



Fédération Française d'Aéro-Modélisme

Agréé par le ministère des transports, la DGAC, le SFACT et par le Ministère de la Jeunesse et des Sports

INITIATION A L'AERO-MODELISME (Radio-Commandé)

AERODYNAMIQUE et MECANIQUE DU VOL SIMPLIFIEES

Edition juillet 2009

☒ FFAM 108,rue Saint Maur – 75010 PARIS

☎ (33) 01.43.55.82.03 - Fax (33) 01.43.55.79.93 - @ <http://www.ffam.asso.fr>

Réalisation C Dupré deuxième semestre 2004; édité par la FFAM.

Reproduction, même partielle interdite sans autorisation du rédacteur.

*À Francis qui posa les bases
d'une formation accessible à tous les modélistes*

INTRODUCTION.....	2
AERODYNAMIQUE ET MECANIQUE DU VOL.....	3
L'AILE.....	3
<i>Descriptif.....</i>	3
<i>La forme.....</i>	3
<i>Les profils.....</i>	4
<i>Particularité du bord d'attaque.....</i>	5
<i>Bord de fuite.....</i>	5
<i>Principaux types de profils.....</i>	5
<i>La dénomination des profils.....</i>	6
<i>Fonctionnement aérodynamique.....</i>	7
<i>La portance.....</i>	7
<i>Expression de la portance F_z.....</i>	7
<i>Portance et incidence.....</i>	8
<i>Limite de la portance.....</i>	9
<i>Portance et vitesse.....</i>	9
<i>Le calage.....</i>	10
<i>La traînée.....</i>	10
<i>Notion de couche limite.....</i>	10
<i>Nombre de Reynolds.....</i>	10
<i>Equilibre traînée traction.....</i>	11
<i>Expression de la traînée.....</i>	12
<i>Traînée et forme du profil.....</i>	12
<i>Traînée et portance.....</i>	13
<i>Traînée et allongement de l'aile.....</i>	13
<i>Traînée et écoulement de l'air autour de l'avion.....</i>	14
<i>Un paradoxe : les turbulateurs.....</i>	15
<i>Retour sur la forme en plan de l'aile.....</i>	15
LES EQUILIBRES.....	16
<i>En palier.....</i>	16
<i>En montée.....</i>	16
<i>En descente.....</i>	17
LE FACTEUR DE CHARGE.....	17
<i>Facteur de charge en virage.....</i>	18
<i>Les conséquences sur le vol.....</i>	18
LA FINESSE.....	19
LA STABILITE.....	20
<i>Le principe.....</i>	20
<i>La stabilité longitudinale:.....</i>	20
<i>Le centrage.....</i>	20
<i>L'empennage horizontal.....</i>	21
<i>La stabilité latérale.....</i>	23
<i>La dérive et la stabilité de route.....</i>	23
<i>L'angle de dièdre.....</i>	24
<i>Roulis induit.....</i>	25
<i>Effets pendulaire stabilisateur.....</i>	25
<i>L'écoulement dissymétrique.....</i>	27
<i>Virage glissé.....</i>	28
LES GOUVERNES.....	29
<i>Les axes de référence.....</i>	29
<i>Le fonctionnement.....</i>	29
<i>La profondeur.....</i>	30
<i>La direction.....</i>	30
<i>Le gauchissement.....</i>	30
QUESTION CATIA.....	31
DATE:.....	49
MODIFICATIONS/PRECISIONS MINEURES.....	49
ADDITION DE CHAPITRE.....	49

INTRODUCTION

Ce recueil, diffusé par la FFAM, s'adresse à tout modéliste débutant. Les informations qu'il trouvera dans ce livret, l'aideront à mieux comprendre les explications que lui donneront les différents responsables du Club auquel il vient de s'inscrire. Elles lui permettront également de saisir tout le sens et toute la richesse des connaissances transmises par les modélistes plus anciens qui l'entourent.

Compte tenu de l'étendue du domaine d'activité de ce loisir, et pour rester dans le cadre de l'initiation, il a été nécessaire de faire une sélection des sujets traités et de les limiter à des notions.

Le débutant, encadré au sein de son Club par un moniteur, ne retrouvera pas dans cet ouvrage LA méthode utilisée dans son club, mais les points clefs auxquels aboutissent toutes les méthodes.

Ces points essentiels concernent :

- Des notions élémentaires d'aérodynamique
- Une approche de la mécanique du vol
- Une introduction au phénomènes pouvant dérouter le débutant

Lorsque la phase d'initiation sera dépassée, le « livret de formation de pilote de modèles réduits » fournira un guide qui le conduira vers l'art du pilotage.

Avis aux candidats à l'examen du CATIA:

Les questions du chapitre "aérodynamique / mécanique du vol" du CATIA sont issues en partie de ce recueil.

AERODYNAMIQUE ET MECANIQUE DU VOL

L'aérodynamique est l'étude des phénomènes liés à l'écoulement de l'air autour d'un mobile. La mécanique du vol, elle, précise les effets aérodynamiques lorsque ce mobile évolue. Dans le cas de l'aéromodélisme, le mobile est constitué par le modèle réduit.

Lorsque l'on observe celui-ci, on constate qu'il est composé d'un fuselage sur lequel sont montés, à l'avant un moteur (évidemment pas sur un planeur), environ au premier tiers une aile, et à l'arrière des empennages (un plan horizontal et un plan vertical). Au cours des chapitres suivants, le rôle de chacun de ces éléments sera abordé d'une façon simplifiée.

Le livre "initiation à l'aéronautique" disponible à la FFAM, fournit une étude plus approfondie.

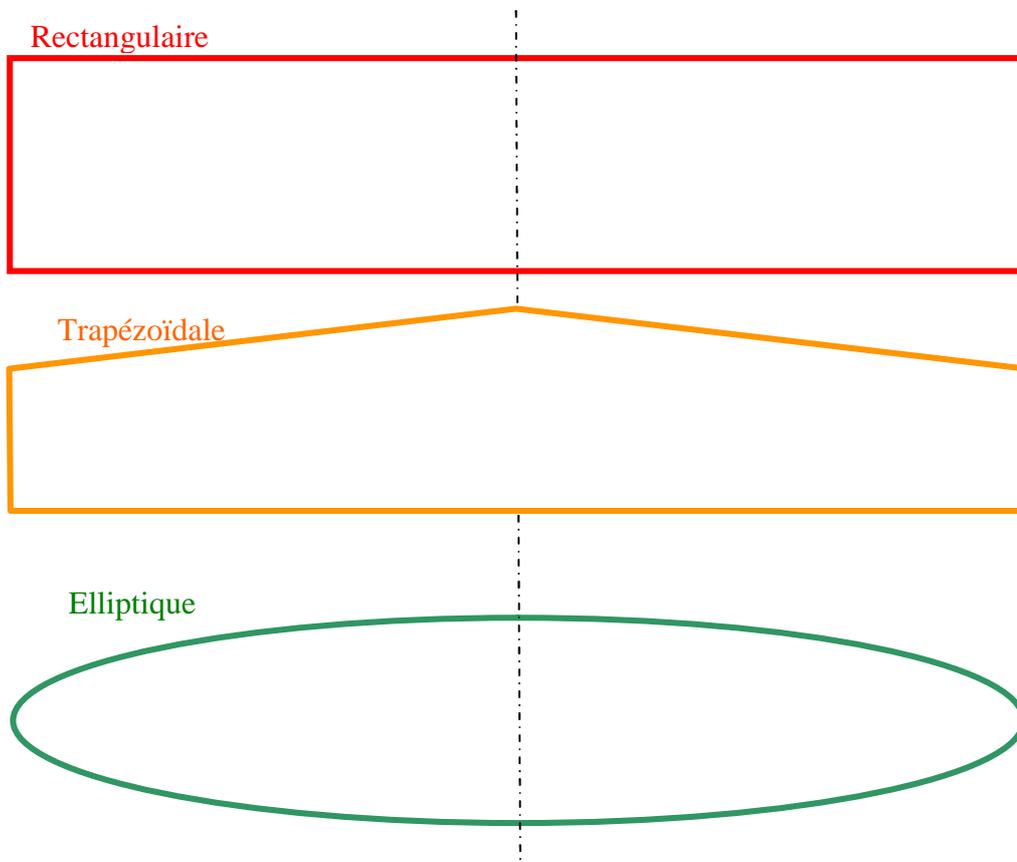
L'AILE

Descriptif

L'aile se caractérise par sa forme et ses dimensions (envergure et corde).

La forme

L'aile la plus simple, et la plus facile à construire, est une aile dont la forme en plan est rectangulaire, mais son rendement sera meilleur si elle est elliptique. Compte tenu des difficultés de réalisation d'une telle aile, une forme trapézoïdale est un bon compromis.



Les dimensions

L'envergure: distance d'un bord marginal à l'autre.

La profondeur: distance, en un point quelconque de l'aile, du bord d'attaque au bord de fuite parallèlement à l'axe du fuselage.

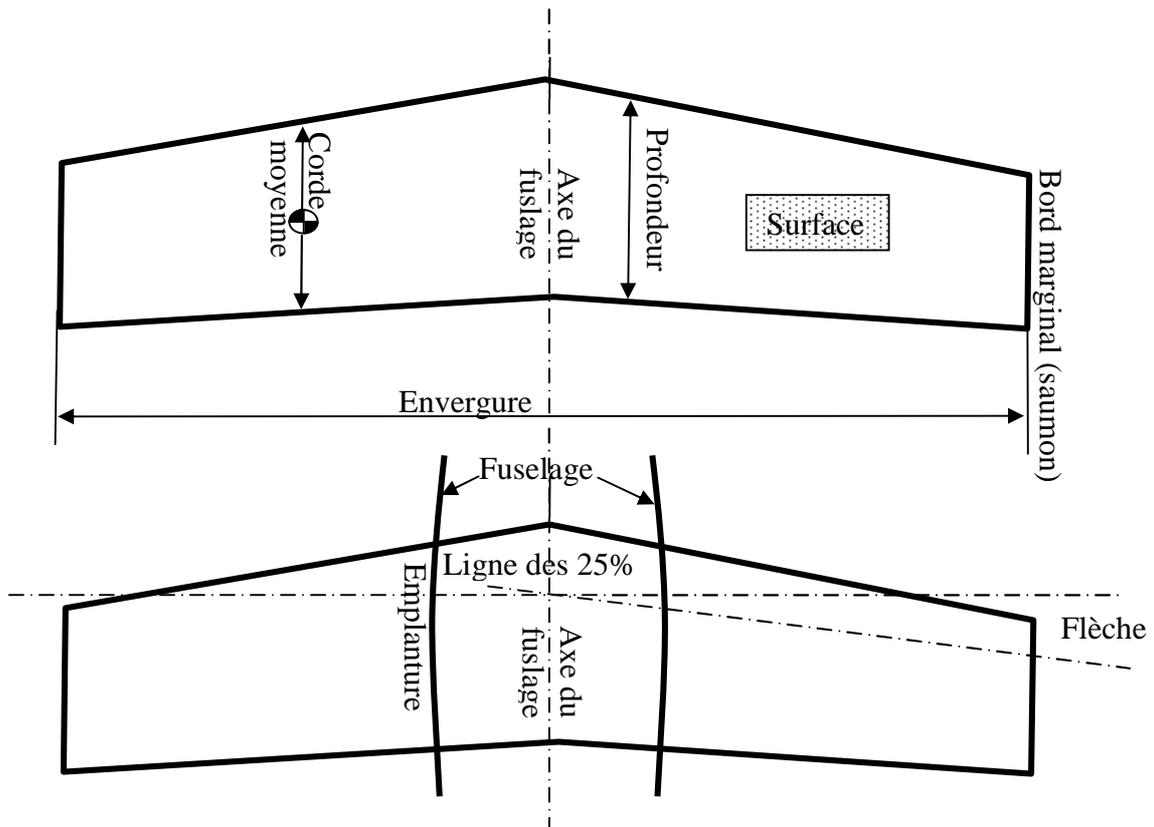
La corde moyenne: corde du profil située au centre de gravité d'une demie aile (ne pas confondre avec la moyenne des cordes).

La surface: surface de la voilure, y compris la zone du fuselage

La ligne des 25% : ligne qui relie tous les points situés à une distance du bord d'attaque égale à $0,25 \times$ la corde de référence du profil.

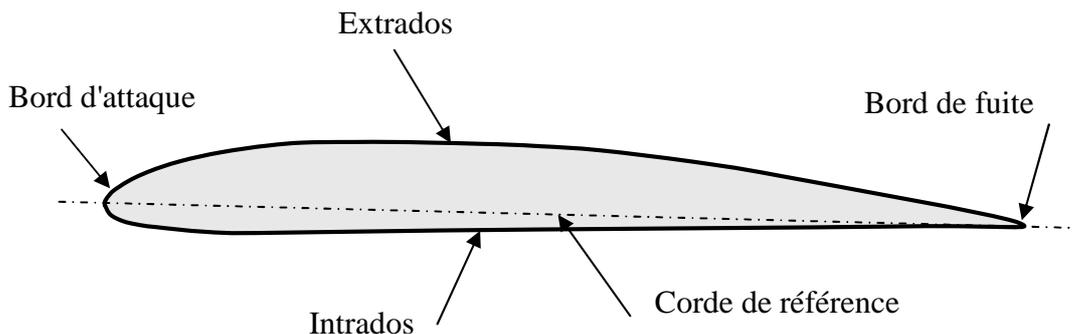
La flèche: angle entre la ligne des 25% et la perpendiculaire à l'axe du fuselage.

L'effilement : rapport entre la corde d'emplanture et la corde au bord marginal

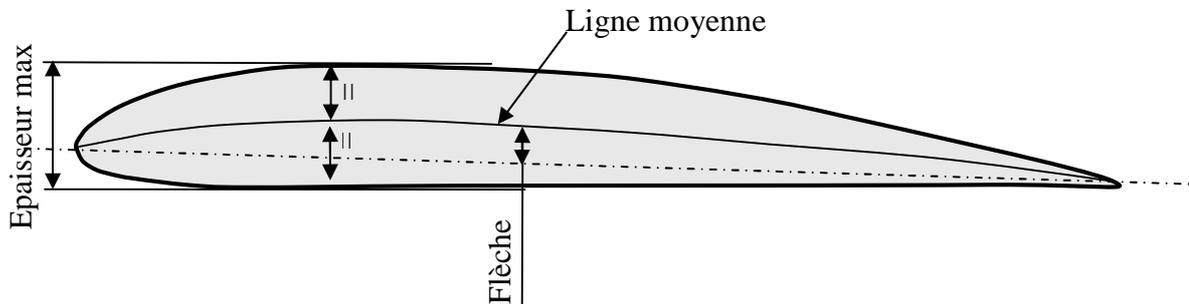


Les profils

La forme générale d'un profil s'articule autour de la corde de référence. Les principales parties d'un profil sont: le bord d'attaque, le bord de fuite, l'extrados et l'intrados. La corde de référence est le plus grand rayon du cercle centré sur le bord de fuite et tangent au bord d'attaque.



On peut noter également la ligne moyenne qui relie les points équidistants de l'intrados et de l'extrados, la flèche (distance entre ligne moyenne et corde), l'épaisseur relative (épaisseur max/corde) et la courbure relative (flèche max/corde)



Épaisseur relative = épaisseur max / corde

Courbure relative = flèche max / corde

Particularité du bord d'attaque

Le bord d'attaque est une zone importante. De sa forme et de son état de surface dépend la qualité de l'écoulement de l'air sur le reste du profil. Il est donc important de respecter sa forme et son état de surface.

- Un bord d'attaque trop pointu ou abîmé détériore l'écoulement aérodynamique, ce qui réduit la portance et augmente beaucoup la traînée.
- Un bord d'attaque tombant donnera un vol instable.

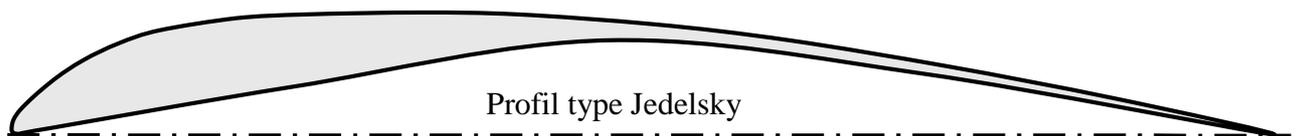
Bord de fuite

Sur les modèles de début, compte tenu des profils utilisés, inutile de transformer le bord de fuite de l'aile en lame de rasoir. Cette zone deviendrait plus fragile, sans pour autant, garantir que l'écoulement aérodynamique influence les performances générales du profil.

Principaux types de profils

Concernant les formes des profils, une simple plaque serait suffisante mais le rendement serait déplorable. On emploie donc des profils de formes plus ou moins élaborées selon le résultat à obtenir.

- Un profil concave, communément appelé profil creux, comme un profil Jedelsky, produira beaucoup de portance à faible vitesse mais avec une forte traînée.



- Un profil biconvexe, comme un profil NACA (National Advisory Committee for Aeronautics), conviendra bien pour des vitesses plus élevées, la traînée restant faible.



