

TURBINE FRANCIS



Centrales de moyenne chute,
turbine Francis : 30 à 750 m



3 Gorges : 18 GW maxi, moyenne 14 300 m³/s – 113 m de chute

Turbines Neyrpic 700 MW, 75 tr/min
Chute 80 m. Diamètre 9,8 m 425 tonnes
Alternateur : 778 MVA 80 pôles 3400 tonnes

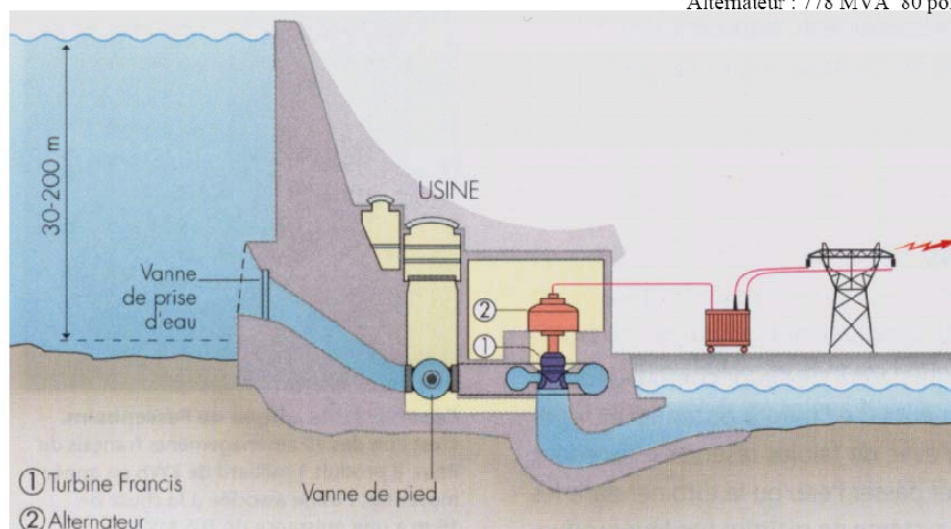
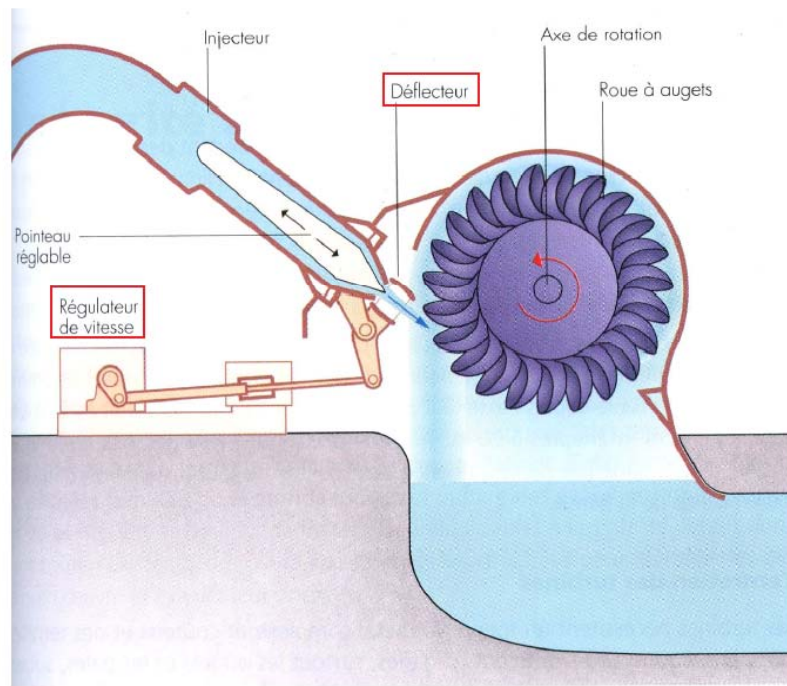


Photo : [Bas_00] Electricité Voyage au cœur du système, Eyrolles 2000.

Principe de la turbine Pelton.



Turbine Pelton. Les roues Pelton tournent dans l'air à la pression atmosphérique sous l'impulsion des jets à très grande vitesse dirigés sur les augets par les injecteurs.

TURBINE PELTON





Centrales de haute chute, turbine Pelton : 30 à 1800 m



La Jonche (38) - 2250 kW - 1 turbine 2 jets - chute: 237 m - Débit maximum 1,2 m³/sec

