

CHAPITRE 5 : LES TURBINES HYDRAULIQUES

1. Introduction .

Les turbines hydrauliques font partie des turbomachines, elles convertissent l'énergie potentielle en énergie mécanique, l'énergie potentielle gravitationnelle est convertie en énergie cinétique dirigée par une buse ou conduite forcée vers la turbine, on offrant une rotation qui produit une énergie mécanique transmise à son tour à l'intérieur pour produire de l'électricité.

2. Rôle des turbines.

Une centrale hydraulique utilise l'énergie cinétique fournie par une masse d'eau en mouvement pour produire de l'énergie électrique. Un barrage, lui, transforme d'abord l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau qu'il retient en énergie cinétique par écoulement, puis en énergie électrique. Dans tous les cas, la turbine possède toujours le même rôle : c'est un système destiné à transformer un mouvement de corps fluide (ici, il s'agit de l'eau), qui peut s'apparenter à un mouvement de translation rectiligne, en un mouvement de rotation. La turbine entraîne à son tour un alternateur, qui va produire de l'énergie électrique, qui, par le biais d'un réseau électrique, va alimenter des foyers et des entreprises en électricité. Voir figure N :1.

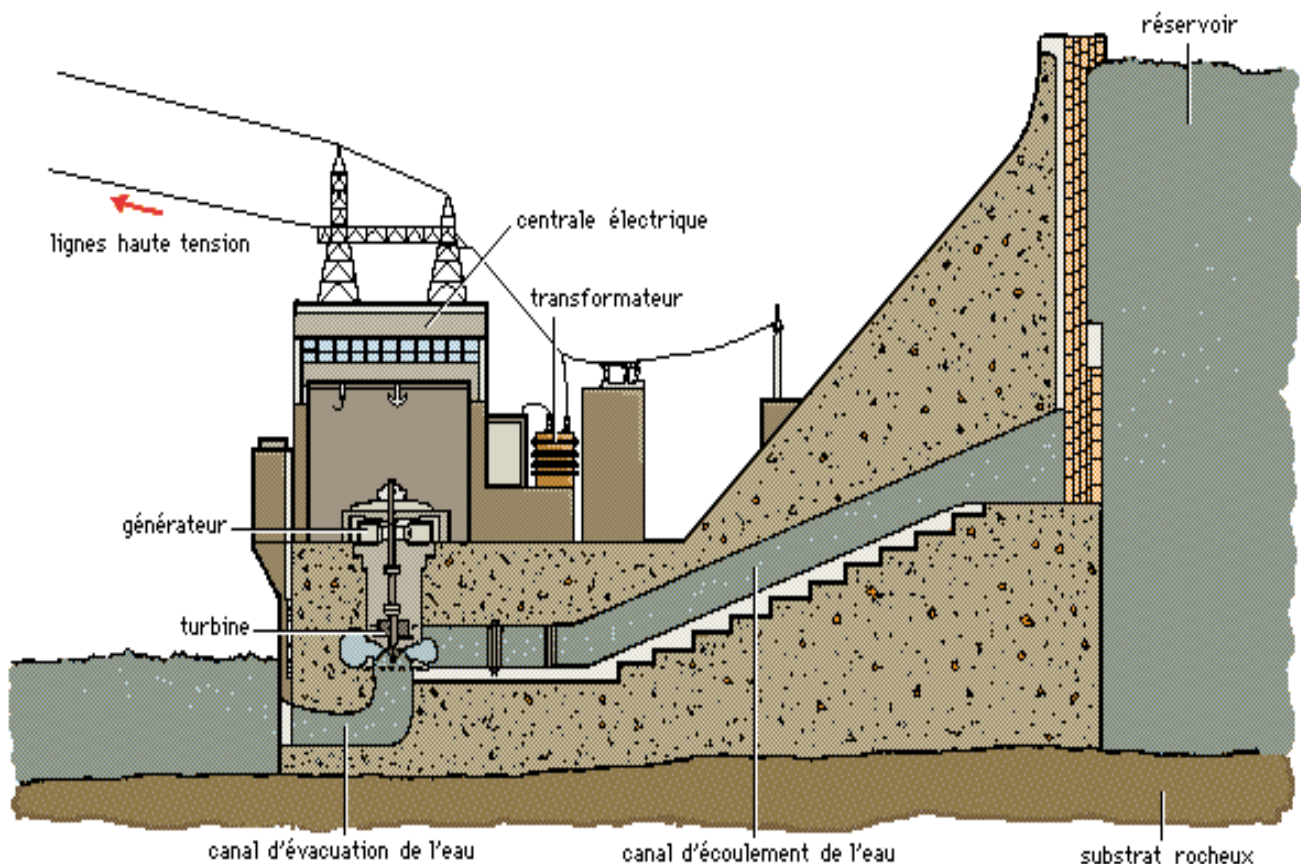


Fig.1. description d'une centrale hydraulique.

La turbine est donc l'un des éléments les plus importants d'une centrale ou d'un barrage : bien évidemment, la production d'énergie ne peut s'effectuer sans elle, mais c'est surtout une pièce 'clef' dans les transformations successives de forme d'énergie. En effet, c'est l'organe qui est le plus exposé aux contraintes extérieures, car il est directement en contact avec l'eau. Bien que les turbines soient conçues de façon à ce que les pertes d'énergies soient minimales, c'est à ce niveau que ce phénomène est le plus important. En effet, les turbines doivent pouvoir fonctionner à des débits variables, en fonction de l'apport d'eau inégal du cours d'eau ou encore des besoins en énergie du réseau.

