

LES BARRAGES-POIDS



1/126

BARRAGE DE QUEUILLE



2/126

QUELQUES STATISTIQUES

- Le plus haut : Grande Dixence (Suisse) 285 m
- Le plus volumineux : Trois Gorges (Chine)
26 700 000 m³
- Les barrages-poids français de plus de 100 m de hauteur :
 - **Chambon** 136 m
 - **Sarrans** 113 m
 - **Génissiat** 104 m
- Age moyen des barrages-poids français : 60 ans

3/126

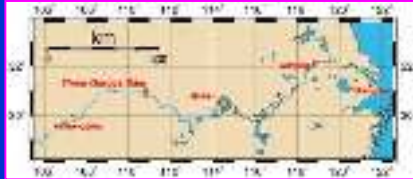
BARRAGE DE GRANDE DIXENCE



4/126

BARRAGE DES TROIS GORGES

Hauteur : 185 m
Longueur : 2350 m
Volume : 26700000 m³
Longueur de retenue : 600 km
Volume de retenue : 39,3 km³
Puissance : 22500 MW



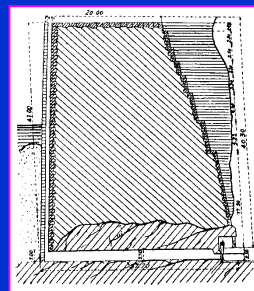
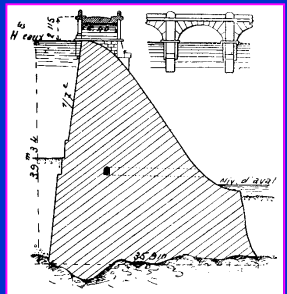
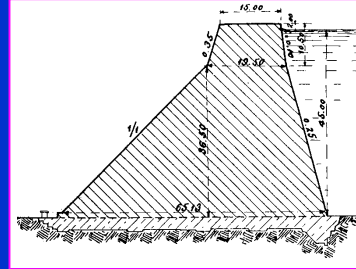
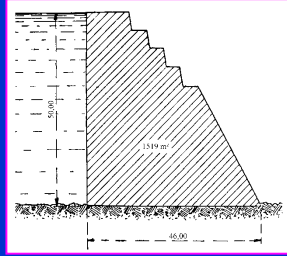
5/126

BARRAGE DES TROIS GORGES



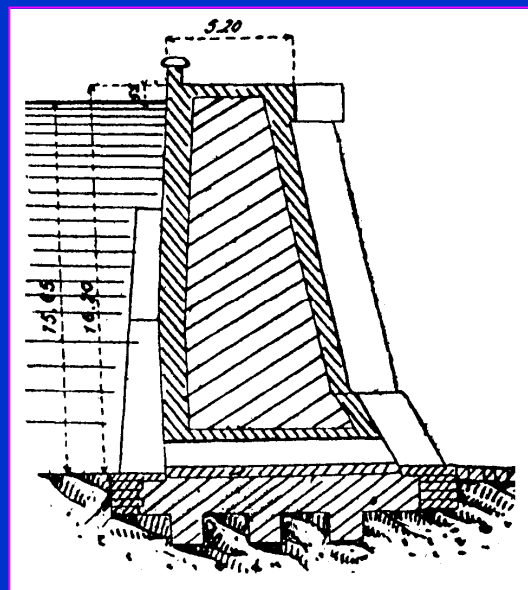
6/126

PROFIL TYPE D'ANCIENS BARRAGES EUROPEENS



7/126

BARRAGE DE LAMPY (1782)



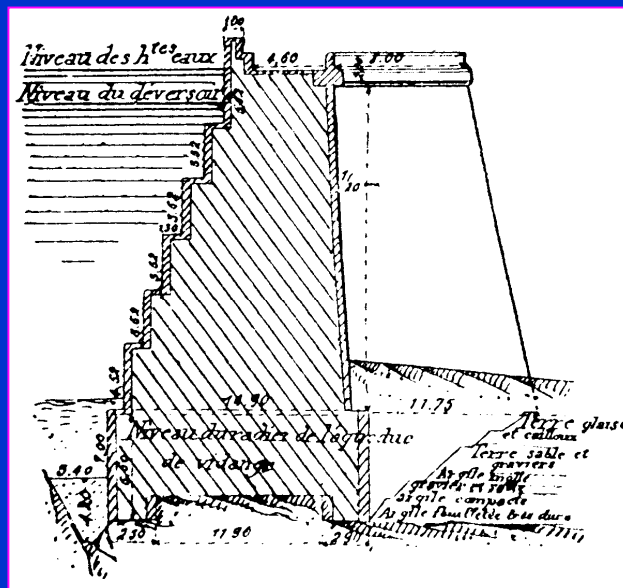
8/126

BARRAGE DE LAMPY



9/126

BARRAGE DE GROISBOIS (1830)



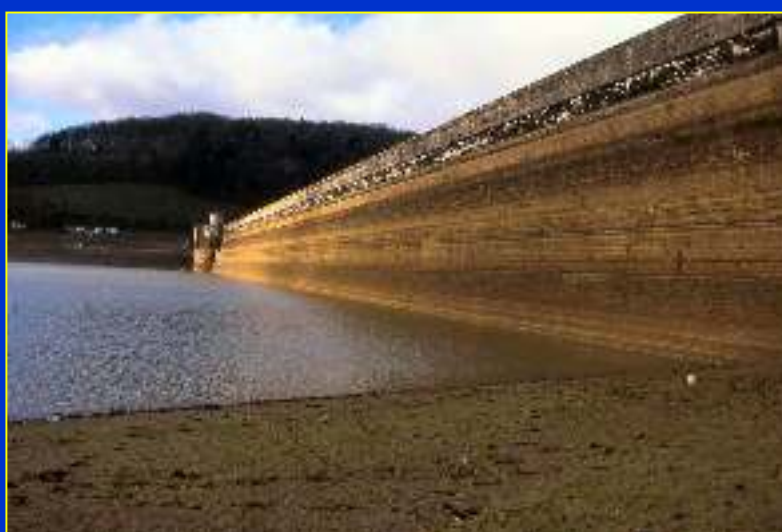
10/126

BARRAGE DE GROSBOIS



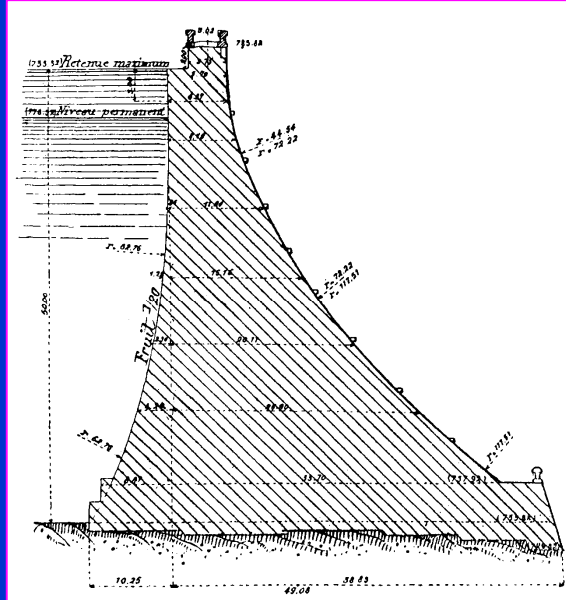
11/126

BARRAGE DE GROSBOIS



12/126

PROFIL DELOCRE



13/126

BARRAGE DU GOUFFRE D'ENFER



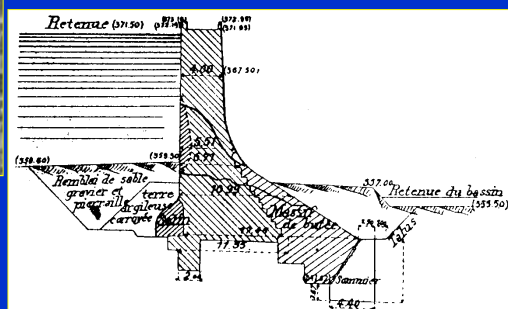
14/126

BARRAGE DU VERUT



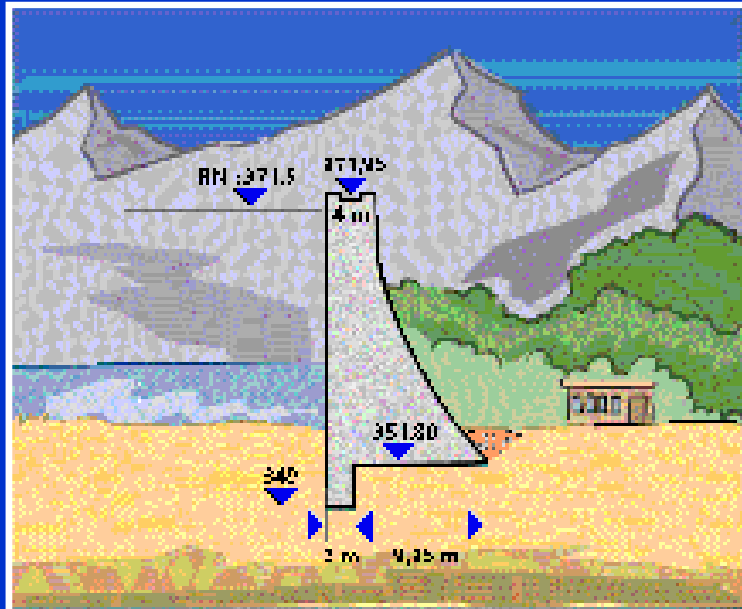
15/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)



