

Chapitre 4 : Turbines hydrauliques 3

1. Définitions..... 3

2. Classifications des turbines hydrauliques 3

2.1) Selon le type d'énergie à l'entrée de la turbine 3

2.2) Selon le sens d'écoulement à travers le coureur 4

2.3) Selon la tête à l'entrée de la turbine 5

2.4) Selon la vitesse spécifique de la turbine 6

3. Différents types de roue de turbine 6

4. Turbine Pelton..... 6

4.1) Définitions : 7

4.2) Composants de turbine Pelton 8

4.3) Dimension principale de la roue Pelton..... 11

4.4) Triangles de vitesses 12

4.5) La puissance développée par la turbine Pelton..... 13

4.6) Rendement 13

4.7) Calcul du débit volumétrique 14

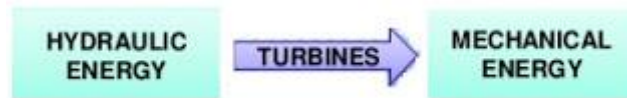
4.8) Vitesse spécifique basée sur la puissance pour la turbine 14

4.9) La classification des turbines hydrauliques en fonction de leur vitesse spécifique 15

Chapitre 4 : Turbines hydrauliques

1. Définitions

Les turbines hydrauliques sont fondamentalement définies comme les machines hydrauliques qui convertissent l'énergie hydraulique en énergie mécanique et cette énergie mécanique sera donnée à un générateur pour produire de l'énergie électrique.



Maintenant, il y aura une question sur la façon dont cette énergie mécanique sera donnée au générateur électrique. Le générateur électrique sera directement couplé à la turbine hydraulique et donc l'énergie mécanique, développée par les turbines hydrauliques, sera transmise au générateur électrique et donc l'énergie mécanique sera convertie en énergie électrique.

L'énergie électrique développée à partir de l'énergie hydraulique sera considérée comme l'énergie hydroélectrique. Nous avons utilisé ici le terme d'énergie hydraulique qui indique l'énergie de l'eau. Dans une turbine hydraulique, l'eau est utilisée comme source d'énergie.

2. Classifications des turbines hydrauliques

Les turbines hydrauliques seront classées en fonction du type d'énergie disponible à l'entrée de la turbine hydraulique, du sens d'écoulement à travers les aubes, de la hauteur à l'entrée de la turbine hydraulique et de la vitesse spécifique de la turbine hydraulique.

2.1) Selon le type d'énergie à l'entrée de la turbine

a) Turbine à impulsion (Action) :

Si l'énergie disponible à l'entrée de la turbine hydraulique n'est que de l'énergie cinétique, la turbine hydraulique sera considérée comme turbine à impulsion.

Le type prédominant de machine à action (impulsions) est la turbine **Pelton**, qui convient à une plage de charges d'environ 150 à 2 000 m.

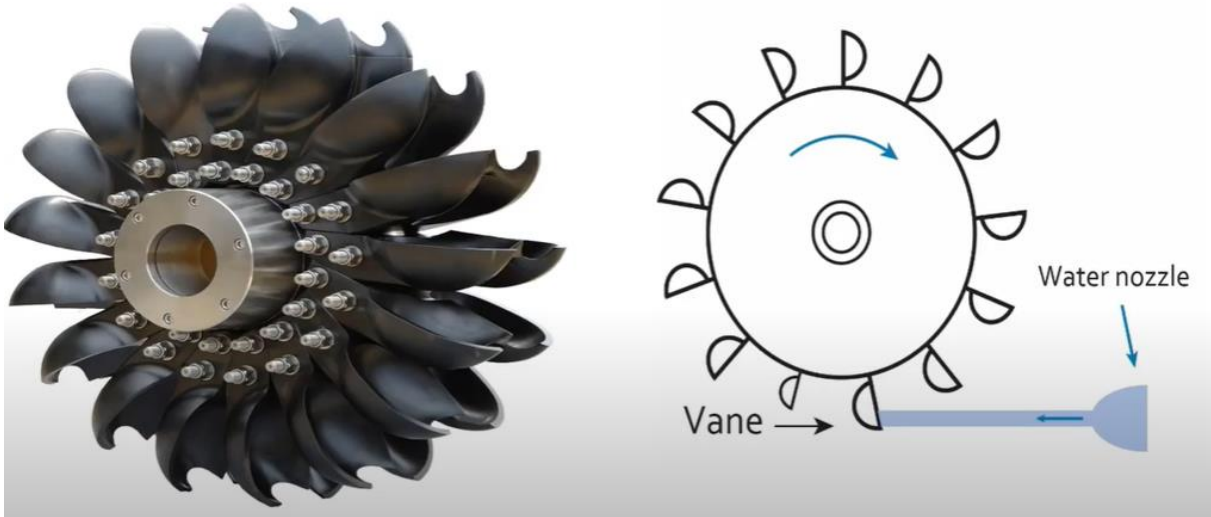


Figure 1: Turbine Pelton

b) Turbine de réaction :

Si l'énergie disponible à l'entrée de la turbine hydraulique est l'énergie cinétique et l'énergie de pression, la turbine hydraulique sera considérée comme turbine de réaction.

La turbine de réaction est en outre subdivisée en type **Francis**, qui est caractérisé par une roue à aubes à écoulement radial, et le type **Kaplan** ou hélice, qui est une machine à écoulement axial.

