Ecoulement autours d'un profil aérodynamique

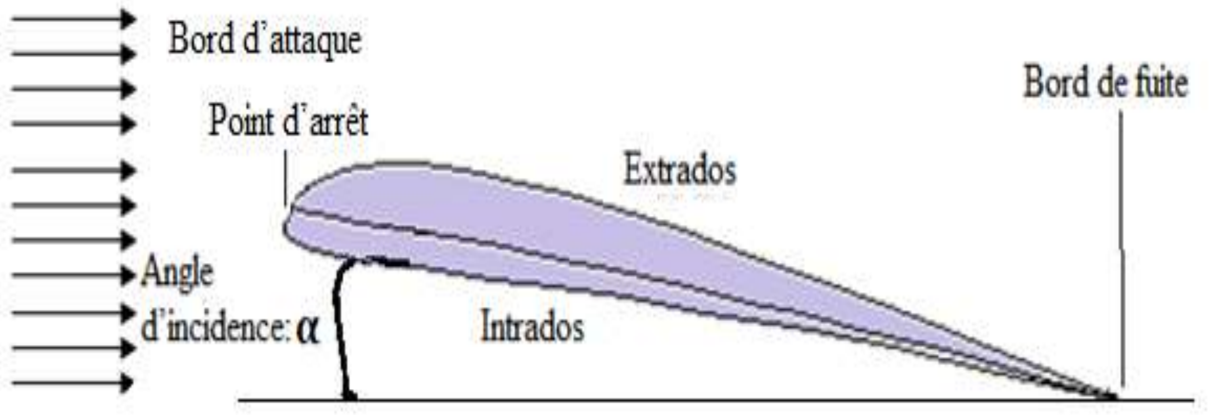


Figure 1.1 Intrados correspondant à la surface inférieure de l'aile et l'extrados à la surface supérieure de l'aile.

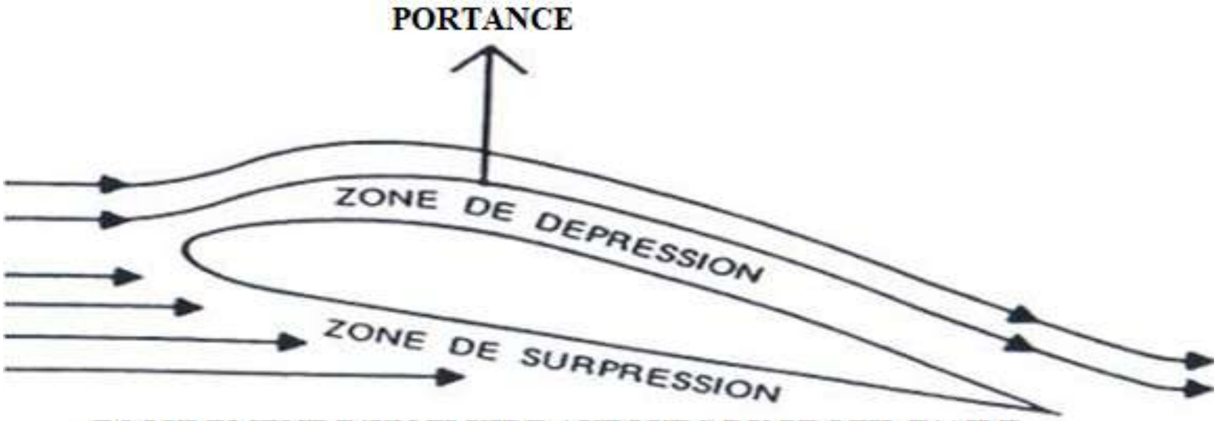
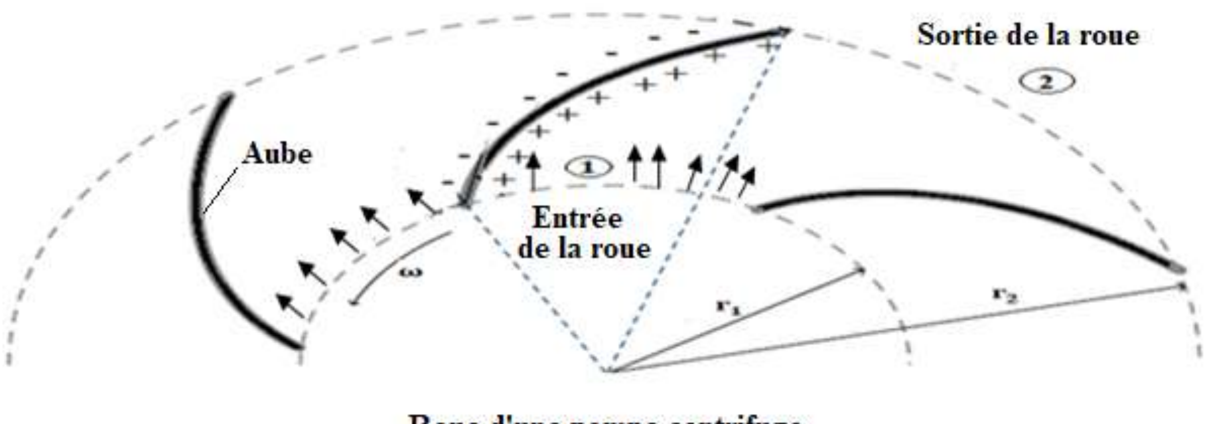


