

Barrages en remblai

Types et matériaux

Barrages en remblais (digues)

Barrages en remblais

Barrages en terre

Barrages en terre homogène

Barrages en terre zonée

à noyau d'argile

à masque amont
(béton ou bitume)

à membrage interne
(béton bitumineux)

Barrage en enrochement

à noyau d'argile

à masque amont
(béton ou bitume)

à écran interne d'étanchéité
(membrane, béton bitumineux)

Types de digues - éléments d'étanchéité et de drainage

Barrage en béton:

- résiste à la poussée de l'eau et
 - étanche la vallée au droit du barrage

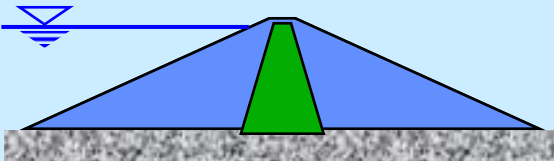
Barrages en remblai:

- ce double rôle du matériau meuble n'est pas du tout évident, voire impossible.
- un élément étanche (noyau, membrane, masque) est indispensable qui se distingue bien, en qualité et quantité, des éléments garantissant la résistance à la poussée de l'eau, on parle des corps d'appui.

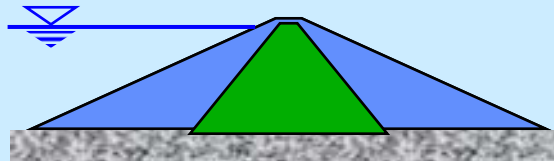
Barrages en remblai

Types et matériaux

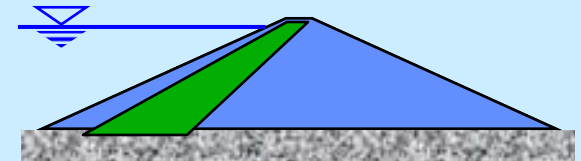
Types de digues - éléments d'étanchéité



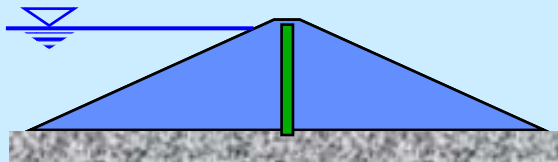
Noyau mince



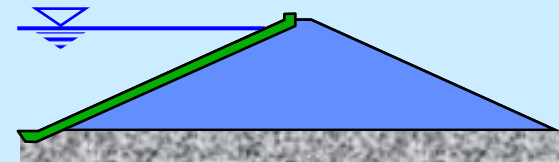
Noyau large
(à l'extrême: digue homogène)



Noyau incliné



Membrage d'étanchéité centrale
(mélange d'agrégats avec
bitumes, bentonite, ciment)



Masque amont
(béton, asphalte,
feuilles synthétiques)

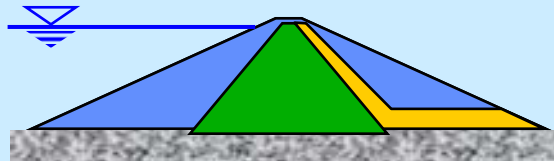
Barrages en remblai

Types et matériaux

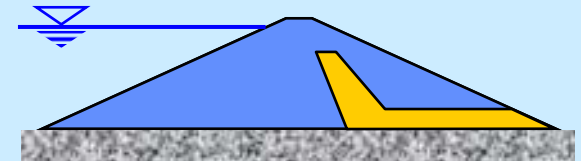
Types de digues - éléments d'étanchéité et de drainage



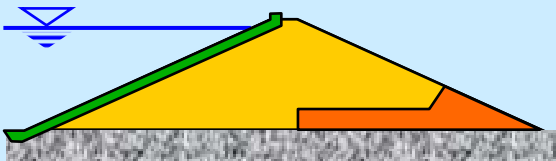
Corps aval très perméable



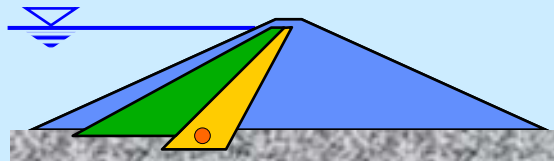
Couche drainante



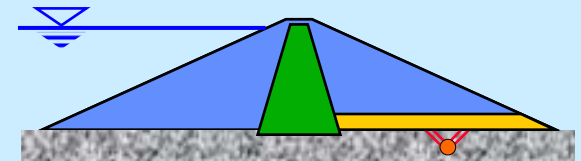
Cheminée et tapis drainant dans digue homogène



Drainage du corps aval
(év. drainage partiel du
pied aval)



Galerie de drainage
dans la fondation de la digue

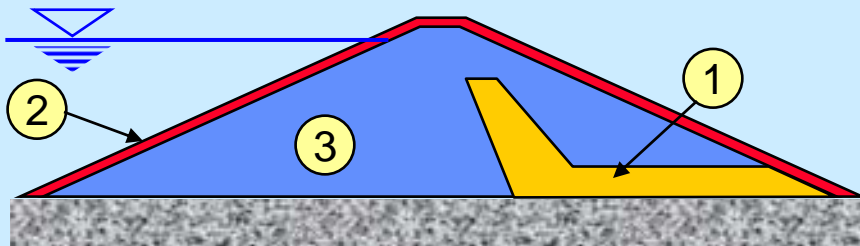


Galerie avec forages
de drainage

Barrages en remblai

Types et matériaux

Digues homogènes



- 1 Cheminée et tapis drainant
- 2 Protection amont (rip-rap)
- 3 Matériau homogène

- ⇒ hauteurs faibles
 - ◆ $H < 15$ m
- ⇒ matériaux uniformes relativement étanches (pas remblai zoné)
 - ◆ $k < 10^{-5}$ m/s
- ⇒ protection de surface avec rip-rap
- ⇒ drainage du pied aval
- ⇒ exécution simple, souvent utilisée comme batardeau d'une dérivation ($H < 30$ m)
 - Digues en déchets miniers
 - Digues de protection (avalanches, chutes de blocs)
 - Digues en matériaux dragués (sable de mer)
 - Digues en remblayage hydraulique

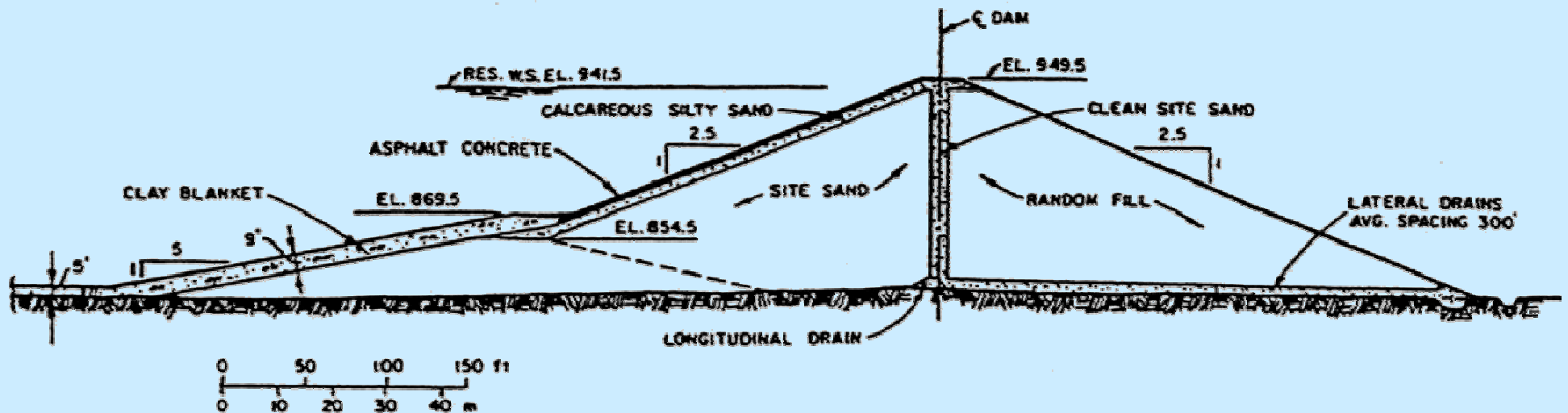
Barrages en remblai

Types et matériaux

Digue homogène (Ludington, USA)

La plus haute:

	du monde	de la Suisse
Nom:	Medeo (Kazakhstan)	Aucune
Hauteur:	144 m	
Volume du remblai:	$8.5 \cdot 10^3 \text{m}^3$	



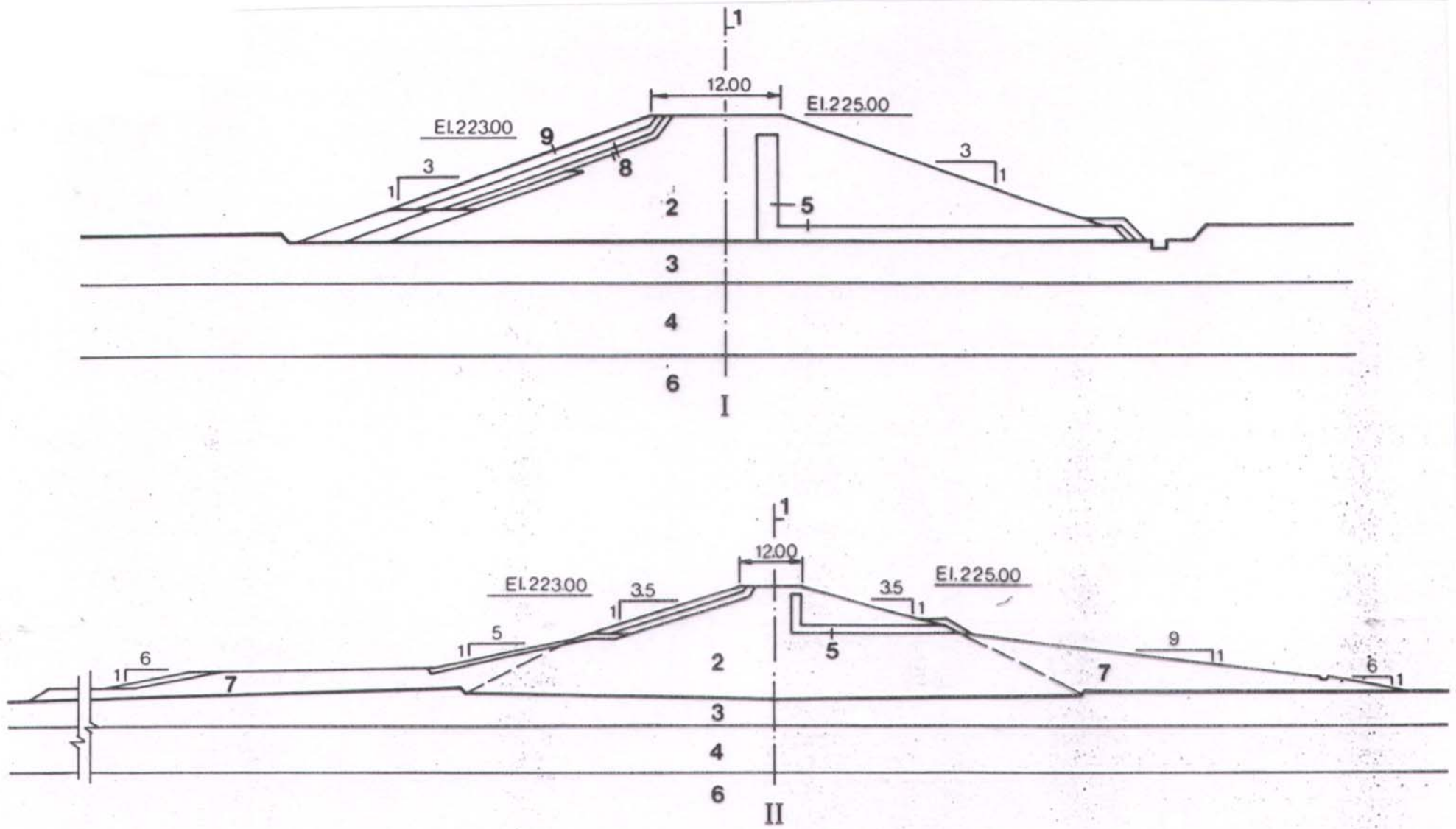


Fig. 7.4 Left earthfill dam cross sections

I Left earthfill dam with height less than 10 m

1 Dam axis
2 Impermeable clay core

4 Weathered rock
5 Artificial sand filter

7 Berm
8 Coarse transition

II Left earthfill dam with height between 10 and 30 m

3 Plastic clay

6 Dense basalt

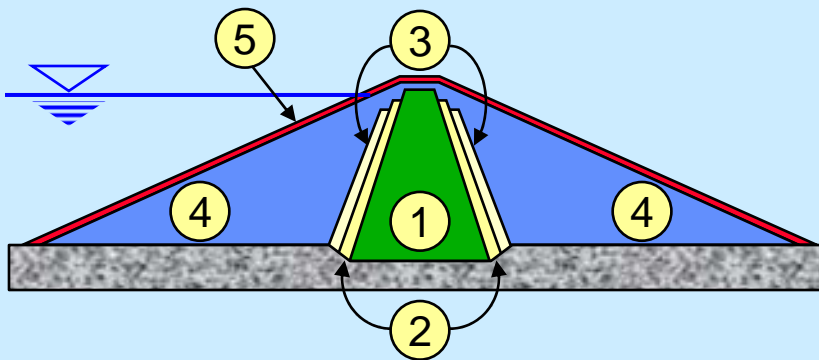
9 Rip-rap



Barrages en remblai

Types et matériaux

Digues à noyau central en terre



- 1 Noyau
- 2 Filtre
- 3 Zones de transition
- 4 Corps d'appui
- 5 Protection de surface (rip-rap)

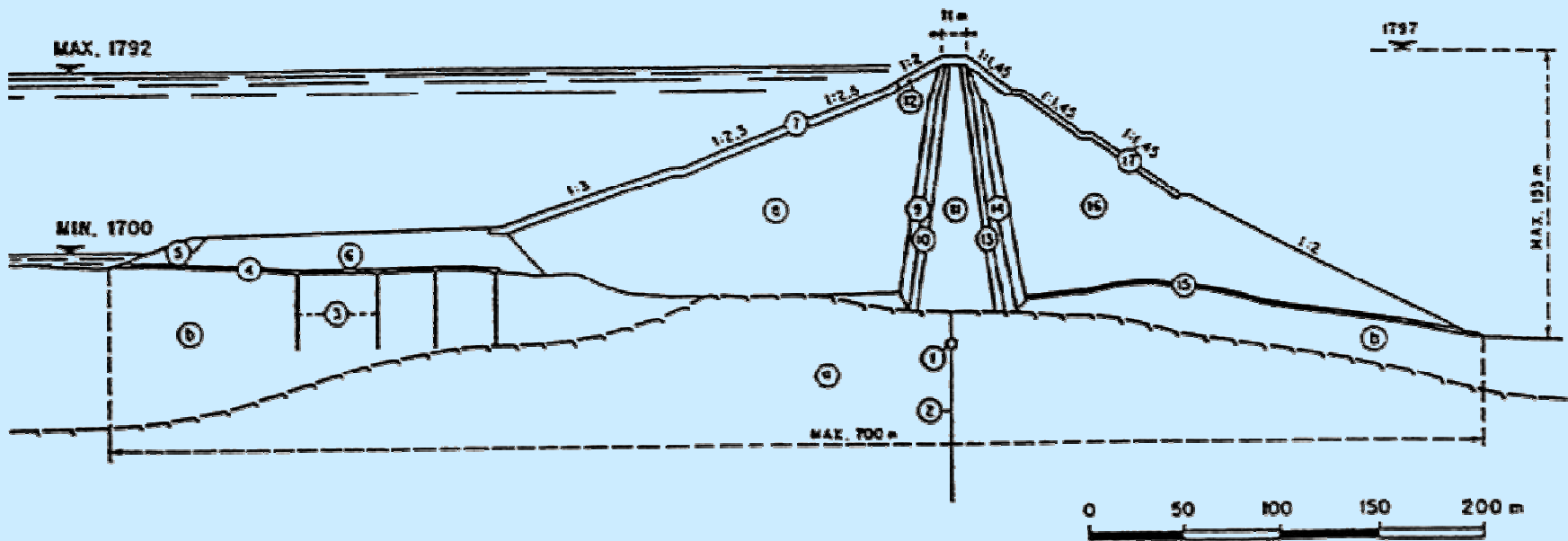
- ⇒ type le plus répandu
- ⇒ gradient à travers le noyau < 3 ($L > H/3$)
- ⇒ matériau du noyau
 - ◆ limons argileux ($k=10^{-8}$ m/s)
 - ◆ moraines ($k = 10^{-5}$ à 10^{-6} m/s)
- ⇒ zones de drainage et de transition très importantes!
- ⇒ excellent compactage du noyau est nécessaire
- ⇒ fondation sur des alluvions possible (en augmentant l'épaisseur du noyau; gradient < 2)

Barrages en remblai

Types et matériaux

Digue à noyau (Göscheneralp, Suisse)

	La plus haute:	
	du monde	de la Suisse
Nom:	Nurek (Tadjikistan)	Göscheneralp
Hauteur:	300 m	155 m
Volume du remblai:	$58 \cdot 10^3 \text{m}^3$	$9.3 \cdot 10^3 \text{m}^3$



Barrages en remblai

Types et matériaux

Digues à noyau central en terre

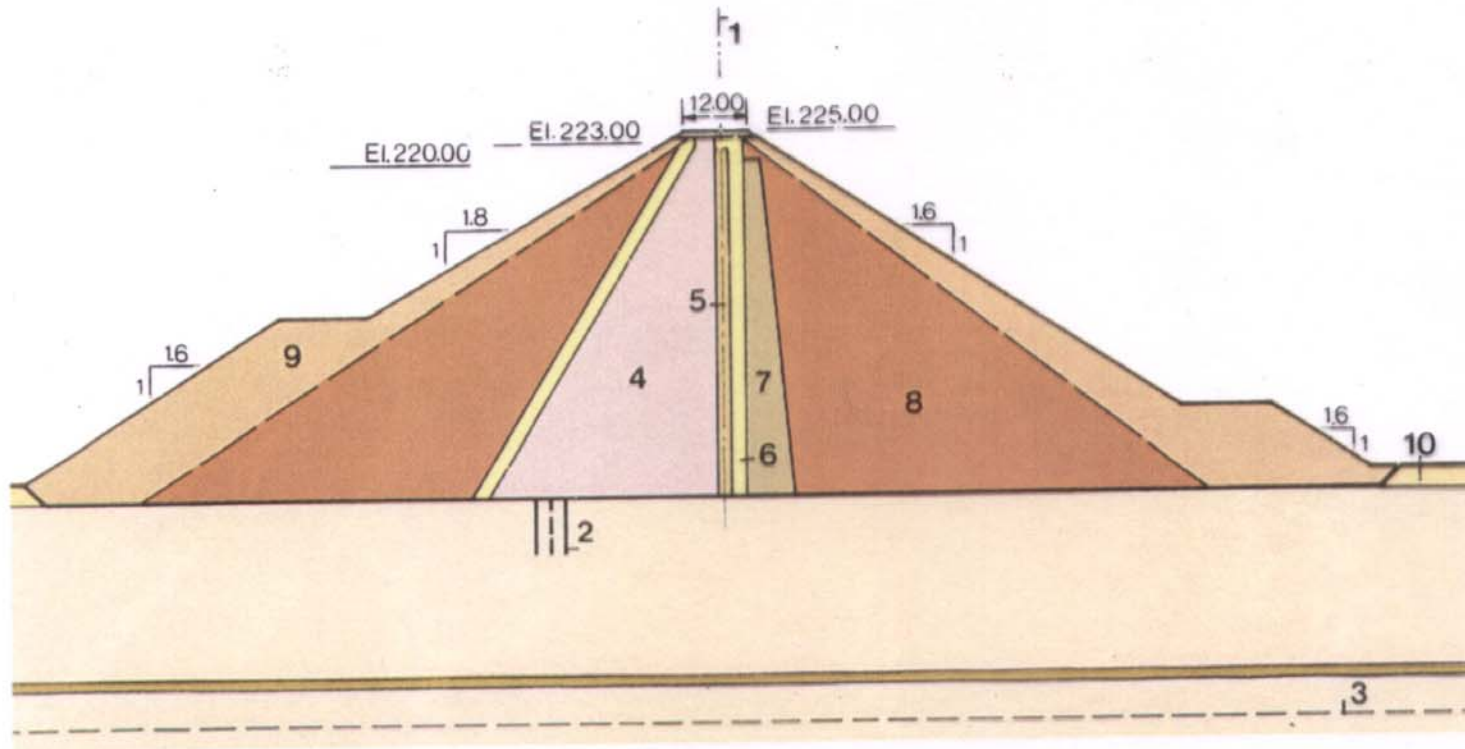


Fig. 7.1 Rockfill dam - Typical cross section

- 1 Dam axis
 - 2 Grout curtain
 - 3 Discontinuity
 - 4 Impermeable clay core
 - 5 Artificial sand filter
 - 6 Fine transition
 - 7 Coarse transition
 - 8 Rockfill
 - 9 Rip-rap
 - 10 Natural ground
- Dense basalt
■ Breccia





