

Chapitre 1

Turbomachines

Définitions et théorie générale

1 Définitions

Définitions

- **Turbomachine**

*Les turbines, les turbopompes, les compresseurs, les ventilateurs, ... sont des **Turbomachines**. **Turbomachines** est un terme scientifique à caractère de classement et d'optimisation qui désigne toute machine : énergétique, mécanique, rotative et fluïdique (à fluïde). Une **Turbomachine** utilise une ou plusieurs roues munies d'aubes, montées sur un arbre tournant pour effectuer un transfert d'énergie mécanique avec un fluïde en mouvement continu.*

E. Mahfoudi

Décomposition de la définition de Turbomachines

1) *Exemple de turbomachines*

➤ *Les Turbines*

➤ *Les Turbopompes*

➤ *Les compresseurs*

➤ *Les Ventilateurs*

➤ *.....*

sont des Turbomachines.

2) **Turbomachine** est une science qui étudie une catégorie de machines spéciales.

3) *Turbomachines* est une machine caractérisée par ou elle est à la fois une :

- Machine énergétique
- Machine mécanique
- Machine rotative
- Machine à fluide

Plus

Une **turbomachine** est une **machine énergétique**, **mécanique**, **rotative à fluide**. Elle utilise **une** ou plusieurs **roues** munies d'**aubes**, montées sur un **arbre tournant** pour effectuer **un transfert d'énergie mécanique** avec un **fluide en mouvement continu**.

1 Généralités sur les turbomachines

Les turbomachines sont des appareils **technologiques** qui appartiennent à la famille des **systèmes mécanique énergétique**.

1.1 Définitions

- **Systeme** Le système est le porteur ou le transformateur de l'énergie.

- **Energie** L'énergie est une grandeur physique qui mesure la capacité d'un système à produire un **travail**.

- **Puissance** Energie par unité de **temps**.

- **Systeme mécanique Énergétique**

Un
systeme énergétique
est tout
appareil, machine ou installation
qui a pour
fonction
la production , la transformation , le stockage,
la mesure ou le contrôle
de
la matière, le mouvement, la chaleur
ou
l'électricité.

- **Machine**

Une machine est un appareil **transformateur d'énergie**.

- **Turbo**

Le préfixe turbo provient du latin turbinis qui signifie **qui tourne** ou alors en **rotation**.

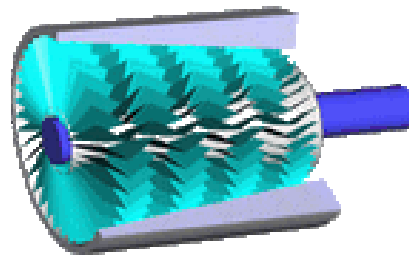
- **Aubes**

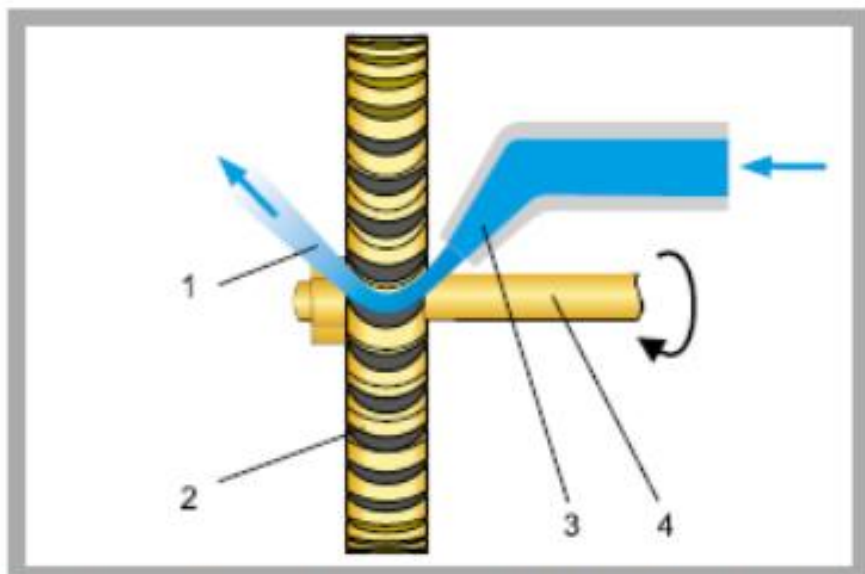
Les aubes sont des obstacles profilés, plongés dans un l'écoulement de fluide.

- **Grille d'Aubes est une roue à aubes**

-

- **Mots clés**





Principe de fonctionnement d'une pompe à action: 1 sortie d'eau, 2 rotor de la turbine, 3 entrée d'eau par quatre buses, 4 arbre de la turbine

Turbomachine = **Interaction de**

1) roue

2) Arbre tournant



Machine rotative

Rotor

(Mouvement de rotation)

+

3) Fluide en mouvement

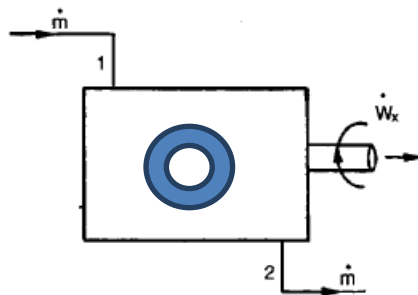


Résultats

4) Un transfert d'énergie mécanique

$$P = C w$$

TD TP



1.2 Exemples de construction de turbomachines

➤ Les turbomachines sont :

- 1 Les pompes
- 2 Les turbines
- 3 Les compresseurs
- 4 Les ventilateurs
- 5 Les éoliennes
- 6

➤ Les installations des turbomachines sont

- 1 Les turbines hydrauliques
- 2 Les turbines à vapeur
- 3 Les turbines à gaz
- 4 Les turboréacteurs
- 5 Les moteurs fusées
- 6
- 7

1.3 Domaines d'utilisation des turbomachines

- Production de l'énergie électrique (SONALGAZ)
- Hydraulique
- Transport
- L'industrie
- L'habitat (maison
- Ventilation
-

1.4 Classifications des turbomachines

De nombreux critères servent à classer **les turbomachines**. Les plus importants sont les suivants :

- Sens de l'échange d'énergie.
- La forme du rotor (Direction principale du tube de courant).
- La nature du fluide (liquide / vapeur / gaz).
- Nombre d'éléments disposés en série.
- Mode d'action du fluide.
- Degré d'injection.
-

➤ **Sens de l'échange d'énergie**

On distingue

les machines réceptrices qui reçoivent du **travail mécanique**

Et

les machines motrices qui en fournissent (le **travail mécanique**).

