

Rencontre technique cours d'eau

du 10 mai 2023

Petite hydroélectricité et restauration de la continuité écologique

Qu'est-ce que l'hydroélectricité ?

Soutenu par





L'eau qui passe dans la roue d'un moulin, la fait tourner, puis revient à la rivière.

La roue entraine à son tour la meule.

Depuis la roue à aubes entraînant un moulin, les machines hydrauliques ont subi une évolution technique considérable.

Les aménagements hydro- électriques sont construits pour transformer la puissance de l'eau en puissance électrique.

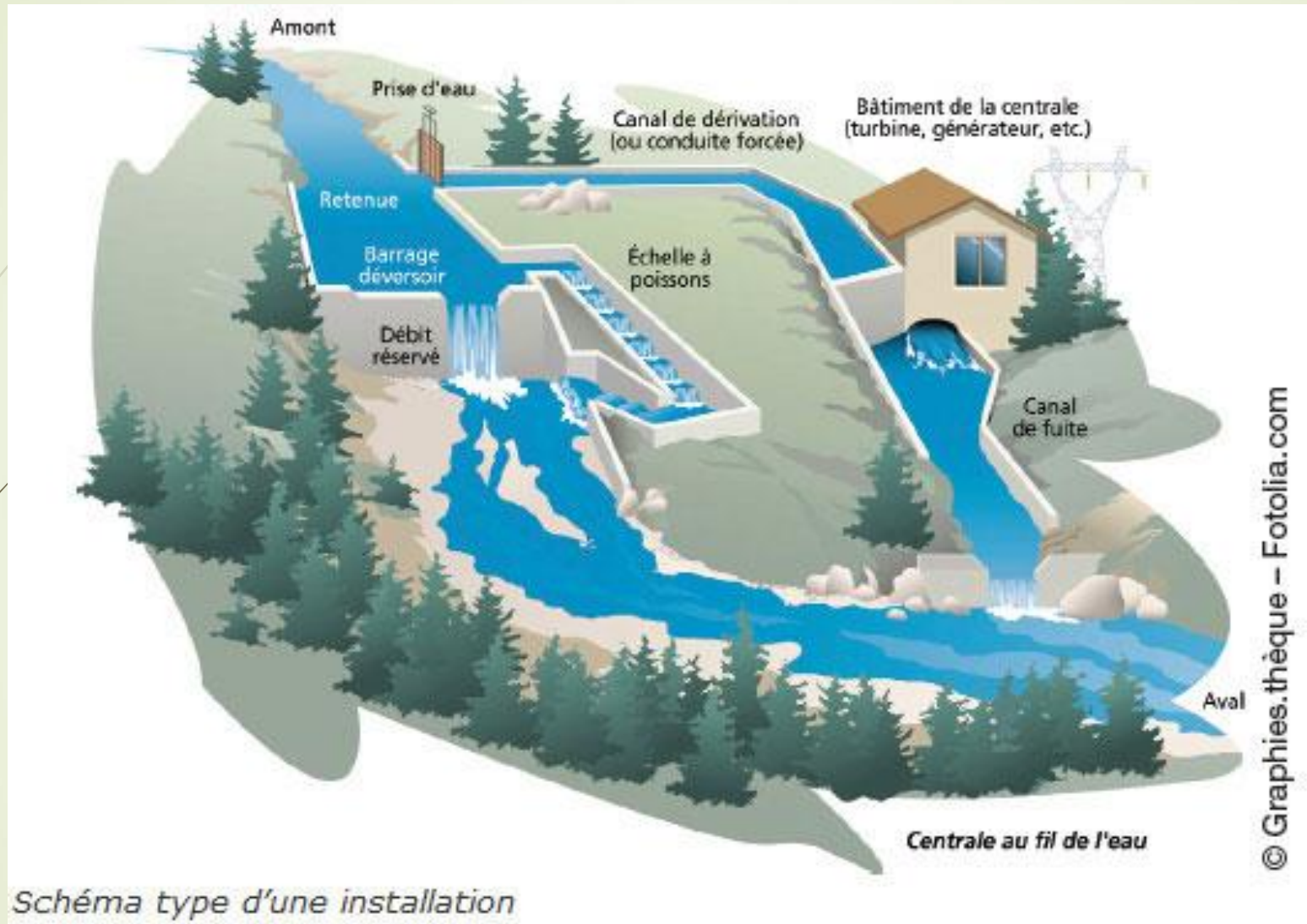


Un peu d'histoire

- Depuis l'Antiquité, la force de l'eau a été utilisée pour des utilisations mécaniques (moulins, forges, scieries...).
- Au XIXe siècle, de grandes évolutions conduisent au concept des centrales hydroélectriques d'aujourd'hui.
- Dès 1827, les **turbines** font leur apparition, améliorant l'efficacité et la puissance captée par les roues à aubes.
- En 1869, la première **conduite forcée** permet d'utiliser une chute de 200 m et 700 kW, portée à 500 m et 1 800 kW en 1882.
- Parallèlement, la découverte des lois de l'électromagnétisme permettant de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique conduit à la mise au point de l'**alternateur**.
- Enfin, les premières **lignes de transport (1883)** permettent d'utiliser l'électricité loin des sites de production et conduiront à la création des réseaux de transport et de distribution de l'électricité chez les consommateurs

❖ **Un aménagement hydroélectrique comprend :**

- **un barrage créant une retenue** d'eau plus ou moins importante
- **une prise d'eau dans cette retenue,**
- **des ouvrages d'amenée,**
- **une usine de production,**
- **une restitution au cours d'eau,**
- **une ligne d'évacuation d'énergie**
- **des accès aux sites.**





Puissance d'une chute hydraulique

- La puissance hydraulique utilisable est proportionnelle au **débit** d'eau et à la **hauteur de chute d'eau**.
- ❑ $p = 7,5 \text{ à } 8 Q H$ pour des puissances
- L'utilisation des ressources nécessite donc une connaissance de l'environnement du cours d'eau.

La topographie

La **topographie** permet de connaître précisément:

- ❑ la surface du bassin versant qui alimente la rivière,
- ❑ son altitude, ce qui conditionne le régime des écoulements.
- ❑ Le profil en long de la rivière permet de situer le barrage et les ouvrages de dérivation pour optimiser le ratio entre la longueur des ouvrages de dérivation et la hauteur de chute (L/h)

La géologie

- ❑ La **géologie permet de préciser la faisabilité des ouvrages.**
- La cuvette du barrage doit être étanche sans grands travaux d'étanchéité complémentaire.
- La géologie du verrou détermine la faisabilité du barrage et son type.
- Les propriétés mécaniques du verrou doivent permettre de reprendre les forces appliquées au barrage.