La turbine, partie intégrante de la centrale, fournit donc la force motrice à l'alternateur sous la forme adéquate, lui permettant alors de transformer cette énergie mécanique en énergie électrique (courant alternatif). Ensuite, les différents transformateurs de la centrale permettent son transport avec un minimum de pertes (très haute tension).

3. Classification des turbines.

On distingue deux types de turbines hydrauliques : les turbines à action et à réaction.

3.1. Les turbines à action ou impulsion : transforment la pression hydraulique (potentielle) en énergie cinétique par un dispositif statique (injecteur), avant d'actionner la partie mobile (rotor). C'est le cas de :

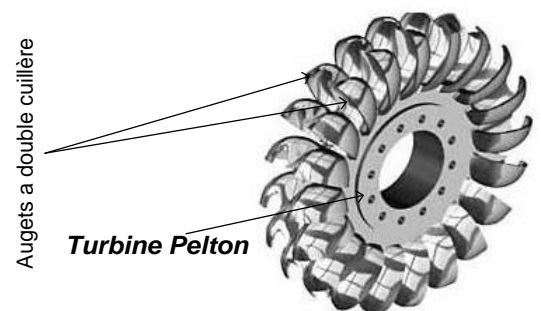
- La turbine Pelton, adaptée;
- La turbine Banki, au flux transversal (l'eau s'écoule au travers des pales de la turbine), est adaptée aux basses vitesses,
- La turbine Turgo, conçue pour des hauteurs de chute moyenne;

3.1.1. La turbine Pelton.

La roue Pelton porte le nom de son inventeur, l'Américain Lester Pelton (1829-1908). Elle récupère l'énergie du mouvement de l'eau grâce à des augets doubles en forme de cuillère. Ces augets sont profilés pour obtenir un rendement maximum tout en permettant à l'eau de s'échapper sur les côtés de la roue. Le rendement d'une turbine Pelton est de l'ordre de 90 %. La turbine Pelton est une machine à action dont l'axe peut être vertical ou horizontal. et dont le distributeur est fait d'injecteurs; leur nombre peut varier de 1 à 6,).

Les injecteurs sont des tuyères convergentes munies d'un pointeau transformant l'énergie de pression en énergie cinétique. Ils sont disposés autour de la roue et leur jet, à pression atmosphérique, est dirigé vers le milieu des augets, (fig.2) . Une régulation du débit et un réglage du diamètre du jet peuvent être effectués en faisant varier la sortie du pointeau.

La roue mobile tourne à pression atmosphérique, il n'y a plus de variation de pression du fluide dans cette roue. Mais lors de son passage dans la roue, l'eau est déviée de presque 180°, ainsi, elle cède toute son énergie cinétique.