El Makhazine, Maroc, 100 m



El Makhazine, Maroc, 100 m

El Makhazine, Maroc, 100 m



El Makhazine, Maroc, 100 m



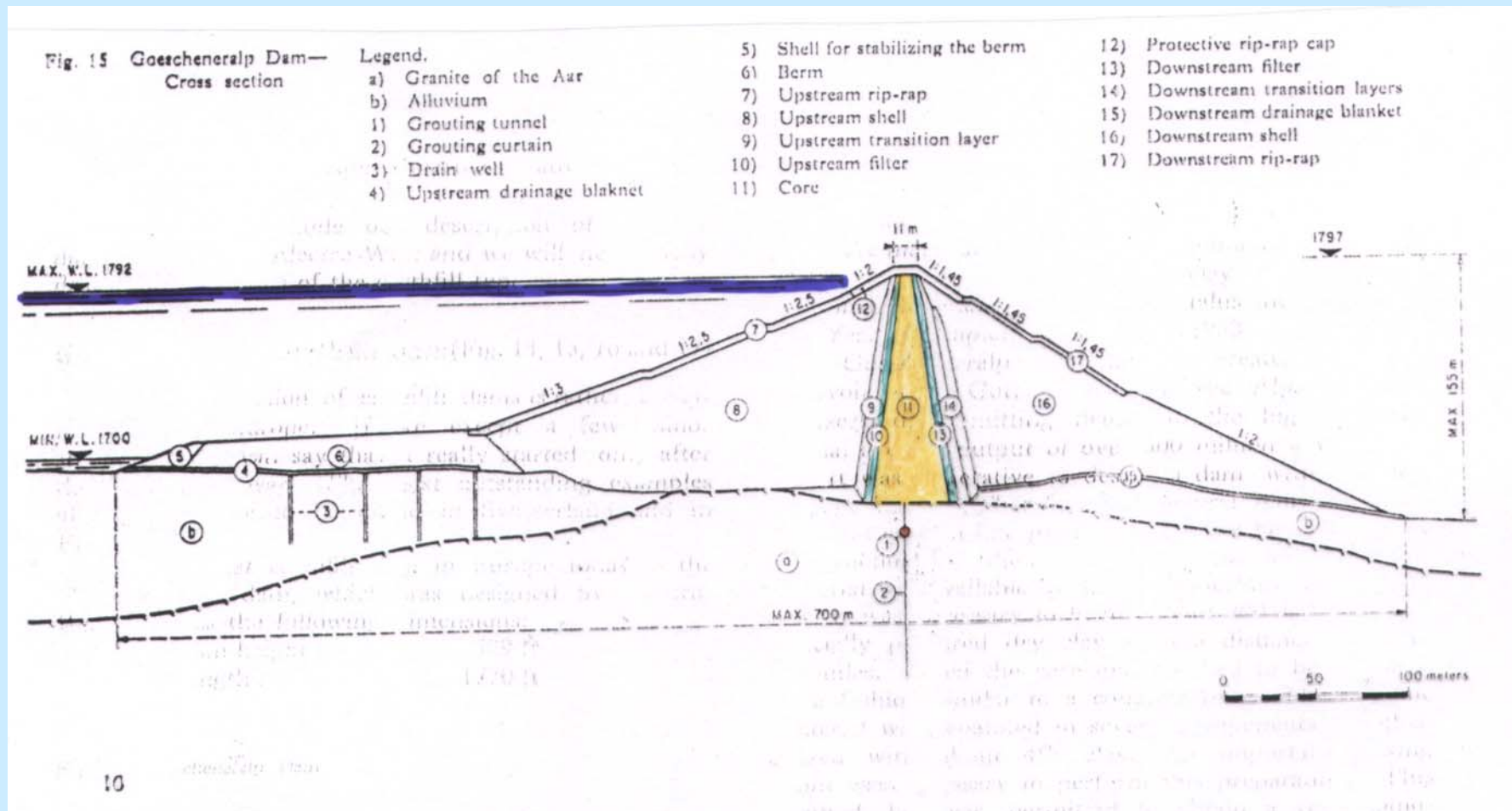
Göscheneralp, Uri, 155 m



Barrages en remblai

Types et matériaux

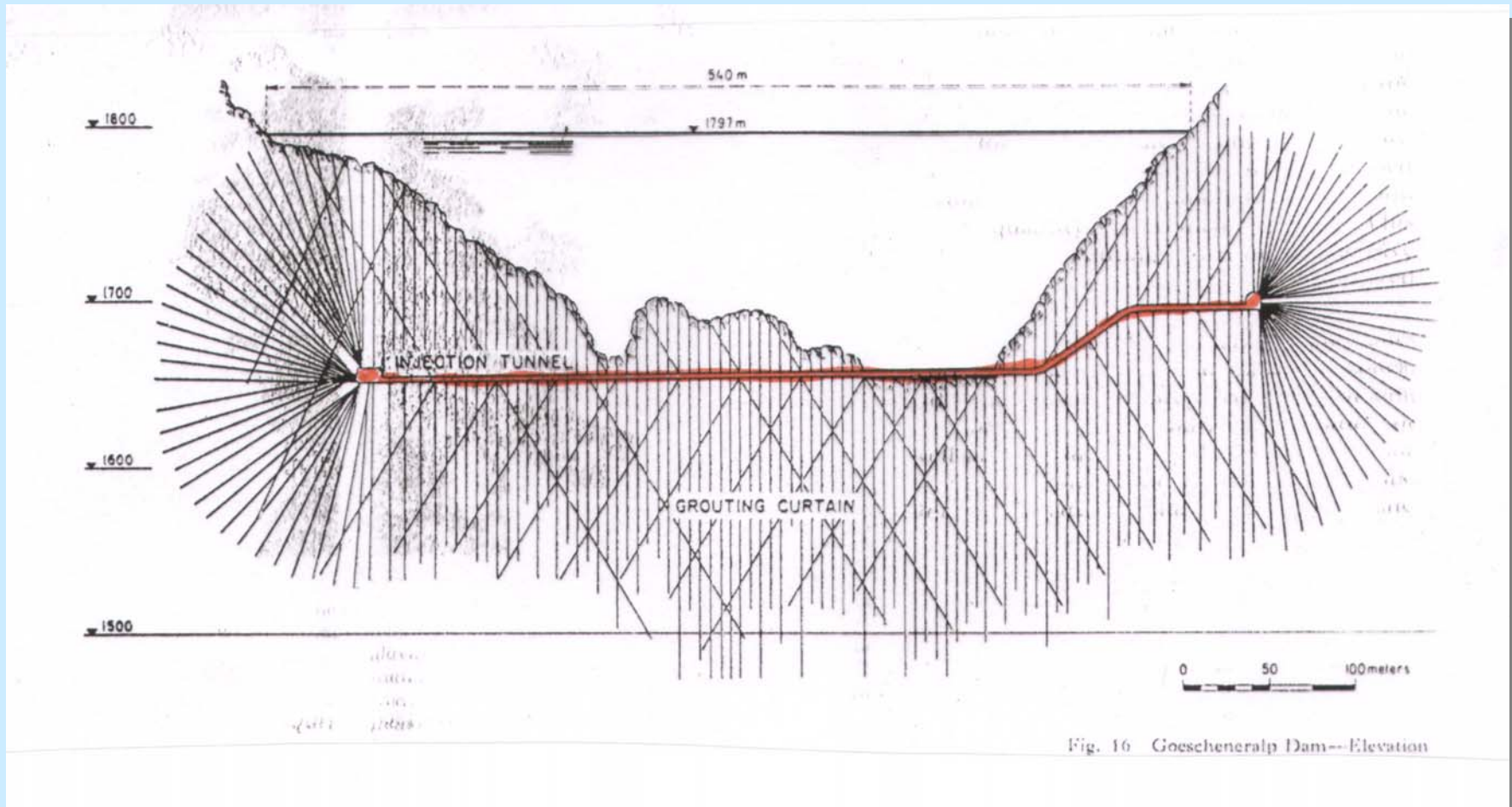
Göscheneralp, Uri, 155 m



Barrages en remblai

Types et matériaux

Göscheneralp, Uri, 155 m





Göscheneralp, Uri, 155 m



Göscheneralp, Uri, 155 m



Grand Maison, France



Grand Maison, France

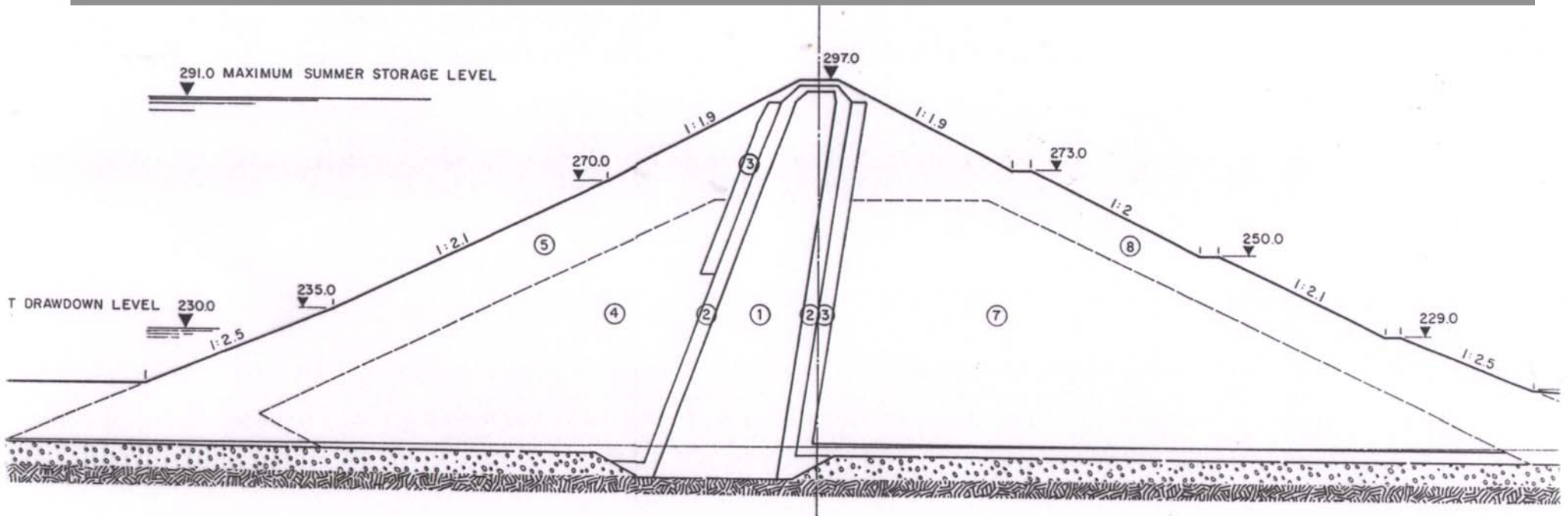


Polyphyton, Grèce, 100 m

Barrages en remblai

Types et matériaux

Digue de Polyphyton, Grèce, 100 m



4 "WEATHERED" ROCK FROM Q II
 5 SHELL UPSTREAM "SOUND ROCK" FROM Q II AND Q III
 6 OVERBURDEN FROM Q II, TUNNEL MUCK OR SIMILAR

7 OVERBURDEN FROM Q II, TUNNEL MUCK ETC.
 8 SHELL DOWNSTREAM "WEATHERED" ROCK FROM Q II AND Q III
 9 BACKFILL FOR STILLING BASSIN



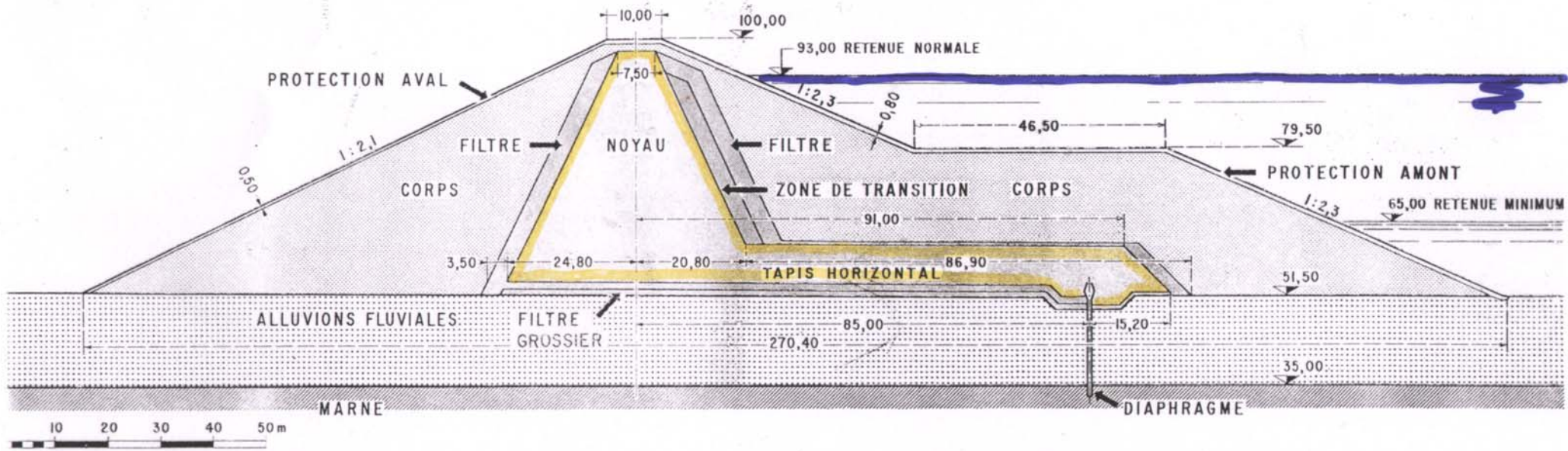
DAMS
CROSS

TEKNIKOI

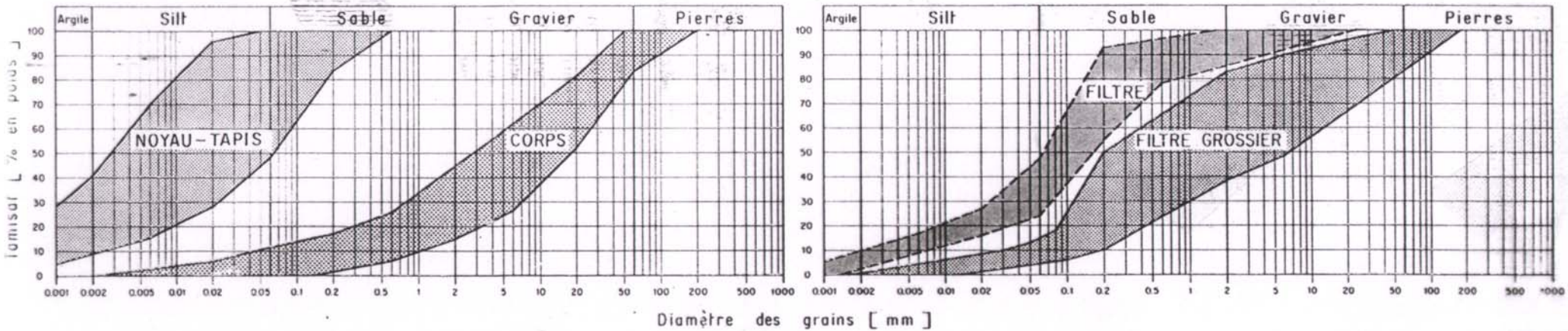
KAPITAL
SCALE

1:1000

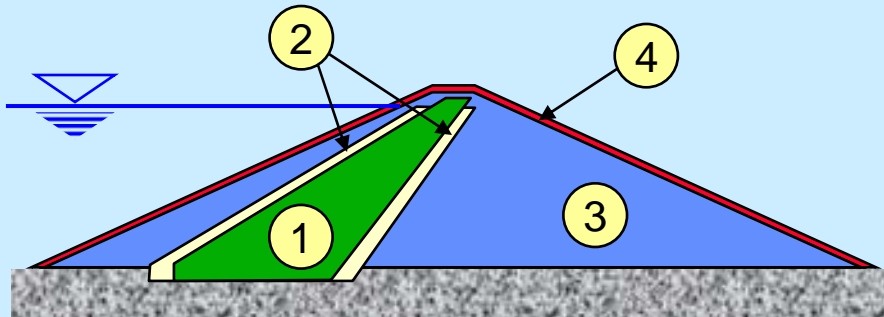
PROFIL-TYPE DE LA DIGUE



GRANULOMETRIE



Digues à noyau incliné



- 1 *Noyau*
- 2 *Zone de transition*
- 3 *Corps d'appui*
- 4 *Protection de surface*

⇒ Avantages

- ◆ noyau comprimé par la poussée de l'eau
- ◆ remblais séparé du noyau et corps d'appui (périodes de pluie, remblais du corps d'appui seulement)
- ◆ surélévation future de la digue plus facile

⇒ Inconvénients

- ◆ surfaces de glissement possibles sont situées dans le noyau (pente du parement amont est conditionnée par les propriétés mécaniques du matériau du noyau)

