

# Bottom Outlets

2025 Edition

Dr. Pedro A. Manso / Dr. Giovanni De Cesare

## Ordre du jour

- Qu'est-ce qu'une Vidange de fond?
- Fonctions
- Composantes et équipements
- Conception
- Dimensionnement hydraulique
- Aération et dispositifs dédiés
- Transit de sédiments

## Conception des vidanges de fond

### Vidange de fond

combinée avec  
le barrage

- barrages en béton
- épaisseur du barrage au pied > 18 à 25 m
- conduite amont blindée en acier
- chambre des vannes fortement armée

combinée avec  
la fondation du barrage

- digues en terre
- chambre des vannes située le plus près possible du parement amont de la digue

combinée avec  
la galerie de dérivation

- transformation de la galerie de dérivation
- chambre des vannes directement à l'aval de l'écran d'étanchéité









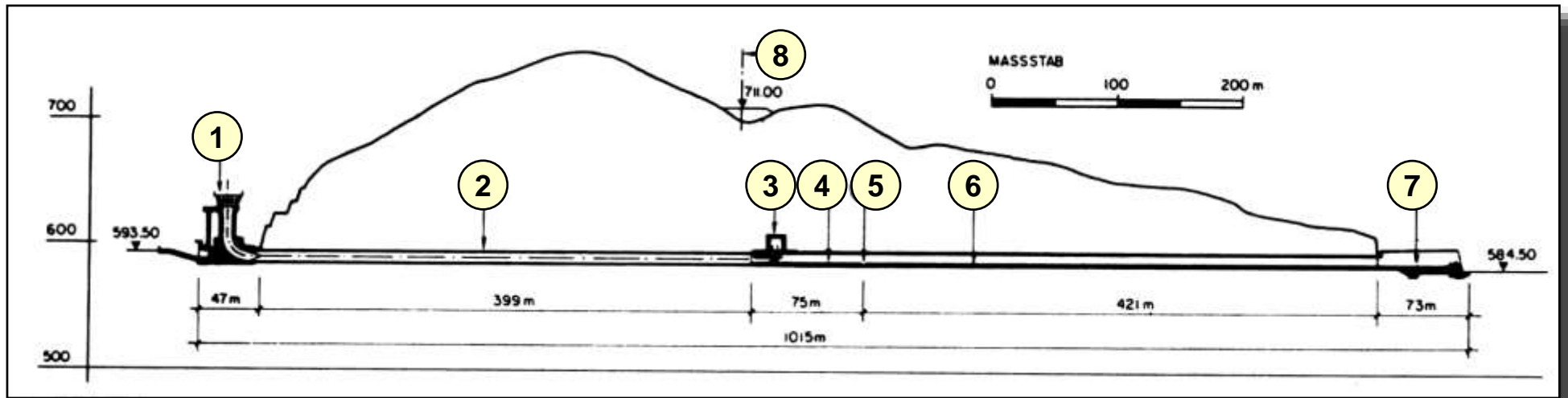


## Objectifs des vidanges de fond

- ⇒ Vidange de fond, élément très important d'un barrage qui doit assurer:
1. la montée contrôlée du plan d'eau lors du premier remplissage (permettant d'évaluer le comportement du barrage et des rives inondées)
  2. la vidange complète du bassin (purges, révisions, fin de vie du barrage)
  3. le contrôle/maintien du plan d'eau en cas d'événements particuliers (instabilité des rives)
  4. un abaissement du plan d'eau en périodes de danger (dangers naturels ou conflits armés)
  5. le transit contrôlé des sédiments (purge, vidange, venting)
  6. l'alimentation du cours d'eau aval pour des cas exceptionnels (p. ex. soutien d'été)

Autre que les barrages, tout réservoir d'eau devrait être équipé d'un ouvrage de vidange

## Éléments des vidanges de fond (en rive)

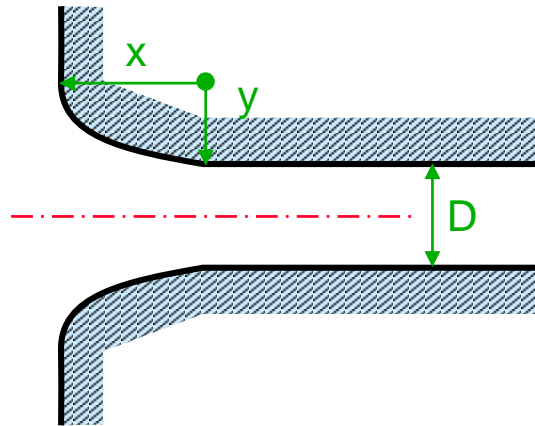


### Exemple: Alicura (Argentine)

- |   |  |
|---|--|
| <b>1</b> Ouvrage d'entrée (avec grille grossière) | <b>5</b> Aération du fond (rainure d'aération) |
| <b>2</b> Galerie de vidange amont (Ø 9.0 m)       | <b>6</b> Galerie de vidange aval bétonnée      |
| <b>3</b> Chambre des vannes                       | <b>7</b> Ouvrage de restitution (saut de ski)  |
| <b>4</b> Galerie de vidange aval blindée (75 m)   | <b>8</b> Axe de la digue                       |

## Ouvrage d'entrée

⇒ Forme hydrodynamique pour éviter des sous-pressions



Entrée rectangulaire ( $D=b$  ou  $a$ )

$$\frac{x^2}{D^2} + \frac{y^2}{0.25 \cdot D^2} = 1$$

Entrée circulaire

$$\frac{x^2}{0.5 \cdot D^2} + \frac{y^2}{0.15 \cdot D^2} = 1$$

⇒ Grille grossière

- ◆ écartement des barreaux de 0.50 à 2.00 m,  
mais inférieure à  $2/3$  de la dimension minimale de la vanne

## Galerie de vidange amont en charge et vannes de fond

### Galerie de vidange amont en charge

#### ⇒ Section circulaire

- ◆ pour des longueurs courtes à travers un barrage en béton souvent rectangulaire

#### ⇒ $V > 10$ à $20$ m/s:

- ◆ blindage en acier
- ◆ fixation par raidisseurs dans le béton

### Vannes de fond

#### ⇒ Types souvent utilisés

- ◆ vanne à glissière
- ◆ vanne wagon
- ◆ vanne segment
- ◆ vanne à jet creux divergent

Exemples d'ouvrages de vidange de fond incorporés dans le corps de barrages en béton



Karun III, Iran

Karun III, Iran



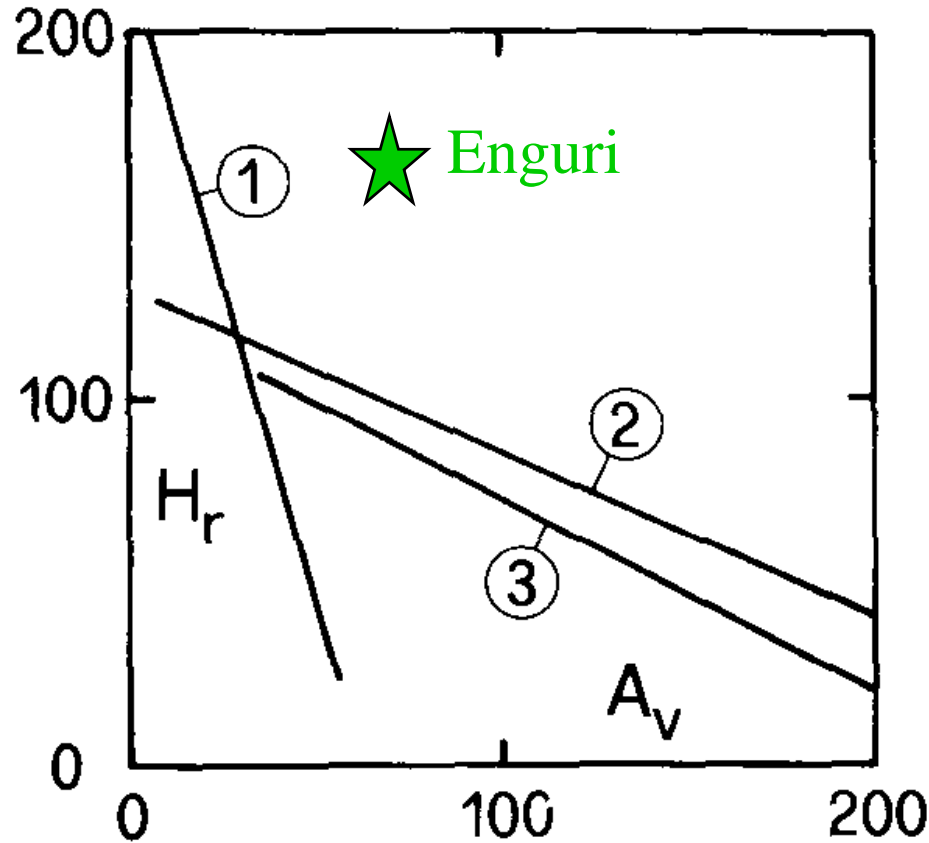
Karun III, Iran





Karun III, Iran

## Vannes de fond

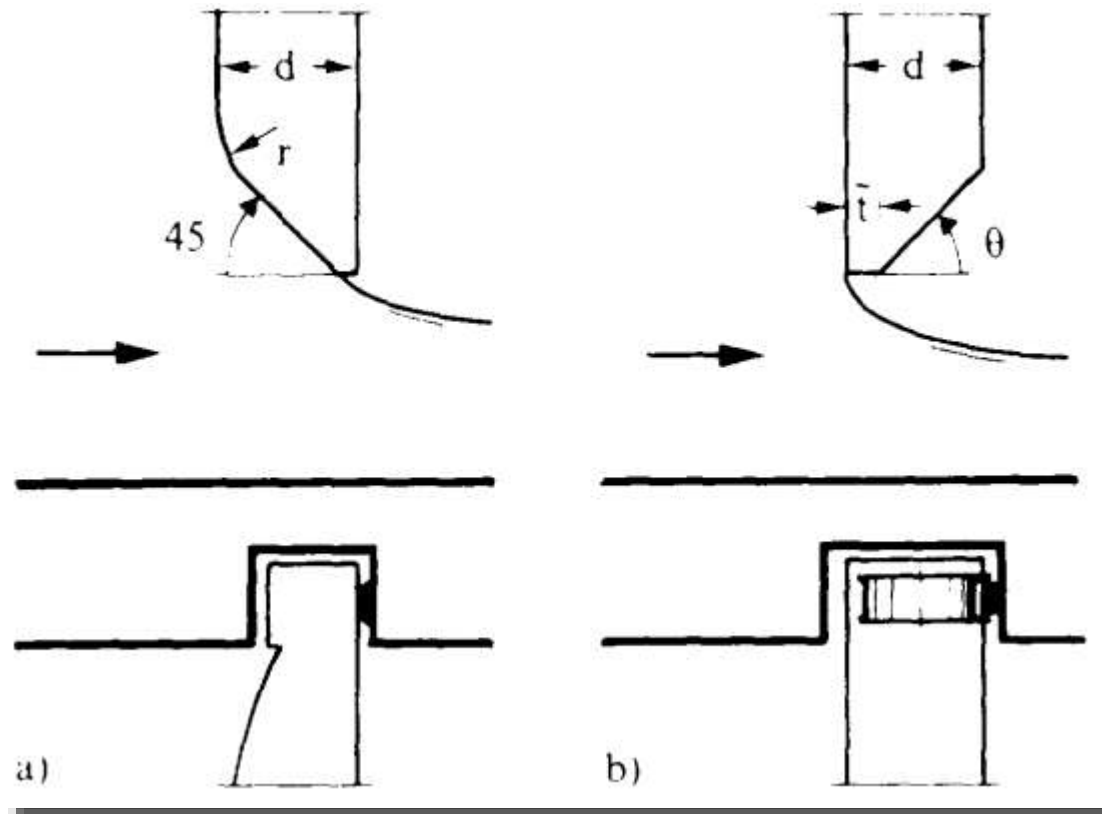


Type de vanne en fonction de la charge due à la retenue  $H_r$  [m] et de la section de la vanne  $A_v$  [m<sup>2</sup>], (Sinniger, Hager, 1989)

1. vanne à glissière
2. vanne wagon
3. vanne segment

Enguri: Double-length O-ring follower

Vannes de fond - vannes wagon et vannes à glissières



Vanne à glissière

vanne wagon

Al Massira, Maroc





Al Massira, Maroc

# HIGH PRESSURE SLIDE GATE

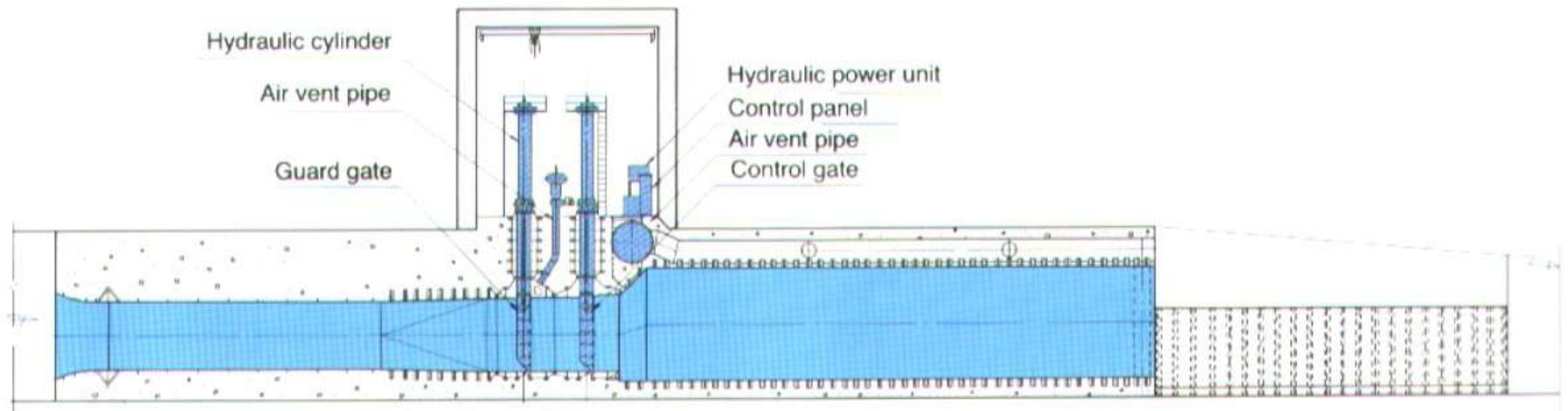
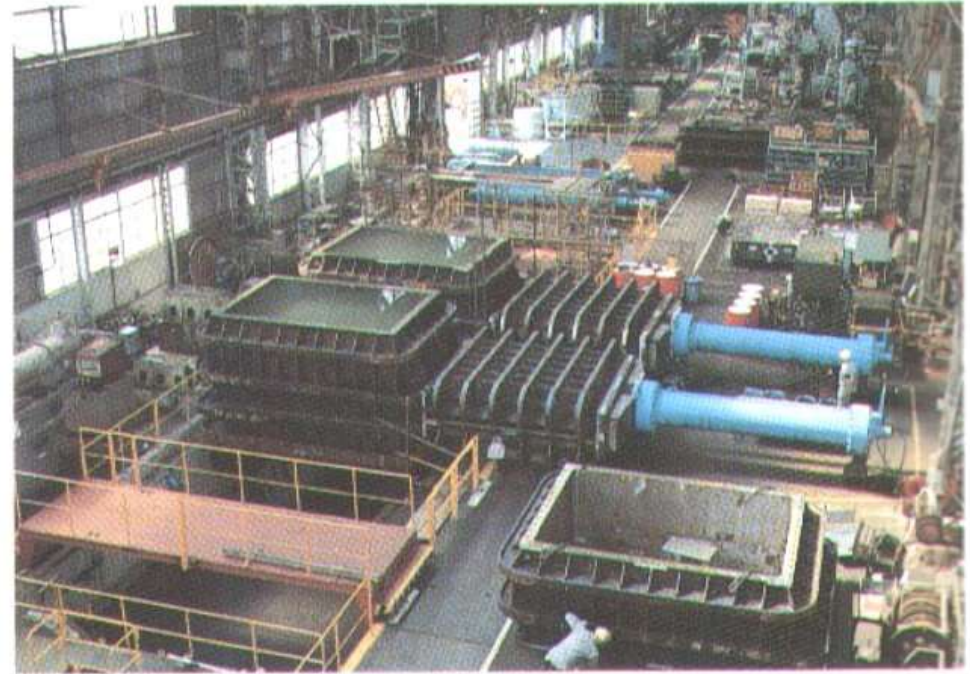
Tokachi Dam  
Hokkaido Development Bureau, Japan

Design Head: 60.87 m

Size: 2.4 m (W) × 3.6 m (H)

Number of Gates: 2 + 2 sets

Completion: 1982



## HIGH PRESSURE FIXED WHEEL GATE

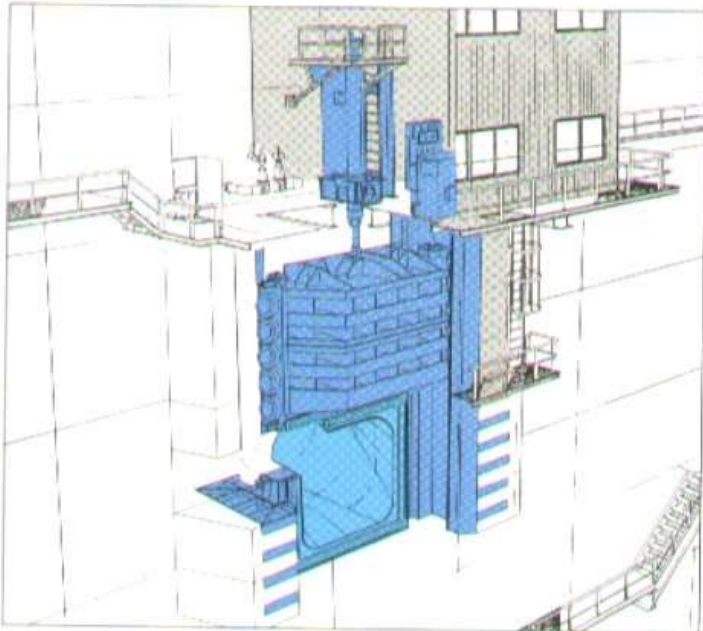
Kawaji Dam  
Ministry of Construction, Japan