- Une solution intermédiaire est le profil plan convexe comme le profil Clark Y, très souvent nommé profil plat par les modélistes. Ce type de profil, est celui utilisé sur beaucoup d'avions de début. Il donne une portance satisfaisante à une vitesse modérée avec une traînée acceptable. De plus, l'intrados plat sur la plus grande partie de sa longueur facilite sa construction et son calage.



La dénomination des profils

Chaque profil est désigné par une référence généralement composée de lettres puis de chiffres. Chaque concepteur de profil utilise sa propre appellation. A travers ces références, certains donnent pratiquement tous les renseignements sur la géométrie du profil (ex : les profils NACA à 6 chiffres), d'autres ne donnent qu'un numéro de série.

Voici quelques exemples dont la liste, bien sûr, n'est pas exhaustive :

- Les profils NACA : NACA est suivi de 4 ou 6 chiffres dont les deux derniers donnent toujours l'épaisseur relative.
- Les profils H Quabeck ou Wortmann : HQ ou FX est suivi de chiffres indiquant la courbure relative et l'épaisseur relative.
- Les profils Eppler, M Hepperle, Selig, R Gisberger : les initiales du nom du concepteur est suivi du numéro de série du profil et parfois du numéro d'ordre dans la série.

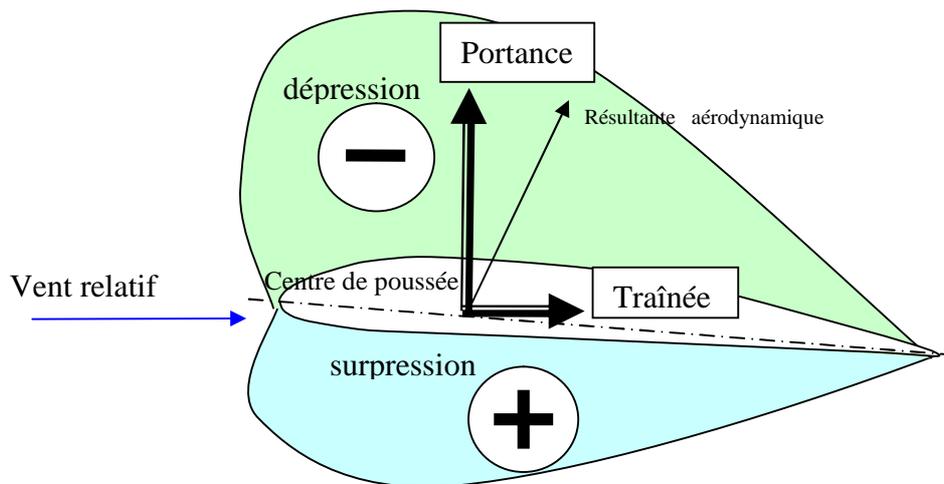
Fonctionnement aérodynamique

Lors du déplacement du modèle, l'air qui circule autour du profil de son aile génère une dépression à l'extrados (dessus) et une surpression à l'intrados (dessous). Cette différence de pression crée une force qui porte l'avion: la portance.

Cet écoulement crée également une force résistante qui tend à freiner l'avion: la traînée.

La combinaison de ces deux forces s'applique en un point nommé centre de poussée.

Conventionnellement, le vecteur F_z figurant la force de portance est perpendiculaire à l'écoulement de l'air (vent relatif). Le vecteur F_x figurant la force de traînée est perpendiculaire à la force de portance.



La portance

Expression de la portance F_z

- La portance est une force qui dépend des pressions qui s'exercent sur l'aile
- Toute l'envergure de l'aile crée une portance, cette dernière sera donc proportionnelle à la surface de l'aile.
- La forme du profil permet de déterminer la qualité de la portance. Cette forme est caractérisée par un coefficient nommé C_z .
- L'air dans lequel se déplace l'aile a des caractéristiques dépendant d'autres grandeurs comme la température, la pression etc. Le paramètre global retenu est la masse volumique en kg/m^3 .

Ceci conduit à l'expression suivante:

Portance = Pression dynamique x Surface x Caractéristiques du profil

$$\mathbf{F_z} = \frac{1}{2} \rho \mathbf{V^2} \mathbf{S} \mathbf{C_z}$$

ρ : masse volumique de l'air en kg/m^3

\mathbf{S} : surface de l'aile en m^2

$\mathbf{V^2}$: vitesse en m/s

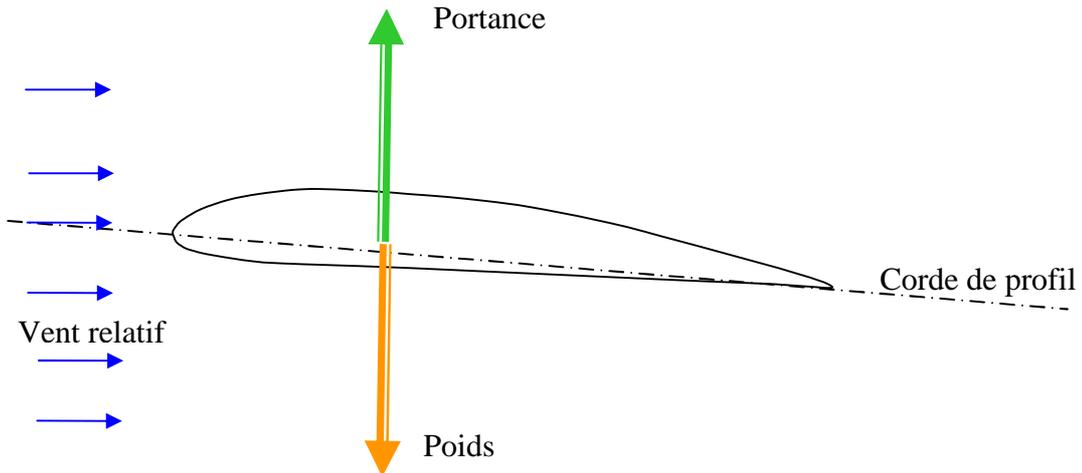
$\mathbf{C_z}$: coefficient de portance du profil

Equilibre portance / poids

Lorsque l'avion ne monte pas et ne descend pas (vol en palier), la portance équilibre le poids de l'avion.

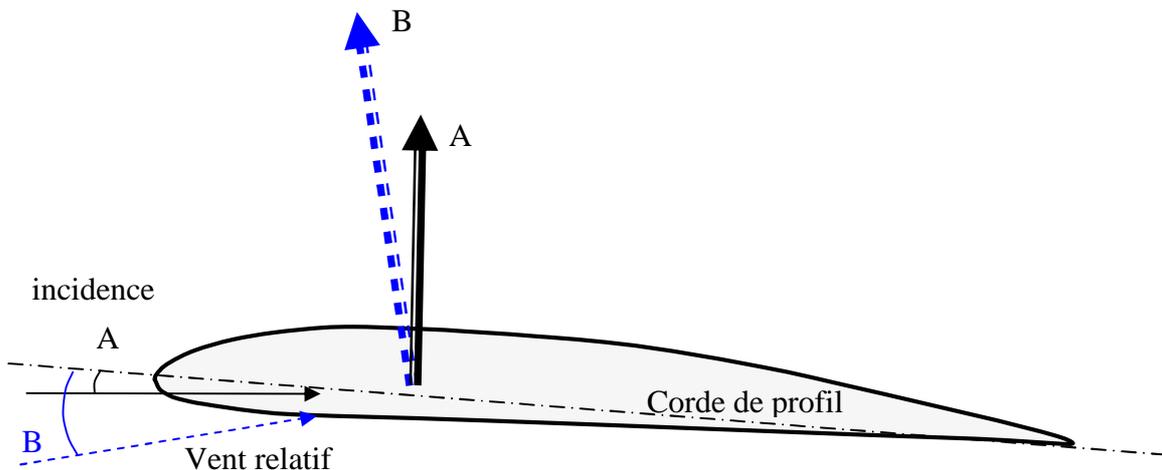
- Si la portance augmente, le modèle monte,
- Si la portance diminue, le modèle descend.

$$\text{Portance} = \text{poids} \quad \frac{1}{2} \rho V^2 S C_z = mg$$

Portance et incidence

Pour que l'aile qui se déplace dans l'air crée une portance, il faut que la corde de référence fasse un certain angle (incidence) avec le courant d'air (vent relatif) qui vient la frapper.

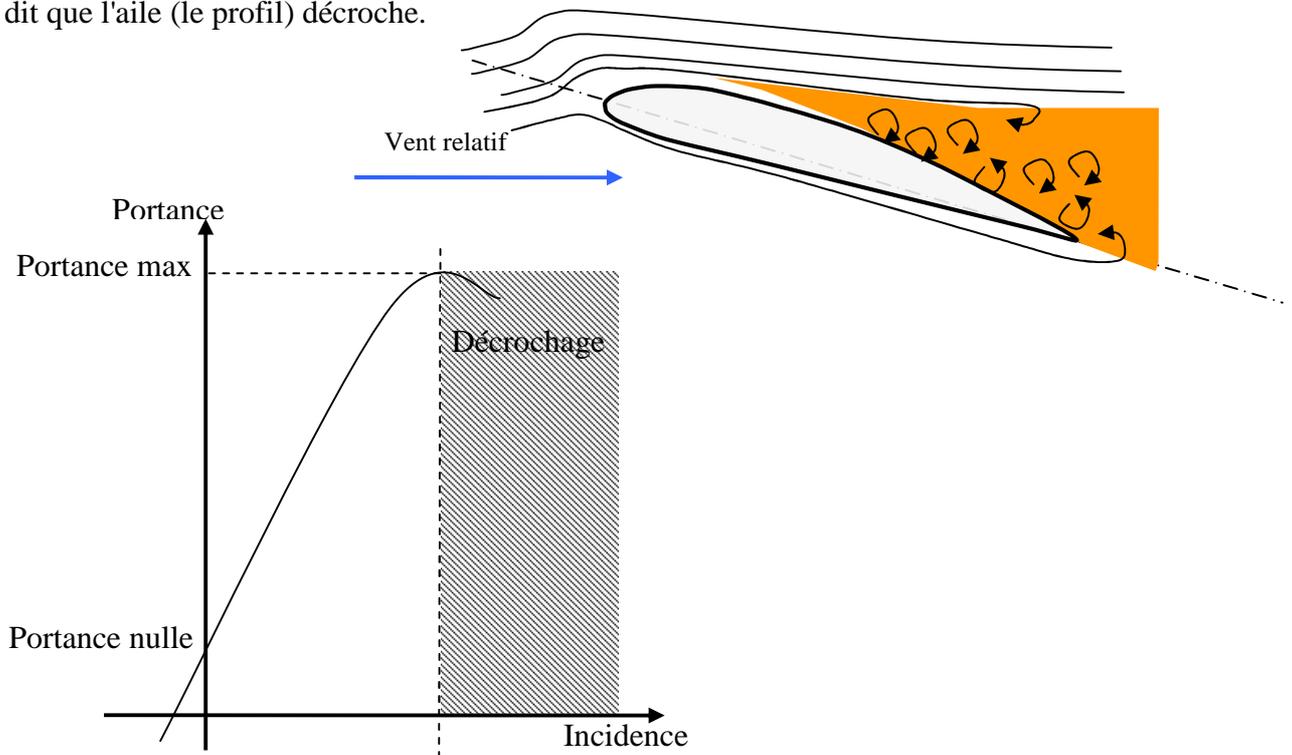
Si l'incidence augmente la portance augmente.



Limite de la portance

Mais cette augmentation a une limite au-delà de laquelle l'air ne peut plus s'écouler sur le profil. Selon les profils, lorsque l'angle entre la corde et le vent relatif atteint de 10 à 15°, il se crée des tourbillons qui empêchent les filets d'air "d'accrocher" au profil. Il n'y a plus de portance.

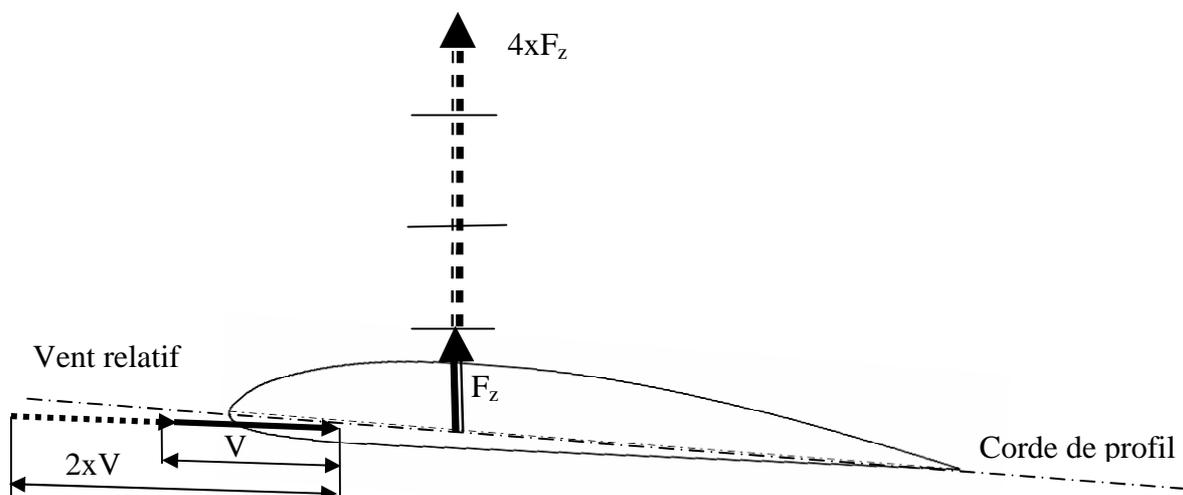
On dit que l'aile (le profil) décroche.



Portance et vitesse

La portance est d'autant plus élevée que la vitesse est élevée, en fait, la portance croît comme le carré de la vitesse:

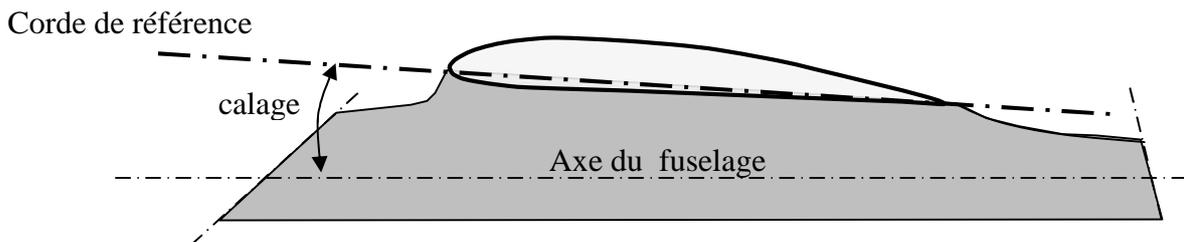
Deux fois plus de vitesse = quatre fois plus de portance.



Le calage

En vol, l'angle d'incidence ne doit pas donner à l'avion une attitude déplaisante, ni entraîner un V longitudinal (voir chapitre stabilité) trop important qui créerait de la traînée. Pour que l'avion vole fuselage sensiblement horizontal et V réduit, l'aile est montée sur le fuselage avec un certain angle: le calage.

Il ne faut donc pas confondre le calage qui est fixé par la géométrie de l'appareil avec l'incidence qui est fonction de l'orientation des filets d'air qui s'écoulent sur le profil.

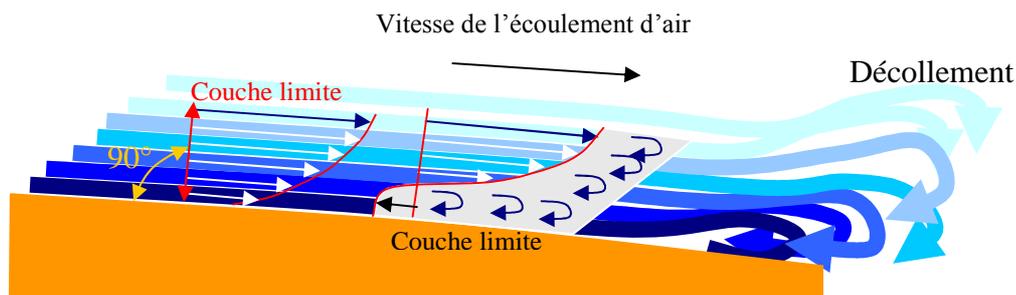


La traînée

Notion de couche limite

L'air a une certaine viscosité, c'est-à-dire qu'une couche d'air qui se déplace entraîne la couche voisine avec laquelle elle est en contact. Par rapport au profil, l'air en contact est quasiment immobile, sa vitesse augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la surface. La couche limite est la couche d'air dans laquelle la vitesse évolue de 0 vers la vitesse de l'écoulement.

Lorsqu'elle perd de son énergie la couche limite devient turbulente puis décolle aspirée par la dépression.



Nombre de Reynolds

Les performances d'un profil sont généralement fournies sous forme de courbes tracées à la suite d'essais en soufflerie (ou de simulation informatiques) dans différentes conditions d'utilisation.

