
CHAPITRE I : NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES PROFILS AÉRODYNAMIQUES

I. 1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, pour faire une étude numérique nous allons donner quelques notions générales sur les profils aérodynamiques tels que les caractéristiques d'un profil aérodynamique et les forces aérodynamique et les nombres adimensionnels.

I.2 DEFINITION D'UN PROFIL AERODYNAMIQUE

C'est une section verticale de l'aile (1) par un plan parallèle au plan de symétrie de l'avion (2). Cette section détermine un contour géométrique que l'on utilise pour figurer le profil d'une aile d'avion [1].

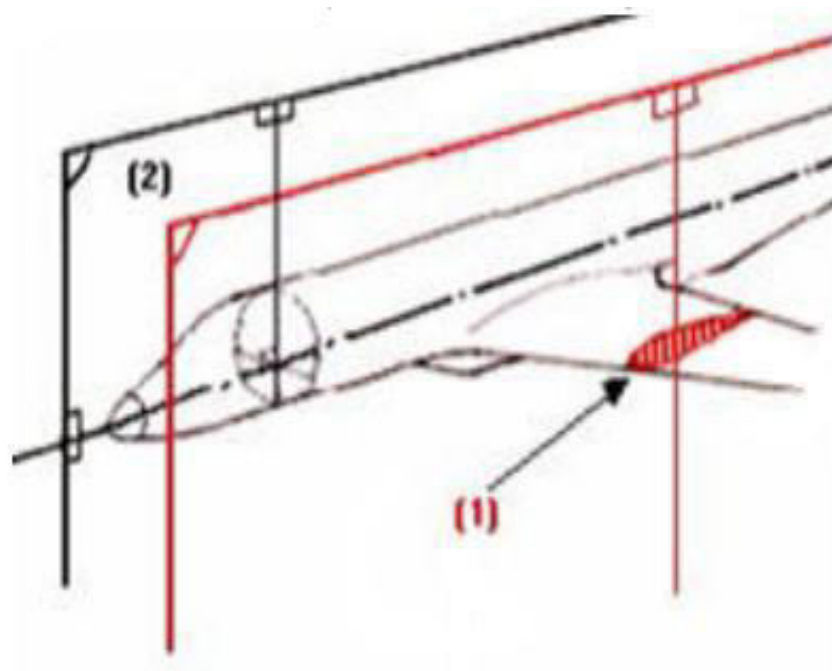


FIGURE I. 1 : PROFIL AERODYNAMIQUE.

I. 3 CARACTERISTIQUES D'UN PROFIL D'AILE

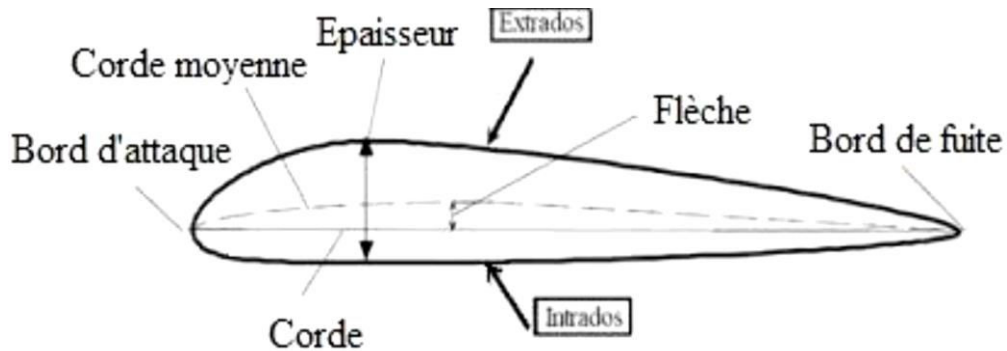


FIGURE I. 2 : CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUE D'UN PROFIL D'AILE. [2]

