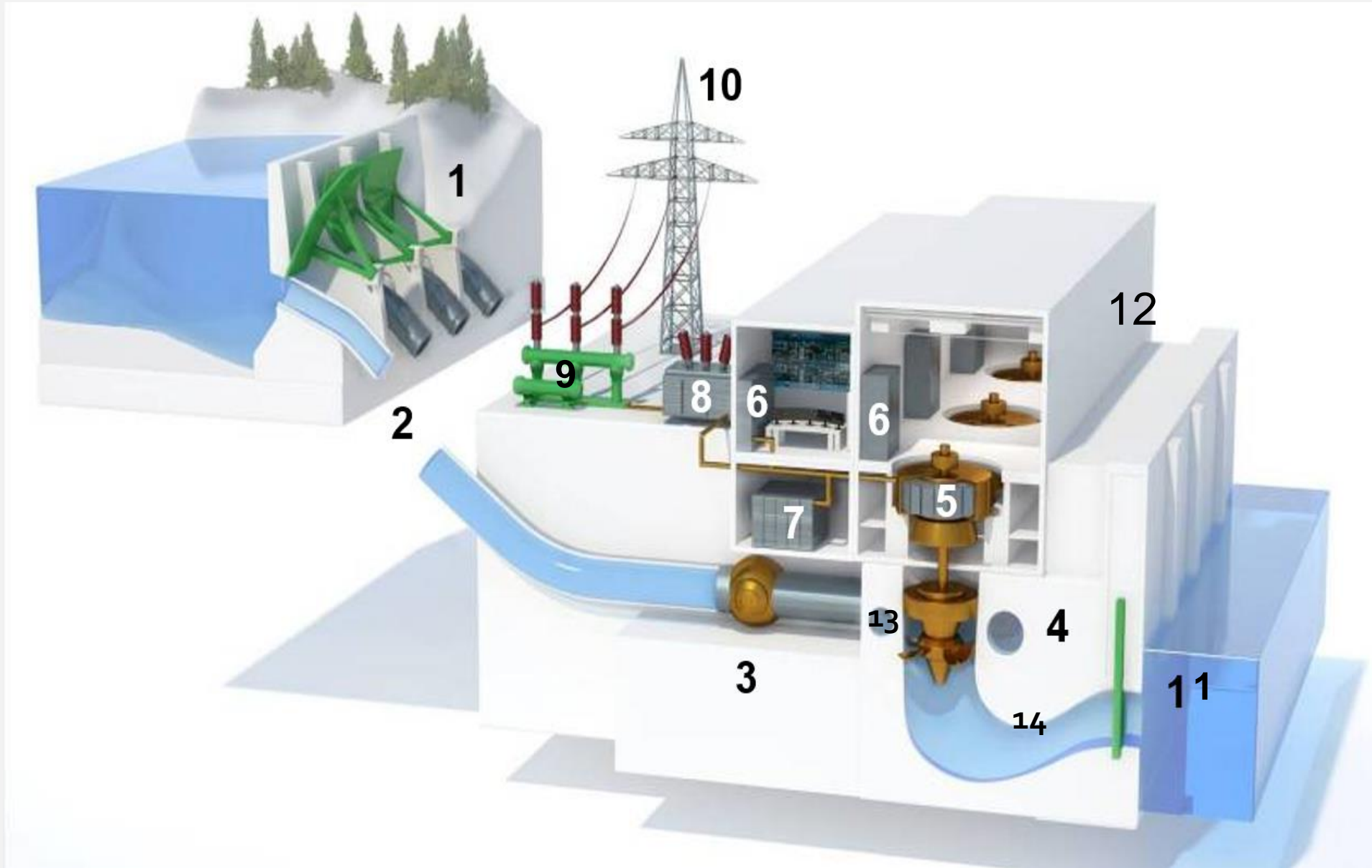


S.E.I.I. Déjeuner conférence du 28 mai 2024
L'hydroélectricité, une électricité à l'eau ?

Les éléments d'une centrale hydro



1. Vannes barrage
2. Conduite forcée
3. Vanne de pied
4. Turbine
5. Alternateur
6. SNCC
7. Cellules MT
8. Transfo HT
9. Poste HT (AIS/GIS)
10. Ligne HT
11. Batardeau
12. Pont roulant
13. Distributeur
14. Aspirateur

Principe de fonctionnement



Les différents modes de production

- Les **centrales au fil de l'eau** utilisent une partie du débit des rivières pour produire de l'énergie électrique. La presque totalité des centrales Belges sur la Meuse et la Sambre, celles-ci sont télécommandées,
- Les **centrales de barrage** produisent de l'électricité en retenant l'eau dans un réservoir situé en amont d'un barrage – Nécessitent un relief adapté – ex. La Gileppe, Nisramont sur l'Ourthe (Production d'eau potable)
- Les **usines marémotrices** utilisent l'énergie des marées pour produire de l'électricité – site de la Rance en France,
- Très intéressantes d'un point de vue économique, les **centrales d'accumulation par pompage-turbinage** possèdent deux bassins : un inférieur et un supérieur. En période de faible demande, l'eau est pompée et stockée dans le bassin supérieur. En période de pointe, l'eau déversée dans le bassin inférieur actionne les turbines reliées aux alternateurs qui produisent de l'électricité voir les centrales de Coe et Plate-Taille,

Avantages et inconvénients des centrales hydrauliques

Avantages :

1. **Energie décarbonée**
2. **Pilotable avec temps de réaction très courte (qlq minutes)**
3. **Energie renouvelable et non polluante**
4. **Rendements élevés (85% à 95% pour la turbine)**
5. **Sécurité de fonctionnement**
6. **Durée de vie très élevée (jusqu'à 100 ans)**

Inconvénients :

1. **Investissements lourds**
2. **Impacts environnementaux, surtout à la construction**
3. **Risque en cas de sécheresse (quasi inexistant)**
4. **Nécessité d'un relief propice**
5. **Effets sur la faune aquatique**
6. **Problèmes de sédiments (Inga) et d'érosion (cavitation)**

« Similitudes » Nucléaire / Hydro

- **Energie décarbonée la moins chère**
- **Coût d'investissement élevé – largement compensé par la durée de vie**
- **Coûts de fonctionnement faible**
- **Acceptabilité sociétale pas évidente (déplacement des populations - Assouan**
- **Risque d'accidents faible (explosion Enel Green Power) mais grave en conséquences (rupture en partie prévisible par surveillance pour le barrage et LOCA « Loss of Coolant Accident »)**
- **Projets nécessitant une longue mise en œuvre – minimum 10 ans:**
 - **Exemple de la centrale hydro de Birecik en Turquie:**
 - **7 années d'approche commerciale**
 - **3 années d'étude et fabrication**
 - **2 années de mise en route**
 - **Exemple type EPR2 entre 7 et 10 ans**

La dette énergétique de l'hydro

- **La dette énergétique d'un objet représente l'énergie qu'il a fallu consommer pour le fabriquer et l'acheminer jusqu'à son lieu d'utilisation.**
- **Une centrale hydroélectrique au fil de l'eau rembourse sa dette énergétique en 1 à 3 ans suivant la taille de celle-ci et puis produit une énergie 100% propre durant toute sa vie, contrairement aux centrales fossiles et nucléaires.**
- **Une centrale hydroélectrique de petite puissance (10 kW) permet d'économiser 6 tonnes de CO2 par an**

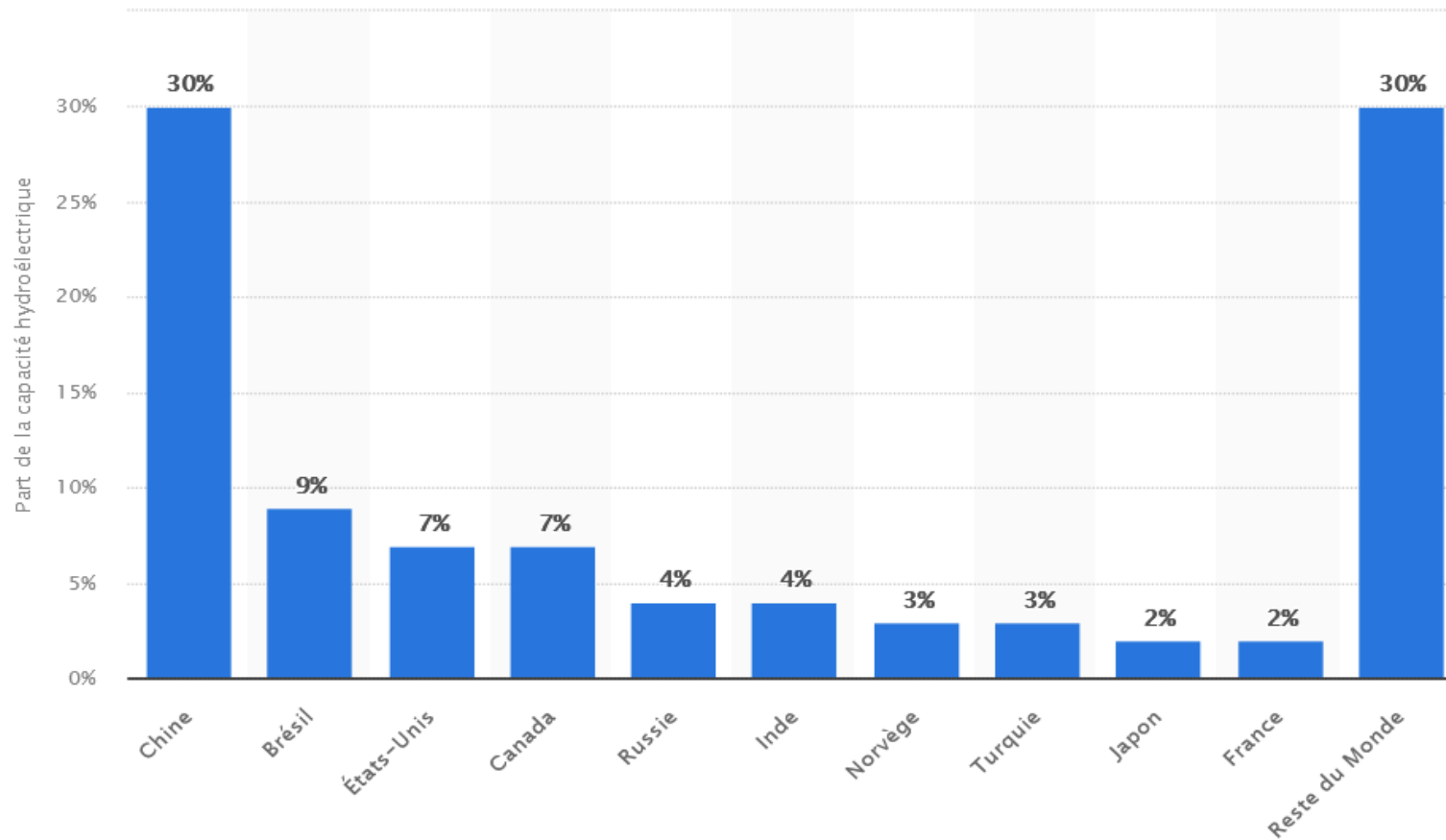
La position de l'hydro-électricité dans le monde

Quelques chiffres

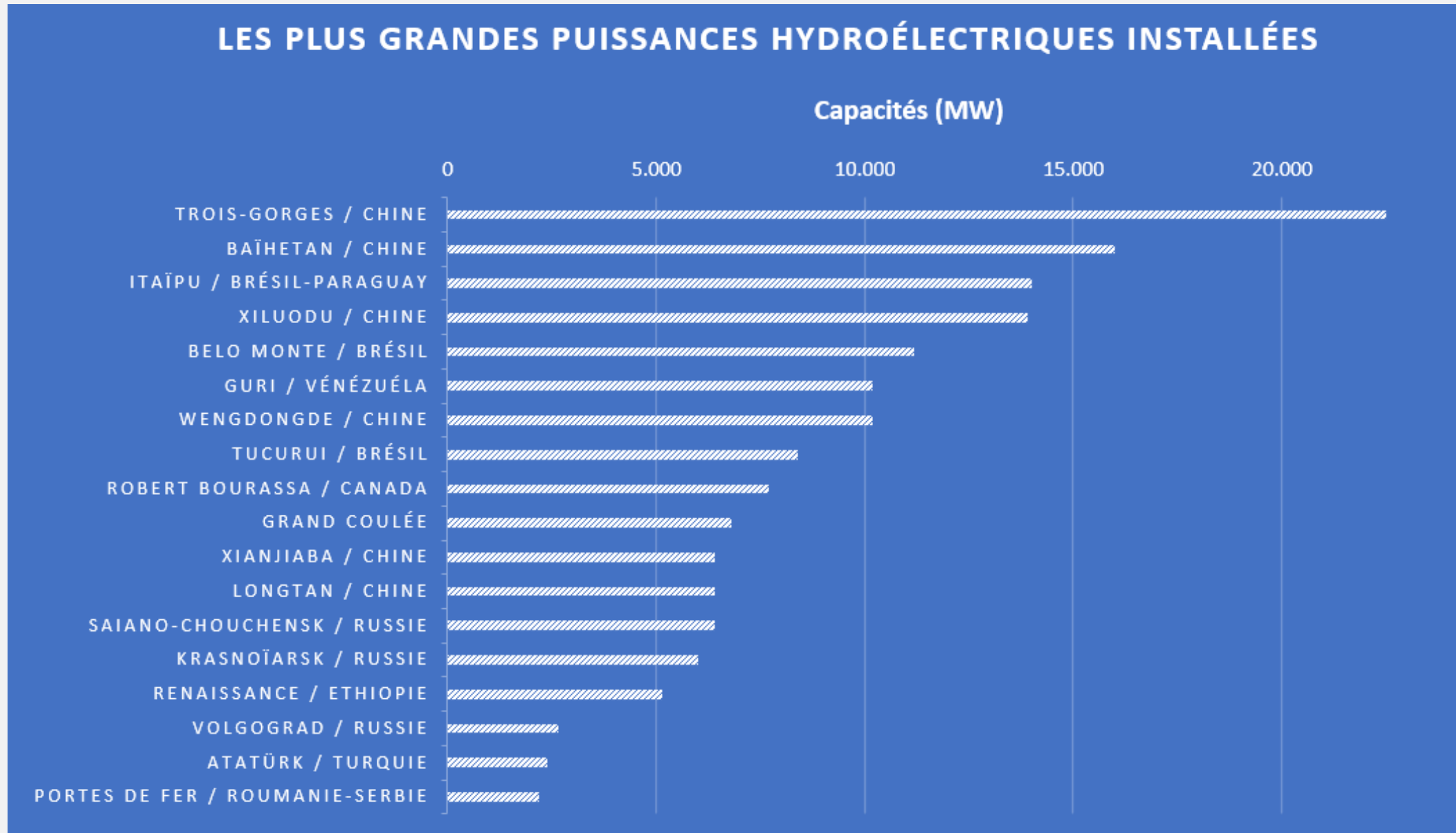
- **L'hydroélectricité représente environ 16% de la production électrique mondiale.**
- **La Chine, le Canada et le Brésil sont les champions de la production totale d'hydroélectricité, avec des capacités respectives de 200 GW, 89 GW et 70 GW. Les autres producteurs notables sont la Russie, l'Inde, la Norvège et le Japon.**

La position de l'hydro-électricité dans le monde - Quelques chiffres

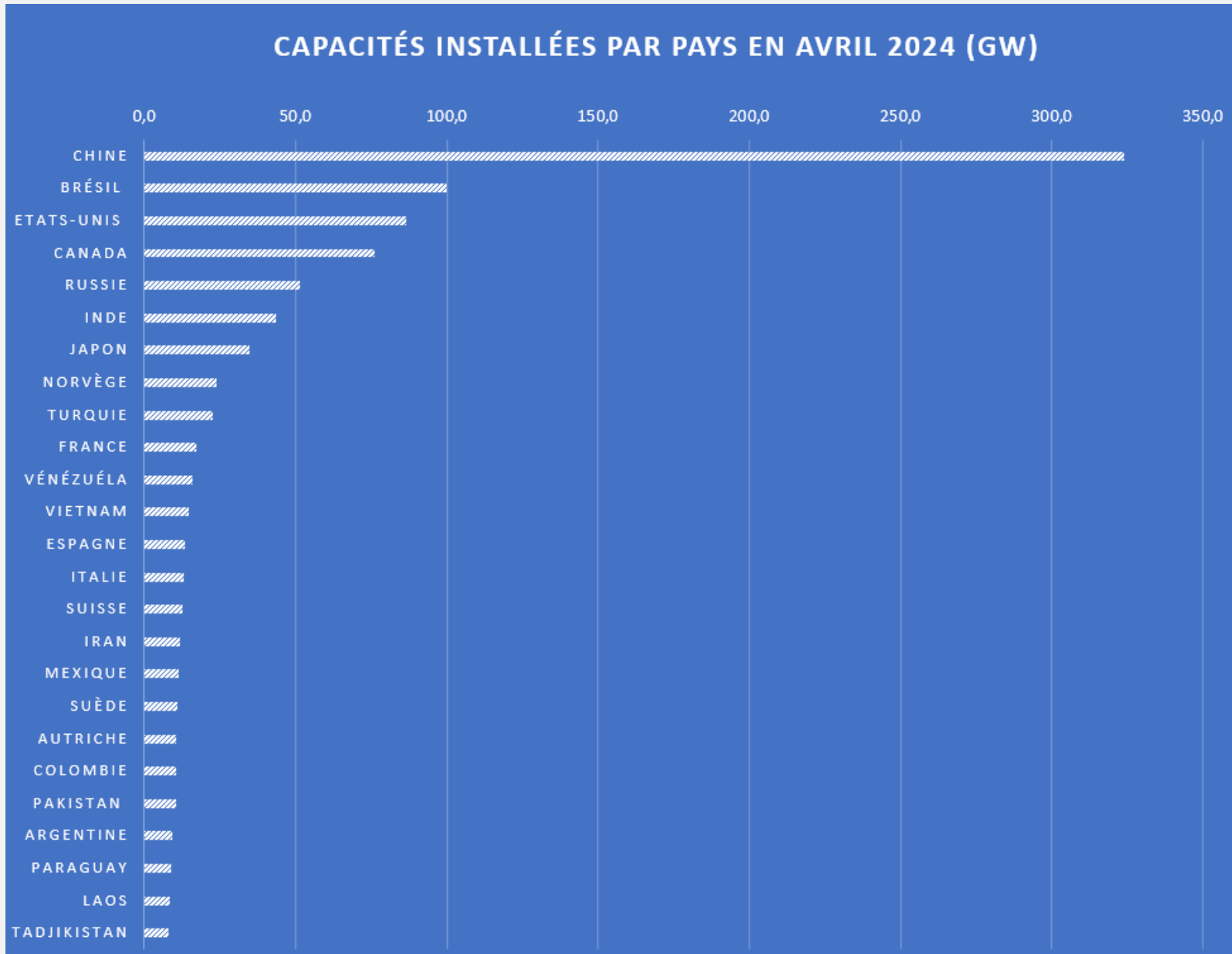
Répartition de la capacité hydroélectrique dans le monde en 2021, selon les principaux pays



