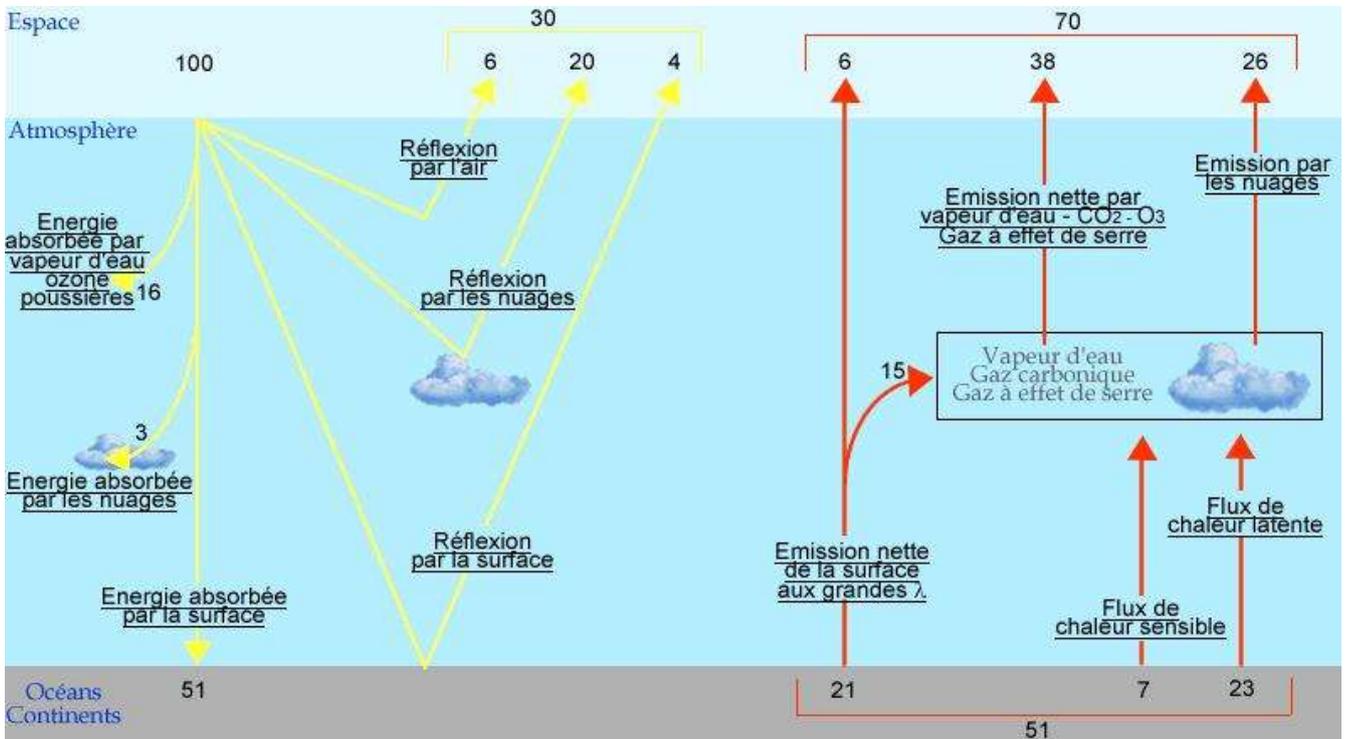


Figure 3.5.

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

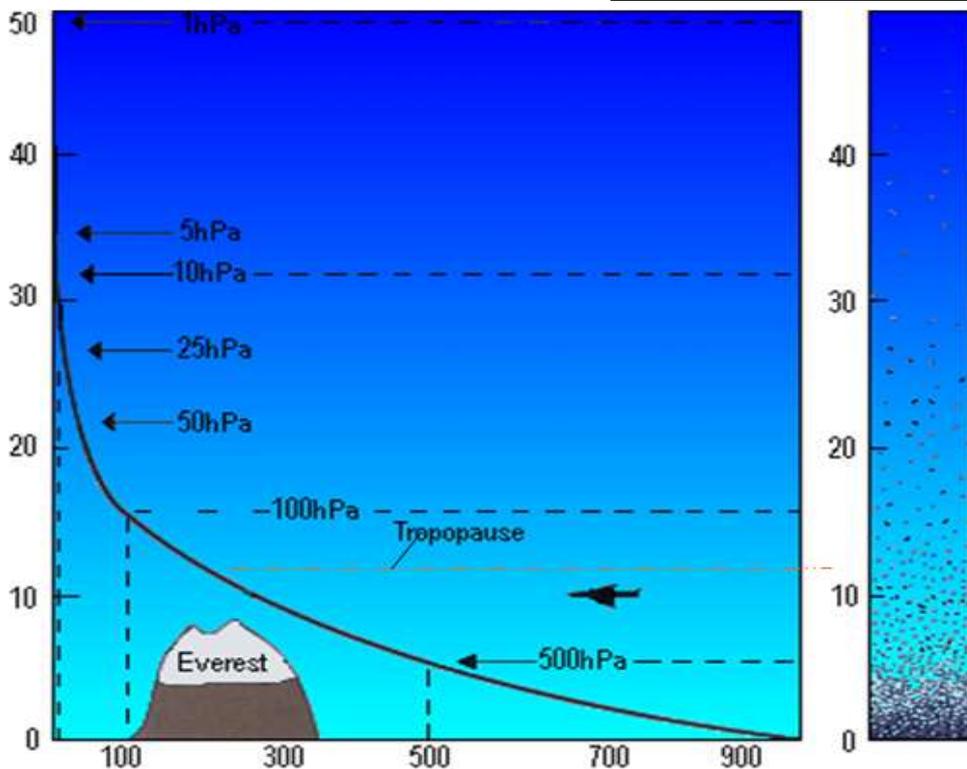


Figure 3.6.

B. La Mesure de la pression atmosphérique

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

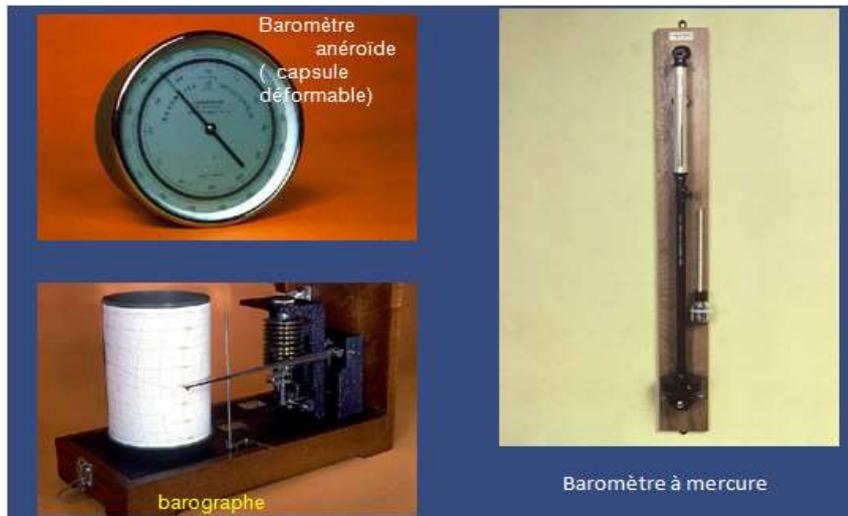


Figure 3.7.

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

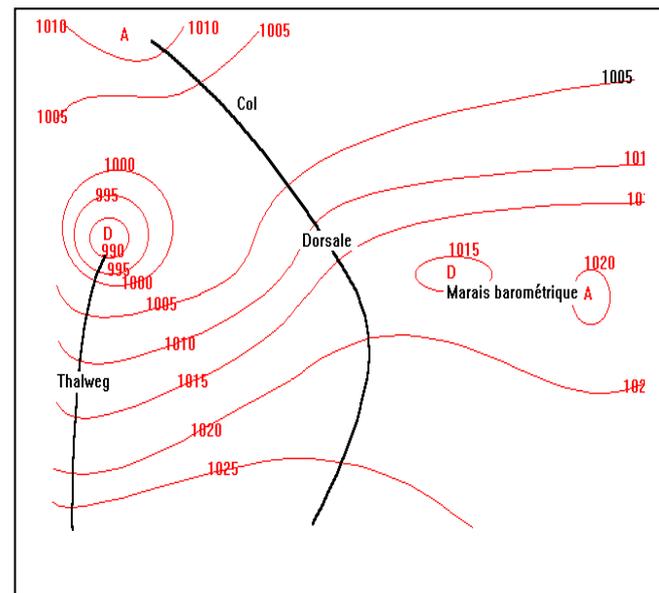


Figure 3.8.

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.

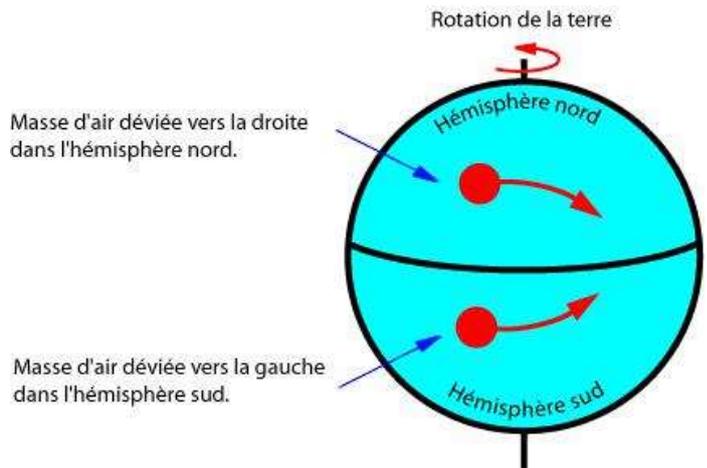


Figure 3.9.

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

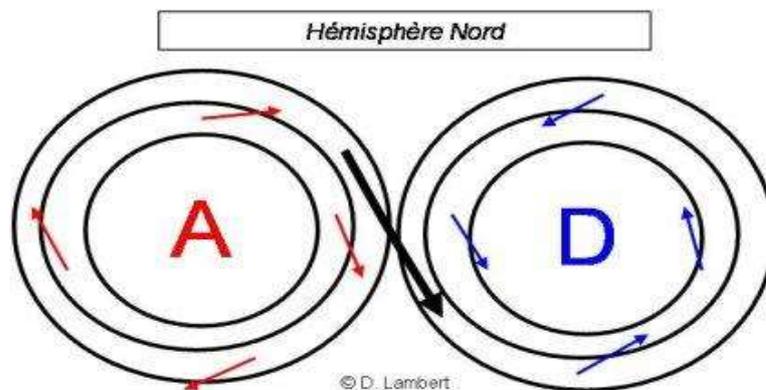


Figure 3.10.

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.

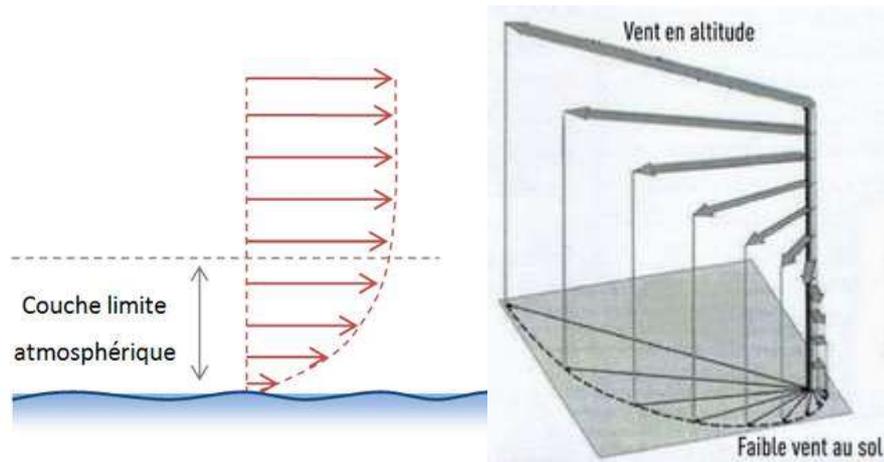


Figure 3.11.

D. Les Calages altimétriques

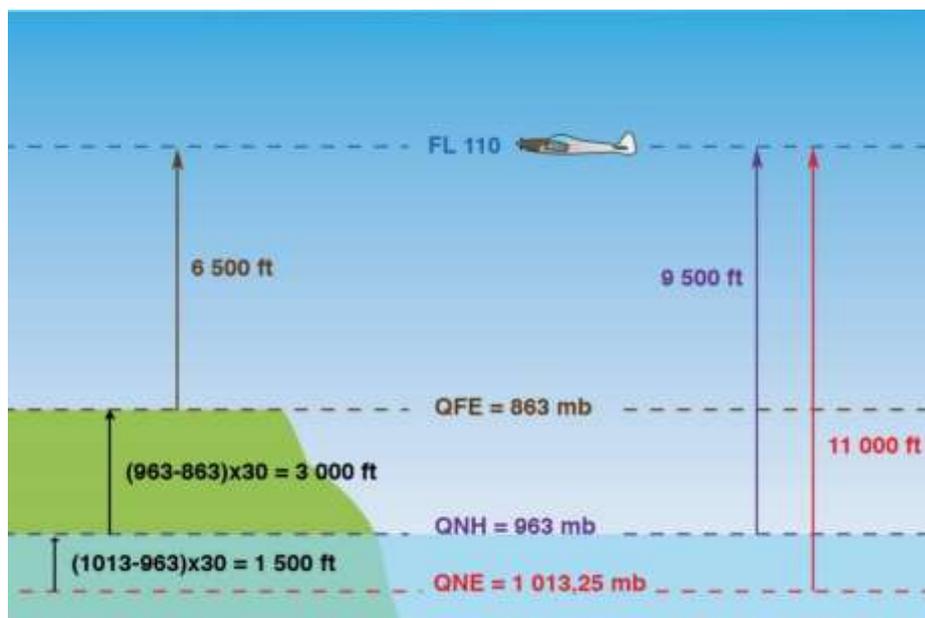


Figure 3.12.



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.

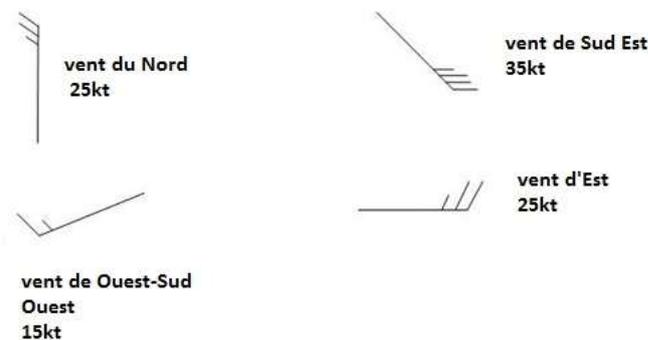


Figure 3.13.

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

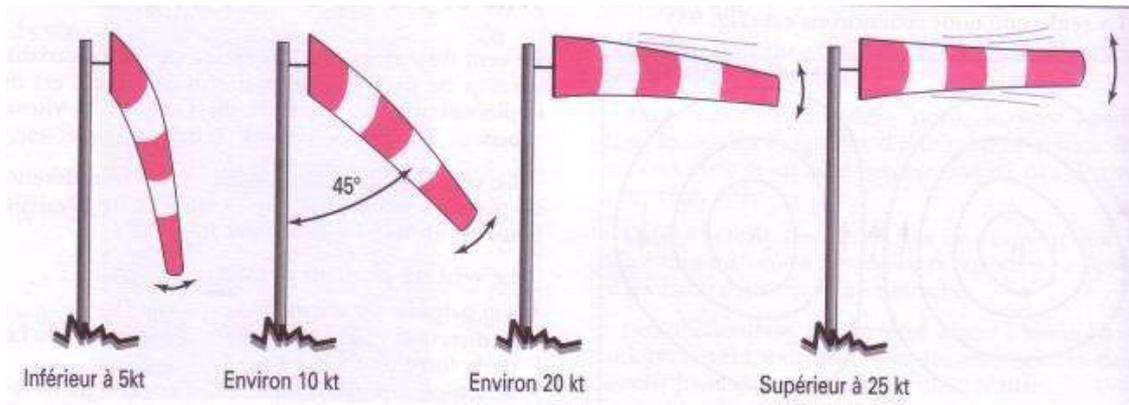


Figure 3.14.

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

IV. Les perturbations et les fronts

A. La circulation atmosphérique

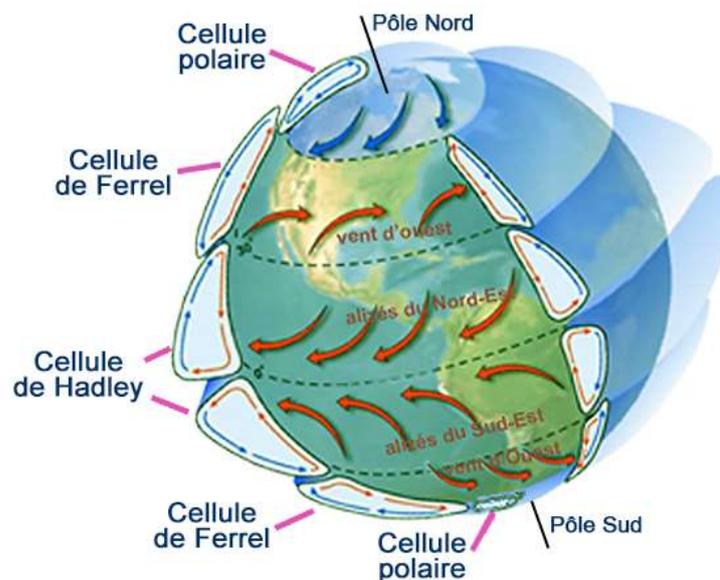


Figure 3.15.

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^{ème} parallèle
- un anticyclone aux environs du 30^{ème} 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.

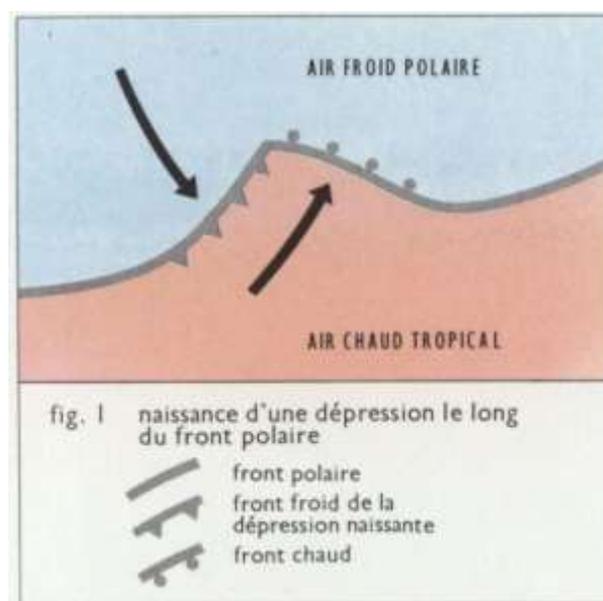
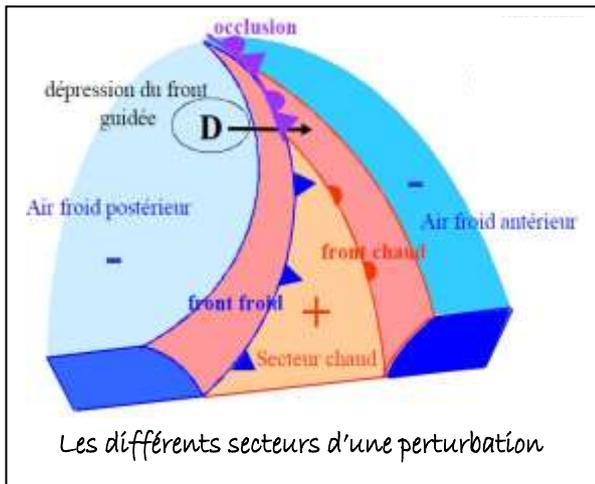


Figure 3.16.

C. Les fronts

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



- **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 3.17.

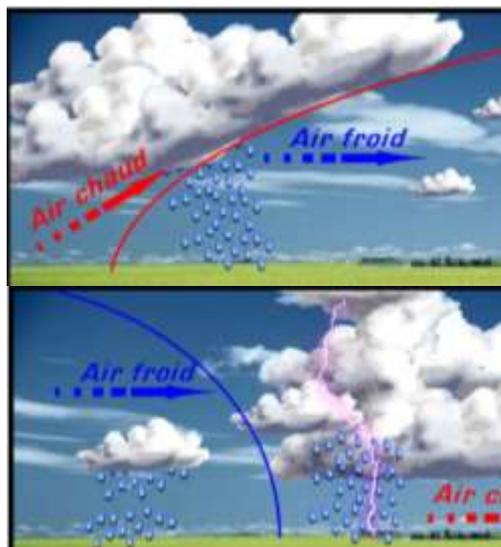


Figure 3.18.

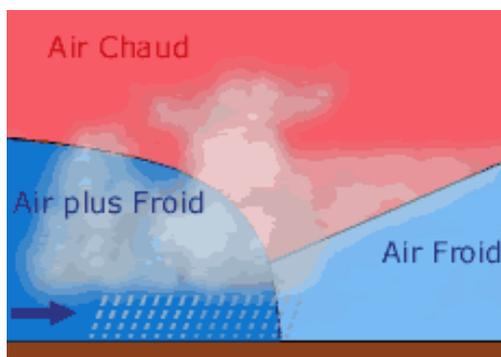


Figure 3.19

9) A 5 000 ft d'altitude, selon l'atmosphère standard, la pression et la température sont respectivement de :

- a) + 15°C et 850 hPa. b) - 17,5°C et 700 hPa.
c) + 5°C et 850 hPa. d) + 25°C et 850 hPa.

10) Un aérodrome se trouve à l'altitude de 2800 ft, l'écart de pression avec le niveau de la mer y est de : a) 20 hPa. b) 50 hPa. c) 100 hPa. d) 200 hPa.

11) En France un aéronef se dirige vers une dépression. Le pilote peut s'attendre à :

- a) une dérive gauche. b) une dérive droite.
c) une dérive nulle. d) une dérive tantôt gauche tantôt droite.

12) Un vent du 180/10 vient du :

- a) Sud à une vitesse de 10 km/h b) Sud à une vitesse de 10 kt.
c) Nord à une vitesse de 10 kt. d) Nord à une vitesse de 10 km/h.

13) L'appareil servant à indiquer la direction du vent s'appelle :

- a) une rose des vents. b) un anémomètre. c) une girouette. d) un directionnel.

14) Dans l'hémisphère sud, le vent :

- a) souffle des basses pressions vers les hautes pressions.
b) tourne autour d'une dépression dans le sens des aiguilles d'une montre.
c) tourne autour d'une dépression dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.
d) souffle toujours dans le même sens, du nord vers le sud.

15) L'occlusion est une zone :

- a) généralement peu active.
b) avec orages fréquents mais toutefois avec une visibilité correcte
c) toujours sans nuage.
d) nuageuse, pluvieuse, avec le plus souvent des plafonds bas.

16) On appelle « traîne » une zone :

- a) s'étendant à l'avant d'un front froid. b) s'étendant à l'arrière d'un front froid
c) de fortes perturbations. d) de grand calme

17) Le mouvement relatif de deux masses d'air autour d'un front froid est :

- a) l'air froid contourne l'air chaud par les côtés.
b) l'air chaud repousse et soulève l'air froid.
c) l'air froid repousse et soulève l'air chaud.
d) l'air chaud repousse l'air froid et passe par-dessus.

18) Dans un régime dépressionnaire, la masse d'air chaud est associée à :

- a) un ciel de traîne. b) des éclaircies.
c) de la pluie. d) un ciel clair.

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 3.20.

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 3.21.

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

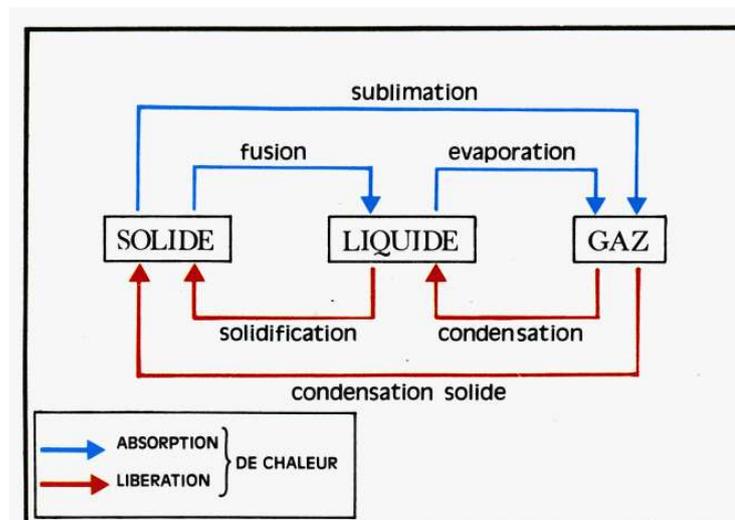


Figure 3.22.

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 3.23.

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.**

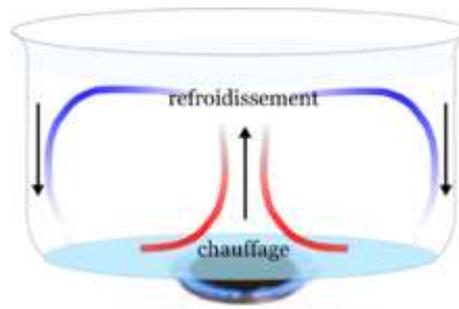


Figure 3.24.

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.

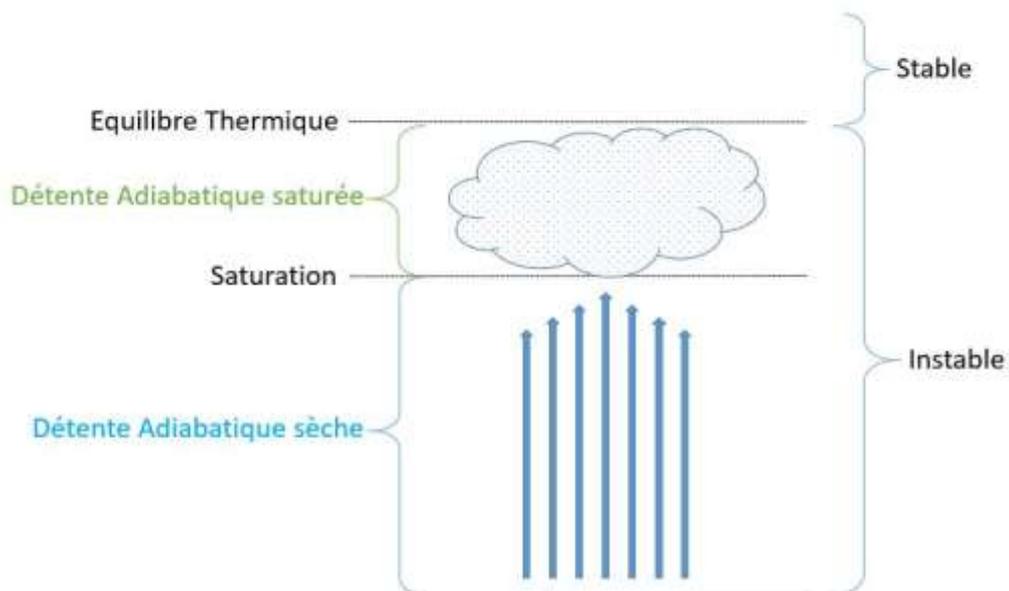
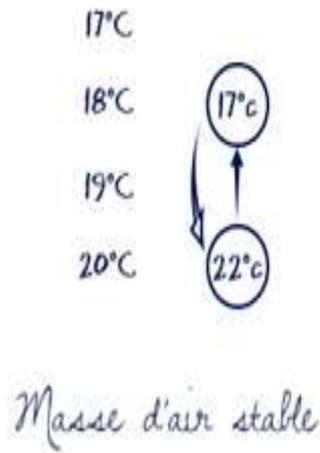


Figure 3.25.