Le nombre de Reynolds (sans dimension) caractérise l'écoulement sur le profil en fonction de la vitesse, de la corde du profil et de la viscosité de l'air.

$$Re = \frac{\text{vitesse} \times \text{corde}}{\text{Viscosité}}$$

Vitesse en m/s

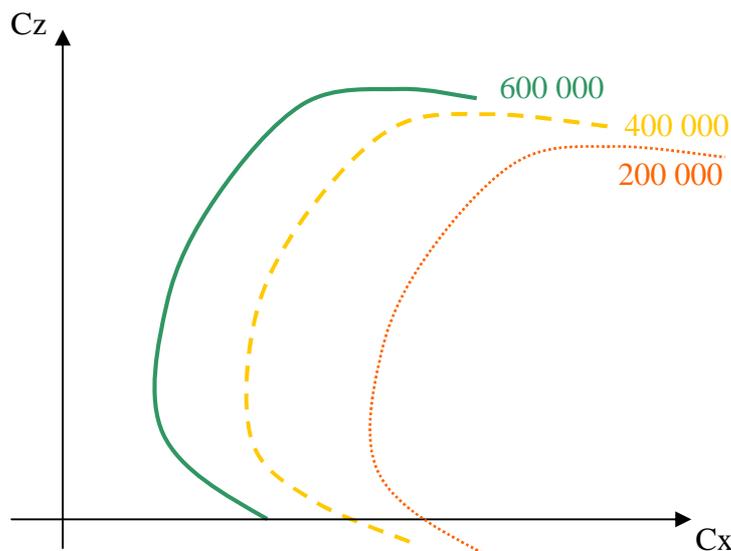
corde en m

viscosité 0,0000145m²/s pour l'air

Ce qui donne pour nos modèles : **Re = 70 x Corde en mm x Vitesse en m/s**

Déterminer le nombre de Re de fonctionnement d'un modèle, permet de choisir un profil en se référant à la courbe d'essais se rapprochant le plus de la réalité.

Un profil fonctionne d'autant mieux que le nombre de Reynolds est grand.

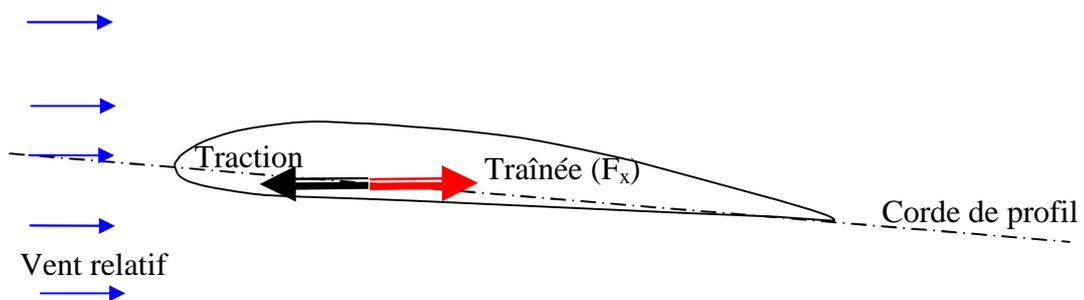


Equilibre traînée traction

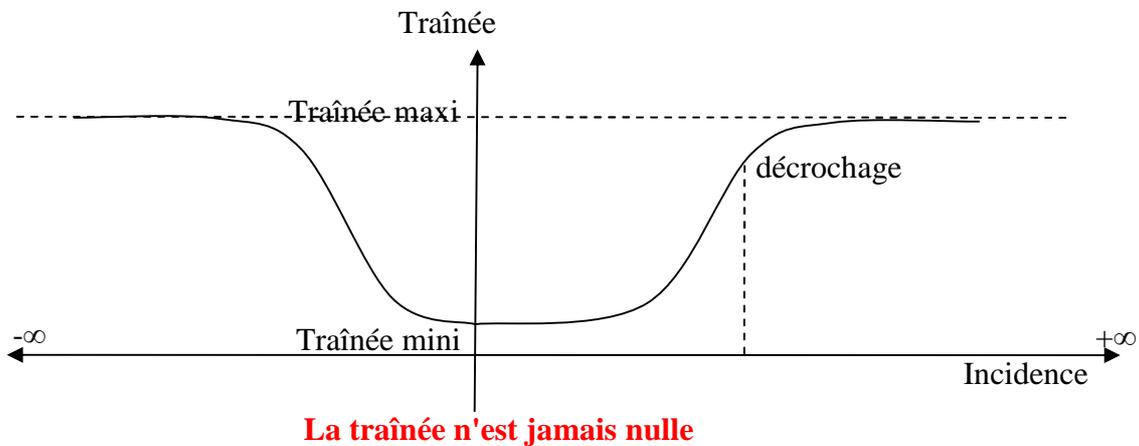
La traînée est une force résistante qui freine l'avion, elle est due au décollement de la couche limite (forme du profil, profil inadapté, incidence trop forte, état de surface de mauvaise qualité...). Pour s'opposer à la traînée, il faut créer une force de traction. C'est le rôle du couple moteur/hélice, c'est également la raison pour laquelle, les planeurs sont obligés de descendre en permanence dans la masse d'air dans laquelle ils évoluent.

Pour que le modèle vole à vitesse constante, il faut que la traction soit égale à la traînée.

- Si la traction est supérieure à la traînée, le modèle accélère
- Si la traînée est supérieure à la traction, le modèle décélère.



La traînée diminue lorsque la portance diminue. Toutefois il est impossible de réduire la traînée à zéro.



Expression de la traînée

La traînée dépend, comme la portance, de la pression qui s'exerce sur l'aile, de la surface de l'aile et des caractéristiques de profil.

Ceci conduit à l'expression suivante:

Traînée = Pression dynamique x Surface x Caractéristiques du profil

$$F_x = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_x$$

ρ : masse volumique de l'air en kg/m³

S : surface de l'aile en m²

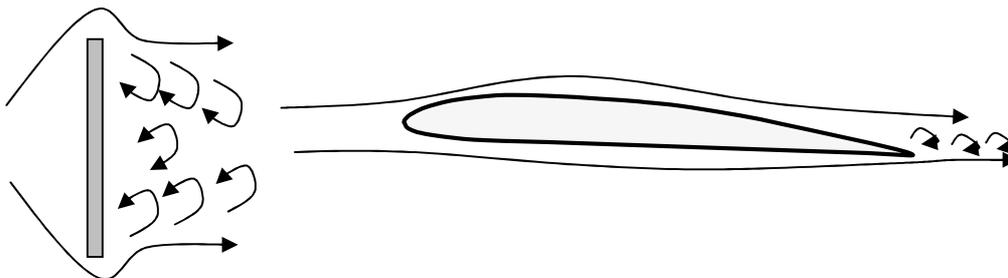
V^2 : vitesse en m/s

C_x : coefficient de traînée du profil

Traînée et forme du profil

Lorsqu'un objet se déplace, il crée une traînée qui résiste à son avancement. Chaque profil est étudié pour que sa traînée soit la plus faible possible mais aucun profil ne peut avoir une traînée égale à zéro. Le C_x caractérise les performances du profil

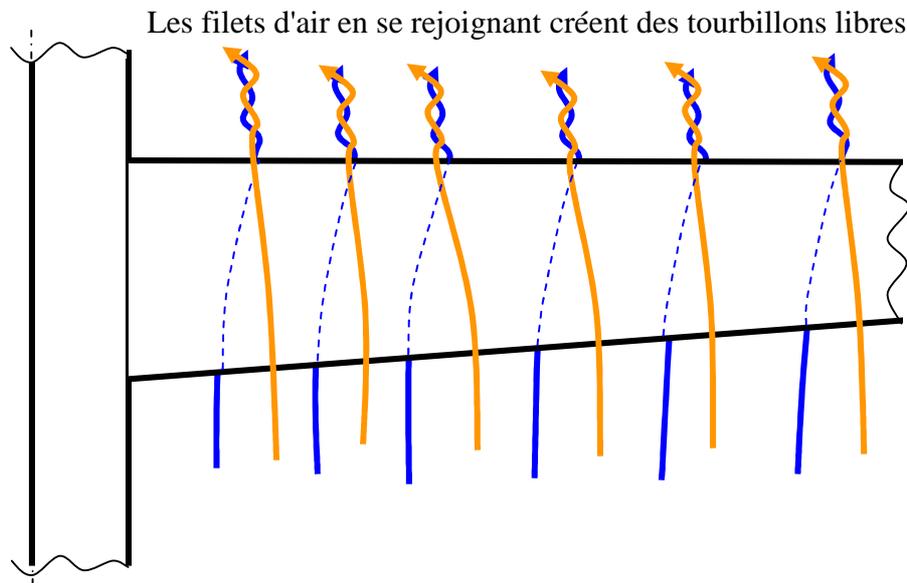
$$F_x = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x$$



La traînée n'est jamais nulle

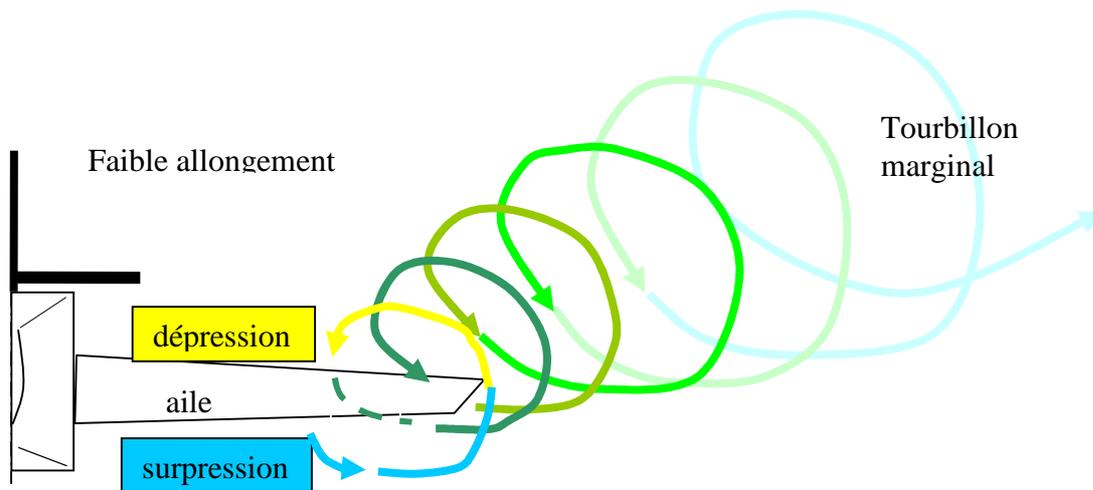
Traînée et portance

La portance est due à la différence de pression entre l'extrados et l'intrados. En raison de cette différence de pression, les filets d'air sont déviés (vers le fuselage à l'extrados, vers le bord marginal à l'intrados). Lorsqu'ils se rejoignent au bord de fuite, ils créent des tourbillons appelés tourbillons libres qui génèrent de la traînée induite. Plus la portance est grande, plus la traînée est grande.



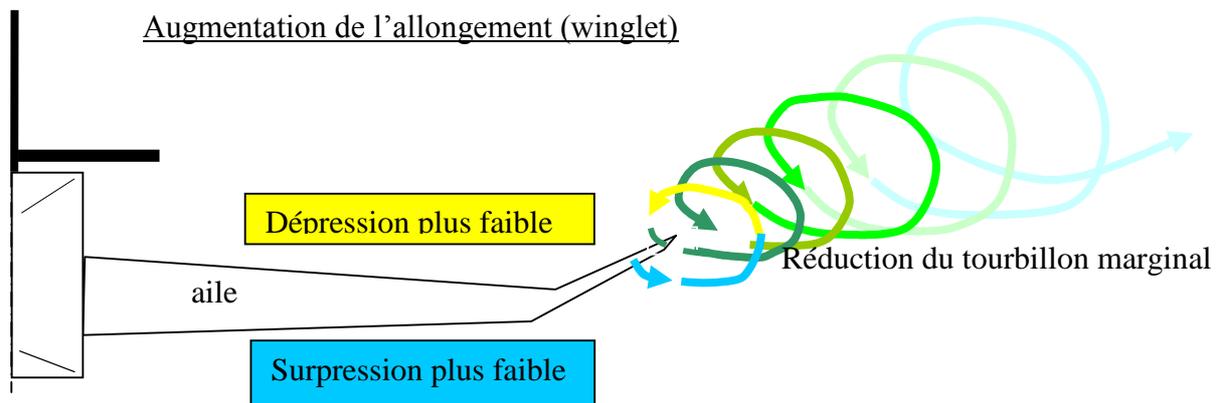
Traînée et allongement de l'aile

Selon le même principe que les tourbillons libres, les extrémités de l'aile sont une zone où la pression d'intrados rejoint la dépression d'extrados ce qui crée des tourbillons (tourbillons marginaux)



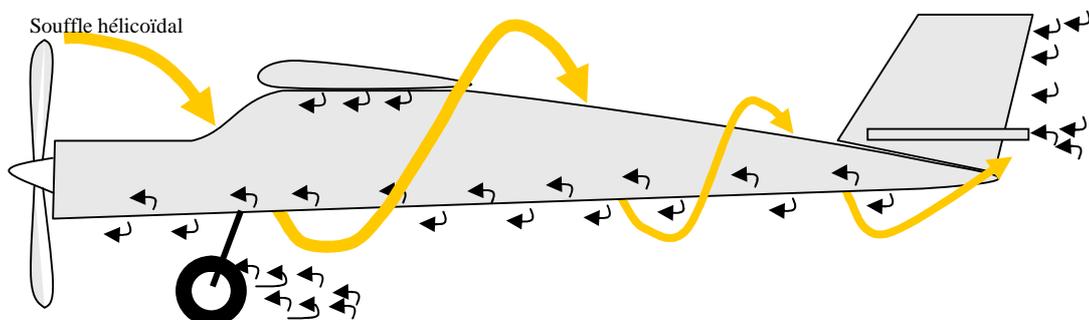
Afin de diminuer la traînée induite par ces tourbillons, il est nécessaire de réduire progressivement les champs de pressions lorsqu'on s'approche de l'extrémité de l'aile. Pour cela, à surface d'aile identique, une plus grande envergure sera préférable à une plus grande corde. Ainsi, plus l'allongement (envergure²/surface.) est grand, moins il y a de traînée induite.

Bien entendu, cette augmentation d'envergure crée des problèmes de résistance mécanique: La portance en bout d'aile a tendance à la faire plier et à la casser. Des dispositifs ont été développés, soit pour limiter les effets mécaniques dus à l'allongement (winglet), soit pour canaliser l'écoulement au bord marginal (cloison, tube).



Traînée et écoulement de l'air autour de l'avion.

Ce qui a été dit pour l'aile, s'applique également à l'ensemble de l'avion. Une bonne adaptation de la taille du stabilisateur, la diminution de la surface frontale (maître-couple), le profilage et le carénage de tout ce qui dépasse, le soin porté aux jonctions entre les différents éléments (karman), l'état de surface, des trains rétractables... limiteront la traînée.



Un paradoxe : les turbulateurs

En observant les ailes de certains avions de vol libre ou les pales de certains petits hélicoptères, on constate que le bord d'attaque est équipé d'une bande en surépaisseur. Tout laisse à penser qu'il est donc intéressant de créer de la traînée, ce qui paraît en opposition avec ce qui est écrit précédemment.

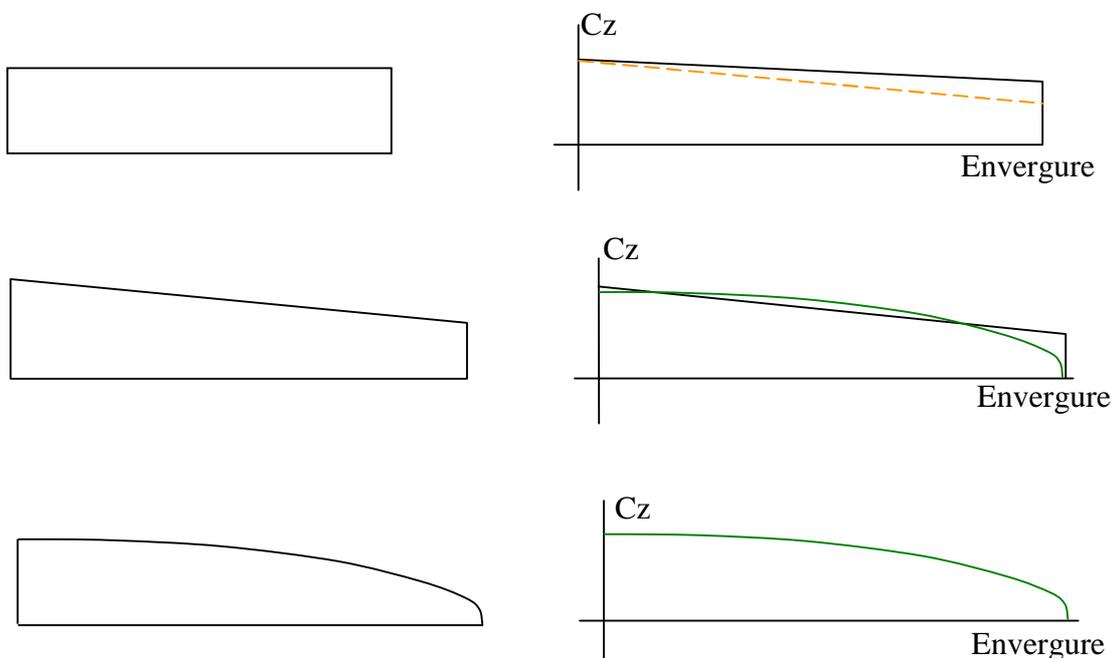
Lorsque la couche limite perd son énergie elle est aspirée par la dépression, décolle du profil et génère de la traînée. De nombreux dispositifs ont été essayés pour « recoller » la couche limite. Les « turbulateurs » sont de ceux utilisés en aéromodélisme. La turbulence qu'ils créent redonne de l'énergie cinétique à la couche limite ce qui lui permet de ne pas décoller du profil.