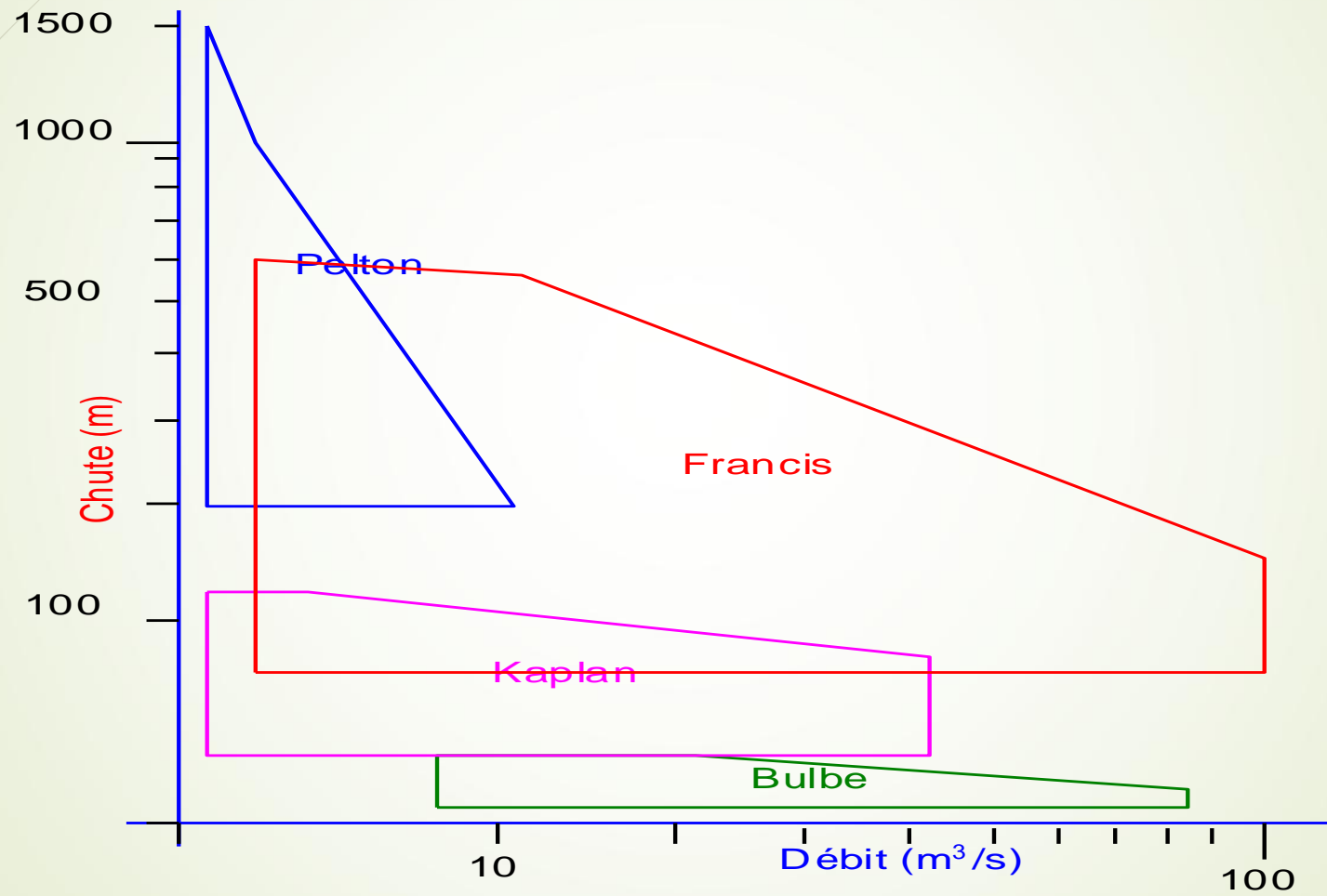
Etude des crues

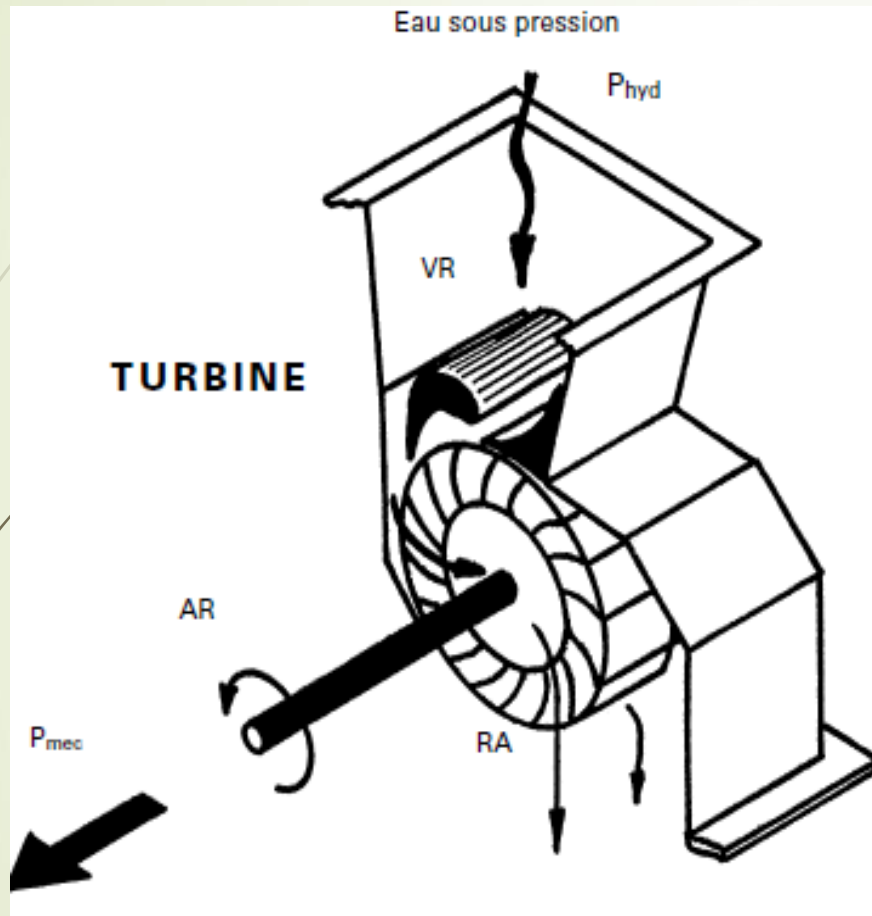
- ❑ Elle précise les apports d'eau, leur évolution selon les saisons, leur régularité et les phénomènes extrêmes, mais aussi les transports solides du cours d'eau.

- ❑ **On classe les régimes de débit de la façon suivante :**
 - — régime glaciaire avec des débits importants en été jusqu'en août ;
 - — régime nival lors de la fonte de la neige au printemps ;
 - — régime pluvial océanique ou tropical selon les latitudes ;
 - — régime complexe pour les grands fleuves qui ont des bassins versants très diversifiés ;
 - — régime particulier comme les régimes cévenols ou méditerranéens

Il existe différents types de turbines qui sont utilisées en fonction de la hauteur de chute.

- Haute chute → PELTON
- Moyenne chute → FRANCIS
- Basse chute → KAPLAN
- Très basse chute → BULBE





VR: vanne de réglage du débit d'eau
(nommée **distributeur** ou **injecteur** selon le type de turbine).
Celle-ci permet de régler la puissance en fonction des besoins du consommateur et de l'eau à disposition

RA: roue à aubes ou à augets

AR: arbre en rotation

P_{hyd}: puissance hydraulique fournie à la turbine par un débit d'eau sous pression

P_{mec}: puissance mécanique délivrée par la turbine

Machine alimentée en eau sous pression, qui met en mouvement une roue à aubes et produit de la force, ou puissance mécanique, par l'intermédiaire d'un arbre en rotation

Disposition générale des groupes

Disposition générale des groupes hydrauliques :

On distingue 2 catégories :

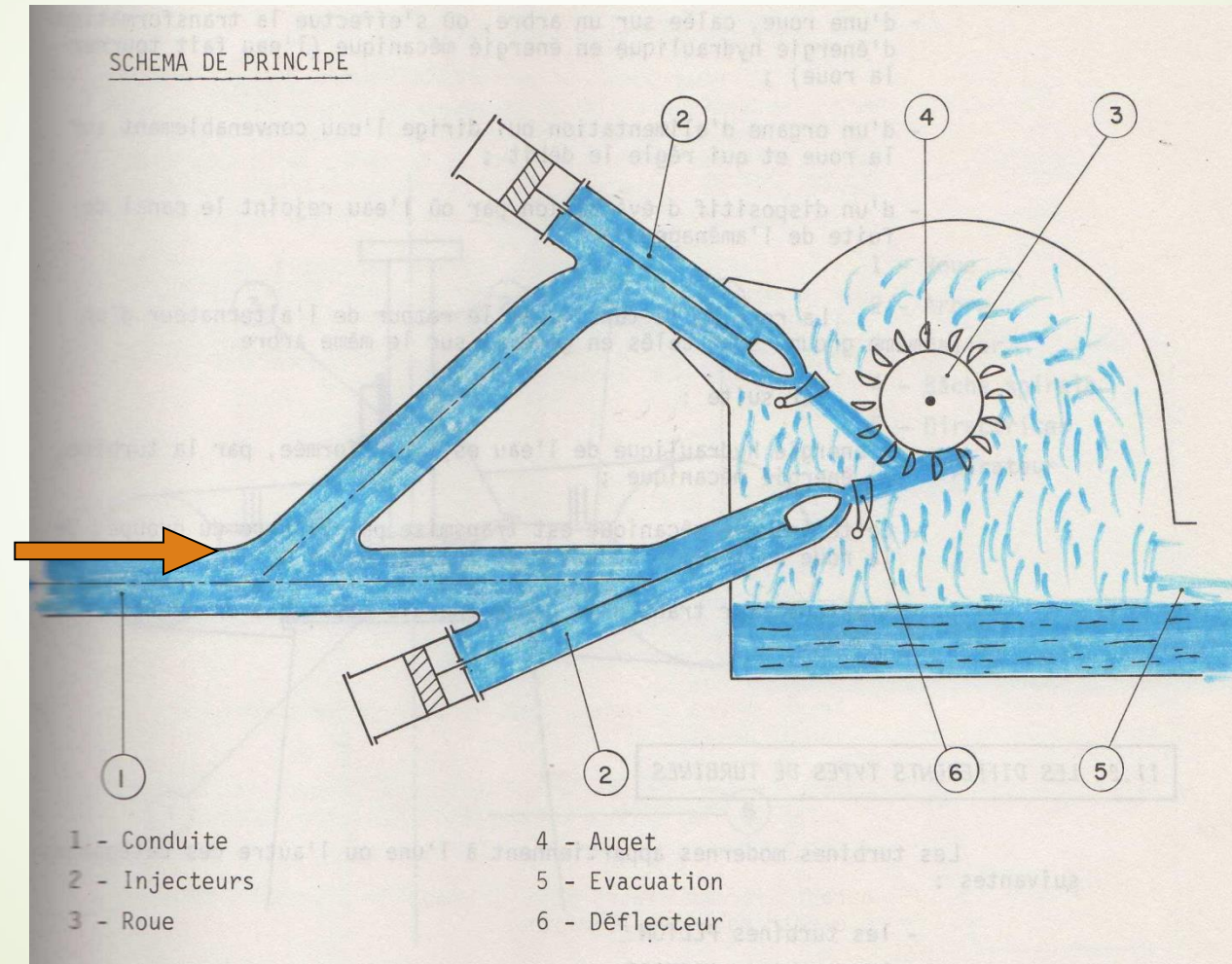
- **Les groupes à axe vertical** : L'alternateur est situé au dessus de la turbine. Les parties tournantes, rotor, arbres et roue sont supportées par un **pivot** qui repose :
 - soit sur le stator de l'alternateur par l'intermédiaire du **croisillon**
 - soit sur le **fond turbine** ou **fond central**Les parties tournantes sont guidées en rotation par 2 ou 3 paliers.
- **Les groupes à axe horizontal**: l'alternateur est placé à coté de la turbine.
Les parties tournantes sont supportées et guidées par 2, 3 ou 4 paliers.
Une double **butée**, placée sur ou à proximité d'un des paliers, interdit le mouvement axial des masses tournantes.
Un groupe horizontal peut être alimenté par 2 turbines.

