

MANUEL DU BREVET D'INITIATION AERONAUTIQUE



Préambule

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

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

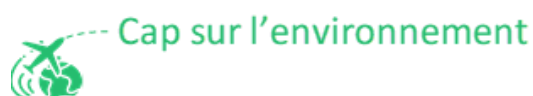
Chacun des 5 chapitres est structuré en 3 ou 4 parties indépendantes, correspondant à une session de formation d'environ 2 heures, incluant éventuellement visionnage de vidéos, lectures de documents, cartes, ... et présentations de maquettes, instruments, pièces, ...

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

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

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

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



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

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

Présentation du programme

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

Voici les cinq thématiques:

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

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

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

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

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



Bonne formation à tous et bon vol !

Rédacteur principal

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

Relecture et mise à jour

J.C Oules (animateur CIRAS)

J.P Celton (Enseignant ENAC)

Contributions

Enseignants de l'Education Nationale

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

CIIRAA (Armée de l'Air)

P. Ballester (Responsable BIA Lycée Paul Riquet)

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

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

Mise en forme et maquettage du manuel

Raphaël Le Bris (Association Morceau de Ciel Bleu)

Sommaire

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

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

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

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

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

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

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

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

Chapitre 2 : AERODYNAMIQUE, AEROSTATIQUE ET PRINCIPES DU VOL



Ce chapitre est divisé en 3 parties :

Partie 1 : Aérodynamique

Partie 2 : Etude du vol stabilisé

Partie 3 : Aérostation et vol spatial

Complément : English vocabular

Contenu du Chapitre :

Partie 1 : Aérodynamique

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

Partie 2 : Etude du vol stabilisé

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

Partie 3 : Aérostation et vol spatial

- I. Aérostation
- II. Vol spatial

Complément : English vocabulary

Partie 1 : Aérodynamique :

I. Comment vole un avion ?

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

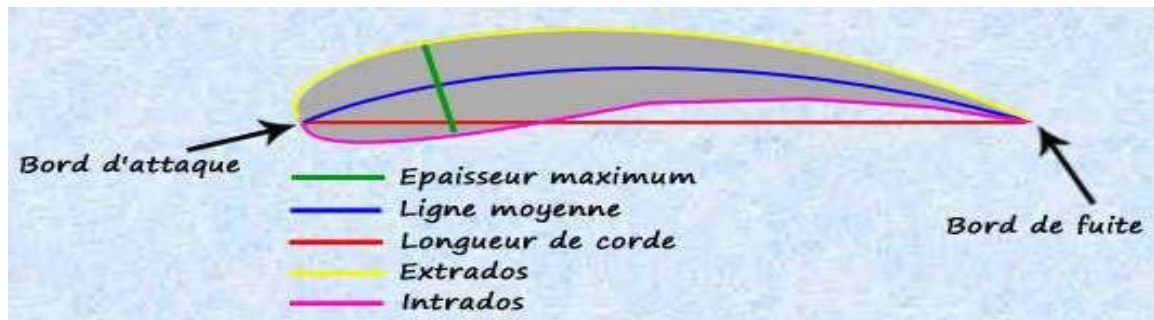


Figure 1.1.

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

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

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

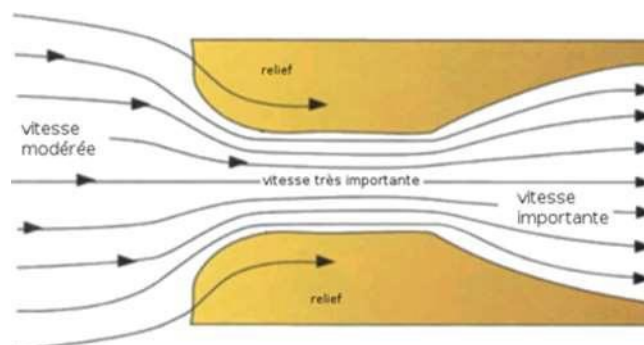


Figure 1.2.

F. Foyer

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

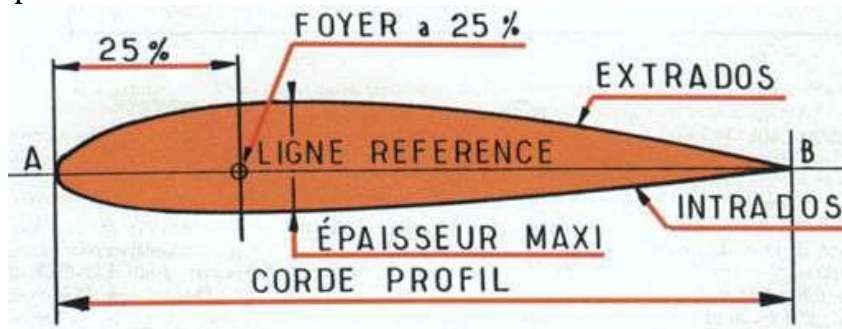


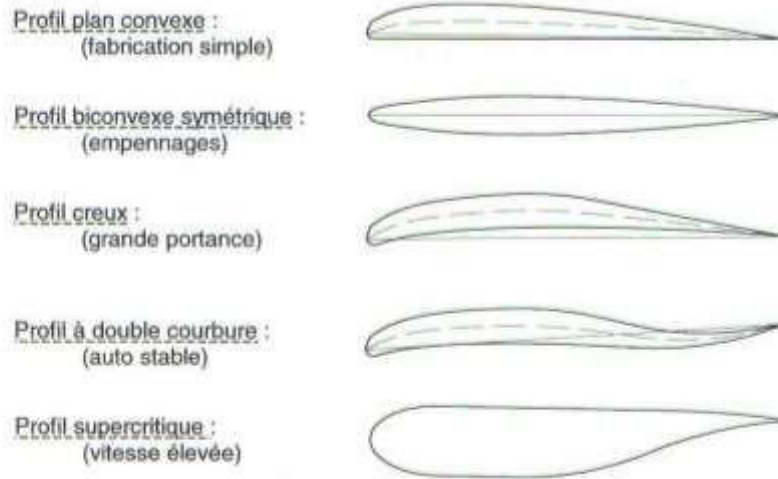
Figure 1.8.

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

G. Exemples de profil

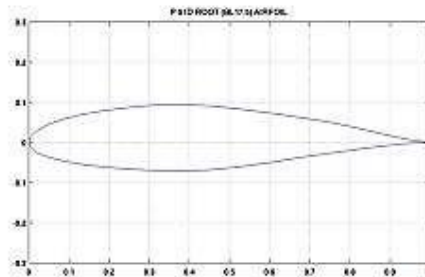
<p>Biconvexe symétrique intrados extrados convexes symétriques par rapport à la corde. ligne moyenne rectiligne et confondue avec la corde. Faible trainée Utilisé pour les empennages verticaux et horizontaux, pour la voltige</p>	
<p>Biconvexe dissymétrique courbure de l'extrados plus accentuée que l'intrados. 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.</p>	
<p>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</p>	

Figure 1.9.



Figures 1.9.bis

Exemples de profils P51D

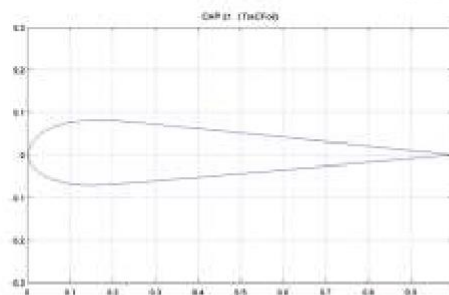


- Grand rayon d'action
- faible traînée à grande vitesse => écoulement laminaire étendue sur le profil d'aile.
- épaisseur maximale à la moitié de la corde => augmente le volume intérieur utile ; permet de loger armement + train d'atterrissage + carburant directement dans l'aile.
- moins de portance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



Figure 1.10.

Exemples de profils CAP21



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

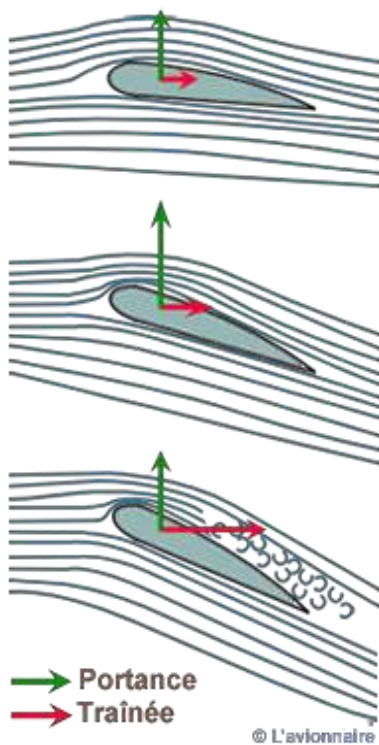


Figure 1.11.

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

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

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



Avec :

- * ρ = Masse volumique de l'air (en kg.m³)
- * S = Surface alaire de l'avion (en m²)
- * 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 → portance et trainée diminuent avec l'altitude.

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

Figure 1.7.

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

Pour un avion de transport civil :

- En croisière → $C_z \approx 0,5$
 → $C_x \approx 0,025$

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

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

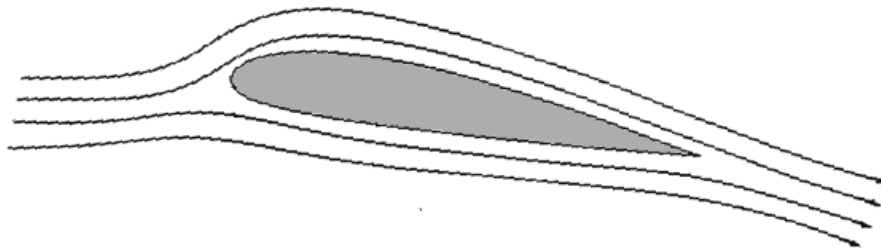


Figure 1.3.

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.

