

Chapitre 3

L'énergie Hydraulique

Introduction

Dans un barrage hydroélectrique on exploite l'énergie mécanique de l'eau. Cette énergie provient de la force de gravitation, c'est-à-dire que plus la chute d'eau aura une hauteur importante plus l'énergie mécanique sera importante. En effet, on peut considérer que l'eau stocke une énergie potentielle de pesanteur lorsqu'elle est dans la retenue. Lorsque les vannes sont ouvertes, l'eau s'engouffre dans une conduite, et l'énergie potentielle de pesanteur se transforme en énergie cinétique. Donc, plus l'énergie potentielle de pesanteur est importante, c'est-à-dire une forte différence d'altitude entre la retenue d'eau et la centrale, plus l'énergie cinétique de l'eau au niveau de l'alternateur sera importante, donc une plus grande quantité d'électricité sera produite.

1. Définitions

La définition de l'énergie potentielle est :

$$W = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Avec :

W : énergie potentielle en Joules [J]

m : masse de l'eau en Kilogrammes [Kg]

g : accélération de la pesanteur en mètres/secondes² [m/s²]

h : hauteur de la chute d'eau en mètres, [m]

La définition de la puissance est :

$$P = \frac{W}{t} \quad (2)$$

Avec :

P : puissance utile de la chute d'eau en Watt, [W]

t : durée en secondes [s]

On peut alors calculer la puissance d'une chute d'eau en fonction de sa hauteur et de son débit:

$$P = \frac{\rho \cdot V \cdot g \cdot h}{t} \quad (3)$$

Avec :

ρ : Masse volumique en Kilogrammes/mètres³, [Kg/m³]

V : Volume en mètres cube, [m³]

Ce qui donnera au final :

$$P = \dot{Q} \cdot g \cdot h \quad (4)$$

Avec :

Q : Débit de la chute d'eau en mètres³/secondes, (m³/s)

On voit que, pour avoir une puissance importante, le produit Q.h doit être le plus élevé possible. L'idéal est d'avoir un grand débit sur une grande hauteur de chute. Malheureusement ces deux conditions sont rarement réunies.

2. Les différents types de barrages



2.1- Le barrage poids

Il utilise son propre poids pour résister à la force de l'eau retenue. De section triangulaire avec une base large très implantée dans le sol, il sollicite peu la résistance des berges. Dans certains terrains, c'est un avantage. Par contre, il utilise beaucoup de béton.

barrage de Castelnaud Lassouts, en Aveyron



2.2- Le barrage contrefort

Le mur en voûte ou dalle plate qui retient l'eau, est doublé de contreforts qui transmettent la force de l'eau vers le sol. Il nécessite moins de béton pour sa construction, il doit reposer sur un sol résistant et n'est pas nécessairement dans les vallées étroites.

barrage de la Girotonne, en Savoie



2.3- Le barrage voûte

Il est constitué d'une coque en béton à simple ou double courbure et dont l'extérieur est situé à l'amont. En effet, la force de pression de l'eau est transmise aux roches des parois de la vallée grâce à la forme courbe du barrage, qui peut donc être très mince.

barrage de Tignes, en Savoie



2.4- Le barrage en matériaux meubles

Il s'agit d'un barrage poids particulier, car il n'est pas réalisé en béton mais en enrochement de blocs de pierre ou en terre compactée, sans élément de liaison particulier. Il possède une base très large, et il comporte sur toute la hauteur un élément assurant l'étanchéité.

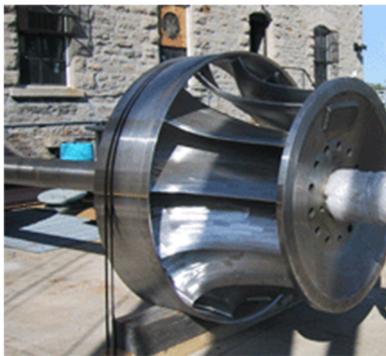
aménagement du Vieux Pré, en Meurthe-et-Moselle

3. Les différents types de turbine

La turbine constitue le cœur de l'installation hydroélectrique, puisque le type de turbine utilisé déterminera l'aménagement d'ensemble de l'installation. La conception hydraulique d'une turbine est déterminée par le débit de l'eau ainsi que la hauteur de chute d'un emplacement particulier. La turbine doit aussi tourner à une vitesse conforme à la vitesse d'un alternateur. La conception des turbines se divise en trois catégories.

