

Chapitre 1 : Rappel sur les turbomachines

1. Définition

Une turbomachine est une machine tournante qui réalise un transfert d'énergie entre son arbre propre, et un fluide en mouvement. Une turbomachine composée essentiellement d'une partie fixe est appelé Stator et une partie mobile nommée le Rotor.

2. Classification des turbomachines

- Les turbomachines sont classées en plusieurs catégories. La première concerne *le sens du transfert d'énergie*. On divise alors les turbomachines en deux catégories principales :
 - **Génératrice** qui fournit de l'énergie au fluide ; on trouve les pompes, les compresseurs, les ventilateurs et les hélices aériennes et marines.
 - **Réceptrice** qui retire de l'énergie du fluide pour l'utiliser comme un travail mécanique dans ce cas, on parle alors de turbine à vapeur, turbine à gaz, turbine hydraulique et éoliennes.
- la seconde classification des turbomachines en fonction de la *direction principale de l'écoulement par rapport à l'axe de rotation de machine*.
 - **Les turbomachines axiales** dans lesquelles la direction de l'écoulement est parallèle à l'axe de rotation de la machine.
 - **Les turbomachines radiales ou centrifuges** dans lesquelles partie importante de l'écoulement à l'entrée ou à la sortie est dans la direction normale à l'axe de rotation ou radiale.
 - **Les turbomachines mixtes** dans lesquelles la direction de l'écoulement, à l'entrée ou à la sortie, comporte de composantes axiale et radiales.
- Une troisième classification peut être faite en fonction de *la nature de transfert énergétique*. En particulier on trouve :
 - **Les turbomachines à impulsion ou à action** dans lesquelles le fluide subit seulement un changement d'impulsion lors du passage dans le rotor sans aucune variation de pression.
 - **Les turbomachines à réaction** dans lesquelles l'échange énergétique entre le fluide et le rotor entraîne une chute de pression sans aucune variation de vitesse.
 - **Les turbomachines de type combiné** dans lesquelles le fluide subit un changement de pression et de vitesse lors de son passage par le rotor.

- La dernière classification des turbomachines en fonction **du type d'installation**. On distingue deux types :
 - **Les turbomachines encastrées** telles que les pompes centrifuges, les turbines à gaz, où le fluide circule à l'intérieur de conduits.
 - **Les turbomachines en veine** libre telles que les éoliennes, les hélices d'avion ou de navire.

3. Notion de Similitude

En ce qui concerne les turbomachines, le but de la similitude est la comparaison des performances des machines similaires (pompe 1 et pompe 2), ou entre les maquettes (modèle d'un avion réduit) et les prototypes (un avion réel). Cette comparaison est réalisée sous forme de variables non dimensionnelles.

a. Similitude géométrique (similitude des formes)

Deux pompes similaires géométriquement c.-à-d. que le rapport entre tous les paramètres géométriques (longueur, largeur, rayon...etc) de deux pompes sont constants.

$$k_G = \frac{L_m}{L_p} = Cste$$

Avec k_G facteur d'échelle, L longueur, m indice de maquette et p indice de prototype.

b. Similitude cinématique

Le rapport de la vitesse et / ou d'accélération sont constants.

$$\frac{V_m}{V_p} = Cste$$

c. Similitude dynamique

Le rapport entre diverses forces et la force d'inertie sont égaux.

$$\frac{F_m}{F_p} = Cste$$

- Pour un fluide incompressible en charge, la seule condition de similitude est l'égalité des nombres de Reynolds.

$$Re_m = Re_p \Rightarrow \frac{\rho V_m L_m}{\mu_m} = \frac{\rho V_p L_p}{\mu_p}$$

Avec :

ρ masse volumique, V vitesse caractéristique et L longueur caractéristique.

- Pour un fluide incompressible à surface libre, les deux critères de similitude est l'égalité des nombres de Reynolds et nombre de Froude.

$$Fr_m = Fr_p \quad \text{et} \quad Re_m = Re_p \Rightarrow \frac{v_m^2}{g L_m} = \frac{v_p^2}{g L_p} \quad \text{et} \quad \frac{\rho v_m L_m}{\mu_m} = \frac{\rho v_p L_p}{\mu_p}$$

Avec Fr nombre de Froude.

