

Production de l'électricité par centrales hydrauliques

1. Intérêts de l'énergie hydraulique :

L'énergie hydraulique est la première source d'énergie nationale. 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.

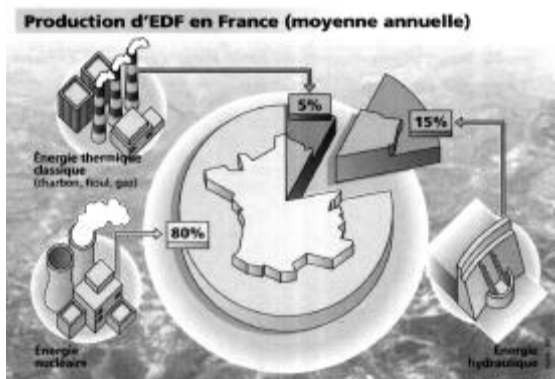


Fig. 1.

Coût du kWh produit par :

- Une centrale hydraulique : 10 centimes,
- Une centrale nucléaire : 20 centimes,
- Une centrale thermique charbon : 30 centimes,
- Une centrale fuel : 35 centimes.

La part de production d'énergie électrique due aux centrales hydrauliques représente 15 %.

2. Rôle régulateur :

L'électricité ne peut être stockée à l'échelle industrielle, il faut donc constamment adapter la production à la demande, qui est aléatoire. Contrairement aux centrales thermiques, les turbines hydroélectriques peuvent démarrer en quelques minutes. Grâce à leur souplesse d'exploitation, les usines hydrauliques permettent de faire face dans un délai très court, aux variations de la consommation. Elles interviennent alors dans la régulation de la fourniture de l'énergie.

Exemple : deux minutes suffisent à l'usine de GRAND-MAISON (Isère) pour fournir 1800 MW.

Courbe de consommation journalière :

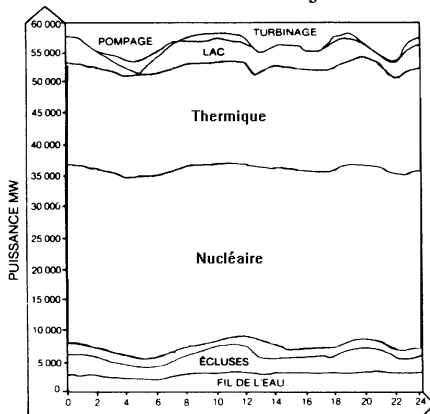


Fig. 2

Certaines d'entre elles sont utilisées pour fournir de l'électricité aux heures de pointe, ou pendant les jours d'hiver les plus froids.

3. 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.

La puissance disponible résulte de la conjonction de deux facteurs :