Définitions

- **Turbomachine motrice** ou (**moteur**) est une machine qui transforme **l'énergie du fluide** en **énergie mécanique** sous forme d'un arbre tournant.

Les principales machines motrices sont :

- Les turbines hydrauliques,
- les turbines à gaz et à vapeur et à gaz,
- les éoliennes.

Définitions

- **Turbomachine réceptrice** est une machine qui transforme **l'énergie mécanique** en énergie récupérée par de fluide.

Parmi les machines réceptrices, on trouve :

- les turbopompes,
- les ventilateurs,
- les turbosoufflantes,
- les turbocompresseurs
- les hélices aériennes et marines.

➤ **Suivant la forme du rotor**

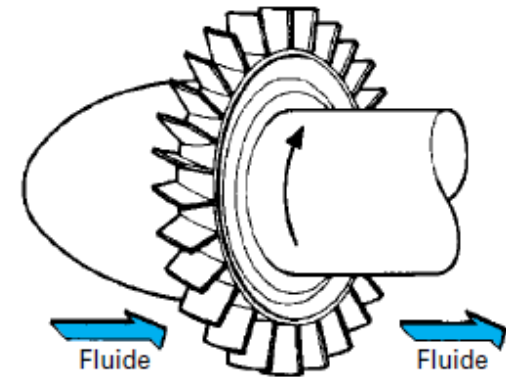
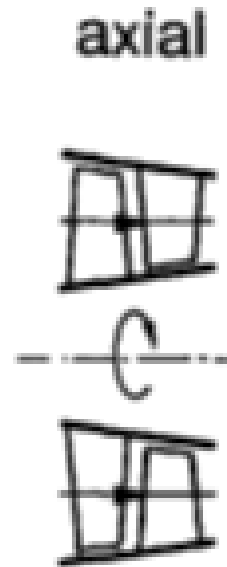
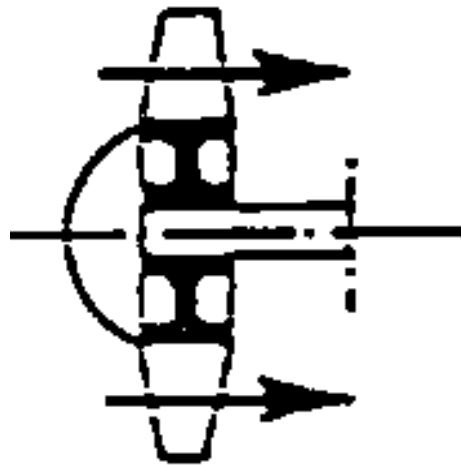
On distingue principalement trois grands types de machines suivant la manière dont la particule fluide traverse **le rotor** de la machine :

- 1) **Machines axiales**
- 2) **Machines radiales**
- 3) **Machines diagonal (hélicoïdes)**

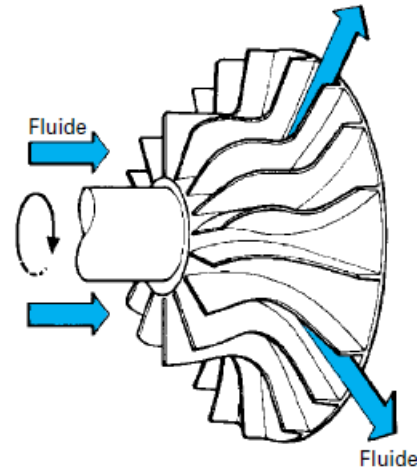
Définitions

- **Machines axiales**

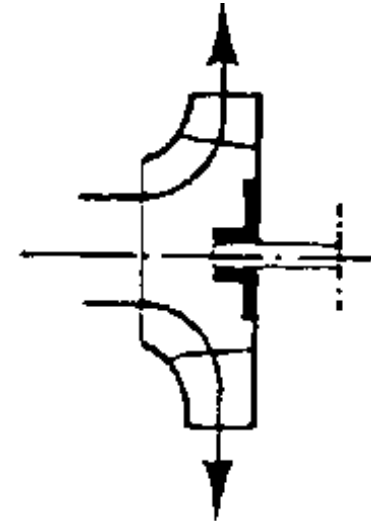
L'écoulement s'effectue dans un plan parallèle à l'axe de rotation.



• Machines radiales

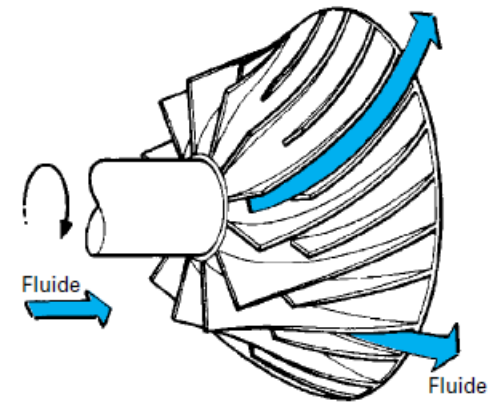
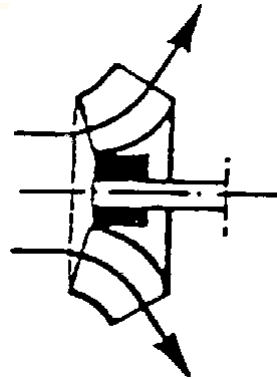


