

CHAPITRE2.

Aérodynamique Des Grilles D'aubes

(3 semaines)

Sommaire

I. Introduction

I.1. Définition

I.2. Types d'écoulement :

I.3. Efforts (forces) aérodynamiques (portance et traînée)

I.3.1. Actions de l'air en écoulement

I.3.2. Portance et traînée

I.3.3.

II. Corrélations pour la conception des grilles d'aubes, (solidité, déviation, déflexion,...) à suivre

Rappel : Unités de physique et d'aérodynamique

Masse : Quantité de matière dans un corps
unité : le **Kilogramme (SI)** symbole unité : Kg
symbole : **m**

Inertie : Qualité des corps à conserver leur état de mouvement ou de repos (1ère loi de Newton)
unité : le **Kilogramme (SI)**

Quantité de mouvement : Produit de la masse d'un corps par sa vitesse de déplacement
unité : le **Kilogrammètre par seconde = 1 Kg x 1 m/s**

Pesanteur : Accélération dirigée vers le centre de la terre due à la gravité terrestre (pesanteur)
Symbole : **g** (en troposphère $g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Poids : Masse d'un corps soumis à la pesanteur
unité : le **Newton (SI) = 1 Kg x 9,81 m/s/s**
Symbole : **P = m . g**

Force : Mesure de la modification de l'état d'inertie d'un corps (2ème loi de Newton)
unité : le **Newton (SI) = 1 Kg x 1 m/s/s**. Symbole : **F**

Travail : Mesure du déplacement d'un poids
unité : le **Joule (SI) = 1 N x 1 m**
Symbole : **E = P . L**

Énergie : Masse animée d'une vitesse
unité : le **Joule (SI) = 1/2 x 1 Kg x (1 m/s)²**
Symbole : **E = 1/2 m . V²**

Puissance : Travail effectué par unité de temps
unité : le **Watt (SI) = 1 J / 1 s**
Symbole : **W = E / t**

Puissance : Rythme de production de travail soit déplacement d'un poids par unité de temps
unité : le **Watt = (1 N x 1 m) / 1s**. symb : **W = F x V**

Masse volumique : Quantité de matière dans un corps par unité de volume
unité : le **Kilogramme / mètre cube**. Symbole : **ρ**

Température : En aérodynamique, on utilise pour la facilité des calculs le degré Kelvin
unité : le **degré Kelvin = - 273° C**, symbole : **T**

Densité relative : Rapport de la masse volumique de l'air à une altitude donnée à la masse volumique à l'altitude 0. symbole : **$\sigma = \rho / \rho_0$**

Densité de l'air dans la troposphère :
Formule empirique : **$\sigma = (20 - Z) / (20 + Z)$**
(Z exprimé en kilomètres)

Pression : Mesure d'une force également répartie sur une aire par unité de surface
unité : le **Pascal (SI) = 1 N / 1 m²**. symb : **Ps ou Pd**

Pression dynamique: Mesure d'une force créée par déplacement dans un fluide par unité de surface
unité : le **Pascal (SI) = 1/2 ρV^2** . symbole : **Ps ou Pd**

Chaleur spécifique à volume constant :
unité : le **Joule par Kg par degré**

Chaleur spécifique à pression constante :
unité : le **Joule par Kg par degré**

Viscosité dynamique :
unité : le **Pascal / seconde = 1 Pa / 1 s**
symbole : **$\mu = P / t$**

Viscosité cinématique :
unité : le **mètre carré par seconde (SI) = 1 m²/s**
symbole : **$\nu = L^2 / t$**

Masse

Le kilogramme = 2,2 lb
 La livre (lb) = 0,453 kg
 L'once (oz) = 0,028 kg
 Le slug (sg) = 32,18 lb

Distance

Le mètre = 3,29 ft
 Le pied (ft) = 0,304 m
 Le pouce (in) = 0,0254 m
 Le mile nautique (Nm) = 1852 m = 6092 f
 Le mile terrestre (Sm) = 1609 m

Poids

Le Newton
 La livre (lb) = 0,453 N
 Le kg force (kgf) = 9,81 N
 Le slug (sg) = 32,18 lb

Vitesse

Le kilomètre / heure (km/h)
 Le mètre / seconde (m/s)
 Le pied / minute (ft/mn) = 0,005 m/s
 Le knot (Kt) = 1,852 km/h
 Le Statute mile/ heure (MPH) = 1,6 km/h