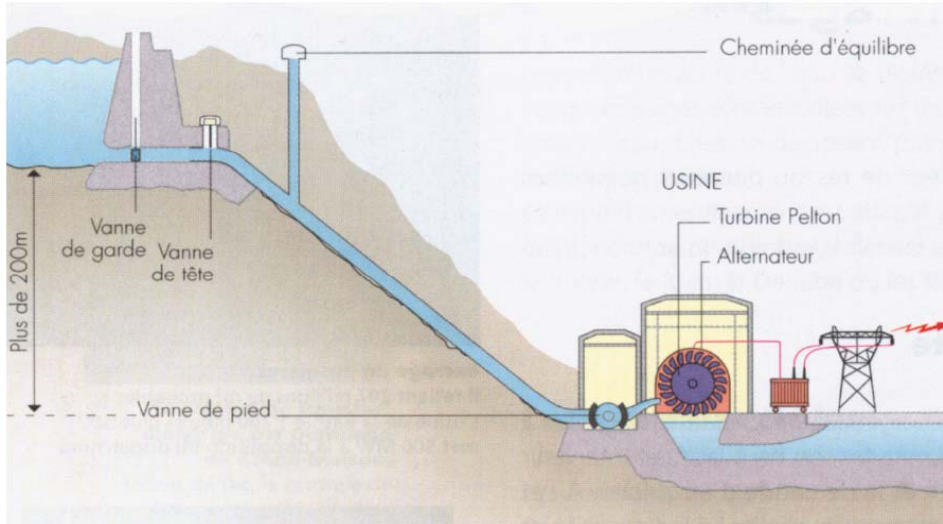
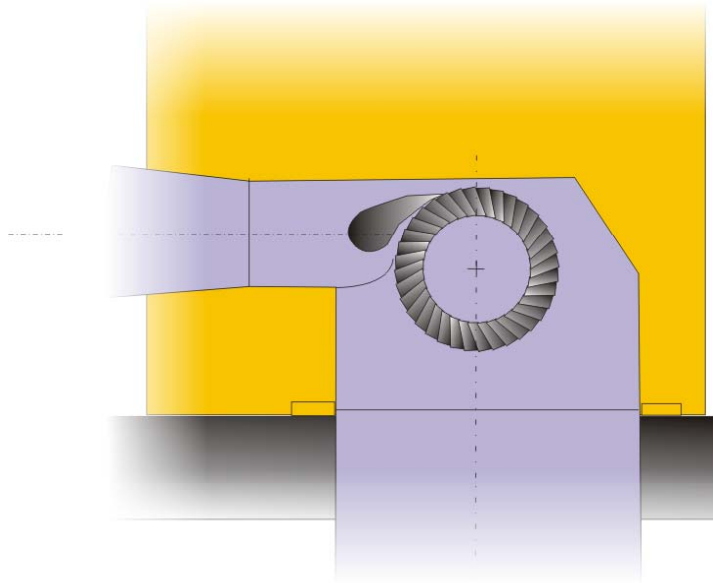


Photo : [Bas_00] *Electricité Voyage au cœur du système*, Eyrolles 2000.

Conduite forcée à CHATEL (SAVOIE)

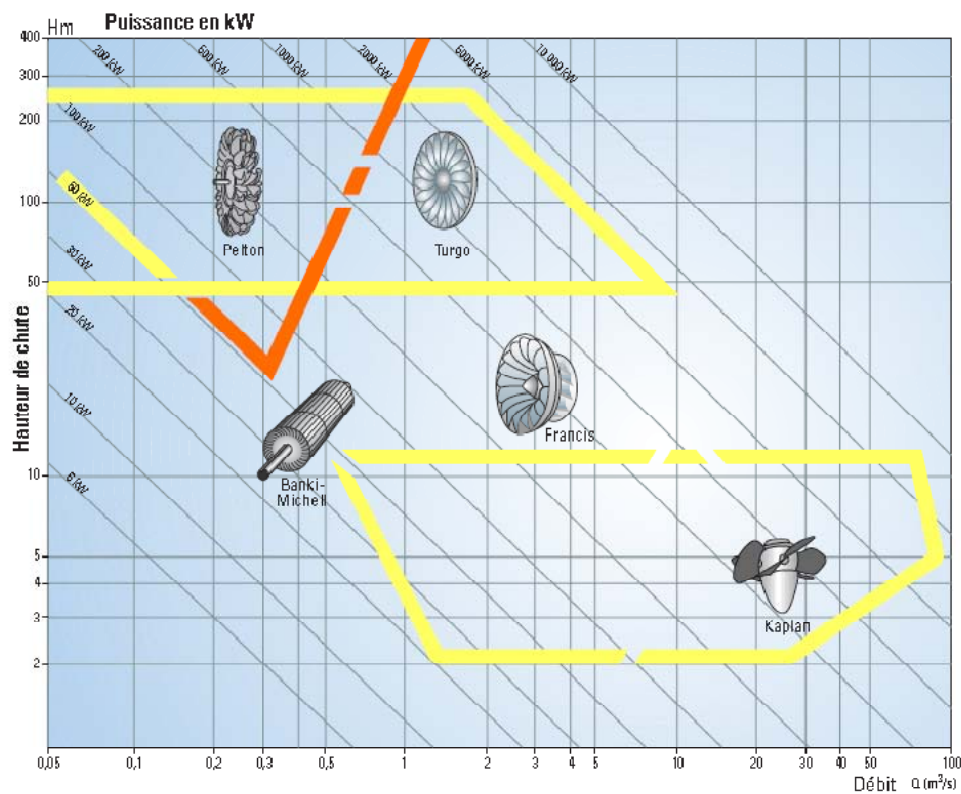


► La turbine **Crossflow (ou Banki-Mitchell)** : de construction simple, elle possède un bon rendement. Chutes: 2 à 200 m



Elle est actuellement peu utilisée.



