

Université Batna2

Département de Mécanique

Master 1 ERM

Cours Energie hydroélectrique et éolienne

Chapitre III : Principe de production d'énergie électrique à partir de l'énergie hydraulique

I. Réalisation et impact sur l'environnement.

I.1 Energie hydroélectrique

I.1.1 Définition

L'hydroélectricité ou énergie hydroélectrique exploite l'énergie potentielle des flux d'eau (fleuves, rivières, chutes d'eau, courants marins, etc.). L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine, puis en énergie électrique par un alternateur.

L'hydroélectricité constitue la première source renouvelable et la troisième source - toutes filières confondues - de production électrique au monde (15,8% en 2018) derrière le charbon (38%) et le gaz (23,2%).

Cette source d'énergie est considérée comme verte puisqu'elle est renouvelable et faible émettrice de CO₂. En effet, une fois construite, une centrale hydroélectrique émet de faible quantité de gaz à effet de serre. Cependant, elle n'est pas sans impact sur l'environnement et sur l'écosystème environnant.

I.1.2 Principe de fonctionnement

L'énergie de l'eau dépend de 2 paramètres qui sont :

- La hauteur de la chute d'eau qui engendre une pression ;
- Le débit qui correspond à la quantité d'eau qui passe en une seconde dans un endroit donné.

L'hydroélectricité est produite dans des usines appelées centrales hydroélectriques qui fonctionnent le plus souvent en association avec les barrages.

En s'opposant à l'écoulement naturel de l'eau et en le dérivant, barrages et aménagements hydrauliques assurent deux fonctions différentes :

- Permettre la production d'électricité grâce à la dérivation de l'eau et à la chute ;
- Créer une réserve d'eau, le lac de barrage (de retenue), véritable réserve d'énergie.

Comment fonctionne une centrale hydroélectrique ?

Entre la prise d'eau et l'usine, l'eau circule dans des galeries, des conduites forcées ou des canaux d'amenée.

Dans la centrale hydroélectrique, l'eau canalisée actionne la turbine. Une turbine est constituée de pales ou d'aubes, montées sur un axe rotatif. L'ensemble est mis en mouvement par la force de l'eau. La turbine entraîne l'alternateur (sorte de moteur fonctionnant à l'envers) qui produit de l'électricité. Un poste de transformation (transformateur) élève ensuite la tension produite par l'alternateur (de 5000 à 15000 volts, moyenne tension) en courant à haute et très haute tension (de 63 000 à 400 000 volts) plus facilement transportable dans des lignes à haute et très haute tension.

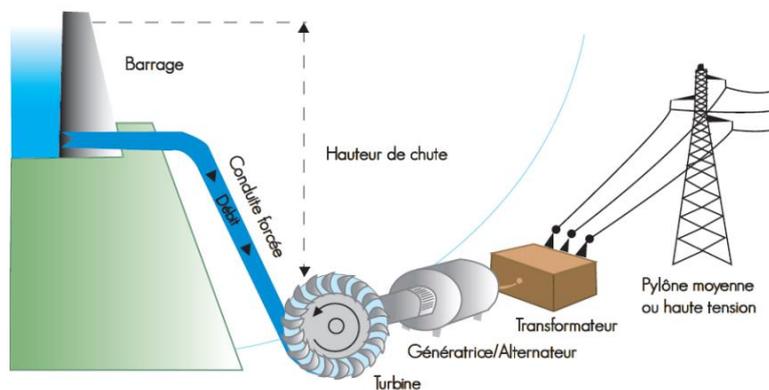


Figure I.1 Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique

I.2 Principales unités d'une centrale hydroélectrique

Les centrales hydroélectriques sont constituées de 2 principales unités :

- Une retenue ou une prise d'eau (dans le cas des centrales au fil de l'eau) qui permet de créer une chute d'eau, avec généralement un réservoir de stockage afin que la centrale continue de fonctionner, même en période de basses eaux. Un canal de dérivation creusé peut permettre de dériver latéralement l'excédent d'eau arrivant vers un étang de barrage. Un évacuateur de crues permet de faire passer les crues de la rivière sans danger pour les ouvrages ;
- La centrale, appelée aussi usine, qui permet d'utiliser la chute d'eau afin d'actionner les turbines puis d'entraîner un alternateur.