radial



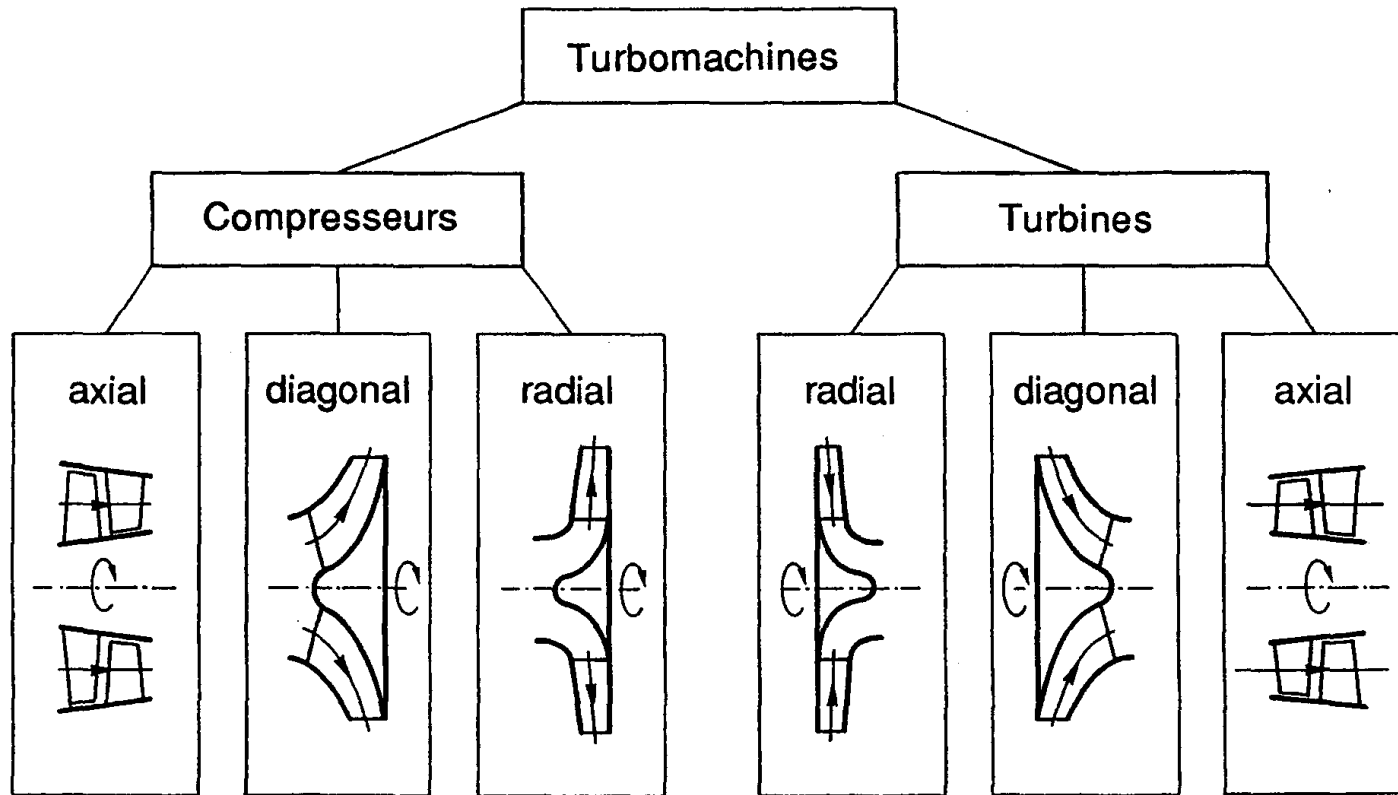
L'écoulement s'effectue dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. On parle de **machines centrifuges** dans le cas de machines génératrices, et de **machines centripètes** dans le cas de machines réceptrices.

