

Chapitre 1 : Notions d'aérodynamique

Introduction

Le transfert d'énergie dans les turbomachines est effectué par le changement du moment angulaire d'un fluide. Le changement du moment angulaire est produit par l'action dynamique d'une ou de plusieurs grilles d'aubes (couronne d'aubage) tournantes. L'action dynamique des grilles d'aubes tournante, met en place des forces entre la grille d'aubes et le fluide, quand les composantes de ces forces sont dans la direction du mouvement des aubes, provoquent le transfert d'énergie entre les aubes et le fluide

1. Profil Aérodynamique

Un profil aérodynamique peut être définie comme une forme profilée, délimitée par deux courbes aplaties dont leurs longueurs et leurs largeurs sont très grandes par rapport à son épaisseur. On distingue les profils symétriques et non symétriques.

- L'aube aérodynamique est un corps profilé ayant un bord d'attaque arrondi épais et un bord de fuite mince
- Lorsqu'elle est convenablement formée et correctement orientée dans le flux, la force agissant normalement dans la direction du flux est plus grande que celle qui lui résiste.
- Les profilés aérodynamiques sont utilisés dans les aubes (pâles) de diverses turbomachines

1.1 Profil Symétrique

Le profil dont l'axe de symétrie est parallèles à la direction de la vitesse d'approche (Dans ce cas l'angle d'incidence est zéro) est appelé profil symétrique. L'écoulement se divise au tour du bord d'attaque et se rejoint au bord de fuite. En traversant le profil il y a des perturbations locales mais il n'y a pas de déflexion permanente de l'écoulement principal. Les forces exercées dans ce cas sont: les forces de frottements et des perturbations locales.

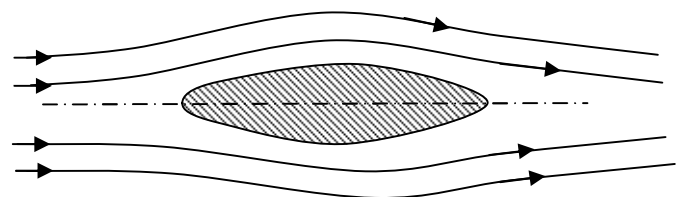


Figure 1.1 :

1.2 Profil Asymétrique

Lorsque l'axe du profil fait un angle « i » appelé angle d'attaque par rapport à la direction de

l'écoulement non perturbé, le profil est appelé *profil asymétrique*. En traversant le profil il y a des perturbations prononcées qui se traduit par une plus grande déflexion de l'écoulement. Pour provoquer une telle grande déviation de l'écoulement du gaz, le profil doit exercer une force sur ce gaz et par conséquent une force de réaction égale et opposée est exercée par le gaz sur le fluide. Les composantes de cette force sont : la *trainée* et la *portance*.

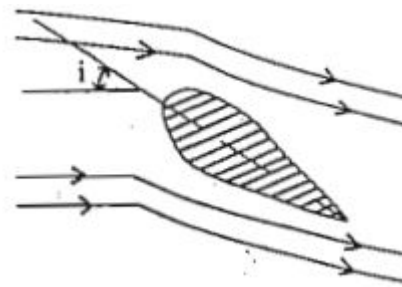


Figure 2.2

2. Trainée et portance

La force exercée sur le profil est constituée de deux composantes, appelées *portance* et *trainée*.

La force de portance FL est normale à la vitesse d'approche quand à la trainée FD est parallèle à cette vitesse.

La portance est due au déséquilibre dans la distribution de la pression sur le profil.

La trainée est due au contrainte de cisaillement à la surface et à la couche limite qui se forme. La trainée est composée de la résistance par frottements dus aux frottements purs sur la paroi, et la résistance due au déséquilibre des distributions de pression autour du profil.