Pression

Le Pascal (Pa)
 L'hectopascal (hPa) = 100 Pa
 Le millibar (mb) = 1 hPa
 Le pouce de mercure (In Hg)
 1013 hPa = 29,92 In Hg

Conversion des vitesses

1 m/s = 197,36 ft/mn # 200 ft/mn
 1 km/h = 0,54 Kt
 1 Kt # 100 ft/mn # 0,5 m/s

Température

Le degré Celsius (°C)
 Le degré Kelvin (K°) = 1 ° C
 Le degré Farenheit (°F)
 $T^{\circ}C = T^{\circ}K + 273 = (T^{\circ}F - 32) \times$

Conversion des vitesses

1 m/s = 197,36 ft/mn # 200 ft/mn
 1 km/h = 0,54 Kt
 1 Kt # 100 ft/mn # 0,5 m/s

Température

Le degré Celsius (°C)
 Le degré Kelvin (K°) = 1 ° C
 Le degré Farenheit (°F)
 $T^{\circ}C = T^{\circ}K + 273 = (T^{\circ}F - 32) \times$

Capacité

Le litre (l)
 Le gallon US (US.Gal)
 Le gallon impérial (Imp Gal)
 1 US Gal = 3,785 l ; 1 Imp Gal = 4,546 l

Puissance

Le watt (W)
 Le kilowatt (kW) = 1000 W
 Le cheval vapeur (Cv) = 736 W
 Le horse power (HP) = 745 W
 Le livre.pied/minute (ft.lb/mn) = 0,03 HP

I. Introduction :

Le champ d'études peut se subdiviser en aérodynamique incompressible et compressible en fonction du nombre de **Mach**, c'est-à-dire en fonction du rapport entre la vitesse de l'écoulement et celle du son.

En aérodynamique le comportement d'un avion est régi par les forces qui s'y appliquent : gravité, poussée, moteur et forces aérodynamiques. Les forces aérodynamiques globales sont caractérisées par les coefficients de portance C_z , trainée C_x et tangage C_M

I.1. Définition :

- *L'aérodynamique* est une branche de la **dynamique des fluides** qui porte principalement sur la l'analyse des écoulements d'air, ainsi qu'éventuellement sur leurs effets sur des éléments solides qu'ils contours.

- *L'aérodynamique* s'applique aux véhicules en mouvement dans l'air (**automobiles, trains**), aux systèmes de propulsion (**hélices, rotors, turbines,**), aux meubles fixes dans un air en mouvement subissant les effets du vent (**bâtiments, tours, ponts**) ou destinés à la production d'énergie (**éoliennes**), aux systèmes mécaniques transformant une énergie aérodynamique en énergie mécanique et vice-versa (**turbines, compresseurs**)

- *L'aérodynamique* est la science qui étudie les phénomènes accompagnant ***tout mouvement*** relatif entre un ***corps et l'air*** qui l'immerge.

I.2. Types d'écoulement :

On appelle Écoulement le déplacement de l'air par rapport à un objet. On distingue trois grands types d'écoulement.

Écoulement laminaire Les particules d'air glissent parfaitement les unes sur les autres sans échanges de particules entre elles. Elles suivent un mouvement rectiligne et parallèle.



Figure : Écoulement laminaire

Écoulement turbulent Les particules d'air ont des trajectoires quasiment parallèles entre elles, mais qui ne sont plus rectilignes, tout en se déplaçant globalement dans le même sens à la même vitesse



Figure : Écoulement turbulent

Écoulement tourbillonnaire L'écoulement est très désordonné, les particules se mélangent et ne suivent ni une trajectoire rectiligne ni parallèle, et certaines particules peuvent remonter le courant et former ainsi des tourbillons



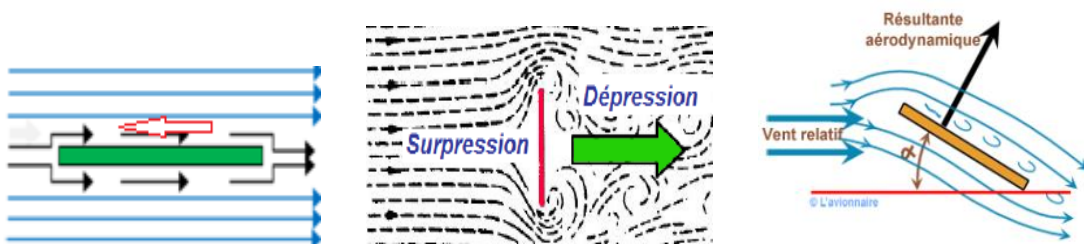
Figure : Écoulement tourbillonnaire

I.3. Efforts (forces) aérodynamiques (portance et traînée) :