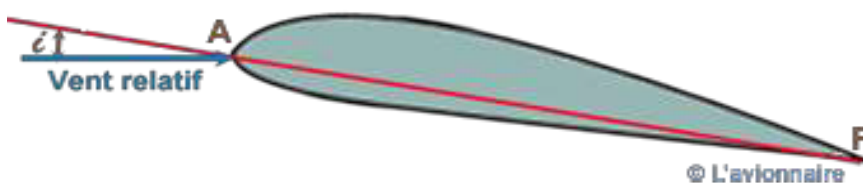


Figure 1.4.

D. Les forces aérodynamiques

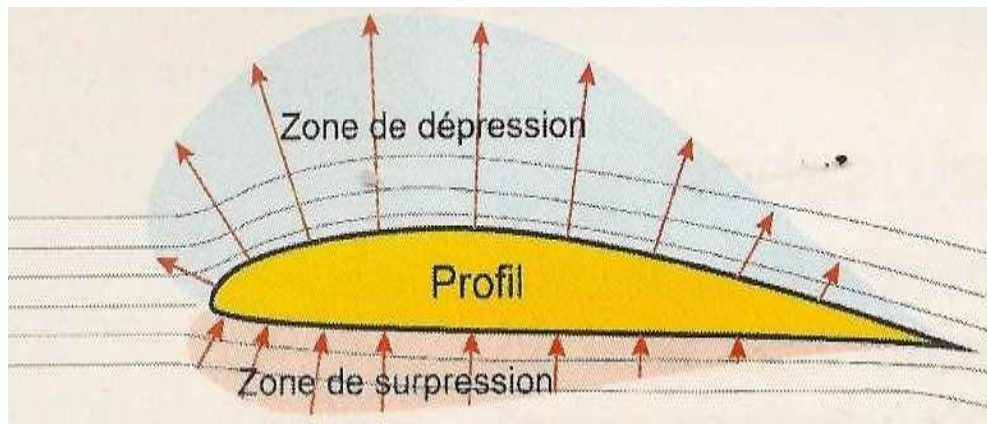


Figure 1.5.

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.

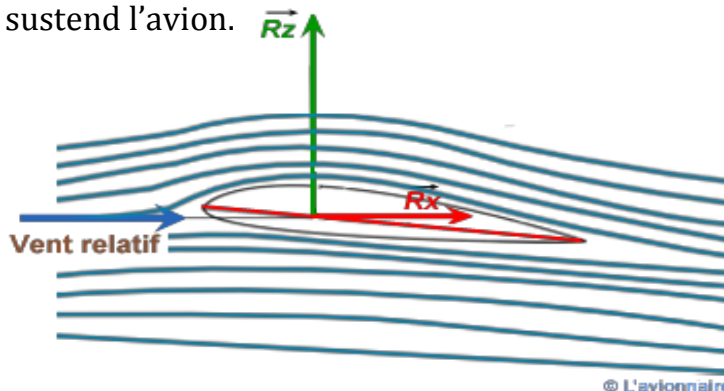
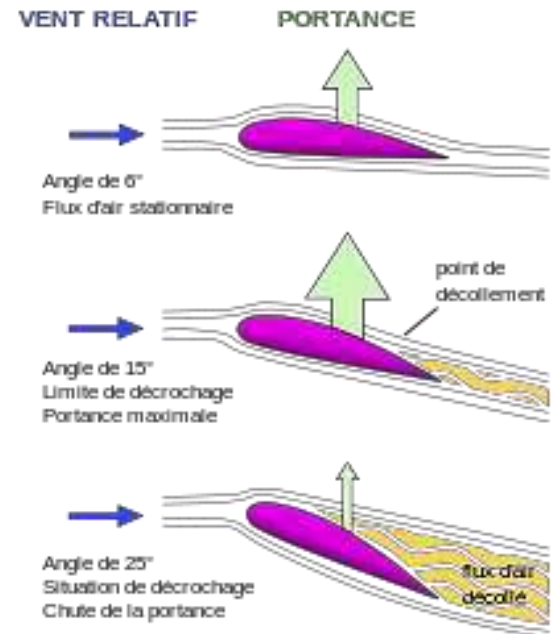


Figure 1.6.

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.

II. Etude de la polaire

A. Etude du coefficient de portance

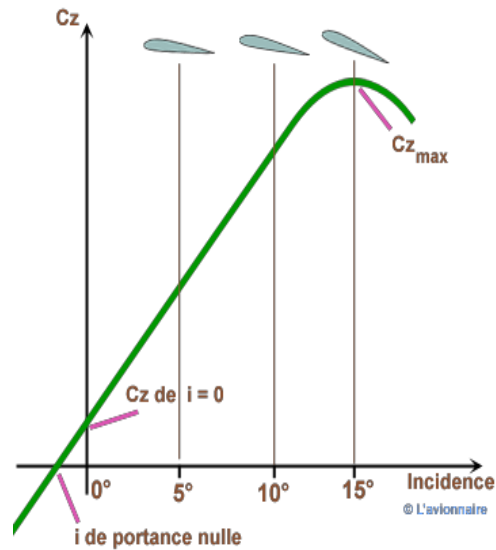


Figure 1.12.

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).

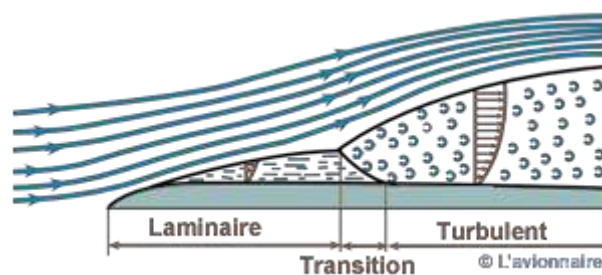


Figure 1.13

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**.

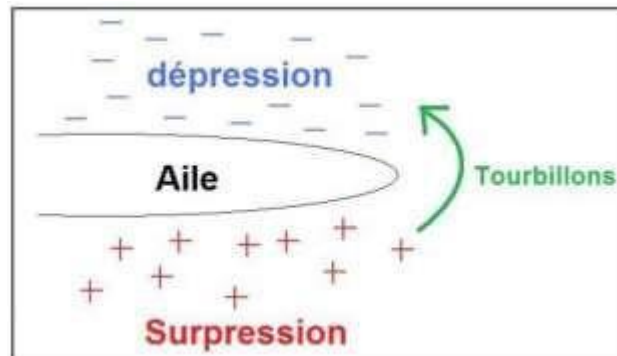


Figure 1.15.

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.

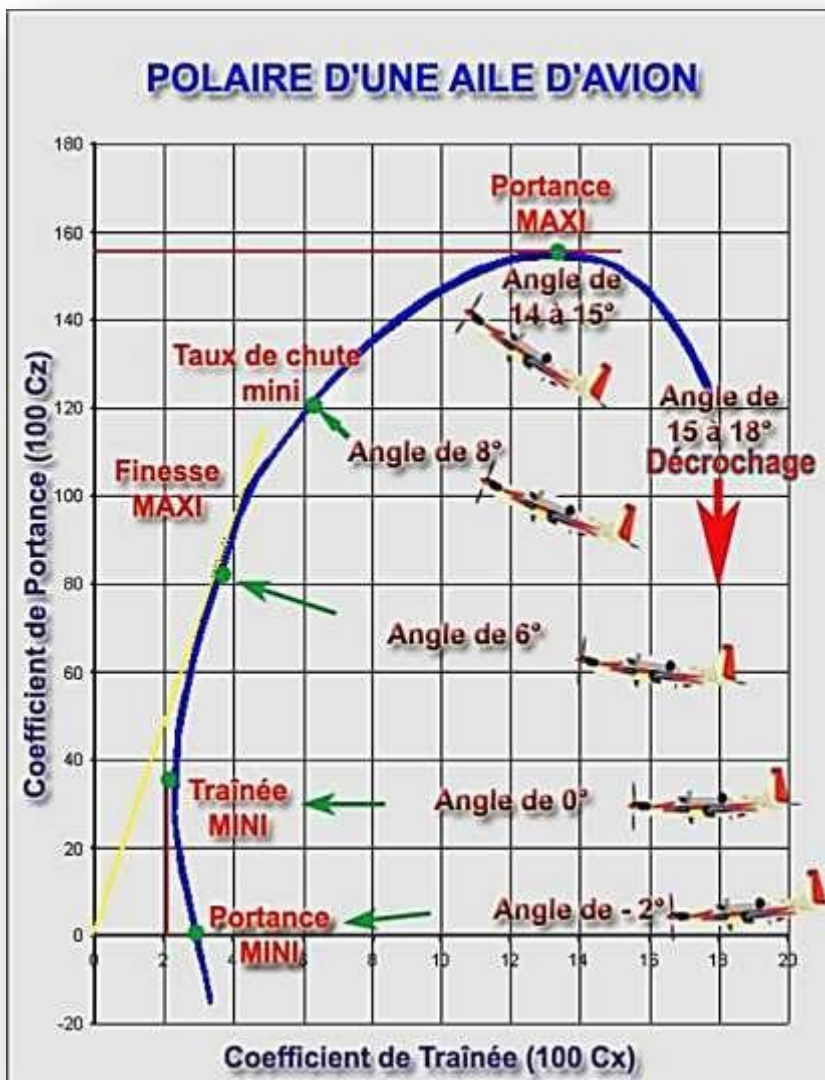
Il est essentiel sur un planeur de veiller à la propreté de l'aile.

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.