Retour sur la forme en plan de l'aile

Un avion de début, simple de construction, sera souvent équipé d'une aile rectangulaire. Compte tenu de la répartition de portance sur l'envergure, la traînée induite est assez élevée. Une solution consiste à diminuer la portance en bout d'aile en diminuant le calage du profil à la construction. Mais ceci diminue la portance globale.

Sur un avion un peu plus évolué, on utilisera une aile trapézoïdale, la portance en bout d'aile est plus faible et réduit les tourbillons marginaux. Mais on ne respecte pas tout à fait une répartition de portance idéale.

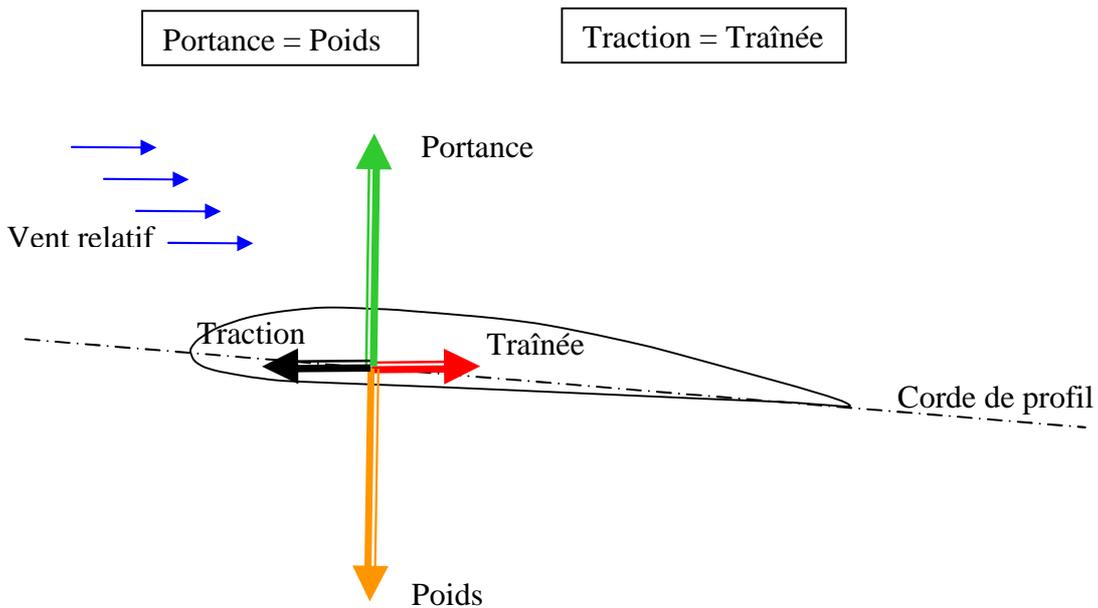
Pour conserver le maximum de portance et obtenir le minimum de tourbillons marginaux, il suffit de faire une aile dont la corde suit l'évolution de portance. Dans ce cas la forme de l'aile en plan devient elliptique (en fait $\frac{1}{4}$ d'ellipse).



LES EQUILIBRES

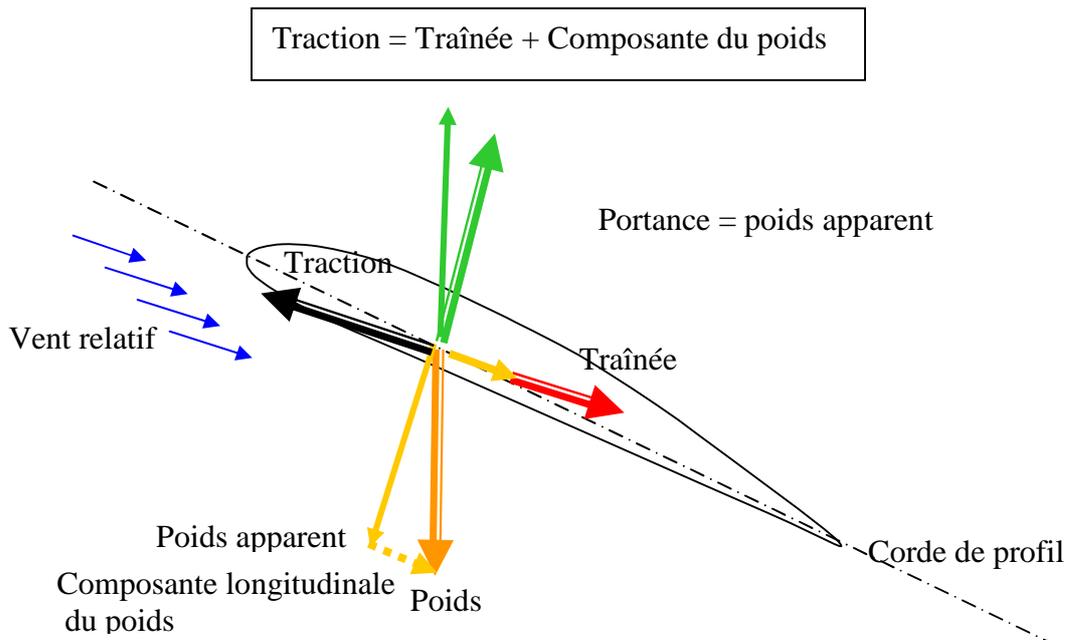
En palier

Ce cas a été vu précédemment, lorsque l'avion est en palier, la portance équilibre le poids et la traction équilibre la traînée



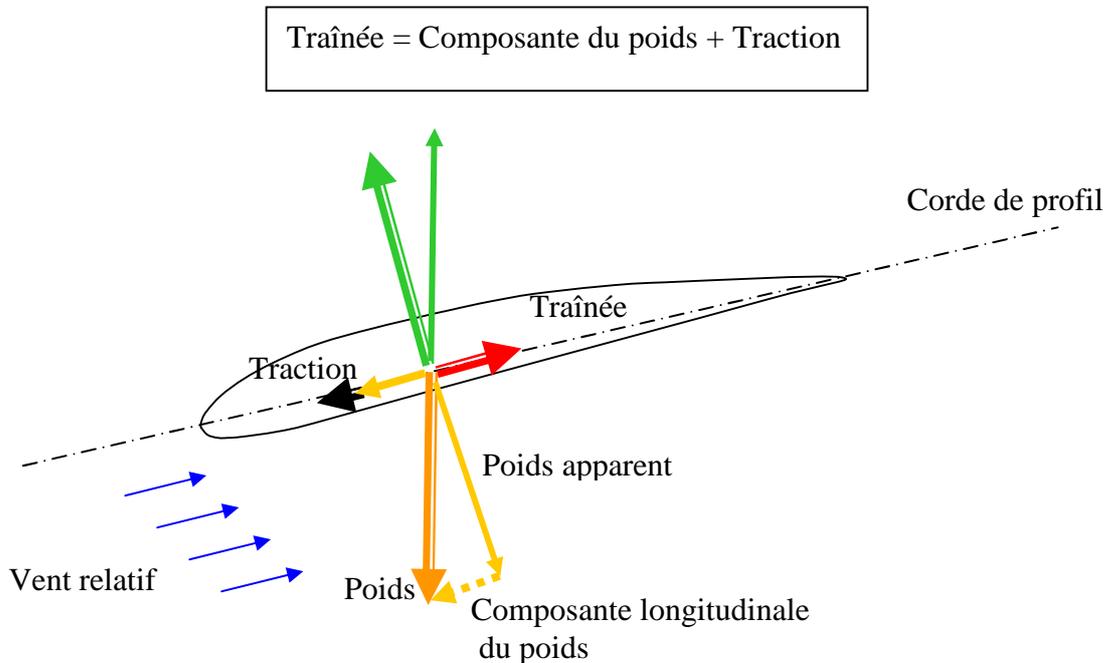
En montée

En montée, la traction doit augmenter pour compenser l'augmentation de traînée liée à la composante longitudinale du poids



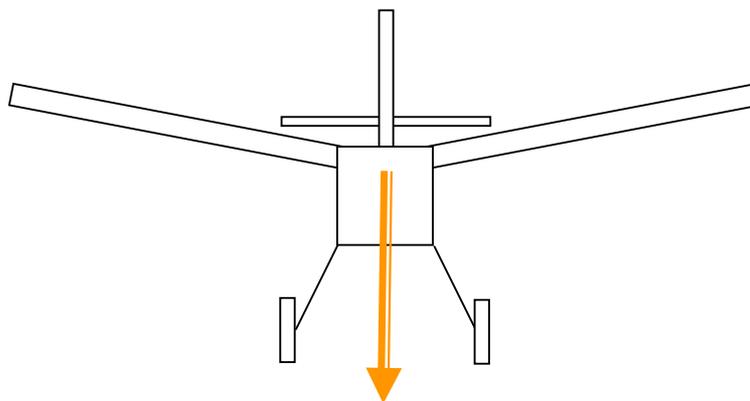
En descente

En descente, la traction doit diminuer pour compenser la composante longitudinale du poids qui entraîne l'avion en descente. Dans le cas d'un planeur, c'est cette composante qui donne l'énergie nécessaire pour obtenir la vitesse de vol.

LE FACTEUR DE CHARGE

Lorsqu'un modèle vole en ligne droite en palier, le poids qui s'exerce sur les ailes est égal au poids réel. Le rapport de ces deux forces est égal à un. Le poids apparent du modèle est égal à son poids réel. Le facteur de charge n est égal à un.

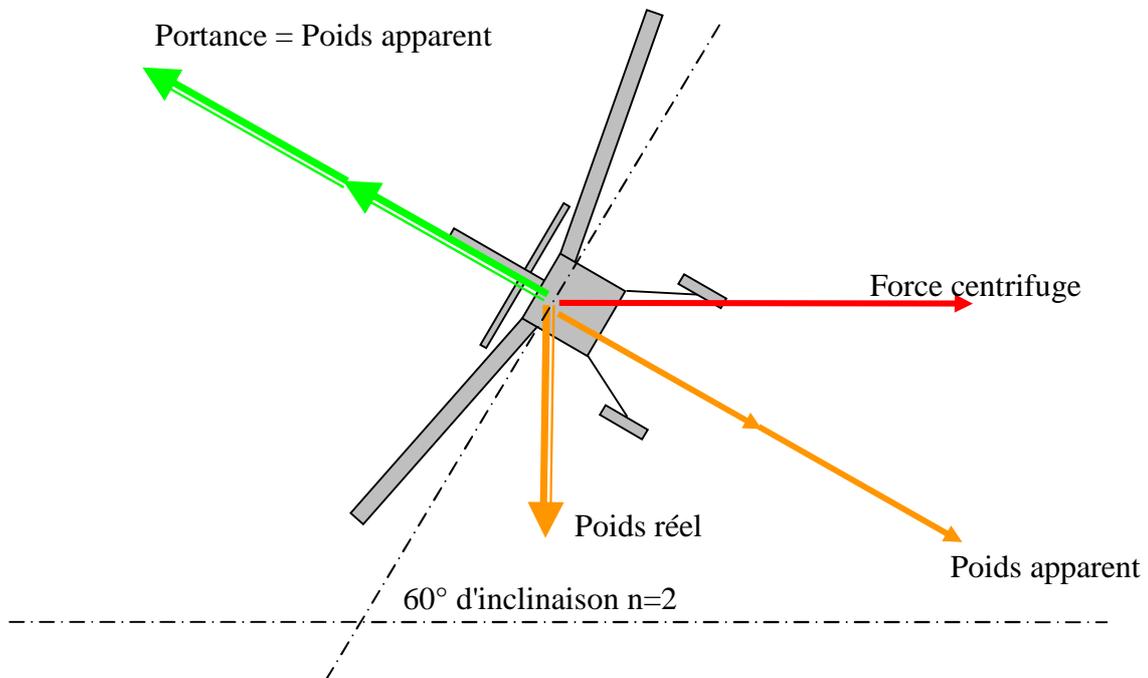
$$\text{Facteur de charge (n)} = \frac{\text{poids apparent}}{\text{poids réel}}$$



Poids apparent = poids réel
Facteur de charge $n = 1$

Facteur de charge en virage

En virage stabilisé, la combinaison des différentes forces qui s'exercent sur le modèle, fait apparaître un poids apparent plus important que le poids réel, ce qui augmente le facteur de charge.



La décomposition des forces exercées en virage, permet de tirer la loi suivante:

$$\cos(\text{inclinaison}) = \text{poids réel} / \text{poids apparent}$$

$$\text{poids apparent} / \text{poids réel} = 1 / \cos(\text{inclinaison})$$

$$n = 1 / \cos(\text{inclinaison})$$

Si inclinaison=60°

$$\cos 60 = 1/2$$

$$1 / 1/2 = 2$$

$$n = 2$$

Les conséquences sur le vol

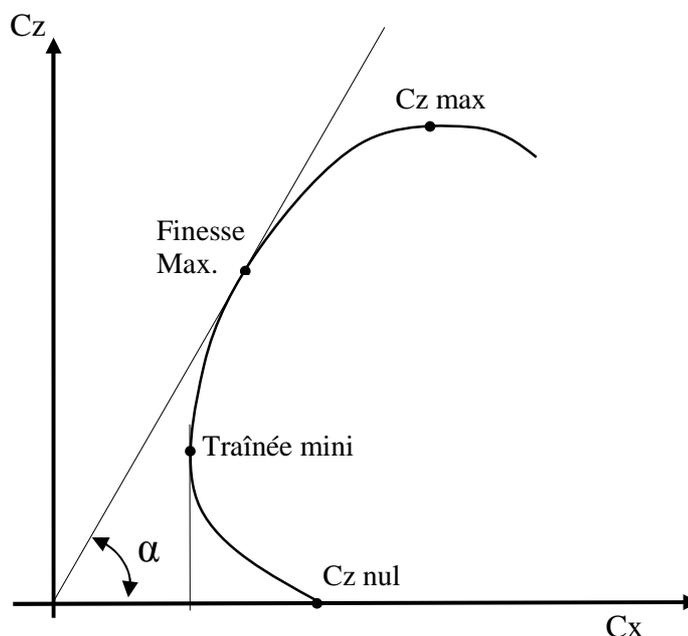
Pour maintenir l'équilibre portance / poids apparent, il est nécessaire d'augmenter la vitesse ou l'incidence. Si cette situation intervient au cours du dernier virage, donc à basse vitesse, l'augmentation d'incidence conduira au décrochage.

LA FINESSE

Le terme de finesse n'a rien à voir avec l'aspect de l'aéronef. Un gros B747 a plus de finesse que bon nombre de modèles réduits.

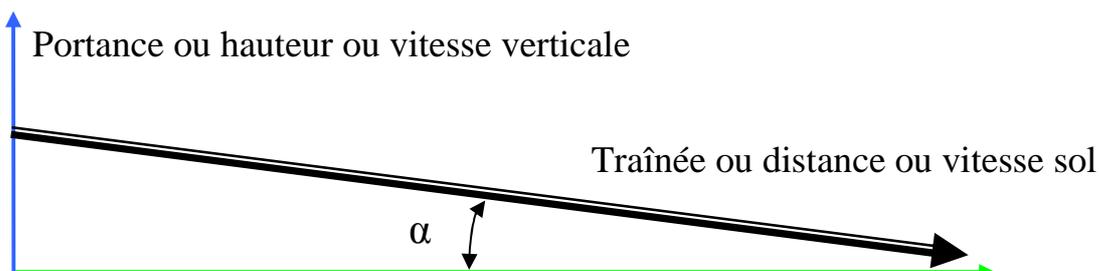
La finesse caractérise le rapport portance / traînée. Mais, pour le modéliste, ces grandeurs sont difficilement

quantifiables. On peut ramener cette expression de la finesse au rapport de la distance parcourue en fonction du dénivelé. Un planeur qui traverse les 100m d'un terrain de football après un lancé à la main qui l'a monté aux alentours de 10m, a une finesse d'environ 10 (celle d'un B747 est proche de 20). Bien entendu cet exemple est réducteur car la finesse maximum ne peut être obtenue qu'à l'incidence de finesse max et donc avec une vitesse adaptée, ce qui n'est pas forcément le cas de chaque vol plané.



Attention: ne pas confondre la finesse d'un profil et la finesse d'un modèle. La traînée de l'ensemble de l'avion n'est pas la même que celle de l'aile seule!

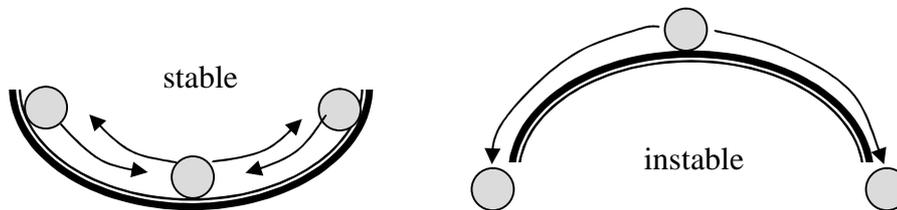
<p>finesse = portance/traînée = distance /hauteur = vitesse sol / vitesse verticale</p>
--



LA STABILITE

Le principe

Un système est stable lorsqu'il retrouve sa condition d'équilibre après une perturbation. Un avion est stable lorsqu'il reprend sa ligne vol après s'en être écarté.