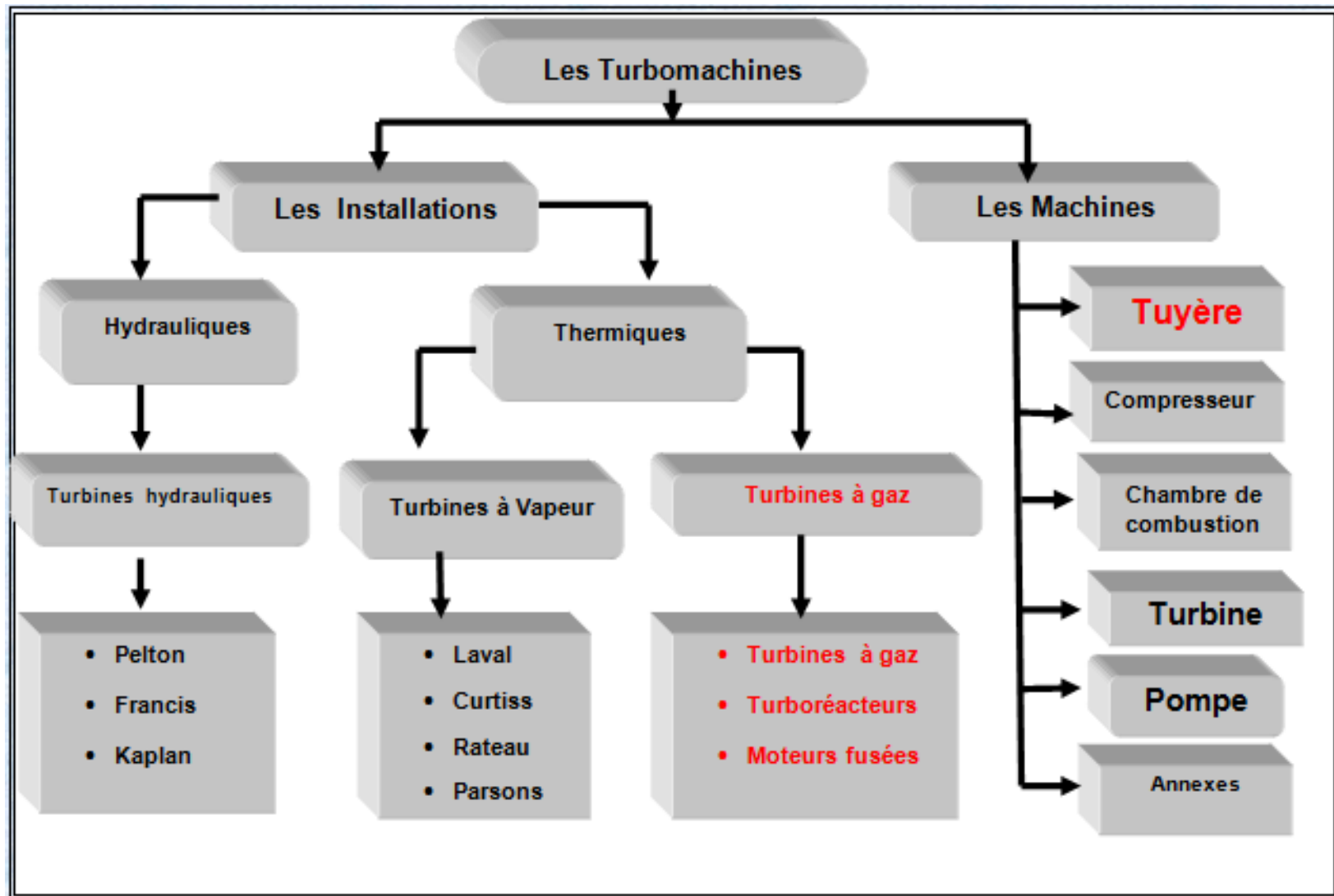
- **Machines diagonal (hélicoïdes)**



Il s'agit de machines intermédiaires dans lesquelles l'écoulement s'effectue dans des surfaces de révolutions dont la méridienne est inclinée par rapport à l'axe de rotation.

Exemples

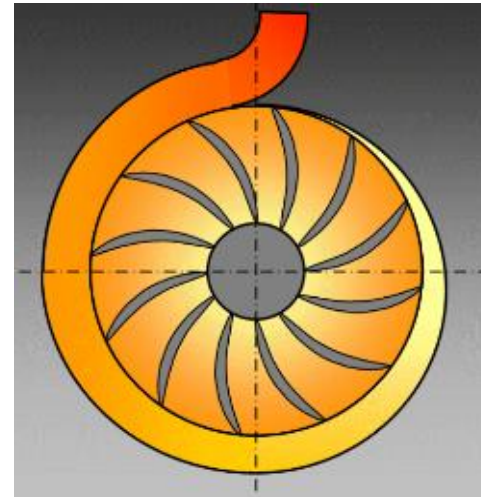
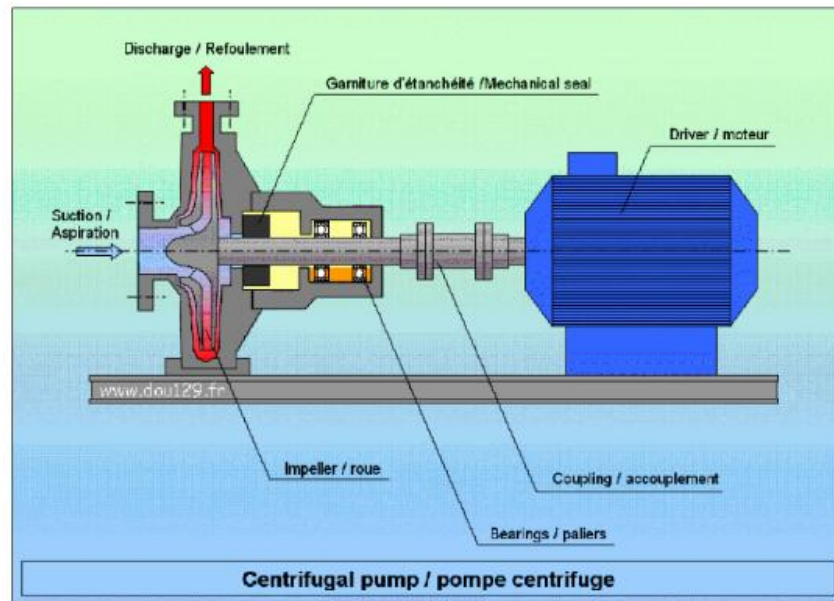


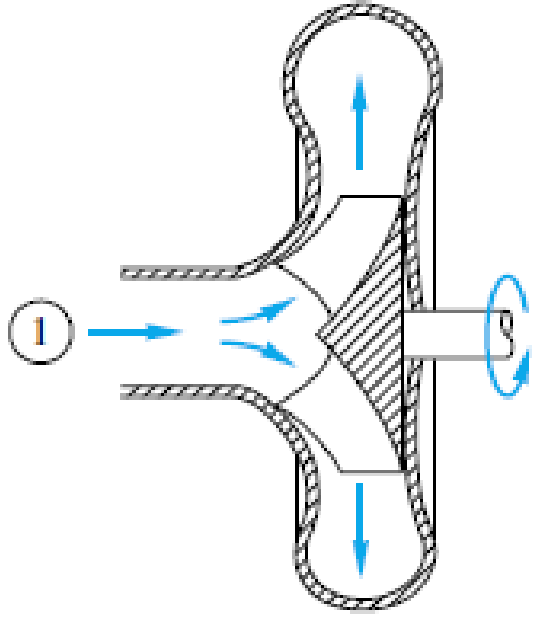


2 Théories générales des turbomachines

➤ Principe de fonctionnement

Voir le mouvement de rotation et sa direction.

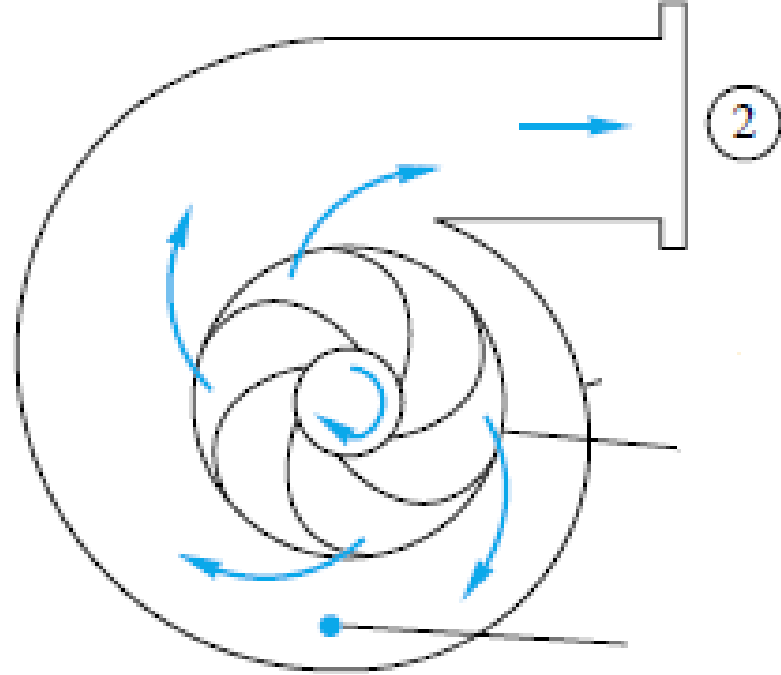




(d)