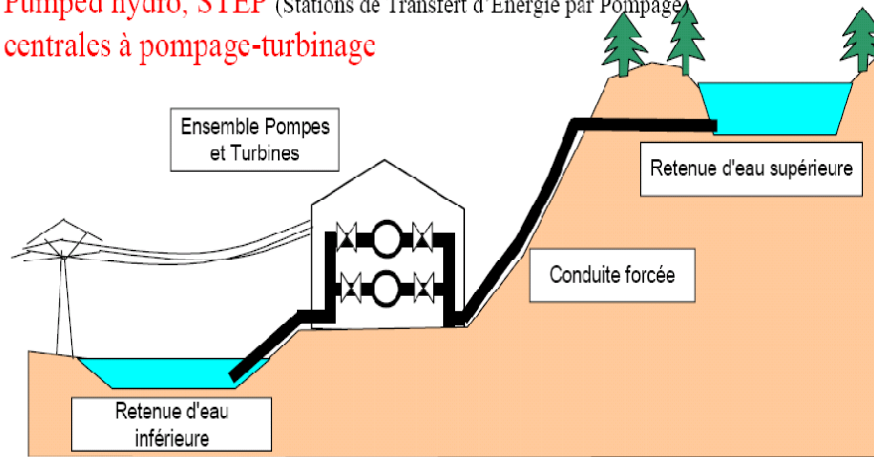


Différents types de turbines adaptées aux microcentrales selon de débit et la hauteur de chute (Document AFME)

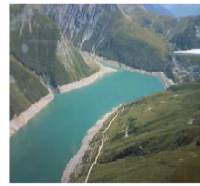
	vitesse (tr/mn)	H(m)
• BANKI	10 à 60	20 à 200
• FRANCIS	75 à 400	6 à 250
• KAPLAN	500 à 1200	2 à 20
• PELTON	2 à 30	40 à > 1000

Stockage hydraulique gravitaire

Pumped hydro, STEP (Stations de Transfert d'Énergie par Pompage)
centrales à pompage-turbinage



Rendement : 65 à 75 %
Démarrage : 10 à 15 min
Capacité : 1 à qq 100 GWh
Puissance : 100 à 1000 MW



Exemple : Grand-Maison
935 m de dénivellée, 170 Mm³
400 GWh
12 groupes 150 MW
1400 MW en pompage
1800 MW en turbinage

Données et dessins Jacques RUER, SAIPEM

Master Recherche STS IST Paris – ENS Cachan Module C16

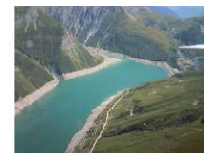
janvier 2007

B. MULTON – Antenne de Bretagne ENS Cachan



Centrales de pompage-turbinage

au monde : 140 GW (3,6%) sur 3800 GW
en France : 6,3 GW (5,4%) (+ Suisse) sur 116 GW



Usine de Grand'Maison (Isère) 12 groupes 150 MW – hauteur de chute 935 m – stockage 170 Mm³
1400 MW en pompage - 1800 MW en turbinage

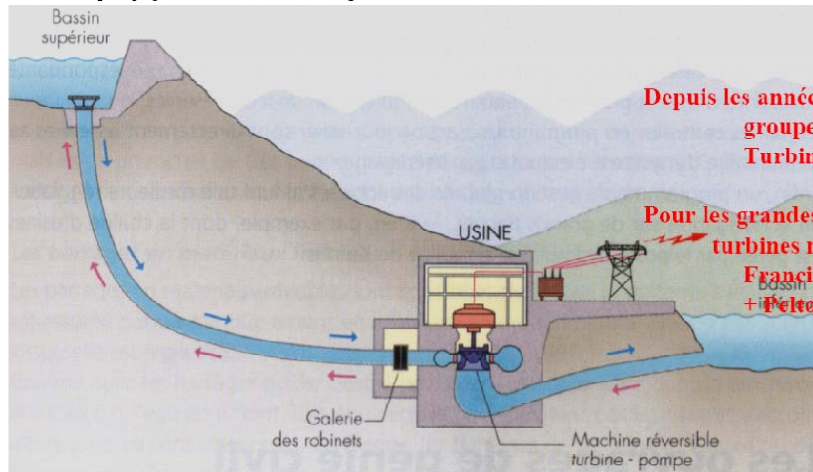


Photo : [Bas_00] Électricité Voyage au cœur du système, Eyrolles 2000.

Exemples de plus de 1000 MW

Centrales	Pays	Hauteur de chute d'eau (m)	Puissance (MW)	Année de mise en service
Imaichi	Japon	52,4	1 050	1984
Ludington	États-Unis	98	1 872	1974
Zagorsk	Russie	100	1 200	1988
Vianden	Luxembourg	287	1 141	1959
Racoon	États-Unis	317	1 532	1978
Bath Country	États-Unis	387	2 740	1985
Drakensberg	Afrique du Sud	473	1 080	1981
Helms	États-Unis	495	1 070	1981
Okuy Shino	Japon	539	1 200	1978
Dinorwig	Royaume-Uni	545	1 800	1982
Tamaharo	Japon	559	1 200	1983
Chiotas	Italie	1 070	1 200	1980
Piastra Edolo	Italie	1 260	1 016	1981

Depuis les années 1990 :
Groupes réversibles à vitesse variable
Cycloconvertisseurs, puis
onduleurs à GTO

Exemple :
OKUKIYOTSU_2 Japon 1996
H 470 m
Toshiba
2 groupes 300 MW
Onduleur GTO 345 MVA

Source :

A. MARQUET et al., « Stockage d'électricité dans les systèmes électriques », *Technique de l'ingénieur* D4030 5- 1998.

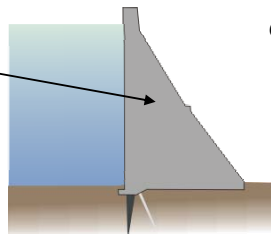
Master Recherche STS IST Paris – ENS Cachan Module C16

janvier 2007

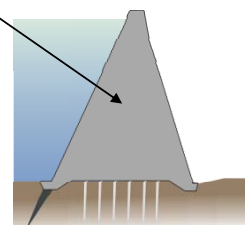
B. MULTON – Antenne de Bretagne ENS Cachan

