

## Chapitre 4 : les Turbines hydrauliques

### 4.1 Classification, installation et caractéristiques

Les turbines hydrauliques composées d'un stator et d'un rotor sont des turbomachines à fluide incompressible, réceptrices d'énergie où le transfert d'énergie s'effectue du fluide vers la roue à aubes ou augets.....

Une turbine hydraulique est un moteur rotatif entraîné par une veine d'eau sous pression amenée par une conduite forcée. L'élément de base d'une turbine est une roue ou un rotor à ailettes, à hélice, à lames, à aubes ou à augets disposés sur sa circonférence, de façon que le fluide en mouvement exerce une force tangentielle qui fait tourner la roue et lui confère de l'énergie. Cette énergie mécanique est ensuite transmise par un arbre qui fait tourner un générateur à titre d'exemple.

Dans le langage courant, le terme turbine désigne une installation de production d'énergie, la turbine étant parfois constitué de plusieurs étages. Les premières turbines connues sont des éoliennes, utilisés, pour irriguer les cultures.

La forme la plus ancienne et la plus simple de turbine hydraulique est la roue hydraulique, utilisée pour la première fois dans la Grèce antique et adoptée ensuite pour moudre le grain dans la majeure partie de l'Europe ancienne et médiévale. Elle était constituée d'un arbre vertical muni d'aubes ou de pales radiales, placés dans un petit ruisseau.

La turbine hydraulique transforme en énergie mécanique l'énergie potentielle ou cinétique contenue dans l'eau d'un lac, d'une rivière, d'une chute d'eau, ou d'une quelconque dénivellation. Dans une installation employant une turbine hydraulique, on trouve toujours une bêche d'alimentation, qui permet à l'eau de s'écouler jusqu'à l'entrée de la turbine. C'est un distributeur muni d'aubes, qui dirigent convenablement le jet d'eau pour qu'il arrive sur la roue mobile avec le minimum de perte. La roue de la turbine, équipée d'ailettes ou d'augets, est mise en rotation par la force centrifuge de l'eau sous pression.

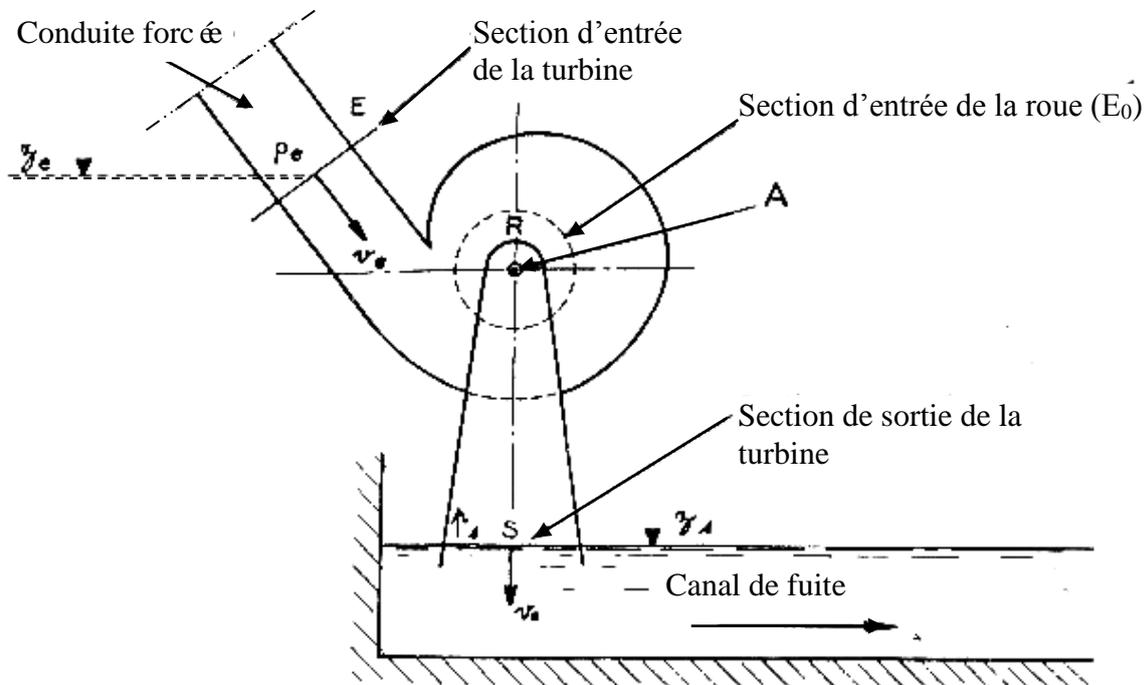
Les turbines hydrauliques sont surtout employées pour produire de l'électricité. Dans les installations à turbine hydraulique modernes, on a privilégié l'accroissement des hauteurs de chutes d'eau et l'augmentation de la taille des unités pour accroître la puissance fournie par les turbines. Aujourd'hui, avant de réaliser un système de turbine de grande puissance, on développe des modèles réduits pour étudier le comportement de la roue de turbine en fonction de la hauteur de chute. Les lois de similitude permettent de savoir, de manière assez précise, quelles seront les caractéristiques de la turbine hydraulique à réaliser.

