

CONCEPTION ET TECHNIQUE DE CONSTRUCTION DES BARRAGES EN TERRE

1. Dimensionnement de la digue

1.1 Détermination de la revanche

Un barrage en remblai ne supporte pas la surverse, ni le déferlement de vagues par dessus la crête, sinon le talus aval et la crête du barrage seraient alors assez rapidement érodés, le phénomène pouvant aller jusqu'à l'ouverture d'une brèche, ce risque de déferlement de vagues doit être circonscrit par l'adaptation d'une revanche suffisante entre le PHE et la cote de la crête.

Le dimensionnement de la revanche tient compte de la hauteur potentielle des vagues (elle même en fonction de la vitesse du vent et de la longueur du plan d'eau) et de l'effet de projection de l'eau vers la crête lorsque les vagues viennent buter contre le talus amont.

1.2 Détermination de la hauteur la retenue

La hauteur du barrage peut se formuler de la façon suivante:

$$H_b = C_{PHE} + R - C_f$$

H_b : hauteur de barrage.

C_{PHE} : cote de plus hautes eaux en m NGA.

R : Revanche.

C_f : Côte du fond en m NGA.

1.3 Conception de la crête de la retenue

La crête de la retenue collinaire en tant qu'élément de la digue est nécessaire pour donner au profil en travers une forme trapézoïdale stable. Elle peut servir pour les passages de service.

La crête est revêtue de par un mélange constitué de gros graviers bitumés.

Afin d'éviter la stagnation des eaux de pluies, on prévoit une pente de 2% de part et d'autre à partir de l'axe de la crête.

1.3.1 Largeur en crête du barrage

La largeur en crête de retenue collinaire doit être suffisante pour qu'il n'y ait pas de circulation d'eau important dans le retenue collinaire près de son couronnement lorsque est pleine, elle doit également permettre la circulation des engins pour la finition du retenue et les éventuels pour les entretiens ultérieurs.

Elle dépend de plusieurs facteurs et notamment des risques de tremblement de terre et de la longueur minimum du chemin d'infiltration qui assure un gradient hydraulique suffisamment faible à travers le retenue lorsque le réservoir est plein

La largeur en crête peut être évaluée à l'aide des formules suivant :

- Formule de KNAPEEN

$$b_{cr} = 1,65 \sqrt{H} \quad \text{avec : } H : \text{Hauteur du barrage.}$$

- Formule de E.F.PREECE

$$b_{cr} = 1,10 \sqrt{H} + 1$$

- En pratique :

$$b_{cr} = \frac{5}{3} \cdot \sqrt{H}$$

- Formule anonyme

Elle est traduite par la relation ci après :

$$b_{cr} = 3,6.H^{1/3} - 3$$

1.3.2 Longueur en crête

La longueur en crête mesurée à partir du la vue en plan de l'ensemble des ouvrages, par rapport à l'axe défini de la digue.

1.4 les bermes

Pour des hauteurs dépassant les dix mètres de la digue on prévoit des bermes, qui auront un rôle dans l'optimisation des fruits de talus d'autres objectifs tel que l'accès pour la réparation de talus amont et aval. Les bermes sont de (2-3) mètres de largeur.

l'existence de cette berme fait accroître la stabilité du talus , cette berme à également le rôle de lutter contre le phénomène de l'érosion du parement de fait de la présence du ruissellement des eaux de pluies,

A cet effet à l'extrémité intérieure (dans le sens de talus) est prévu un caniveau qui doit jouer le rôle de collecteur des eaux des pluies, donc la berme doit avoir une pente dans le sens du talus supérieure ou égale à 2%.

1.5 Pentes des talus

Les talus ont en général des pentes variables (voir tableau de recommandations). les pentes du talus peuvent être corrigées dans le cas où la stabilité ne serait pas vérifiée.

1.6 Le noyau

La fonction primordiale du noyau est d'assurer l'étanchéité de la retenue et diminuer ainsi le débit de fuite, il est réalisé en matériau imperméable disponible au niveau de la zone d'emprunt.

Les matériaux destinés à la confection du noyau doivent répondre aux exigences suivantes :

- avoir une résistance au cisaillement appréciable.
- avoir une grande imperméabilité.
- être insoluble dans l'eau et ne contiennent pas des particules de gypse Ou de sel.