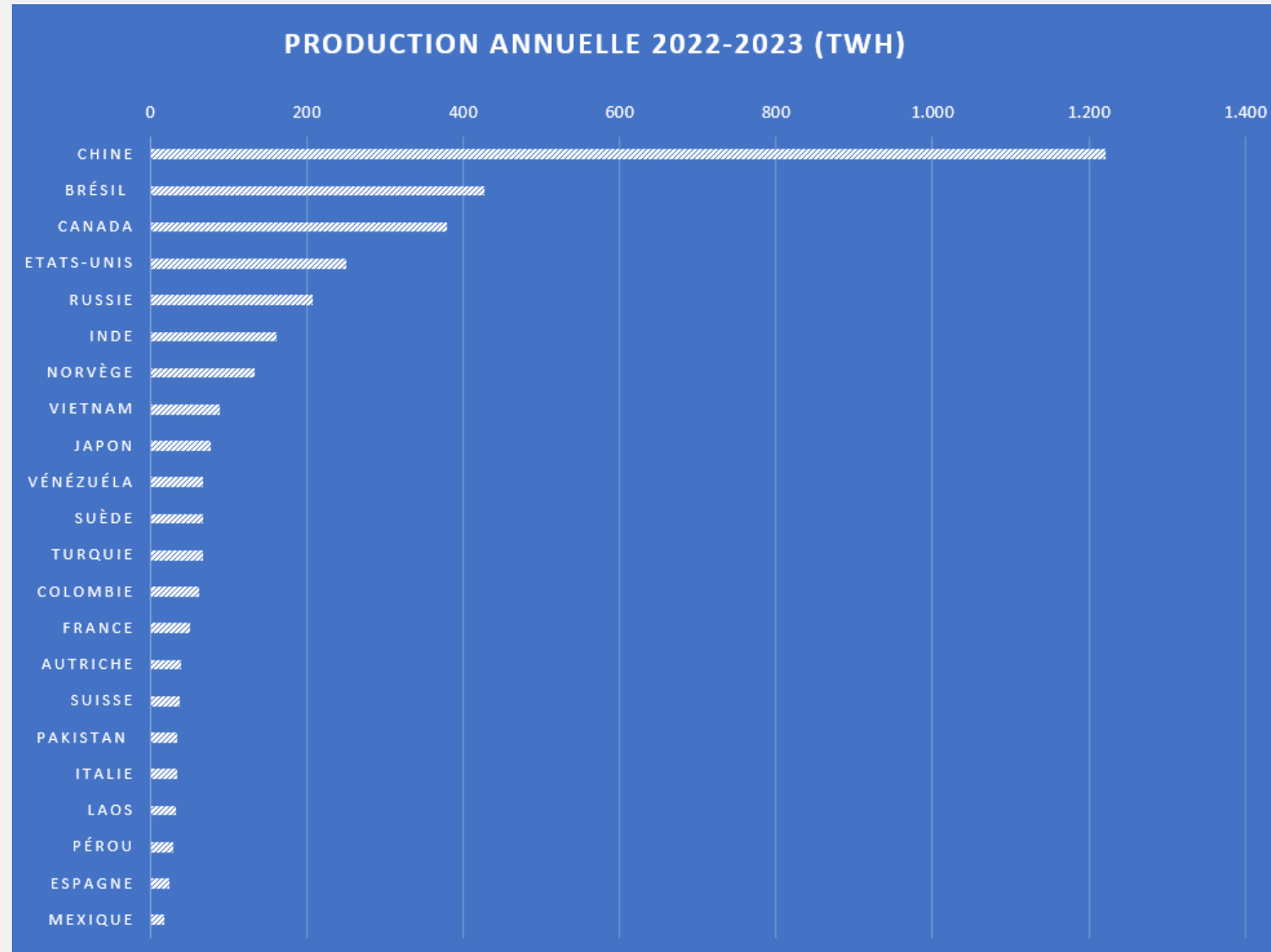
La position de l'hydro-électricité dans le monde - Quelques chiffres



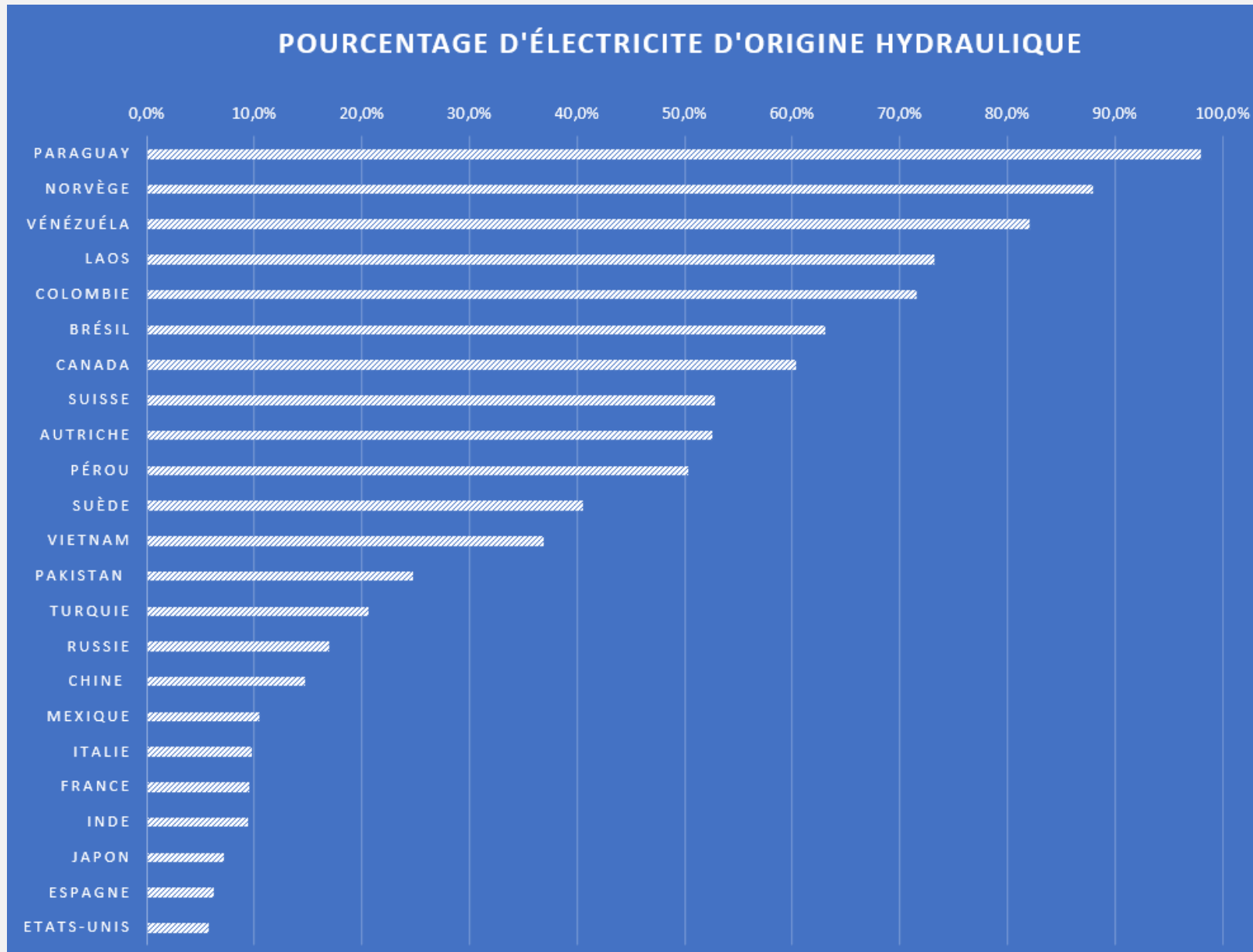
La position de l'hydro-électricité dans le monde - Quelques chiffres



La position de l'hydro-électricité dans le monde Quelques chiffres



La position de l'hydro-électricité dans le monde - Quelques chiffres



La position de l'hydro-électricité en Europe

Quelques chiffres

- **En Europe:**
 - **L'énergie hydroélectrique = +/- 50% des énergies renouvelables**
- **Le cas de la Norvège (en 2022)**
 - **Capacité hydraulique = 34 GW pour 1147 installations**
 - **88% de la production électrique est d'origine hydraulique**
 - **la puissance du parc hydroélectrique norvégien est au 1er rang européen avec 13,1 % du total européen**
 - **8e rang mondial représentant 2,4 % du total mondial.**
 - **10 % de la production exportée vers le Danemark pour compenser l'irrégularité de la production éolienne danoise**
 - **1,4 GW de centrales de pompage-turbinage**
 - **50% du potentiel hydro européen non exploité**

La position de l'hydro-électricité en Europe - Quelques chiffres

- **Le cas de la France (en 2023)** – source RTE
 - **Nucléaire = 64,8 %**
 - **Hydraulique = 11,9% - 2500 installations**
 - **Eolien = 10,2 %**
 - **Solaire = 4,3 %**

- **Le cas de la Suisse (en 2022)** – Source: Office Fédéral de la statistique
 - **Hydraulique = 48%**
 - **Nucléaire = 40%**
 - **Autres renouvelables = 9%**
 - **Dépendance des importations principalement en hiver**

Site des Trois-Gorges - Chine

- **les sites remarquables:**

- **Barrage des Trois-Gorges en Chine : Avec une puissance installée de 22,5 GW, il est le plus grand au monde et est situé sur le fleuve Yangzi Jiang.**
- **Dont entre autres 32 groupes de 700MW et 2 x 50MW (répartis en 2 centrales)**
- **Constructeurs = Voith, Andritz et Neyrpic**
- **Production annuelle = 98 TWh**
- **Record mondial de puissance installée**
- **Hauteur de chute = 175 m**



Quelques données sur le barrage des Trois Gorges (Chine)

- **Type : barrage-poids**
- **Largeur : 2,3 km**
- **Hauteur : 185 m**

- **Débit : 14.300 m³/s**
(8,4 fois celui du Rhône à son embouchure)
- **Construction : 1994 – 2012**
- **Mise en service : 2003 - 2012**
- **Réservoir (retenue) :**
 - longueur : 600 km
 - superficie : 1.045 km²
 - volume d'eau : 39,3 km³

Mais,

- **1,8 million de personnes déplacées**
- **15 villes et 116 villages engloutis**

Alain Peyrefitte

« 1973 - Quand la Chine s'éveillera »

« 1996 – La Chine s'est éveillée »



Quelques données sur le barrage des Trois Gorges (Chine)



Site de Itaipu – Brésil-Paraguay

- **Les sites remarquables:**
 - **Barrage d'Itaipu à la frontière entre le Brésil et le Paraguay : D'une puissance de 14 GW, il est situé sur le rio Paraná.**
- **Type : barrage-poids**
- **Largeur : 2,3 km**
- **Hauteur : 185 m**
- **Construction : 1975 -1982**
- **20 groupes de 700 MW**
- **Hauteur de chute 118 M**
- **Production annuelle = 96,4 TWh**
- **Record mondial de production d'électricité Cumulée**
- **Particularité : 10 groupes Brésiliens à 60 Hz
10 groupes Paraguayens à 50 Hz**

$$\text{Nombre de paires de pôles} = \frac{\text{Fréquence du réseau électrique} \times 60}{\text{Vitesse de rotation du moteur}}$$



Photo Dario Alpern

Un exemple d'exploitation d'un fleuve – L'Euphrate

Verbund

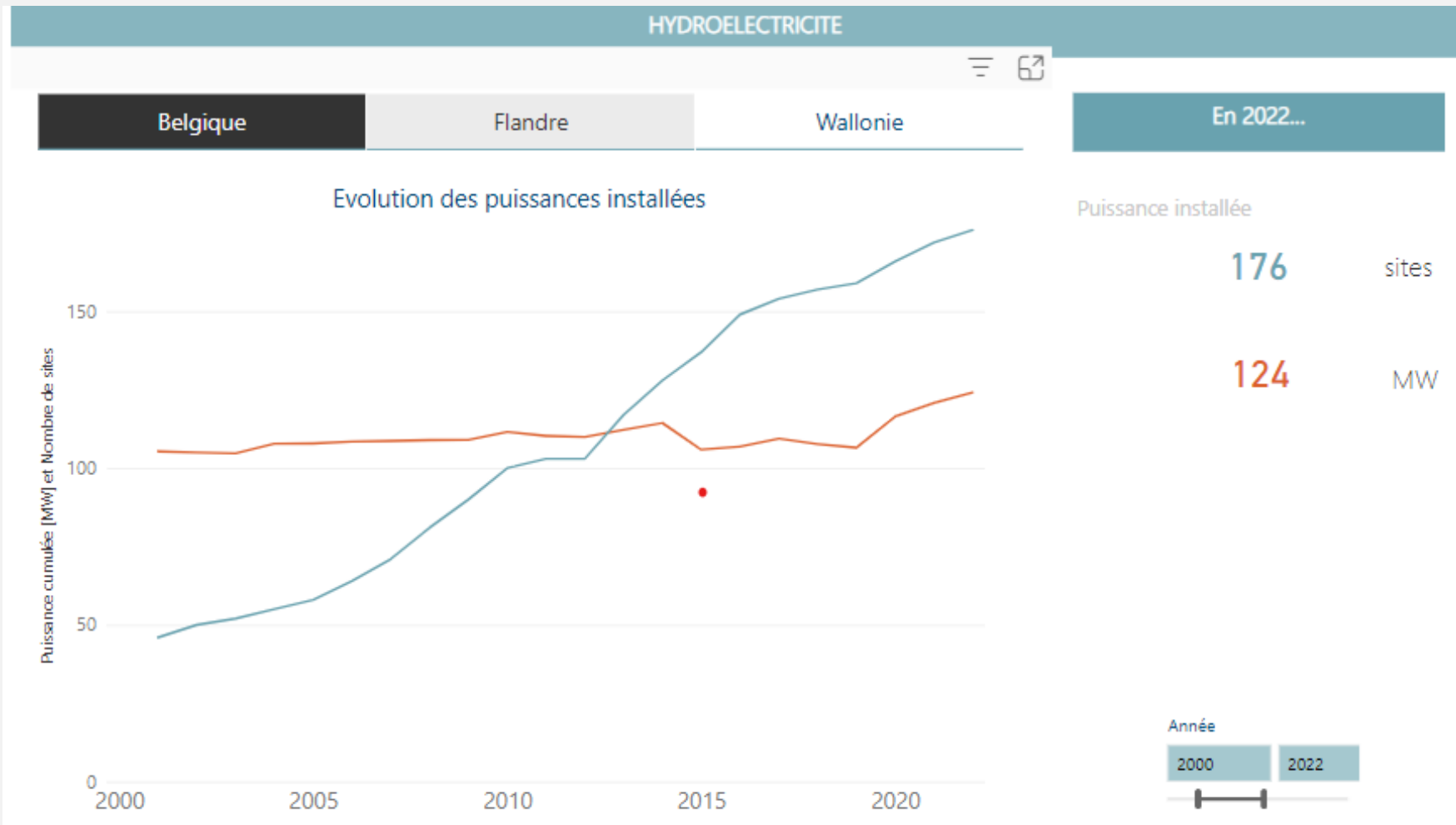


Year of Commissioning	1973- 1 / 1983- 2	1987	1992	2001	2000
Number of Units	8	6	8	6	6
Yearly Production	5800 GWh	7500 GWh	8900 GWh	2500 GWh	650 GWh
Output	1240 MW	1800 MW	2400 MW	672 MW	180 MW
Max. Flow	1080 m ³ /sec	1182 m ³ /sec	1746 m ³ /sec	1900 m ³ /sec	1900 m ³ /sec
Live Storage	16300 Mio.m ³	5580 Mio.m ³	19300 Mio.m ³	620 Mio.m ³	0 Mio.m ³
Total Storage	30700 Mio.m ³	9580 Mio.m ³	48700 Mio.m ³	1220 Mio.m ³	157 Mio.m ³



Et en Belgique, quelques chiffres:

- **Un historique : Julien Dulait (1855-1926) – Fondateur de la Société Electricité et Hydraulique – conception de groupes turbines hydraulique – puis fondation des ACEC en 1904,**
- **La Belgique comptait, en 2022, 176 centrales hydroélectriques, dont la majorité situées en Wallonie et seulement 13 en Flandre.**
- **Puissance installée = 124 MW**



Source:Renouvelle

EDF Luminus: le plus gros producteur d'électricité d'origine hydraulique

EDF Luminus possède 7 centrales (télécommandées) sur la Meuse et la Sambre pour une puissance installée de 67 MW
Production annuelle = 227 GWh
soit une économie annuelle de 101 250 tonnes de CO₂.