#### Installation

Les turbines hydrauliques sont montées à l'extrémité d'une conduite forcée, d'une conduite gravitaire ou encore une conduite d'amenée entre une réserve de fluide incompressible et un canal de fuite. Le problème est d'amener la masse de un kilogramme de fluide depuis la réserve jusqu'au canal de fuite en lui demandant le travail le plus élevé possible en tenant compte ou non des pertes de charges dans la conduite gravitaire.

La turbine comporte une section d'entrée confondue avec l'extrémité aval de la conduite forcée ou gravitaire et une section de sortie confondue avec l'extrémité amont du canal de

fuite. A l'intérieur, l'élément essentiel est une roue (R) mobile entraînant un arbre (A) sur lequel est recueillie la puissance mécanique. Le débit est dirigé sur la roue par un organe appelé distributeur.



:

La roue d'une turbine reçoit l'eau à une pression supérieure ou égale à la pression atmosphérique par l'intermédiaire du distributeur.

Le distributeur produit la mise en vitesse de l'eau, c'est-à-dire transforme l'énergie qui est presque entièrement sous forme de pression à l'entrée de la turbine en énergie sous la forme mixte pression-vitesse, ou seulement sous la forme vitesse.

On numérote l'installation en précisant les entrées et sorties et l'application de l'équation de l'énergie, on détermine l'expression du travail et par la suite la hauteur de chute nette. Si on tiens compte des frottements visqueux on détermine la hauteur utile soit un travail utile. Le rendement hydraulique est le rapport entre la hauteur utile et la hauteur nette. Le rendement mécanique est le rapport entre la hauteur effective (tenant compte des frottements mécaniques) et la hauteur utile. Le rendement global est le produit des deux rendements précédents.

Les turbines hydrauliques se classent en deux catégories principales qui sont :

- les turbines Francis ou hélico-centrifuges, les turbines hélice et les turbines Kaplan c'est des turbines à réaction à injection totale conçues pour les bases et moyennes chutes et pour les grands débits. Le degré de réaction est différent de zéro (transformation d'énergie dans le stator et dans le rotor).
- la turbine Pelton qui elle est du type à action à injection partielle conçu pour les moyennes et très hautes chutes. Le degré de réaction est égal à zéro (transformation d'énergie entièrement dans le stator).