- ❖ Bord d'attaque : c'est la partie la plus avant du profil.
- ❖ Bord de fuite : c'est la partie la plus arrière du profil.
- ❖ Extrados : c'est la ligne joignant le bord d'attaque au bord de fuite par le dessus.
- ❖ Intrados : c'est la ligne joignant le bord d'attaque au bord de fuite par le dessous.
- ❖ Corde du profil: c'est le segment qui joint le bord d'attaque au bord de fuite.
- ❖ Incidence : c'est l'angle que forme la corde avec le vent relatif.
- ❖ Epaisseur : est la distance entre l'intrados et l'extrados.
- ❖ Epaisseur relative : est la valeur maximale de l'épaisseur divisée par la longueur de la corde.
- ❖ Flèche du profil : est la distance maximale entre la corde et la corde moyenne.
- ❖ Courbure (cambrure) relative : est le rapport entre la flèche et la longueur de la corde.

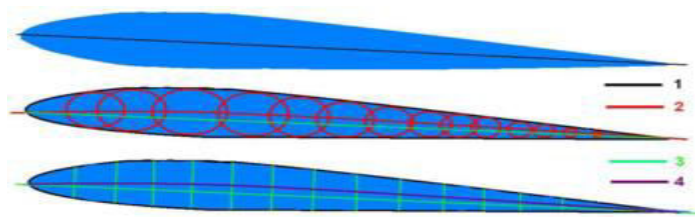
❖ Centre de portance (point d'application de la portance) : se situe entre 30 et 50% de la corde depuis le bord d'attaque. Il avance quand l'incidence augmente jusqu'à l'incidence de décrochage puis recule. [2]

Les écoulements externes sont fortement influencés par les effets de turbulence, de compressibilité. On peut quantifier ce phénomène par quelque nombre adimensionnel.

vitesse subsonique. [2]

I.4 LIGNES DU PROFIL

Sur la Figure I.4, on donne les différentes lignes caractérisant un profil aérodynamique.



1: Corde, 2: Cambrure, 3: Longueur, 4: Ligne médiane

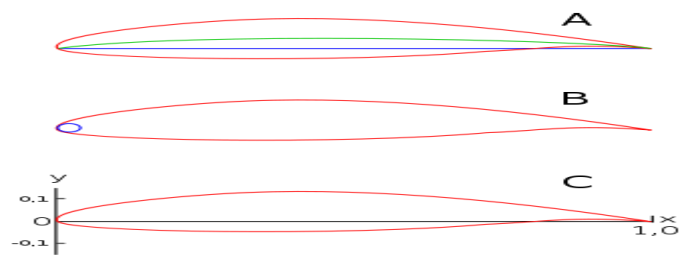


FIGURE I.3 : LIGNES DU PROFIL.

A: ligne bleue = corde, ligne verte = cambrure moyenne en ligne

B: premier rayon de bord

C: coordonnées x y pour la géométrie du profil (Chorde = x-axes; la ligne de l'axe Y sur ce bord d'attaque).

Les profils NACA sont des profils aérodynamiques pour les ailes d'avions développés par le Comité consultatif national pour l'aéronautique (NACA). Il s'agit de la série de profils la plus connue et utilisée dans la construction aéronautique.

La forme des profils NACA est décrite à l'aide d'une série de chiffres qui suit le mot "NACA". Les paramètres dans le code numérique peut être saisi dans les équations pour générer précisément la section de l'aile et de calculer ses propriétés. Toutes les dimensions en % sont entendues en % de longueur de corde, la droite reliant bord d'attaque et bord de fuite, par rapport au bord d'attaque, sauf lorsque précisé. [3]

I. 5 EFFORTS AERODYNAMIQUES

On définit les efforts aérodynamiques suivants :

A : la force axiale

N : la force normale

R : la force résultante

D : la traînée

L : la portance

M_{BA} : le moment de tangage de bord d'attaque.