Figure 1 : centrales hydroélectriques de la EDF LUMINUS sur la Meuse (source : EDF LUMINUS).

Sur la Meuse

- Monsin (Liège) 1954 - 18,0MW
- Ivoz-Ramet 1954 - 9,9MW
- Ampsin 1965 - 10,0MW
- Andenne 1980 - 7,1MW
- Lixhe 1980 - 16,0MW
- Grands-Malades 1988 - 5,0MW

Sur la Sambre

- Floriffoux 1993 - 0,9MW

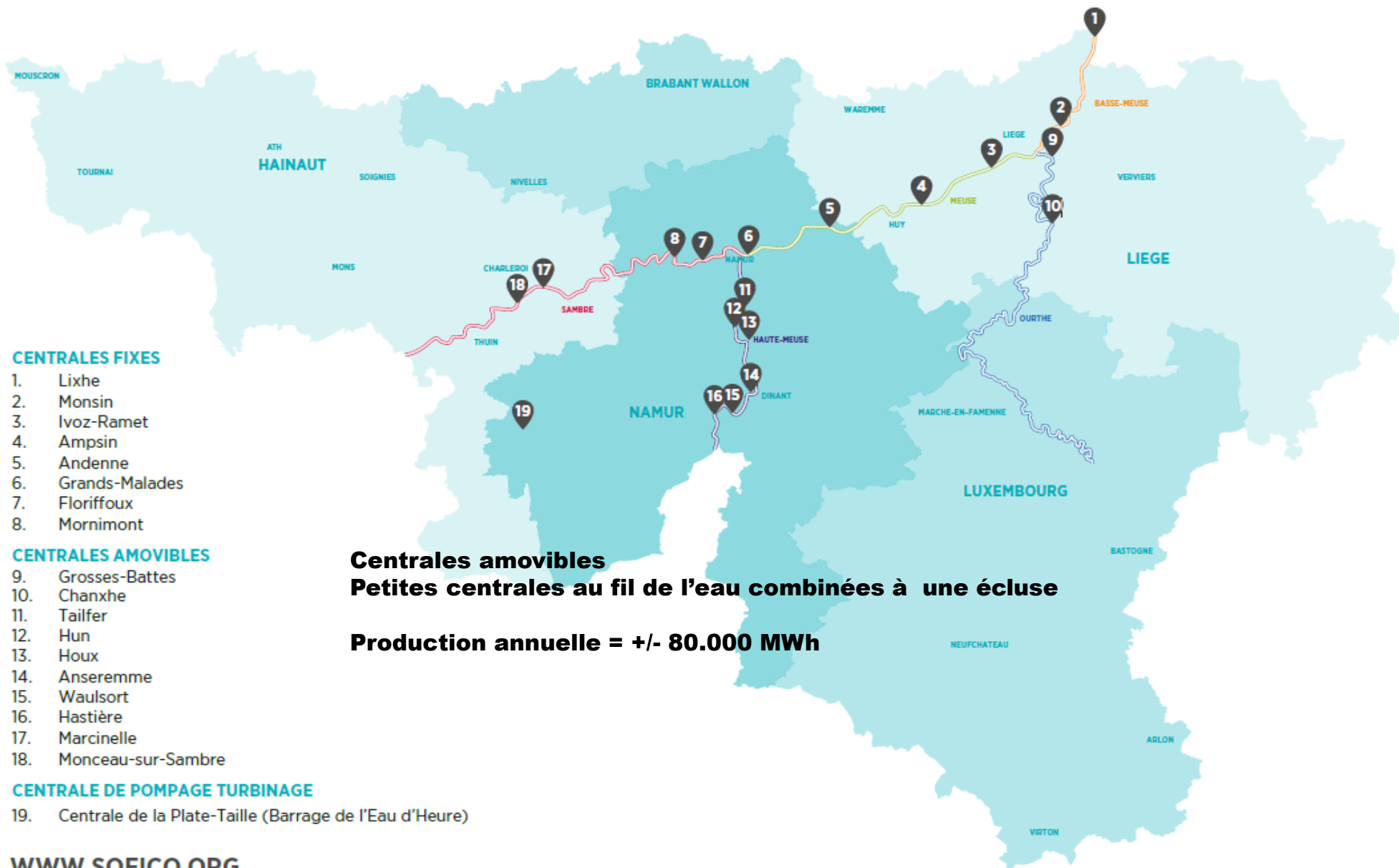
EDF Luminus – Centrale de Lihxe -



ENGIE Electrabel: Aussi producteur d'électricité d'origine hydraulique

- **ENGIE Electrabel exploite dans le sud-est de la Belgique 8 centrales essentiellement sur la Warche et sur l'Amblève. Elles totalisent une capacité de 21,7 MW.**
- **Beverce = 9,2 MW**
- **Bûtgenbach = 1,8 MW**
- **La Vierre = 1,9 MW**
- **Heid de Goreux = 8,1 MW**
- **Coo au fil de l'eau = 0,4 MW**
- **Lorce = 0,1 MW**
- **Stavelot = 0,12 MW**
- **Villers-Devant-Orval = 0,05MW**

Carte des centrales hydroélectriques SOFICO



Petites centrales hydro sur la Haute Meuse et la Basse Sambre

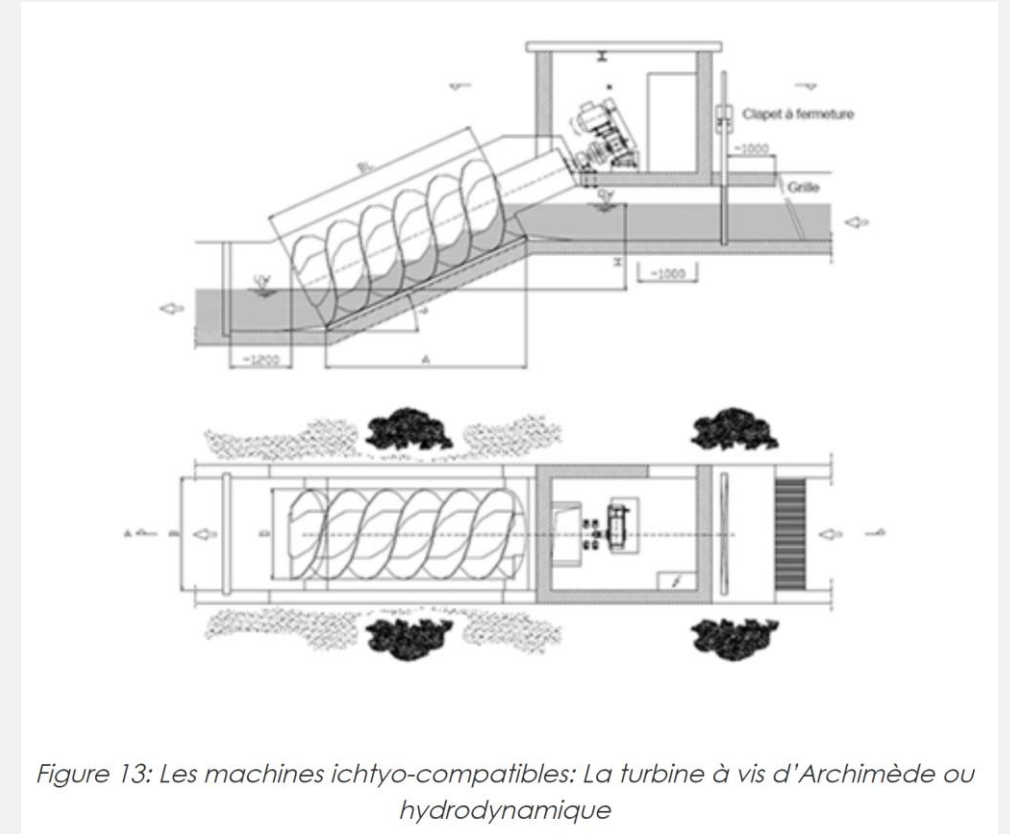
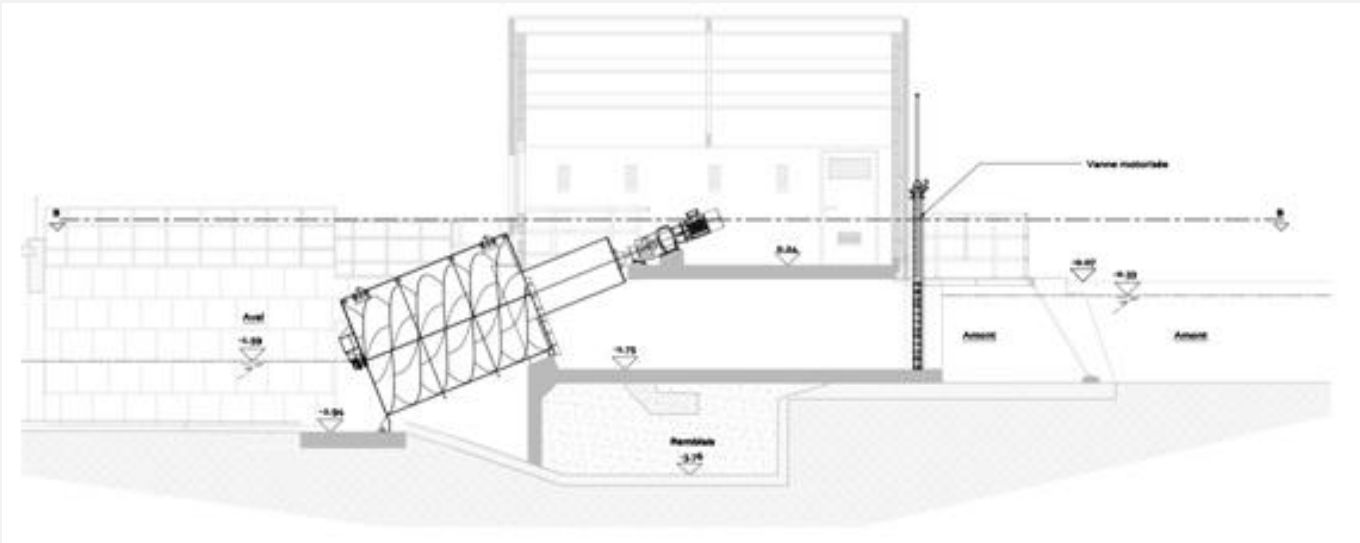


Figure 13: Les machines ichtyo-compatibles: La turbine à vis d'Archimède ou hydrodynamique

Le mécanisme de la **vis d'Archimède** peut également être utilisé pour produire de l'électricité renouvelable et propre, à partir de l'eau. Le concept est simple : on installe une vis d'Archimède sur un cours d'eau, au niveau d'une petite chute. L'eau qui passe dans la vis vient alors la faire tourner sur elle-même. Ce mouvement entraîne une génératrice, ce qui produit de l'**électricité**.

Un peu de théorie !

Puissance d'une turbine

■ Énergie hydraulique brute

Considérons un cours d'eau de profil en long AB (figure **1**). La puissance dissipée par le cours d'eau de A à B, P_b ou *puissance hydraulique brute*, est égale à :

$$P_b = \rho q_V E_b = \rho q_V g H_b \quad (\text{en W}) \quad (1)$$

avec E_b (J/kg) *énergie massique brute* associé à H_b et égale à gH_b ,

H_b (m) différence de niveau géométrique entre les points A et B, appelée *hauteur de chute brute* entre ces points,

g (m/s²) accélération due à la pesanteur, soit 9,81 m/s²,

q_V (m³/s) débit-volume du cours d'eau ou *débit disponible* de celui-ci,

ρ (kg/m³) masse volumique de l'eau, soit 1 000 kg/m³.

Avec les mêmes unités que précédemment la puissance hydraulique brute vaut encore :

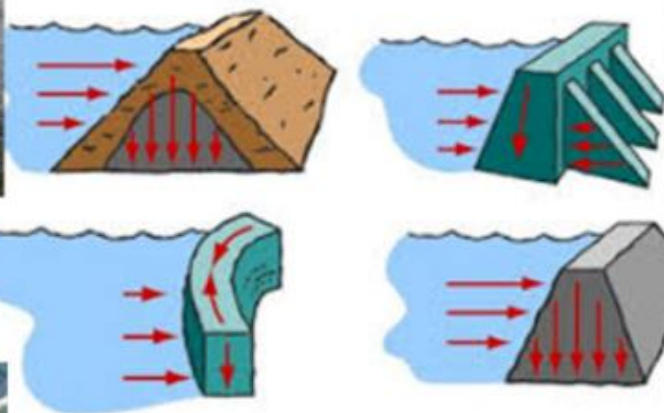
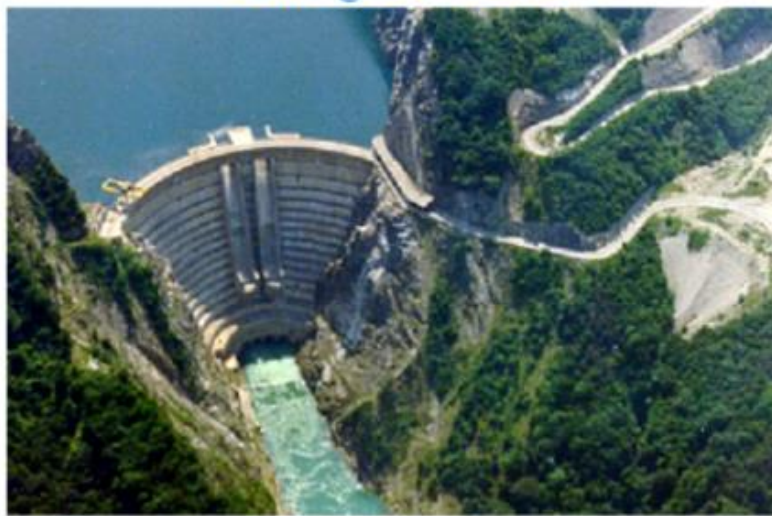
$$P_b = 9,81 q_V H_b \quad (\text{en kW}) \quad (2)$$

La puissance hydraulique brute des cours d'eau, qui dans la nature est constamment dissipée sous forme de chaleur, peut être mise en valeur. C'est le *rôle des aménagements hydroélectriques* dont le but est de transformer la plus grande partie de l'énergie hydraulique brute en énergie mécanique d'abord, en énergie électrique ensuite.



Barrage à enrochement

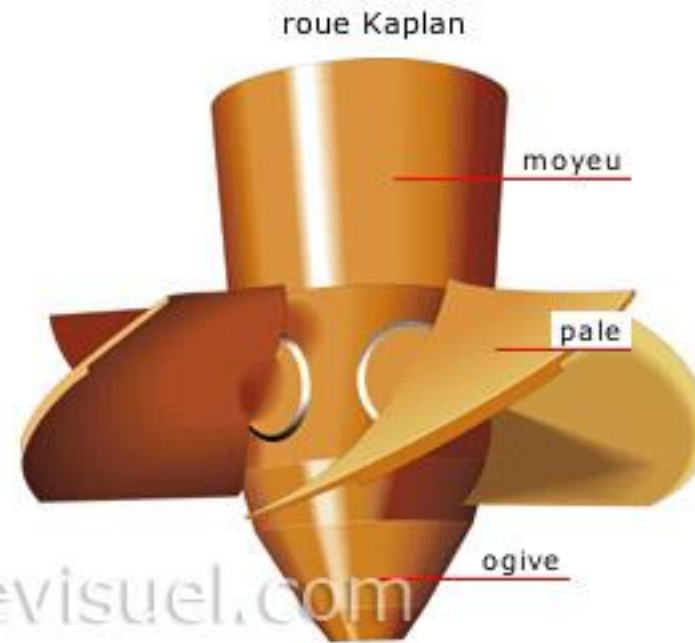
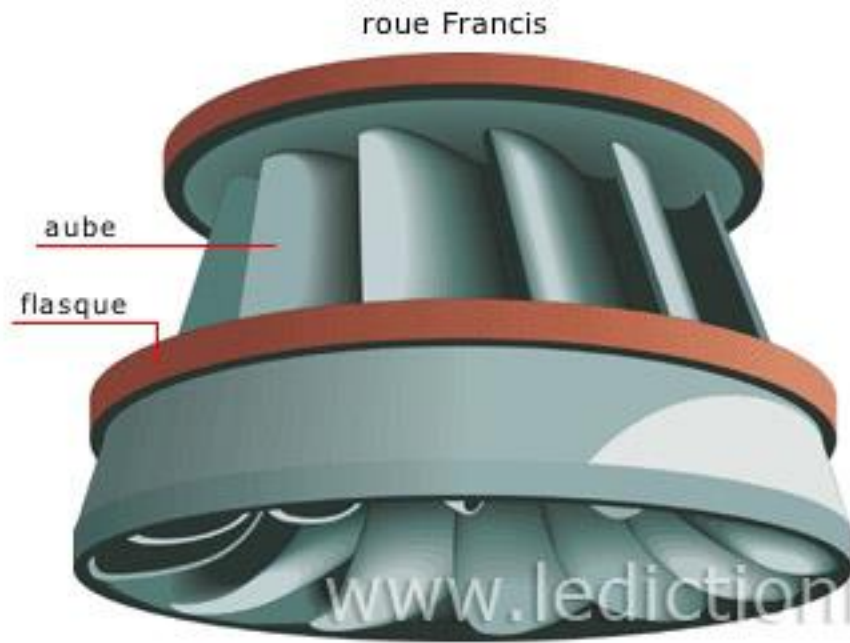
Barrage à voute



