



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 :

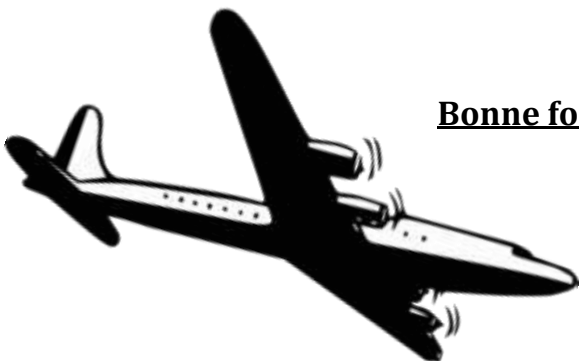
- **Aérodynamique, aérostatique et principes du vol**
- **Etude des aéronefs et des engins spatiaux**
- **Météorologie et aérologie**
- **Navigation, réglementation, sécurité des vols**
- **Histoire et culture de l'aéronautique et du spatial**

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)

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 :

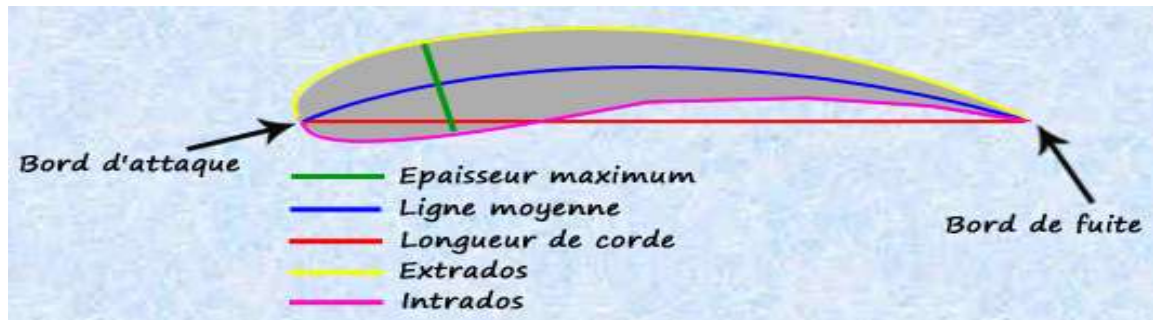


Figure 1.1.

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

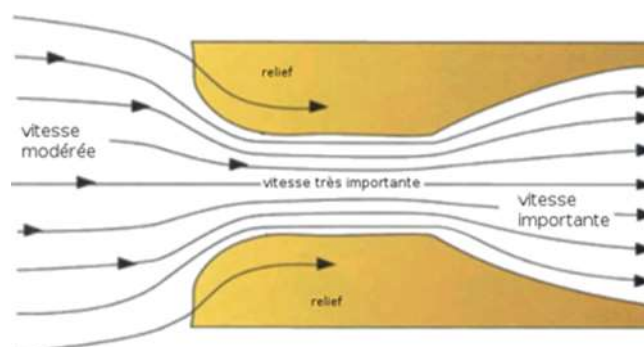


Figure 1.2.

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

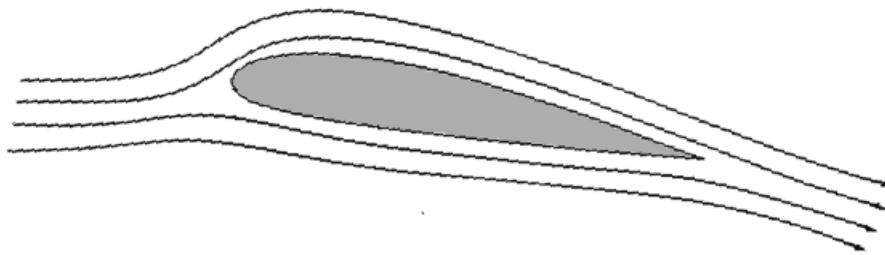


Figure 1.3.

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.

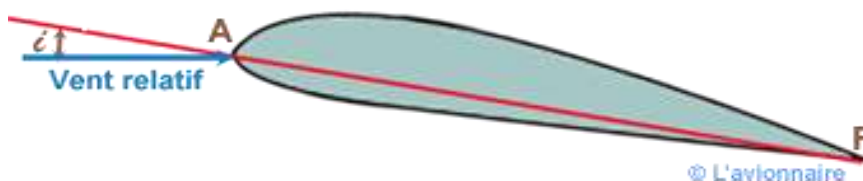


Figure 1.4.

D. Les forces aérodynamiques

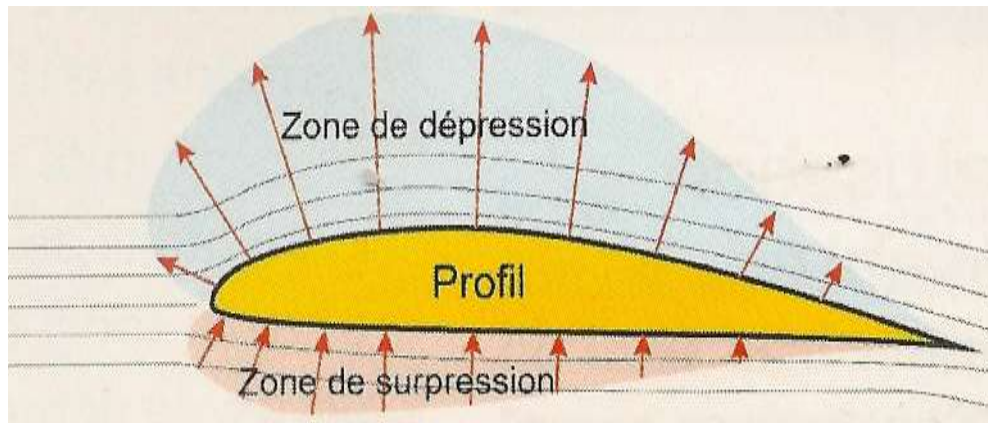


Figure 1.5.

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 trainée

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

- L'un parallèle au vent relatif : c'est la **trainée 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.

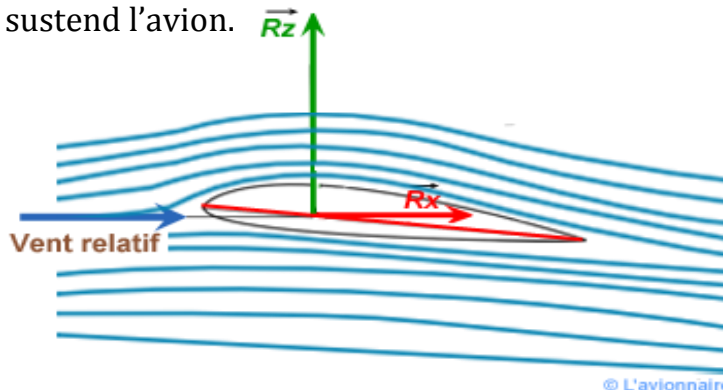
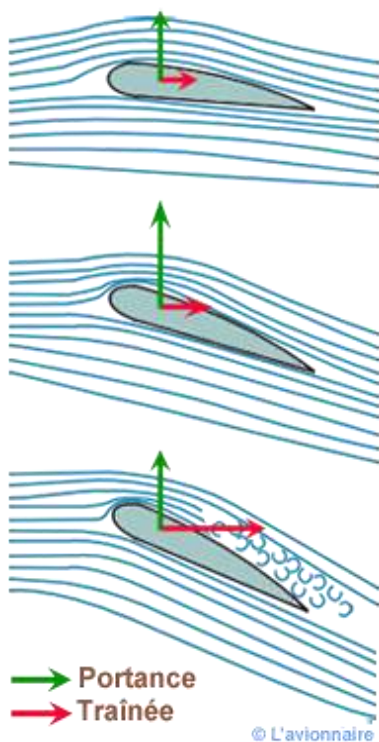


Figure 1.6.

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.

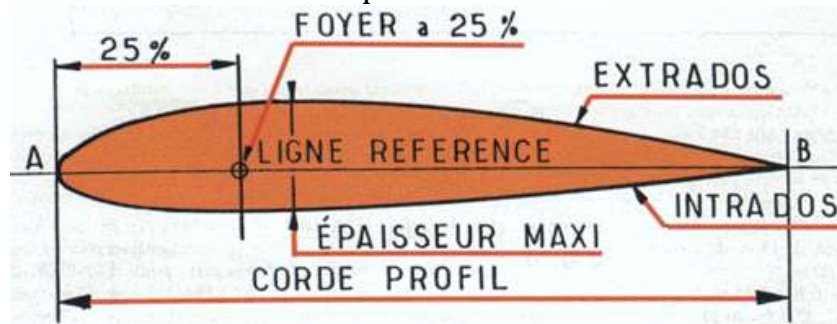



Figure 1.8.

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.