4. Nombre adimensionnelle

Une grandeur physique sans dimension ou sans unité. Ci-dessous vous trouvez un tableau qui résume quelque nombre adimensionnel utilisé en domaines de mécanique des fluides et transfert de chaleur.

Nombre adimensionnelle	Définition	Explication	Domaine d'application
Nombre de Reynolds Re	$\frac{\rho V L}{\mu}$	$\frac{\text{force d'inertie}}{\text{force visqueuse}}$	Ecoulements visqueux
Nombre de Froude Fr	$\frac{V^2}{g L}$	$\frac{\text{force d'inertie}}{\text{force de pesanteur}}$	Ecoulements à surface libre
Nombre de Mach Ma	$\frac{V}{c}$	$\frac{\text{vitesse d'écoulement}}{\text{vitesse de son}}$	Ecoulements compressible
Nombre de Prandtl Pr	$\frac{\nu}{\alpha}$	$\frac{\text{viscosité dynamique}}{\text{diffusivité thermique}}$	Transfert thermique

5. Triangle de vitesse

Avant de tracer le triangle de vitesse, il faut d'abord connaître quelles sont les vitesses influencent les turbomachines ? On peut distinguer trois vitesses :

- La vitesse U (la vitesse des aubes de rotor) ou appelée la vitesse d'entraînement, cette vitesse est tangentielle aux aubes de rotor et le sens de direction de cette vitesse est le même sens de rotation.

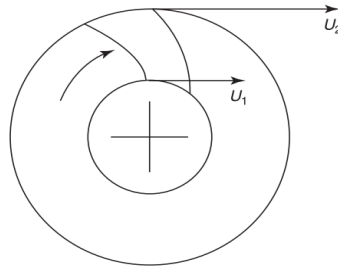


Figure 1.1 la vitesse des aubes de rotor.

- La vitesse V_r (la vitesse relative de fluide par rapport aux aubes de rotor), elle est toujours tangentielle au point d'entrée de fluide tous dépend de profile des aubes.

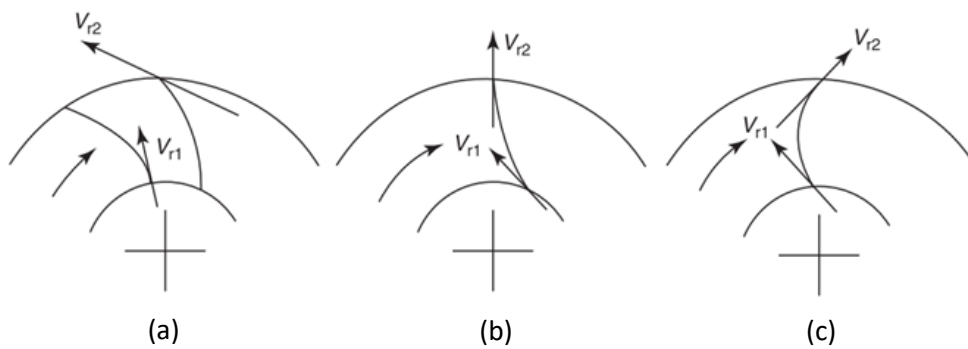


Figure 1.2 la vitesse relative : (a) les aubes pliées vers l'arrière. (b) les aubes sont radiale à la sortie. (c) les aubes pliées vers l'avant.

- La vitesse V (la vitesse absolue du fluide), est la somme vectorielle de U et V_r .

$$\vec{V} = \vec{U} + \vec{V}_r$$

Pour les indices 1 et 2 représentant l'entrée d'aube et la sortie respectivement.