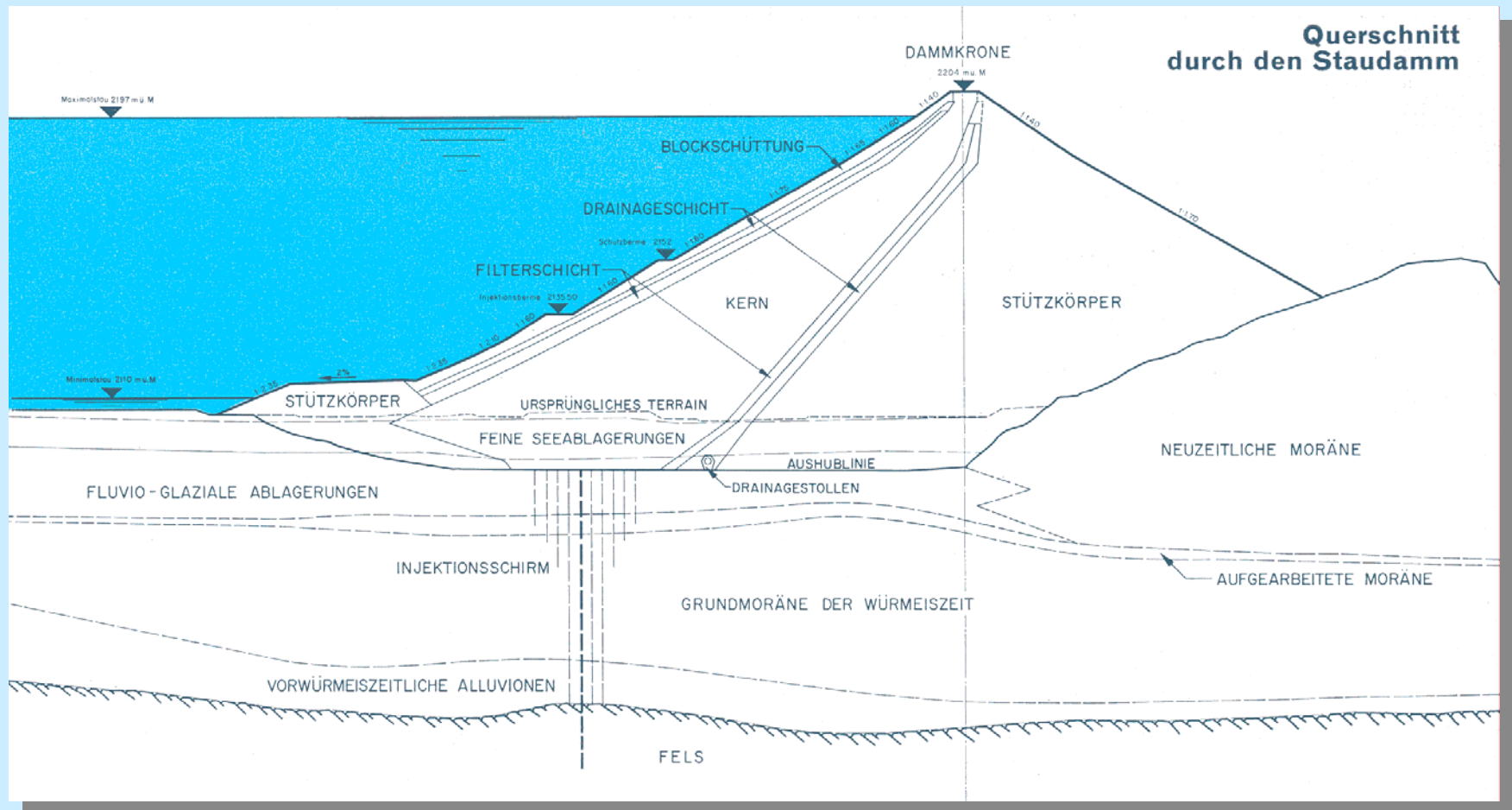
Mattmark, Valais, 120 m, 1967



Barrages en remblai

Types et matériaux

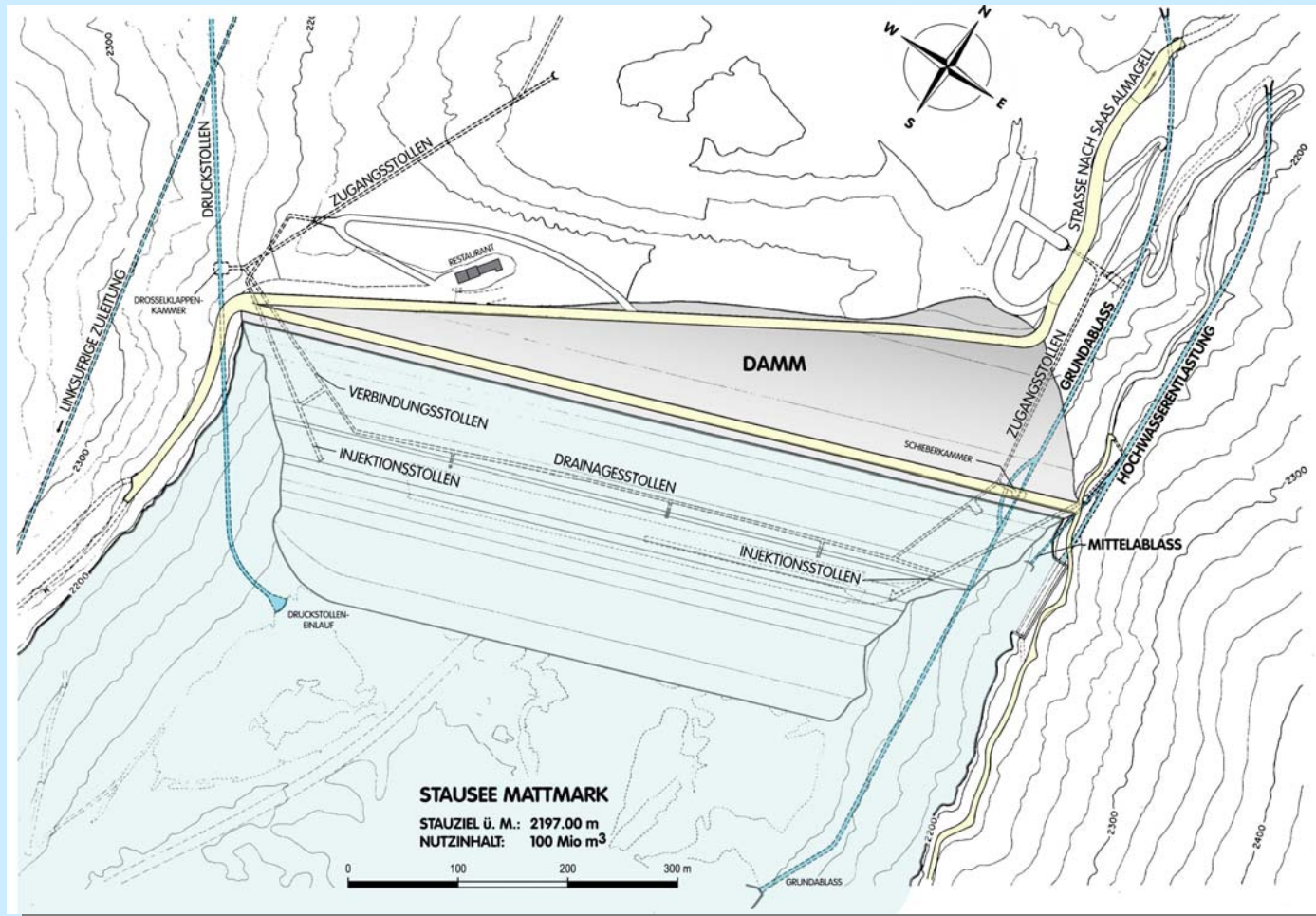
Mattmark, Valais, 120 m, 1967



Barrages en remblai

Types et matériaux

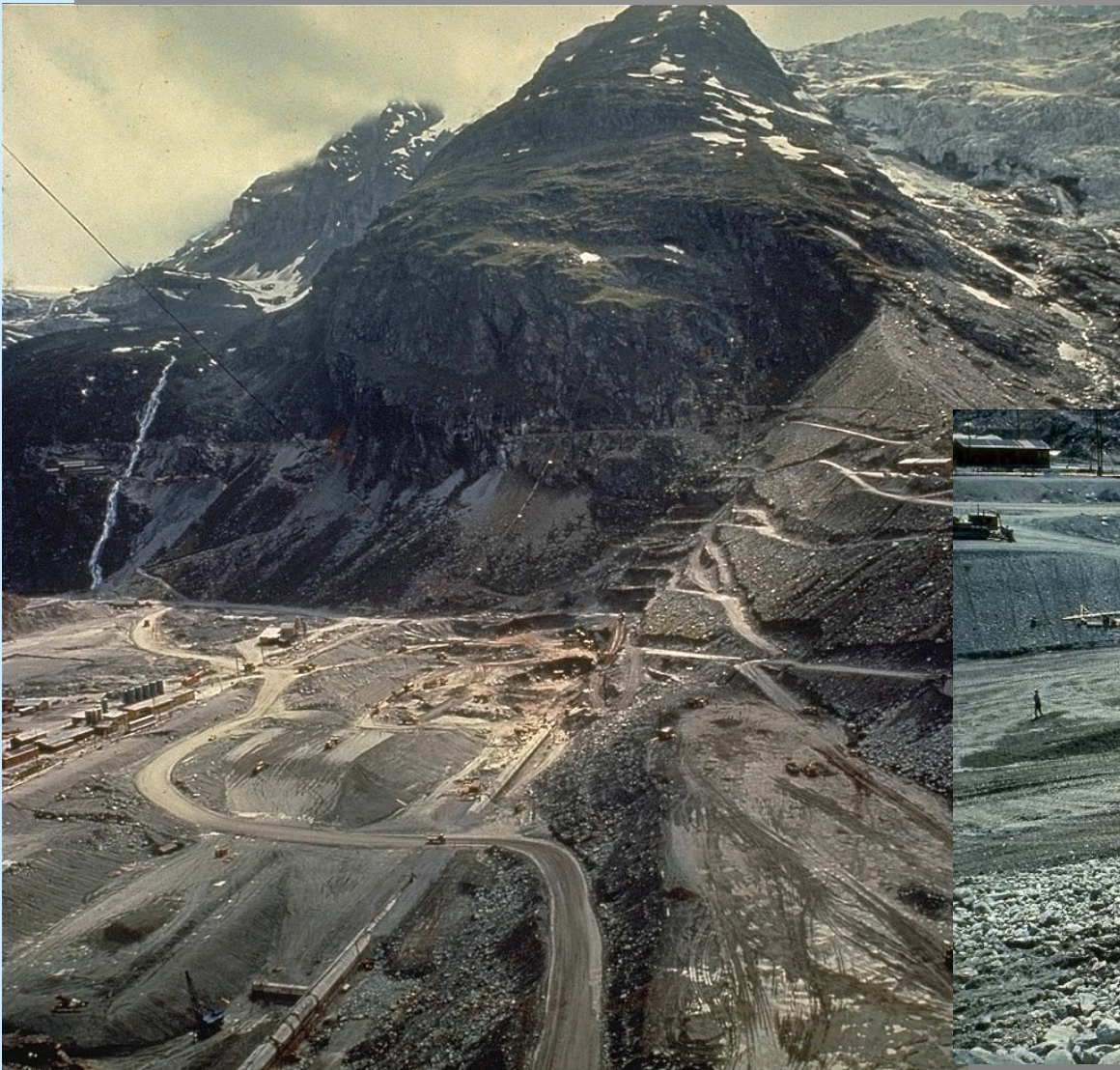
Mattmark, Valais, 120 m, 1967



Barrages en remblai

Types et matériaux

Mattmark, Valais, 120 m, 1967



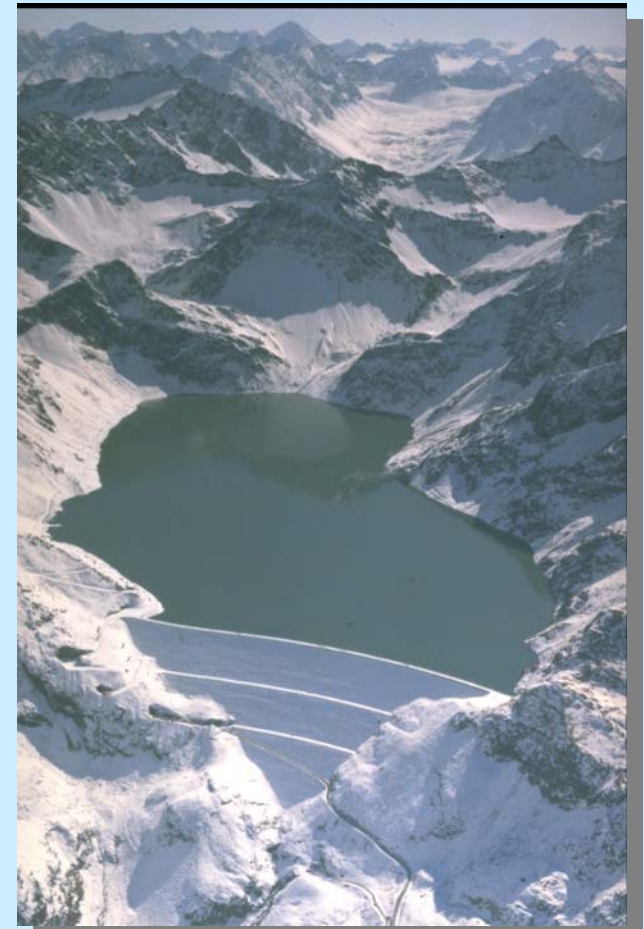
Barrages en remblai

Types et matériaux

Digues à membranes centrales



Finstertal,
Tyrol,
Autriche,
149 m,
1980

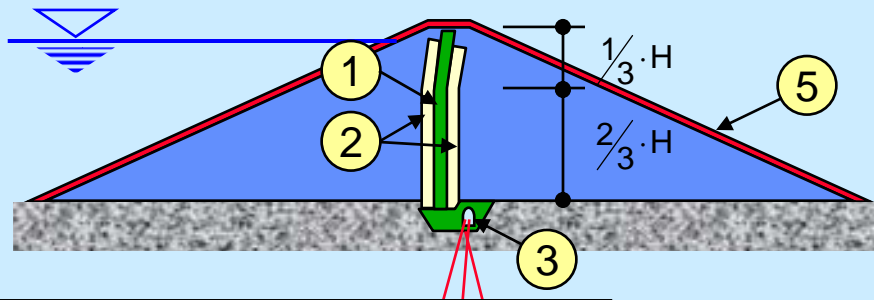


Barrages en remblai

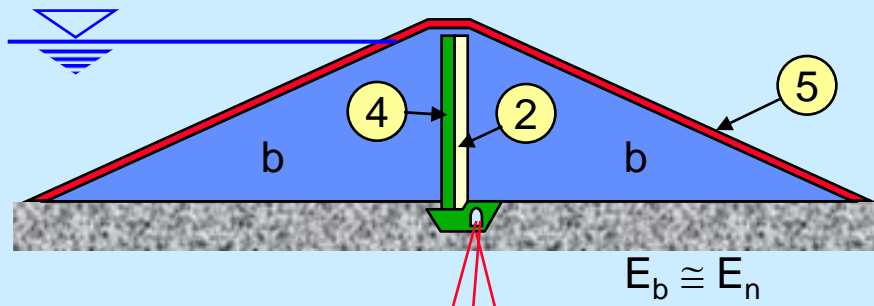
Types et matériaux

Digues à membranes centrales

Noyau bitumineux ($H < 150$ m)



Paroi moulée à sec ($H < 50$ m)



- | | | | |
|---|---------------------|---|---|
| 1 | Noyau | 4 | Noyau: mélange de b, de bentonite et de ciment (év. paroi en béton) |
| 2 | Zone de transition | | |
| 3 | Galerie d'injection | 5 | Protection de surface |

- ⇒ noyau bitumineux réalisable jusqu'à env. 100 m
- ⇒ paroi moulée à sec, très peu flexible
- ⇒ gradients très élevés à la base: injections très importantes!
- ⇒ épaisseur du noyau bitumineux
 - ◆ $e_{\min} = 0.5$ m,
 - ◆ $\frac{H}{e} \leq 120$
- ⇒ épaisseur de la paroi moulée à sec
 - ◆ $e_{\min} = 0.8$ m
- ⇒ construction d'un noyau bitumineux seulement par des entreprises spécialisées

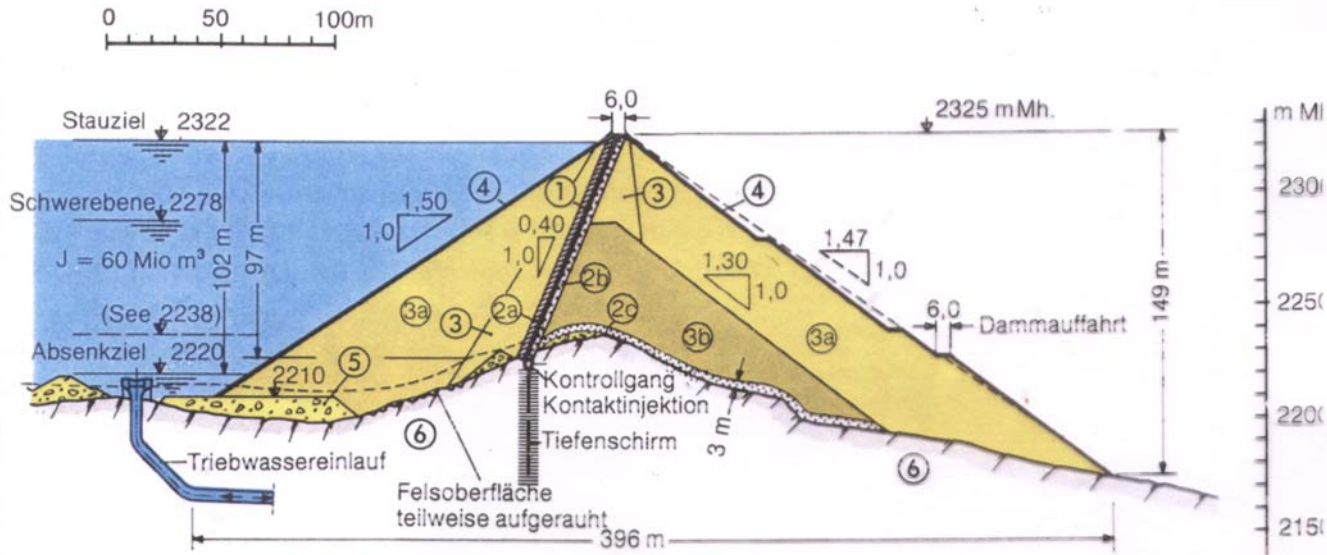
Barrages en remblai

Types et matériaux

Finstertal, Tyrol, Autriche,
149 m, 1980



Digues à membranes centrales

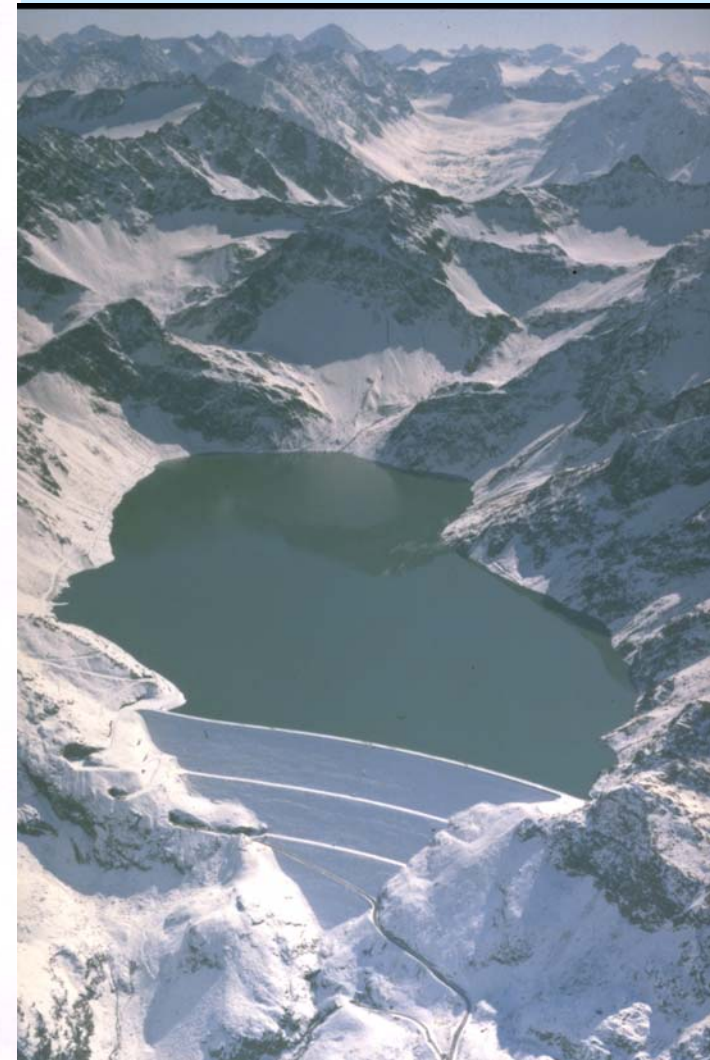


Zone	Bezeichnung	Material	Größtkorn
1	Dichtungskern	Asphaltbeton	
2a	Übergangszone	Moräne	100 mm
2b	Übergangszone	Steinbruchmat.	100 mm
2c	Drainagezone	Steinbruchmat.	700 mm
3; 3a	Stützkörper	Steinbruchmat.	700 mm
3b	Stützkörper	Moräne	700 mm