I.2.1 Les barrages

- Les plus fréquents, de loin, sont les barrages en remblai de terre ou d'énrochements obtenus en carrière par abattage à l'explosif. L'étanchéité est centrale (en argile ou en béton bitumineux) ou sur la surface amont (en béton de ciment ou en béton bitumineux). Ce type de barrage s'adapte à des géologies très variées ;
- Les barrages poids construits d'abord en maçonnerie, puis en béton puis plus récemment en béton compacté au rouleau BCR) qui permet d'importantes économies de temps et d'argent. Le rocher de fondation doit être de bonne qualité ;
- Les barrages voutes en béton adaptés aux vallées relativement étroites et dont les rives sont constituées de rocher de bonne qualité. La subtilité de leurs formes permet de diminuer la quantité de béton et de réaliser des barrages économiques ;
- Les barrages à voutes multiples et à contreforts ne sont plus construits. Les barrages poids en BCR les remplacent.

Les barrages ont pour objectifs ;

1. Créer une retenue (stockage d'eau)
2. Créer une hauteur de chute
3. Forcer l'eau à passer par le canal ou la conduite forcée.

I.2.2 Les turbines

Les centrales sont équipées de turbines qui transforment l'énergie du flux d'eau en une rotation mécanique de façon à actionner des alternateurs.

1. Le type de turbine utilisé dépend de la hauteur de la chute d'eau :

- Pour les très faibles hauteurs de chute (1 à 30 mètres), des turbines à bulbe peuvent être utilisées ;

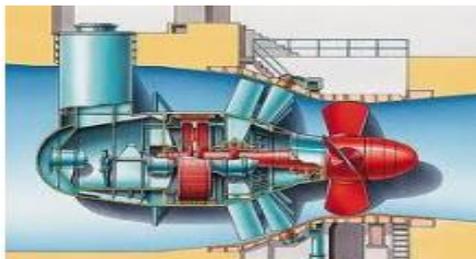


Figure I.2 Turbine à Bulbe

- Pour les faibles chutes (5 à 50 mètres) et les débits importants, la turbine Kaplan est privilégiée : ses pales sont orientables ce qui permet d'ajuster la puissance de la turbine à la hauteur de chute en conservant un bon rendement ;

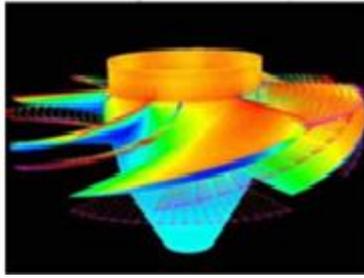


Figure I.3 Turbine Kaplan (hélice de bateau)

- La turbine Francis est utilisée pour les moyennes chutes (40 à 600 mètres) et moyen débit. L'eau entre par la périphérie des pales et est évacuée en leur centre ;

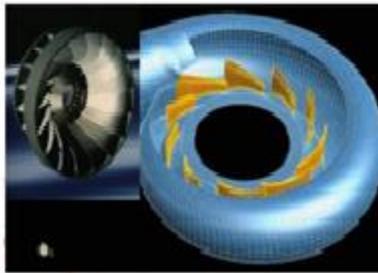


Figure I.4 Turbine Francis (réacteur d'avion)

- La turbine Pelton est adaptée aux hautes chutes (200 à 1 800 mètres) et faible débit. Elle reçoit l'eau sous très haute pression par l'intermédiaire d'un injecteur (impact dynamique de l'eau sur l'auget).