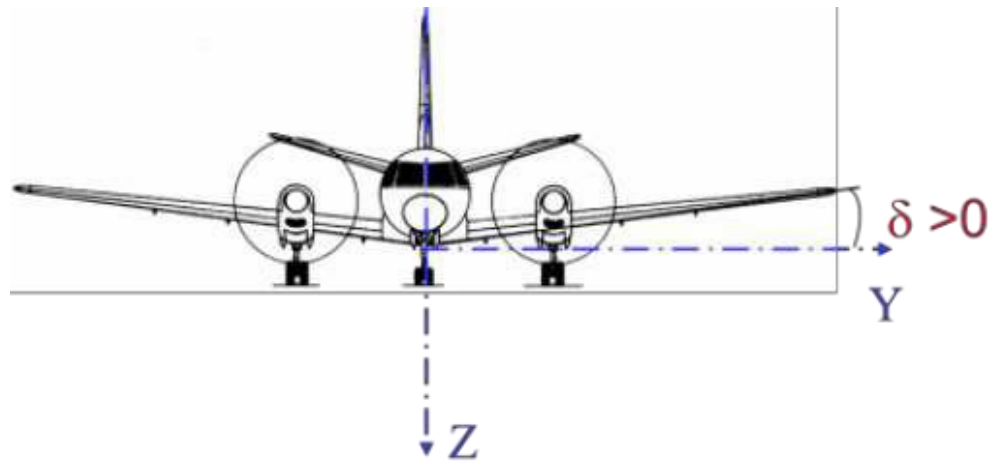
Les points caractéristiques d'une polaire sont :

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

Figure 1.19.

Dièdre

Figure 1.24.



Flèche

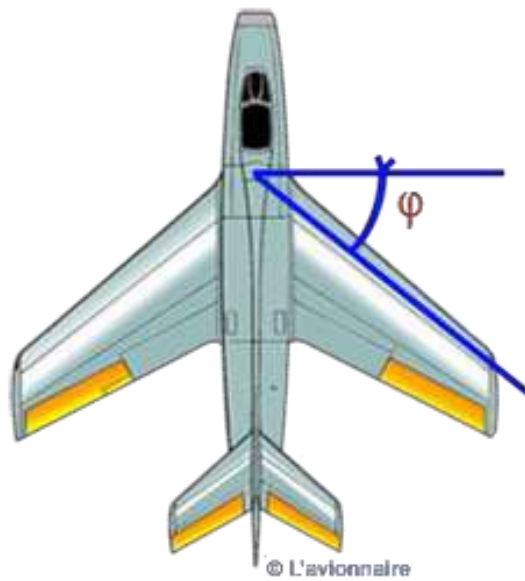


Figure 1.25.

Cap sur l'environnement

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

→ Étude de cas : Le Boeing 737

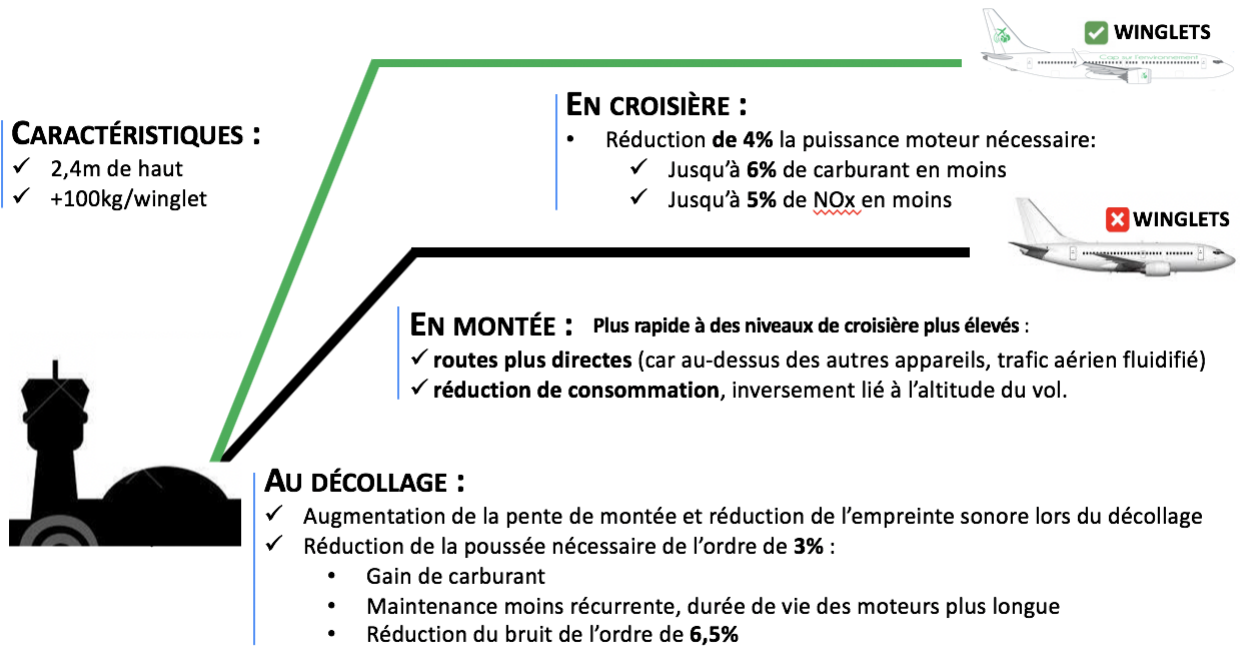


Figure 1.18.

B. Becs et volets

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

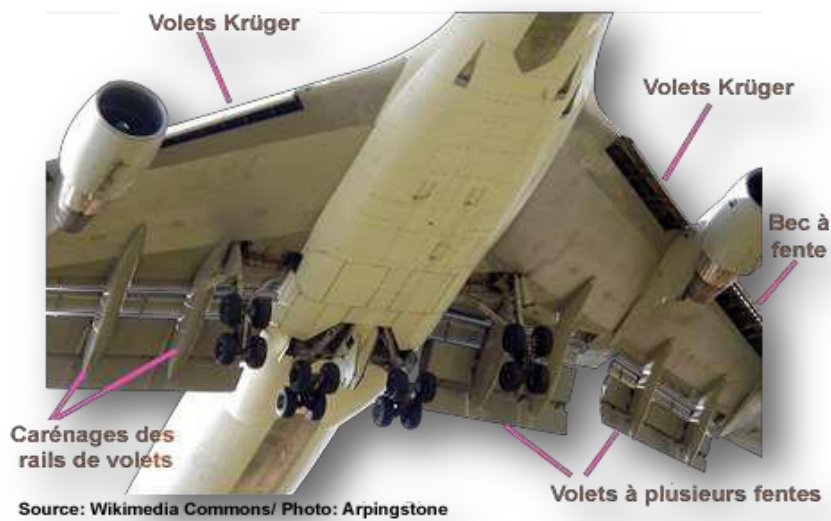


Figure 1.26.

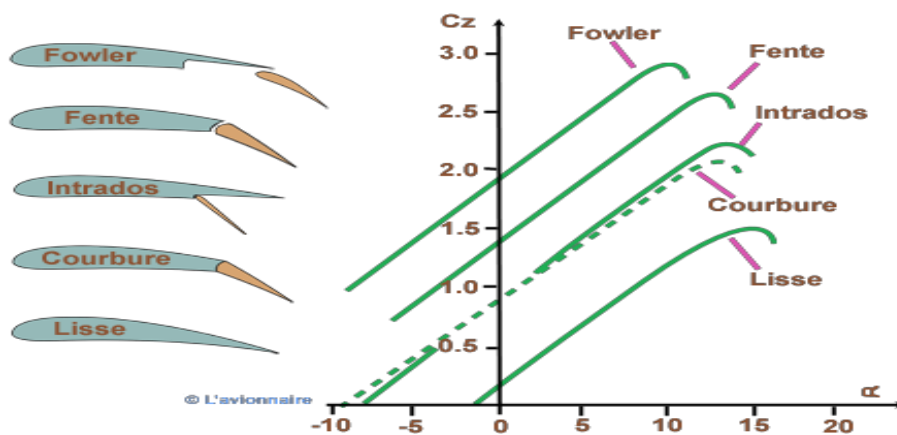


Figure 1.27.

A noter que les volets augmentent également la surface alaire.

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

E. La finesse

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

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

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

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

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

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

Le point de finesse maximale joue un rôle important :

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

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

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

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

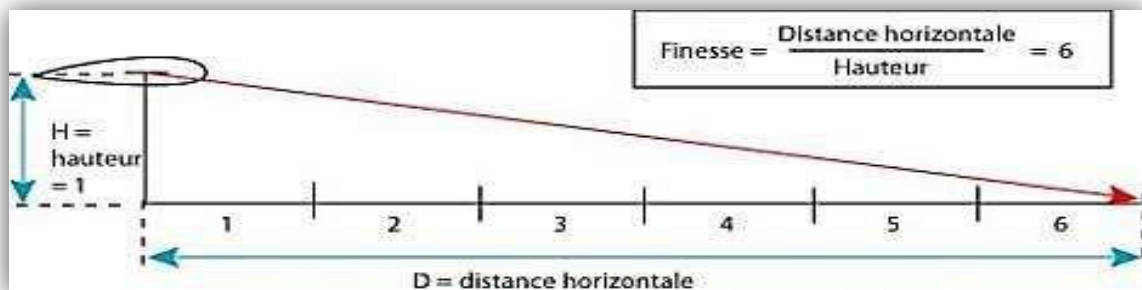


Figure 1.21.

III. Caractéristiques d'une voilure

A. Caractéristiques géométriques

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

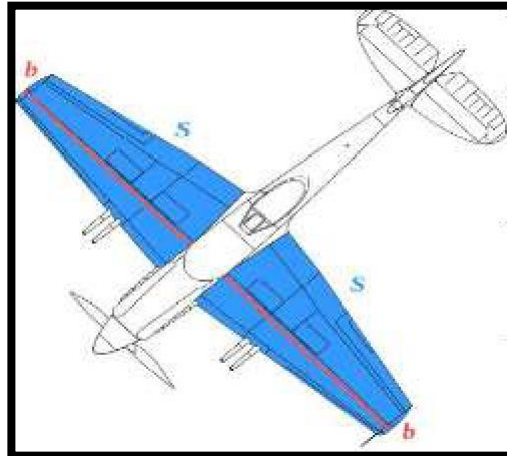


Figure 1.22.