Cette roue ne dispose pas de diffuseur car l'eau à la sortie de la roue ne possède plus d'énergie. il y a juste un boîtier qui permet de récupérer l'eau et de la canaliser vers le bief aval . Elles sont utilisées généralement pour les centrales de hautes chutes, à faible débit.



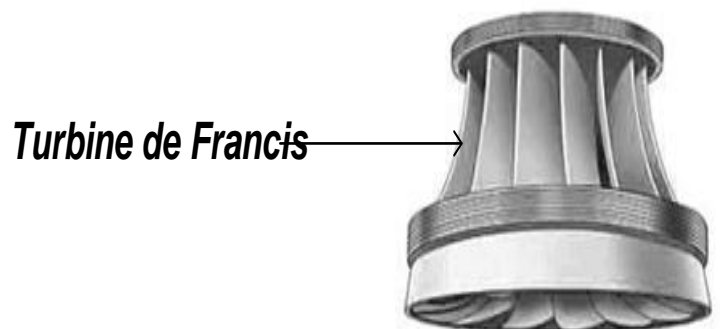
Fig.2. Photo réel de la turbine de Pelton.

3.2. Les turbines à réaction : Les turbines à réaction provoquent et exploitent la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la roue. L'énergie potentielle est convertie en partie dans le distributeur et en partie dans le rotor, une différence de pression existe entre l'entrée et la sortie, l'écoulement est dévié et accéléré dans le rotor, on distingue :

- Turbine Francis ;
- Turbine Kaplan ;

3.2.1. Turbine Francis.

La turbine Francis tient son nom de James Bicheno Francis (1815-1892), ingénieur américain qui l'a inventée en 1849. L'eau arrive sur le pourtour de la roue, pousse les aubes, puis se dirige vers l'axe de la turbine. Elle s'écoule ensuite par le canal de fuite situé sous celle-ci. Le rendement d'une turbine Francis est de l'ordre de 90 %. Elles sont utilisées pour les moyennes chutes (de 30 à 400 m) et les débits moyens. La turbine Francis est une turbine à réaction de type radial à axe vertical et est adaptée pour des hauteurs et débits moyens. Son distributeur est enroulé autour de la turbine, (fig.3), l'entrée de l'eau se fait par toute sa



périphérie. La sortie de l'eau se fait de manière axiale dans le diffuseur (qui fait office d'aspirateur).

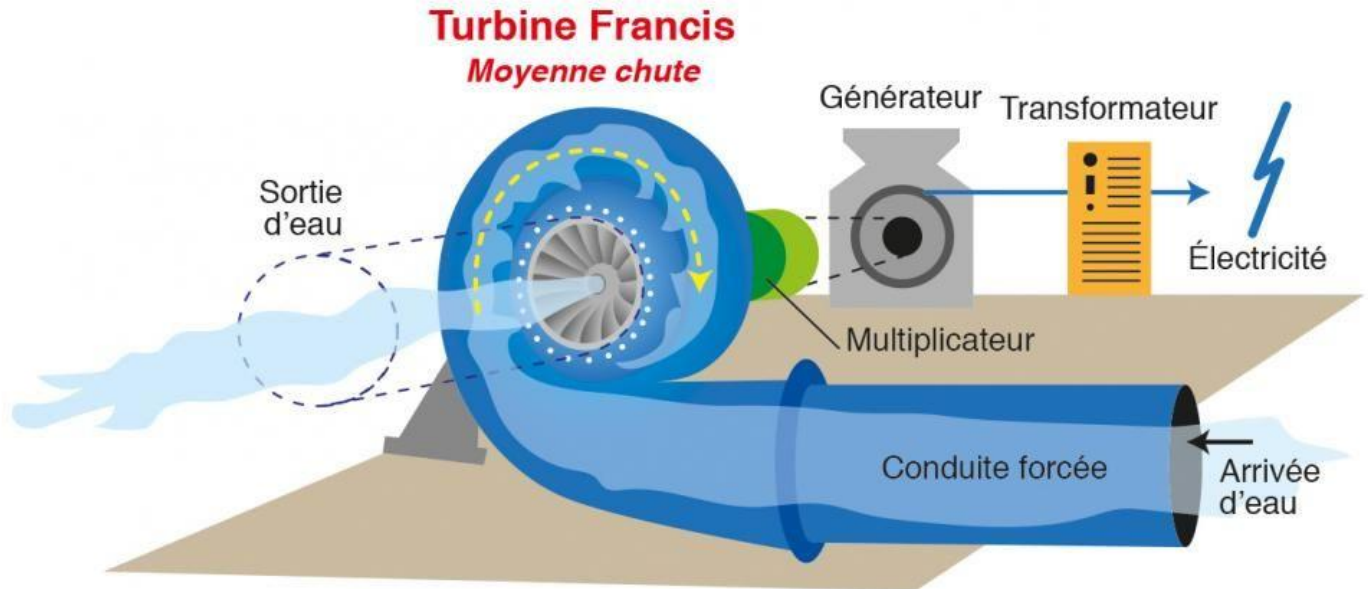
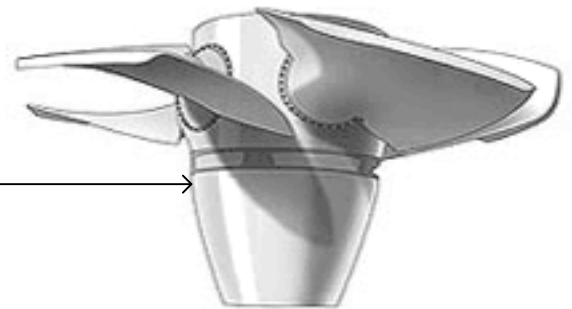