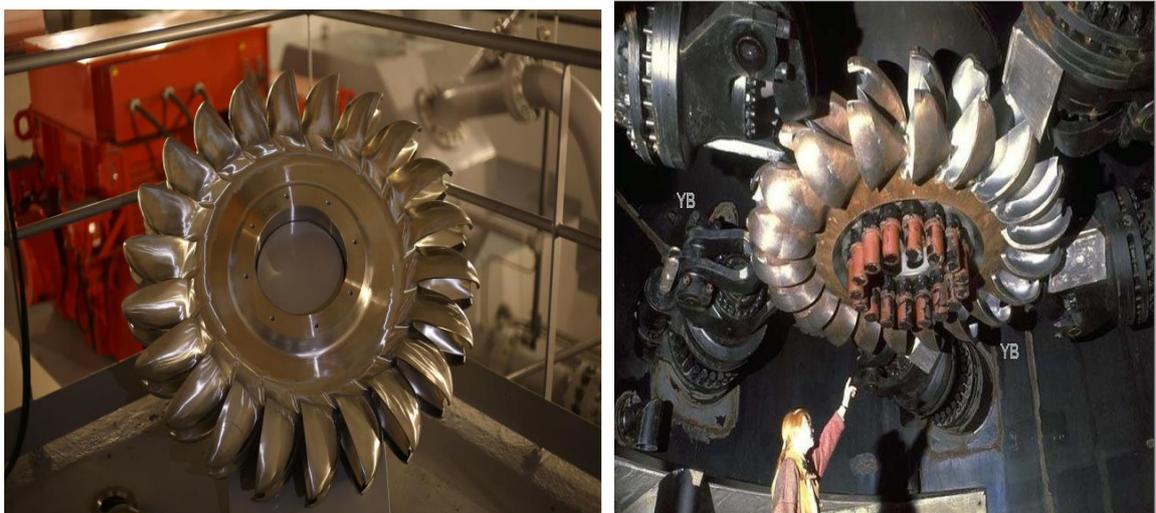


Figure I.5 Turbine Pelton

2. Rendement des turbines

Chaque turbine a une plage de fonctionnement privilégiée. Certaines turbines ont une large plage de fonctionnement.

Le rendement dépend du rapport Q/Q_{\max} . Quel que soit le type de turbine, il existe un débit minimal de fonctionnement avec un rendement acceptable. Ce débit est appelé débit d'armement

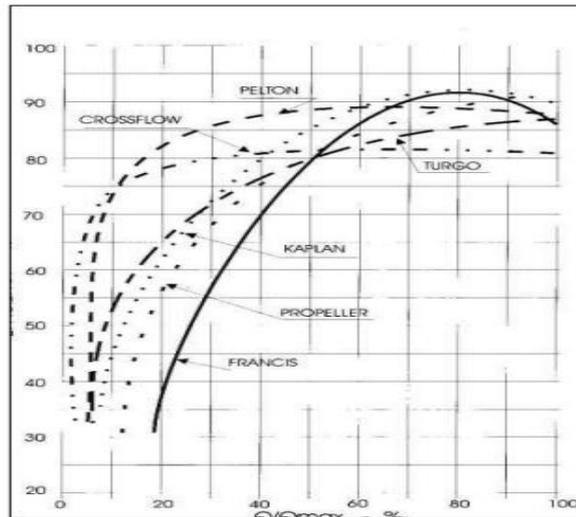


Figure I.6 Le rendement en fonction du rapport Q/Q_{\max}

Pour les petites centrales hydroélectriques, des turbines à prix bas (et dont le rendement est moins bon) et de concepts simples facilitent l'installation de petites unités.