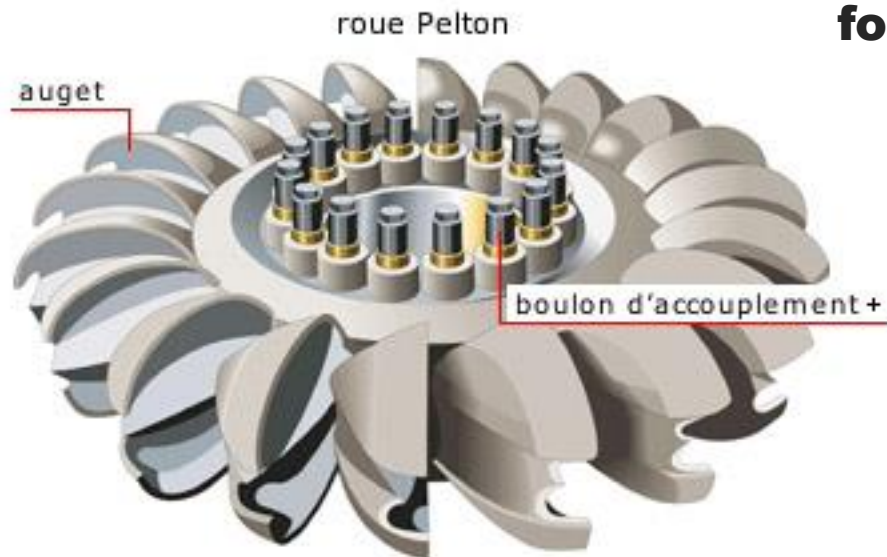
Barrage à contreforts

Barrage poids





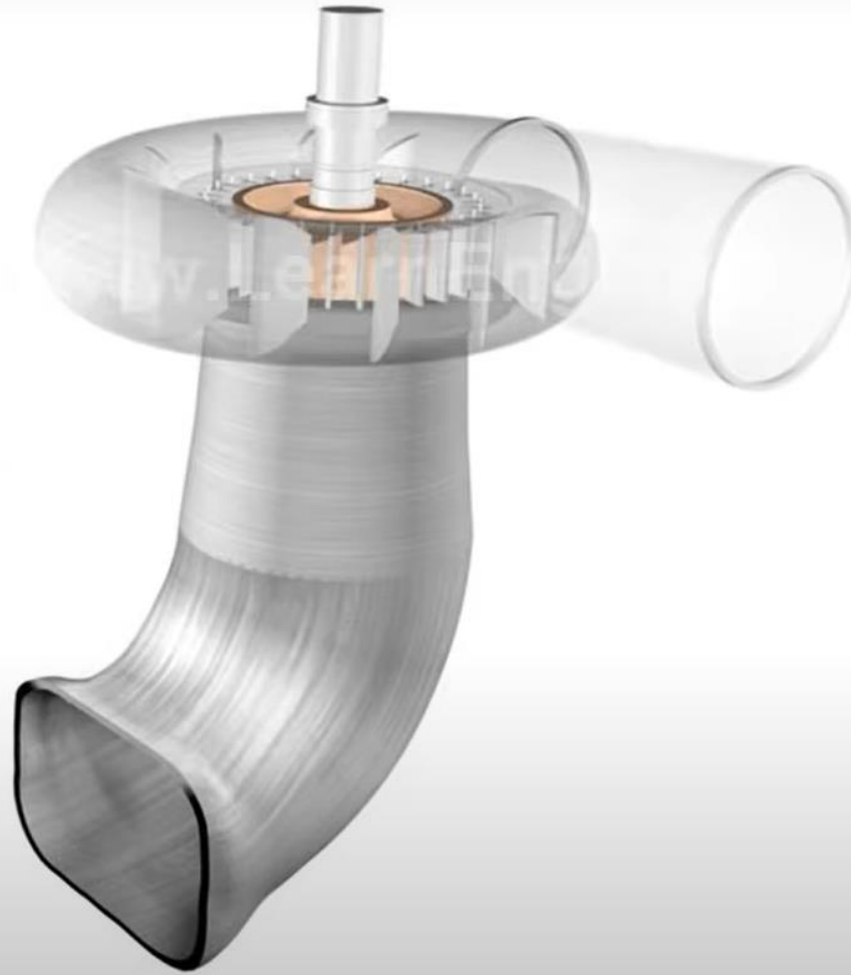
Evolution de la forme de la roue



Choix du type de turbine



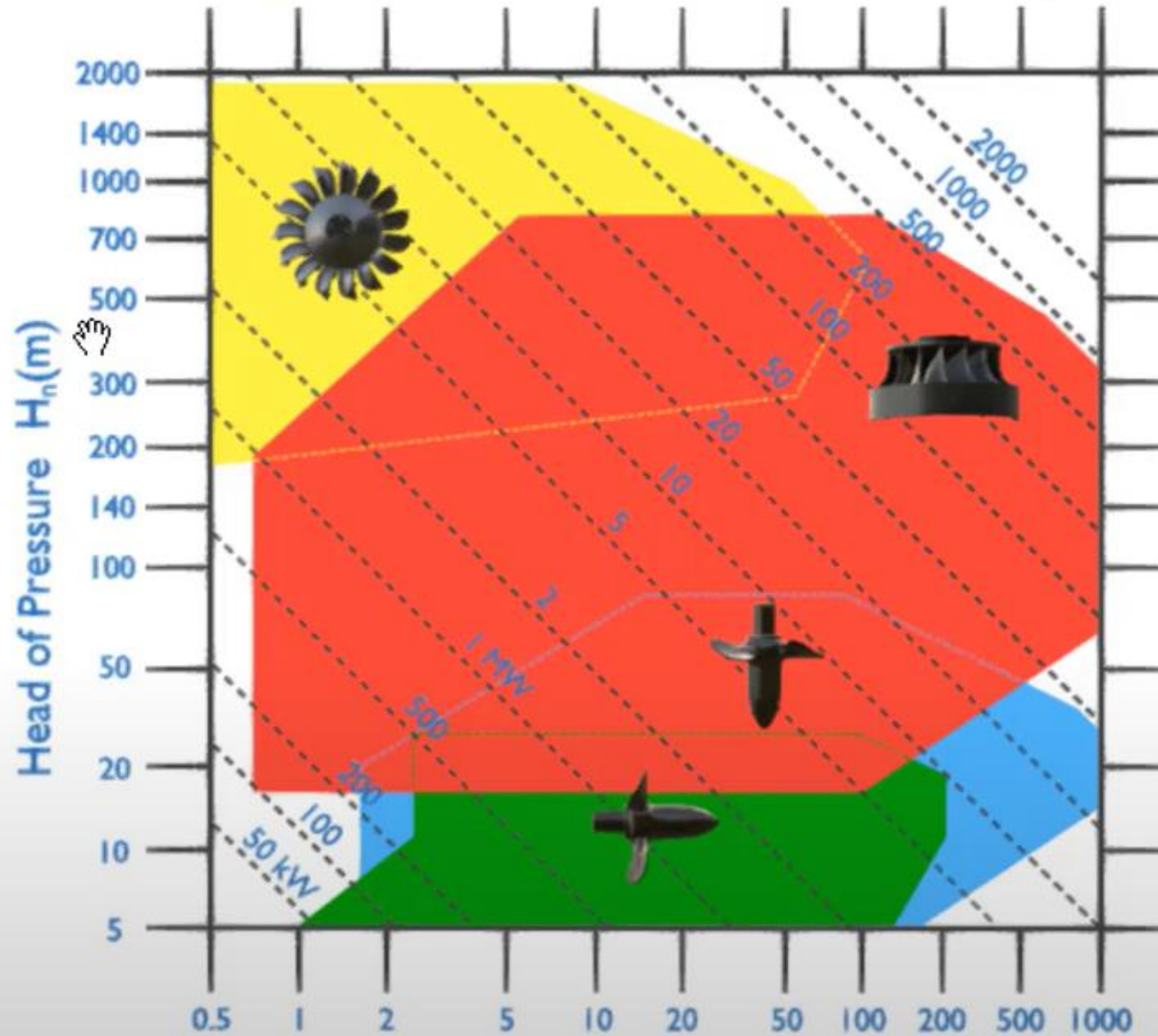
ACTION



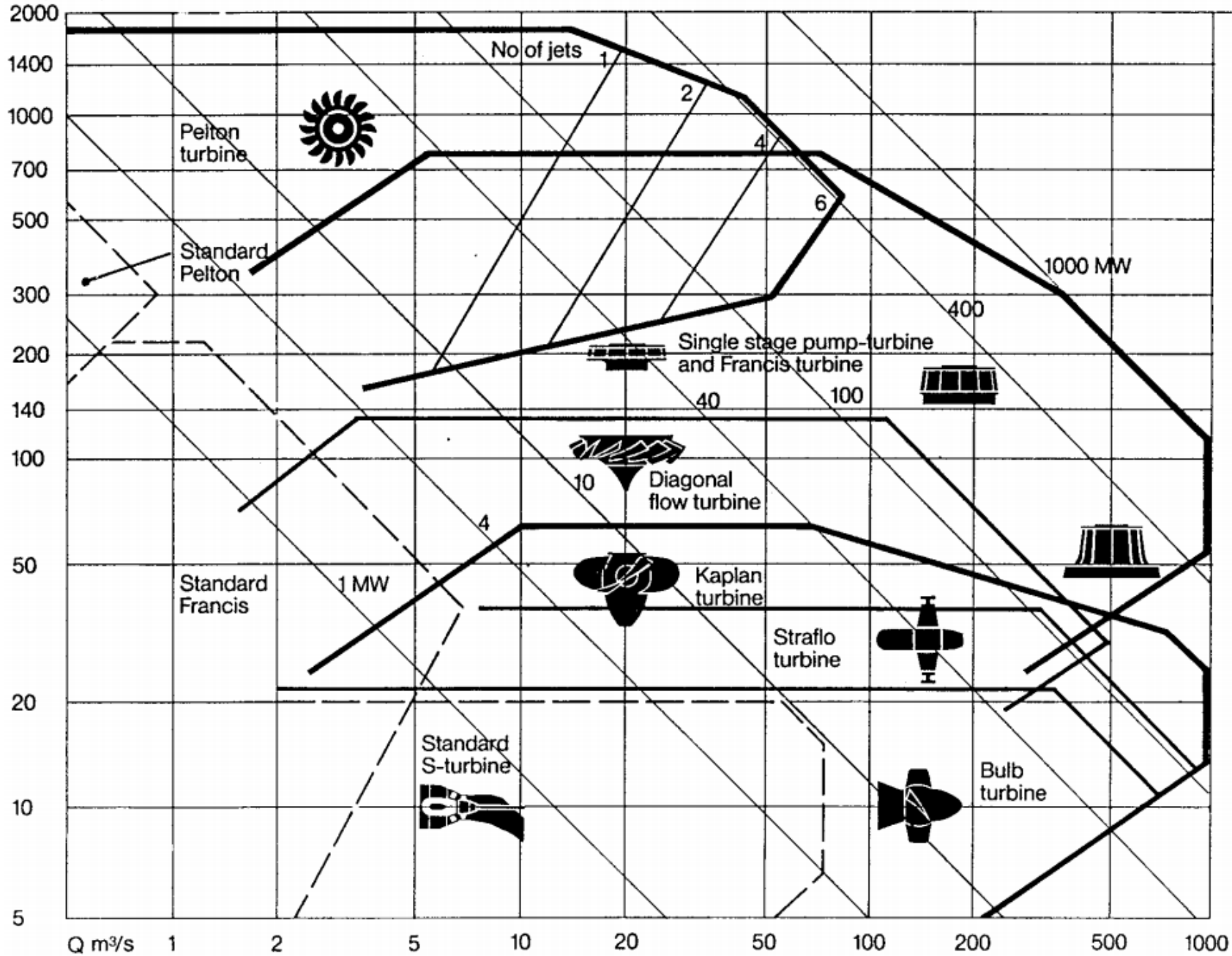
REACTION

Hydro Turbine Design

Prédétermination du type de turbine en fonction de la hauteur de chute et du débit disponible



Hn (mWG)

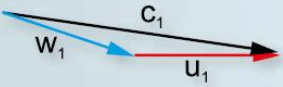

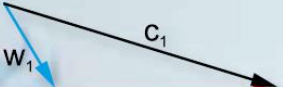







Nombre caractéristique des turbines hydrauliques

La vitesse de rotation spécifique n_q est le principal nombre caractéristique des turbines hydrauliques. Elle mesure le rapport entre la vitesse de l'eau et la vitesse de rotation. On distingue les turbines lentes, pour lesquelles la vitesse de l'eau est nettement supérieure à la vitesse périphérique, et les turbines rapides, pour lesquelles c'est le contraire.

$$n_q = n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Ici, n est la vitesse de rotation, Q le débit volumétrique et H la hauteur de chute de la turbine hydraulique. Les rapports sont clairement reconnaissables dans le triangle des vitesses. Dans la figure ci-dessous, les triangles des vitesses sont enregistrés du côté de l'entrée du rotor. c_1 est la vitesse absolue, w_1 la vitesse relative de l'eau et u_1 la vitesse périphérique du rotor.

VITESSE DE ROTATION SPÉCIFIQUE	TRIANGLE DES VITESSES	FORME DU ROTOR
$n_q = 10$		 Turbine Pelton
$n_q = 30$		 Turbine Francis, lente
$n_q = 90$		 Turbine Francis, rapide
$n_q = 200$		 Turbine Kaplan



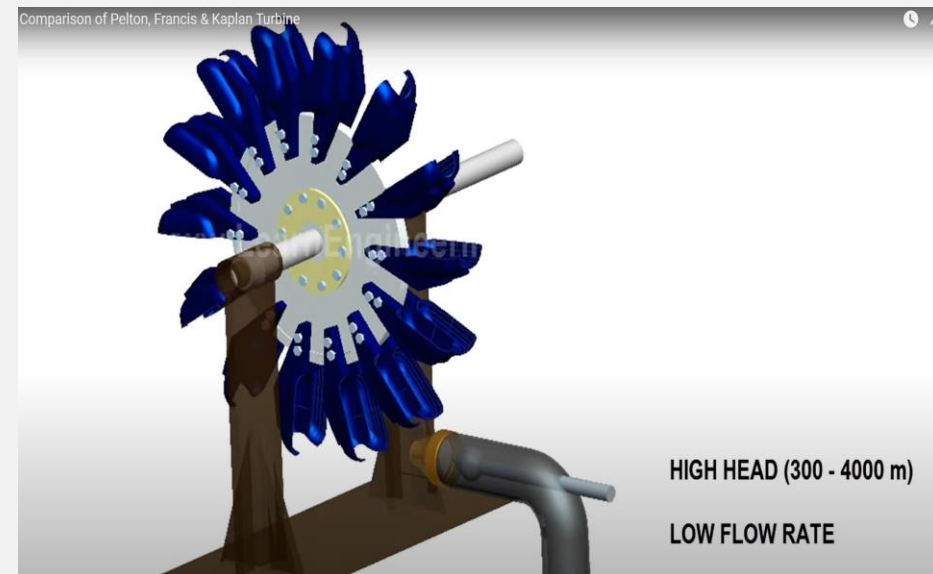
Pelton à 4 injecteurs

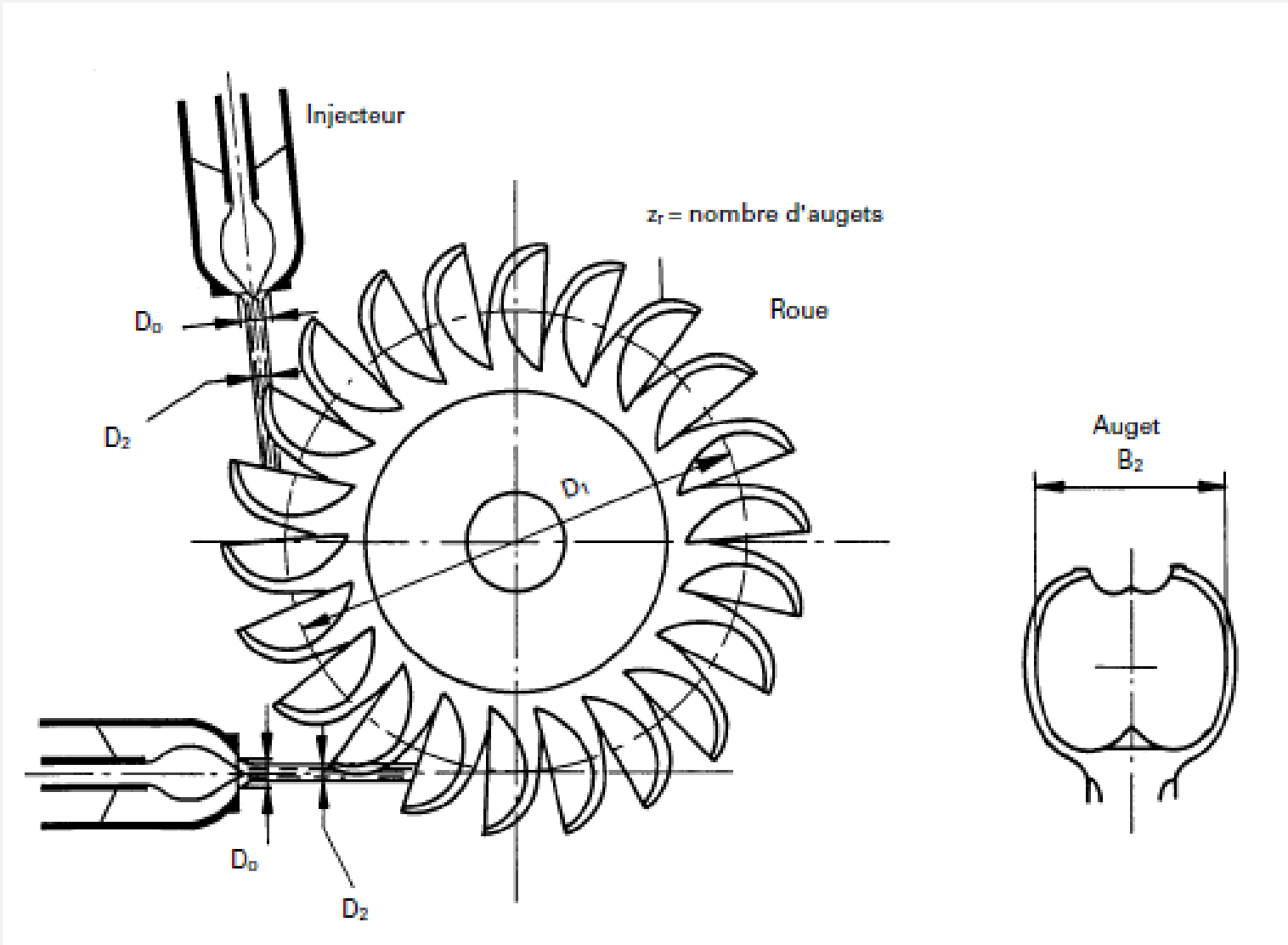
Les turbines Pelton sont en général utilisées dans les centrales de haute chute (de 130 à 2000 mètres) et de faible débit