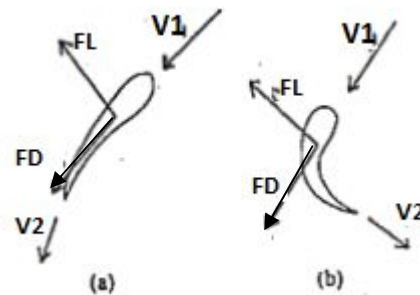


Figure 1.3 :

- (a) Aube de compresseur
- (b) Aube de turbine

La couche limite est usuellement laminaire pour une courte distance en aval du bord d'attaque et par la suite ça devient turbulent. Donc pour une faible résistance de frottements purs, il est important de maintenir la couche limite laminaire sur autant que possible sur la surface du profil.

Si le gradient de pression est important, ceci si le taux de variation des profils est trop rapide, alors le fluide dans la couche limite est amené au repos et quitte la surface dans des tourbillons confus.

Ce phénomène est appelé : *séparation*, *détachement* ou *écoulement inverse* et se manifeste de plusieurs autres manières ainsi que dans le cas simple de diffusion dans un conduit droit. La séparation l'écoulement est due à un gradient de pression adverse qui diminue la portance et augmente la trainée. Dans la pratique le gradient de pression adverse près de la queue provoque une couche limite mince et un possible décollement et la pression à une très faible valeur, avec le fluide près de la surface passe dans une région à faible énergie appelée *sillage*.

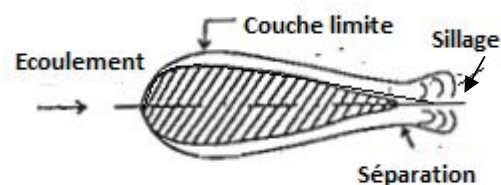
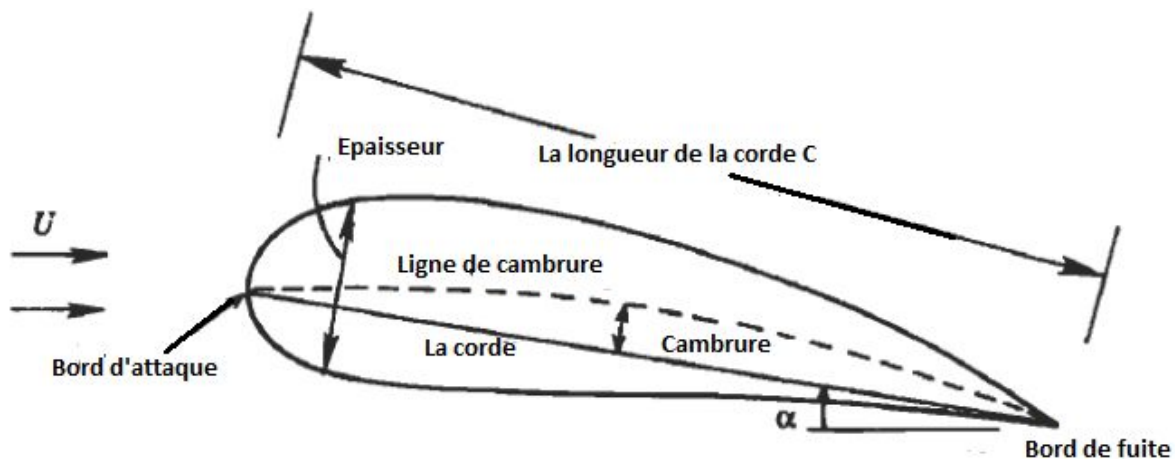


Figure 1.4

Les mesures de vitesses et pression dans le sillage peut donner la perte d'énergie due à la présence du corps solide et la trainée peut être calculée. Alternativement la trainée peut être mesurée comme une force

réelle à l'aide d'une balance dans une soufflerie.