Figure 1.2 Le profil d'une aile d'avion est conçu de façon à ce que l'écoulement d'air autour de l'aile engendre une force de portance verticale et dirigée vers le haut, qui compense le poids de l'avion.



Roue d'une pompe centrifuge

Figure 1.3 Différence des pressions sur les faces intrados et extrados de l'aube d'une roue de pompe centrifuge.

3. Théorie générale, théorème d'Euler

Le but de ce chapitre est de décrire le fondement théorique de la conversion d'énergie dans une turbomachine, l'exemple pris est celui de la pompe centrifuge. Dans notre cours, l'étude et l'évaluation de la performance de la pompe est basée sur le modèle théorique et fondamental.

Lorsque la pompe fonctionne, l'énergie du moteur électrique est ajoutée à l'arbre sous forme d'énergie mécanique. Dans la roue, le liquide est aspiré à l'entrée du fait de la dépression qui existe sur l'axe de rotation. L'énergie mécanique sur l'arbre est transférée au liquide, converti en énergie interne (pression statique) et en énergie cinétique (vitesse). Ce processus est décrit par l'équation d'Euler qui sera examinée par la suite.

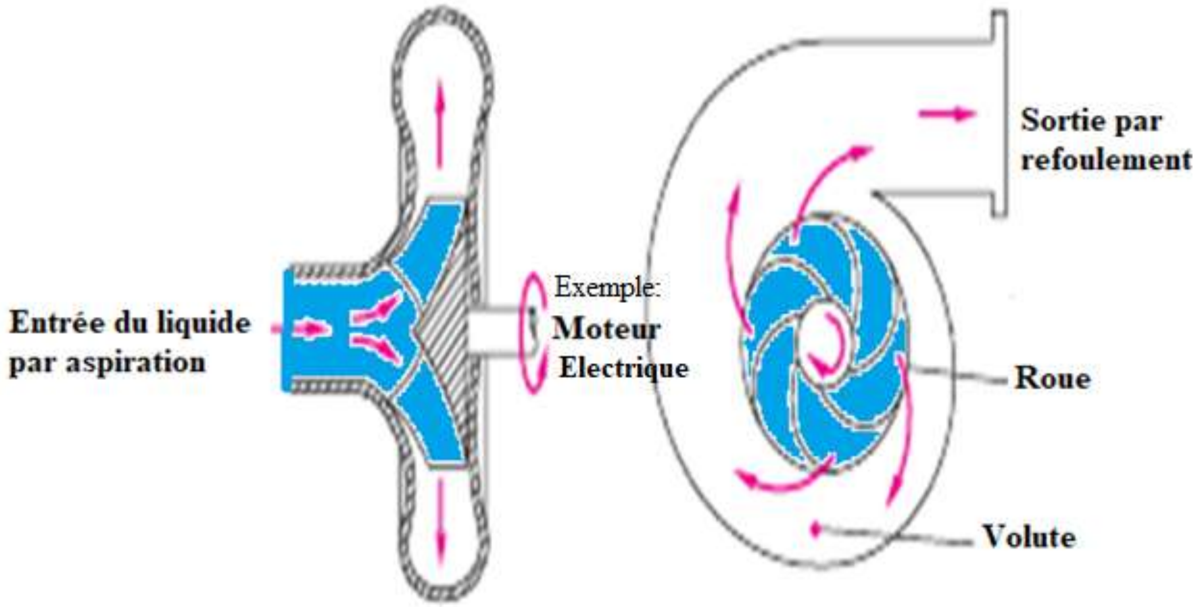


Figure 1.4 Sections d'une pompe centrifuge.

3.1 Diagramme de vitesse

L'écoulement dans l'aubage est considéré, comme permanent. Alors, le champ d'écoulement se trouve défini par la connaissance de la vitesse en chaque point du domaine.