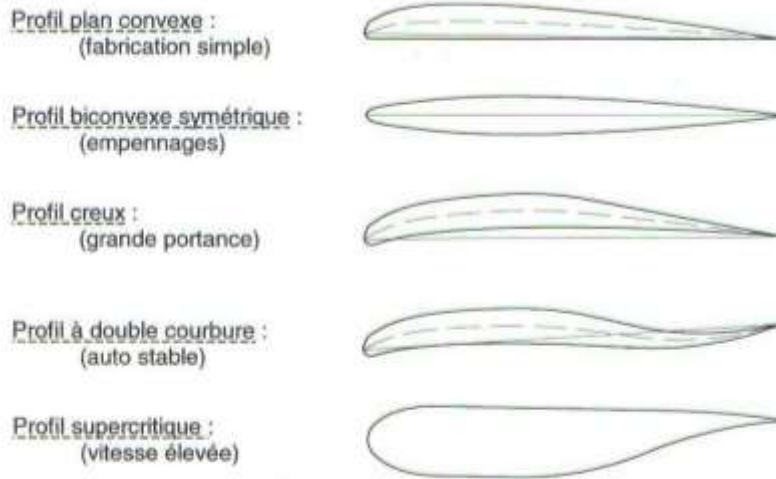
Biconvexe dissymétrique
 courbure de l'extrados plus accentuée que l'intrados.
 La ligne moyenne est à simple courbure (intrados et extrados convexes)
 profils les plus employés pour avion de loisir.
 portance élevée, même avec une incidence faible,
 grande stabilité.
 permet de ne pas décrocher, même 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

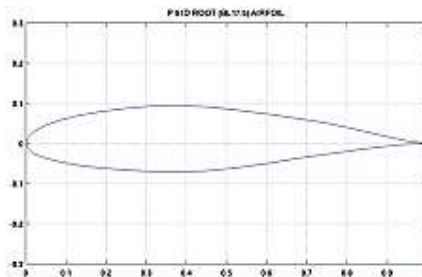


Figure 1.9.



Figures 1.9.bis

Exemples de profils P51D

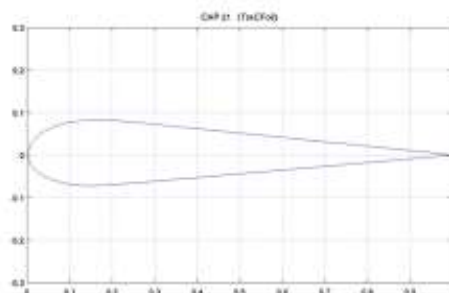


- Grand rayon d'action
- faible traînée à grande vitesse => écoulement laminaire étendue sur le profil d'aile.
- épaisseur maximale à la moitié de la corde => augmente le volume intérieur utile : permet de loger armement + train d'atterrissage + carburant directement dans l'aile.
- moins de portance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

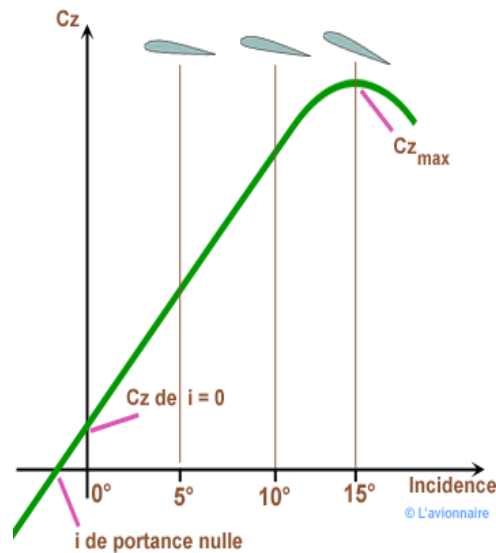


Figure 1.12.

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).

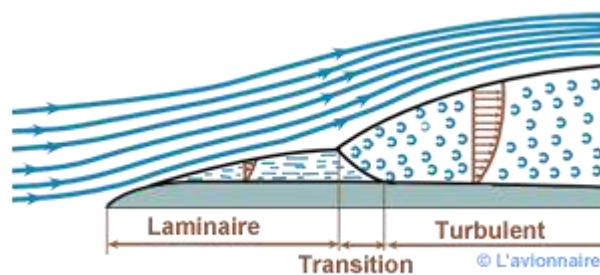
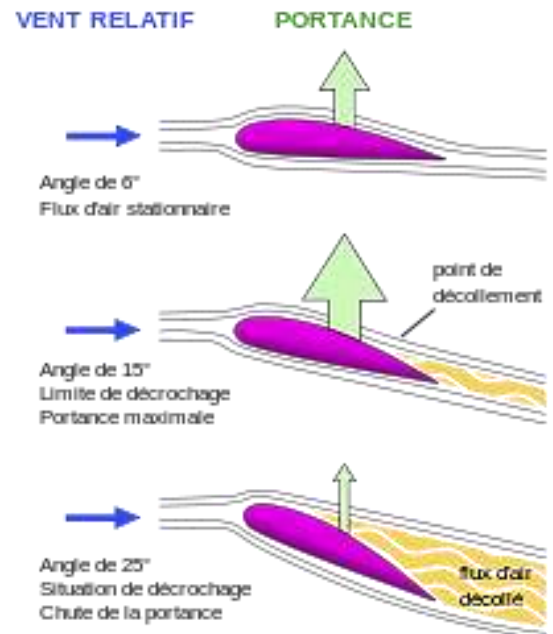


Figure 1.13

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**.

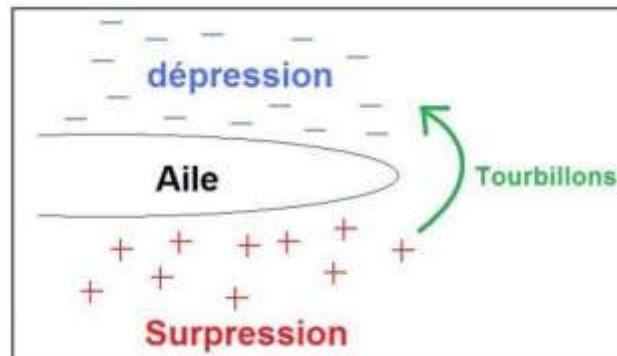


Figure 1.15.

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.

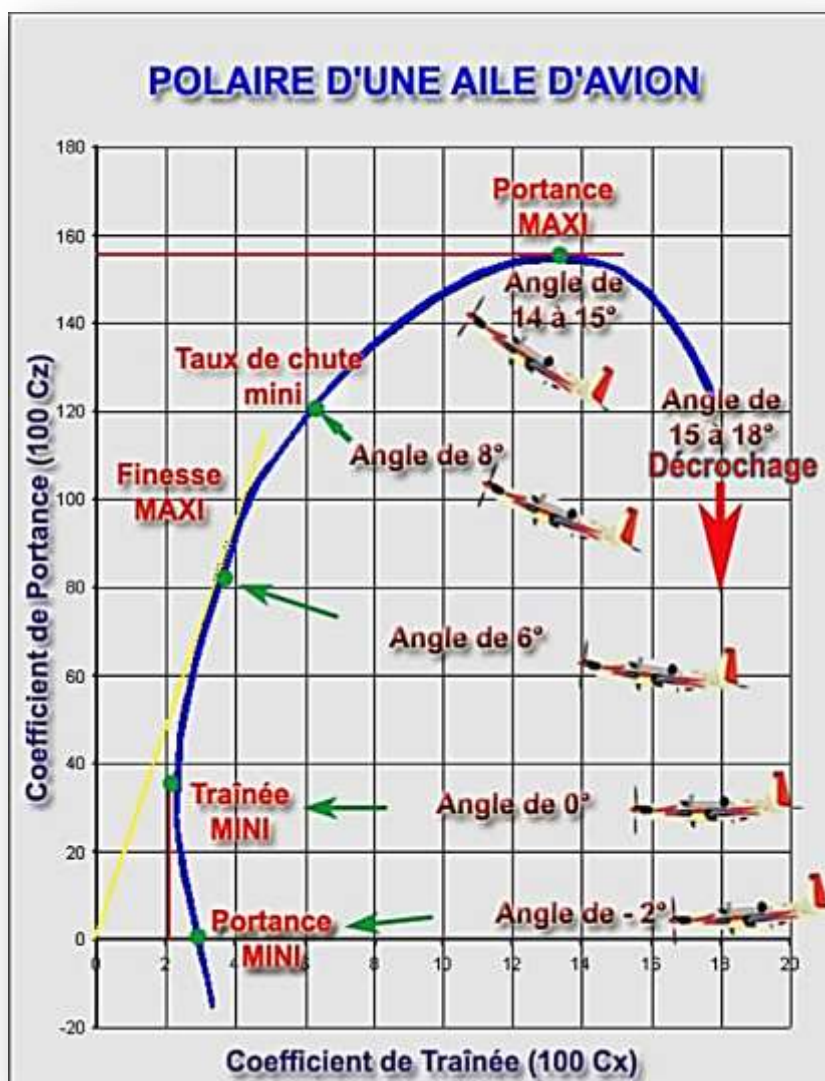
Il est essentiel sur un planeur de veiller à la propreté de l'aile.