Il existe plusieurs types de barrages :

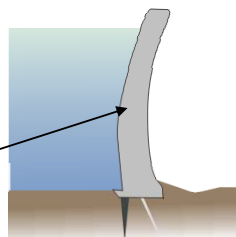
Les barrages poids sont les plus anciens et les plus répandus. En terre ou en béton, ils opposent leur masse à la poussée de l'eau



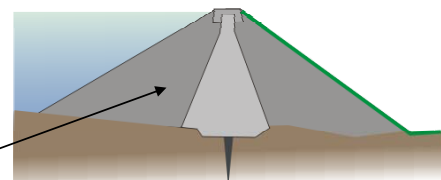
Les barrages à contrefort reportent la pression de l'eau sur le sol



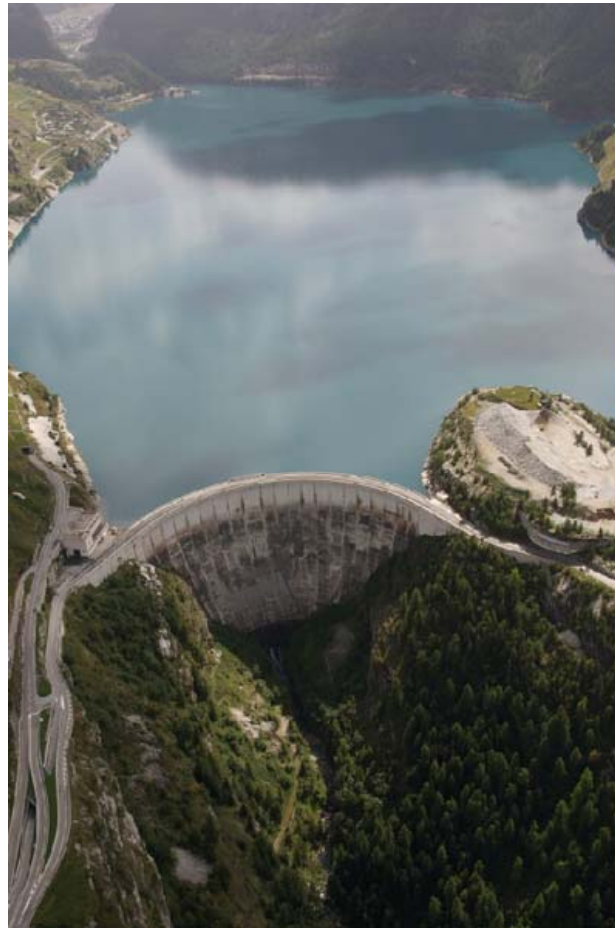
Les barrages voûte en forme d'arc de cercle reprennent le principe de la voûte romaine, repoussant sur les berges la poussée de l'eau



Les digues à noyau central



Barrage de Tignes en Savoie

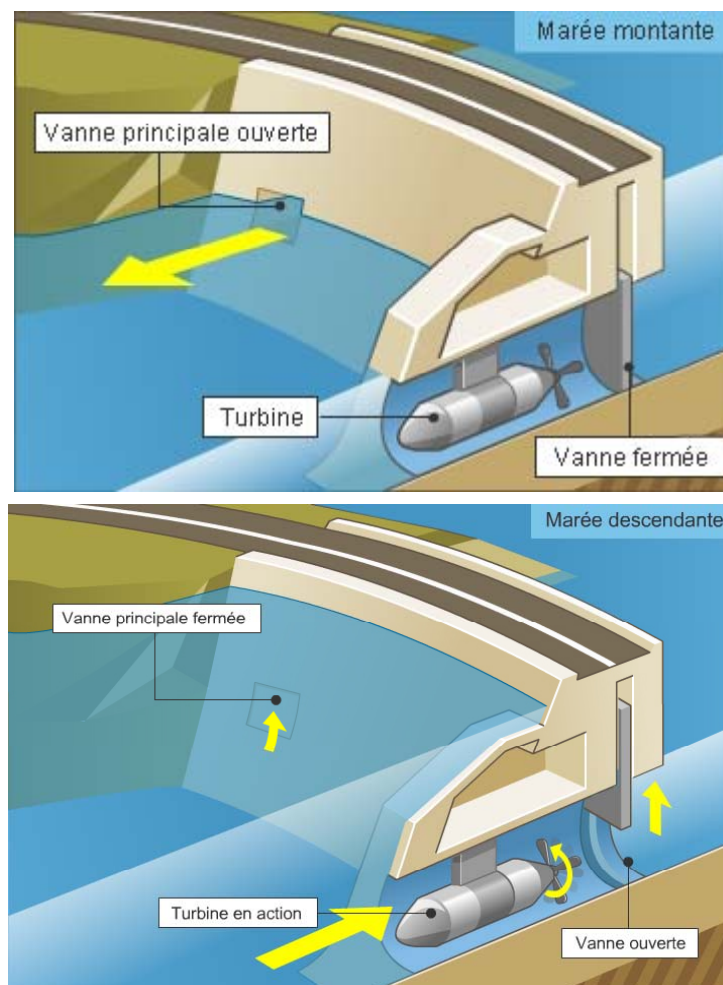


- Usines marémotrices:

ex: La Rance

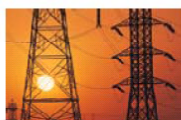
- 24 groupes bulbes de 10 MW chacun
- simple ou double flux (le flux et le reflux sont utilisés pour produire l'électricité)
- production: 544 GWh/an





