

Chapitre IV :

Dimensionnement des digues de barrage

1. Aspects topographiques et hydrauliques

1.1. Hauteur de la digue (E) :

1.2. Niveau normal de la retenue (NNR) :

1.3. Niveau des plus hautes eaux (PHE) :

1.4. Revanche (R)

Formule de Mallet et Pacquant

Formule de STEVENSON

Formule de MOLITOR

1.5. Largeur en crête (Lc)

1.6. Pente des talus :

2. Protection des talus :

2.1. Talus amont

2.1.1. Enrochement en rip-rap :

2.1.2. Perré rangé à la main :

2.1.3. Revêtement en Béton

2.1.4. Technique du ciment compacté

2.2. Talus aval

2.3. Crête

1. Aspects topographiques et hydrauliques

1.1. Hauteur de la digue (E) :

La hauteur du barrage (E) est égale à la hauteur normale de retenue des eaux (P) majorée par la charge maximale au-dessus du déversoir de crues h (h = 1,5 m) et de la revanche (R).

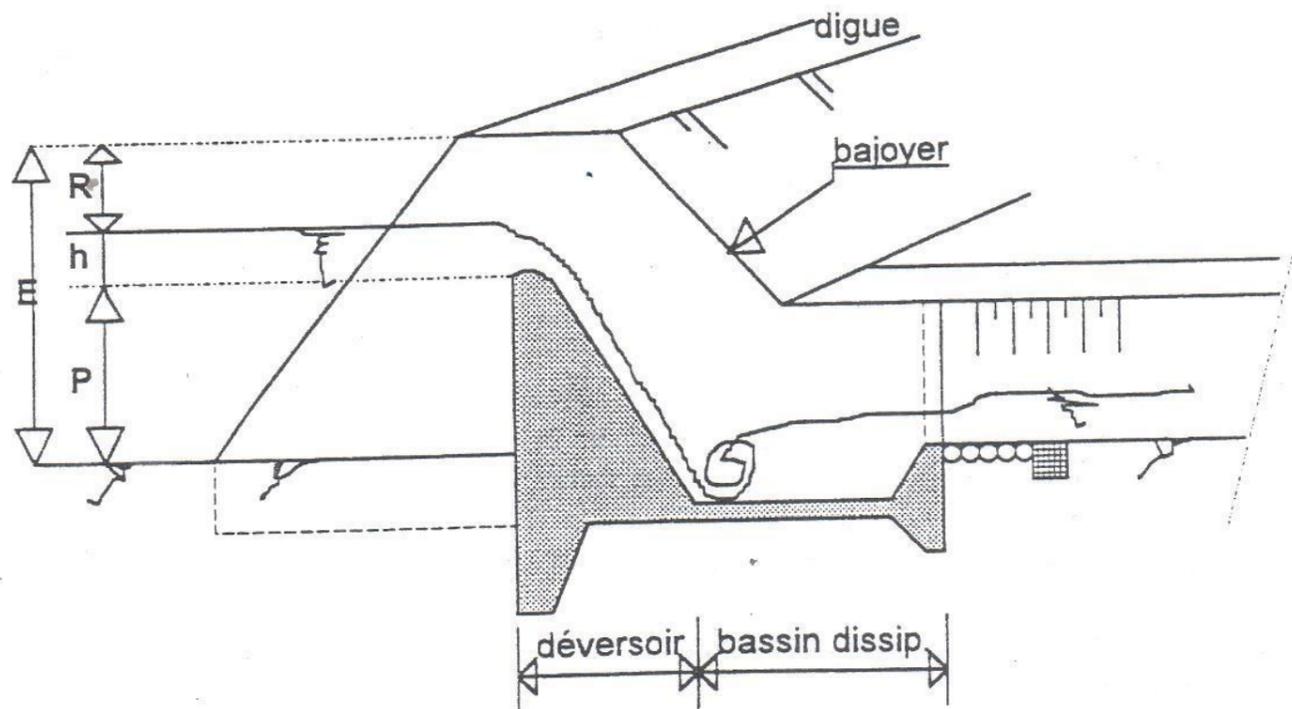


Figure N°28 : Hauteur d'une digue

1.2. Niveau normal de la retenue (NNR) :

Le niveau normal de la retenue (NNR) est calculé selon la capacité utile (volume utile) à stocker, On prend en compte une tranche morte (volume mort) en fond de retenue pour emmagasiner les dépôts. À partir de la superficie du bassin versant et de la durée de vie de l'ouvrage le volume mort peut être estimé, la tranche morte pourrait être prise de l'ordre de quelques mètres.