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

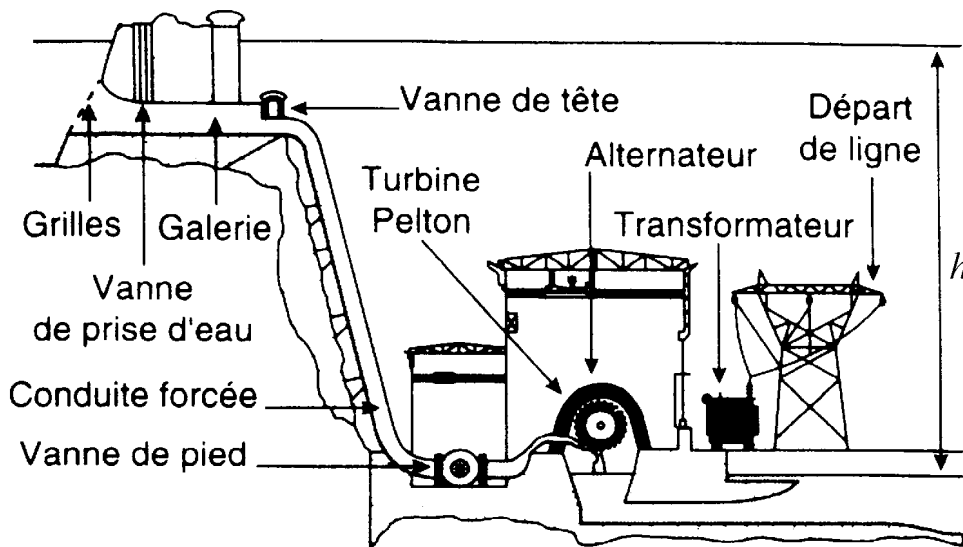


Fig. 3

3.1. Puissance d'une chute d'eau :

La définition de l'énergie potentielle est : $W = M \cdot g \cdot h$

Avec :
 W : énergie potentielle en Joules,
 M : masse de l'eau en Kg,
 g : accélération de la pesanteur en $\frac{m}{s^2}$ ($g = 9,81$).
 h : hauteur de la chute d'eau en m.

La définition de la puissance est : $P = \frac{W}{t}$

Avec :
 P : puissance utile de la chute d'eau en W,
 t : temps.

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

$$P = \frac{M \cdot g \cdot h}{t} \quad \text{or} \quad M = V \cdot M_v \quad \text{donc} \quad P = \frac{V \cdot M_v \cdot g \cdot h}{t}$$

On retrouve le débit, qui n'est rien d'autre que le rapport d'un volume par le temps :

$$P=Q \cdot Mv \cdot g \cdot h$$

Avec : Q : débit de la chute d'eau $\frac{m^3}{s}$ en .

Mv : masse volumique de l'eau en $\frac{kg}{m^3}$.

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 Mv et g sont constants.

Remarque :

La masse volumique de l'eau est 1, donc 1 m³ correspond à une masse de 1000 kg. On obtient alors une expression de P en KW.

$$P=Q \cdot g \cdot h$$

4. Les turbines :

Comme pour les centrales thermiques, les alternateurs sont entraînés par des turbines. Celles-ci sont adaptées aux caractéristiques de la chute : hauteur, vitesse de l'eau, débit.

4.1. Turbine PELTON :

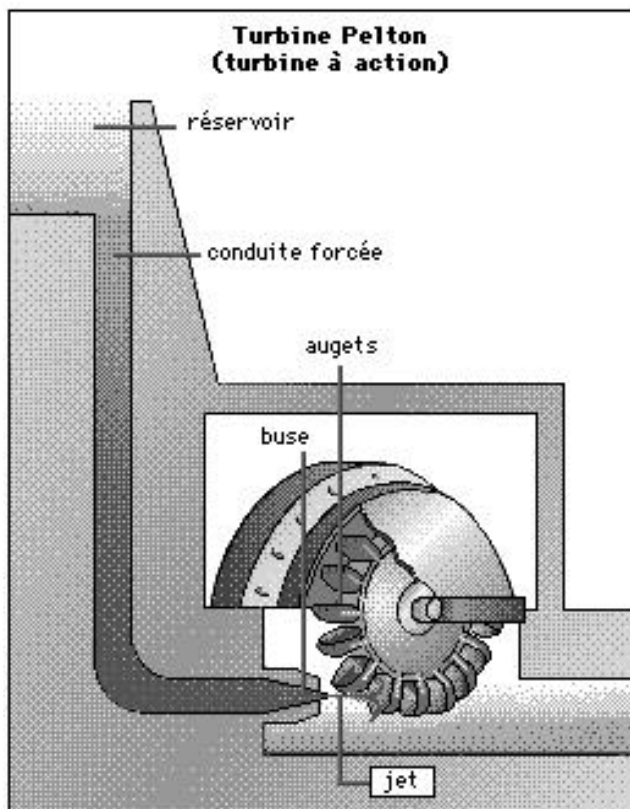


Fig. 4

Les usines de haute chute sont généralement équipées de turbines PELTON (Fig. 4), ou turbine à action : l'eau arrive en deux jets de forte pression contre le pourtour de la roue équipée de pales en forme de godets.

