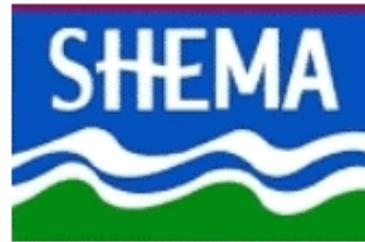


SOCIETE HYDRAULIQUE D'ETUDES



ET DE MISSIONS D'ASSISTANCE

# Énergie Hydraulique

## Lycée Chevrollier



Mars 2010



# L'Énergie Hydraulique

## I. LES AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES

Hautes-moyennes-basses chutes - Lac-éclusées-fil de l'eau-  
accumulation-dérivation

## II. LES BARRAGES

(Poids, voûtes, contreforts, matériaux non assemblés)

## III. LES CENTRALES DE HAUTES CHUTES

Galeries, cheminées d'équilibre, conduites forcées, robinets,  
turbines Pelton

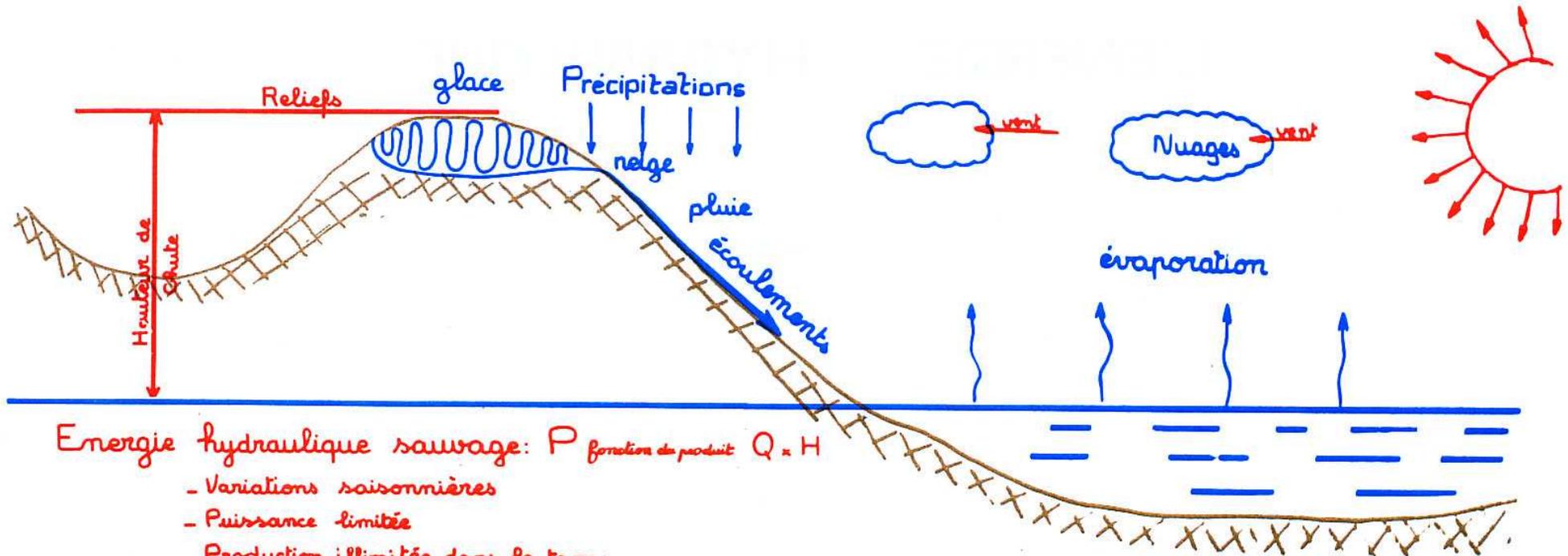
## IV. LES CENTRALES DE MOYENNES CHUTES

Les vannes levantes, les déversoirs, les turbines Francis

## V. LES CENTRALES DE BASSES CHUTES

Les barrages mobiles, les vannes secteurs, les groupes Kaplan,  
les dégrilleurs, les déchargeurs, les groupes Bulbes

# Origine Solaire de l'Énergie Hydraulique



Energie hydraulique sauvage:  $P$  fonction du produit  $Q \times H$

- Variations saisonnières
- Puissance limitée
- Production illimitée dans le temps

La formule pratique est:  $P = Q \times H \times g$

$P$  (kW) = Débit ( $m^3/s$ ) x Hauteur de chute (m) x Pesanteur ( $m/s^2$ )

$P \approx Q \times H \times 10$  (kW)  $\approx$  ( $m^3/s$ ) (m)

La formule théorique est:  $P = \bar{w} \times Q \times H$

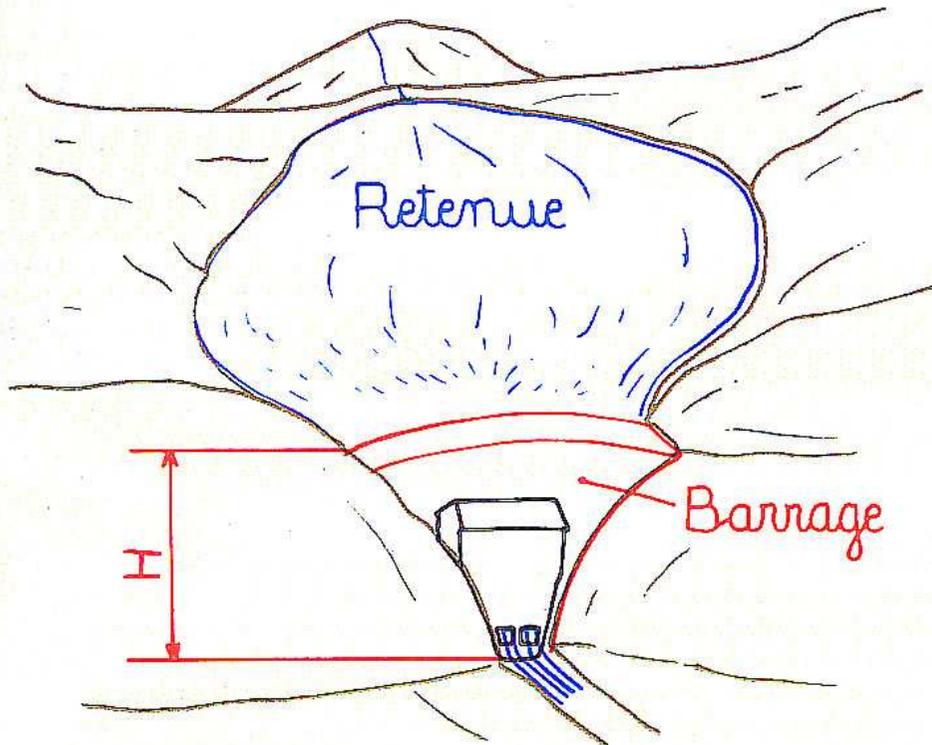
$P$  (Watt) = Poids volumique en Newton par  $m^3$  ( $9810 N/m^3$ ) x Débit en  $m^3/s$  x Hauteur de chute en m

Planche 2

# Types d'Aménagements

## PAR ACCUMULATION

Le barrage crée la chute



## PAR DERIVATION

La dérivation à pente plus faible que celle du lit naturel crée la chute

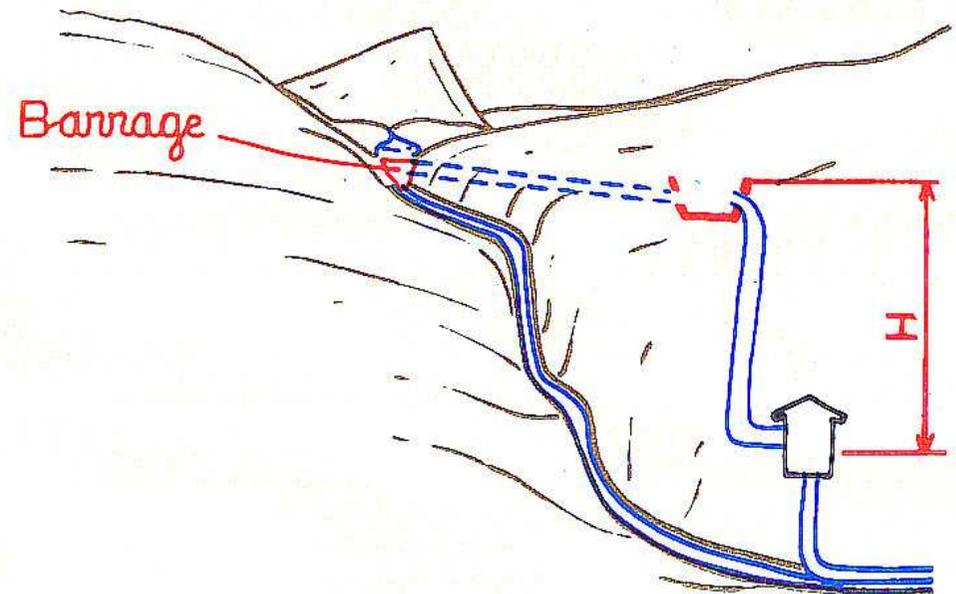


Planche 4

# Exploitation des Aménagements

Fil de l'eau  
 $T < 2h$  | Pas de réserve. débit turbiné inférieur ou égal au débit entrant.  
Pas de marnage. puissance fournie liée au débit entrant

A éclusées  
 $2 < T < 400$  | Réserve d'eau. tranche utile. débit turbiné sup., égal, inf. au débit entrant.  
Modulations journalières, hebdomadaires, de la puissance par rapport au débit entrant. Rapprochement de la puissance hydraulique de la puissance consommée

A réservoirs  
 $400 < T$  | Grandes réserves. débit turbiné sup., égal, inf. au débit entrant. Modulation saisonnière de la puissance. Rapprochement de la puissance hydraulique de la puissance consommée

Les aménagements sont classés en fonction du temps de remplissage de la tranche utile par le débit moyen entrant.

$$T = \frac{V}{Q \times 3600}$$

$T_h$  = temps de remplissage  
 $V_m$  = volume de la tranche utile  
 $Q_{m/s}$  = débit moyen

Planche 6

# Les Barrages

## A: LES BARRAGES FIXES

Obstruction invariable  
du lit de la rivière.

Barrages - Poids - Poids à contreforts  
- Voûtes - A voûtes multiples  
- Matériaux non assemblés  
(terre, enrochement)

Ils provoquent une retenue  
Ils modifient définitivement le lit.  
Ils sont équipés de dispositifs pour  
évacuer les crues

## B: LES BARRAGES MOBILES

Obstruction escamotable  
du lit de la rivière.

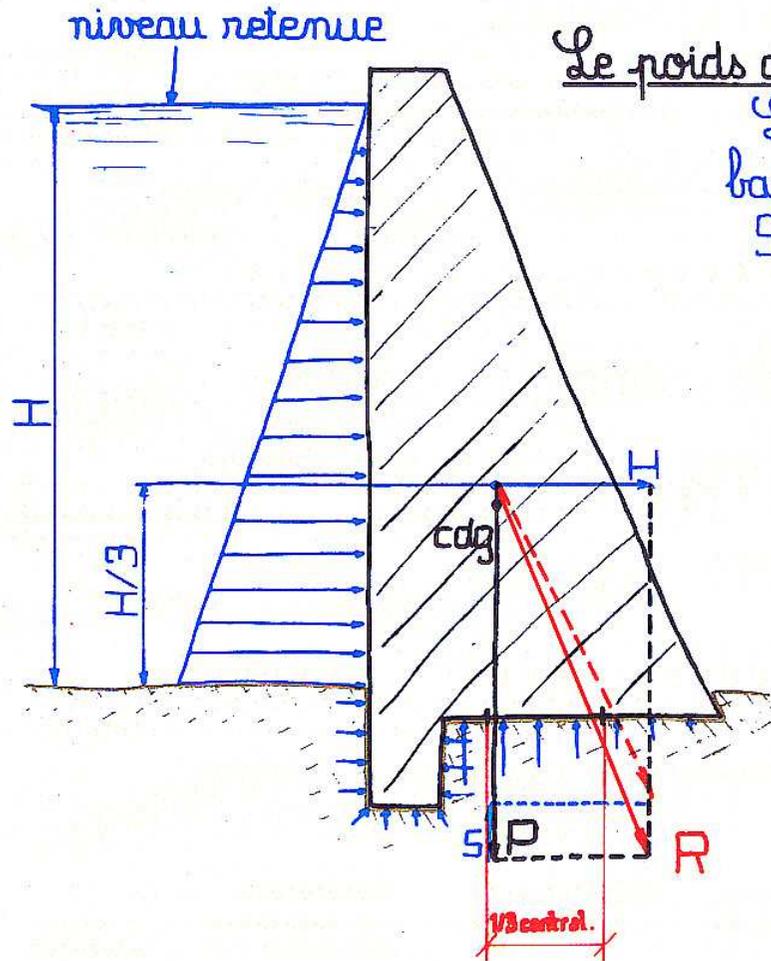
Ils comportent:  
- des piles  
- des organes d'obturation de  
différents types

Ils provoquent une faible retenue  
Ils permettent: la dérivation d'un débit.  
le réglage d'un plan d'eau.

Ne modifient pas les écoulements  
en cas de crues

Planche 9

# Barrages Poids



Le poids des maçonneries s'oppose à la poussée de l'eau

La poussée hydraulique sur le parement du barrage est plus forte en bas et nulle en haut.

Sa résultante  $H$  se situe au  $1/3$  de la hauteur.

Le poids  $P$  du béton s'applique au centre de gravité

La combinaison de  $H$  et  $P$  donne  $R$

Pour qu'il y ait stabilité il faut que  $R$  ne sorte pas du polygone de sustentation.

On dimensionne l'ouvrage pour qu'elle passe dans le  $1/3$  central (non extension du parement amont)

L'eau peut s'infiltrer sous l'ouvrage et donner des sous-pressions qui :

- réduisent l'effet Poids du barrage

Il faut en tenir compte dans le calcul

et les réduire par des drainages

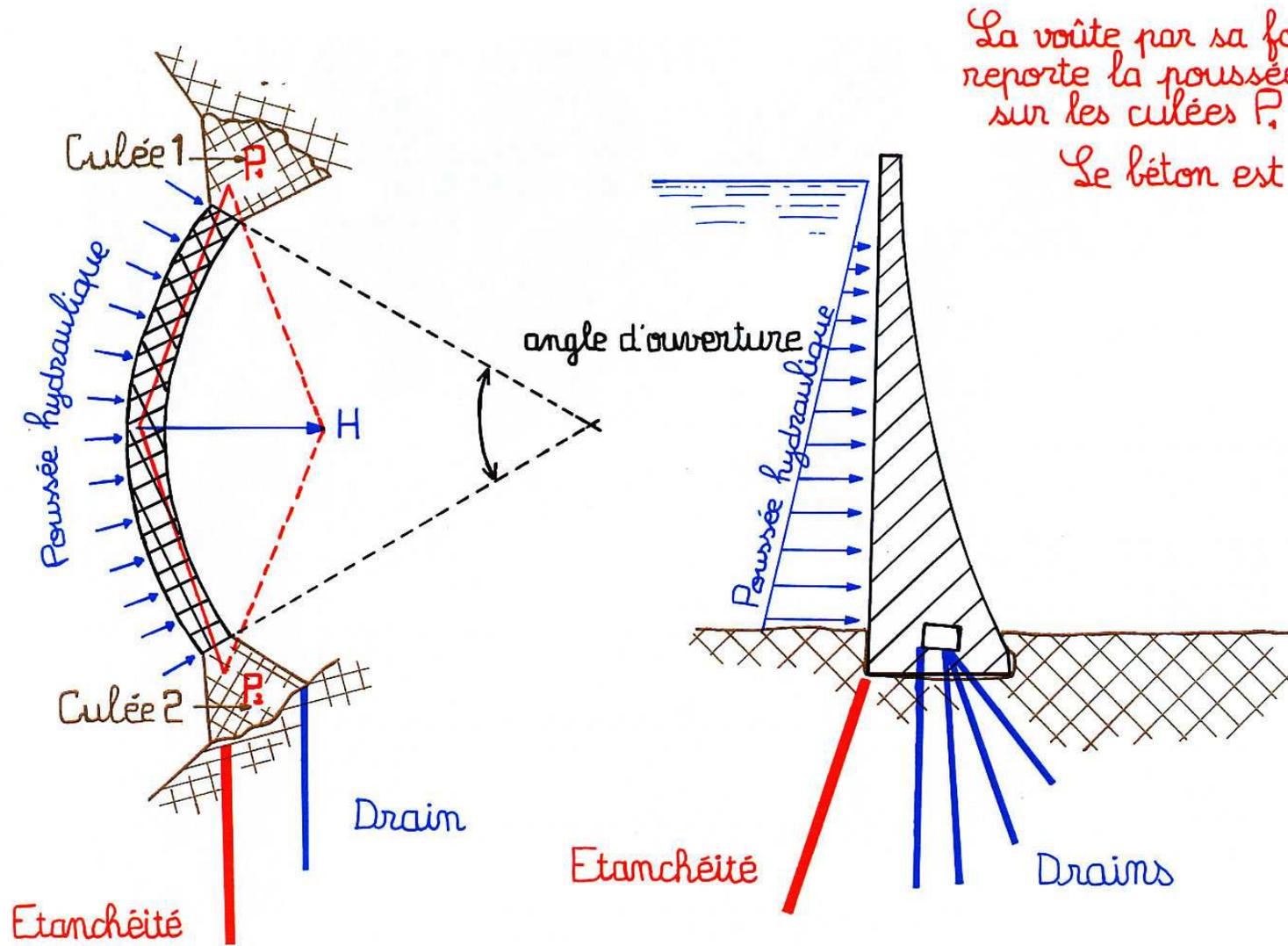
- accroissent les fissurations

Planche 10

# Barrage « poids béton »



# Barrage « Voute »



La voûte par sa forme  
reporte la poussée hydraulique  
sur les culées  $P_1$  et  $P_2$   
Le béton est comprimé

# Barrage « Voute », Sainte Croix (Verdon)



# Barrages à voûtes multiples ou contreforts

## A VOUTES MULTIPLES

## A CONTREFORTS

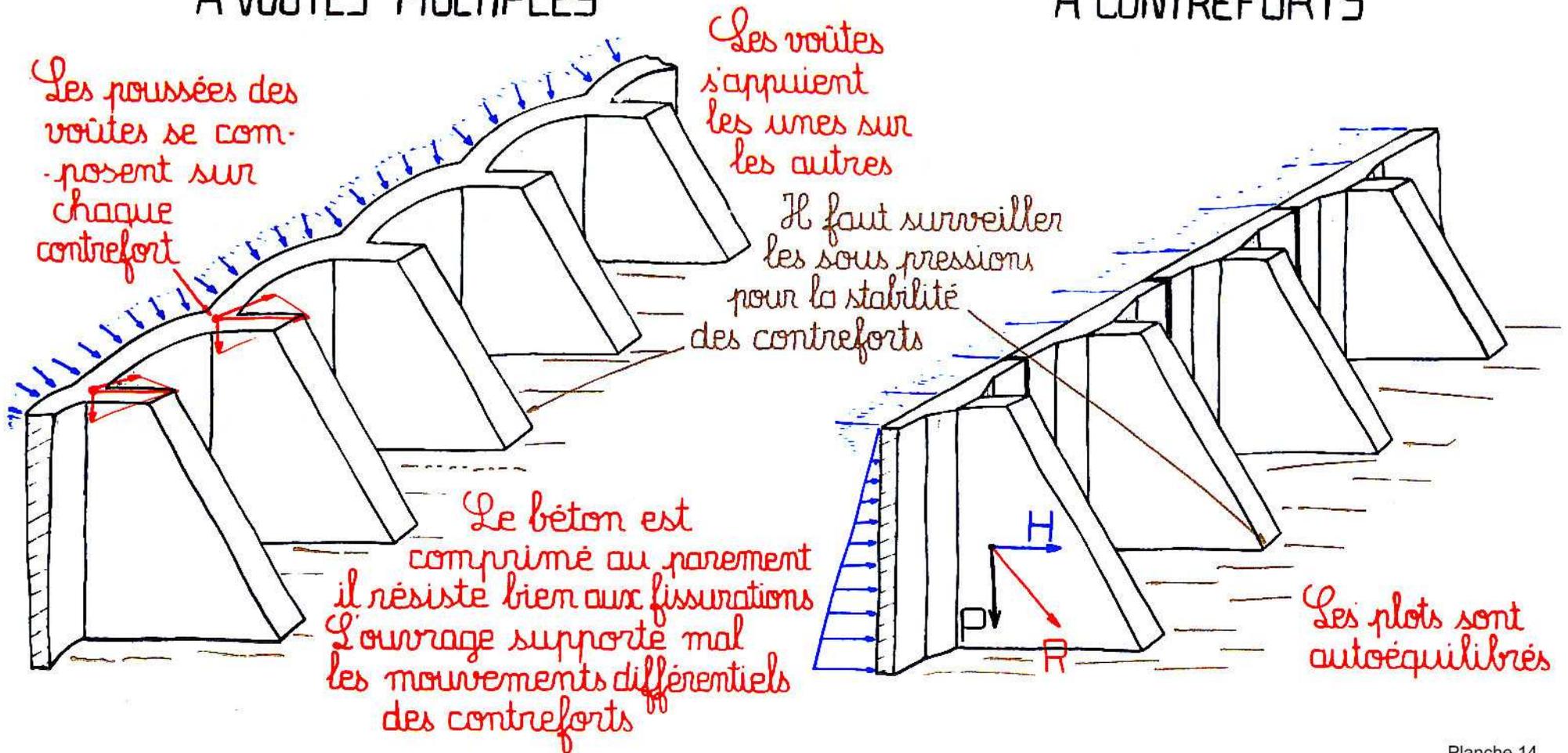
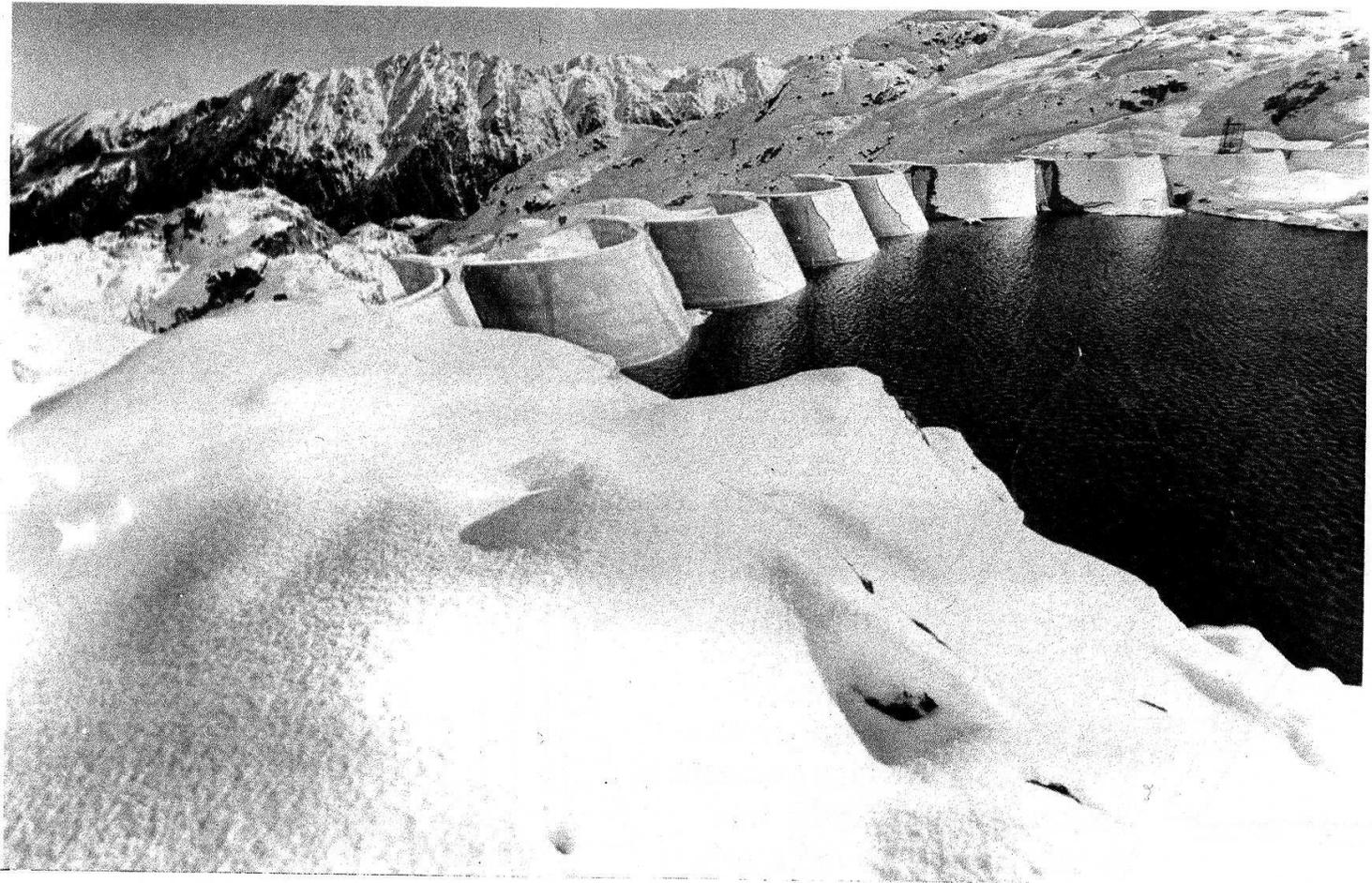