I.2.3 Les ouvrages d'amenée :

Objectif : conduire l'eau de la prise d'eau à la centrale en limitant au maximum les pertes de charges. Il existe deux types :

3. Les ouvrages d'amenée à surface libre canal ou tunnel
4. Les ouvrages d'amenée en charge les conduites forcées

I. 3 Mesure de la puissance hydroélectrique

La puissance d'une centrale hydroélectrique peut se calculer par la formule suivante :

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$$

Avec :

- P : puissance (exprimée en W) ;
- Q : débit moyen mesuré en mètres cube par seconde ;
- ρ : masse volumique de l'eau, soit 1 000 kg/m³ ;

- H : hauteur de chute en mètres ;
- g : Accélération de la pesanteur, soit près de $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$;
- η : rendement de la centrale (compris entre 0,6 et 0,9)

II. Etude d'un barrage.

La construction de barrages est caractérisée par des investissements d'autant plus élevés que la hauteur de chute est importante et que la vallée est large. Ces dépenses d'investissements diffèrent fortement selon les caractéristiques de l'aménagement et les dépenses annexes liées aux contraintes sociales et environnementales, en particulier le coût des terrains expropriés. Les avantages économiques liés à la capacité de modulation de la production d'électricité permettent de rentabiliser ces investissements car la ressource hydraulique est gratuite et les frais d'entretien sont réduits.

L'énergie hydraulique permet de répondre aux besoins d'ajustement de la production électrique, notamment en stockant de l'eau dans de grands réservoirs au moyen de barrages. Les fluctuations annuelles de la production hydraulique sont cependant importantes. Elles sont essentiellement liées aux précipitations. La production peut croître de 15% les années où la ressource hydraulique est forte et diminuer de 30% les années de grande sécheresse.

II.1 Impact social et environnemental

Il est parfois reproché à l'énergie hydraulique d'engendrer des déplacements de population, les rivières et les fleuves étant des lieux privilégiés pour installer des habitations. Par exemple, le barrage des Trois Gorges en Chine a entraîné le déplacement de près de deux millions de personnes. En raison d'une régulation modifiée de l'eau, les écosystèmes en amont et en aval des barrages peuvent être perturbés (notamment la migration des espèces aquatiques) bien que des dispositifs comme les passes à poissons soient installés.

II.1.1 Des impacts sur l'environnement

Pour autant, de par ses constructions souvent très impressionnantes, elles modifient le territoire et les paysages et interviennent directement sur les cours d'eau. Ainsi exploiter l'énergie potentielle des cours d'eau n'est pas sans impacts sur l'environnement. Ceux-ci varient avec le type et la taille de la structure : ils sont faibles s'il s'agit d'exploiter les chutes d'eau naturelles, mais ils deviennent très importants s'il s'agit de créer des barrages et des retenues d'eau artificielles.

Ainsi :

- La mise en eau des barrages induit très souvent des déplacements de population et la disparition de zones agricoles ;
- La création de retenues d'eau artificielles peut entraîner la sous-oxygénation de l'eau. A contrario, la libération subite de l'eau a pour conséquence une sur-oxygénation. Dans un cas comme dans l'autre, l'équilibre des écosystèmes est mis à mal ;
- Les barrages arrêtent les sédiments créant des cuvettes artificielles. Les cours d'eau ont alors tendance à s'envaser.

- Les centrales ont des impacts sur la biodiversité (mortalité de certaines espèces comme l'anguille).

N.B Au niveau mondial, certaines recherches émettent des 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'importantes quantités de méthane (gaz ayant un effet de serre 20 fois plus puissant que le CO₂).

II.1.2 Une réglementation stricte pour le respect de la faune et la flore

Le développement des centrales hydroélectriques a donc dû être encadré par des textes réglementaires. Parmi eux, on trouve la loi de Programmation et d'orientation sur la politique énergétique (POPE) de juillet 2005 dont l'objectif est de poser le cadre d'un équilibre entre 2 enjeux écologiques majeurs : lutter contre les émissions de gaz à effet à serre tout en préservant la biodiversité.

Les installations hydroélectriques doivent donc respecter des critères précis fixés par plusieurs textes réglementaires :

- Elles ne doivent pas constituer des obstacles sur les cours d'eau ;
- Elles doivent respecter la continuité de la rivière, non seulement pour la faune sauvage (poissons...), mais également pour le transit sédimentaire (circulation du sable, des graviers...).