PETITES CENTRALES HYDROELECTRIQUES

Picocentrales	10 à 100 KW
Microcentrales	100 à 1MW
Minicentrales	1 à 10MW
En France:	1500 centrales soit 2020MW installés
	7500GWh produits (1.5% de la production totale)



Les petites centrales hydroélectriques (PCH)



- Définition PCH : $P < 0,5$ à 50 MW (Brésil),
 en France : 2 à 10 MW (petites),
 500 kW à 2 MW (mini), 20 à 500 kW (micro), < 20 kW (pico)
 potentiel de 3500 chutes aménageables pour $7 \cdot 10^9$ kWh

- Dans le monde : 37 GW installés et plus de $100 \cdot 10^9$ kWh produits
 (plus de 3% de l'hydro-électricité)
 Croissance attendue de 18 GW d'ici 2010

- Un potentiel encore peu exploité
 très intéressant pour la décentralisation de la production
 peu perturbateur pour l'environnement
 possibilité de récupérer l'énergie des réseaux d'eau potable
 et des eaux usées (ex. suisses).

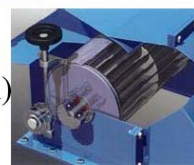


Bernard MULTON



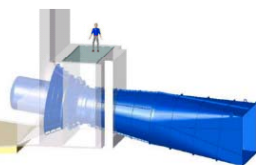
Les petites centrales hydroélectriques (PCH)

Habituellement : turbine (Pelton, Banki, Francis ou Kaplan)
 multiplicateur + génératrice asynchrone ou synchrone

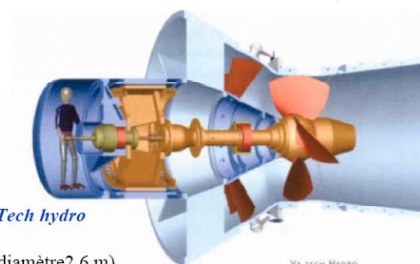


Turbine Banki ou crossflow
Doc Ecowatt

Exemple de chaîne de conversion moderne 500 kW à 5 MW :
 système ECOBulb entraînement direct (100 à 250 tr/mn)
 avec génératrice à aimants (diamètres turbines 2 à 15 m)