2.1 Coefficients de portance et de trainé

Le coefficient de portance est une mesure de la capacité d'une section donnée de supporter un poids lorsqu'il est amené à se déplacer dans le fluide, comme dans le cas d'une aile d'avion, ou alternativement pour le transfert d'énergie au fluide, comme c'est le cas des pompes et compresseur ou pour transférer l'énergie au rotor quand le fluide le traverse, comme c'est le cas des turbines. Il est défini comme :

$$C_L = \frac{FL}{0,5 \rho W_m^2 A}$$

Le coefficient de trainée est une mesure de la perte d'énergie associée à la tâche utile de produire la portance, il est défini comme :

$$C_D = \frac{FD}{0,5 \rho W_m^2 A}$$

Avec W_m est la vitesse relative moyenne, A est la surface du corps solide et le facteur 0,5 est introduit par convenance comme $0,5 \rho W_m^2$ est définie comme pression dynamique. Une précaution particulière est requise dans l'évaluation de l'aire associée à une valeur donnée C_D

Pour les corps de révolution (sphère, cylindre) qui sont symétriques autour d'un axe et parallèles à l'écoulement, A est la surface frontale c.à.d la surface de projection normale à la direction de l'écoulement. Pour les autres corps (exemple aubes, aile d'avion,..) qui sont normalement asymétriques ou non alignés parallèlement à l'écoulement ou les deux à la fois, la surface est évaluée en termes spécifiquement définis elle est appelée surface alaire.

On note que C_D est le rapport de la force de trainée réelle sur la force exercée due à la pression dynamique sur la surface de référence.

Il est évident que l'énergie transférée est maximale implique la plus grande déviation possible et par conséquent un coefficient de portance plus grand, cependant une efficacité maximale exige un

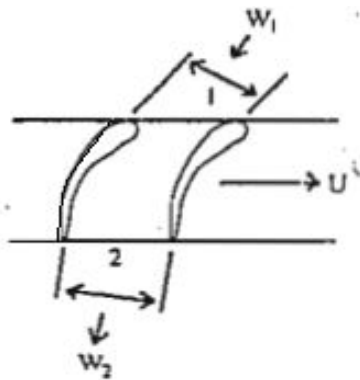
coefficient de traînée le plus faible. Les conditions pour la section d'aube doivent approcher un écoulement laminaire autour d'une plaque plane, ce qui donne un coefficient de traînée le plus faible possible, mais en pratique il est très difficile de réaliser ceci à cause de :

- (1) Les aubes doivent avoir une courbure pour faire changer la direction du fluide, introduisant un gradient de pression et une tendance au détachement de l'écoulement .
- (2) Les aubes doivent avoir une certaine épaisseur pour des considérations de robustesse, et
- (3) Le fluide à un niveau de turbulence élevé .

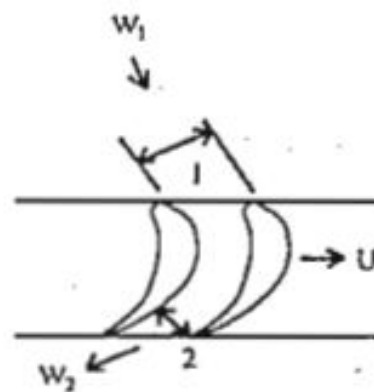
Les meilleures conditions sont :

- (a) les aubes doivent avoir une forme de telle manière que le détachement soit minimisé et
- (b) pour des écoulements au-delà de Reynolds critique ($2 \cdot 10^5$), C_d chute brutalement puisque le point de séparation recule pour donner un petit sillage en aval de l'aube.

Dans les compresseurs, les aubes forment un passage divergeant i.e. la surface de passage à l'entrée est inférieure à celle de la sortie et par conséquent le fluide est ralenti lors de son passage. Dans les turbines les aubes forment un passage convergeant ce qui accélère le fluide lors de son passage. Des sections typiques sont représentées sur la figure 1.5.(a) et la figure 1.5.(b)



(a) aubes de compresseur



(b) aubes de turbines

Figure 1.5 : schéma représentant les sections de passage

2.3 Transfert d'énergie en termes de coefficients de portance et de traînée

Considérant une aube d'un rotor (voir figure 1.6) avec les vitesses relatives W_1 et W_2 aux angles β_1 et β_2 . Ce système est similaire à un écoulement autour d'un profil porteur, alors il se crée sur l'aube une force de portance et une force de traînée. La force de traînée s'applique sur la ligne du vecteur vitesse moyenne W_m à l'angle β_m dans la direction axiale et la force de portance agit perpendiculairement à celle de la traînée.