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 :

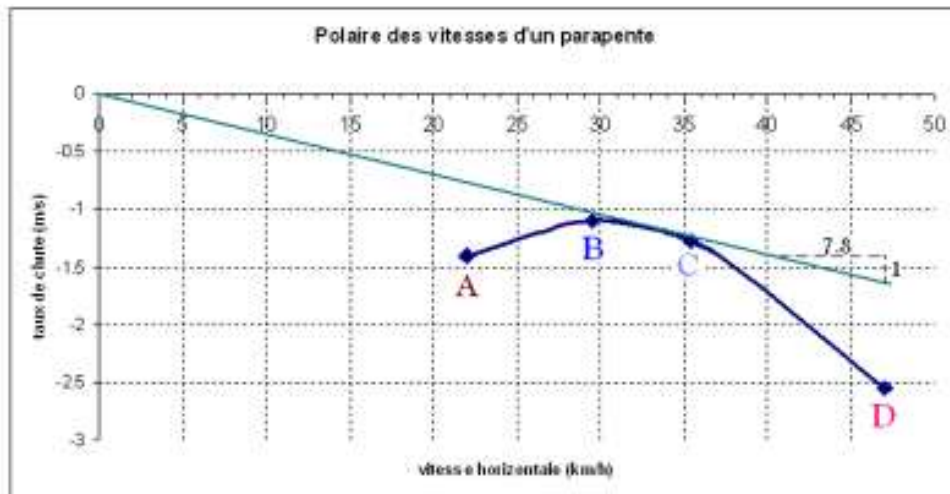
- A : Portance nulle
- B : Trainée minimale
- C : Finesse maximale (C_z/C_x maxi)
- D : Portance maximale
- E : Décrochage

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.

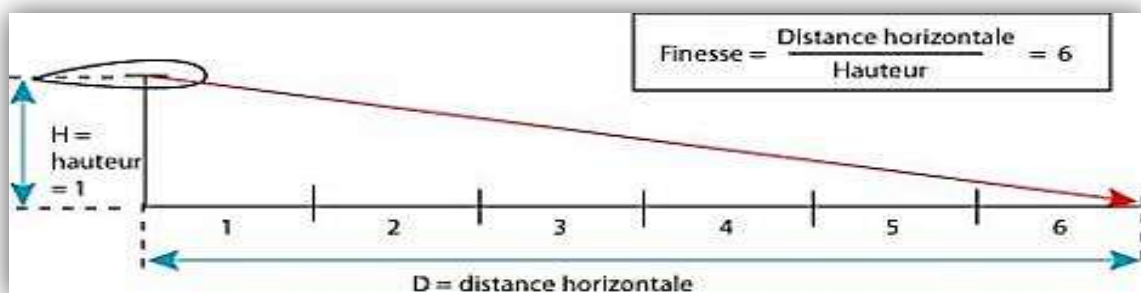


Figure 1.20.

III. Caractéristiques d'une voilure

A. Caractéristiques géométriques

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

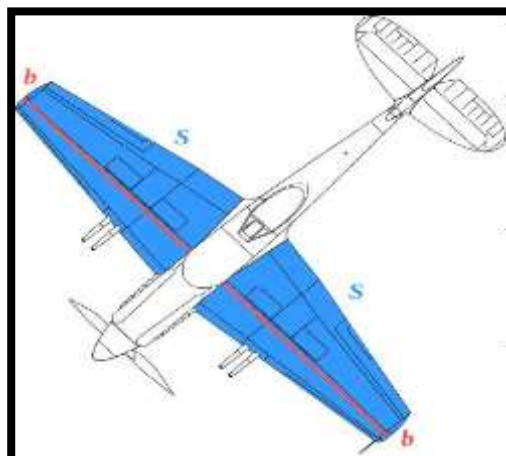


Figure 1.21.

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

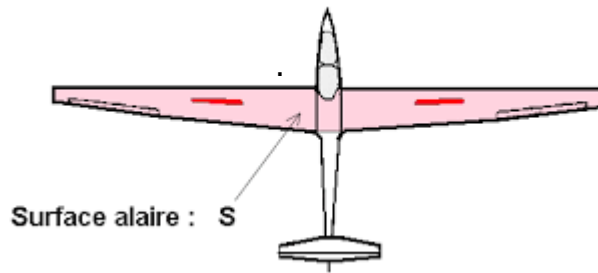


Figure 1.22.

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

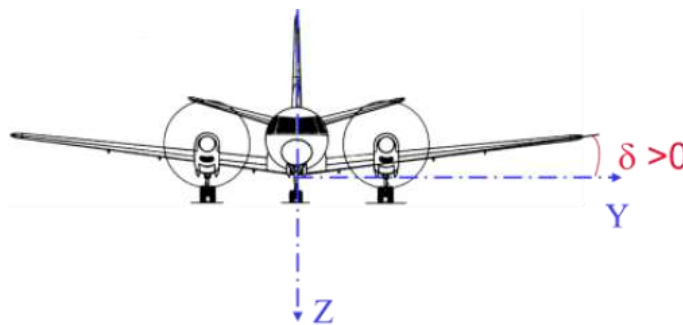
$$A = \frac{2b}{C_{moy}} = \frac{\text{envergure}}{\text{corde moyenne}} = \frac{\text{envergure}^2}{\text{surface alaire}}$$

A vaut environ :

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

- **Dièdre**

Figure 1.23.



- **Flèche**

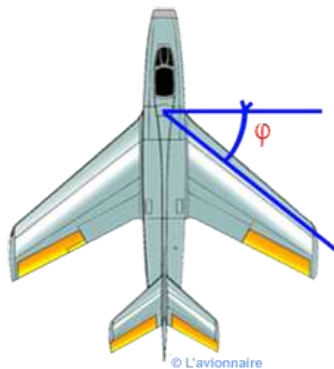


Figure 1.24.

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**.

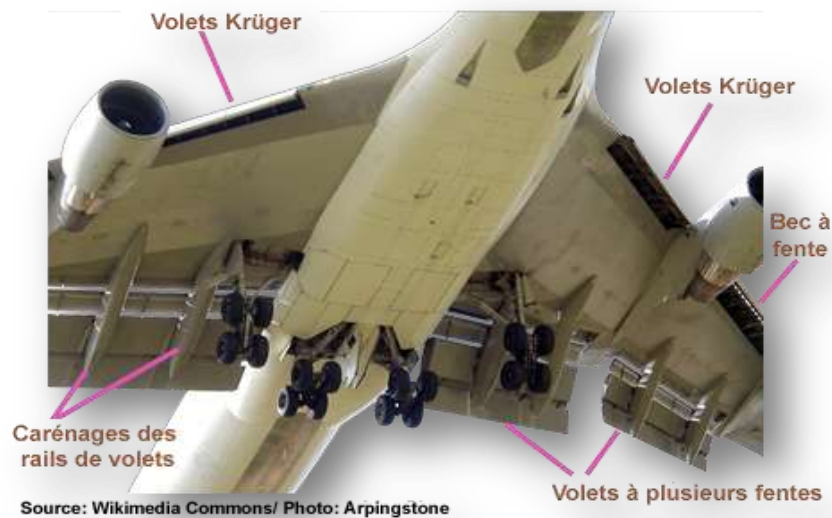


Figure 1.25.

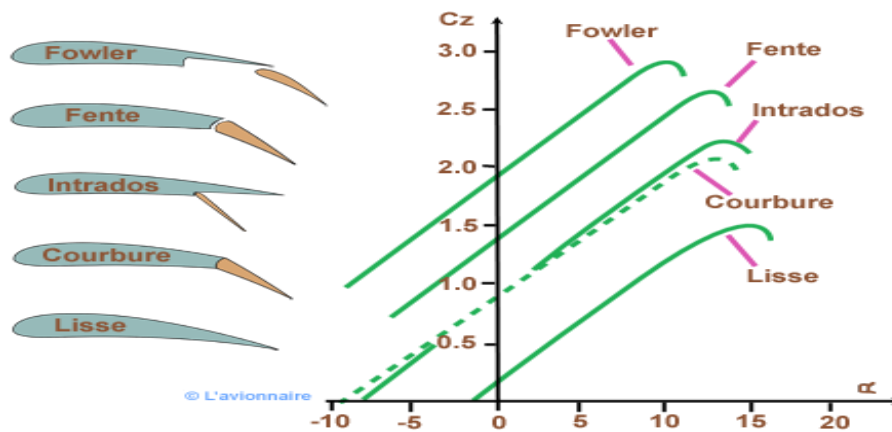
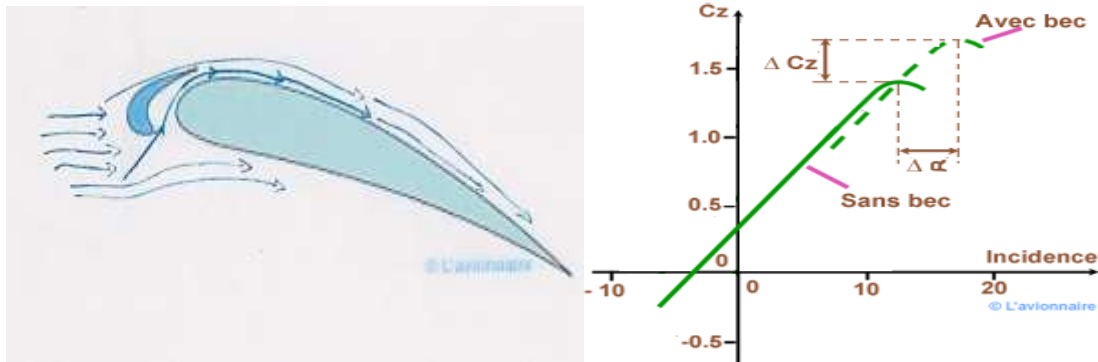


Figure 1.26.