Design Head: 68 m

Size: 3.07 m (W) × 3.438 m (H)

Number of Gates: 2 sets

Completion: 1981



## HIGH PRESSURE CATERPILLAR GATE

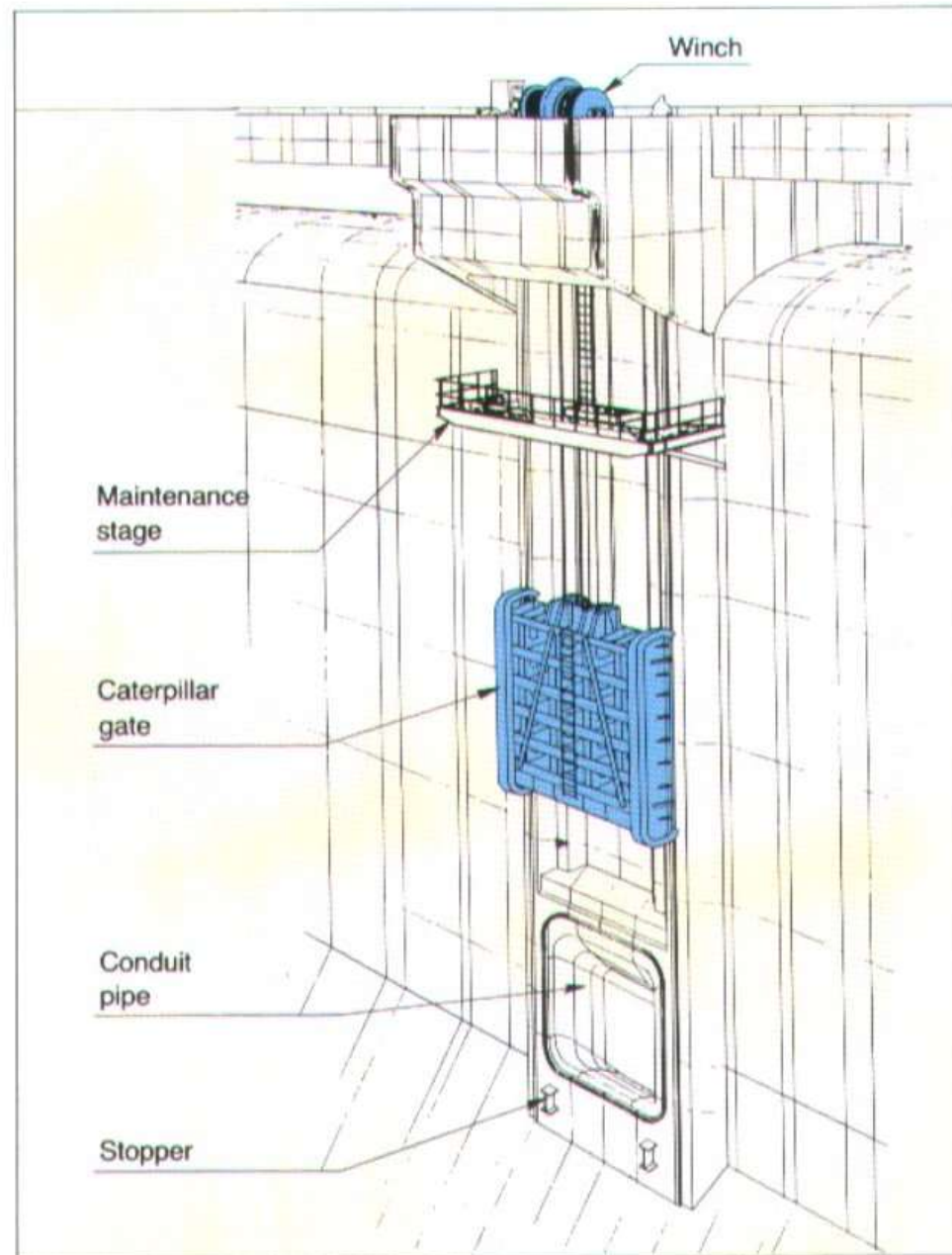
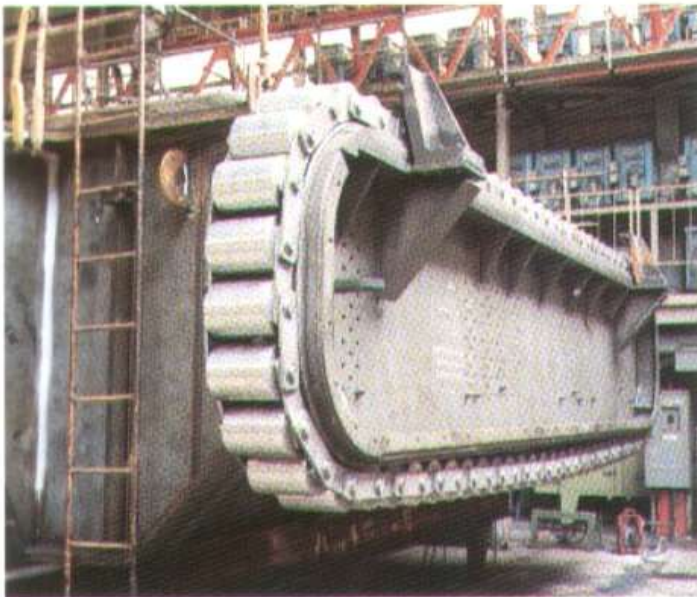
Kawaji Dam  
Ministry of Construction, Japan

Design Head: 58.52 m

Size: 4.91 m (W) × 5.196 m (H)

Number of Gates: 2 sets

Completion: 1981



## HIGH PRESSURE RADIAL GATE

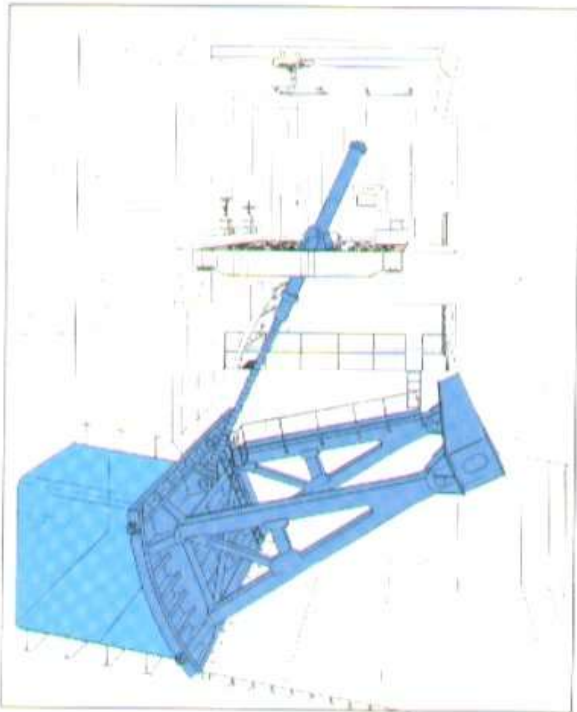
Hayadegawa Dam  
Niigata Prefectural Government, Japan

Design Head: 58.2 m

Size: 2.7 m (W) × 2.7 m (H)

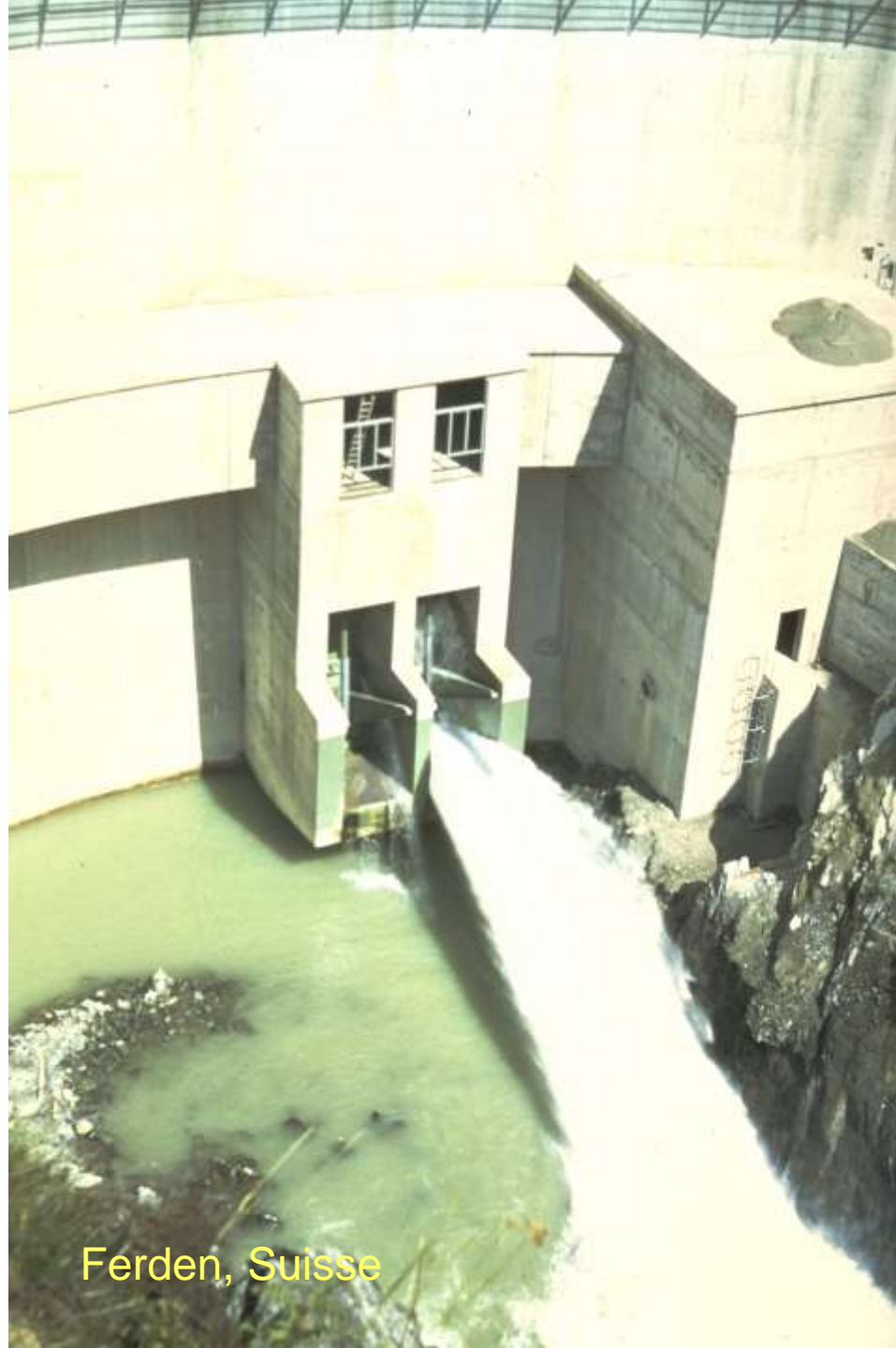
Number of Gates: 2 sets

Completion: 1979



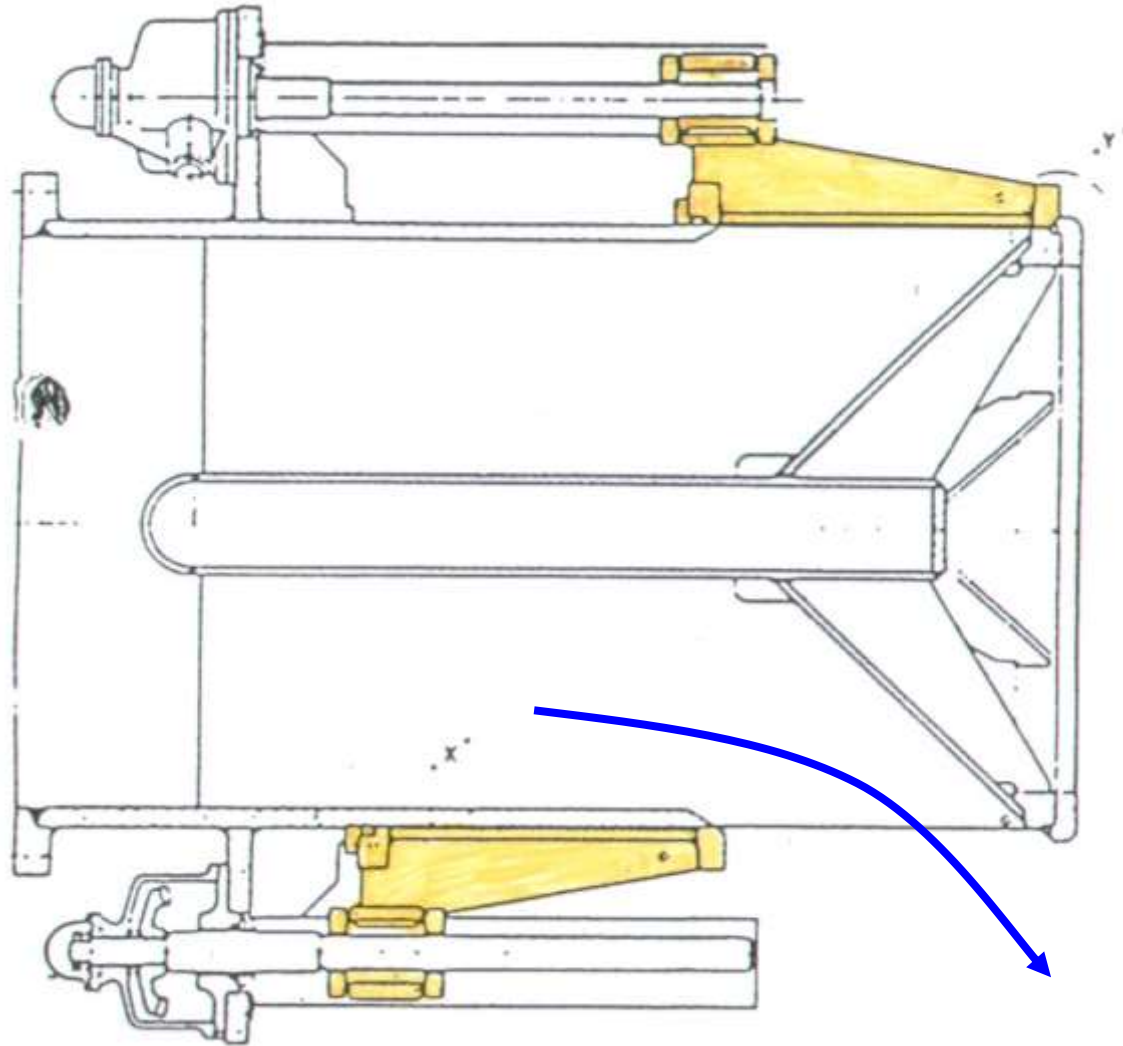


Solis, Suisse



Ferden, Suisse

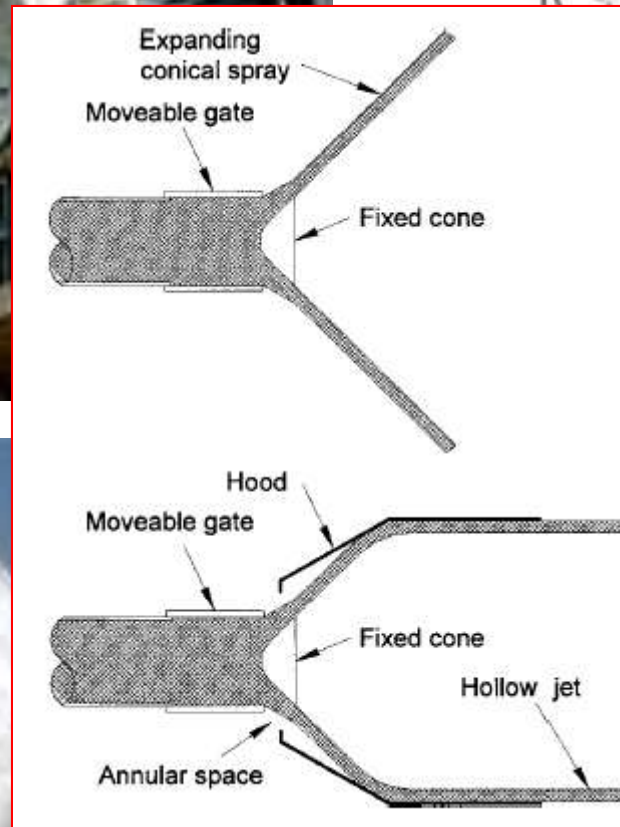
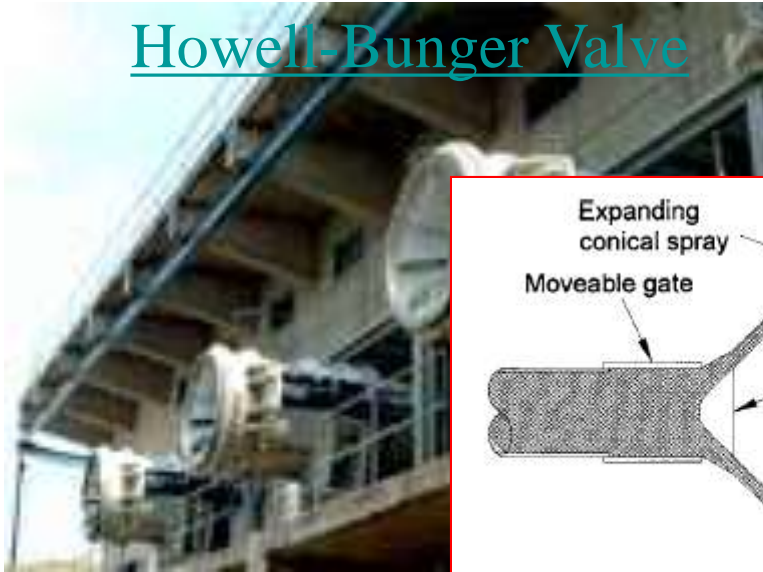
Vanne  
à jet creux