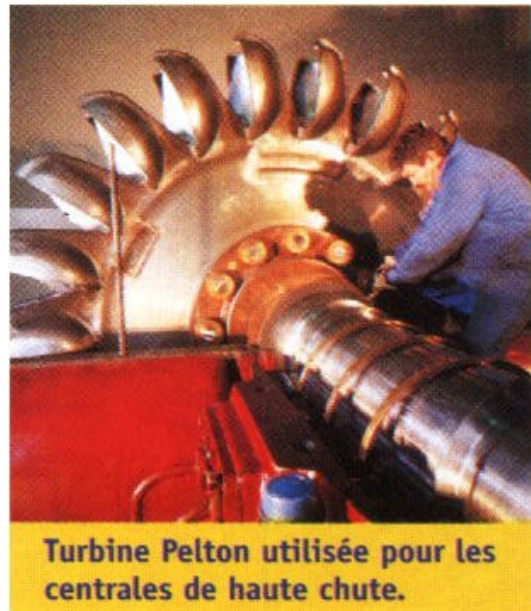


Fig. 5

4.2. Turbine FRANCIS :

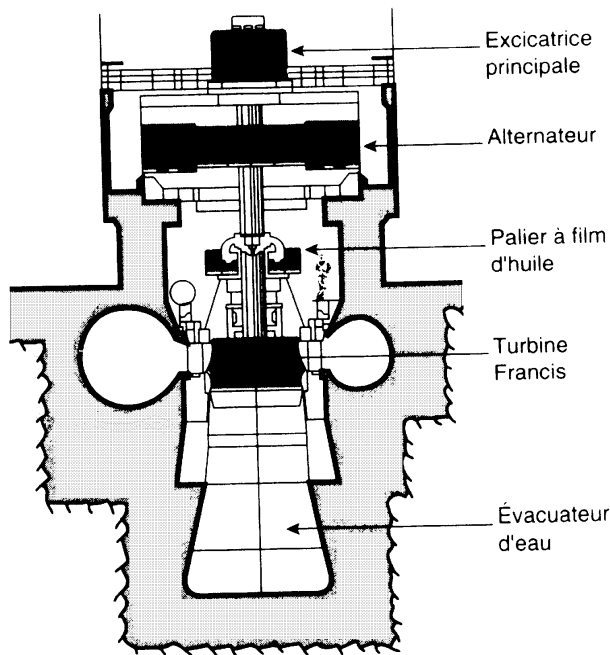


Fig. 6

Les usines de moyenne chute sont équipées de turbine FRANCIS (Fig. 6), ou turbine à réaction, qui permettent l'utilisation de l'eau à moyenne pression. L'eau est dirigée contre les pales de la turbine (Fig. 7) par des ailettes de guidage, puis rabattue vers le centre de la roue.