1.3. Niveau des plus hautes eaux (PHE) :

Le niveau des plus hautes eaux (PHE) est égal au niveau de retenue normale plus la lame d'eau au déversoir qui correspond la crue de projet.

1.4. Revanche (R)

La revanche libre (R) est une tranche comprise entre le PHE et la crête du barrage. Le calcul de la revanche tient compte de la hauteur des vagues qui se forment due à la vitesse de propagation des vagues. Cette dernière elle dépend directement de la vitesse du vent, de la durée du vent et du fetch (longueur du plan d'eau exposée au vent).

La revanche peut être évaluée par la formule de **DAVIS** :

$$R = 0,75H_v + \frac{V^2}{2g}$$

H_v : hauteur des vagues en mètre.

V : vitesse de propagation des vagues en m/s.

On peut aussi évaluer directement la revanche libre par la formule simplifiée :

$$R = 1 + 0,3\sqrt{f}$$

f : fetch en kilomètre.

En pratique on pourra adopter les valeurs de revanche libre minimale ci-après :

- Barrages de moins de 10 m de hauteur : $0,8 \leq R \leq 1,5m$
- Barrages de 10 à 20 m de hauteur : $1,5 \leq R \leq 2m$

La vitesse de propagation des vagues peut être évaluées approximativement par la formule de **GAILLARD** :

$$V = 1,5 + 2H_v$$

La hauteur des vagues peut être calculée selon des formules empiriques suivants :

Formule de Mallet et Pacquant

$$H_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\sqrt{f}$$

Formule de STEVENSON (valable que pour un vent ne dépasse pas 100 km/h)

- Pour $f < 18$ km ; $H_v = 0,75 + 0,34\sqrt{f} - 0,264\sqrt{f}$
- Pour $f > 18$ km ; $H_v = 0,34\sqrt{f}$

Formule de MOLITOR

- Pour $f < 30$ km ; $H_v = 0,76 + 0,032\sqrt{Uf} - 0,264\sqrt{f}$
- Pour $f > 30$ km ; $H_v = 0,032\sqrt{Uf}$

Remarque : *Il faut noter que la première formule de MOLITOR donne une hauteur de vague **non nulle** pour une vitesse de vent est égale à $U=0$ m/s ce qui est anormal ; ces formules empiriques ne sont donc valables que pour des vents de vitesse appréciable.*

1.5. Largeur en crête (b_{cr})

La largeur en crête doit être suffisante pour autoriser la circulation d'engins, pour la finition de l'ouvrage et ultérieurement pour son entretien. En pratique, la largeur en crête (b_{cr}) est toujours supérieure à 3 mètres. Pour des digues de hauteur (E) supérieure à 9 m, on adopte souvent $b_{cr}=E/3$.

Le calcul de la largeur du barrage peut être déterminé par les formules ci-après :

KNAPPEN : $b_{cr}=1,65\sqrt{E}$

PRESSE : $b_{cr}=1,1\sqrt{E} + 1$

D'autres formules peuvent être proposées et qui sont préconisé par le CEMAGREF et DEGOUTTE (1997) : $b_{cr}=3,6\sqrt{E} - 3$

1.6. Pente des talus :

La pente doit assurer la stabilité statique des talus. Le tableau ci-après donne quelques valeurs de dimensionnement qui devront être confirmées par une étude de stabilité :

Tableau N° 01 : Valeurs forfaitaires des fruits du talus des digues des barrages en terre

Hauteur du barrage	Type de barrage	Fruits des talus	
		Amont	Aval
Inférieure à 5m	-Homogène	2,5	2
	-A zone	2	2
5 à 10m	-Homogène, granularité étendue	2	2
	-Homogène, à fort pourcentage d'argile	2,5	2,5
	-A zone	2	2,5
10 à 20m	-Homogène, granularité étendue	2,5	2,5
	-Homogène, à fort pourcentage d'argile	3	2,5
	-A zone	2	3

2. Protection des talus :

Les talus doivent être protégés contre les dangers d'érosion provoqués par les vagues de la retenue, par le ruissellement de la pluie ou par le vent.

2.1. Talus amont

2.1.1. Enrochement en rip-rap :

C'est le matériau le plus couramment utilisé pour la protection du talus amont, Il y a nécessité de disposer entre l'enrochement et le remblai une couche de transition (couche de pose filtrante) d'épaisseur d'environ 20 à 30 cm, constituée de gravier et de sable (tout venant gravillonnaire) de granulométrie appropriée(similaire). Pour être stable, ce filtre doit avoir $F_{85} > 25$ mm. Si la hauteur des vagues est supérieure à 1,50m, on fixera $F_{85} > 40$ à 50 mm.