1.6.1 Emplacement du noyau

Le noyau est de type en général car il présente l'avantage d'être peu sensible aux agressions extérieures, la hauteur de noyau est prise supérieure à celle de niveau des plus hautes eaux pour éviter tout risque de siphonage par-dessus la crête de celui-ci. Le noyau est ancré dans la fondation pour renforcer la stabilité de la retenue et réduire les infiltrations.

1.6.2 Dimension du noyau

Nous n'avons aucune règle générale pour le dimensionnement du noyau, néanmoins nous prenons en considération quelques règles générales pratiques:

a- Largeur en crête du noyau

La largeur au sommet du noyau sera déterminée par des raisons de conduite du chantier pour autoriser le passage des engins de compactage, mais aussi par des raisons d'étanchéité, et aussi par la formule suivante :

Elle est estimée à

$$Ln = \left(\frac{1}{17} \div \frac{1}{3} \right) Hb$$

b- Cote de la crête du noyau

Pour éviter le phénomène de siphonage dû à l'effet de capillarité par la crête du noyau, on prend généralement :

$$\Delta C_{\text{noy}} = \text{NPHE} + (0,5—1) \text{ m} .$$

ΔC_{rnoy} : Cote de crête du noyau m NGA.

NPHE : Niveau des plus hautes eaux m NGA.

c- Epaisseur à la base du noyau

Elle dépend de la hauteur de charge H et de la perméabilité du matériau constructif du noyau .

Elle est déterminée suivant la condition :

$$\frac{\Delta H}{B_{\text{noy}}} \leq J_{\text{adm}} \Rightarrow B_{\text{noy}} \geq \frac{\Delta H}{J_{\text{adm}}}$$

ΔH : Différence de charge entre l'amont et l'aval ; $\Delta H = H_1 - H_2$

H_2 : Hauteur d'eau à l'aval.

H_1 : Hauteur d'eau à l'amont.

B_{noy} : Largeur à la base du noyau (m);

J_{adm} : Gradient hydraulique du noyau admissible qui est donné en fonction de la nature du sol de fondation.

Classe de barrage en terre en fonction du type de la fondation

Type de sols de fondation	Classes de barrages			
	I	II	III	IV
	Hauteurs de barrage (m)			
- Sols rocheux.	>100	70÷100	25÷70	<25
- Sols sablonneux, pierreux, terrain argileux non plastique.	75	35÷75	15÷35	<15
- Terrain argileux plastique.	>50	25÷50	15÷25	<15

Gradient admissible en fonction de la classe de l'ouvrage

Type de sol	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Argile compactée	1.50	1.50	1.80	1.95
Limon	1.05	1.15	1.25	1.35

Sable moyen	0.70	0.80	0.90	1.00
Limon sableux	0.51	0.65	0.75	0.85
Sable fin	0.45	0.55	0.65	0.75

d- Pente des talus du noyau

Généralement pour le noyau on prend des pentes identiques pour l'amont et l'aval.

Cette pente est calculée suivant la relation :

$$B_n = b_{nct} + 2 m H_n$$

Où : H : Hauteur du noyau.

m : Fruit du noyau.

e- Dimensionnement de clé d'étanchéité

Une clé d'étanchéité est prévue dans la continuité du noyau en argile, elle permettra en plus de l'étanchéité d'assurer l'ancrage de la digue

Est constituée du matériau identique à celui du noyau imperméable, la hauteur de la clé d'étanchéité à partir du terrain naturel est de 3,5m avec une épaisseur de base de 4m, les pente des talus des parafeuilles $m_1=m_2=1$

2. Protection des talus

Les travaux de protection du remblai se justifient essentiellement pour prévenir les effets de dégradation résultant de l'action mécanique des eaux extérieures :

- ❖ Eaux de retenue pour ce qui concerne la protection anti battillage du talus amont
- ❖ Eaux de ruissellement pour la protection du talus aval contre le vaineement.

2.1 Talus aval

Pour les retenues collinaires en matériaux locaux la solution la plus rependue et la plus économique consistent à réaliser un enherbement sur une couche de terre végétale d'une épaisseur de 30cm,

Aussi et pour palier le phénomène du surpâturage néfaste on prévoit une protection du talus aval en enrochements, la protection du talus aval sera d'une épaisseur de 30cm en une couche d'enrochements.

2.2 Talus amont

Pour la protection du talus amont, on choisit la solution de revêtement en enrochements dont on doit déterminer l'épaisseur ainsi que le diamètre moyen de la pierre.