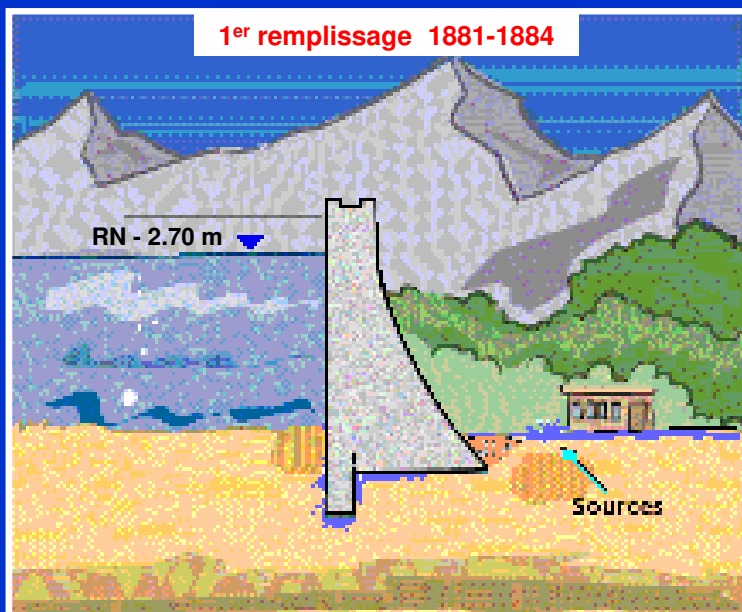
16/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)



17/126

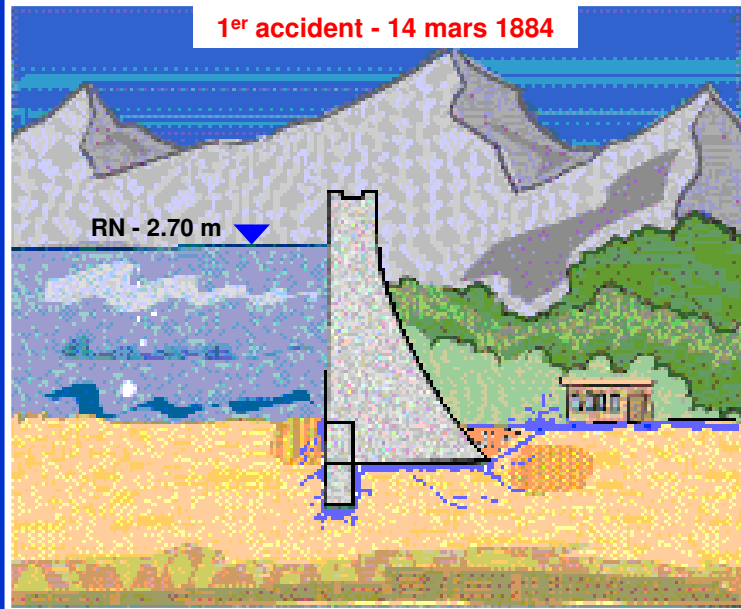
RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)



18/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)

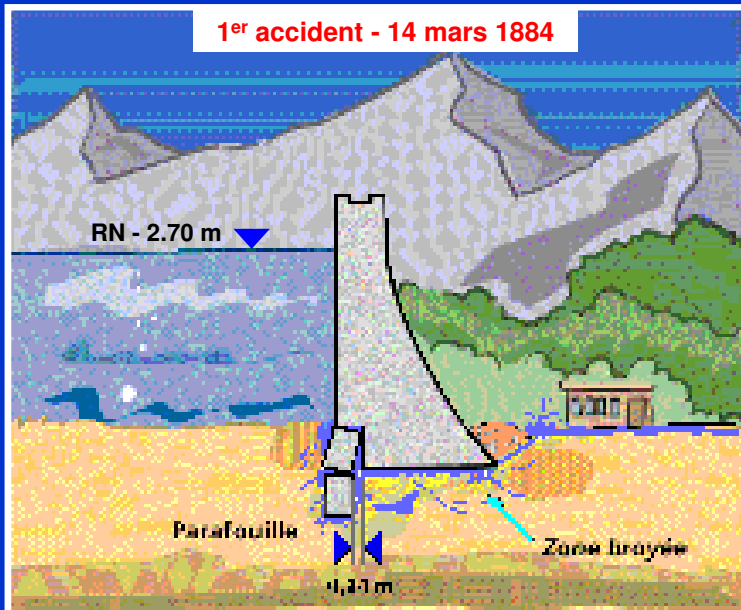
1^{er} accident - 14 mars 1884



19/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)

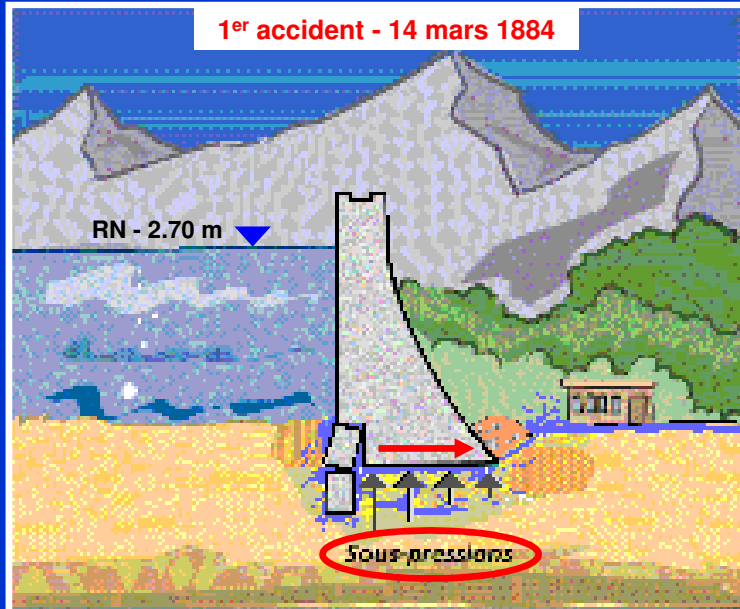
1^{er} accident - 14 mars 1884



20/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)

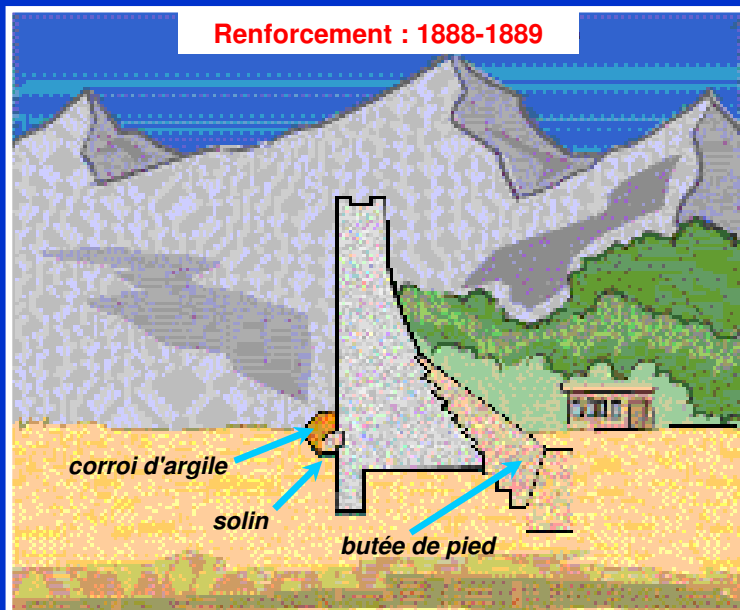
1^{er} accident - 14 mars 1884



21/126

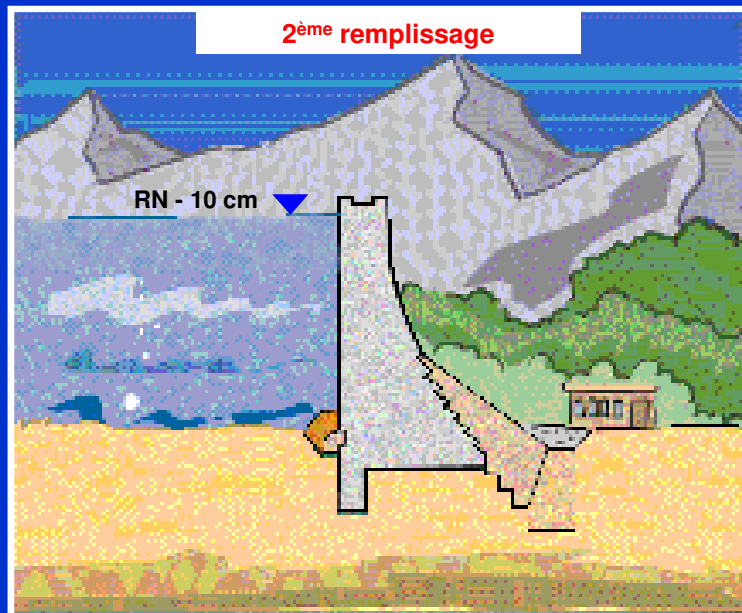
RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)

