

METHODE DE CALCUL DU DIMENSIONNEMENT DES DIGUES DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

LADJEL MAHMOUD

Université de Sétif 01

RÉSUMÉ

En Algérie, beaucoup de centres urbains sont exposés aux inondations. Leurs capacités d'assainissement sont nettement inférieures aux débits maxima des crues transitoires. D'où le besoin d'aménager les petits oueds en zone amont, par la réalisation de petits ouvrages régulateurs de l'écoulement. Ces ouvrages hydrauliques, sont des digues en enrochement. Leur réalisation n'exige pas une main d'œuvre spécialisée et leur coût est relativement faible. Le dimensionnement de ces ouvrages est fondé hydrologiquement pour déterminer la hauteur des ouvrages et hydrauliquement pour le calcul des débits maxima laminés. Leur nombre dépend des degrés de laminage attendu. Le volume total de ces retenues doit être suffisant pour amortir les eaux de la crue tout le long du cours d'eau qui est générée par un ruissellement uniforme tout le long du cours d'eau.

Mots clés : inondation, digue, filtration, roches, laminage.

1. INTRODUCTION

Les inondations pluviales constituent la phase maximale du régime hydrologique des oueds et peuvent se manifester à tout moment de l'année même durant les mois les plus chauds. Ces derniers temps, elles affectent plusieurs villes et villages en Algérie.

Sur les petits et moyens bassins versants, la durée de l'averse est comparable au temps de concentration fluvial de la phase maximale de la crue et parfois elle est supérieure à celui-ci. Les premières quantités de pluie comblent rapidement les pertes d'eau, accélèrent la saturation de la surface du sol et génèrent un important ruissellement sur la totalité du bassin. Sur les versants érodés, les vitesses de concentration sont rapides, ce qui accélère la concentration des eaux de ruissellement dans le chevelu hydrographique, laquelle provoque le débit de pointe dans le cours d'eau.

Ces dernières années, en Algérie, le développement économique et social accéléré a favorisé l'imperméabilité d'une grande partie de la surface des bassins, notamment avec l'extension des zones urbaines et la création de nouvelles routes. Ceci aggrave l'impact néfaste des inondations dont le coût économique a atteint des limites élevées. Par conséquent, il est nécessaire de développer de nouvelles stratégies globales de lutte contre les inondations et envisager des mesures techniques et environnementales à moyen et long terme, en zone amont.

Mais dans l'immédiat, on sait qu'en modifiant le régime de l'écoulement des oueds par la construction des digues en enrochement, on peut diminuer le débit d'eau en zone aval et éviter les inondations. Le laminage de ces crues rapides peut être réalisé par une ou une série de digues filtrantes. La méthode proposée permet d'étudier différentes variantes de laminage basées sur l'analyse des données hydrométéorologiques et physiques de la zone d'étude.

2. LAMINAGE DES CRUES

Quand une crue transite par un barrage, même plein, elle provoque une accumulation temporaire des eaux, vu que les débits entrants $Q_{e,t}$ dans ce dernier sont supérieurs aux débits sortants $Q_{s,t}$. La maîtrise des calculs de laminage permet le dimensionnement du déversoir des crues et de faire un choix technico-économique adéquat.

Parmi les tâches essentielles des calculs de laminage,

on cite:

1- détermination du débit maximum laminé d'une fréquence donnée $Q_{l,P\%$ et le niveau maximum d'eau NM dans le bief amont du barrage ;

2- dimensionnement du déversoir correspondant au débit maximum laminé $Q_{l,P\%}$ donné et la charge hydraulique $H_{max,P\%}$ sur le seuil de ce dernier ;

3- détermination du volume de laminage V_l du barrage pour laminier le débit maximum de la crue $Q_{P\%}$ jusqu'à la valeur du débit laminé en éliminant ainsi toute possibilité d'inondation en zone aval.