La force exercée sur l'air doit agir dans le sens opposé comme il est indiqué sur la figure 1.7. la force résultante subie par l'aube est alors donnée par le vecteur R sur la figure 1.8

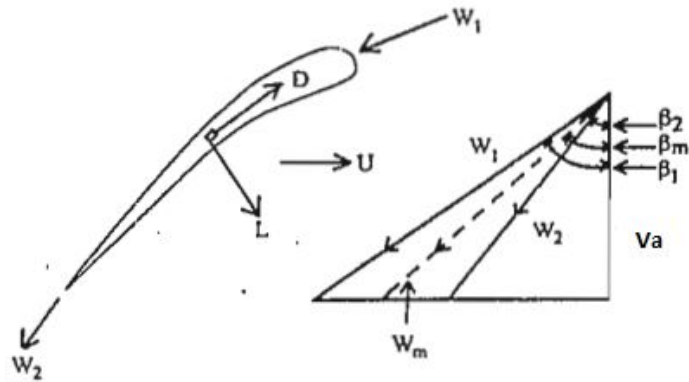


Figure 1.7 : Portance **L** et trainée **D** sur une aube de compresseur

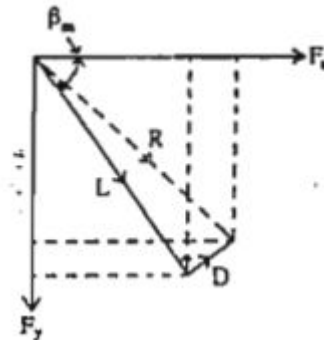
La force qui agit dans la direction de la rotation des aubes (direction x) est donnée par :

$$F_x = L \cos \beta_m + D \sin \beta_m$$

$$F_x = L \cos \beta_m \left(1 + \left(\frac{C_D}{C_L} \right) \tan \beta_m \right)$$

$$C_D = \frac{D}{0,5 \rho W_m^2 A}$$

$$C_L = \frac{L}{0,5 \rho W_m^2 A}$$



La surface A est le produit de corde « c » et l'envergure « l » (hauteur de l'aube) et en posant

$$W_m = \frac{V_a}{\cos \beta_m}$$

En aura :

$$F_x = \frac{\rho V_a^2 (c \cdot l) C_L \sec \beta_m \left[1 + \left(\frac{C_D}{C_L} \right) \tan \beta_m \right]}{2}$$

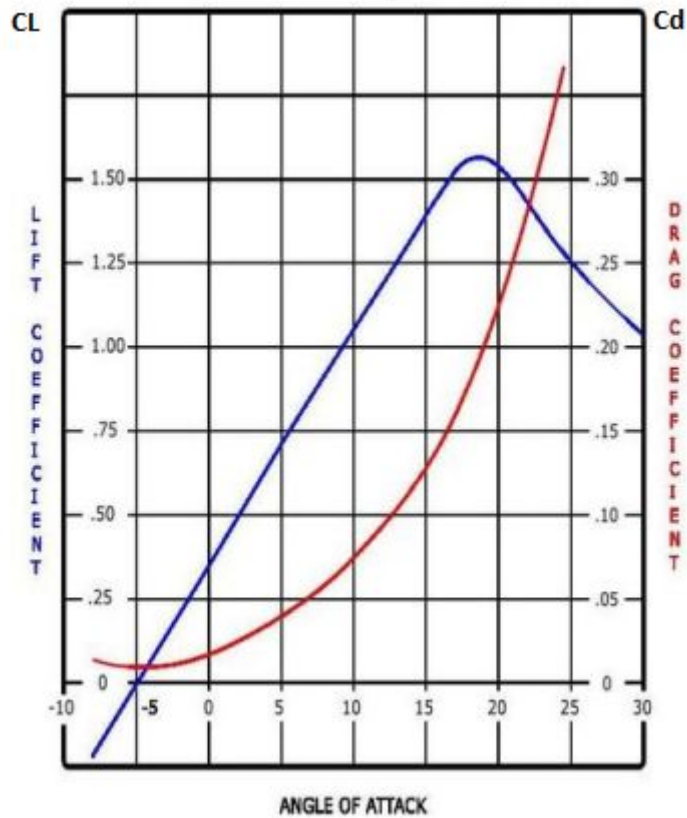
La puissance fournie à l'air est donnée par :