Zone	Bezeichnung	Material	Größtkorn
4	Deckschicht	Steinbruchmat.	1000 mm
5	Überlagerung	Moräne	—
6	Fels-Untergrund	Schiefergneis	

Gesamtkubatur 4,4 Mio m³

STAUDAMM FINSTERTAL, QUERSCHNITT



Finstertal, Tyrol, Autriche,
149 m, 1980



Finstertal, Tyrol, Autriche,
149 m, 1980



Finstertal, Tyrol, Autriche,
149 m, 1980



Barrages en remblai Types et matériaux

Digues à
membranes
centrales

Finstertal, Tyrol,
Autriche,
149 m, 1980





Saddle Dam, Trois Gorges, Chine



Saddle Dam, Trois Gorges, Chine

Laboratoire de Constructions Hydrauliques



Saddle Dam, Trois Gorges, Chine

Laboratoire de Constructions Hydrauliques



Saddle Dam, Trois Gorges, Chine

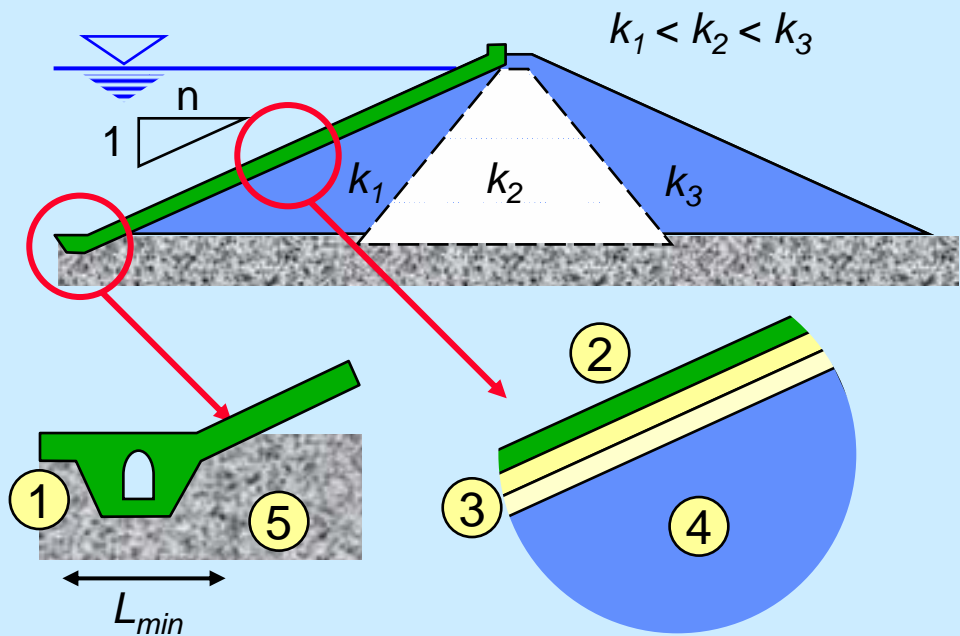
Laboratoire de Constructions Hydrauliques



Barrages en remblai

Types et matériaux

Digues à masque amont (CFRD - Concrete Faced Rockfill Dam)



- 1 Plinthe ($L_{min} > 3 m + H/15$)
- 2 Masque amont d'épaisseur d
- 3 Zone de transition avec granulométrie fine
- 4 Corps d'appui
- 5 Fondation sur roche indispensable

⇒ Type de digue avec le plus petit volume de remblais

⇒ masque en bitume

- ◆ $n_{max} = 1.70 - 1.75$ pour des raisons d'exécution
- ◆ $d \approx \frac{H}{300}$ pour $H > 30 m$,
- ◆ hauteur maximale $\approx 75 m$

⇒ masque en béton

- ◆ $n = 1.35 - 1.40$
pour sous-sol avec roche compétente
- ◆ $d \approx 35$ à $45 cm$
(souvent $d = 0.3m + 0.003 H$ en [m])
- ◆ armature $0.3 - 0.4\%$

⇒ gradients très élevés à la base, injections très importantes

Barrages en remblai

Types et matériaux

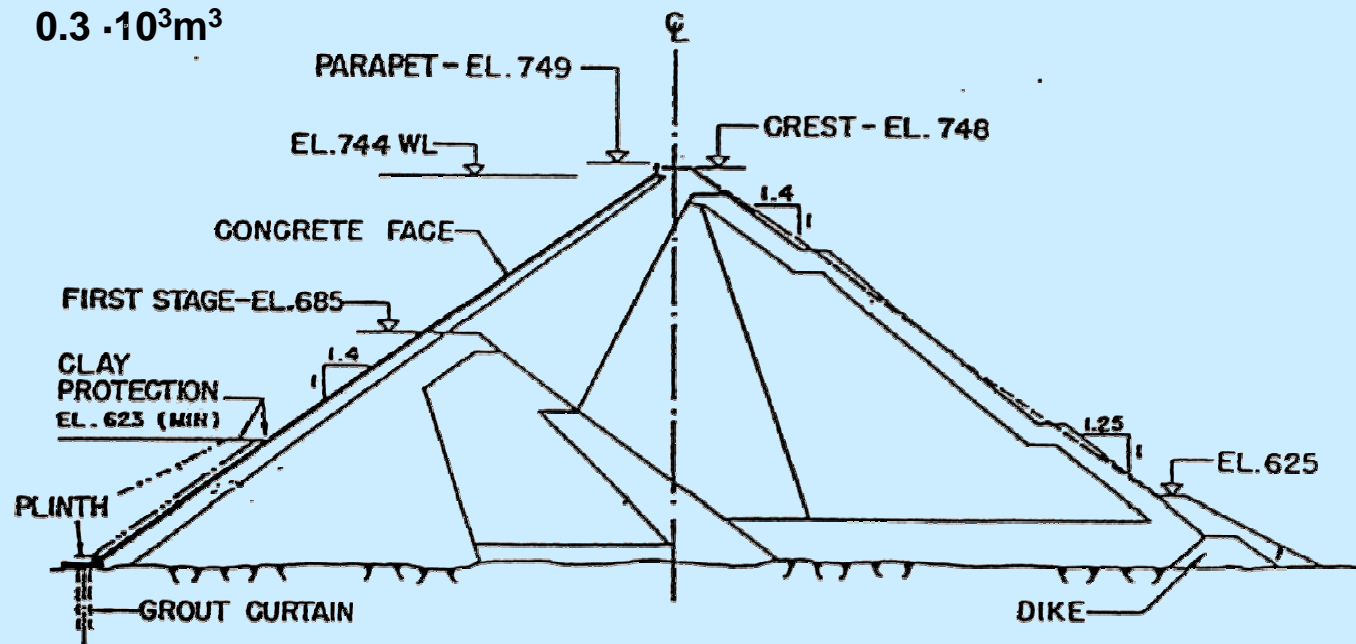
Digue à masque amont (Foz do Areia, Brésil)

La plus haute:

	du monde (1980)	de la Suisse
Nom:	Foz do Areia (Brésil)	Godey
Hauteur:	160 m	35 m
Volume du remblai:	$13 \cdot 10^3 \text{m}^3$	$0.3 \cdot 10^3 \text{m}^3$

Aguamilpa, Mexique
H = 187 m, 1993

En construction:
Nam Ngum 3, Laos
H = 220 m





Barrages en remblai Types et matériaux

Digues à
masque amont
(CFRD -
Concrete Faced
Rockfill Dam)

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

Barrages en remblai Types et matériaux

Digues à
masque amont
(CFRD -
Concrete Faced
Rockfill Dam)

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

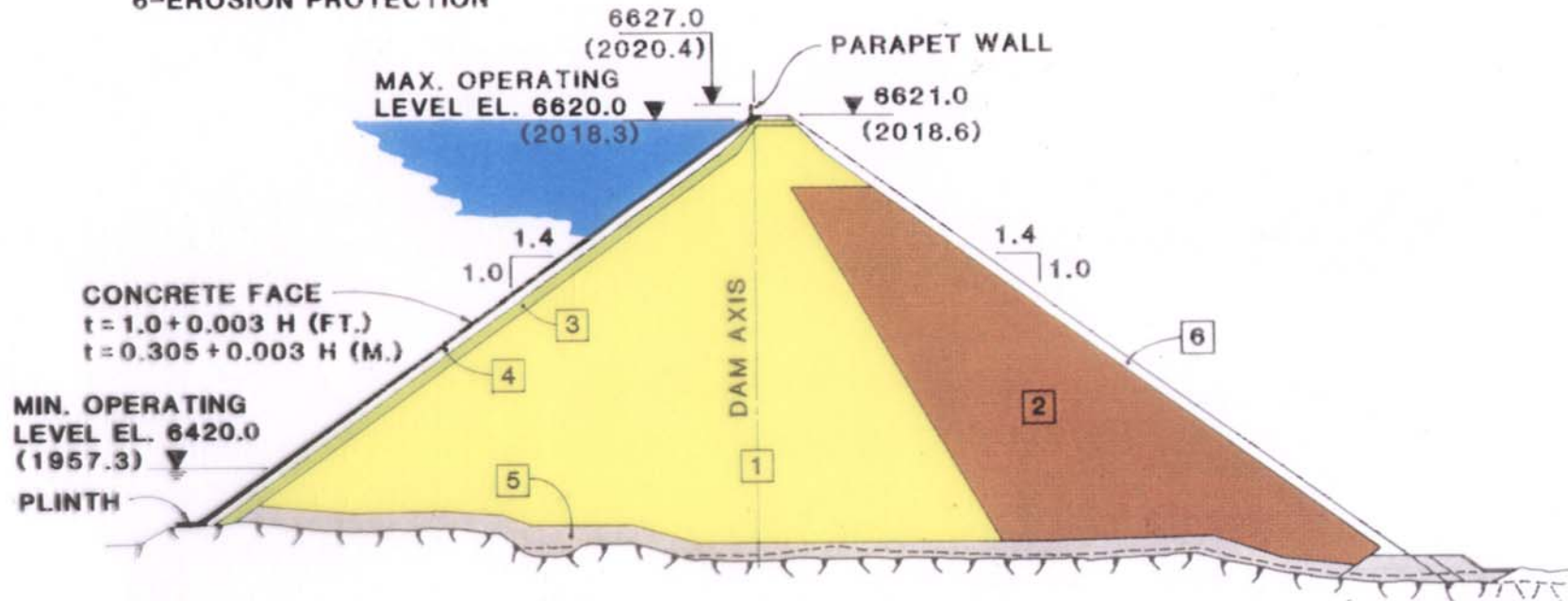


Grand Maison, Verney, France

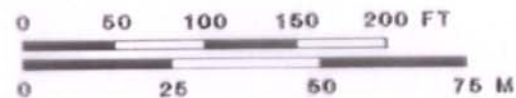
Digues à masque amont (CFRD - Concrete Faced Rockfill Dam)

New Spicer Meadow, USA, 70 m

- ZONE 1-COMPACTED ROCKFILL (3 FT. LIFTS)
2-COMPACTED ROCKFILL (5 FT. LIFTS)
3-COARSE TRANSITION (1.5 FT. LIFTS)
4-FINE TRANSITION (1.5 FT. LIFTS)
5-COMPACTED ROCKFILL (DRAINAGE)
6-EROSION PROTECTION

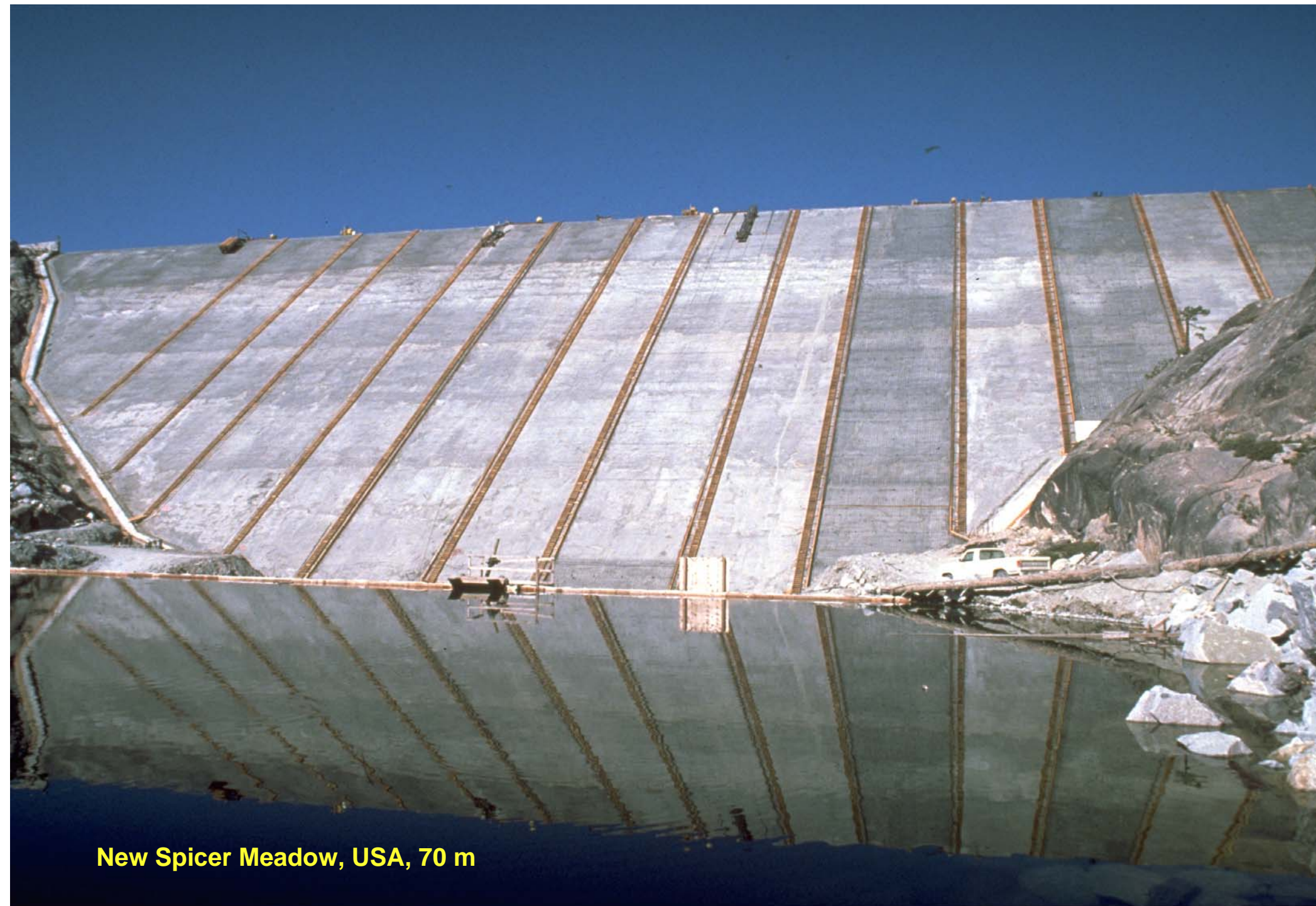


SECTION THROUGH DAM





New Spicer Meadow, USA, 70 m



New Spicer Meadow, USA, 70 m



New Spicer Meadow, USA, 70 m



New Spicer Meadow, USA, 70 m

New Spicer Meadow, USA, 70 m





New Spicer Meadow, USA, 70 m

Barrage d'Ohra, Thüringen, Allemagne



Barrages en remblai

Types et matériaux

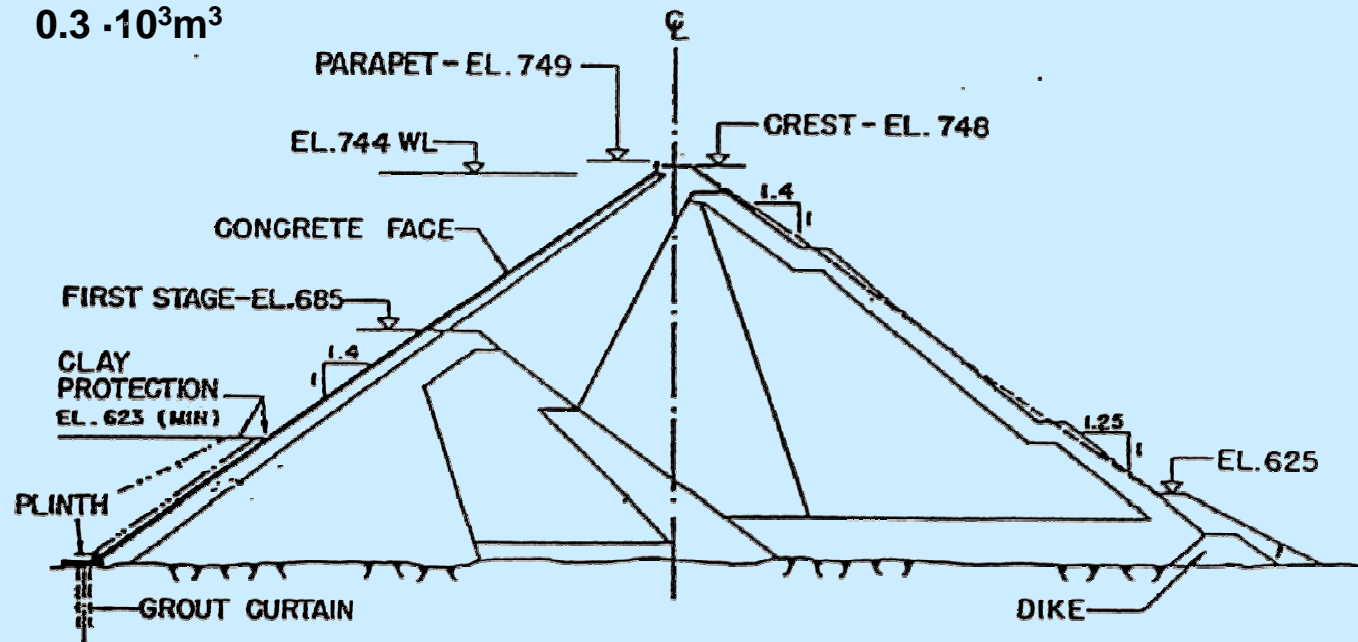
Digue à masque amont (Foz do Areia, Brésil)

La plus haute:

	du monde (1980)	de la Suisse
Nom:	Foz do Areia (Brésil)	Godey
Hauteur:	160 m	35 m
Volume du remblai:	$13 \cdot 10^3 \text{m}^3$	$0.3 \cdot 10^3 \text{m}^3$

Aguamilpa, Mexique
H = 187 m, 1993

En construction:
Nam Ngum 3, Laos
H = 220 m



Barrages en remblai

Types et matériaux

Barrage en remblai avec masque amont en bitume

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

Barrages en remblai Types et matériaux

Barrage en remblai avec masque amont en bitume





Barrages en remblai





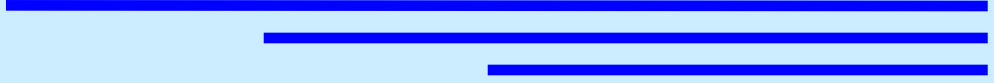
Barrages en remblai

Types et matériaux



Barrages en remblai

Types et matériaux



Digues à masque amont - avantages par rapport aux digues à noyau central

- A) Le corps d'appui est situé hors de l'eau (pas d'altération sous l'effet de l'eau, pas de changement des pressions interstitielles dues à la variation du niveau de la retenue).
- B) La poussée de l'eau est plus favorable et augmente la composante verticale qui agit sur la semelle de la fondation ← augmentation de la résistance au glissement.
- C) Le corps d'appui n'est pas soumis aux filtrations ← pentes des parements plus raides.