Le débit laminé est déterminé par l'expression suivante [2] :

$$Q_{l,P\%} = r Q_{P\%} \quad (1)$$

avec le coefficient de laminage exprimé par [4]:

$$r = \frac{k_{min}}{k \frac{V_c}{V_c - V_l} - (k - k_{min})} \quad (2)$$

où :

débit laminé, à la sortie du barrage, m^3/s ;

r - coefficient de laminage ;

$Q_{P\%}$ - débit maximum de la crue de projet ;

k - coefficient de forme de l'hydrogramme de la crue de projet, égal au rapport $\frac{Q_{max}}{Q_{min}}$;

k_{min} - valeur minimale du coefficient de forme ;

V_c - Volume d'eau de la crue, ;

V_l - Volume de laminage, réservé pour l'accumulation temporaire des eaux de la crue ;

La forme triangulaire de l'hydrogramme de la crue, selon Kotcherin [2] correspond aux valeurs limites $k=2$ et $r = \frac{V_c - V_l}{V_c}$. Donc, on peut écrire l'égalité suivante:

$$\frac{V_c - V_l}{V_c} = \frac{k_{min}}{2 \frac{V_c}{V_c - V_l} - (2 - k_{min})} \quad (3)$$

Cette égalité est vérifiée pour la seule valeur de $k_{min} = 2$.

Ainsi, le volume de laminage est exprimé par [6] :

$$V_n = \left(1 - \frac{k}{2r + (k-2)}\right) V_c \quad (4)$$

où :

r - coefficient de laminage ;

k - coefficient de forme de la crue ;

V_c - volume d'eau de la crue.

3. PROTECTION PAR UNE SÉRIE DE BARRAGES

Le laminage des débits des crues pluviales, sur un bassin versant, peut être effectué par un nombre de retenues qui peuvent être disposées sous forme de série sur le cours d'eau principal ou sur les différents affluents. Nous considérons les superficies versantes, entre deux sections comme des sous-bassins. Alors le volume de la $n^{\text{ème}}$ retenue est déterminé par l'expression suivante [3] :

$$V_{in} = \left(1 - \frac{k_n}{2r_n + (k_n - 2)}\right) \sum_{i=1}^n V_{i,i} \quad (5)$$

où :

$k_n = Q_{\max,n} / Q_{\text{moyen},n}$ - coefficient de forme de la $n^{\text{ème}}$ crue totale ;

$Q_{\max,n}$ - débit maximum de la $n^{\text{ème}}$ crue ;

$Q_{i,i}$ - débit laminé par le barrage d'ordre n ;

$\sum_{i=1}^n V_{i,i}$ - somme des écoulements sur les n sous bassins.

Le coefficient de forme de la $n^{\text{ème}}$ crue totale est exprimé par

$$k_n = \frac{Q_{\max,n}}{Q_{\text{moyen},n}}$$

où le débit moyen de cette crue s'écrit :

$$Q_{\text{moyen},n} = 0,28 \frac{\sum_{i=1}^n V_{i,i}}{T_{i,n-1} + t_{i,n}}$$

où $\sum_{i=1}^n V_{i,i}$ - volume de la crue, à la section n ;

$t_{i,n}$ - temps de concentration entre les sections $n-1$ et n ;

$T_{i,n-1}$ - temps de base de la crue sommaire laminée, en amont de la section $n-1$.

4- DIGUES FILTRANTES

Les digues filtrantes (fig. 1), appelées digues en enrochement, sont utilisées comme ouvrages de laminage des crues pluviales. La protection des agglomérations consisterait alors à réguler l'écoulement en amont par la réalisation de petites retenues sèches de régulation, spécialement conçues pour freiner l'écoulement des eaux des crues pluviales et réduire le débit maximum sortant.

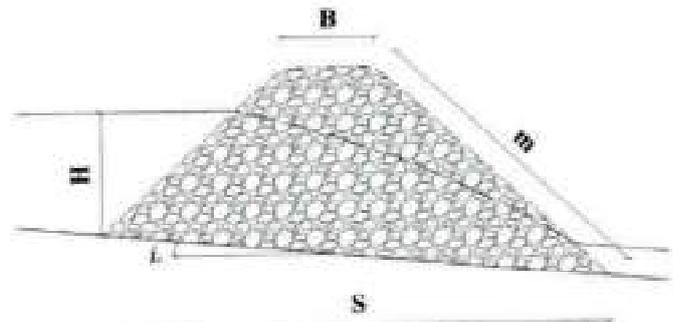


Figure 1- Schéma d'une digue perméable (avec: B largeur de la crête, S longueur de la digue, H niveau d'eau amont, m pente de talus, l pente du talweg)

La question principale est de déterminer la vitesse de filtration à travers le remblai en enrochement. Expérimentalement, Pouzirevski N. P. [7] a proposé une formule de la vitesse fictive de filtration de l'eau à travers le remblai rocheux : $v = k\sqrt{I}$, où : v - vitesse de filtration dans le remblai rocheux; k - coefficient de filtration du remblai rocheux; I - pente hydraulique, qu'on peut considérer égale à la pente piézométrique, compte tenu des faibles vitesses dans le corps du remblai.