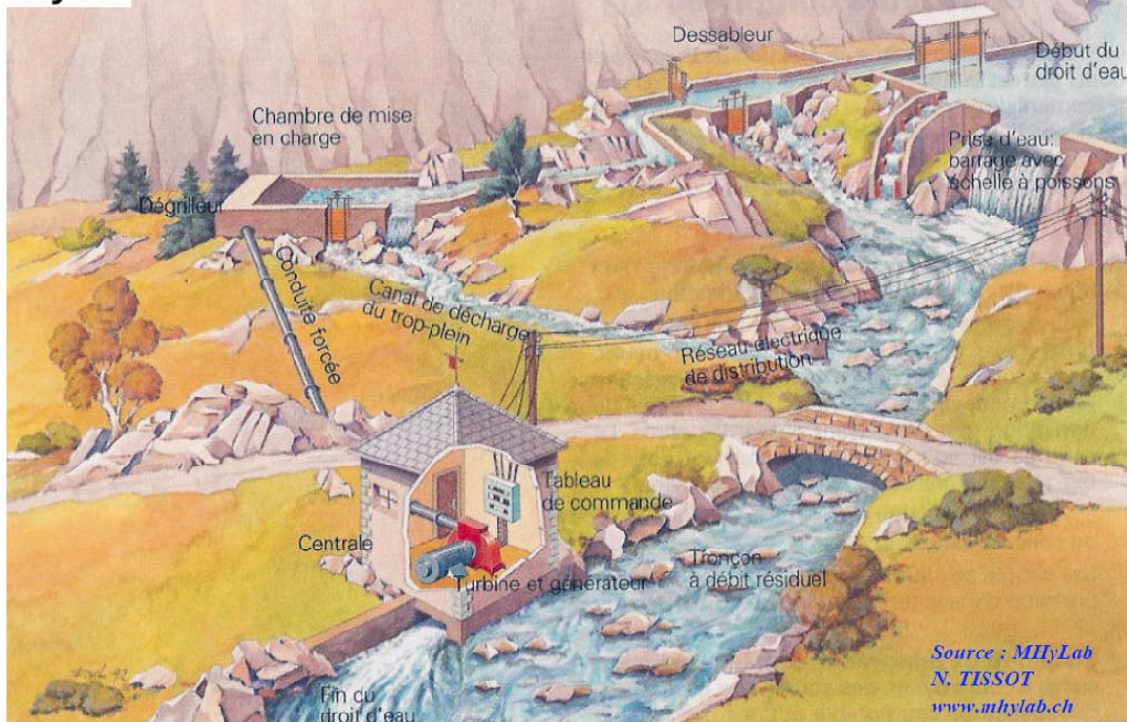
Doc VA Tech hydro



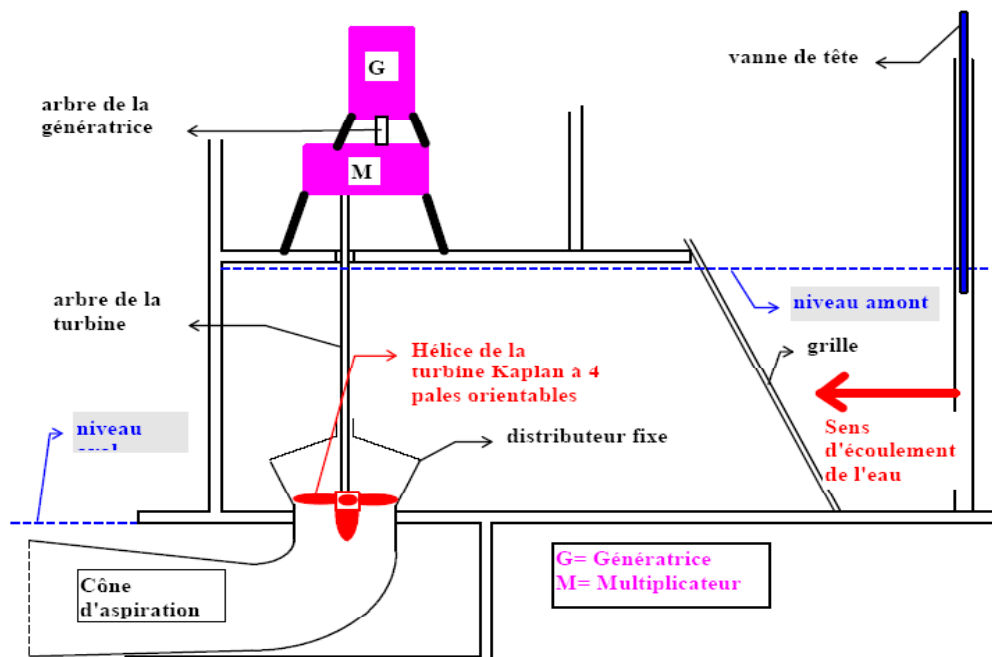
Exemple 2 unités de 1 MW (150 tr/mn, diamètre 2,6 m)
 à Paullo (Italie) en 2004

VA TECH HYDRO

Principe d'une petite centrale hydroélectrique

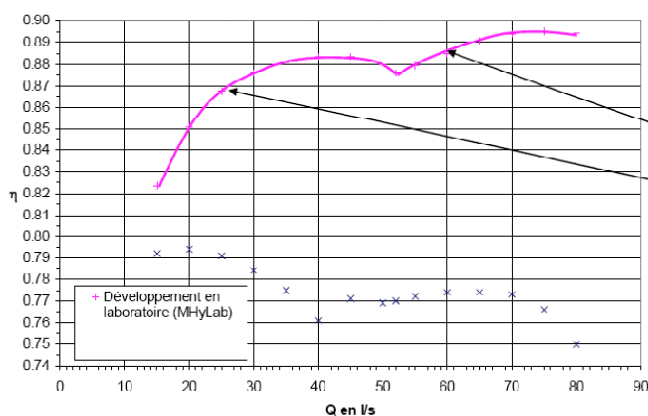


MICROCENTRALE





Exemples de courbes de rendement d'une turbine Pelton de petite puissance (150 kW)



2 injecteurs

1 seul injecteur

- 1 turbine Pelton, 2 injecteurs
- H_n : 218 m
- $Q_{\max}$: 80 l/s

Source : MHyLab
N. TISSOT
www.mhylab.ch



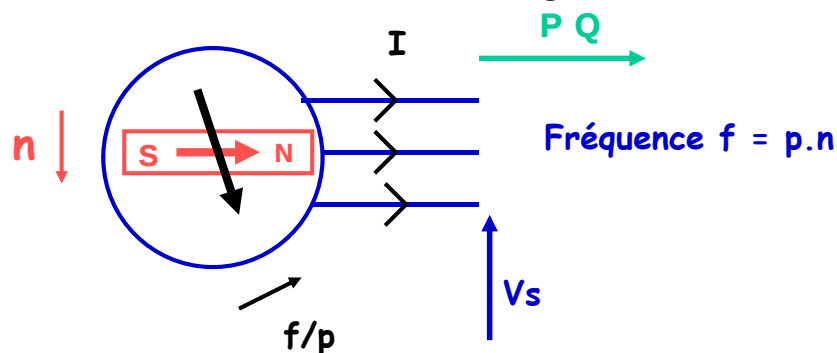
Les grosses turbines ont des rendements proches de 100%