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

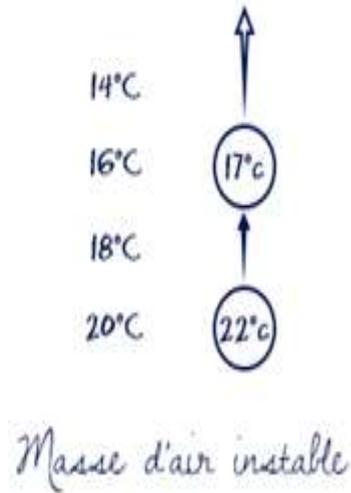


Figure 3.26.

a) Cas de la stabilité :

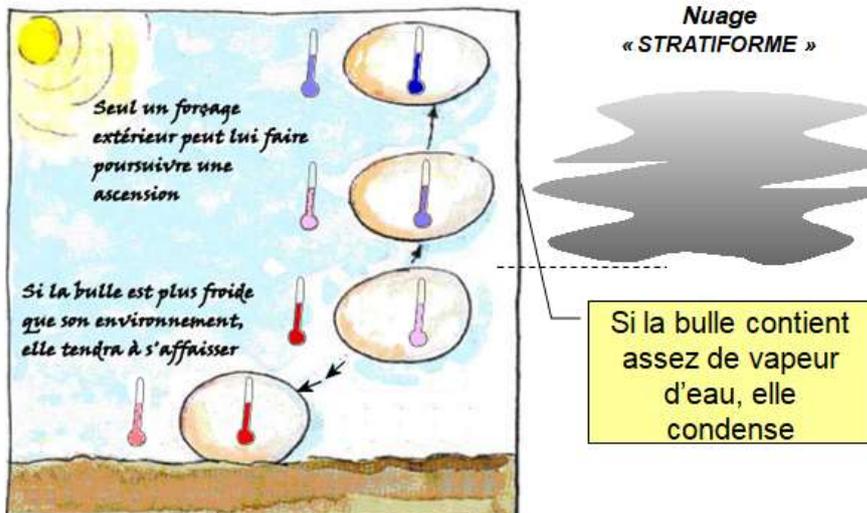


Figure 3.27.

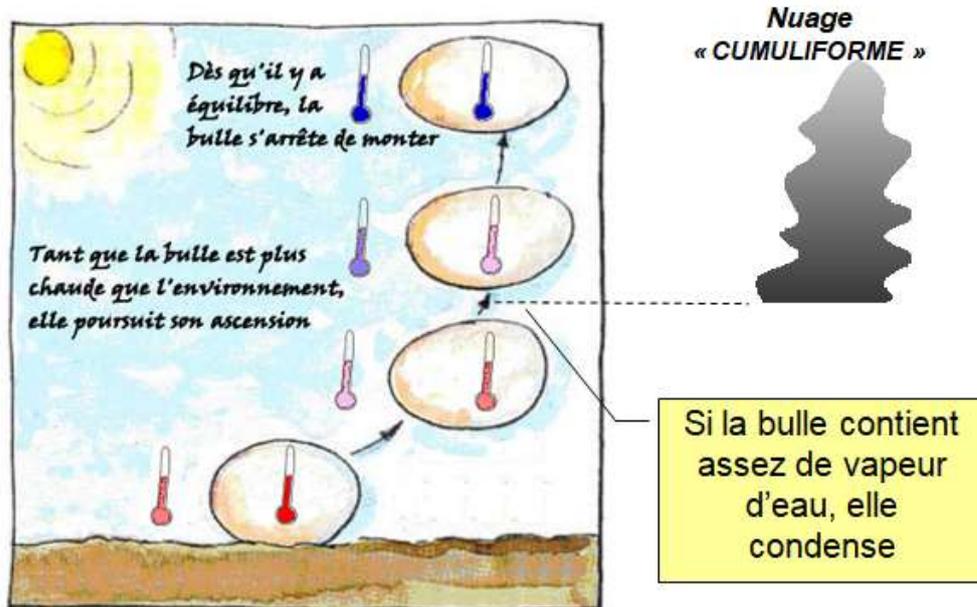
b) Cas de l'instabilité :

Figure 3.28.

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.

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

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

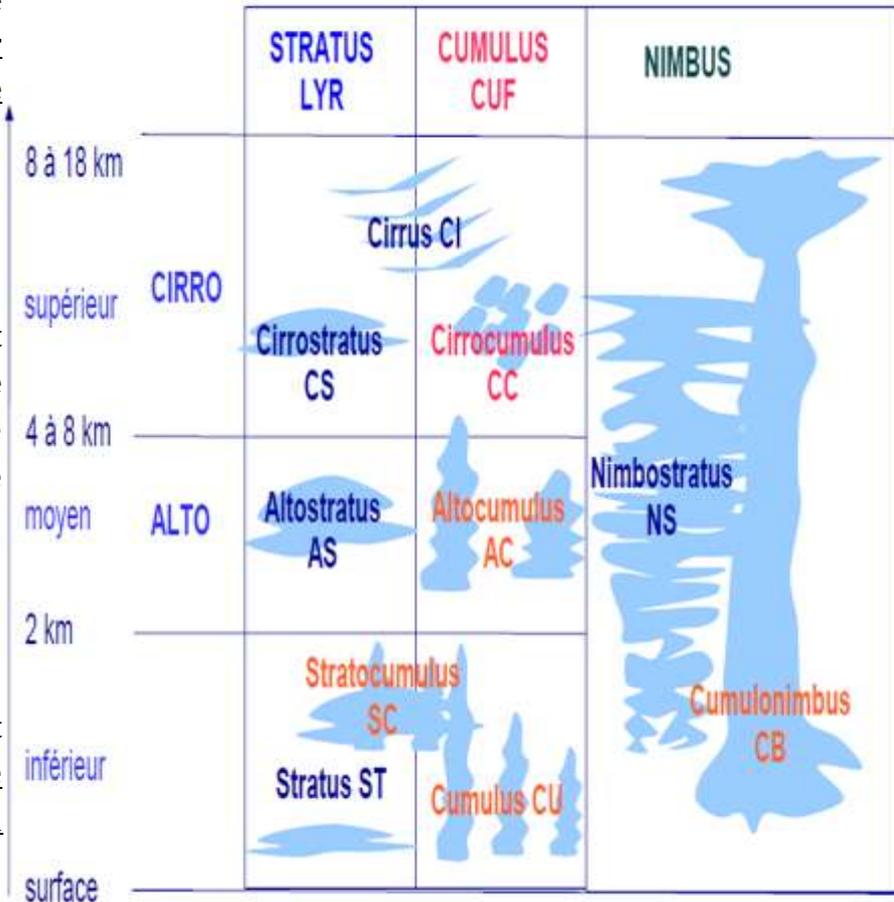


Figure 3.29.

« 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 :

météofrance.com ou cloudatlas.wmo.int

L'application Cumulus & Co de Météo France permet de tester ses connaissances

B. Les nuages associés aux fronts

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

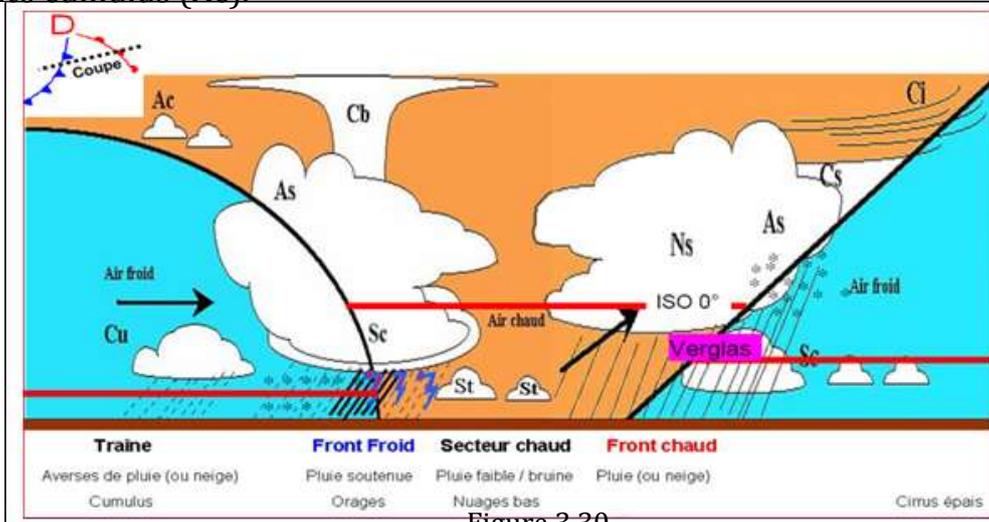


Figure 3.30.

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 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.

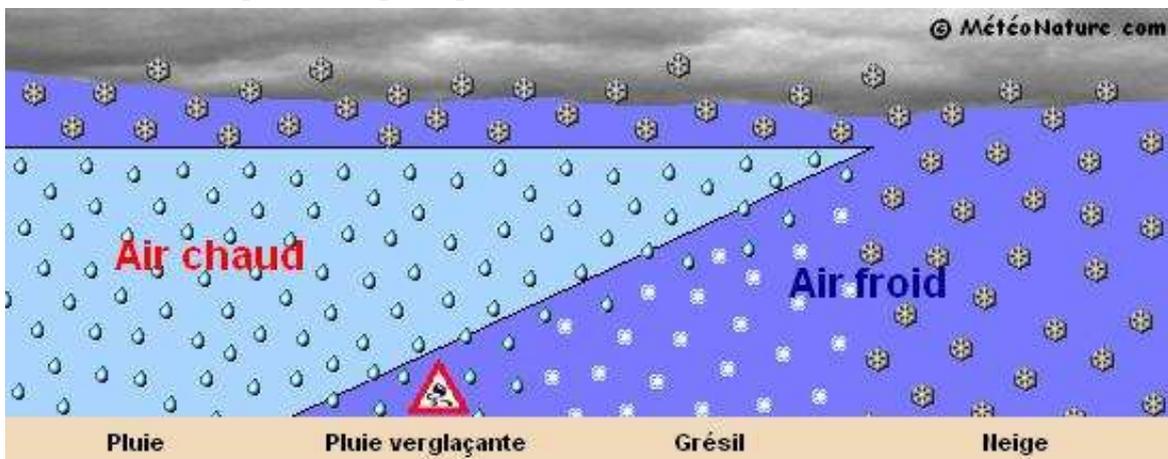


Figure 3.31.

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.

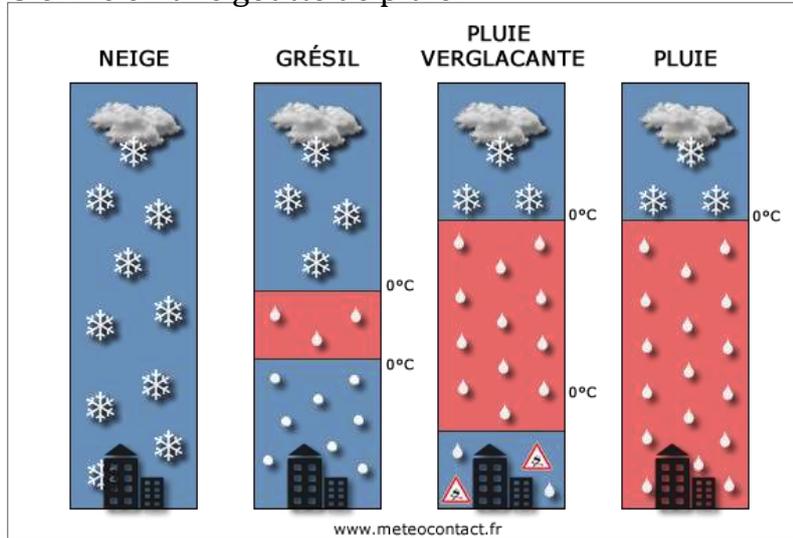


Figure 3.32.

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.

Pour s'entraîner

19) Le degré hygrométrique est :

- le degré de température utilisé dans l'échelle de mesure Kelvin.
- le degré de température utilisé dans l'échelle de mesure Celsius.
- le rapport entre la masse de vapeur d'eau contenue effectivement dans l'air et celle que cet air peut contenir au maximum.
- la différence de température entre les deux thermomètres d'un hygromètre.

20) Quand le bulletin météorologique prévoit que le point de rosée et la température ambiante seront bientôt identiques, il faut s'attendre à :

- de la neige
- de la pluie
- du brouillard
- de la vapeur d'eau

21) Dans la troposphère, aux latitudes tempérées, les nuages de l'étage moyen sont situés entre :

- 2 000 et 6 000 pieds.
- 2 000 et 6 000 mètres
- 10 000 et 20 000 pieds.
- 6 000 et 12 000 mètres

22) Indiquez lequel de ces groupes de nuages ne contient que des nuages stables :

- stratus, cumulonimbus, altocumulus, cirrus.
- altostratus, cirrostratus, stratus, cirrus.
- cumulus, cirrocumulus, stratocumulus, altocumulus.
- nimbostratus, cumulonimbus, cirrus, altocumulus.

23) L'ensemble des mouvements verticaux de l'air, ascendants et descendants, dus au réchauffement diurne du sol est appelé :

- conduction.
- coalescence.
- subsidence.
- convection.

24) Le phénomène de convection est le plus intense :

- l'hiver pendant l'après-midi.
- l'hiver, pendant la nuit et tôt le matin.
- l'été pendant l'après-midi.
- l'été, pendant la nuit et tôt le matin.

25) L'orage est caractéristique :

- a) du nimbostratus. b) du stratus. c) du cumulonimbus. d) de l'altostratus.

26) La cause la plus fréquente de formation des nuages dans l'atmosphère est :

- a) un soulèvement d'un ensemble de particules d'air humide.
b) un affaissement d'un ensemble de particules d'air humide.
c) un réchauffement de l'air en altitude.
d) une montée rapide des températures.

27) Les nuages qui peuvent donner des averses sont :

- a) le cumulus congestus et le cumulonimbus. b) le nimbus et le nimbostratus.
c) le stratus et le stratocumulus. d) le cirrus et le cirrocumulus.

28) Les nuages caractérisés par une masse d'air instable sont les :

- a) cumulonimbus, cumulus, nimbostratus. b) altostratus, cumulus, nimbostratus.
c) cumulonimbus, cumulus, stratocumulus. d) cumulonimbus, stratus, cirrus.

29) Après le coucher du soleil, dans la plupart des cas, les très basses couches de l'atmosphère sont :

- a) très instables. b) très stables.
c) proche du gradient thermique vertical en atmosphère standard. d) turbulentes.

30) En été, par une chaude journée, l'apparition de gros cumulus en fin de matinée annonce:

- a) une augmentation de la chaleur. b) une diminution de la chaleur.
c) un risque de brouillard. d) un risque d'orage.

31) L'apparition dans le ciel de nuages du type Cirrus annonce :

- a) l'arrivée d'une masse d'air froide.
b) un réchauffement par rayonnement des basses couches de l'atmosphère.
c) un changement de temps dans les heures qui suivent.
d) la mise en place d'un air stable pour plusieurs jours.

32) Une rue de nuages est une particularité météorologique que l'on rencontre :

- a) les jours où il n'y a pas de vent. b) les jours où il y a du vent.
c) uniquement en montagne. d) toujours parallèlement aux vallées.

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 3.33.

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).

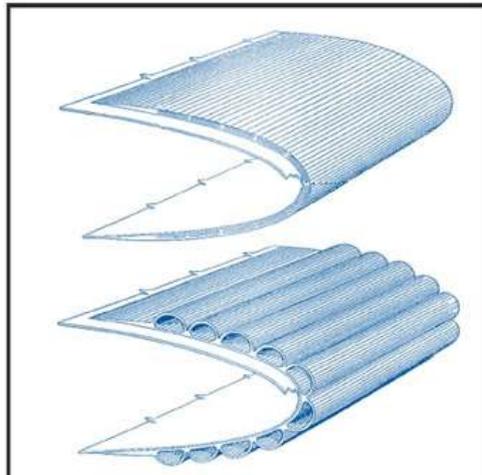


Figure 3.34.

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.

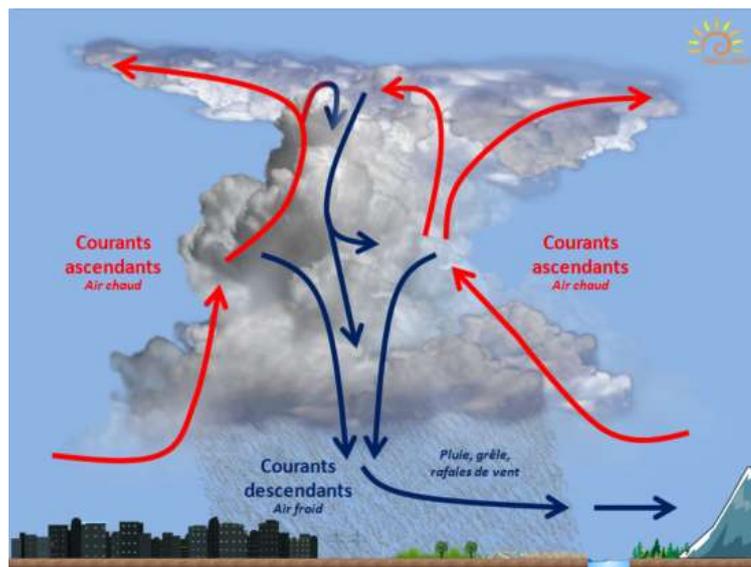


Figure 3.35.

- **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.

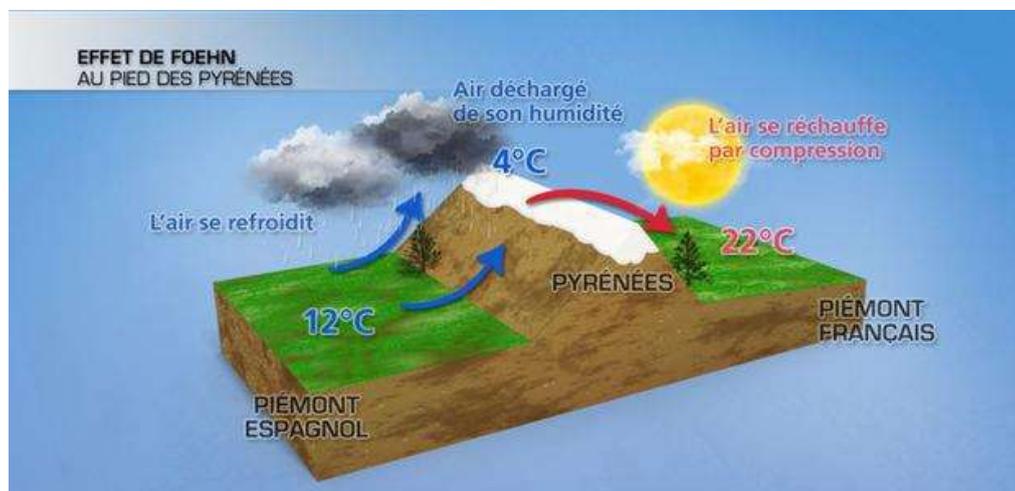


Figure 3.36.

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 :

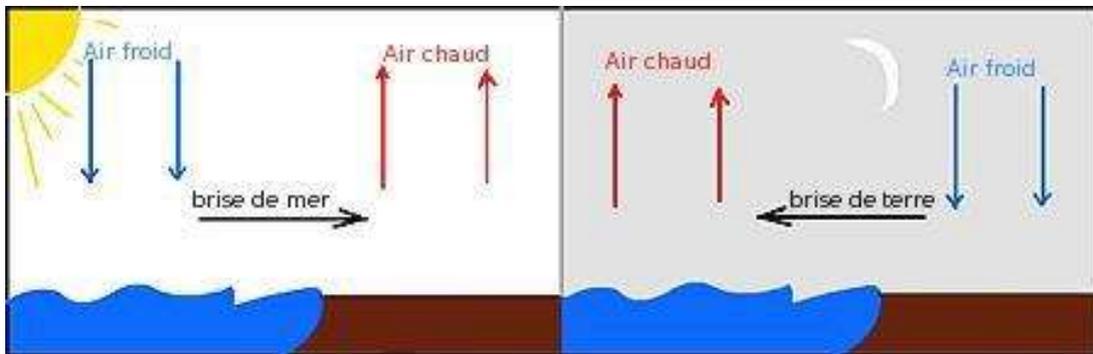


Figure 3.37.

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 3.38. et 3.38.bis

C. Les ondes orographiques et la turbulence

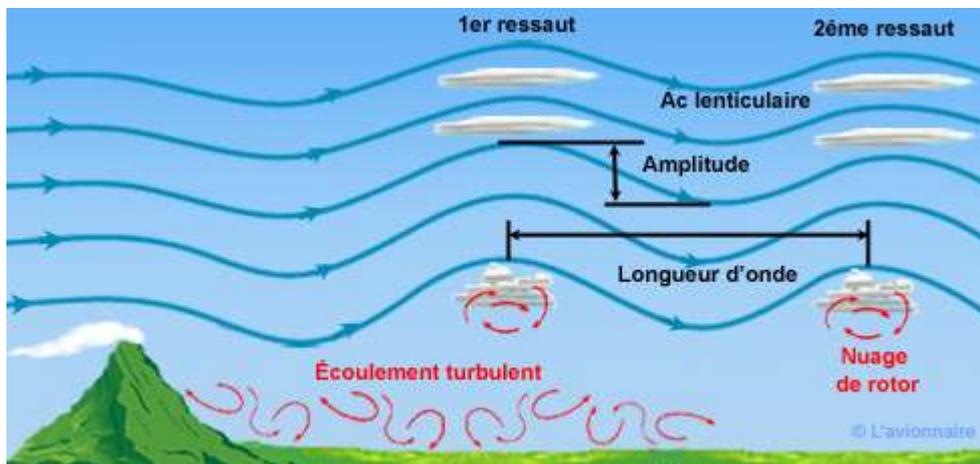


Figure 3.39.

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.)

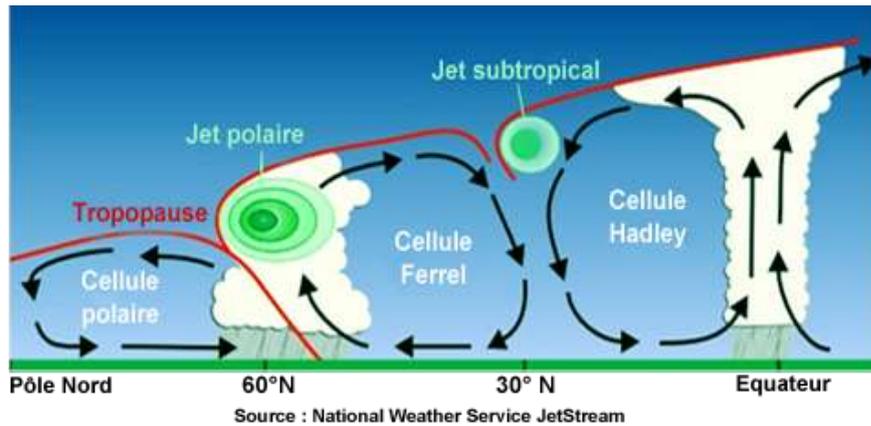


Figure 3.40.

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.

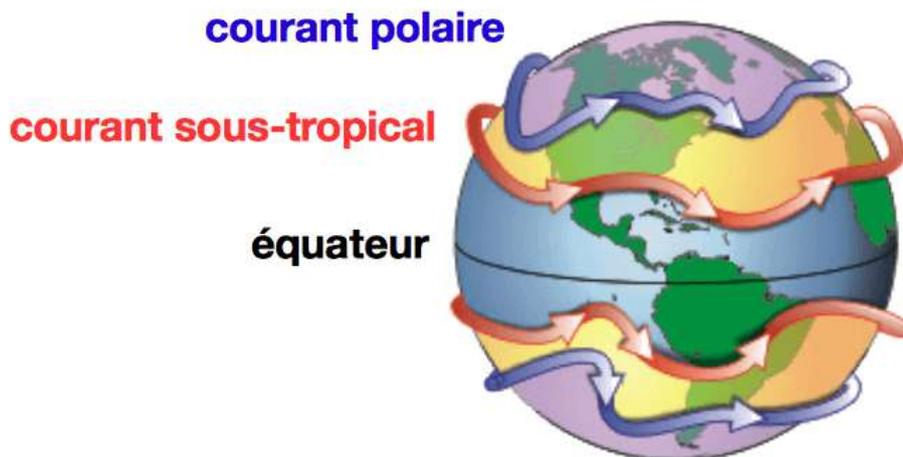


Figure 3.41.

E. Les vents locaux

Figure 3.42.

Pour s'entraîner**33) La brume sèche :**

- a) est constituée de particules solides (sable, poussières, impuretés) en suspension dans l'air non saturé d'humidité.
- b) est due en grande partie à l'activité industrielle qui se développe sur la planète.
- c) se forme fréquemment en période de beau temps.
- d) toutes ces affirmations sont exactes.

34) Au sommet de la troposphère, on peut rencontrer un vent très fort, qui peut atteindre 300 km/h. Un tel vent est appelé :

- a) alizé.
- b) Gulf Stream.
- c) courant-jet.
- d) tramontane.

35) Les stratus sont des nuages :

- a) dangereux à cause des turbulences et précipitations qui leur sont associées.
- b) dangereux par la faible hauteur de leur base.
- c) résultant d'ascendances qui permettent le vol à voile.
- d) de grande étendue verticale.

36) Voler dans un nuage peut provoquer :

- a) une perte des références visuelles.
- b) une exposition a une forte humidité.
- c) un risque de collision avec un autre aéronef.
- d) toutes les réponses sont bonnes.

37) Le type de nuage qui peut indiquer la présence de turbulences sévères est :

- a) l'altocumulus lenticularis (lenticulaire).
- b) le stratus.
- c) le cirrus.
- d) l'altostratus.

38) En plaine, dans les basses couches de l'atmosphère, les turbulences sont générées par :

- a) l'onde.
- b) les trous d'air.
- c) la convection.
- d) le brouillard.

39) Dans un cumulonimbus, on peut rencontrer des ascendances dont les valeurs maximales peuvent atteindre :

- a) Mach 1.
- b) 1 à 3 m/s.
- c) 150 à 250 m/s.
- d) 20 à 40 m/s.

Partie 4 : L'information météorologique

I. Les cartes

A. Carte TEMSI- (TEMps Significatif)

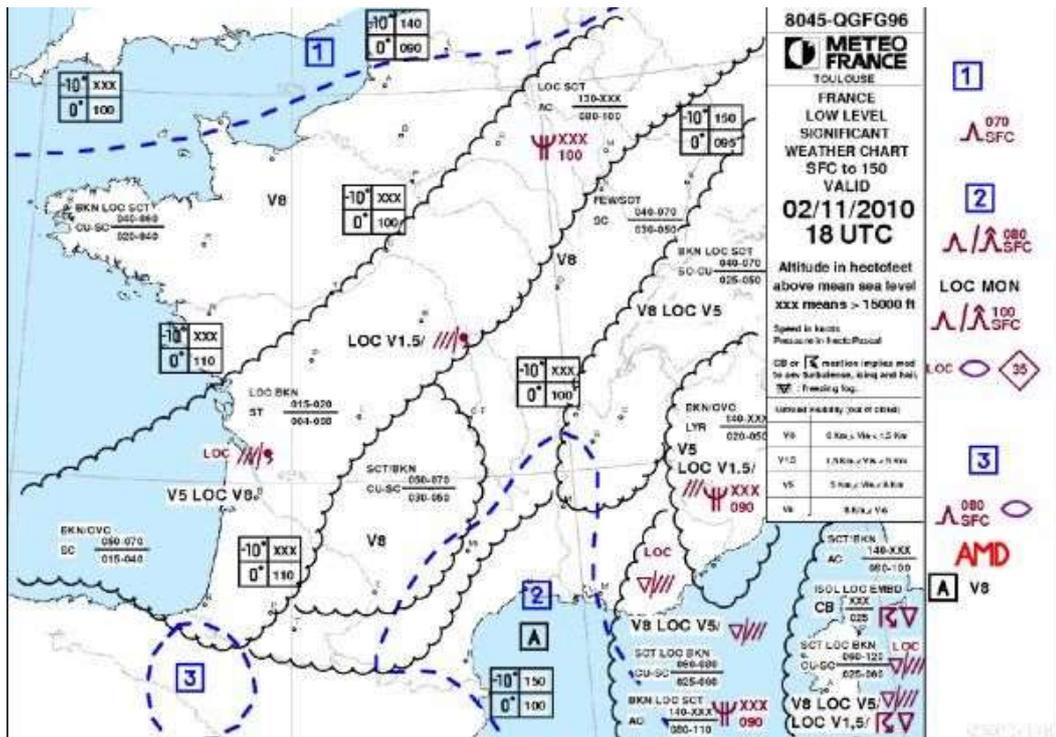


Figure 3.43.