Fig.3. présentation de fonctionnement de la turbine Francis

1.3.2. Turbine Kaplan.

La turbine Kaplan a été inventée par l'ingénieur autrichien Viktor Kaplan (1876-1934). Elle ressemble à une hélice de bateau mais ses pales sont orientables. Elle convient à certaines centrales au fil de l'eau situées sur des rivières à débit particulièrement variable, car on peut régler la position de ses pales en fonction du débit.

Turbine Kaplan



La turbine Kaplan est une turbine à réaction de type axial à axe vertical (fig. 4) dont la majeure particularité est qu'il est possible de régler l'angle d'inclinaison des pales de manière à adapter le débit qui passe dans la turbine au débit de la rivière.

Le rendement d'une turbine Kaplan est de l'ordre de 90 % et 95 %. Auto-construction très difficile. Mise en œuvre de l'orientation des pâles complexes.

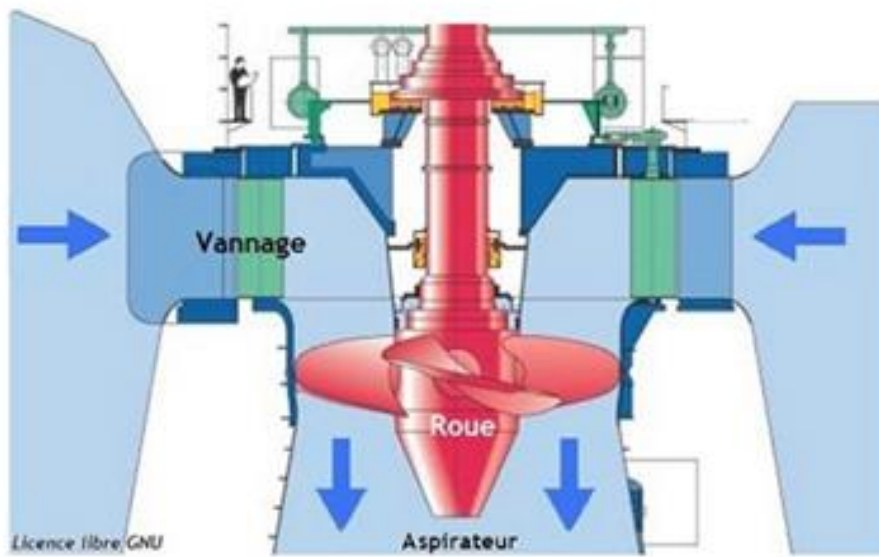
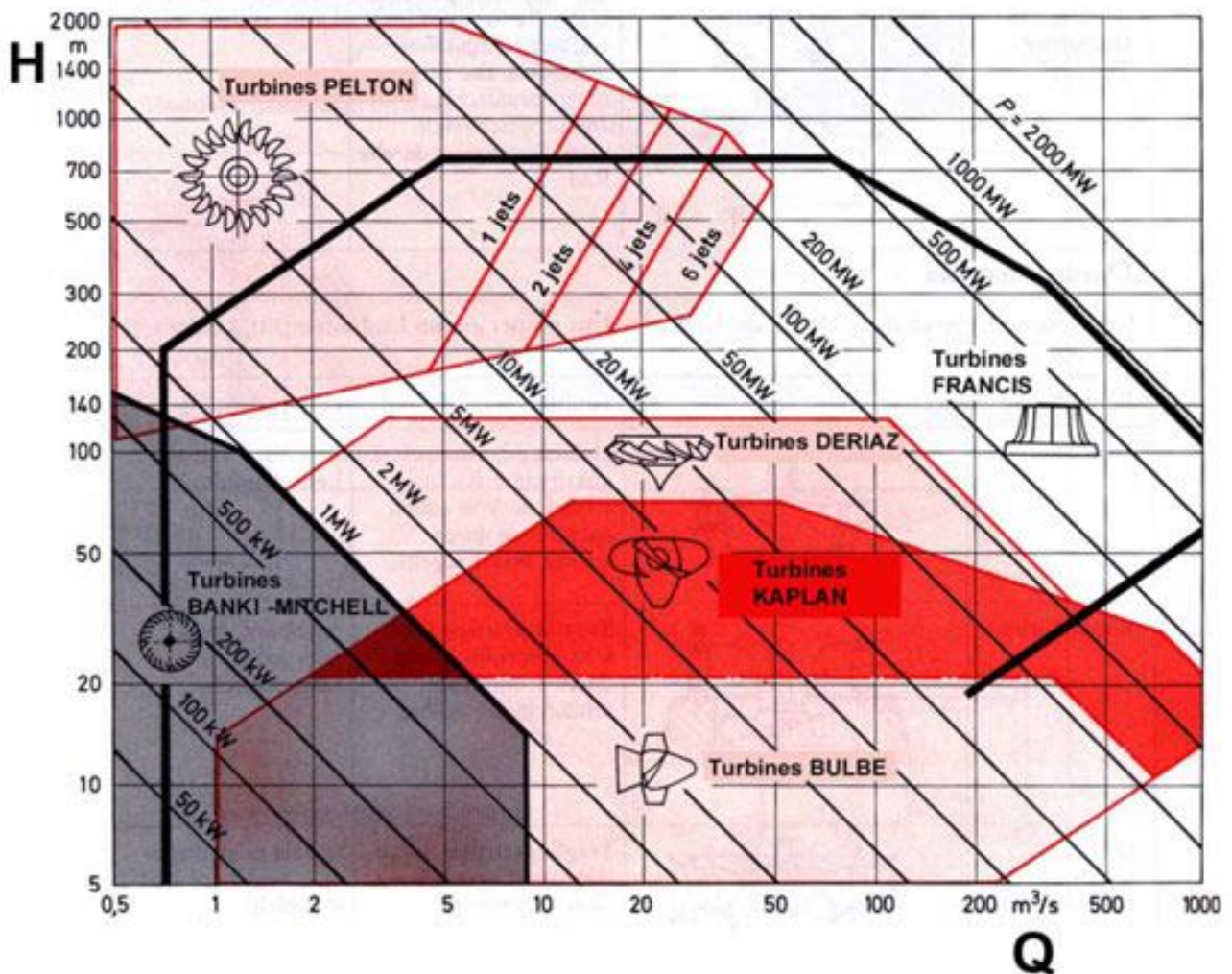


Fig. 4. Turbine Kaplan.