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

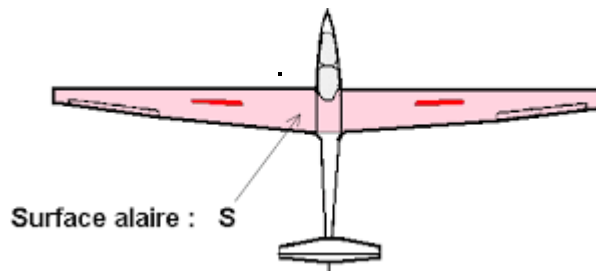


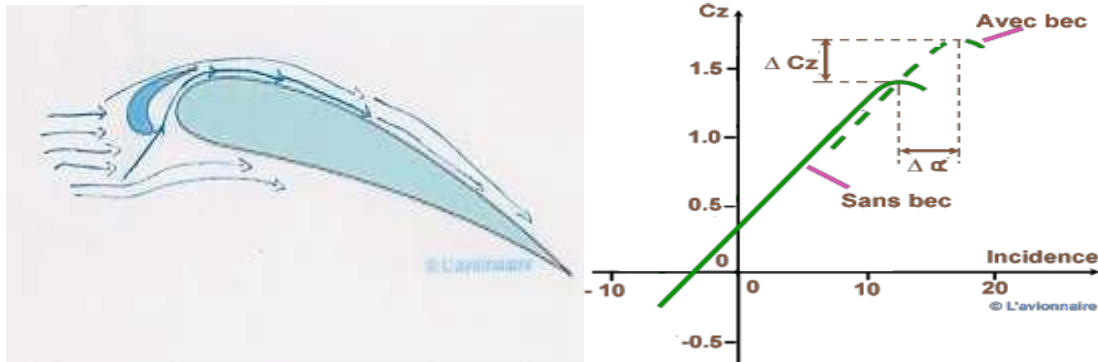
Figure 1.23.

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

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

A vaut environ :

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



Figures 1.28 et 1.29.

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.

Cap sur l'environnement

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

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

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

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

C. Autres dispositifs

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

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

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



Figure 1.30.

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

Cap sur l'environnement

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

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

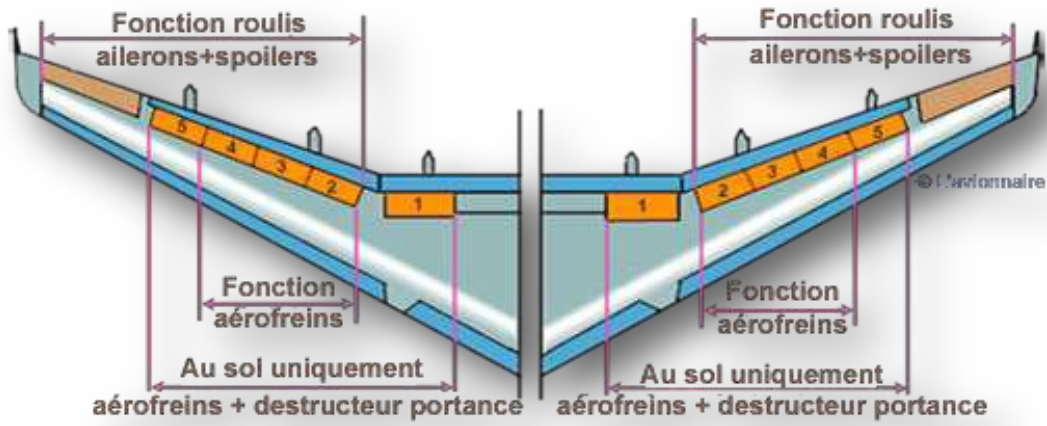


Figure 1.31.

Partie 2 : Etude du vol stabilisé :

I. Les forces en jeu

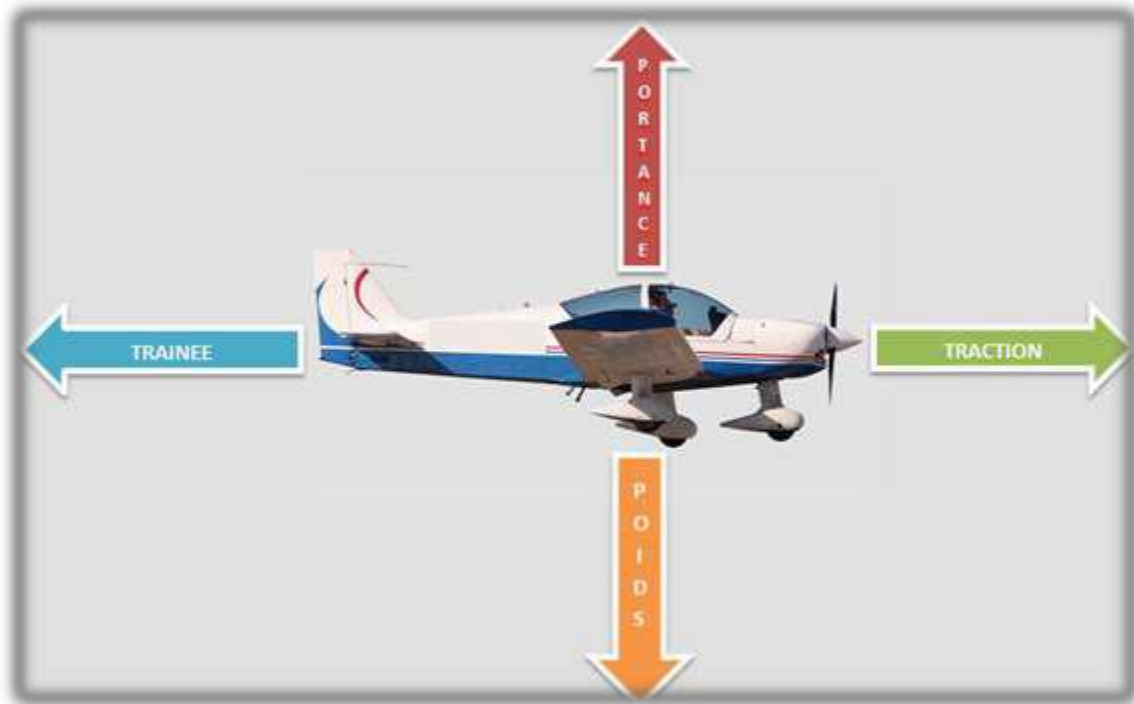


Figure 1.32.

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

Ces forces évoluent selon les phases de vol :

A. En palier

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



Figure 1.33.

B. En montée

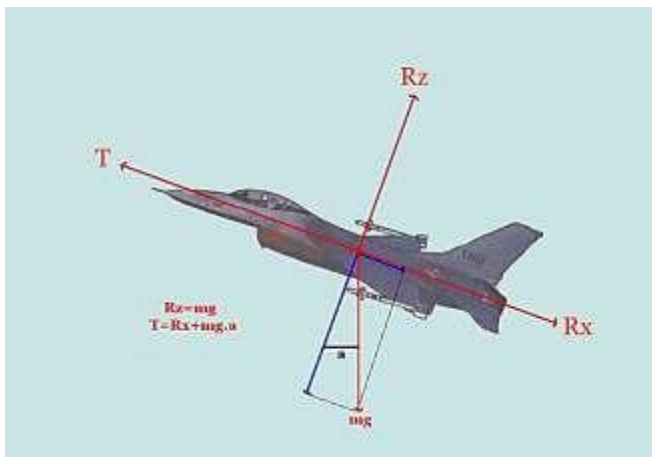


Figure 1.34.

La portance équilibre la grande composante du poids.

La traction équilibre la traînée + la petite composante du poids

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

C. En descente

La portance équilibre la grande composante du poids.

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

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

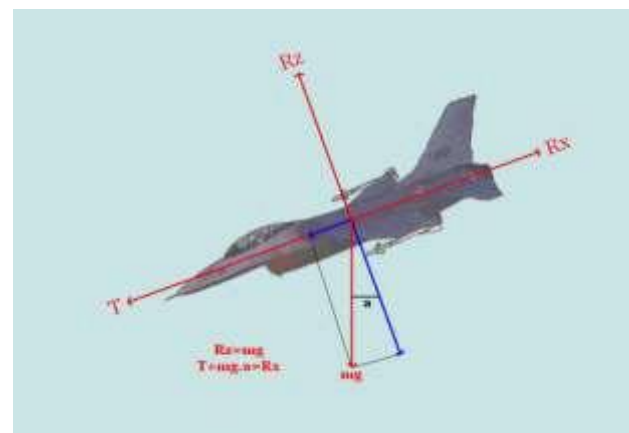


Figure 1.35.

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

II. Tangage-Roulis-Lacet

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

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

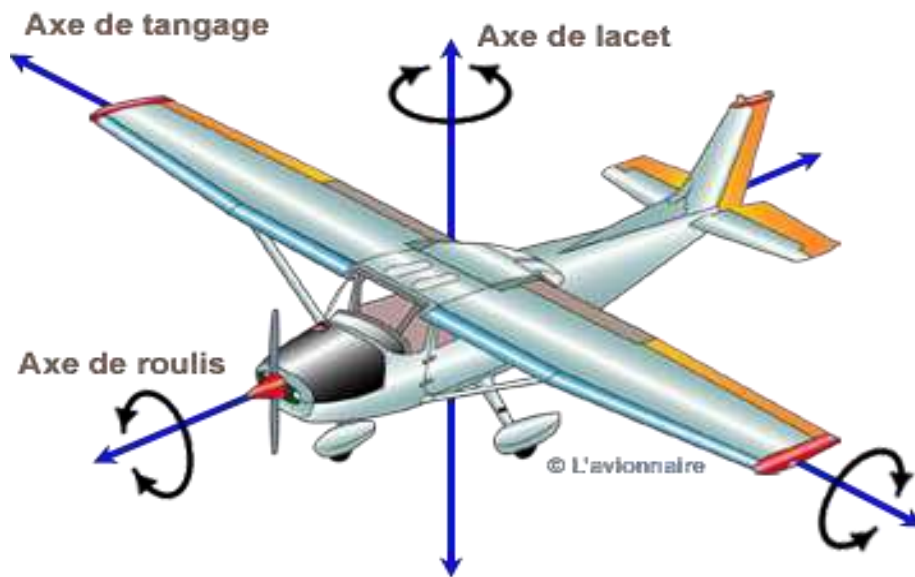


Figure 1.36.