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)

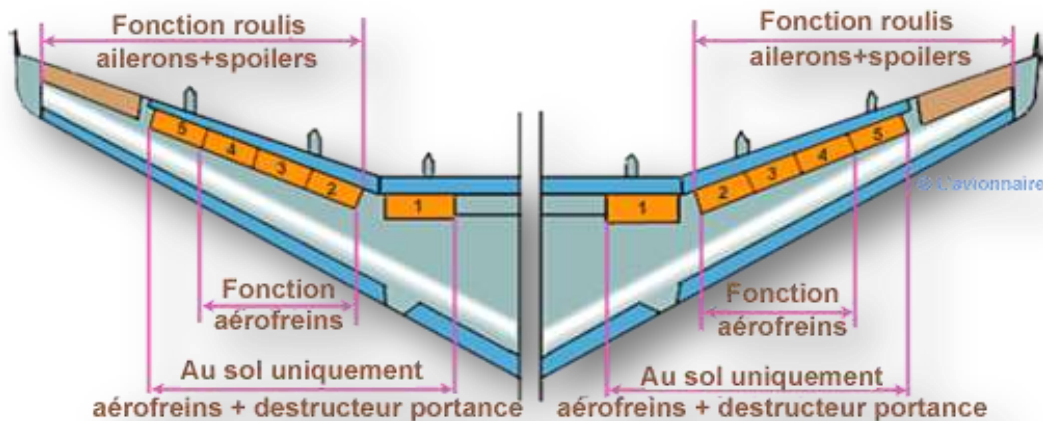
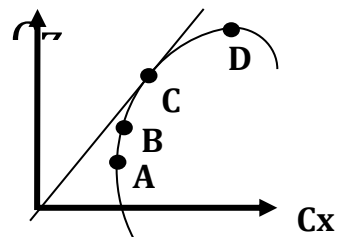


Figure 1.30.

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

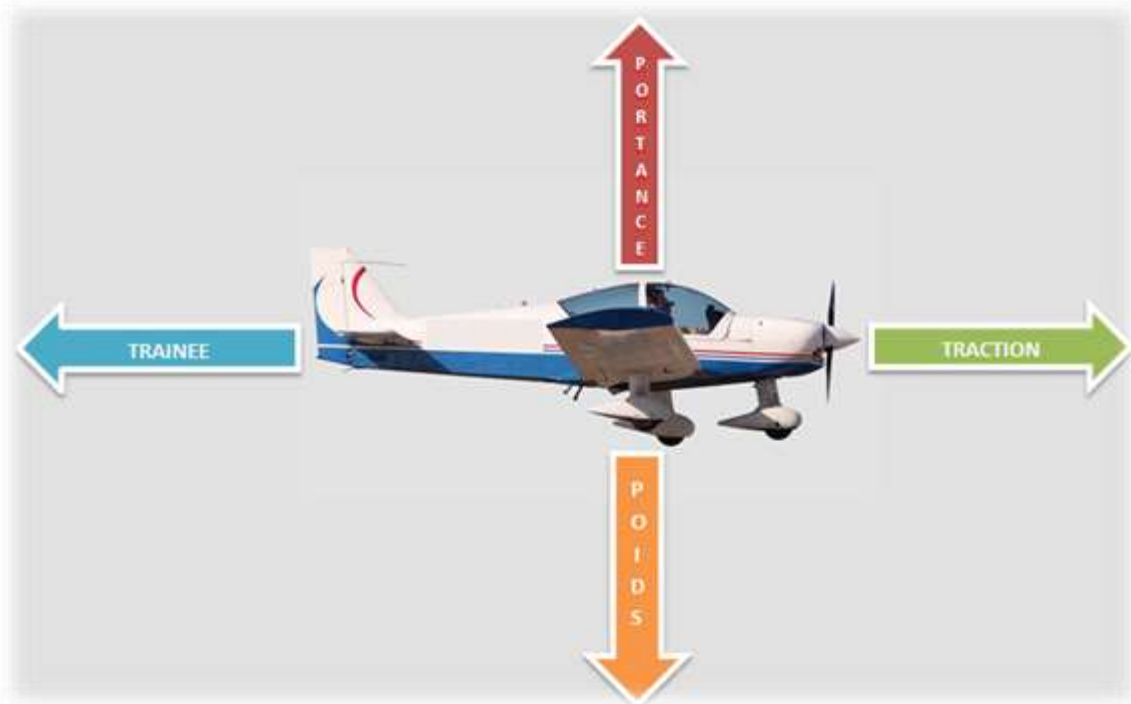


Figure 1.31.

- **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 :

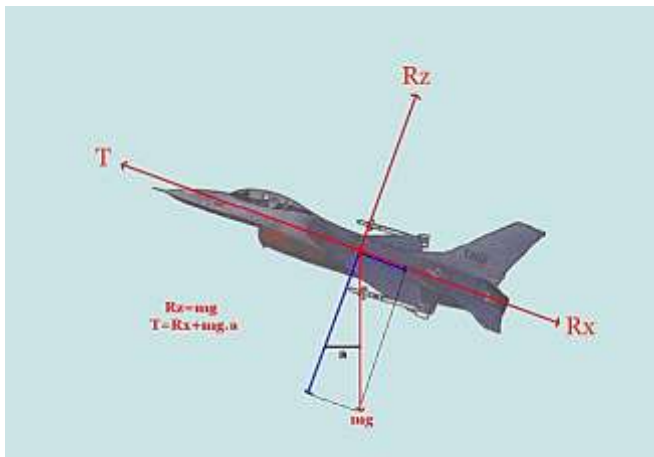
A. En palier

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.

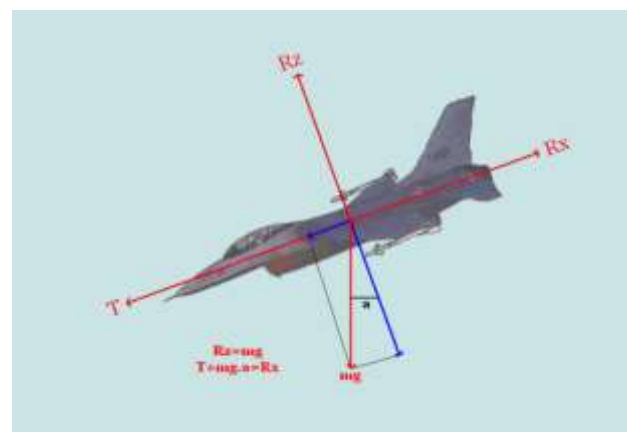


Figure 1.34.

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 :

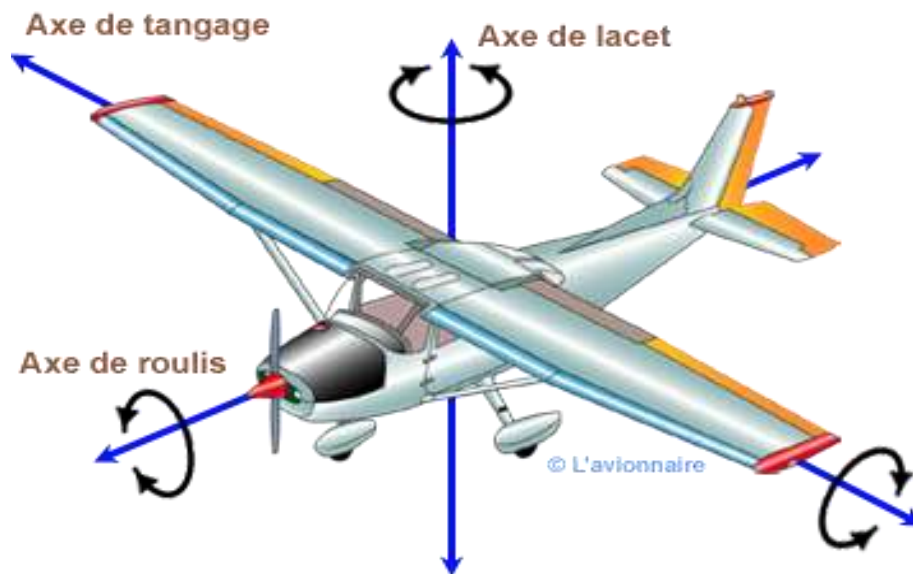


Figure 1.35.

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.

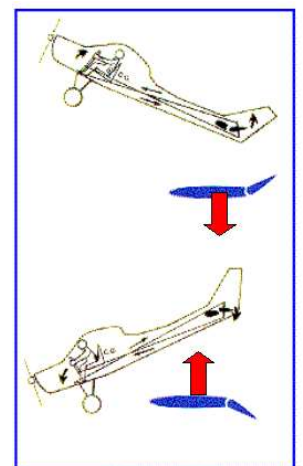


Figure 1.36.