Remarque : aussi on peut classifier les différentes turbines dans le diagramme ci-dessous :



4. Paramètres communs à tous types de turbines.

4.1. Chute nette :H : La chute nette représente l'énergie hydraulique à la disposition de turbine.

$$H = H_b - H_L ; \text{ ou}$$

H_b : La chute brute :[m] ;

H_L : Les pertes de charge linéaire et locale :[m] ;

Et enfin on peut écrire que la chute nette de la turbine peut s'écrire de la façon suivante :

$$H = H_b - A * Q^2 \dots (1)$$

4.2. Puissance de la turbine : N : W: La force hydrodynamique sur les pales ou augets de la roue, crée un couple, qui met la turbine en rotation, alors il vient que la puissance produit par la turbine ou autrement dite puissance mécanique est donnée par la formule suivante :

$$N_m = T * \omega \dots (2) ; \text{ ou :}$$

T : couple :[N*m] ;

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} : [\text{rad/s}] ; n : [\text{r.p.m}],$$

4.3. Rendement : η : le rendement des turbines hydrauliques est le rapport de la puissance mécanique produite par les différentes turbines et la puissance hydraulique absorbée par ses derniers :

$$\eta = \frac{N_{mec}}{N_{hyd}} \dots (3) ;$$

5. Station hydroélectrique.

5.1. Introduction :

L'énergie hydraulique est la source d'énergie la plus utilisable dans le monde suite à sa renouvelabilité naturelle. Bien que l'implantation d'une centrale requière des investissements lourds amortissables sur plusieurs décennies, son coût d'exploitation est faible. En effet l'énergie primaire est « gratuite » et constamment renouvelable. Les charges de fonctionnement des centrales hydrauliques sont en général moins élevées que celles des centrales thermiques.

L'énergie électrique ne pouvant être stockée, on stocke de l'énergie potentielle, de l'eau, grâce aux barrages (fig.5) afin de l'utiliser quand le besoin s'en fait sentir.

Barrage pour stockage d'eau dans le but de production d'électricité



Fig. 5. Barrage de stockage

Pour produire de la force électrique à partir de l'eau, on passe par plusieurs étapes comme suit :

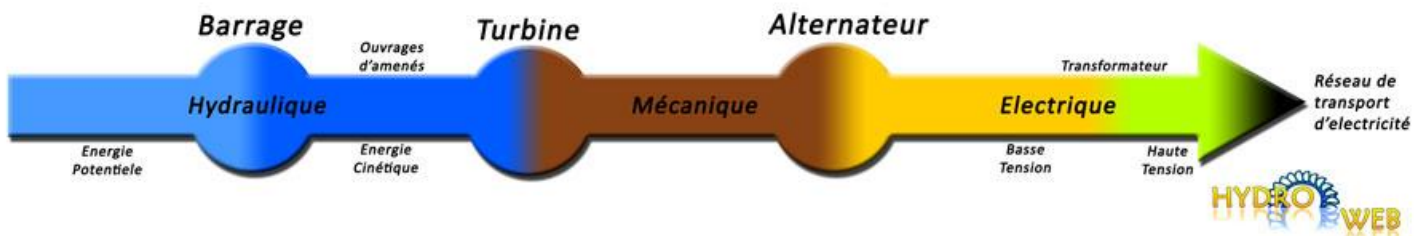


Fig. 6. Illustration des étapes de production d'électricité.

5.2. Principe de fonctionnement des centrales hydrauliques :

L'eau accumulée dans les barrages ou dérivées par les prises d'eau, constitue une énergie potentielle disponible pour entraîner en rotation la turbine d'une génératrice. L'énergie hydraulique se transforme alors en énergie mécanique. Cette turbine accouplée mécaniquement à un alternateur l'entraîne en rotation afin de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique a basse tension ou transformée en haute tension par des transformateur, (fig. 6) et (fig.7). La puissance disponible résulte de la conjonction de deux facteurs :

- hauteur de la chute,
- débit de la chute,

5.3. Les éléments d'une station hydroélectrique.

5.3.1. Les barrages : Le barrage permet de créer une retenue et de dévier l'eau vers les ouvrages d'aménés. Il Barre la rivière dans toute sa longueur, (fig. 5 et 7).