Renforcement : 1888-1889



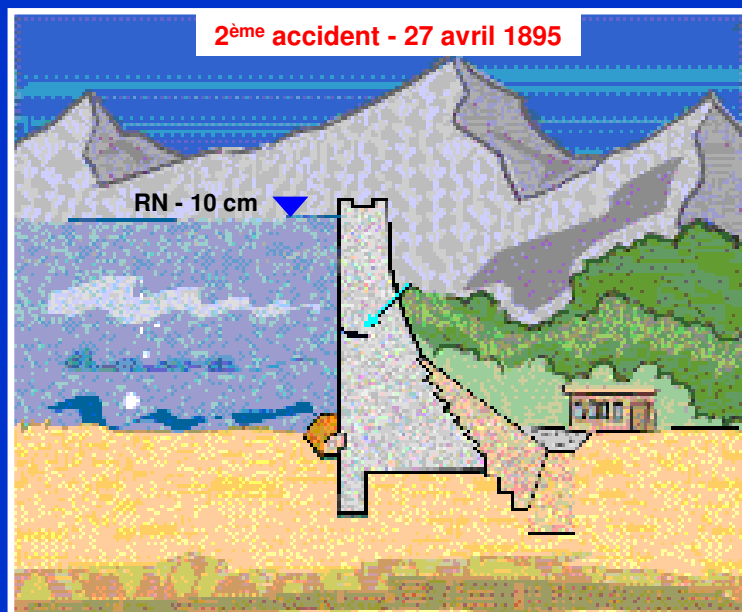
22/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZHEY (1895)



23/126

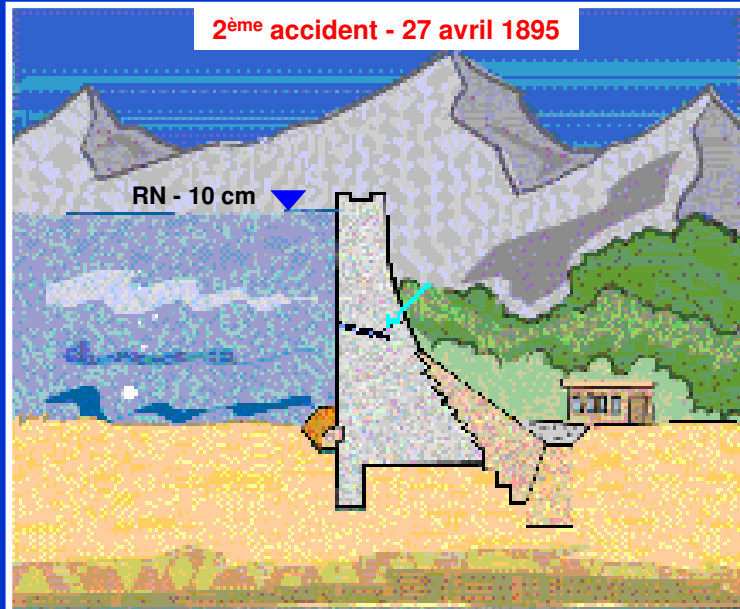
RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZHEY (1895)



24/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)

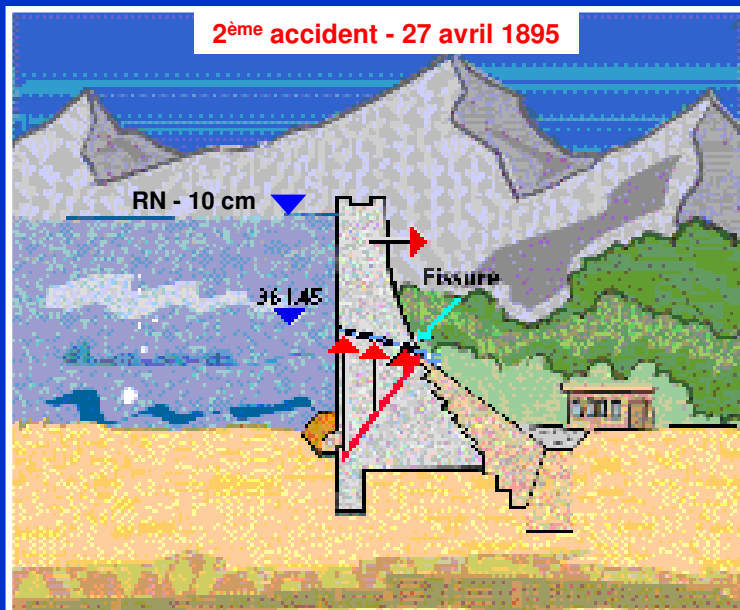
2^{ème} accident - 27 avril 1895



25/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)

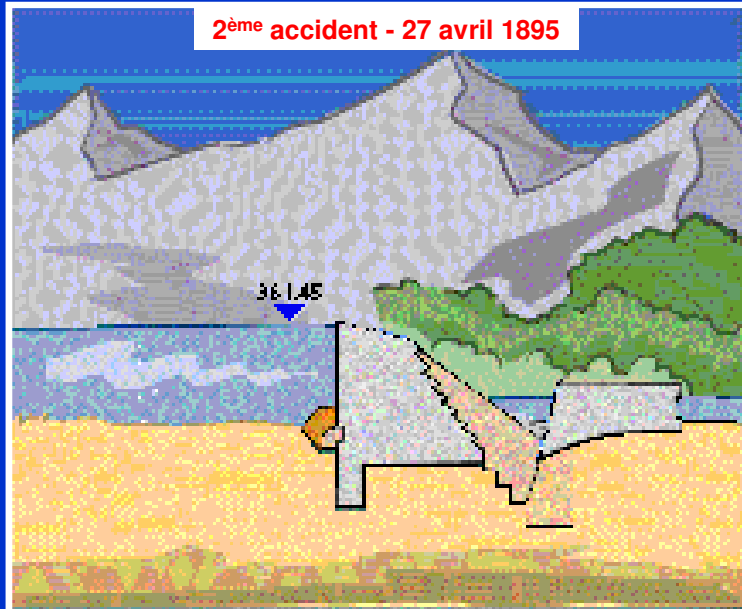
2^{ème} accident - 27 avril 1895



26/126

RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)

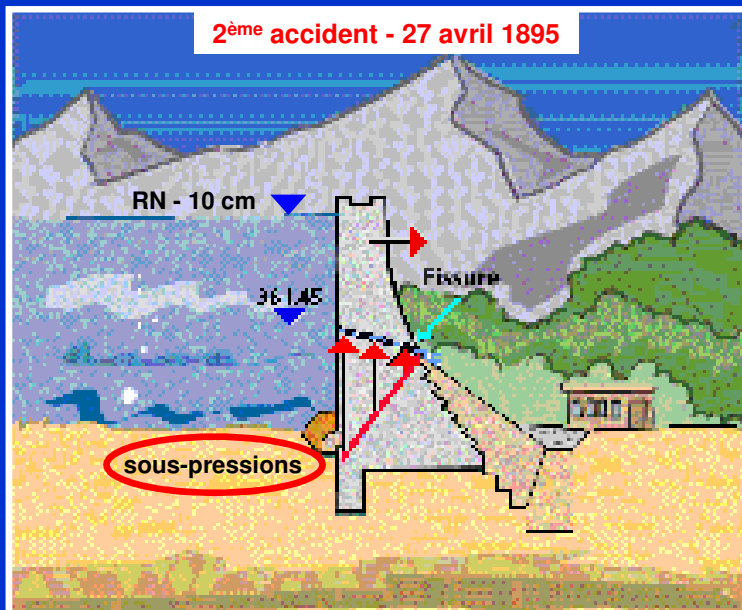
2^{ème} accident - 27 avril 1895



27/126

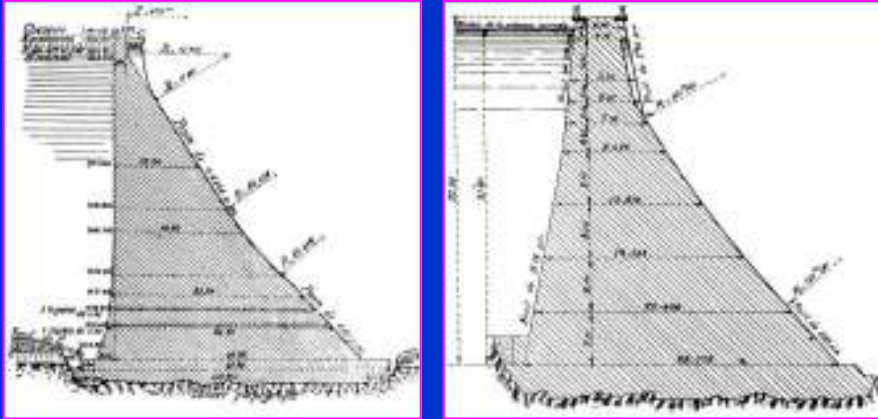
RUPTURE DU BARRAGE DE BOUZEY (1895)