Planche 14

# Barrages à voûtes multiples

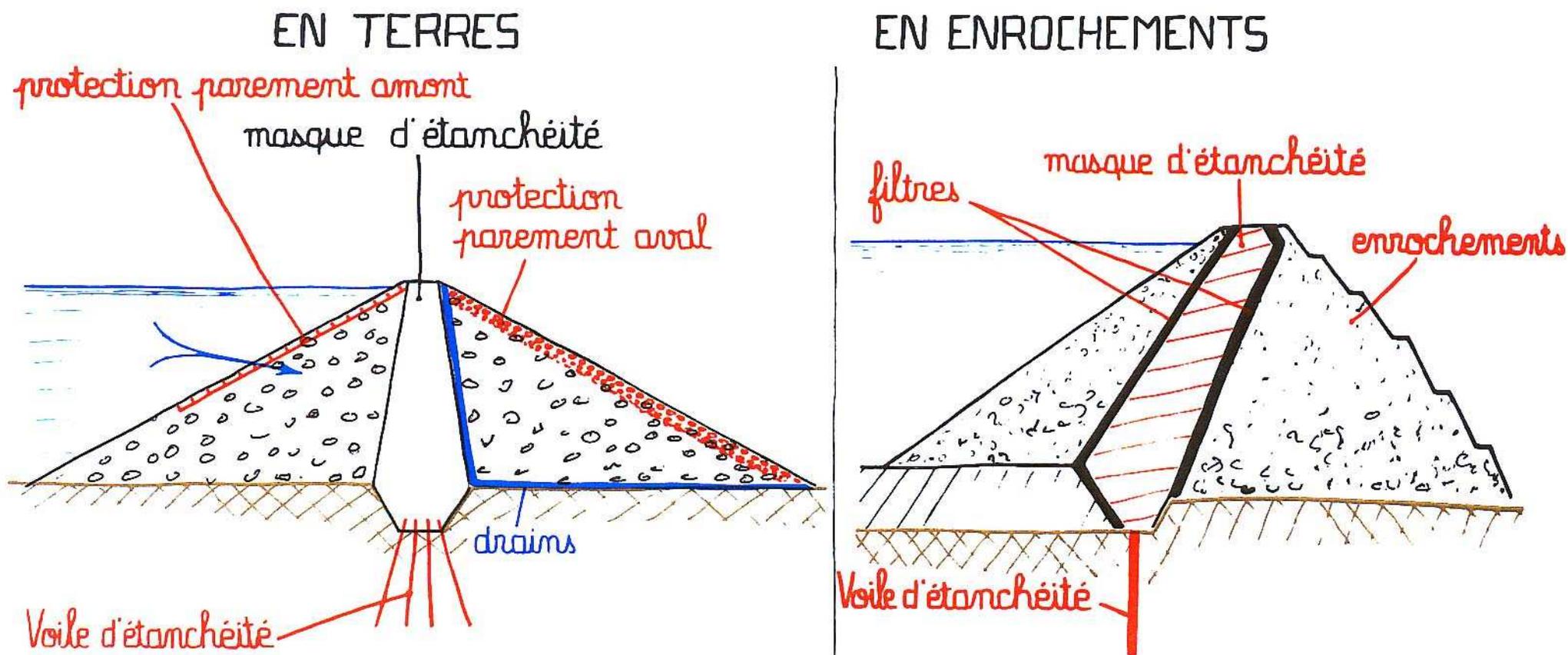


**MIGOELOU : LE LAC DE MIGOELOU (HAUTES PYRENEES), SITUÉ A 2 280 m D'ALTITUDE, A ÉTÉ AMÉNAGÉ EN RÉSERVOIR DE 17 MILLIONS DE m<sup>3</sup> AU MOYEN D'UN BARRAGE À VOUTES MULTIPLES (9 VOUTES DE 25 m D'OUVERTURE). LES EAUX SONT TURBINÉES PAR L'USINE DE MIGOELOU SOUS UNE CHUTE BRUTE DE 780 m.**

# Barrages à contreforts, Roselend Alpes



# Barrages en Matériaux Non Assemblés



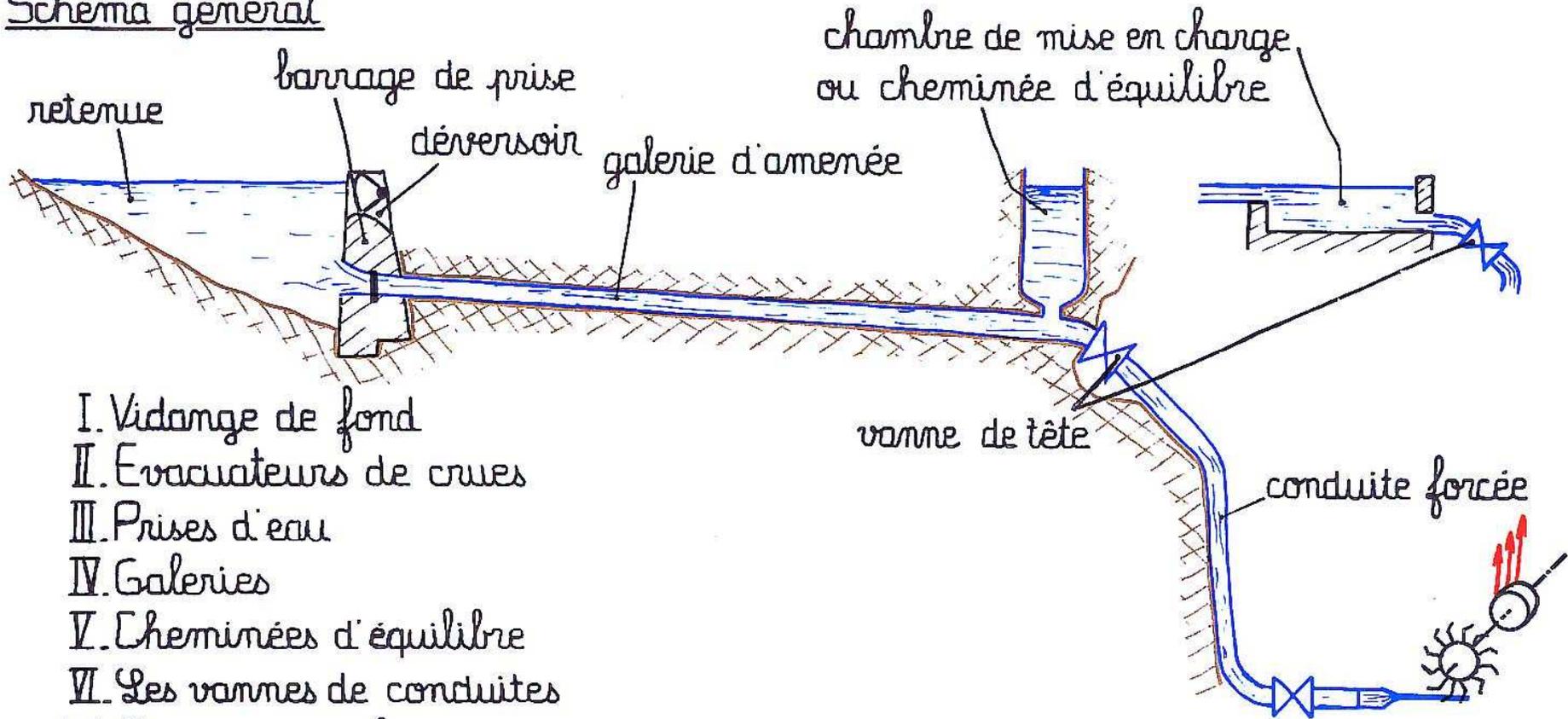
Ces ouvrages sont sensibles aux submersions et aux remords

# Serre-Ponçon (Durance)



# Les Centrales de Hautes Chutes

## Schéma général



- I. Vidange de fond
- II. Evacuateurs de crues
- III. Prises d'eau
- IV. Galeries
- V. Cheminées d'équilibre
- VI. Les vannes de conduites
- VII. Les conduites forcées
- VIII. Les turbines "Pelton"

turbine Pelton

Planche 16

# Les Évacuateurs de Crues (pour barrages fixes)

Permettent d'évacuer les plus grosses crues sans que le niveau amont dépasse la cote exceptionnelle.

Ils comportent 3 parties:

- a) Dispositifs de réglage du débit évacué  
(règle la cote de la retenue)
- b) Ouvrages d'évacuation  
(conduisent l'eau de l'amont à l'aval)
- c) Dispositifs de dissipation de l'énergie  
(évite les destructions, les affouillements)

Planche 18

# Les Évacuateurs de Crues : L'Aigle



# Les Évacuateurs de Crues



**EQUIPEMENT HYDRAULIQUE :** IL Y A VINGT ANS, EN 1951, ÉTAIT MIS EN SERVICE AU CHASTANG LE PREMIER GRAND OUVRAGE ENTIÈREMENT RÉALISÉ PAR EDF SUR LA DORDOGNE. LE BARRAGE, HAUT DE 80 MÈTRES, CRÉE UNE RETENUE DE 180 MILLIONS DE M<sup>3</sup> D'EAU QUI ALIMENTE UNE USINE D'UNE PUISSANCE DE 270 MW.

# Les Prises d'Eau (en rivière)

Prélever l'eau en éliminant les apports - lourds par charriage (graviers)  
- fins en suspension (sables, limons)  
- légers par flottage (bois, etc...)

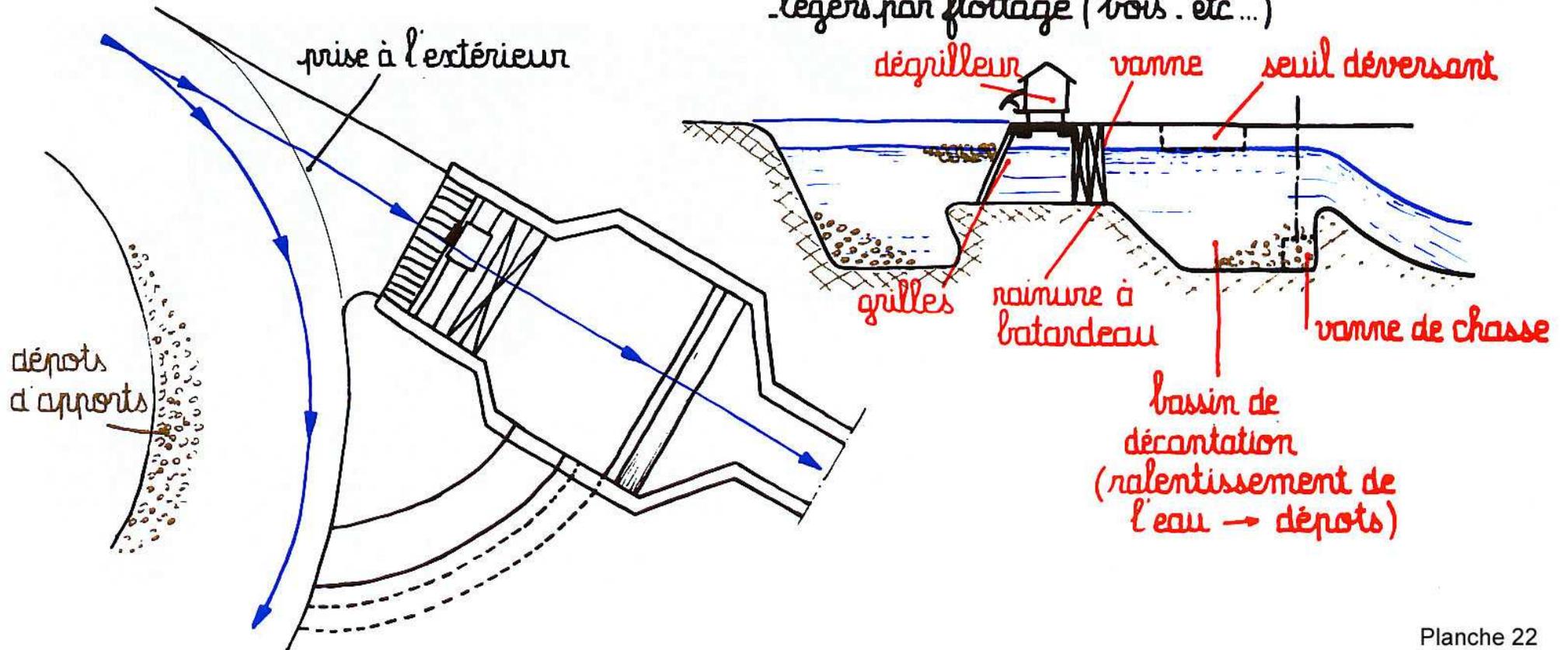


Planche 22

# Les Prises d'Eau (en réservoir)

La décantation se fait dans la retenue, l'eau est captée à un niveau supérieur à celui des dépôts et inférieur à celui des corps flottants

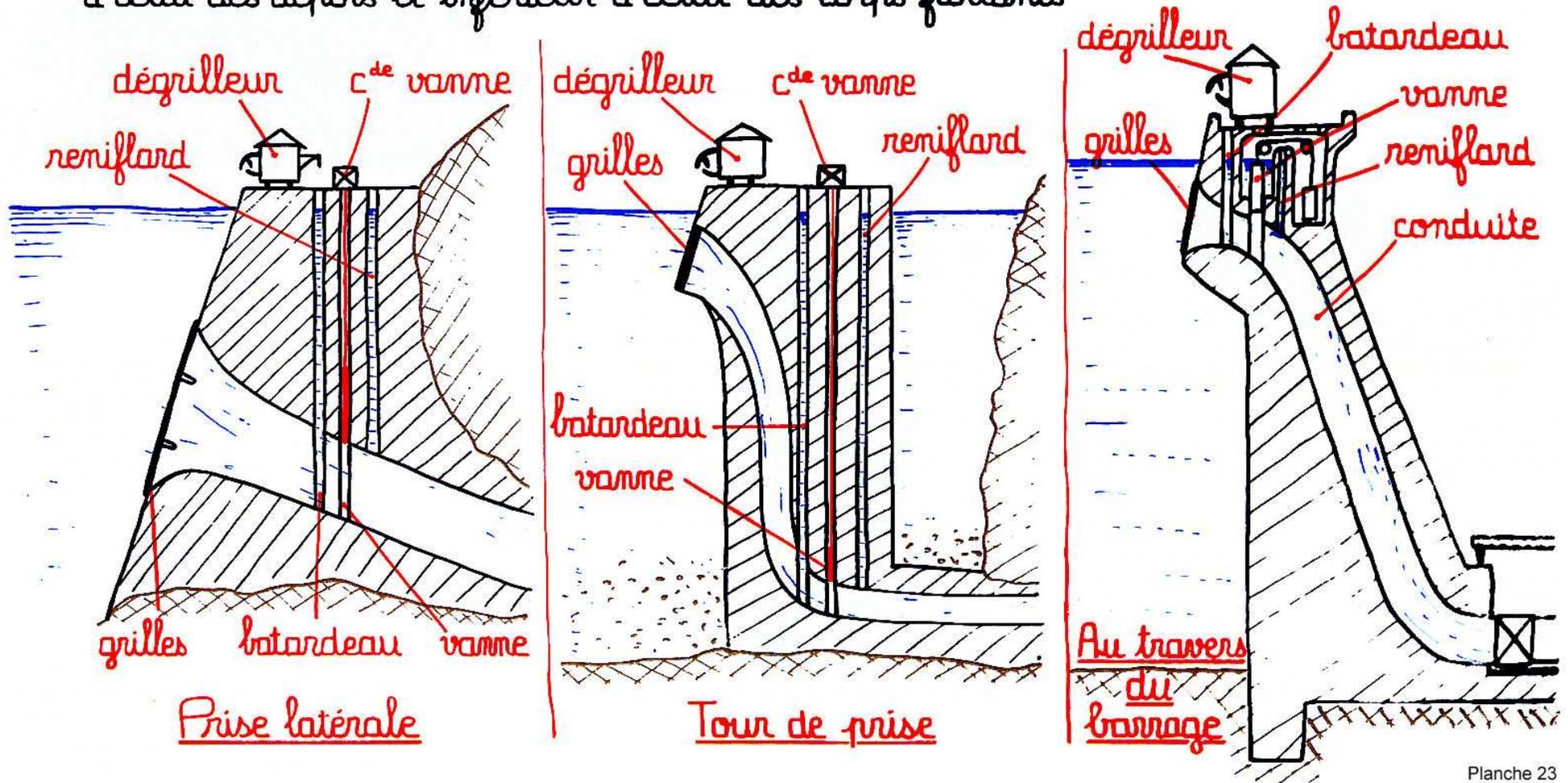
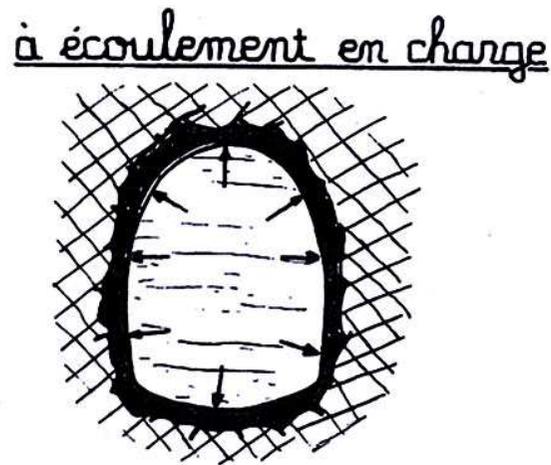
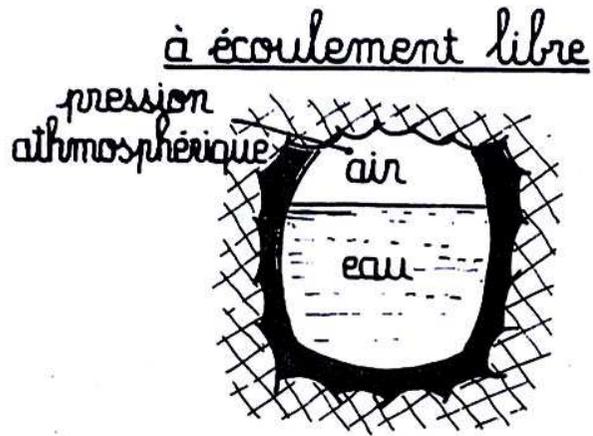
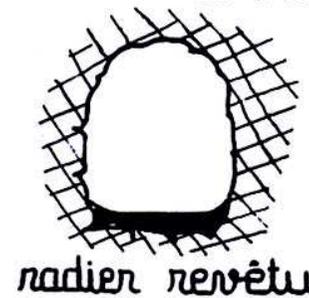
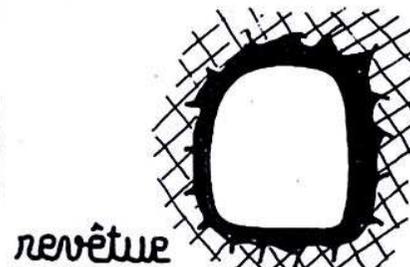
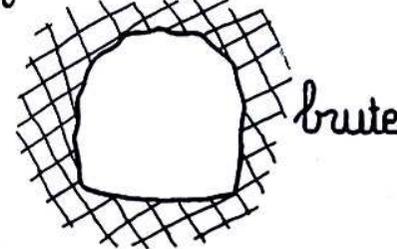


Planche 23

# Les Galeries



section des galeries  
en fer à cheval

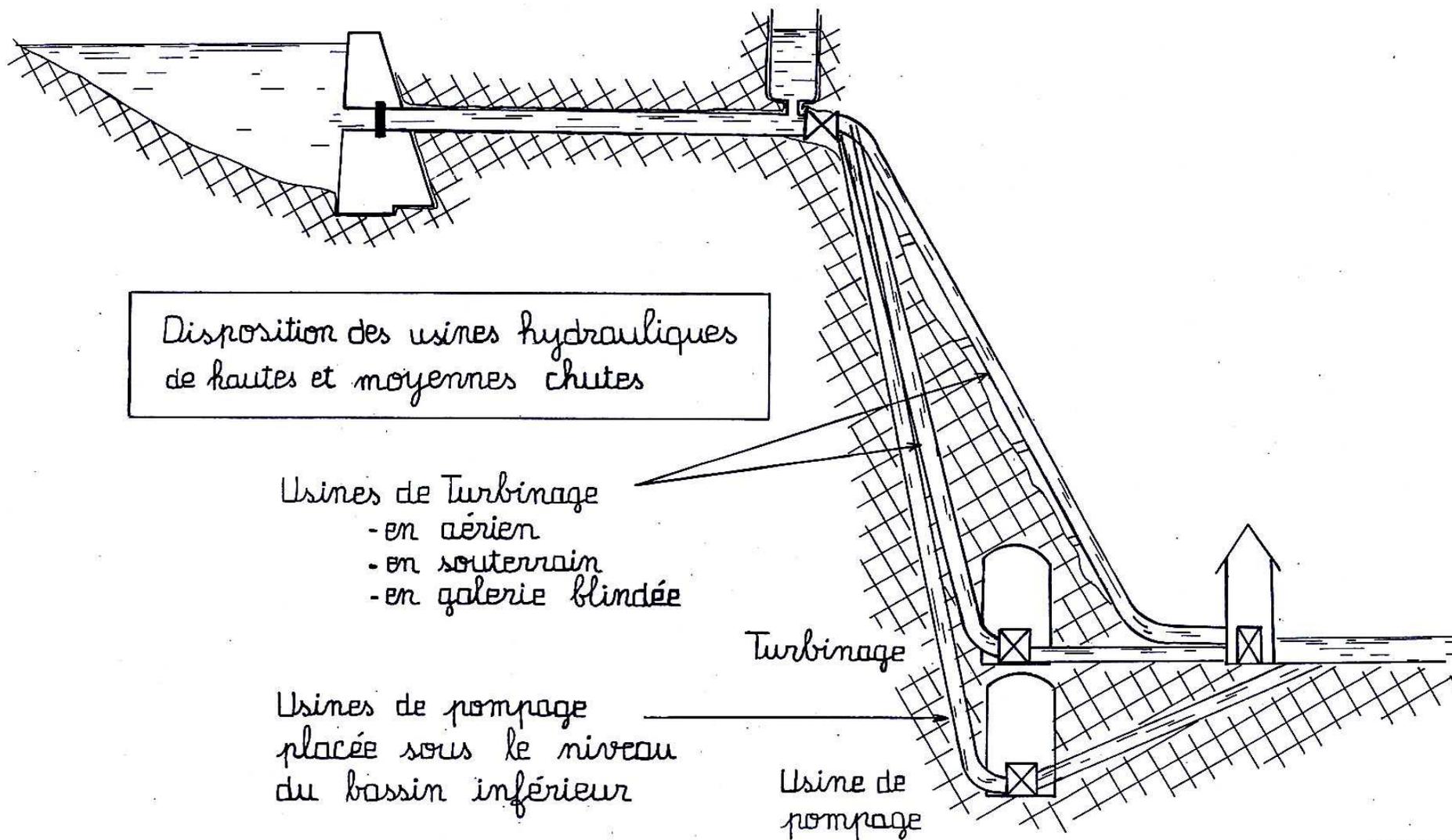


Forme étudiée pour la  
résistance des roches aux  
poussées hydrauliques  
Surface fonction des débits  
à transiter (vitesse limite)  
Pertes de charge  
Le revêtement améliore  
la résistance, l'écoulement  
et l'étanchéité

Attention  
au temps de vidange,  
risques de décollement des  
revêtements si la décompres-  
sion est trop rapide