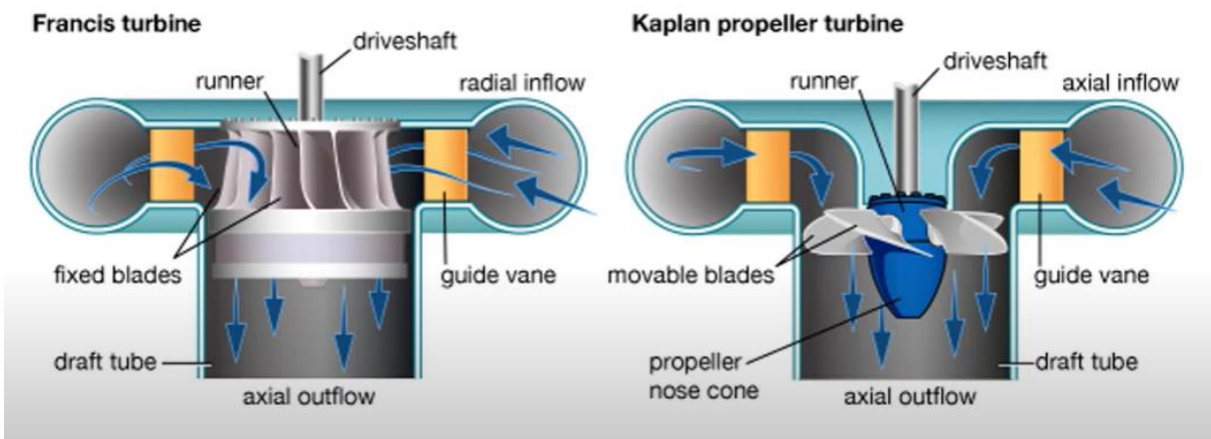


Figure 2 : turbine Kaplan et turbine Francis

2.2) Selon le sens d'écoulement à travers le coureur

a) Turbine à flux tangentiel :

Si l'eau s'écoule le long de la tangente de la roue, la turbine hydraulique sera considérée comme une turbine à flux tangentiel.

b) Turbine à flux radial :

Si l'eau s'écoule en direction radiale à travers la roue, la turbine hydraulique sera considérée comme une turbine à flux radial.

Si l'eau s'écoule en direction radiale à travers la roue de l'extérieur vers l'intérieur, la turbine hydraulique sera considérée comme une turbine à flux radial vers l'intérieur.

Si l'eau s'écoule en direction radiale à travers la roue de l'intérieur vers l'extérieur, la turbine hydraulique sera considérée comme une turbine à écoulement radial vers l'extérieur

c) Turbine à flux axial :

Si l'eau s'écoule à travers la roue suivant la direction parallèle à l'axe de rotation de la roue, la turbine hydraulique sera considérée comme une turbine à flux axial.

d) Turbine à flux mixte

Si l'eau s'écoule à travers la roue dans le sens radial mais part dans la direction parallèle à l'axe de rotation de la roue, la turbine hydraulique sera considérée comme une turbine à flux mélangé.

2.3) Selon la tête à l'entrée de la turbine

a) Turbine haute pression

b) Turbine moyenne pression

c) Turbine basse pression

2.4) Selon la vitesse spécifique de la turbine

- a) Turbine à faible vitesse spécifique
- b) Turbine à vitesse spécifique moyenne
- c) Turbine à vitesse spécifique élevée