$$F_x U = \dot{m} (\Delta h_0)$$

Avec Δh_0 est la variation de l'enthalpie totale à travers le rotor et $\dot{m} = \rho V_a l s$

$$F_x U = \rho V_a l s (\Delta h_0)$$

Avec l'écoulement à travers un passage d'aube d'épaisseur « s » est considérée.



Variation des coefficients de portance et de traînée en fonction de l'angle d'attaque

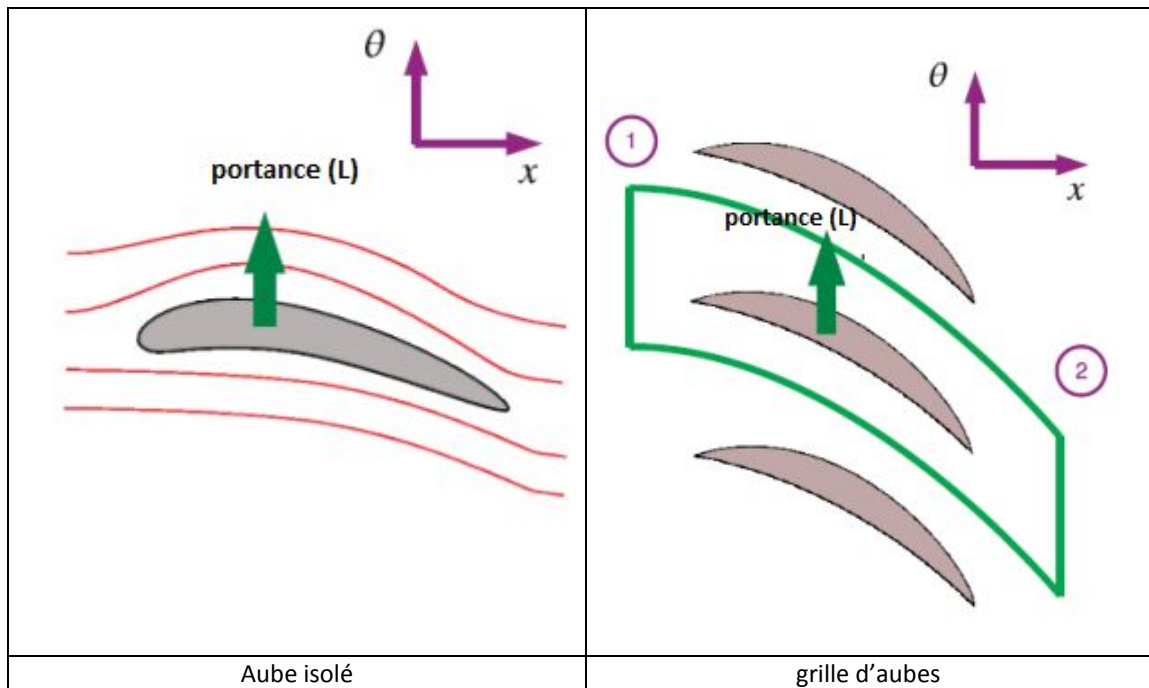
Remarques

1. Lorsque α est nul, la portance sera faible
2. Lorsque α augmente, la portance augmente, jusqu'à une valeur optimale
3. Parallèlement à la portance, la traînée augmente également
4. Au-delà de la valeur optimale de α , la traînée augmente rapidement et la portance diminue
5. La traînée est maximale lorsque α est 90.

3. Une grille d'aubes

Une grille est une construction par assemblage d'un certain nombre d'aubes de forme et de taille données et espacer avec le pas requis.

3.1 Aube isolé et grille d'aubes



Grille d'aubes d'une turbine