Barrages en remblai

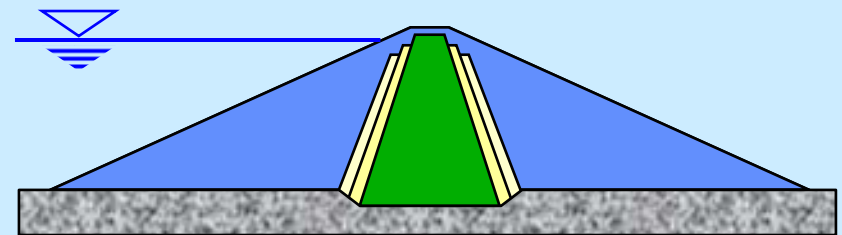
Types et matériaux

Matériaux de construction I

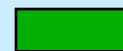
⇒ Exigences

- ◆ sur la qualité
 - ✓ non organique
 - ✓ non altérable
 - ✓ extraction, transport et mise en place possible
 - ✓ compactage possible
 - ✓ résistance au cisaillement ϕ' et c' élevée
- ◆ disponibilité, proximité du site
- ◆ économie

⇒ Cohésion



filtres et corps d'appui:
- matériau non cohésif



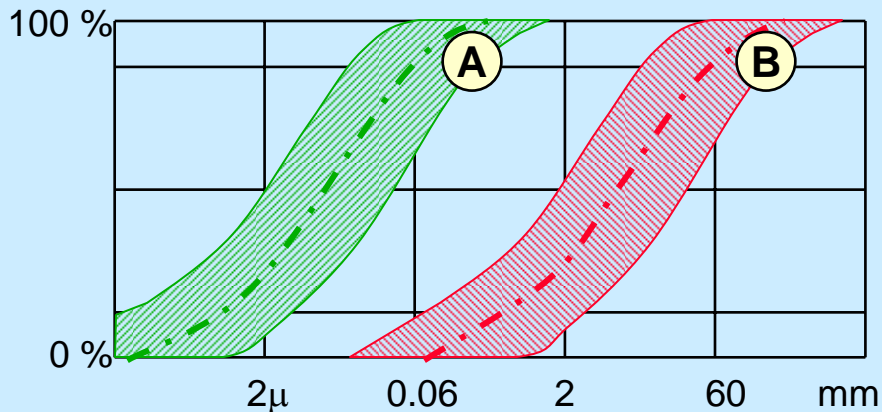
noyau:
- matériau cohésif (CL),
 $k < 10^{-7}$ m/s
- év. matériau morainique:
forte teneur en fines

Barrages en remblai

Types et matériaux

Matériaux de construction II

⇒ Granulométrie



A noyau: teneur en argile > 5 %

B corps d'appui:

$d_{max} = \frac{2}{3}$ hauteur de couche

granulométrie étendue:

↗ autocolmatage

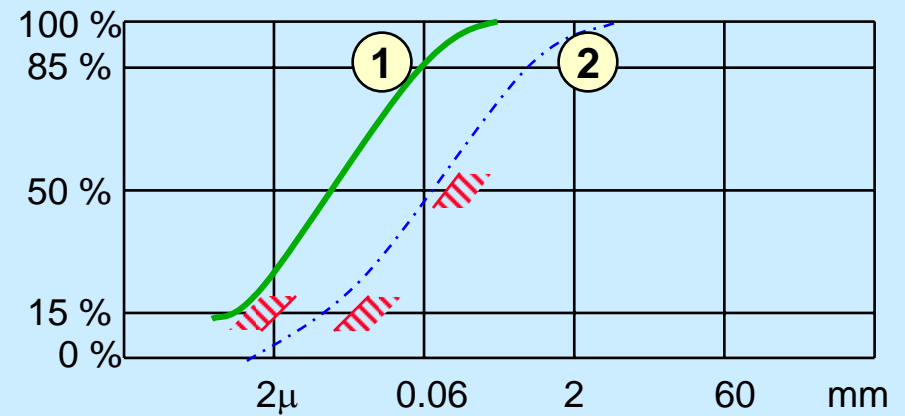
↘ risque de liquéfaction

⇒ Critères de filtre (Terzaghi - Peck)

$$D_{15,\text{filtre}} > 5 D_{15,\text{noyau}}$$

$$D_{15,\text{filtre}} < 5 D_{85,\text{noyau}}$$

$$D_{50,\text{filtre}} < 25 D_{50,\text{noyau}}$$



1 noyau

2 filtre

Barrages en remblai

Types et matériaux

Matériaux de construction III

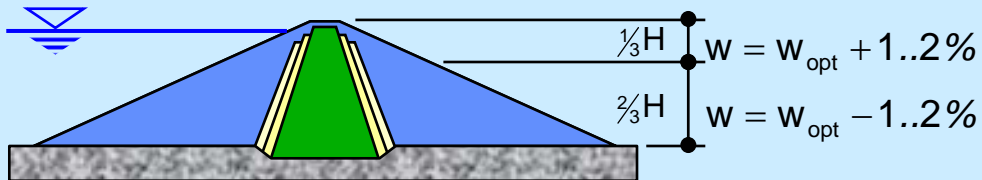
⇒ Matériaux cohésifs

◆ teneur en eau:

critère prépondérant pour:

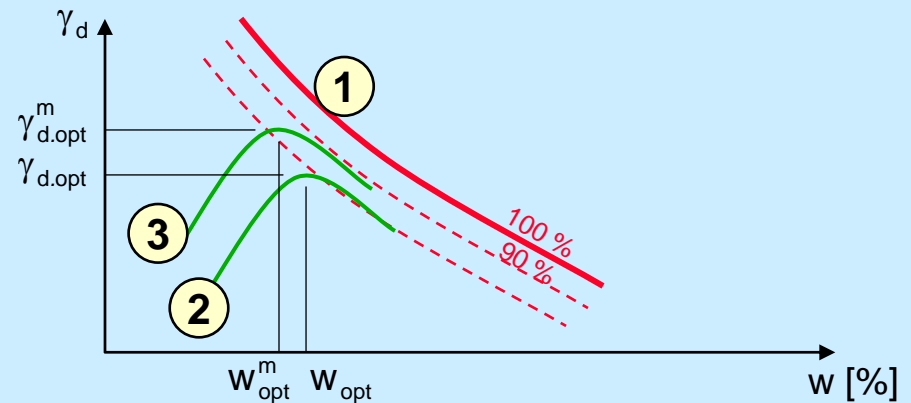
- ✓ l'exploitation de la zone d'emprunt
- ✓ la mise en place sur la digue
- ✓ le compactage
- ✓ la résistance au cisaillement
- ✓ la consolidation (tassements)

⇒ Teneur en eau exigée



👉 dessiccation de surface à éviter !

⇒ Courbes de Proctor



- 1 *courbe de saturation 100%*
- 2 *courbe de Proctor standard*
- 3 *courbe de Proctor modifiée*

Barrages en remblai

Types et matériaux

Essai Proctor

Daten der Verdichtungsgeräte		AASHO-Topf		CBR-Topf		Großer Topf		Caractéristiques
		Moule AASHO		Moule CBR		Grand moule		
		Stan- dard	Modi- fied	Stan- dard	Modi- fied	Stan- dard	Modi- fied	
Durchmesser des Topfes	(cm)	10,16	10,16	15,2	15,2	25,0	25,0	(cm) Diamètre du moule
Höhe der Probe	(cm)	11,7	11,7	12,7	12,7	20,0	20,0	(cm) Hauteur de l'échantillon
Volumen der Probe	(cm ³)	948	948	2305	2305	9817	9817	(cm ³) Volume de l'échantillon
Durchmesser des Fallgewichtes	(cm)	5,10	5,10	5,10	5,10	12,5	12,5	(cm) Diamètre de la dame
Fallgewicht	(kg)	2,49	4,54	4,54	4,54	15,0	15,0	(kg) Poids de la dame
Fallhöhe	(cm)	30,5	45,7	45,7	45,7	60,0	60,0	(cm) Hauteur de chute
Anzahl Schichten		3	5	5	5	3	5	Nombre de couches
Schläge pro Schicht		25	25	12	55	22	60	Nombre de coups par couche
Verdichtungsenergie	(cm kg /cm ³)	6,05	27,4	5,45	24,9	6,0	27,4	(kg cm /cm ³) Energie de compactage
Mindestprobenmenge	(kg)	15,0	15,0	40,0	40,0	160,0	160,0	(kg) Poids minimum de l'échantillon
Zulässiges Größtkorn								Grain maximum
Rundlochsieb	(mm Ø)	8	8	20	20	50	50	(mm Ø) Passoire
zulässig gemäß Ziff.6	(mm)	20	20	31,5	31,5	50	50	(mm) Idem, tolérable selon chiffre 6

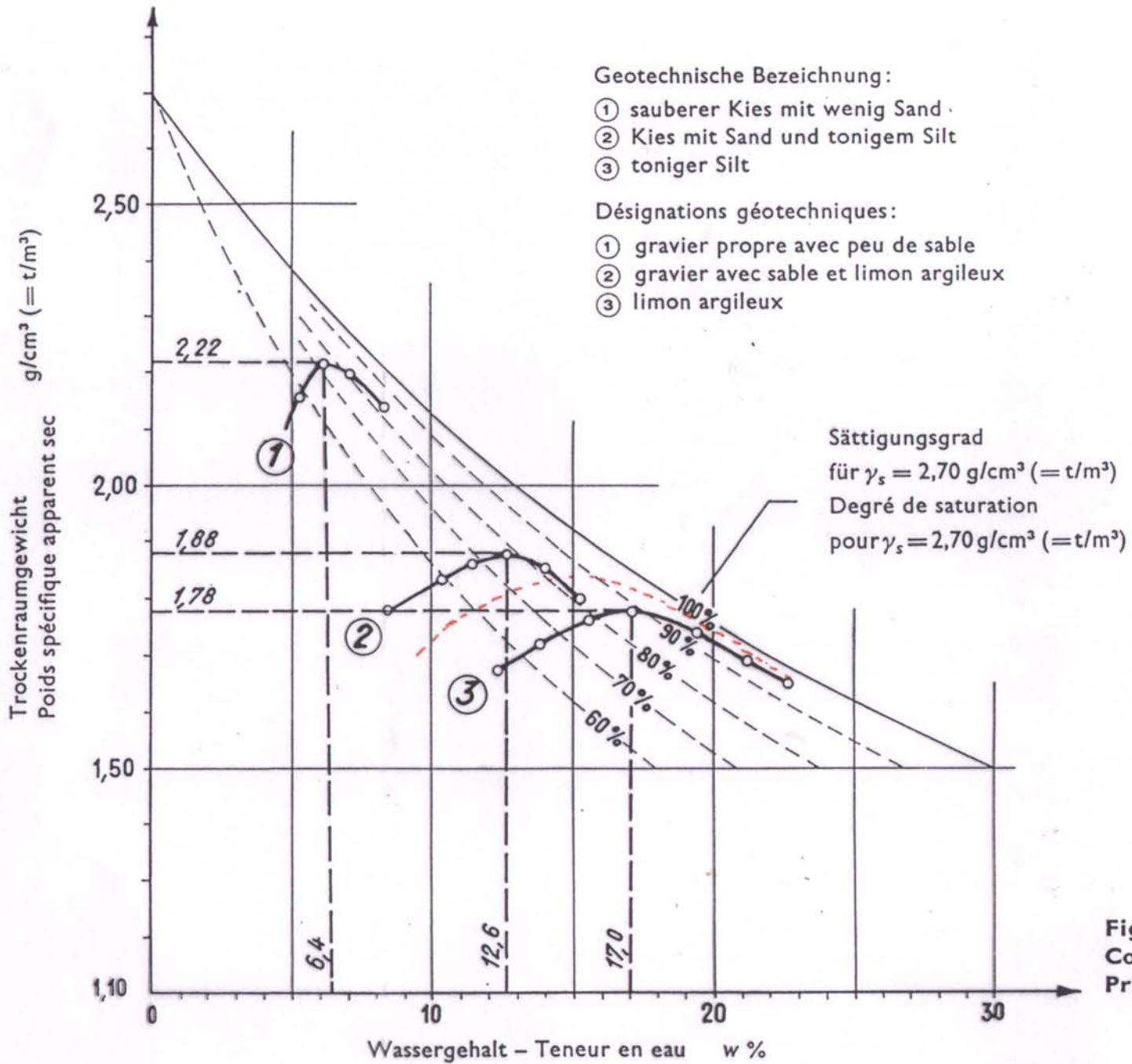


Abb. 1
Proctor-
kurven

Fig. 1
Courbes de
Proctor

Barrages en remblai

Types et matériaux

Mise en place des matériaux

⇒ Matériaux cohésifs

- ◆ noyau
- ◆ épaisseur de couche 25 à 30 cm
- ◆ contrôle très rigoureux de la teneur en eau
- ◆ moyens
 - ✓ rouleau à pneu (6 à 8 t, 4 à 6 passes)
 - ✓ rouleau vibrant (8 à 10 t)

⇒ Matériaux non cohésifs

- ◆ filtres, transitions, corps d'appui, rip-rap
- ◆ épaisseur de couche
 - filtres env. 0.60 m
 - alluvions, éboulis 0.90 à 1.20 m
 - enrochements de carrière ... 1.50 m
- ◆ arrosage pour favoriser le compactage
- ◆ moyens
 - ✓ rouleaux vibrants
selon essais préalables

Barrages en remblai

Types et matériaux

Mise en place des matériaux

⇒ Matériaux cohésifs

- ◆ noyau
- ◆ épaisseur de couche 25 à 30 cm
- ◆ contrôle très rigoureux de la teneur en eau
- ◆ moyens
 - ✓ rouleau à pneu (6 à 8 t, 4 à 6 passes)
 - ✓ rouleau vibrant (8 à 10 t)

⇒ Matériaux non cohésifs

- ◆ filtres, transitions, corps d'appui, rip-rap
- ◆ épaisseur de couche
 - filtres env. 0.60 m
 - alluvions, éboulis 0.90 à 1.20 m
 - enrochements de carrière ... 1.50 m
- ◆ arrosage pour favoriser le compactage
- ◆ moyens
 - ✓ rouleaux vibrants
selon essais préalables

Barrages en remblai

Types et matériaux

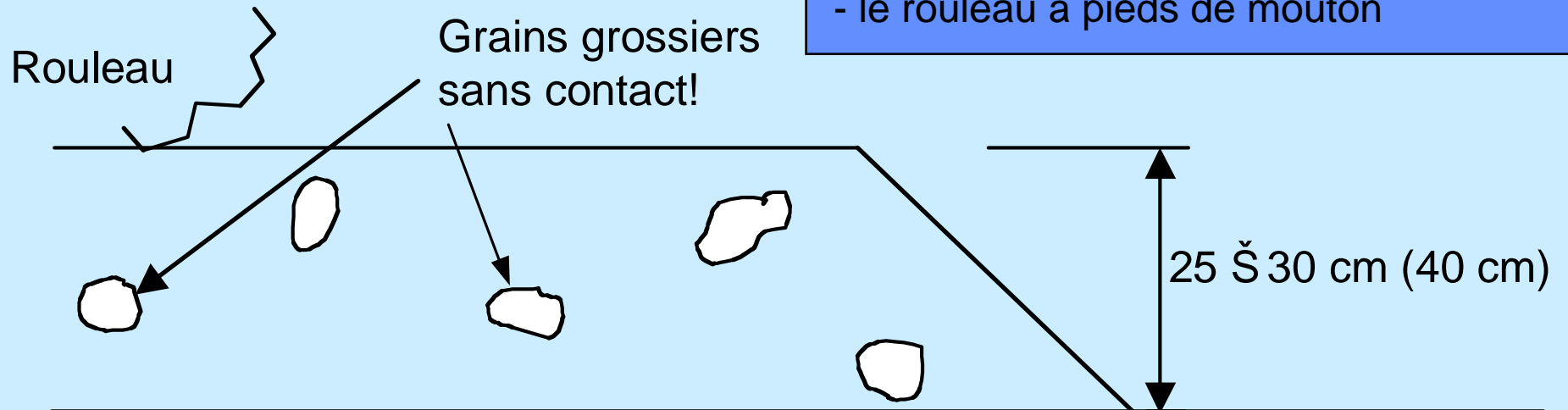
Mise en place des matériaux

⇒ Matériaux cohésifs

- ◆ noyau
- ◆ épaisseur de couche: 25 à 30 cm

Moyens de compactage:

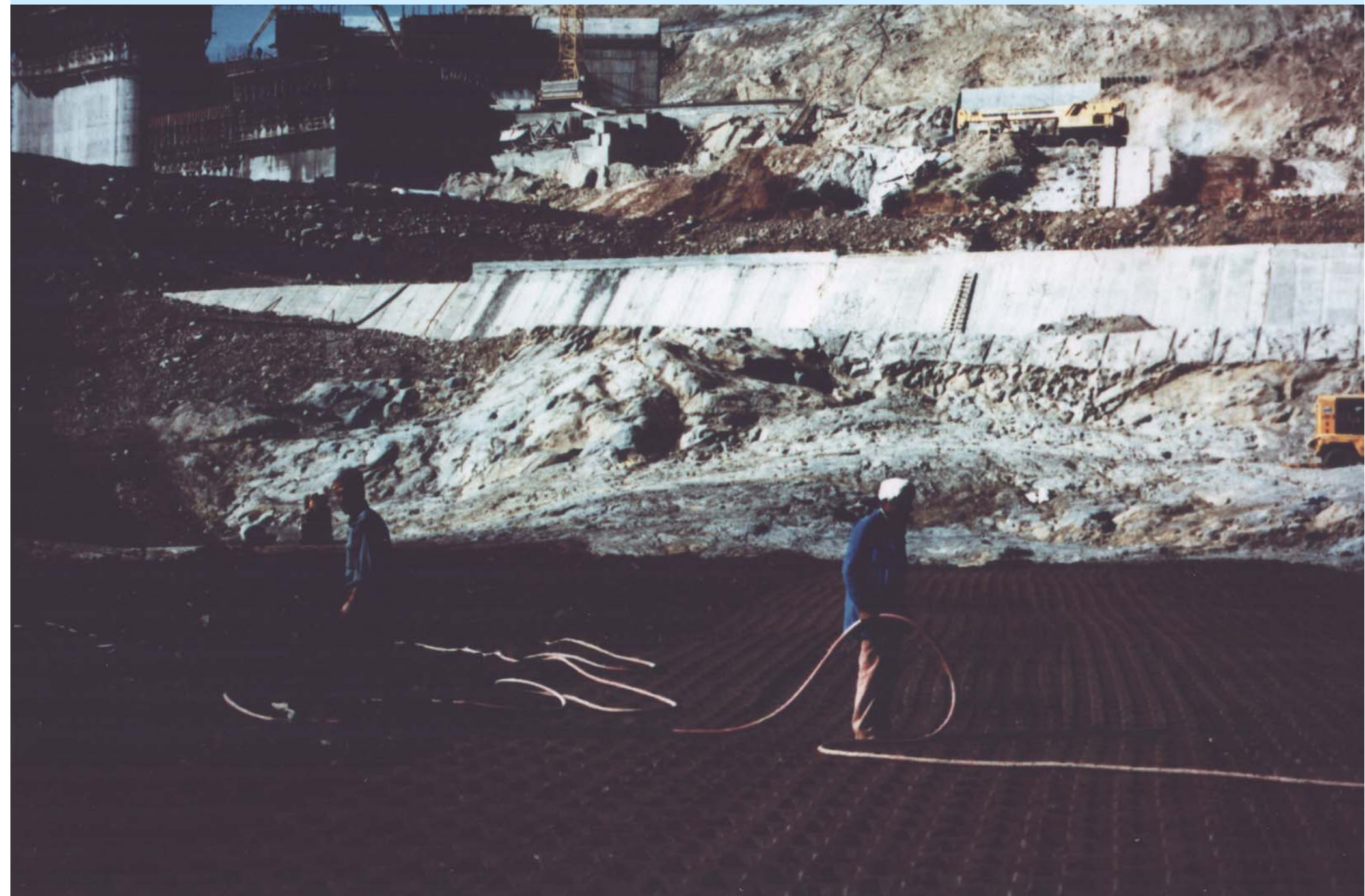
- rouleau à pneu (6 à 8 t, 4 à 6 passes)
 - rouleau vibrant (8 à 10 t)
- pour réduire les pressions interstitielles:
- le rouleau à (grille et) disques
 - le rouleau à pieds de mouton





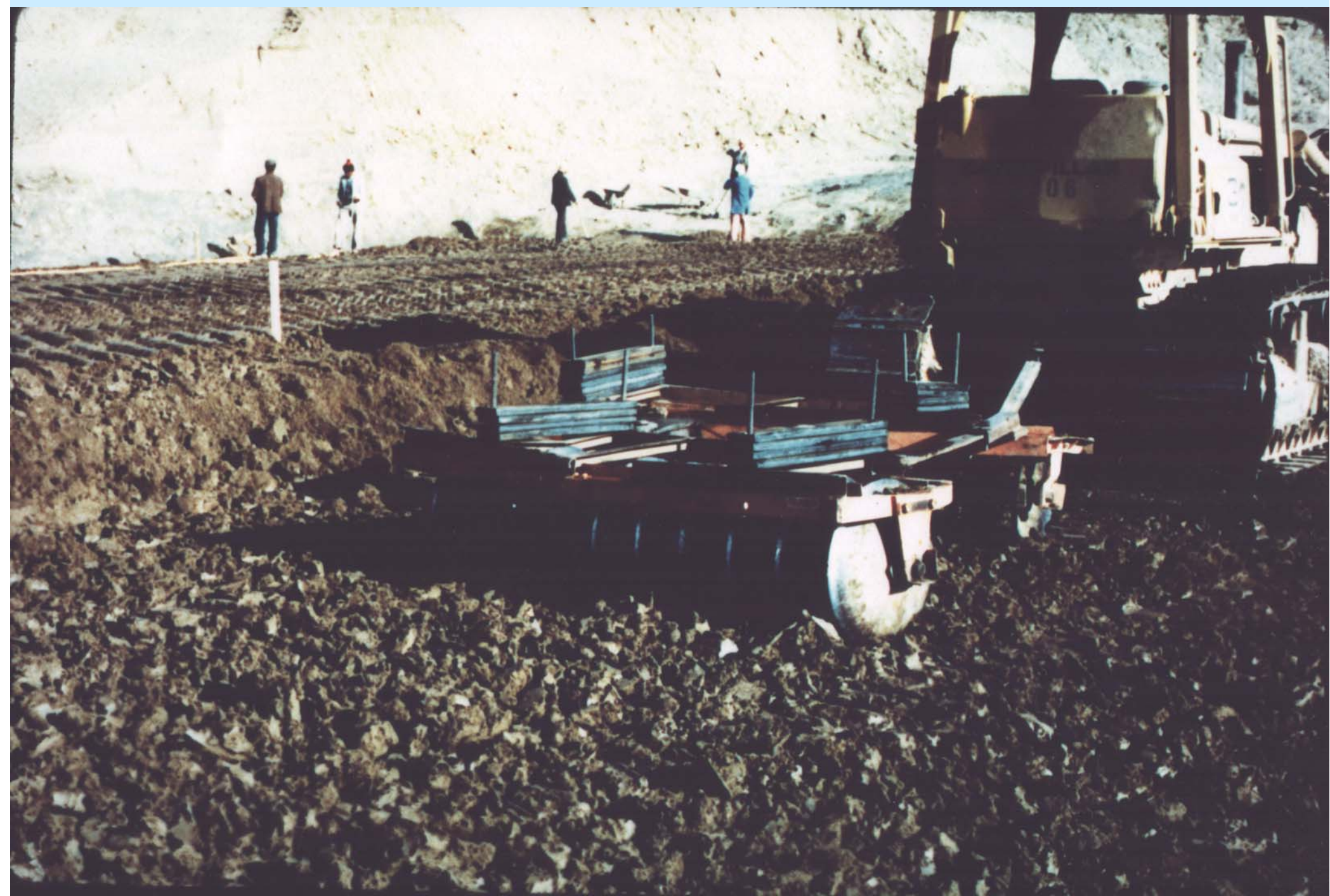










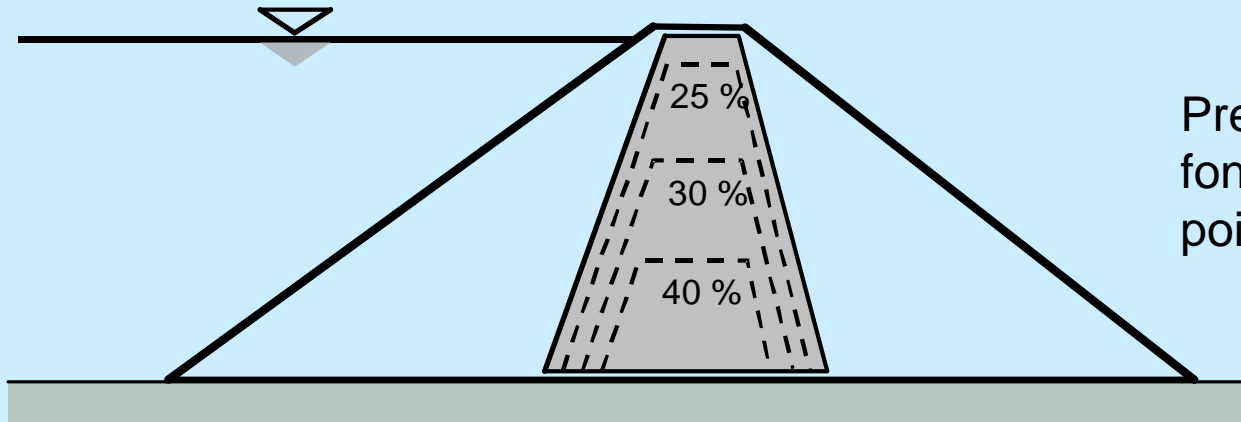




Barrages en remblai

Types et matériaux

Pressions interstitielles dans le noyau due au compactage



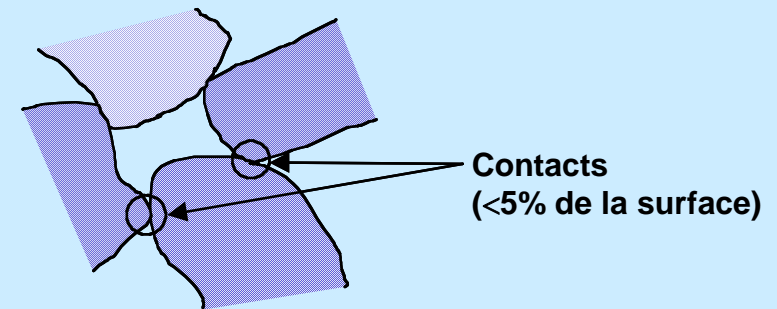
Pression interstitielles en fonction de la pression du poids des matériaux

- $k > 5 \cdot 10^{-7}$ cm/s Pas de dissipation pendant la construction
- $k > 5 \cdot 10^{-6}$ cm/s Dissipation partielle
- $k > 5 \cdot 10^{-5}$ cm/s Dissipation considérable
- $k > 10^{-5}$ cm/s Dissipation complète

Compactage des matériaux non-cohésifs

- ⇒ Des matériaux non-cohésifs sont utilisés pour la construction des
 - filtres
 - zones de transition
 - corps d'appui
 - drainage
 - rip-rap
- ⇒ épaisseurs typiques de couches:
 - d'environ 60 cm pour les filtres,
 - entre 90 cm et 1.20 m pour les matériaux alluvionnés et les éboulis (selon la perméabilité),
 - d'environ 1.50 m pour les enrochements de carrière.
- ⇒ diamètre maximum des grains est égal à $\frac{3}{4}$ de l'épaisseur des couches pour les corps d'appui.
- ⇒ compactage à l'aide de rouleaux vibrants; type est choisi selon les essais préalables; poids 8 – 10 t.

- ⇒ Arrosage pendant le compactage



- ⇒ Critère de contrôle: densité relative

$$D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad \square 70\% \quad [\text{en \%}]$$

avec indice des vides: $e = \frac{n}{1 - n}$

n: vides en [%]

Barrages en remblai

Types et matériaux

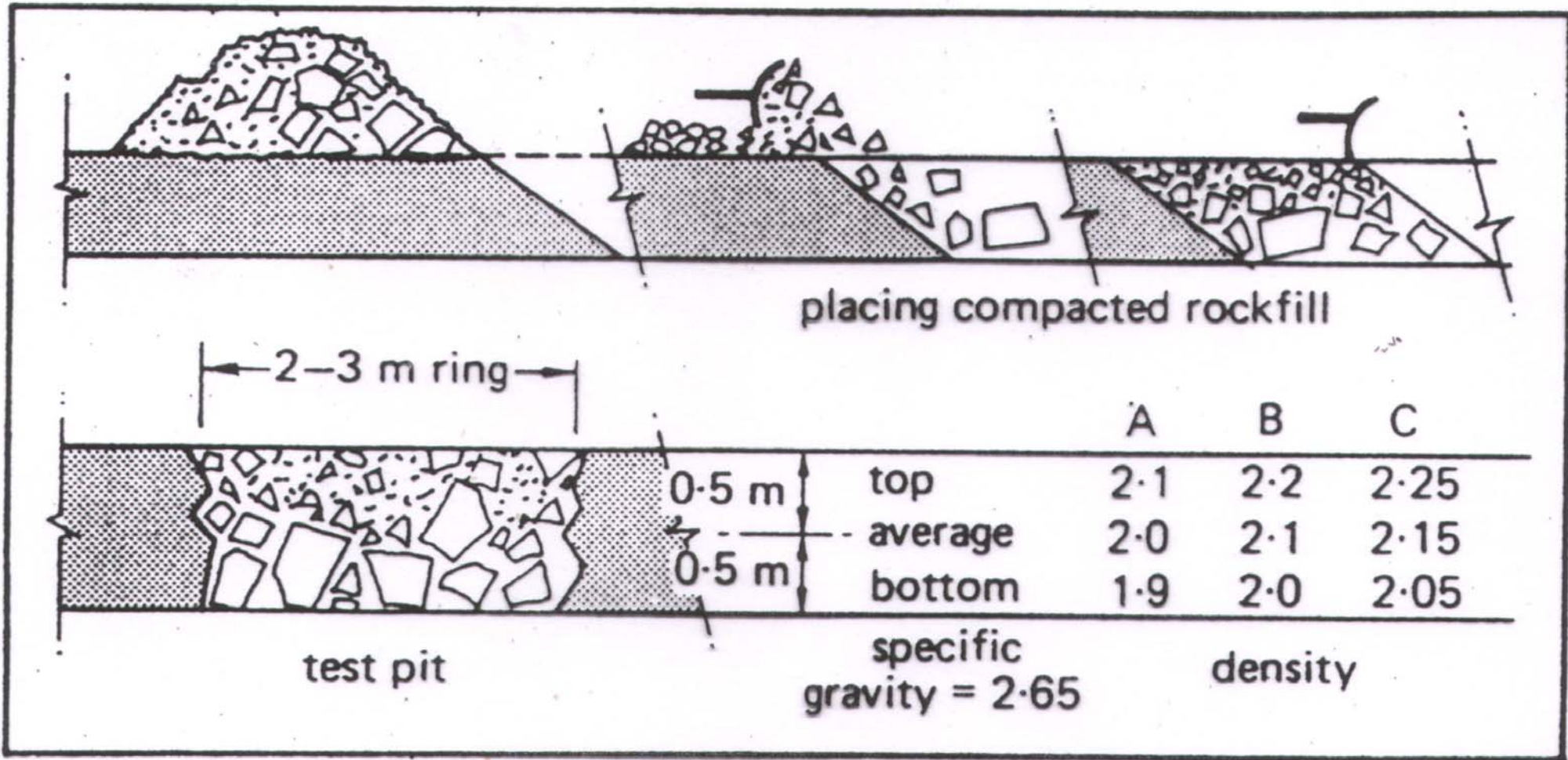


Fig. 3. Placing and density of compacted rockfill.

Contrôles pendant la construction

⇒ Contrôles après la mise en place des matériaux

1. γ_d poids spécifique apparent sec
2. w [%] teneur en eau dans le noyau
3. u pressions interstitielles dans le noyau
4. jauges de déformation horizontale
5. mesures de tassement vertical

⇒ Avec 1) et 2) on contrôle le compactage pendant la mise en place

⇒ Nombre des essais

- ◆ début des travaux : un échantillon/contrôle tous les 500 m³
- ◆ après à tous les 2000 m³
- ◆ Volumes par jour (grandeur typique) = 25'000 m³

==> 50 essais aux échantillons dans le laboratoire du chantier par jour

Comportement après la construction

Tassements et consolidation

- tassement dû à l'augmentation du poids pendant le remblayage (déformation instantanée)
 - ✓ valeurs typiques (pour une hauteur de 30 m)

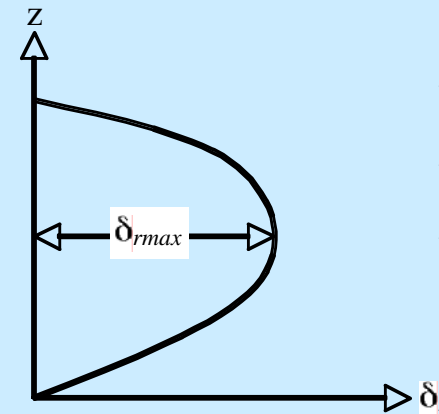
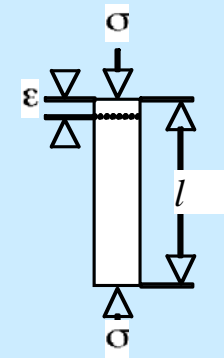
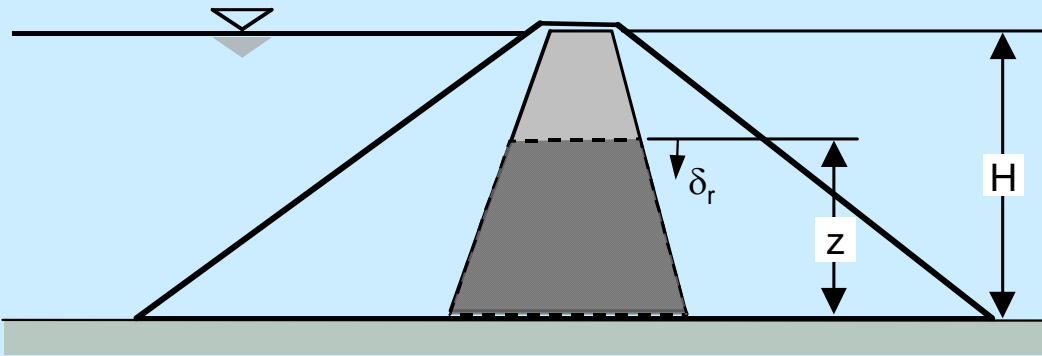
• graviers et sables	0.9 - 1.4 % (de la hauteur totale)
• limons sableux	1.3 - 2.1 %
• graviers et sables argileux	1.9 - 3.3 %
• limons argileux	2.8 - 4.2 %
- consolidation après la construction due à la diminution des pressions interstitielles (déformation à long terme)
 - ✓ valeur typique 1% de la hauteur totale (compensation par la surélévation du couronnement)

Barrages en remblai

Types et matériaux

Comportement après la construction

Tassements: Modèle simpliste



$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \cdot l$$

$$\delta_r = \frac{1}{E_r} z \cdot (H - z) \gamma$$

$$\delta_r = \frac{\gamma}{E_r} (H \cdot z - z^2)$$

$$z = 0 ; \delta_r = 0$$

$$z = H ; \delta_r = 0$$

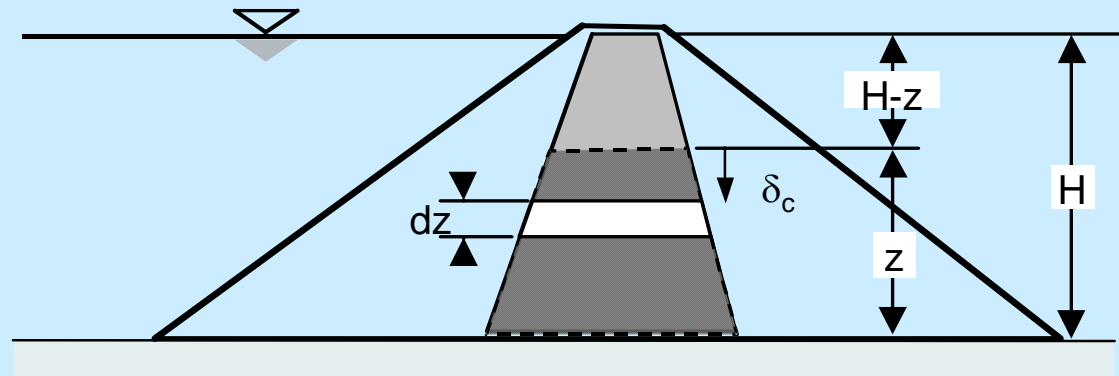
$$z = \frac{1}{2} H ; \delta_{rmax} = \frac{\gamma}{E_r} \cdot \frac{H^2}{4}$$