3. Différents types de roue de turbine

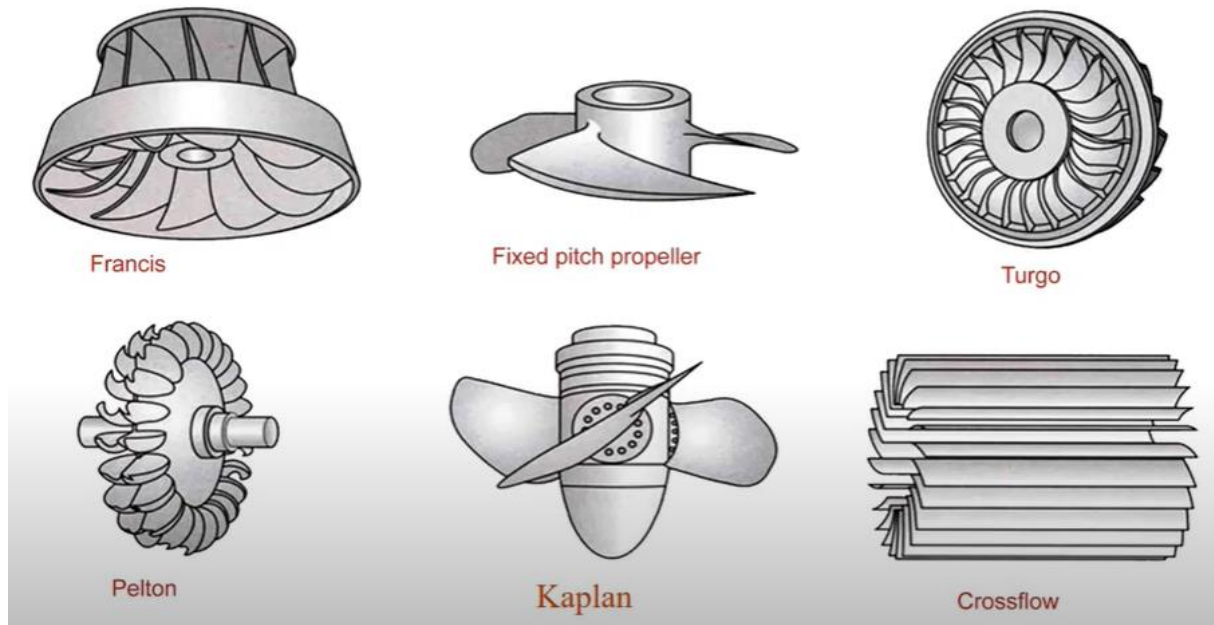


Figure 3: Différents types de roue de turbine

4. Turbine Pelton

Un ingénieur américain Lester Allan. Pelton a découvert cette turbine (Fig. 1) en 1880. Elle fonctionne sous de très hautes chutes (jusqu'à 2000 m.) Et nécessite comparativement moins de quantité d'eau. Il s'agit d'une turbine à impulsions (Action) pure dans laquelle un jet de fluide délivré se fait par la buse à grande vitesse sur les augets. Ces augets sont fixés sur la périphérie d'une roue circulaire (également appelée patin), qui est généralement montée sur un arbre horizontal. La principale caractéristique de la turbine à impulsions par rapport à la mécanique des fluides est la production d'énergie lorsque le jet est dévié par la ou les aubes mobiles.

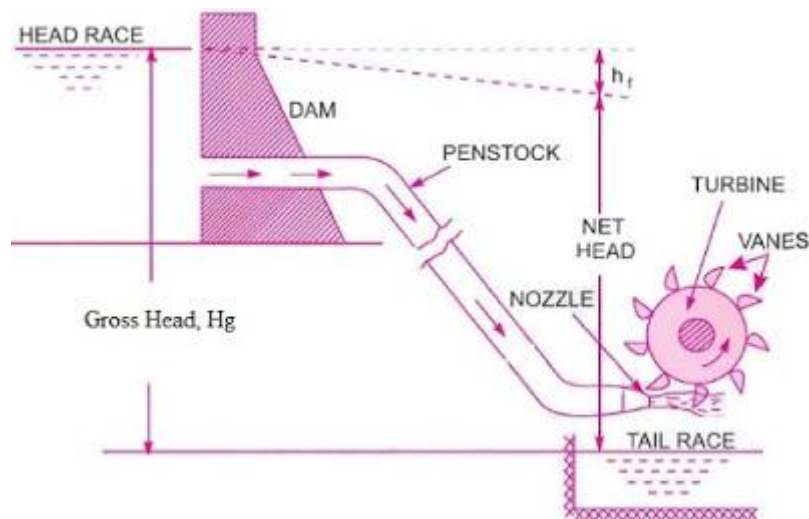
L'impact de l'eau sur les augets fait tourner la roue et développe ainsi de l'énergie mécanique. Les augets dévient le jet d'un angle d'environ 160 et 165° dans le même plan que le jet. Après avoir travaillé sur les augets, l'eau est évacuée dans le canal de fuite et tout le transfert d'énergie de la sortie de la buse au canal de fuite a lieu à pression constante.

Les augets sont formés de telle sorte que l'eau entre tangentiellement au milieu et se décharge vers l'arrière et s'écoule à nouveau tangentiellement dans les deux directions pour éviter une poussée sur la roue. Le carter d'une roue Pelton n'assure aucune fonction hydraulique. Mais il est nécessaire de protéger la roue contre les accidents et également d'éviter les éclaboussures d'eau et de conduire l'eau vers le canal de fuite.

4.1) Définitions :

a) Hauteur de chute brute (Gross Head H_g)

La hauteur de chute brute est essentiellement définie comme la différence d'altitude entre le niveau de l'eau en amont et la turbine. La hauteur brute sera indiquée par H_g comme indiqué ici dans la figure suivante.



b) Hauteur de chute nette (Net Head H)

La hauteur de chute nette est la différence entre la hauteur de chute brute et la somme totale des pertes de charges. Lorsque l'eau s'écoulera de niveau de l'eau en amont vers la turbine, il y aura des pertes de charge dues au frottement entre l'eau et la conduite forcée. Il y aura aussi d'autres pertes de charge telles que la perte de charge due au pliage, au montage, à l'entrée de la conduite forcée etc. Il faut noter ici que ces pertes seront très moindres et pourraient être négligées lorsque l'on compare avec les pertes de charge dues au frottement.

La tête nette disponible à l'entrée de la turbine peut être écrite comme mentionné ici.

$$\text{Charge nette, } H = \text{charge brute } (H_g) - \text{perte de charge due au frottement } (h_f)$$

4.2) Composants de turbine Pelton

Les principales pièces de la turbine Pelton sont :

- 1- Arrangement de régulation de la buse et du débit
- 2- Roue et augets
- 3- Couvercle ou Carter
- 4- Jet d'eau