Les cartes TEMSI (Tems 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

 METEO FRANCE		CARTES DE PRÉVISION DU TEMPS SIGNIFICATIF	
SYMBOLES DU TEMPS SIGNIFICATIF			
	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)		
	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 3.44.

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.

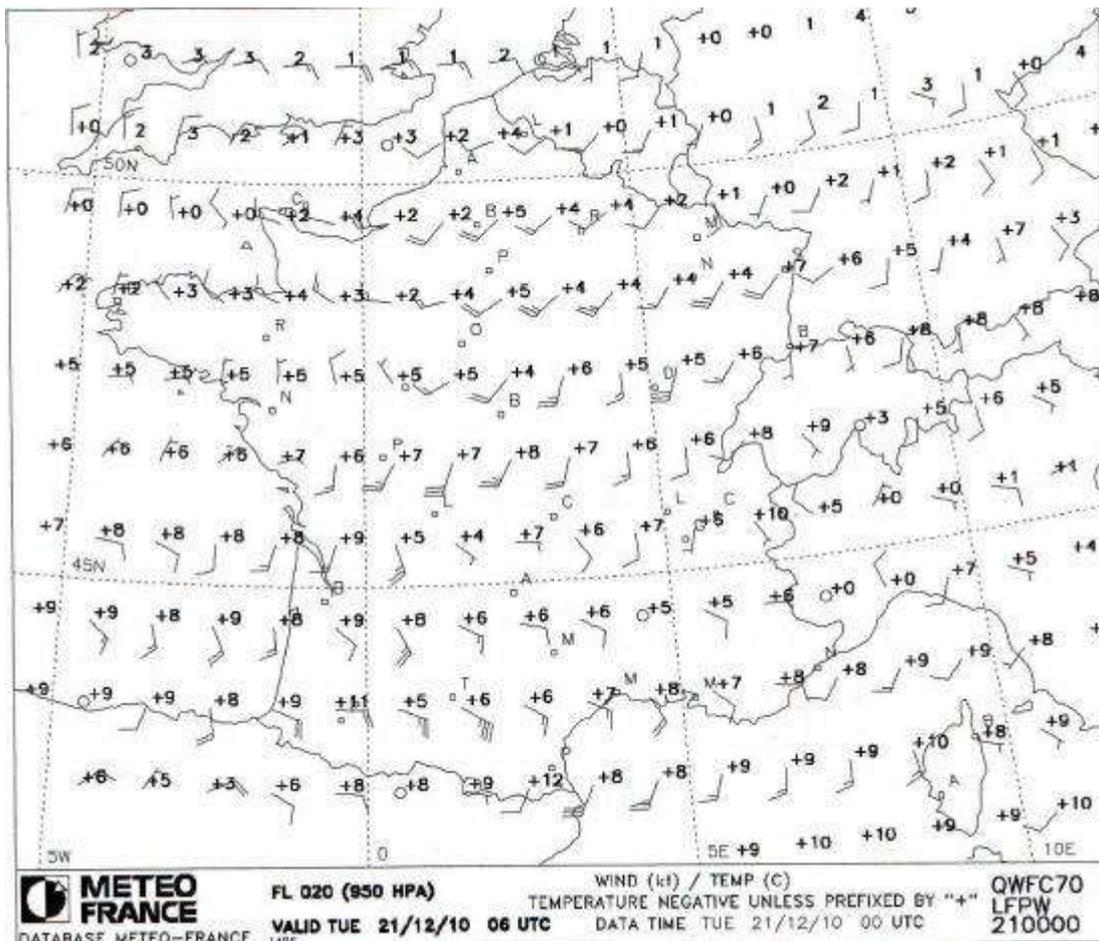


Figure 3.45.



Exemple :



Figure 3.46.

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

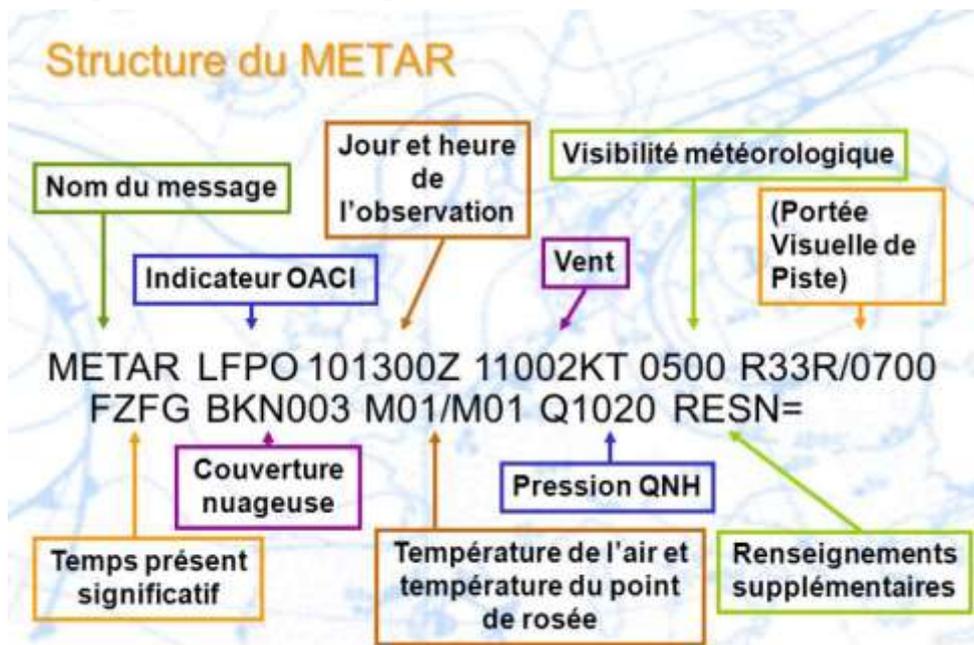


Figure 3.47.

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.	MI Mince	DZ Bruine	BR Brume (Vis \geq 5/8 SM)	PO Tourbillons de poussière/sable	
	BC Bancs	RA Pluie	FG Brouillard (Vis $<$ 5/8 SM)	SQ Grain(s)	
	PR Partiel	SN Neige	FU Fumée (Vis \leq 6 SM)	+FC Nuage en entonnoir (tornade ou trombe marine)	
	DR Chasse basse	SG Neige en grains			
- Faible	BL Chasse élevée	IC Cristaux de glace (Vis \leq 6 SM)	DU Poussière (Vis \leq 6 SM)	FC Nuage en entonnoir	
	SH Averse(s)				
Modérée (aucun signe)	TS Orage(s)	PL Grésil ou granules de glace	SA Sable (Vis \leq 6 SM)	SS Tempête de sable (Vis $<$ 5/8 SM) (+SS Vis $<$ 5/16 SM)	
		GR Grêle			
+ Forte	FZ Verglaçant(e)	GS Neige roulée	HZ Brume sèche (Vis \leq 6 SM)	DS Tempête de poussière (Vis $<$ 5/8 SM) (+DS Vis $<$ 5/16 SM)	
VC Voisinage		UP Précipitation inconnue (AWOS seulement)	VA Cendre volcanique (quelle que soit la visibilité)		

Figure 3.48.

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)
--

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).

Pour s'entraîner

40) Dans le dossier météorologique du pilote, le TAF est un message :

- a) de prévision du temps à un endroit donné.
- b) d'observation du temps en un lieu donné.
- c) de prévision du temps sous forme d'une carte.
- d) d'observation du temps sous forme d'une carte.

41) La lecture sur une carte de prévision du symbole suivant  signifie :

- a) givrage fort.
- b) averses de pluie.
- c) grêle.
- d) turbulence modérée.

English vocabulary

Weather Vocabulary

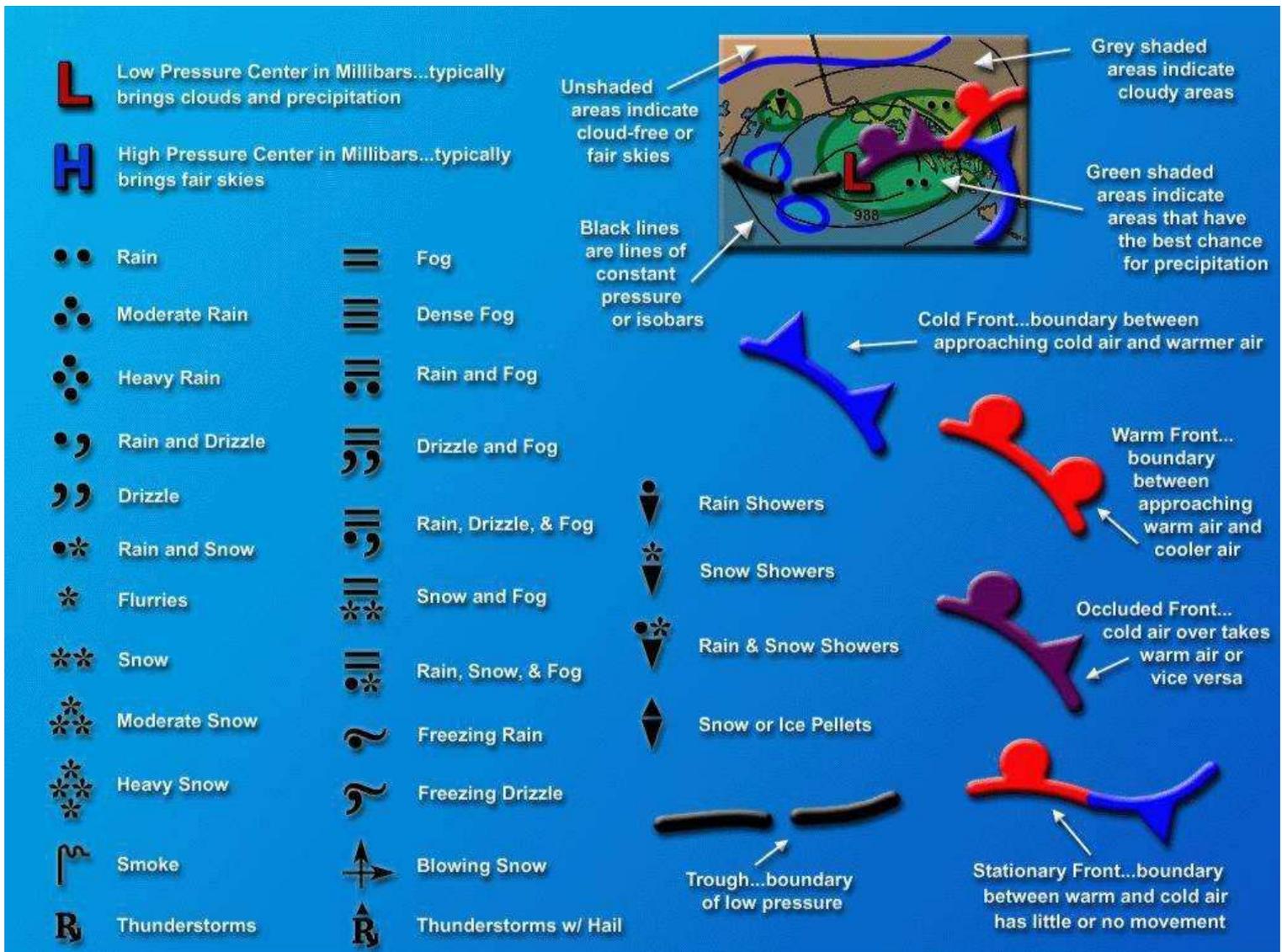


Figure 3.49.

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

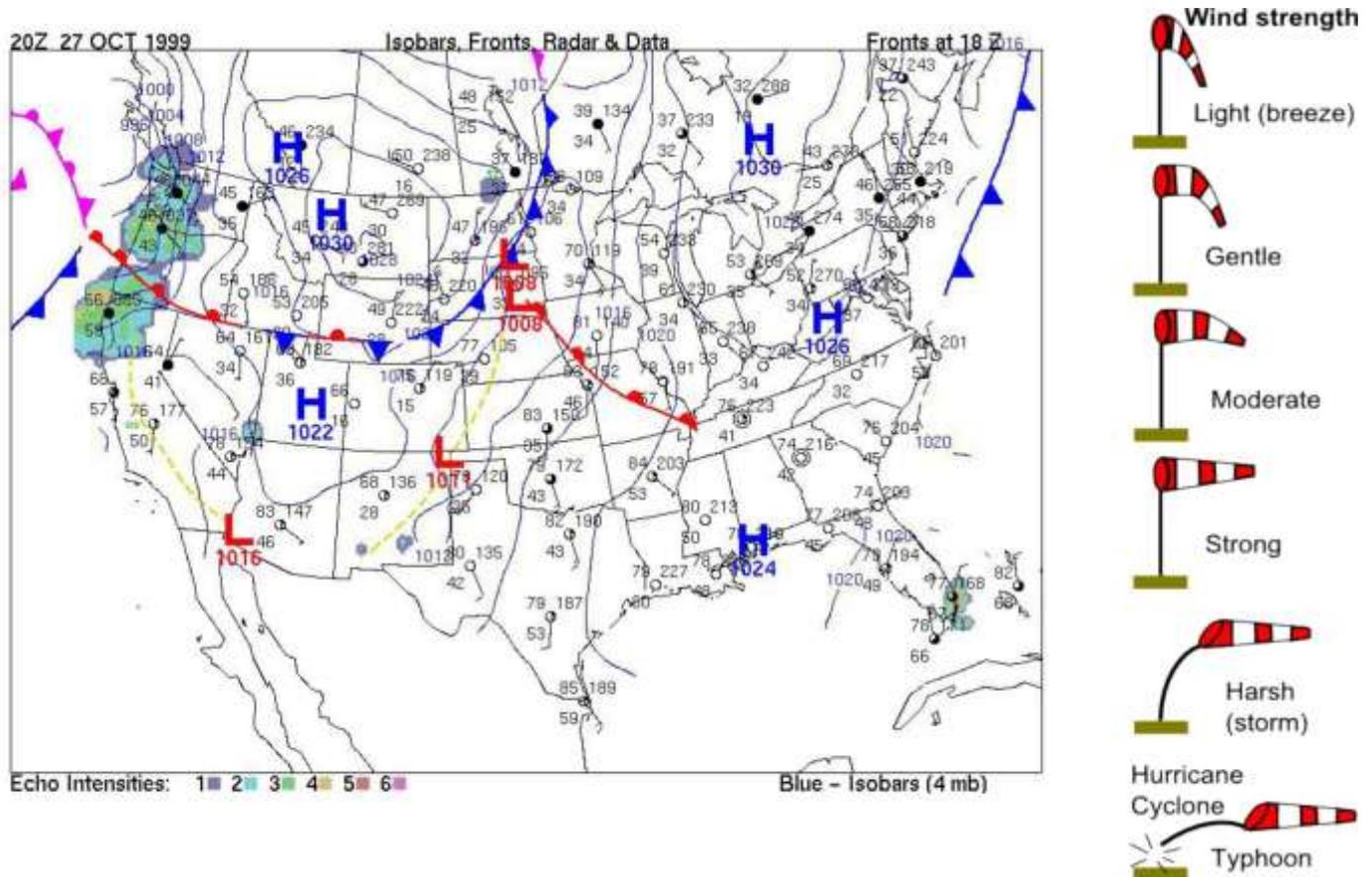


Figure 3.50.

Pour s'entraîner

42) Un message de la tour vous prévient d'un danger. Il comporte le mot "gust".

Cela concerne :

- a) des vols d'oiseaux
- b) une tempête de poussière
- c) des rafales de vent
- d) des précipitations

43) Traduire : la région est couverte par une épaisse couche de nuages.

- a) the region is covered with a big couch of clouds
- b) the area is covered with a thick layer of clouds
- c) the surface is overcasted with a huge coach of clouds
- d) the region is overcasted with a big coach of clouds

44) Vous avez reçu un message météo (TAF) comportant les trois informations suivantes : (SNSH) Snow Shower ; (SCT) Scattered ; (NOSIG) No Significant Change.

Vous comprenez que :

- a) des averses de neige sont attendues
- b) la nébulosité est de 3 à 4 octas
- c) le temps ne va pas changer dans les prochaines heures
- d) les réponses a, b, et c sont correctes

45) Vous prenez des informations sur un aéroport écossais et vous lisez ceci :

"Edinburgh : The airport is open and operating a near normal service today. Due to snow showers overnight, there are a small number of delays and cancellations. Therefore we are advising passengers to contact their airline for further information and to allow extra time for their journey to the airport."

Vous en déduisez :

- a) des averses de neiges sont attendues la nuit prochaine et elles risquent de perturber légèrement le trafic.
- b) il a neigé la nuit précédente mais l'aéroport est totalement nettoyé et opérationnel
- c) la neige qui est déjà tombée a légèrement perturbé l'aéroport qui fonctionne quasi normalement.
- d) la neige tombe actuellement et de très nombreux vols sont retardés ou annulés.

46) En parlant d'une piste, vous entendez : « snow removal in progress runway 33 ».

Vous comprenez :

- a) il neige sur la piste 33
- b) progression de la neige piste 33
- c) piste 33 en cours de déneigement
- d) la piste 33 est parfaitement dégagée

47) Comment dit-on "vent de face" en anglais?

- a) gust
- b) thrust
- c) headwind
- d) windshield

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

- V. Les zones aéronautiques
- VI. L'aérodrome
- VII. Règles de vol

Partie 3 : Principes et outils de la Navigation

- IV. La mesure du temps
- V. Se repérer sur la terre
- VI. Déclinaison et dérive
- VII. 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 turbopulseurs 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 :

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

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.



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 CO₂, 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



9) Après une plongée sous-marine avec paliers à la remontée, on peut entreprendre un vol :

- a) Après un délai de 48 h.
- b) Immédiatement.
- c) Après un délai de 12 h.
- d) Après un délai de 24 h.

10) Le système de détection vestibulaire nécessaire à l'orientation de l'homme est situé dans :

- a) les articulations
- b) les oreilles
- c) l'estomac
- d) le cerveau

11) Qu'est-ce que l'effet tunnel ?

- a) un phénomène météorologique dû à un couloir de nuages.
- b) la concentration du pilote sur un nombre limité d'informations et d'observations.
- c) le fait pour un aéronef d'être pris entre deux couches nuageuses.
- d) le fait pour un pilote d'être désorienté en raison de l'absence de repère visuel autre qu'une faible lumière au travers du nuage (Halo).

12) Après la mise en route, vous constatez que l'alternateur ne débite pas de courant, vous décidez en tant que commandant de bord :

- a) d'effectuer le vol, cet équipement n'étant pas indispensable pour votre navigation
- b) d'alerter le chef mécanicien pour avoir son avis et décoller ensuite
- c) d'annuler le vol, votre aéronef n'étant pas en état de voler
- d) de maintenir le vol en prévoyant de limiter la consommation électrique

13) Lors d'un vol de nuit, vous apercevez un aéronef. Vous voyez ses feux de navigation, vert à votre gauche et rouge à votre droite. Cet aéronef :

- a) suit la même route que vous.
- b) vient face à vous.
- c) vient de votre droite.
- d) vient de votre gauche.

14) La plupart des accidents a lieu :

- a) en vol de croisière en raison d'un arrêt moteur.
- b) en vol par collision.
- c) au-dessus des zones maritimes.
- d) au décollage et à l'atterrissage.

15) L'action prioritaire à entreprendre lors d'une panne moteur au décollage sur un aéronef monomoteur est :

- a) lancer un appel de détresse à la radio.
- b) tenter de redémarrer le moteur pour faire un circuit basse hauteur.
- c) au-dessus des zones maritimes.
- d) se poser droit devant avec une altération de cap maximale de 30°.

16) Pour la sécurité des vols, la qualité qu'il faut avoir en priorité est :

- a) une bonne connaissance de soi, de ses limites, de sa machine.
- b) une bonne habilité de pilotage.
- c) un grand nombre d'heures de pilotage.
- d) une bonne connaissance de la réglementation.

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.

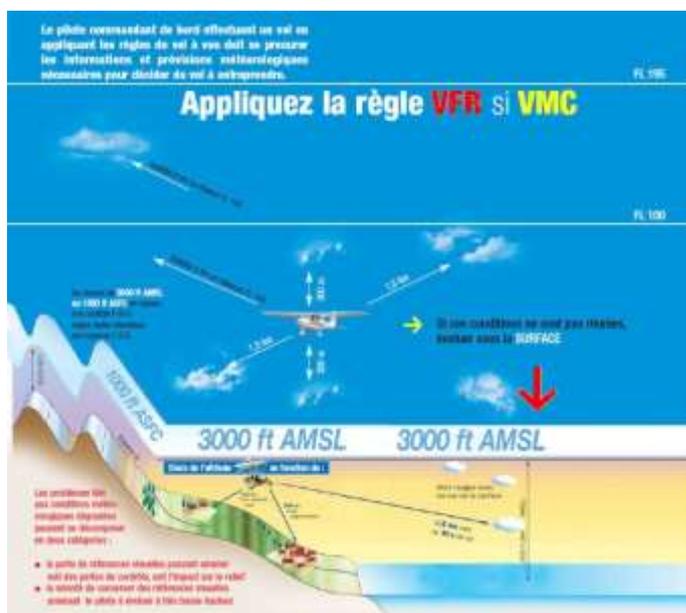


Figure 4.1.

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	1500 m horizontalement 300 m (1000 ft) verticalement	1500 m horizontalement 300 m (1000 ft) verticalement	Hors des Nuages En vue de la Surface
Visibilité minimale en Vol	8km à et au dessus du FL100 5km en dessous du FL100	8km à et au dessus du FL100 5km en dessous du FL100	1500m 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

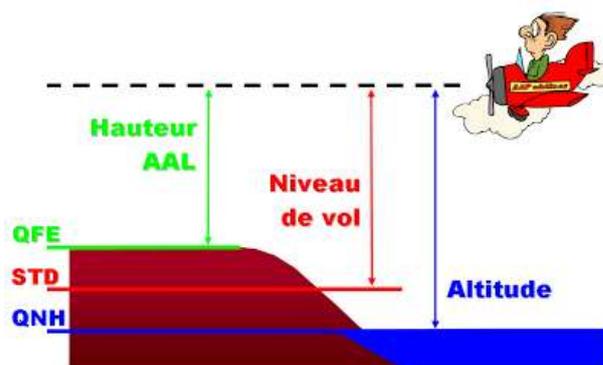


Figure 4.2.

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

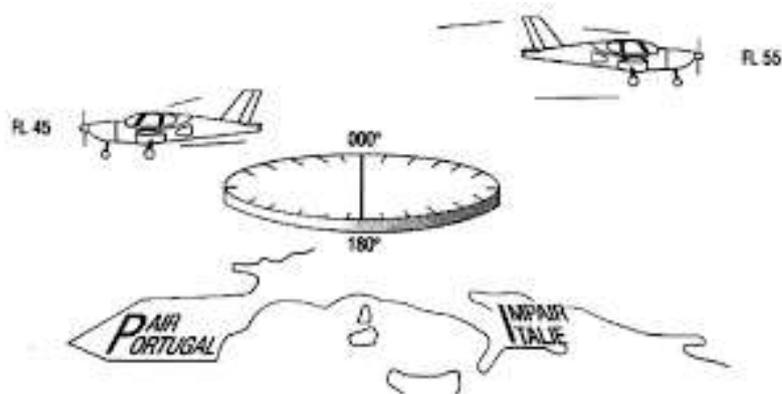


Figure 4.3.

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**). 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.

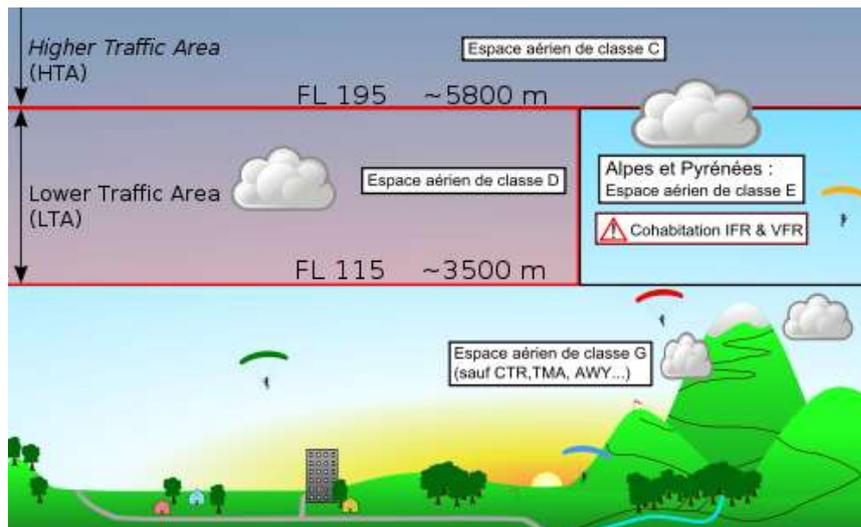


Figure 4.4.

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).

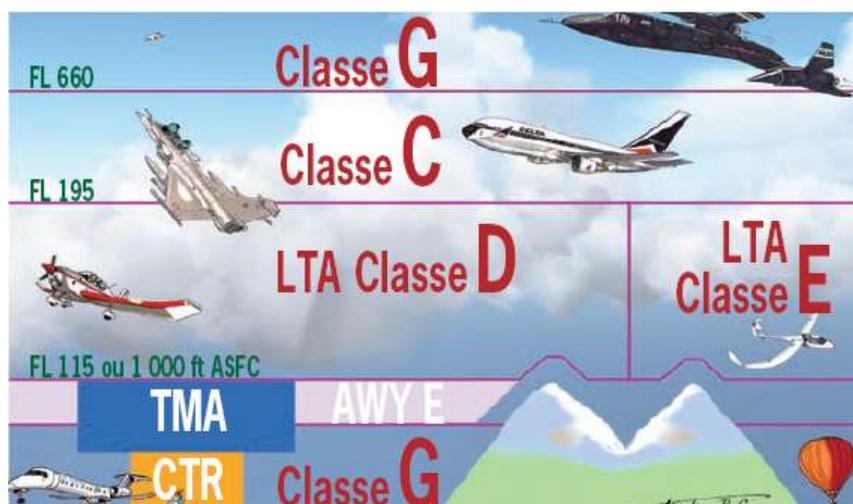


Figure 4.5.

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 :

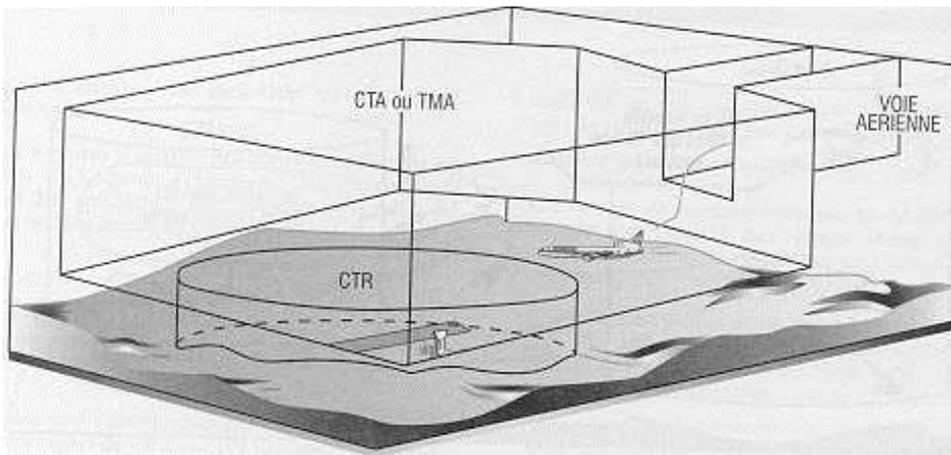


Figure 4.6.

- 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.