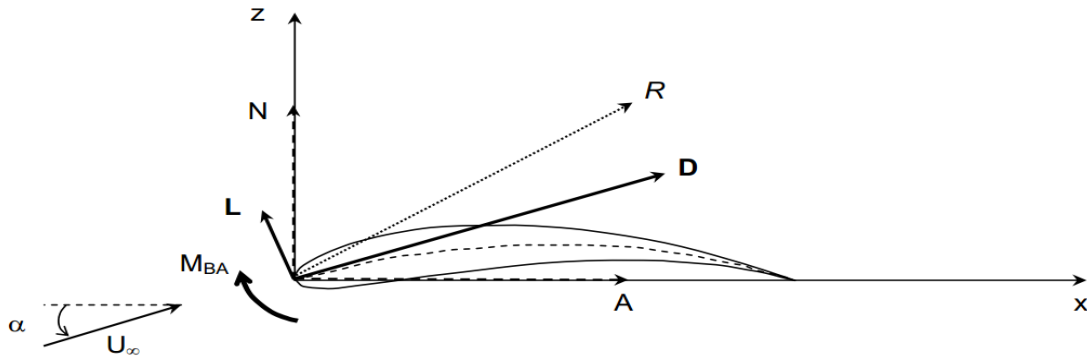


FIGURE I.4 : EFFORTS ET MOMENT AERODYNAMIQUES.

Calcul des forces aérodynamiques

La portance et la traînée peuvent être déterminées à partir des forces axiale et normale connaissant l'angle d'incidence du profil. [2]

$$L = N \cos \alpha - A \sin \alpha \quad (\text{I.1})$$

$$D = N \sin \alpha + A \cos \alpha \quad (\text{I.2})$$

I.6 RESULTANTE AERODYNAMIQUE

C'est la force générée par l'ensemble des surpressions à l'intrados et dépressions à l'extrados, elle augmente avec la finesse et se déplace suivant l'angle d'incidence, le point d'application de la résultante aérodynamique s'appelle le " CENTRE DE POUSSÉE ". [2]

I.6.1 Portance

La portance est une force perpendiculaire au déplacement du fluide. Elle est créée par l'aspiration dans une zone de dépression formée sur le dessus du profil dessinée à cet effet. Elle est fonction de la masse volumique du fluide. [6]

$$L = \frac{1}{2} \rho S U^2 C_z$$

ρ : Densité de l'air (Kg/m^3)

S : Surface de l'aile (m^2)

U : Vitesse [m/s]

C_z : Coefficient de portance

I.6.2 Trainée

La traînée, est la résultante, suivant l'axe x , des forces exercées par le fluide à sa surface. [7]

$$D = \frac{1}{2} \rho S U^2 C_x \quad (\text{I.4})$$

On l'exprimer par la formule suivante :

ρ : Densité de l'air (K/m^3)

S : Surface de l'aile (m^2)

U : Vitesse [m/s]

C_x : Coefficient de traînée

I. 7 COEFFICIENTS AERODYNAMIQUES

I.7.1 Coefficient du frottement et coefficient de pression

Les coefficients de frottement est le critère de similitude relatif aux forces de viscosité mais avec références, il a pour l'expression [8] :

$$C_f(x) = \frac{\tau_p(x)}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (\text{I.5})$$

τ_p : Contrainte de cisaillement visqueux à la paroi.

On définit également le coefficient de pression :

$$C_p(x) = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (\text{I.6})$$

I.7.2 Coefficient de portance

En mécanique des fluides, c'est un nombre sans dimension qui quantifie la capacité de portance d'une surface.

$$C_z = - \int_{BA}^{BF} (C_p \text{ extrados} - C_p \text{ int rados}) d\left(\frac{x}{c}\right) \quad (\text{I.7})$$

Avec : BA : bord d'attaque

BF : bord de fuite

c : la corde du profil

I.7.3 Coefficient de trainée

Le coefficient de trainée peut être déterminé à partir de la formule suivante :

$$C_z = \frac{2}{c} \int_{-y}^{+y} \left(\frac{u}{U_\infty} - 1 \right) \frac{u}{U_\infty} dy \quad (\text{I.8})$$