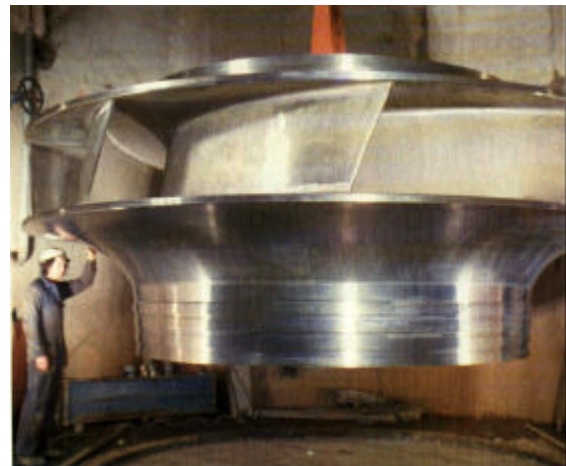


Fig. 7

4.3. Turbine KAPLAN :

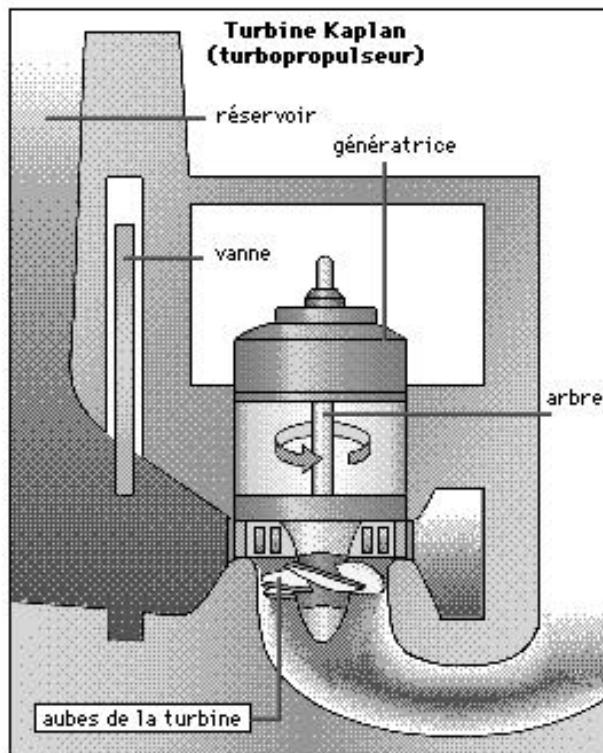
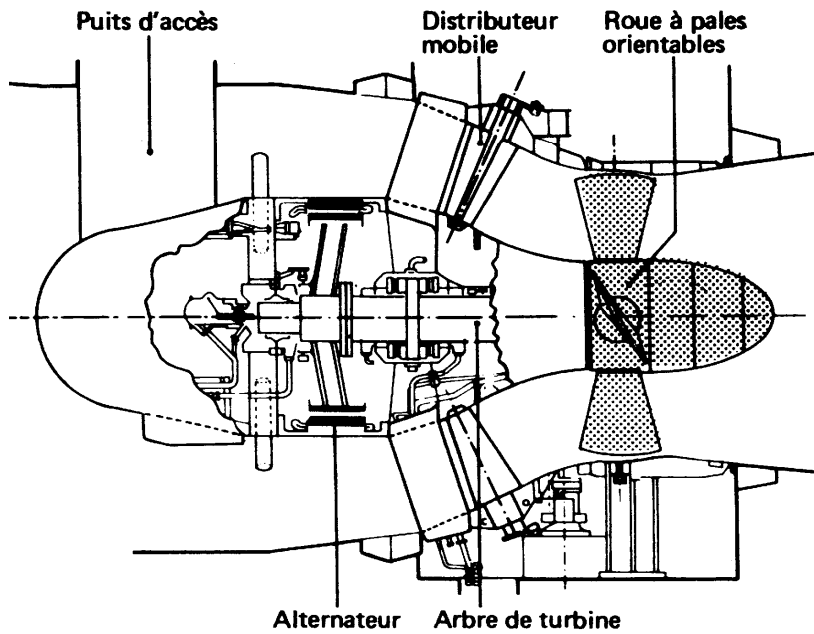


Fig. 8

Les usines de basse chute sont équipées soit de turbine à réaction type KAPLAN (Fig. 8) avec pales orientables en fonction du débit, soit de groupes bulbes.

Un type particulier de turbines, mises au point pour le barrage de la RANCE, est utilisé pour l'équipement des basses chutes : ce sont les groupes-bulbes, constitués d'une

turbine de type KAPLAN à écoulement axial horizontal et d'un alternateur logé dans un bulbe profilé (Fig. 9).



L'ensemble du groupe est immergé dans le conduit hydraulique. L'usine marémotrice de la RANCE dispose de 24 groupes bulbes de 10 000 kW.

Fig. 9



Fig. 10

Principe de fonctionnement en fonction de la marée :

MARÉE MONTANTE

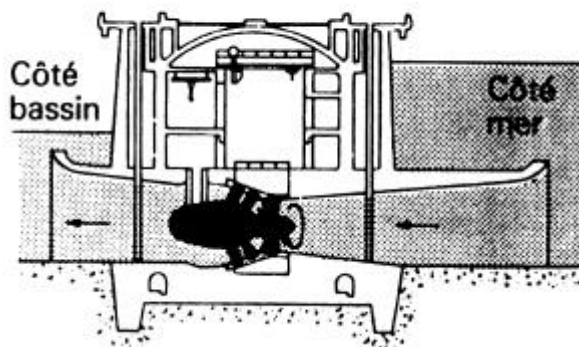


Fig. 11

MARÉE DESCENDANTE

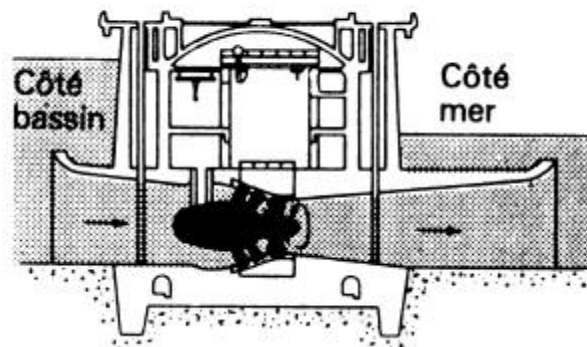


Fig. 12

5. Centrales hydrauliques :

5.1. Centrales de hautes chutes (Fig. 13) :

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.