2^{ème} accident - 27 avril 1895



28/126

PROFILS TRIANGULAIRES



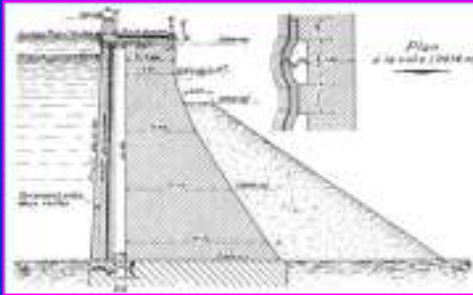
29/126

BARRAGE DU CHARTRAIN



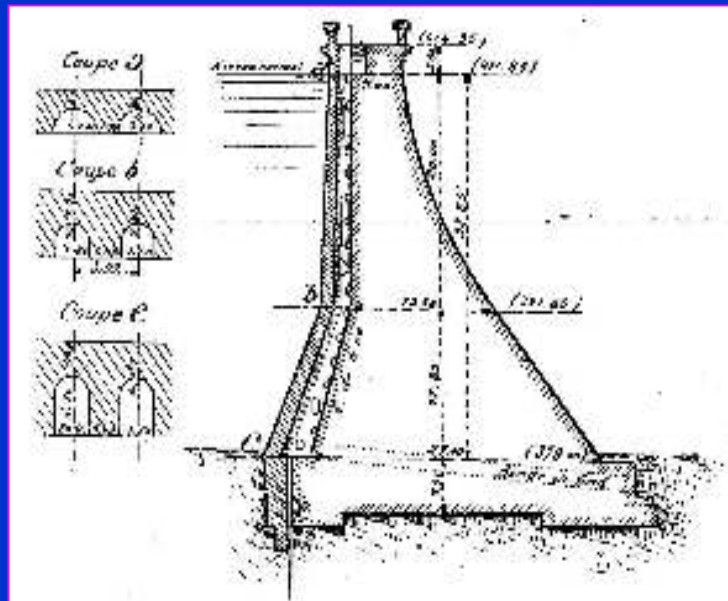
30/126

MASQUE LÉVY



31/126

BARRAGE DE BAN DE CHAMPAGNEY



32/126

BARRAGE DE BAN DE CHAMPAGNEY



33/126

BARRAGE DE BAN DE CHAMPAGNEY

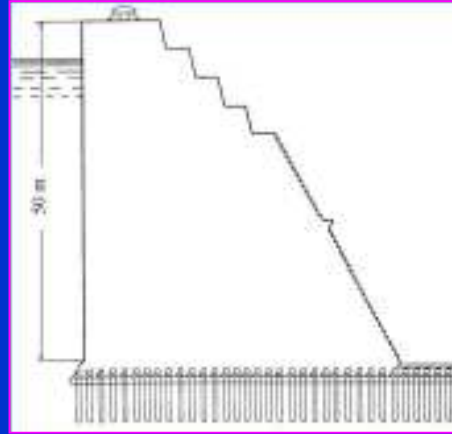


213 puits, esp. 3 m

34/126

RUPTURE DU BARRAGE DE PUENTES

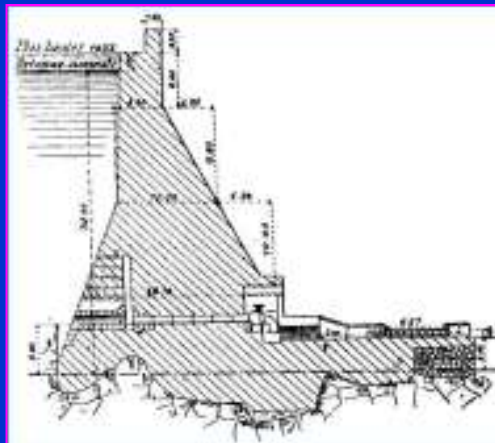
- Hauteur : 50 m
- Année d'achèvement : 1791
- Année de rupture : 1802
- Cause principale de la rupture : qualité de la fondation



35/126

RUPTURE DU BARRAGE D'EL HABRA

- Hauteur : 33,6 m
- Année d'achèvement : 1872
- Année de rupture
 - n° 1 : 1881
 - n° 2 : 1927
- Cause principale de la rupture : sous dimensionnement de l'évacuateur de crue



36/126

RUPTURE DU BARRAGE D'EL HABRA



37/126

RUPTURE DU BARRAGE D'EIGIAU



38/126

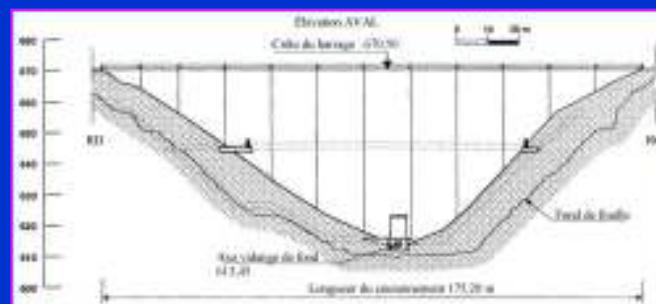
MATÉRIAUX

- Maçonnerie
- Béton de masse
 - non armé
 - peu dosé (coût et chaleur de prise)
 - parfois cyclopéen
 - surdosage en parement (pour améliorer la compacité et l'étanchéité)
 - mis en place par vibration, par levées successives de 1 à 2 m de haut
- Béton compacté au rouleau (BCR)

39/126

DÉCOUPAGE EN PLOTS

- 15 à 25 m de large
- Limiter le volume de bétonnage
- Faciliter le phasage
- Localiser dans les joints les fissurations de retraits



40/126

JOINT DU BARRAGE DE BISSORTE



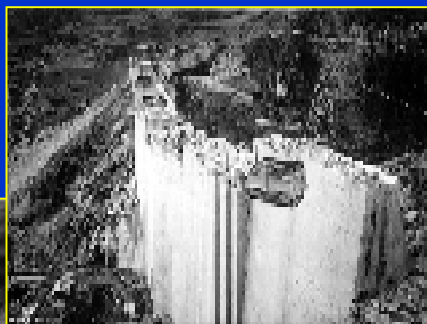
41/126

BARRAGE DE GRAND COULEE



42/126

BARRAGE DU CHAMBON



43/126

BARRAGE DU CHAMBON



44/126

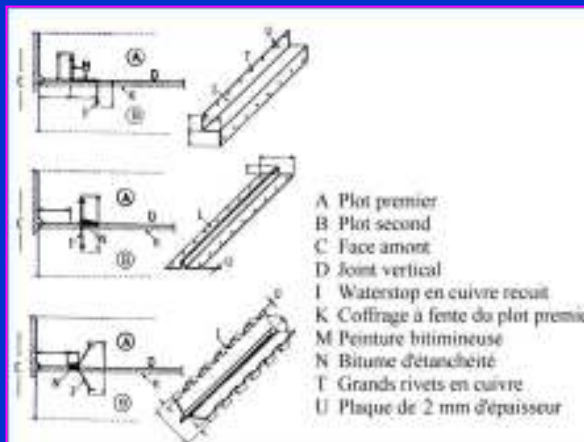
BARRAGE DE SHASTA (USA)



45/126

ÉTANCHÉITÉ ENTRE PLOTS

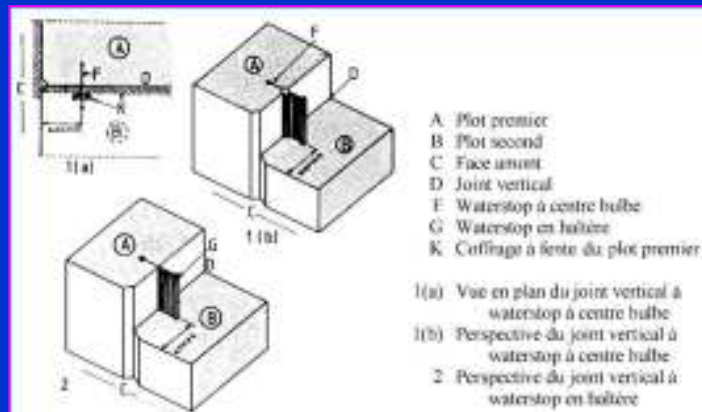
- Longrines en béton
- Lames de cuivre (Z, M, Ω)



46/126

ÉTANCHÉITÉ ENTRE PLOTS (suite)

- Bandes waterstop en caoutchouc



47/126

TRACÉ EN PLAN

- Normalement rectiligne
- Souvent légèrement arqué (sans prise en compte de la courbure dans les calculs)



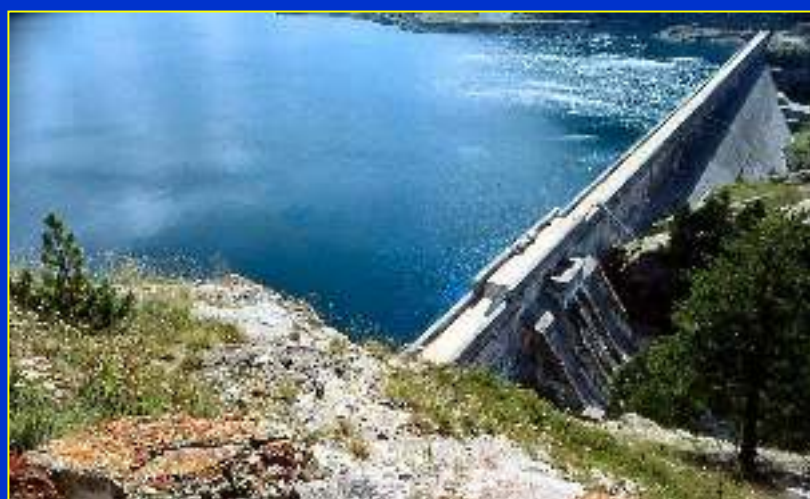
48/126

BARRAGE D'IZOURT



49/126

BARRAGE DE BISSORTE



50/126

BARRAGE DE LA GITTAZ

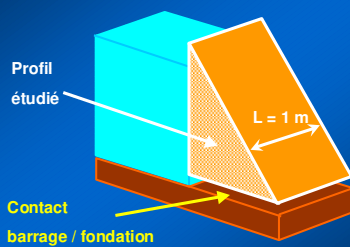


51/126

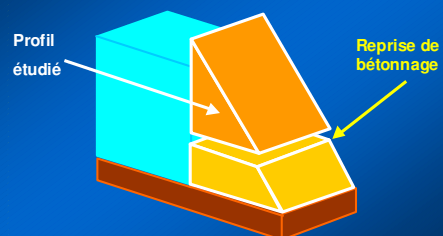
CALCULS DE STABILITÉ

- Calcul en 2D
- Stabilité de blocs indéformables

Au contact de la fondation



Dans la masse du barrage



52/126

ACTIONS

- Poussée hydrostatique (normale au parement amont)
- Poids du barrage ($\Delta = 2,2$ à $2,4$)
- Sous-pressions
- Séismes
- Autres (corps flottants, glace...)