Planche 24

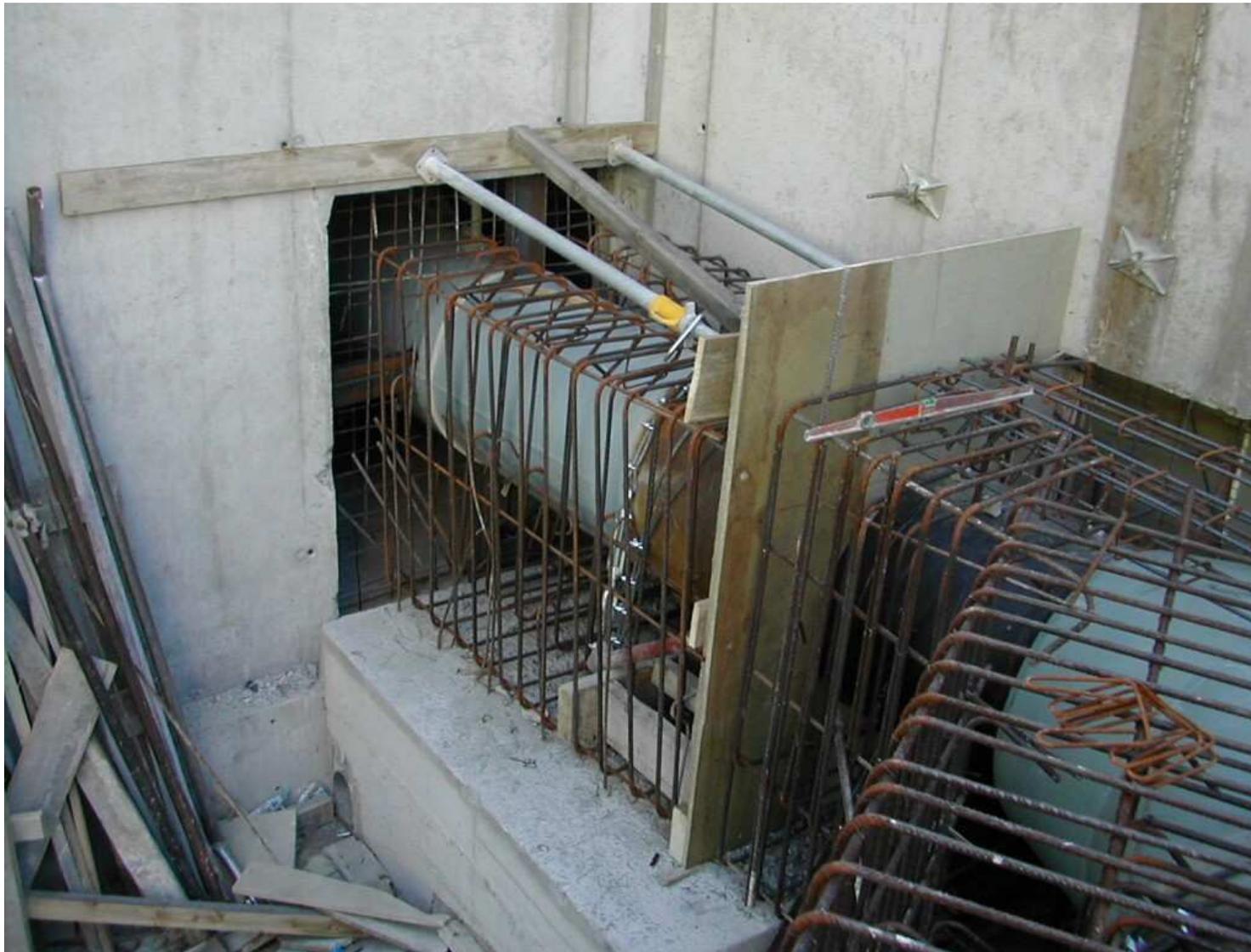
# Les Conduites Forcées



# Les Conduites Forcées

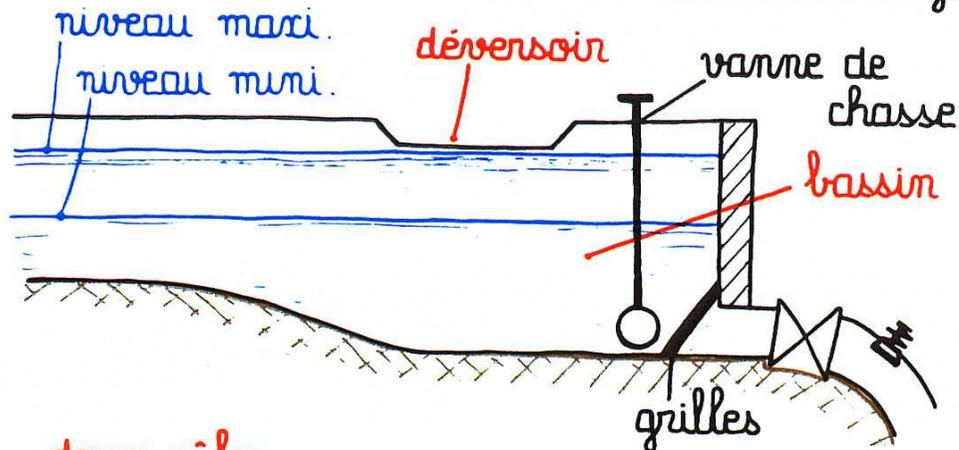


# Les Conduites Forcées



# Raccordement des Conduites aux Canaux et Galeries

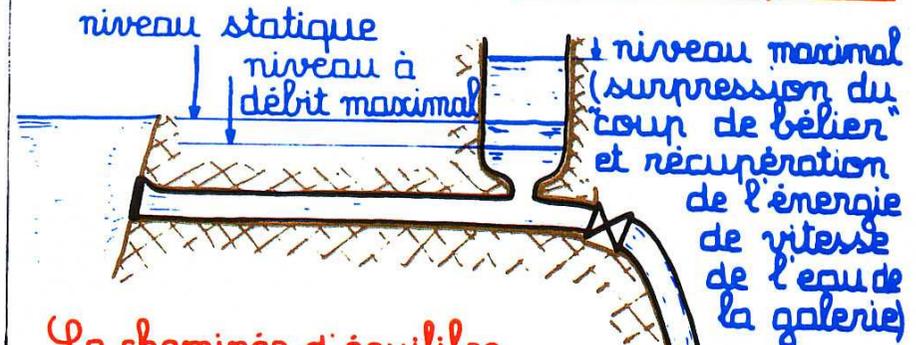
avec canaux ou galeries à écoulement libre  
Chambre de mise en charge



deux rôles :

- 1) mise en charge de l'eau à l'entrée des conduites pour éviter les entrées d'air
- 2) permet les variations rapides du débit grâce à la capacité du bassin

avec une galerie en charge  
La conduite est son prolongement  
mais on dispose une cheminée d'équilibre



La cheminée d'équilibre  
à deux rôles :

- 1) réduire l'intensité de la surpression dans la conduite en cas d'arrêt rapide du débit (coup de bélier)
- 2) absorber l'énergie de l'eau en mouvement dans la galerie. Plusieurs méthodes: déversement, expansion, diaphragme.

Planche 29

# Les Vannes de Conduite

Vannes "papillon" fonctionnent comme des "clefs de tuyaux de poêles".  
Les papillons peuvent être à axe vertical ou à axe horizontal.

Vannes sphériques: tronçons de conduite pivotants.  
Elles ne laissent pas d'obstacle au passage de l'eau en position ouverte.

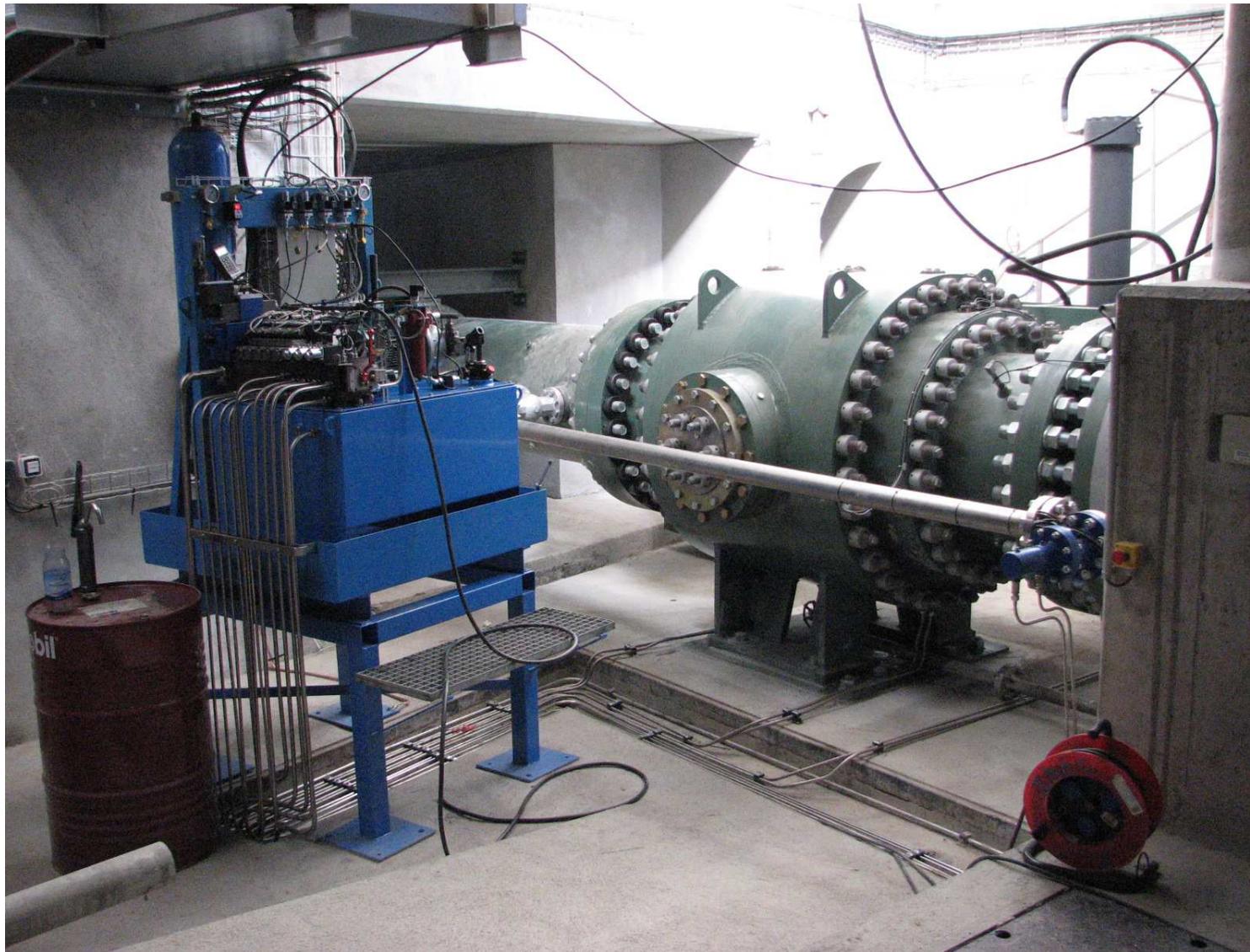
Robinets vannes  
Vannes autoclaves } perturbent l'écoulement mais très étanches.

Planche 30

# Les Vannes de Conduite

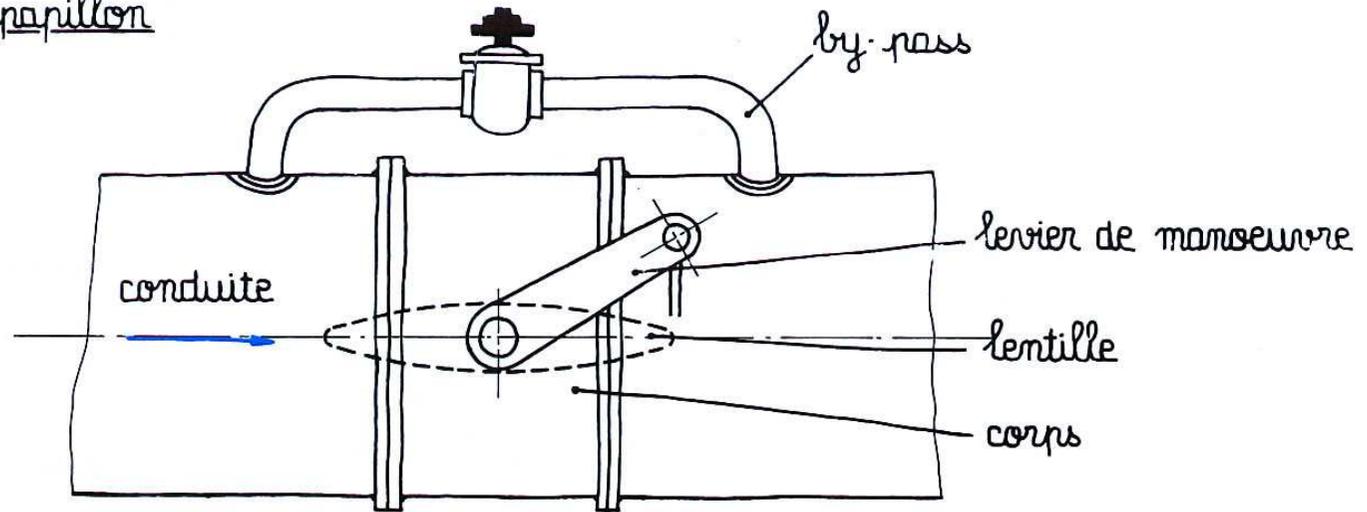


# Les Vannes de Conduite

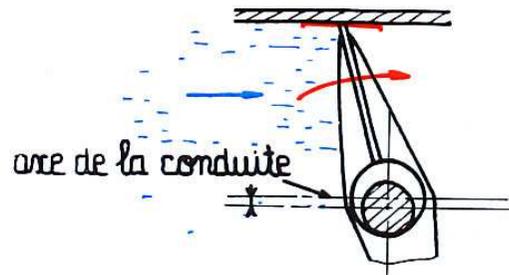


# Les Vannes de Conduite

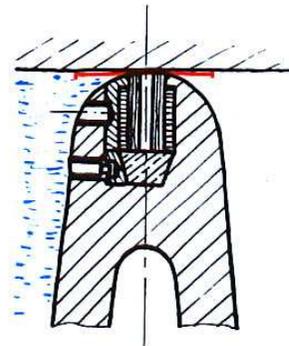
1°) vanne papillon



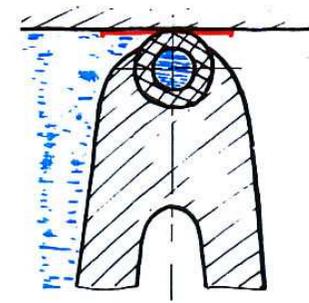
a) Etanchéité du papillon



Directe



par joint souple

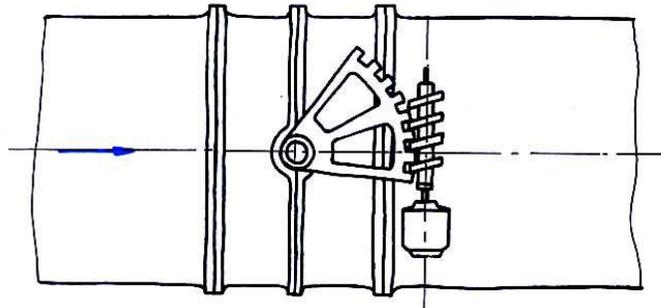


par joint gonflable

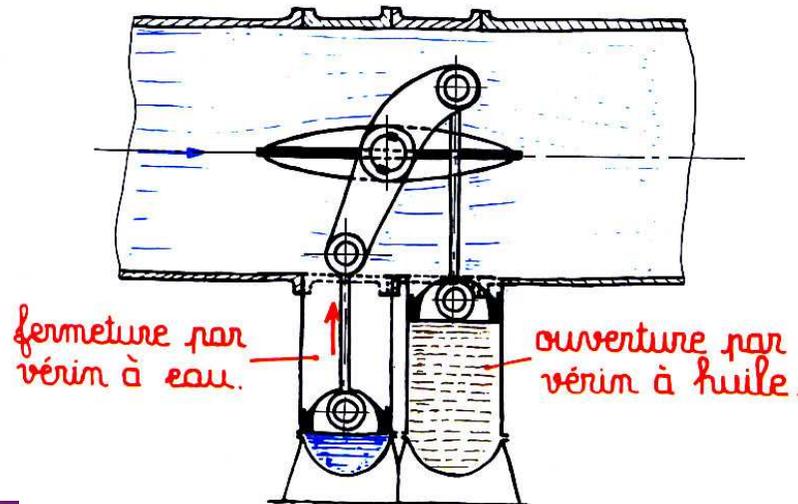
# Les Vannes de Conduite

## b) Appareils de manoeuvre :

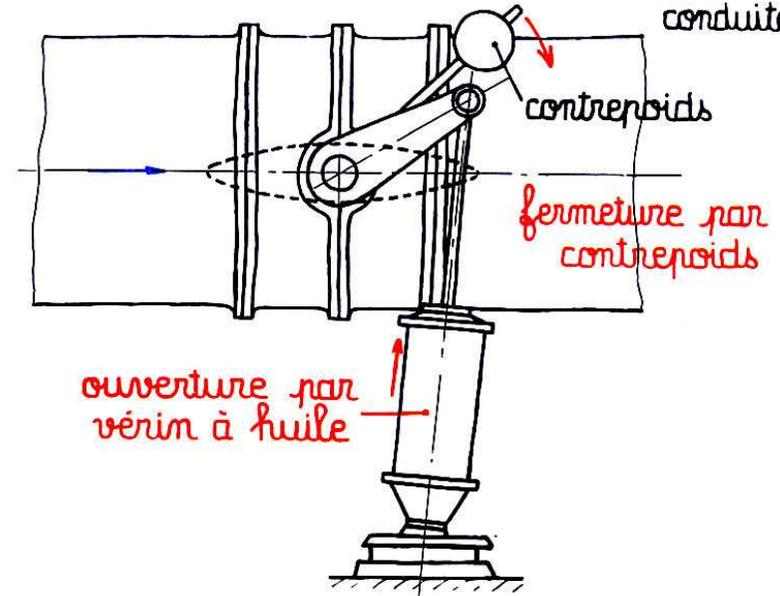
appareil de manoeuvre mécanique.



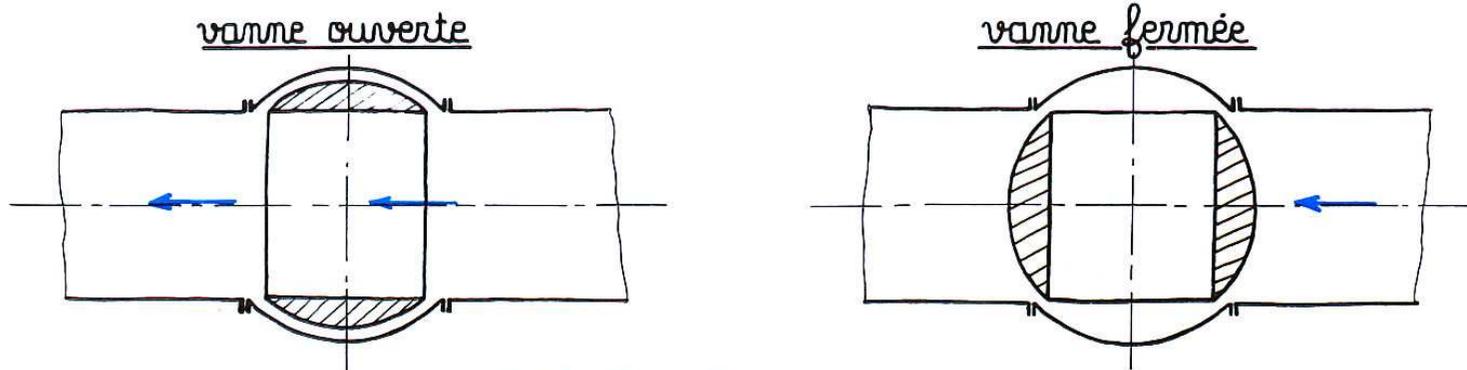
vanne de pied de moyennes chutes.



vanne de sécurité. mécanisme de fermeture automatique par détecteur de surtension dans la conduite.



# Vanne Sphérique



ETANCHEITE (principe)

a) Joint-anneau mobile:

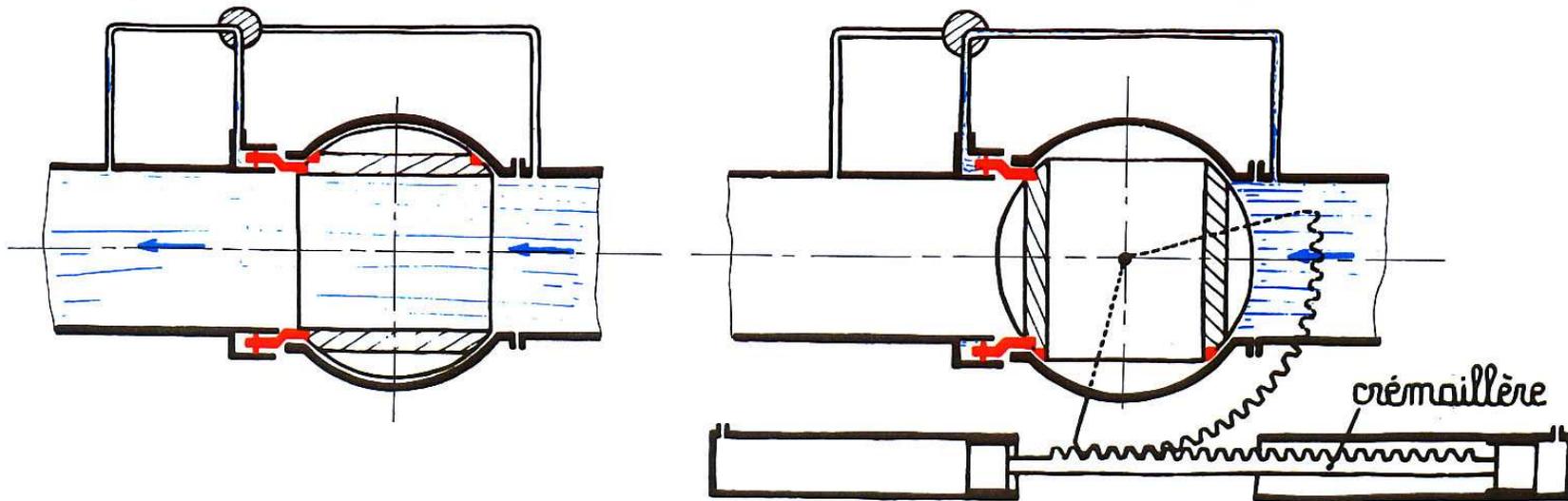
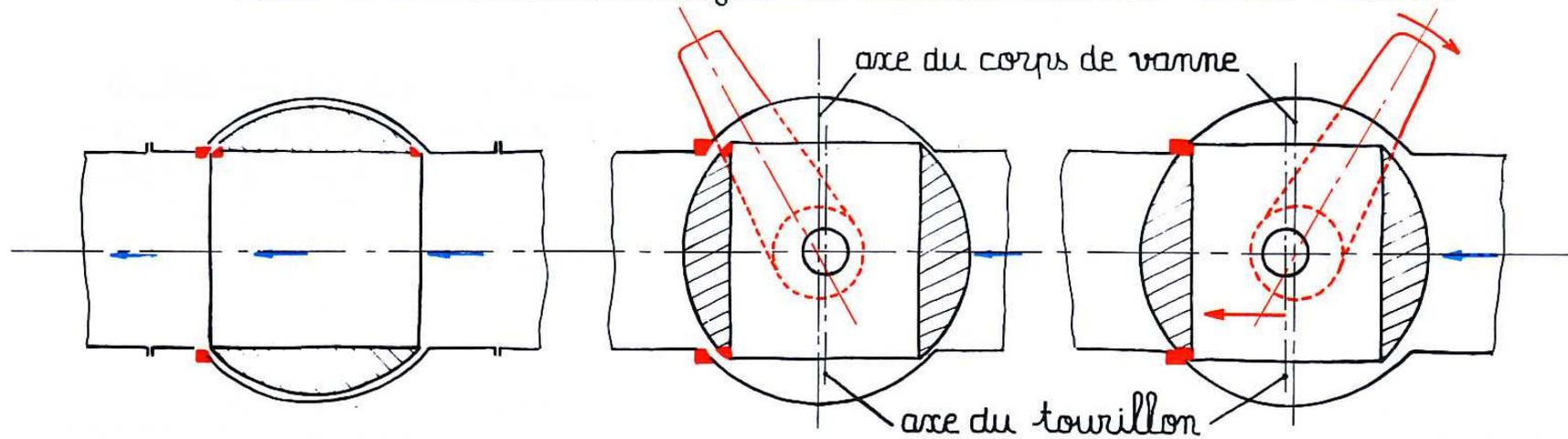


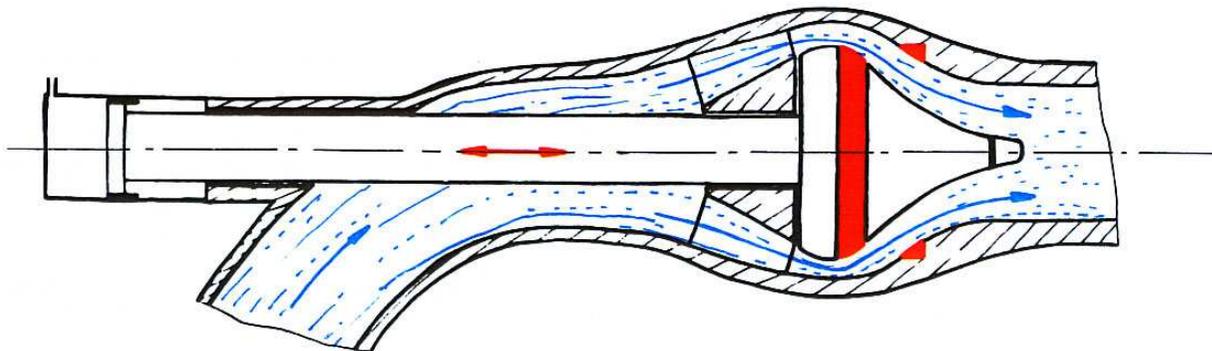
Planche 30 c

# Vanne Sphérique

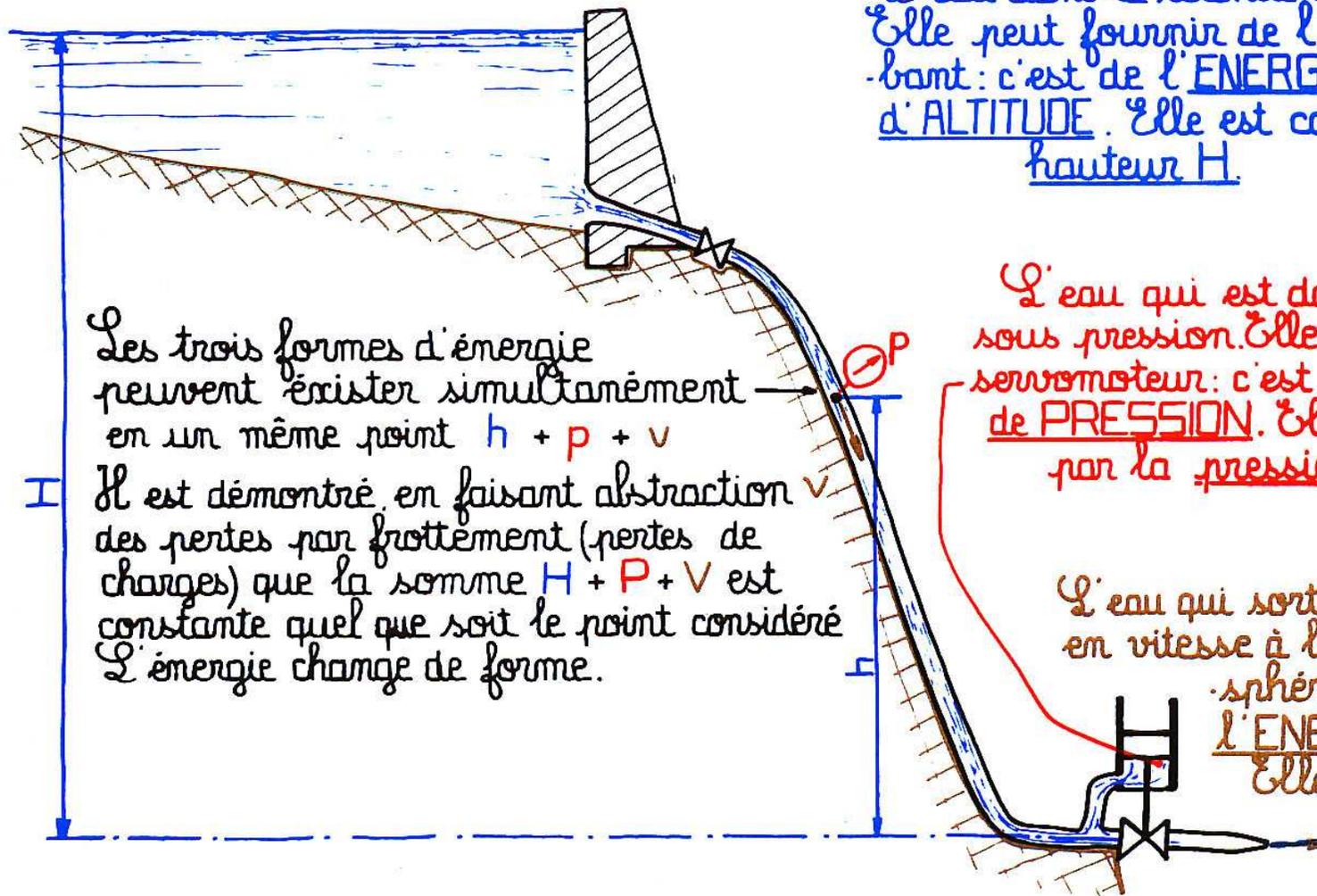
5) Obturbateur mobile par bagues mobiles excentrées sur les tourillons.