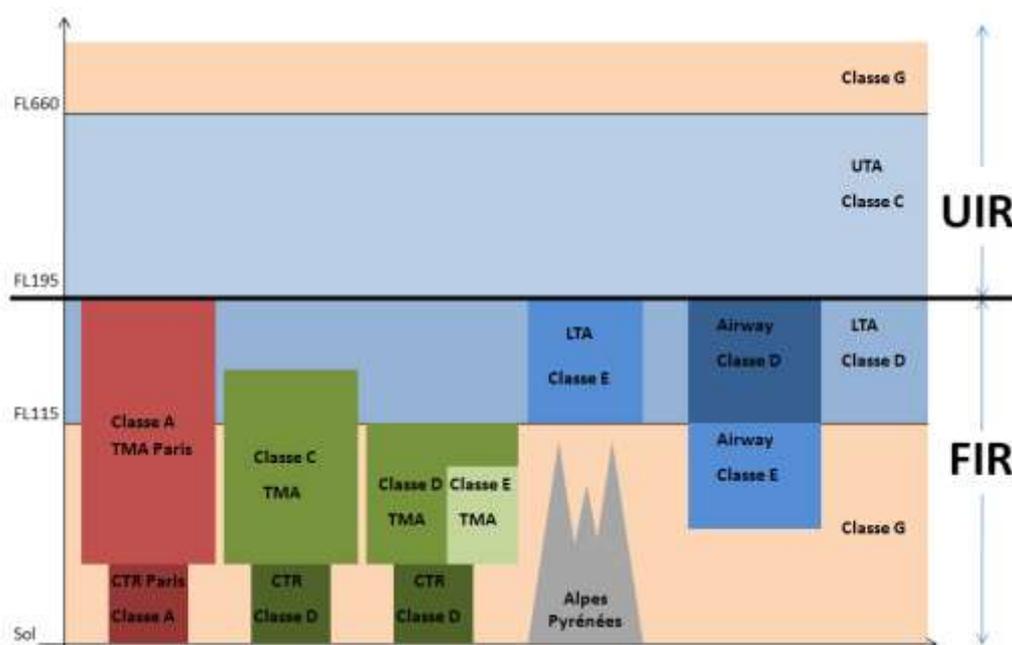


Figure 4.7.

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.

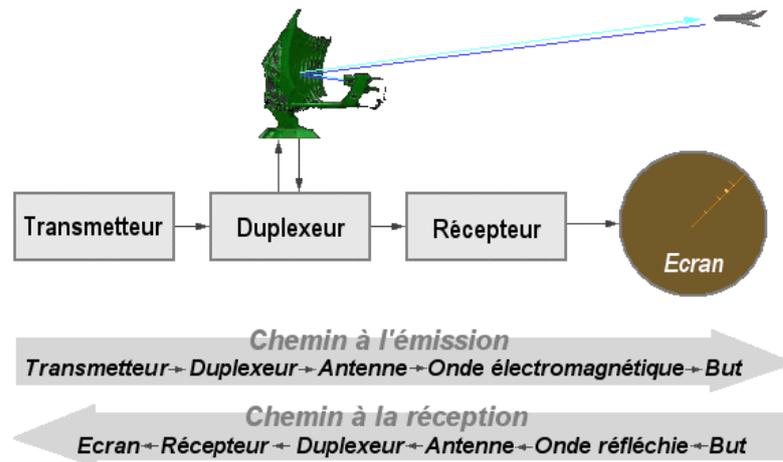


Figure 4.8.

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.

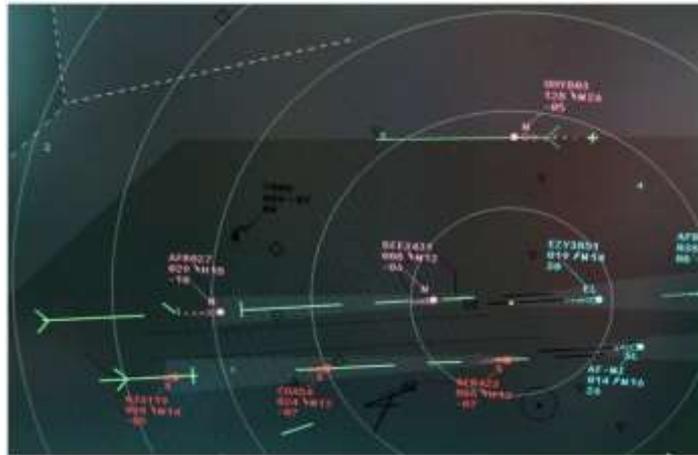


Figure 4.9.

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	SB				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)

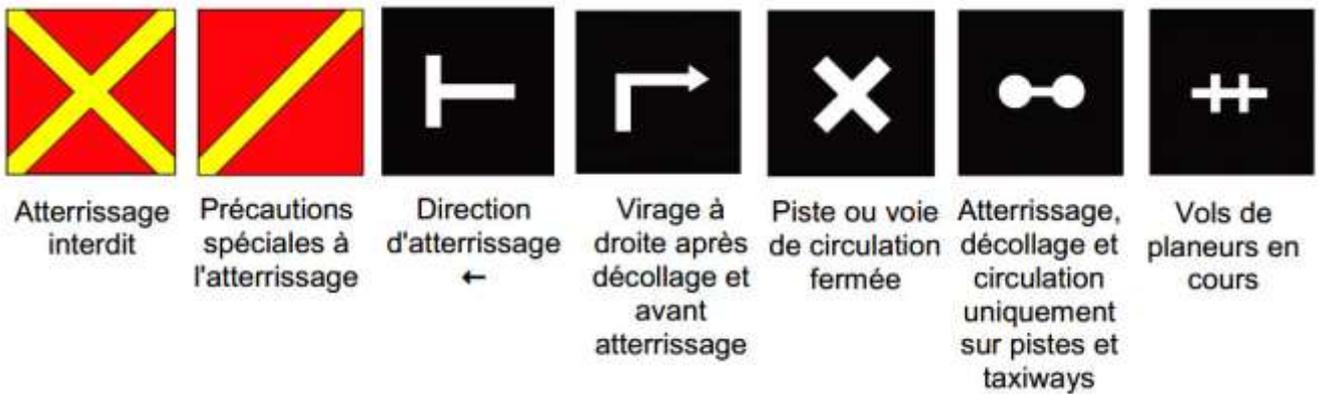
L'aire de trafic : stationnement, avitaillement, entretien

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)

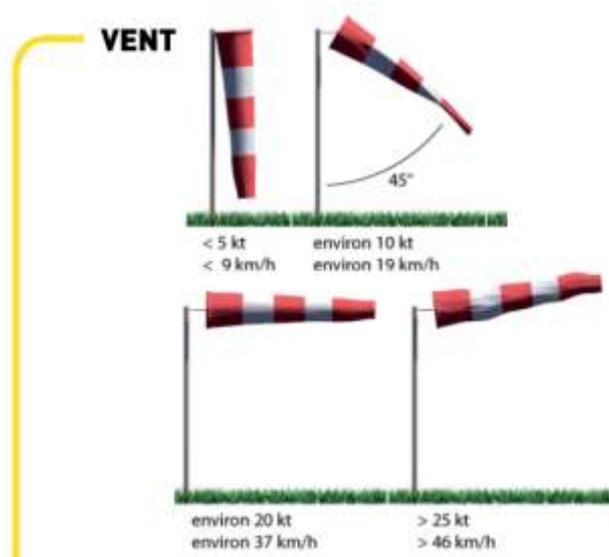


Figure 4.12.

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

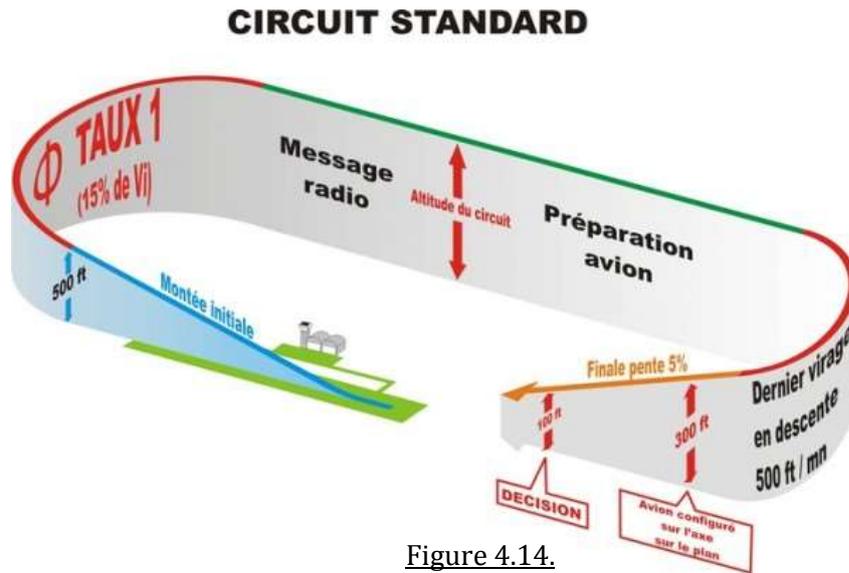


Figure 4.14.

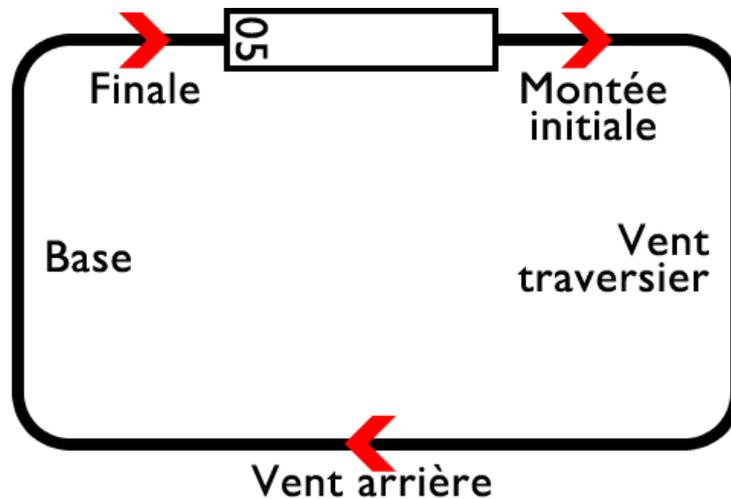


Figure 4.15. Tour de piste main droite

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 :

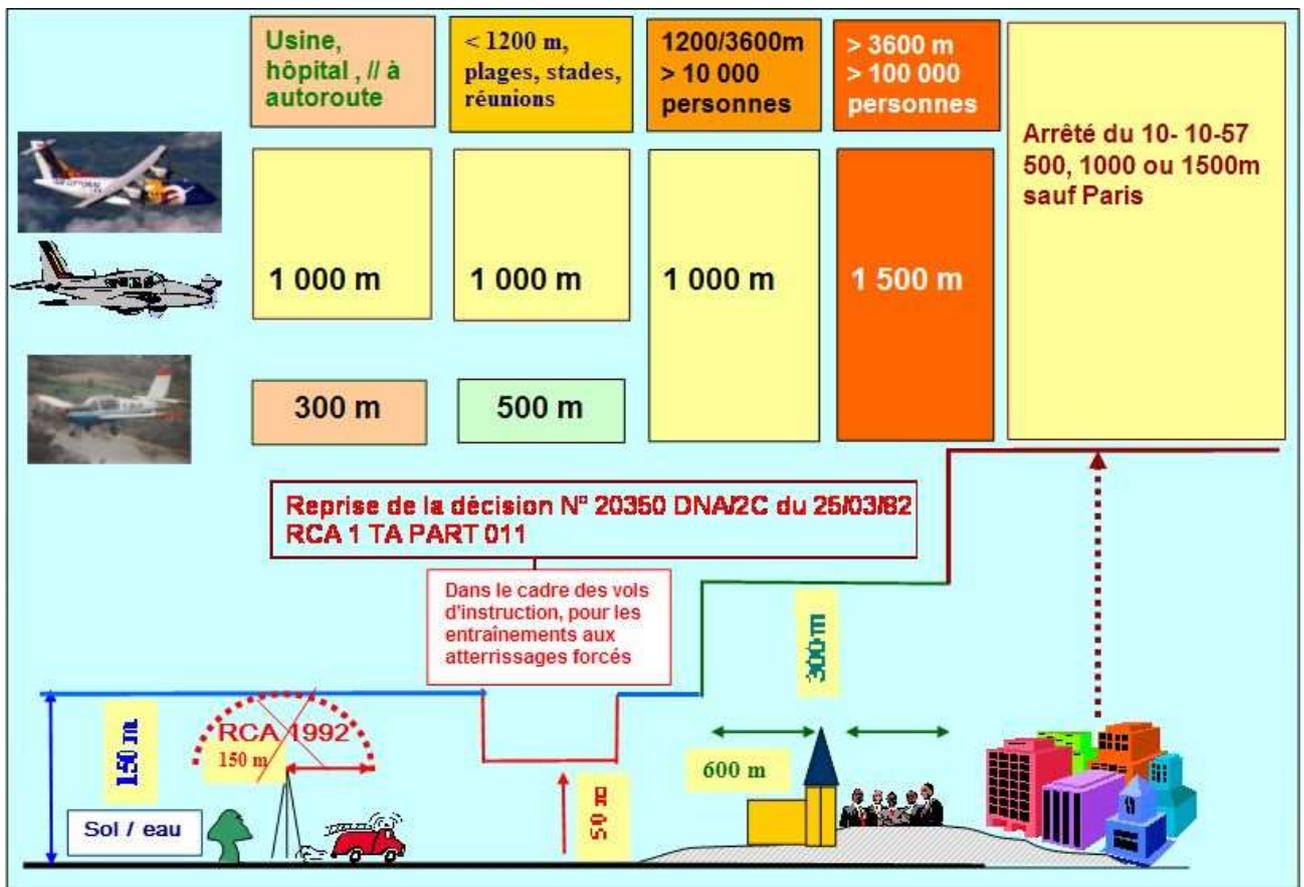


Figure 4.16.

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.

RÈGLES DE SURVOL.			
A - AÉRONEFS MOTOPROPULSÉS		Hauteurs AGL minimales de survol (en pieds). <i>Minimum AGL heights (in feet).</i>	
Agglomérations, installations diverses, réserves et parcs naturels dont le survol est réglementé <i>Built-up areas, various installations, nature reserves and parks over which flight is restricted.</i>			
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-engine 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>		Règles de l'air / Rules of the air 1000 Ft - Rayon / Radius 600 m	
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> 1000 Ft	
Installations portant une marque distinctive <i>Site with special marking</i>			
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>		1600 Ft	
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>		3300 Ft	
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>		5000 Ft	
Ville de Paris <i>The city of Paris</i>	(ZONE P 23)	6600 Ft AMSL	
B - AÉRONEFS NON MOTOPROPULSÉS			
La plus élevée des 2 hauteurs suivantes: -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 Following heights whichever is higher: -height permitting LDG without endangering people and properties -1000 Ft above higher obstacle in 600m radius from ACFT			

Figure 4.17.

Pour s'entraîner

17) Un aéronef en VFR désire entrer dans une zone terminale d'aérodrome (TMA) de classe D :

- a) aucune formalité n'est requise.
- b) il doit demander une clearance radio.
- c) cet espace lui est interdit.
- d) il suffit d'informer le contrôleur.

18) Un aéronef doit changer d'espace aérien; le contact radio :

- a) est inutile car aucune formalité n'est requise.
- b) est inutile en vol à vue (VFR) et obligatoire en vol aux instruments (IFR).
- c) est toujours obligatoire.
- d) est obligatoire ou non selon les espaces concernés.

19) Sur un aérodrome non contrôlé, l'éventuelle fréquence sur laquelle les pilotes peuvent échanger de l'information est nommée :

- a) fréquence d'auto-information.
- b) fréquence d'alerte.
- c) fréquence de courtoisie.
- d) fréquence de détresse.

20) Un aérodrome ouvert à la CAP :

- a) n'est ouvert qu'aux appareils d'Etat.
- b) est ouvert à la circulation aérienne publique.
- c) est interdit aux ULM.
- d) nécessite un certificat d'aptitude à se poser.

21) Pour voler selon les règles VFR, le pilote doit avoir des conditions météorologiques minimales désignées comme suit :

- a) I.F.R.
- b) V.F.E
- c) V.M.C
- d) I.M.C.

22) La visibilité minimale pour entreprendre un vol VFR est de :

- a) 1 km.
- b) 1,5 NM.
- c) 1 500 ft.
- d) 1 500 m.

23) En vol à voile, lorsque deux planeurs arrivent face à face, dont un avec la montagne sur sa droite :

- a) le planeur ayant la montagne à sa droite à la priorité, il poursuit sa trajectoire.
- b) chacun doit dégager sur sa droite.
- c) le planeur ayant la montagne à sa gauche doit dégager sur sa droite.
- d) les réponses a et c sont exactes.

24) Un niveau de vol (Flight Level) a pour référence :

- a) le QNH.
- b) la pression au niveau de la mer.
- c) la pression 1 013,25 hPa
- d) la pression au sol (QFE).

25) Un pilote effectuant un vol à vue (VFR) sur une route magnétique 200° peut adopter le niveau de vol : a) FL 40 b) FL 50 c) FL 45 d) FL 55

26) Le transpondeur est un équipement permettant :

- a) de piloter automatiquement l'avion.
- b) d'identifier et suivre le vol à l'aide d'un radar sol.
- c) de pratiquer le vol en VFR au-dessus du FL195.
- d) d'effectuer un vol sans visibilité.

27) En dehors des zones de forte densité, d'atterrissage et de décollage, un aéronef doit respecter une hauteur minimale de :

- a) 500 m au-dessus du sol ou de l'eau.
- b) 1000 ft au-dessus du sol ou de l'eau.
- c) 500 ft au-dessus du sol ou de l'eau.
- d) Il n'y a pas de hauteur minimale.

28) La hauteur minimale de survol d'un rassemblement de plus de 100 000 personnes est :

- a) 150 m.
- b) 1500 m.
- c) 2000 m.
- d) 3000 m.

29) Le circuit de piste doit s'effectuer dans l'ordre suivant :

- a) étape de base, montée initiale, dernier virage et vent arrière.
- b) vent arrière, étape de base, montée initiale, vent traversier, dernier virage et finale.
- c) montée initiale, vent arrière, étape de base, dernier virage et finale.
- d) montée initiale, étape de base, vent traversier, vent arrière dernier virage et finale.

30) La piste en service est la 21. Quels caps successifs devra prendre le pilote pour effectuer un tour de piste main gauche ? (vent traversier, vent arrière, étape de base, finale)

- a) 300° - 30° - 120° - 210°.
- b) 30° - 120° - 300° - 210°.
- c) 120° - 30° - 300° - 210°
- d) 210° - 120° - 300° - 30°.

31) Quelle est la zone dont le survol est strictement interdit :

- a) parc naturel.
- b) zone "D".
- c) zone "R".
- d) zone "P".

32) Sur un aérodrome, l'altimètre indique l'altitude par rapport au terrain quand il est calé sur :

- a) le calage standard.
- b) le QNH.
- c) le QFE.
- d) le QFU.

33) En croisière à 4500 ft QNH, un pilote veut rejoindre un aérodrome situé à 150 m d'altitude. Le circuit de piste de cet aérodrome s'effectue à 1000 ft sol. Avec un taux de chute de 500 ft/min, la descente, jusqu'à intégration dans le circuit, durera : a) 6 min. b) 7 min. c) 8 min. d) 9 min.

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° par rapport à la normale au plan de l'orbite Terre-Soleil (écliptique).

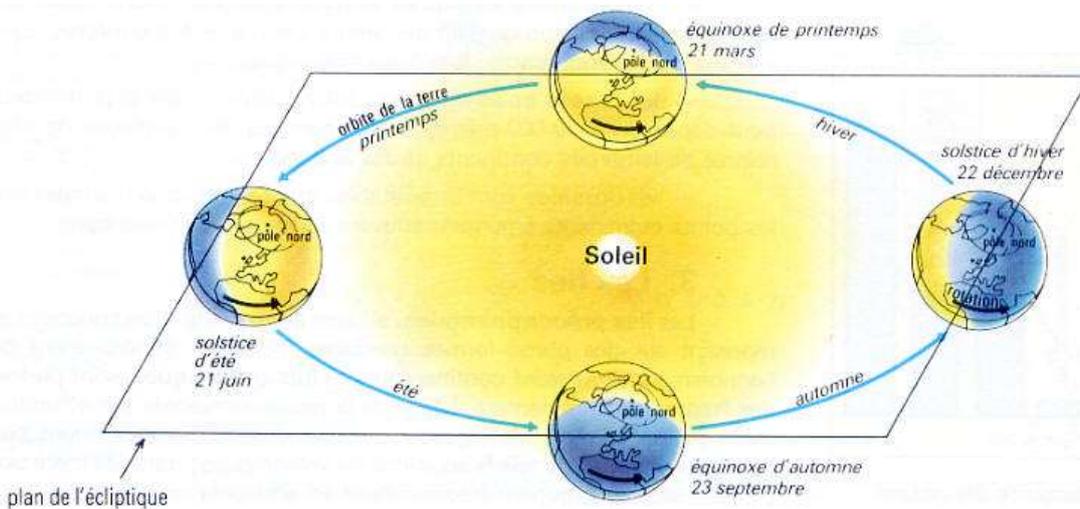


Figure 4.18.

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

- **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.

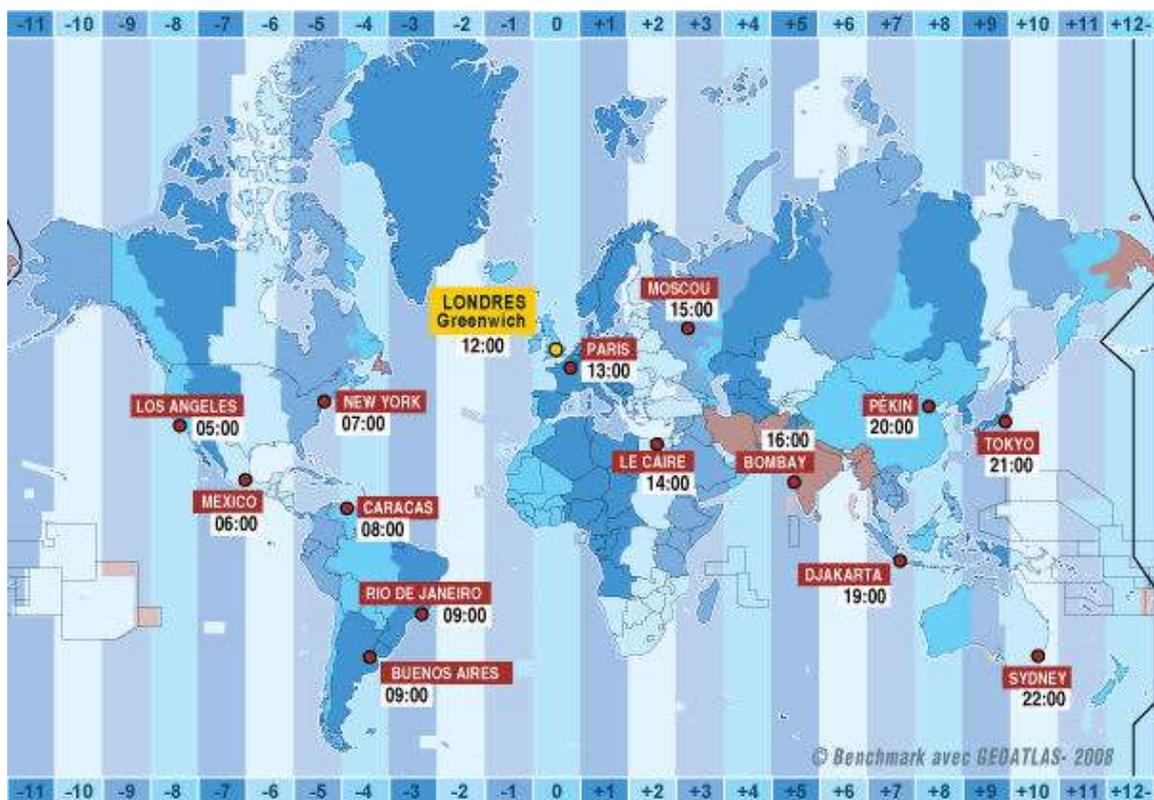


Figure 4.19.

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.

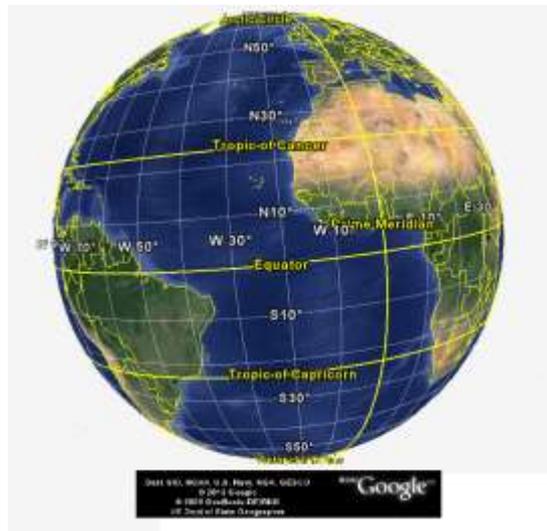


Figure 4.21.

La latitude varie de 0° à 90° (indiquée par 2 chiffres). Par exemple pour Toulouse : 43°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° à 180° (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° 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)

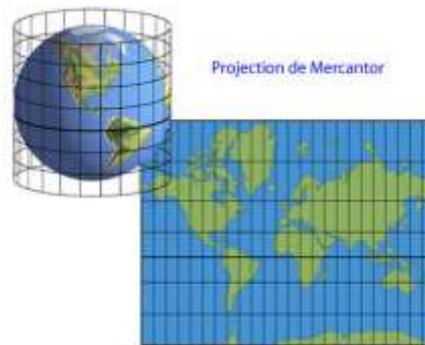


Figure 4.23.

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)

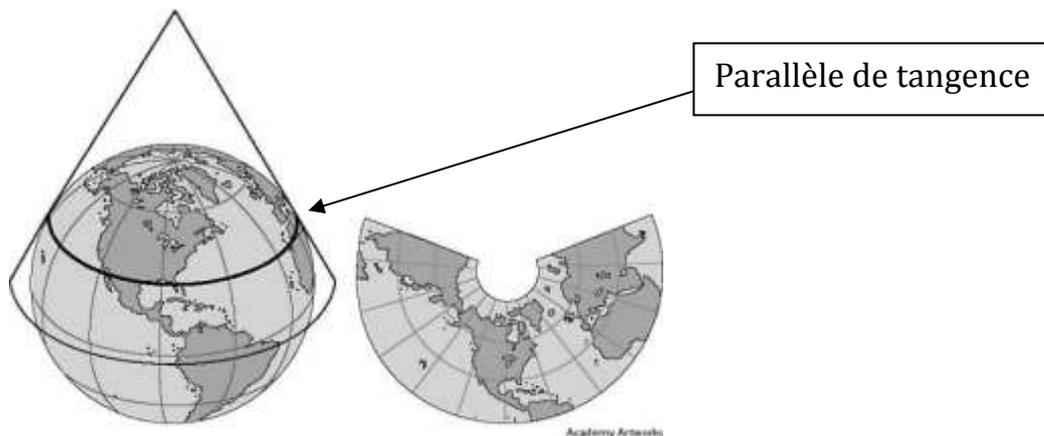


Figure 4.24.

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 (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

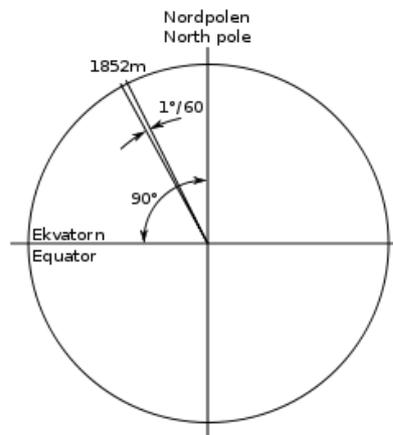


Figure 4.25

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^e (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.