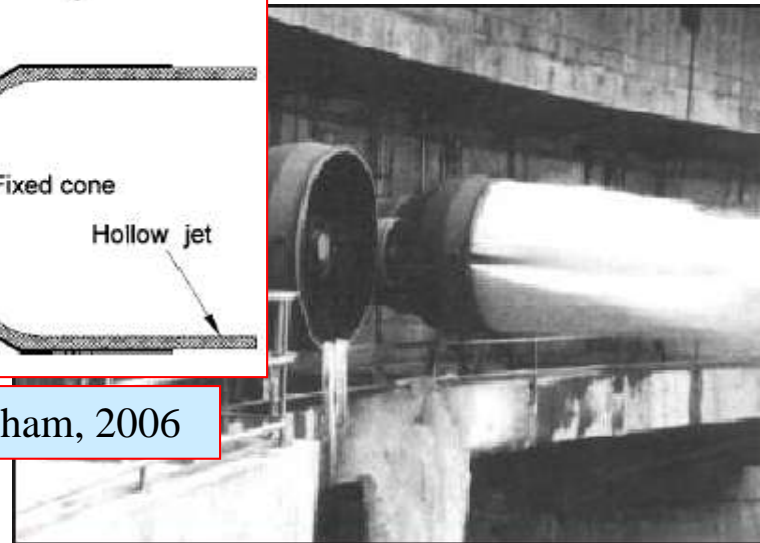
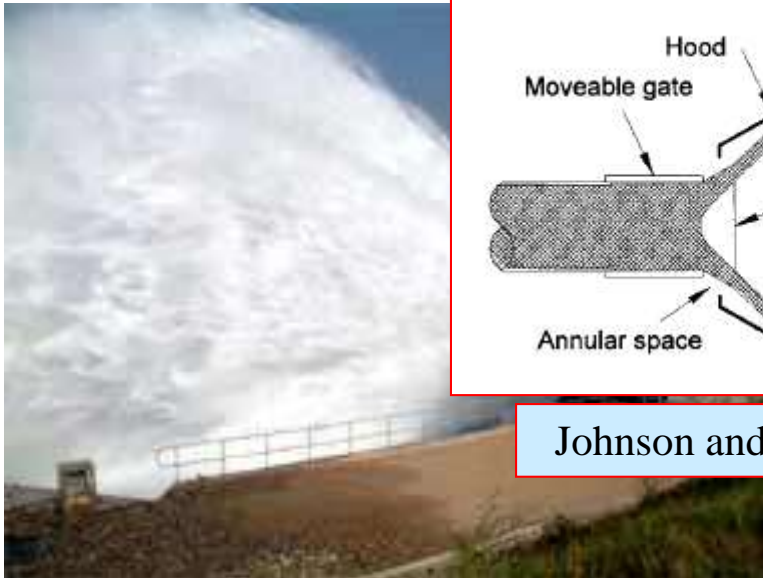
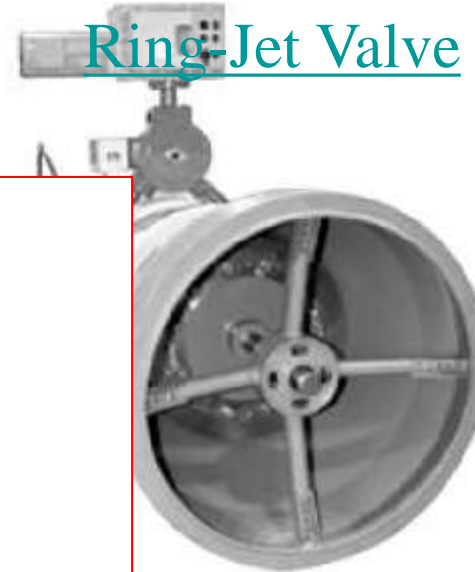
Fermé

Ouvert

## Howell-Bunger Valve



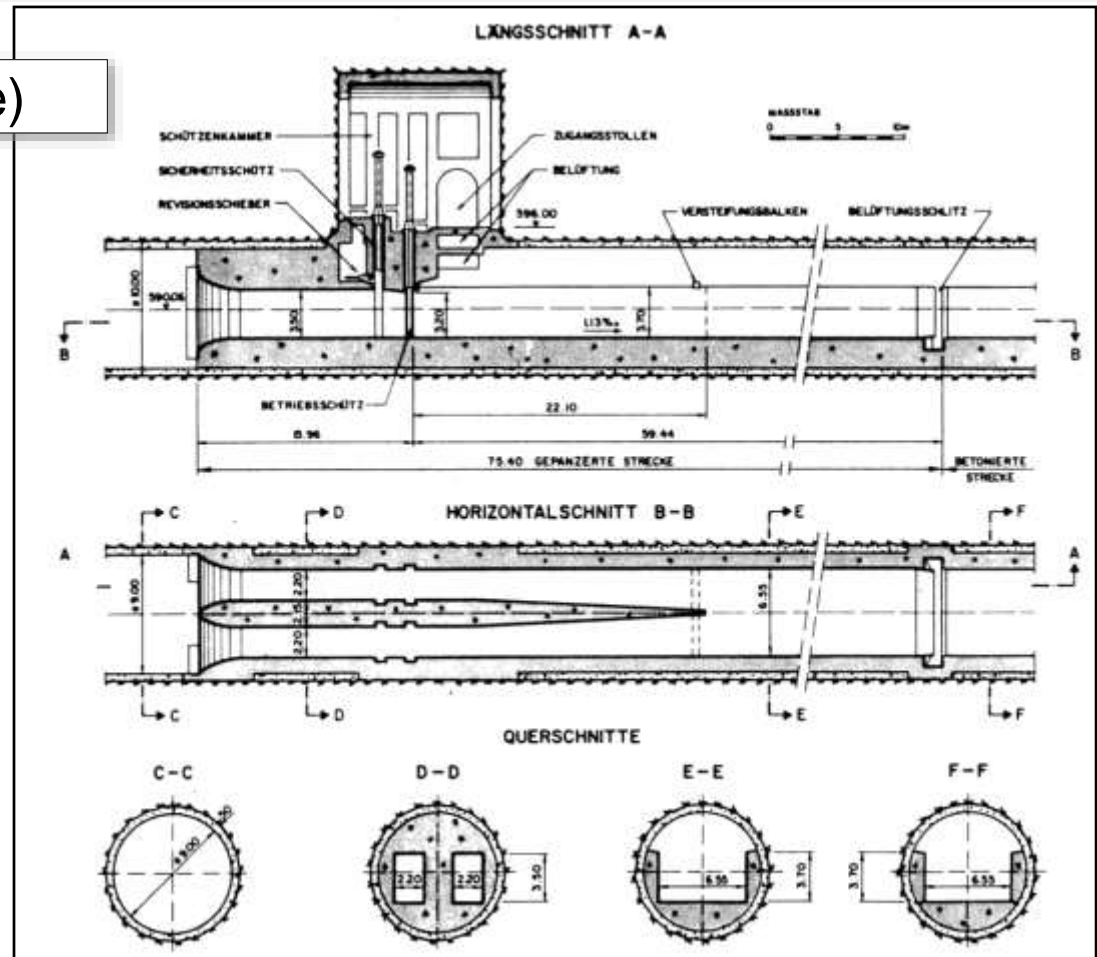
## Ring-Jet Valve



Johnson and Dham, 2006

## Chambre des vannes

Exemple: Alicura (Argentine)



## Galerie de vidange aval et ouvrage de restitution

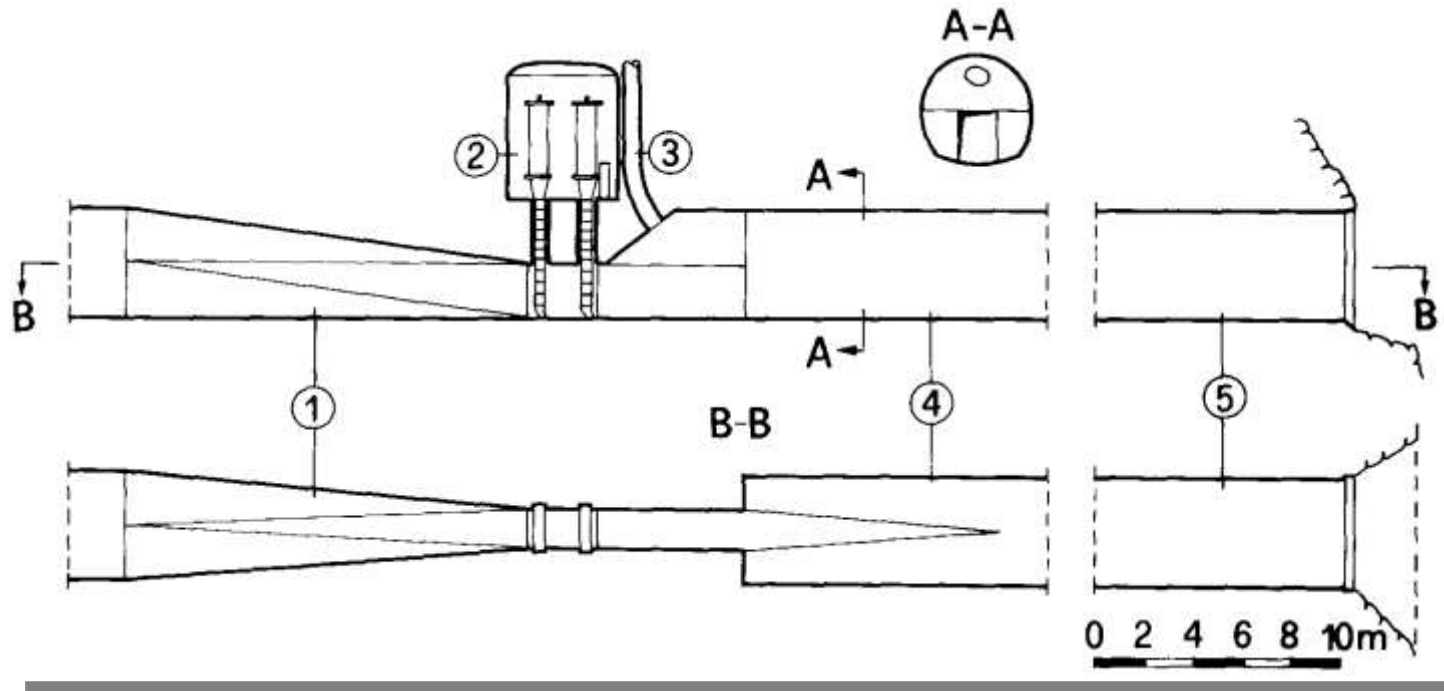
### Galerie de vidange aval

- ⇒ **Ecoulement à surface libre indispensable (aération, vibration des vannes)**
- ⇒ **Aération à l'aval des vannes nécessaire**
- ⇒ **Section rectangulaire dans la partie mouillée**
- ⇒ **Sans changements de direction**

### Ouvrage de restitution

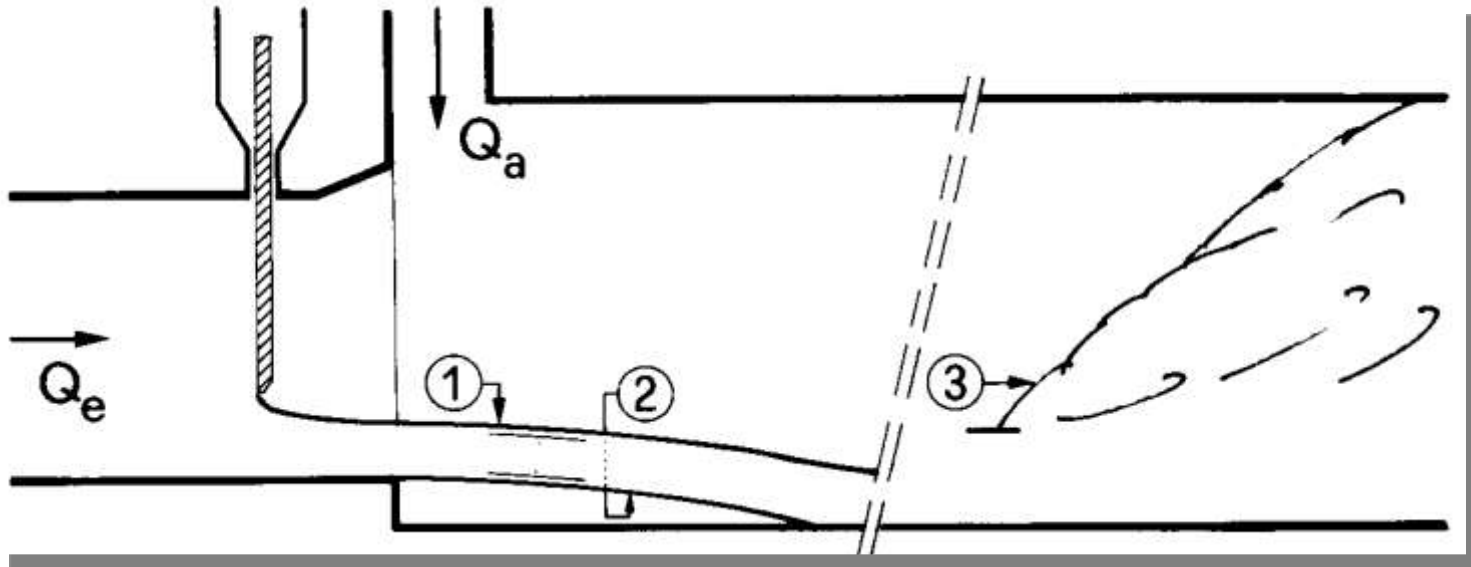
- ⇒ **Lit rocheux**
  - ◆ saut de ski
- ⇒ **Lit érodable**
  - ◆ saut de ski
  - ◆ bassin amortisseur

## Galerie de vidange aval



- 1 – Transition cercle-rectangle
- 2 – Chambre des vannes
- 3 – Dispositif d'aération (voûte)
- 4 – Galerie de vidange aval
- 5 – Sortie / ouvrage de dissipation

## Galerie de vidange aval - aération

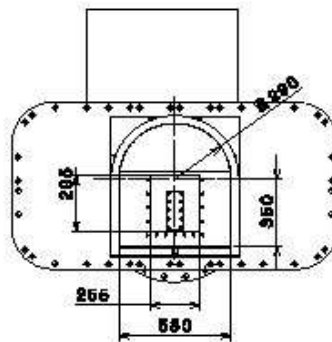
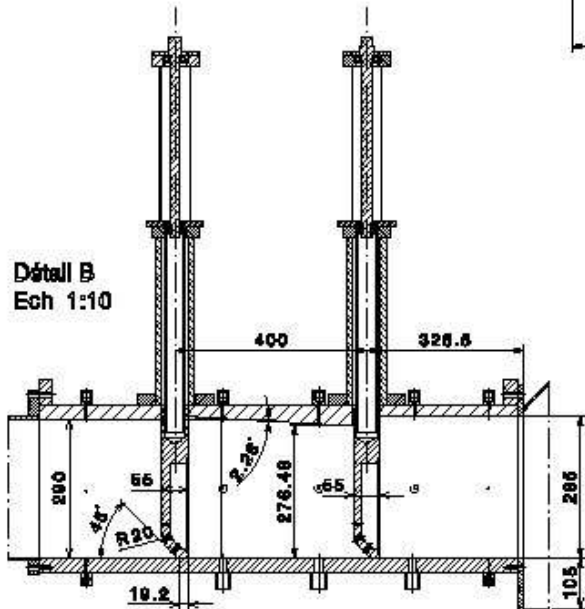
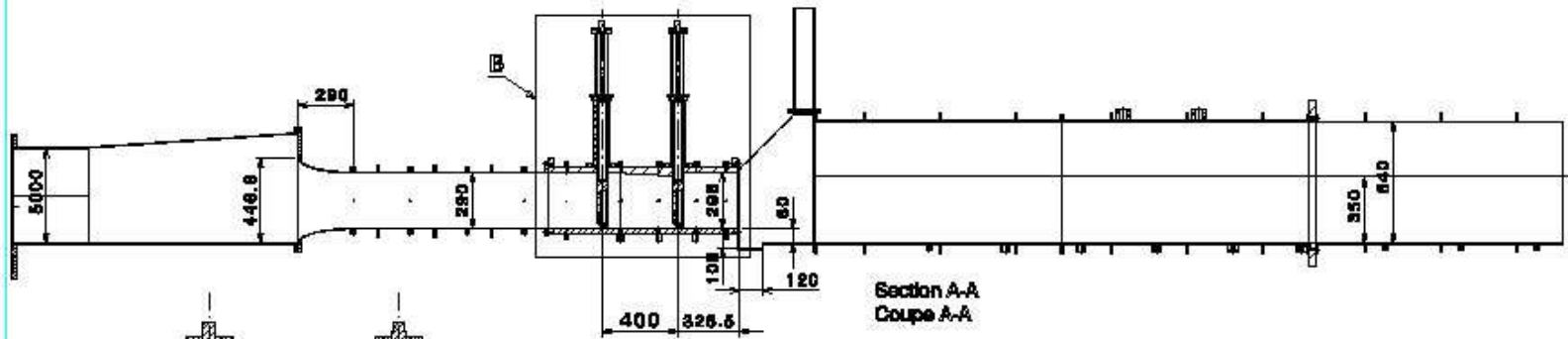


*Schéma des écoulements d'air  $Q_a$  et d'eau  $Q_e$  dans une vidange de fond, (Sinniger, Hager, 1989)*

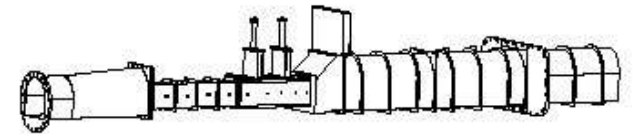
- ① *aération de la nappe supérieure*
- ② *aération de la nappe inférieure*
- ③ *entraînement d'air dans le ressaut hydraulique éventuel*