53/126

NOTIONS DE SOUS-PRESSIONS

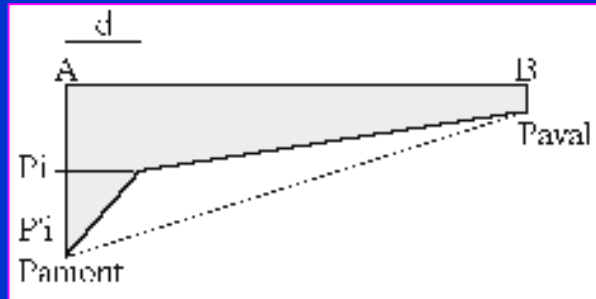
- Aucun matériau n'est parfaitement étanche
- D'où une pression de l'eau interstitielle dite sous-pression
- En l'absence de drainage, sous-pression trapézoïdale entre la pression amont et la pression aval (souvent 0)

54/126

EFFET DU VOILE DE DRAINAGE

$$\beta = \frac{d}{AB}$$

$$k = \frac{P_i - P_{aval}}{P'_i - P_{aval}}$$

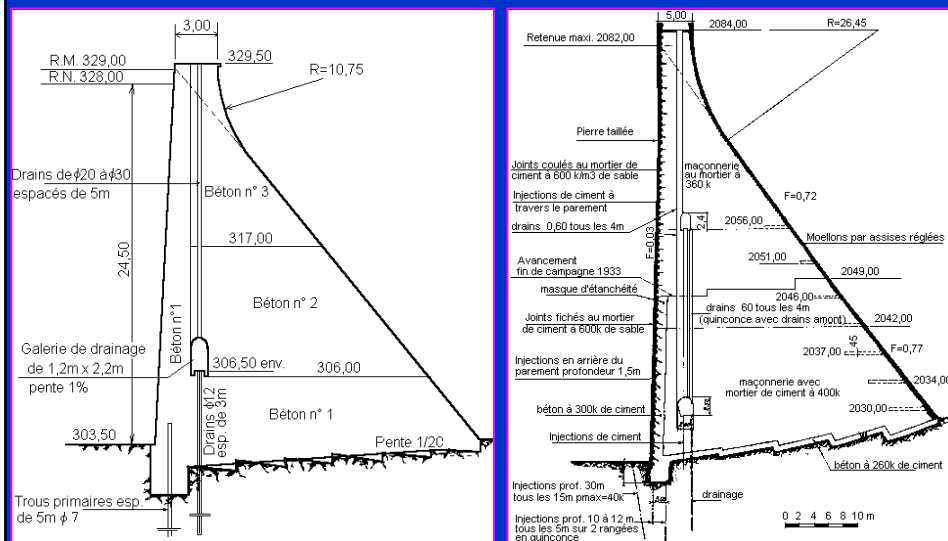


$$P_i = P_{aval} + k \times (1 + \beta) \times (P_{amont} - P_{aval})$$

k compris entre 1/4 et 1/2

55/126

DRAINAGE FONDATIONS ET BARRAGE



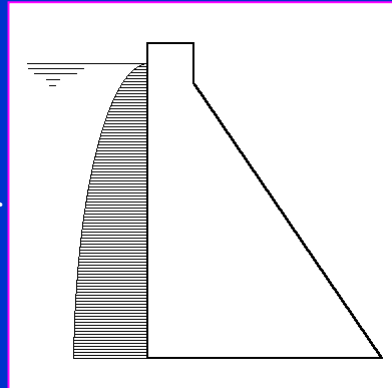
56/126

MODÈLE SISMIQUE PSEUDO-STATIQUE

- Force horizontale, appliquée au centre de gravité, proportionnelle au poids ($\alpha = 0,05$ à $0,2$)
- Supplément de poussée hydrostatique

$$\Delta P_{eau} = \frac{7}{8} \times \delta \times g \times \alpha \times \sqrt{h \times y}$$

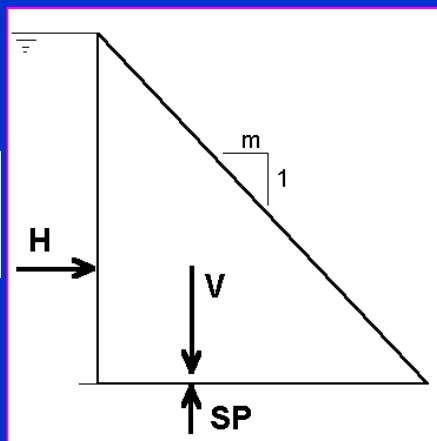
où h est la profondeur de la retenue et y la profondeur considérée et ΔP_{eau} le supplément de pression



57/126

STABILITÉ D'ENSEMBLE AU GLISSEMENT

$$\tan(\phi) = 0,75 \geq \frac{H}{V - SP}$$



58/126

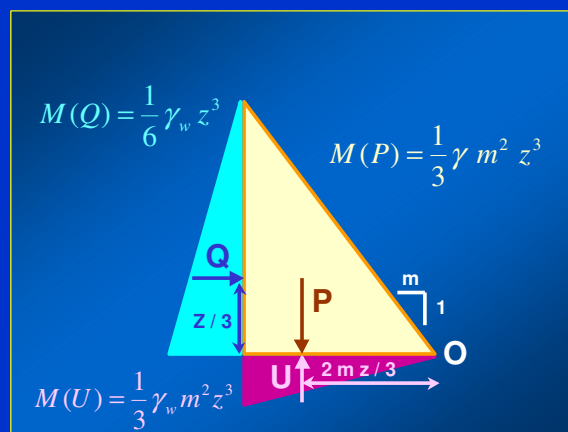
RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT

- φ angle de frottement interne
- c cohésion

$$SFF = \frac{(V - SP) \times \tan(\varphi) + c \times m h}{H}$$

59/126

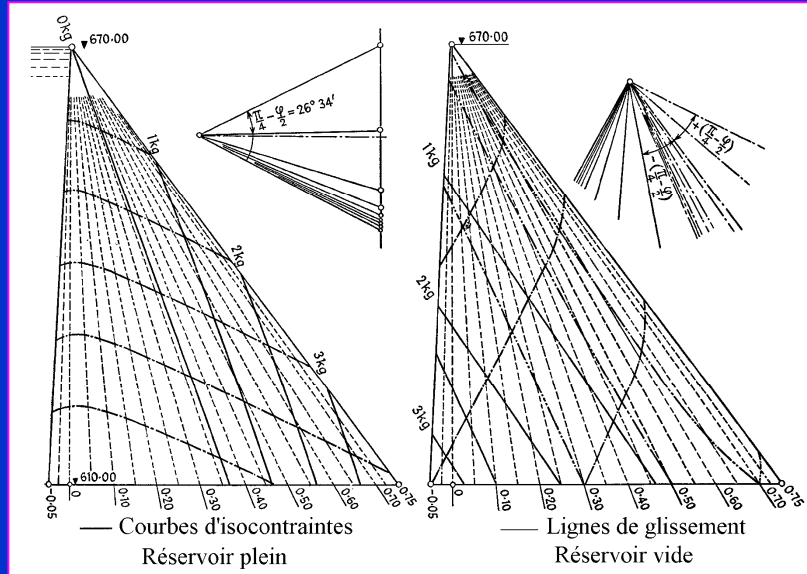
STABILITÉ AU RENVERSEMENT PAR RAPPORT A L'AVAL