A. L'Axe de Tangage

Déplacement du manche d'avant en arrière.

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

De ce fait, l'avion pique.

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

De ce fait, l'avion cabre.

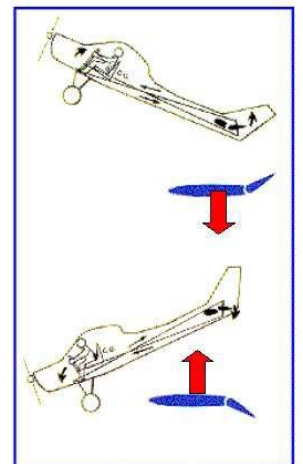


Figure 1.37.



Figure 1.38.

NB : sur une configuration canard, tout est inversé.

1. Stabilité

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

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

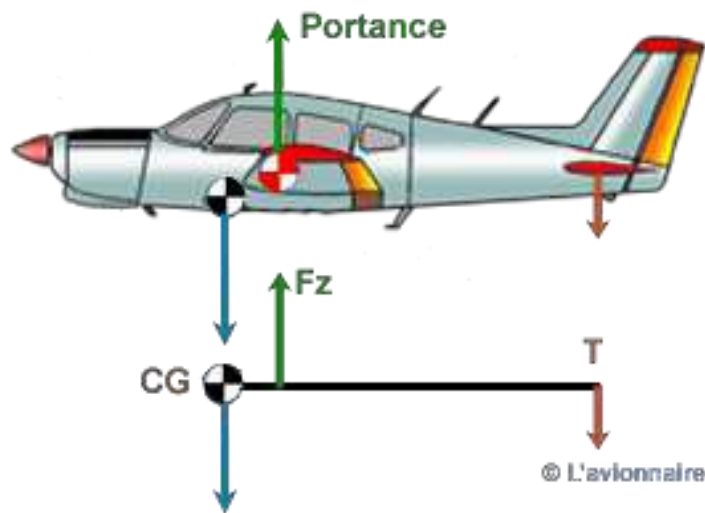


Figure 1.39.

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

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

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

2. Centrage

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

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

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

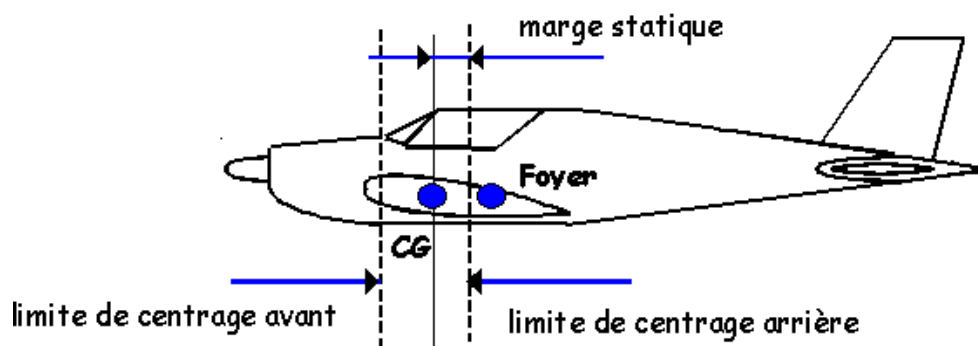


Figure 1.40.

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

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

	Zone avant de la plage	Zone arrière de la plage
Stabilité	AUGMENTE	DIMINUE
Manœuvrabilité	DIMINUE	AUGMENTE
Braquage de la gouverne de profondeur	PLUS IMPORTANT	MOINS IMPORTANT
Traînée	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).

Cap sur l'environnement

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

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

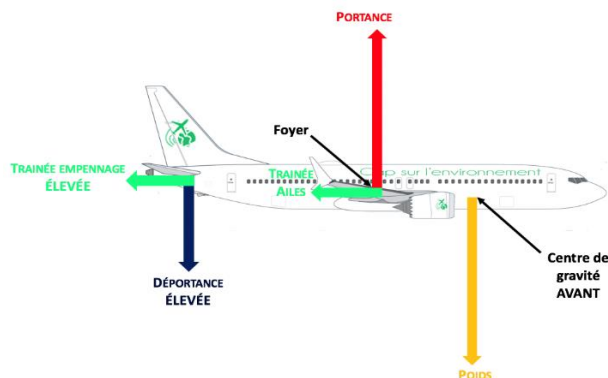


Figure 1.41.

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

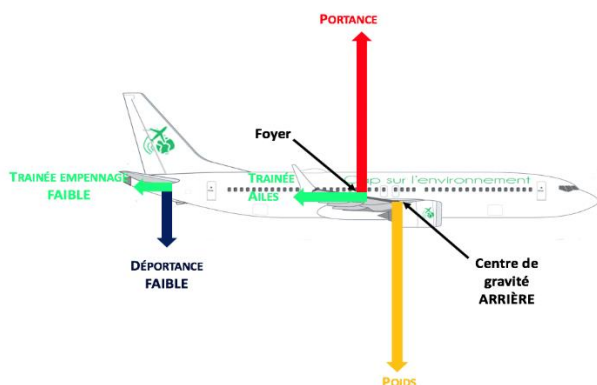


Figure 1.42.

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

3. Assiette, pente, incidence



Figure 1.43.

assiette = pente + incidence

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

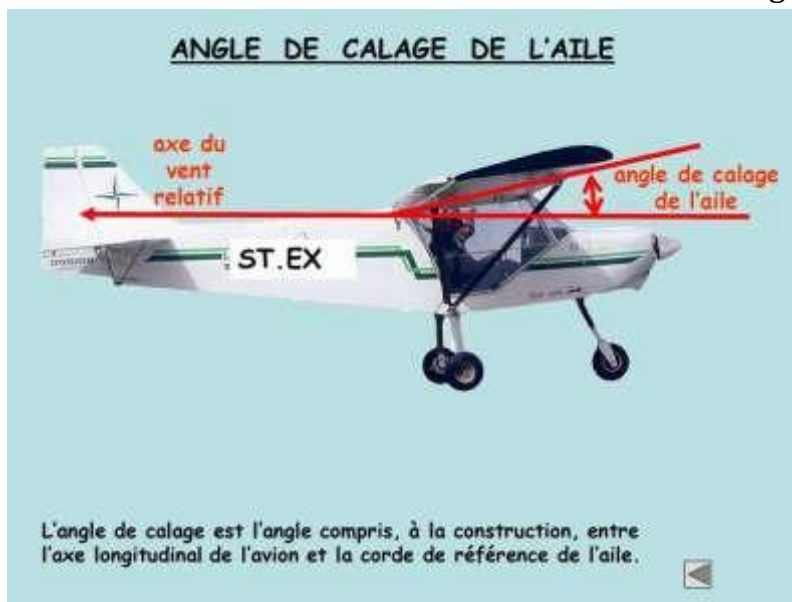


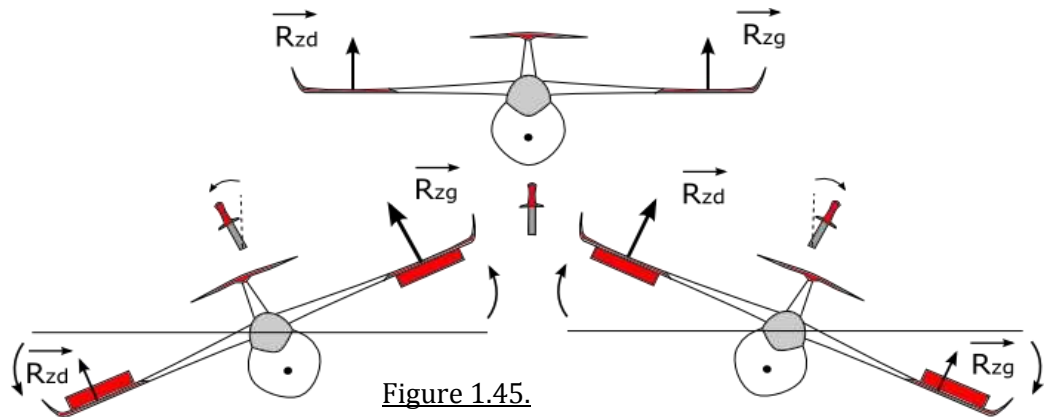
Figure 1.44.

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

B. L'Axe de Roulis

Déplacement du manche de droite à gauche.

1. Les ailerons



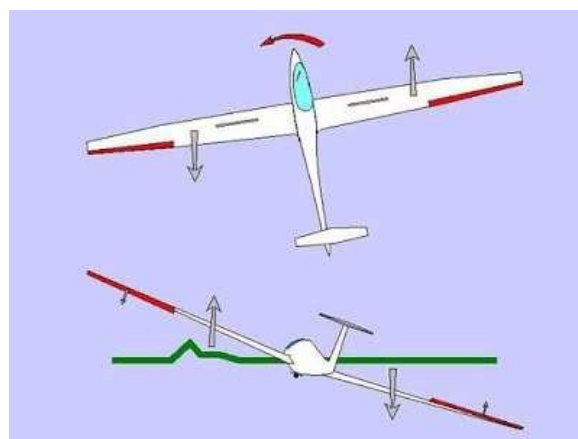
- Pousser le manche à gauche fait monter l'aileron gauche vers le haut et l'aileron droit vers le bas.

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

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

2. Le lacet inverse

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



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

3. Stabilité

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

La stabilité en roulis dépend des facteurs suivants :

La flèche de la voilure

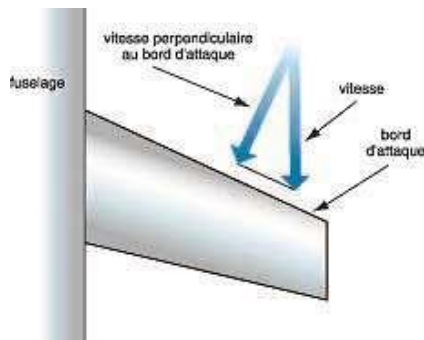


Figure 1.47.