VANNE AUTOCLAVE



# Les Formes d'Énergie



L'eau dans la retenue est en altitude. Elle peut fournir de l'énergie en tombant: c'est de l'ENERGIE POTENTIELLE d'ALTITUDE. Elle est caractérisée par la hauteur  $H$ .

L'eau qui est dans la conduite est sous pression. Elle fait fonctionner le servomoteur: c'est de l'ENERGIE de PRESSION. Elle est caractérisée par la pression  $P$ .

L'eau qui sort de l'injecteur est en vitesse à la pression atmo-sphérique: c'est de l'ENERGIE de VITESSE. Elle est caractérisée par la vitesse  $V$ .

Les trois formes d'énergie peuvent exister simultanément en un même point  $h + p + v$

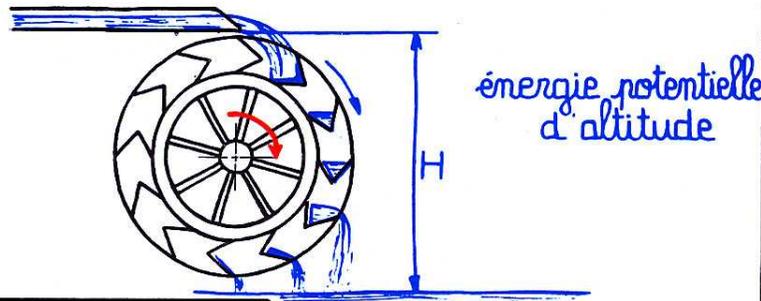
I Il est démontré, en faisant abstraction des pertes par frottement (pertes de charges) que la somme  $H + P + V$  est constante quel que soit le point considéré. L'énergie change de forme.

# Les Roues de Turbines

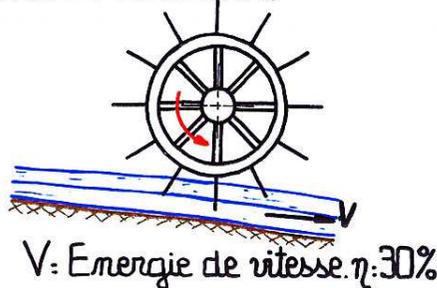
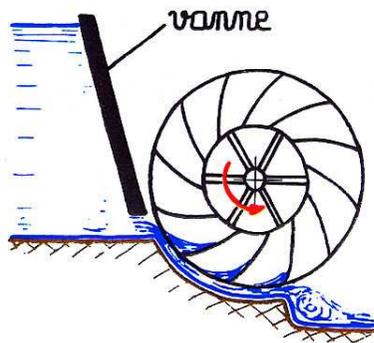
2 principes de fonctionnement = 2 types de roues

## Roues à Action

ex: roues de moulins



Les roues tournent dans le sens d'écoulement de l'eau.



Roue Poncelet (1788.1867)  
 $\eta : 70\%$

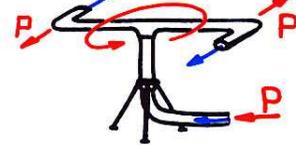
## Roues à Réaction

Principe:

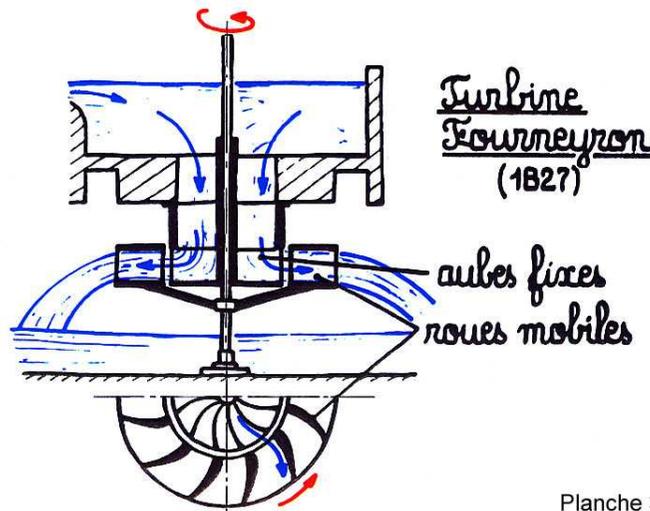
baudruche gonflée



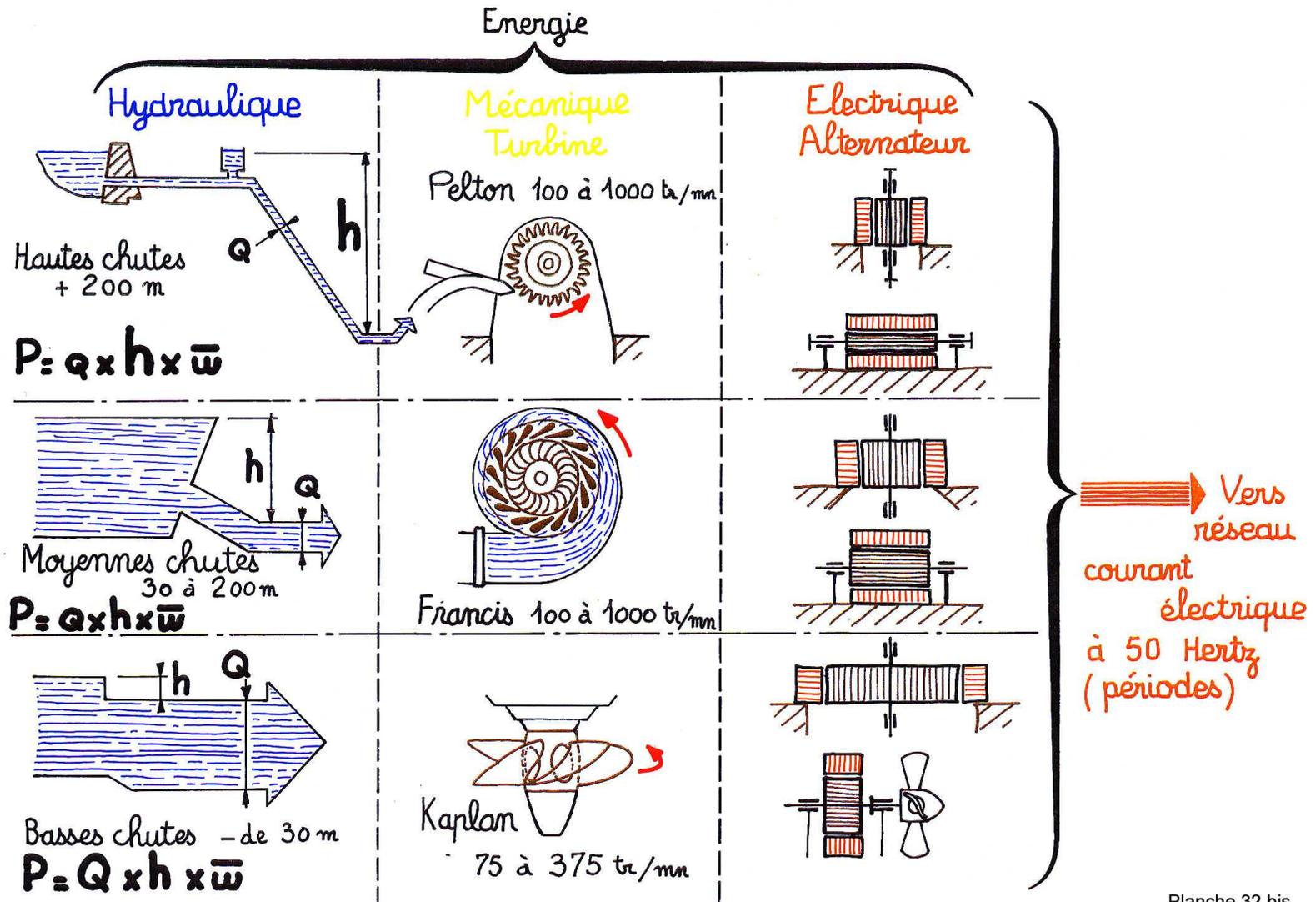
ex: tourniquet d'arrosage



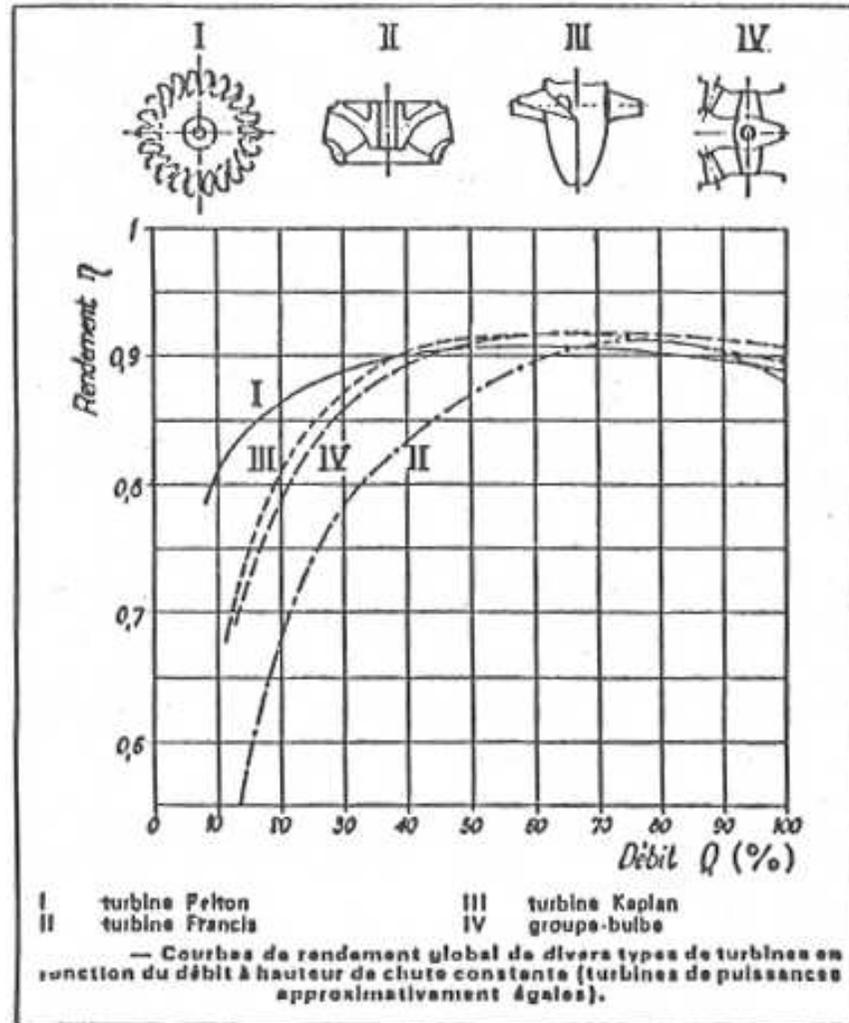
La roue tourne dans le sens opposé à l'écoulement de l'eau



# Transformation de l'Énergie Hydraulique en Électricité



# Comparaison des Rendements des Différents Types de Groupes



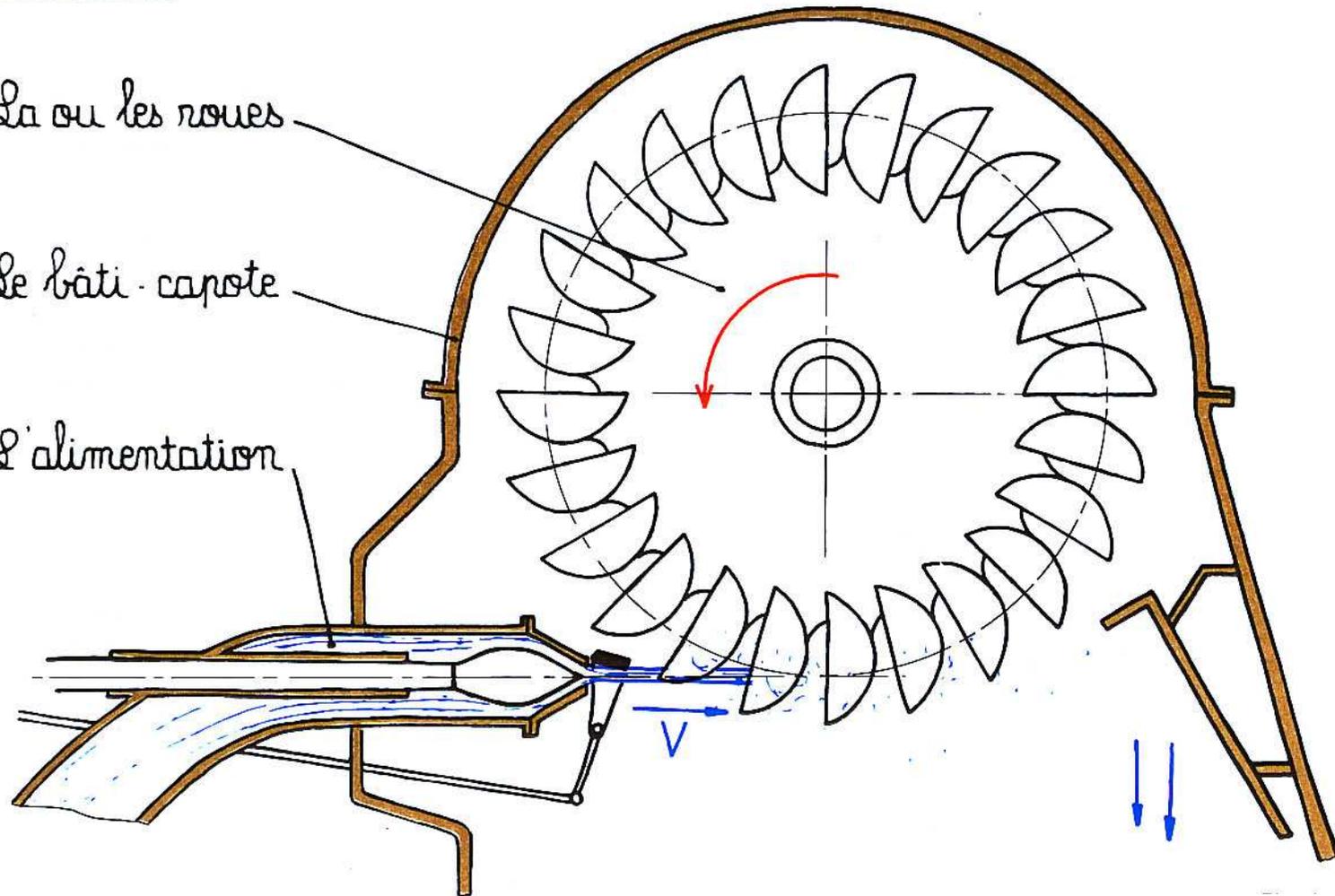
# Turbine « Pelton » (Action)

3 Parties:

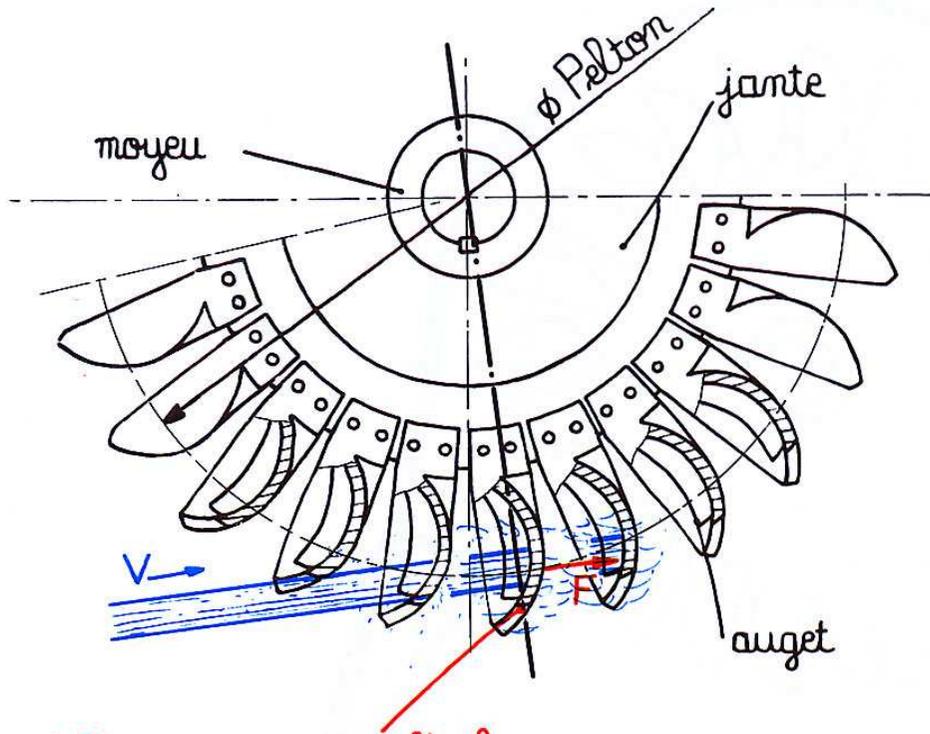
La ou les roues

Le bâti - capote

L'alimentation



# La Roue Pelton



*L'importance de l'échancrure permet le passage du jet au travers des augets précédents.*