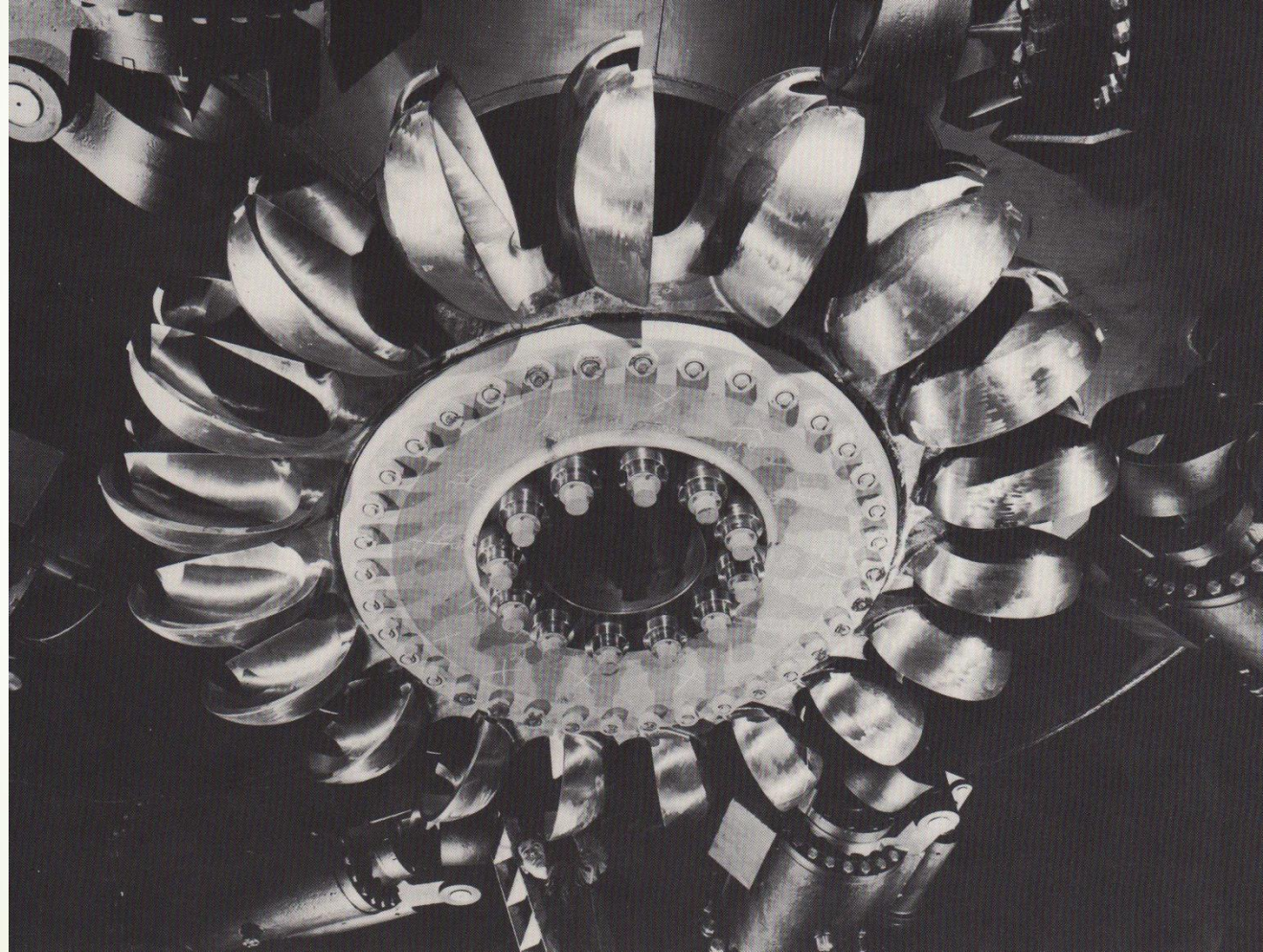
Hautes chutes → Pelton

- La roue est composée d'un moyeu, d'une jante et d'une couronne sur laquelle sont fixés des **augets** dont le nombre (15 à 25) varie avec la taille de la turbine.
- L'alimentation se fait par un **injecteur**, sorte de tuyère où l'eau est mise en vitesse sous forme de jet.
- C'est une **turbine à action** car seule la force du jet sur les augets fait tourner la roue et à **injection partielle** parce que l'eau n'arrive sur la roue qu'en quelques points (1 à 6 maximum).