Il faut distinguer deux stabilités: la stabilité longitudinale et la stabilité latérale.

La stabilité longitudinale:

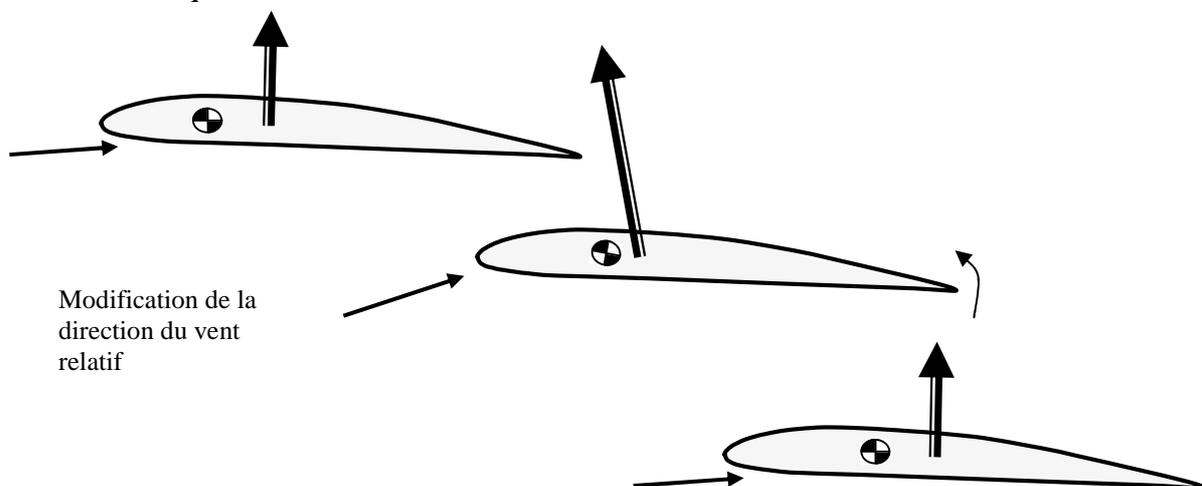
Le centrage

Lorsqu'un élément extérieur modifie la direction du vent relatif, la portance varie. Prenons l'exemple d'une augmentation:

- si la portance s'applique en avant du centre de gravité: son augmentation entraîne un couple qui augmente l'incidence, la portance augmente d'avantage. L'avion ne revient pas à sa position de départ: il n'est pas stable.
- si la portance s'applique en arrière du centre de gravité, son augmentation entraîne un couple qui diminue l'incidence, la portance diminue. L'avion revient à sa position de départ: il est stable.

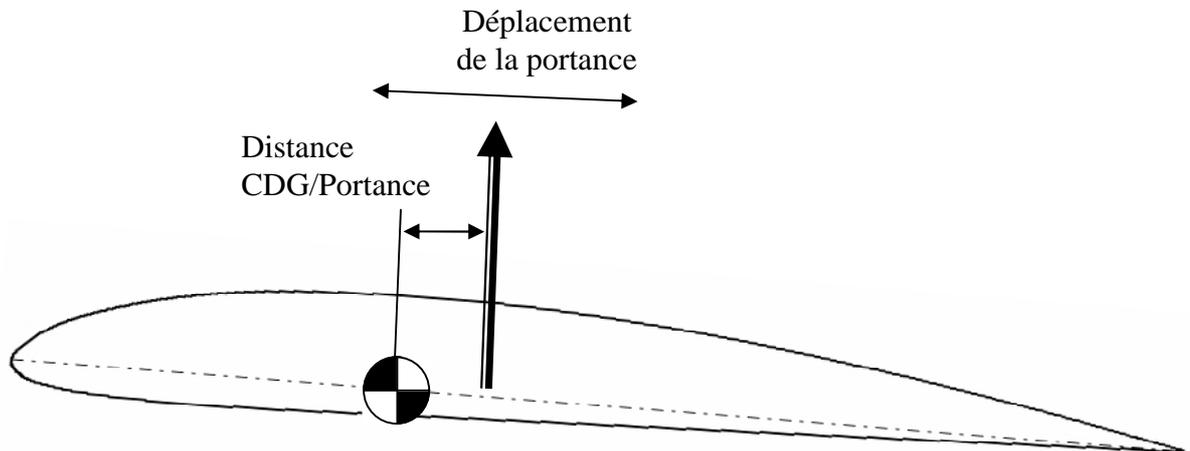
On voit qu'il faut donc que le centre gravité soit situé en avant du point d'application de la portance. Le centrage consiste à équilibrer l'avion pour que le centre de gravité se trouve à l'endroit souhaité. Pour les premiers essais, lorsque le centrage n'est pas connu grâce aux calculs, l'expérience le situe à environ 30% de la corde moyenne par rapport au bord d'attaque.

Un mauvais centrage trop arrière sera la cause d'une instabilité, un centrage trop avant sera la cause d'un manque de maniabilité.



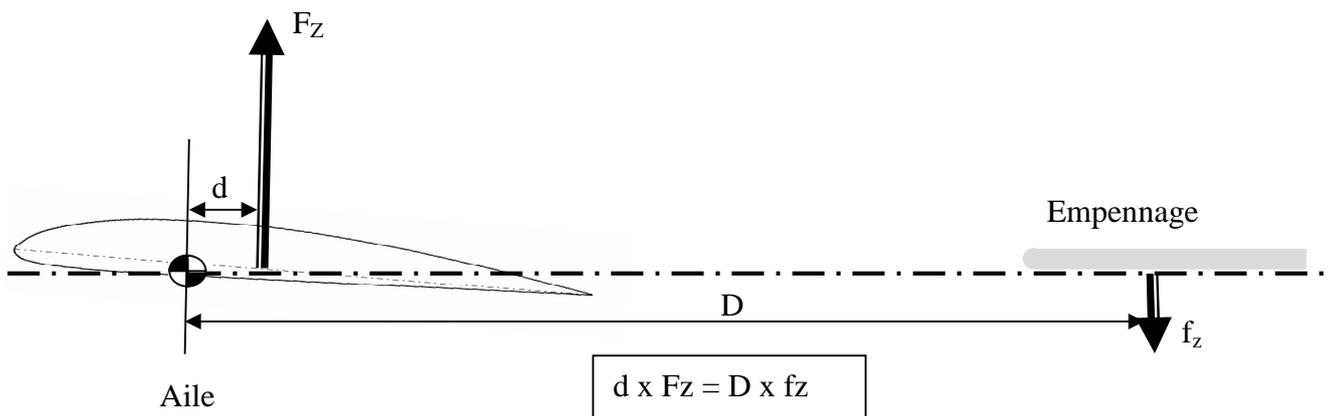
L'empennage horizontal

Une aile seule n'est pas stable. Pour le vérifier, il suffit de la lancer, elle ne planera pas mais tournera autour d'un axe parallèle à son envergure. Ceci est dû, entre autres, au point d'application de la portance (centre de poussée) qui ne se situe pas au même endroit que le centre de gravité (point d'application du poids), et qui avance lorsque l'incidence augmente.



Pour éviter un comportement identique lorsque cette aile est montée sur un avion, le fuselage est équipé d'un empennage horizontal. Le plus souvent, il est constitué d'un plan horizontal situé à l'arrière du modèle. Ce plan agit aérodynamiquement de la même façon qu'une aile; ils créent une portance et une traînée.

L'empennage horizontal crée une portance négative qui, compte tenu de la distance au centre de gravité, équilibre le couple créé par la portance de l'aile.



Le V longitudinal

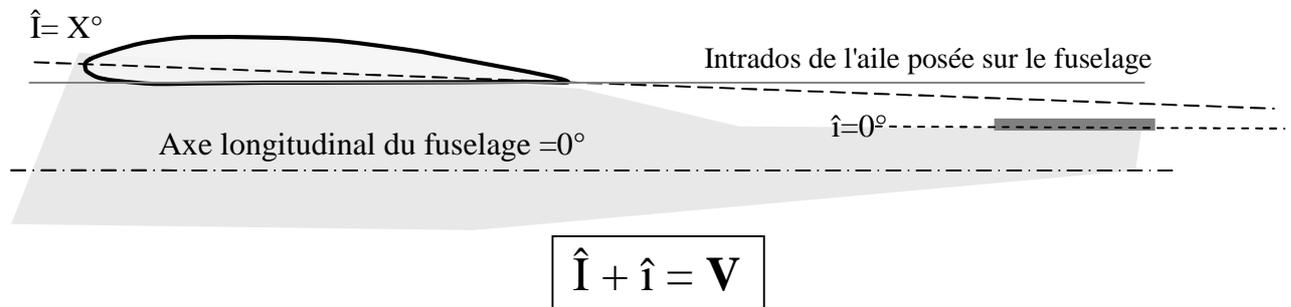
Pour que le vol s'effectue en palier à une vitesse donnée, les critères de stabilité sont respectés en plaçant, par construction, le centre de gravité en avant du point d'application de la portance. Cette distance crée un couple piqueur sur l'avion qui s'équilibre par une portance vers le bas produite par le plan horizontal.

L'angle que fait la corde de l'aile avec l'axe du fuselage est le calage. Ceci est également vrai pour l'angle que fait la corde de l'empennage horizontal avec l'axe du fuselage.

On constate qu'il existe un angle entre le calage de l'aile et le calage de l'empennage horizontal. C'est le V longitudinal.



Compte tenu des profils utilisés sur les avions de début et d'empennages dont le plan horizontal est souvent constitué d'une simple plaque, le V longitudinal est généralement obtenu en reposant l'aile sur le fuselage par son intrados et en alignant le plan horizontal avec l'axe du fuselage. Cette disposition simplifie la construction.



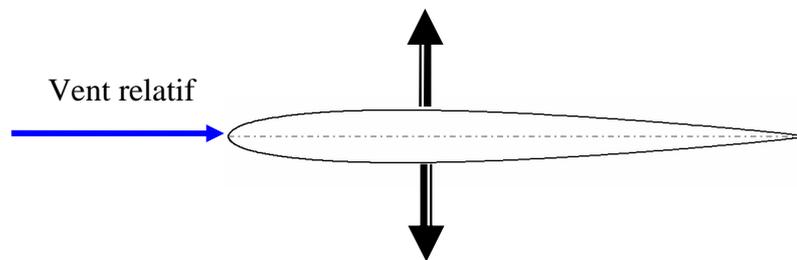
La stabilité latérale

La stabilité latérale est un vaste sujet car, en plus d'une stabilité de route, il est nécessaire de maintenir une stabilité en inclinaison et une symétrie de l'écoulement aérodynamique sur l'ensemble de l'avion. Les deux dispositifs principaux sont la dérive et l'angle de dièdre. Dans le cadre restreint de ce livret d'initiation, leurs fonctionnements, seront abordés d'une façon simplifiée. Pour approfondir les connaissances, consulter le livre « initiation aéronautique »

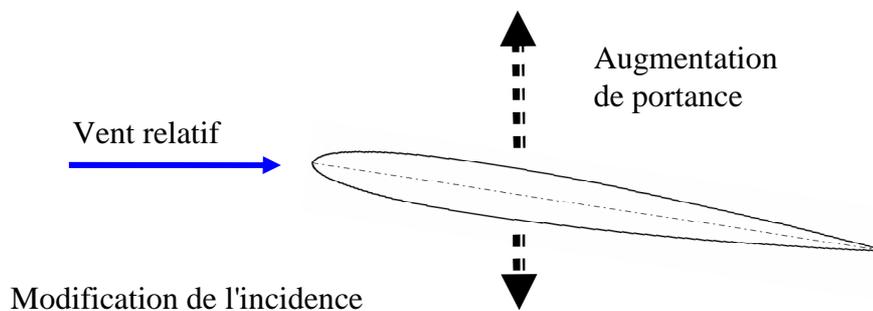
La dérive et la stabilité de route

L'empennage vertical est comparable à la dérive d'un bateau, c'est d'ailleurs le nom qui lui est donné. Elle permet de maintenir un écoulement symétrique sur l'ensemble du modèle pour conserver sa route malgré les perturbations extérieures.

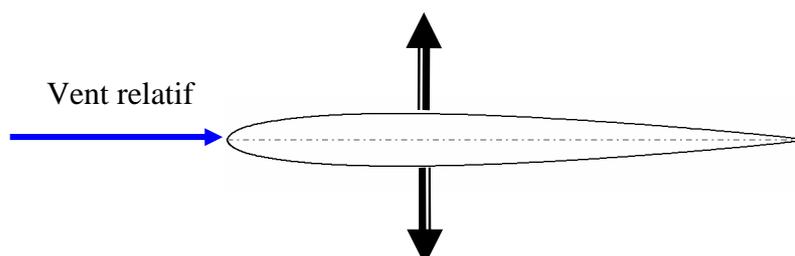
Lorsque le modèle se déplace, le vent relatif crée une portance identique de chaque côté de l'empennage vertical.



- Si, en raison d'une perturbation momentanée, le modèle pivote autour de son axe de lacet (tout en maintenant sa trajectoire grâce à son inertie), l'angle par rapport au vent relatif varie, provoquant une modification de l'incidence et une différence de portance.

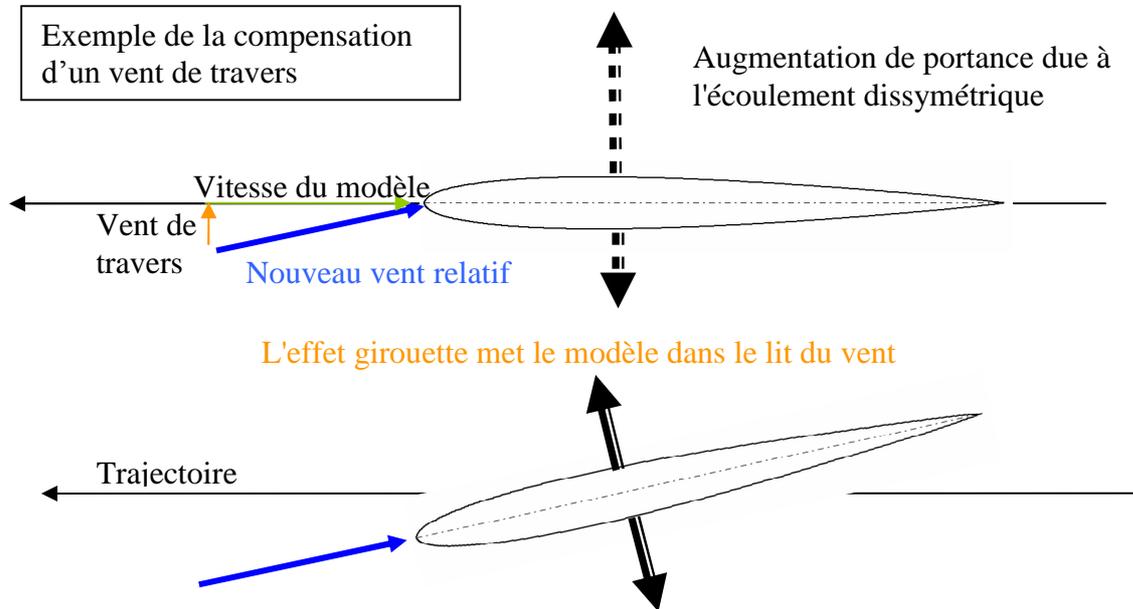


L'augmentation de portance d'un côté de la dérive ramène le modèle sur son axe, permettant de retrouver un écoulement symétrique.



- Si la dissymétrie est due à un phénomène établi (mise en virage, vent de travers ...) la dérive permet de maintenir un écoulement symétrique sur le modèle.

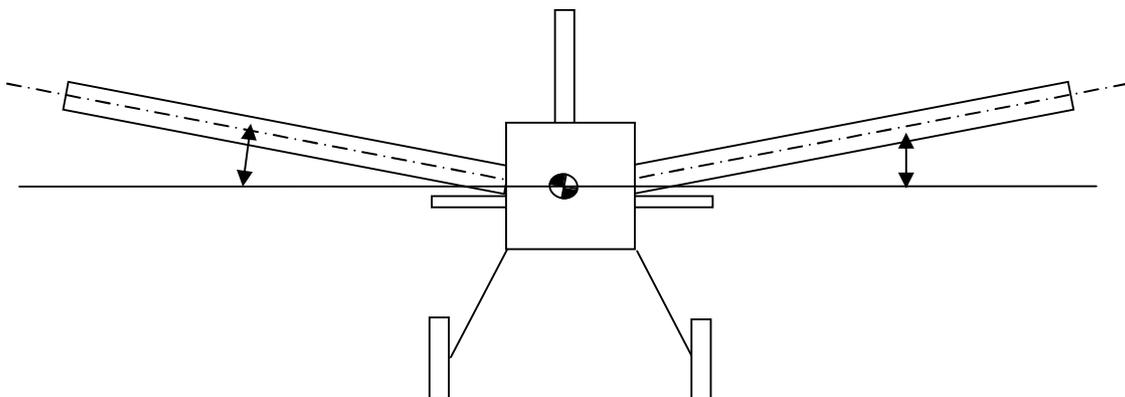
L'aile extérieure au virage est partiellement masquée par le fuselage.