*Transforme l'énergie hydraulique de vitesse en énergie mécanique*

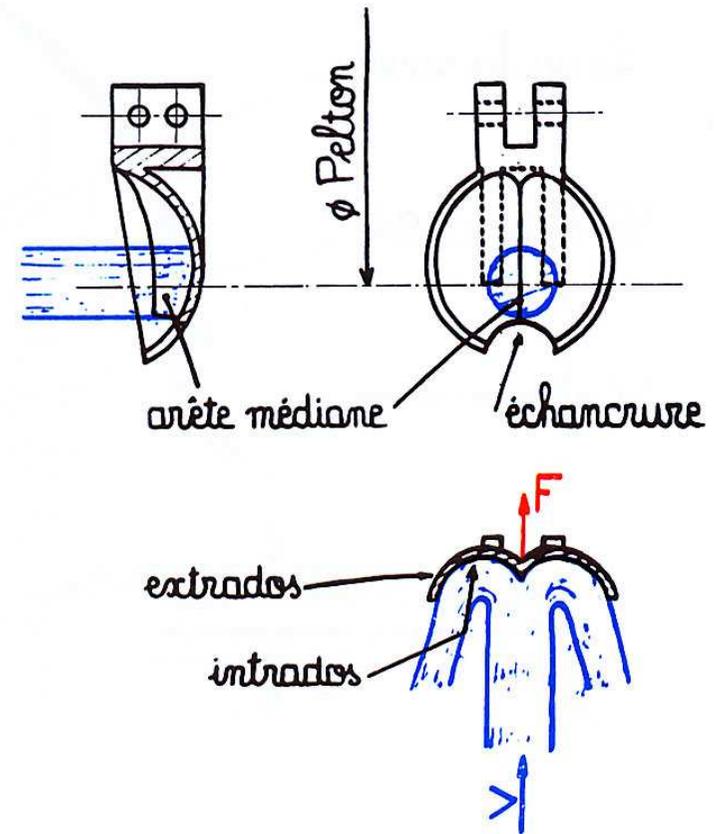


Planche 34

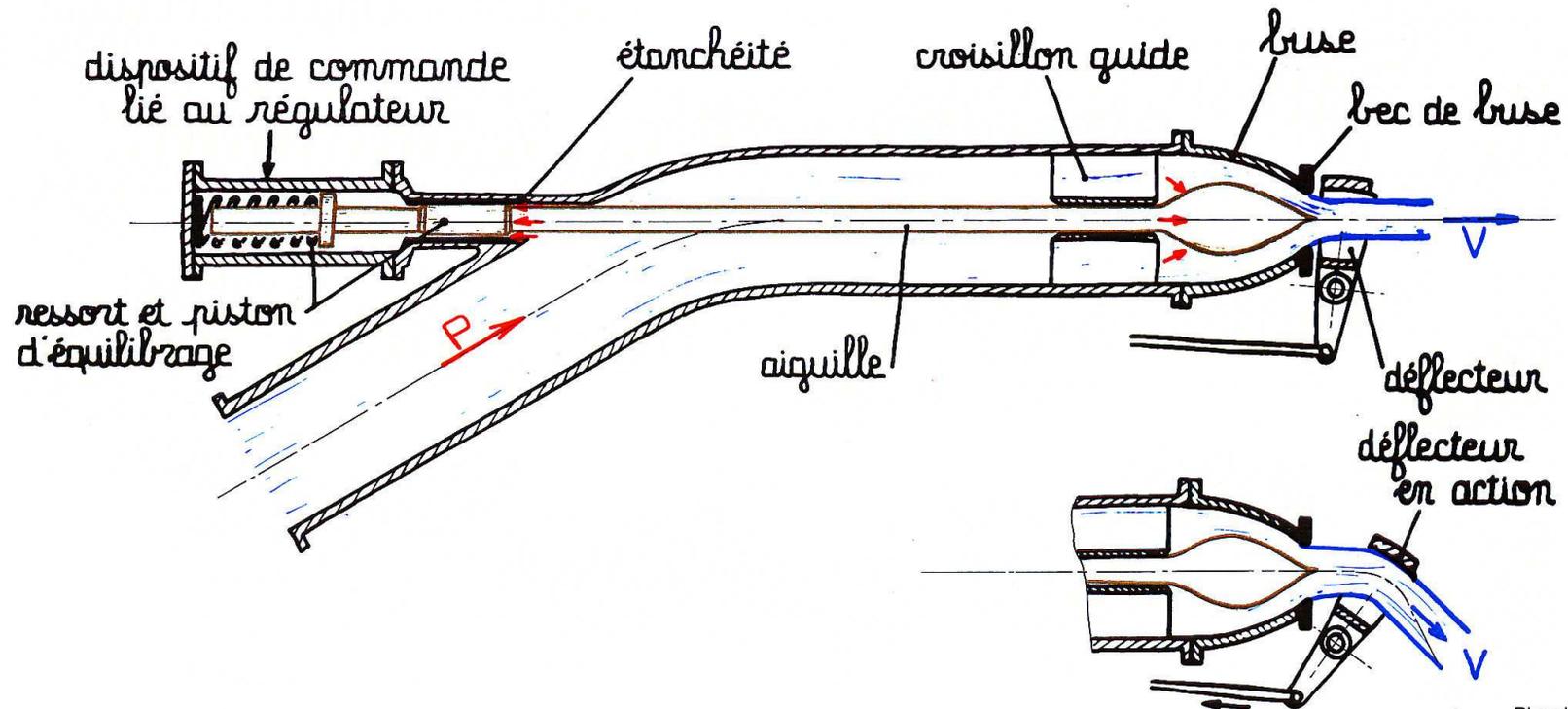
# Groupes Pelton



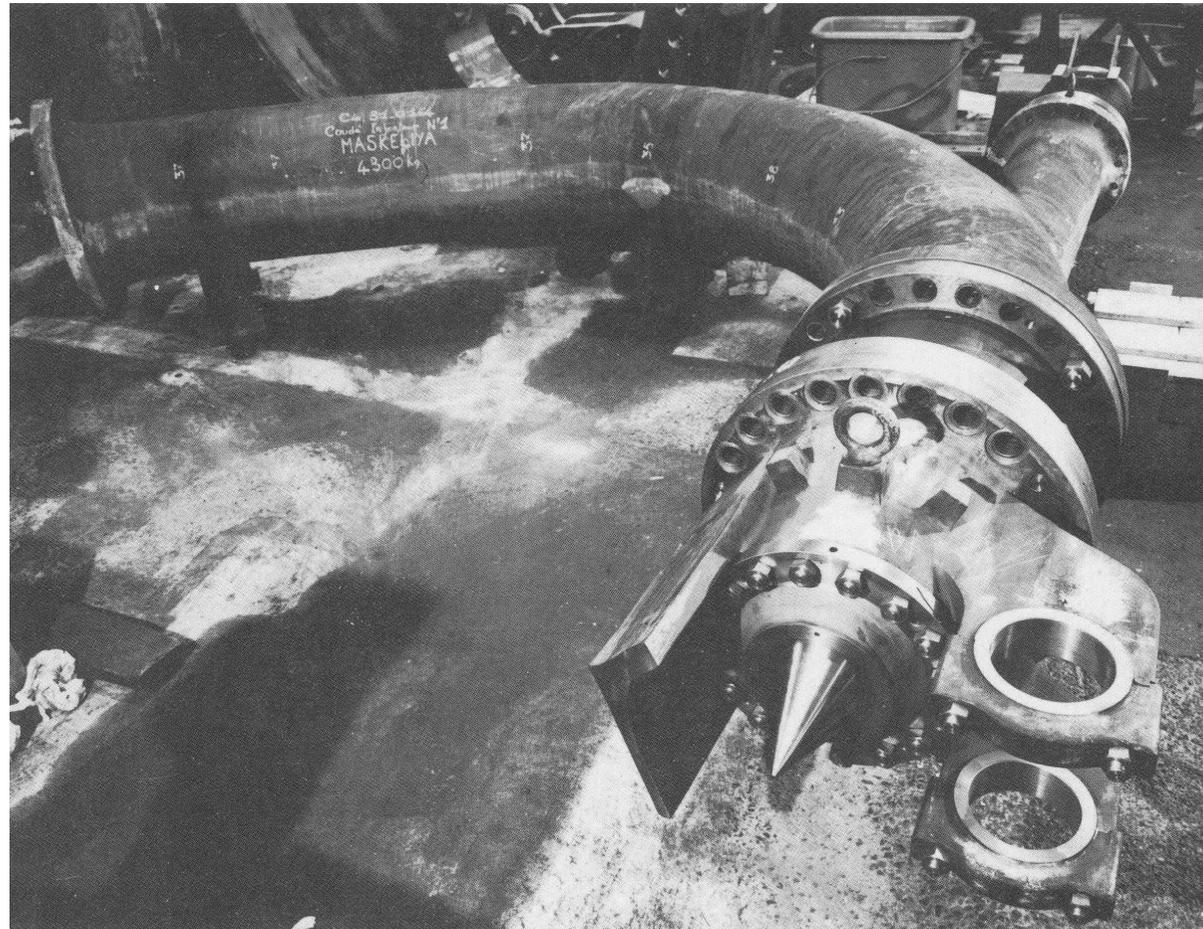
# L'Alimentation

Elle est constituée par un ou plusieurs injecteurs comportant : corps, buse, aiguille ou pointeau et déflecteur.

- transforme l'énergie de pression en énergie de vitesse.
- règle le débit.
- oriente et forme le jet.



# L'injecteur



# Bâti et Capote (disposition horizontale)

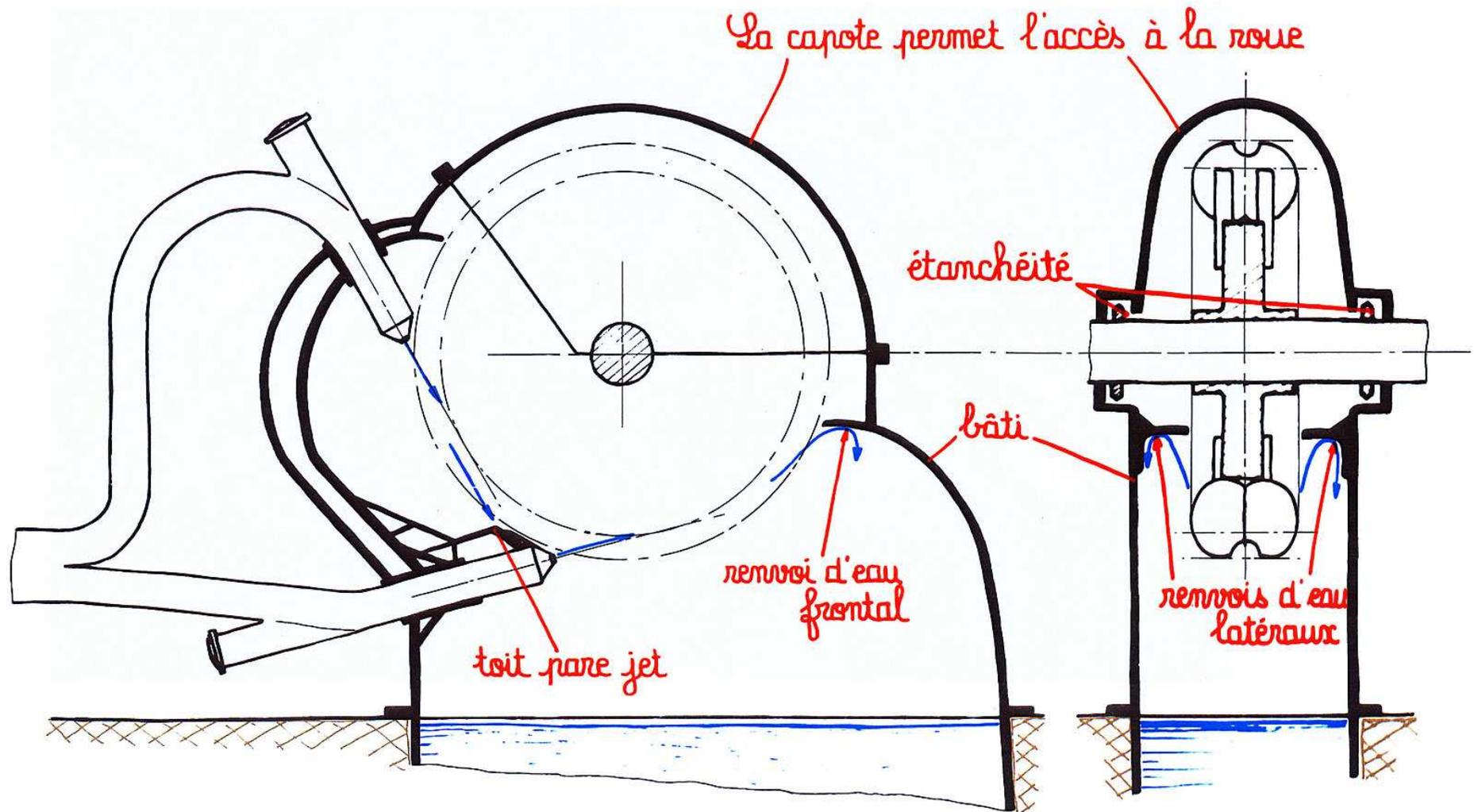
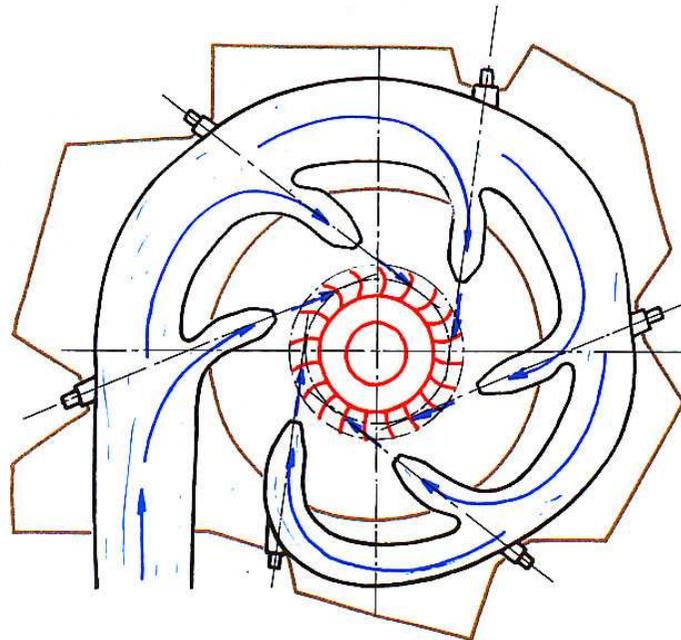
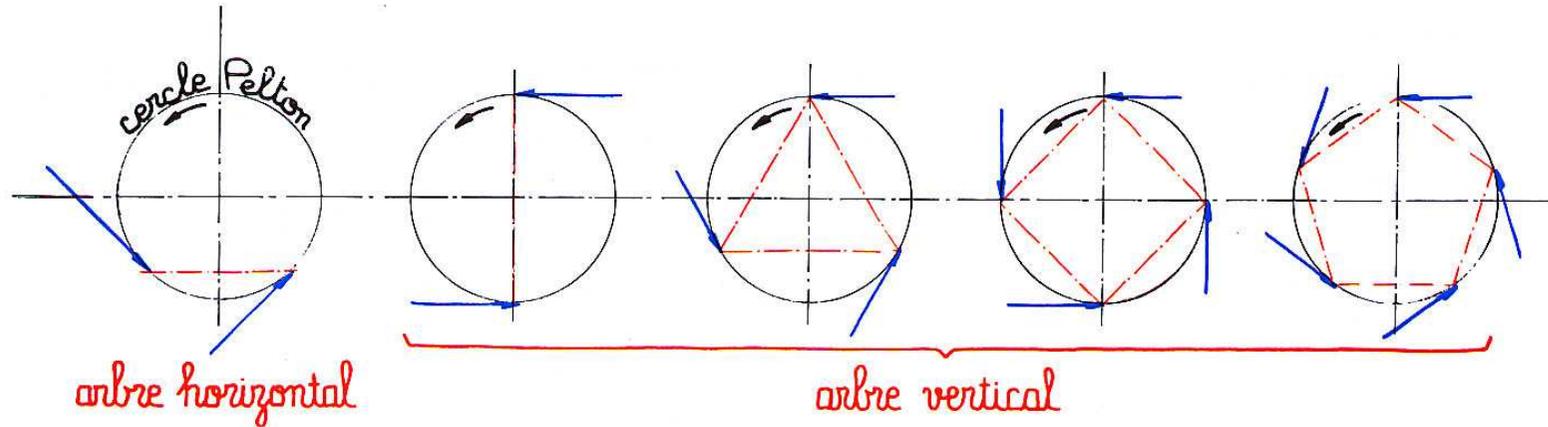


Planche 36

# Groupes Pelton



# Disposition des Injecteurs (Turbine Pelton)

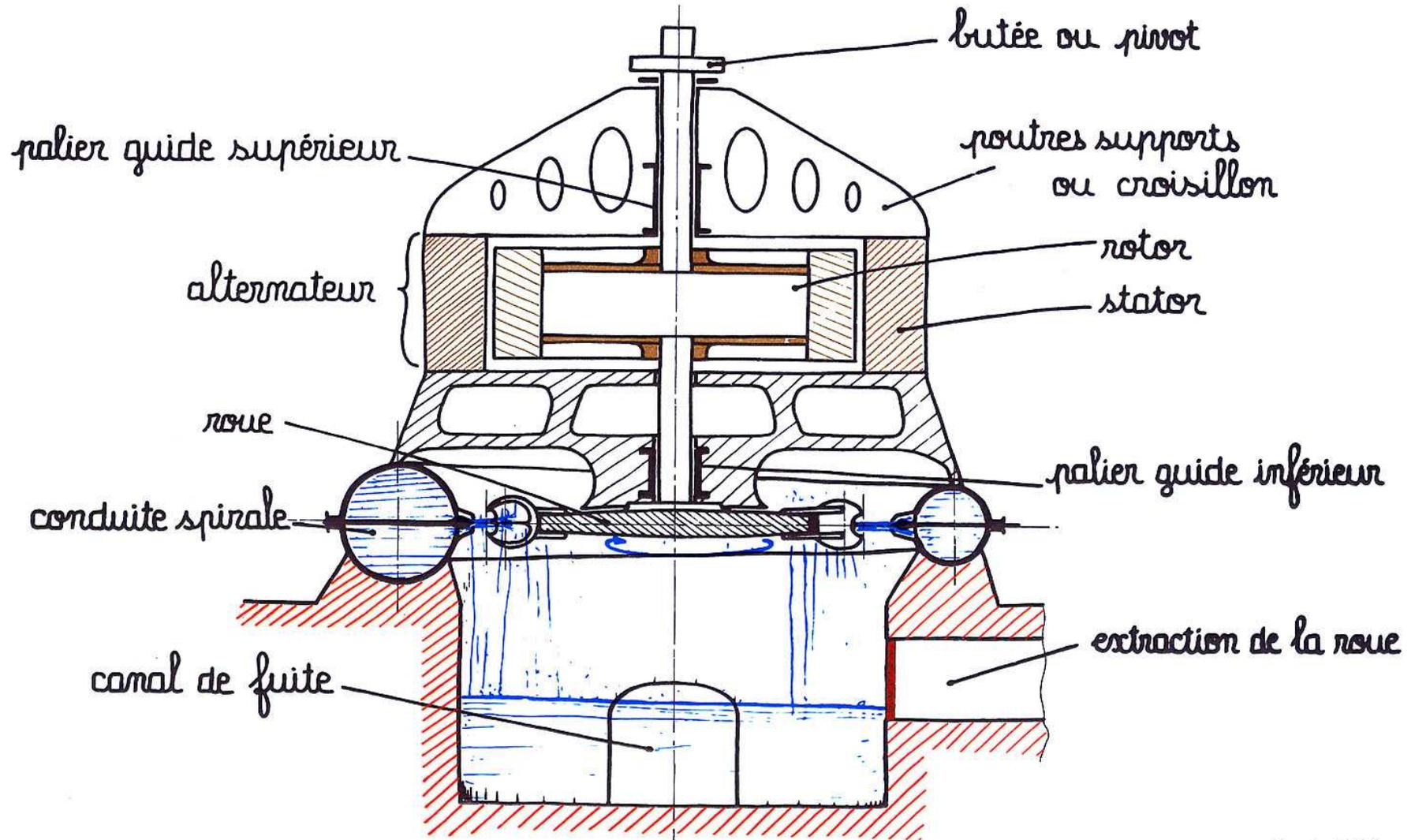


Turbine Pelton à six  
jets et collecteur à culottes  
injecteurs

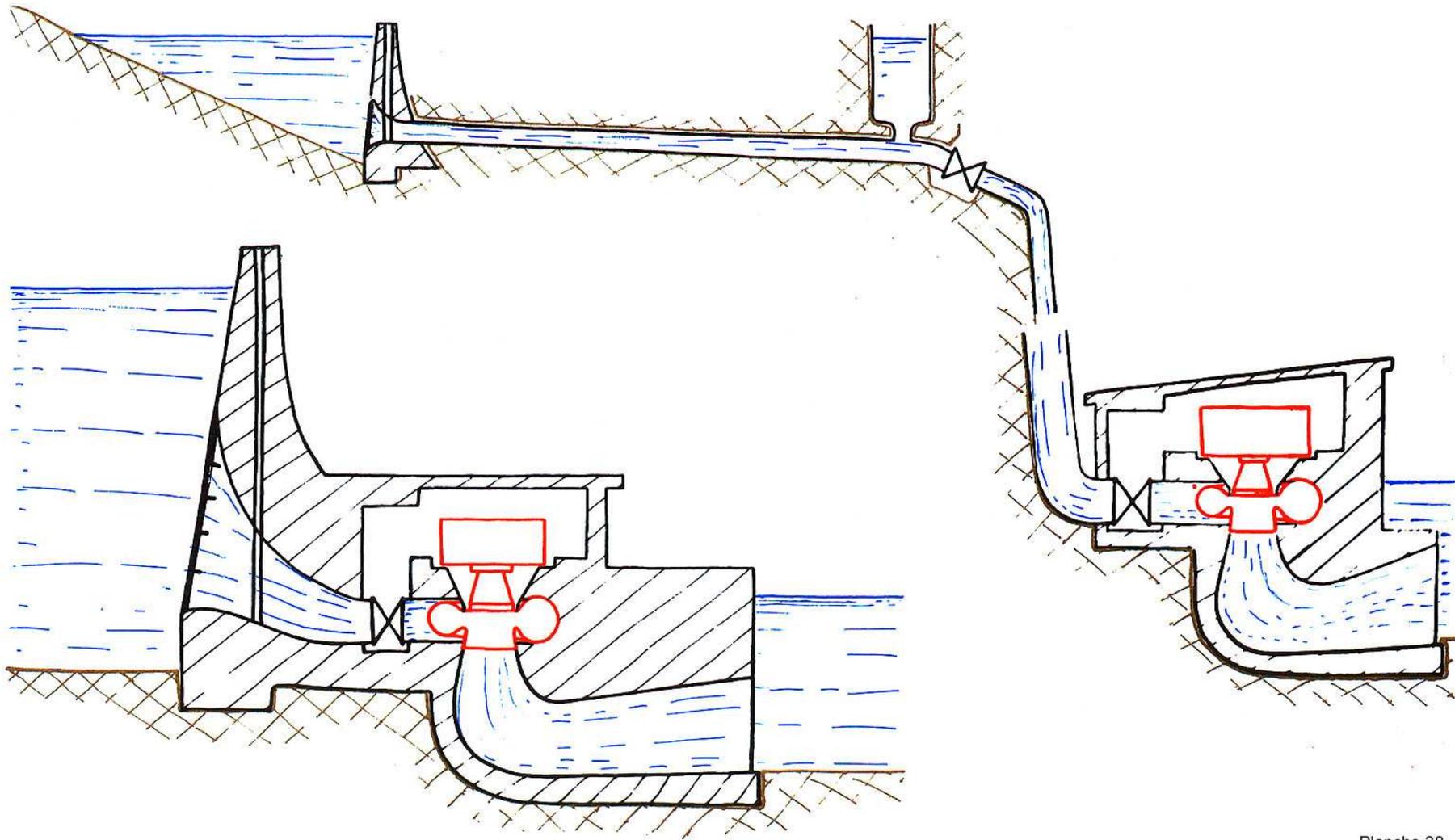
# Pelton à 4 injecteurs



# Pelton - Disposition Verticale



# Centrales de Moyennes Chutes



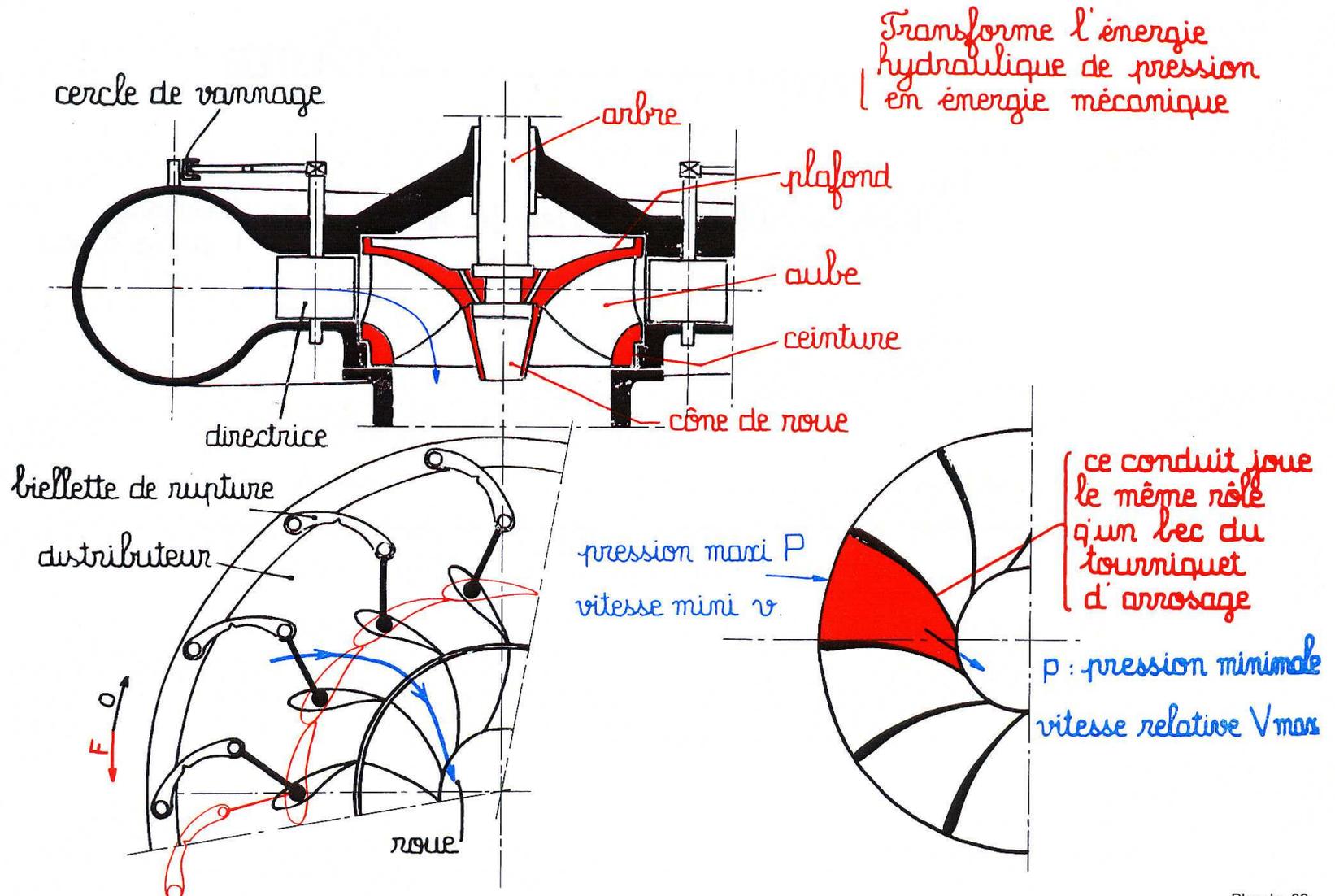
# Les Centrales de Moyennes Chutes

Dispositions constructives semblables à celles des hautes chutes { barrage, prise d'eau

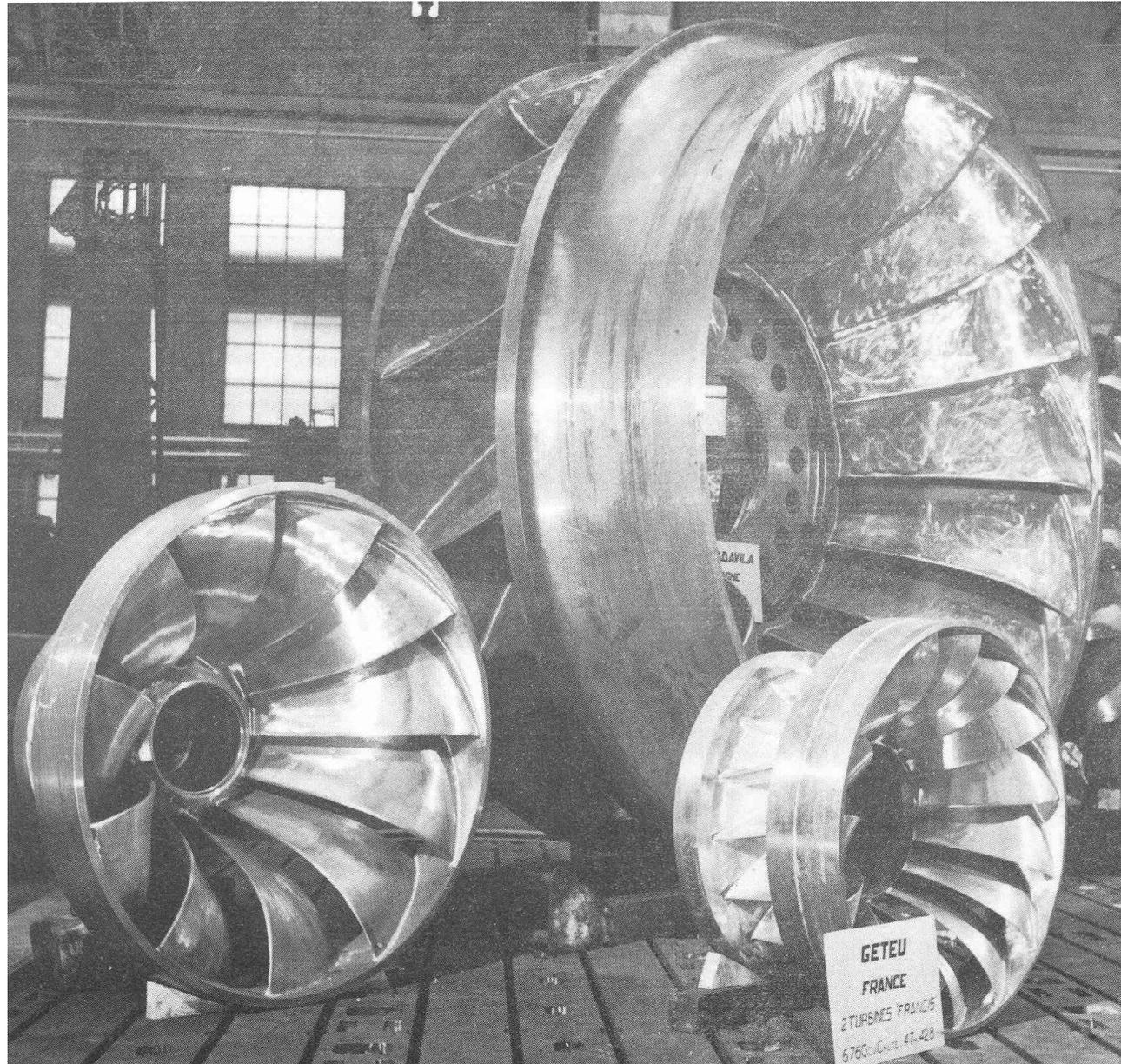
Les turbines sont généralement des turbines "Francis" à réaction, dites plus rapides que les "Pelton", car à caractéristiques égales, leurs vitesses de rotation sont plus élevées et permettent de réduire les dimensions de l'alternateur en compensant ainsi les vitesses d'eau plus faibles.