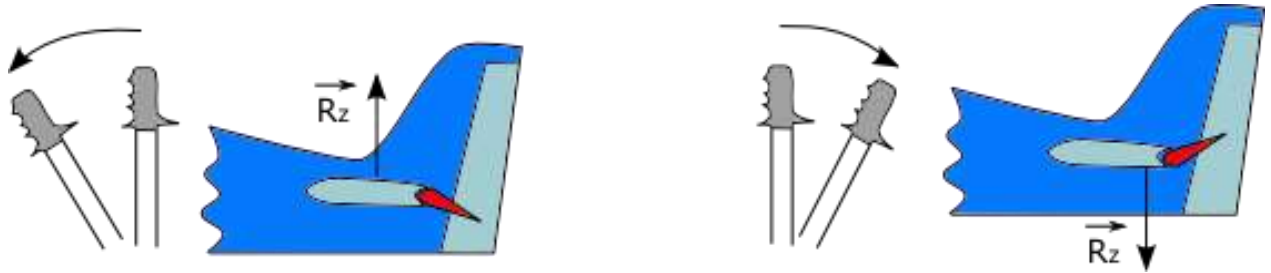


Figure 1.37.

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.**

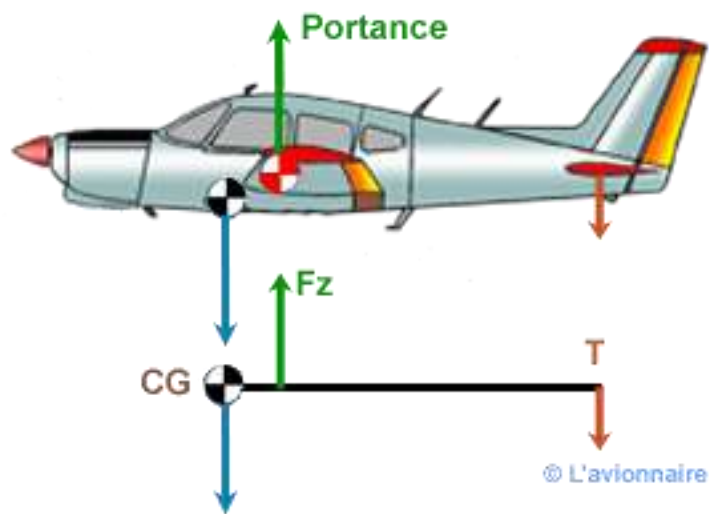


Figure 1.38.

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).

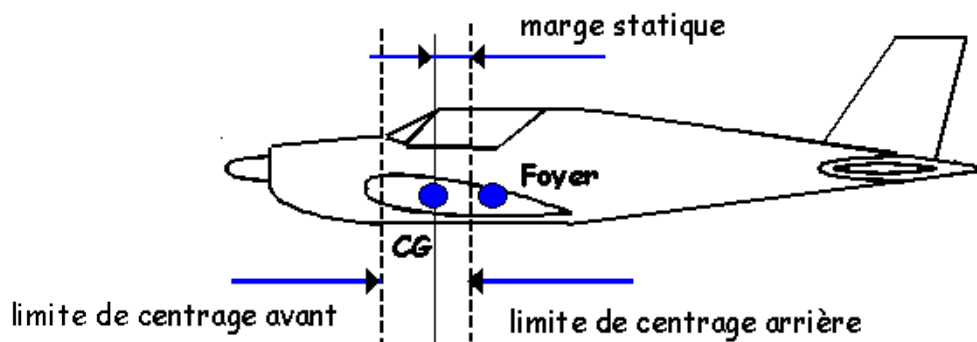


Figure 1.39.

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.

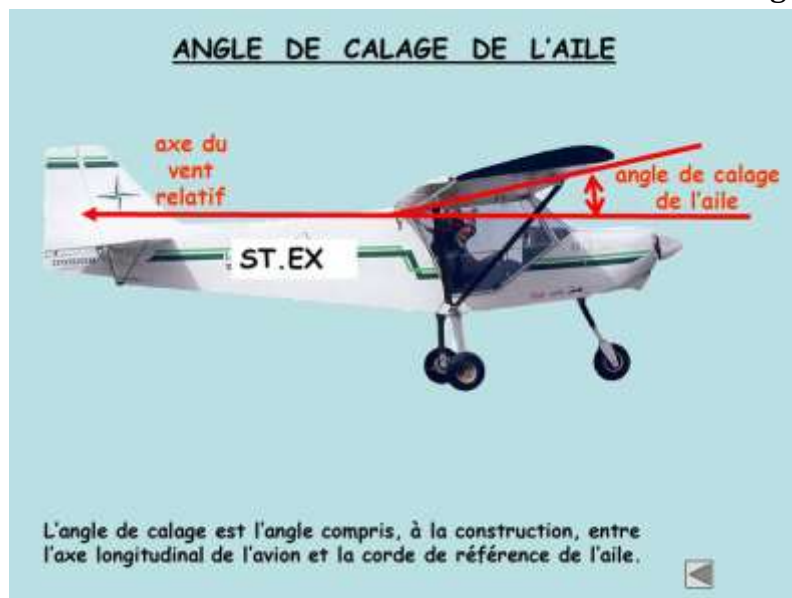


Figure 1.41.

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

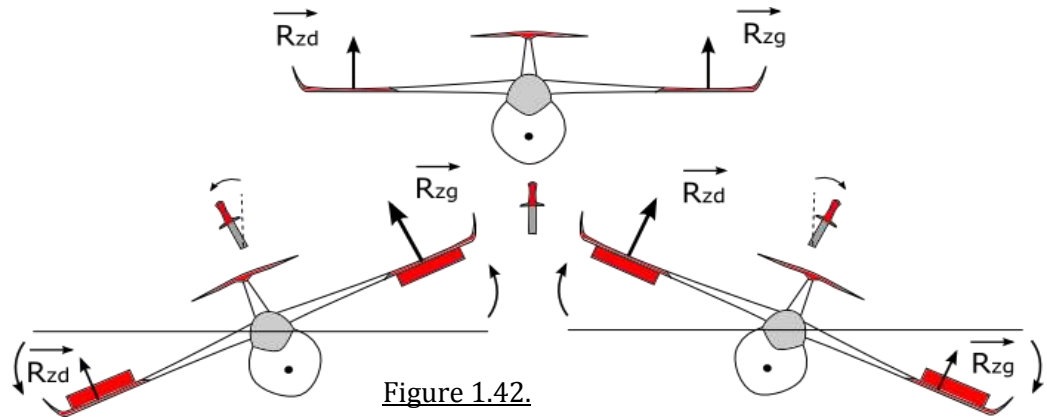


Figure 1.42.

- 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.

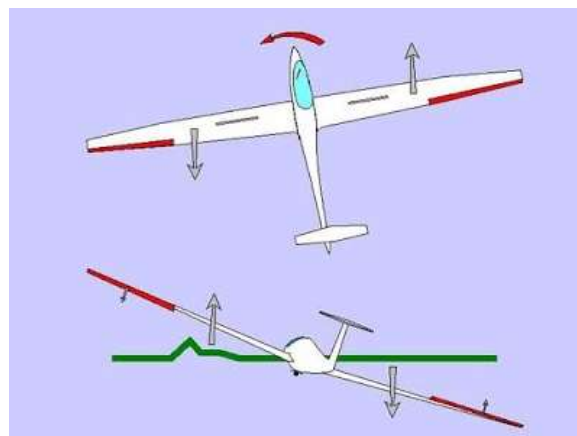


Figure 1.43.

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**

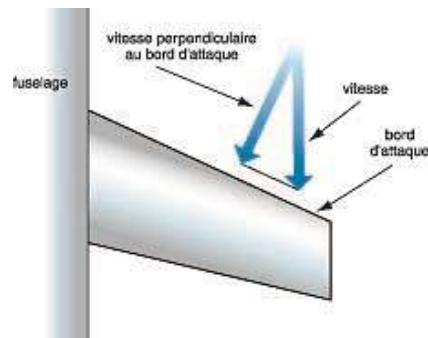


Figure 1.44.

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**

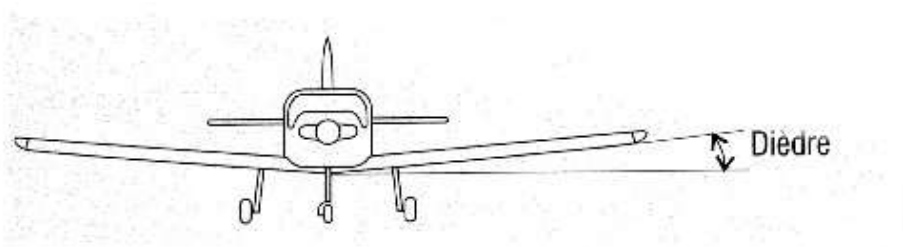


Figure 1.45.