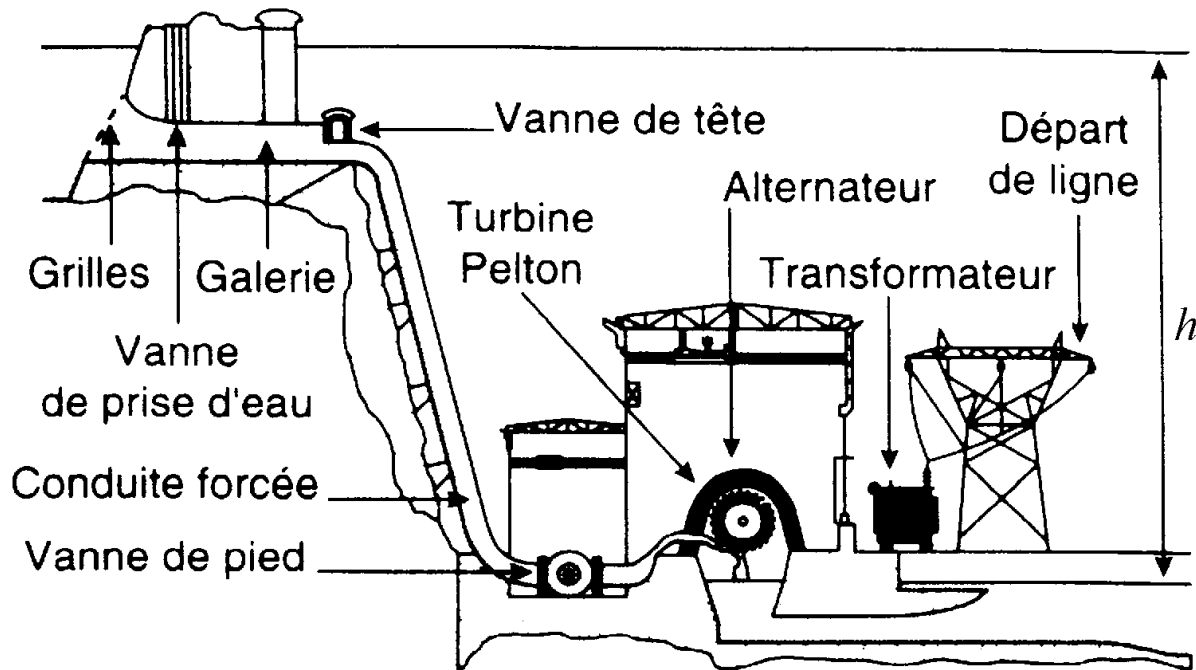


Fig. 13

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.

Exemple : Centrale hydraulique de ROSELEND LA BATHIE (SAVOIE) :

- Nombre de groupe : 6.
- Longueur de la conduite forcée : 13 km.
- Débit total : $\frac{\text{m}^3}{\text{s}} 50$. → Vitesse de rotation : 428 tr/mn.

Alternateur :

- Puissance : 88 MVA. → Tension 10,3 kV.

■ Quelle est la puissance de la chute d'eau ?...