(b)



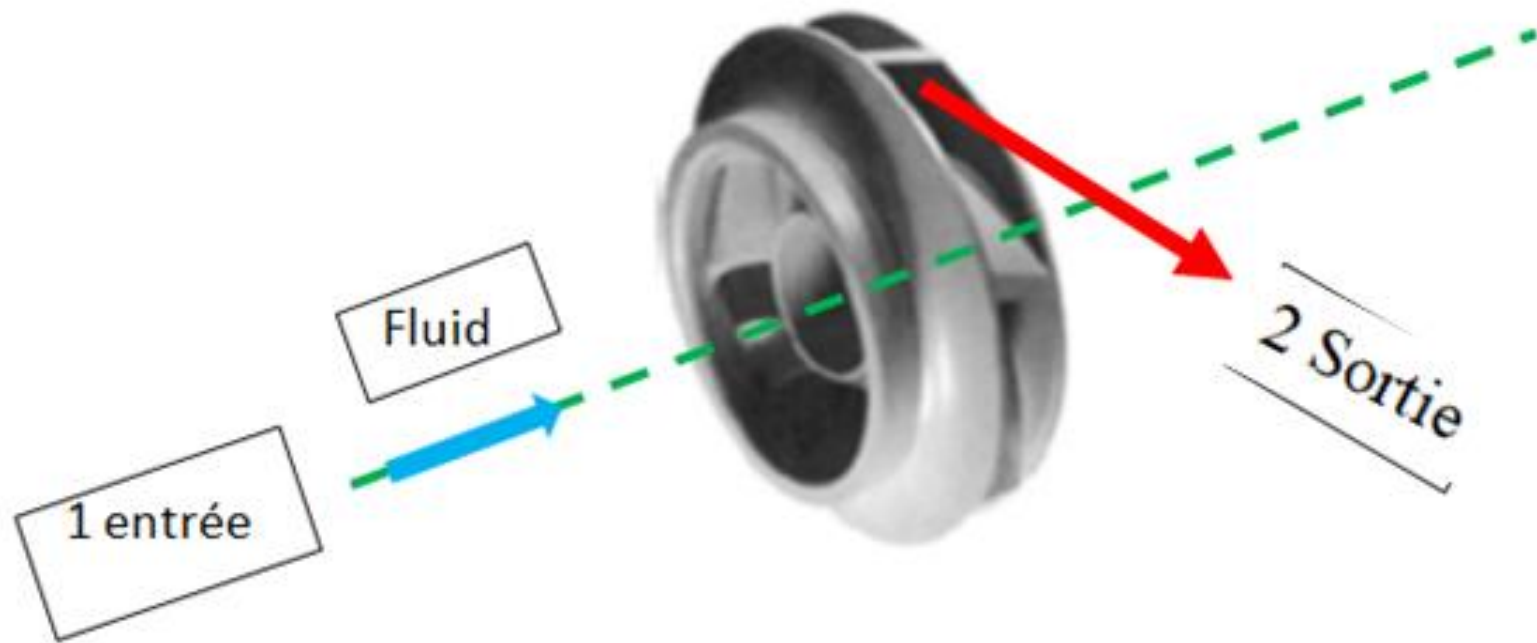
➤ **La théorie simplifiée du fonctionnement des turbomachines**

La théorie simplifiée du fonctionnement des

turbomachines est due à

Leonhard Euler.

Cette théorie consiste à faire un **bilan énergétique** entre une particule de fluide à l'entrée (1) de la roue, et cette même particule à la sortie (2) de la roue.



Principe

Toute l'énergie du mouvement de rotation de la roue est transférée au fluide.

Question

Comment déterminer quantitativement l'énergie transférée ?

Analyse du problème

Roue \longrightarrow **Transfert d'énergie** \longrightarrow Fluide (1 kg)

La prévision de la quantité d'énergie transférée par kilogramme de fluide, est appelée