L'angle de dièdre

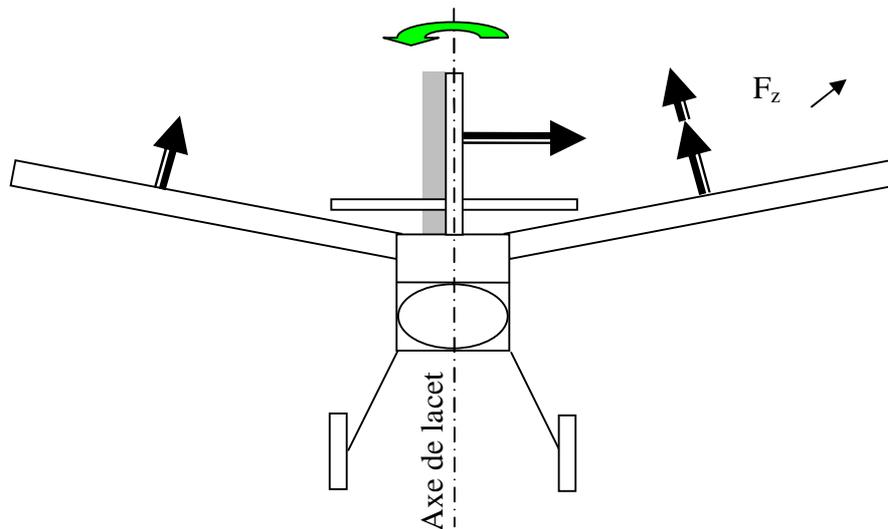
C'est l'angle formé entre chaque demie-aile et l'horizontale. Ce dièdre agit de différentes façons sur le modèle.

Sur un avion sans aileron, dièdre 5° à 8°

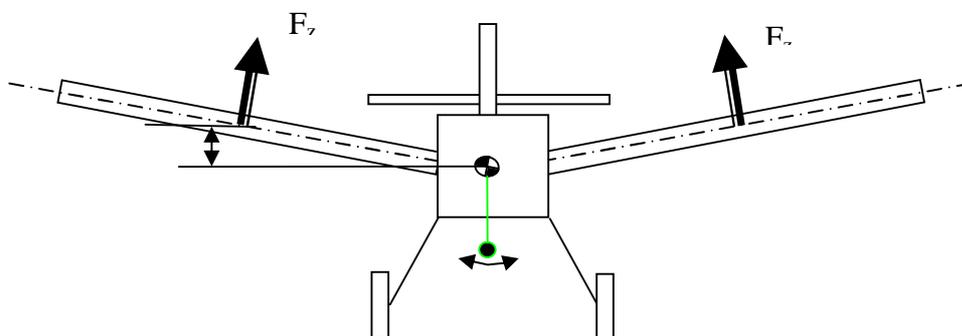


Roulis induit

Lorsque la gouverne de direction crée un mouvement de rotation du fuselage autour de l'axe de lacet (axe vertical passant par le centre de gravité), l'augmentation de vitesse de l'aile extérieure au virage induit une augmentation de portance. L'angle de dièdre amplifie l'augmentation de portance. Le modèle s'incline sous l'effet du roulis induit. Sur un modèle non équipé d'aileron, l'angle de dièdre, plus important, est indispensable pour virer.

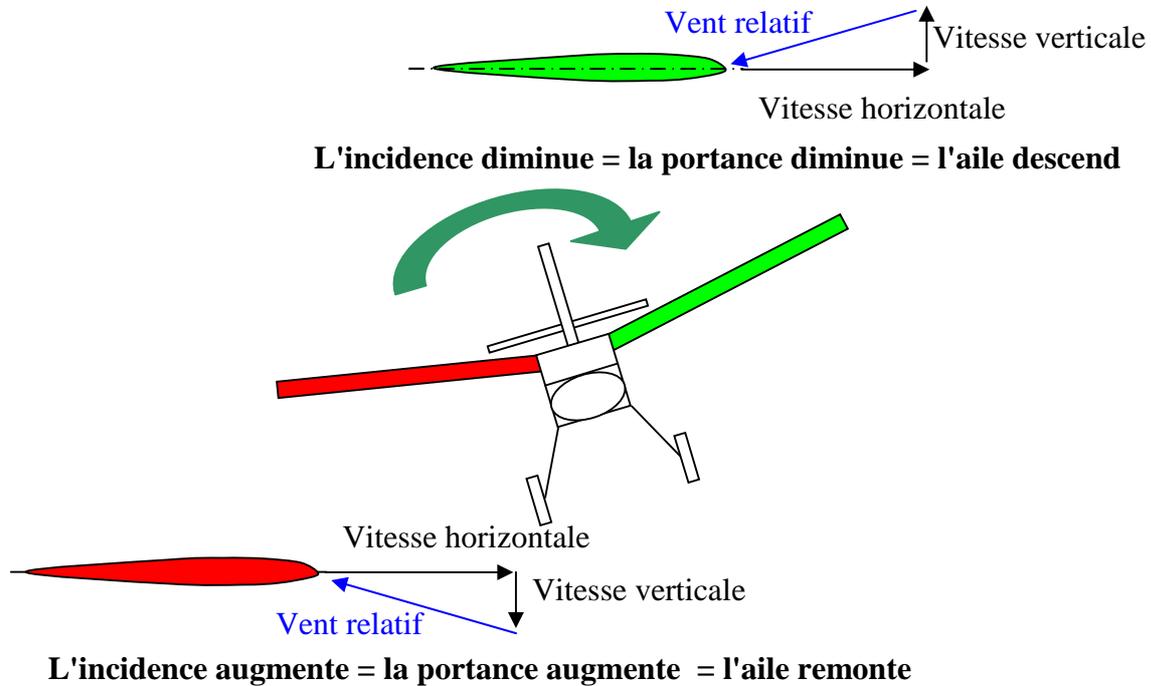
*Effets pendulaire stabilisateur*

Du fait du dièdre, le fuselage est plus bas que le point d'application de la portance sur chaque demi aile. Ainsi le centre de gravité est descendu et l'avion se comporte comme un pendule, ce qui le rend plus stable en roulis (inclinaison droite/gauche).

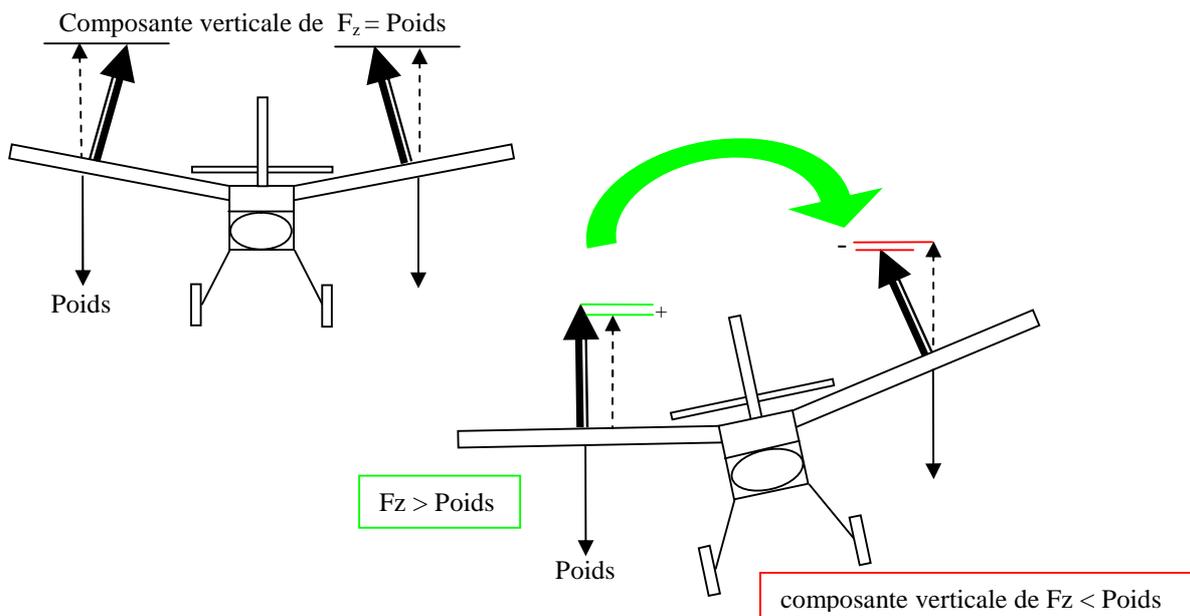


Effet redresseur

- Lorsque le modèle subit une perturbation qui l'incline, l'angle de dièdre provoque une différence d'incidence entre les deux demies-ailes qui modifie la répartition de portance et ramène l'avion en position ailes horizontales.



- La portance étant perpendiculaire au plan de l'aile, c'est sa composante verticale qui s'oppose au poids. Lorsque le modèle s'incline, tout étant supposé identique par ailleurs, du fait du dièdre, la composante verticale de la portance n'est plus identique sur les deux demies-ailes et favorise le retour à la position initiale.



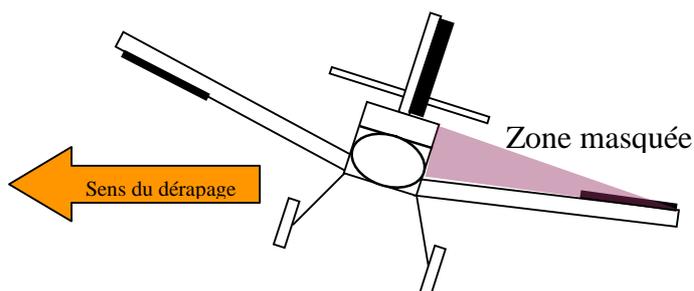
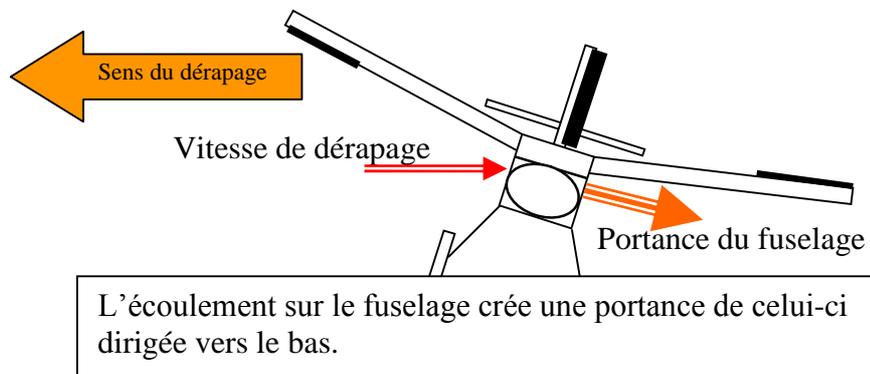
L'écoulement dissymétrique

Il y a un écoulement aérodynamique dissymétrique lorsque celui-ci n'est pas parallèle au plan de symétrie du modèle.

Lors d'un virage, la symétrie de l'écoulement est assurée par la dérive et la gouverne de direction. Si la gouverne de direction n'est pas braquée d'une valeur adaptée, le virage est soit dérapé, soit glissé.

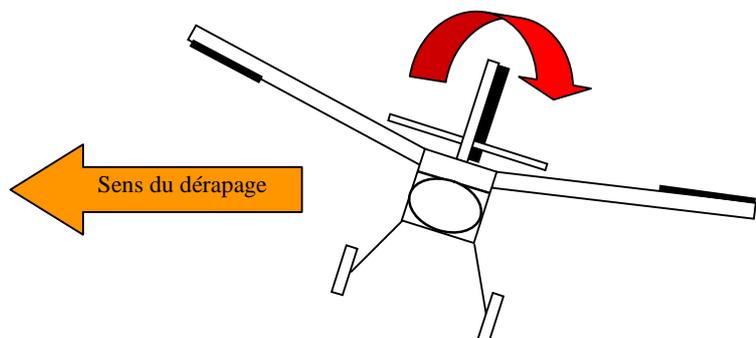
Virage dérapé

Au cours d'un virage, la mauvaise coordination des ailerons et de la direction provoque un dérapage du modèle vers l'extérieur du virage.



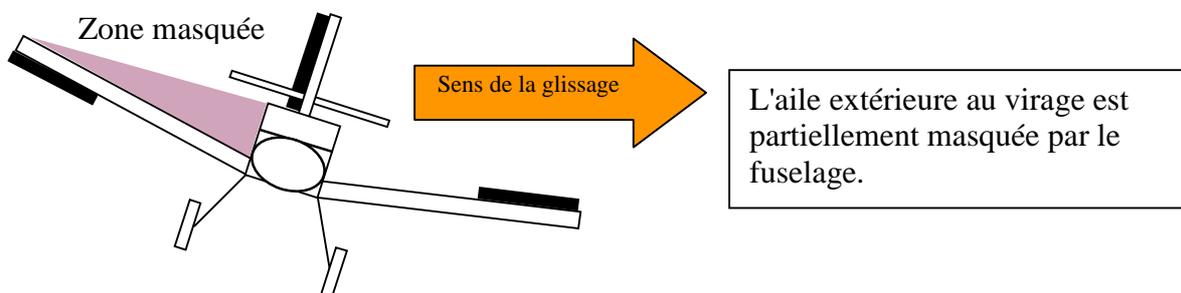
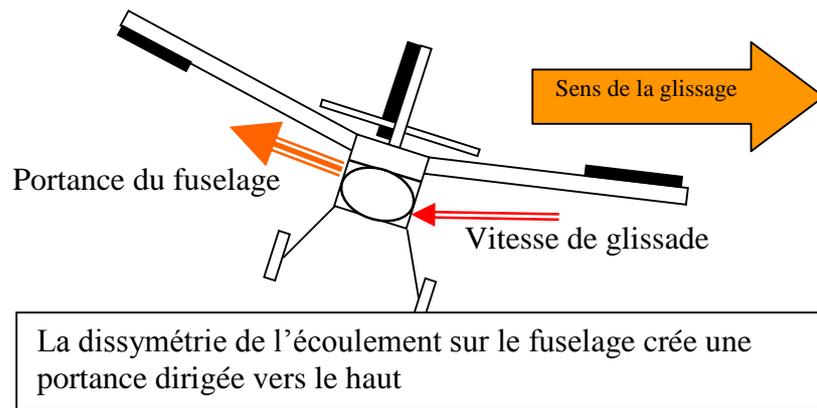
Comme l'écoulement d'air n'est plus symétrique, le vent relatif attaque chaque demie aile sous un angle qui tend à augmenter l'incidence de l'aile haute et à diminuer celle de l'aile basse.

Même si chaque modèle a ses particularités, en **DERAPAGE**, il faut s'attendre à ce qu'un excès de dérapage fasse basculer le modèle du côté de l'aile intérieure au virage.



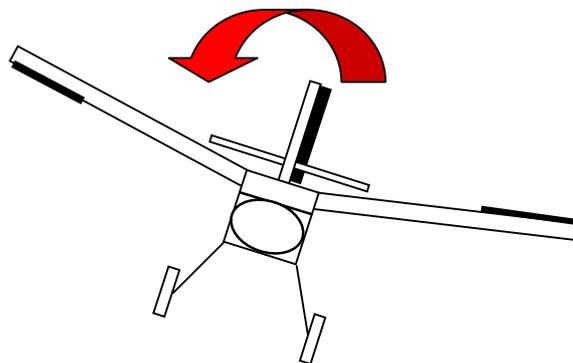
Virage glissé

Au cours d'un virage, la mauvaise coordination des ailerons et de la direction provoque une glissade du modèle vers l'intérieur du virage.



Comme l'écoulement d'air n'est plus symétrique, le vent relatif attaque chaque demie aile sous un angle qui tend à augmenter l'incidence de l'aile basse et à diminuer celle de l'aile haute.

Même si chaque modèle a ses particularités, en **GLISSADE**, il faut s'attendre à ce qu'un excès de glissade fasse basculer le modèle du côté de l'aile haute.

**Remarque**

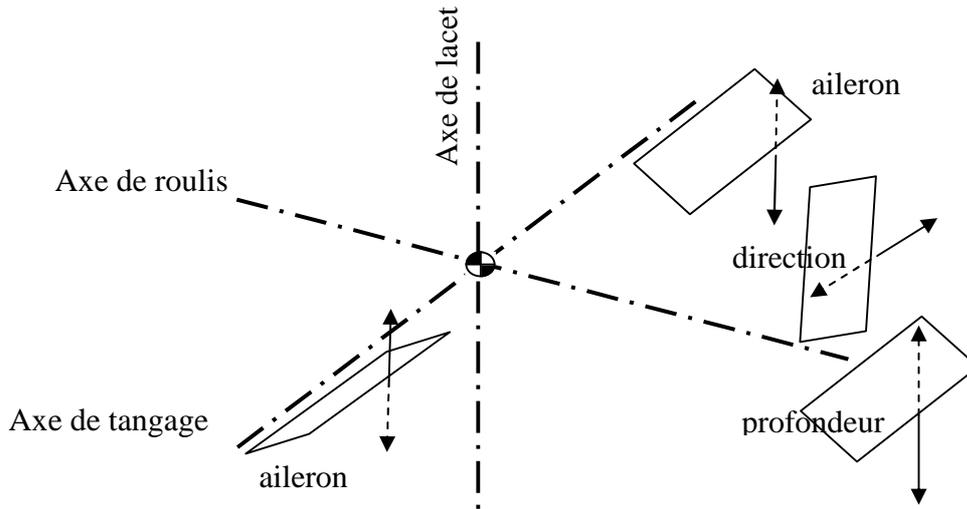
Cette manœuvre peut être effectuée en ligne droite pour maintenir un axe par vent de travers ou pour augmenter la pente de descente.