Planche 38 bis

# Roue Francis



# Roue Francis



# L'Alimentation

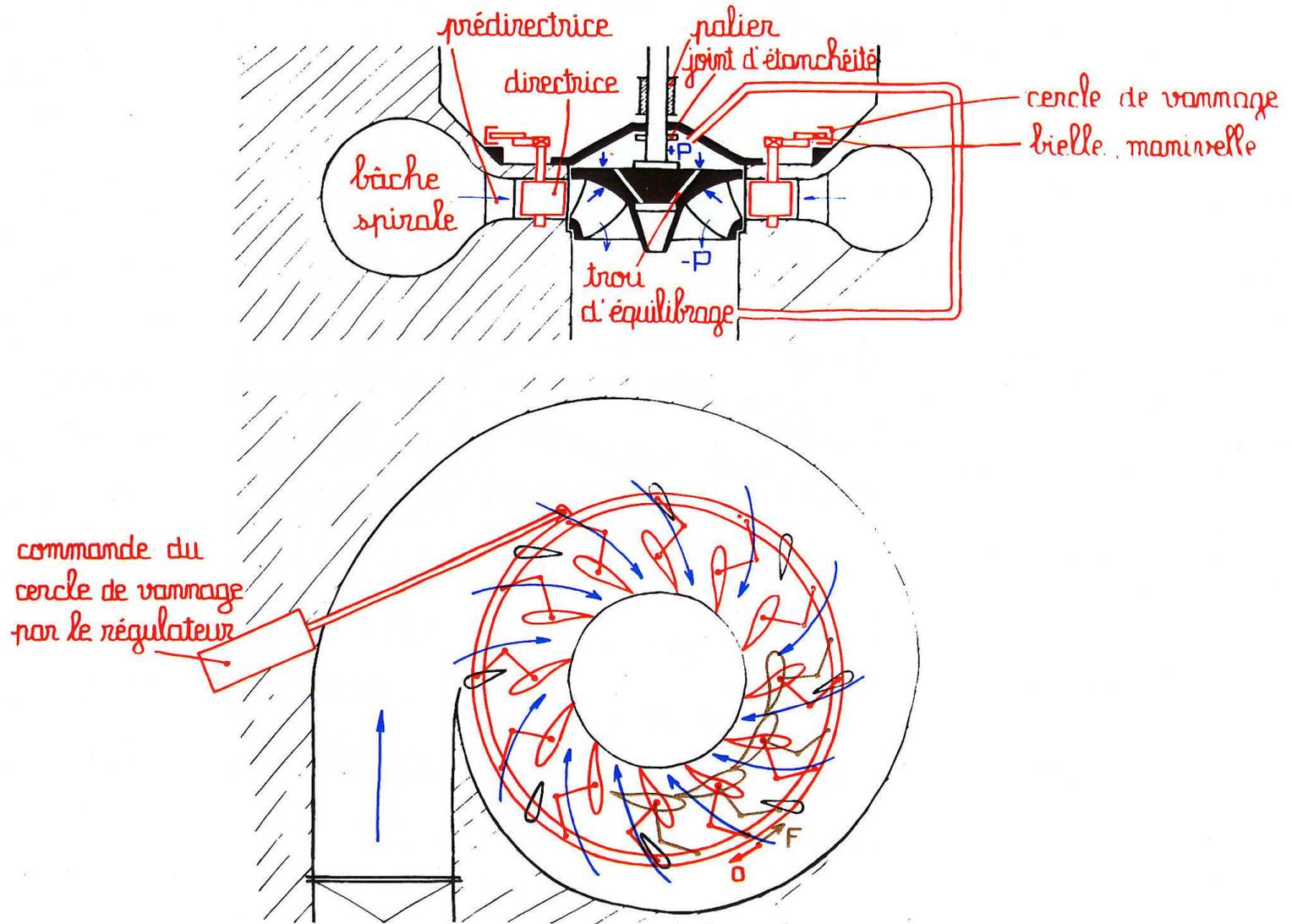
## L'ALIMENTATION

- répartir l'eau à la périphérie de la roue.
- régler le débit.
- orienter les filets d'eau.

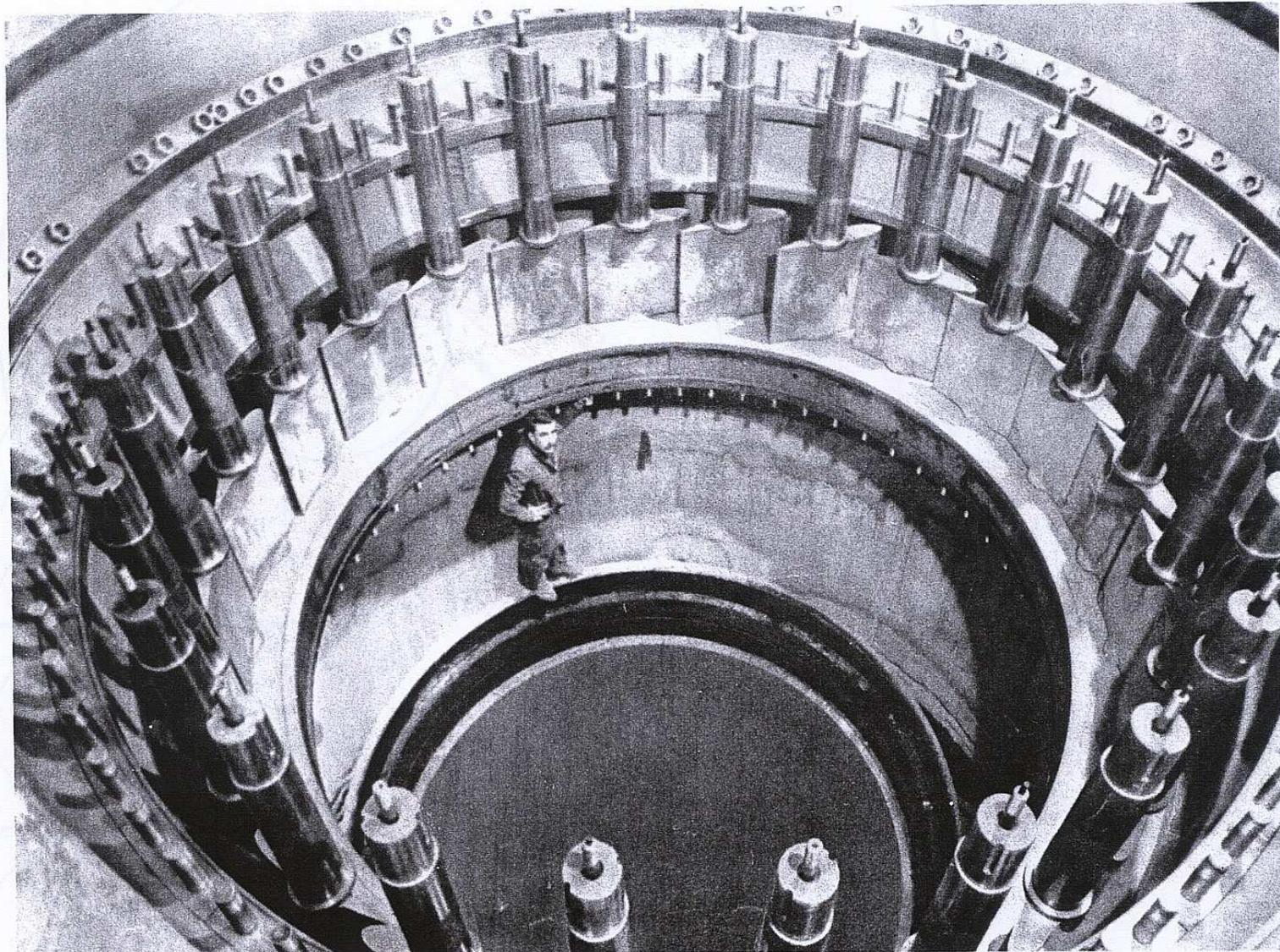
Elle comporte :

- une bache spirale.
- des aubes prédirectrices fixes.
- des aubes directrices mobiles.
- des jeux "manivelle biellette".
- un cercle de vannage.

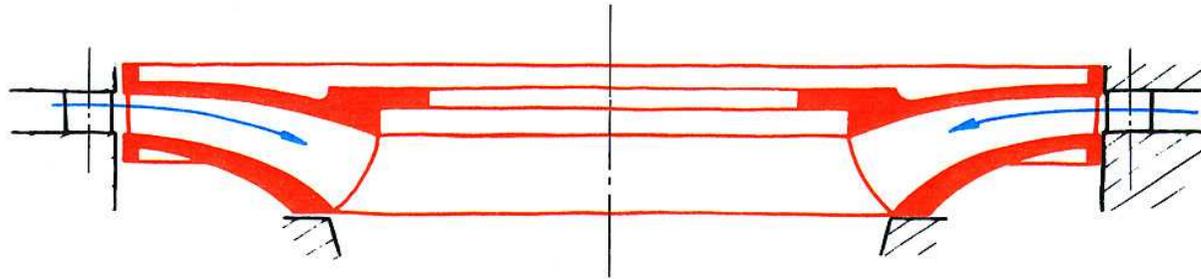
# L'Alimentation



# Distributeur

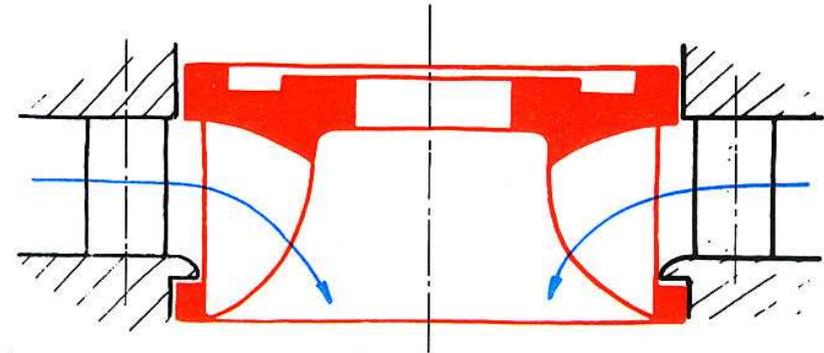


# Roues de Turbines Francis

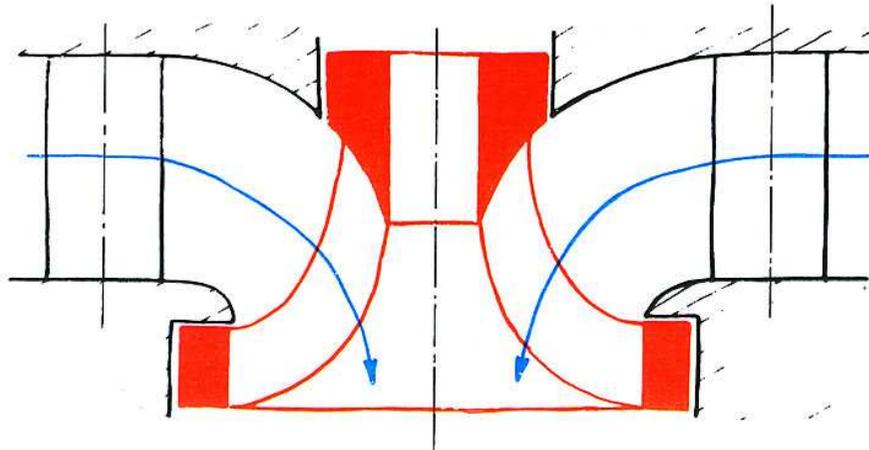


Haute chute  
 $n_s = 45$

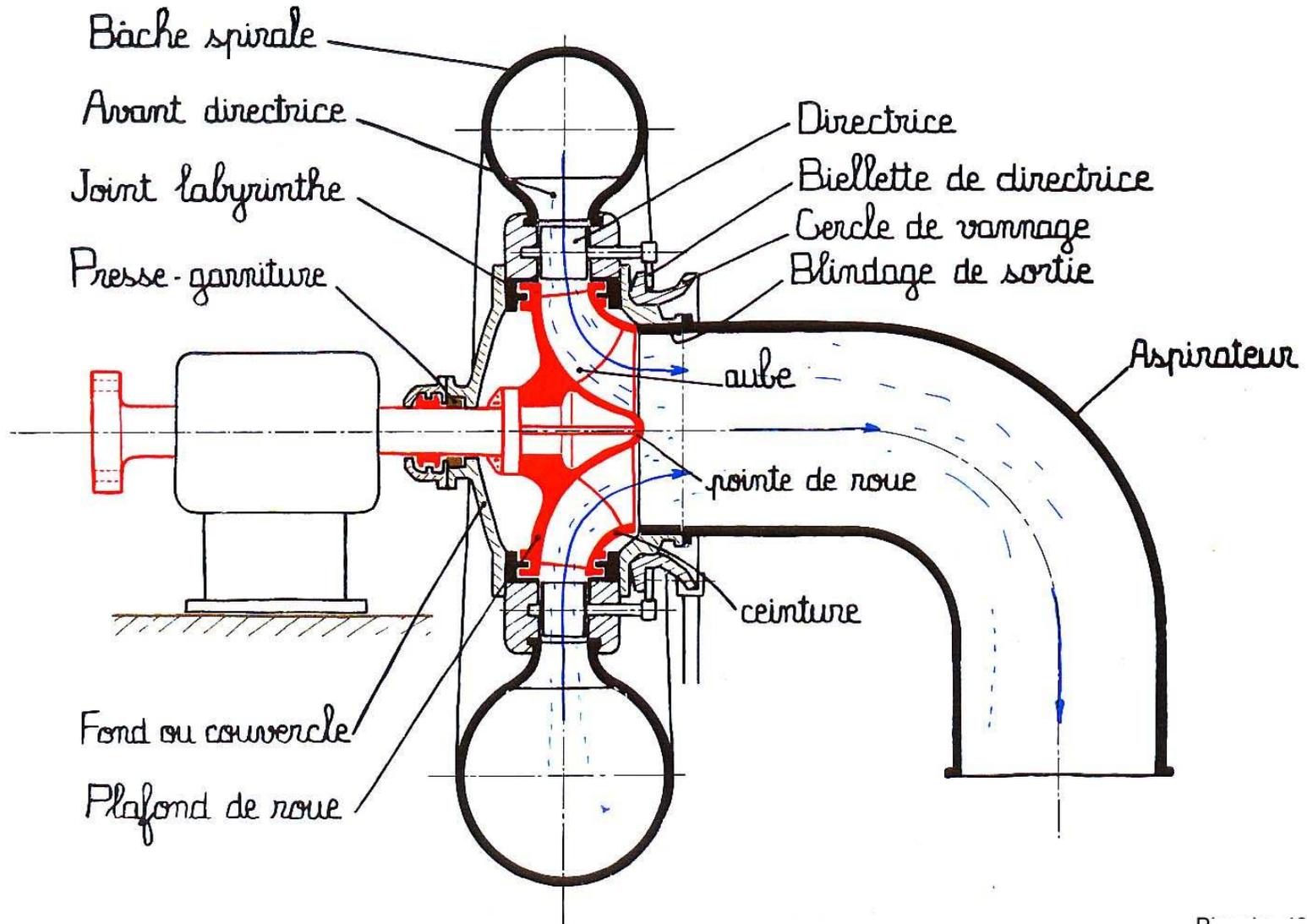
Moyenne chute  
 $n_s = 200$



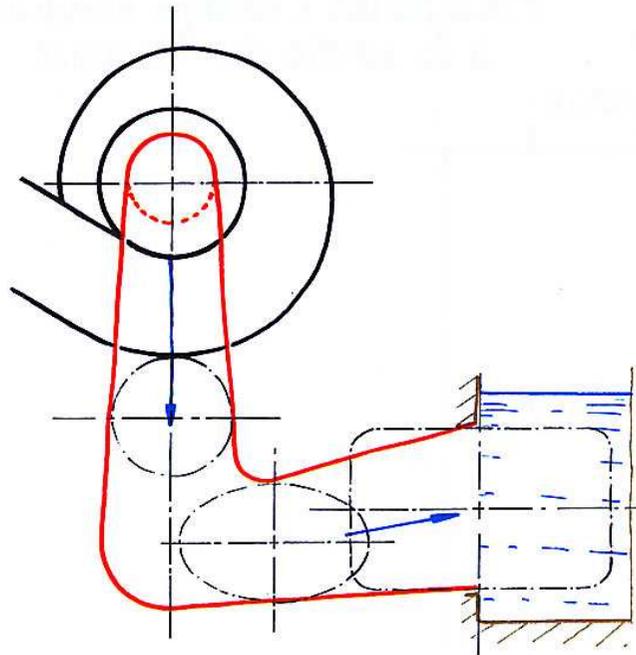
Basse chute  
 $n_s = 400$



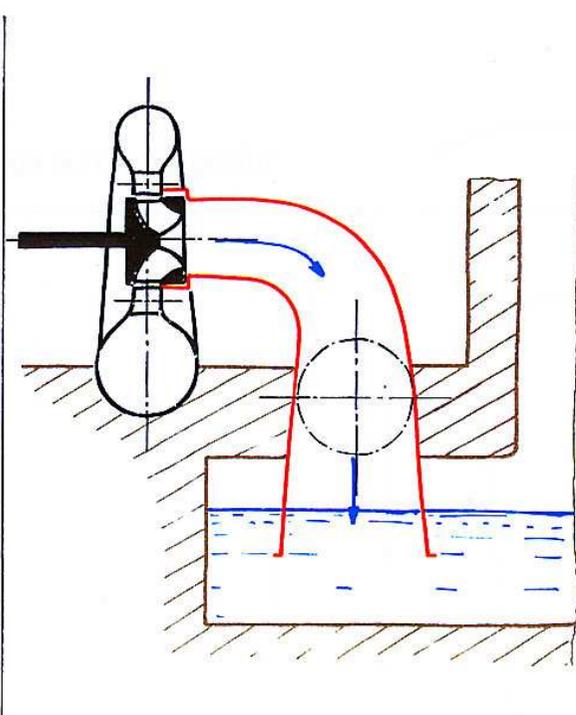
# Turbine Francis Horizontale



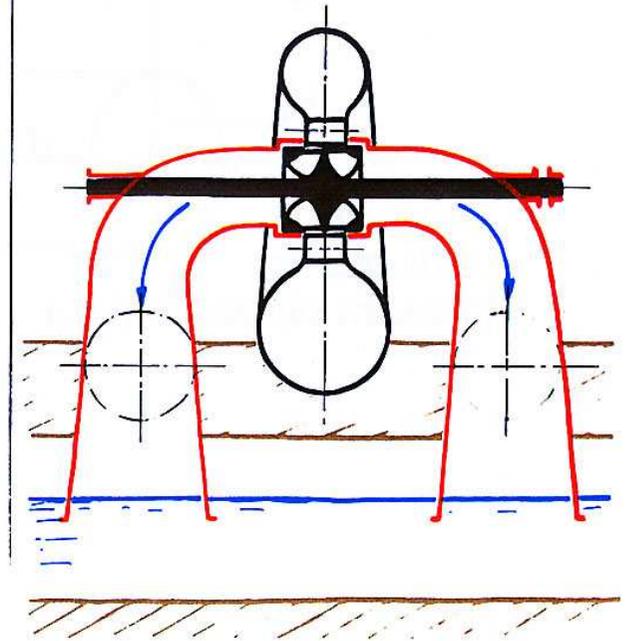
# Aspirateurs de Turbines Francis Horizontales



Aspirateur conique divergent



Aspirateur simple à un coude

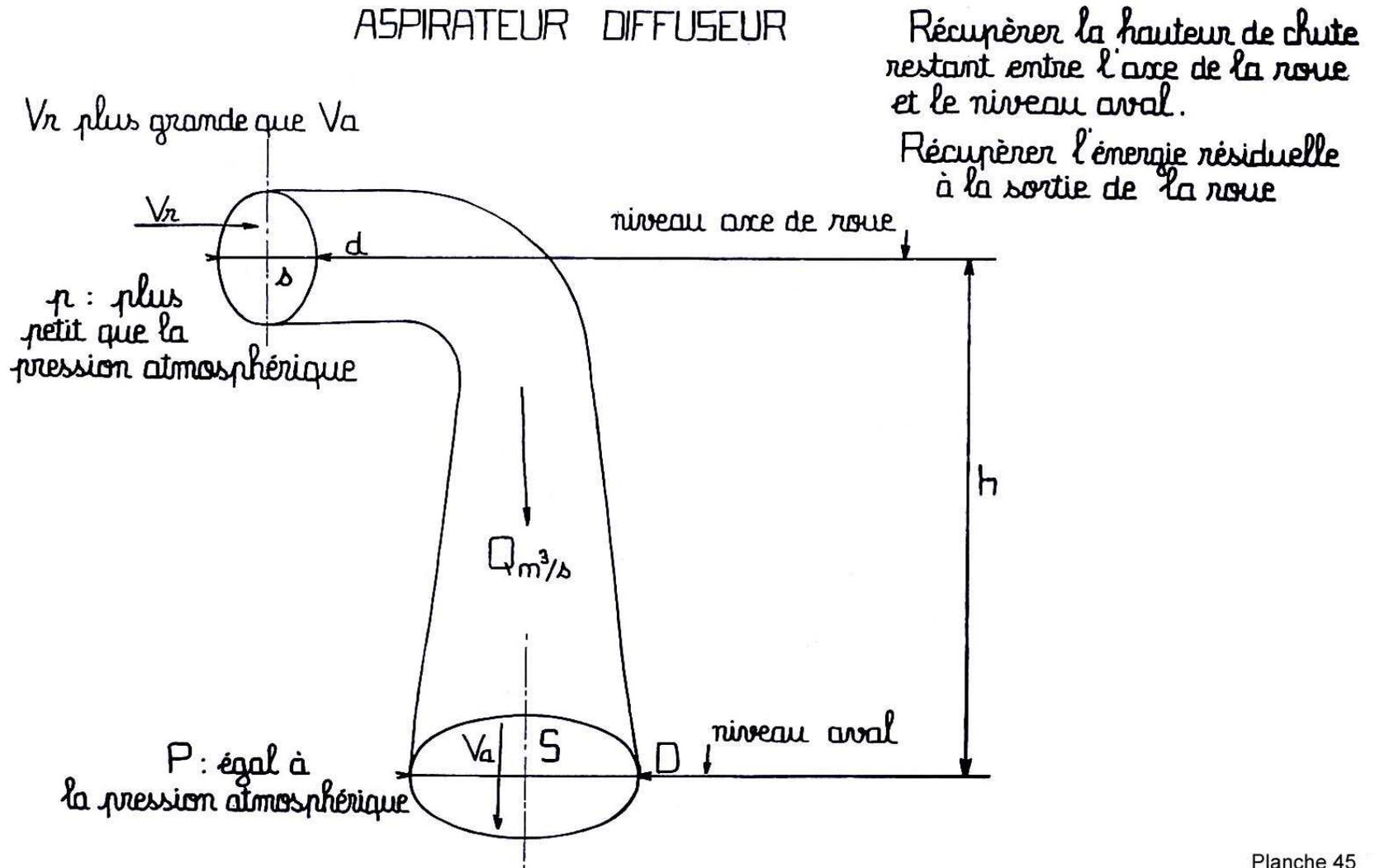


Aspirateur pour turbine à roue double

Planche 44

# Aspirateur Diffuseur

## ASPIRATEUR DIFFUSEUR



# Les Centrales Hydrauliques de « Basses chutes »

## 1° Par dérivation

ex: usines du Rhône (Chateauneuf - Gervans - Bollène - etc.)  
usines du Rhin.