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

Le dièdre de la voilure

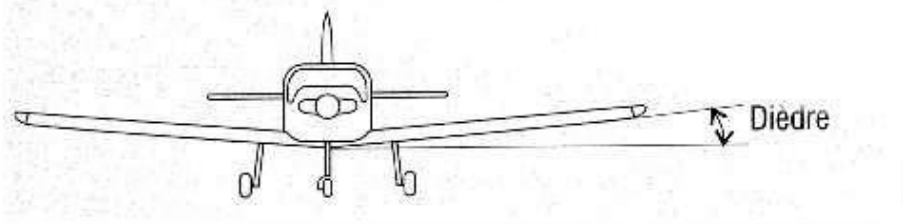


Figure 1.48.

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

La position de l'aile par rapport au fuselage

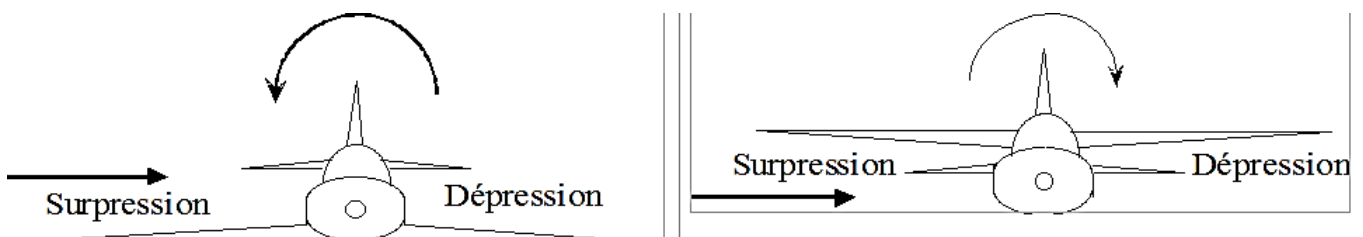


Figure 1.49.

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

Donc :

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

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

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

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

2. Le lacet induit

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

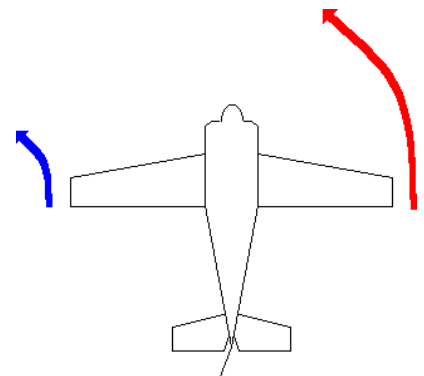


Figure 1.51.

3. Dérapage et stabilité

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

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

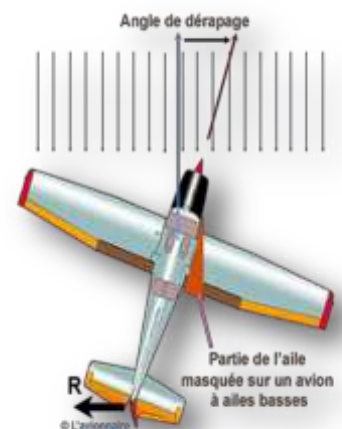


Figure 1.52.

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

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

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

C. L'axe de Lacet

Manœuvre des palonniers (pédales).

1. Les palonniers

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

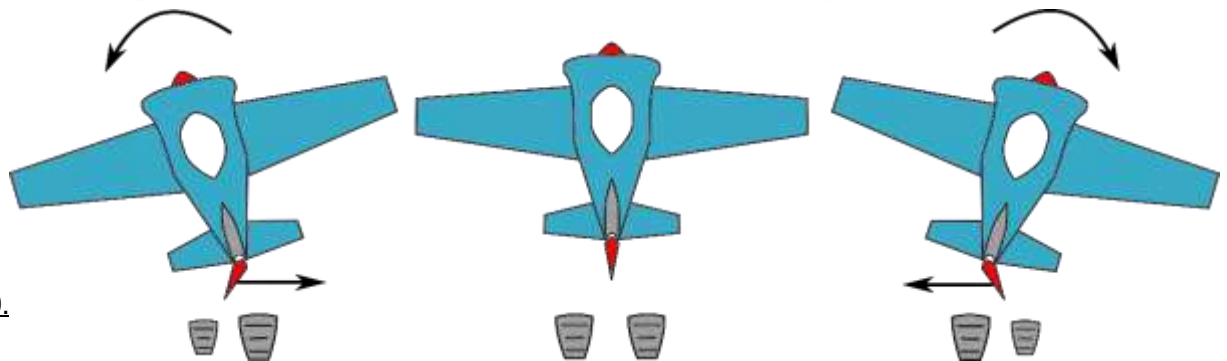


Figure 1.50.

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

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

III. Le Facteur de charge

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

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

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

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

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

A. En vol longitudinal

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

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

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

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



Figure 1.53.

Facteur de charge en palier

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

Facteur de charge en montée / descente rectiligne

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

B. En virage symétrique

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

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

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

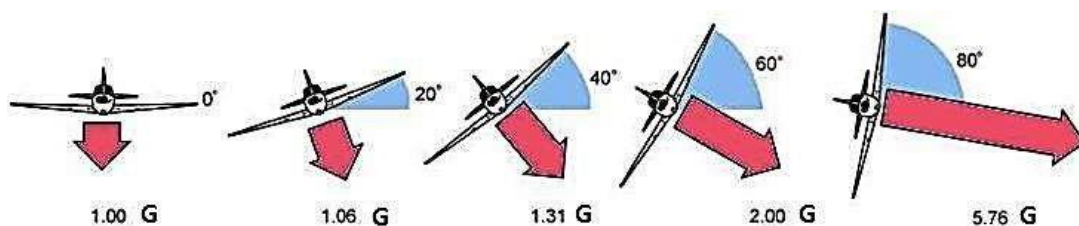


Figure 1.55.

C. Facteur de charge et vitesse de décrochage

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

La vitesse de décrochage varie également avec :

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

IV. Le décollage et l'atterrissage

A. Le décollage

Le décollage se fait en 4 étapes :

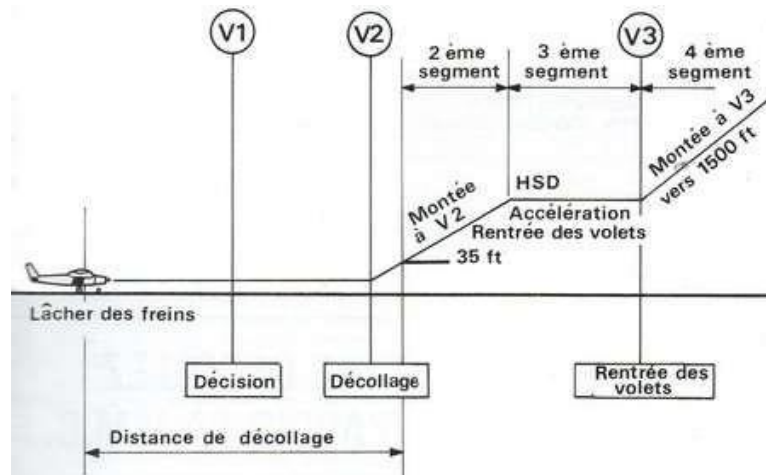


Figure 1.56.

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

Cela augmente la portance par augmentation de l'incidence.

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

A SAVOIR :

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

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

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

B. L'atterrissage

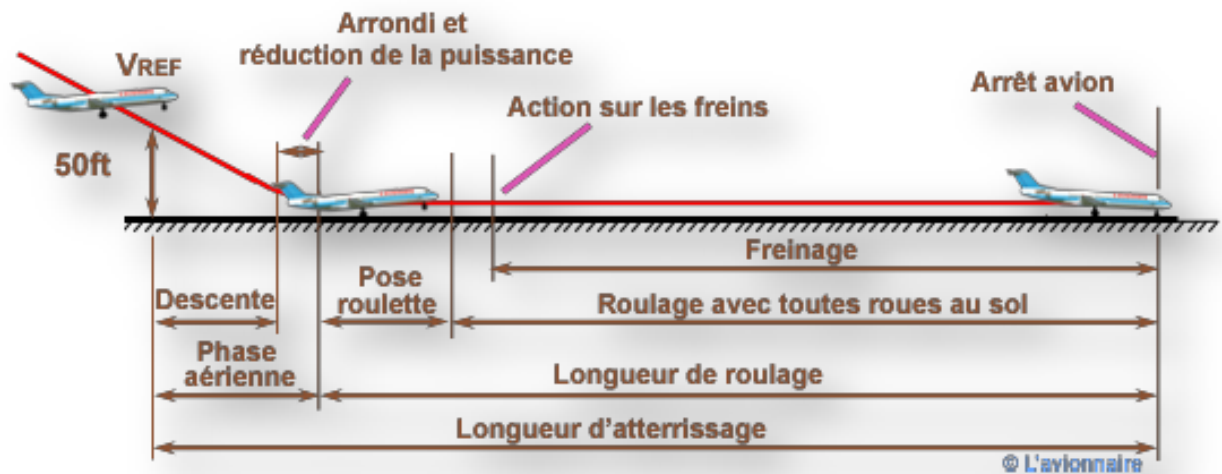


Figure 1.57.

L'atterrissage se fait en 5 étapes :

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

A SAVOIR :

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

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

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

Partie 3 : Aérostation et vol spatial :

I. L'aérostation

A. La poussée d'Archimède

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

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

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



Figure 1.58.