LES GOUVERNES

Les axes de référence

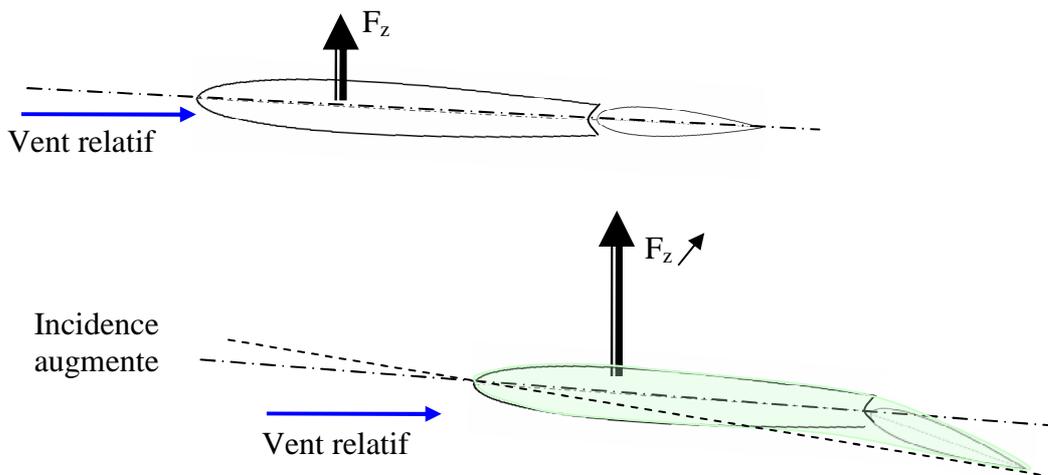
Pour piloter un modèle, on agit sur des surfaces mobiles: les gouvernes. Ces gouvernes font évoluer le modèle autour de 3 axes:

- l'axe longitudinal : l'axe de roulis
- l'axe vertical passant par le centre de gravité : l'axe de lacet
- l'axe parallèle à l'envergure : l'axe de tangage



Le fonctionnement

La déflexion de la gouverne crée une modification de la forme du profil ce qui fait varier la portance du côté opposé au braquage. L'équilibre longitudinal est modifié



La profondeur

La gouverne de profondeur est articulée sur le bord de fuite de l'empennage horizontal. Cette gouverne est utilisée pour monter ou descendre.

La déflexion de la gouverne modifie la répartition de portance sur l'empennage, ce qui entraîne une modification de l'incidence de l'aile et provoque une variation de trajectoire.

La direction

Sur le bord de fuite de la dérive est montée la gouverne de direction. C'est le nom couramment utilisé, même si on devrait plutôt l'appeler gouverne de symétrie compte tenu de sa fonction. En effet, si le modèle n'est pas équipé d'aileron, l'action de la gouverne de direction provoque la dissymétrie de l'écoulement aérodynamique nécessaire à la mise en virage puis à son maintien. Si le modèle est équipé d'ailerons le braquage de la gouverne rétablit un écoulement symétrique lorsque l'inclinaison provoque le virage.

Le mode de fonctionnement de la gouverne de direction est le même que celui de la gouverne de profondeur. La déflexion entraîne une variation de portance sur la dérive ce qui modifie l'équilibre latéral.

Le gauchissement

Les ailerons sont articulés sur le bord de fuite de l'aile. Ces gouvernes sont utilisées pour s'incliner à droite ou à gauche. Là aussi le principe est de modifier la forme du profil pour modifier la portance.

Sur les modèles réduits, on trouve deux types d'ailerons:

- les ailerons montés sur une portion du bord de fuite de l'aile et manœuvrés soit par une timonerie complexe, soit chacun par un servo-moteur
- les ailerons fullspan, ce qui se traduit par "sur toute l'envergure". Cette disposition simplifie le montage car un seul servo-moteur monté au centre de l'aile permet de les manœuvrer avec une commande courte et simple.

Comme cela a été décrit dans les chapitres précédents, l'augmentation de portance engendre une augmentation de traînée. Ainsi, lors d'un virage, sur l'aile extérieure au virage, l'aileron braqué vers le bas augmente la portance, cette augmentation provoque également une augmentation de traînée qui tend à freiner l'aile. Cette combinaison provoque un phénomène de lacet qui s'oppose au virage : le lacet inverse.

Pour y remédier, il suffit d'augmenter la traînée de l'aile intérieure au virage en augmentant le débattement de l'aileron vers le haut provoquant ainsi plus de traînée que l'aileron baissée de l'aile extérieure au virage.

QUESTION CATIA

On appelle bord d'attaque :

- a) la partie avant du fuselage
- b) la partie arrière de l'aile
- c) la partie avant de l'aile

On appelle bord de fuite :

- a) la partie arrière du fuselage
- b) la partie arrière de l'aile
- c) la partie avant de l'aile

La portance est la composante de la résultante aérodynamique :

- a) parallèle au vent relatif
- b) perpendiculaire au vent relatif
- c) parallèle à la traînée

La traînée est la composante de la résultante aérodynamique :

- a) parallèle au vent relatif
- b) perpendiculaire au vent relatif
- c) parallèle à la portance

Un aéromodèle est un objet étudié pour offrir un bon rapport :

- a) portance – poids
- b) portance – traînée
- c) traînée – traction

Lorsqu'un modèle suit une trajectoire rectiligne horizontale à vitesse constante ;

- a) la portance équilibre la traction
- b) le poids équilibre la traînée
- c) la portance équilibre le poids

Sur la demie aile associée à l'aileron baissé :

- a) la portance diminue, la traînée diminue
- b) la portance augmente, la traînée augmente
- c) la portance ne varie pas, la traînée augmente

Sur la demie-aile associée à l'aileron levé, la portance :

- a) ne varie pas
- b) augmente
- c) diminue

Le rôle de la gouverne de direction est :

- a) de maintenir un écoulement de l'air symétrique autour de l'avion
- b) de maintenir la trajectoire en vol, dans le plan horizontal
- c) de modifier la trajectoire en vol, dans le plan vertical

Sur un modèle en vol en palier uniforme, le vent relatif est :

- a) de même sens que la vitesse du modèle
- b) de sens opposé à la vitesse du modèle
- c) dépend des conditions météorologiques

L'incidence est l'angle compris entre :

- a) la corde du profil et le vent relatif
- b) la trajectoire et l'axe longitudinal
- c) la trajectoire et l'horizon

A vitesse constante une augmentation de l'angle d'incidence sur un profil aura pour effet :

- a) une diminution de la traînée
- b) une augmentation de la portance quelle que soit l'incidence atteinte
- c) une augmentation de la portance puis une diminution brutale de celle-ci lorsqu'est atteinte l'incidence de décrochage

A incidence constante, une augmentation de la vitesse sur un profil aura pour effet :

- a) d'augmenter la portance
- b) de diminuer la portance
- c) de diminuer la traînée

A incidence constante, une diminution de la vitesse sur un profil aura pour effet :

- a) une augmentation de la traînée
- b) une augmentation de la résultante aérodynamique
- c) une diminution de la portance

Le vol à faible vitesse correspond à :

- a) aux petits angles d'incidence
- b) aux grands angles d'incidence
- c) à l'incidence de décrochage

Une action sur le manche de profondeur vers l'avant ou vers l'arrière, à pour **effet** :

- a) une variation du calage de l'aile
- b) une diminution de la traction
- c) une variation de l'angle d'incidence de l'aile

Le décrochage d'une aile se produit :

- a) sans signe précurseur
- b) quand l'angle d'incidence diminue
- c) à une vitesse fixe
- d) quand l'angle d'incidence devient très important

Le rôle de l'empennage horizontal (et de la gouverne de profondeur) est :

- a) de provoquer des variations d'incidence lorsque le pilote agit sur le manche de profondeur d'avant en arrière
- b) d'assurer l'équilibre de l'avion c'est à dire d'appliquer la résultante aérodynamique de portance au centre de gravité de l'avion pour assurer sa stabilité
- c) Les réponses a) et b)

La finesse d'un aéromodèle est égale au rapport :

- a) vitesse horizontale du planeur sur vitesse verticale du planeur
- b) distance parcourue sur hauteur perdue
- c) les deux propositions ci-dessus sont exactes

La portance s'exerce à :

- a) l'arrière du profil de l'aile
- b) l'intrados de l'aile
- c) l'extrados de l'aile
- d) l'avant du profil de l'aile

La corde d'un profil est :

- a) la ligne qui relie la tangente au bord d'attaque à la tangente au bord de fuite
- b) l'envergure de l'aile
- c) un fil de laine

L'angle d'incidence d'un profil est :

- a) égale à la flèche
- b) l'angle compris entre la corde et la direction du vent relatif
- c) l'assiette de l'avion
- d) le calage de l'aile par rapport au fuselage

L'angle de portance nulle d'un profil est :

- a) égal à 0 pour les profils creux ;
- b) l'angle d'incidence qui correspond à une traînée nulle
- c) l'angle d'incidence qui correspond à une portance nulle ;

Lorsque la portance est nulle, un profil d'aile utilisé sur un avion de début, subit un moment :

- a) cabreur
- b) la portance d'un profil n'est jamais nulle
- c) nécessairement nul
- d) piqueur

Les facteurs suivants sauf un, sont favorables à la stabilité d'un avion, lequel :

- a) dérive dorsale ;
- b) dièdre positif ;
- c) flèche positive ;
- d) flèche négative ;

Lorsque l'on réduit la vitesse, pour continuer à voler, il faut :

- a) augmenter la puissance
- b) augmenter l'incidence
- c) diminuer l'incidence

La finesse est le rapport entre ;

- a) la portance et la traînée de l'aile
- b) l'envergure et la corde de l'aile
- c) la longueur et l'épaisseur du fuselage

Sur un planeur en vol, si le pilote augmente uniquement l'incidence, la vitesse :

- a) augmente
- b) on ne peut pas savoir, cela dépend des conditions météorologiques
- c) reste constante
- d) diminue

Le fait qu'un modèle ait tendance à cabrer lorsqu'on le rétablit après une survitesse est du :

- a) au V longitudinal trop faible
- b) à sa forte stabilité propre
- c) à un piqueur moteur insuffisant

On appelle axe de lacet :

- a) l'axe parallèle à l'envergure
- b) l'axe traversant le fuselage dans toute sa longueur
- c) l'axe vertical passant par le centre de gravité

On appelle axe de roulis :

- a) l'axe vertical perpendiculaire au plan de la voilure
- b) l'axe parallèle à l'envergure
- c) l'axe traversant le fuselage dans toute sa longueur

Le lacet inverse est dû à :

- a) une traînée plus faible du côté aileron levé par rapport à celle du côté aileron baissé
- b) la différence de vitesse entre les deux demies ailes de l'avion
- c) une dissymétrie du fuselage
- d) un défaut de construction du modèle

Lorsqu'un modèle est centré « arrière », il est :

- a) plutôt instable
- b) plutôt stable
- c) bien stable car bien « assis » sur l'arrière
- d) peu maniable

La stabilité latérale d'un aéronef dépend :

- a) de l'effilement de ses ailes
- b) de l'épaisseur du profil
- c) surtout de son dièdre
- d) surtout de la forme du fuselage

La corde de profil est :

- a) une ligne reliant le bord d'attaque et le bord de fuite en restant à égale distance de l'intrados et de l'extrados
- b) la ligne qui relie la tangente au bord d'attaque à la tangente au bord de fuite
- c) la silhouette de l'aéronef
- d) l'axe des ailes

Un modèle décroche :

- a) toujours à la même vitesse
- b) seulement s'il est en montée
- c) à une incidence variable en fonction de la charge
- d) toujours à la même incidence

Lorsqu'une aile est dite «aux grands angles » l'écoulement de l'air sur l'extrados est :

- a) partout laminaire
- b) tourbillonnaire sur la plus grande partie (zone laminaire réduite au bord d'attaque)
- c) tourbillonnaire dans la partie avant et laminaire dans la partie arrière
- d) il n'y a plus d'écoulement d'air sur l'extrados

Une augmentation de l'allongement de l'aile :

- a) augmente la traînée induite
- b) diminue la traînée induite
- c) n'a aucune influence sur les performances
- d) dépend de l'élasticité de l'aile

La courbe polaire des vitesses permet de déterminer tous les points remarquables suivants, sauf un. Lequel :

- a) la vitesse minimale de sustentation
- b) la finesse maximale aérodynamique
- c) la traînée maximale
- d) la vitesse de chute minimale

La surface alaire est le produit de :

- a) l'envergure par la corde moyenne
- b) l'envergure par la corde d'emplanture
- c) l'envergure par la longueur du fuselage

Les tourbillons marginaux :

- a) sont la cause de la traînée induite
- b) sont négligeables
- c) sont très importants aux grands angles d'incidence
- d) les réponses a et c sont exactes

Le braquage positif des volets de courbure a pour conséquences :

- a) une augmentation de la portance
- b) un décrochage à une vitesse plus faible
- c) un décrochage à vitesse constante
- d) les réponses a, et b sont exactes

La finesse d'un planeur aéromodèle est égale au rapport:

- a) vitesse horizontale sur vitesse verticale
- b) distance parcourue sur hauteur perdue
- c) portance sur traînée
- d) les 3 propositions ci-dessus sont exactes

Lors d'une mise en virage:

- a) le modèle à tendance à cabrer
- b) le modèle à tendance à piquer
- c) l'assiette ne varie pas
- d) l'inclinaison ne varie pas

Sur un modèle en vol en palier uniforme, le vent relatif:

- a) dépend de la vitesse du modèle par rapport à l'air
- b) est plus important en vent arrière
- c) est plus faible vent de face
- d) ne dépend que des conditions météorologiques

La forme du profil de l'aile:

- a) est pratiquement la même pour tous les planeurs
- b) dépend de la forme du fuselage
- c) est étudiée pour chaque planeur en fonction des performances recherchées
- d) n'a que très peu d'influence sur les performances car seule la forme du fuselage peu améliorer celles-ci

Un avion vole en palier rectiligne uniforme. Il est centré à 30%. Le V longitudinal est de 2° . Dans cette configuration, le stabilisateur est calé à zéro.

Quand on avance le centrage à 20% de la corde moyenne, le vol restant en palier stabilisé uniforme:

- a) Le stabilisateur ne nécessite pas de variation de portance
- b) il faut que la portance du stabilisateur augmente
- c) il faut que la portance du stabilisateur diminue
- d) le stabilisateur n'a qu'un rôle secondaire dans le vol

Pour tester des profils d'aile de même corde, on monte sur un appareil des ailes de même forme et de profils différents :

- a) le modèle le plus rapide est celui qui a le profil le plus mince la portance la plus forte est obtenue avec l'aile la plus épaisse
- b) la portance la plus forte est obtenue avec le profil dont la ligne moyenne présente la plus forte courbure
- c) le modèle le plus lent est celui qui a l'aile la plus épaisse
- d) les réponses a, b, c sont vraies

La finesse d'un modèle réduit est de 15, celui-ci est lâché à 10 mètres de hauteur par vent nul. Quelle distance pourra-t-il parcourir en vol plané?

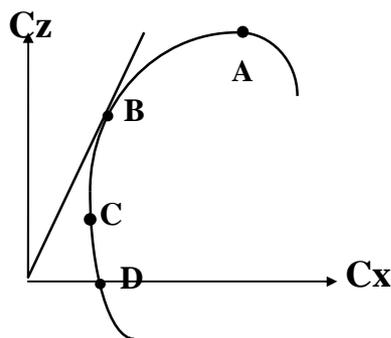
- a) 1,5 km
- b) 150 m
- c) 100 m
- d) 15 m

Un aéro-modèle doté d'une stabilité longitudinale trop marquée.