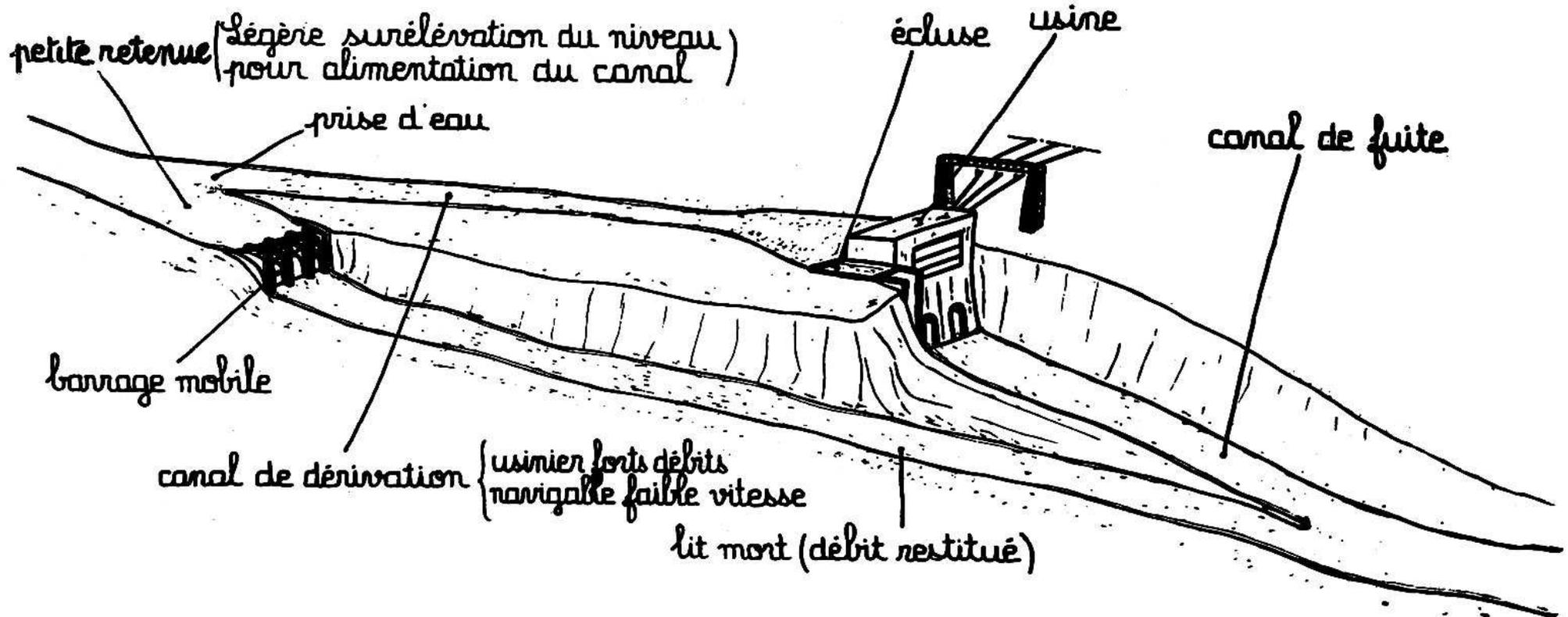


Planche 46

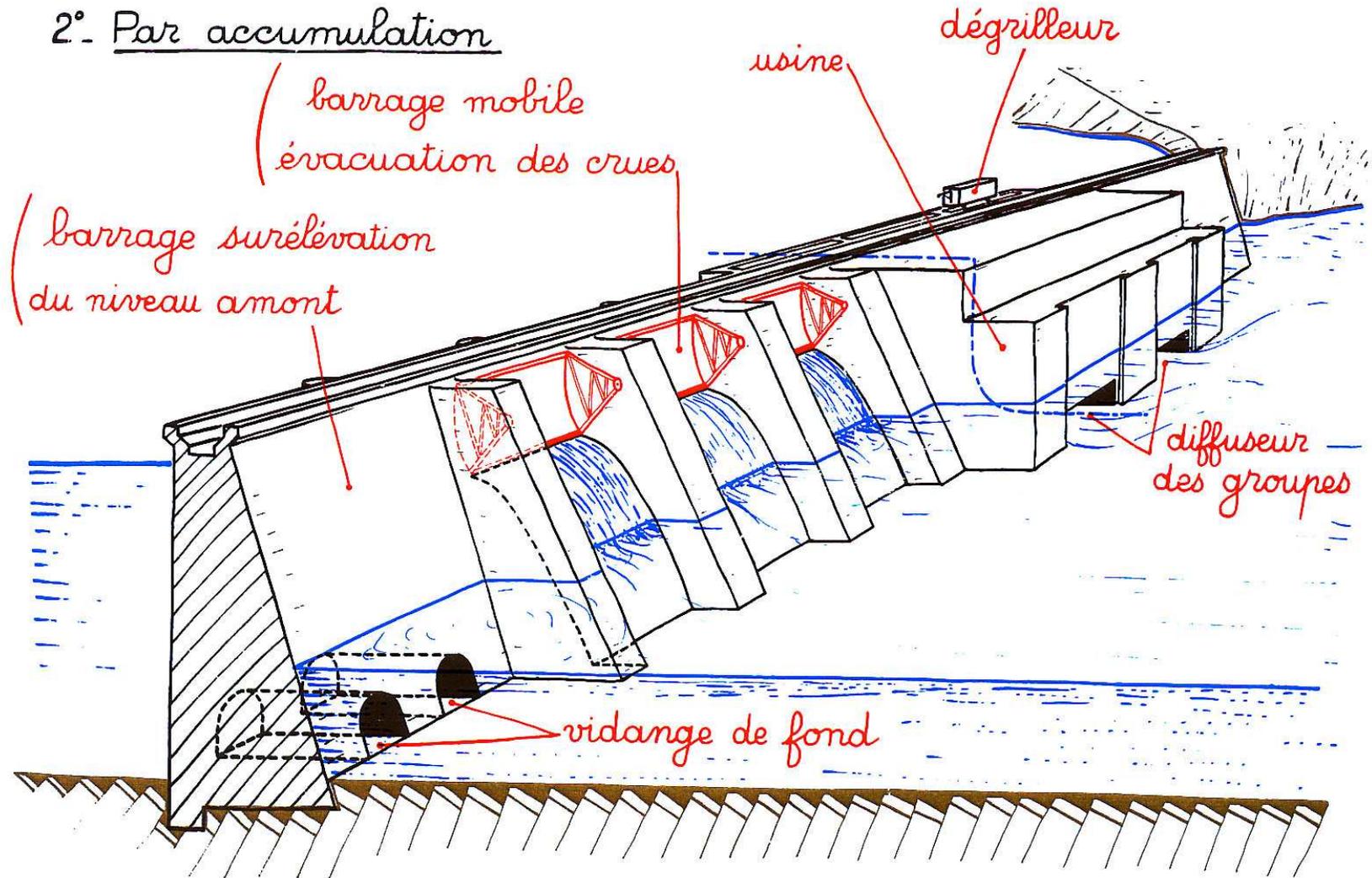
# Les Centrales Hydrauliques de « Basses chutes »



# Les Centrales Hydrauliques de « Basses chutes »



# Les Centrales Hydrauliques de « Basses chutes »



# Les Barrages « Mobiles »

Ils comportent :

1. des piles
2. des organes d'obturation
3. des radiers supportant le tout. Ils peuvent aussi élever le niveau de l'eau.

Planche 48

# Barrage Mobile

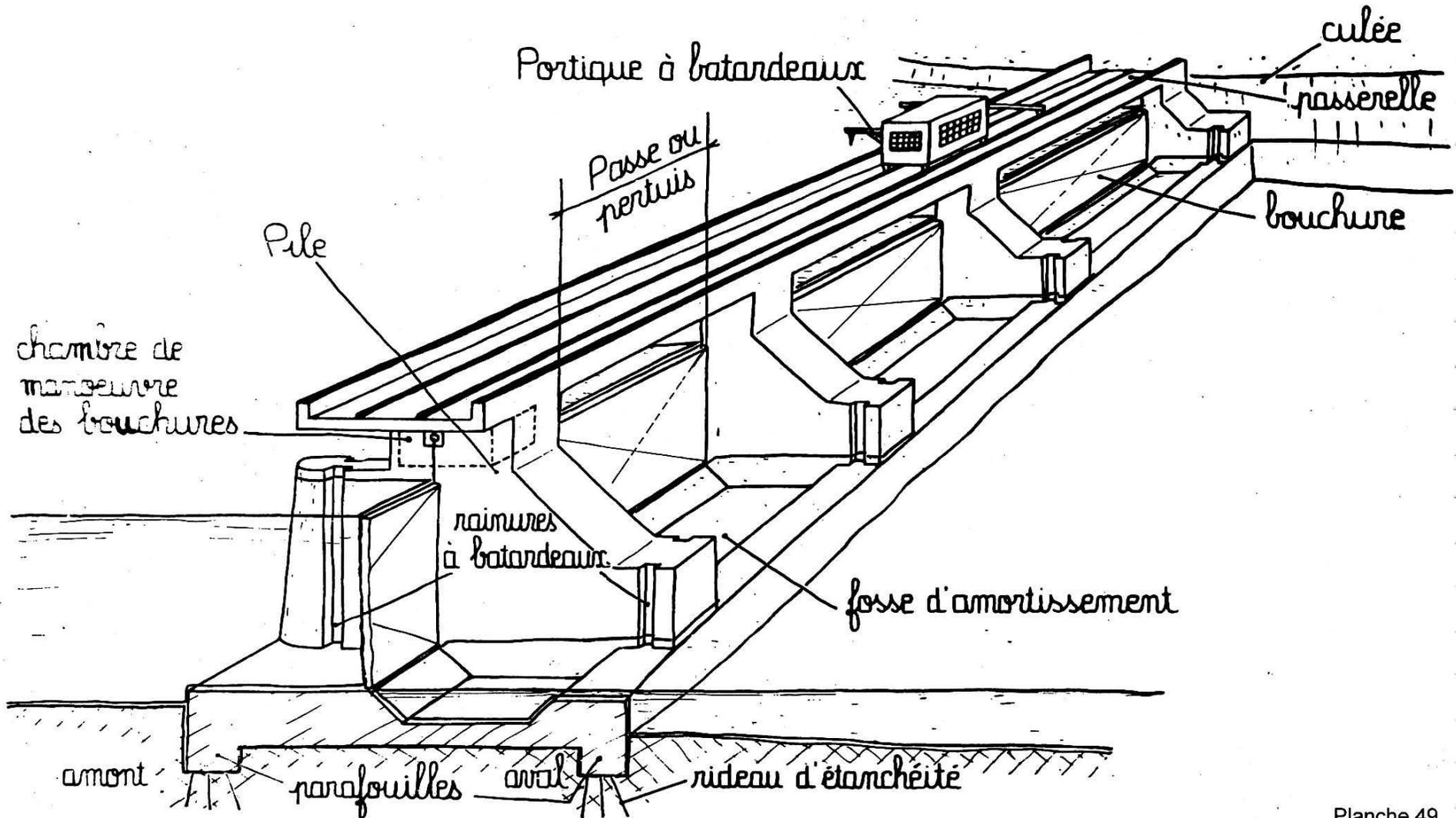
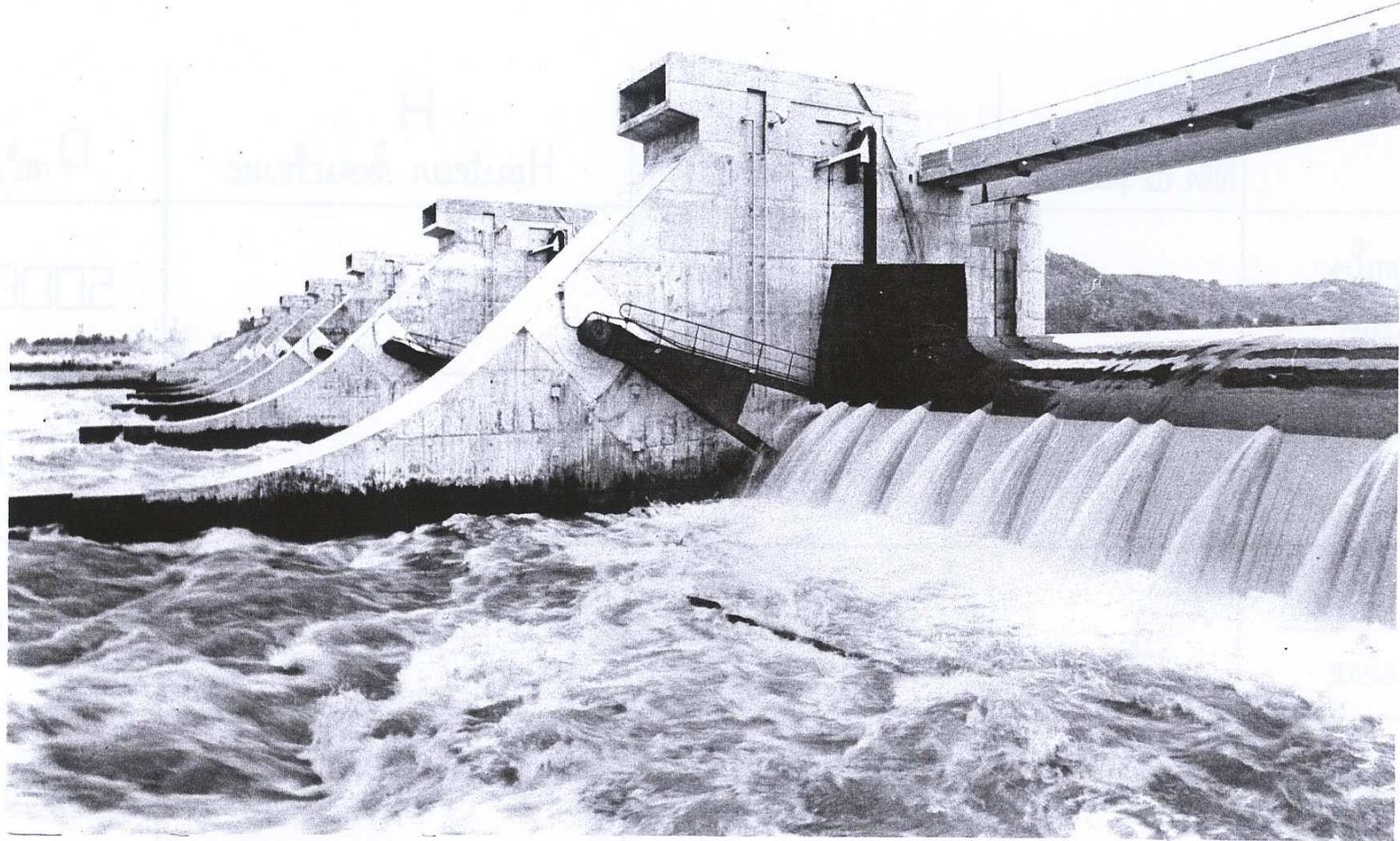


Planche 49

# Barrage Mobile

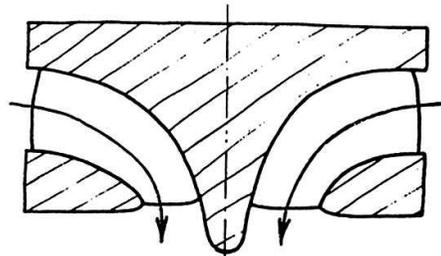


**ÉQUIPEMENT HYDRAULIQUE : L'AMÉNAGEMENT DE GOLFECH, SUR LA GARONNE, EST EN VOIE D'ACHÈVEMENT. LA RETENUE EST DÉJÀ PARTIELLEMENT MISE EN EAU. LE CANAL D'AMENÉE EST BITUMÉ À PRÈS DE 50 %.. LES TROIS GROUPES DE 22,5 MW QUI ÉQUIPERONT LA CENTRALE SONT EN COURS DE MONTAGE.**

# Les Turbines Kaplan

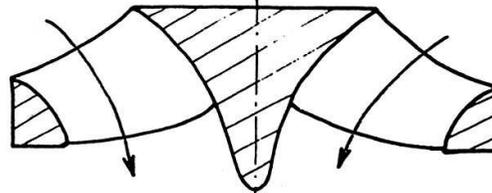
L'accroissement de la vitesse spécifique, (caractéristique de la vitesse de la roue) nécessaire pour compenser l'abaissement des vitesses de passage de l'eau pour obtenir une vitesse de rotation correcte, amène une évolution du profil des roues à réaction.

Francis haute chute



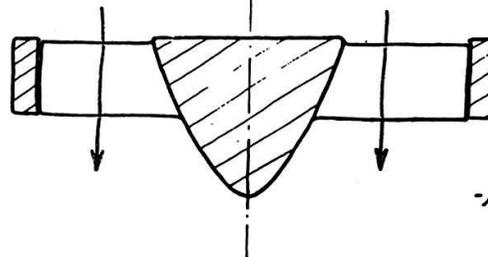
- écoulement radial axial
- coefficient de réaction faible
- énergie vitesse/pression . 50%

Francis basse chute



- écoulement plus axial
- coefficient de réaction plus important

Hélice



- écoulement axial
- coefficient de réaction très important. Pales fixes. Suppression de la ceinture. Réduction des frottements.

Planche 54

# Dispositions Générales d'une Usine Basse Chute

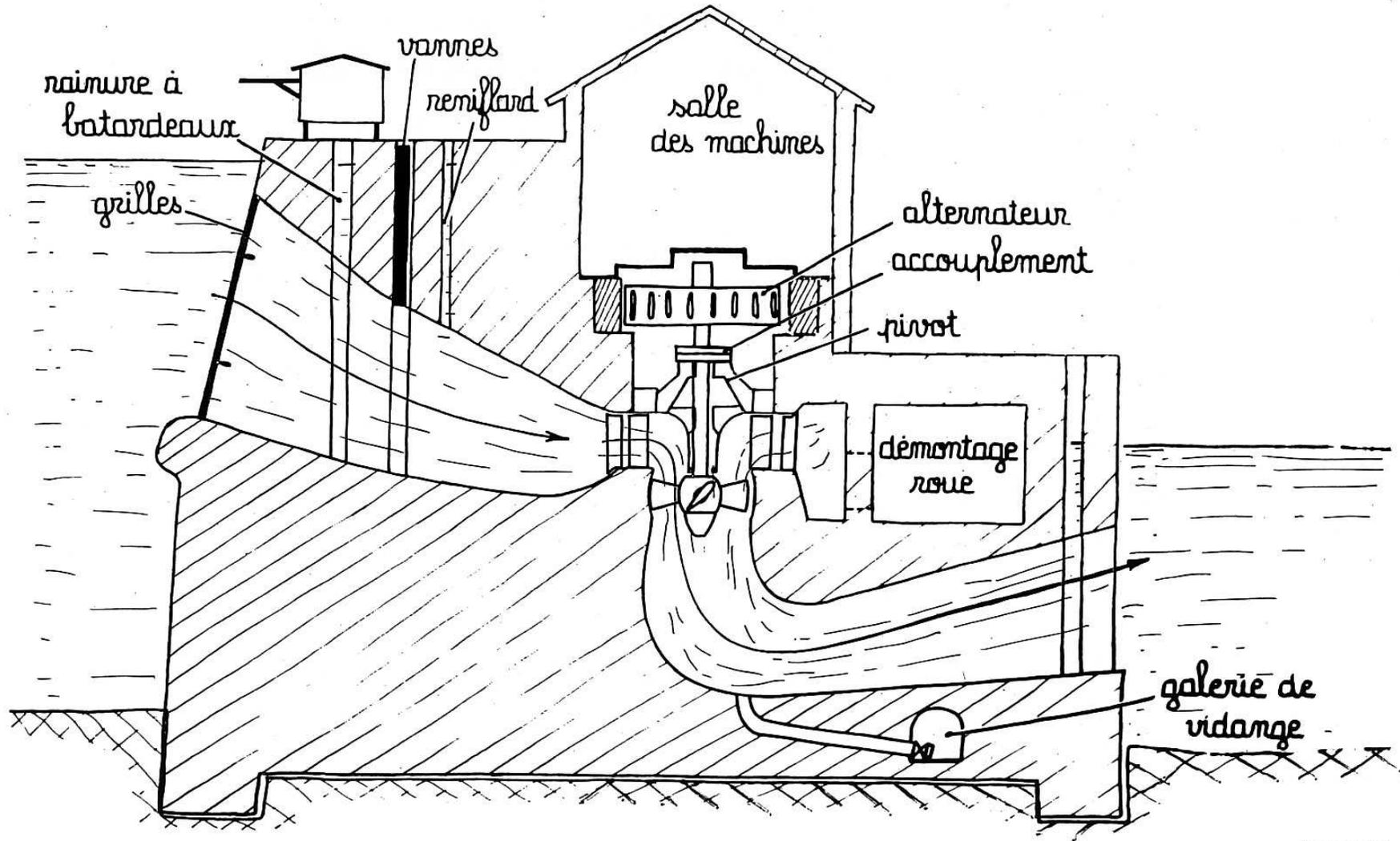
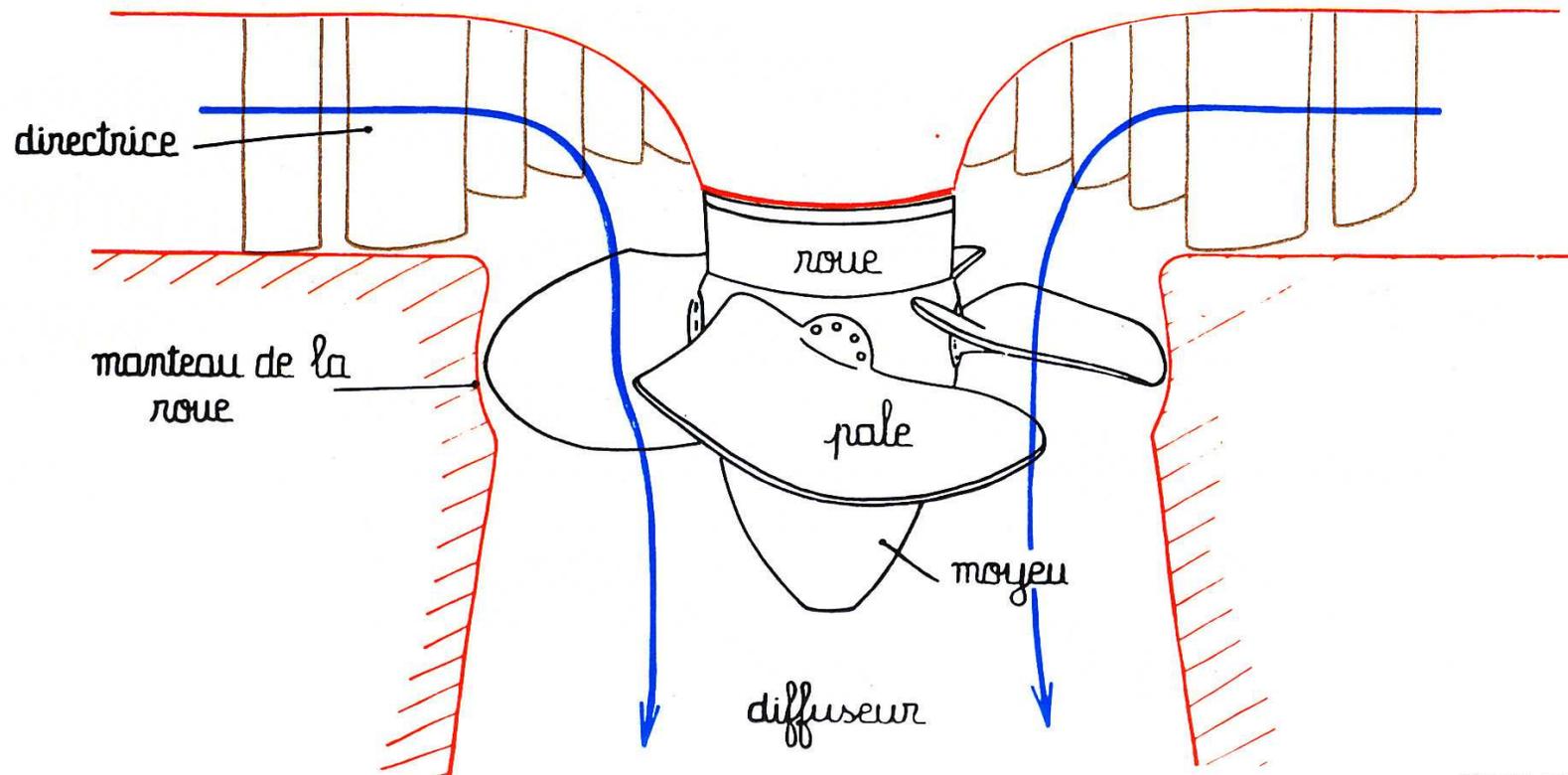