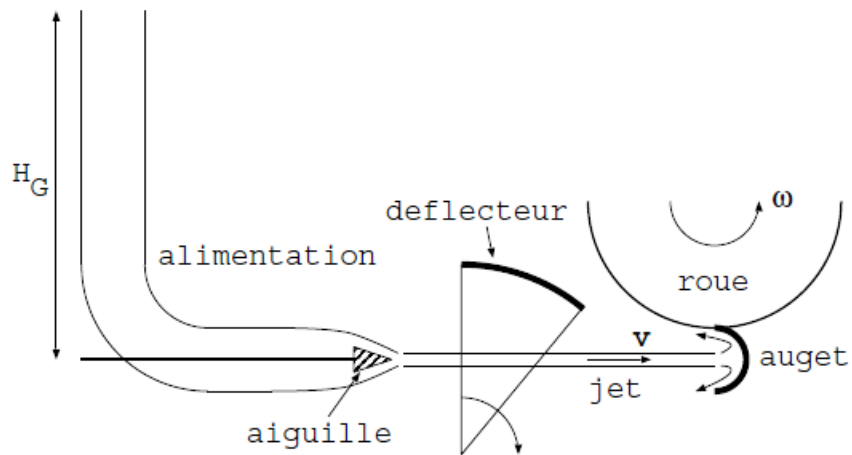
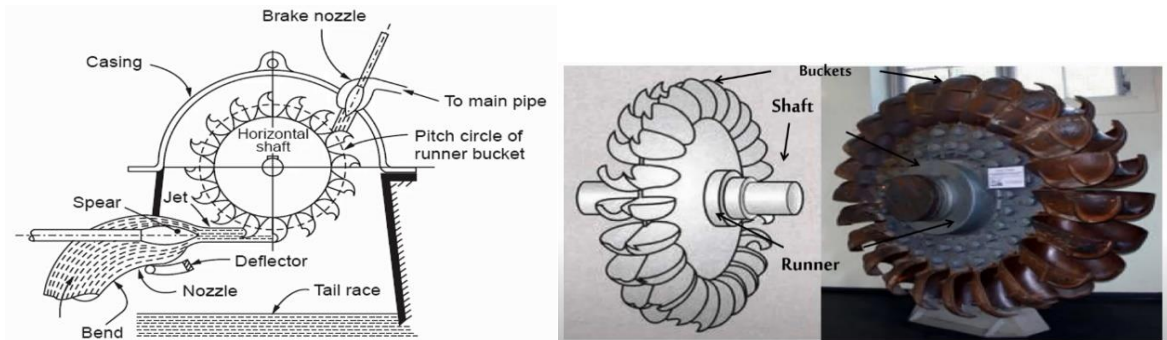
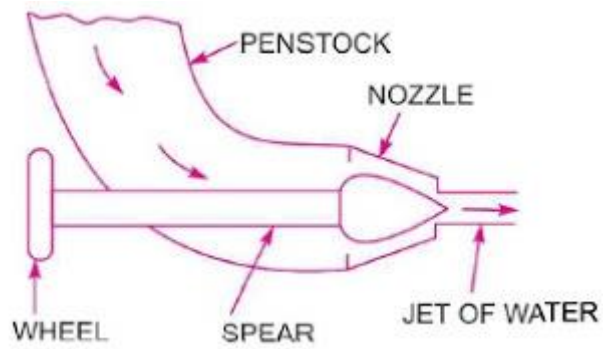


Figure 4 : Composants de la roue Pelton

a) Arrangement de régulation de la buse et du débit

La quantité d'eau qui frappera les augets de la roue sera contrôlée par la disposition de la lance dans la buse, comme indiqué ici dans la figure suivante.



La lance est essentiellement une aiguille conique qui sera actionnée au volant automatiquement dans la direction axiale en fonction de la taille de l'unité.

Afin de réduire la quantité d'eau frappant les augets de la roue, la lance sera déplacée vers l'avant dans la buse. De même, afin d'augmenter la quantité d'eau frappant les augets de la roue, la lance sera déplacée vers l'arrière dans la buse.

b) Roue et augets

La figure suivante, affichée ici, indique une roue Pelton. Il comportera un disque circulaire et un certain nombre de augets seront fixés uniformément sur la surface de périphérie de ce disque circulaire.



Figure 5 : Roue Pelton

La forme de l'auget sera une coupe ou un bol hémisphérique double. Chaque auget sera divisé en deux parties symétriques par une paroi de séparation appelée séparateur.

Le jet d'eau frappera le séparateur et donc le jet d'eau sera divisé en deux parties par le séparateur et le jet d'eau sortira sur le bord extérieur de l'auget. Les augets seront formés de manière à ce que le jet d'eau soit dévié de 160 ou 170 degrés.

La sélection des matériaux des augets sera basée sur la tête à l'entrée de la turbine. Les augets sont généralement en fonte, en acier inoxydable ou en acier moulé.

c) Couvercle ou carter

La figure suivante indique le boîtier d'une turbine hydraulique à roue Pelton.

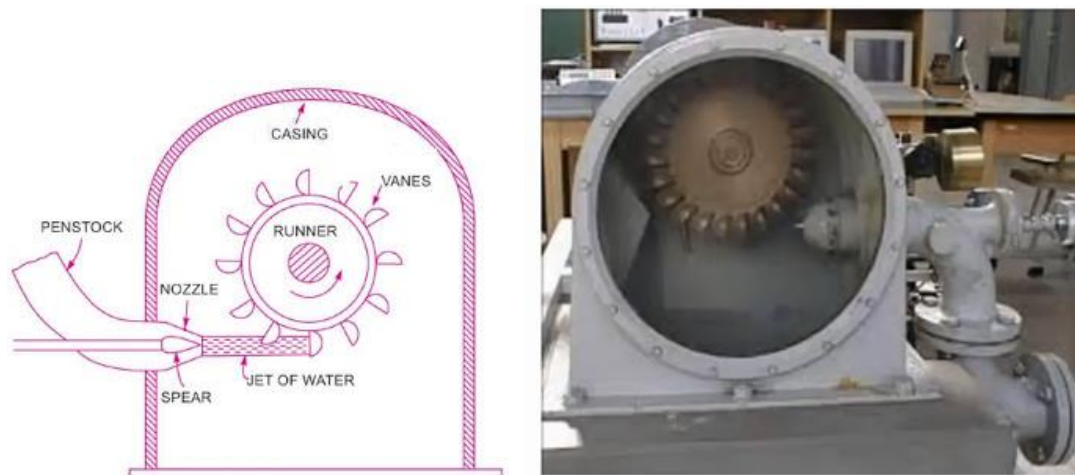


Figure 6 : Carter de la turbine Pelton

Il n'y a pas de fonction hydraulique qui sera effectuée par le carter de la turbine à roue Pelton. L'enveloppe est essentiellement utilisée pour empêcher les éclaboussures d'eau et pour évacuer l'eau vers la course de queue.