Essais sur modèle  
physique  
Exemple -  
Karahnjúkar - Islande



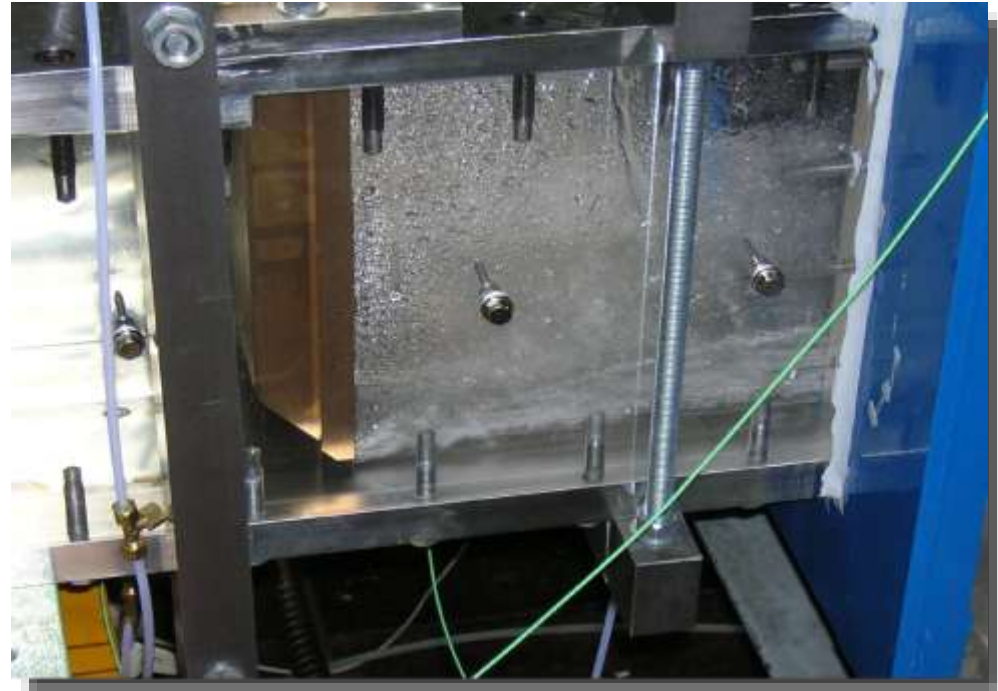


Right view  
Vue de droite

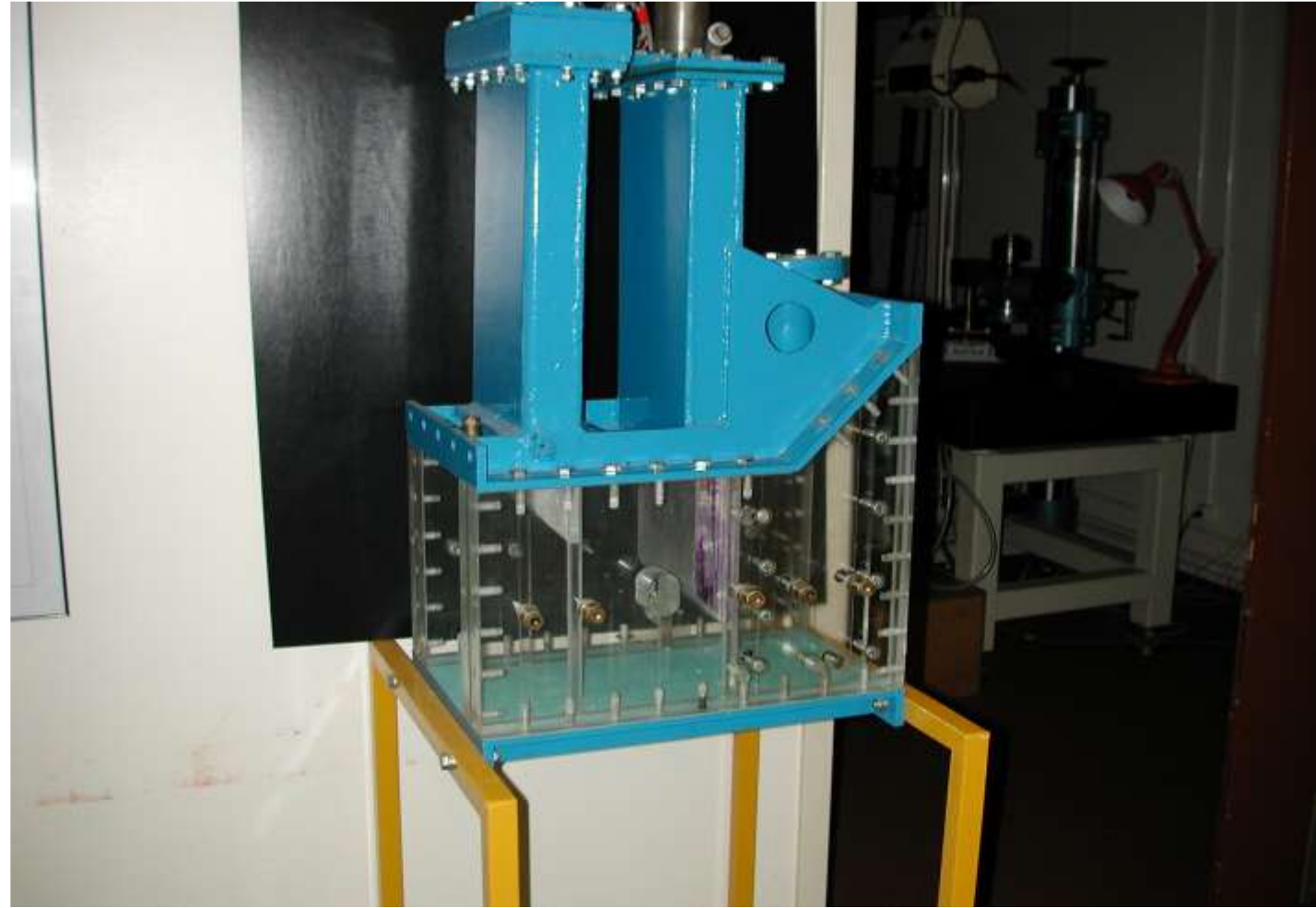


Nbr	Qte	DESCRIPTION	REP.	MATIERE	OBSERVATIONS
2	1	Bas de vanne			Fichier: karahnjukar/modèle_vanne
					Remplacé par:
					Remplace:
<b>KARAHNJUKAR DAM</b> <b>Bottom outlet / Vanne de fond</b> <b>(Model scale 1:10)</b>					<b>EMELLE</b> Dessiné : A.A.Khalil 08.11.2008 1:25 Contrôlé : 1:10 Vérifié de projection :
SOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE LABORATOIRE DE HYDRAULIQUE					3442 - 3195

Essais sur modèle physique  
Exemple - Karahnjukar - Islande



Essais sur modèle  
physique  
Exemple - Karakaya  
- Turquie

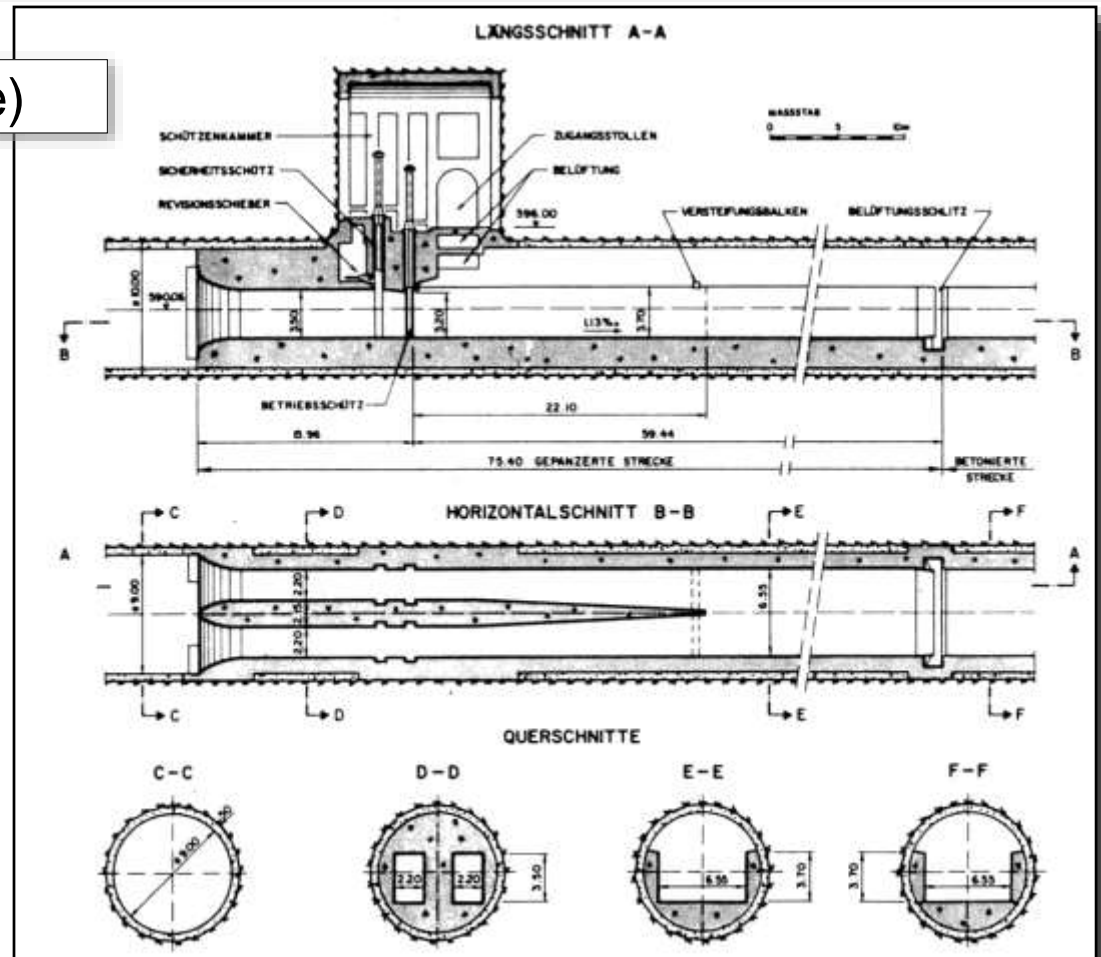


Essais sur modèle  
physique  
d'un vidange de fond  
type,  
 $v \approx 22$  m/s  
(VAW-ETHZ, 2021)



## Chambre des vannes

Exemple: Alicura (Argentine)



## Galerie de vidange aval et ouvrage de restitution

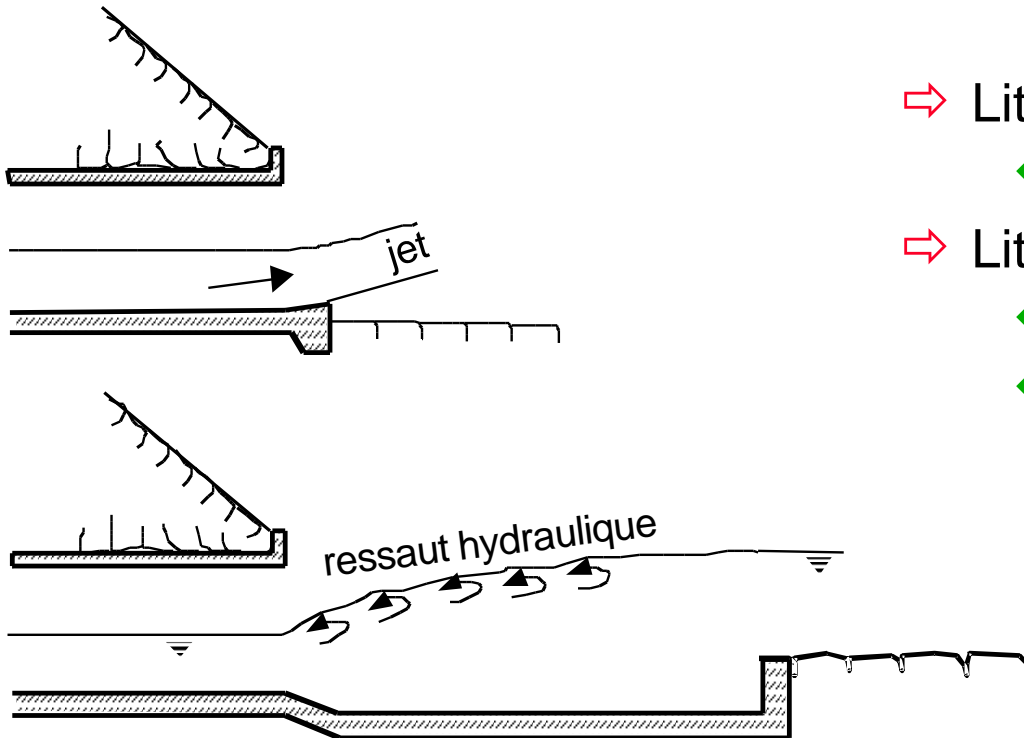
### Galerie de vidange aval

- ⇒ Ecoulement à surface libre indispensable (aération, vibration des vannes)
- ⇒ Aération à l'aval des vannes nécessaire
- ⇒ Section rectangulaire dans la partie mouillée
- ⇒ Sans changements de direction

### Ouvrage de restitution

- ⇒ **Lit rocheux**
  - ◆ saut de ski
- ⇒ **Lit érodable**
  - ◆ saut de ski
  - ◆ bassin amortisseur

## Ouvrage de restitution



- ⇒ Lit rocheux
  - ◆ saut de ski
- ⇒ Lit érodable
  - ◆ saut de ski
  - ◆ bassin amortisseur

Tarbela, Pakistan



Tarbela, Pakistan



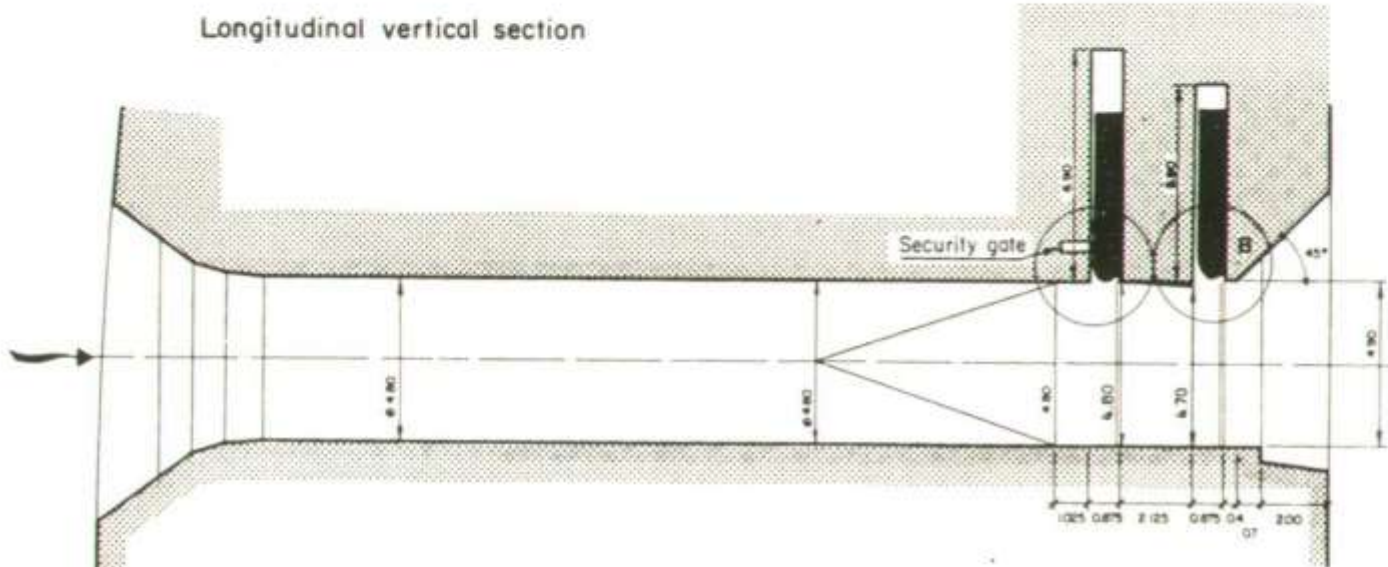


Cabora Bassa, Mozambique

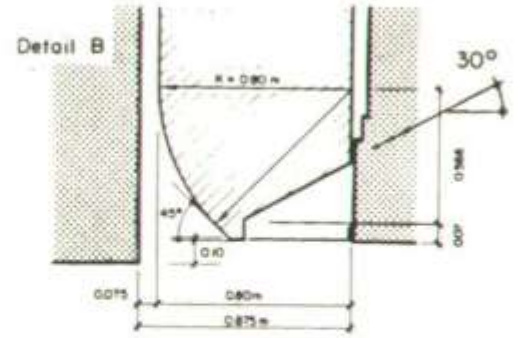
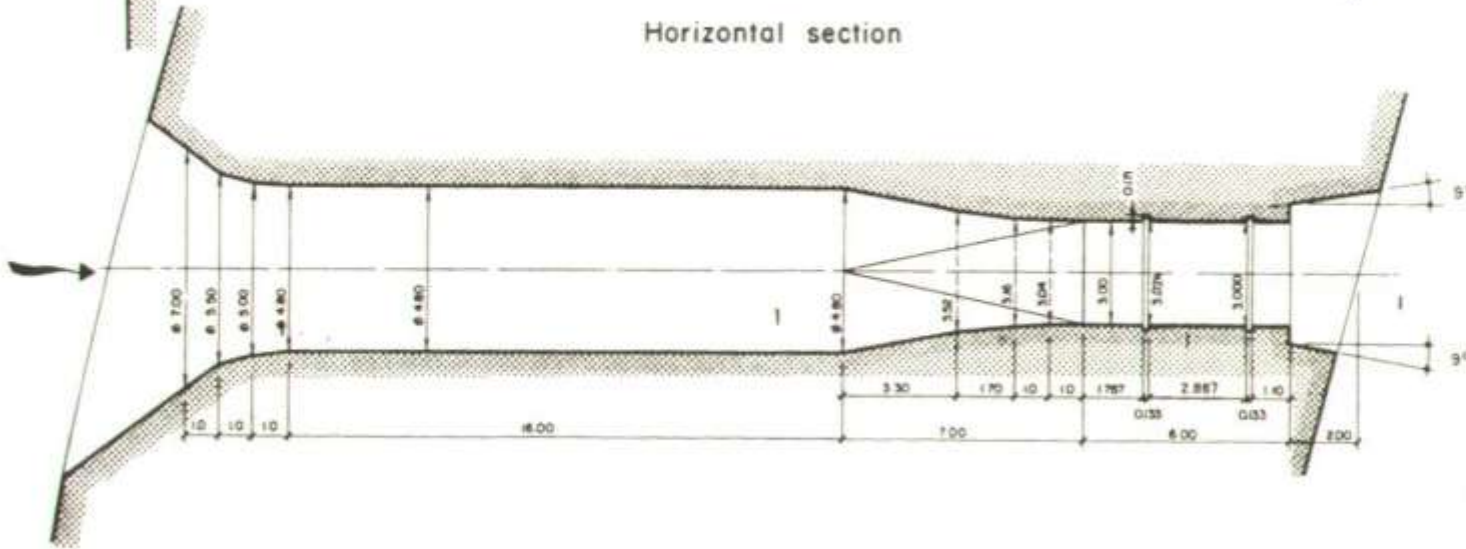