L'épaisseur minimum de la couche d'enrochement est donnée par la relation suivante:

$$e = CV^2$$

V : vitesse des vagues en m/s selon la formule de **GAILLARD**

C : coefficient dépendant de la pente du talus et du poids spécifique γ de l'enrochement utilisé.

e : épaisseur minimum de la couche d'enrochement en m.

Tableau N° 02 : Valeurs du coefficient C en fonction du poids spécifiques.

Pente du talus	Valeurs de C pour différents poids spécifiques		
	$\gamma = 2,50$	$\gamma = 2,65$	$\gamma = 2,80$
1/12	0,024	0,022	0,020
1/4	0,027	0,024	0,022
1/3	0,028	0,025	0,023
1/2	0,031	0,028	0,026
1/1,5	0,036	0,032	0,030
1/1	0,047	0,041	0,038

Quant aux dimensions des éléments, elles seront telles que 50 % de l'enrochement soit constitué de blocs d'un poids égal ou supérieur au poids calculé par la formule :

$$P = 0,52\gamma e^3$$

P : est donné en tonnes quand e est en mètres.

Les Ingénieurs de l'*US Army corps of Engineers* utilisent de préférence le tableau suivant qui donne l'épaisseur minimum de la couche d'enrochements ainsi que les dimensions minima des blocs en fonction de la hauteur des vagues déterminée à partir de leur abaque.

Tableau N° 03 : Valeurs d'épaisseurs minimum de la couche d'enrochement

Hauteur des vagues (m)	Epaisseur minima de la couche d'enrochement (m)	D ₅₀ minimum (m)
0 à 0,30	0,30	0,20
0,30 à 0,60	0,40	0,25
0,60 à 1,20	0,45	0,30
1,20 à 1,80	0,55	0,40
1,80 à 2,40	0,70	0,45

2,40 à 3,00	0,80	0,55
-------------	------	------

Pour la qualité de l'enrochement, il faut disposer d'une roche dure (et bien résistant au gel). Les schistes et les grès sont en général à proscrire.

Le dimensionnement de la masse et de l'épaisseur minimum de l'enrochement peut se calculer aussi par les formules suivantes de **HUDSON** :

$$M_{50} = \frac{\rho H_v^3}{k_p (d-1)^3 \text{Cotg}\alpha}$$

Avec :

M_{50} : la masse de la moitié des enrochements

ρ : Masse volumique des enrochements

d : Densité des enrochements par rapports à l'eau

$\text{cotg } \alpha$: fruit du talus

k_p : coefficient de dégât, il peut être pris égale à 5.

H_v : hauteur des vagues en m

L'épaisseur minimale de l'enrochement est évaluée à :

$$e = 1,5D_{50}$$

Avec D_{50} ; diamètre médian nominal des enrochements.

2.1.2. Perré rangé à la main :

Parfois rangé la pierre à la main est plus économique, l'épaisseur pouvant être réduite de moitié si les pierres sont résistantes et durables (épaisseur 30 à 60 cm). Les pierres généralement assez petites pour être maniées par un seul homme sont disponibles. Comme dans le cas de l'enrochement en rip-rap, sur une couche de pose constituée de gravier et de sable de granulométrie appropriée jouant le rôle de filtre, une épaisseur de 20 cm à 30 cm peut être requise.

La pierre doit être bloqué à la partie inférieure sur un épaulement (butée) ou sur une risberme de façon à écarter toute possibilité de glissement. Ce genre de revêtement n'est que très rarement utilisé sur le talus aval des barrages.

2.1.3. Revêtement en Béton

Un revêtement en béton est parfois employé sur le talus amont lorsque aucun enrochement de qualité n'est économiquement disponible (très longues distances de transport). Cependant, il faut éviter que ce revêtement soit étanche.

Il peut être constitué soit par des dalles préfabriquées, soit par un revêtement en béton armé homogène, muni ou non de joints de contraction (section d'aciers = 0,2 à 0,5 % de la section de béton). Le revêtement est buté à l'extrémité inférieure par une risberme.

Dans tous les cas il est nécessaire de disposer sous le béton une couche de gravier et sable formant un filtre, d'une épaisseur au moins égale à 20 cm. Le drainage de la terre sous-jacente doit être largement assuré de telle sorte qu'il n'y aura pas de retour lors d'une vidange rapide par l'effet de la pression hydrostatique interne. L'eau s'écoule soit par les interstices laissés entre les dalles, soit par de très nombreuses barbacanes aménagées dans les revêtements.