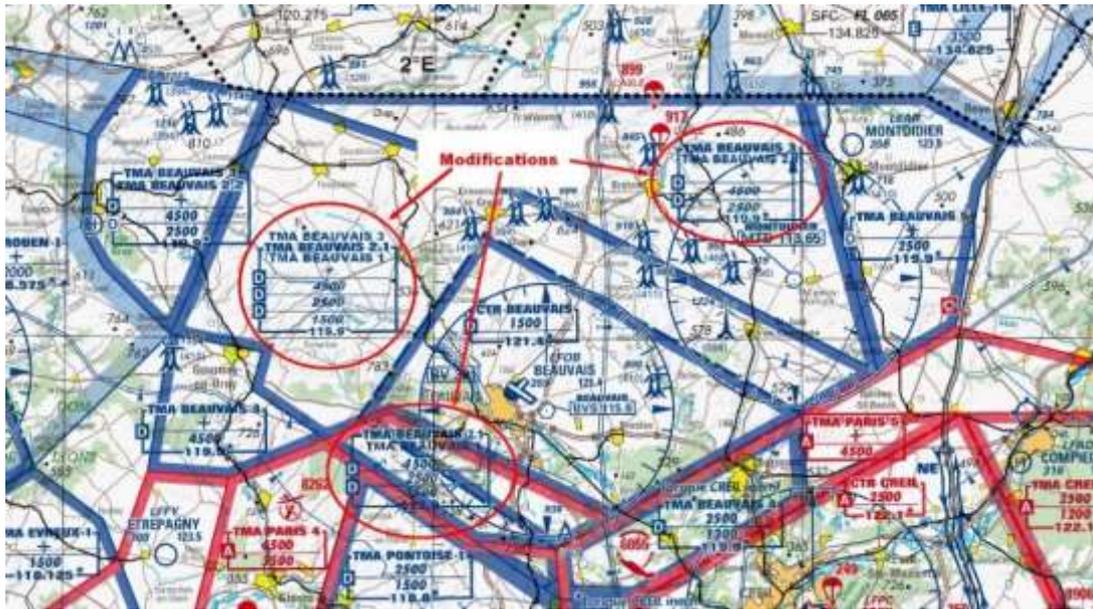
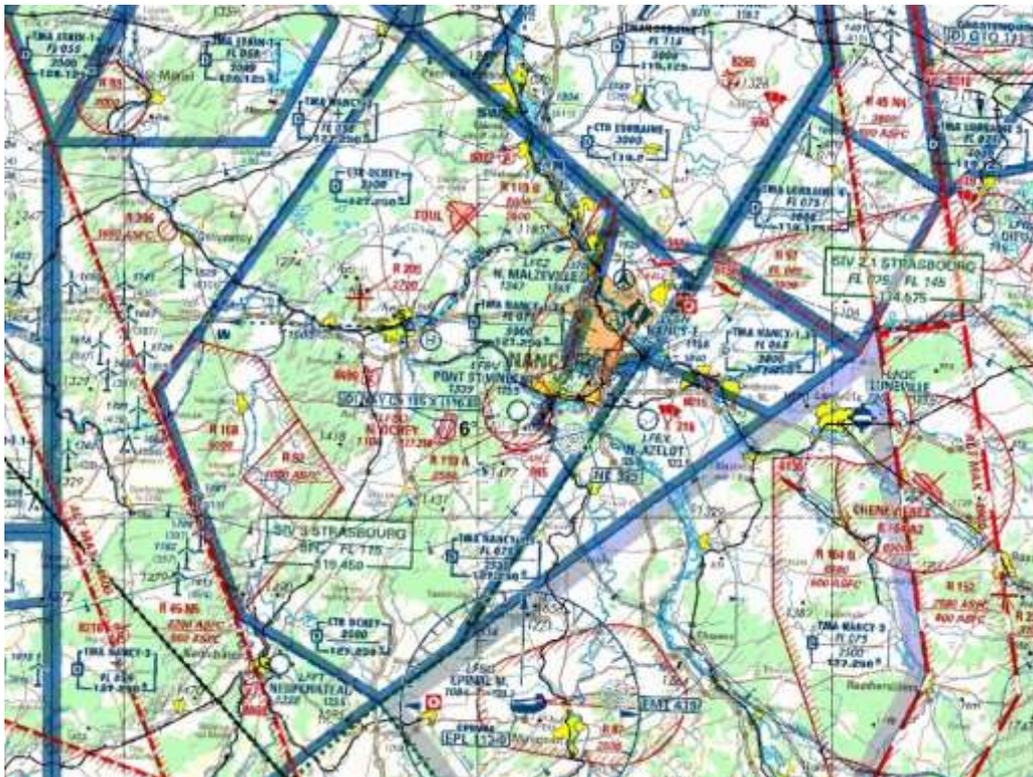


Figure 4.26.

- **La Carte SIA (France) :**

C'est une carte au 1/1 000 000^e (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 vrai)

Le Nord magnétique : Il existe un champ magnétique terrestre.

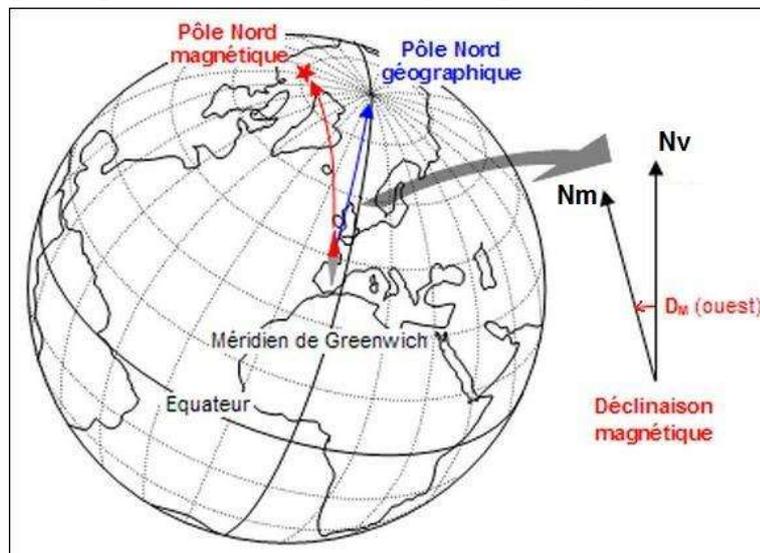


Figure 4.29.

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.

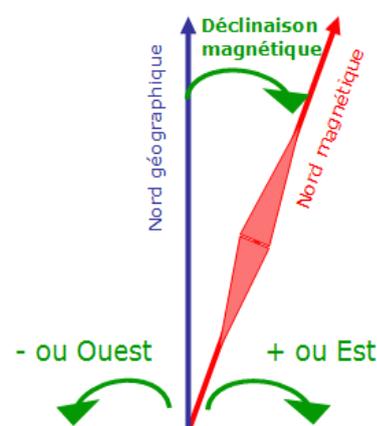


Figure 4.30.

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.

$$\text{Route} = \text{Cap} + \text{Dérive}$$

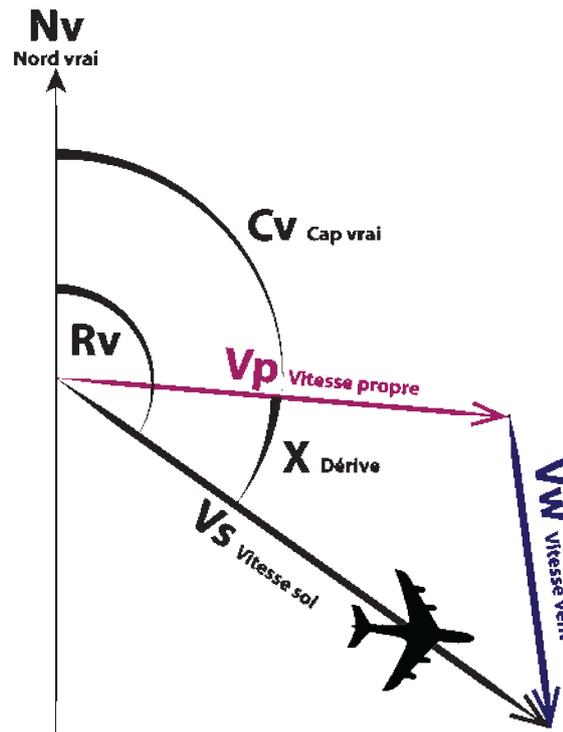


Figure 4.31.

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).

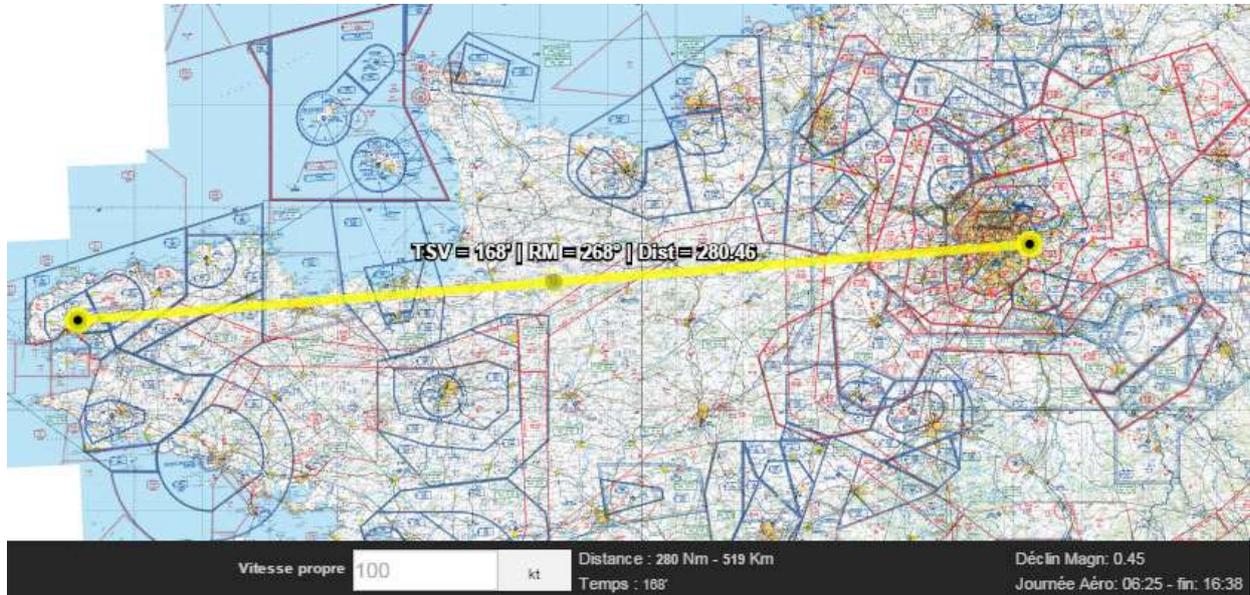


Figure 4.33.

C. La radionavigation

La **radionavigation** consiste à naviguer de balises en balises, qui émettent des ondes électromagnétiques.

1. Le VOR (VHF OMNI RANGE)

Il est quelques fois implanté sur un aéroport, 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 ≈ affichage OBS (QDM)
Indication TO

Cap avion ≈ 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.

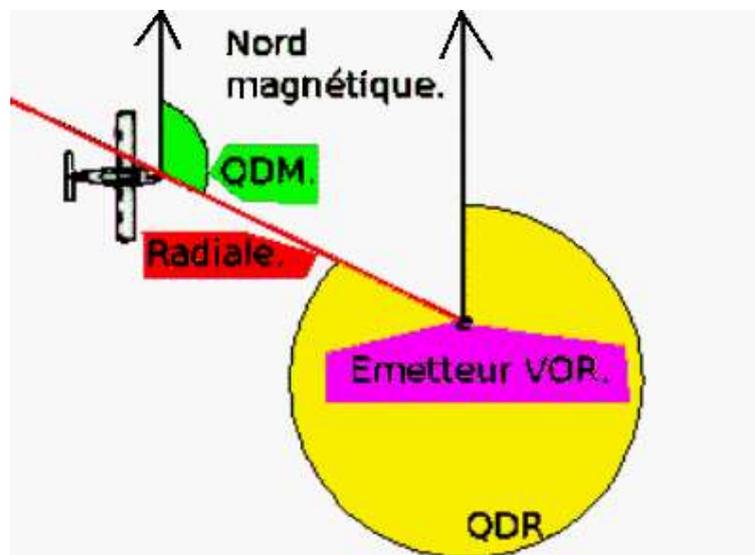


Figure 4.36.

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.

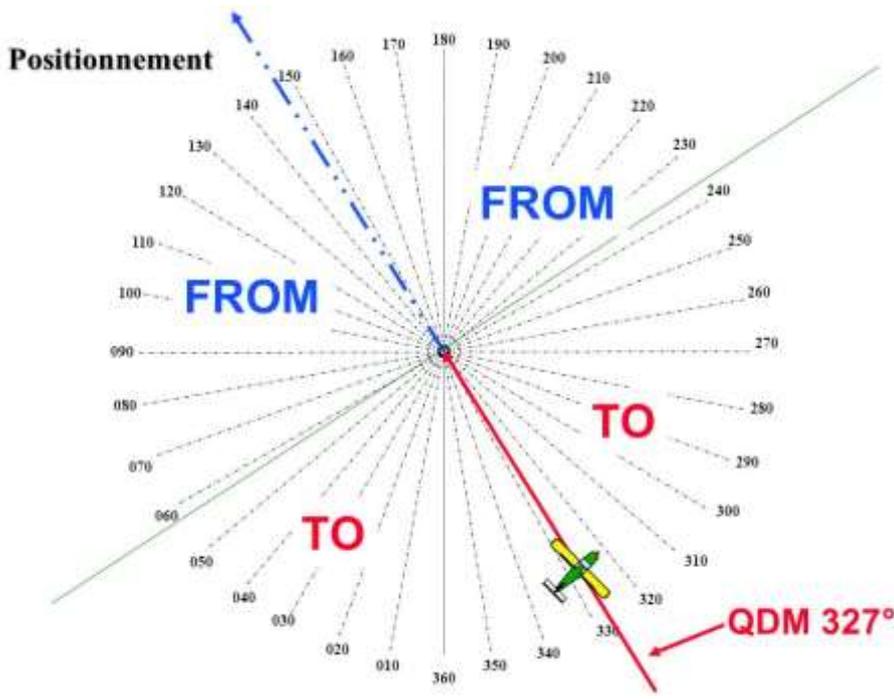


Figure 4.37.

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.

2. 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

3. 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.

Pour s'entraîner

CARTOGRAPHIE ET REFERENCES

- 34) Sur une carte de radionavigation dont l'échelle est de 1/1 000 000ème, 1 cm représente :** a) 10 km b) 1 km c) 100 m d) 10 m
- 35) Sur un méridien terrestre, un arc de 1 minute correspond à une distance de :**
a) 1 mile terrestre b) 1 mille nautique c) 60 milles nautiques d) 60 kilomètres
- 36) La différence d'heure de coucher du soleil sur deux aérodromes séparés de 7° 30' en longitude est :** a) 1 heure b) 15 min c) 30 min d) il n'y a pas de différence
- 37) On détermine la position d'un point sur la surface de la Terre par sa latitude et sa longitude. Les latitudes varient de**
a) 0° à 180° et les longitudes de 0 à 90°
b) 0° à 90° et les longitudes de 0 à 360°
c) 0° à 90° et les longitudes de 0 à 180°
d) 0° à 180° et les longitudes de 0 à 360
- 38) Sur une carte OACI au 1/500 000, on mesure entre deux aérodromes 28 cm. La distance qui les sépare sur le terrain est :**
a) 56 km. b) 28 NM. c) 140 km. d) 280 km.
- 39) Combien de temps faut-il à la terre pour tourner sur elle-même de 15° :**
a) 1 heure. b) 3 heures. c) 2 heures. d) 6 heures.
- 40) Deux points sont situés par 42°N / 6°E et 45°N / 6°E. La distance qui les sépare est :** a) 180 km. b) 180 NM. c) 300 km. d) 300 NM.
- 41) Vous mesurez sur votre carte une Rv 050. La déclinaison est de 6°W, la route magnétique est :** a) 056° b) 044° c) 050° d) 230°.
- 42) Les lignes d'égale déclinaison s'appellent des :**
a) isothermes. b) isogones. c) isobares. d) isocèles.

NAVIGATION

- 43) L'angle compris entre la direction du nord et la trajectoire au sol suivi par l'aéronef est :**
a) le cap. b) la déclinaison. c) la dérive. d) la route.

44) Le cheminement consiste :

- a) à suivre des lignes naturelles ou artificielles du sol facilement reconnaissables.
- b) à suivre les indications du compas.
- c) à suivre les indications de l'aiguille du récepteur VOR.
- d) à demander son chemin par radio VHF.

45) Un avion a une vitesse sol de 120 kt, donc un facteur de base = $60/120 = 0,5$. Pour parcourir une distance de 50 NM, il mettra :

- a) 2 min 30 s.
- b) 5 min.
- c) 25 min.
- d) 50 min.

46) Vous volez à bord d'un avion d'une ville A qui se trouve située par $45^{\circ}\text{N } 5^{\circ}\text{W}$ vers une ville B située par $45^{\circ}\text{N } 5^{\circ}\text{E}$. Le soleil se couchera à la ville B :

- a) plus tôt qu'à la ville A
- b) plus tard qu'à la ville A
- c) à la même heure qu'à la ville A
- d) cela dépend de la saison

47) Vous devez parcourir une distance de 370 km de jour avec une $V_p = 100$ kt. Le coucher du soleil au point d'arrivée est à 16 h 30. Pour rejoindre votre destination, vous devez décoller au plus tard à :

- a) 14 h 00
- b) 14 h 30
- c) 15 h 00
- d) 15 h 30

RADIONAVIGATION

48) Pour l'utilisation d'un GPS en vol VFR, il est conseillé :

- a) de s'assurer que l'appareil est homologué pour les conditions du vol projeté.
- b) d'avoir une connaissance suffisante de l'équipement utilisé.
- c) de mettre régulièrement à jour la base de données.
- d) toutes les propositions sont exactes.

49) Le radiocompas indique :

- a) Une route vraie.
- b) Un gisement.
- c) Une route magnétique.
- d) Un cap magnétique.

50) Un V.O.R. est un équipement :

- a) pneumatique.
- b) électronique fonctionnant avec un radar.
- c) jouant le même rôle qu'un transpondeur.
- d) de radionavigation qui permet au pilote de se situer par rapport à une balise.

51) Les indications d'un V.O.R. ont pour référence le nord :

- a) magnétique.
- b) géographique.
- c) vrai.
- d) compas.

52) Le D.M.E. est un équipement qui :

- a) indique la pente à suivre pour l'atterrissage.
- b) est réservé au trafic militaire.
- c) est couplé au GPS et sert d'alarme de proximité du sol.
- d) est couplé au V.O.R. et indique la distance le séparant de la balise.

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 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), ...

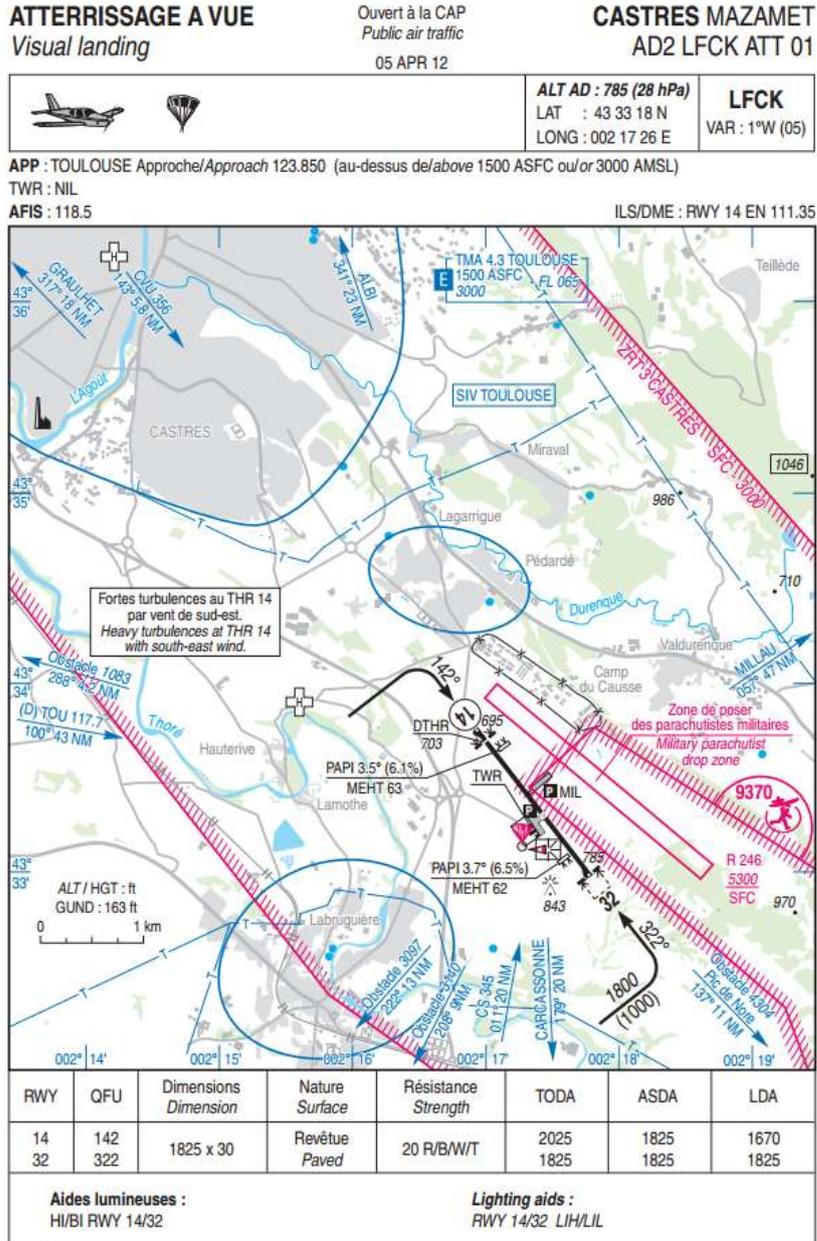


Figure 4.41

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 :

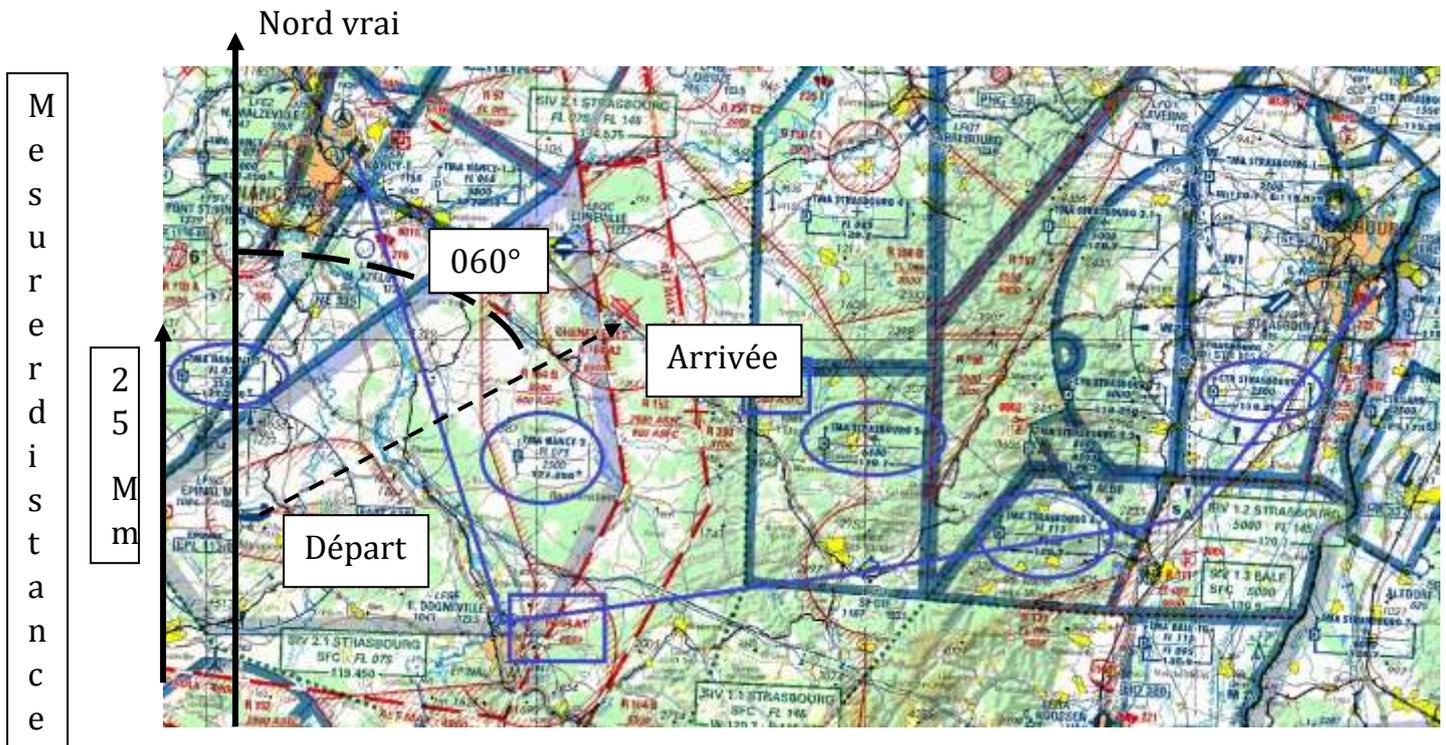


Figure 4.43.

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

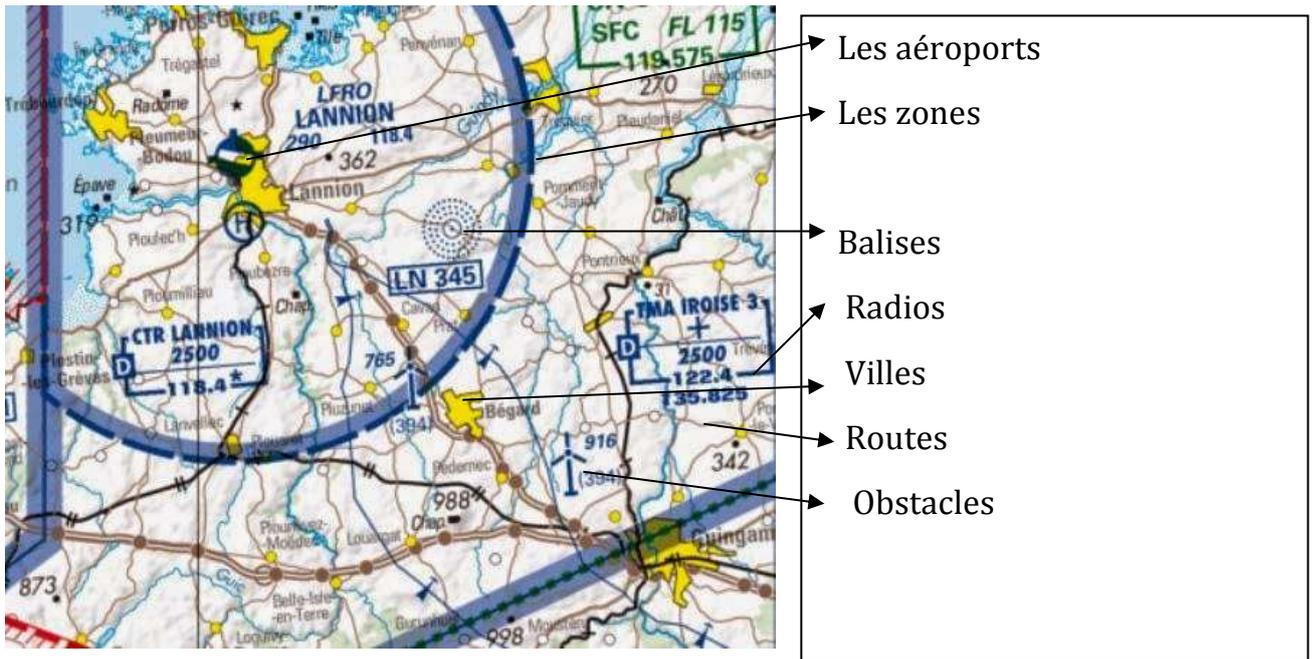


Figure 4.44.

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.