5.2. Centrales de moyennes chutes (Fig. 14) :

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

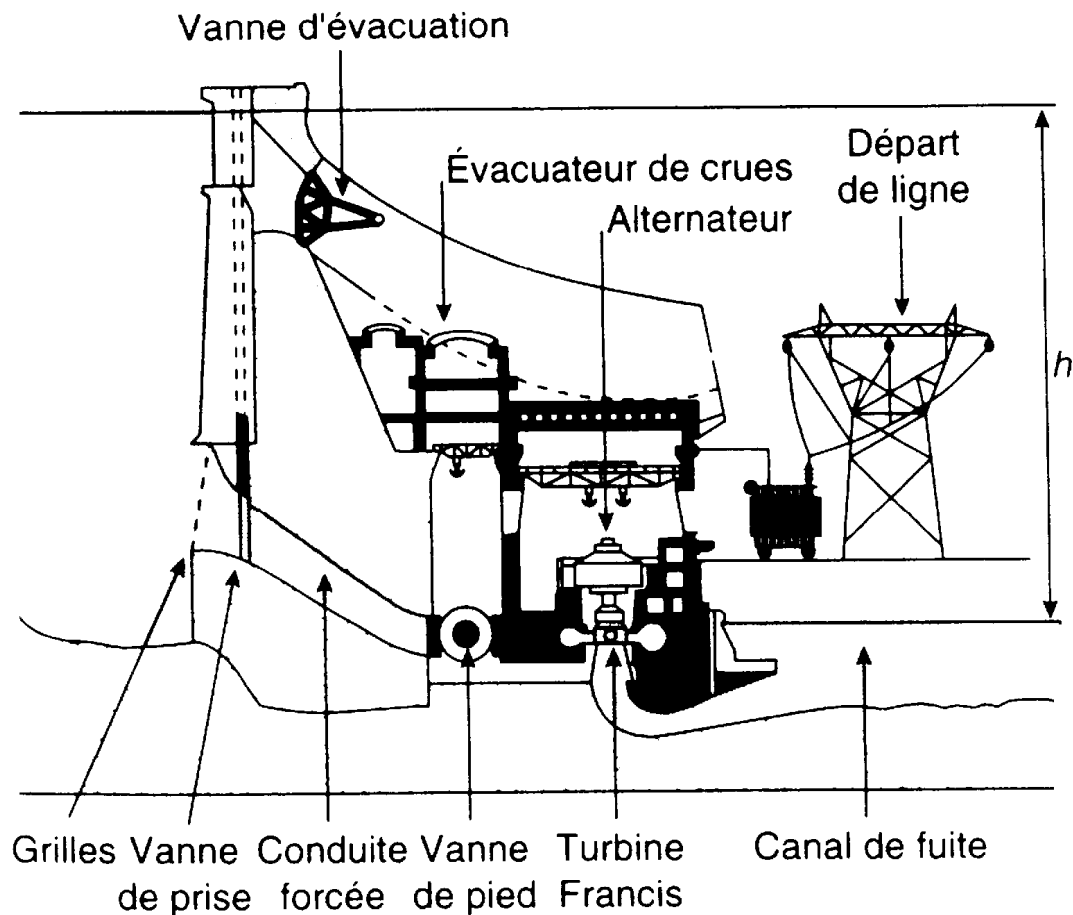


Fig. 14

Groupe turbine alternateur :

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

Exemple : Centrale hydraulique de SERRE-PONCON sur la DURANCE :

→ Nombre de groupe : 4. → Hauteur de chute : 120 m.

→ Débit total : $300 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

→ Vitesse de rotation : 214 tr/mn.

Alternateur :

→ Puissance : 90 MVA.

- Quelle est la puissance de la chute d'eau ?...
- Le rendement global d'un groupe est de 0,85, quelle est la puissance fournie au réseau par un alternateur.

- Quelle est la puissance fournie au réseau par l'unité de production ?

5.3. Centrales de basses chutes (Fig. 15) :

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.