2. Classification des turbines hydrauliques

Schéma de principe d'une turbine PELTON à 2 injecteurs

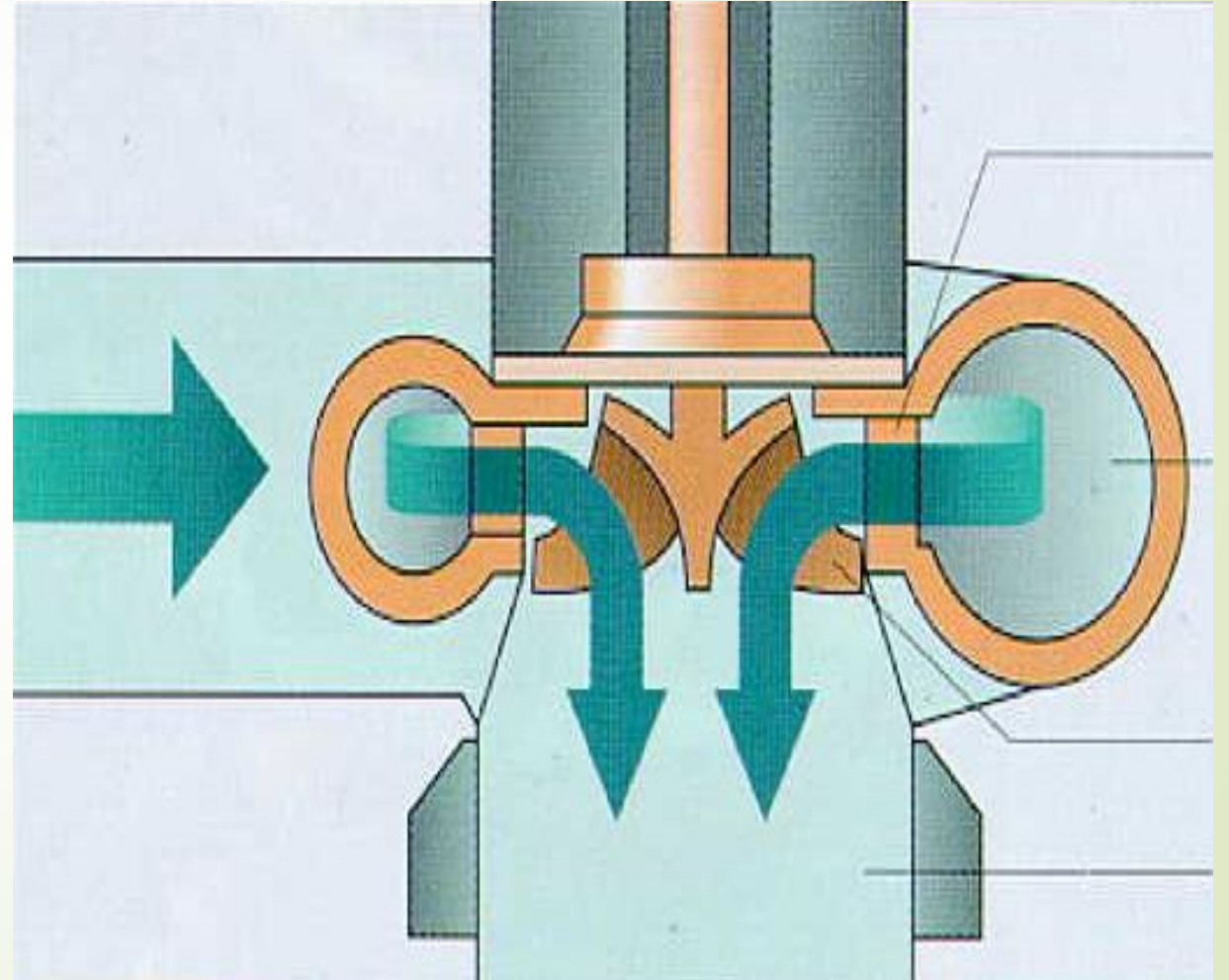
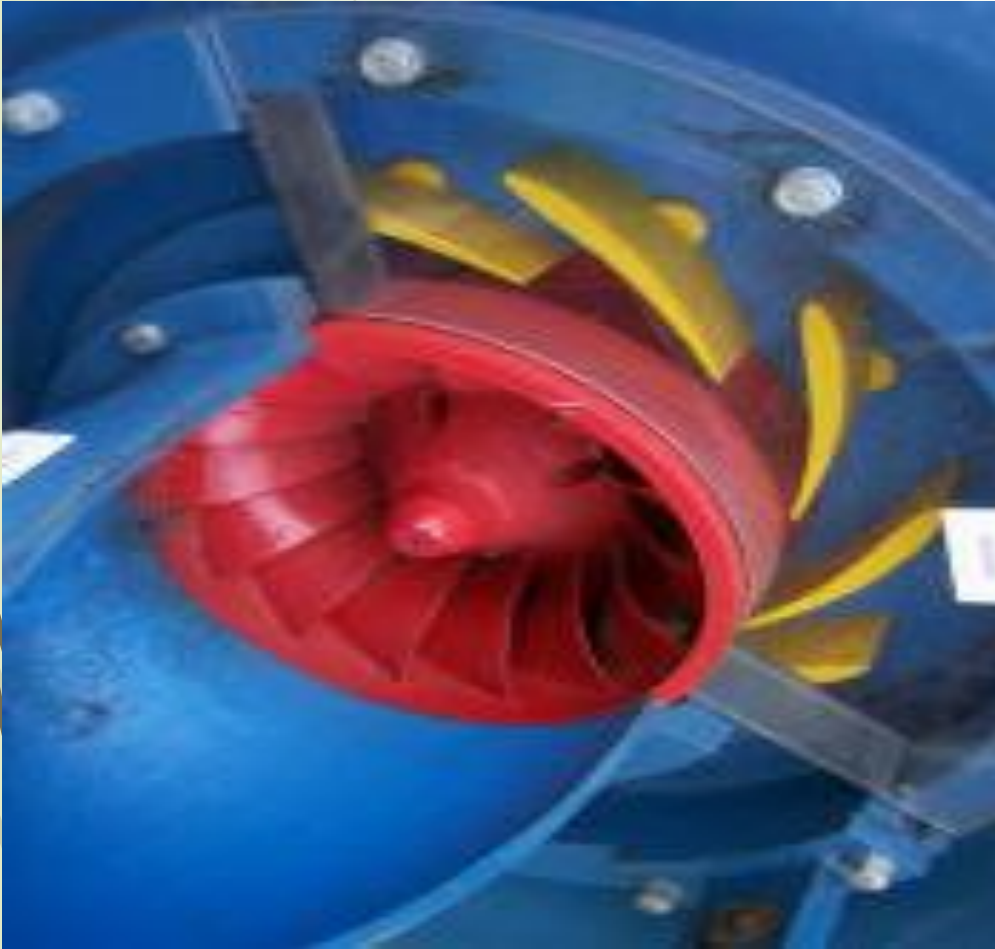




Moyennes chutes → Francis :

- La roue est composée d'un certain nombre d'**aubes** fixes, serrées entre le **plafond** et la **ceinture**.
- L'eau est mise en vitesse dans une tuyauterie en colimaçon, la **bâche spirale**, puis pénètre dans la roue par les aubes **directrices** réparties à la périphérie.
- Ces aubes mobiles constituant le **distributeur** permettent de régler le débit d'eau et orienter convenablement l'écoulement.
- C'est une **turbine à réaction** car la roue est noyée entièrement dans une veine liquide: la rotation est provoquée à la fois par la vitesse de l'eau (énergie cinétique) et la différence de pression entre le dessus et le dessous des aubes.

Turbine Francis





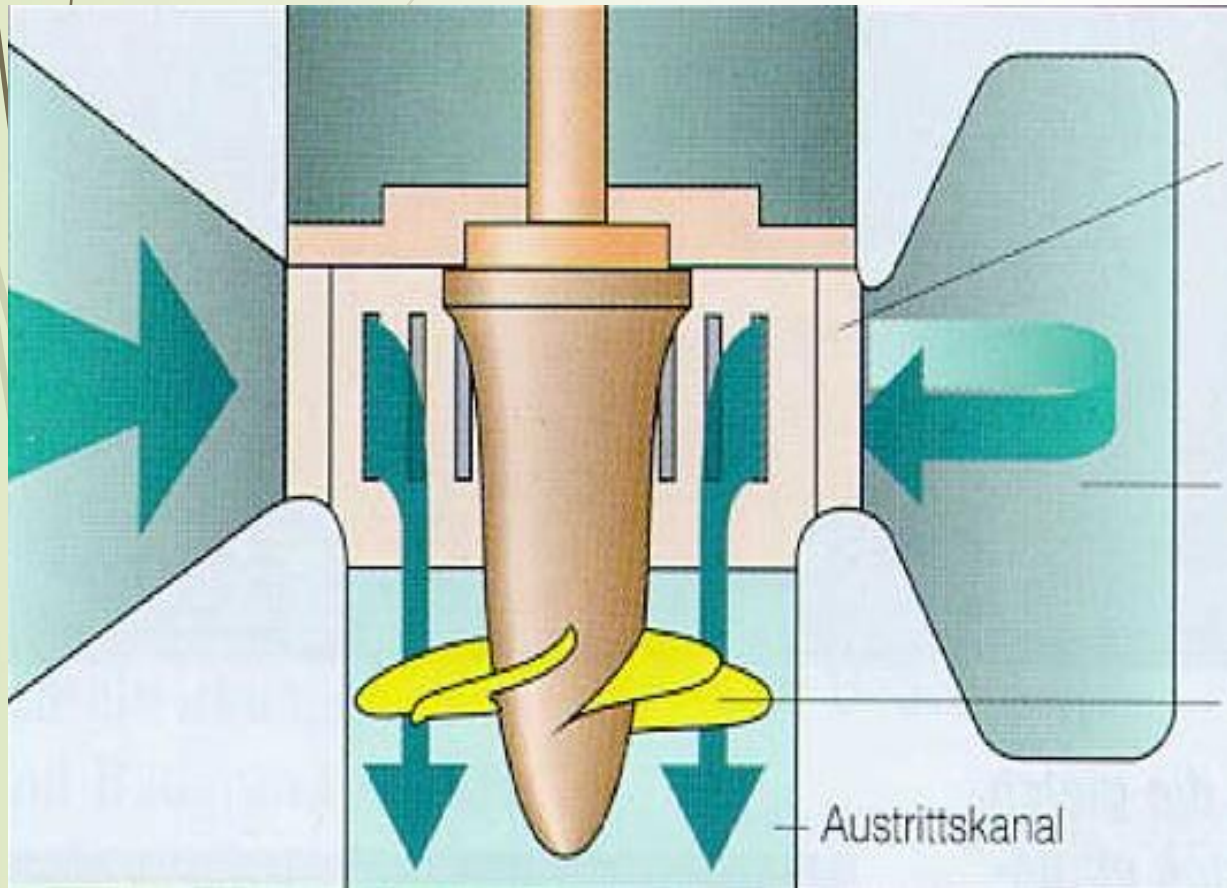
– Basses chutes → Kaplan, hélice

- La roue, telle une hélice de bateau, comprend un certain nombre de pales (3 à 6) rattachées sur un moyeu lui même prolongé par une ogive.

L'eau est

- L'eau est mise en vitesse dans une tuyauterie en colimaçon, la **bâche spirale**, puis pénètre dans la roue par les aubes **directrices** réparties à la périphérie.
- Ces aubes mobiles constituant le **distributeur** permettent de régler le débit d'eau et orienter convenablement l'écoulement.
- C'est une **turbine à réaction** et à injection totale comme la turbine FRANCIS.





On distingue 3 types de roue :

- **HELICE** : les pales et le moyeu sont monoblocs.
- **HELICE à pas variable**: les pales orientables sont fixées sur le moyeu. L'angle d'inclinaison est réglé à l'arrêt lors de la mise en service.
- **KAPLAN** : l'inclinaison des pales (donc le pas de l'hélice) est réglable en marche, ce qui permet d'obtenir le meilleur rendement.