I.3.1. Actions de l'air en écoulement

Lorsque l'air s'écoule autour d'un objet, ou qu'un objet se déplace dans l'air, des forces aérodynamiques se créent sur l'objet.

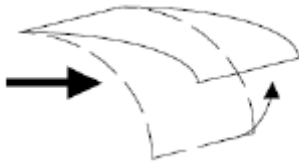
- Si une plaque plate disposée parallèlement aux filets d'air est le siège d'une résistance minimale due simplement au frottement de l'air sur les deux parois de la plaque.
- Mais qu'en plaçant cette plaque perpendiculaire à l'écoulement de l'air nous constatons une forte pression à l'avant de cette plaque et dépression à l'arrière avec effet tourbillonnaire.
- Inclignons maintenant cette plaque dans une position intermédiaire, c'est à dire faisant un angle α avec la direction de l'écoulement d'air, appelé vent relatif. Cet angle est appelé angle d'attaque ou incidence, on constate aussi que les deux forces succèdent



- **Figure : Action de l'air sur la plaque**

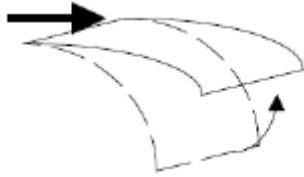
Procédant quelques expériences avec une feuille

- ✓ Créons un courant d'air au-dessous de la feuille



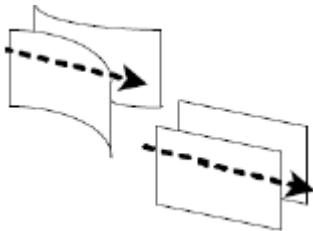
L'air poussé la feuille vers la haute → création d'une force de pression sous la feuille

- ✓ Créons un courant d'air au-dessus de la feuille



L'air poussé la feuille vers la haute → création d'une force de dépression au-dessus de la feuille

- ✓ Créons un courant d'air entre deux feuilles



L'air poussé les deux feuilles de s'approcher l'une de l'autre → création d'une force de pression sur les deux cotés extérieurs des feuilles

➤ Explication

Le principe de Bernoulli montre que la vitesse du fluide augmente lorsque la pression exercée sur le fluide diminue. Cette loi a été appliquée pour optimiser la forme des ailes d'un avion.

D'après la relation de Bernoulli : $\Delta E = \text{Constant}$

$$\Delta E = \frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{\Delta V^2}{2g} + Z = C$$

Si on pose $Z=0$ $\frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{\Delta V^2}{2g} = C$

$\frac{\Delta P}{\rho g}$: Pression statique

$\frac{\Delta V^2}{2g}$: Pression dynamique

➤ *Répartition de la pression sur les surfaces d'aile*

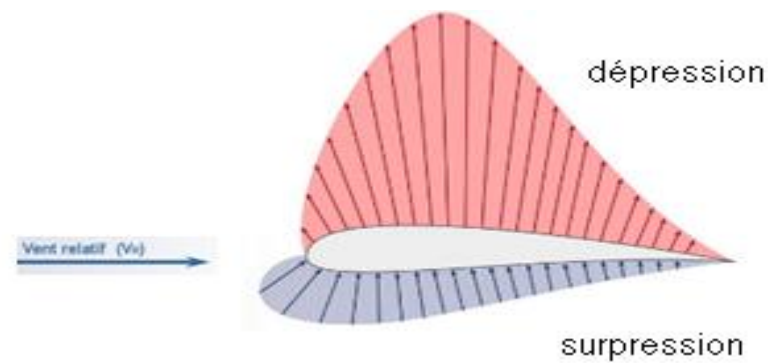


Figure : Répartition de la pression sur les surfaces d'aile

L'augmentation de la pression dynamique due à l'augmentation de la vitesse de l'air engendre une diminution de la pression statique qui crée une dépression sur l'extrados et une surpression sur l'intrados