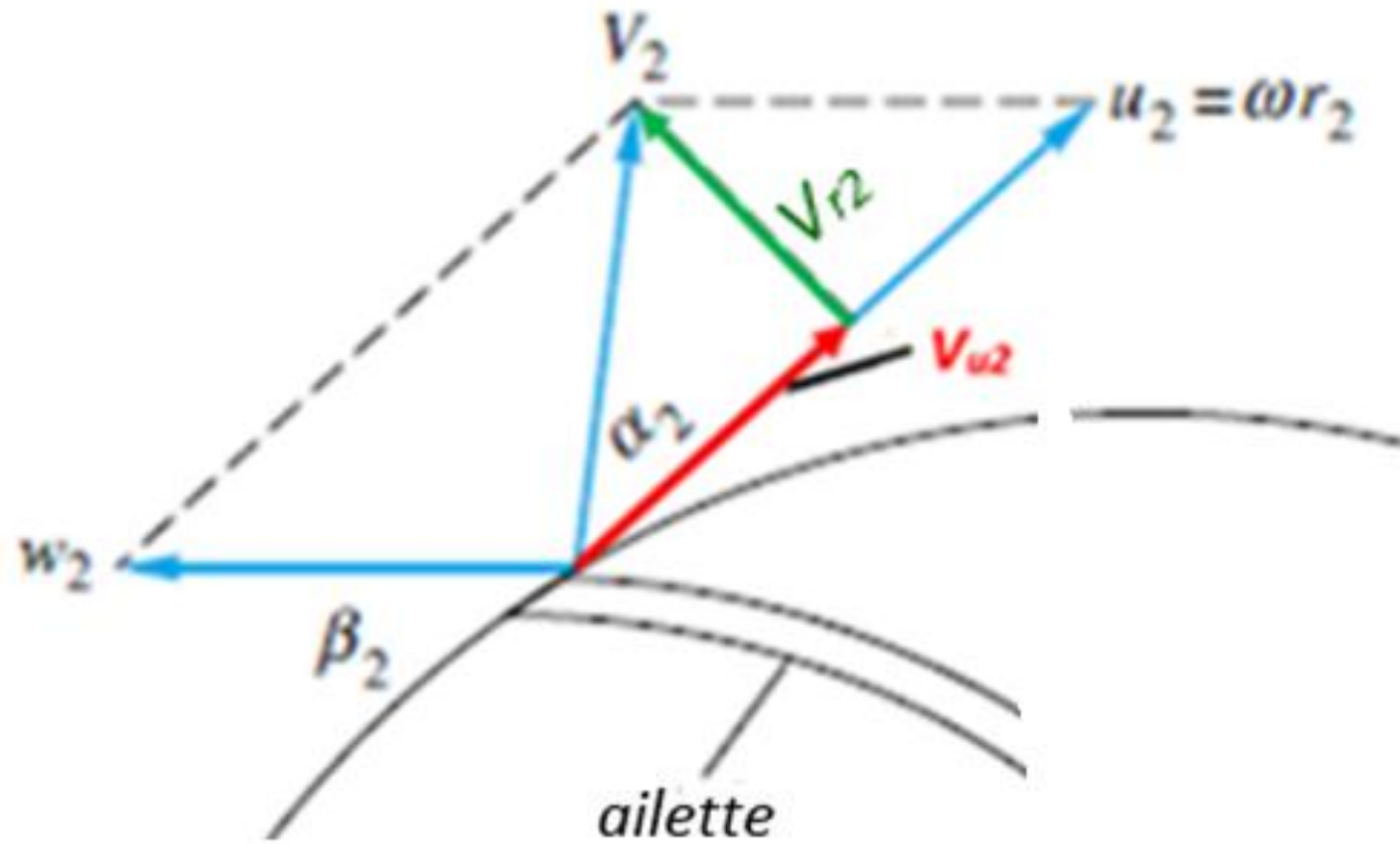
Le travail spécifique (w)?

Solution

Les triangles des vitesses

?

Les triangles des vitesses



Les paramètres

1) La roue

Les données géométriques de la roue : r_1 , r_2 , b_1 , b_2 , D

2) Le fluide

La masse volumique du fluide ρ

Débit massique \dot{m}

Débit volumique Q_v

$$\dot{m} = \rho Q_v$$

➤ Les vitesses de l'écoulement du fluide

Trois types de vitesses sont utilisées en turbomachines :

- La vitesse de rotation désignée par : \vec{U}
- La vitesse absolue de l'écoulement désignée par : \vec{C} ou \vec{V}
- La vitesse relative de l'écoulement désignée par : \vec{W}

avec

$$\vec{C} = \vec{W} + \vec{U} \quad \text{ou} \quad \vec{V} = \vec{W} + \vec{U}$$

3) Les modules des vitesses

V_1 le module de la vitesse à l'entrée de la roue

V_2 le module de la vitesse à la sortie de la roue

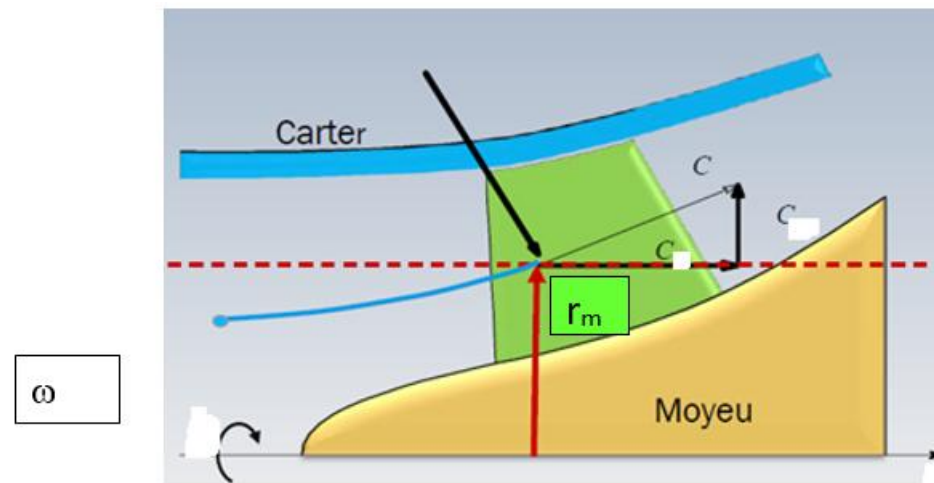
➤ Les directions principales de l'écoulement

La direction **axiale** avec l'indice x / (a, ...)

La direction **tangentielle** ou **périphérique** avec l'indice u (t, ...)

La direction **radiale** avec l'indice r (n normale)

Exemple



Les composantes des vitesses

La vitesse absolue \vec{C} , \vec{V}

C_u , V_u : la composante tangentielle de la vitesse absolue

C_x , V_x : la composante axiale de la vitesse absolue

C_r , V_r : la composante radiale de la vitesse absolue

La vitesse relative \vec{W}

W_u : la composante tangentielle de la vitesse relative

W_x : la composante axiale de la vitesse relative

W_r : la composante radiale de la vitesse relative

Exemples

V_{u2} : la composante tangentielle de la vitesse absolue à la sortie de la roue

Les angles de l'écoulement

α : l'angle de l'écoulement absolue

α angle entre (\vec{V} et \vec{U})