Bernard MULTON

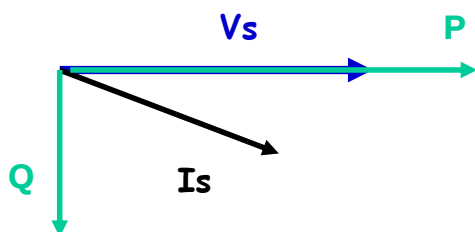
Rotor: électro-aimant

Stator: 3 bobinages décalés de 120°

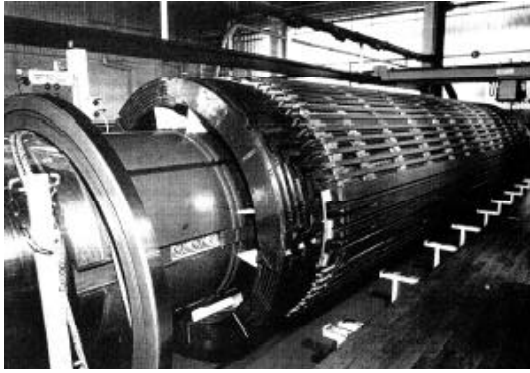


→ Champ tournant rotorique vitesse n

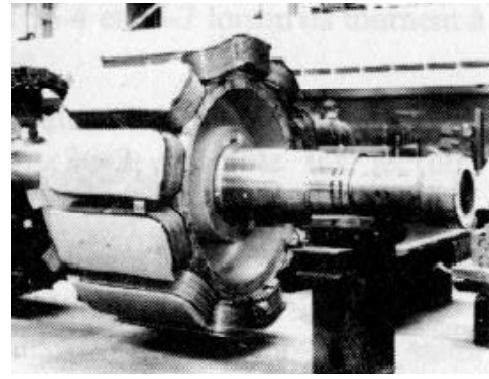
→ Champ tournant statorique vitesse f/p



**GENERATRICE
SYNCHRONE**



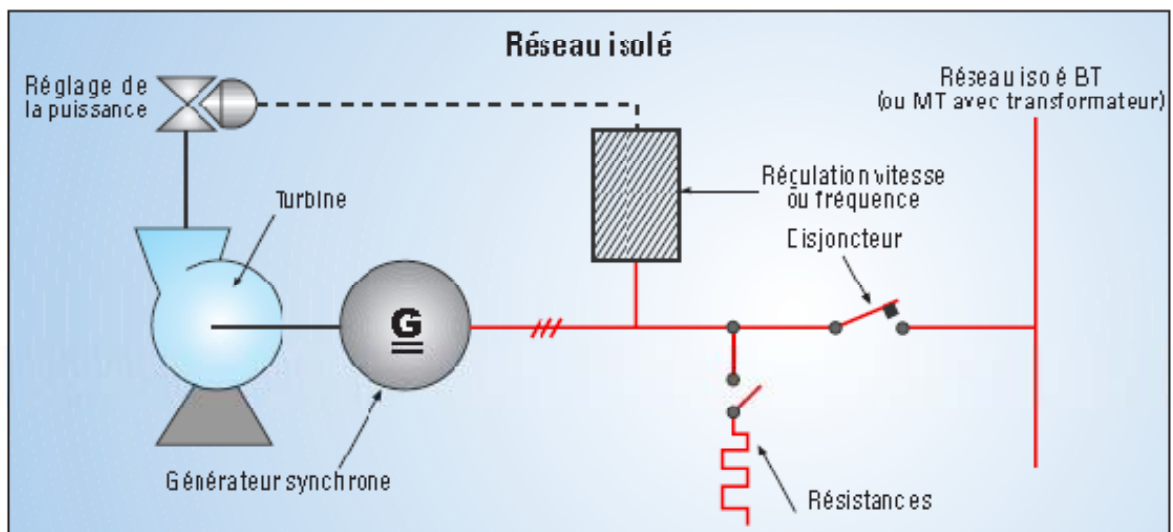
Rotor à pôles lisses



Rotor à pôles saillants

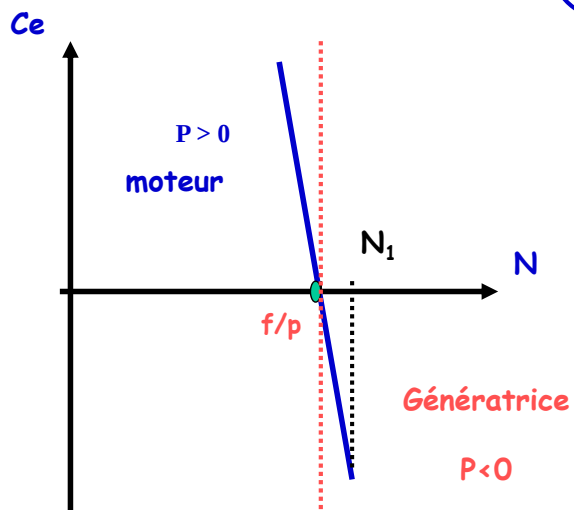
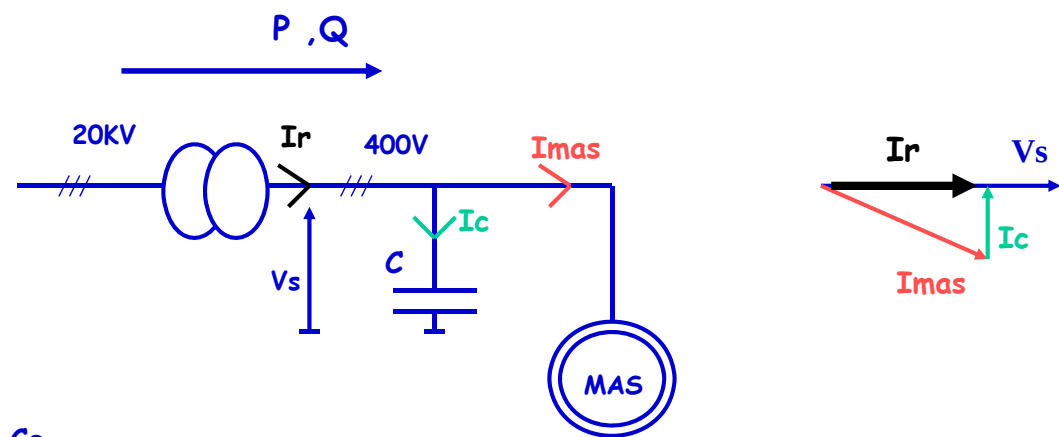
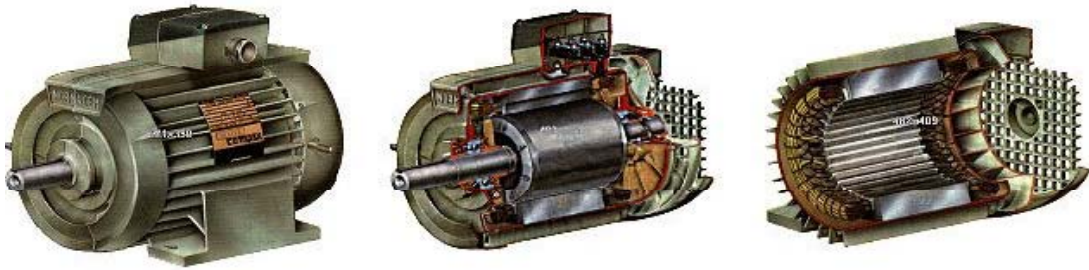