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

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

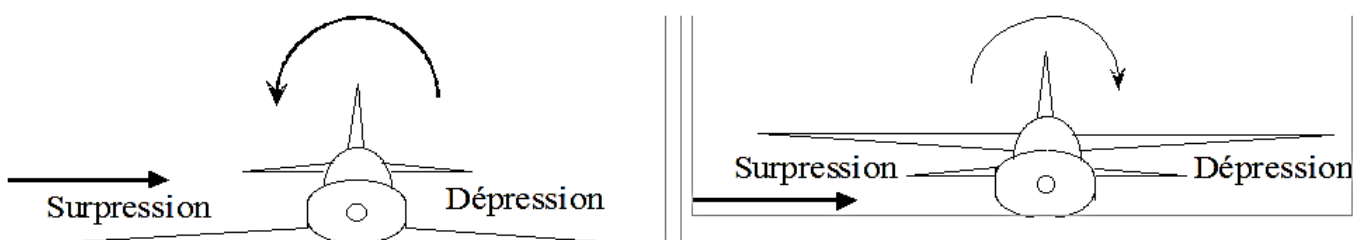


Figure 1.46.

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.

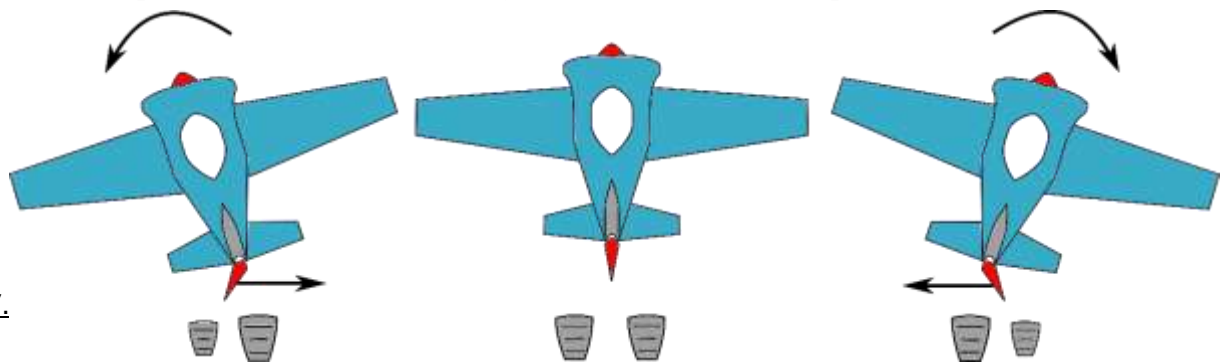


Figure 1.47.

➔ 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.

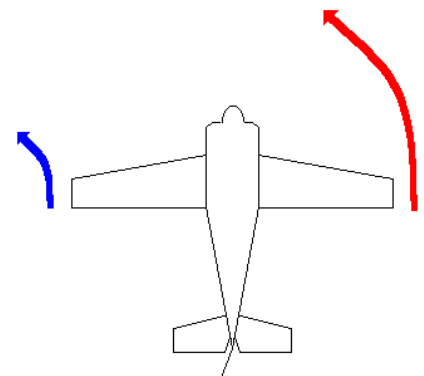


Figure 1.48.

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.

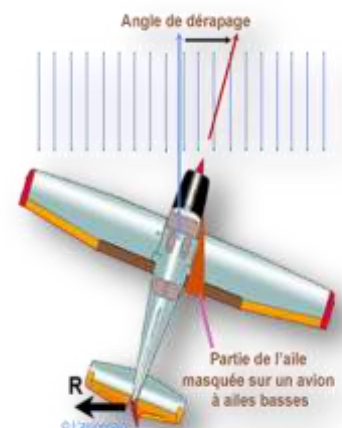


Figure 1.49.

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.

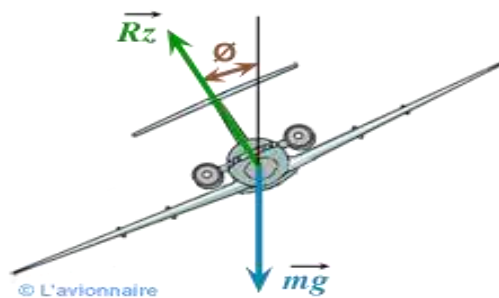


Figure 1.51.

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.

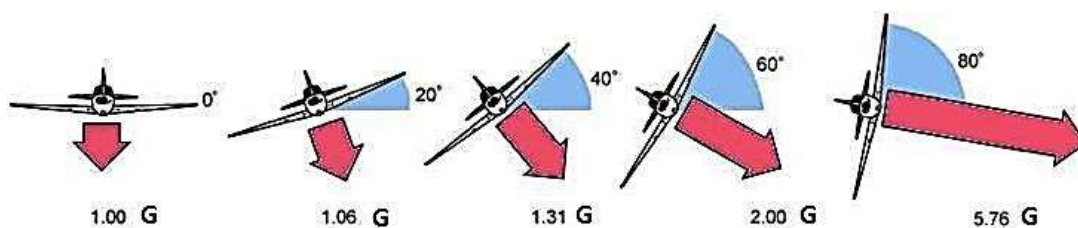


Figure 1.52.

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 :

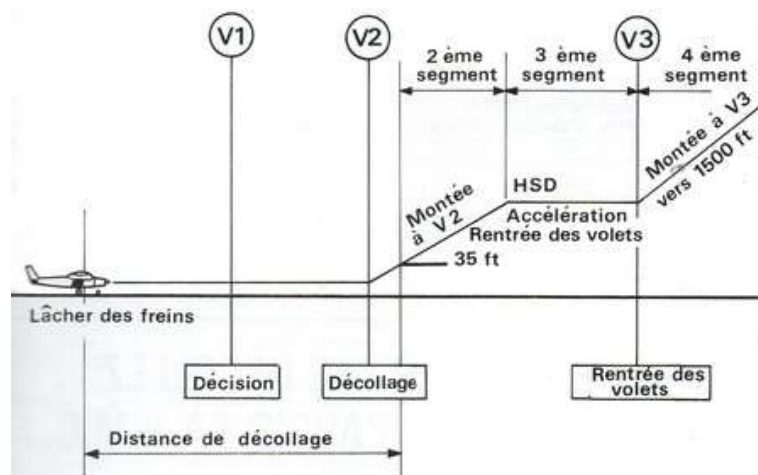


Figure 1.53.

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

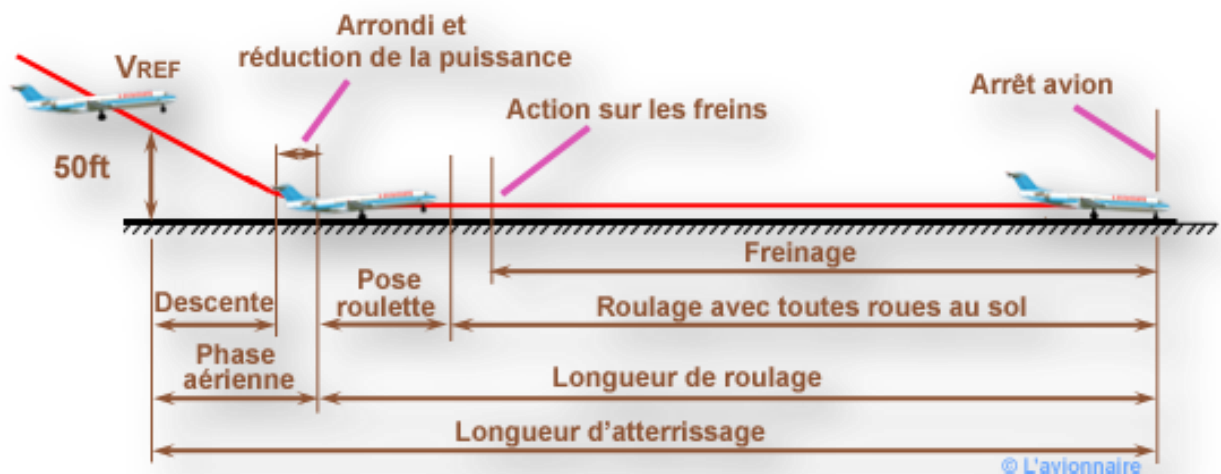


Figure 1.54.

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.

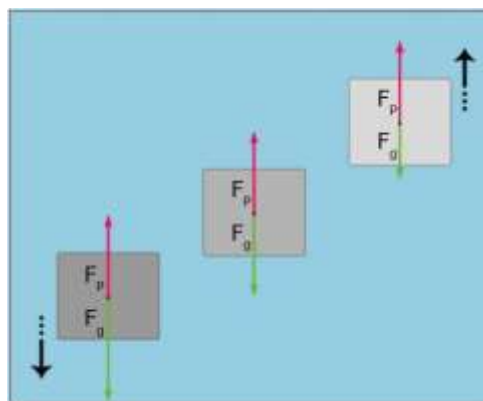


Figure 1.56.

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.