- a) Aura tendance à remonter lors du "test de piquer"
- b) Gagnera une altitude sécurisante
- c) Ne pourra voler que par air turbulent pour l'équilibrer
- d) Présente un intérêt pour le vol d'onde

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



Un avion en virage stabilisé à 60° d'inclinaison subit un facteur de charge n de :

- a/ $n = 0$
- b/ $n = 1$
- c/ $n = 2$
- d/ $n = -1$

L'angle d'incidence d'un profil est :

- a/ égal à la flèche
- b/ l'angle compris entre la corde et la direction du vent relatif
- c/ également appelé l'assiette de l'avion
- d/ le calage de l'aile par rapport au fuselage

On peut définir le facteur de charge " n " d'un avion comme étant le rapport :

- a/ Portance / poids
- b/ Charge alaire / poids
- c/ Poids / portance
- d/ Charge alaire /envergure

L'étude des réactions de l'air en mouvement par rapport à un corps s'appelle :

- a/ l'aérodynamique
- b/ la pression dynamique
- c/ la viscosité de l'air
- d/ l'écoulement laminaire

Le décrochage d'une aile se produit :

- a/ toujours à la même vitesse
- b/ lorsque le moteur est stoppé
- c/ toujours au même angle d'incidence lorsque la vitesse est faible
- d/ toujours au même angle d'incidence, quelle que soit la vitesse

Sur un profil soumis à un vent relatif, la plus faible pression s'exerce :

- a/ sur l'extrados
- b/ sur le bord d'attaque
- c/ sur les volets
- d/ sous l'intrados

Si le facteur de charge augmente, la vitesse de décrochage :

- a/ diminue
- b/ augmente
- c/ ne change pas
- d/ est multiple ou sous-multiple de 1,414 suivant le sens de la charge

La gouverne de profondeur sert à évoluer autour du centre de gravité suivant l'axe de :

- a/ tangage
- b/ roulis
- c/ lacet
- d/ l'avion

La portance se traduit par l'expression :

$$a/ F_x = \frac{\rho}{2} S V^2 C_x \quad b/ F_z = \frac{\rho}{2} S V^2 C_z$$

$$c/ F_x = \frac{\rho}{2} S V^2 C_z \quad d/ F_z = \frac{\rho}{2} S V^2 C_x$$

Le vent relatif est toujours :

- a) parallèle à l'axe longitudinal de l'appareil
- b) parallèle à l'horizontale
- c) parallèle à la trajectoire de l'appareil par rapport à l'air
- d) parallèle et de sens contraire à la trajectoire de l'appareil par rapport au sol

Un planeur à une finesse de 32, en air calme, à la vitesse de 12,8 km/h. Sa vitesse verticale de chute est de :

- a) 0,4 m/s
- b) 0,2 m/s
- c) 0,1 m/s
- d) 1,1 m/s

Un avion décroche à une vitesse de 10 km/h en vol horizontal. Sa vitesse de décrochage en virage à 60° d'inclinaison sera de :

- a) 10,0 m/s
- b) 12,1 m/s
- c) 12,1 km/h
- d) 14,1 km/h

Sur la demie aile associée à l'aileron baissé:

- a) La portance diminue, la traînée diminue.
- b) La portance augmente, la traînée augmente.
- c) La portance ne varie pas, la traînée augmente.
- d) La portance augmente, la traînée ne varie pas.

La résistance de l'air est :

- a) proportionnelle à la vitesse.
- b) inversement proportionnelle à la vitesse.
- c) proportionnelle au carré de la vitesse.
- d) indépendante de la vitesse.

En air calme, pour un angle d'incidence donné, la valeur de l'angle de plané dépend directement :

- a) de la charge alaire du planeur
- b) de la finesse correspondant à l'angle d'incidence considéré
- c) de la pression dynamique de l'air
- d) de la vitesse sur trajectoire

L'angle formé par la corde de profil d'une aile et la trajectoire par rapport à l'air s'appelle angle :

- a/ de plané
- b/ de dièdre
- c/ de flèche
- d/ d'incidence

Un planeur en virage stabilisé à 60° d'inclinaison subit un facteur de charge « n » de :

- a/ $n = -2$
- b/ $n = -1$
- c/ $n = +1$
- d/ $n = +2$

La force aérodynamique peut se décomposer en :

- a/ force centrifuge et force centripète
- b/ portance et traînée
- c/ vitesse et taux de chute
- d/ poids et poids apparent

Le décrochage se produit toujours à :

- a/ la même vitesse
- b/ la même incidence
- c/ la même inclinaison
- d/ la même assiette

La variation de l'assiette longitudinale s'effectue autour de l'axe de :

- a) tangage
- b) roulis
- c) lacet
- d) piste

La finesse est définie par le rapport :

- a) $\frac{\text{vitesse horizontale}}{\text{vitesse verticale}}$
- b) $\frac{\text{distance horizontale parcourue}}{\text{hauteur perdue}}$
- c) $\frac{\text{portance}}{\text{traînée}}$
- d) les trois propositions précédentes sont exactes

La charge alaire est définie par le rapport :

- a) Surface portante/ poids du modèle
- b) Poids du modèle/surface portante
- c) Poids de la radio/surface alaire
- d) Poids du modèle/poids des ailes

Si on multiplie par 3 la vitesse du vent relatif, la force aérodynamique est multipliée par :

- a/ 3
- b/ 6
- c/ 9
- d/ 12

Les caractéristiques d'un avion sont les suivantes :

surface alaire : 20 dm^2 vitesse de croisière : 1 m/s $C_z = 0,5$ masse
volumique de l'air : $1,2 \text{ kg/m}^3$.
Quelle est sa portance ?

- a 0,12N
- b 0,3 N
- c 0,06 N
- d 1,2 N

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"

le lacet inverse est dû à :

- a) une traînée plus importante de la demie aile située à l'intérieur du virage
- b) la nervosité ou à l'émotivité du pilote
- c) une augmentation de traînée plus importante du côté de l'aileron abaissé que du côté de l'aileron levé
- d) la position "vol dos"

Un planeur a une finesse de 40 (en air calme) à la vitesse de 3 m/s . Sa vitesse verticale de chute est de :

- a/ 4 km/h
- b/ 40 m/s
- c/ $1,08 \text{ m/s}$
- d/ $0,075 \text{ m/s}$

L'angle de portance nulle d'un profil est :

- a/ l'angle d'incidence qui correspond à une portance nulle
- b/ l'angle d'incidence qui correspond à une traînée nulle
- c/ l'angle d'incidence qui correspond à un moment nul
- d/ est égal à 0 pour les profils creux

La traînée induite d'une aile :

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

Quelles sont les conditions d'équilibre d'un 2 en vol horizontal ?

- a) La portance équilibre le poids
- b) La traction équilibre la traînée
- c) La traction est supérieure à la traînée
- d) Les réponses a et b sont exactes.

En vol normal :

- a) L'intrados de l'aile est le siège d'une surpression
- b) L'aile est "décrochée"
- c) L'extrados de l'aile est le siège d'une dépression
- d) Les affirmations a et c sont exactes.

Le braquage positif des volets de courbure a pour conséquence :

- a) Une augmentation de la portance
- b) Une diminution de la portance
- c) Une augmentation de la traînée
- d) Les réponses a et c sont exactes

On définit le facteur de charge "n" d'un avion comme étant :

- a) Poids / Portance
- b) Portance / Poids
- c) Portance / Traînée
- d) Inverse à la charge alaire.

En virage, le modèle étant sur le dos, incliné à 60° , le facteur de charge a pour valeur :

- a) $n = 2$
- b) $n=60$
- c) $n=0,6$
- d) impossible à calculer.

Un avion dont la masse est de 3kg a une aile de 100 dm^2 . Calculer son coefficient C_z de portance à la vitesse de 18 km/h (prendre $g = 10$ et une masse volumique de $1,2 \text{ kg/m}^3$) :

- a) 2
- b) 1,6
- c) 0,3
- d) 2,4

L'allongement de l'avion précédent est de 9. Quelle est son envergure ?

- a) 2,5 m
- b) 1,11 m
- c) 3 m
- d) 3,3 m

Par la manœuvre de quelle manche est gérée la symétrie du vol de l'avion?

- a) Le déplacement du manche d'ailerons
- b) Le réglage de la puissance du moteur
- c) Le déplacement du manche de direction
- d) Le déplacement du manche de profondeur

La finesse d'un planeur peut s'exprimer par tous les rapports suivants, sauf un ; lequel :

- a) envergure / corde de l'aile
- b) vitesse horizontale / vitesse verticale
- c) distance horizontale parcourue / perte de hauteur (en air calme)
- d) portance / traînée

Les « winglets » servent à :

- a) Augmenter la traînée de l'aile.
- b) Diminuer la traînée induite due aux tourbillons marginaux.
- c) Rendre tourbillonnaire l'écoulement de l'air sur les ailes.
- d) Diminuer la stabilité en lacet.

Quand on avance le centre de gravité par rapport à sa position habituelle:

- a) Cela ne modifie pas le comportement de l'avion.
- b) l'avion devient plus agréable à piloter, il « répond » plus rapidement aux commandes.
- c) L'avion a tendance à prendre une assiette supérieure, à se cabrer.
- d) L'avion devient moins maniable mais plus stable

Le coefficient de traînée induite d'une aile est :

- a) faible aux grands angles d'incidence
- b) fort aux grands angles d'incidence
- c) nul en vol dos
- d) fort sur les planeurs, faible sur les avions

Un avion volant en palier en ligne droite décroche à une vitesse indiquée de 9,0 km/h. En virage, à altitude constante et à 45° d'inclinaison, il décrochera à:

- a) 12,7 km/h
- b) 15,1 km/h
- c) 10,7 km/h
- d) 9,9 km/h

Un modèle se déplace à la vitesse de 10,0 Km/h; en passant à la vitesse de 30,0 Km/h, sa traînée :

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

On considère un modèle pesant 2,4 Newton dont la surface alaire est de 20dm², et on prend une masse volumique d'air $\rho = 1,2 \text{ Kg/m}^3$. Si l'avion vole à 10,0 m/s, son Cz vaut :

- a) 0,2
- b) 0,1
- c) 0,4
- d) 0,8

Les facteurs suivants, sauf un, améliorent les performances aérodynamiques d'un planeur.
Lequel ? :

- a) une aile propre
- b) un grand allongement
- c) un train rentrant
- d) une aile rectangulaire

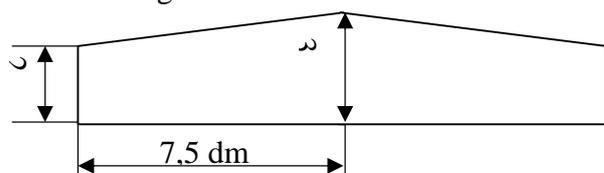
La traînée d'une aile est la somme :

- 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

La traînée d'une aile est :

- a) forte aux grands angles d'incidence
- b) faible aux grands angles d'incidence
- c) nul en vol dos
- d) forte sur les planeurs, faible sur les avions

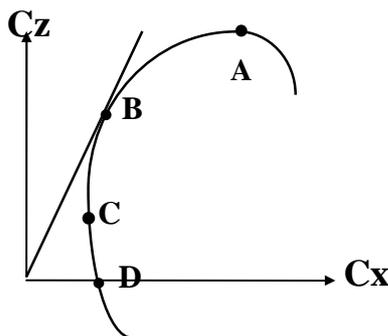
On considère l'aile trapézoïdale dont les dimensions sont données par le plan ci-dessous. Quel est son allongement λ ?



- a) $\lambda = 5$
- b) $\lambda = 7,5$
- c) $\lambda = 8$
- d) $\lambda = 6$

Sur la polaire d'aile dessinée ci-dessous, on appelle point de finesse maximale :

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



La gouverne de profondeur est une partie mobile:

- a) de l'empennage horizontal qui permet de contrôler l'équilibre longitudinal de l'avion
- b) de l'aile qui fait partie des systèmes hypersustentateurs
- c) de l'empennage vertical qui permet la stabilisation latérale automatique
- d) commandée par le manche de direction lors des virages ou pour "décrabrer" à l'atterrissage

Parmi les éléments ci-dessous quels sont ceux qui améliorent la stabilité

- a) la dérive de l'avion, et le cône d'hélice
- b) la dérive et le dièdre négatif de l'aile
- c) le dièdre négatif, la flèche de l'aile
- d) la dérive de l'avion et le dièdre positif de l'aile

On appelle tourbillons marginaux ou turbulence de sillage :

- a) les turbulences d'air situées à l'arrière de l'avion et dues à l'hélice
- b) les tourbillons d'air dus à la portance et à l'origine de la traînée induite
- c) les turbulences d'air situées à l'arrière de l'avion et dues à sa pénétration dans l'air
- d) aucune des réponses ci-dessus n'est exacte

En vol rectiligne stabilisé en montée, le facteur de charge est :

- a) égal à 1
- b) négatif
- c) supérieur à 1
- d) inférieur à 1

Si un avion décroche à 10,0 km/h au facteur de charge $n=1$, alors au facteur de charge $n=4$, il décroche à :

- a) 10,0 km/h
- b) 14,1 km/h
- c) 20,0 km/h
- d) 40,0 km/h

La résistance de l'air sur un corps :

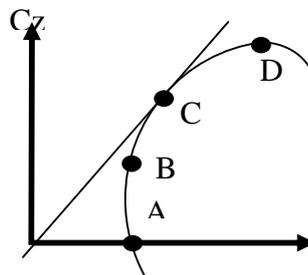
- a) s'exprime en kilogrammes
- b) ne dépend pas de la surface du corps
- c) varie avec le carré de la surface du corps
- d) est proportionnelle à la surface du corps

Un planeur vole en air calme à 14,4 km/h, son variomètre indique 0,125 m/s. Quelle est sa finesse ?

- a) 15
- b) 32
- c) 50
- d) 58

Sur la polaire d'aile dessinée ci-dessous, on appelle point de portance maximale :

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



Un avion vole à 18 km/h. La surface alaire est de 15dm^2 tandis que le C_z est de 1,2. Sachant que la masse volumique de l'air est de $1,2\text{ kg/m}^3$, la portance est de :

- a) 1,2 N
- b) 1,8 N
- c) 2,4 N
- d) 2,7 N

Sur un planeur, les aérofreins permettent :

- a) de diminuer la pente d'approche
- b) de diminuer la vitesse de décrochage
- c) d'augmenter la pente d'approche
- d) d'augmenter le taux de roulis

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

Un modèle "centré arrière" sera :

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

Lors d'un vol en montée rectiligne à vitesse constante:

- a) La puissance à afficher est la même que celle nécessaire au vol rectiligne à la même vitesse
- b) La portance est forcément supérieure au poids puisque l'avion monte
- c) La portance est inférieure au poids
- d) Le moteur de l'appareil est mieux refroidi par en dessous

Un spoiler a pour effet principal :

- a) d'augmenter la portance
- b) de diminuer la traînée
- c) de diminuer la vitesse de décrochage
- d) de détruire la portance

Quelle est l'affirmation la plus juste:

- a) si la vitesse augmente à altitude constante, la portance diminue
- b) si la surface d'une aile augmente, la finesse de celle-ci augmente
- c) si la vitesse augmente à altitude constante, l'incidence doit diminuer
- d) si l'incidence diminue, la traînée augmente

le point d'application de la résultante aérodynamique, situé environ au premier tiers avant du profil s'appelle :

- a. le centre de poussée ;
- b) le centre de gravité;
- c) le centre aérodynamique

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

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

Sur un profil, lorsque l'on décompose la résultante aérodynamique, le point d'application de la portance s'exerce au centre de poussée:

- a) Situé sur l'extrados de l'aile
- b) Situé sur l'intrados de l'aile
- c) Situé sur la corde de référence du profil
- d) Situé sur le squelette du profil

Un modèle a une aile trapézoïdale dont l'épaisseur relative est constante. La construction de chaque 1/2 aile s'effectue intrados en contact sur le chantier et sans calage du longeron :

- a) la stabilité en roulis sera celle d'une aile à dièdre négatif
- b) la stabilité en roulis sera celle d'une aile à dièdre nul
- c) la stabilité en roulis sera celle d'une aile à dièdre positif

La vitesse de vol en palier, toutes choses égales par ailleurs est :

- a) proportionnelle à la racine carrée de la charge alaire
- b) proportionnelle à la charge alaire
- c) proportionnelle au poids total de l'avion
- d) proportionnelle au carré de la charge alaire

L'influence de la traînée induite de l'aile est :

- a) Directement proportionnelle à l'allongement
- b) Inversement proportionnelle à l'allongement
- c) Inversement proportionnelle à l'allongement uniquement sur les ailes trapézoïdales
- d) Inversement proportionnelle à l'allongement uniquement sur les ailes elliptiques

Vous expliquez à votre élève que la couche limite est :

- a) La couche qui limite les effets des impuretés de l'air
- b) La couche à la surface du profil dans laquelle la vitesse passe de 0 à la vitesse d'écoulement de l'air
- c) La limite entre la surface de l'aile et la première couche d'air
- d) La limite entre la zone de dépression et la zone de pression statique

Des deux profils NACA 2412 et 23012, quel est celui qui a la plus forte épaisseur relative :

- a) le NACA 2412
- b) le NACA 23012
- c) on ne peut pas le savoir
- d) ils ont la même épaisseur relative

Lorsque le modèle est en montée, l'incidence est l'angle compris entre :

- a) la corde du profil et le vent relatif
- b) la trajectoire et l'axe longitudinal du modèle
- c) la trajectoire et l'horizon
- d) l'horizon et l'axe longitudinal du modèle

Le nombre de Reynolds :

- a) s'exprime en m/s
- b) dépend de la vitesse et de la corde du profil
- c) doit être petit pour ne pas augmenter la valeur de la traînée
- d) représente la masse volumique de l'air dans la formule de la portance ou de la traînée

LISTE DES MISES A JOUR

Date:

07/07/09

Modifications/précisions mineures

Page :

Addition de chapitre

Page :

Ajout questions CATIA

Edité par la FFAM.
Réalisation C Dupré deuxième semestre 2004;
Reproduction, même partielle interdite sans autorisation du rédacteur.