Barrages en remblai

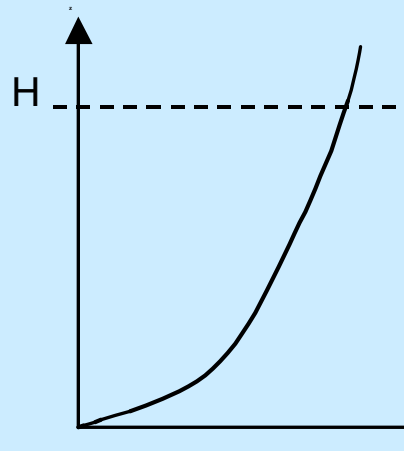
Types et matériaux

Comportement après la construction

Consolidation:
Modèle simpliste



$$\delta_c = \int_0^z \frac{\gamma}{E_c} (H-z) dz = \frac{\gamma}{E_c} \left(H-z - \frac{z^2}{2} \right)$$



$$z = 0 \Rightarrow \delta_c = 0$$
$$z = H \Rightarrow \delta_c = \frac{\gamma}{E_c} \cdot \frac{H^2}{2}$$

Laboratoire de Constructions Hydrauliques

Barrages en remblai

Types et matériaux

Comportement après la construction

Exemple de la digue
Göscheneralp (H = 155 m)

$$\gamma = 22.9 \text{ kN/m}^3$$

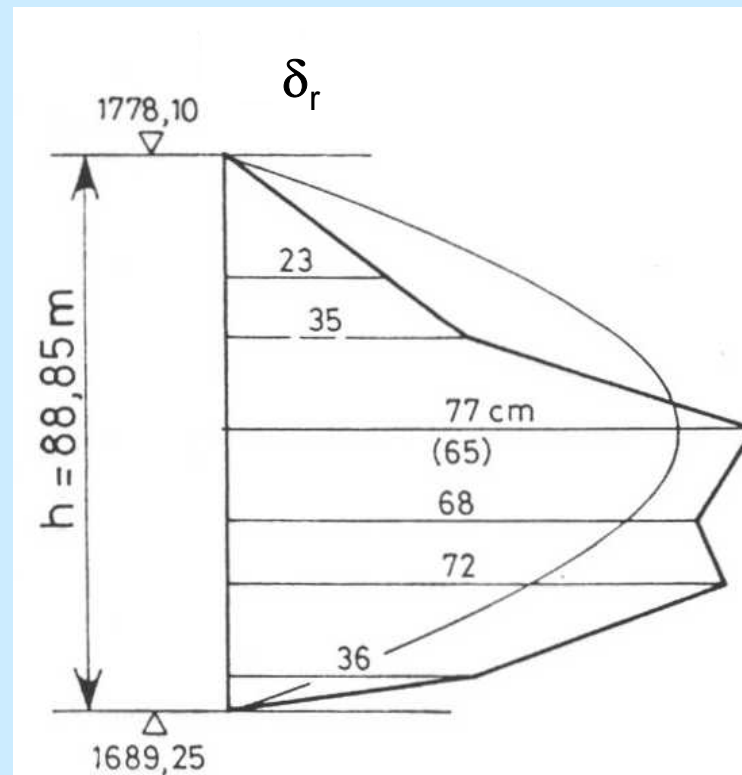
Module de déformation
selon les courbes
théoriques ajustées

$$E_r = 82 \text{ MN/m}^2$$

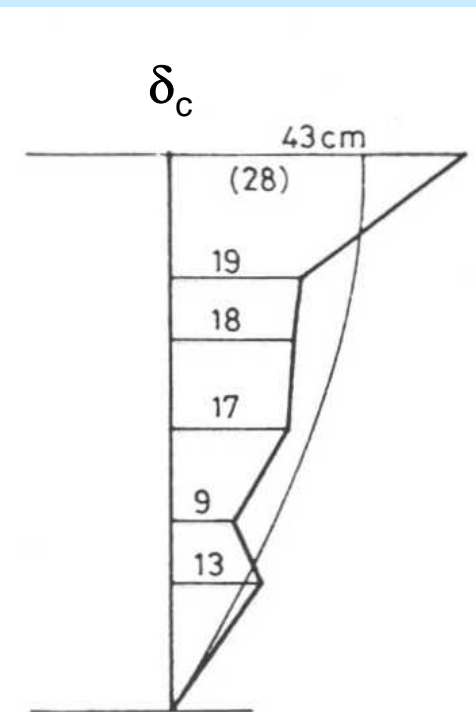
$$E_c = 232 \text{ MN/m}^2$$

Corps d'appui amont
(coupe V)

Tassement



Consolidation



Barrages en remblai

Types et matériaux

Comportement après la construction

Exemple de la digue
Göscheneralp (H = 155 m)

$$\gamma = 22.9 \text{ kN/m}^3$$

Module de déformation
selon les courbes
théoriques ajustées

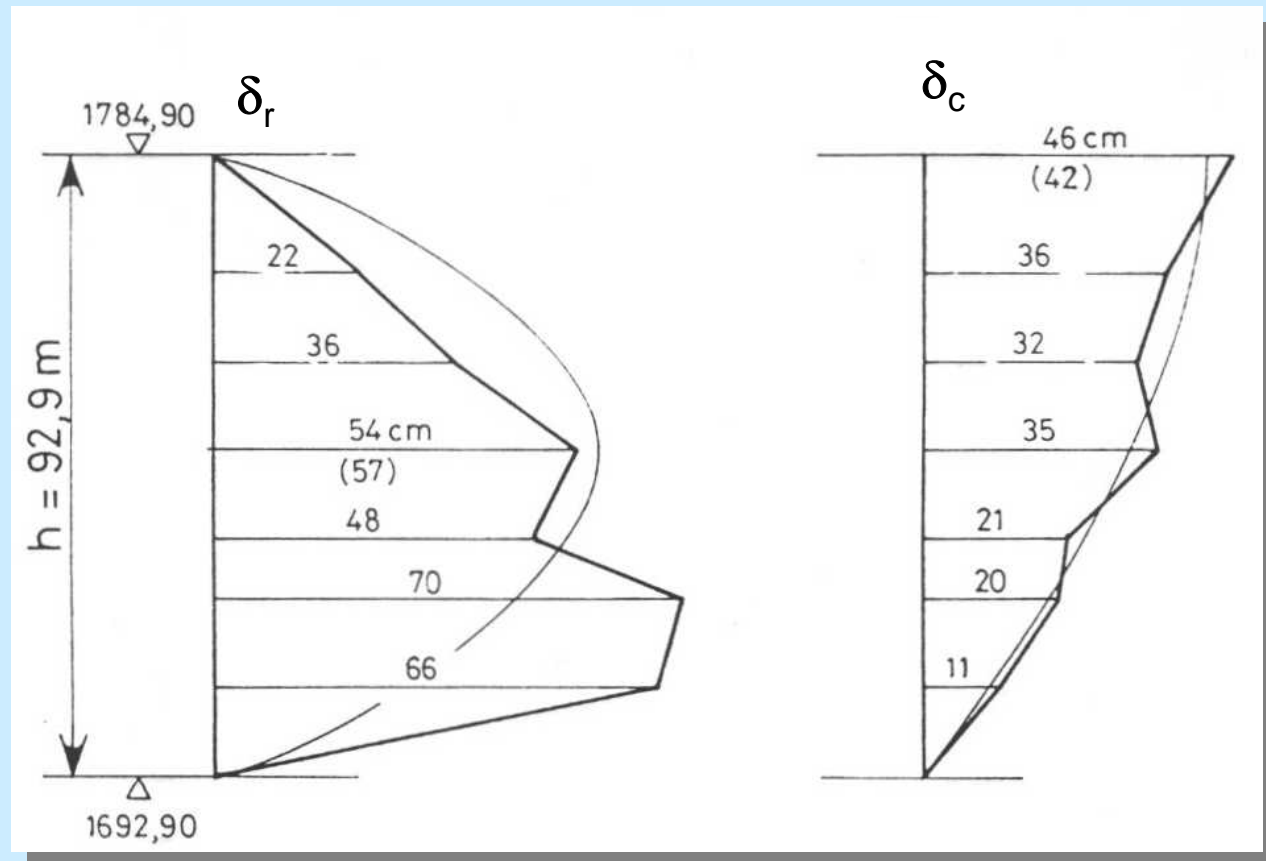
$$E_r = 66 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c = 323 \text{ MN/m}^2$$

Corps d'appui aval
(coupe VI)

Tassement

Consolidation



Barrages en remblai

Types et matériaux

Comportement après la construction

Exemple de la digue
Göscheneralp (H = 155 m)

$$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$$

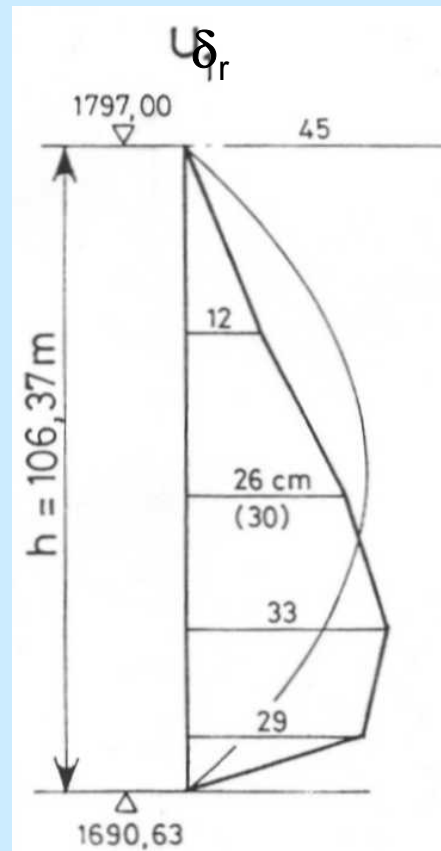
Module de déformation
selon les courbes
théoriques ajustées

$$E_r = 207 \text{ MN/m}^2$$

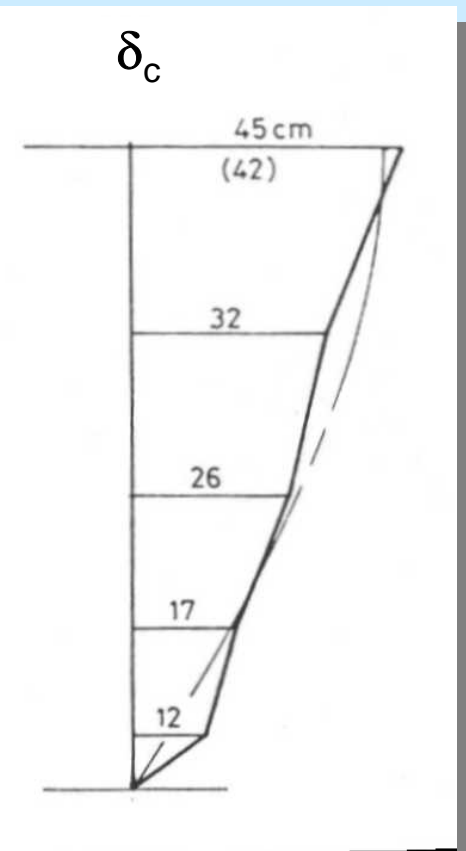
$$E_c = 303 \text{ MN/m}^2$$

Noyau
(coupe II)

Tassement

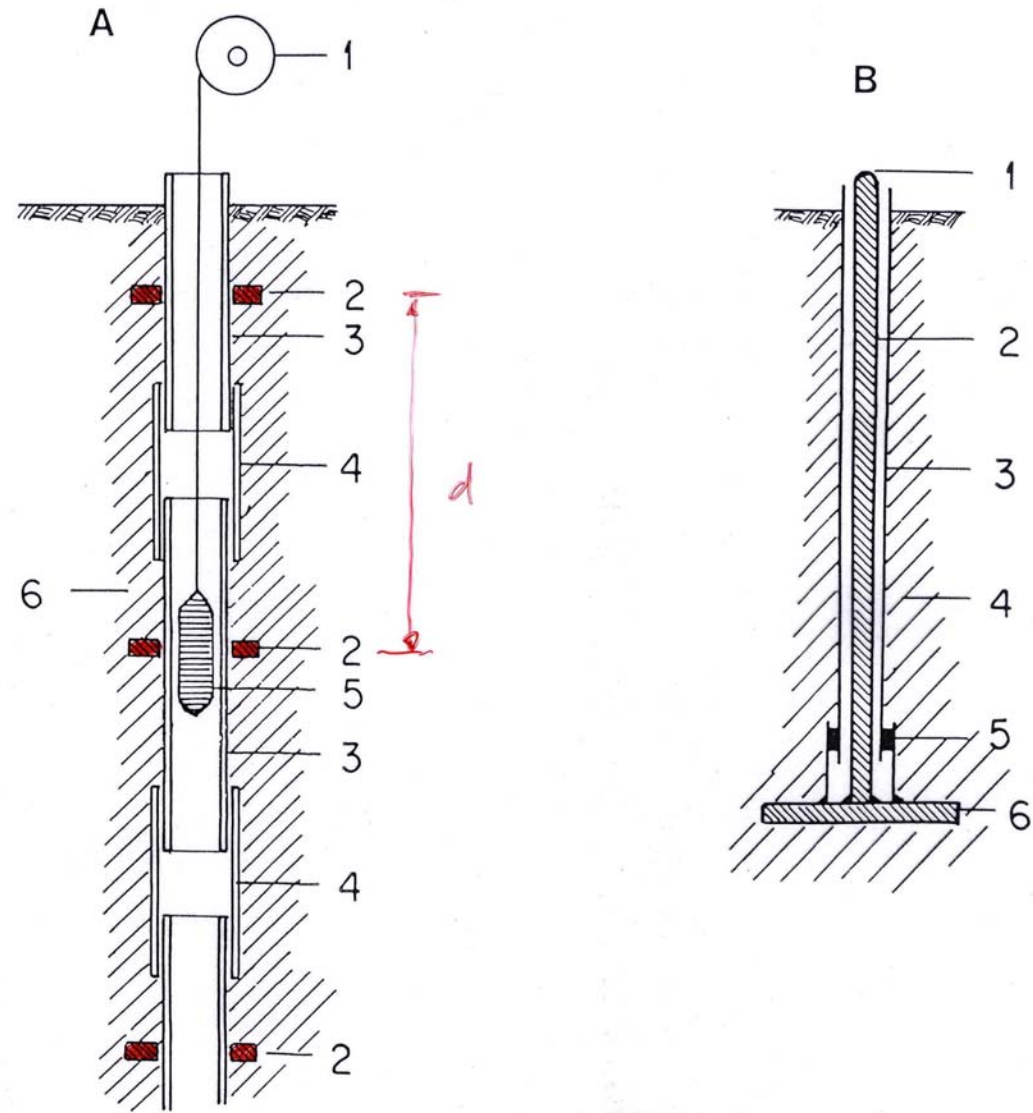


Consolidation



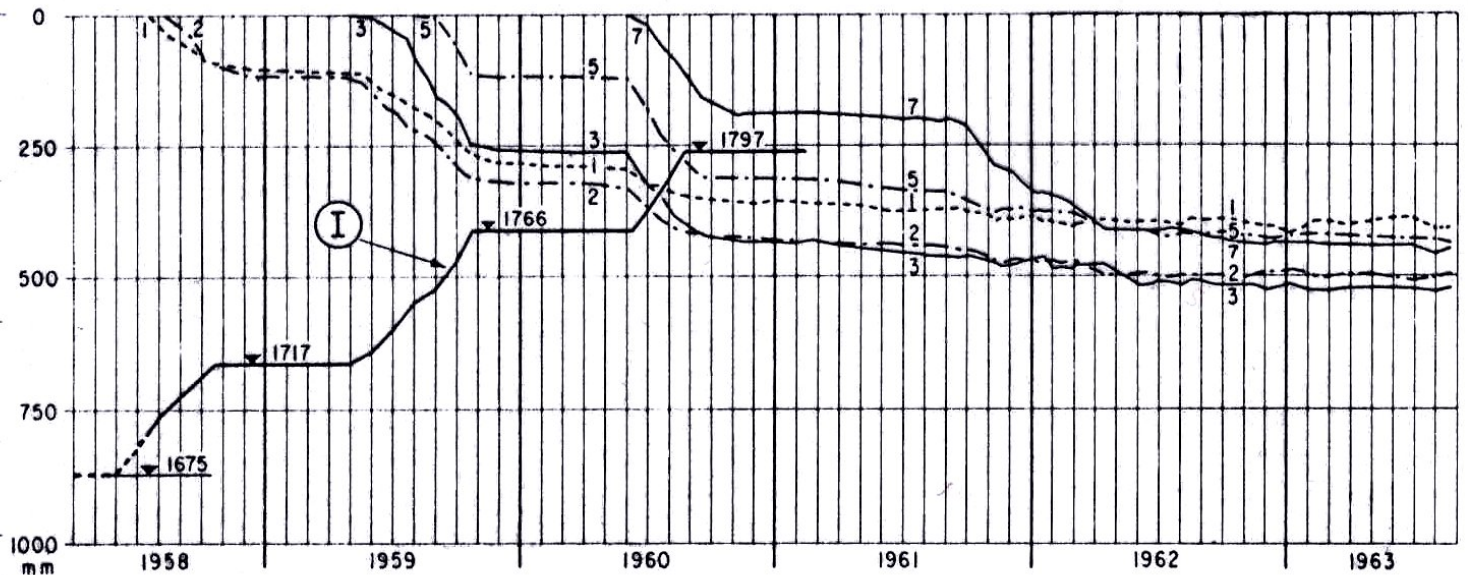
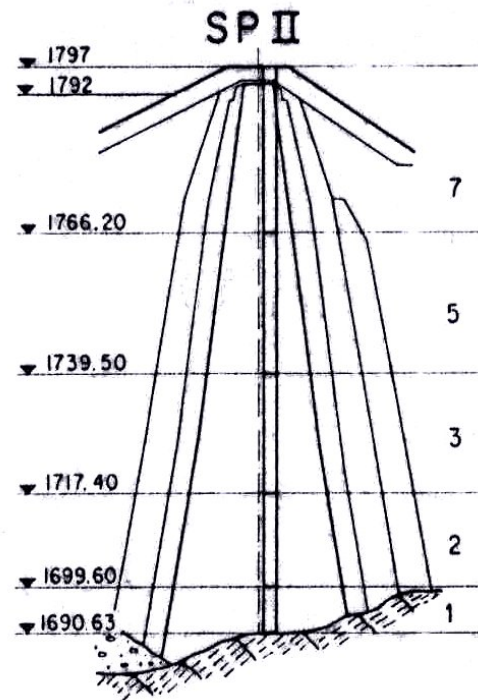
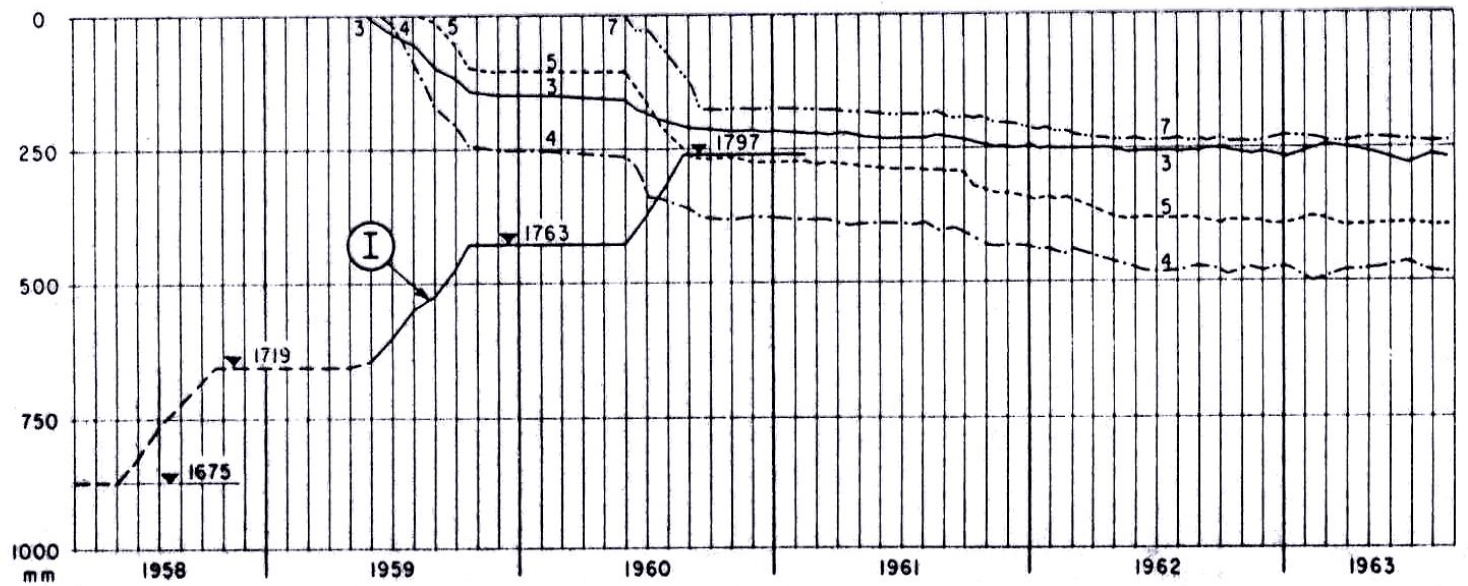
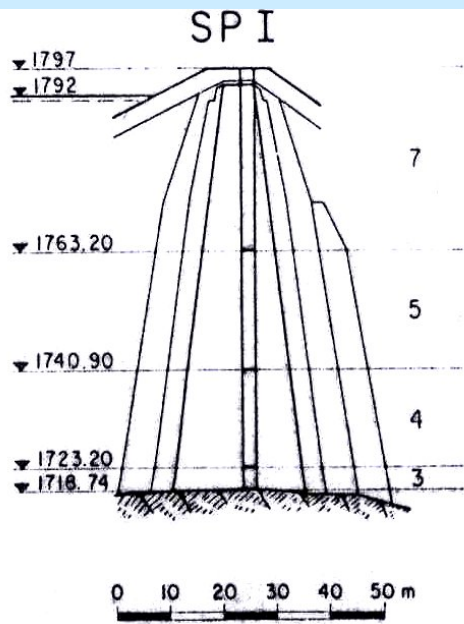
Barrages en remblai Types et matériaux

Comportement après
la construction
Tassements



Reference number 3.101. Examples of vertical settlement gauges. (A) left: Settlement gauge (not to scale), 1 Measuring cable and recording instrument, 2 Metallic plates, 3 Guide casing, 4 Sleeve, 5 Probe, 6 Fill. (B) right: Settlement plate, 1 Measuring point for levelling, 2 Measurement rod, 3 Protection pipe, 4 Fill material, 5 Sliding sleeve, 6 Settlement plate.