Le boîtier offre également la protection contre tout accident. Le matériau de moulage du carter de la turbine à roue Pelton sera de la fonte ou des plaques d'acier fabriquées.

d) Jet de rupture (buse de frein)

Comme nous l'avons déjà mentionné, afin de réduire la quantité d'eau frappant les augets de la roue, la lance sera déplacée vers l'avant dans la buse.

Lorsque la buse est complètement fermée en déplaçant la lance vers l'avant, la quantité d'eau frappant les augets de la roue sera nulle.

Mais comme nous sommes bien conscients que la roue continuera à bouger pendant longtemps en raison de son inertie et donc un jet de rupture sera fourni pour arrêter la roue dans un court intervalle de temps.

Une buse est prévue pour diriger le jet d'eau sur l'arrière des augets et ce jet d'eau sera appelé jet de rupture ou de frein.

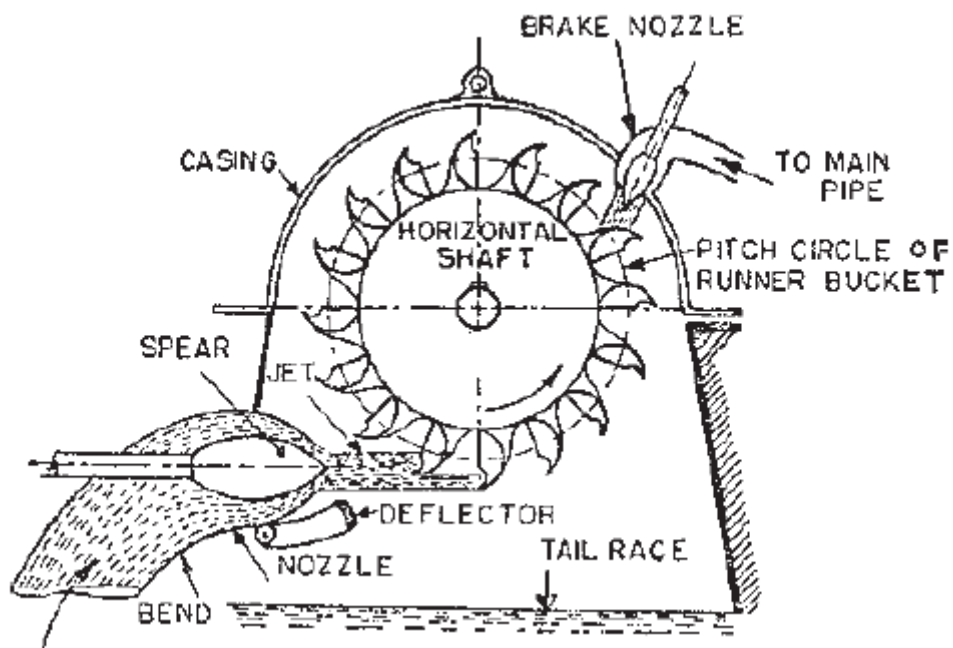


Figure 7 : Turbine Pelton mono-jet à arbre horizontal.