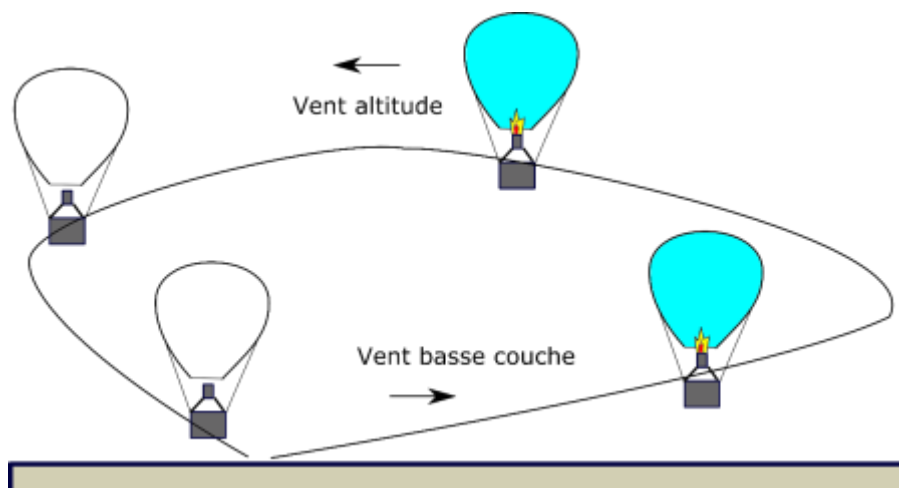


Figure 1.57.

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**

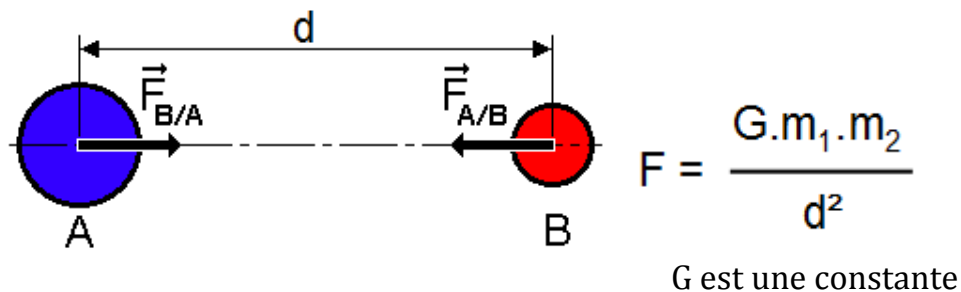


Figure 1.58.

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.

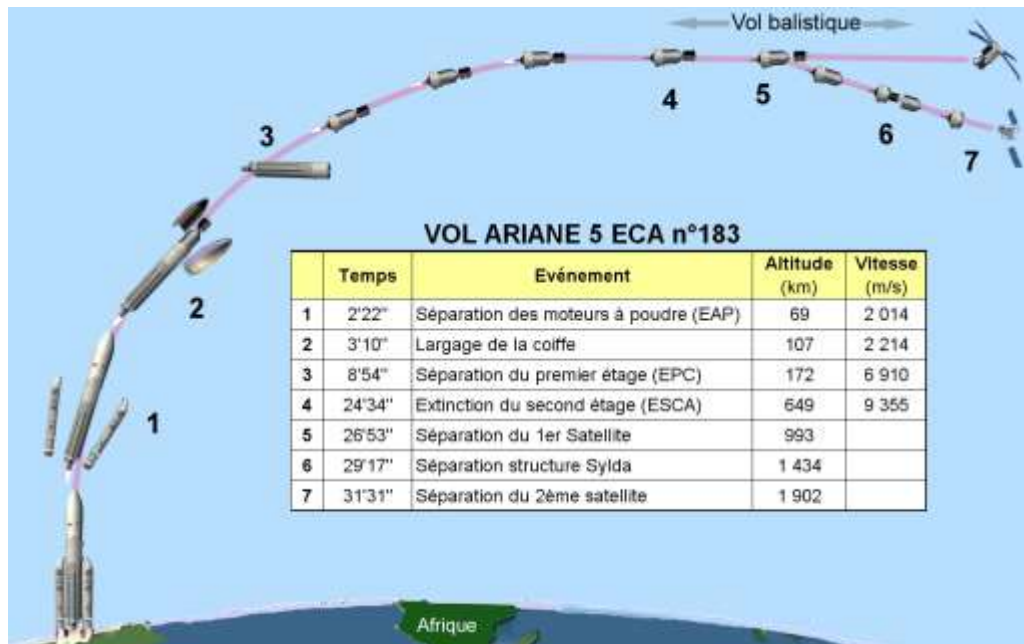


Figure 1.59.

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.

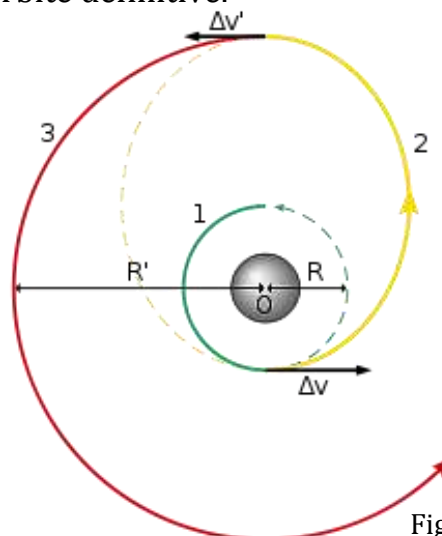


Figure 1.60.

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**.

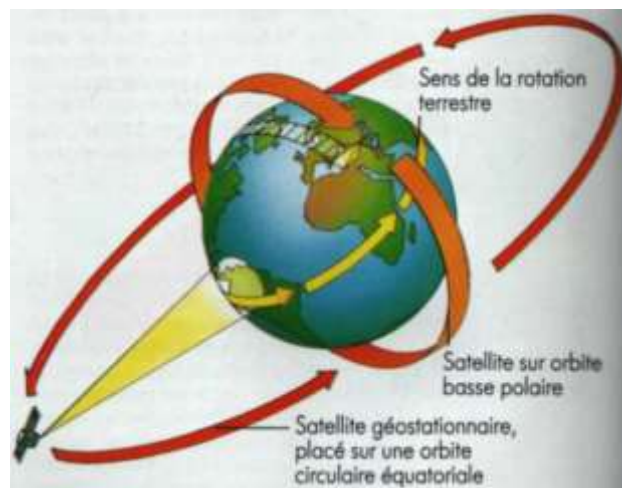


Figure 1.61.

- 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.

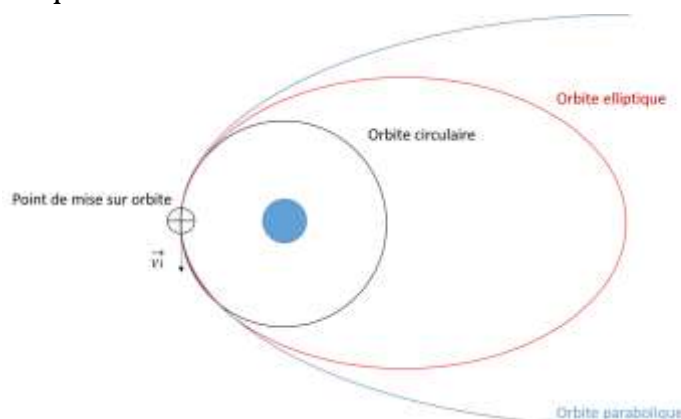


Figure 1.62.

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

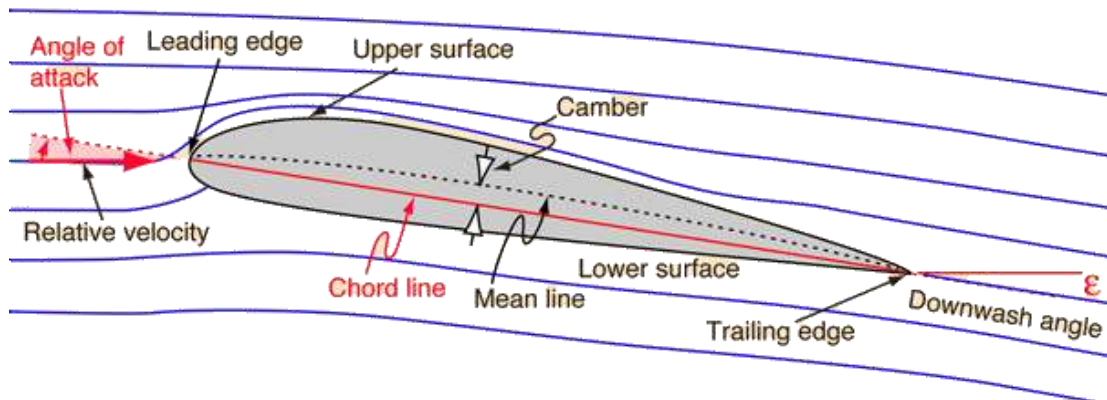
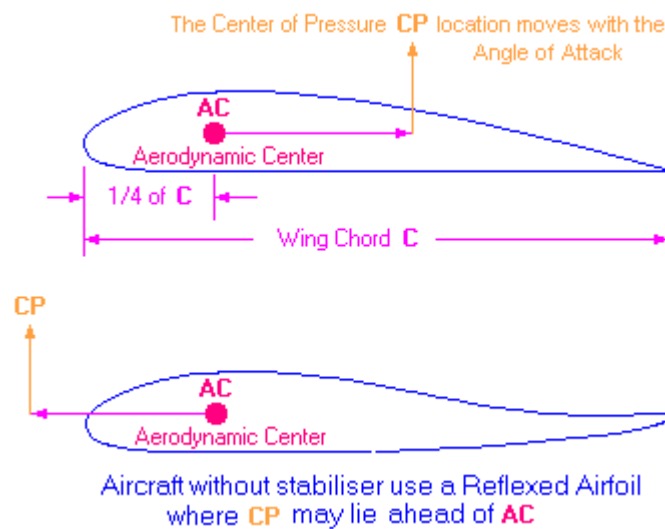


Figure 1.63.