β : l'angle de l'écoulement relatif

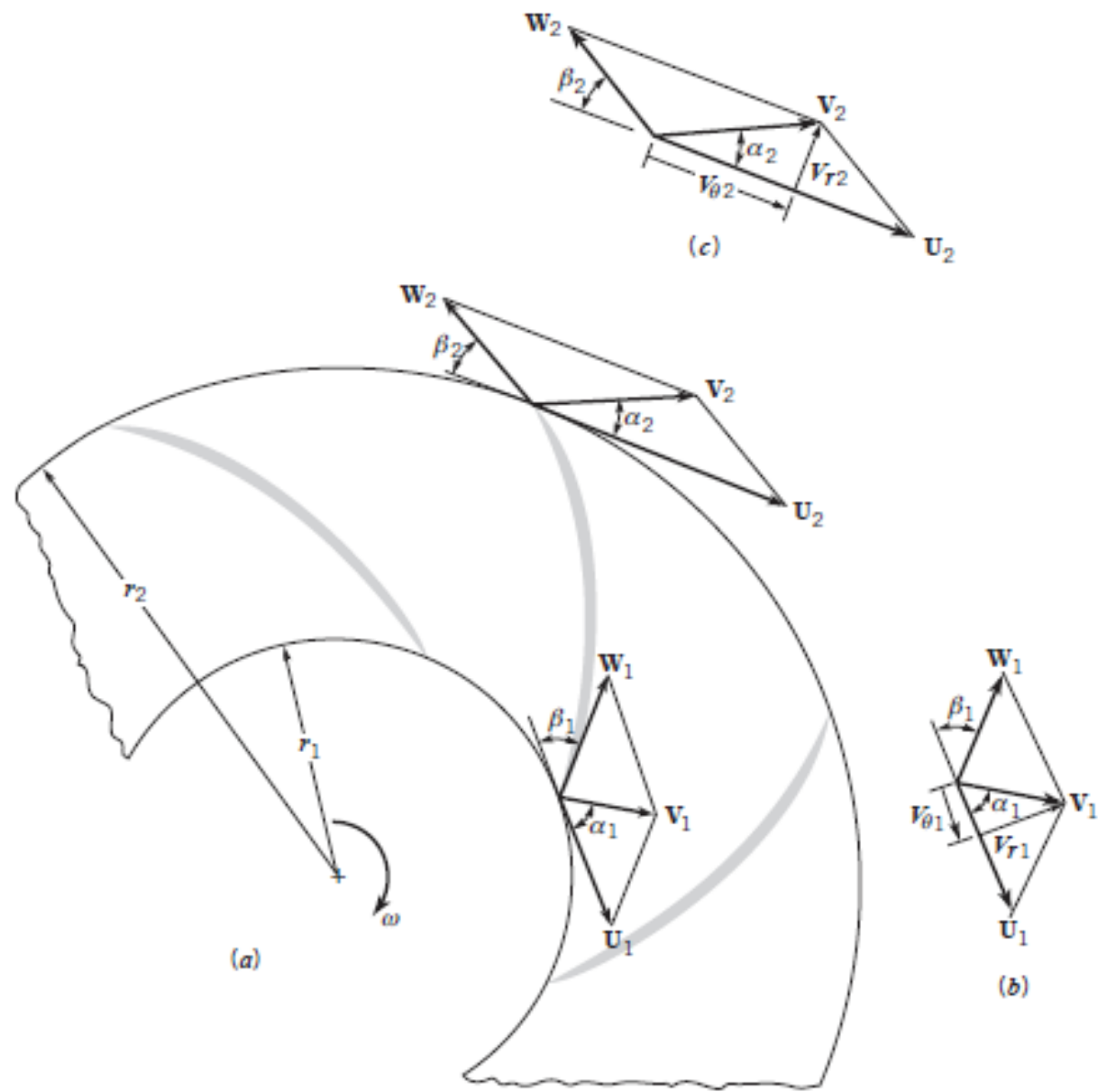
β angle entre (\vec{W} et \vec{U})

La vitesse du fluide V_1 fait à l'entrée de la roue un angle α_1 avec la tangente à la roue

La vitesse du fluide V_2 fait à la sortie de la roue un angle α_2 avec la tangente à la roue

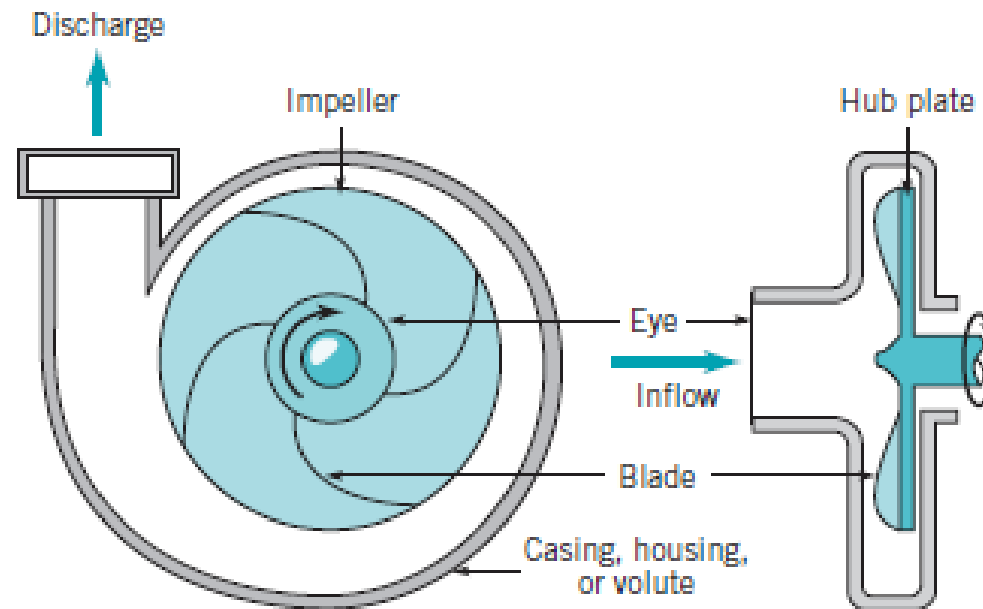
La vitesse du fluide W_1 fait à l'entrée de la roue un angle β_1 avec la tangente à la roue

La vitesse du fluide W_2 fait à la sortie de la roue un angle β_2 avec la tangente à la roue