# Barrage de El Cajon, Guatemala

Longitudinal vertical section



Horizontal section



combinée avec  
le barrage

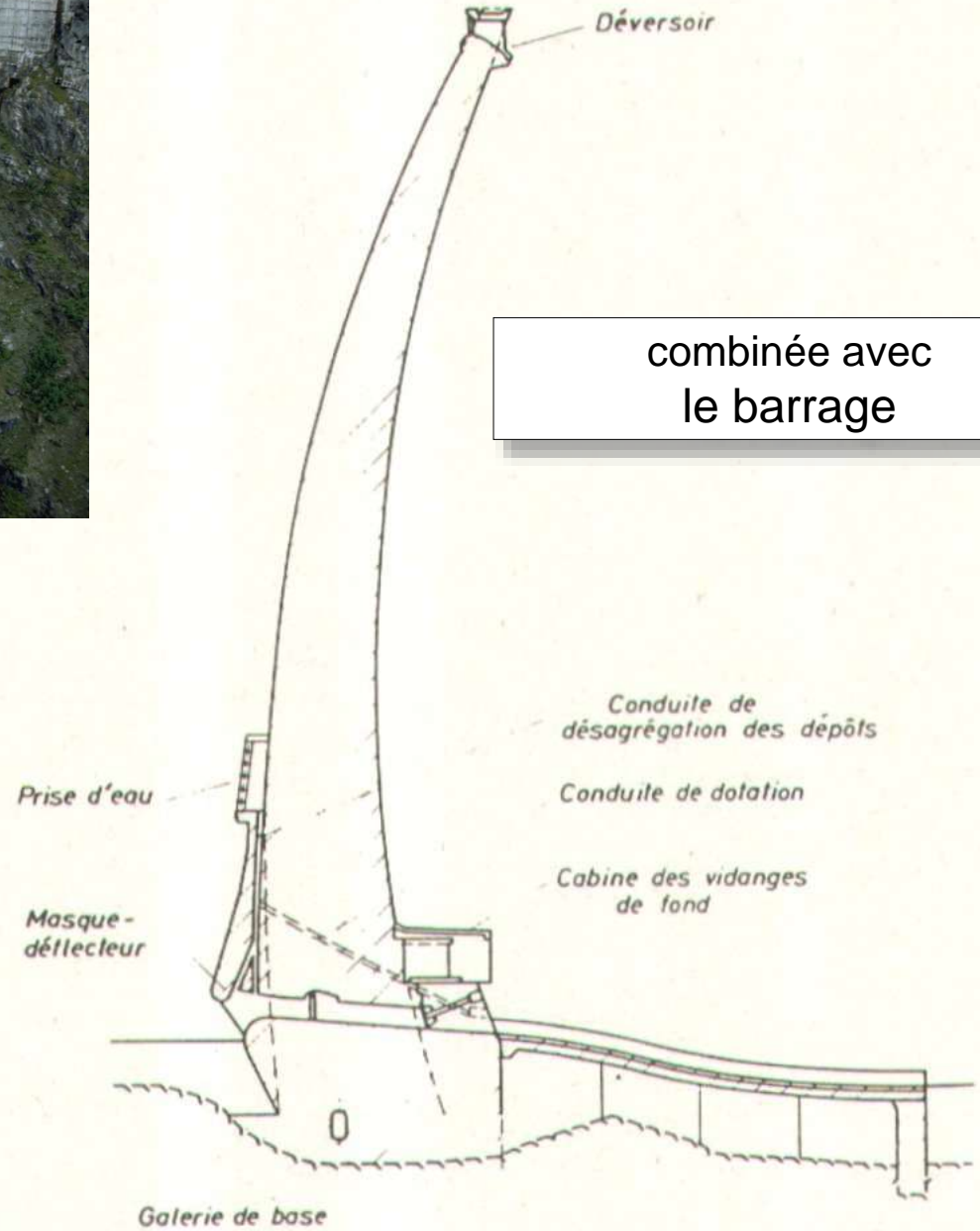




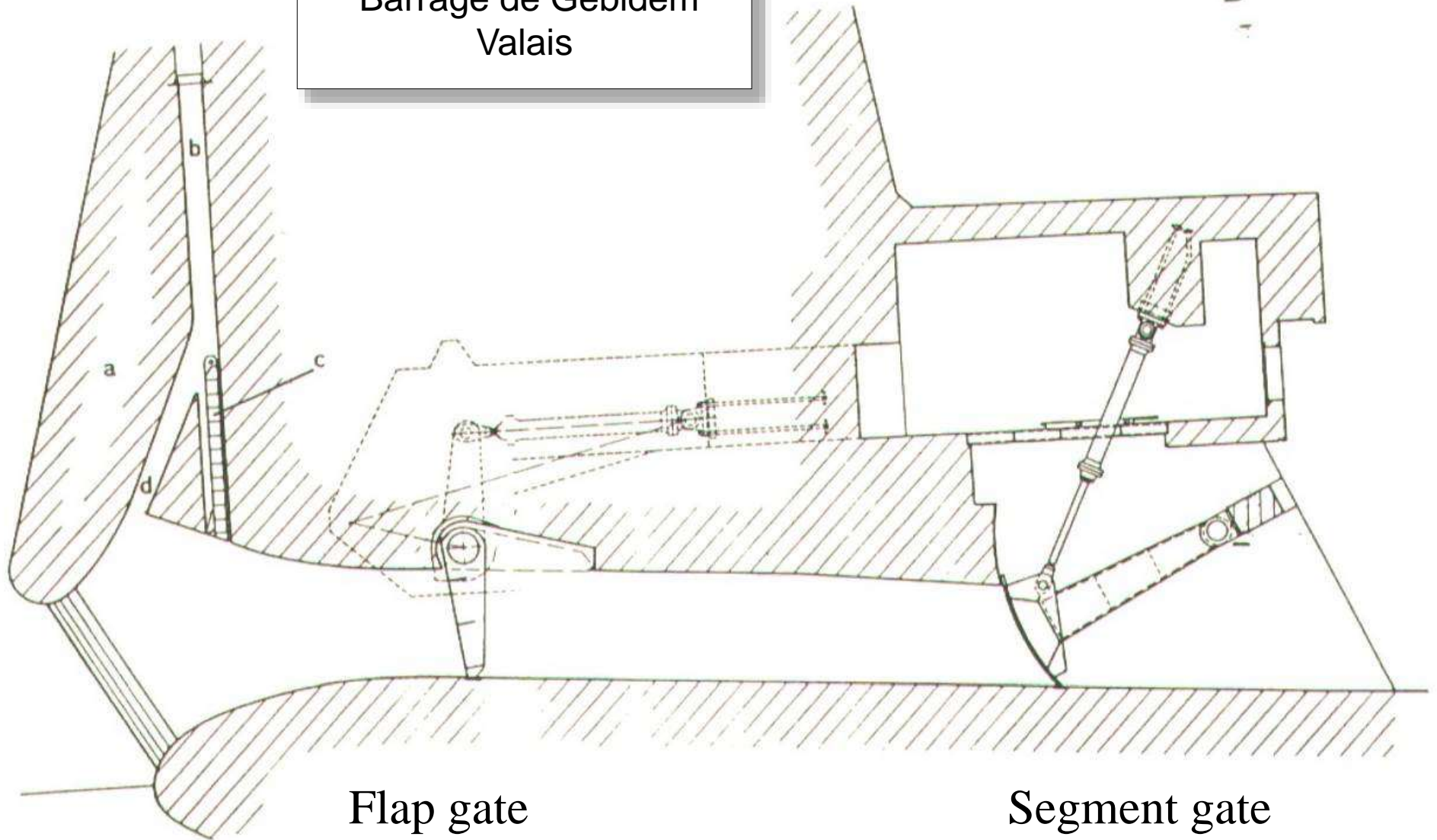
Gebidem

combinée avec le barrage

Barrage de Gebidem  
Valais



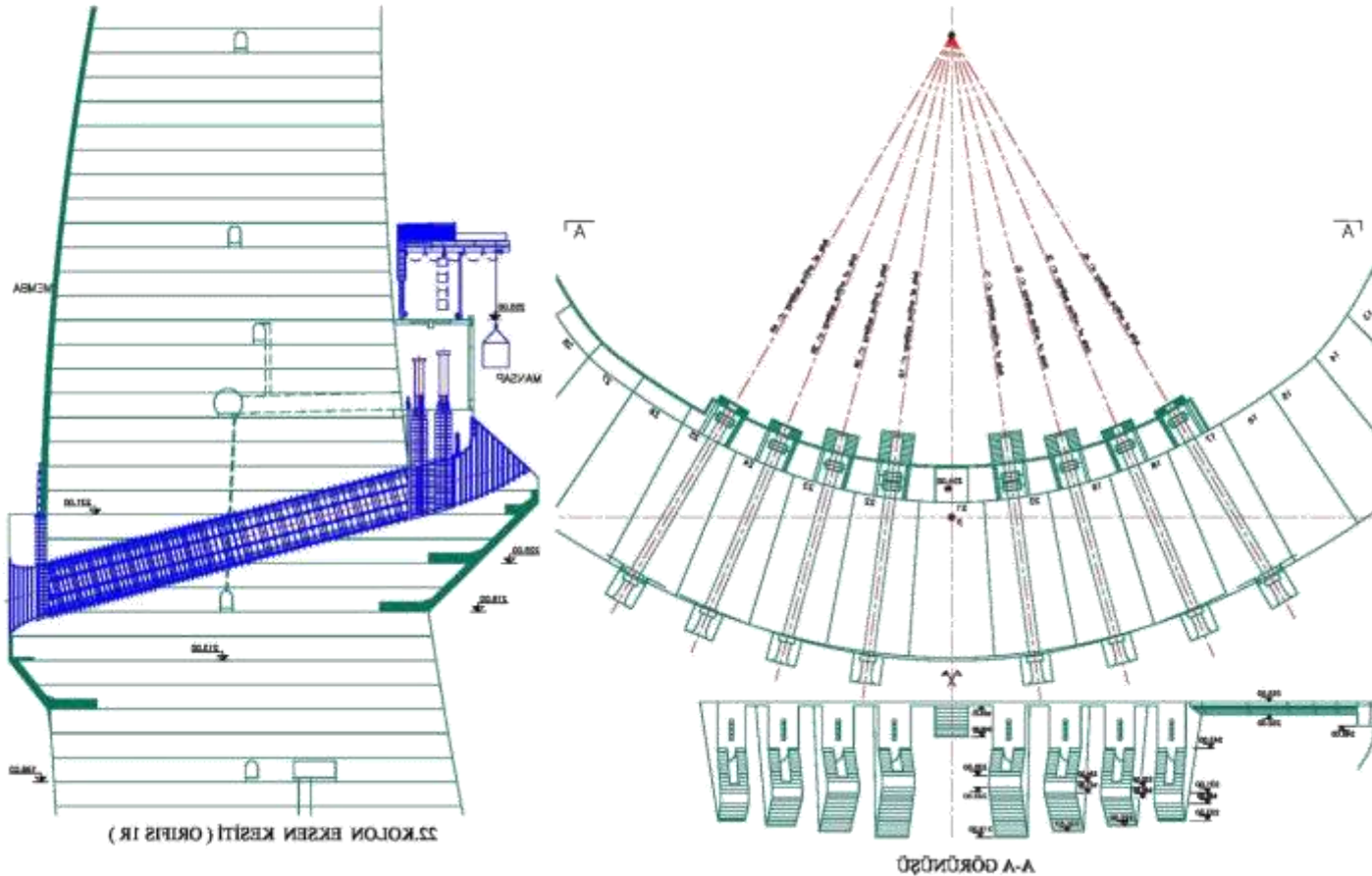
Barrage de Gebidem  
Valais



Flap gate

Segment gate

## Vannes de fond



Deriner, TK  
H = 248 m  
8 orifices  
Ham ~ 170 m  
Hvs ~ 155 m

03.2013



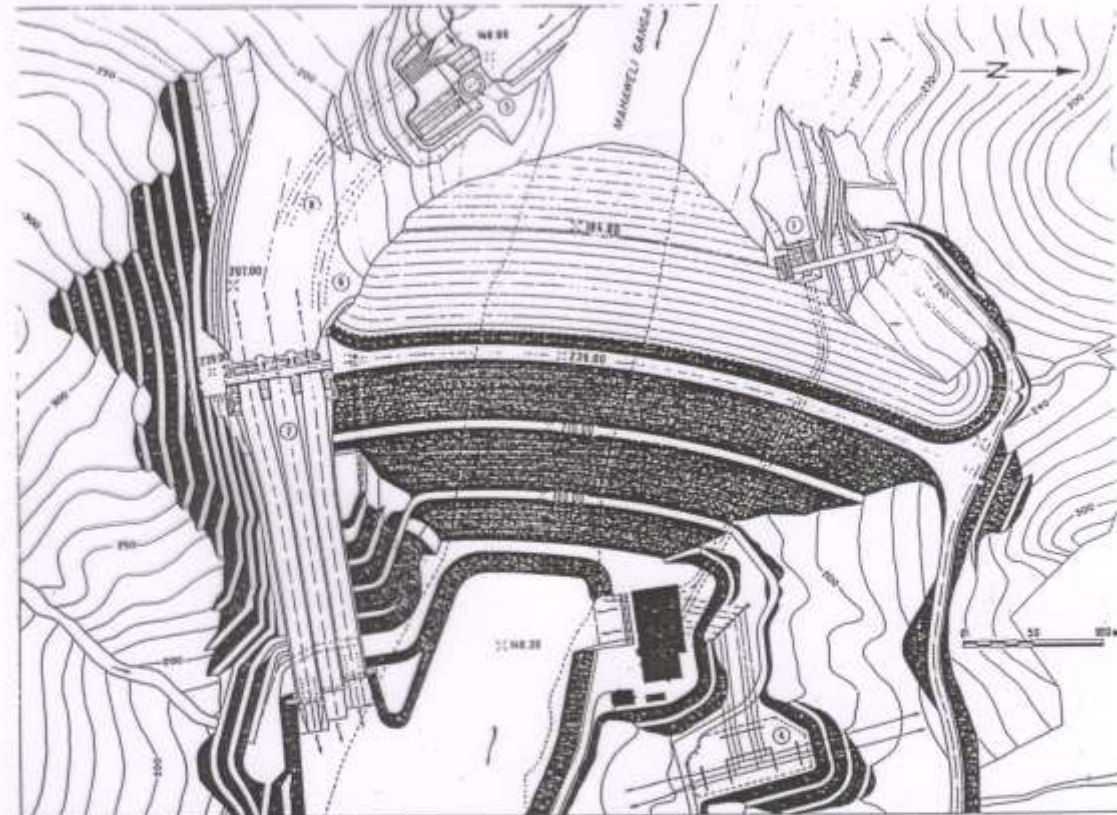
# Dam Engineering Outlet works



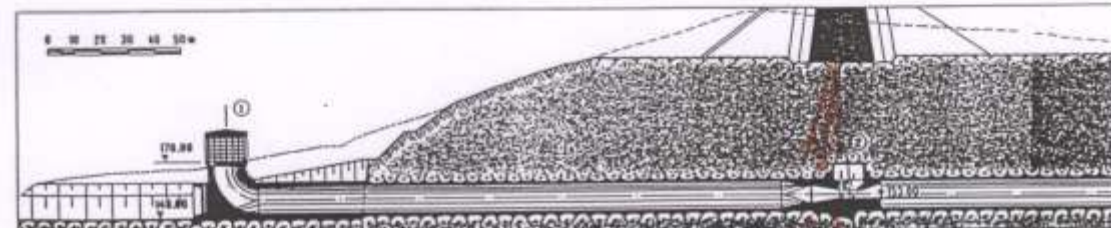
Randenigala, Sri Lanka,  
1985, 102 m

Wasserkraftanlage Randenigala

combinée avec  
la galerie de dérivation



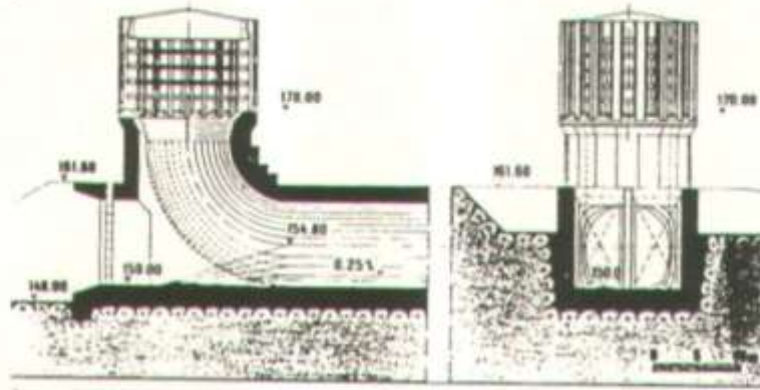
- 1 Power Intake
- 2 Penstock
- 3 Powerhouse
- 4 Switchyard
- 5 Bottom and irrigation intake
- 6 Diversion tunnel No 1
- 7 Spillway
- 8 Diversion tunnel No 2