Remarque : Pour garantir la libre circulation des poissons, des passes à poissons (échelles ou des ascenseurs pour les barrages les plus hauts) ont été construites. Ces aménagements permettent aux poissons migrateurs de franchir les barrages sans encombre ;

- Le débit total des cours d'eau ne peut pas être consacré à la seule production électrique (10 % du débit moyen doit être maintenu dans le cours d'eau) ;
- Certains cours d'eau ne peuvent pas recevoir d'installations hydroélectriques de par la qualité de leurs eaux ou leur situation géographique, certains cours d'eau assurant la migration des poissons des eaux douces vers les eaux de mer ou servant de réservoirs biologiques ;
- L'eau prélevée et détournée pour passer la turbine doit rejoindre le lit du cours d'eau en aval.

III. Classification de centrales Hydro-électriques

Il existe une grande diversité d'installations hydroélectriques, en fonction de leur situation géographique, du type de cours d'eau, de la hauteur de la chute, de la nature du barrage et de sa situation par rapport à l'usine de production électrique.

1. En fonction de la hauteur de chute : Basses, moyennes et hautes chute
2. En fonction de la puissance : Pico, micro, petite et grande hydraulique.
3. En fonction de la capacité de stockage :
 - a. Centrales au fil d'eau : sans stockage

- b. Centrales à éclusées : régulation journalière
- c. Centrales avec lacs : régulation saisonnière
- d. Centrales de transfert d'énergie par pompage : Pendant les heures creuses l'eau est pompée vers le réservoir supérieur et inversement en heures de pointe.

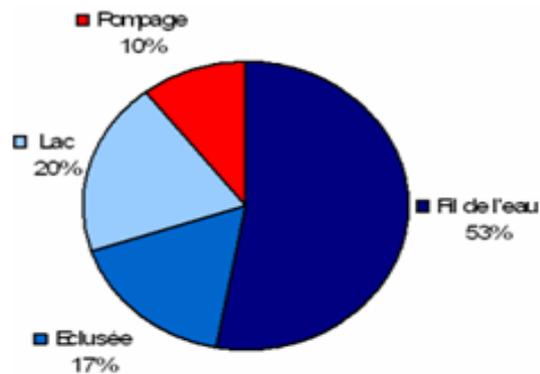


Figure I.7 Part de la production hydroélectrique

III.1 Centrale hydro-électrique de basse chute

Elles sont implantées sur le cours de grands fleuves ou de grandes rivières. Elles sont caractérisées par un débit très fort et un dénivelé faible avec une chute de moins de 30 m. Dans ce cas, il n'y a pas de retenue d'eau et l'électricité est produite en temps réel.

Les centrales au fil de l'eau utilisent des turbines de type Kaplan.

III.2 Centrale hydro-électrique de haute chute

Elles sont surtout présentes dans les sites de haute montagne. Elles sont caractérisées par un débit faible et un dénivelé très fort avec une chute supérieure à 300 m. Le barrage s'oppose à l'écoulement naturel de l'eau pour former un lac de retenue. Ce lac est alimenté par l'eau des torrents, la fonte des neiges et des glaciers. Les centrales de lac utilisent des turbines de type Pelton.

III.3 Centrales de transfert d'énergie par pompage (STEP)

III.3.1 Fonctionnement technique d'une STEP (Deux phases : stockage et production).

Une STEP est composée d'un bassin supérieur avec une retenue d'eau et d'un bassin inférieur entre lesquels est placé un groupe hydroélectrique réversible, dit « synchrone ». Ce dernier peut fonctionner comme un ensemble pompe-moteur ou turbine-alternateur. En mode pompe-moteur, il consomme de l'électricité pour pomper l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur. En mode turbine-alternateur, il produit de l'électricité lors du transfert d'eau du bassin supérieur vers le bassin inférieur.