Basses et très basse chutes : Les groupes Bulbe

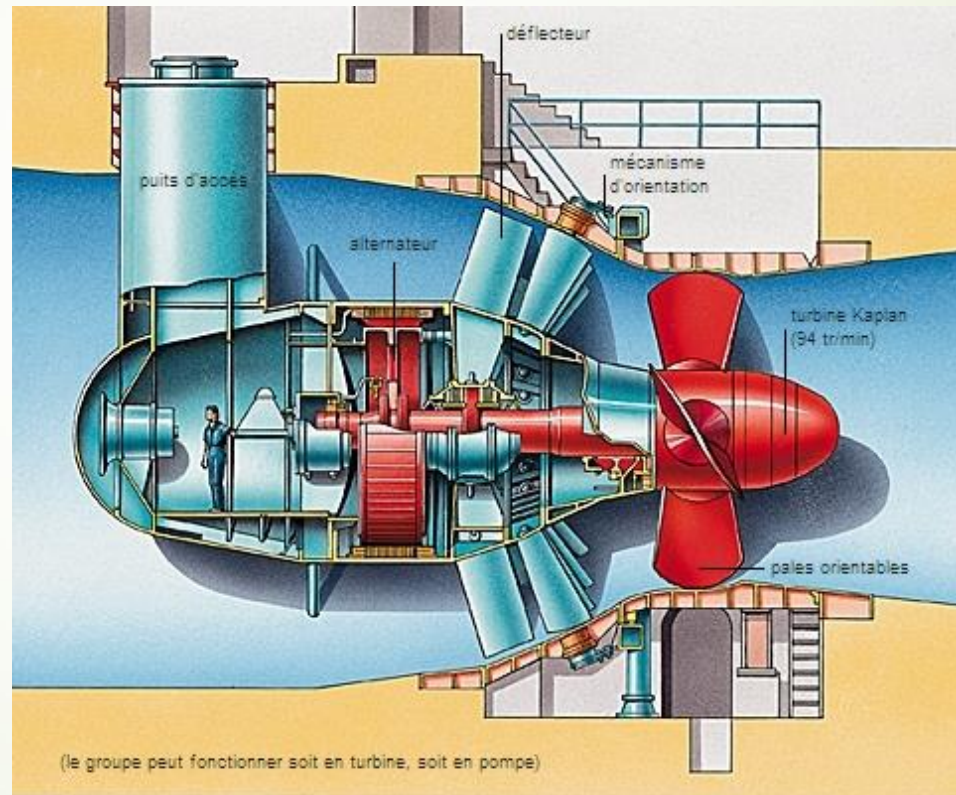
Les groupes bulbes sont équipés de turbines type hélice (pales fixes) ou Kaplan (pales orientables en marche).

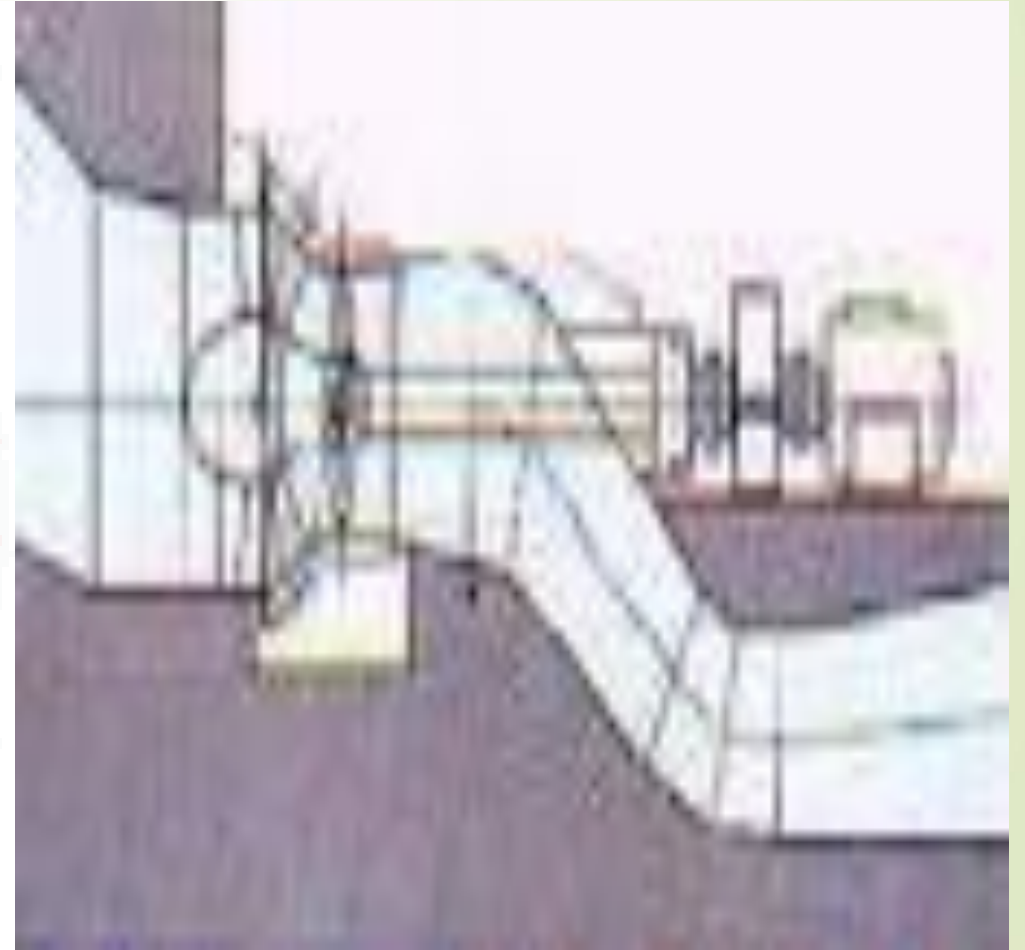
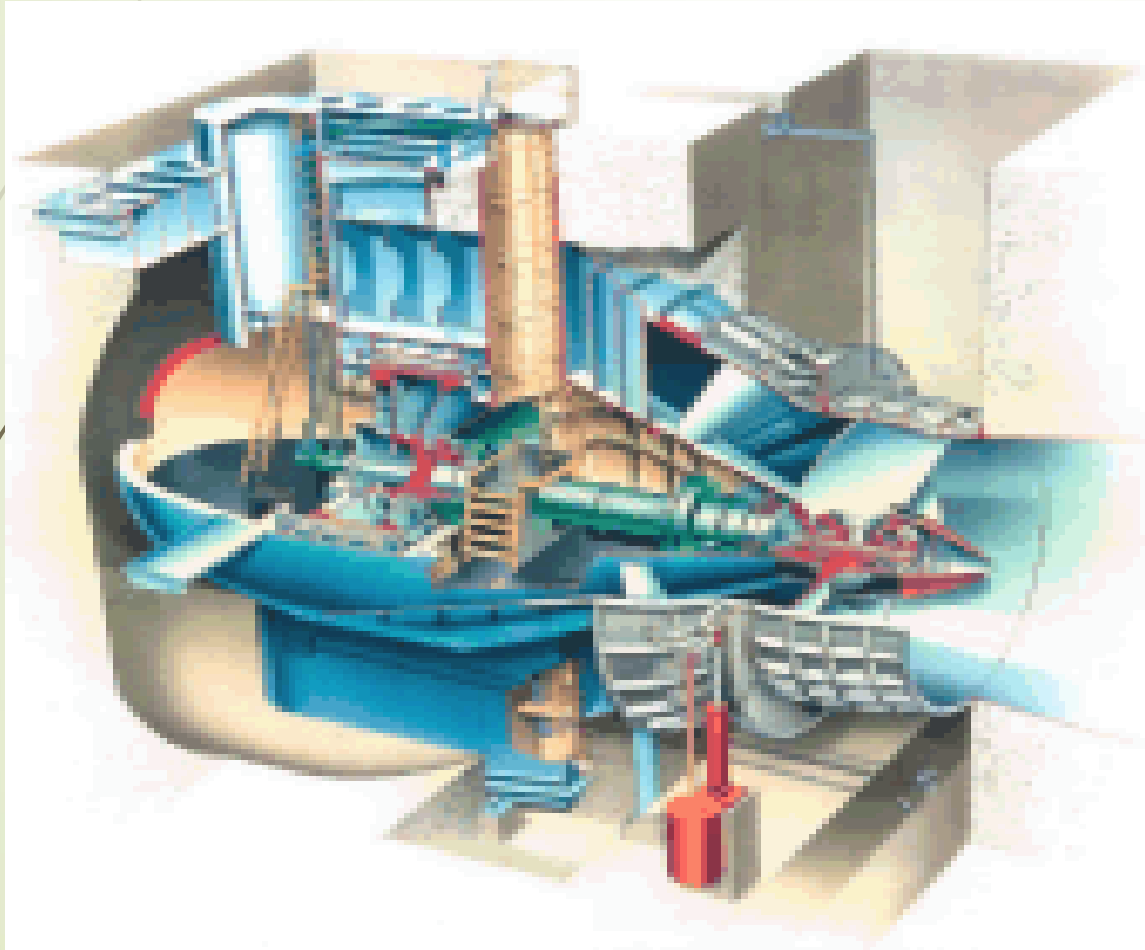
Il s'agit également de **turbines à réaction** et à **injection totale**.
L'écoulement est axial.