➤ *Profil de la vitesse du vent sur les surfaces de l'aile*

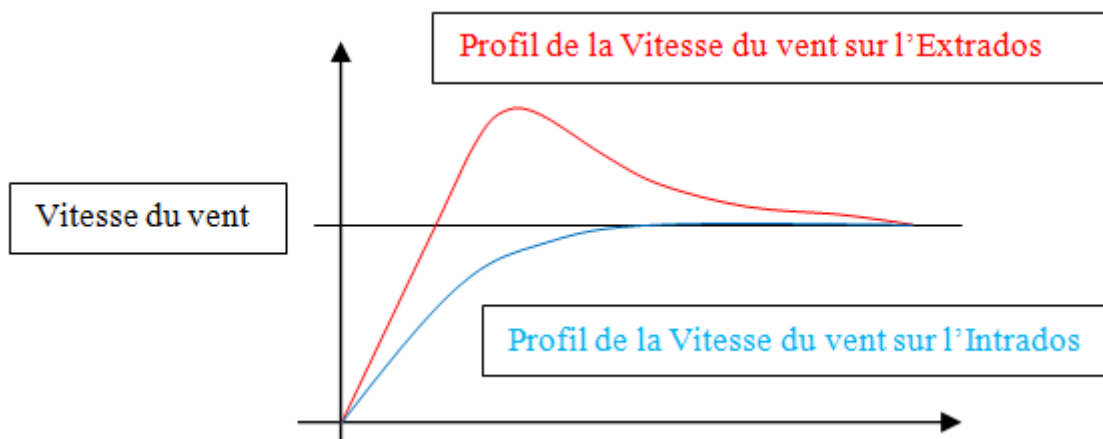


Figure : Profil de la vitesse du vent sur les surfaces de l'aile

- On constate qu'il y a une augmentation de la vitesse du vent sur la surface extrados par rapport à la vitesse du vent
- Cette vitesse passe par une valeur **Maximum** en un point de l'extrados, et **Nulle** à l'extrémité avant du profil
- Sur la surface intrados la vitesse augmente jusqu'à atteindre la valeur initiale du vent et ne jamais la dépassée

I.3.2. Portance et traînée

D'une manière générale en aérodynamique l'action de l'air elle peut se décomposer en deux forces :

- Une composante horizontale parallèle au sens de l'écoulement constitue la traînée R_x .
- Une composante perpendiculaire à la vitesse, dirigée vers le haut, appelée la portance R_z .
- La somme vectorielle de ces deux forces constitue la résultante des forces aérodynamiques R_a (son vecteur est perpendiculaire à la surface du profil)
- Le point où s'applique la force aérodynamique est appelé Centre de poussée (CP).

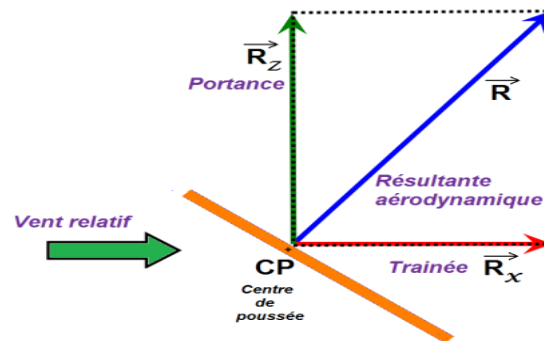


Figure : Résultante aérodynamique

En outre, Si un objet (avion) se déplace horizontalement, de façon rectiligne uniforme, on peut affirmer, d'après le principe d'inertie (somme des forces s'appliquant sur l'avion = 0), que la valeur de la portance est égale à celle du poids et que la valeur de la traînée est égale à celle de la poussée

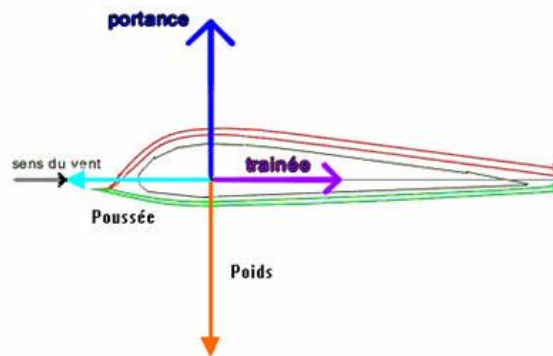


Figure : Equilibre d'une aile d'avion

➤ Portance

La portance est en général la force nécessaire pour faire voler l'aile avec sa charge elle est liée à la traînée qui devra être compensée par une poussée au moins égale pour décoller.