3. Disposition des filtres et drains

3.1 Les filtres

De fait de la charge hydraulique à l'amont du barrage, l'eau s'infiltré progressivement dans le massif et ses fondations.

Afin d'éviter que les résurgences des eaux infiltrées ne nuisent pas la stabilité de l'ouvrage par création de renard ou par destruction partielle du pied aval du retenue, il est prévu des drains et des filtres s'ils seront nécessaires.

Les filtres jouent un rôle considérable dans la sécurité des barrages en terre, Ils constituent une zone de transition entre le noyau imperméable et le remblai.

Les filtres possèdent de nombreuses fonctions :

- Les filtres amont évitent les déformations du noyau pendant la vidange rapide.
- Les filtres aval permettent le rabattement de la ligne phréatique, et bloquent la migration des particules fines éventuellement entraînées par la circulation de l'eau dans le noyau.

Conditions aux filtres

- ❖ Un filtre ne doit ni se dégrader par entraînement de ses éléments, ni se colmater.
- ❖ Un filtre est idéalement constitué par des minces couches de matériaux dont les éléments augmentent en grosseur dans la direction de l'écoulement.
- ❖ Un filtre doit assurer le drainage de la terre qu'il recouvre. La nécessité de disposer les filtres est conditionnées par la vérification du critère de TERZAGUI

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4$$

D_{15} : Diamètre des particules correspond à 15%

d_{85} : Diamètre des particules correspond à 85%

Vérification du contact de la couche de protection et la recharge alluvionnaire

Cette vérification est entièrement basée sur la mécanique des sols et s'appuie sur la loi de TERZAGUI. Nous devons vérifier le contact entre les recharges et la Protection suivant l'inéquation suivante:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4$$

D_{15} : diamètre des particules du sol protégeant (Enrochement);

d_{85} : diamètre des particules du sol protégé (alluvions)

Si la condition n'est pas vérifiée, donc il faut mettre un filtre entre la couche de protection et la recharge.

On détermine les diamètres de ses sols correspondants à 15% d'après l'expression :

$$D_{15}^I = (3 \div 4) d_{85}$$

Vérification du contact noyau, recharge

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4$$

D_{15} : Diamètre des particules des recharges ;

d_{85} : Diamètre des particules du corps du noyau ;

Vérification de la condition d'absence de phénomène de renard

La condition de l'absence du renard au massif du sol.

$$\frac{D_5^F}{D_{17}^F} \geq 0,32 \sqrt[6]{\eta(1+0,05\eta)} \frac{n}{n-1}$$

η : Coefficient d'hétérogénéité du sol du filtre.

$$\eta = \frac{D_{60}^F}{D_{10}^F}$$

Avec : $D_5^F, D_{17}^F, D_{10}^F, D_{60}^F$: diamètres des particules égales à 5, 17, 10 et 60%

Vérification de la condition de déformation d'infiltration

$$\frac{D_{15}'}{d_{85}} < 4$$

Vérification du contact entre la recharge et zone de transition

$$\frac{d_{15}}{d_{85}} < 4$$

Vérification de la suffisance de la perméabilité du filtre

$$K_f > (2 + \sqrt[6]{\eta}) K_n$$

Où :

K_f : Coefficient de perméabilité du filtre 10^{-4} m/s

K_n : Coefficient de perméabilité du noyau.

l'épaisseur de chaque couche de filtre selon les expériences de construction de retenue collinaire $e=1\text{m}$ de part et d'autre du noyau.

3.2 Les drains

On construit les drainages dans les barrages en terre dans le cas où la hauteur de ces barrages est égale ou supérieure à 6m. Ils sont destinés pour l'abaissement de la courbe de dépression, pour la prévention de la sortie de l'écoulement souterrain au bief aval.

Le drainage a deux parties fondamentales : De réception (de prise d'eau) et d'évacuation.

Dimensionnement du Drain Tapis

$$L_d = (L_b / 4 - L_b / 3)$$

L_d : Longueur du drain tapis en m

Dimensionnement du prisme

Fruits des talus

$$m_1 = (1 \div 1,75)$$

$$m_2 = (1,5 \div 2,5)$$

Hauteur de prisme

$$h_{dr} = (0,15 \div 0,2) H_b$$

a) Largeur en sommet

$$b_{dr} = (1/3 \div 1/4) h_{dr}$$

b) Largeur en base

$$B=b_{\text{dr}}+ (m_1+m_2) \, h_{\text{dr}}$$