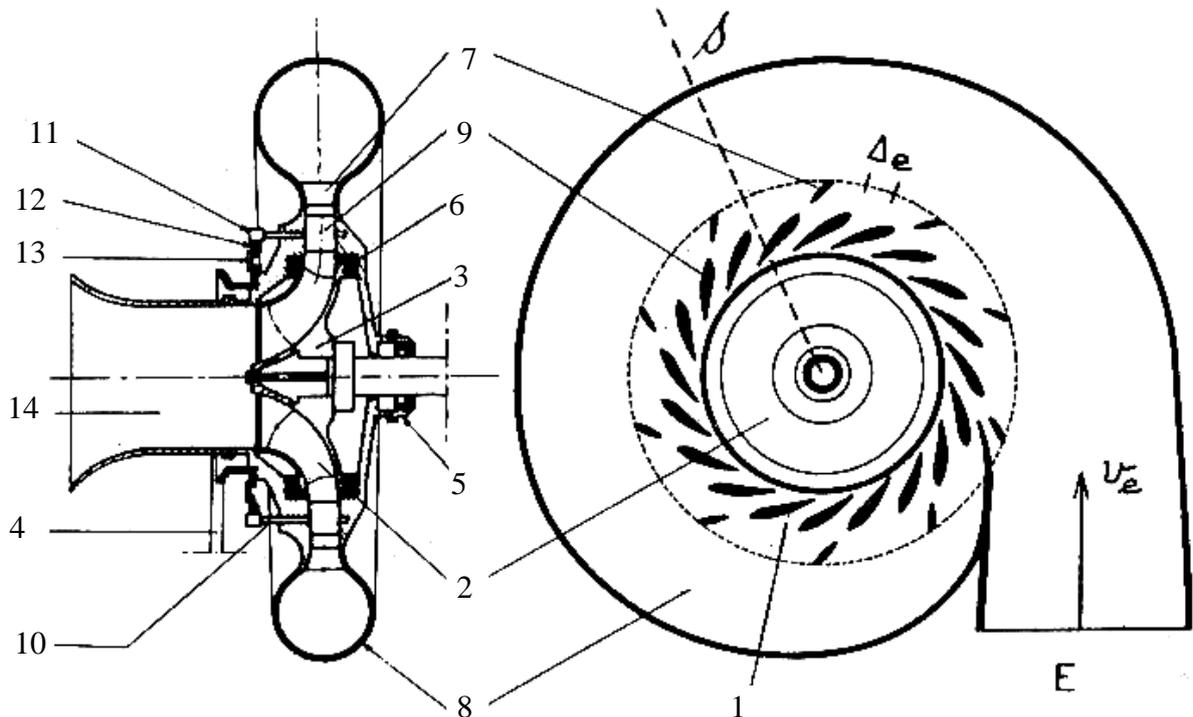
### 4.3 Turbines à veine forcée ou à réaction (Turbines Kaplan et Francis)

Les deux principaux types de turbines appartenant à cette catégorie sont :

- les turbines Francis ou hélico-centrifuges,
- les turbines hélice et les turbines Kaplan.

Ces différents types se distinguent les uns des autres surtout par la forme des roues.

#### Composants d'une turbine à réaction



1- Roue 2- Aube 3- Plafond de roue 4- Tige de manœuvre reliée au servomoteur 5- Presse – étoupe 6- Joint labyrinthe 7- avant direction 8- Bâche spirale 9- Directrice 10- Axe de direction 11- Levier de direction 12- Bielle de rupture 13- Bielle de direction 14- Aspirateur

#### Organes fixes (Stator)

##### Bâche spirale :

C'est une conduite en forme de colimaçon de section progressivement décroissante, reliée, d'une part, à l'extrémité aval de la conduite forcée et, d'autre part à la section d'entrée du distributeur. Le débit à travers une section droite  $s$  de la bâche décroît à mesure que la section s'éloigne de l'entrée dans le sens de l'écoulement. La bâche est tracée de façon telle que le débit passant à travers chaque arc du cercle de la section d'entrée du distributeur soit constant ; cette condition conduit à donner à une section de cette conduite perpendiculaire à l'axe une forme de spirale logarithmique.

### Distributeur :

Le distributeur, destiné à régler le débit, doit donner à l'eau une circulation convenable à l'entrée de la roue.

### Diffuseur (Aspirateur) :

Le diffuseur est la conduite d'évacuation de l'eau à la sortie de la roue ; il présente une forme d'un cône légèrement divergent.

### **Roue (Rotor)**

La roue comporte un certain nombre d'aubes fixées à un arbre de rotation disposé soit horizontalement, soit verticalement. La forme des aubes est déterminée de façon à remplir les deux conditions suivantes :

- les filets liquides doivent être déviés pendant leur passage dans la roue de façon à être soumis à des forces centrifuges qui exercent une poussée sur les aubes et produisent un couple moteur sur l'arbre.
- Les filets liquides qui pénètrent dans la roue dans des plans perpendiculaires à l'arbre doivent être redressés par les aubes de façon qu'à la sortie de la roue ils soient aussi voisins que possible à parallèle à l'axe.

Suivant l'importance de l'effet de redressement parallèle à l'arbre des filets liquides, on distingue principalement deux types de roue à réaction :

- roue hélico-centripète (ou roue Francis),
- roue hélice ou axiale (ou roue de Kaplan).

### **Roue Hélico-centripète**

Elle dérive directement de la roue centripète qui n'est pas utilisée en pratique. Les aubes sont des surfaces gauches de forme telle que les trajectoires absolues des particules liquides soient des hélices tracées des surfaces de forme conique. Les aubes sont fixées entre deux surfaces de révolution de forme appropriée, guidant l'eau.