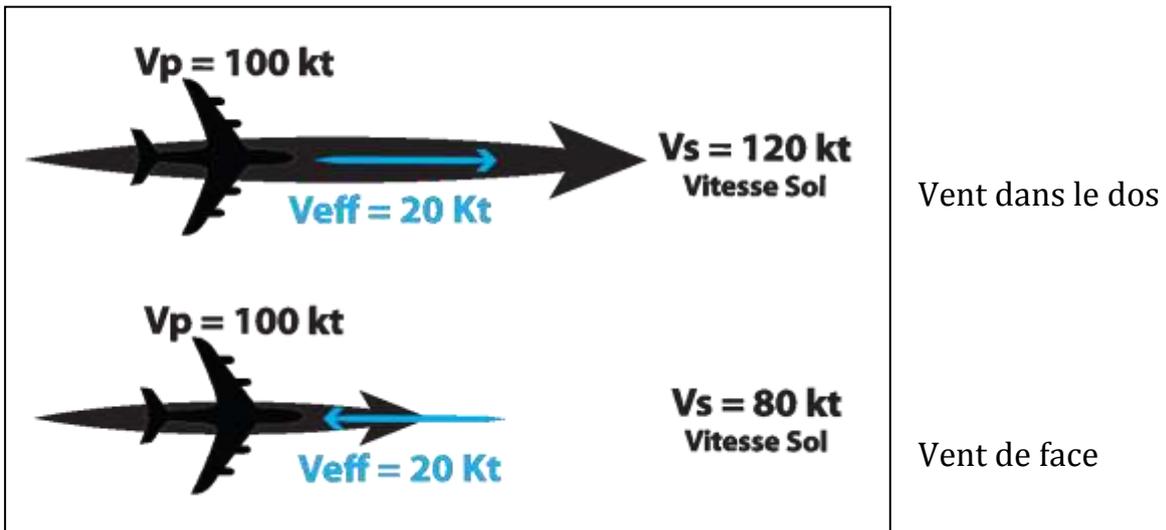


Figure 4.45.

Le **vent latéral ou traversier** génère une dérive, qui est l'angle entre le cap et la route : route = cap + dérive

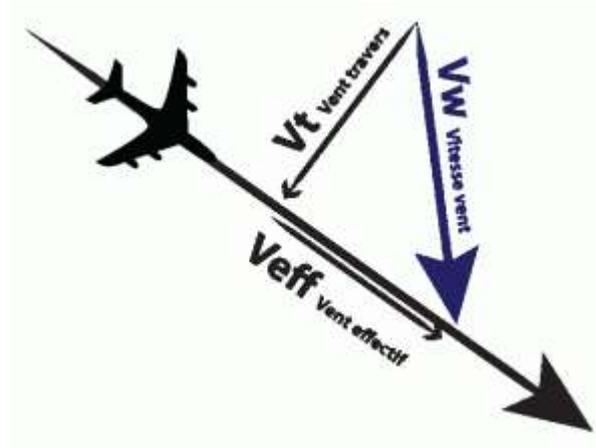


Figure 4.46.

Le vent vient de ma droite : J'ai une dérive gauche (-)

Le vent vient de ma gauche : J'ai une dérive droite (+)

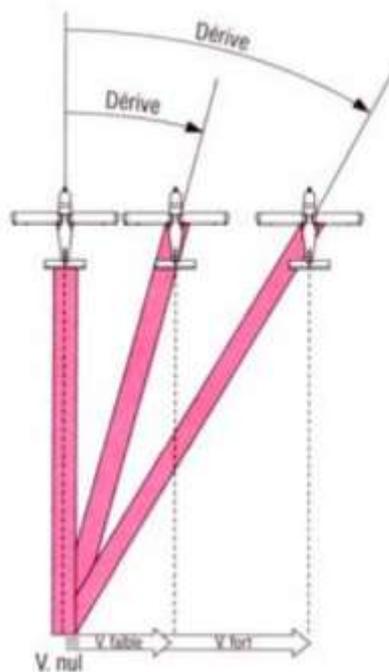


Figure 4.47.

La dérive dépend du rapport vent latéral / vitesse avion.

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			
Rm	Dist	sans w		Heures E/R	Reports					
		avec w			X	0	2	2.5	3	3.5
					Tc	3.5	3	2.5	2	0
200	18	12.5			Bes. La Vèze LFQM 122.200					
200	16	11.5			Salus les B.					
195	24	17			Lac Chalain					
350	15	10.5			Oyonnax LFLK 123.500					
325	11	8.5			Orgelet					
045	14	10			Lons le Saunier LFGJ 123.500					
035	27	19			Poligny					
					Bes. La Vèze LFQM 122.200					
TOTAL		124	88.5	Aérodrome d'arrivée LFLK						
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	bdp 2.800 ft						
Intégration 10'...	12	L	Atis							
Carbu. mini	105 L	Conso	V rotat°	100 KM/H	D. décollage					
Embarqué	120 L	25 L/H	V montée	120 KM/H	D. atterrissage					
Auton. départ...	4 H... 00 mn		V approche	110 KM/H	Date : 31.10 Avion : MS 886					
Extinct. mot. à...	18 H... 15 mn		Couché du soleil (HL) ... 17 H... 19 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)

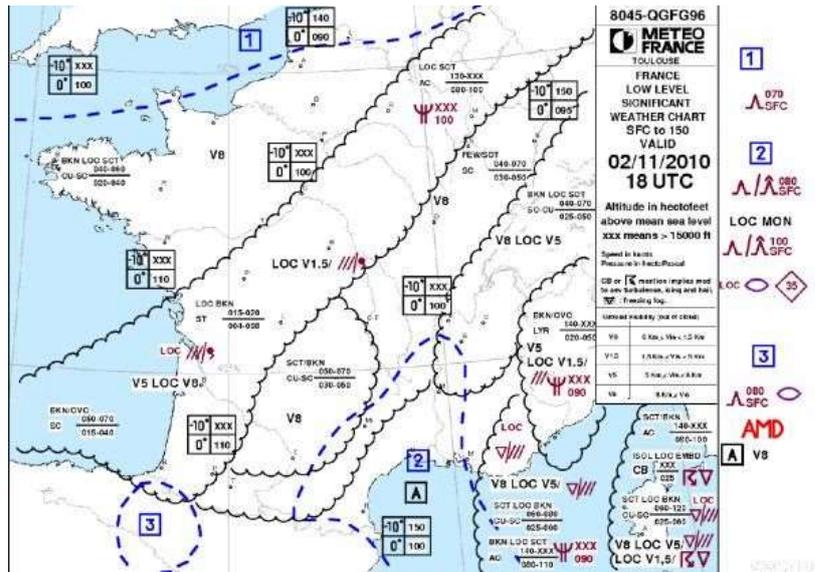


Figure 4.50.

- 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)

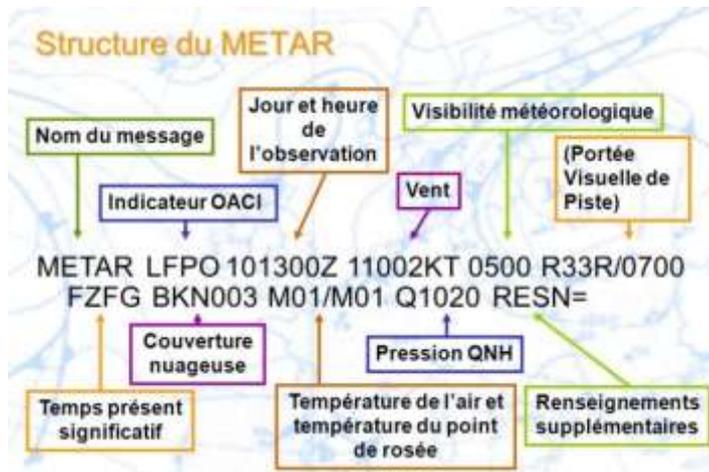


Figure 4.51.

- 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 detailed screenshot of the French Flight Plan Form (Formulaire de plan de vol / Flight plan form). The form is organized into several sections with various input fields and checkboxes. Key sections include:

- 1. TYPE DE VOL**: Fields for flight type (e.g., FF for IFR, FPL for VFR).
- 2. IDENTIFICATION DE L'AVION**: Fields for aircraft registration and type.
- 3. IDENTIFICATION DU PILOTE**: Fields for pilot name and license number.
- 4. DÉPART**: Fields for departure time, location, and altitude.
- 5. ARRIVÉE**: Fields for arrival time, location, and altitude.
- 6. ÉLÉMENTS DE TRAJET**: Fields for waypoints and altitudes.
- 7. REMARQUES**: A section for additional flight information.
- 8. AUTRES INFORMATIONS**: Fields for other relevant data.

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)

Pour s'entraîner

53) La dérive :

- a) est l'angle entre une route et un cap. b) dépend de l'orientation et de la force du vent.
c) est fonction de la vitesse de l'aéronef. d) toutes les propositions sont exactes.

54) Un avion vole au cap 360° à 80 kt, le vent est du 270° pour 15 kt. La dérive est :

- a) droite et négative. b) gauche et négative.
c) droite et positive. d) négligeable, compte tenu de la faible vitesse propre.

55) Un aéronef a une vitesse propre de 160 km/h et subit un vent d'ouest de 50 km/h. Pour faire route au nord, il devra suivre un cap de :

- a) 20°. b) 270°. c) 340°. d) 360°.

56) Si en vol vous devez suivre un cap magnétique de 250 alors que la route magnétique est de 270, vous en déduisez que :

- a) le vent est traversier et vient du sud.
b) le vent est traversier et vient du nord.
c) le vent souffle en provenance de l'est.
d) le vent souffle en provenance de l'ouest.

57) L'atlas VAC regroupe les cartes :

- a) d'aérodromes avec leurs consignes. b) de la France
c) des organismes de l'aviation civile. d) à projection Lambert conformes

58) Comme tout événement inhabituel, un meeting aérien se déroulant sur un aérodrome est signalé par un document de type :

- a) SIGMET b) VOLMET c) NOTAM d) ATIS

59) En VFR, le plan de vol est :

- a) facultatif quelles que soient les conditions de vol.
b) inutile sauf cas de force majeure
c) obligatoire pour tout vol supérieur à une heure en espace contrôlé.
d) obligatoire pour franchir une frontière et pour survoler une zone inhospitalière

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

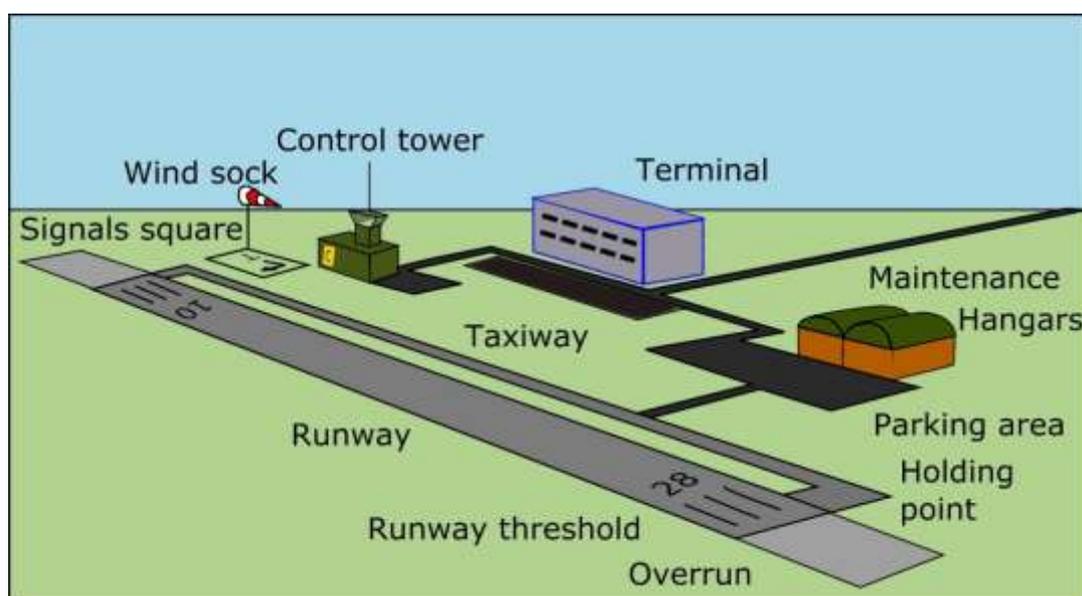


Figure 4.53.

Flight rules, airfield	
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
Survol	Fly-by
Taux de virage standard	Standard rate turn
Taxes d'atterrissage	Landing fees
Transpondeur	Transponder
Vent arrière	Downwind leg
Vol en attente	Loiter

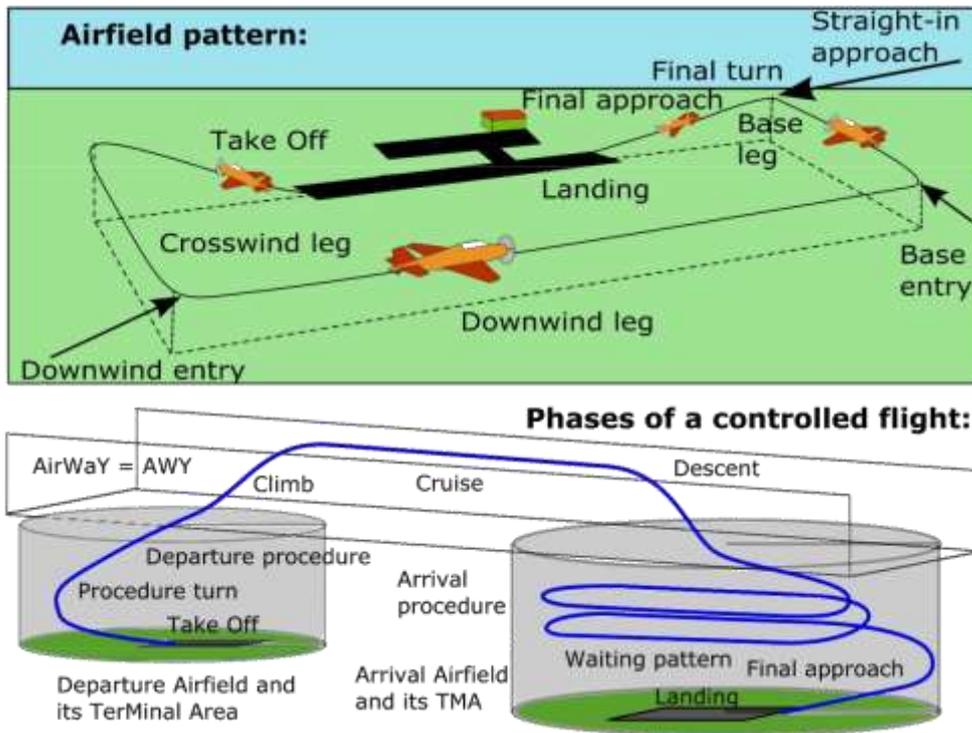


Figure 4.54.

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

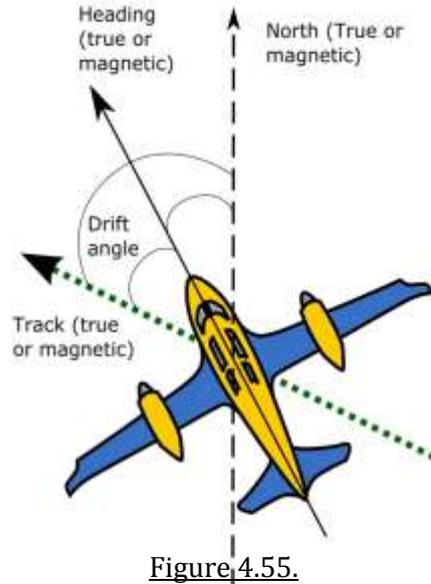


Figure 4.55.

Pour s'entraîner

60) L'expression « lack of awareness » signifie :

- a) un lac autorisé aux hydravions
- b) une instruction de check-list
- c) une perte de connaissance liée à un manqué d'oxygène
- d) l'absence de conscience d'une situation donnée

61) L'expression « airworthiness certificate » signifie :

- a) licence radio
- b) certificat de navigabilité
- c) l'avion n'est pas en état de vol
- d) certificat de performances

62) Le terme « ramp » désigne :

- a) la piste de décollage
- b) les cales de l'avion
- c) la piste d'atterrissage
- d) l'aire de trafic

63) Un vent de travers se dit :

- a) vertical gust
- b) contrails
- c) side thunderstorm
- d) crosswind

64) Comment dit-on "vent de face" en anglais?

- a) gust
- b) thrust
- c) headwind
- d) windshield

65) L'expression anglaise "taxi light" concerne :

- a) un phare de roulage
- b) l'éclairage du taxiway
- c) des feux de navigation
- d) un feu vert ou rouge autorisant, ou non, la circulation d'un avion au sol

66) L'expression "prendre un cap" se traduirait par :

- a) to take a heading road
- b) to proceed a magnetic track
- c) to set a heading
- d) to engage a magnetic road

67) Que signifie le sigle ILS ?

- a) Information Light System
- b) Instrument Landing System
- c) Intense Light System
- d) Instrument Lighting System

68) Lorsque vous n'avez pas compris le message du contrôleur aérien, vous dites :

- a) roger
- b) will co
- c) say again
- d) no comment

69) Traduire : Fox Victor Bravo, line up, cleared for take-off runway 31 left.

- a) Fox Victor Bravo, alignez-vous, autorisé à l'atterrissage, piste 31 gauche
- b) Fox Victor Bravo, alignez-vous, temps clair pour le décollage, piste 31 gauche
- c) Fox Victor Bravo, alignez-vous, autorisé au décollage, piste 31 gauche
- d) Fox Victor Bravo, alignez-vous, autorisé au décollage, piste 31 droite

70) La référence d'heure internationale dite "UTC", autrefois appelée GMT (Greenwich Mean Time), est utilisée aussi bien en météo qu'en aéronautique. Le sigle UTC signifie :

- a) Uniform Tango Charlie
- b) Ultimate Time Convention
- c) Universal Time Coordinated
- d) Universe Time Chart

71) Pendant un essai radio, la tour de contrôle vous répond : « Loud and clear ». Cela signifie que :

- a) le volume de votre radio est trop élevé
- b) la tour de contrôle vous reçoit cinq sur cinq
- c) votre émission radio est hachée
- d) il est clair que votre radio ne fonctionne pas

72) Après avoir écouté la conversation radio suivante : Fox Hotel Lima - taxi to holding point runway two seven – QNH one zero one two - QFE one zero zero two vous avez compris que :

- a) on demande au pilote de se rendre au point d'arrêt 27
- b) la piste en service est approximativement orientée au cap 270
- c) la pression au sol est de 1002 hPa
- d) toutes ces réponses sont exactes

73) Dans le dialogue suivant « *Tower, American Airlines flight fifty-seven.* »_ « *American Airlines flight fifty-seven, Phoenix tower, runway two six clear to land.* »

- a) le pilote communique avec la tour de Phoenix.
- b) il s'agit du vol American Airlines 57.
- c) le pilote est autorisé à se poser piste 26.
- d) les 3 réponses sont justes.

74) Vous entendez un pilote collationner le message suivant :

Lining up cleared for take-off runway 27- heading one eight zero - not above one thousand feet.

Vous en déduisez que :

- a) la piste est orientée au cap 27
- b) cet avion va se déplacer au-dessus de 1000 ft
- c) cet avion doit prendre un cap au 180
- d) les réponses a, b, et c sont exactes

75) The message of the Airport control tower is : " Cleared to land, number two, runway one one".

Vous comprenez que vous êtes :

- a) autorisé à l'atterrissage piste 11 en deuxième position
- b) autorisé au décollage piste 2 ou piste 11.
- c) autorisé à l'atterrissage uniquement piste 2, sortie 11.
- d) autorisé à l'atterrissage piste 11, vous dégagerez sur la sortie n°2.

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 du labyrinthe 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.

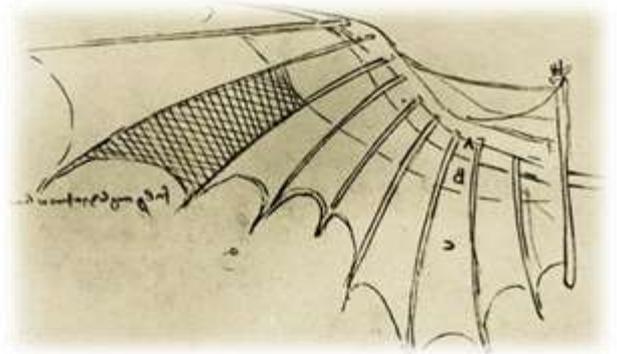


Malheureusement, Icare oublie cet interdit : Il prend trop d'altitude ce qui fait fondre la cire de « ses ailes ». Il meurt précipité dans la mer.

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.

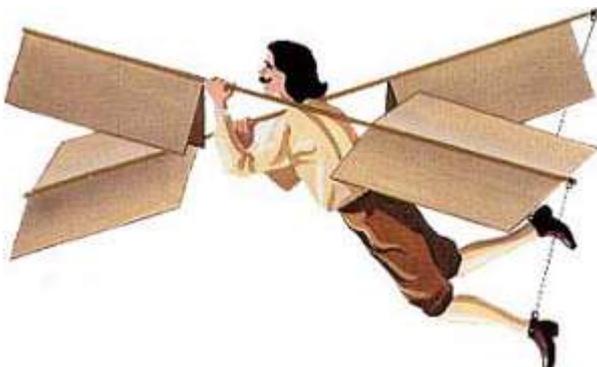
Pourtant il ne fera aucune tentative pour les réaliser.



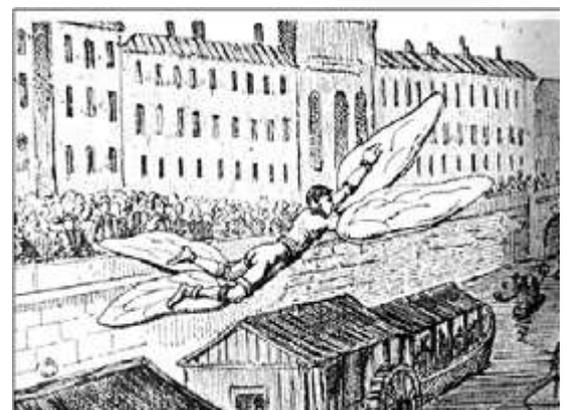
Les années 1600 : Le philosophe **Descartes** ne croit pas que l'homme puisse voler par ses propres moyens. Il estime que l'homme manque de force et ne dispose pas de moyens assez puissants pour s'élever dans les airs.



Mais de nombreux téméraires vont tenter leur chance ...



Besnier (1678)



Marquis de Bacqueville (1742)

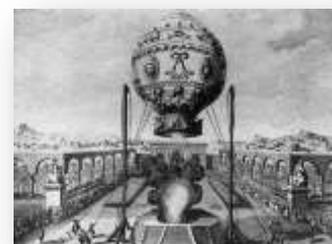
II. Les aérostats

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 1^{er} 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.

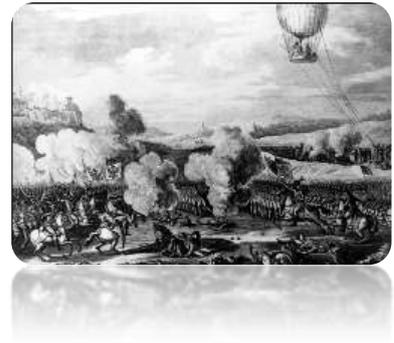
En 1785 : **JP Blanchard** et son passager J. Jeffries réalisent la traversée de la Manche, entre Douvres et Calais, à bord d'un ballon à hydrogène.



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^{er} 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^{er} 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^{er} 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^{er} 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.



Il « invente » alors le contrôle du vol en agissant sur l'incidence des ailes.

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'A.V.I.O.N (N°3)

Avion = Appareil Volant Imitant un Oiseau Naturel (Avis = oiseau en latin)

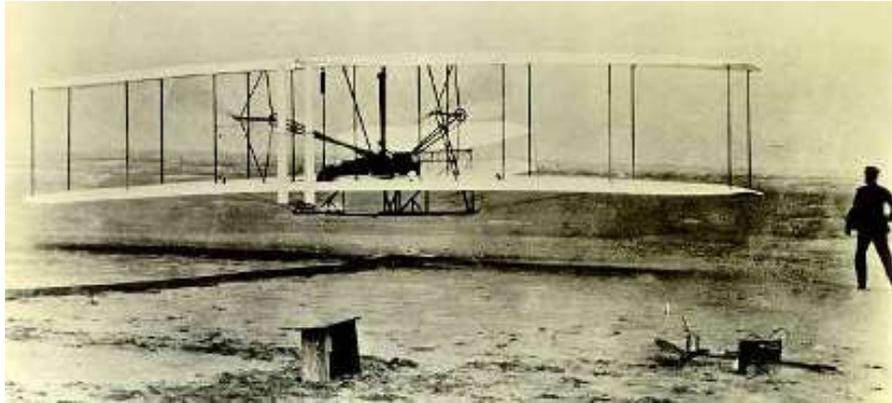
« Qui sera maître de l'air sera maître du monde »

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.

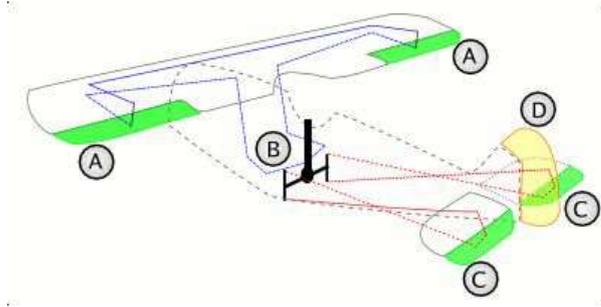
En 1904 : **les frères Wright** réalisent le premier vol en circuit fermé sur le Flyer II (1240 m en 1 min 36).

En 1905 : Le Flyer III vole 38 min sur 39 km à une moyenne de 61,5 km/h !

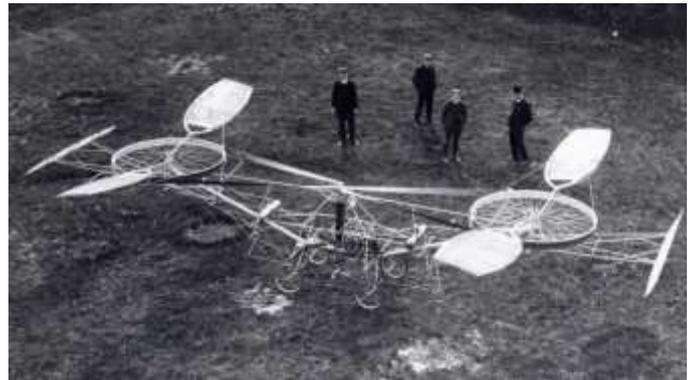
En 1906 : **Santos Dumont** avec son avion « 14 BIS », muni d'un train d'atterrissage (deux roues de bicyclette), réalise un vol de 220 m à 5 m au-dessus du sol près de Paris. C'est le premier vol homologué d'un plus lourd que l'air. Il est muni d'un moteur « Antoinette » de 24 CV.



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.

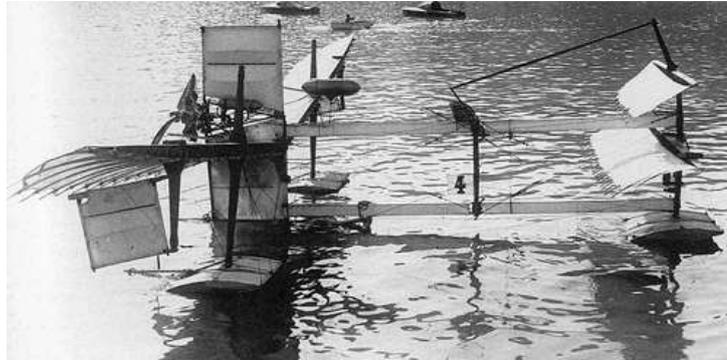
C'est aussi **Farman** qui réalise la même année, le premier vol avec un passager. Wilbur Wright quant à lui remporte la coupe Michelin et porte le record de distance à 124 km.



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^{ère} guerre mondiale (5 victoires).