Il arrive que ce revêtement constitue l'organe étanche du barrage, mais cette solution est à déconseiller en raison des fissures qui se produisent inévitablement.

2.1.4. Technique du ciment compacté

Une protection possible du talus amont peut consister en un traitement du remblai au ciment sur une épaisseur de 0,6 m à 1 m le long du parement amont, c'est une technique américaine. Bien que les dosages en ciment doivent être assez importants (6 à 12 % du poids de terre traitée). Cette solution peut se révéler intéressante dans les zones où l'enrochement est cher ou inexistant. On réalise une série de couches horizontales de sol-ciment compacté de 2 à 3 m de large.

2.2. Talus aval

La technique de l'enherbement est vivement recommandée. Cependant, dans les zones arides ou semi-arides, l'enherbement est détruit pendant la saison sèche, ce qui fragilise la protection à l'arrivée de la prochaine saison de pluies. Par ailleurs l'enherbement attire le bétail, ce qui peut constituer aussi des causes de dégradation de la digue.

Actuellement pour les petits barrages de hauteur superficielle inférieure à 10 m les revêtements en matériau graveleux légèrement tassé sont adoptés pour la protection du talus aval. Une épaisseur de 20 cm s'avère raisonnable.

Pour les ouvrages importants on envisage des protections du talus aval en rip-rap avec des enrochements de petite taille.

2.3. Crête

Il est nécessaire de protéger la crête pour lutter contre la dégradation mais aussi pour assurer la circulation éventuelle d'engins. Il est conseillé souvent de mettre en œuvre une couche d'au moins 20 cm d'épaisseur en matériau graveleux pour s'assurer contre l'érosion de la crête par prolongement (recul) des griffes d'érosion sur les talus. Mais aussi pour assurer une évacuation des eaux de ruissellement de la crête du barrage vers l'amont (côté retenue), on met en place deux murets de crête. Les murets de crête sont construits soit en maçonnerie de moellons, soit en béton ordinaire coulé sur place ou exécuté des sections carrées de 40 ou 50 cm de côtés.

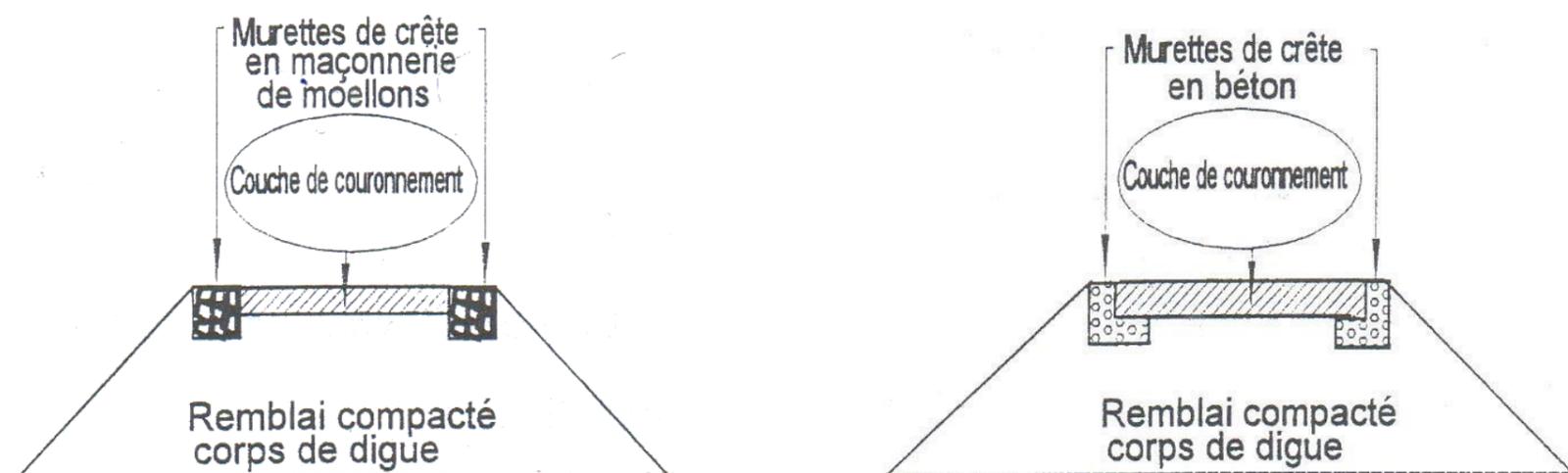


Figure N°29 : protection de la crête