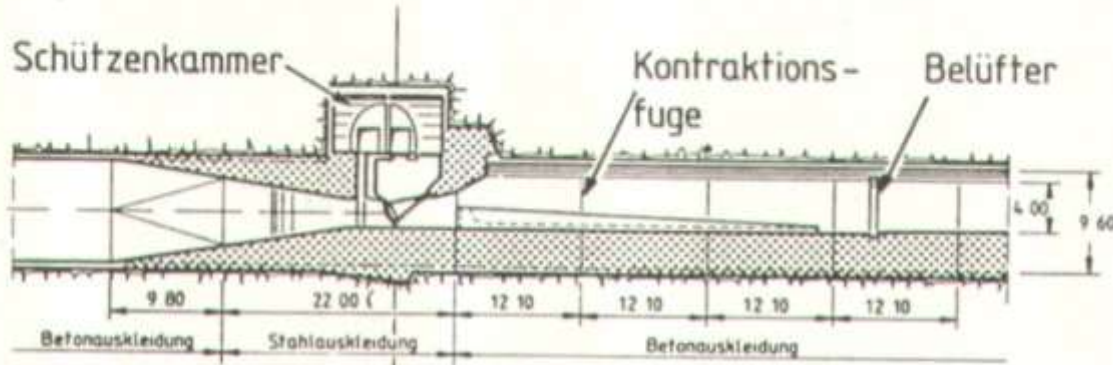
- 1 Intake
- 2 Gate chamber

*Esma  
Métairie*

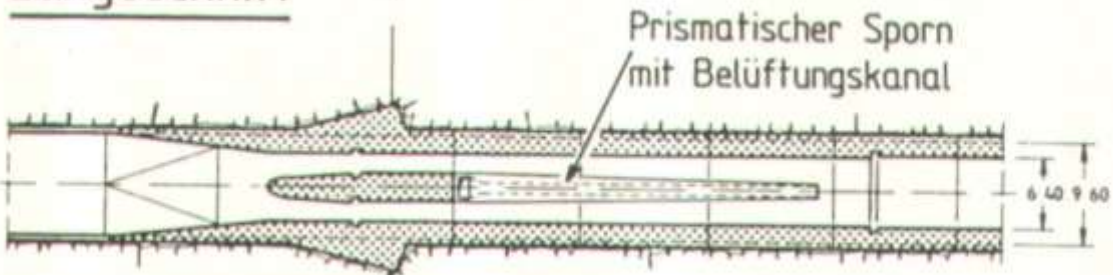
Détail aérateur



Bottom and irrigation intake, sections

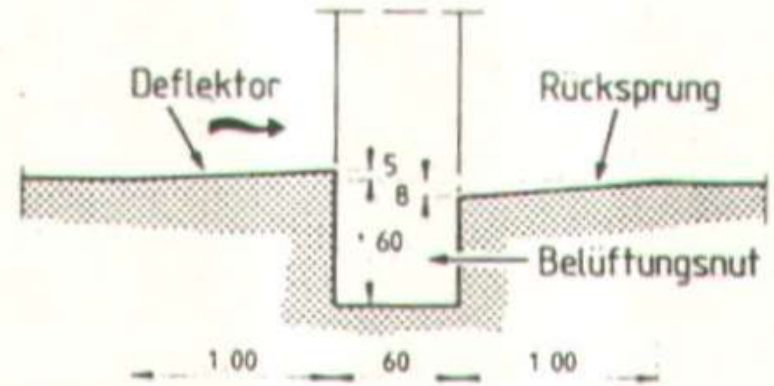


Längsschnitt

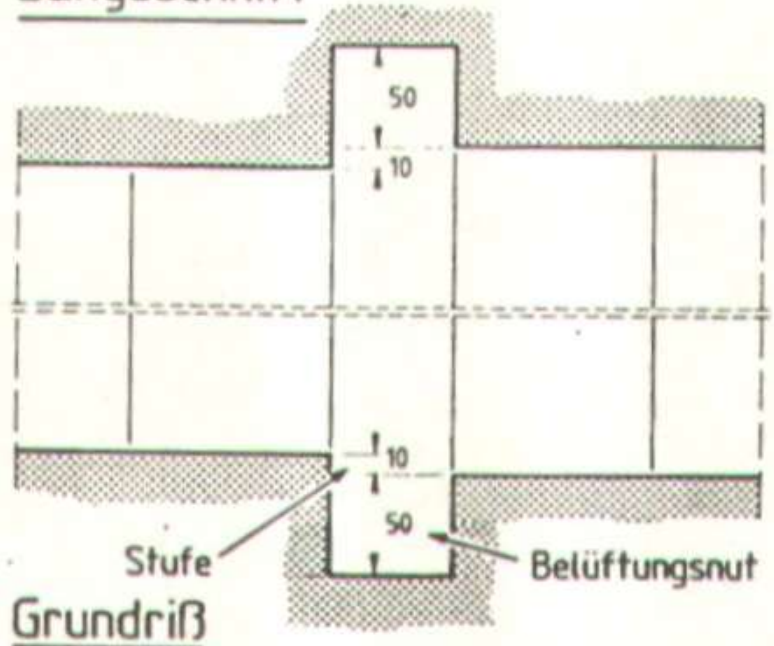


Grundriß

← Verpressschleier



Längsschnitt



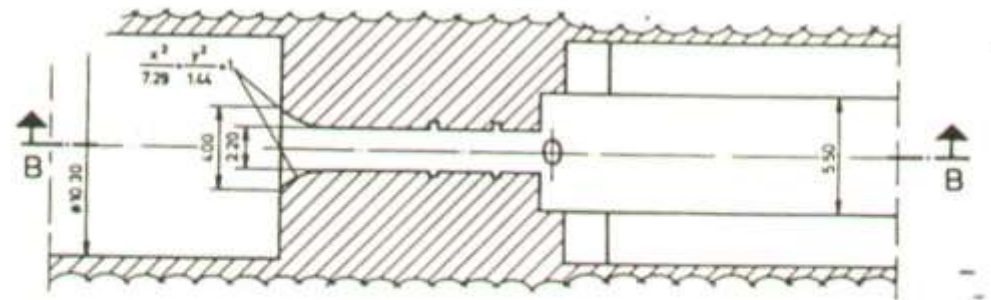
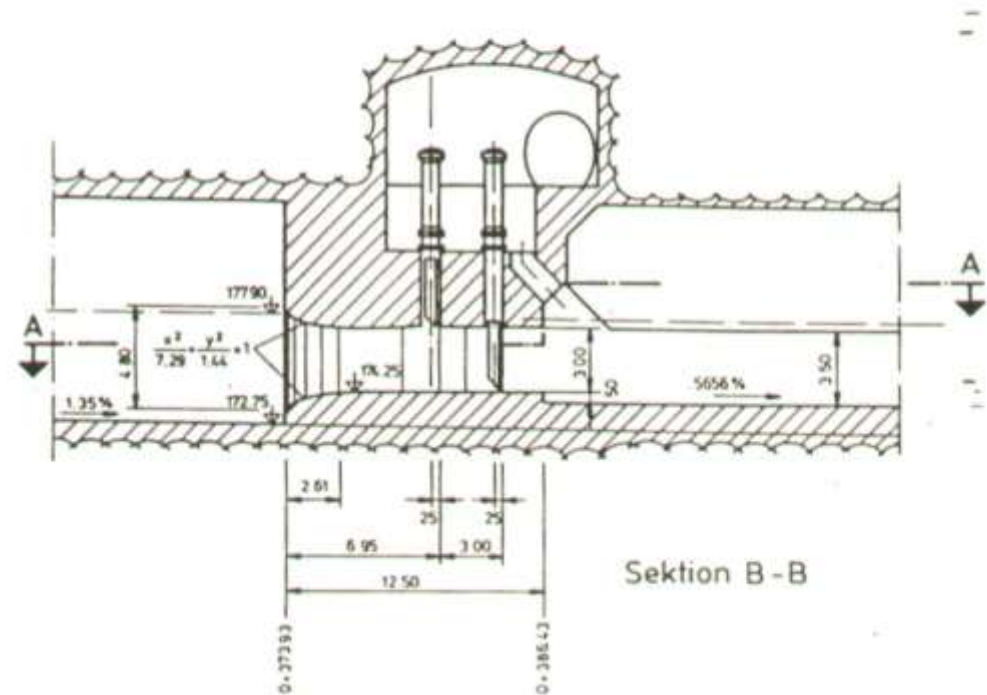
Grundriß

Stufe

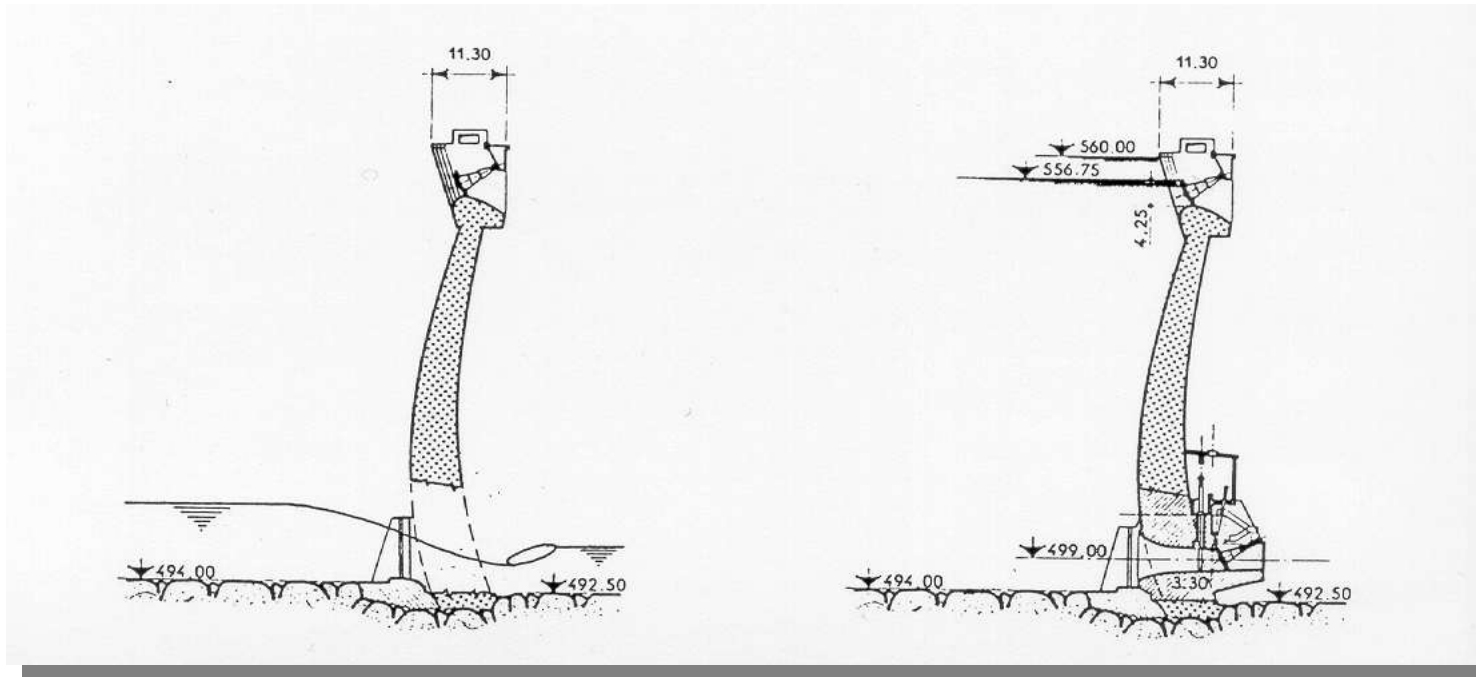
Belüftungsut

Barrage de Aghios  
Nicolaos, Grèce

combinée avec  
la galerie de dérivation



## Combinaison dérivation - vidange de fond

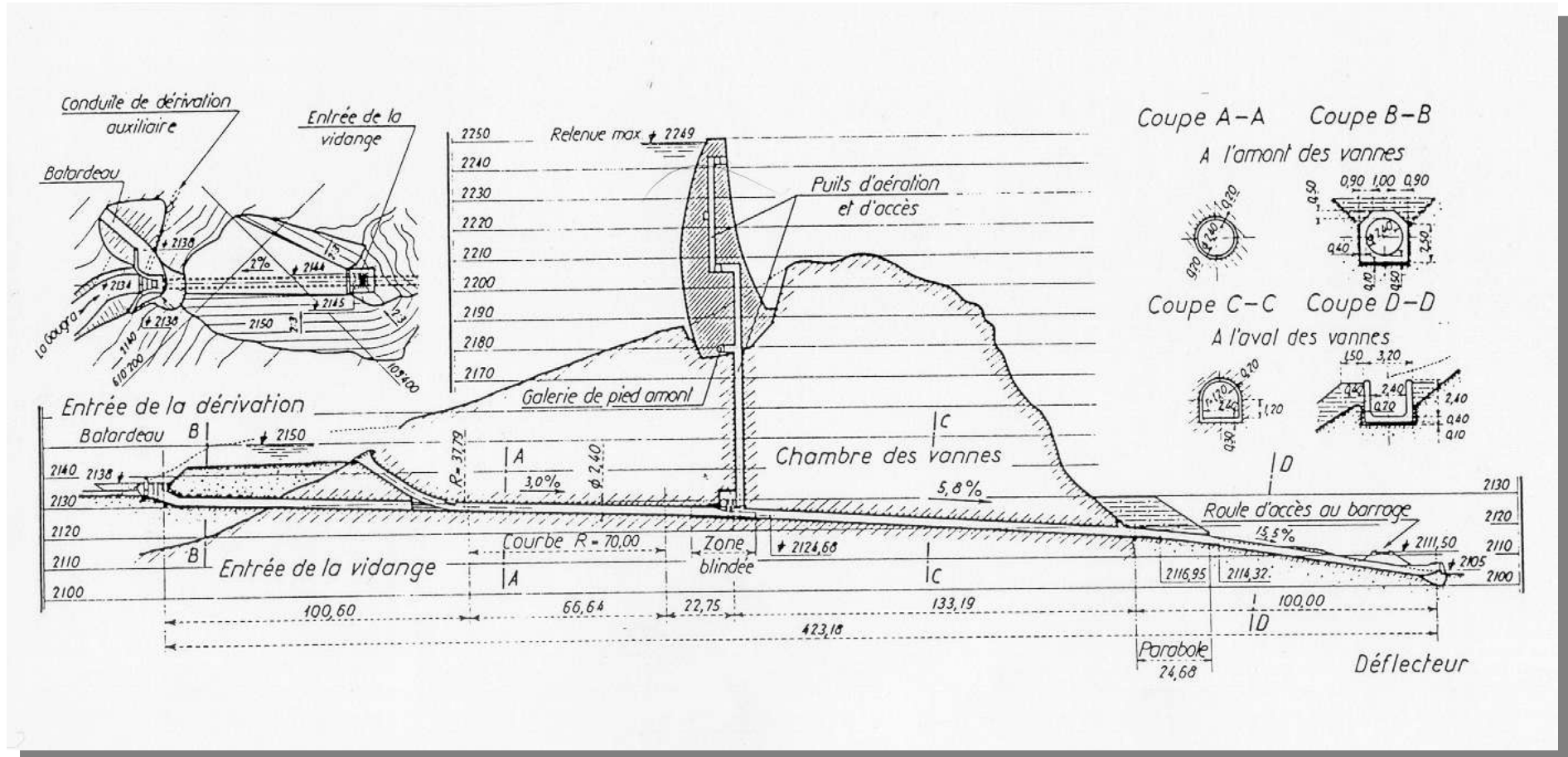


Provisoire

Définitif

Exemple:  
La Barthe,  
France

# Combinaison dérivation - vidange de fond



Exemple: Moiry, (VS) Suisse

## Dimensionnement hydraulique

### ⇒ Critères pour le débit de dimensionnement

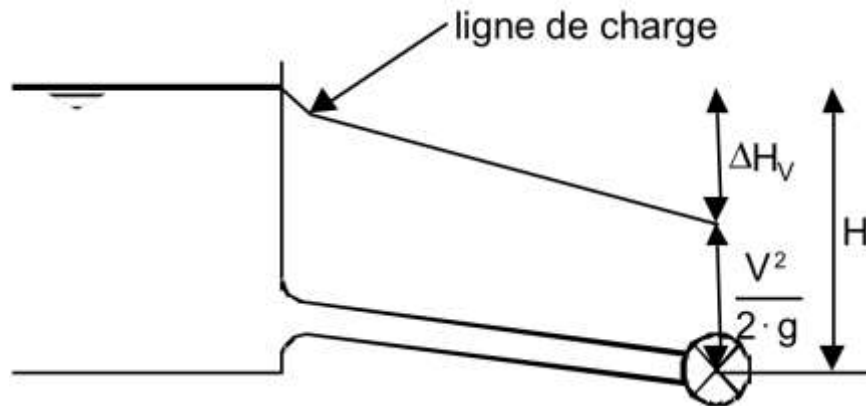
- ◆ le niveau du plan d'eau dans la retenue doit être maintenu constant pendant une certaine période
- ◆ le niveau du plan d'eau dans la retenue doit être abaissé d'une certaine tranche pendant une période déterminée (sécurité)

### ⇒ Règle (très) approximative

- ◆ capacité de la vidange de fond doit être 2 fois plus grande que le module des apports en eau

## Calcul du débit

⇒ Section nécessaire de la vanne



$$H = \frac{V_v^2}{2 \cdot g} + \Delta H_v$$

avec:

$V_v$ : vitesse dans la section de la vanne

$$\Delta H_v = \sum \Delta H_{v_i} = \sum \zeta_i^* \cdot \frac{V_v^2}{2 \cdot g}$$

$$\zeta_i^* = \zeta_i \cdot \left( \frac{A_v}{A_i} \right)^2$$

$\Delta H_{v_i}$ : pertes de charge locales et réparties

## Calcul du débit

⇒ Vitesse d'écoulement (vanne complètement ouverte)

$$v_v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + \sum \xi_i^*}}$$

$$\xi_i^* = \xi_i \left( \frac{A_v}{A_i} \right)^2$$

$A_v$ : section de la vanne  
(section de contrôle)  
 $\xi_i$ : coefficient de pertes de  
charge locales et réparties