Stator



ALTERNATEUR

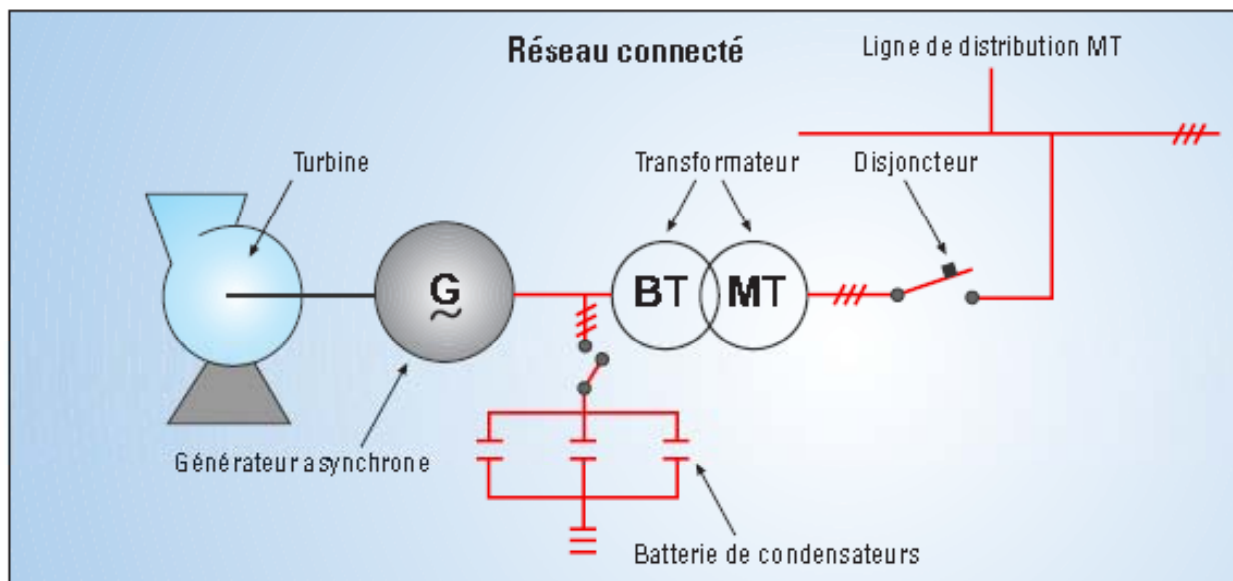
Machine asynchrone



$$f/p = 1500 \text{ tr/mn}$$

$$N_1 = 1555 \text{ tr/mn}$$

**GENERATRICE
ASYNCHRONE**



GENERATRICE ASYNCHRONE

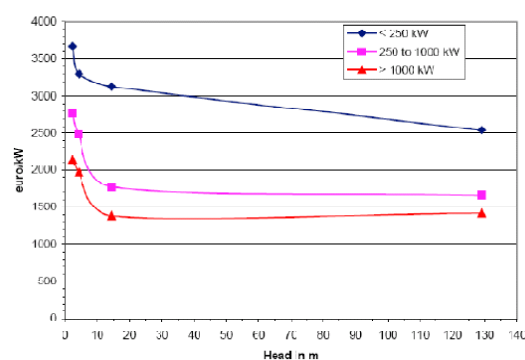


Les petites centrales hydroélectriques (PCH)



Coûts d'investissement, exemples :

puissance	70 kW	136 kW	180 kW	800 kW	2.9 MW	3.5 MW
€/W usine complète	4,3	3,9	3	1,4	0,9	0,6 à 1,3
génératrices	asynchrone	asynchrone	asynchrone	asynchrone	synchrone	synchrone



Exemples de coût d'installation

Avec 30/160m de chute:	débit 1 à 5 l/s - 1 à 3 KW environ 4600 à 9000 Euros
30/140m:	Débit 4 à 30 l/s - 2 à 15 Kva environ 11000 à 28000 Euros
10 à 160m	Débit 10 à 60 l/s et plus 1 à 60 Kva environ 20000 à 46000 Euros
MOYENNE CHUTE (entre 8 et 60m)	50 à 1500 l/s - 1 à 80 KW – à partir de 20-25000 Euros environ

Cahier des charges

- Hauteur de chute: 5.5 m
- Débit moyen du cours d'eau: 9.5 m³/s
- Débit réservé: 1.5 m³/s
- Rendement turbine: 0.85
- Rendement multiplicateur: 0.95
- rapport multiplication 4.84
- Rendement génératrice: 0.94
- Turbinage: 7000h/an
- $P = \text{masse volumique} * 9.81 * \text{débit} * \text{hauteur} * \text{rendement}$
- $P = 328\text{KW}$
- Energie annuelle fournie: $328000 * 7000 = 2.3\text{MWh}$
- Prix de revente: $2,3.10^6 * 0,06 = 156000 \text{ euros}$
- Coût d'installation: 984000 euros
- Retour sur investissement: 7ans

**Merci de votre
attention**