### **Roue Hélice :**

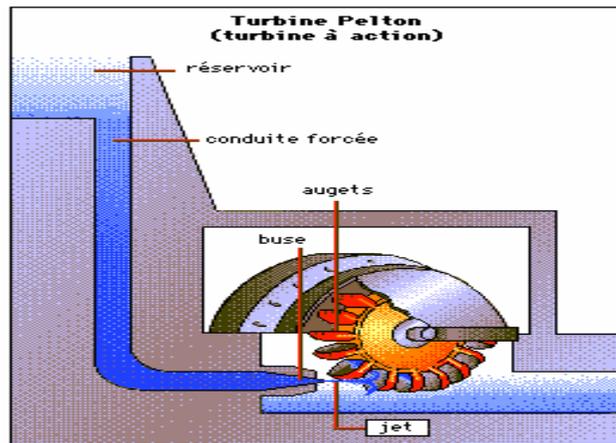
La roue hélice ou axiale est roue à pas variable, chacune des pales peut tourner autour d'un axe perpendiculaire à l'arbre de rotation. Le nombre de pales est compris entre 4 et 8, la roue ne comporte plus de surfaces de guidage extérieur.

L'étude énergétique consiste à déterminer les variables physiques du fluide depuis l'entrée jusqu'à la sortie de la turbine en utilisant l'équation de continuité, l'équation de l'énergie, le diagramme des vitesses et l'équation d'Euler.

## **4.2 Turbine à action (Turbine Pelton)**

Pour les très hautes chutes supérieures à 200 m, on utilise la turbine Pelton. Dans cette turbine à axe vertical, l'eau est amenée depuis un réservoir supérieur par un long tuyau, appelé

conduite forcée, jusqu'à une tuyère (injecteur), où son énergie potentielle est convertie en énergie cinétique. Le jet obtenu est alors dirigé perpendiculairement à l'axe de la turbine, à l'aide d'un injecteur (qui remplace la bêche spirale), sur des augets incurvés (en général une vingtaine). Le jet incident «rebondit» contre les augets qui entraînent en rotation la roue sur laquelle ils sont fixés. On produit ainsi de l'énergie mécanique à partir de l'énergie cinétique du jet incident. L'action de la roue de Pelton dépendant surtout de l'action du jet sur la roue, ce type de turbine est également appelé turbine à action.



L'étude énergétique de la turbine Pelton donne les résultats suivants:

### Etude de l'injecteur :

#### 1<sup>er</sup> cas :

Si on néglige les pertes des charges dans l'injecteur (buse) on applique l'équation de Bernoulli sur les trajets du fluide on obtient l'expression de la vitesse du fluide à l'entrée de l'auget ( $C_3$ ):

$$C_3 = \sqrt{2gHn}$$

#### 2<sup>ème</sup> cas :

Si on tient compte des pertes des charges on trouve :

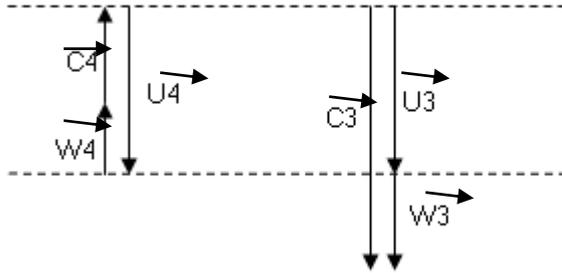
$$C_3 = 0.97\sqrt{2gHn}$$

Le débit de l'injecteur est donné par :

$$q_v = S_3 C_3 \quad \text{avec} \quad S_3 = \frac{\pi d_{inj}^2}{4}$$

### Etude de la roue :

Le fluide aborde l'auget au point (3) et le quitte au point (4)



$$U = W \cdot r_{\text{roue}}$$

On utilise l'équation de l'énergie pour un observateur sur la roue, les triangles de la vitesse en (3) et (4), et la relation d'Euler :

$$W_U = U (C_4 - C_3)$$

On trouve :

$$W_U = -2U (C_3 - U).$$

Dans la pratique on prend :

$$U = (0.42 \text{ à } 0.49) C_3$$

Et :

$$H_U = W_U / g$$

La valeur maximale de la hauteur de charge utile disponible du niveau de l'auget est obtenue par :

$$\frac{dH_U}{dU} = 0$$