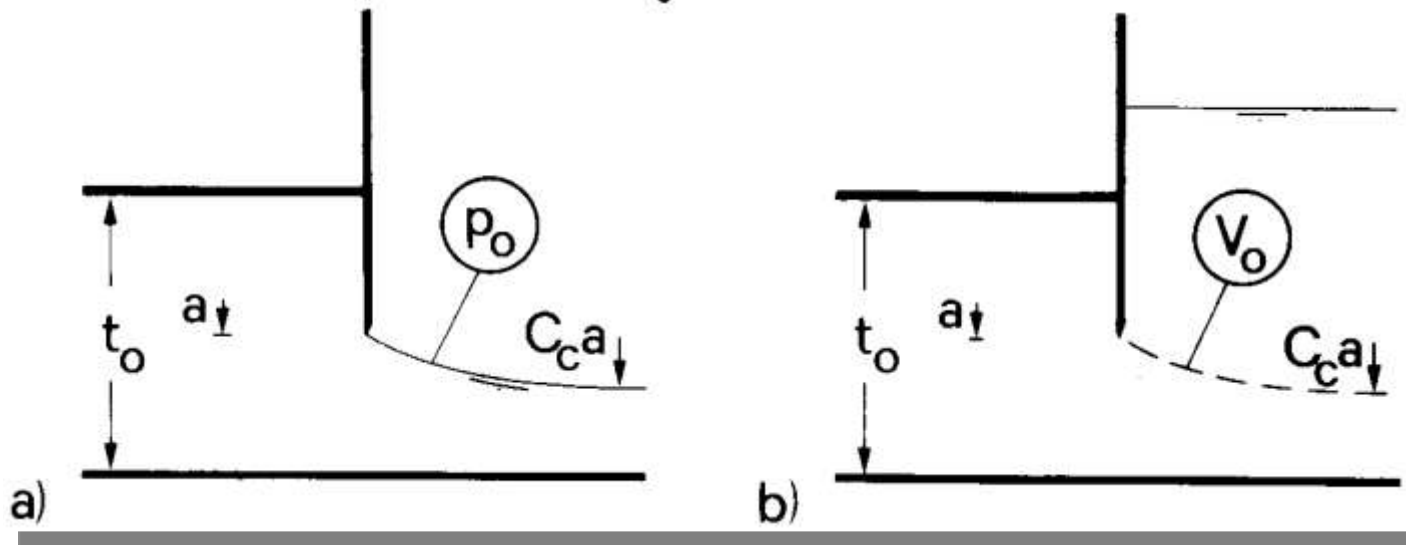
⇒ Section nécessaire de la vanne

$$A_v = \frac{Q}{\sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + \sum \xi_i^*}}}$$

$$\xi_i^* = \xi_i \left( \frac{A_v}{A_i} \right)^2$$

$A_i$ : section locale ( $> A_v$ )

## Calcul du débit - vanne partiellement fermée

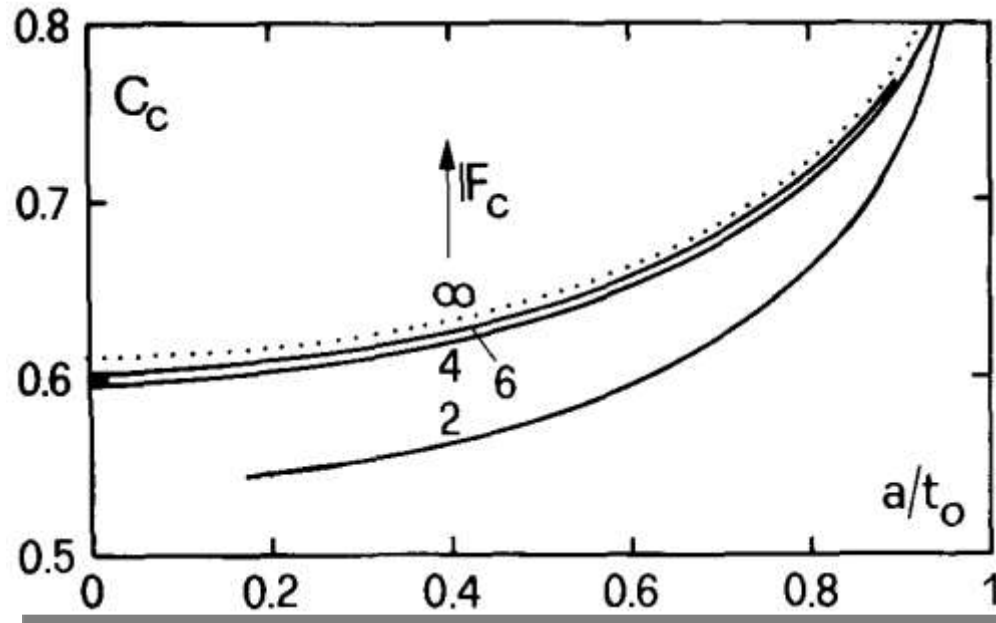


Écoulement par-dessous une vanne de fond

a) écoulement libre à pression  $p_0$  de surface constante

b) écoulement submergé à vitesse  $V_0$  constante le long de la (---)  
surface de séparation

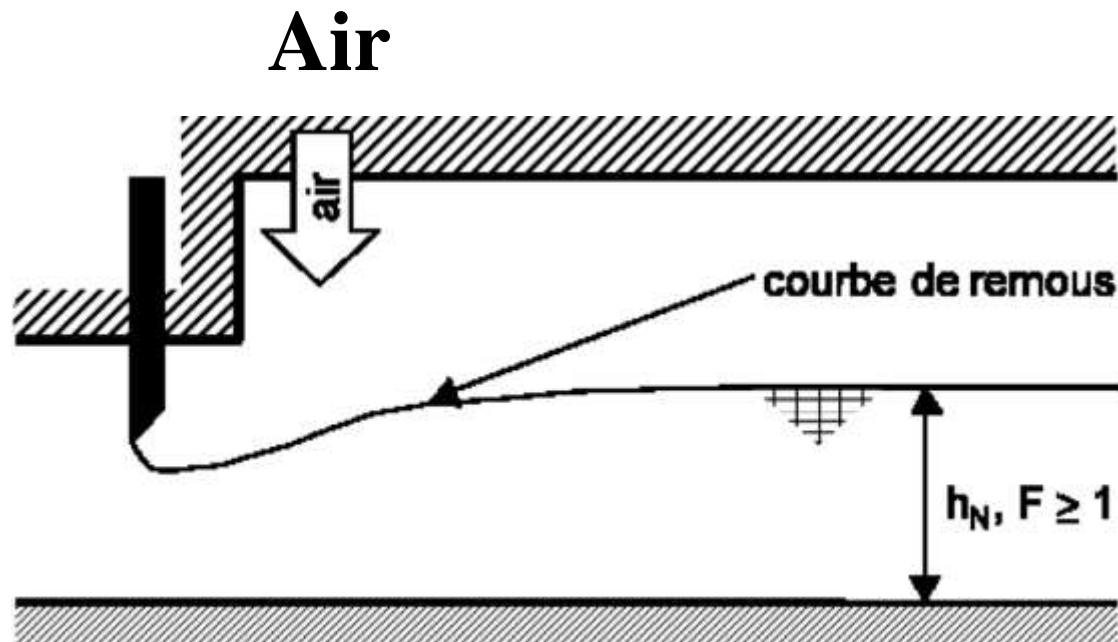
## Calcul du débit - vanne partiellement fermée



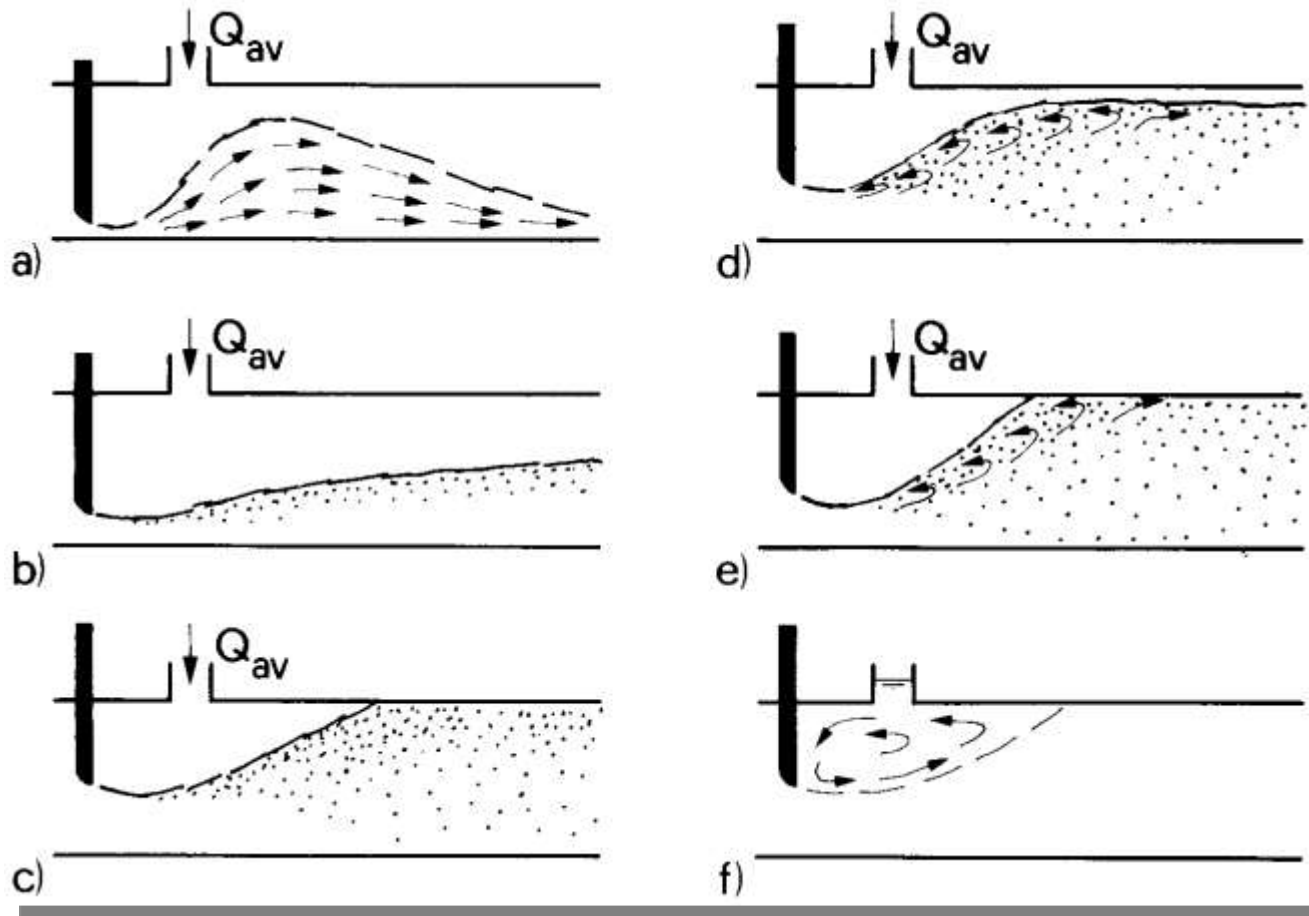
Effet du nombre de Froude  $F_c$  sur le coefficient de contraction  $C_c$  pour diverses ouvertures relatives  $a / t_o$  d'une vanne de fond selon Naudascher (1987).

(.....) nombre de Froude d'approche  $F_1 \rightarrow \infty$

## Ecoulement aval - Aération

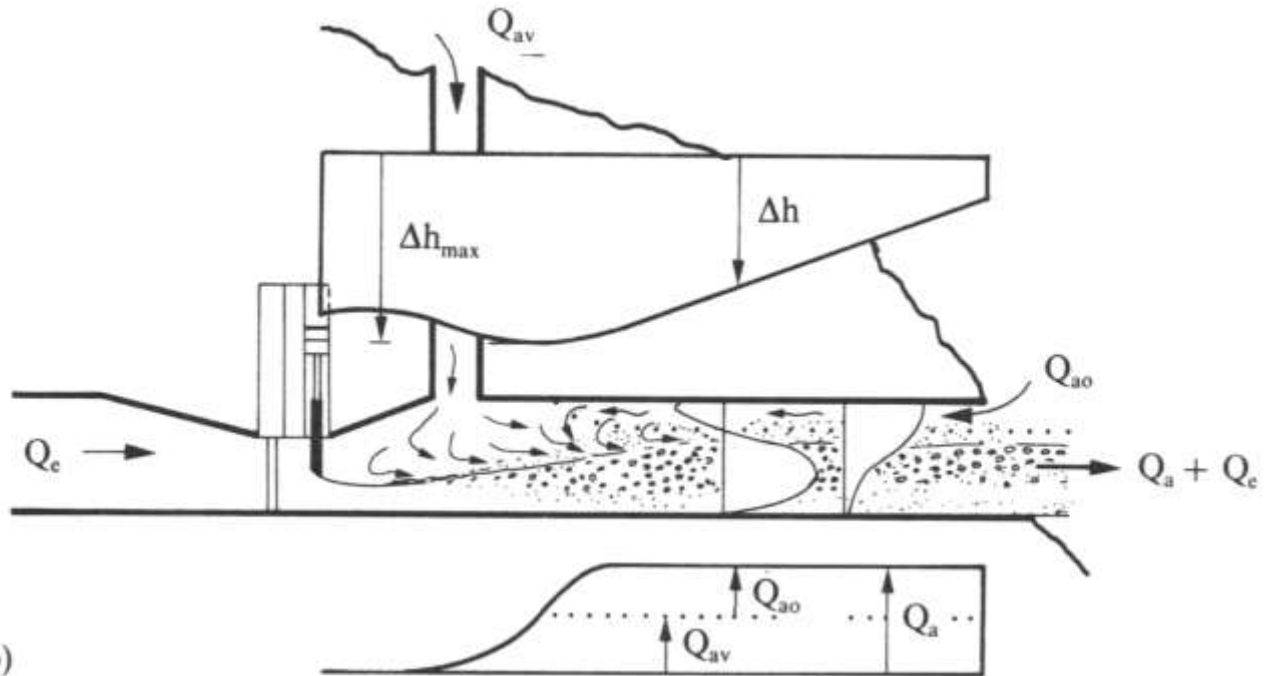
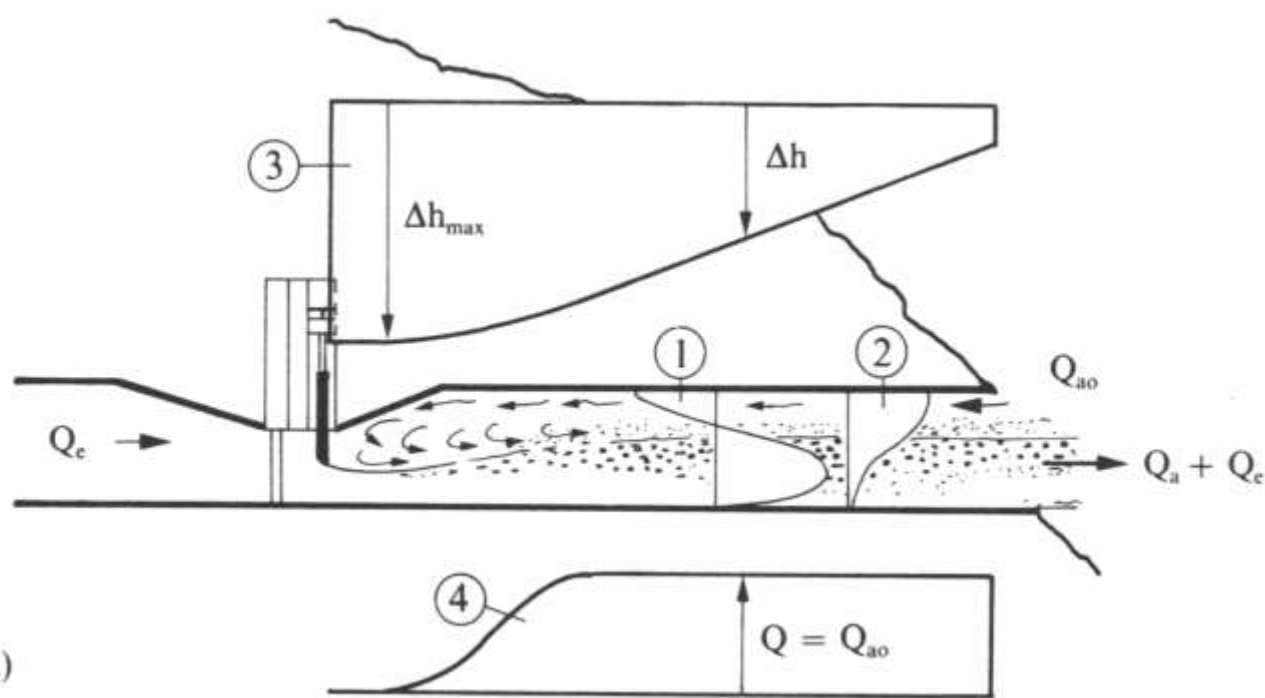