4.3) Dimension principale de la roue Pelton

D : Diamètre de la roue

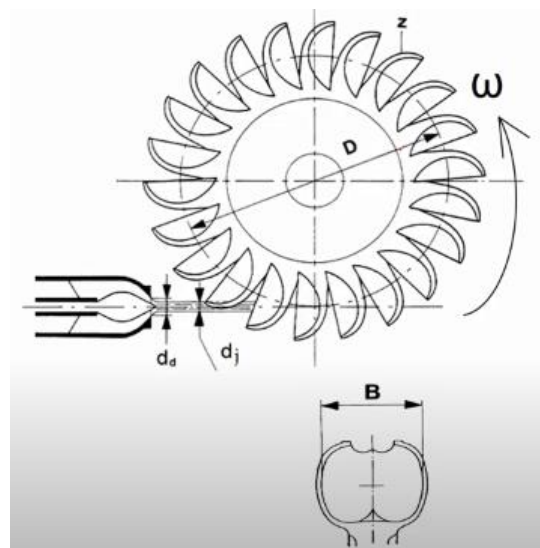
d_j : Diamètre du jet d'eau

Z : nombre de godets. $Z = \frac{D}{2d_j} + 15$

Ω : la vitesse angulaire de la roue $\omega = \frac{2\pi N}{60}$

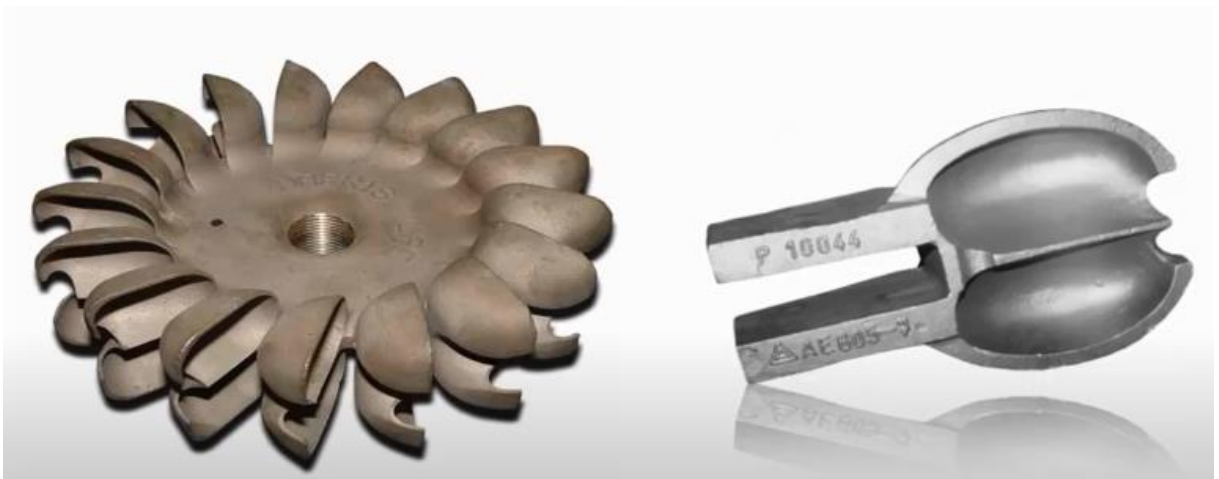
Avec N la vitesse en tr/min et $u = r \omega$ c'est la vitesse linéaire.

d_a : diamètre de la buse



4.4) Triangles de vitesses

Les diagrammes de vitesse de la roue (Turbine) Pelton sont illustrés à la Fig. 1. Puisque l'angle d'entrée du jet est presque nul, le triangle de vitesse d'entrée est une ligne droite, comme le montre la Fig. è. Si l'auget est mis au repos, la vitesse relative du fluide, V_{r1} , est donnée par :



V_{r1} = vitesse du jet - vitesse du augets (La roue)

$$V_{r1} = V_1 - u$$

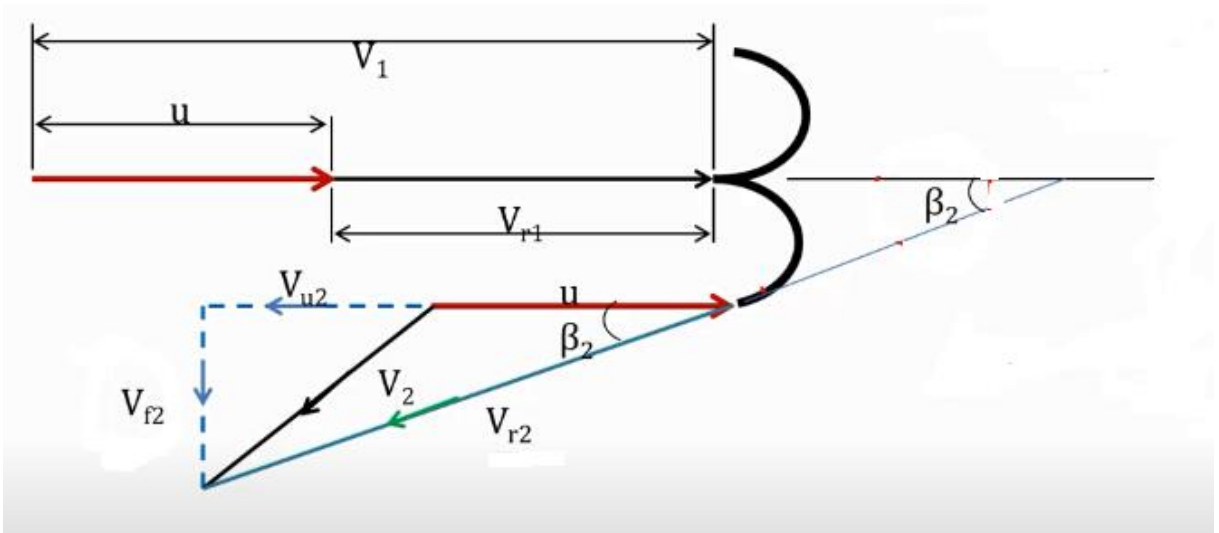


Figure 8 : triangle de vitesses

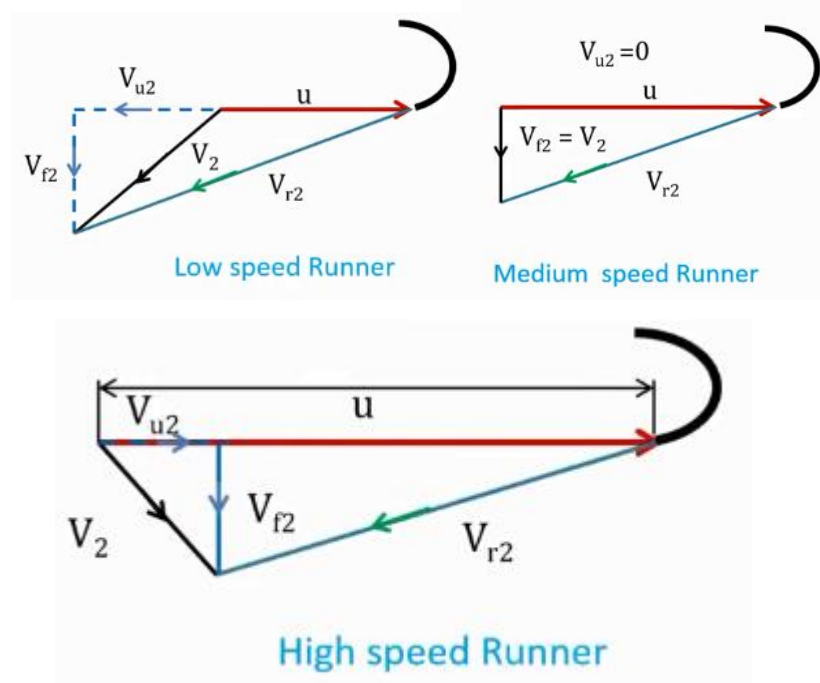
V_1 : la vitesse absolue de l'eau à l'entrée.