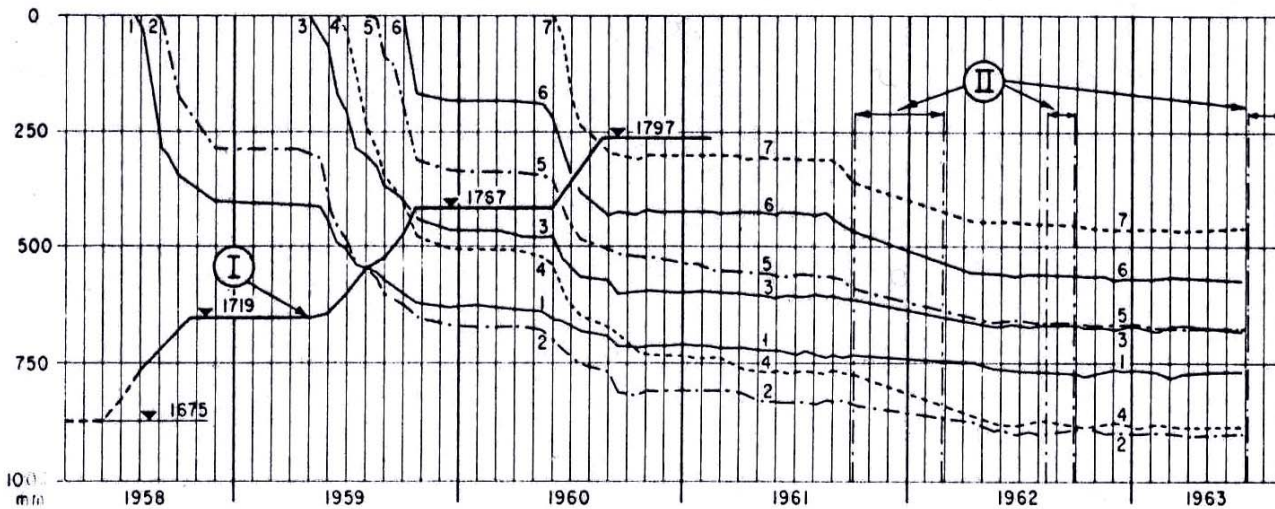
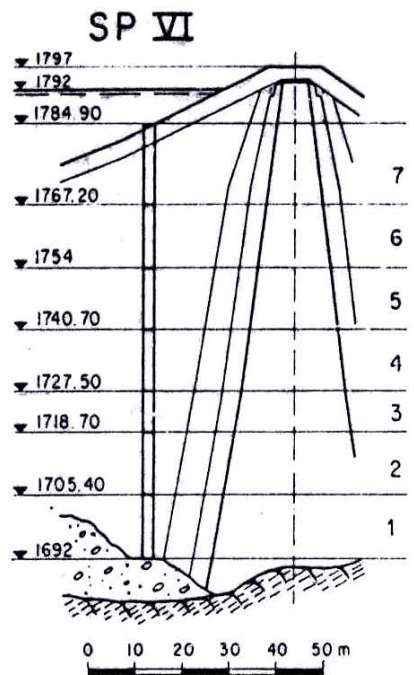
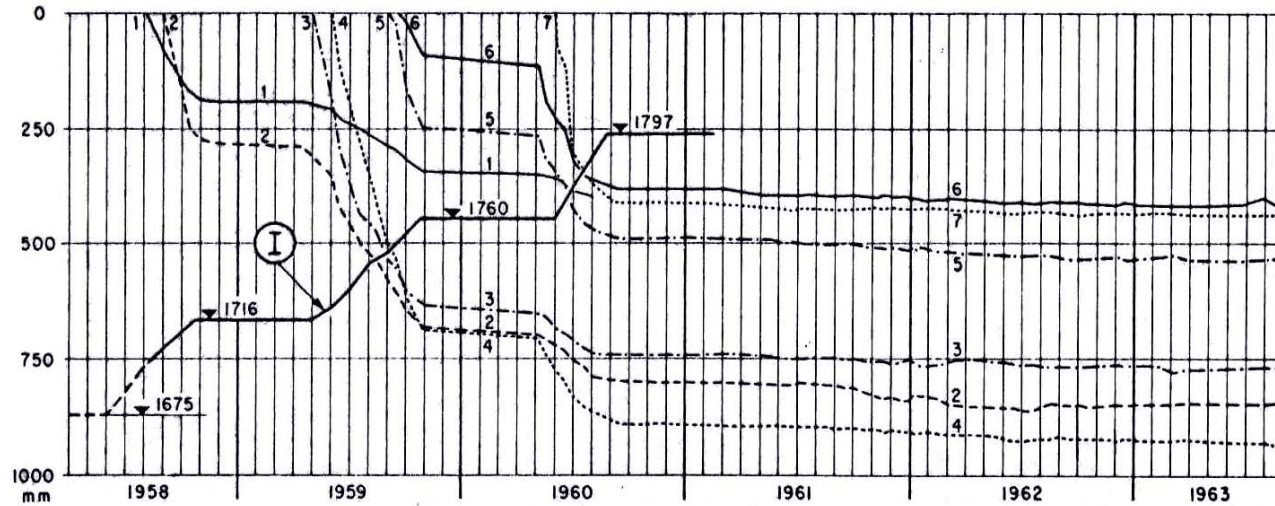
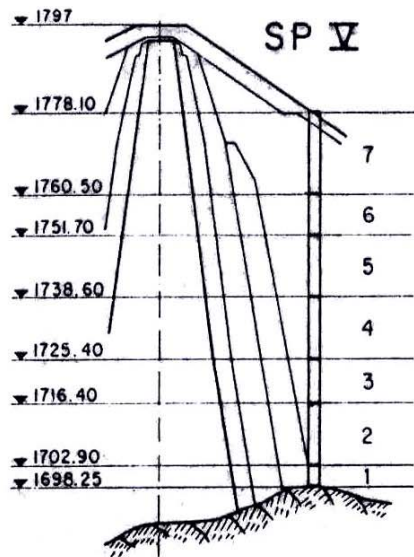


Fig. 5 Göscheneralp

Tassements respectifs des horizons 1-7 dans le noyau (SP I, SP II), le corps aval (SP V) et le corps amont (SP VI) avec courbe de remblayage de la digue (I) et périodes d'immersion du corps amont (II).

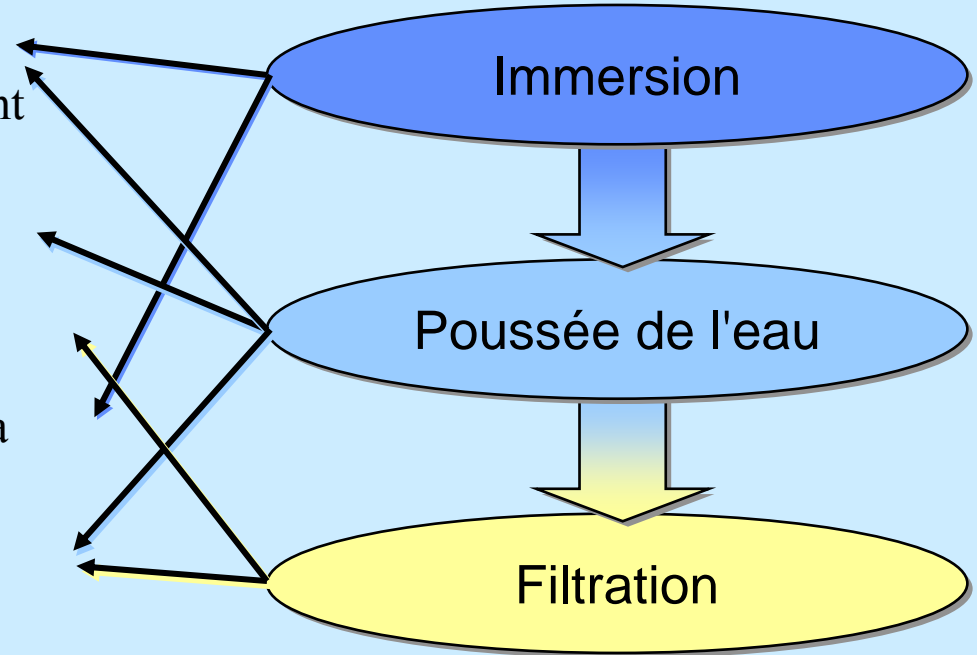
Fig. 5 Göscheneralp

Respective settlements of the levels 1-7 in the core (SP I, SP II), the downstream shell (SP V) and the upstream shell (SP VI) with fill curve (I) and immersion periods of the upstream shell (II).

Comportement après la construction

⇒ Conditions à lac plein

- ◆ présence de l'eau
 - ✓ changement des contraintes effectives (à l'amont de l'élément étanche)
 - ✓ poussée de l'eau sur l'ouvrage
 - ✓ filtration à travers la digue et sa fondation
 - ✓ changement de la résistance à la compression (au compactage)
 - ✓ disparition de la cohésion dans les zones avec matériaux cohésifs saturés



Comportement après la construction

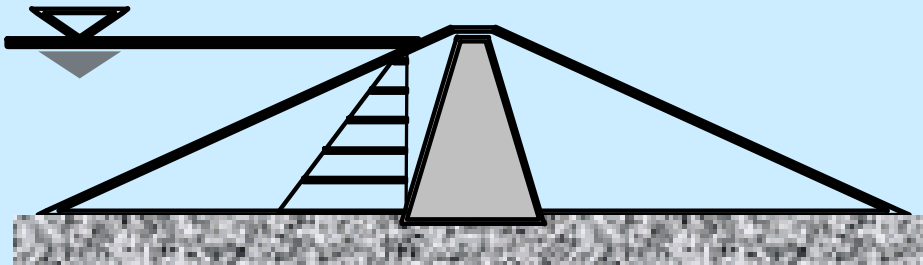
⇒ Filtration → débit
→ distribution des pressions interstitielles

- ◆ Influence primordiale sur la stabilité.
Depuis 1900, les accidents les plus graves (38%) étaient causés par l'érosion interne ou le renard, survenus suite à la filtration.
- ◆ Règles à respecter pour éviter l'érosion interne
 - ✓ choix judicieux des matériaux
 - ✓ respect des critères de filtre entre les différentes zones de la digue et au contact avec le sous-sol
 - ✓ traitement correct des zones de contact avec le sous-sol et avec les ouvrages en béton
 - ✓ traitement approprié du sous-sol par injection et / ou drainage
 - ✓ mise en place et compactage des matériaux selon les règles de l'art

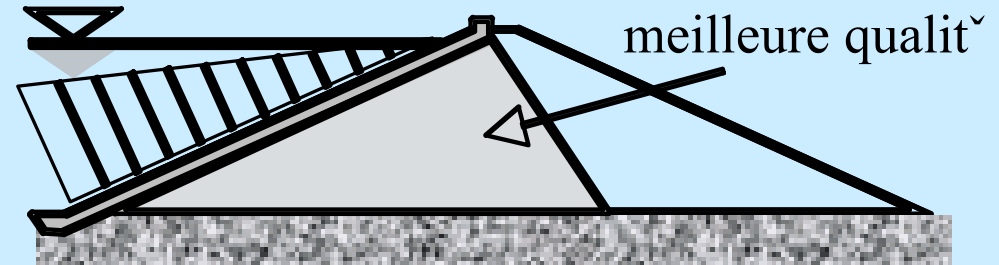
Barrages en remblai Types et matériaux

Comportement après la construction
Comparaison entre une digue avec un noyau central et avec une
masque amont

Noyau central



Masque amont



Barrages en remblai

Types et matériaux

Pressions interstitielles - Digue de Göscheneralp

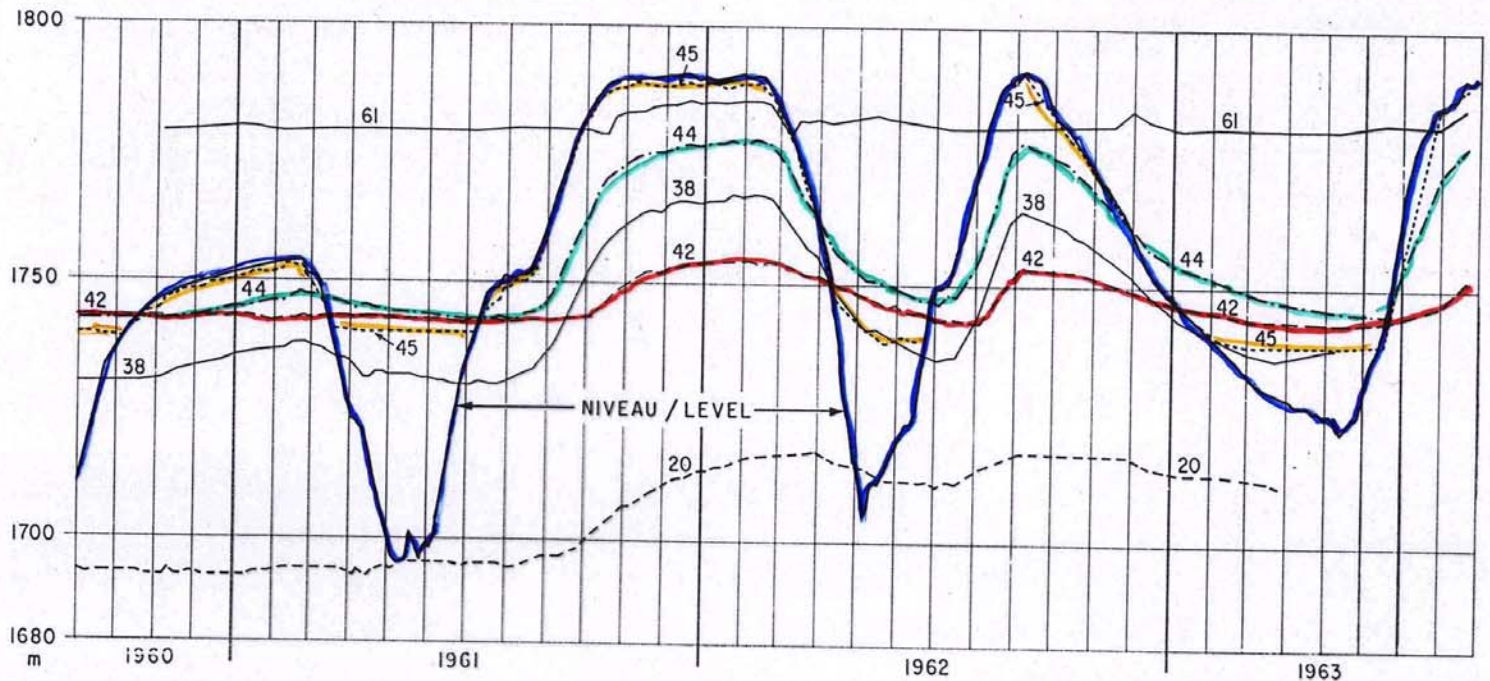
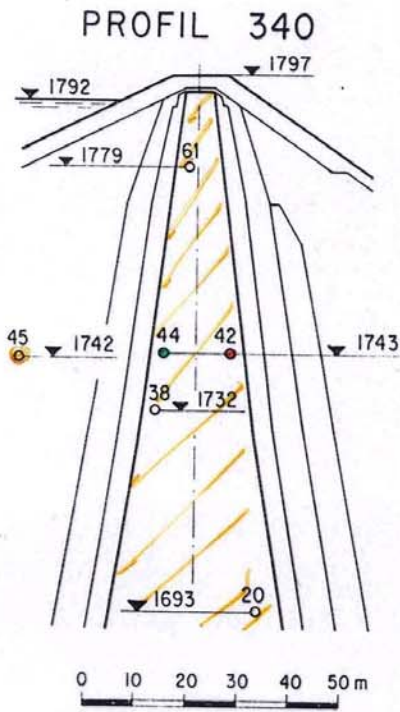


Fig. 10 Göscheneralp
Pressions interstitielles en mètres d'eau dans le profil 340 avec indication des niveaux du lac.

Fig. 10 Göscheneralp
Pore pressures in meters of water in the profile 340 with indication of the lake level.

Comportement après la construction

⇒ Exploitation de la retenue

- ◆ le noyau et sa partie amont sont particulièrement concernés par les variations du niveau d'eau
- ◆ dans les matériaux peu perméables le niveau d'eau interstitielle n'arrive pas à suivre celui du lac
- ◆ la stabilité est mise en danger
- ◆ pour éviter des niveaux d'eau élevés dans le corps amont des digues, on y place de préférence des matériaux très perméables

✓ k_r : perméabilité du remblai

✓ k_a : vitesse d'abaissement

$$\frac{k_r}{k_a} \geq 10$$

Comportement après la construction

⇒ Exploitation de la retenue

$$\frac{k_r}{k_a} \geq 10$$