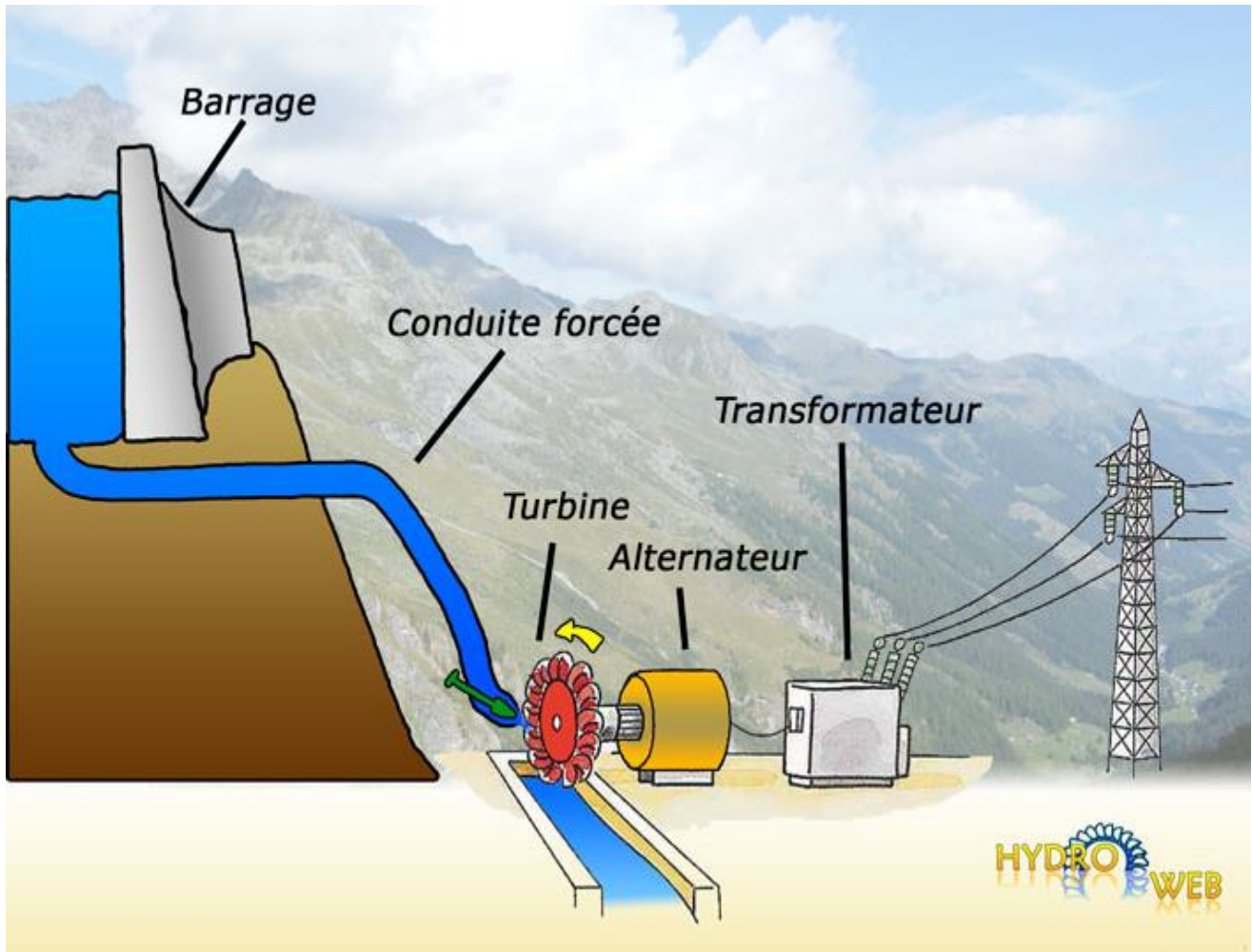


Fig.7. Représentation des éléments d'une station hydroélectrique.

5.3.2. Les ouvrages d'aménés : permettent d'acheminer l'eau du barrage jusqu'à la centrale, ils peuvent donc faire parfois plusieurs kilomètres, Il existe plusieurs type d'ouvrages d'aménés : les galeries souterraines et les conduites forcées,(fig. 7 et 8).

5.3.3. La turbine : permet de transformer l'énergie cinétique de l'eau en énergie mécanique pour la transmettre ainsi à l'alternateur. Il existe différents types de turbine pour s'adapter à la hauteur de chute de la centrale.

5.3.4. Alternateur : fin de transformer l'énergies mécanique de la turbine en énergie électrique, on utilise des machines tournantes, (fig. 9 et 7). Il en existe 3 grands types :

- Alternateur : Machine synchrone, la plus utilisée
- Machine asynchrone
- Machine à courant continu.