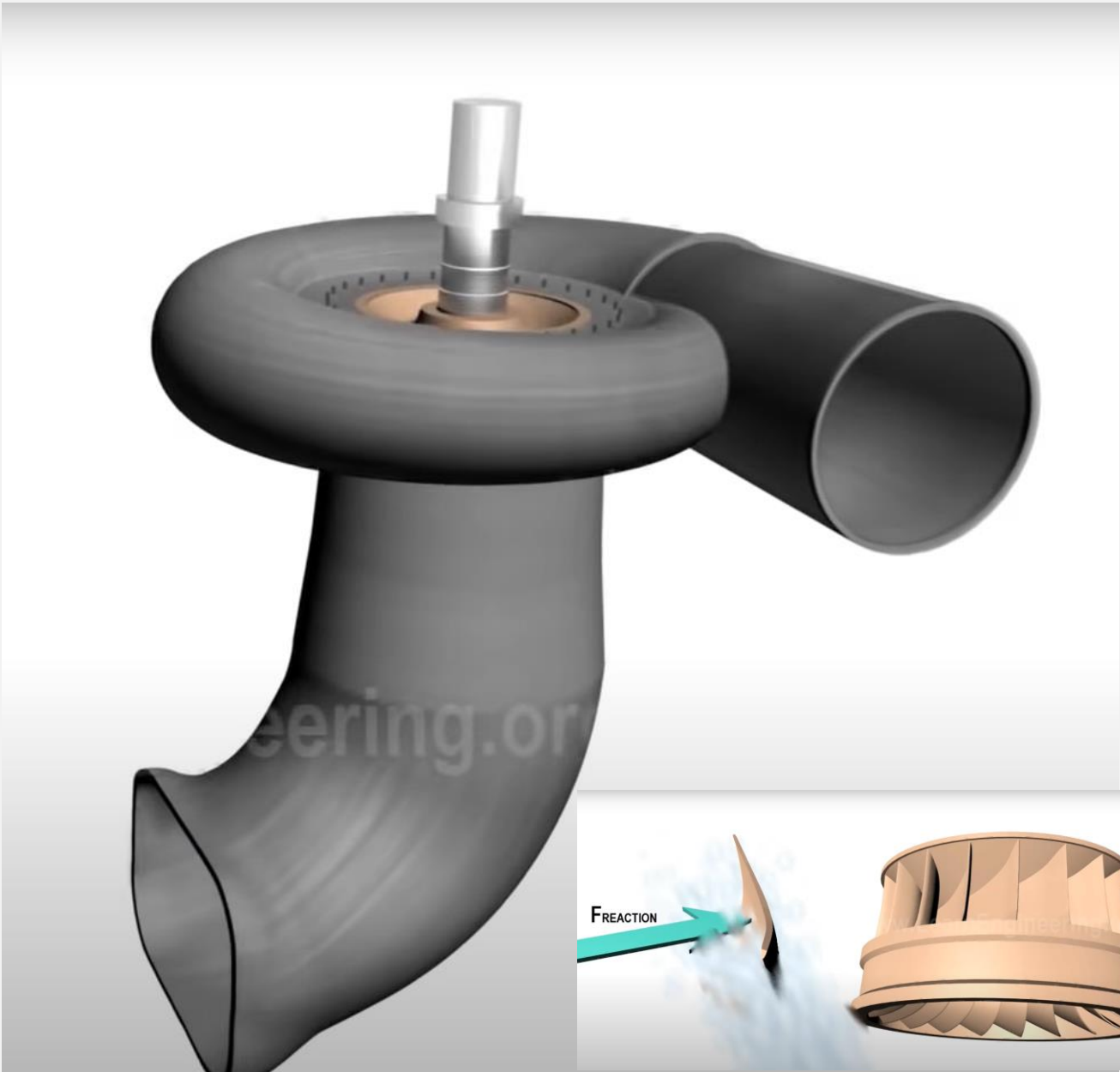
Un jet libre agit sur des augets ou des aubes profilées placées sur la périphérie d'une roue (action).

Ce jet exerce une force sur l'auget en mouvement de rotation, qui est transformée en couple et puissance mécanique sur l'arbre de la turbine.

La turbine à action est caractérisée par le fait que l'énergie à disposition de l'aubage est entièrement sous forme d'énergie cinétique. L'échange d'énergie entre l'eau et l'aubage a lieu à pression constante, généralement la pression atmosphérique. La roue de la turbine est dénoyée et tourne dans l'air.







Une turbine à réaction est une machine fermée (noyée) qui utilise à la fois la vitesse de l'eau (énergie cinétique) et une différence de pression.

Deux principes sont à la base de son fonctionnement:

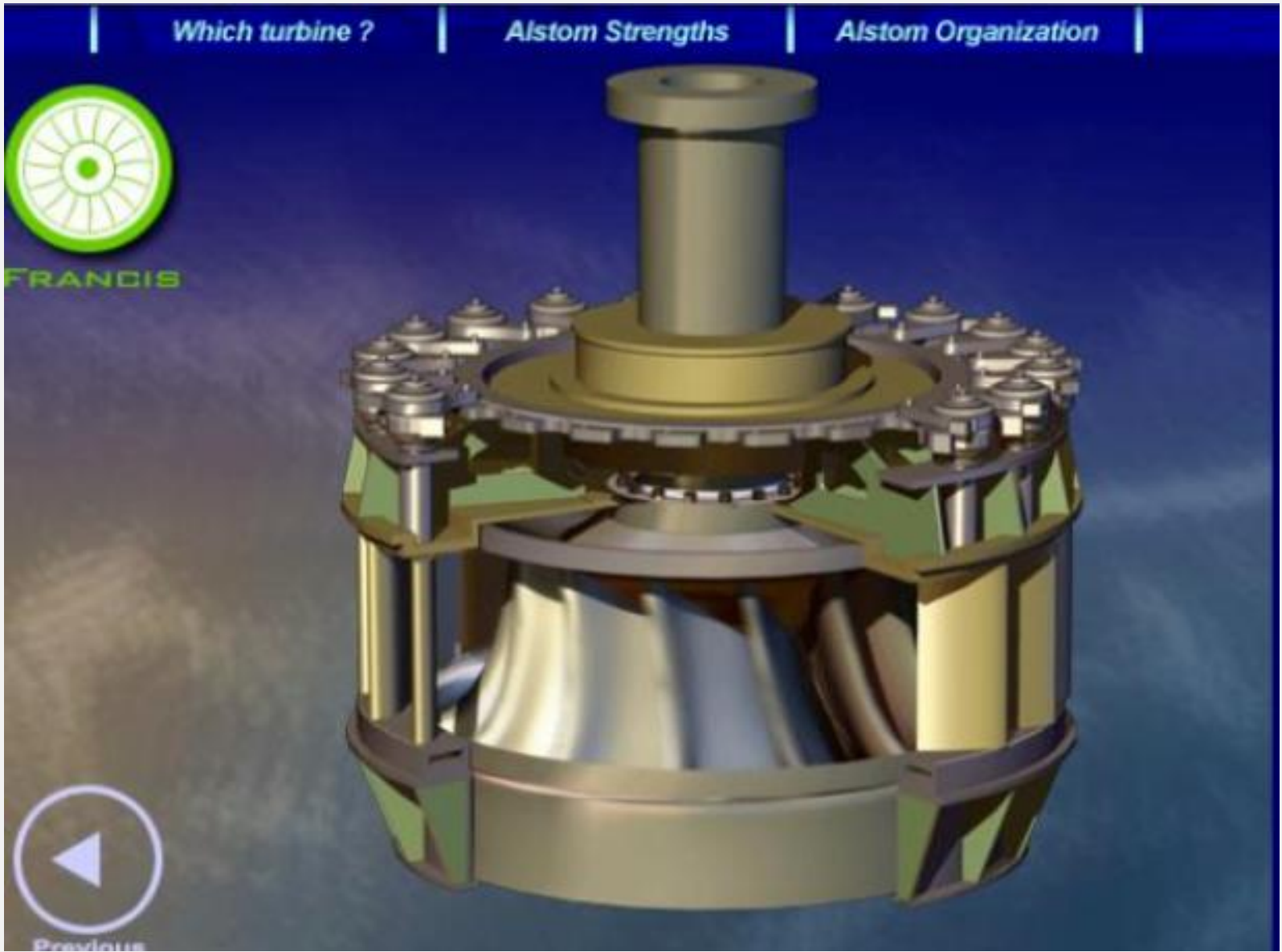
1. la création d'un tourbillon au moyen d'une bêche spirale, d'aubages directeurs, ou les deux à la fois;
2. la récupération du mouvement circulaire du tourbillon par les aubages d'une roue en rotation qui dévient les filets d'eau pour leur donner une direction parallèle à l'axe de rotation.

Ces aubages se comportent comme une aile d'avion : l'écoulement de l'eau provoque sur le profil de l'aube une force hydrodynamique qui induit un couple sur l'arbre de la turbine.

Comme pour une aile d'avion, la force portante résulte d'une différence de pression entre les deux faces du profil (intrados et extrados).

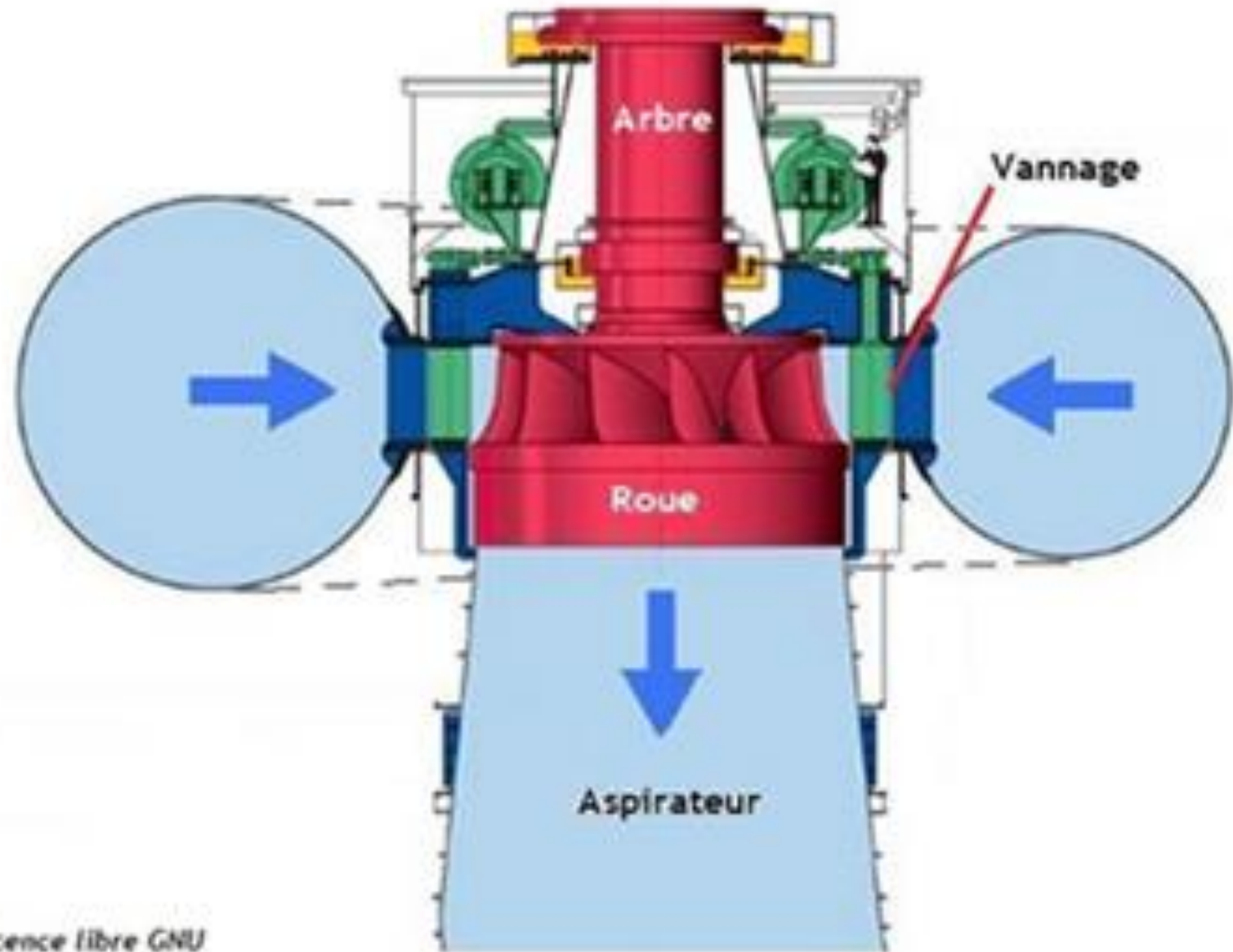
Francis

Les turbines Francis sont très indiquées pour des hauteurs de chute (40 à 730 mètres) et débits moyens.



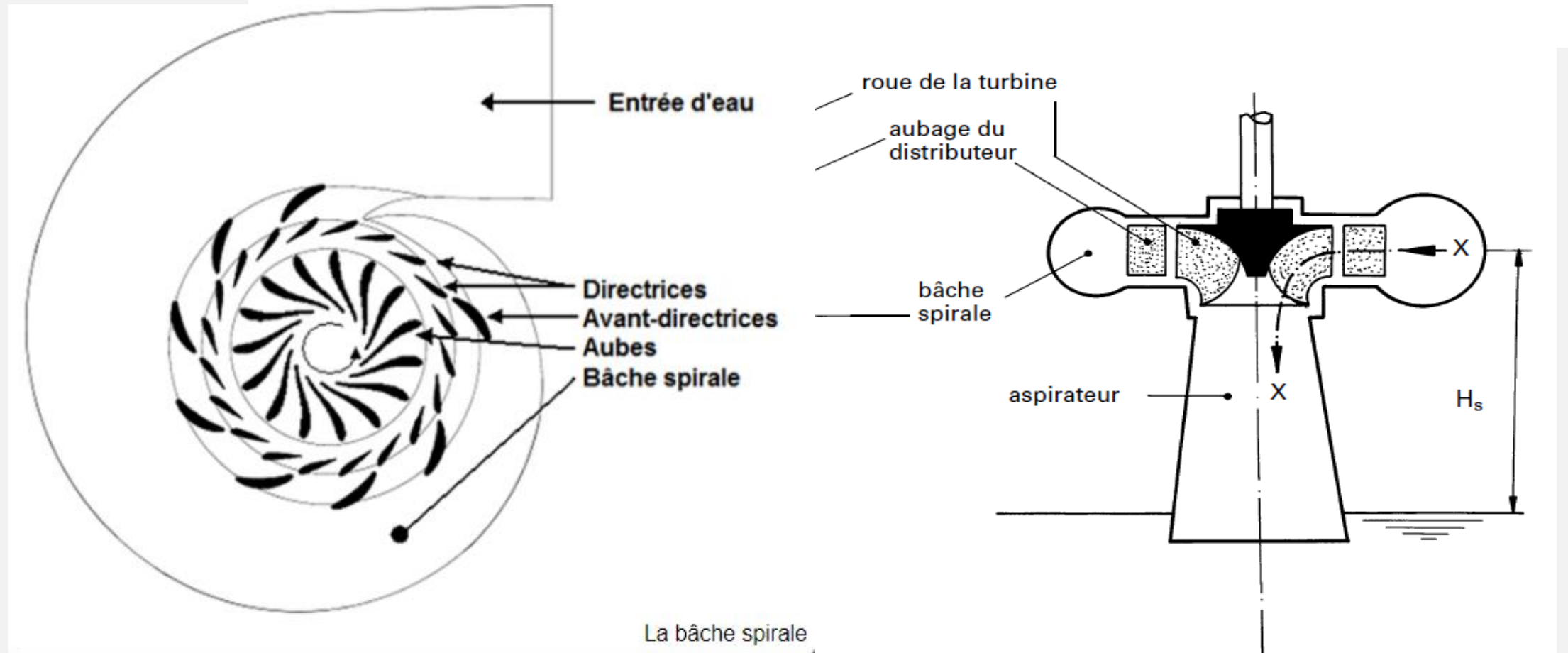
Turbine Francis


Vue en coupe d'une turbine Francis



Licence libre GNU

- Bâche spirale:** enveloppe sous pression permettant la mise en rotation du fluide
- Distributeur:** aubage fixe ou mobile définissant le débit à la turbine et l'intensité du tourbillon
- Roue de la turbine:** récupère l'énergie du tourbillon pour la transformer en énergie mécanique
- Aspirateur:** conduit conique divergent servant à ralentir la vitesse de sortie de la turbine, ce qui permet de réduire l'énergie cinétique perdue à la sortie de la turbine et à récupérer l'énergie hydraulique statique à l'aval de celle-ci (hauteur d'aspiration H_s)



A large, multi-tiered Francis turbine assembly made of stainless steel. The central shaft is white, and the turbine has several horizontal rings and a lower section with curved blades. The assembly is in a factory setting with a metal railing and a staircase in the background.