Calcul de la vitesse de rotation des turbomachines U

- Nombre de tours: N [tr/mn], [rpm]
- Vitesse de rotation angulaire: $\omega = 2 \pi N$ [rad /s]
- Vitesse de rotation : $U = r \omega$ [m /s]



Les relations de base

- **Le couple**

Le couple appliqué par les aubes sur le fluide sera égale au produit du débit massique du fluide par la variation de sa quantité de mouvement entre son entrée et sa sortie de la roue.

$$C = \dot{m} [r_2 V_{u2} - r_1 V_{u1}] \quad \text{N m}$$

$$C = \rho Q_v [r_2 V_2 \cos(\alpha_2) - r_1 V_1 \cos(\alpha_1)]$$

- **Puissance mécanique**

$$P_m = C \omega \quad \text{W}$$

$$P_m = \rho Q_v \omega [r_2 V_2 \cos(\alpha_2) - r_1 V_1 \cos(\alpha_1)]$$

$$P_m = \rho Q_v [U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1}]$$

- **Travail spécifique**

$$w = \frac{P}{\dot{m}} = \frac{P_m}{\rho Q_v} \quad \text{J/kg}$$

$$w = \omega [r_2 V_2 \cos(\alpha_2) - r_1 V_1 \cos(\alpha_1)]$$

avec

$$\begin{cases} u_1 = r_1 \omega, & u_2 = r_2 \omega \\ V_{1u} = V_1 \cos(\alpha_1), & V_{2u} = V_2 \cos(\alpha_2) \end{cases}$$

Equation d'Euler des turbomachines

$$w = U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1} \quad [\text{J/Kg}]$$

- **Hauteur manométrique (hauteur de charge)**

$$H = \frac{w}{g} \quad \text{m}$$

$$H = \frac{u_2 V_{u2} - u_1 V_{u1}}{g}$$

Démonstration

On a

$$P_y = Q_v \Delta p = Q_v \rho g H$$

Donc

$$H = \frac{P_y}{Q_v \rho g}$$

$$H = \frac{\rho Q_v \omega [r_2 V_2 \cos(\alpha_2) - r_1 V_1 \cos(\alpha_1)]}{Q_v \rho g}$$

$$H = \frac{\omega [r_2 V_2 \cos(\alpha_2) - r_1 V_1 \cos(\alpha_1)]}{g}$$

$$H = \frac{u_2 V_{u2} - u_1 V_{u1}}{g}$$

$$H = \frac{w}{g}$$

Exercice **Les triangles des vitesses**

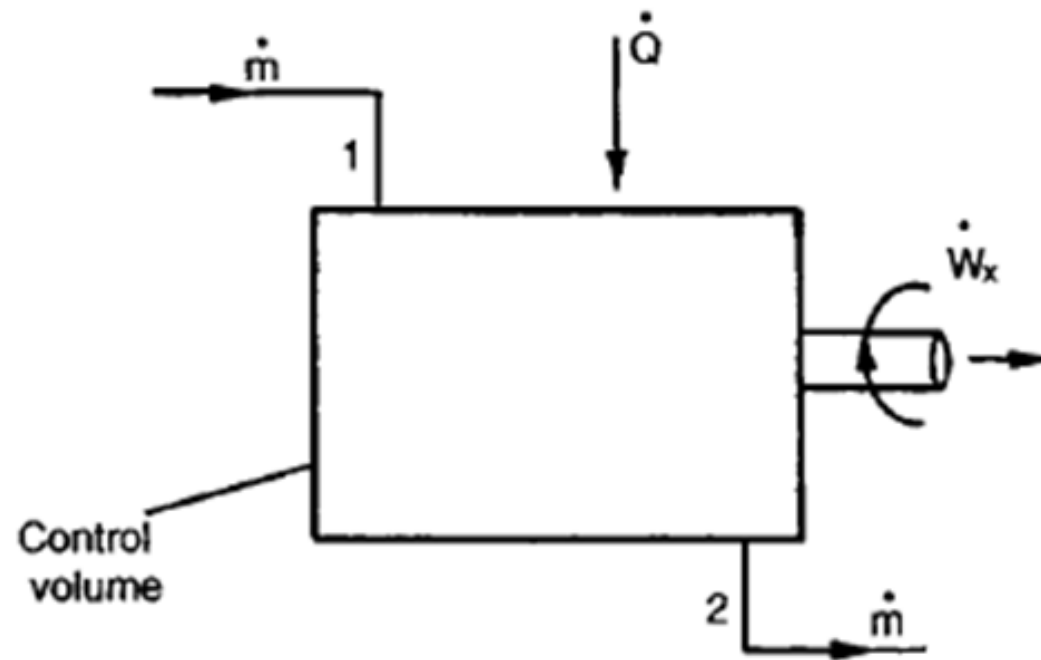
Une **pompe centrifuge** à eau a les spécifications suivantes :

- Les données géométriques de **la roue radiale** : $r_1 = 100 \text{ mm}$, $r_2 = 200 \text{ mm}$
- Vitesse de rotation $N = 1500 \text{ rpm}$
- Débit volumique $Q_v = 18 \text{ l/s}$
- Le module de la vitesse absolue à l'entrée de la roue $V_1 = 4 \text{ m/s}$
- Le module de la vitesse absolue à la sortie de la roue $V_2 = 25 \text{ m/s}$
- La vitesse V_1 fait à l'entrée de la roue un angle $\alpha_1 = 90^\circ$ avec la tangente à la roue.
- La vitesse V_2 fait à la sortie de la roue un angle $\alpha_2 = 9.21^\circ$ avec la tangente à la roue.

Calculez :

- a) Le couple,*
- b) La puissance mécanique.*
- c) Le travail spécifique*
- d) La hauteur manométrique (hauteur de charge).*

Plus



$$\dot{Q} - \dot{W}_x = \dot{m}[(h_2 - h_1) + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1)],$$

Chapitre 1

(4 semaines)

Définitions et théorie générale des turbomachines

- Classifications des turbomachines
- Théorie générales, théorème d'Euler
- Diagramme de vitesse
- Hauteur, puissance
- Rendement des turbomachines
- Composante de l'énergie transférée
- Degré de réaction, variation de charge, degré de réaction