V_2 : la vitesse absolue de l'eau à la sortie.

V_u : la composante tangentielle de la vitesse absolue.

V_f : la vitesse d'écoulement (la composante radiale de la vitesse absolue)

a) *Formes du triangle de vitesse de sortie*

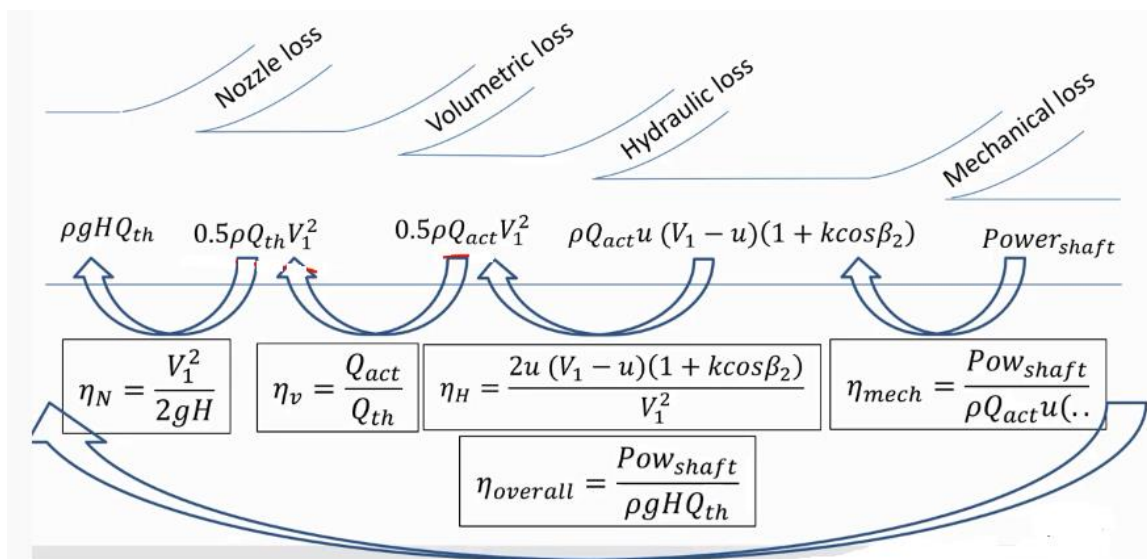


4.5) *La puissance développée par la turbine Pelton*

La puissance hydraulique est la puissance fournie à la turbine par l'eau qui l'alimente.

$$P_s = \rho Q u (V_1 - u)(1 + k \cos(\beta_2))$$

4.6) *Rendement*



4.7) Calcul du débit volumétrique

Les pertes de charge se produisent dans les canalisations qui acheminent l'eau vers la buse en raison des frottements et des courbures. Les pertes se produisent également dans la buse et sont exprimées par le coefficient de vitesse, C_v .

La vitesse maximale du jet en sortie de l'injecteur et d'après l'équation de Bernoulli est :

$$V_{1th} = \sqrt{2gH} \quad \text{C'est la vitesse théorique.}$$

A cause d'un frottement au niveau de la buse de l'injecteur on introduit un coefficient de frottement donné par le constructeur qu'est : $C_v = \frac{\text{vitesse réelle}}{\text{vitesse théorique}}$ avec C_v c'est le coefficient de vitesse. Donc $V_1 = C_v \sqrt{2gH}$

4.8) Vitesse spécifique basée sur la puissance pour la turbine

La vitesse spécifique d'une turbine est la vitesse à laquelle la turbine tournera lorsqu'elle développe une puissance unitaire (KW) sous une unité de hauteur (m). Il s'agit des caractéristiques d'une turbine. Pour un ensemble de turbines géométriquement similaires, la vitesse spécifique aura la même valeur.

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{(H)^{5/4}}$$

Avec :

- N : la vitesse (tr/mn)
- H : la hauteur disponible (m)
- P ; la puissance en (ch)
- 1 ch = 735 w

4.9) La classification des turbines hydrauliques en fonction de leur vitesse spécifique

Turbine		Type of energy	Head	Discharge	Direction of flow	Specific Speed
Name	Type					
Pelton Wheel	Impulse	Kinetic	High Head > 250m to 1000m	low	Tangential to runner	Low <35 Single jet 35 — 60 Multiple jet
Francis Turbine	Reaction Turbine	Kinetic + Pressure	Medium 60 m to 150 m	Medium	Radial flow	Medium 60 to 300
Ka plan Turbine					Mixed Flow	
			Low < 30 m	High	Axial Flow	High 300 to 1000

Exemple 01 :

Une installation hydroélectrique a les caractéristiques suivantes: $P = 45 \text{ MW}$, $H = 720 \text{ m}$,
 $n = 720 \text{ tr/mn}$, $\eta = 0.9$.