- Sur la surface extérieure (extrados) la vitesse augmente jusqu'à une valeur supérieure à celle en amont, et de cet effet la pression diminue d'autant plus, donc ce cas là nous avons une zone de dépression, tandis que sur la surface inférieure (intrados) la vitesse augmente et la pression diminue jusqu'aux conditions en amont donc il ya une création de surpression, on dit qu'il existe une forte **zone d'aspiration**, et que l'écoulement tend à aspirer la surface supérieure et pousser la paroi inférieure, la portance est ainsi créée, notons aussi que les efforts intrados et extrados n'ont pas la même intensité.

➤ **Trainée**

La traînée d'un profil résulte des forces de pression dans l'axe de l'avion. Toutefois on peut la décomposer en trois parties distinctes :

- la traînée de forme
 - la traînée de sillage
 - la traînée induite (due à la portance).
-
- ✓ La première est liée à la forme du profil. Les différents profils engendrent des écoulements différents. Les différences de pressions entre l'avant et l'arrière ne sont donc pas identiques, la traînée est donc influencée par la forme du profil.
 - ✓ La seconde est liée au décollement des filets d'air sur l'arrière du profil. Plus les filets se décollent et plus la traînée de sillage est importante. Elle est influencée par la vitesse et l'incidence de vol de l'avion.
 - ✓ La dernière est liée aux différences de pression entre l'intrados et l'extrados de l'aile (qui engendrent la portance). En effet l'air de l'intrados étant en surpression par rapport à celui de l'extrados.

Ces deux composantes dépendent de :

- ρ : Masse volumique de l'air (en kg/m^3)
- S : Surface alaire de l'aile en (m^2)
- V : Vitesse de l'écoulement de l'air sur la plaque (m^2/s)
- C_z pour la portance et C_x pour la trainée

➤ **Formule du calcul :**

Les deux forces de la résultante, (portance et de la traînée) peuvent être calculées comme suite :

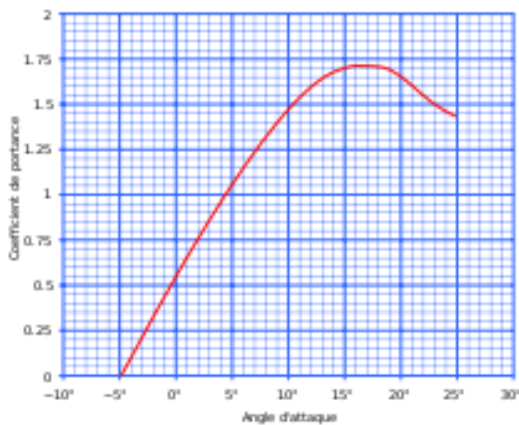
$$R_z = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_z , \quad R_x = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_x$$

I.2.3. Coefficients de portance et de traînée

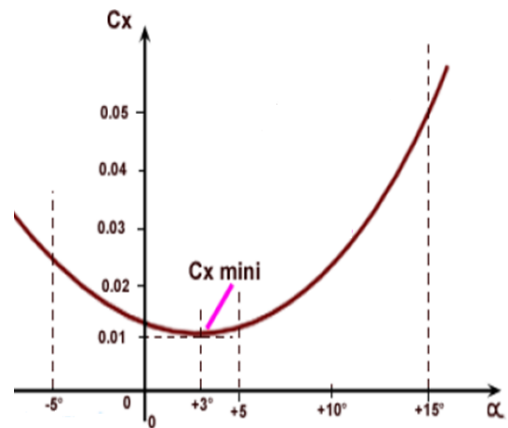
La résultante varie également en fonction de la forme de l'aile, de son profil, de son état de surface et de son incidence. Ces paramètres regroupés et représentés par des coefficients uniques dits Coefficients aérodynamiques qu'ils sont :

Cz coefficient de portance est l'intensité de la portance

Cx coefficient de traînée est l'intensité de la traînée



Cz Portance en fonction d'angle d'incident



Cx Trainée en fonction d'angle d'incident