3.1- Turbine de type centrifuge

Les turbines Francis



Utilisées par un fort rendement dans des chutes de 40 à 300 m. possédant des immenses réservoirs d'eau elles arrivent à développer une puissance régulière et forte qui couvre généralement les demandes d'électricité. Sa composition est une conduite en colimaçon ou bêche en spirale qui met l'eau sous pression dans les directrices (aubage) qui mettent en mouvement perpétuel la roue et l'arbre de la turbine. L'eau s'échappe ensuite au-dessous de la turbine.

3.2- Turbine de type axial

Les turbines Kaplan :



Les turbines à hélice ou à pas variable (Kaplan). Elles prennent profit des petites chutes de 15 à 30 m. Elles se trouvent au fil de l'eau et n'ont pas de réservoir. La Kaplan a la caractéristique de pouvoir être réglable lors de son fonctionnement. La roue à une forme d'hélice et on peut développer plusieurs variants pour réguler la puissance fournie et l'extraire ainsi des groupes "Bulbes" dont la technique a été développée pour l'usine marémotrice de la Rance, où l'alternateur est collé à la turbine et étanche ce qui

donne un niveau d'indépendance à la turbine tel qu'elle est capable d'être totalement immergée sous l'eau.

La turbine Crossflow

Ce type de turbine est utilisé pour de débits moyens et des chutes de 200 mètres. Son nom technique est turbine à flux traversant et l'eau est attrapée à l'intérieur des augets et traverse 2 fois la roue. Cette fois-ci l'injecteur de la roue est réglé par une aube rotative ouverte à l'aide d'un vérin hydraulique et fermé par un contrepoids. Les aubes sont cylindriques et profilées, et un bâti assure le positionnement des paliers de la turbine. L'une des particularités intéressantes de cette turbine est qu'elle est divisée en 2 parties et peut donc être mise en fonctionnement séparément ou ensemble dépendants des conditions. Elle est aussi autonettoyante car le flux de l'eau peut dégager les débris accumulés.