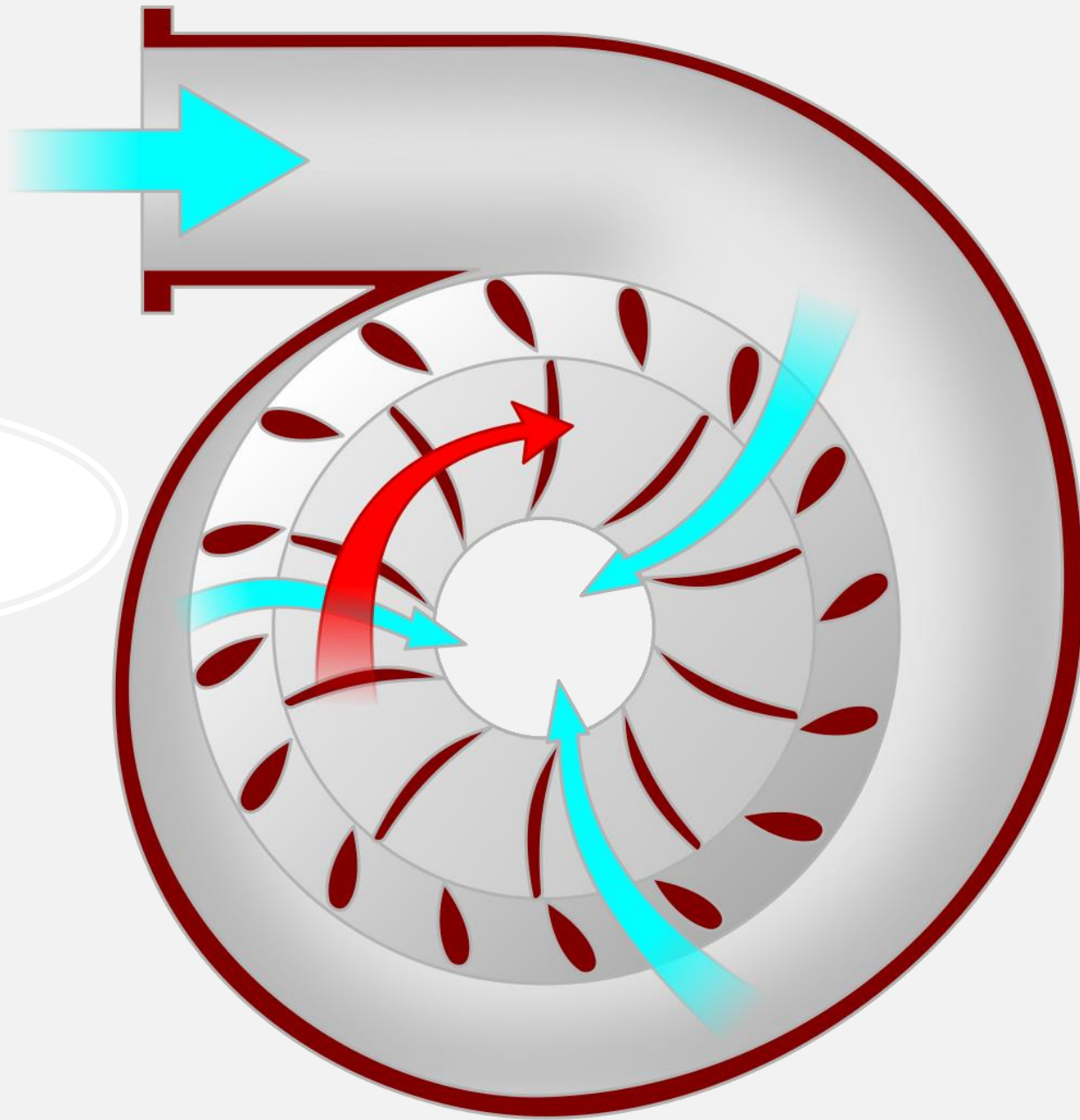
Turbine Francis en
acier inoxydable

A comparer avec la
turbine de Heid de
Goreux – Chute plus
faible



25/10/2019

Coupe d'une
turbine Francis



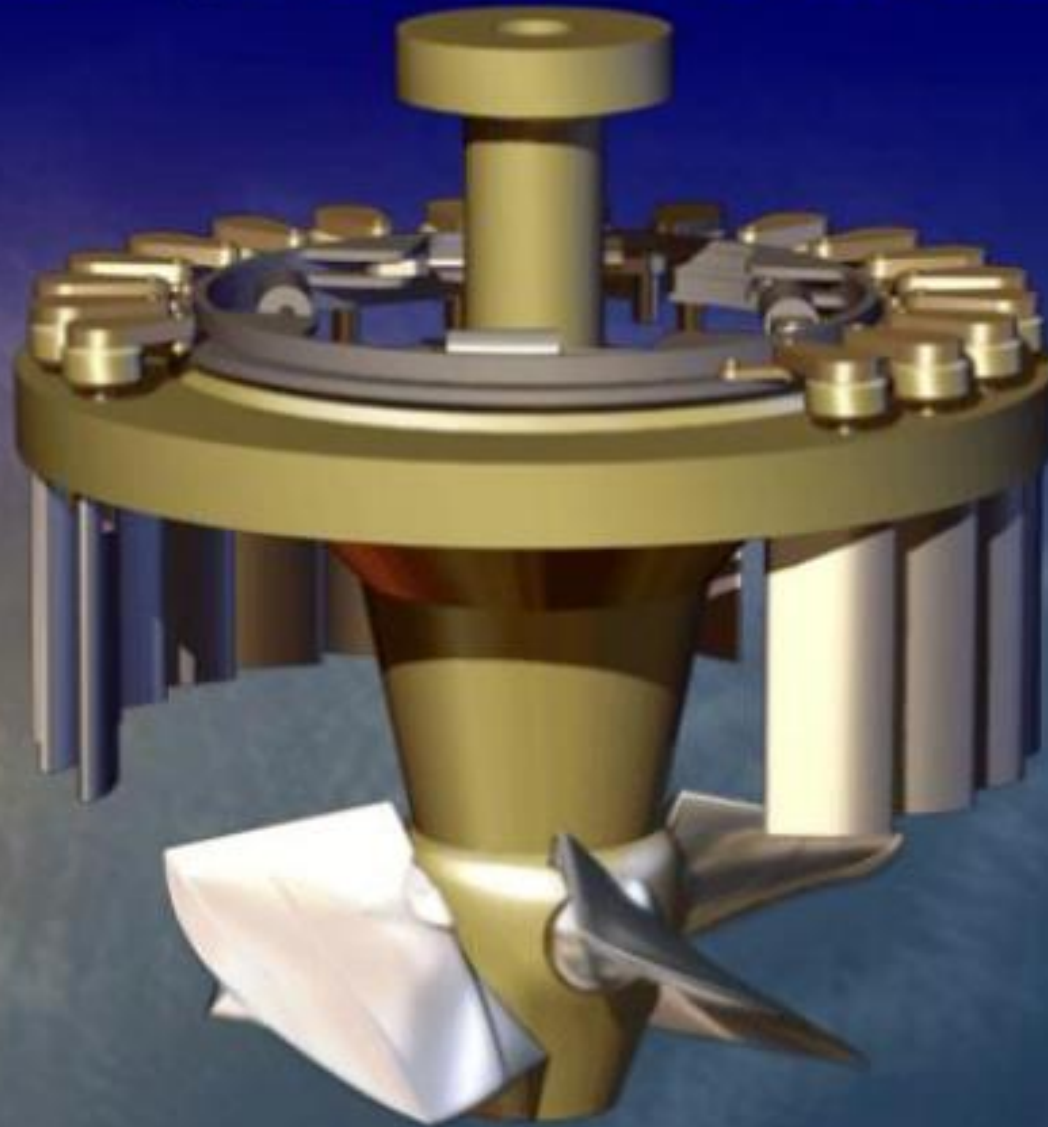
Which turbine ?

Alstom Strengths

Alstom Organization



KAPLAN



Previous

LOW HEAD (2 - 25 m)

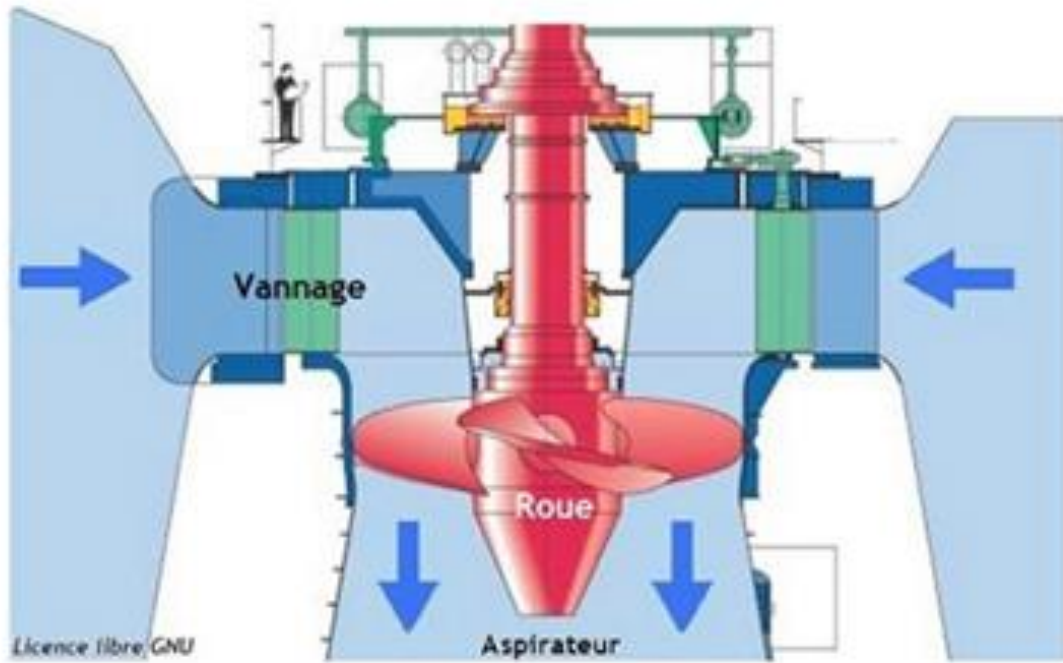
HIGH FLOW (70 - 800 m³/s)



Kaplan

Adaptée aux chutes de faible hauteur (5 à 80 m) et à débit important,

Loi de conjugaison distributeur/pales de la roue



Licence libre GNU

Evolution vers le groupe bulbe

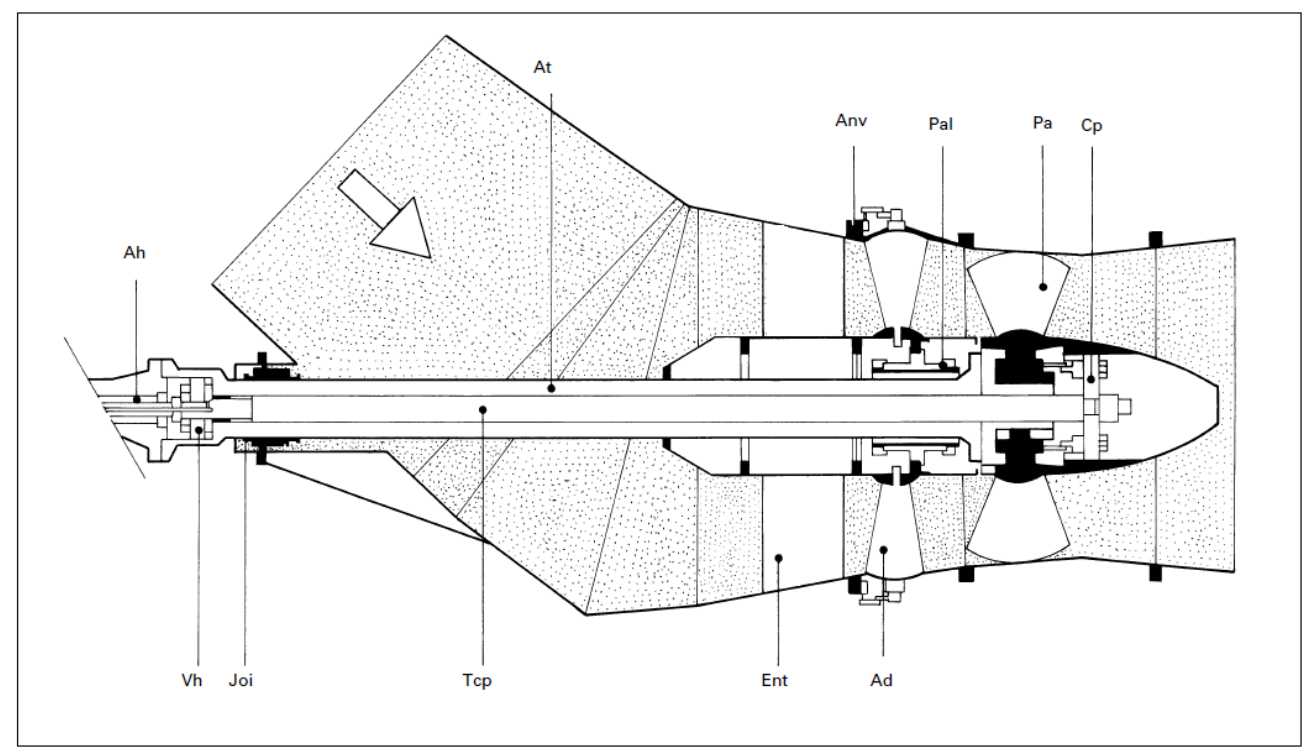


Figure 3.6.a : Composants principaux d'une turbine Kaplan

- Ah : alimentation huile
- Vh : vérin de commande de la roue
- Joi : joint d'arbre
- Tcp : tige de commande des pales de la roue
- At : arbre turbine
- Ent : entretoises
- Anv : anneau de vannage
- Ad : aubage du distributeur
- Pal : palier
- Pa : pale mobile de la roue
- Cp : commande des pales de la roue

Mise en service de l'usine : 1966

Usine : 390 m de long et 33 m de large abritant 24 groupes de production de type « bulbe » de 10 MW chacun.

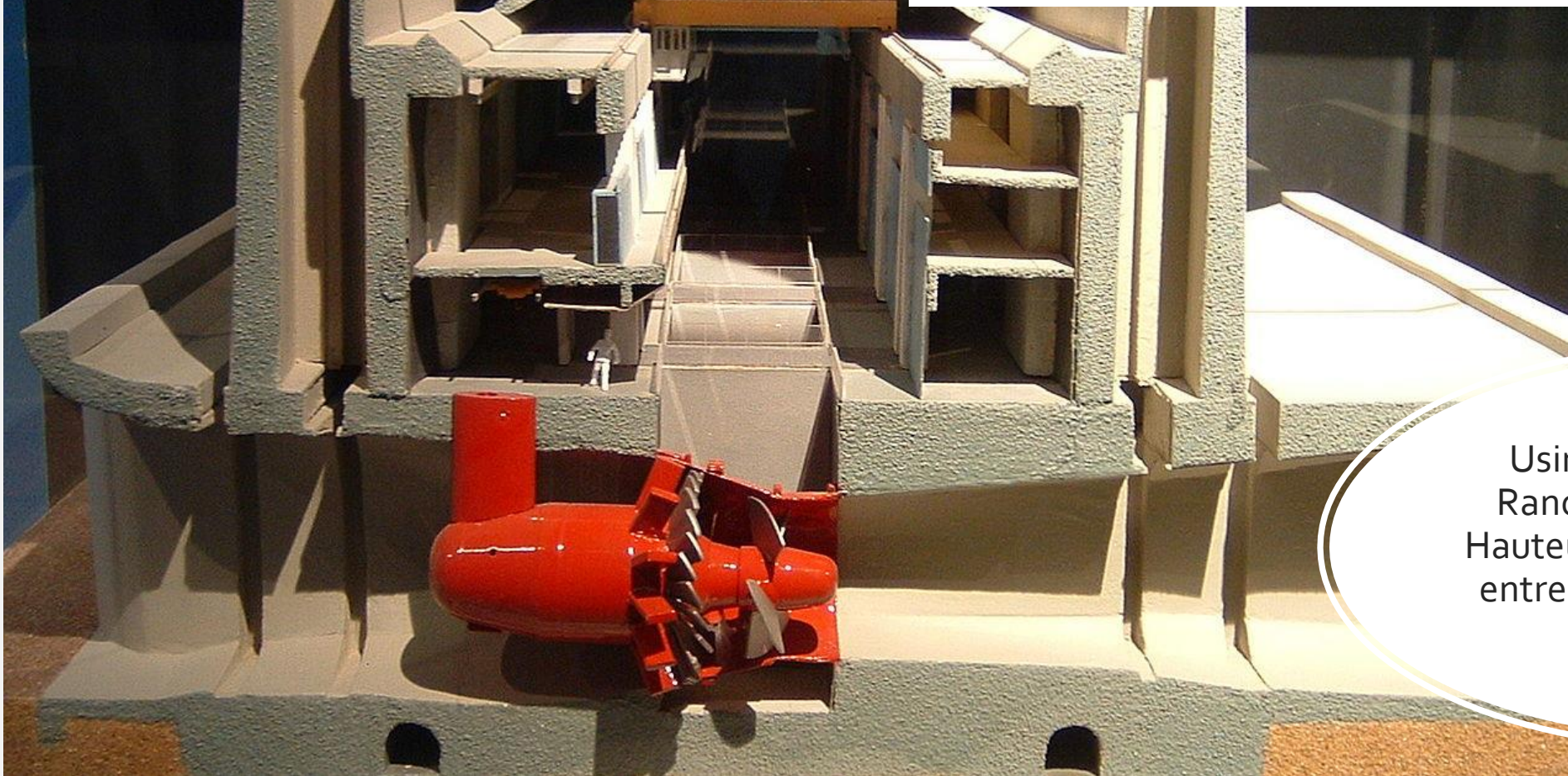
Débit maximum turbiné : 6 600 m³/s.