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

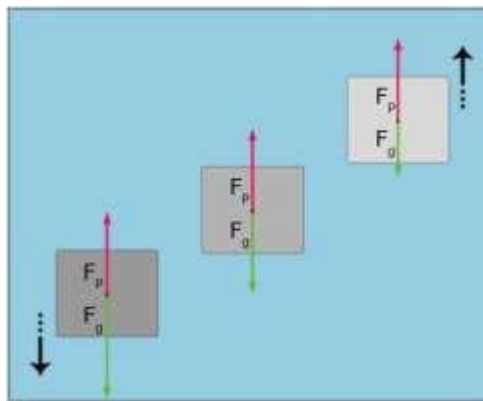


Figure 1.59.

B. Les ballons à air chaud

L'air chaud est moins dense que l'air froid. Si la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe est suffisante, la poussée d'Archimède est supérieure au poids total du ballon et il s'élève.

La température est contrôlée par des brûleurs

C. Les ballons à gaz

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

D. Contrôle de la trajectoire

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

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

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

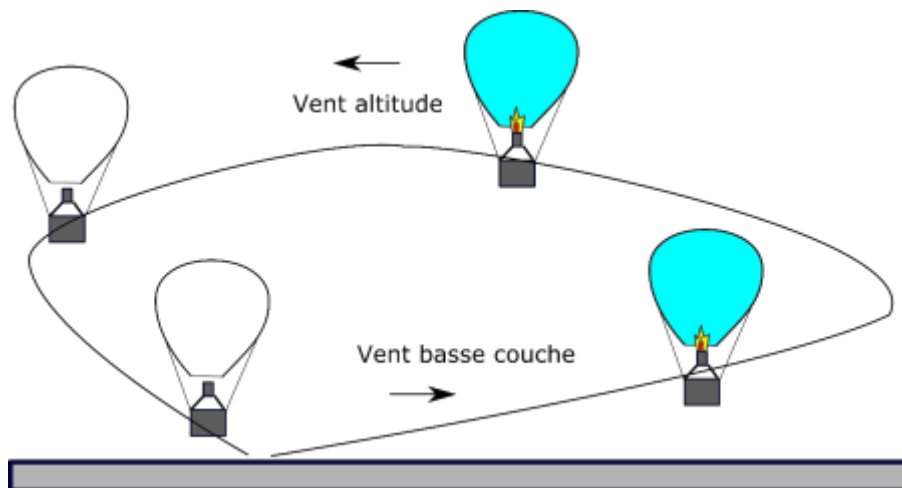


Figure 1.60.

II. Le vol spatial

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

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

A. Trajectoire de lancement et mise en orbite

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

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

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

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

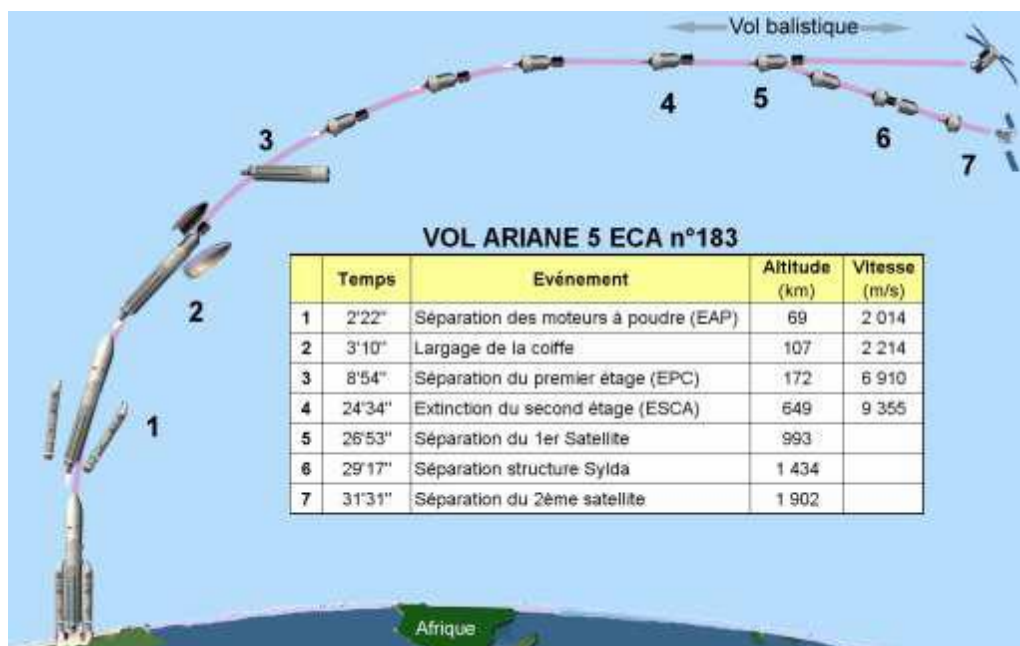


Figure 1.62.

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

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

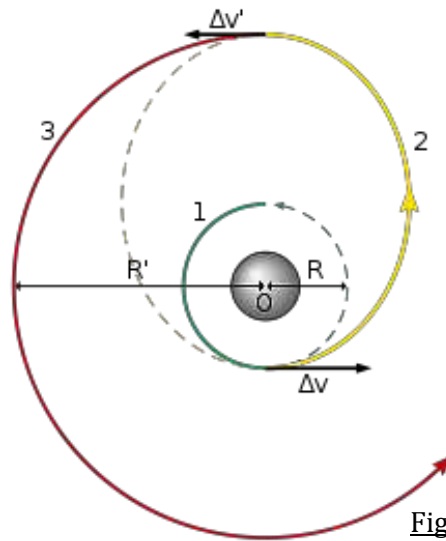


Figure 1.63.

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

B. Vol orbital et spatial

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

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

C'est l'**orbite géostationnaire**.

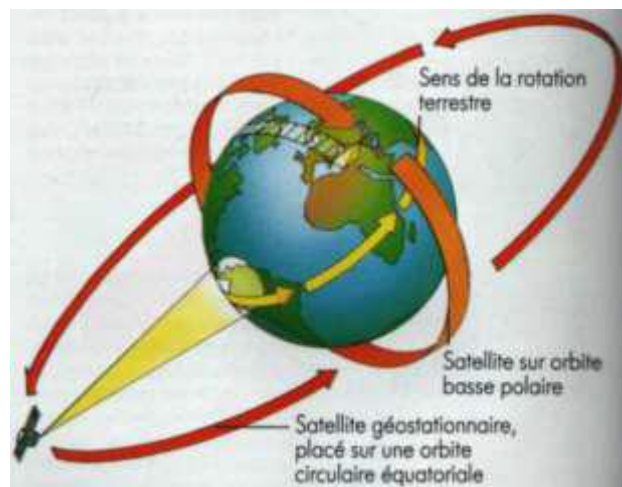


Figure 1.64.

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

C'est l'**orbite héliosynchrone**.

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

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

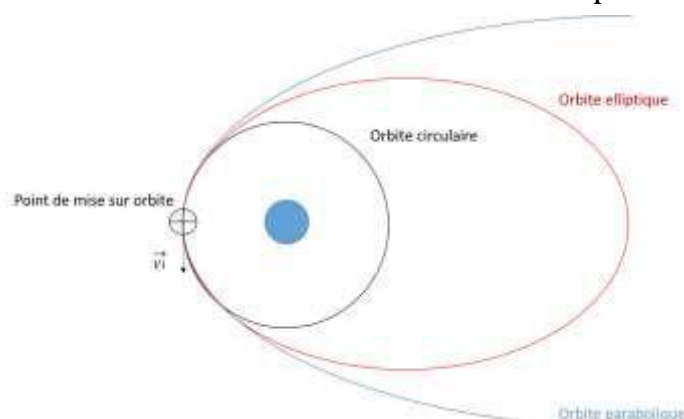


Figure 1.65.

Complément : English vocabulary

I. Aerodynamics

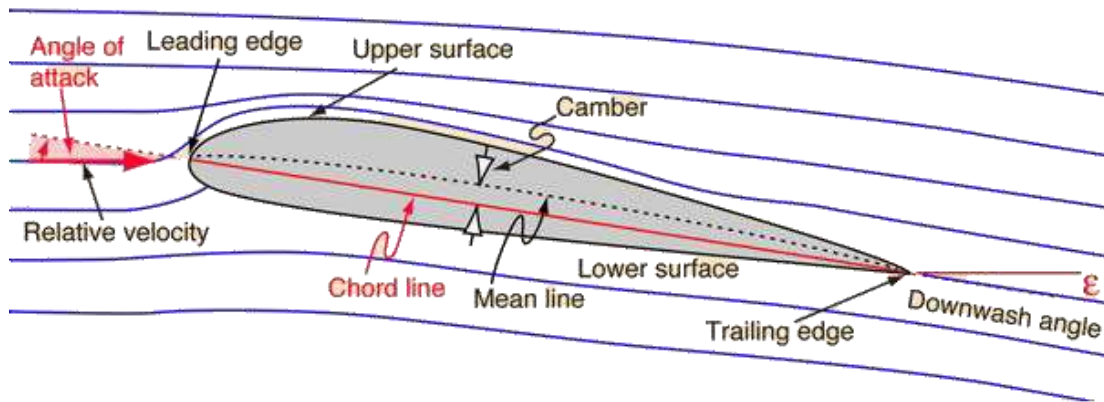
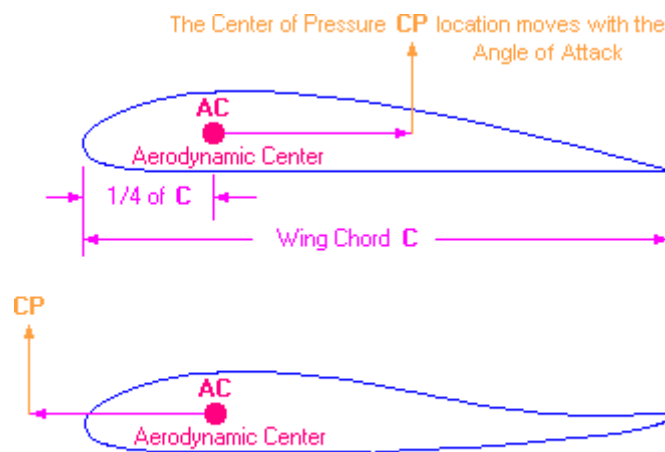


Figure 1.66.