L'ensemble de la machine est noyé dans le conduit.

La construction des roues est identique à celle des Kaplan.

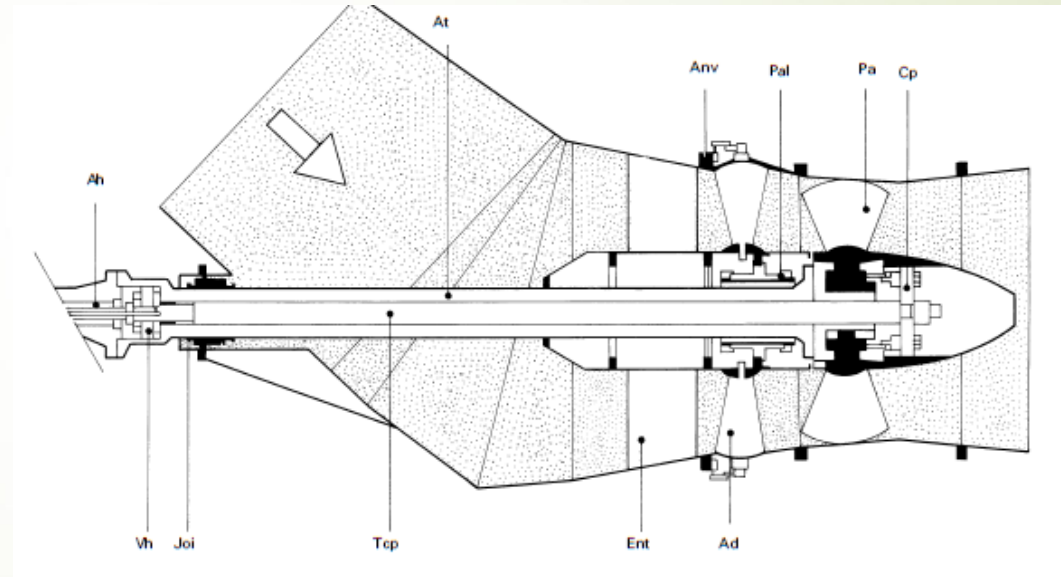
Basses et très basse chutes : Les groupes Bulbe





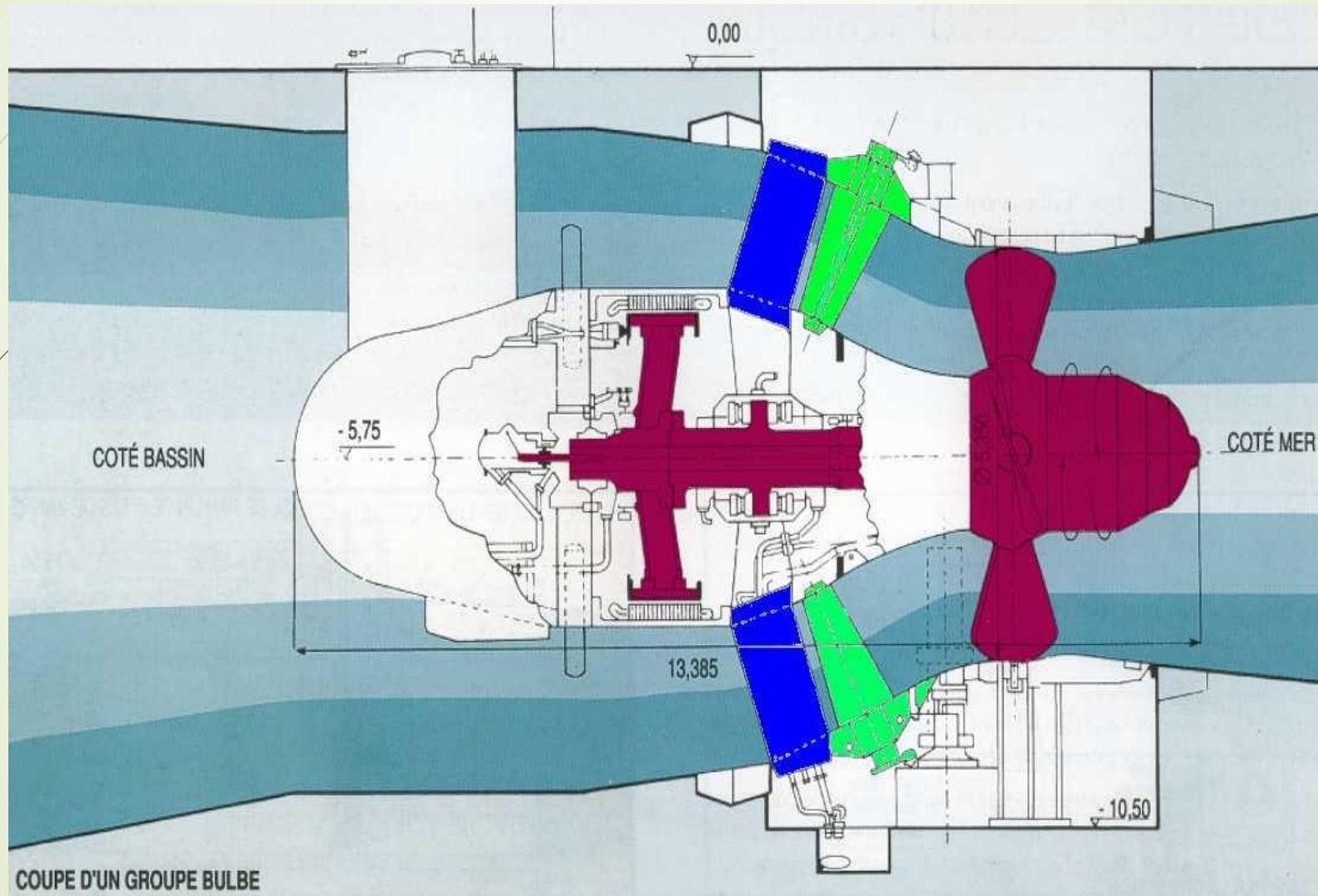
Le type d'écoulement

- L'écoulement est axial dans le distributeur et la roue.
- Le distributeur peut être conique et l'écoulement subit ainsi un minimum de changement de direction. Cette disposition permet d'obtenir une construction très compacte.
- La turbine peut être intégrée dans une conduite, ce qui simplifie le génie civil.