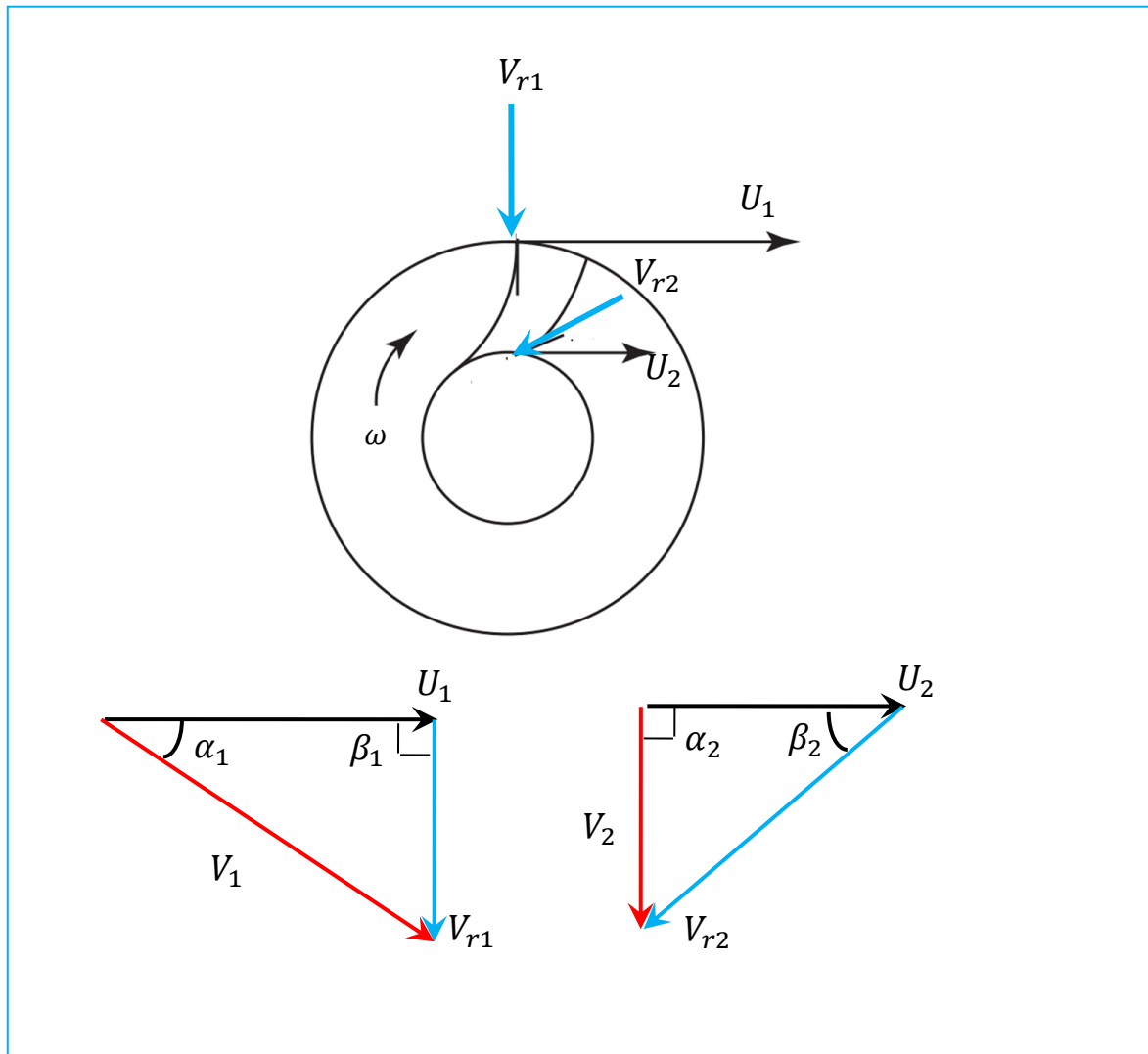


Figure 1.3 Exemple de triangle de vitesse

6. Equation d'Euler des turbomachines

Parmi les équations de base des turbomachines est l'équation d'Euler, cette équation est basée sur le concept de conservation du moment cinétique et la conservation de l'énergie.

Les équations de turbomachine d'Euler sont les suivantes :

$$\tau_{arbre} = \dot{m} (\bar{r} \times \bar{V}) \text{ et } P = \tau_{arbre} \omega = \dot{m} \omega (\bar{r} \times \bar{V})$$

Avec τ_{arbre} couple de l'arbre, P puissance de fluide, ω vitesse angulaire.

Le couple et la puissance entre l'entrée et la sortie s'écrivent comme suite :

$$\tau_{arbre} = \dot{m} (r_1 V_{u1} - r_2 V_{u2}) \text{ et } P = \dot{m} (\omega_1 r_1 V_{u1} - \omega_2 r_2 V_{u2})$$

Avec r_1 et r_2 sont les diamètres de la roue à l'entrée et à la sortie respectivement.