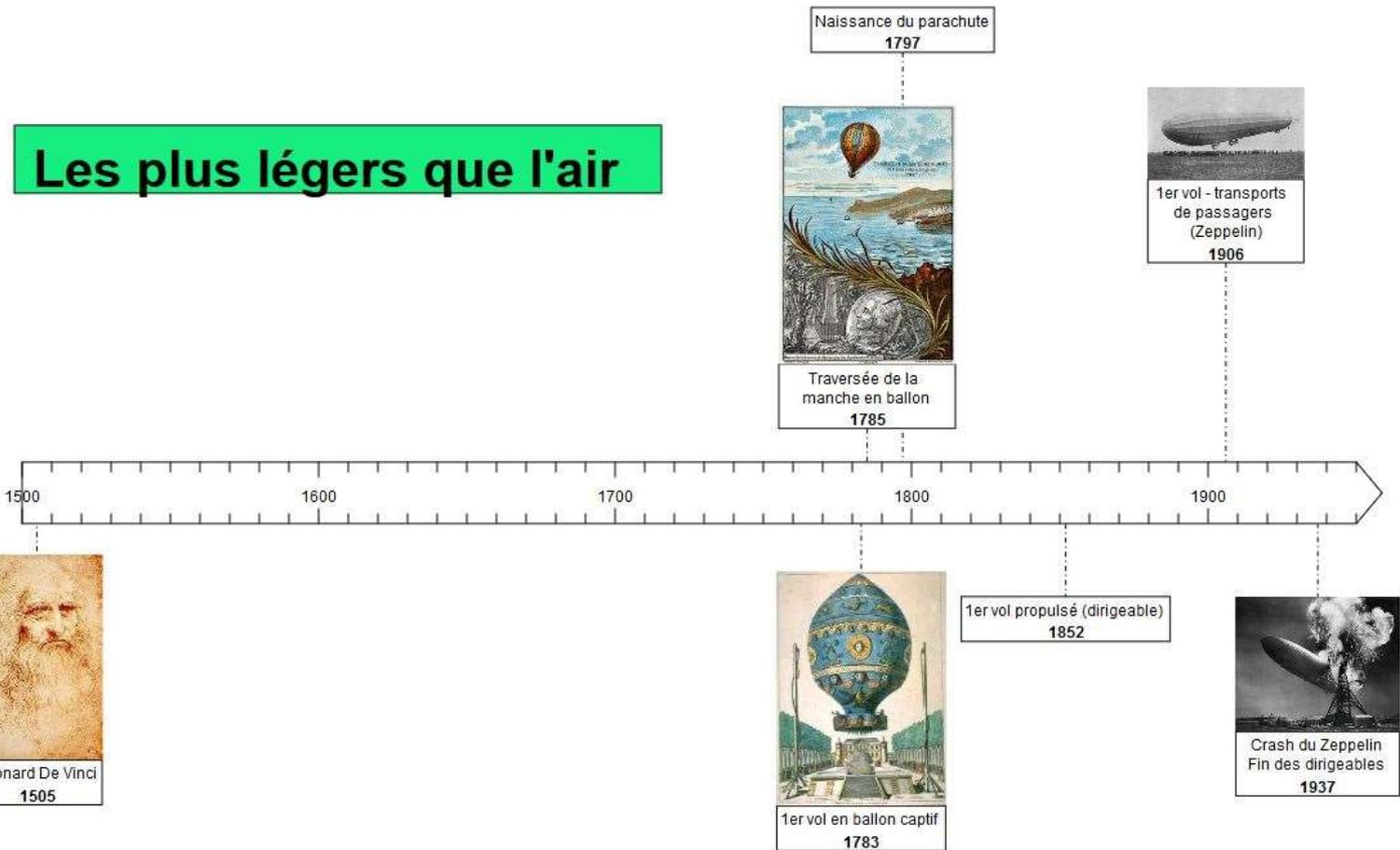
Toujours en 1913 : l'ingénieur **Deperdussin** permet à Maurice Prévost d'atteindre les 200,8 km/h avec son avion très moderne (aile basse, aucun haubanage et un moteur de 160 cv).



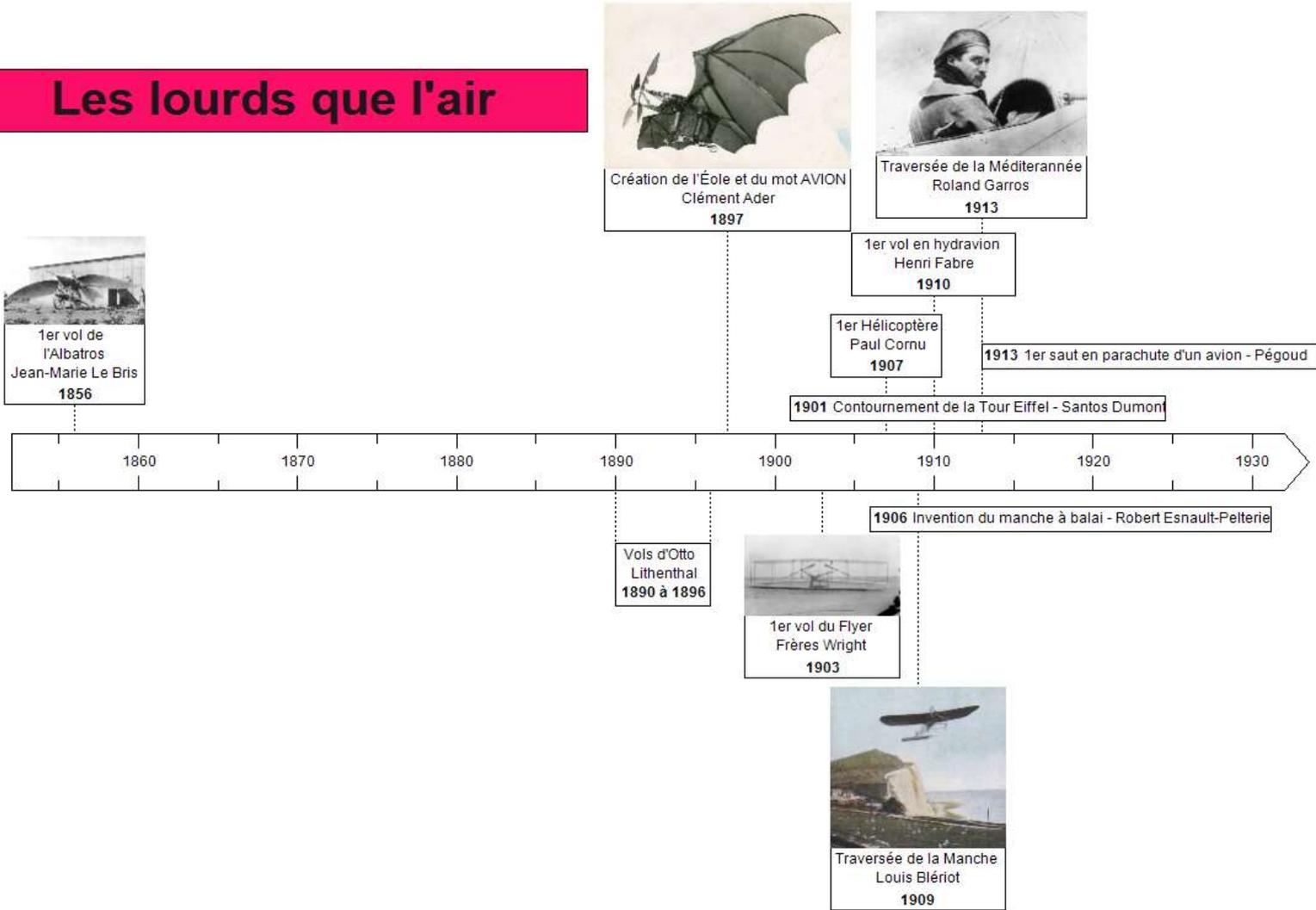
Tandis qu'**Igor Sikorsky**, fabrique en Russie le premier quadrimoteur, le Bolchoï.



Les plus légers que l'air



Les lourds que l'air



Pour s'entraîner

1) Dans la mythologie grecque, Icare, fils de Dédale, s'envole avec des ailes faites de :

- a) soie et de cire b) coton et de cire c) plumes et de cire d) lin et de cire

2) Le physicien Jacques CHARLES conçoit et essaye le ballon à hydrogène sur le Champ de Mars en l'année :

- a) 1783 b) 1797 c) 1890 d) 1903

3) Le 24 septembre 1852, un appareil volant piloté par Henry Giffard effectue une première. Il s'agit :

- a) du premier vol plané
 b) du premier vol plané avec augmentation d'altitude en cours de vol
 c) du premier tour de Paris en ballon
 d) du premier vol d'un dirigeable

4) Robert Esnault-Pelleterie est resté dans l'histoire pour avoir inventé :

- a) l'hélice à pas variable b) les ailerons c) le manche à balai d) l'hydravion

5) Roland GARROS s'est rendu célèbre pour avoir :

- a) effectué la première traversée de la Méditerranée en avion et gagné la 1^{ère} coupe du monde en tennis.
b) effectué le premier looping et gagné la 1^{ère} coupe du monde en tennis la même année.
c) effectué la première traversée de la Méditerranée en avion et réalisé le premier tir à travers l'hélice blindée avec une mitrailleuse en combat aérien.
d) effectué le premier tir à travers l'hélice blindée avec une mitrailleuse en combat aérien et réalisé le premier looping la même année.

6) Le premier vol humain sur un plus lourd que l'air a été effectué par :

- a) LE BRIS b) ADER c) LILIENTHAL d) Les Frères WRIGHT

7) Le russe Constantin TSIOLKOVSKI est un précurseur :

- a) des ballons b) de l'astronautique c) des hélicoptères d) des planeurs

8) Au milieu du 19^{ème} siècle, un ingénieur anglais définit pour la première fois les notions de portance et de trainée, poids et poussée. Il s'agit de :

- a) Reginald Mitchell b) Georges Cayley c) Geoffrey de Havilland d) Franck Whittle

9) Le pilote français PEGOUD réalise en 1913 une première mondiale. Laquelle :

- a) 1^{er} vol sur le dos b) 1^{er} looping
c) 1^{er} atterrissage de nuit d) 1^{er} atterrissage sur la neige

10) En 1910 est créée l'Inspection de l'aéronautique militaire, avec pour chef :

- a) le Général PETAIN. b) le Général JOFFRE.
c) le Général ROQUES. d) le Général NIVELLE.

11) Les frères Orville et Wilbur Wright effectuent leurs premiers vol en :

- a) 1901 b) 1902 c) 1903 d) 1904

12) Le premier hélicoptère à avoir effectué un vol libre en 1907, est une création de :

- a) Louis AGUSTA b) Orville BELL c) Paul CORNU d) Igor SIKORSKY

13) L'un de ces événements aéronautiques a été réalisé en 1908. Indiquez lequel :

- a) Le vol de Santos-Dumont sur son "XIV bis"
b) Le kilomètre en circuit fermé, par Henry Farman
c) La traversée de la Manche par Louis Blériot
d) Le décollage d'un hydravion, par Henri Fabre

14) La première traversée réussie de la Manche en avion a été réalisée par :

- a) Hubert LATHAM. b) Eugène ELY. c) Adolphe PEGOUD. d) Louis BLERIOT.

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.

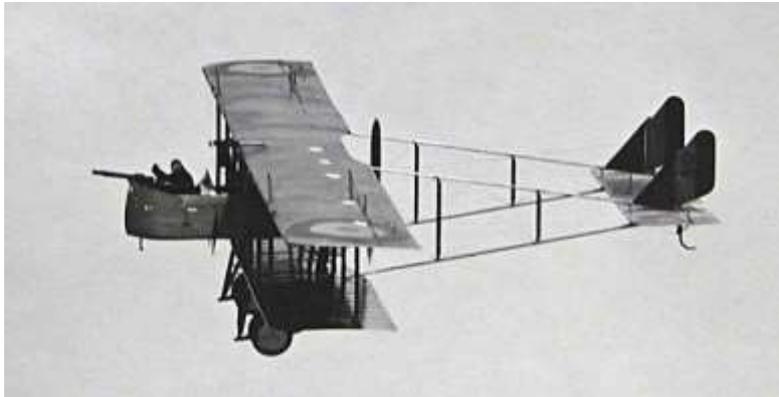
« Balayez-moi le ciel ! Je suis aveugle ! ».

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

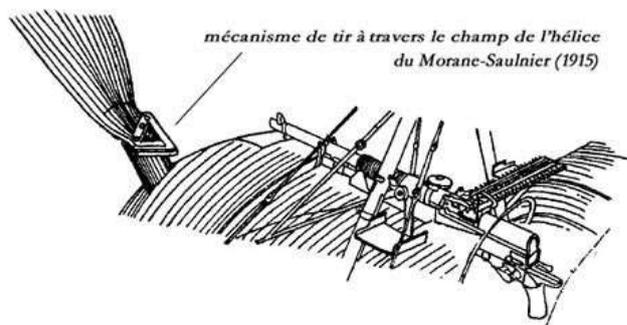
Mais aussi le Gotha allemand et le de Havilland DH9 anglais.

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.

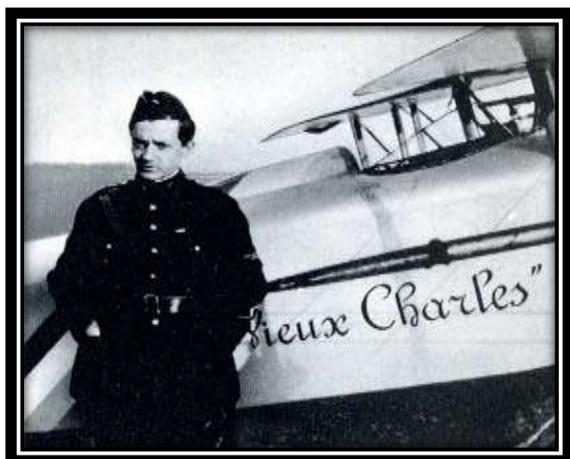
En 1917 : L'armée française regroupe les meilleurs pilotes au sein d'une même escadrille « Les cigognes ». La Royal Air Force sera créée en 1918, indépendante de l'armée de terre et de la marine.

C. Les As de la Première Guerre Mondiale :

France



René Fonck
75 victoires



Georges
Guynemer
54 victoires



Charles
Nungesser
45 victoires

Allemagne



Manfred Von Richtofen (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 :

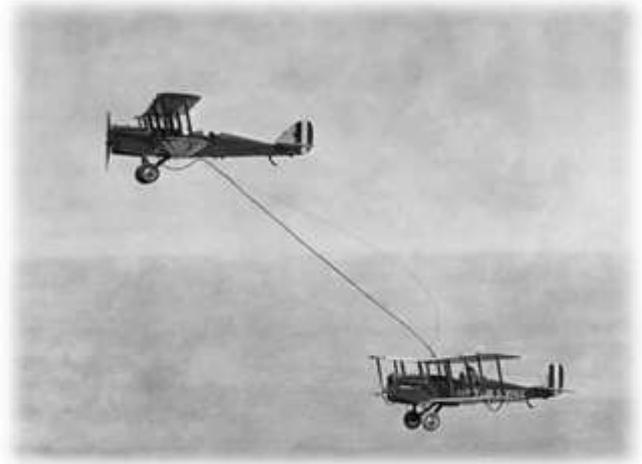
« J'ai volé pendant un certain temps, sans rien dans la tête que la peur. De plus, j'avais horriblement froid. Mes moyens ne m'avaient pas permis de m'équiper convenablement et je m'étais couverte tant bien que mal avec un pyjama, une combinaison de coton et un matelas de vieux journaux. J'avais les 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 brillent 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^{ère} 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^{ère} femme reçue dans l'armée de l'air



En 1938 : **Howard Hugues** bat le record du tour du monde en 3 jours 19 heures et 24 mn aux commandes d'un Lockheed Electra (le 1^{er} 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.

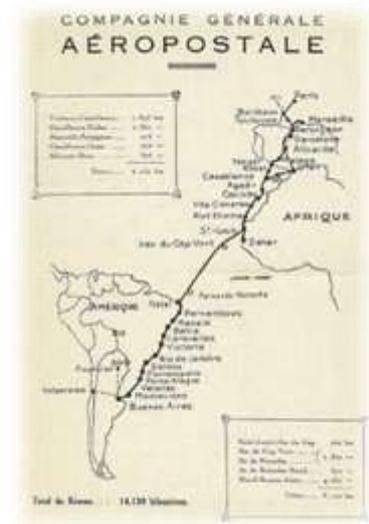


En 1919 : Avec le pilote **Lemaître**, il réalise un vol de Toulouse à Casablanca avec une escale à Barcelone Alicante et Malaga.

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^{er} vol du Boeing 247, 1^{er} 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^{ème} 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 pique 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^{ème} 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* ».

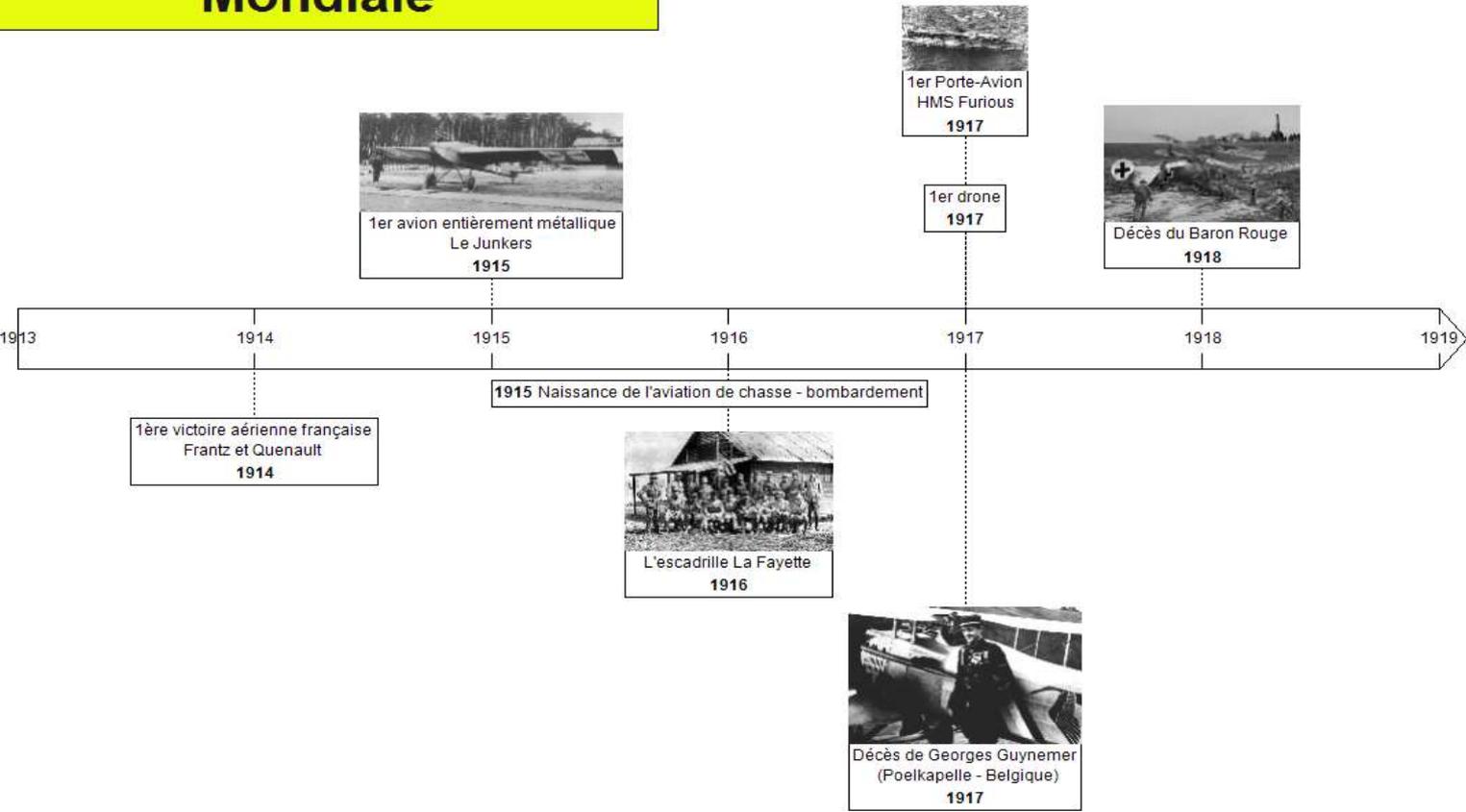
D. Le bilan

La puissance des moteurs est passée de 1000 à 2500 CV.

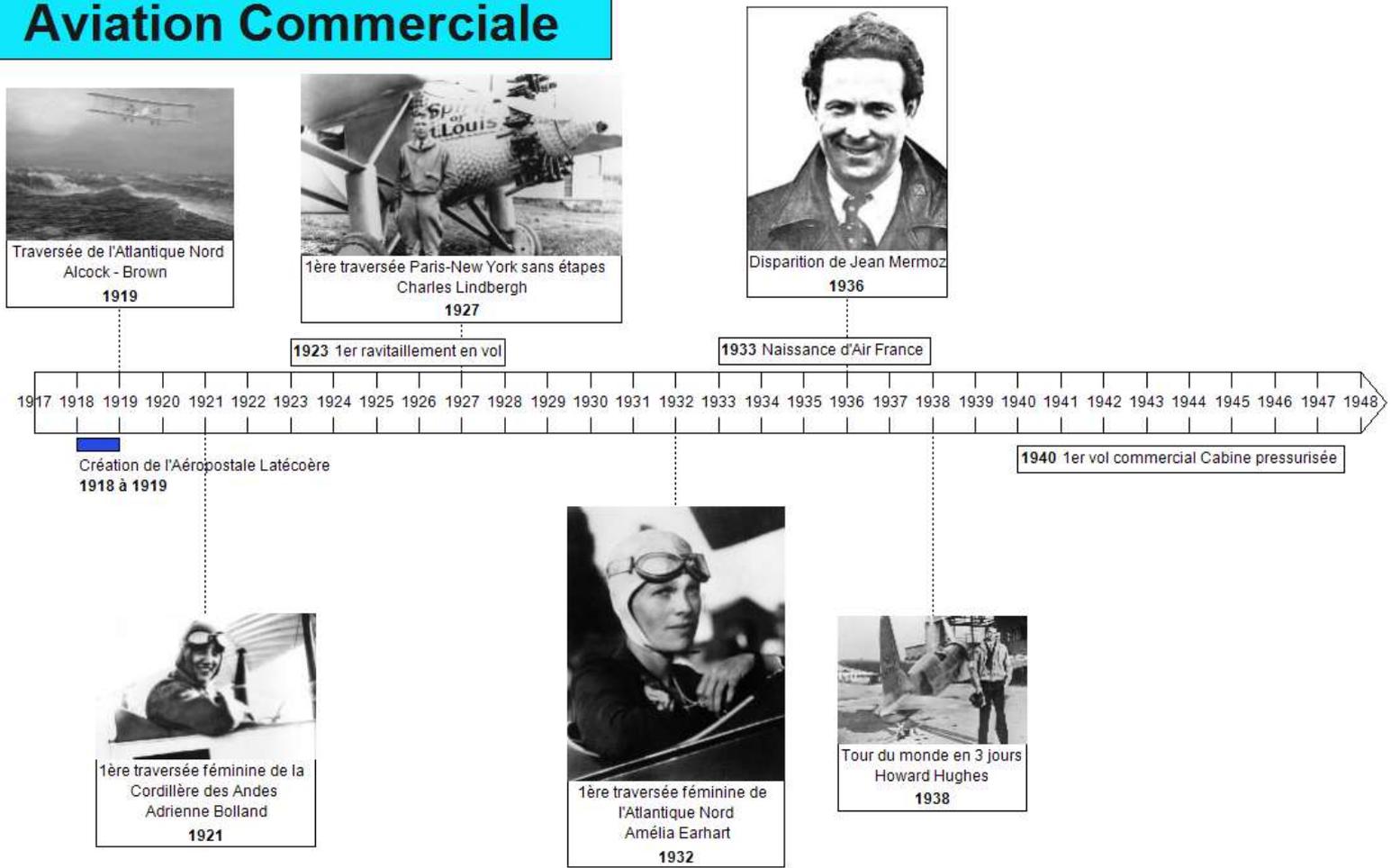
Innovations techniques : radar, fusée, turboréacteur, instruments de navigation, siège éjectable.

Le 1^{er} pilote sauvé est Helmut Schenk en 1942. Le premier véritable essai en vol d'un siège éjectable a lieu en 1946 (Bernard Lynch).

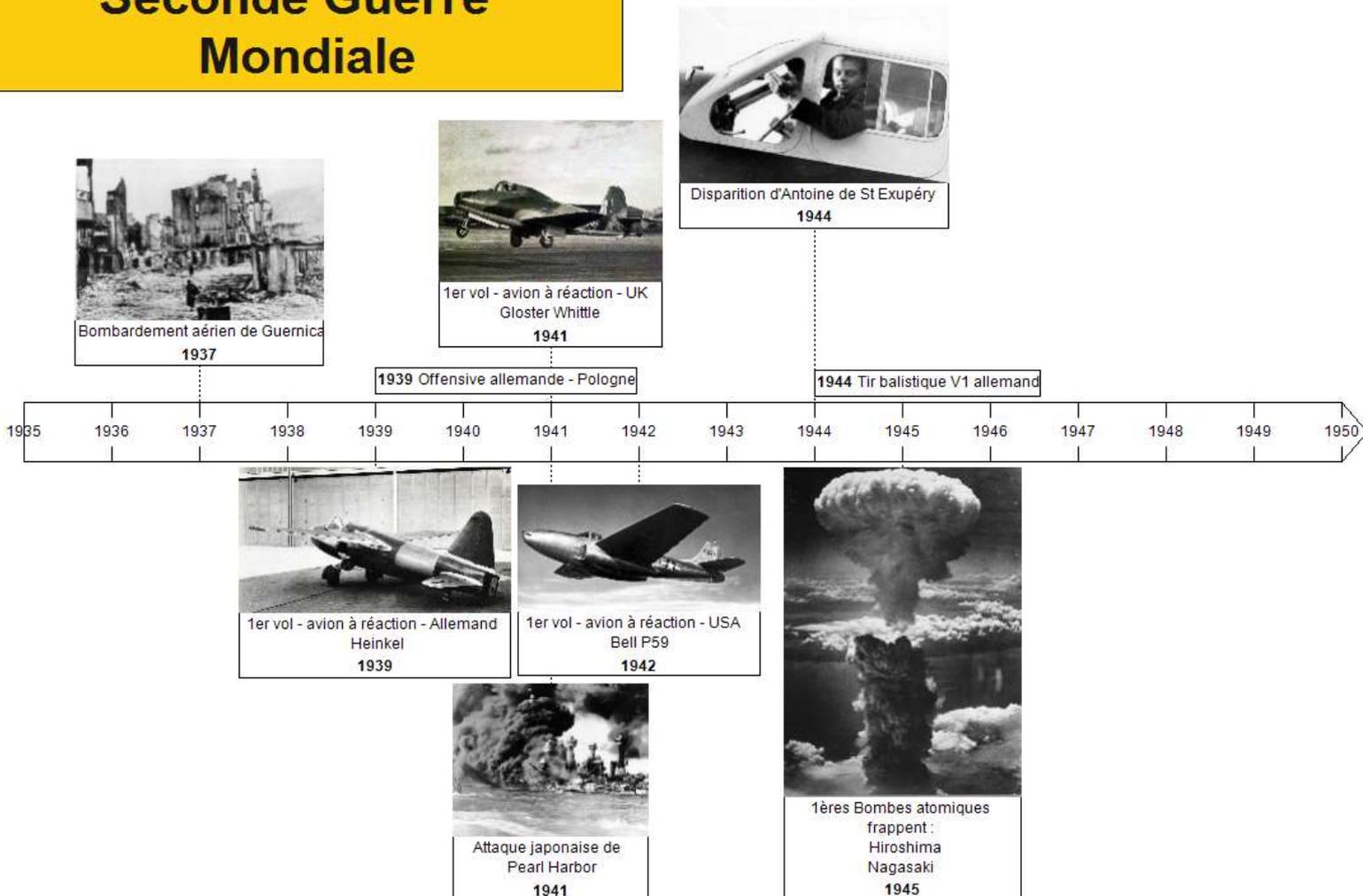
Première Guerre Mondiale



L'Entre-deux-guerres Aviation Commerciale



Seconde Guerre Mondiale



Pour s'entraîner

PREMIÈRE GUERRE MONDIALE

- 15) Durant la première guerre mondiale, le pilote surnommé Le Baron Rouge était:**
- a) Georges GUYNEMER. b) René FONCK
c) Manfred Von RICHTHOFFEN. d) Pierre CLOSTERMANN.
- 16) L'avion de légende, sur lequel Georges GUYNEMER s'est rendu célèbre, est un :**
- a) Fokker D-7 b) Mustang P-51 c) SPAD-XIII d) Bréguet XIV
- 17) Le meilleur avion de chasse français de la Première Guerre Mondiale fut :**
- a) le SPAD XIII b) le Caudron G3 c) le Blériot XI d) le Fokker DR 7

18) Parmi ces "as" de la Première Guerre Mondiale, quel est l'intrus :

- a) Georges Guynemer b) René Fonck
c) Pierre Clostermann d) Roland Nungesser

19) Le pilote français ayant remporté le plus de victoires aériennes pendant la première guerre mondiale est ?