I.7.4 Finesse

Le rapport du C_z sur le C_x est nommé finesse du profil, il peut aller jusqu'à 60.

$$\frac{C_z}{C_x} = \frac{L}{D} \quad (\text{I.9})$$

I.8 REPARTITION DES PRESSIONS

La figure ci-dessous nous montre précisément un diagramme de la répartition des pressions sur un profil d'une aile d'avion dans le régime de vitesse subsonique. [6]

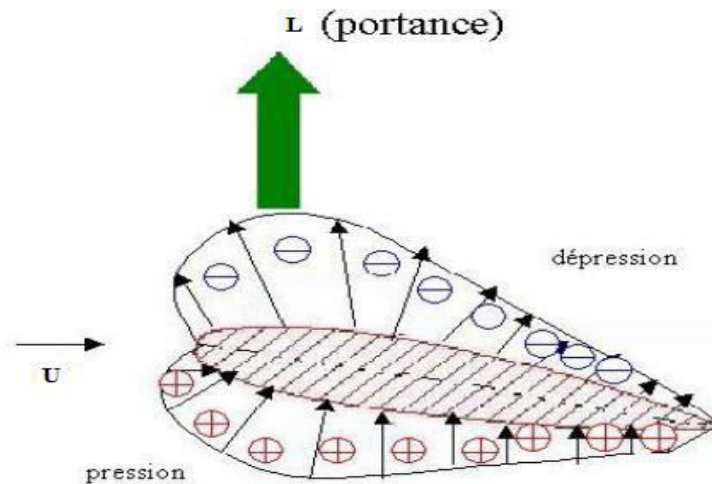


FIGURE I.5: DISTRIBUTION DE PRESSION SUR UN PROFIL D'AILE D'AVION

I. 9 NOMBRES ADIMENSIONNEL

Les écoulements externes sont fortement influencés par les effets de turbulence, de compressibilité. On peut quantifier ce phénomène par quelque nombre adimensionnel.

I.9.1 Nombre de Reynolds Re

Le nombre de Reynolds est proportionnel au rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité.

Re = forces d'inertie / forces de viscosité.

$$\text{Re} = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (\text{I.10})$$

Où $\mu = \rho \nu$ représente la viscosité dynamique.

I.9.2 Nombre de Mach

Le nombre de Mach est le rapport de la vitesse de l'écoulement U_∞ à la vitesse du son.

$$M_\infty = \frac{U_\infty}{a} \quad (\text{I.11})$$

a : vitesse du son.

Le nombre de Mach caractérise les effets de compressibilité dans un écoulement gazeux.

On a quatre types d'écoulements :

Écoulement subsonique $M < 1$

Écoulement sonique $M = 1$

Écoulement supersonique $M > 1$

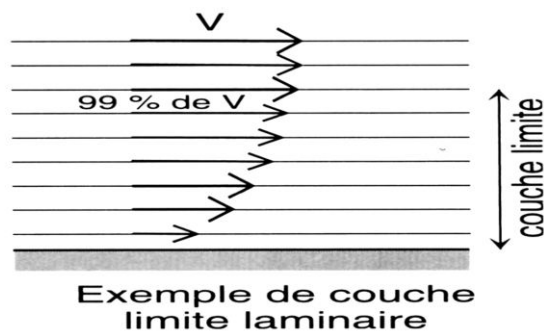
Écoulement hypersonique $M > 5$

I.10 REGIME D'ÉCOULEMENT

Terme générique définissant le déplacement de l'air. On distingue en général trois types d'écoulement classes selon le comportement des particules d'air. [5]

I.10.1 Régime laminaire

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



I.6 : FIGURE REGIME LAMINAIRE

I.10.2 Régime turbulent

Les particules d'air suivent des trajectoires quasiment parallèles entre elles, mais qui ne sont plus rectilignes, tout en se déplaçant globalement dans le même sens avec une même vitesse d'ensemble.