$$C_r = \frac{M_{\text{stabilisateur}}}{M_{\text{moteur}}}$$

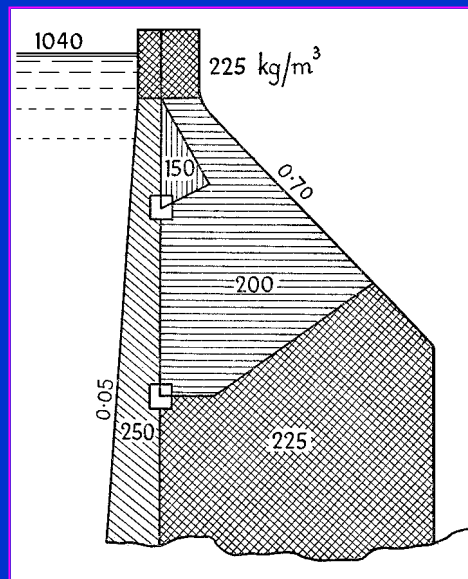
60/126

CONTRAINTES : ABAQUES DE PIGAUD



61/126

MODULATION DU DOSAGE DU BÉTON

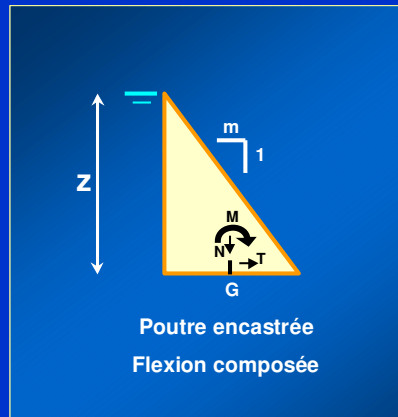


62/126

CONTRAINTES : CALCUL EN POUTRE ENCASTRÉE

$$\sigma_z(\text{amont}) = \frac{N}{e} - \frac{6Mg}{e^2}$$

$$\sigma_z(\text{aval}) = \frac{N}{e} + \frac{6Mg}{e^2}$$



63/126

CONDITIONS DE MAURICE LÉVY

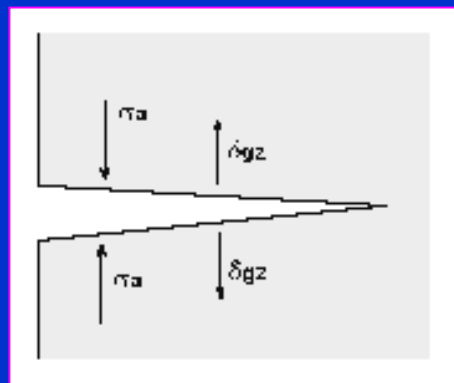
- En théorie

$$\sigma_z \text{ amont} \geq \delta g z$$

- En pratique

$$\sigma_z \text{ amont} \geq r \times \delta g z$$

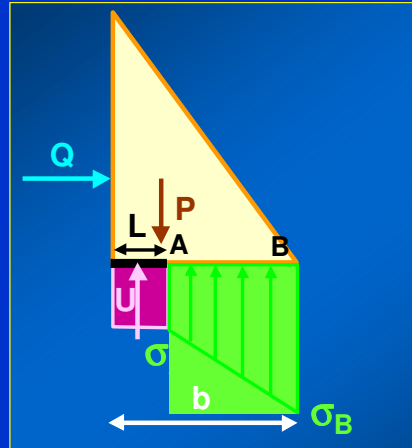
r de l'ordre de 75 %



64/126

FISSURATION

- Introduction de la pleine pression dans la fissure
- Équilibre des forces et des moments
- Condition de Lévy en fond de fissure



65/126

RECOMMANDATIONS CFBR

- Disponibles sur www.barrages-cfbr.eu
- Définies par un groupe de travail de la profession (pas un règlement)
- Approche semi-probabiliste (~Eurocodes)
 - valeurs caractéristiques des résistances
 - caractérisations des situations quasi-permanentes, rares, exceptionnelles, extrêmes
 - coefficients de sécurité modulés selon ces situations.

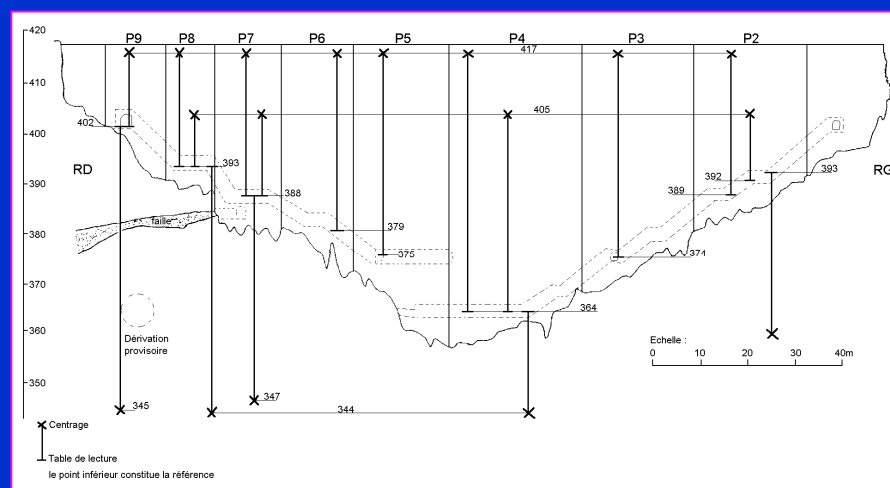
66/126

AUSCULTATION

- Topographie
- Pendules
- Piézométrie
- Débit de drainage et de fuite

67/126

AUSCULTATION PAR PENDULES



68/126

RÉPARATION DU PAREMENT AMONT BARRAGE DE PUYVALADOR



69/126

BARRAGE DE PUYVALADOR



70/126

BARRAGE DE PUYVALADOR



71/126

BARRAGE DE LA RIVE



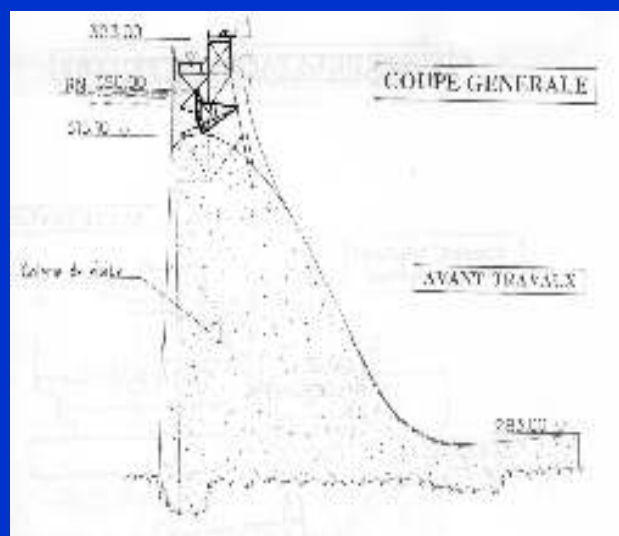
72/126

BARRAGE DE LA RIVE



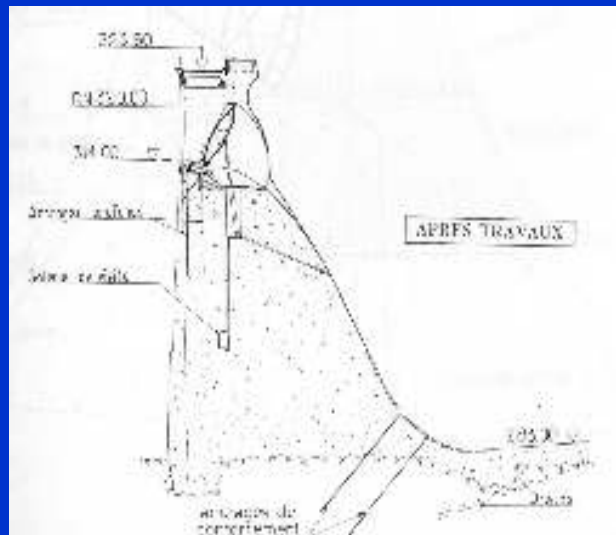
73/126

RENFORCEMENT PAR TIRANTS PASSIFS BARRAGE DE PINET



74/126

BARRAGE DE PINET



75/126

BARRAGE DE LA BOURNE



Tirants 50 t
e = 2 m scellement 8 m



BARRAGE DE PONTABOULAND

- Barrage poids déversant en béton cyclopéen
- Parement aval en maçonnerie
- Construction en 1926
- Fondé sur granit

- Pas de joint de contraction
- Pas de drainage
- Pas de rideau d'étanchéité

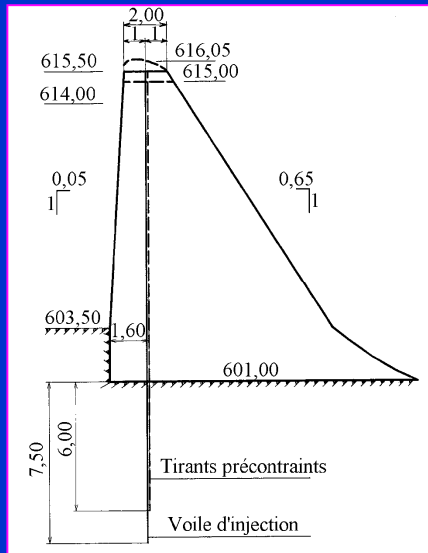
77/126

BARRAGE DE PONTABOULAND

- Caractéristiques
 - Hauteur sur fondation : 15,00 m
 - Longueur en crête : 43,00 m
 - Epaisseur en crête : 2,00 m
 - Fruit total : 0,7
- Étude de stabilité :
 - Sous dimensionnement de l'ouvrage en situation de crues exceptionnelles
 - Nécessité d'améliorer la stabilité

78/126

BARRAGE DE PONTABOULAND



- 19 tirants 12T15S
tension de service 170 t
- Voile d'injection,
jusqu'à 7,50 m dans la
fondation