Pour passer du domaine fixe au domaine mobile ou inversement, on utilise la règle classique de composition vectorielle des vitesses comme la montre la figure 1.2.

$$\vec{C} = \vec{W} + \vec{U} \quad (1)$$

La vitesse absolue $\vec{C}$, est la somme des vitesses :

$\vec{W}$, vitesse relative tangente à l'aube du rotor

Et $\vec{U}$, vitesse tangentielle dite vitesse d'entraînement, créée par le mouvement de rotation au point M considéré.

Elle est égale :

$$U = \omega\, r \quad (2)$$

Avec $\omega = 2\,\pi\, N/60$ en (rd/s) désignant la vitesse angulaire de rotation, N la vitesse de rotation du rotor donné : tours / minute (tr/mn) et r distance du point considéré M à l'axe de rotation de la roue.

Les diagrammes (ou triangles) des vitesses, à l'entrée et sortie de la roue jouent un rôle très important. En effet nous serons amenés à les tracer dans l'étude de chaque turbomachine. Nous affecterons l'indice (1) pour les variables à l'entrée de la roue, et l'indice (2) à la sortie de la roue.
Les angles des triangles de vitesses voir figure 1.2, sont définis comme suit :

L'angle α, est fait entre la vitesse absolue C, et la vitesse d'entrainement U.

Et l'angle β, celui que fait la vitesse relative W, avec la vitesse d'entrainement U.

Par la suite nous introduisons les composantes de la vitesse absolue C :

$C_t = C \cos\alpha$: Composante tangentielle (direction perpendiculaire au rayon de la roue).

$C_n = C \sin\alpha = W \sin\beta$: Composante normale (direction radiale) appelée aussi vitesse débitante.

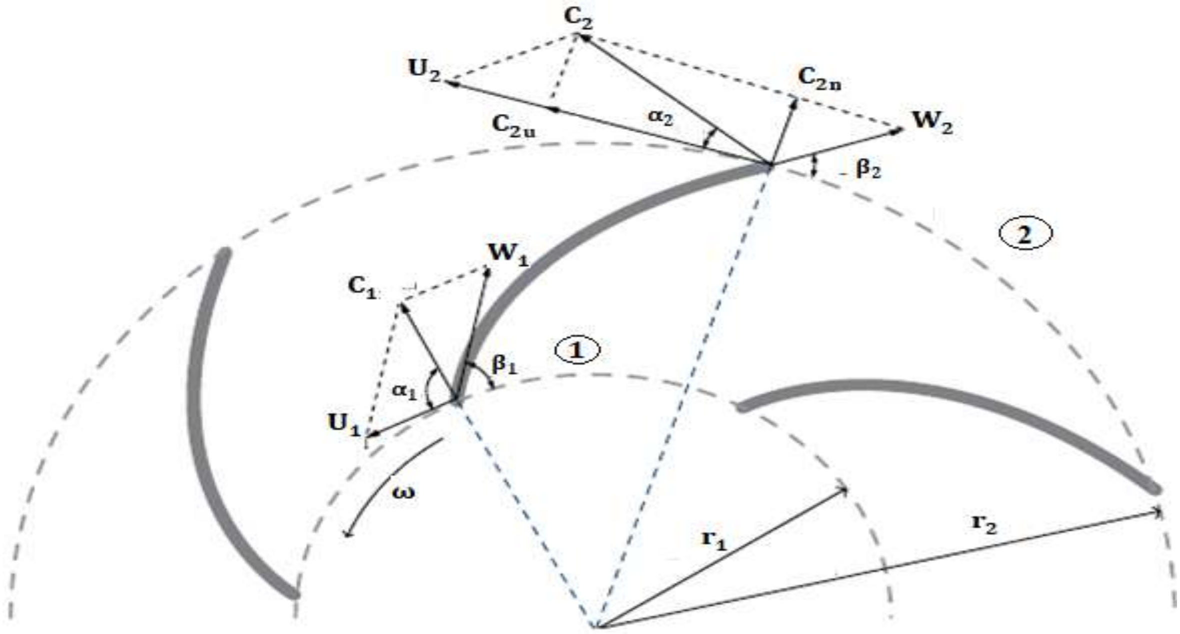


Figure 1.2 Triangles des vitesses à l'entrée et à la sortie d'une roue d'une pompe centrifuge idéale