Coupe d'un Groupe BULBE



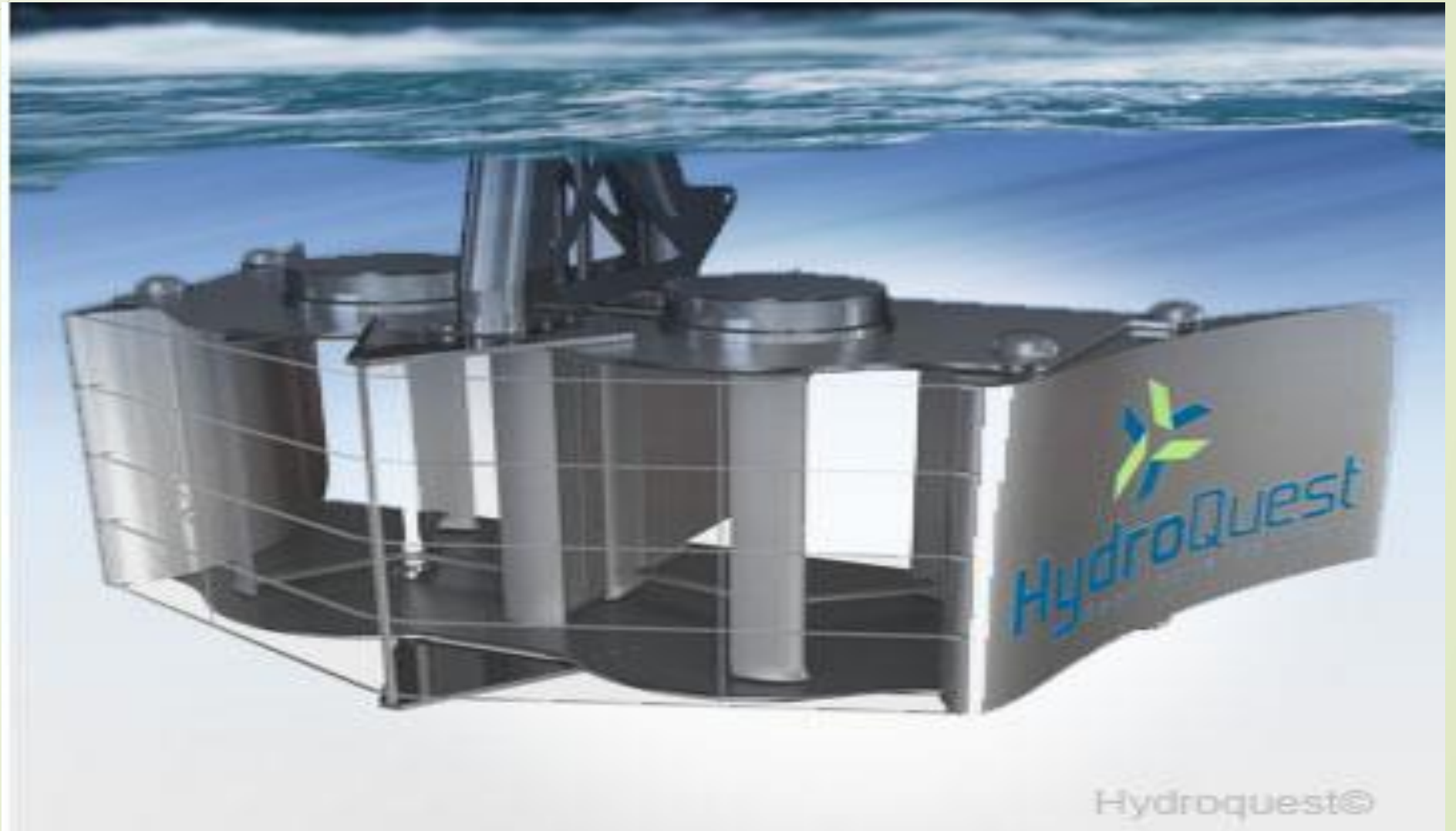
Hydrolienne fluviaie



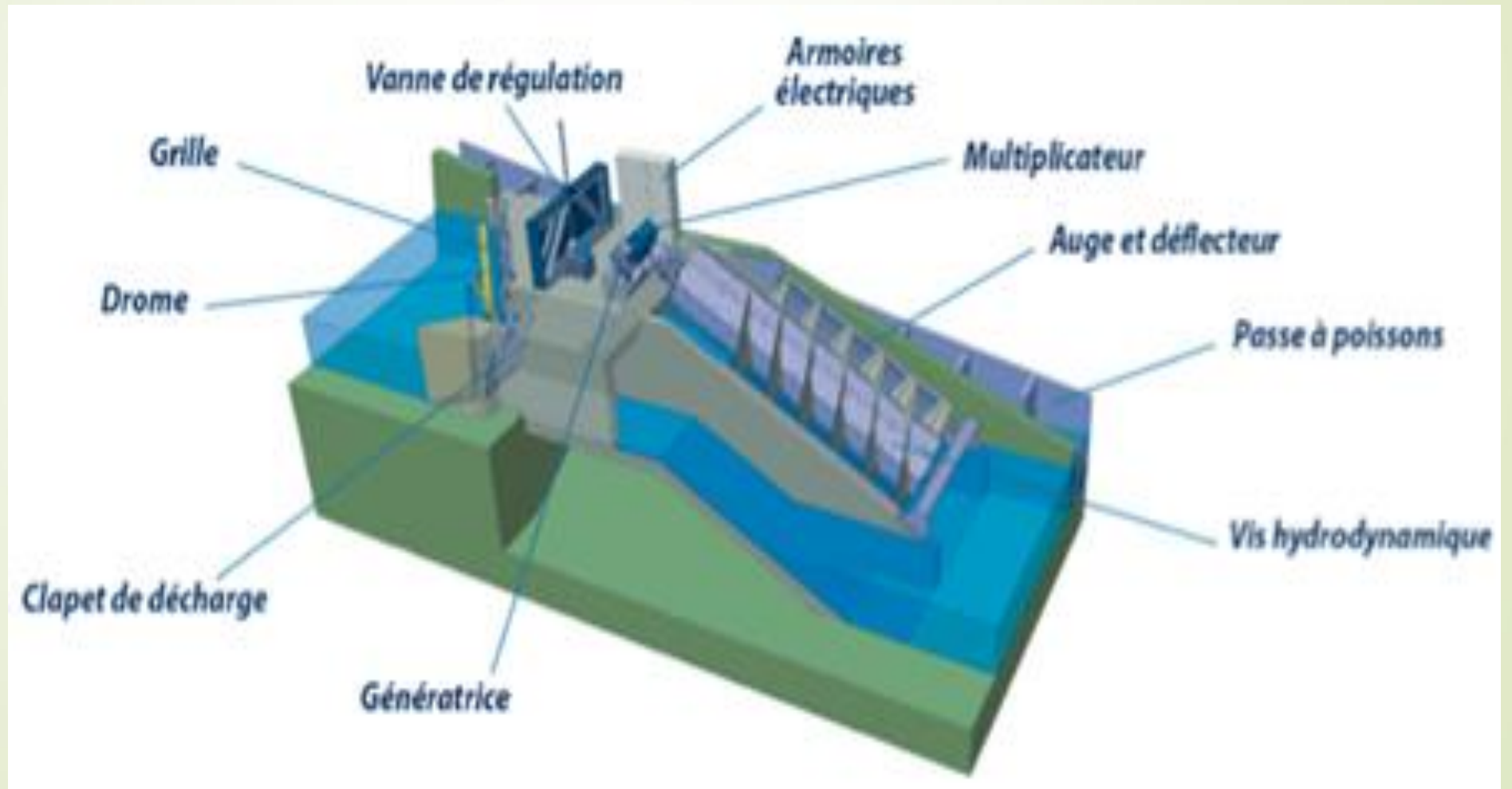
Hydrolienne fluviatile



Hydrolienne fluviaie



Vis d'archimede



Vis d'archimede





VLH



Dimensionnement théorique

- ❑ Le choix d'un type de turbine adapté à un aménagement résulte de la valeur de la vitesse spécifique N_s de chaque turbine.
- ❑ Les deux considérations suivantes sont essentielles pour le calcul du N_s :
 - fractionnement de la puissance totale en plusieurs groupes
 - encombrement et prix minimal de l'ensemble turbine-alternateur.
- Le fractionnement de la puissance en plusieurs groupes modifie la vitesse spécifique de chacun d'eux ; ce fractionnement est imposé à la fois par les conditions d'exploitation et par des conditions d'équipement;
- Du point de vue économique : plus faible nombre de groupes possible (turbines de grande puissance).
- Du point de vue de l'exploitation : il peut être souhaitable de fractionner la puissance installée en plusieurs groupes pour accroître la sécurité de l'alimentation (certains groupes en fonctionnement, un ou plusieurs en maintenance par exemple), et pour améliorer la plage de fonctionnement et le rendement global de l'usine.
- Le choix du nombre de groupes et de la puissance de chacun d'eux résultera d'un compromis entre ces deux considérations.

Dimensionnement théorique

- ❑ Le choix du nombre de groupes est en fait le choix de la puissance unitaire et du débit unitaire, deux paramètres principaux de la machine hydraulique; ce choix sera donc lié à la vitesse spécifique, mais il fait intervenir de nombreux autres aspects technico-économiques :
 - influence de la vitesse de rotation et des dimensions sur les masses et coûts de l'électromécanique et du génie civil
 - géologie du site
 - interaction avec le nombre de conduites forcées
 - disposition de l'usine (des vannes, de la plage de montage, des locaux annexes)
 - Condition d'exploitation
 - Entretien, maintenance, etc...

Dimensionnement théorique

- ❑ Pour construire la turbine, il faudra donc connaître les 3 grandeurs caractéristiques suivantes :
 - Débit Q
 - Hauteur de chute H
 - Vitesse de rotation N
- **Q et H** étant les données de départ d'un projet, il faut trouver **N** .
- **3 facteurs interviennent dans le choix de N :**
 - limiter les dimensions des éléments de la roue et des appareils
 - limiter les dimensions des appareils électriques (alternateur, génératrice)
 - limiter N pour éviter la cavitation