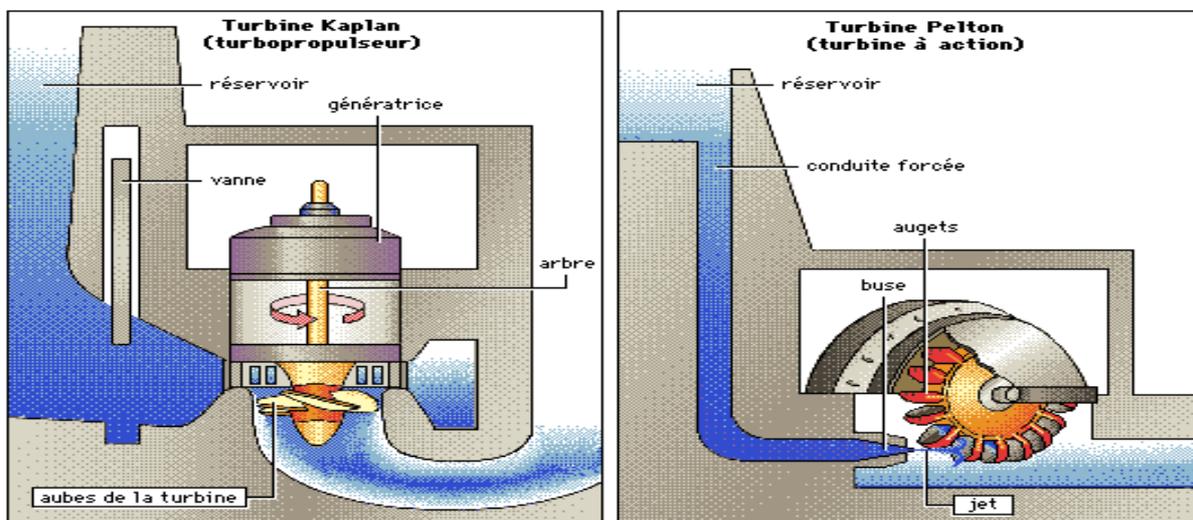


3.3- Turbine de type à impulsion

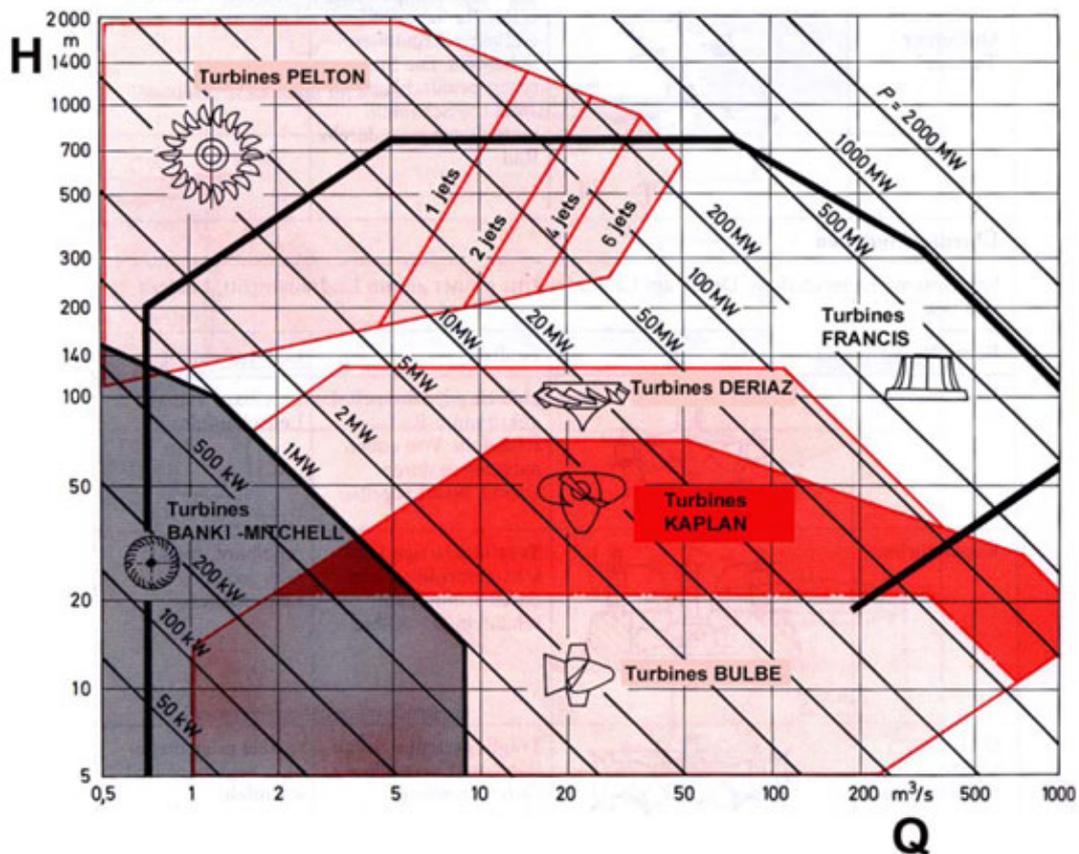
Les turbines Pelton ou Banki à impulsion radiale

Ce sont des turbines utilisées lors des hautes chutes et petits débits. Le débit des injecteurs est réglé avec le pointeau mobile de l'injecteur (comme une vanne), ensuite l'eau sort de manière cylindrique et uniforme. Elle vient immédiatement percuter des cuillères métalliques rattachées à la roue, ce sont les augets. L'eau ensuite glissera sur les côtés de la turbine.

On peut également distinguer les turbines à action (Pelton et Crossflow) des turbines à réaction. Pour les premières, la pression de l'eau à l'entrée de la turbine est égale à la pression en sortie, alors qu'on parle de turbine à réaction si la pression de l'entrée est supérieure à la pression de sortie de la roue. Voici le fonctionnement des turbines Kaplan et Pelton :



Graphe présentant le type de turbine utilisé en fonction des caractéristiques du barrage :



H : La hauteur de la chute d'eau

Q : le débit du barrage

4. Les avantages de la production d'électricité hydraulique

Même si la puissance produite par ces usines est inférieure à celle produite par le nucléaire, l'électricité hydraulique joue un rôle de régulateur du réseau électrique, indispensable pour répondre aux brusques variations de la demande globale, en cas de vague de froid par exemple.

Elle est donc un élément essentiel à la sûreté, à la souplesse et à l'économie globale du parc énergétique

Il est certes impossible de stocker l'électricité, mais les masses considérables d'eau retenues derrière les barrages constituent une énorme réserve d'énergie facilement utilisable.

Enfin, même si les précipitations varient d'un mois et d'une année sur l'autre, l'énergie hydraulique est facilement et rapidement mobilisable : il suffit par exemple de 2 minutes à l'usine de Grand'Maison dans les Alpes pour fournir une puissance de 1 800 MW.