## Ecoulement aval - Types d'écoulement

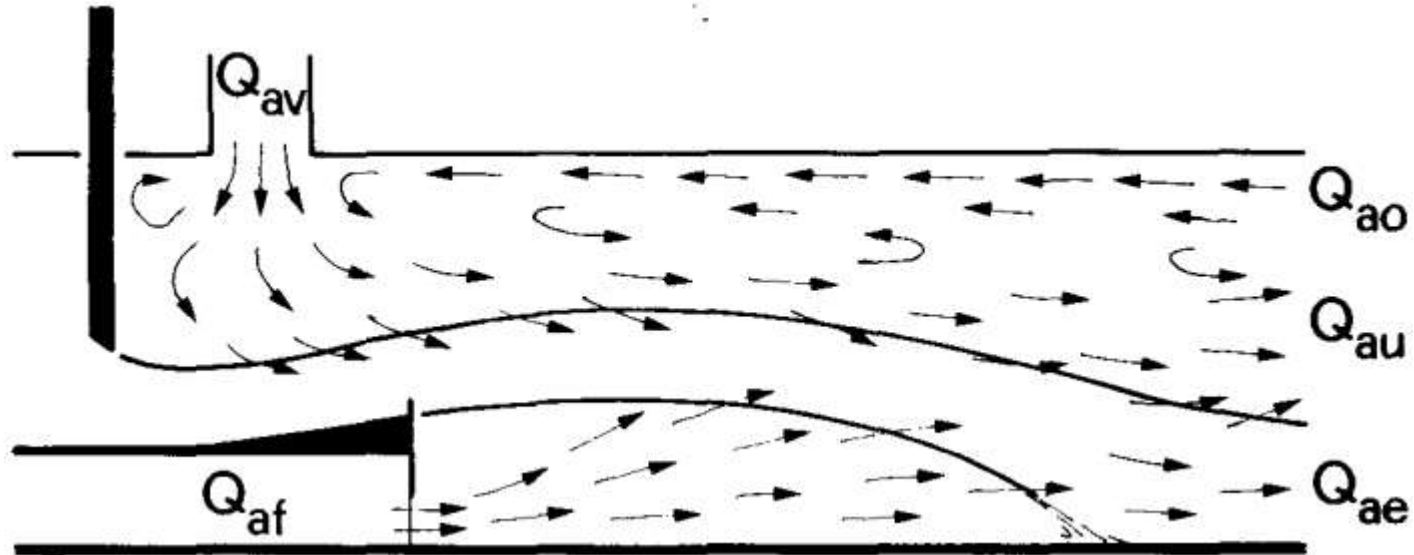


Objectifs de  
l'aération

Garantir écoulement  
à surface libre et  
éviter des dégâts de  
cavitation



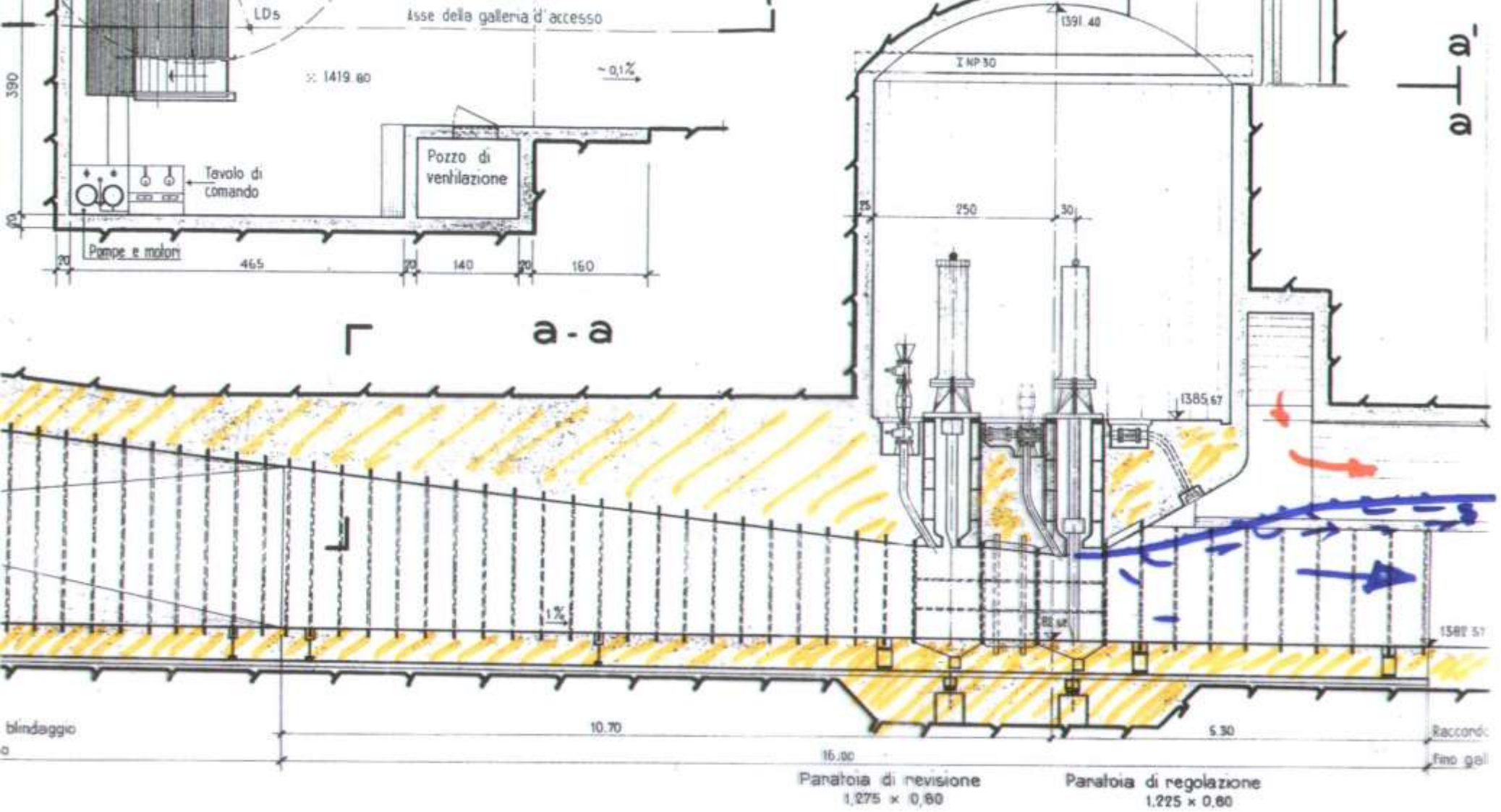
## Mécanismes d'aération



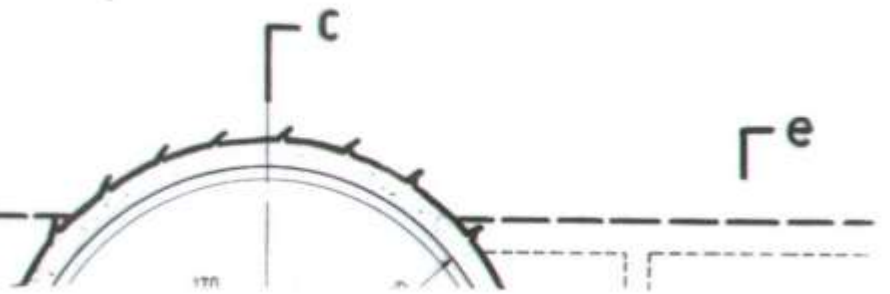
- $Q_{ae}$ : débit d'air entraîné par l'écoulement bi-phasique
- $Q_{au}$ : débit d'air mis en mouvement au-dessus de l'écoulement
- $Q_e$ : débit de l'écoulement
- $Q_{ao}$ : débit d'air aspiré depuis la sortie aval
- $Q_{av}$ : débit d'air provenant des conduites d'aération ("vent")
- $Q_{af}$ : débit d'air provenant des conduites de fond







Pianta b-b



## Aération - Calcul du débit d'air

### Conduites d'aération au-dessus du jet

#### ⇒ Ecoulement libre

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_e} = 0.94 \left( \frac{A_a^*}{A_u} \right)^{0.90} F_c^{0.62}$$

$$\text{si } 0.12 \leq \frac{a}{t_0} \leq 1 \text{ et } F_c \leq 40$$

- ◆  $A_u$ : section de la galerie aval  $A_a^* = A_a \left( 1 + \sum \xi_i^* \right)^{-1/2}$  : section du canal d'aération réduite tenir compte des pertes de charge
- ◆  $F_c$ : nombre de Froude dans la section contractée  $F_c = \frac{q}{\sqrt{g \cdot (C_c \cdot a)^3}}$

si  $\frac{a}{t_0} \leq 0.06$  et  $F_c > 20$  , la vaporisation de l'eau apparaît:

$$\beta = \frac{A_a^*}{A_u} \cdot F_c$$

ou  $\beta \approx 0.2 F_c$  selon Sharma  $F_c = 5 \rightarrow Q_a = Q_e$

## Aération - Calcul du débit d'air

Conduites d'aération au-dessus du jet

⇒ Ecoulement à ressaut

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_e} = 0.019 \left( \frac{A_a^*}{A_u} \right)^{0.99} F_c^{0.969} \quad \text{si} \quad \frac{C_c \cdot a}{h_p} > 0.04$$

$H_p$ : hauteur d'eau ou hauteur de pression  
à l'aval du ressaut hydraulique

## Aération - Calcul du débit d'air

### Aérateur de fond

⇒ Jet compact

$$\beta_f = C_0 \cdot \left( \frac{A_{af}}{A_{max}} \right)^{C_1} \cdot \left( \frac{L}{C_c \cdot a} \right)^{C_2}$$

- ◆  $A_{af}$ : section de la galerie d'aération
- ◆  $A_{max}$ :  $b \cdot s_{max}$  section maximale au-dessous de la nappe inférieure
- ◆  $L$ : distance effective de lancement du jet (60 % de la valeur théorique)

$\theta$	$C_0$	$C_1$	$C_2$
0°	0.046	0.43	1.25
4.5°	0.042	0.38	1.13
9.0°	0.041	0.47	1.20

⇒ Jet non compact

$$\beta_f = 13.44 \cdot \left( \frac{A_a^*}{A_u} \right)^{1.02} \cdot F_c^{0.26}$$

## Sedimentation

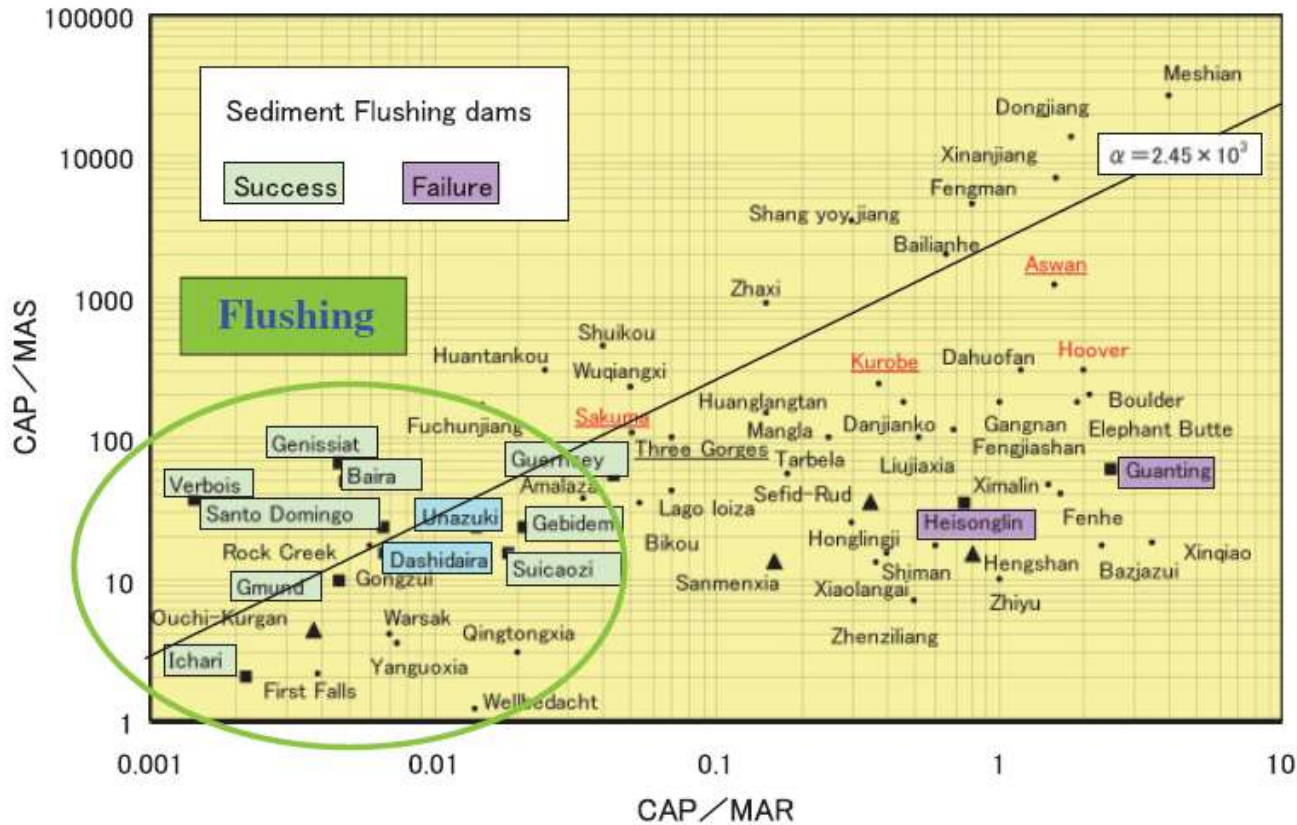
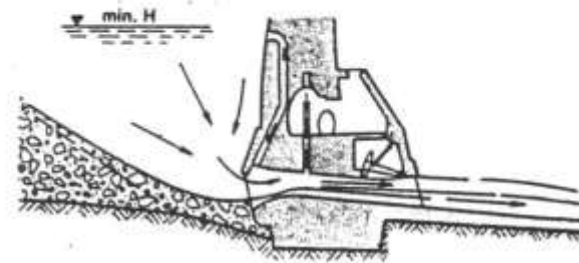
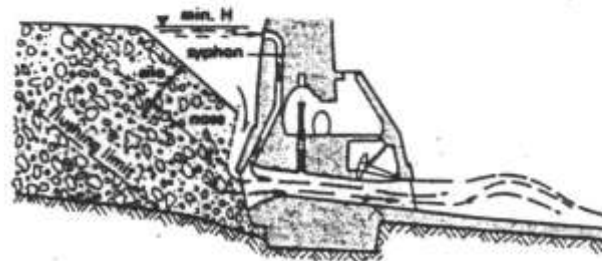
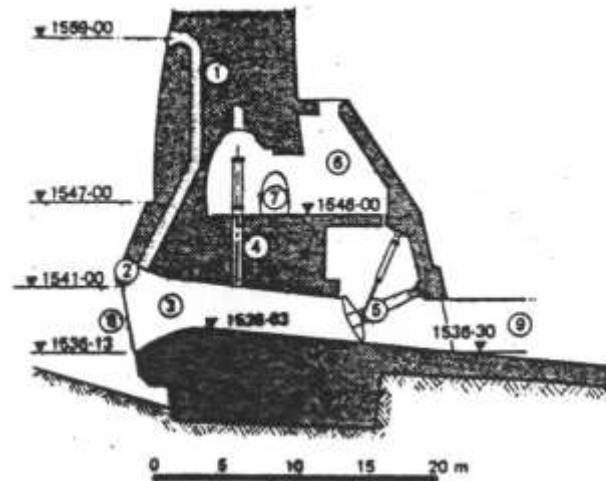


Figure 2 - Plot of flushing projects from diverse environments showing that successful cases are characterized by impoundment ratios of 0.4 or less. That is, reservoir storage capacity divided by mean annual runoff (inflow to the reservoir) should be less than 0.4. (Kondolf et al. 2014)

## Dispositifs d'évacuation de sédiments

Santo  
Domingo,  
Venezuela



## Dispositifs d'évacuation de sédiments



Vidange de fond Jiroft, Iran

Gebidem, Valais



Gebidem, Valais



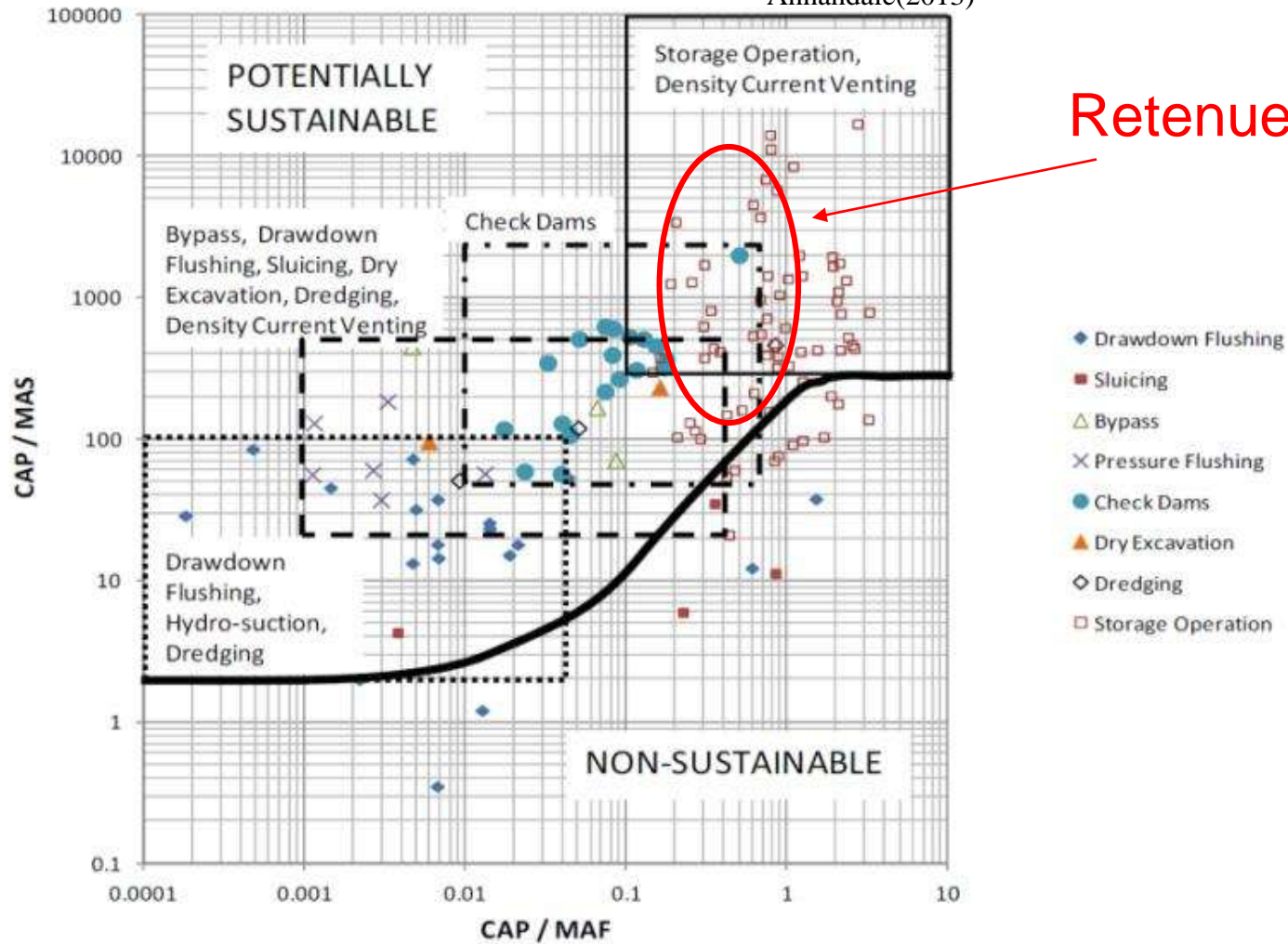


Gebidem, Valais





Annandale(2013)



La sédimentation n'est pas un sujet



La sédimentation EST une question de fond

Retenues alpines

Retenues Intra-mensuelles

Retenues Multi-annuelles

## Objectifs des vidanges de fond - récapitulatif

⇒ Vidange de fond, doit assurer:

1. la montée contrôlée du plan d'eau lors du premier remplissage
2. la vidange complète de la retenue
3. le contrôle du plan d'eau en cas d'événements particuliers
4. un abaissement du plan d'eau en périodes de danger
5. le transit contrôlée des sédiments (purge, vidange)
6. l'alimentation du cours d'eau aval en cas de soutien d'été