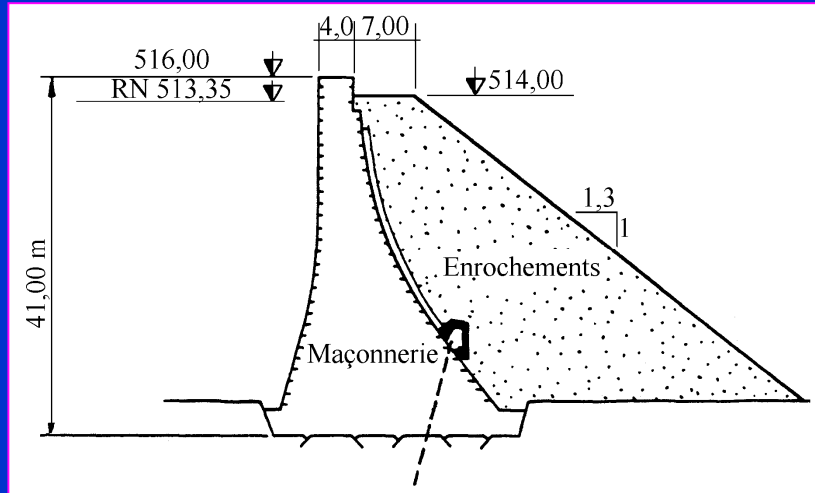
79/126

BARRAGE DE PONTABOULAND



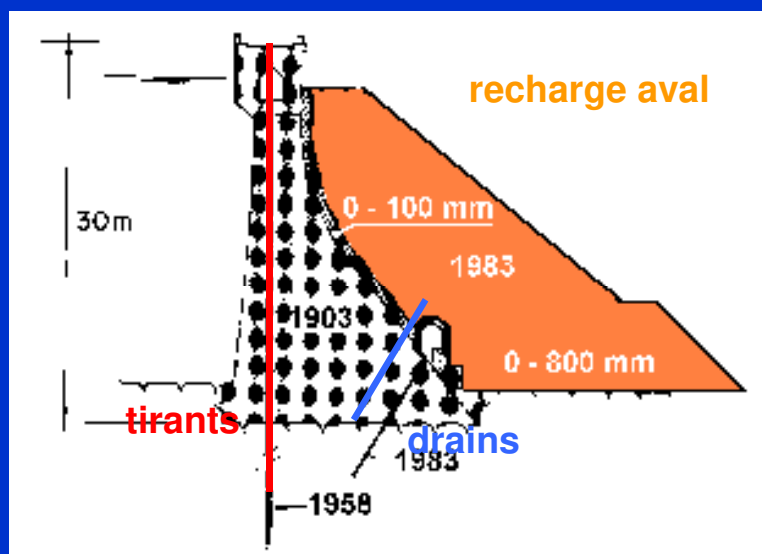
80/126

RENFORCEMENT PAR REMBLAI AVAL



83/126

BARRAGE DE JOUX



84/126

BARRAGE DU TERNAY



85/126

BARRAGE DU VERUT



86/126

BARRAGE DU VERUT



87/126

BARRAGE DU CHAMBON



88/126

BARRAGE DU CHAMBON

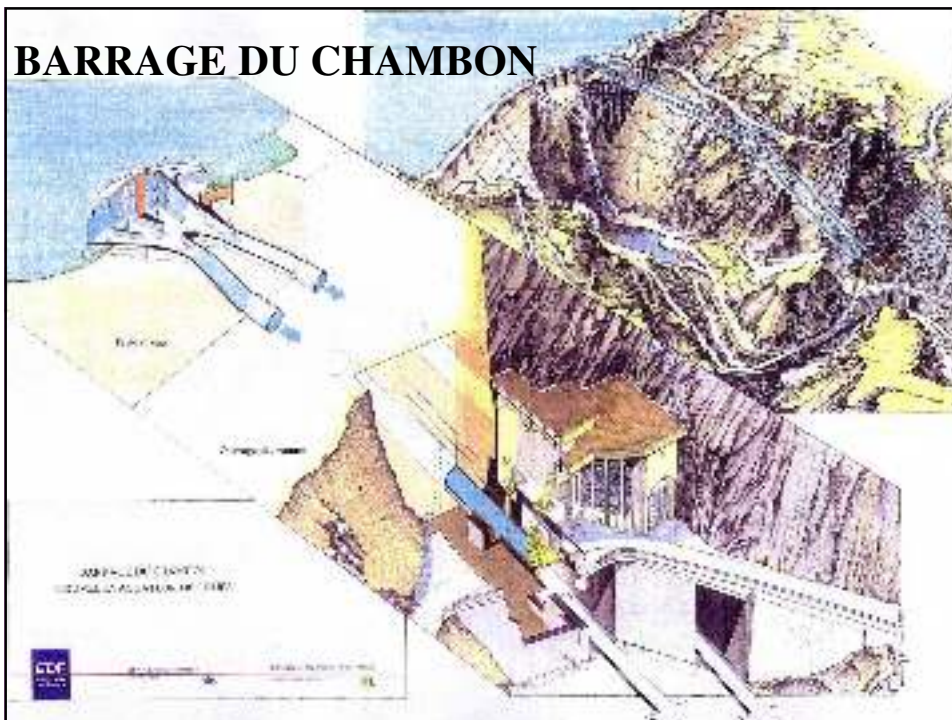


89/126

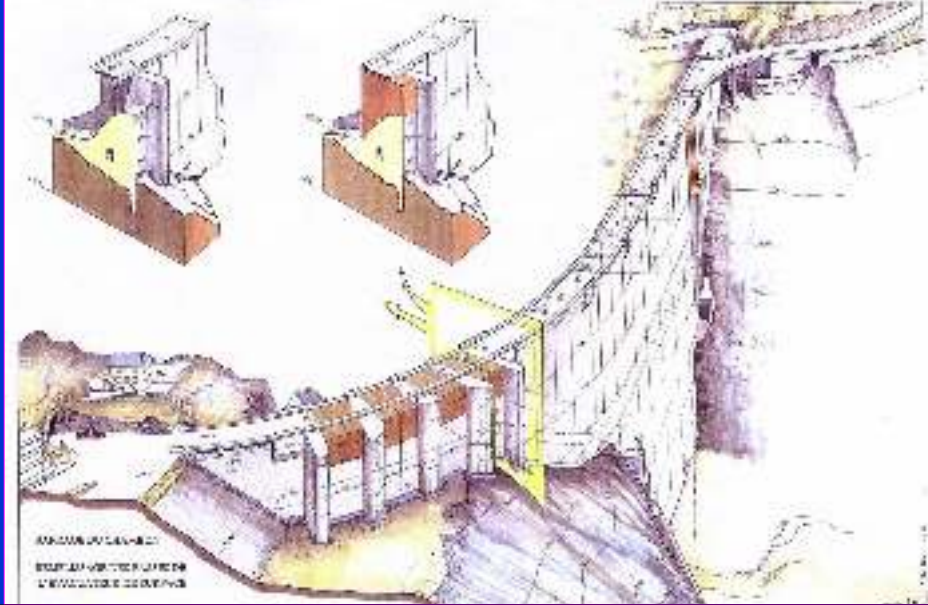
BARRAGE DU CHAMBON



90/126



BARRAGE DU CHAMBON

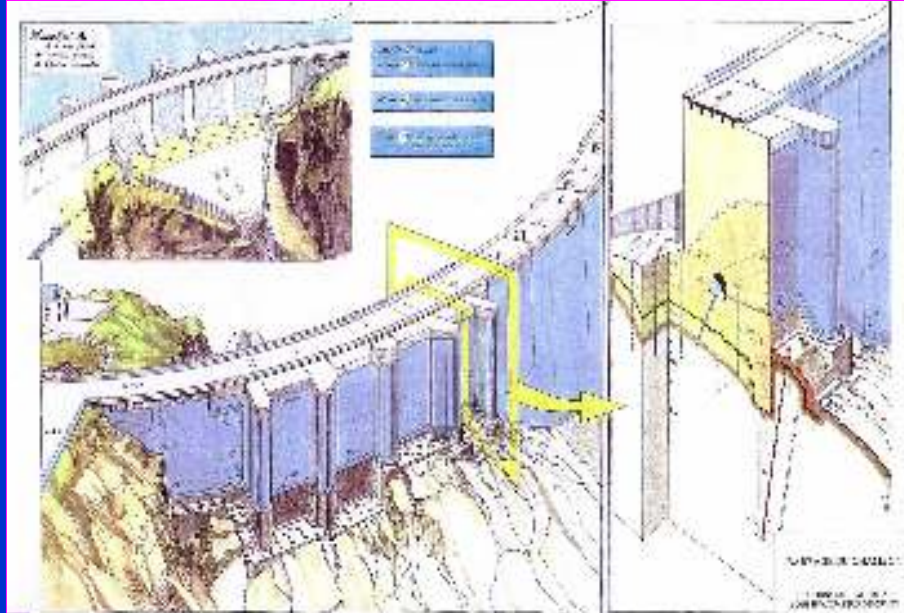


BARRAGE DU CHAMBON

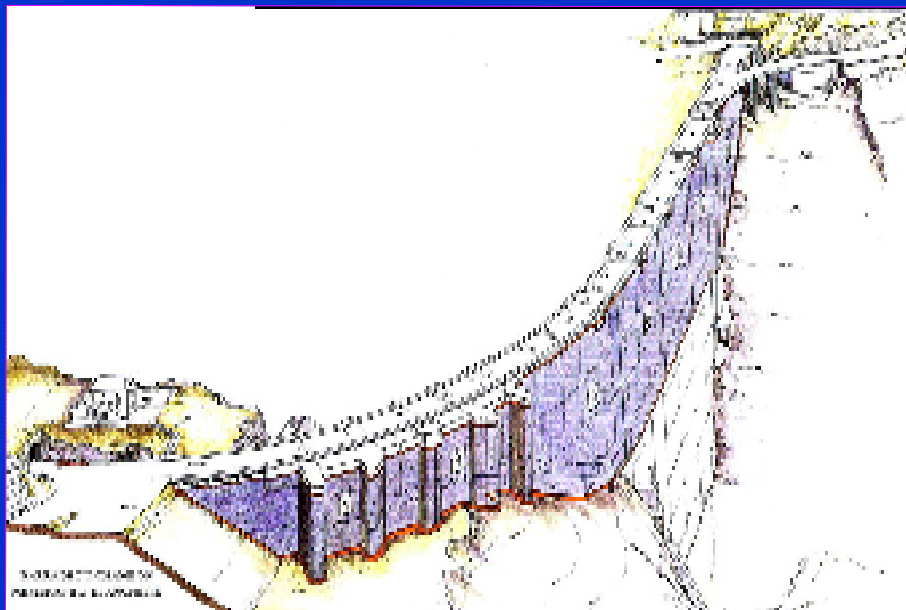


94/126

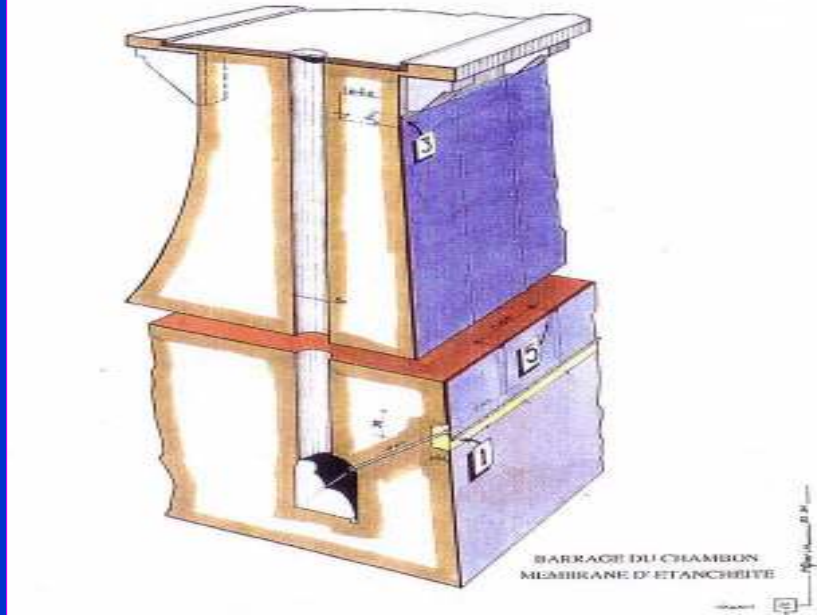
BARRAGE DU CHAMBON



BARRAGE DU CHAMBON



BARRAGE DU CHAMBON



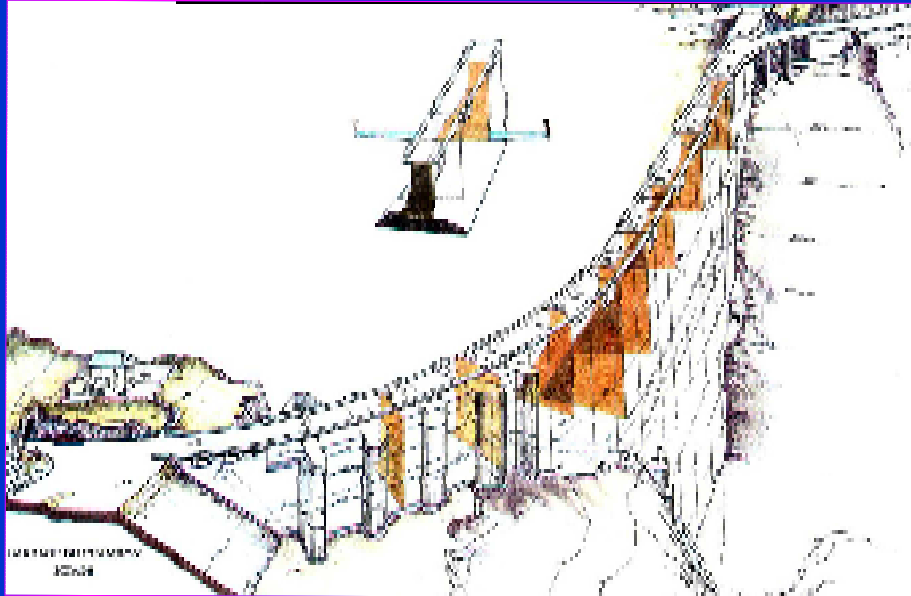
97/126

BARRAGE DU CHAMBON



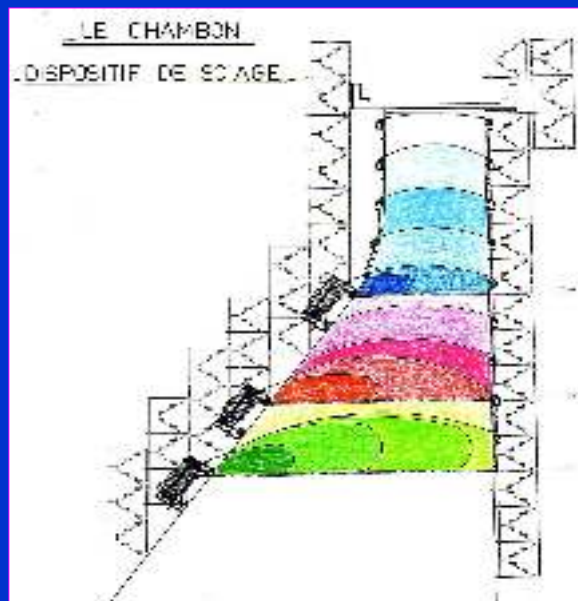
98/126

BARRAGE DU CHAMBON



99/126

BARRAGE DU CHAMBON



100/126

SCIAGE DU BARRAGE DU CHAMBON



101/126

SCIAGE DU BARRAGE DU CHAMBON



102/126

BARRAGE DE MOHNE (Allemagne 1943)



103/126

BARRAGE DE MOHNE (Allemagne 1943)



104/126

BARRAGES EN BCR

BCR = béton compacté au rouleau

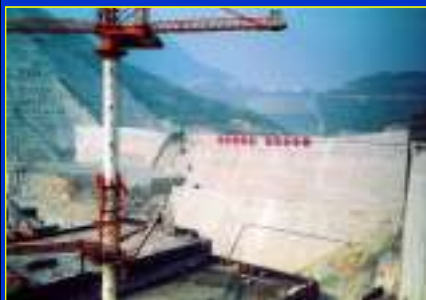
RCC = Roller Compacted Concrete



105/126

LES PLUS GRANDS

- Aujourd'hui : Miel (Colombie)
h = 188 m
- Demain : Longtan (Chine)
h = 216 m



PRINCIPE DU BCR