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

Figure 1.64.

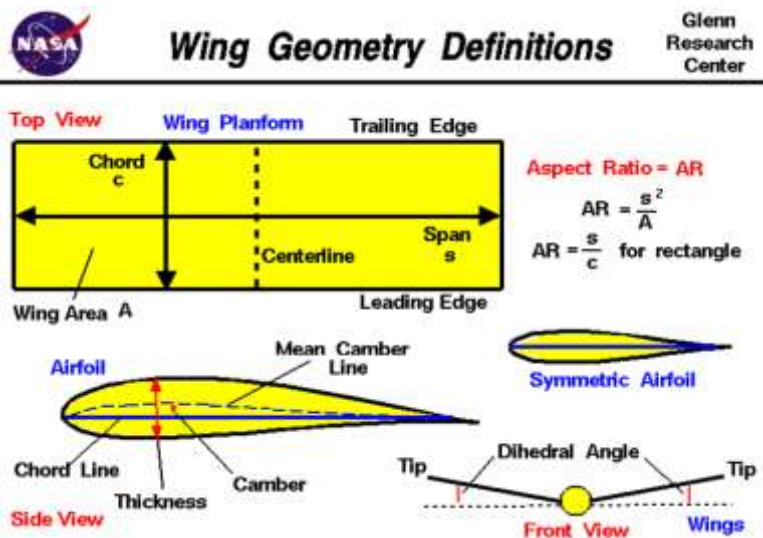


Figure 1.65.

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

II. Mechanics of flight

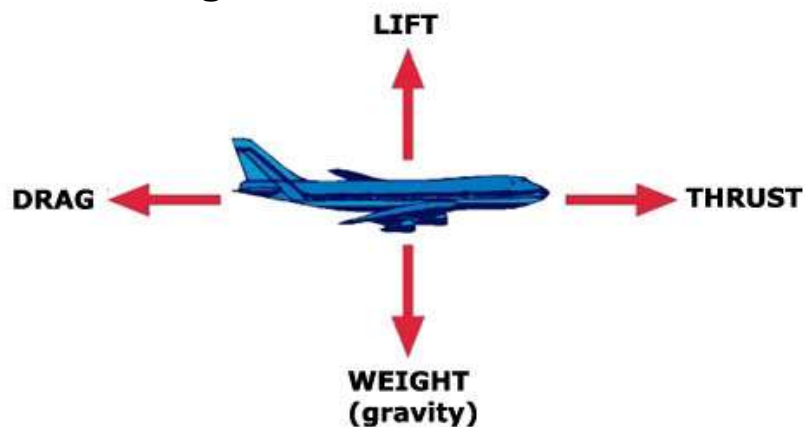


Figure 1.66.

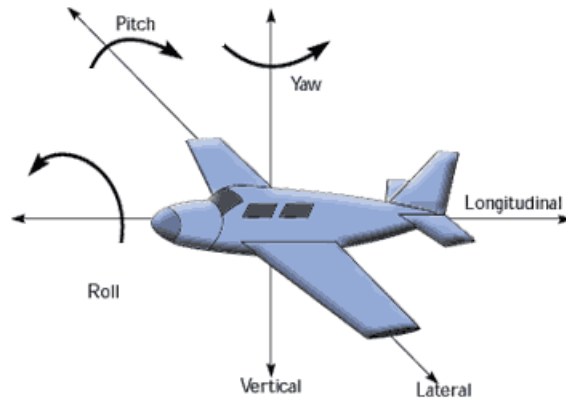


Figure 1.67.

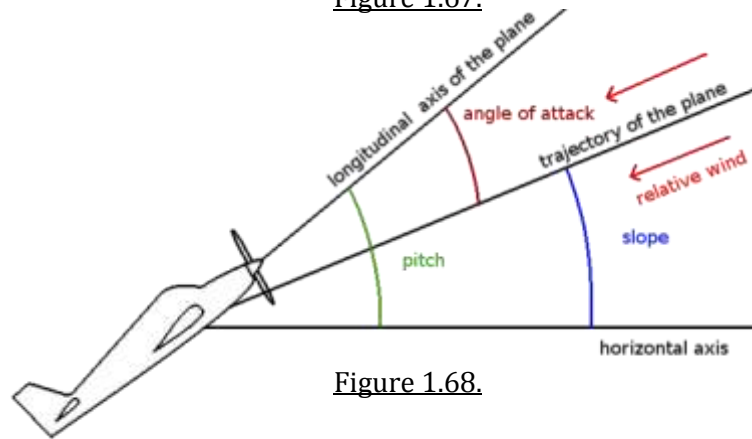


Figure 1.68.

Pitch movement control

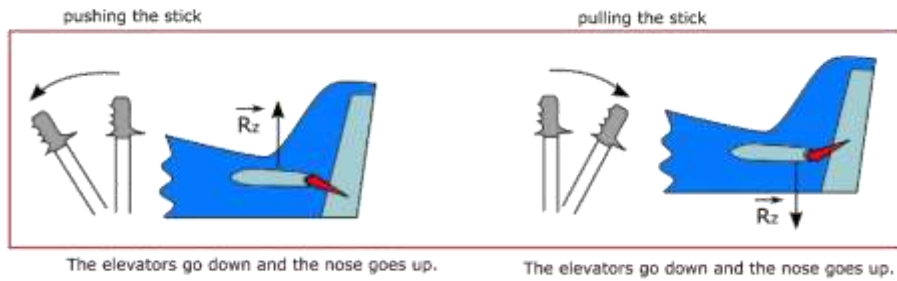


Figure 1.69.

Yaw movement control

Pushing the rudder pedal to the right Pushing the rudder pedal to the left

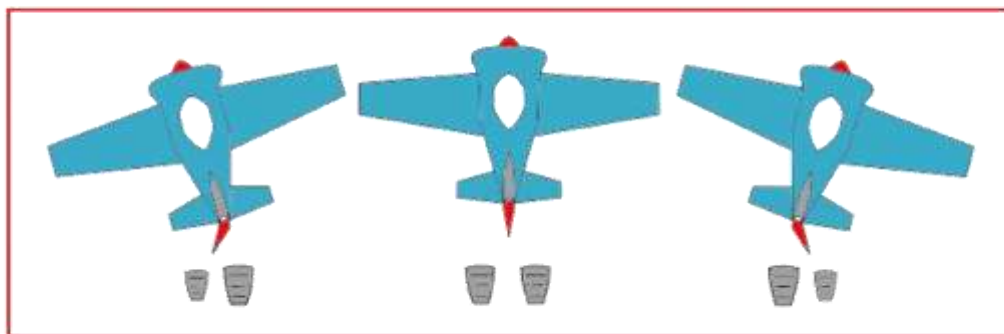


Figure 1.70.

Roll movement control

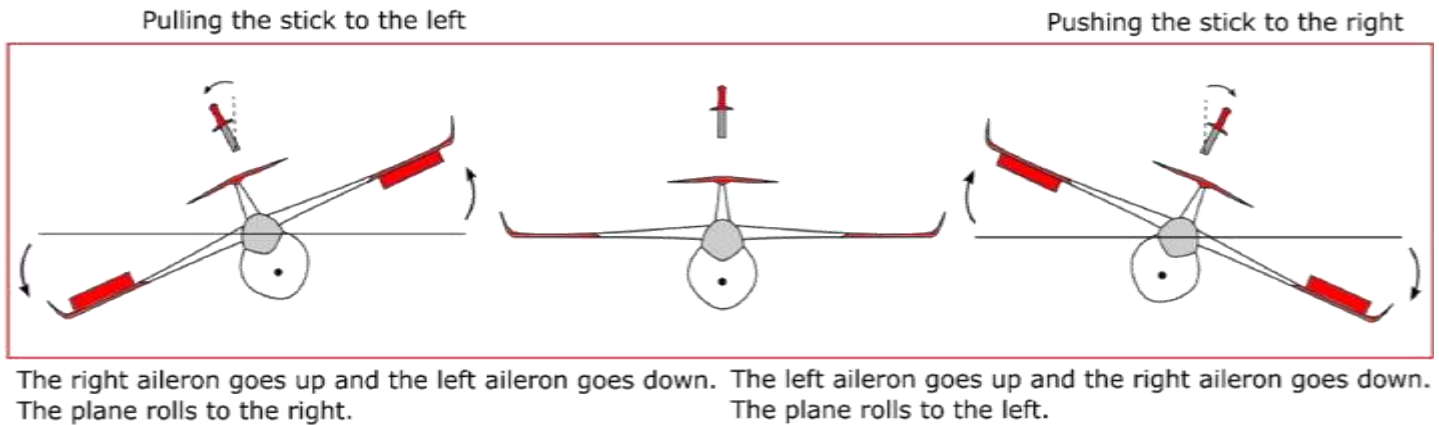


Figure 1.71.

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

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