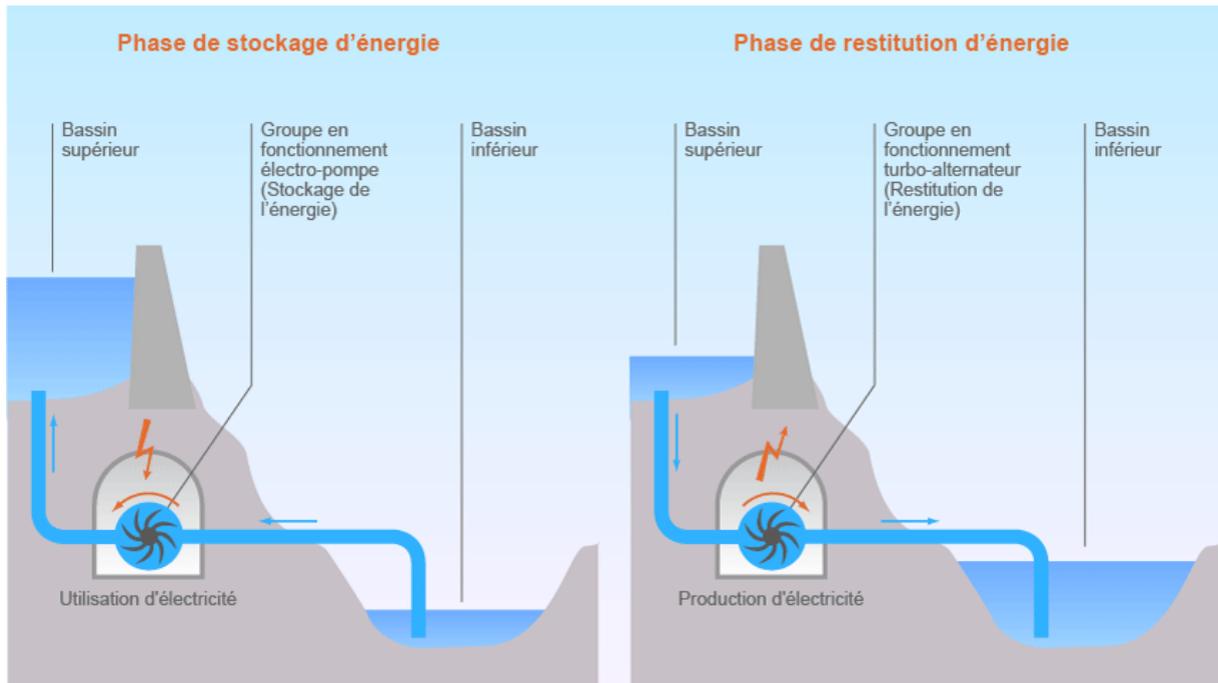


Figure I.8 Principe de fonctionnement d'une centrale STEP

Les STEP peuvent être activées sur des courtes durées (parfois quelques minutes), en tant que capacités électriques d'appoint. Elles consomment plus d'électricité qu'elles n'en produisent et sont activées en dernier recours pour sécuriser le réseau électrique.

On distingue les STEP ayant un potentiel d'utilisation :

- « Journalier » lorsque les réservoirs disposent d'une capacité de stockage équivalente à quelques heures de production ;
- « Hebdomadaire » lorsque les réservoirs stockent un volume d'eau suffisant pour produire de l'électricité en continu durant plusieurs dizaines d'heures.

Lorsque la demande d'électricité est faible (et le coût de l'électricité peu élevé, essentiellement d'origine nucléaire), la STEP pompe l'eau vers le bassin supérieur afin de stocker de l'énergie. Lorsque la demande d'électricité est forte (et le coût de l'électricité élevé), la STEP turbine l'eau, exploitant son énergie potentielle due au différentiel d'altitude entre les deux bassins. Elle restitue ainsi de l'électricité sur le réseau.