FIGURE I.7 : REGIME TOURBULENT

I.10.3. Ecoulement tourbillonnaire

L'ensemble de l'écoulement est très désordonné et, bien que globalement tout l'écoulement d'air se déplace dans la même direction, certaines particules peuvent remonter le courant et former ainsi des tourbillons. [5]



FIGURE I.8 : REGIME TOURBILLONNAIRE

I. 11 TYPE DES PROFILS AERODYNAMIQUE

Biconvexe (symétrique ou non)

Avions ou planeurs de voltige

Plan convexe

Creux : planeurs

Auto stable : ailes volantes ils ici classent du moins stable vers le plus stable.






<p style="text-align: center;">Profil B29</p> 	<p>Le profil plan convexe porte bien même à faible incidence mais il est légèrement instable. Il est utilisé en aviation générale.</p>
<p style="text-align: center;">NACA 4412</p> 	<p>Le profil biconvexe dissymétrique porte également bien même à incidence nulle et est très stable. Très utilisé dans l'aviation de loisir.</p>
<p style="text-align: center;">EPPLER 471</p> 	<p>Le profil cambré (ou creux) est très porteur mis il est assez instable. Lorsque l'incidence augmente, il cherche à cabrer.</p>
<p style="text-align: center;">NACA 009</p> 	<p>Le biconvexe symétrique ne porte pas aux faibles très faibles incidences. Il n'est intéressant que pour les gouvernes et la voltige.</p>
<p style="text-align: center;">RONCZ</p> 	<p>Le profil à double courbure (ou auto stable) présente l'avantage d'une grande stabilité mais une portance moyenne et une traînée assez forte.</p>

TABLEAU I.1: TYPE DES PROFILS AERODYNAMIQUES.

I.12 EQUATION DE L'ÉPAISSEUR D'UN PROFIL AÉRODYNAMIQUE PROFIL SYMÉTRIQUE 00XX

La Courbe d'une aile de type NACA 00XX est présentée sur la figure suivante

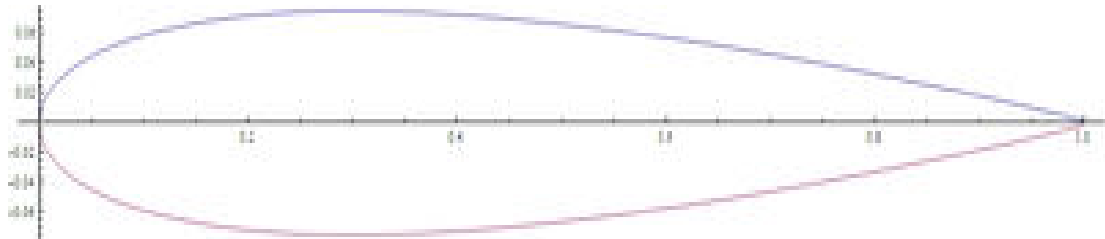


FIGURE I.9 : COURBE D'UNE AILE DE TYPE NACA 00XX

Courbe d'une aile NACA 0015, produite à partir de la formule la demi-épaisseur d'un profil NACA 00xx est calculée avec l'équation suivante [3]:

Avec

$$y_t = \frac{t}{0.2} c \left[0.2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0.1260 \left(\frac{x}{c} \right) - 0.3516 \left(\frac{x}{c} \right)^2 + 0.2843 \left(\frac{x}{c} \right)^3 - 0.1015 \left(\frac{x}{c} \right)^4 \right]$$

Avec :

c est la longueur de la corde du profil

x est la position le long de la corde variant de 0 à c

y est la moitié de l'épaisseur pour une valeur donnée de x (axe de surface)

t est l'épaisseur maximale en tant que fraction de la corde. [13]

I. 3 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté, une définition de profil et leur caractéristique ; et nous avons vu aussi le comportement de l'écoulement autour du profil et l'influence, et enfin nous avons présenté.