On considère qu'il n'y a pas des pertes ni dans la conduite forcée, ni dans l'injecteur

Déterminer :

- Le type de turbine
- Le débit
- Les composantes des vitesses V_1 , V_{r1} , V_{r2} ($D=1.5\text{m}$)

Solution :

- La vitesse spécifique.

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{(H)^{5/4}} = \frac{720 \sqrt{45 \cdot 10^6 / 735}}{(720)^{5/4}} = 47.75 \Rightarrow \text{c'est une turbine Pelton}$$

- Le débit

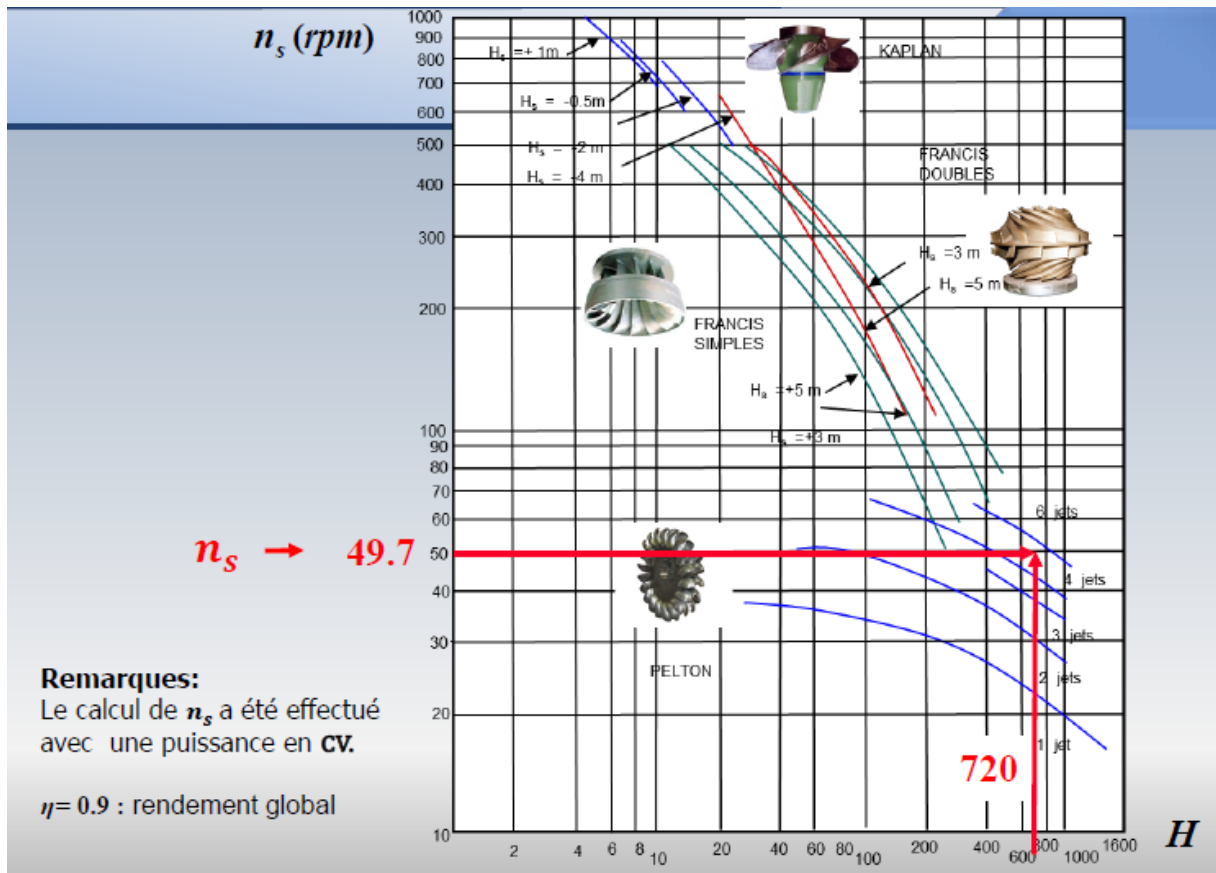
$$\eta = \frac{P_s}{P_e} = \frac{P_s}{\rho g H Q_v} \Rightarrow Q_v = \frac{P_s}{\eta \rho g H} \quad \text{A.N} \quad Q_v = \frac{45 \cdot 10^6}{0.9 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 720} = 7.078 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Les composantes des vitesses

$$V_1 = \sqrt{2 g H} = 118.85 \text{ m/s}$$

$$V_{r1} = V_1 - u = 62.30 \text{ m/s}$$

$$V_{r2} = V_{r1}$$



Exemple 02 :

Une turbine Pelton génère une puissance de $P = 67.5 \text{ kW}$, opère sous une chute de $H = 60 \text{ m}$ et tourne à $N = 400 \text{ tr/mn}$. Le diamètre de la conduite forcée est $d = 200 \text{ mm}$. Le rapport entre la vitesse des augets u et la vitesse du jet v_j est $u/v_j = 0.46$. Le rendement est $\eta = 83\%$

Déterminer:

- Le débit.
- Le diamètre du jet (un seul injecteur)
- Le diamètre de la roue
- La vitesse spécifique.

Soltion :