Dans les centrales hydroélectriques, ce sont les alternateurs qui sont utilisés. Ce sont des machines synchrones, fonctionnant en génératrice. Ce mode de fonctionnement est appelé

(pour la machine synchrone). Ils produisent donc du courant alternatif 50Hz. Ils transforment l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique.

Energie mécanique --> **Alternateur** --> Energie électrique



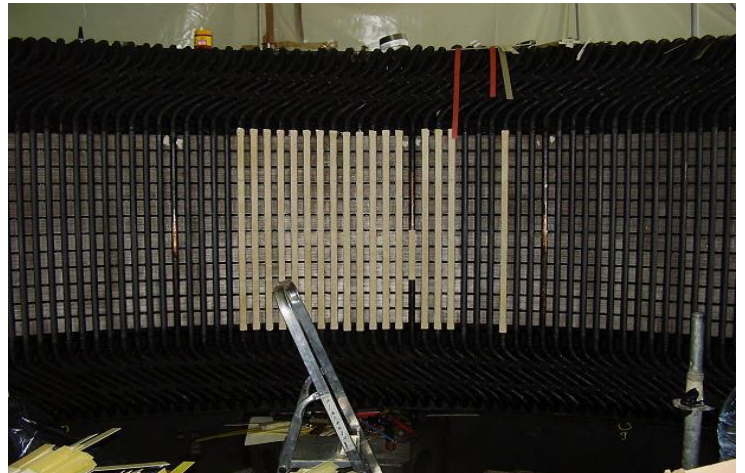
Fig. 8. Conduites forcées ou galerie d'amenée.



Fig. 9. Alternateurs d'une station électrique.



ROTOR



STATOR

Fig. 10. Représentation les deux éléments principales d'un alternateur.

ROTOR : C'est la partie tournante de l'alternateur, elle est couplée à la turbine. Le rotor a besoin d'être alimenté en courant continu, afin de pouvoir créer le flux.

STATOR : C'est la partie fixe de l'alternateur. Il récupéré l'énergie sous forme d'électricité en triphasé.

5.3.5. Le transformateur : permet d'élever la tension à la sortie de l'alternateur pour après l'envoyer sur le réseau. L'élévation de la tension permet de diminuer les pertes car l'électricité est souvent transporté sur des dizaines, même des centaines de kilomètres,(fig.11).



Fig. 11. Transformateur.

5.4. Types des centrales hydroélectriques.

5.4.1. Centrales de hautes chutes: La hauteur de chute est supérieure à 200m. Il s'agit de centrale située en montagne (fort dénivelé sur de courtes distances). L'eau est retenue par des barrages et est évacuée par des conduites forcées vers la turbine. L'unité de production est éloignée du barrage.

Groupe turbine alternateur : La turbine est de type PELTON. L'alternateur est en prolongement de la turbine, sa vitesse est donc celle de la turbine (solidarité mécanique). L'alternateur est couplé sur le réseau 50 Hz avec d'autres alternateurs ; il est donc nécessaire d'adapter constamment la vitesse de rotation de telle façon que la fréquence des FEM induites soit 50Hz.

5.4.2. Centrales de moyennes chutes : La hauteur de chute est comprise entre 30m et 200m. L'unité de production est à proximité de la retenue.

Groupe turbine alternateur : La turbine est de type FRANCIS. Le groupe turbine-alternateur est disposé sur un axe vertical.

5.4.3. Centrales de basses chutes : La hauteur de chute est inférieure à 30m. On les appelle aussi centrale au fil de l'eau. Elles sont caractérisées par une hauteur très faible et un très fort débit.

Groupe turbine alternateur : La turbine est de type KAPLAN. Le groupe turbine-alternateur est disposé sur un axe vertical.

5.5. Les usines de pompage, turbinage :

Turbinage : l'alternateur produit de l'énergie électrique.

Pompage : l'alternateur consomme de l'énergie pour remonter l'eau d'un bassin inférieur à un bassin supérieur. Les stations de transfert d'énergie par pompage fonctionnent sur le principe du recyclage de l'eau par pompage.

5.6. Puissance d'une chute d'eau :

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

$$:N = \rho * g * Q * H \dots(4) ;$$

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. Les termes ρ et g sont constants.