- a) Georges GUYNEMER b) René FONCK
c) Manfred Von RICHTOFFEN d) Pierre CLOSTERMAN

20) Au cours de la première guerre mondiale, la vitesse moyenne des avions sera multipliée par :

- a) 2 b) 4 c) 6 d) 8

L'ENTRE-DEUX-GUERRES

21) Jean Mermoz effectue en 1930, la première traversée postale de l'Atlantique Sud de St Louis du Sénégal à Natal (Brésil) sur :

- a) Breguet 14 b) Breguet 19 c) Caudron Simoun d) Latécoère 28

22) Maryse Bastié fut la première aviatrice à traverser l'Atlantique sud de Dakar à Natal en :

- a) 1925 b) 1936 c) 1945 d) 1950

23) En 1936 disparaît Jean Mermoz à bord de son Latécoère 300 lors d'une traversée de l'Atlantique Dakar-Natal en équipage. L'avion s'appelait:

- a) L'oiseau blanc b) Le Spirit of Saint-Louis c) La croix du Sud d) L'Eole

24) Le premier constructeur français à lancer une ligne aéro postale entre la France et l'Amérique du sud est :

- a) Henry FARMANN b) Georges LATÉCOÈRE
c) Louis BLERIOT d) Louis BREGUET

25) L'appareil qui réalisa la première liaison PARIS - NEW-YORK sans escale s'appelait :

- a) L'oiseau blanc b) Le Spirit of Saint-Louis
c) Le point d'interrogation d) Le Canari

26) Quel auteur a écrit « Courrier du Sud » :

- a) Henri GUILLAUMET b) Antoine de SAINT-EXUPERY
c) Louis BLERIOT d) Didier DAURAT

27) L' " Arc en Ciel ", un des premiers avions commerciaux de la compagnie Air France fut un avion :

- a) trimoteur. b) conçu par René COUZINET.
c) piloté par Jean MERMOZ. d) les 3 propositions sont exactes.

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^{er} 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^{er} 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^{ère} 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^{er} 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^{er} 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 : 1^{er} de l'Airbus A340 1^{er} quadriréacteur d'Airbus. Boeing ripostera avec le B777.

En 2005 : 1^{er} 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^{er} tour du monde sans escale ni ravitaillement sur Voyager



En 2004 : Le X43 (statoréacteur) atteint Mach 10

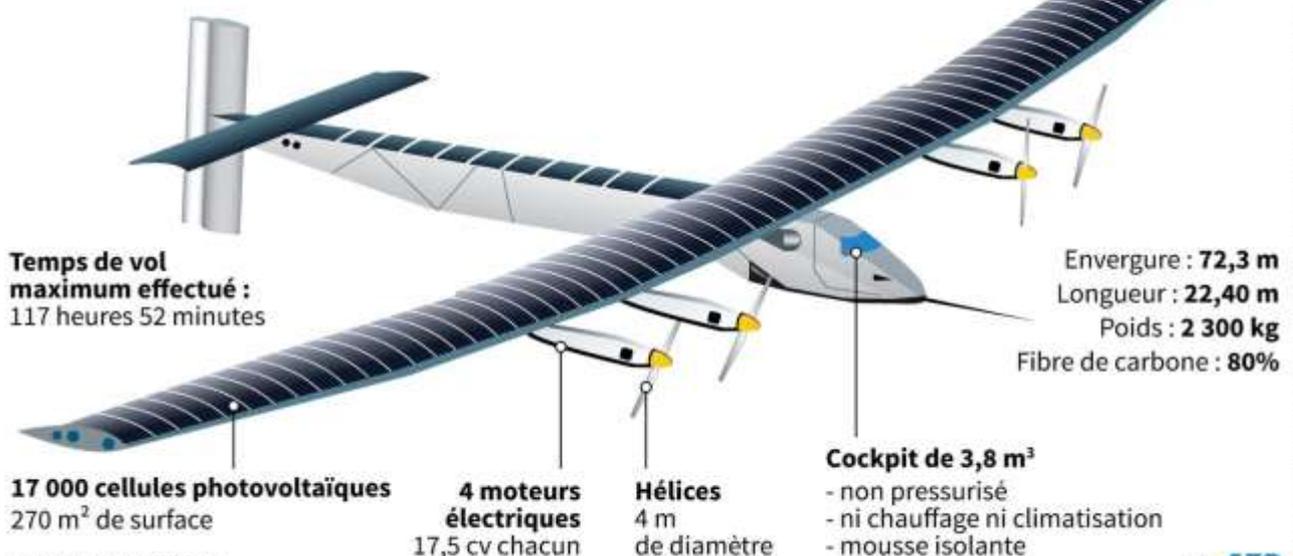
En 2015 : L'E-fan d'Airbus et le Cri-Cri électrique traversent chacun la Manche



En 2016 : Solar Impulse II boucle son tour du monde, avec comme pilotes André Borschberg et Bertrand Picard.

Solar Impulse 2, l'avion solaire

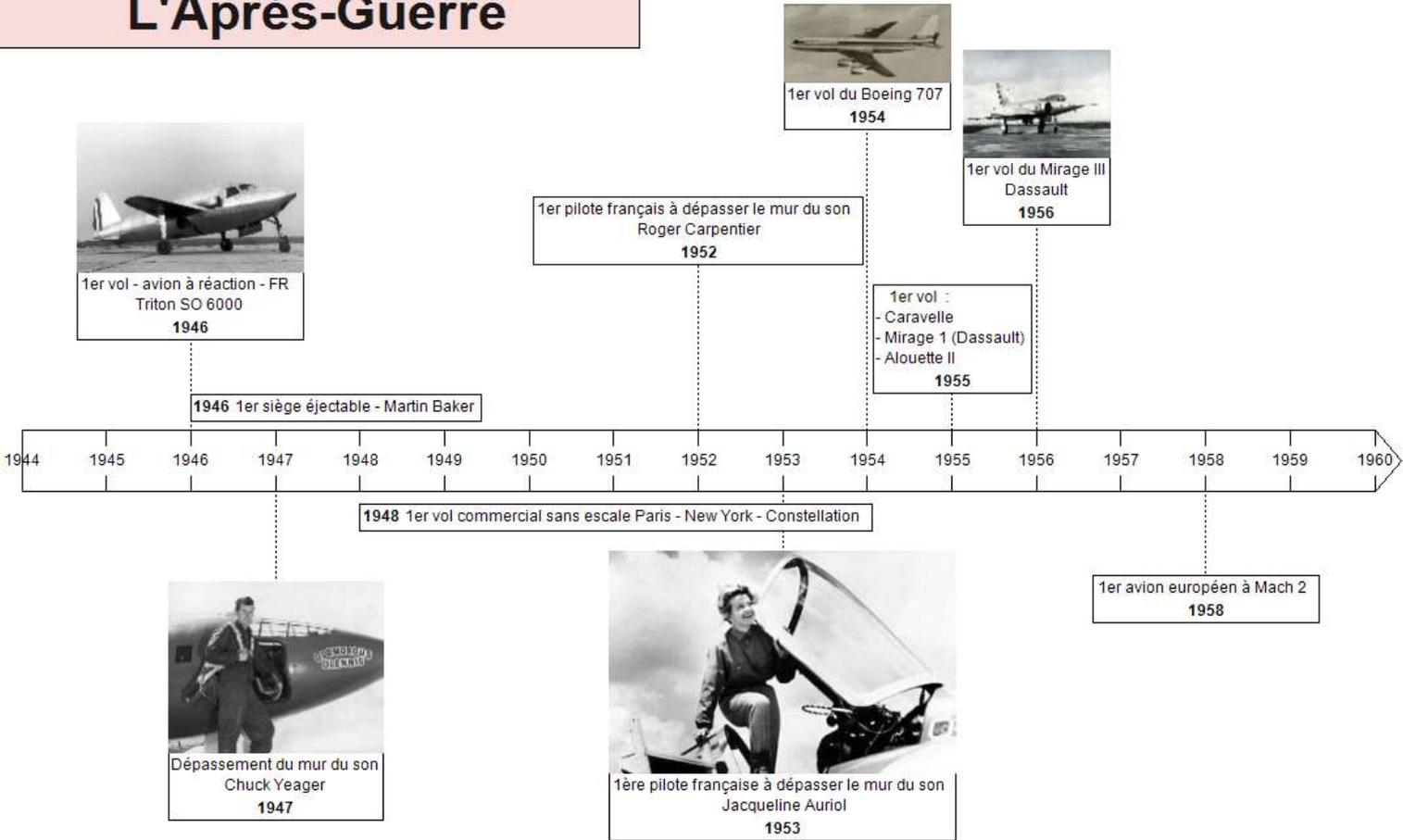
Après plus d'un an de vols et 43 041 km parcourus, il a bouclé son tour du monde



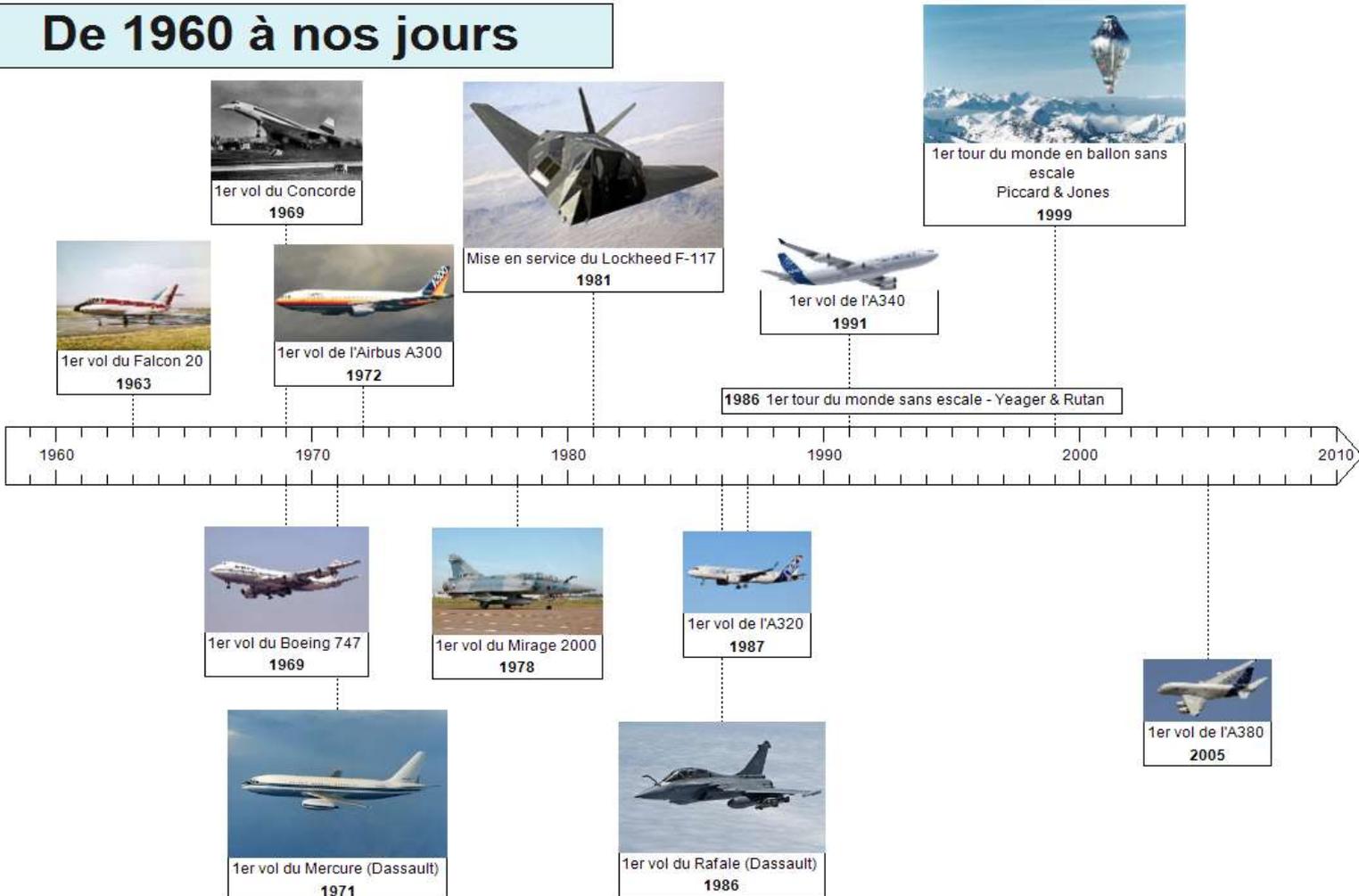
Source : solarimpulse.com

© AFP

L'Après-Guerre



De 1960 à nos jours



Pour s'entraîner

40) Le premier avion français à passer le mur du son est :

- a) Le MD 450 Ouragan b) Le S.O. 6000 Triton
c) Le MD 452 Mystère d) Le Leduc 010

41) Le premier avion à avoir dépassé le mur du son est :

- a) le Bell X-1 b) Le Dassault Mystère IV c) le De Havilland Vampire d) Le MiG-15

42) Le premier turboréacteur opérationnel français a été :

- a) le Junkers Jumo. b) le SNECMA « ATAR ».
c) le Hispano Suiza « Verdon ». d) le Rolls-Royce « Nene ».

43) Le premier siège éjectable opérationnel est apparu en :

- a) 1922. b) 1934. c) 1946. d) 1987.

44) L'ingénieur Français René LEDUC a mis au point :

- a) la première aile delta. b) le siège éjectable
c) la tuyère thermopropulsive. d) le machmètre.

45) Quel est le premier avion de chasse à réaction français :

- a) le Dassault Ouragan. b) le Dassault Mirage.
c) le SO 6000 Triton. d) Le Dassault Mystere II.

46) Le 1^{er} pilote français à avoir franchi le « mur » du son en palier en 1953 était :

- a) Jacqueline AURIOL. b) Constantin ROZANOFF.
c) René LEDUC. d) Roger CARPENTIER.

47) Depuis les années 1960, le seul avion opérationnel à décollage et atterrissage vertical (A.D.A.V.) :

- a) est le Hawker Harrier.
b) utilise un système de propulsion vectorielle inventé par un Français.
c) a démontré son efficacité dans la guerre des Malouines.
d) toutes les affirmations sont exactes.

48) Le premier homme à avoir officiellement franchi le mur du son s'appelle :

- a) Jean CARPENTIER. b) Chuck YEAGER.
c) Kostia ROZANOFF. d) Marion DAVIS.

49) Rangez ces inventions de la plus ancienne à la plus récente.

- 1- le "manche à balai". 2- le parachute.
3- le turboréacteur. 4- le pilote automatique.

Le bon classement est :

- a) 2, 1, 4, 3 b) 2, 1, 3, 4 c) 4, 2, 1, 3 d) 2, 4, 1, 3

50) Lequel de ces avions n'est pas à réaction ?

- a) le Messerschmitt Me-262 b) le DC-3 c) le Mystère IV d) le B-52

51) Parmi les appareils suivants, quel est celui qui a volé le premier :

- a) Le bombardier furtif F 117 b) le biréacteur Rafale
c) L'Airbus A 320 d) l'Airbus A 310

52) Le premier vecteur aérien de la bombe nucléaire française est :

- a) le Mirage 2000 b) le Mirage III c) Le Mirage IV d) le Mirage F1

53) Le succès de la Caravelle, à la fin des années 1950, s'explique principalement par :

- a) le silence en cabine obtenu en plaçant les réacteurs à l'arrière du fuselage.
b) la grande élégance de ses lignes.
c) son équipement en commandes de vol électriques.
d) ses exceptionnelles capacités de long-courrier transocéanique.

54) Rangez ces événements du plus ancien au plus récent.

- A - premier passage du mur du son C - premier vol du DC3 Douglas
B - premier vol d'un avion à réaction D - premier vol de la Caravelle SE 210

- a) C-B-A-D b) B-A-C-D c) C-A-B-D d) B-C-D-A

55) Le premier appareil civil entièrement équipé de commandes électriques est :

- a) la Caravelle. b) le Boeing 737. c) l'A320. d) le Rafale.

56) L'Airbus A-380 a effectué son vol initial en :

- a) 2005 b) 2006 c) 2007 d) 2008

57) L'avion ATR 42 est motorisé par deux :

- a) moteurs à pistons. b) turboréacteurs. c) statoréacteurs. d) turbopropulseurs

58) Jusqu'en 1997, les liaisons aériennes intérieures françaises étaient assurées principalement par :

- a) Air France. b) France Inter. c) Air Inter. d) Hop.

59) Quelle compagnie aérienne a fêté en 2003 ses 70 ans ?

- a) Lufthansa. b) British Airways. c) Sabena. d) Air France.

60) Concorde volait en croisière maximale :

- a) à Mach 1,2. b) à Mach 1,8.
c) à Mach 2,02. d) aussi vite que le SR 71 "Blackbird".

61) L'avion Lockheed "Constellation" a été mis en service au sein de la compagnie AIR France en :

- a) 1937. b) 1946. c) 1970. d) 1952.

62) Le premier quadriréacteur de transport civil à avoir volé est le :

- a) SE-210 Caravelle b) Illiouchine IL-62 c) De Havilland Comet d) Boeing 707

63) Le Concorde a eu un rival qui lui ressemblait et qui s'appelait :

- a) le C5 Galaxy b) l'Antonov 22 c) le Mig 25 "Blackjack" d) le Tupolev 144

64) Le 2 mars 1969, le supersonique « Concorde » effectuait son premier vol. Le commandant de bord de ce vol était :

- a) André TURCAT b) Constantin ROZANOFF
c) Emile DEWOITINE d) Pierre NADOT

65) Le Tigre est un hélicoptère :

- a) américain, complément de l'Apache
b) soviétique, symbole de la guerre froide
c) européen, de transport de troupes
d) franco-allemand, capable d'effectuer un looping

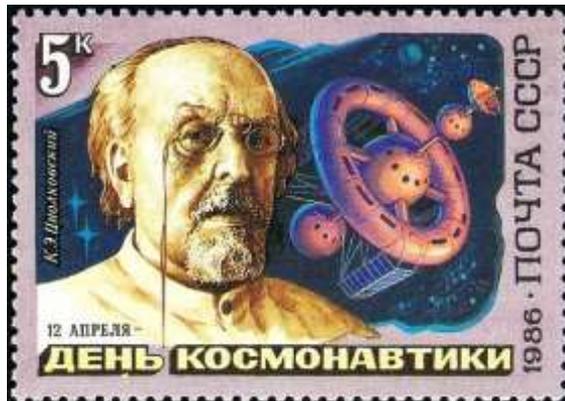
Partie 4 : La conquête de l'espace

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^{ère} 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 **Sergueï 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 3ème 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^{er} 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.



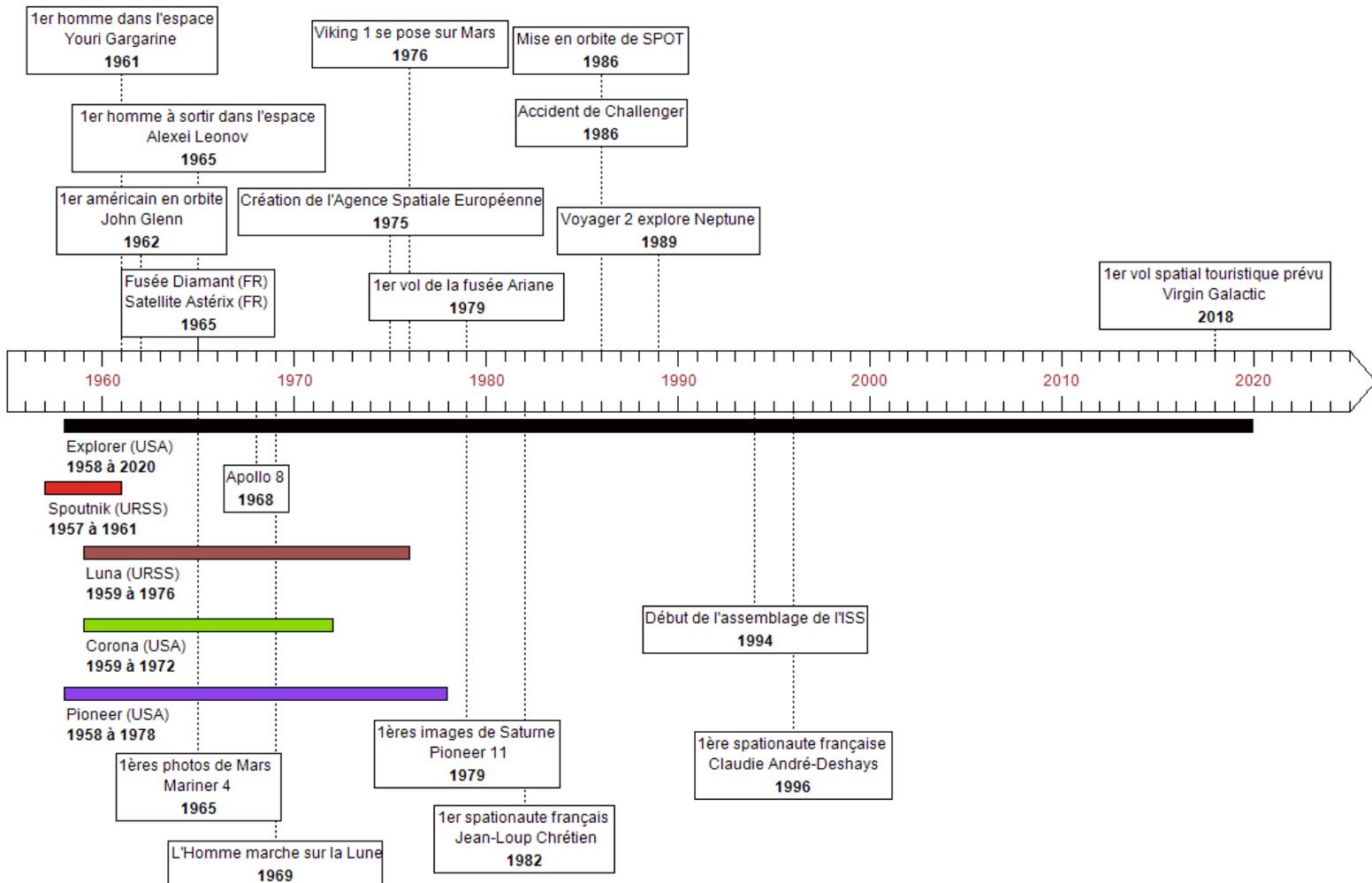
En 1998 : Lancement du 1er élément de la Station Spatiale Internationale (ISS). Le premier équipage arrivera en 2000.



En 2003 : Yang Livei est le 1^{er} taïkonaute Chinois dans l'espace

En 2015 : le premier étage de Falcon 9 (Space X) retourne sur son pas de tir.

Histoire de l'Espace



Pour s'entraîner

66) Une grande figure féminine de l'aéronautique est allée dans l'espace. Il s'agit de :

- a) Valentina TERECHKOVA b) Jacqueline AURIOL
c) Jacqueline COCHRANE d) Catherine BAUDRY

67) Le premier satellite français a été lancé en 1965 par une fusée française appelée :

- a) Émeraude b) Titan c) Diamant d) Topaze

68) Le premier lancement d'une fusée balistique stratosphérique appelée "V2", a été effectué :

- a) en 1926 par Robert GODDARD. b) en 1917 par Constantin TSIOLKOVSKI.
c) en 1921 par Sergueï KOROLEV. d) en 1942 par Wernher VON BRAUN.

69) Le premier astronaute américain à avoir tourné autour de la Terre s'appelle :

- a) Scott CARPENTER b) Virgil GRISSOM c) Gus SHEPHARD d) John GLENN

70) Le premier satellite de télécommunication a été lancé le 10 juillet 1962. Ce satellite a été appelé :

- a) Spoutnik5 b) Télécom 1 c) Telstar 1 d) Téléspace 1

71) Quel est le premier cosmonaute français à être allé dans l'espace :

- a) Jean Loup CHRETIEN b) Patrick BAUDRY
c) André TURCAT d) Jean-Claude LE LOREC

72) Spoutnik 2 a été lancé en :

- a) 1956 b) 1957 c) 1958 d) 1959

73) La première astronaute française :

- a) Jacqueline AURIOL b) Maryse BASTIE
c) Claudie-André DESHAYS d) Caroline AIGLE

74) La navette spatiale américaine qui a été la première à voler le 12 avril 1981 s'appelait :

- a) Atlantis b) Columbia c) Challenger d) Discovery

75) Les premières images filmées de la planète Saturne ont été transmises le 1^{er} septembre 1979 par la sonde spatiale :

- a) Mercury b) Viking 1 c) Pioneer 11 d) Venera 9

76) En novembre 2014, la sonde Rosetta a déposé sur la comète Churyumov un robot appelé :

- a) Voyager. b) Philae. c) Opportunity. d) Curiosity.

77) La sonde qui a survolé Pluton en 2015 s'appelle :

- a) New Horizons b) New Voyager c) New Pioneer d) New Balance

78) Le 10ème spationaute français, qui a rejoint l'ISS en 2016, s'appelle :

- a) Jean-François Clervoy b) Thomas Pesquet
c) Jean-Pierre Haigneré d) Thomas Pasquier

79) L'équipage de la mission spatiale Apollo 13 menée en 1970 par les Etats-Unis pour explorer la Lune a été :

- a) victime d'une grave avarie le mettant en péril b) le premier à s'être posé sur la Lune
c) le dernier à s'être posé sur la Lune d) victime d'un accident au sol

Corrigé des QCM

Chapitre 1 : Aérodynamique, aérostatique et principes du vol

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c	b	a	d	d	c	b	c	c	d
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
a	a	b	d	b	b	b	c	d	b
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
d	a	a	a	b	d	d	b	b	c
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
c	b	c	d	d	c	c	a	c	a
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
b	c	a	b	a	b	c	b	b	d
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
b	c	d	c	c	c	b	d	d	a
61	62	63	64	65	66				
c	d	b	d	d	b				

Chapitre 2 : Etude des aéronefs et des engins spatiaux

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b	a	b	d	a	b	c	a	b	a
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
b	b	b	a	d	d	b	b	d	b
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
d	d	d	d	c	d	c	a	d	a
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
b	d	d	c	c	b	a	c	d	b
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
c	d	a	d	d	a	c	d	c	b
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
c	d	d	b	d	b	d	b	c	b
61	62	63							
b	d	d							

Chapitre 3 : Météorologie et aérologie

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	a	d	a	a	b	c	b	c	c
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
b	b	c	b	d	b	c	c	c	c
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
b	b	d	c	c	a	a	a	b	d
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
c	b	d	c	b	d	a	c	d	a
41	42	43	44	45	46	47			
d	c	b	d	c	c	c			

Chapitre 4 : Navigation, réglementation, sécurité des vols

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d	a	d	d	b	d	a	a	d	b
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
b	c	b	d	d	a	b	d	a	b
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
c	d	d	c	c	b	c	b	c	a
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
d	c	b	a	b	c	c	c	a	b
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
a	b	d	a	c	a	c	d	b	d
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
a	d	d	c	c	a	a	c	d	d
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
b	d	d	c	a	c	b	c	c	c
71	72	73	74	75					
b	d	d	c	a					

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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c	a	d	c	c	b	b	b	b	c
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
c	c	b	d	c	c	a	c	b	a
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
d	b	c	b	c	b	d	d	b	c
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
a	b	c	c	b	b	d	a	d	c
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
a	b	c	c	a	b	d	b	a	b
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
a	c	a	a	c	a	d	c	d	c
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
b	c	d	a	d	a	c	d	d	c
71	72	73	74	75	76	77	78	79	
a	b	c	b	c	b	a	b	a	