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

Figure 1.67.

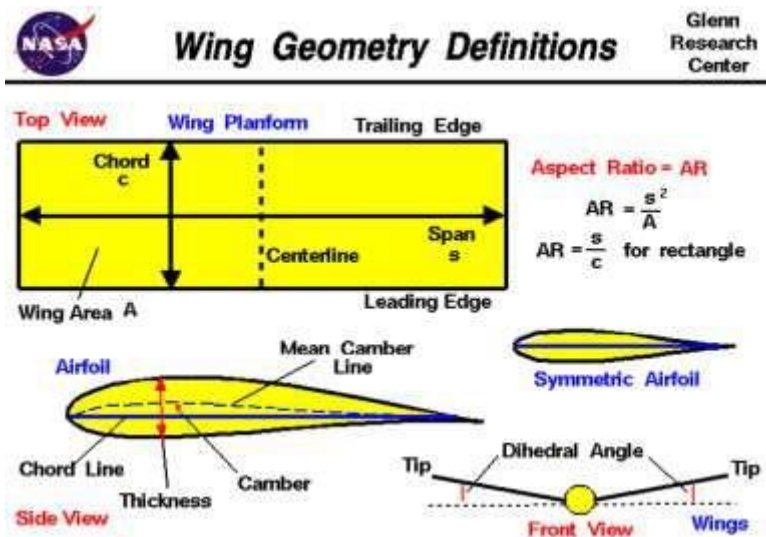


Figure 1.68.

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

II. Mechanics of flight

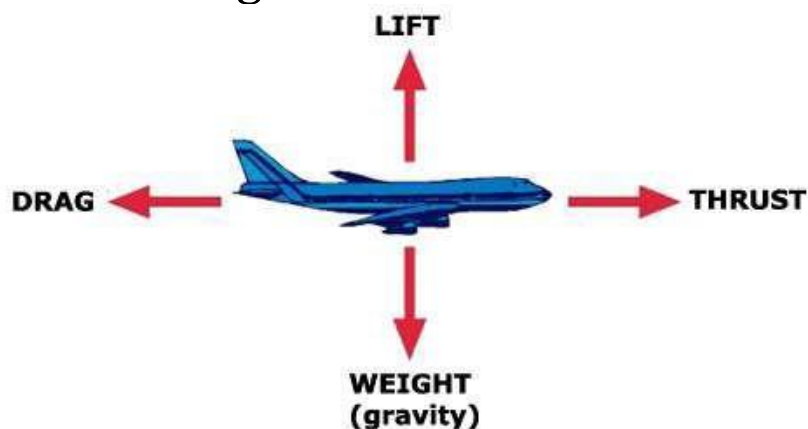


Figure 1.69.

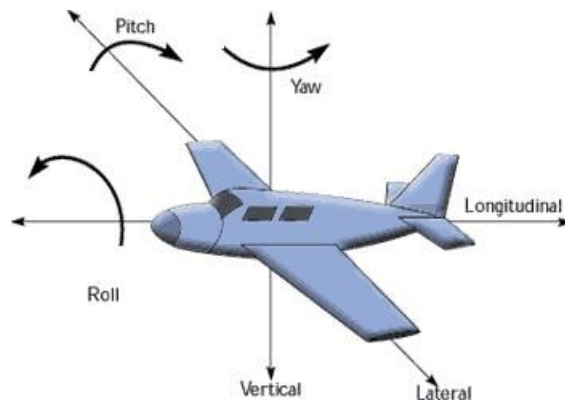


Figure 1.70.

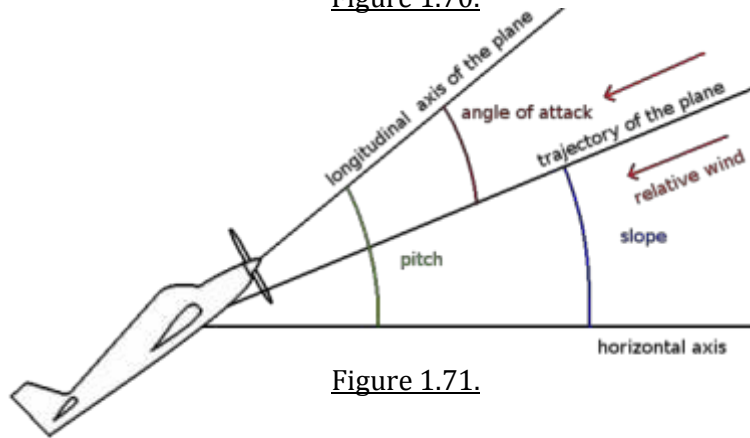


Figure 1.71.

Pitch movement control

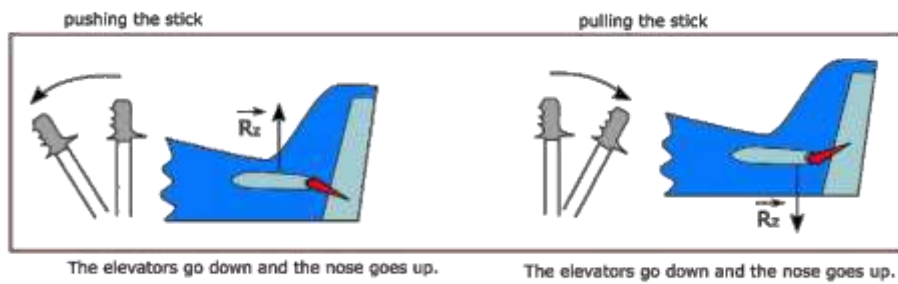


Figure 1.72.

Yaw movement control

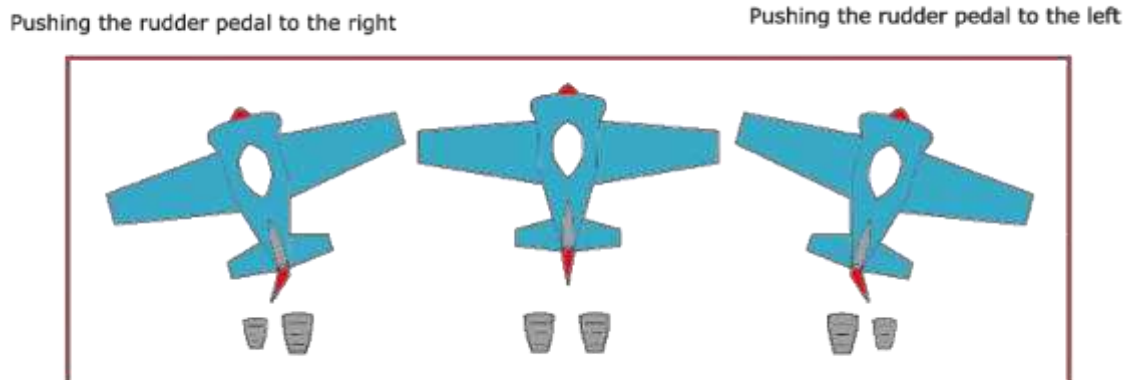


Figure 1.73.

Roll movement control

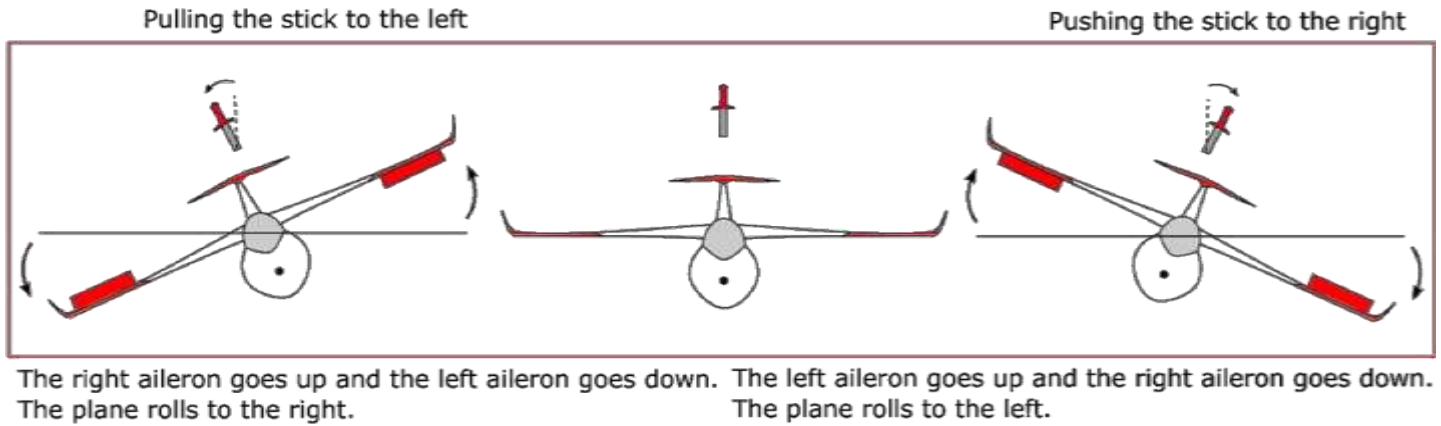


Figure 1.74.

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

Pour s'entraîner:

Il existe sur internet des sites qui vous permettront de vous entraîner à l'examen du BIA. L'examen étant un QCM, plus on en fait, plus cela entre dans la tête.

Utiliser les ressources du site du CIRAS de Montpellier (vidéo, supports pédagogique)
<http://www.ac-montpellier.fr/pid35970/ressources-pour-les-eleves-et-les-professeurs.html>

Pour les annales, voici le site le plus complet:
<http://aero-scolaire.ac-orleans-tours.fr/php5/ciras.htm>

Autres ressources utiles :

- Le site <http://www.test3000.net/>
- L'application **QuizBIA** (disponible sur le Play Store – Android pour le smartphone)