Type d'énergie	Gamme de puissance	Investissement moyen/kW (durée annuelle d'utilisation)	Durée de vie	Coût moyen du kWh	Marché mondial
Hydraulique	1 kW à 12 600 MW	1000-3000 €/kW (5000 heures/an)	50 ans	0,03 €/kWh	38 milliards d'euros
Nucléaire	600 MW à 5000 MW	1200-2300 €/kW (6000 heures/an)	30 ans	0,04 à 0,1 €/kWh	5,5 milliards d'euros

On peut comparer facilement le nucléaire et l'hydraulique, car les centrales produisant ces énergies disposent d'une durée de vie très importante, environ 30 ans pour le nucléaire et 50 ans pour l'hydroélectricité.

Les barrages hydroélectriques ont un éventail de puissance assez large, de quelques dizaines de kW à plusieurs milliers de MW tandis que les centrales nucléaires sont composés de plusieurs réacteurs (généralement de 2 à 4) qui produisent 900 MW.

Par contre, elles sont très différentes en ce qui concerne l'entretien : une installation hydroélectrique demande un grand investissement et ne sera rentable que sur du long terme mais ne coûte pas très cher en matière première et en entretien alors que le nucléaire n'est pas trop cher à la construction mais demande un entretien et un coup d'achat des matières premières très coûteux.

En Europe, le potentiel estimé, en prenant en compte les contraintes environnementales et économiques, correspond à une production électrique de 24 TWh (étude de ESHA – European Small Hydraulic Association).

La capacité installée est aujourd'hui d'environ 10 300 MW, dont 2 100 MW pour la France et 2 300 MW pour l'Italie, les deux premiers Pays en terme de puissance installée.

En France, région Midi-Pyrénées possède le plus grand nombre de centrales hydrauliques de petites puissances (près de 400 - 500 MW de puissance installée), grâce aux réservoirs d'eau que constituent la chaîne des Pyrénées et le Massif Central.

5. Impacts environnementaux

L'hydroélectricité est considérée comme une énergie propre et inépuisable, contrairement au pétrole ou au gaz naturel.

L'utilisation d'énergie de source hydraulique plutôt que provenant de sources non renouvelables est globalement positive pour l'environnement. Cependant les impacts environnementaux peuvent être très importants, surtout lors de la mise en place de structures souvent lourdes permettant la récupération d'énergie hydraulique.

La construction du barrage nécessite du béton et des gravas, ce qui conduit à une dépense énergétique initiale colossale et ce qui est fortement émetteur de gaz carbonique. En effet pour obtenir du béton, il faut chauffer du calcaire à 1450°C pour le décarboniser. Outre la décarbonisation du calcaire, cette importante chaleur est obtenue en brûlant du combustible fossile, qui peut être du fioul, du gaz, des pneus... L'ensemble du processus est fortement émetteur de gaz carbonique. Cependant il faut bien reconnaître que c'est moins pire que de construire une centrale thermique qui brûlera pendant des décennies des millions de tonnes de charbon, de fioul ou de gaz.

Ces impacts varient avec le type et la taille de la structure mise en place : ils sont faibles s'il s'agit d'exploiter les chutes d'eau naturelles, les courants marins, les vagues, mais ils deviennent très importants s'il s'agit de créer des barrages et des retenues d'eau artificielles. Il faut remarquer que dans les projets de barrages, la production d'hydroélectricité est, la plupart du temps, secondaire par rapport à d'autres aspects tels que la maîtrise du flux d'un cours d'eau (évitement des inondations), l'alimentation en eau de canaux, la constitution de stocks d'eau.

Quelle que soit la taille de l'installation, il faut néanmoins faire de sérieuses études d'incidence sur l'environnement avant de construire une installation hydraulique et adopter des mesures compensatoires telles que des échelles à poissons. Par le passé, les barrages construits ont conduit au dépeuplement des rivières en espèces migratrices (anguilles, saumons,...). À ce point de vue, la situation des rivières européennes tend à s'améliorer lentement.

Le bilan en gaz à effet de serre des systèmes hydroélectriques est nettement positif. Il faut néanmoins tenir compte qu'il faut plusieurs années avant que le CO₂ dépensé lors de sa construction soit compensé par l'électricité produite.

- Remise en cause récente des impacts environnementaux :

Certaines recherches récentes émettent de très sérieux doutes sur le bilan en gaz à effet de serre des systèmes hydroélectriques. L'activité bactériologique dans l'eau des barrages (surtout en régions tropicales) relâcherait d'énormes quantités de méthane (gaz ayant un effet de serre 20 fois plus puissant que le CO₂).