- Composition du béton adapté (faiblement dosé, peu d'eau...)
- Mis en place par des engins de terrassement par couches de 30 à 40 cm
- Compactage des couches par des compacteurs classiques

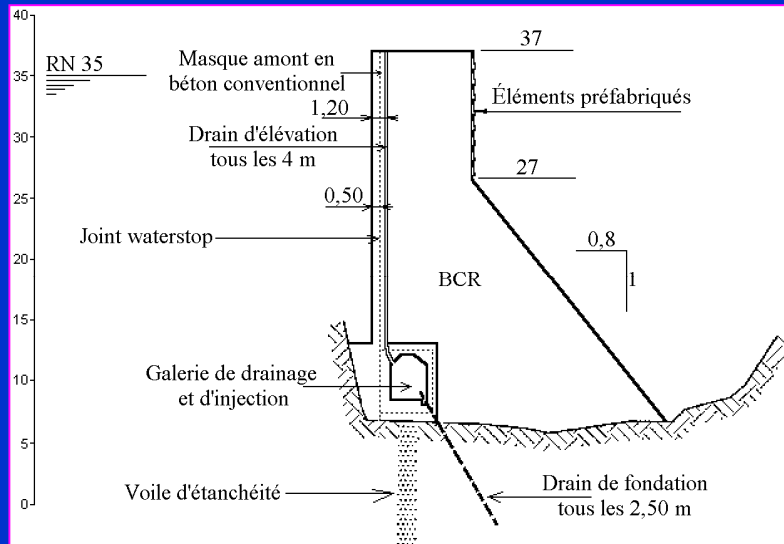
107/126

LES POINTS PARTICULIERS

- La composition du béton
- L'organisation du chantier (circulation des engins)
- Les reprises inter-couches
- L'étanchéité amont
 - mur amont en béton (coulé en place ou préfabriqué)
 - membrane d'étanchéité
 - composition spécifique du béton amont (voire BCV)
- Les galeries
- L'évacuateur de crues

108/126

BARRAGES-POIDS EN BCR



109/126

BARRAGE DE PETIT SAUT



110/126

BARRAGE DE PETIT SAUT



111/126

BARRAGE DU RIOU



112/126

BARRAGE DU SEP



113/126

BARRAGE DU SEP



114/126

BARRAGE DU SEP



115/126

BARRAGE DU SEP



116/126

BARRAGE DU SEP



117/126

BARRAGE DU SEP



BARRAGE DU SEP



119/126

BARRAGE DU SEP



120/126

BARRAGE DU SEP



121/126

BARRAGE DE KOUDIAT ACERDOUNE



- $h = 121 \text{ m}$
- $V_{\text{retenue}} = 640 \text{ hm}^3$
- $L_{\text{crete}} = 492 \text{ m}$
- $E_{\text{base}} = 134 \text{ m}$

BARRAGE DE CHALILLO



BARRAGE DE NAKAI



124/126

**RECONSTRUCTION
DU BARRAGE DE TAUM SAUK (USA)**



125/126

**RECONSTRUCTION
DU BARRAGE DE TAUM SAUK (USA)**



126/126