Équivalent consommation : 225 000 habitants, soit la ville de Rennes.

Digue en enrochement : 163 m de long.

Barrage mobile : 115 m de long, équipé de 6 vannes de type « wagon » d'une hauteur de levée de 10 m et d'une largeur de 15 m.

Bassin : 184 000 000 m³ d'eau / 22 km².



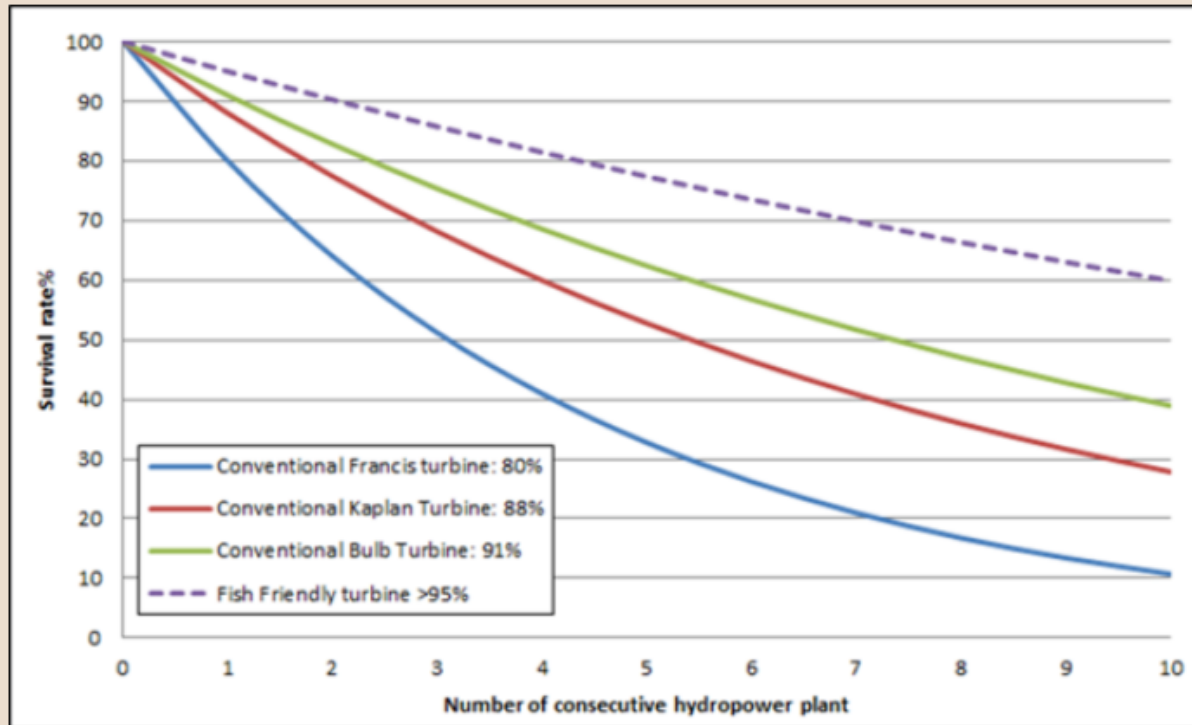
Usine marémotrice de la Rance – Gros débit / faible hauteur de chute = différence entre marée haute et marée basse




Coupe d'une centrale avec groupe bulbes

Et les poissons dans tout ça !!

À la base le risque de mortalité est une probabilité qui augmente avec le nombre d'événements. Donc le nombre de barrages ou de turbines que les poissons doivent franchir pour retourner à l'océan affecte directement le taux de survie de la population. Pour illustrer ces probabilités ou plutôt le risque de mortalité, on a représenté sur les graphiques suivants des taux de survie représentatifs pour différents types de turbine en fonction du nombre de barrages franchis. On comprend aisément que les espèces migratrices soient beaucoup plus affectées que les autres.



Taux théorique de survie comparé en fonction du nombre de barrages franchis et du type de turbine. 

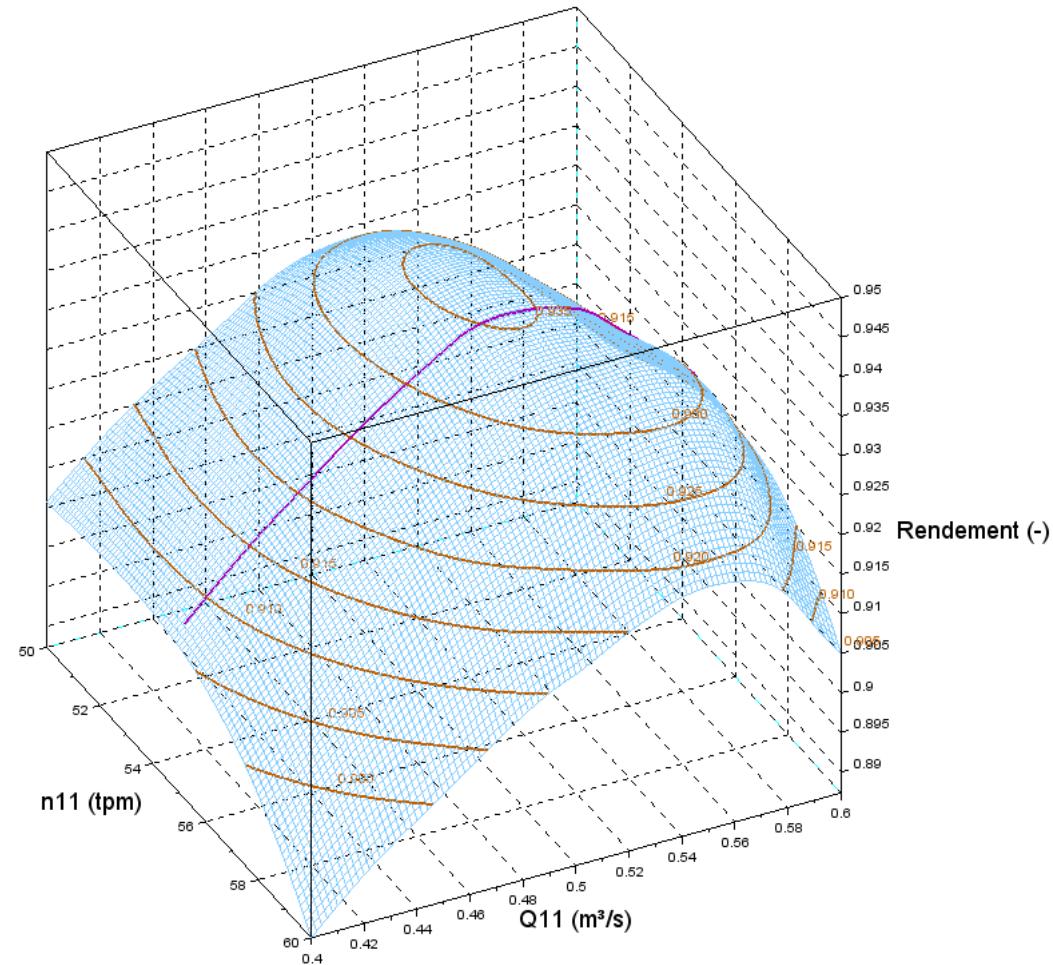
Turbines ichtyo-compatibles et échelle à poisson



+ Live4fish : exutoire de dévalaison

Colline de rendement à $Re=7000000$

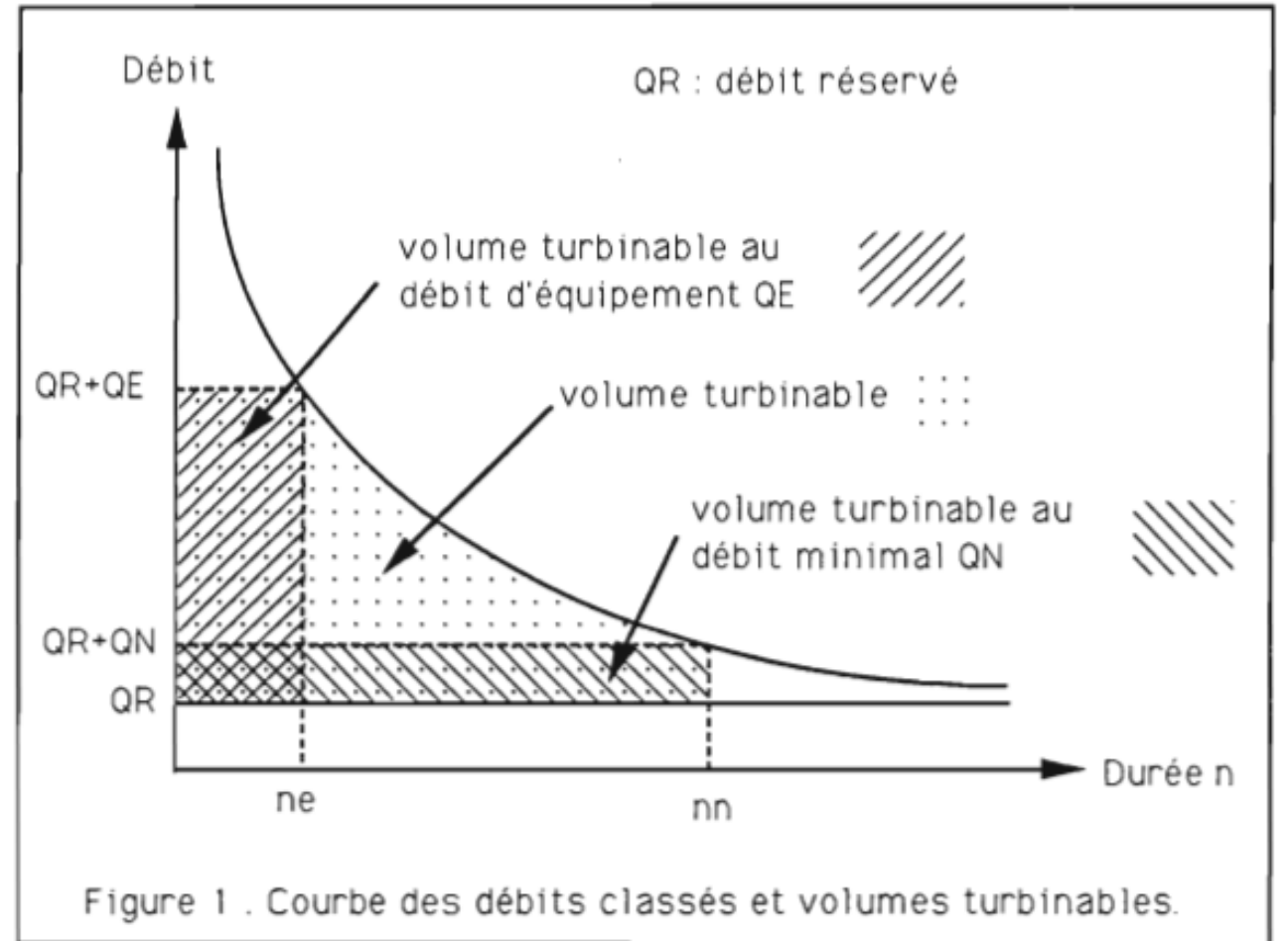
Le modèle de la turbine est défini par les courbes en colline = courbes d'iso-rendement en fonction du débit et de la vitesse spécifique de la turbine



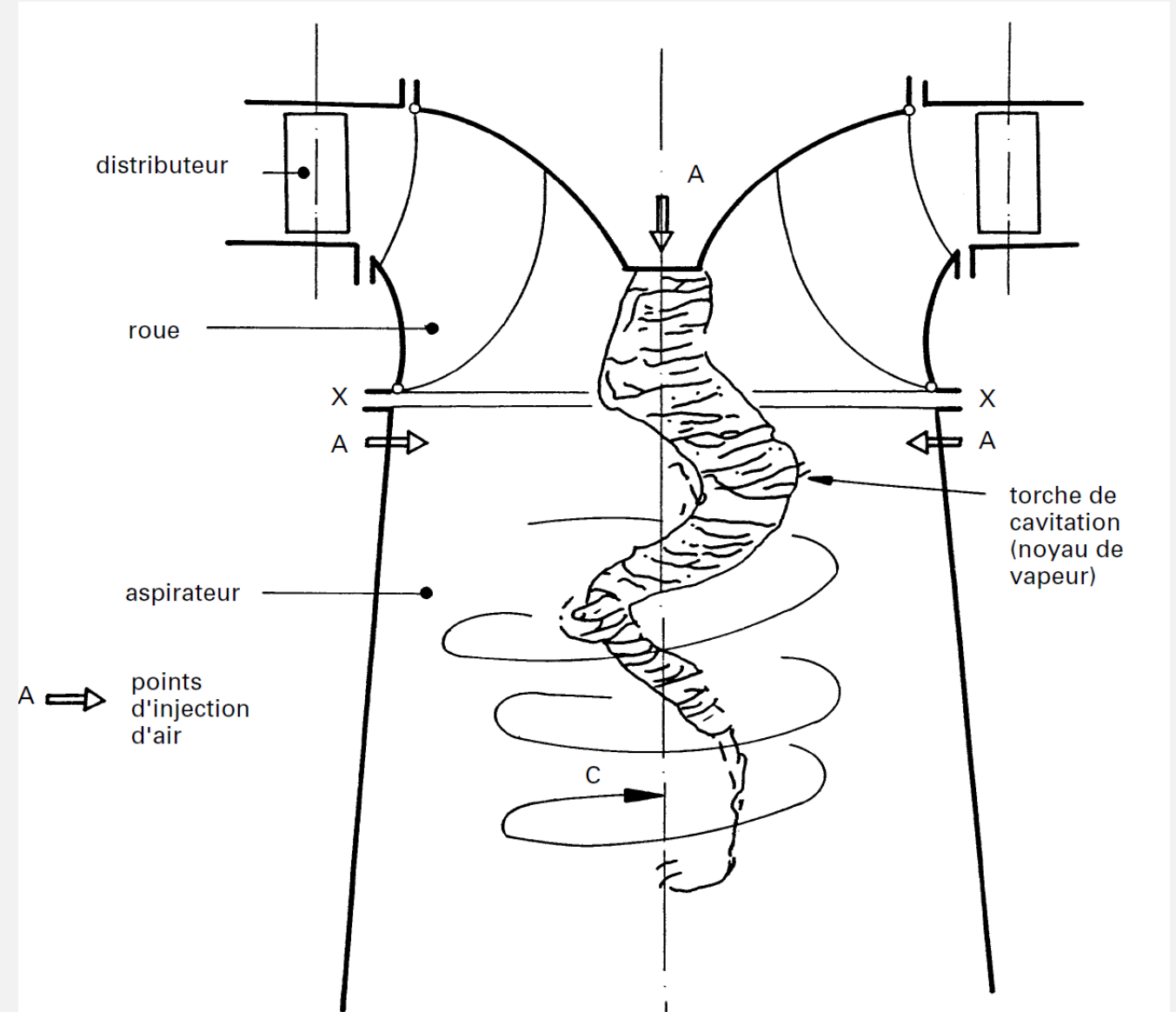
En fonction des diagrammes des débits et des chutes classés

* La courbe des débits classés s'obtient en portant sur un graphique tous les débits journaliers observés se rapportant à une période donnée (saison, année) rangés par ordre décroissant (figure 1). Le temps de base porté en abscisse est généralement donné en pourcentage de la période considérée.

Ainsi, lorsqu'il s'agit d'une année, cette courbe fournit la durée moyenne de dépassement d'un débit donné pendant un cycle annuel.