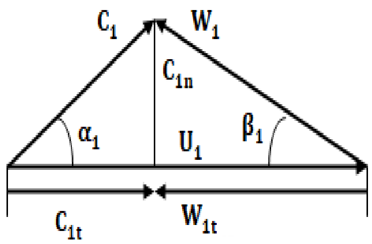


Figure 1.3 Triangle des vitesses à l'entrée de l'aubage mobile

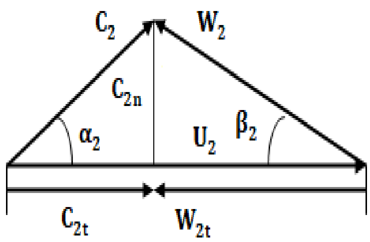


Figure 1.3 Triangle des vitesses à la sortie de l'aubage mobile

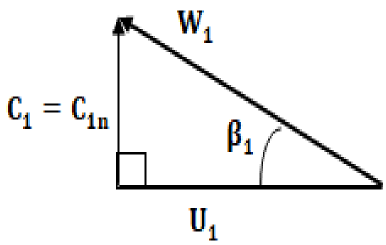


Figure 1.4 Triangle des vitesses (entrée radiale)

Les lois physiques de base, appliquées dans le domaine des turbomachines sont l'équation de conservation de masse et la deuxième loi de Newton.
La théorie est simplifiée en considérant les hypothèses suivantes :

- La roue a un nombre infini d'aubes, la recirculation et la turbulence sont négligées ce qui signifie une parfaite orientation de l'écoulement du fluide.

- L'écoulement du fluide est permanent.

- L'écoulement relatif du fluide à l'intérieure de la roue est de vitesse tangente aux aubes.

- Dans les passages inter - aubages mobiles de la roue, la vitesse de fluide est uniforme sur les sections circulaires, comme le montre la figure 1.6.

3.3 Deuxième loi de Newton

En négligeant les forces de la pesanteur, de la viscosité du fluide et des frottements, les forces principales en présence sont :

La force d'inertie d'entrainement dite centrifuge et la force d'inertie de Coriolis dû à la rotation de l'aubage mobile. Toutes ces forces s'appliquent sur la particule fluide dans son déplacement relative à l'intérieure de l'aubage mobile.

D'après la seconde loi de Newton, le couple T appliqué sur l'arbre en rotation par rapport à l'axe voir figure 1.7, est égale à la variation de la quantité de mouvement angulaire du fluide.

$$T = m \frac{d}{dt} (r V_t) \qquad (4)$$

Comme le couple T est appliqué sur l'arbre, ils résultent alors par réaction des efforts de pressions latéraux de contact développés par le fluide sur l'intrados et l'extrados des aubages.

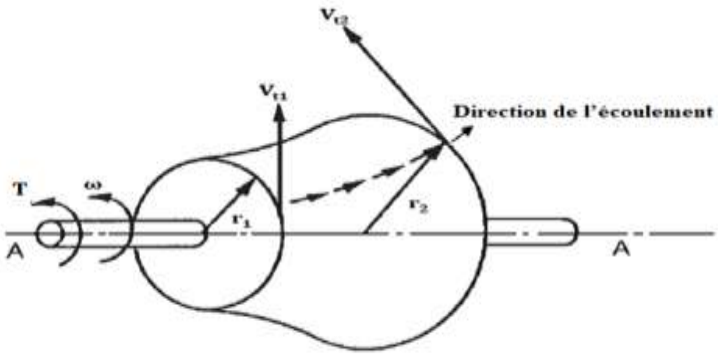


Figure 1.7 Figure 1.8 Variation de la charge hydraulique entre l'entrée et la sortie de la pompe

Elle est obtenue par l'application de l'équation de Bernoulli entre l'entrée (1), et la sortie (2) de la pompe. Si on note par h_s, la hauteur fournie par la pompe et par h_f, la somme des pertes de charge à l'intérieure de la pompe, il résulte alors une hauteur nette H à la sortie égale à :

$$H = \left(\frac{P}{\rho\, g} + \frac{V^2}{2\, g} + z\right)_2 - \left(\frac{P}{\rho\, g} + \frac{V^2}{2\, g} + z\right)_1 = h_s - h_f \qquad (5)$$

(5)

Le terme : $\left(\frac{P}{\rho\, g} + z\right)$, définit la hauteur (ou pression) piézométrique du fluide en un point donné sur la ligne du passage de l'écoulement. D'autre part le terme $\left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2\, g}\right)$, définit la hauteur dynamique.

La puissance hydraulique du liquide P_w, correspondante à la charge nette H, est :

$$P_w = \rho\, g\, Q\, H \qquad (6)$$

La puissance développée par la pompe P_a, est fonction du couple appliqué sur l'arbre T, elle est donnée par l'équation suivante :

$$P_a = \omega\, T \tag{7}$$

En considérant les pertes, le rendement global de la pompe η est donné par le rapport :

$$\eta = \frac{P_w}{P_a} = \frac{\rho\, g\, Q\, H}{\omega\, T} \tag{8}$$

Dans le cas où les pertes sont nulles on aura l'égalité : $P_w = P_a$, alors le rendement $\eta = 1$.