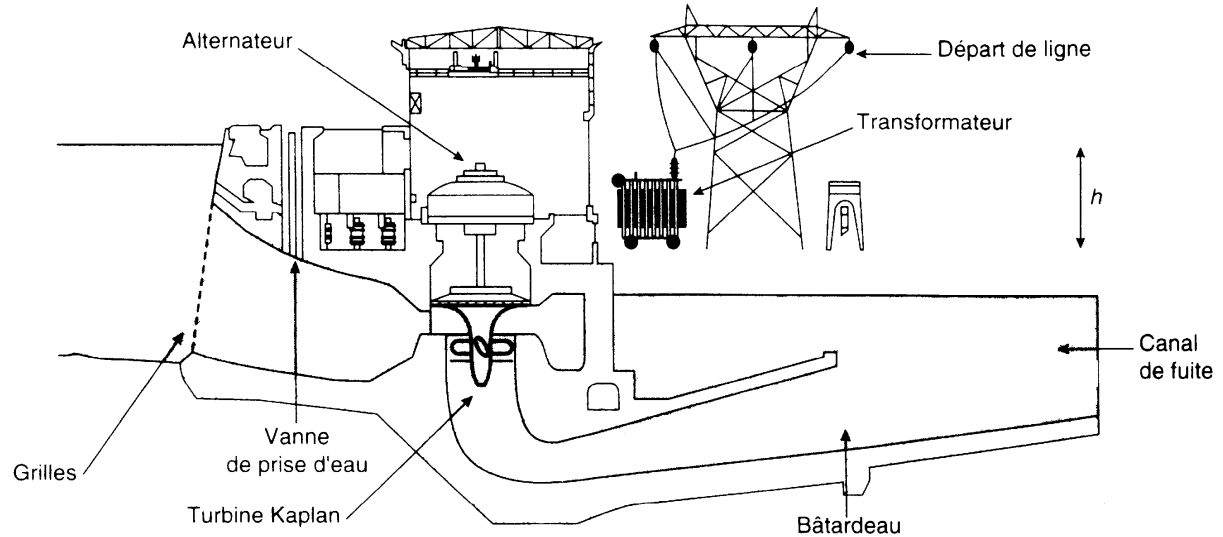


Fig. 15

Groupe turbine alternateur :

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

Exemple : Centrale hydraulique de DONZERE-MONDRAGON sur le RHONE (DROME) :

- Nombre de groupe : 6.
- Hauteur de chute en débit normal : 22 m.
- Débit total : $1500 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.
- Vitesse de rotation : 107 tr/mn.

Alternateur :

- Puissance : 50 MVA.

- Quelle est la puissance de la chute d'eau ? ...

■ Le rendement global d'un groupe est de 0,85, quelle est la puissance fournie au réseau par un alternateur.

5.4. Les usines de pompage, turbinage (Fig. 16) :

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.

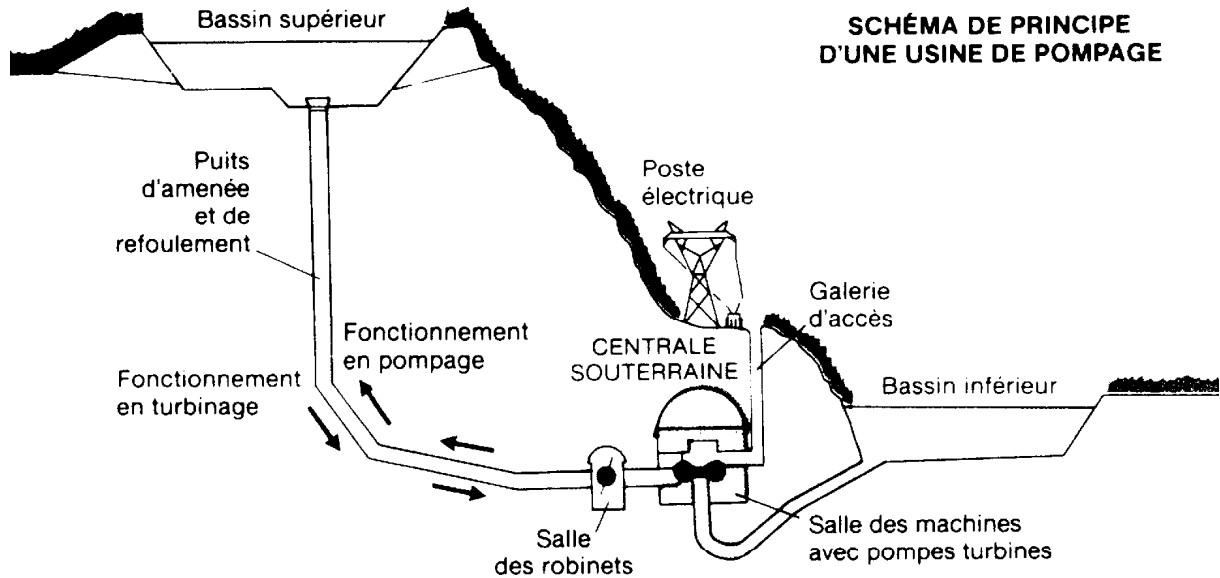


Fig. 16



Fig. 17



Fig. 18



Salle des machines

Fig. 19

Le système comporte deux bassins, l'un au-dessus de la centrale (Fig. 16) et l'autre immédiatement en aval. En période de forte consommation (l'énergie est chère), l'eau contenue dans le bassin supérieur produit de l'énergie puis s'accumule dans le bassin inférieur. En période de basse consommation (l'énergie est bon marché), elle est remontée par pompage vers le bassin supérieur pour être ensuite réutilisée (Fig. 17).