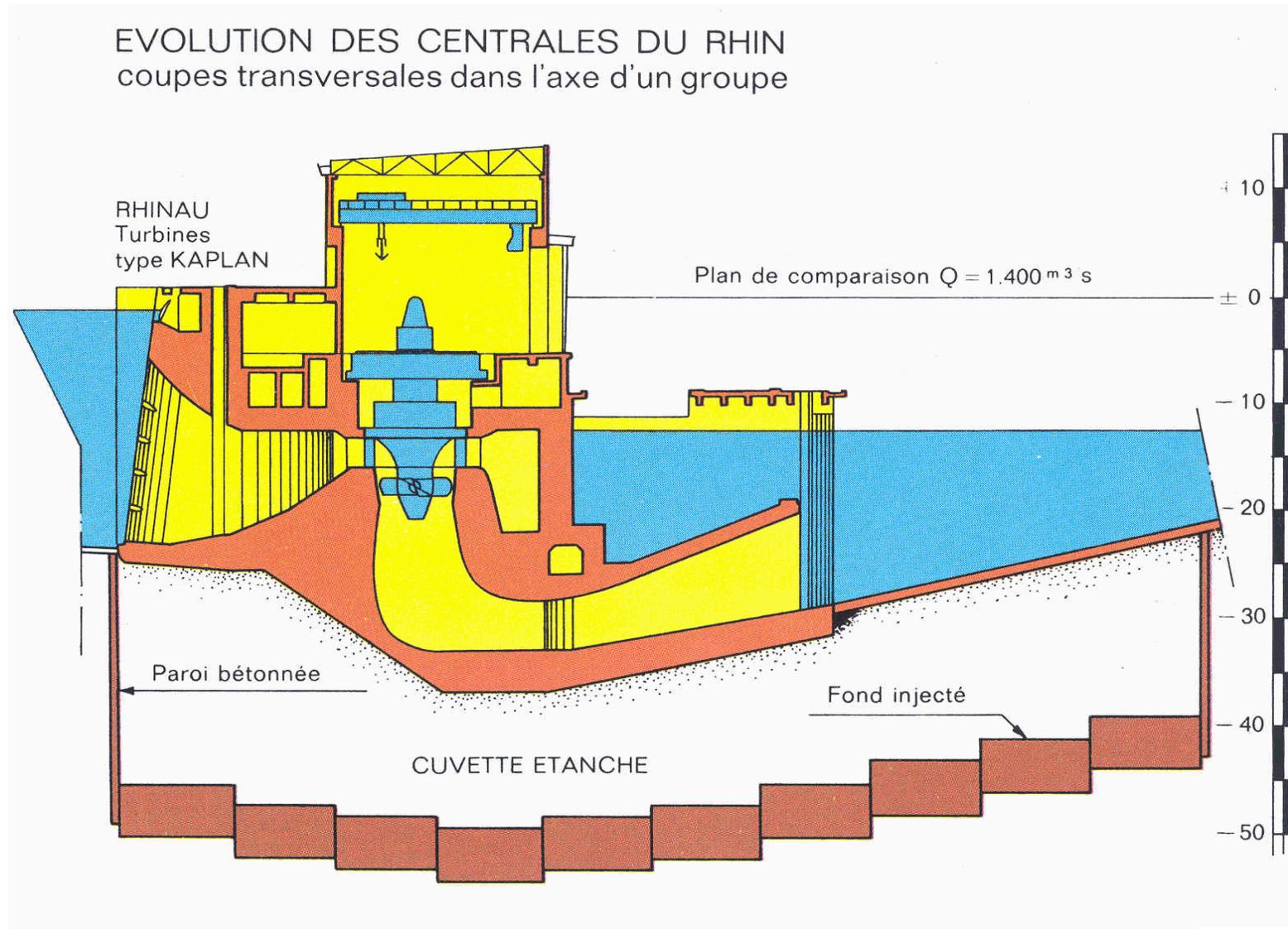
Planche 57

# Les Turbines Kaplan

Elles comportent les mêmes dispositifs que les turbines Francis:  
- Distributeur - Aspirateur diffuseur.  
seule la roue de turbine diffère

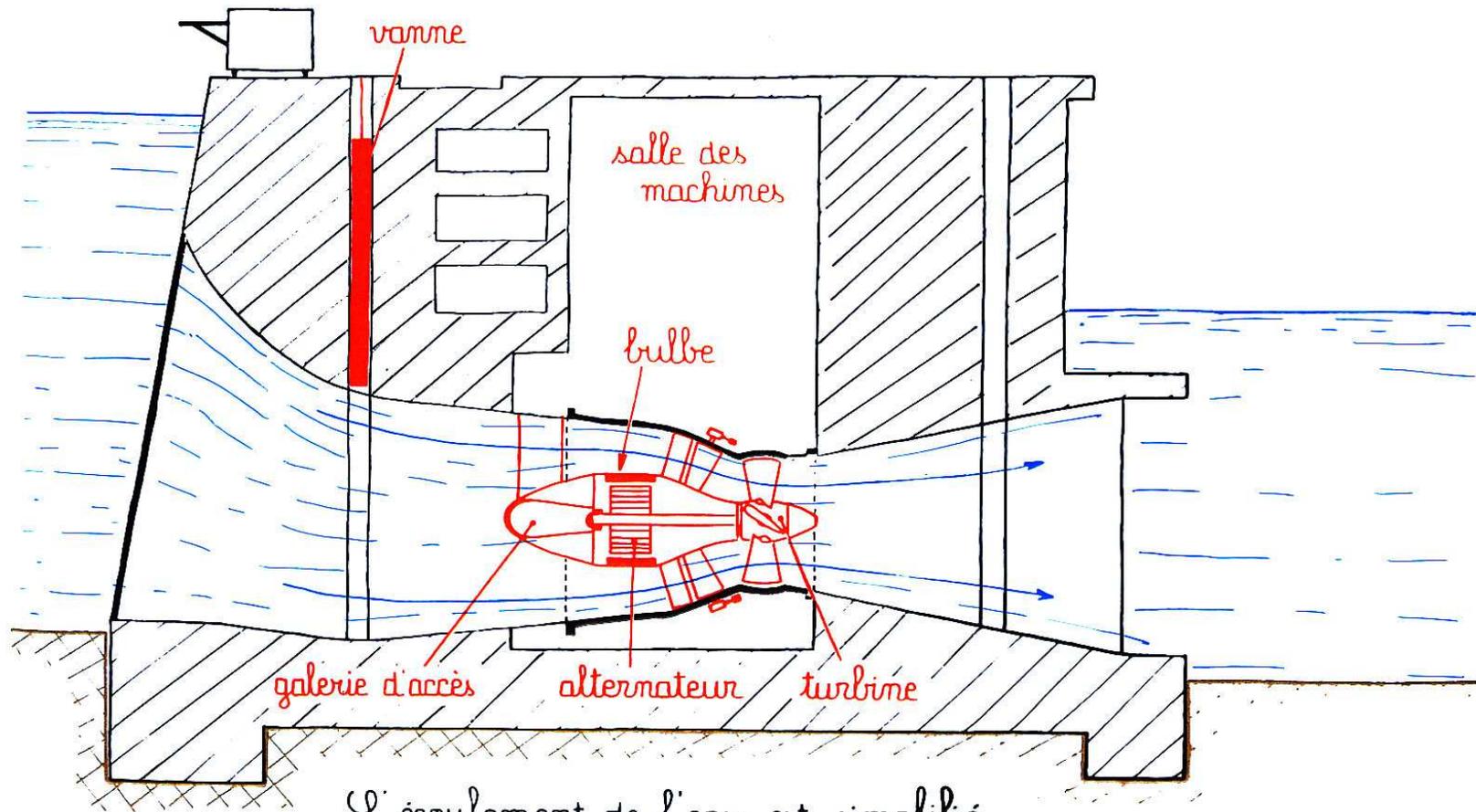


# Les Turbines Kaplan



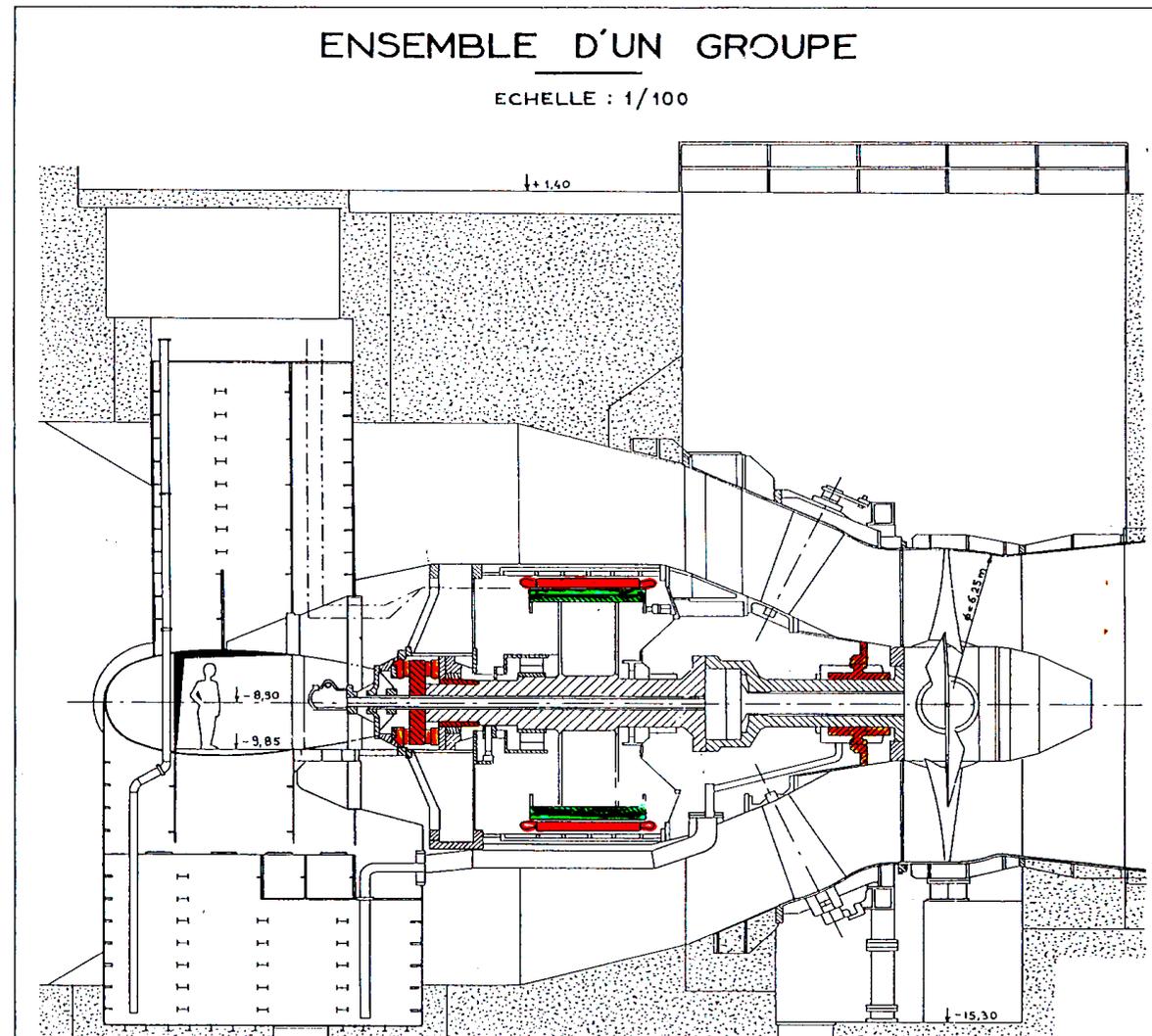
# Les Groupes « Bulbe »

Ce sont des turbines Kaplan à axe horizontale



L'écoulement de l'eau est simplifié  
Le volume des maçonneries est réduit

# Les Groupes « Bulbe »



# Les Turbines Kaplan-Bulbe

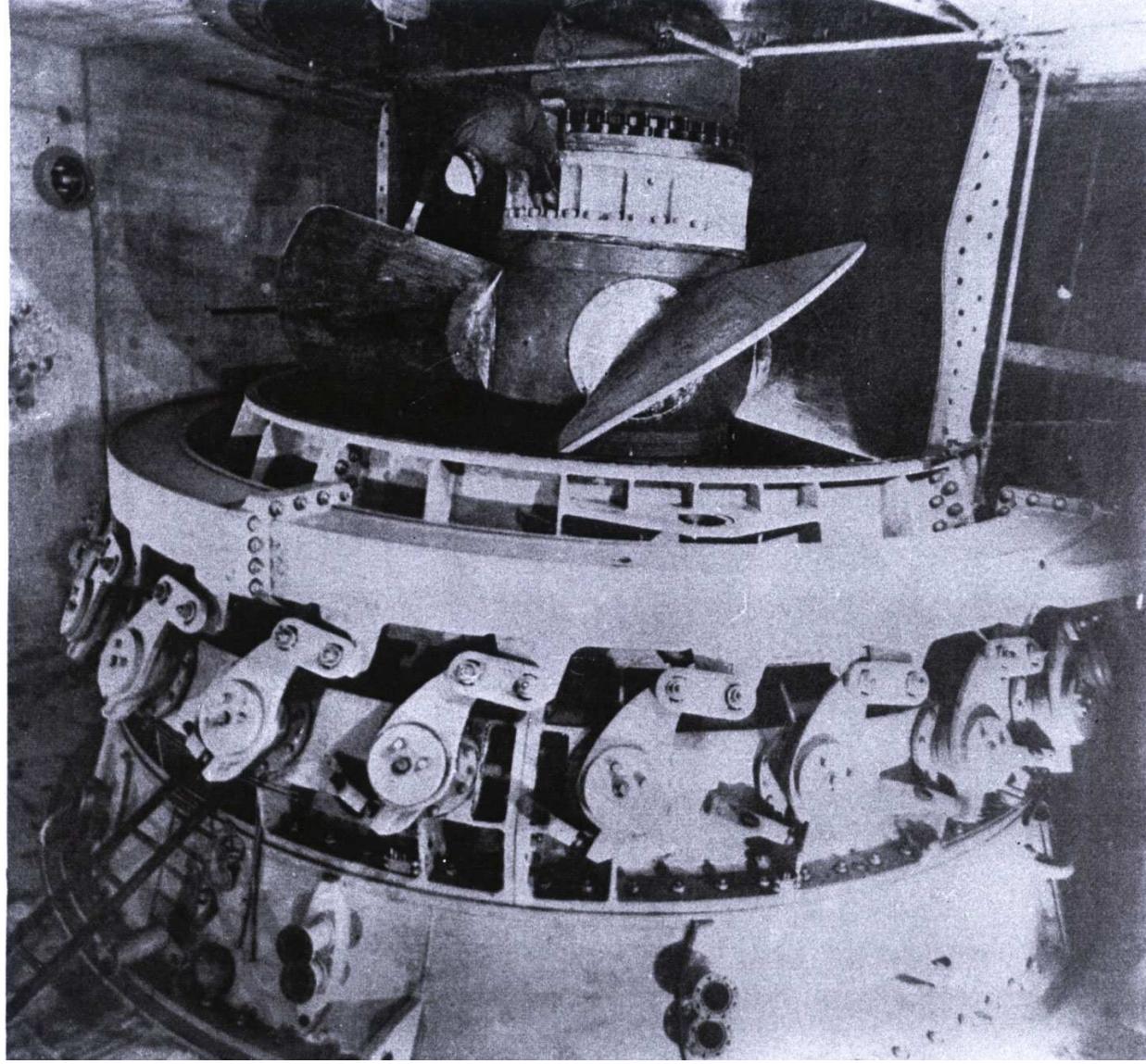


Photo NEYRPIIC

USINE MAREMOTRICE DE LA RANCE – Bretagne  
Montage d'un groupe  
Puissance 10 000 kW

# Comparaison Barrage avec Kaplan et Bulbe

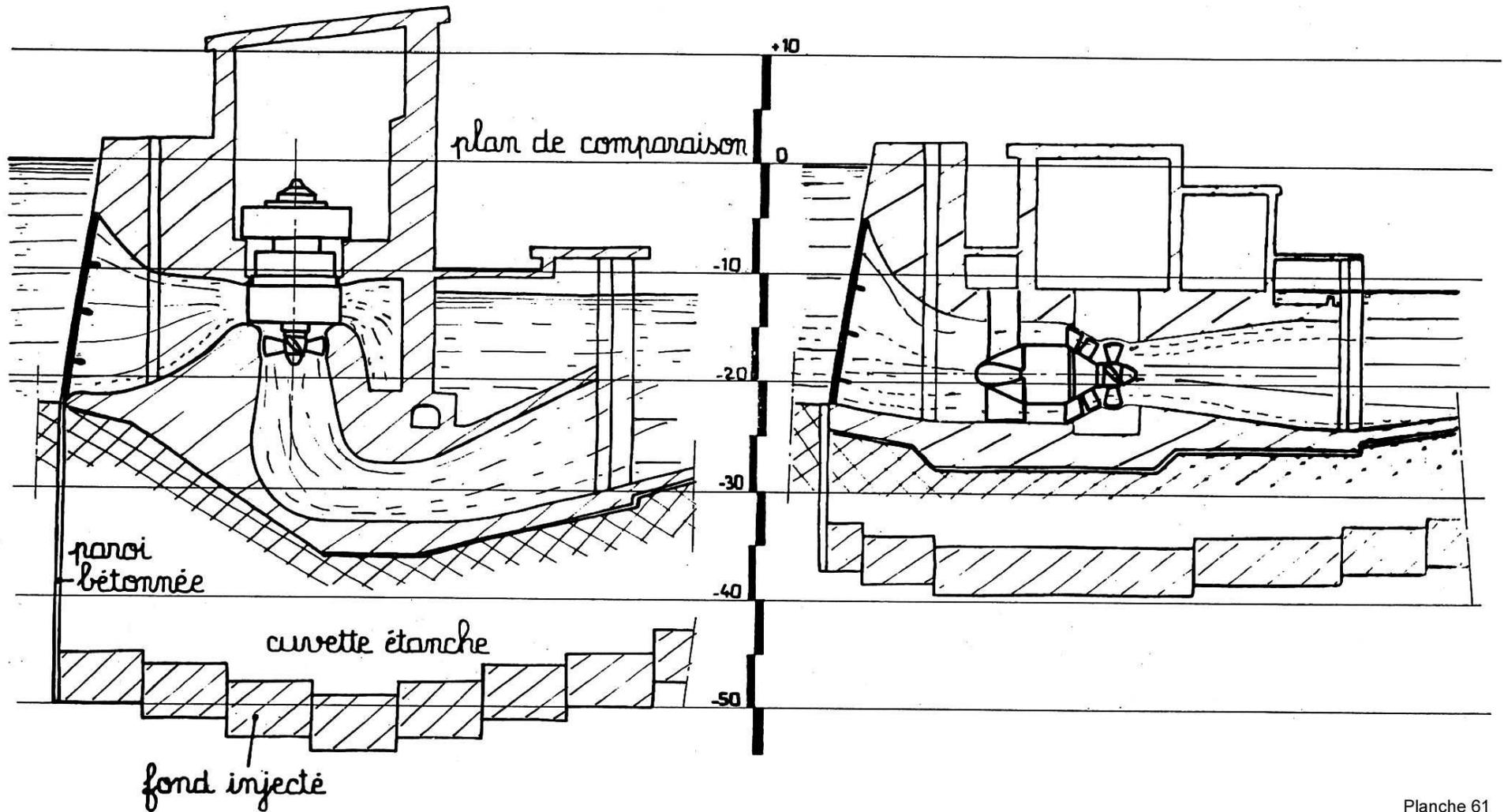
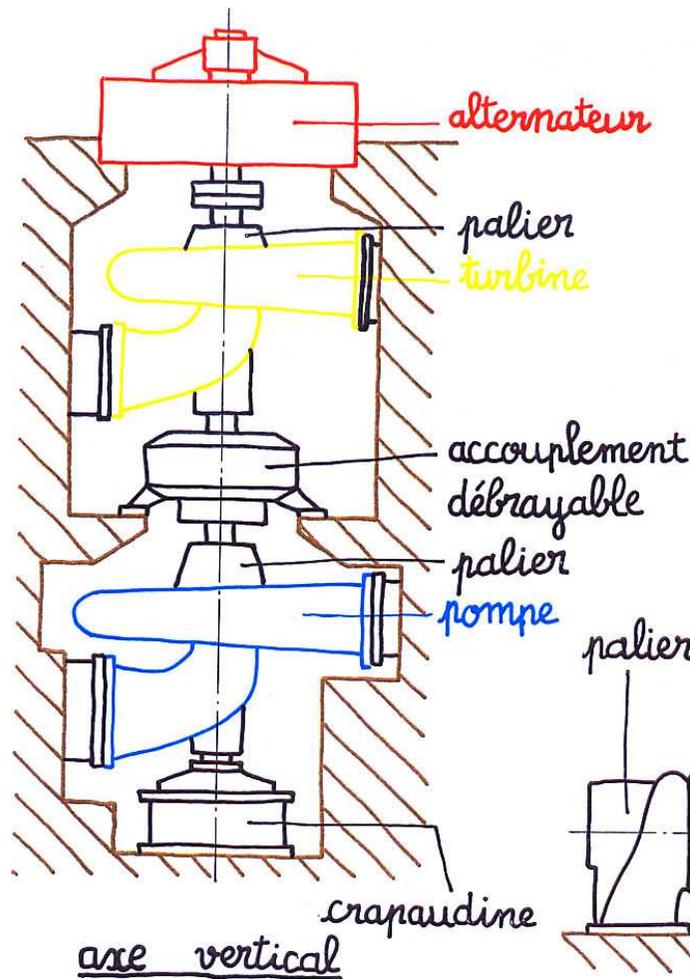


Planche 61

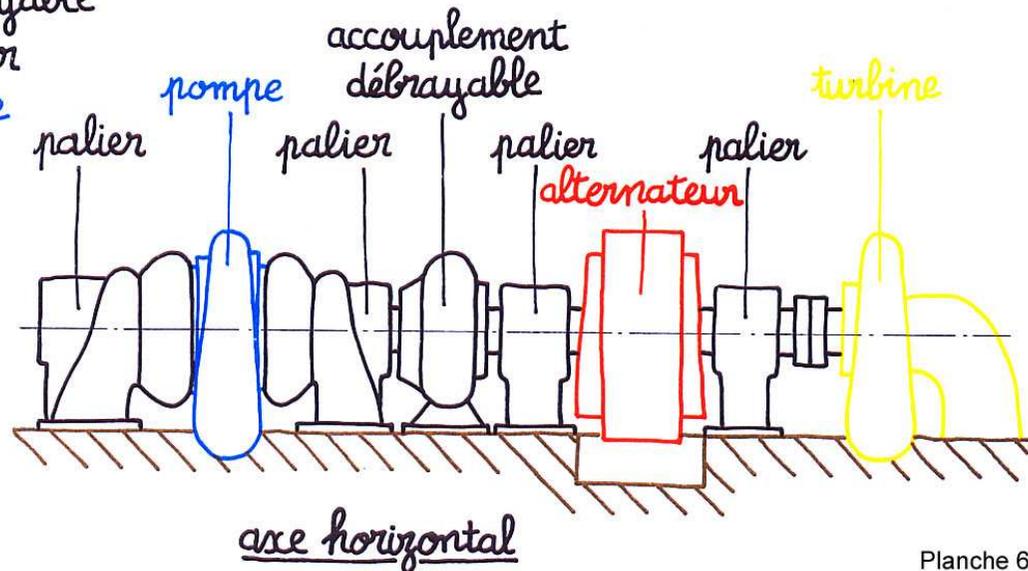
# Turbinage - Pompage



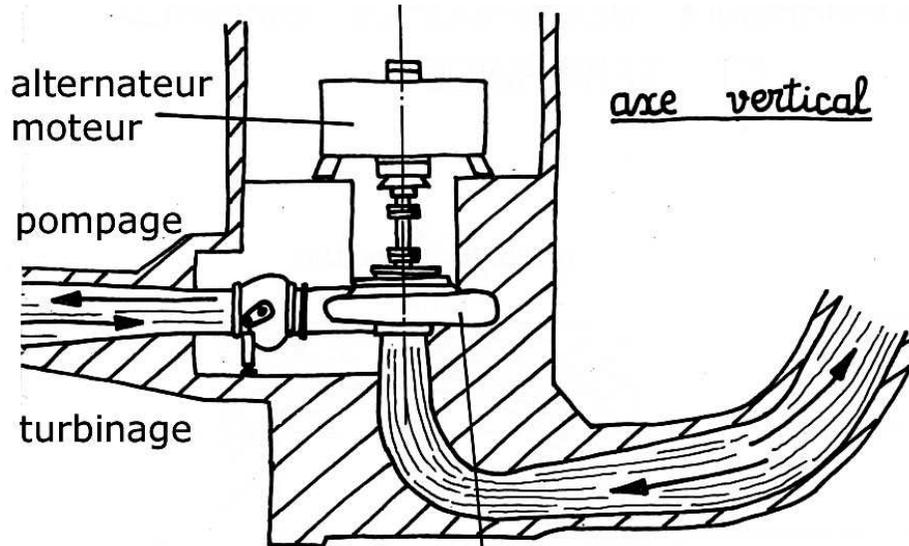
Groupes ternaires

se composent de :

- 1 alternateur moteur
- 1 turbine
- 1 pompe
- 1 accouplement débrayable (marche en turbine)



# Turbinage - Pompage



Groupes binaires (réversibles)

se composent de :

- 1 alternateur moteur
- 1 turbine pompe (suivant sens de rotation)