La torche de vapeur et la cavitation

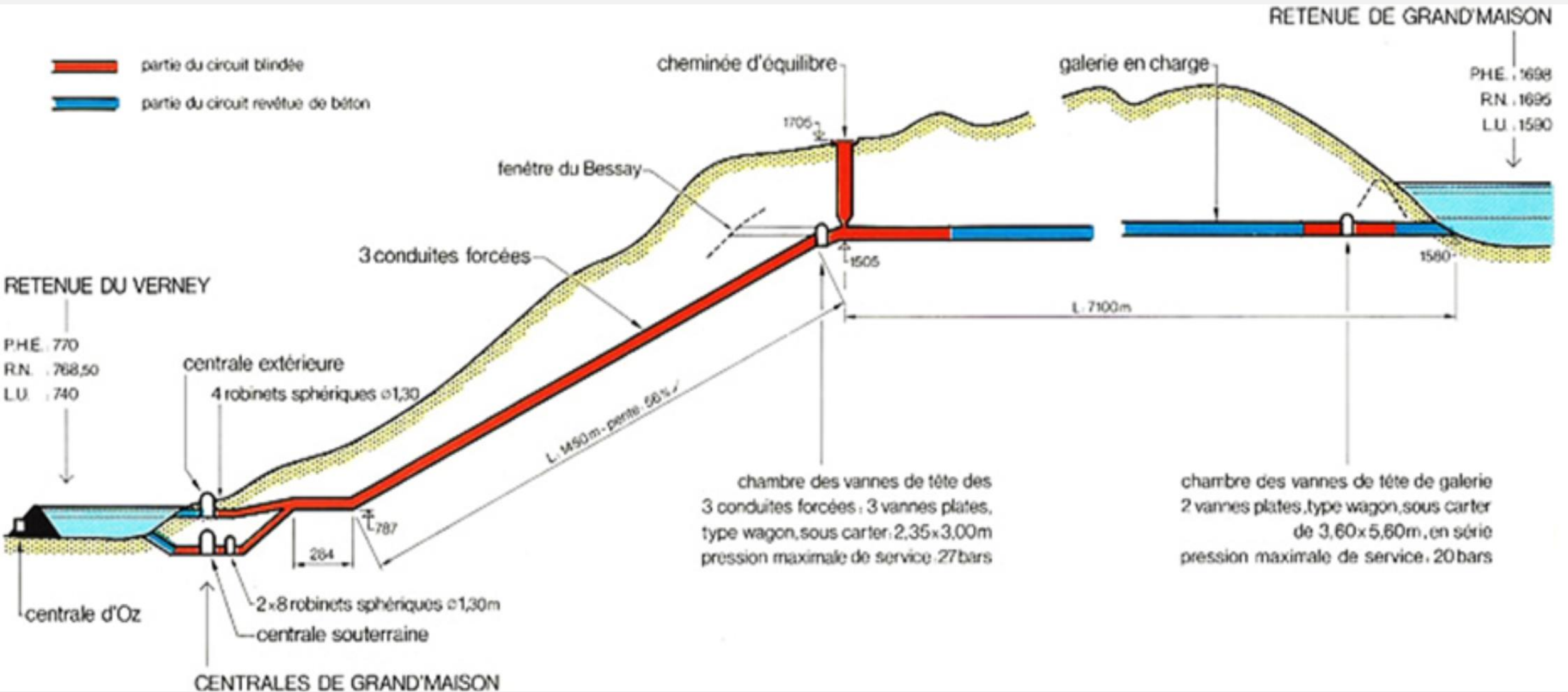


La cavitation

Réduction du phénomène de cavitation par hauteur d'implantation en dessous du niveau aval minimum

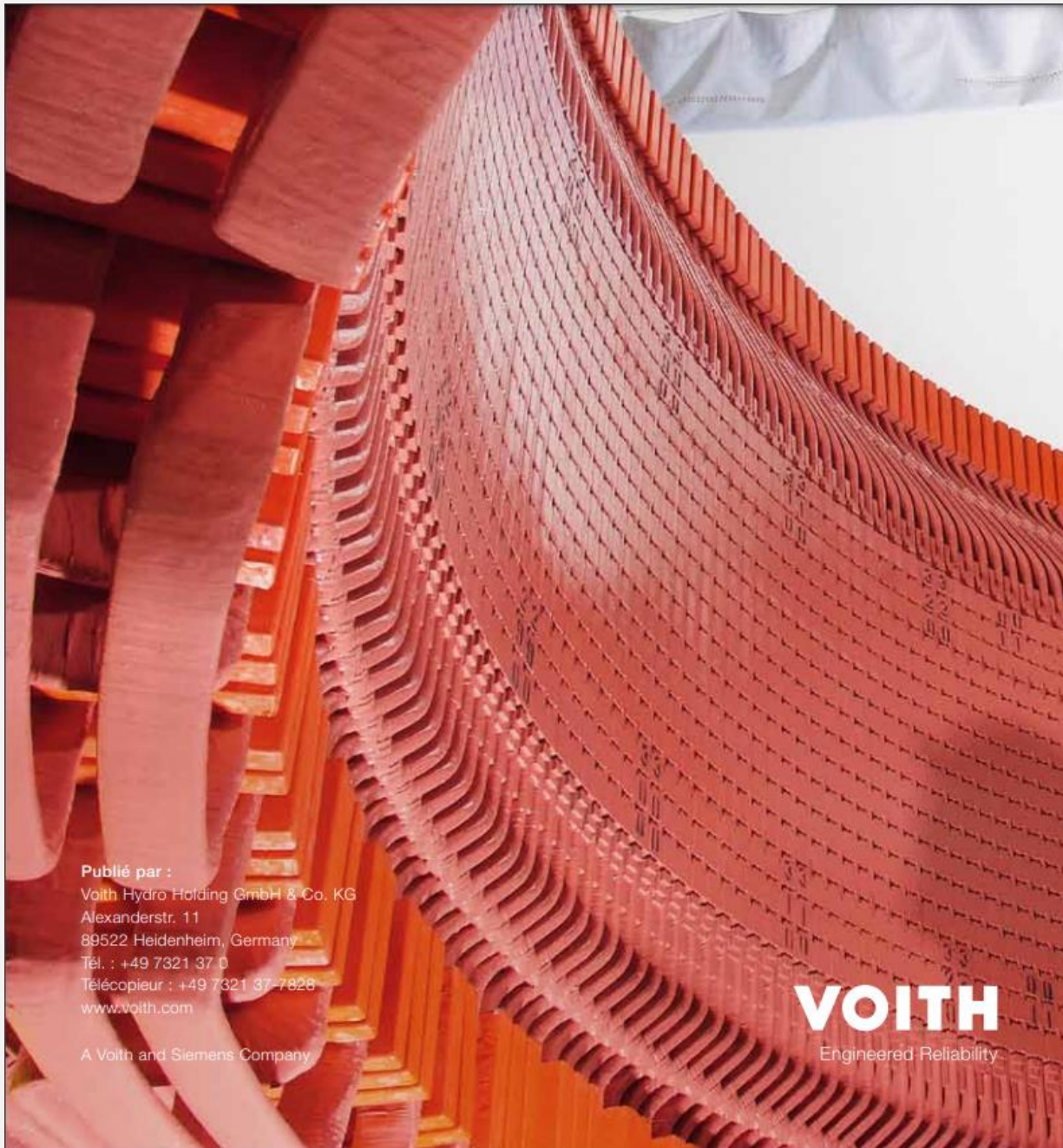


Cheminée d'équilibre et coup de bélier





Rotor à poles
saillants - Inga



Stator d'alternateur hydraulique

Publié par :
Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG
Alexanderstr. 11
89522 Heidenheim, Germany
Tél. : +49 7321 37 0
Télécopieur : +49 7321 37-7828
www.voith.com

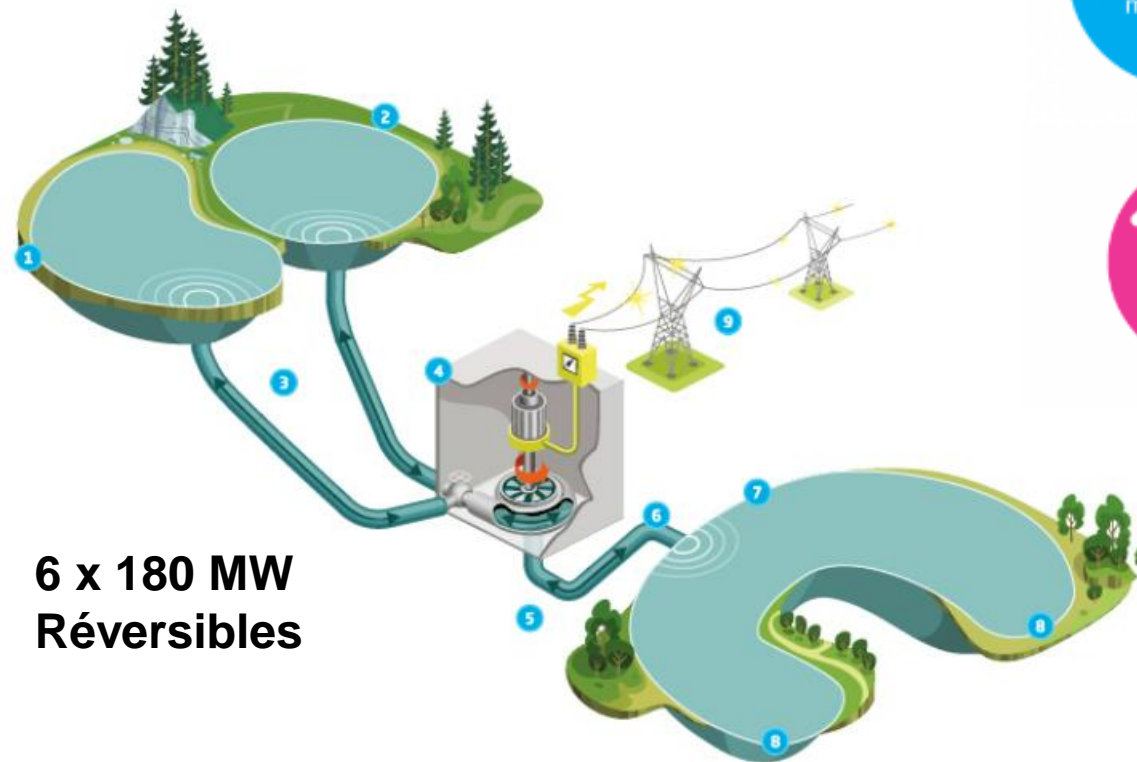
A Voith and Siemens Company

VOITH
Engineered Reliability

L'eau comme stockage d'énergie

Centrale d'accumulation de Coo

- 1 Bassin supérieur
- 2 Bassin supérieur
- 3 Conduites forcées
- 4 Salle des machines
- 5 Liaison bassin inférieur
- 6 Prise d'eau inférieure
- 7 Bassin inférieur
- 8 Dignes inférieures
- 9 Lignes haute tension



8,5
millions m³
d'eau

10
Piscines
olympiques/min

1000
MW
en 2 min

5000
MWh
de stockage
quotidien

- L'eau qui s'écoule fait tourner une **turbine** qui, à son tour, fait tourner un **alternateur**. L'alternateur transforme l'**énergie mécanique** de la turbine en **électricité**. Les groupes de Coo sont réversibles : ils peuvent fonctionner en turbinage et en pompage.
- En **période de faible demande** d'électricité, l'eau est pompée vers les **bassins supérieurs**.
- En **période de pointe**, l'eau est déversée vers le **bassin inférieur** en passant par la salle des machines où se situent les turbines et les alternateurs qui produisent l'électricité. Le débit équivaut au volume de **10 piscines olympiques à la minute** ! Le rendement global de la centrale est de 75%. Cela veut dire que 3/4 de l'énergie prélevée en heures creuses sont restitués aux heures de pointe.

L'eau comme stockage d'énergie

Documents ENGIE

Une technologie propre et avantageuse

- Modulation aisée de la puissance produite en fonction des variations de la demande
- Réserve d'énergie quasi instantanée en cas de perturbation du réseau
- Possibilité de démarrage rapide (quelques dizaines de secondes)
- Permet d'équilibrer la production non prévisible du renouvelable (éolien, solaire)
- Source d'énergie non polluante qui ne consomme pas d'eau et ne nécessite pas de combustion
- Impact maîtrisé sur l'environnement grâce à la conception souterraine de la plupart des installations techniques

Le saviez-vous ? À pleine capacité, la centrale de Coo peut fournir une puissance de 1080 MW pendant 6 heures : autant qu'une unité nucléaire mais avec un temps de démarrage inférieur à 2 minutes.

Comparaison des capacités de suivi de charge des centrales programmables

	Temps de démarrage	Variation de puissance maximale en 30s	Gradient maximal de puissance (%/min)
Turbine à gaz à cycle ouvert (OCGT)	10-20 min	20-30%	20%/min
Turbine à gaz à cycle combiné (CCGT)	30-60 min	10-20%	5-10%/min
Centrale à charbon	1-10 h	5-10%	1-5%/min
Centrale nucléaire	2 heures-2 jours	Jusqu'à 5%	1-5%/min

Projets d'extension:

- Augmentation de la puissance de 1080 à 1159 MW
 - Par remplacement partiel de 3 turbines
- Augmentation du volume de stockage de 6000 à 6450 MWh
 - Par rehausse des digues du bassin supérieur 2
 - Réaménagement du bassin inférieur

L'eau comme stockage d'énergie

Centrale d'accumulation de la Plate-Taille

Puissances nominales maximales :
4 x 34 MW en turbinage,
4 x 40 MW en pompage.

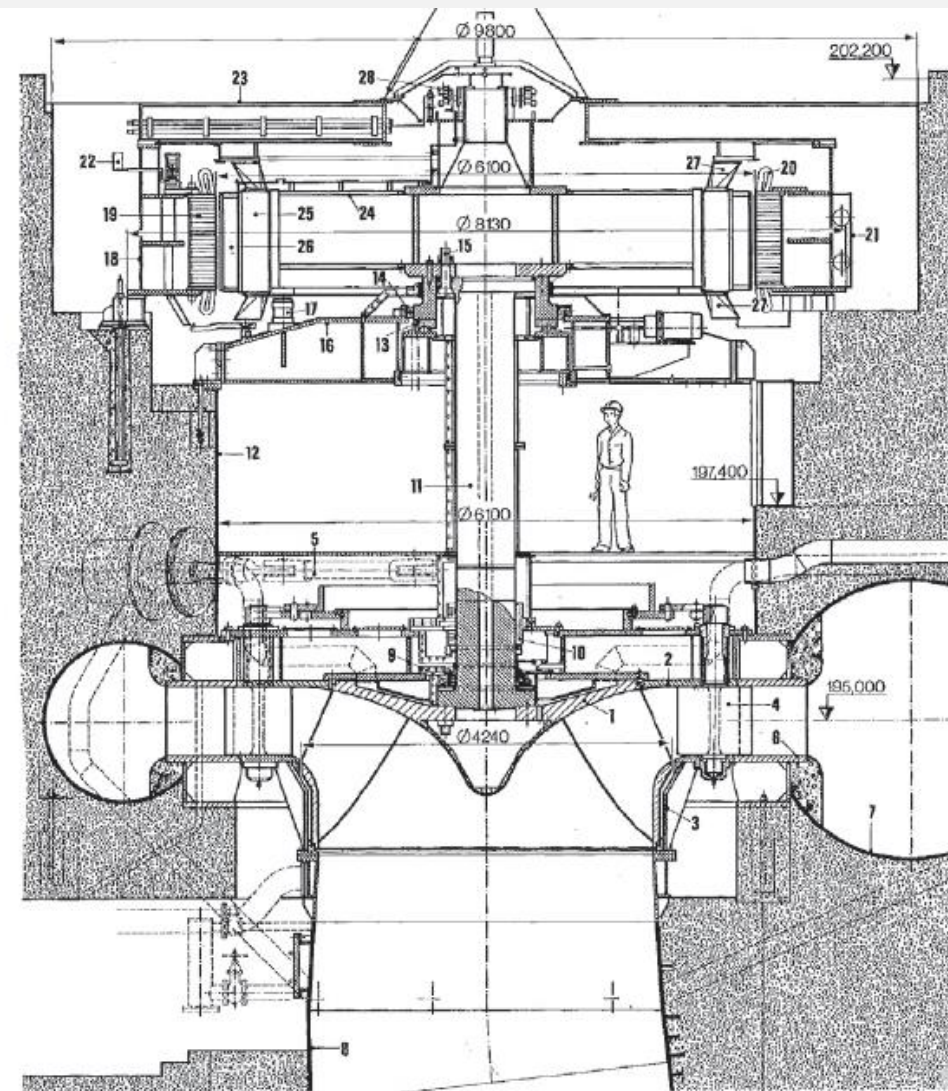


Figure 4 : coupe verticale d'un groupe pompage-turbine et son alternateur. Ø Entail de la centrale d'accumulation d'énergie par pompage de la Plate-Taille, avec AEGEC Bessis. Ateliers de construction électriques de Charlevoix, n° 3-4/1975, p. 13.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1. Route motrice | 12. Couvreur métallique | 22. Bornes 12 kV |
| 2. Couvrete inférieure | 13. Pivoi | 23. Poni supérieur |
| 3. Couvrete inférieure | 14. Palier-guide supérieur | 24. Croillon rotor |
| 4. Aubes directrices | 15. Accouplement | 25. Jante flottante |
| 5. Mécanisme de réglage | 16. Poni inférieur | 26. Pôles du rotor |
| 6. Anneau d'entretoise | 17. Vêris de freinage | 27. Ventilateurs |
| 7. Bâche spirale | 18. Carcasse | 28. Bagues collectrices |
| 8. Aspirateur | 19. Noyau magnétique | |
| 9. Joint d'étanchéité | 20. Bobinage stator | |
| 10. Palier-guide inférieur | 21. Réfrigérants | |
| 11. Arbre | | |

Merci pour votre attention

- Questions / Réponses