Diagramme de charge journalier

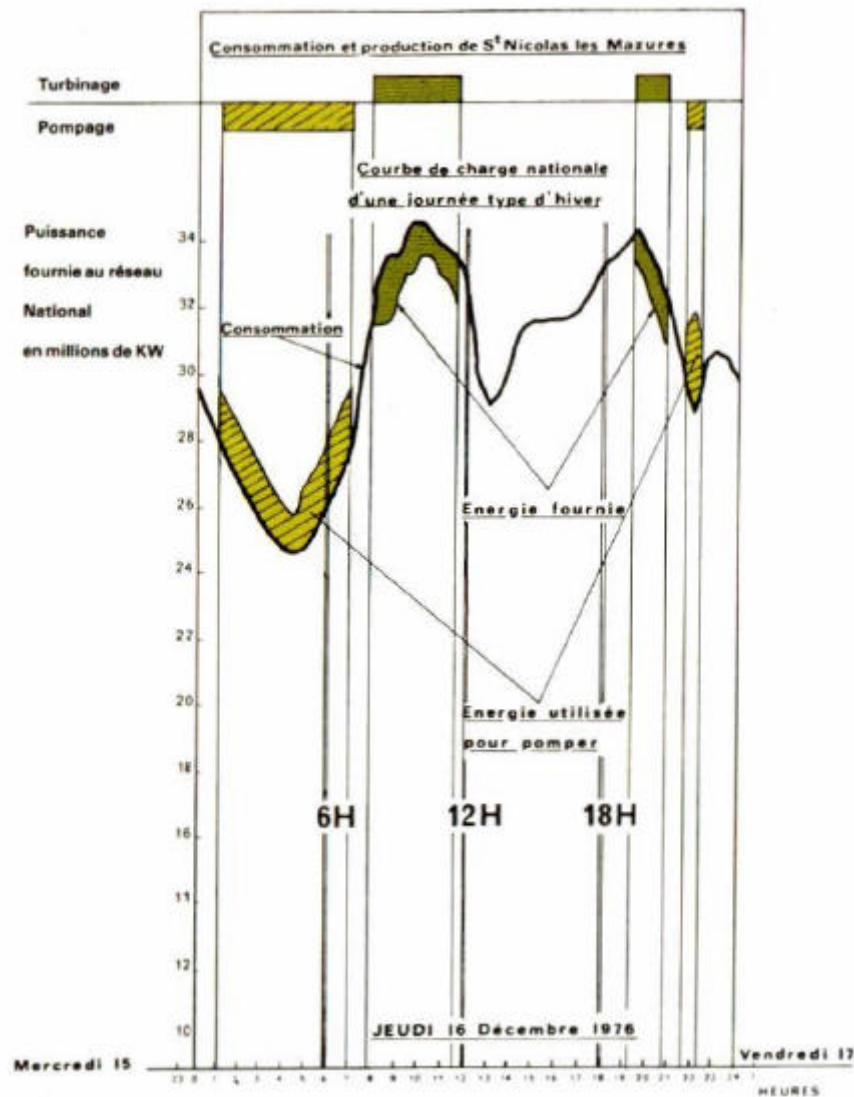


Fig. 19

6. Conclusion :

La production d'énergie électrique à partir de l'énergie hydraulique stockée n'offre pas que des avantages. En effet la production dépend fortement des précipitations en cours d'année, et la gestion de l'eau doit tenir compte de l'environnement (faune, culture). Les centrales à haute chute contribuent à réguler la production totale. La production d'énergie au fil de l'eau (centrale de basse chute) est constante durant la journée.