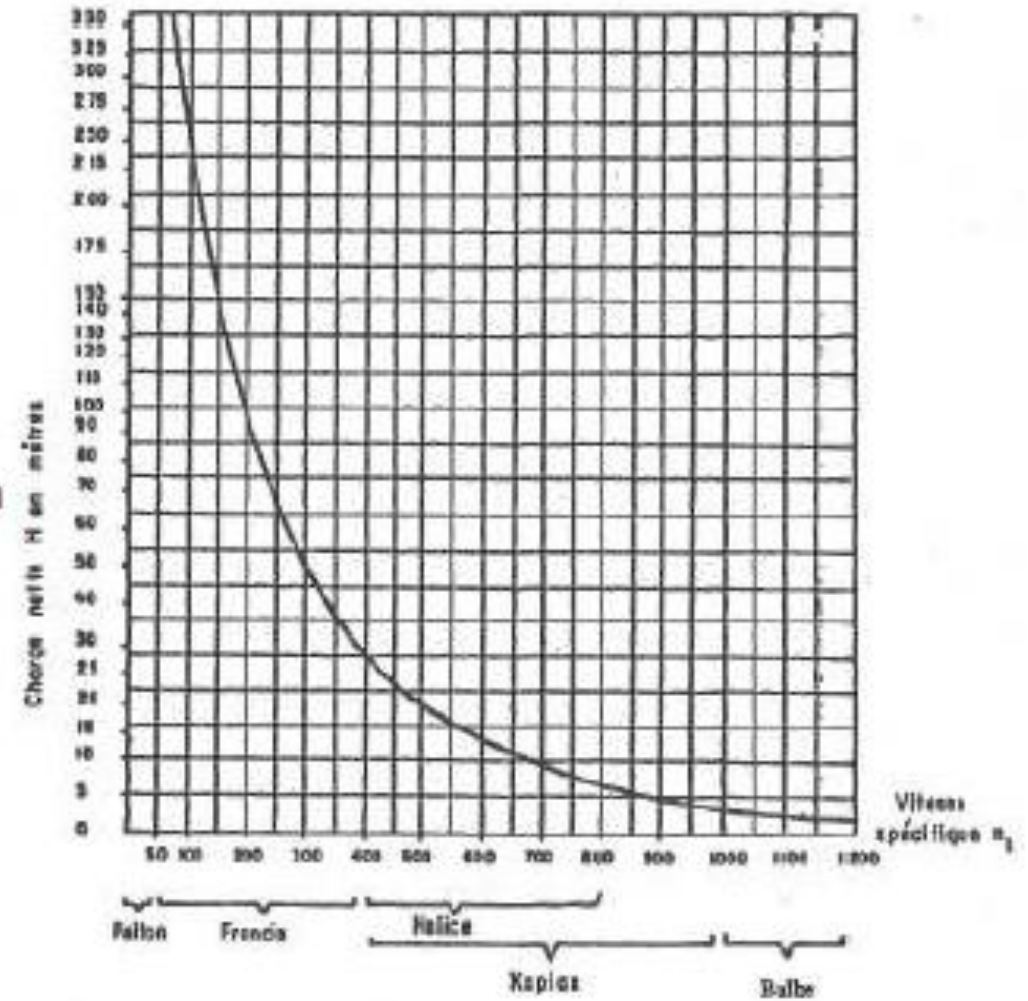
Dimensionnement théorique

- Calcul de la vitesse de rotation maximum : $N_{\max} = \frac{H^{2/3}}{P^{1/2}}$
 - N_{\max} : vitesse maxi (tr/min)
 - H : hauteur de chute brute (m)
 - P : puissance (CV) [1CV = 736 W]
- Une fois N_{\max} connu, on choisit une vitesse de rotation compatible avec l'alternateur (vitesse de synchronisme) en limitant le nombre de paires de pôles : $N = \frac{60 \cdot f}{p}$
 - N : vitesse de rotation (tr/min)
 - f : fréquence du réseau (Hz)
 - p : nombre de paires de pôles
- La vitesse spécifique est alors donnée par la formule : $N_s = N \cdot P^{1/2} \cdot H^{-5/4}$
 - N_s : vitesse spécifique (tr/min)
 - N : vitesse de rotation (tr/min)
 - P : puissance (CV)
 - H : hauteur de chute brute (m)

Dimensionnement théorique

- Le choix du type de turbine devra être compatible avec cette vitesse spécifique (cf. courbe ci-contre)

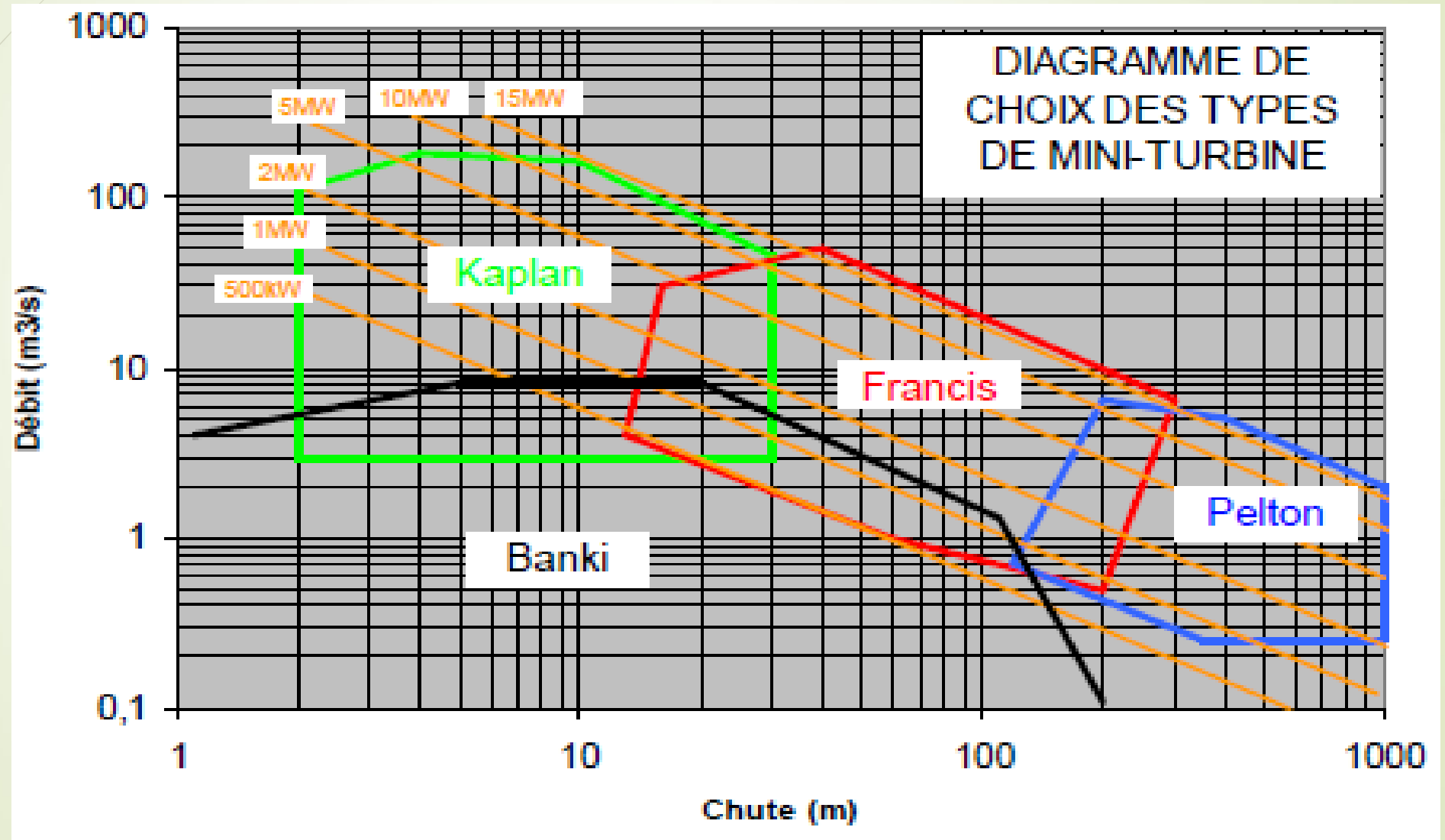
- Valeurs usuelles :
 - Pelton : 3 à 36 tr/min
 - Francis : 60 à 400 tr/min
 - Hélice/Kaplan : 300 à 1000 tr/min
 - Bulbe : > 1000 tr/min



Dimensionnement simplifié

- ❑ • Les machines hydrauliques considérées ici seront **les turbines pour les mini et les micro centrales hydroélectriques** (puissance inférieure à 15 MW)
- • La machine hydraulique constitue un élément essentiel de la réalisation d'une mini centrale hydroélectrique: c'est l'élément qui le premier transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique.
- • C'est l'élément clé qui doit intégrer les contraintes topographiques, hydrologiques, géologiques, géotechniques, environnementales, et électriques, et c'est l'élément qui conditionne les dimensions et les coûts des ouvrages de génie civil et des matériels électromécaniques.
- **Le dimensionnement est réalisé par une approche statistique**

Dimensionnement simplifié, approche statistique



Maintenance, technique de réparation des groupes hydrauliques

Spécificité du matériel de production hydraulique :

- Dimensions importantes des pièces (taille et masse)
- Pas d'effet série: chaque machine est unique, pas ou peu d'interchangeabilité
- Durée de vie du matériel très longue (+ de 50 ans)
- Nombre d'heures de marche élevé (350 000h pour un groupe)
- Retour d'expérience très long sur certains phénomènes (usure, corrosion, fatigue.....)
- Coût et délais de fourniture des pièces (forge, fonderie....)
- Inexistence parfois de plans et de procédures d'intervention.

Compte tenu de ces éléments, la maintenance doit être adaptée à chaque situation.