Izbach S. V. [1] a proposé, pour le remblai rocheux, une autre formule de la vitesse de filtration : $v = C_p p \sqrt{dl}$, où : v - vitesse de filtration dans le remblai rocheux ; p - porosité de l'enrochement, c'est-à-dire le rapport du volume des vides au rapport total de l'enrochement ; I - pente piézométrique ;

$$C_p = \left(20 - \frac{14}{d}\right)$$

« coefficient de Chézy généralisé », avec d diamètre moyen des pierres, ramené à la forme sphérique, en cm.

Sribni M.F [8] a établi expérimentalement la relation entre les diamètres moyens des roches et la porosité.

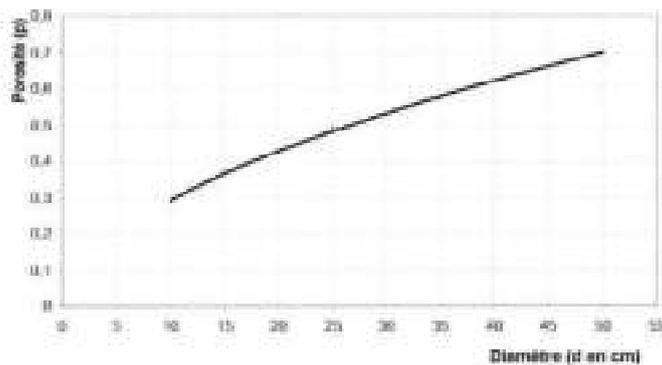


Figure 2- Dépendance entre porosité de l'envrochement et diamètres des roches

Cette relation s'exprime par $p = 0,085 d^{0,14}$. Ainsi, le coefficient de filtration du remblai rocheux s'exprime

comme suit : $k = \left(\frac{m-14}{d}\right) p^{\sqrt{d}}$

La surface de la section transversale de l'envrochement filtrant est déterminée à partir de la relation : $Q = wk\sqrt{J}$. La largeur du fond de l'envrochement filtrant b est donnée pour que la valeur du débit spécifique q du courant turbulent de filtration soit comprise entre 0.25 et 1.0 m³/s.

Les calculs hydrauliques de dimensionnement de la digue sont conditionnés par la valeur du débit filtré qui ne doit pas dépasser une certaine limite. Le choix du diamètre équivalent des roches détermine la porosité et par conséquent le coefficient de perméabilité. Les calculs de laminage s'effectuent sur la base de l'équation du bilan d'eau dans la retenue, pour des intervalles de temps dt , qu'on exprime par l'équation différentielle suivante :

$$Q_1 dt = Q_2 dt \pm \Omega dH \tag{6}$$

où :

- Q_1 - débit d'eau rentrant dans la retenue, m³/s ;
- Q_2 - débit d'eau filtré, sortant de la retenue, m³/s ;
- Ω - superficie du plan d'eau de la retenue, m² ;
- dH - variation du niveau d'eau en bief amont durant dt .

Il est évident que pour effectuer ces calculs, on doit disposer de l'hydrogramme de la crue $Q_1(t)$, des relations $\Omega(H)$ et $Q_2(H)$.

Les eaux accumulées temporairement dans le bief amont sont progressivement évacuées par voie de fil-

tration à travers le corps de la digue perméable. Pour un débit sortant Q_2 à travers la section d'un radier de largeur b donnée, la réalisation de la relation $Q_2(H)$ se vérifie pour plusieurs valeurs de Q_2 , pour lesquelles on détermine la profondeur H d'eau en bief amont. Cette opération exige de connaître au moins le débit sortant Q_2 , et la largeur du radier b . On calcule les caractéristiques hydrauliques suivantes : la profondeur critique h_c , la profondeur normale h_n , la pente critique i_c et l'exposant hydraulique y_c . Connaissant la profondeur d'eau en bief aval h_{av} , on calcule le rapport $\eta_{av} = \frac{h_c}{h_{av}}$ et on tire du tableau de Sribni la valeur de la fonction $f(\eta_{av})$. Ceci permet de déterminer la profondeur d'eau en bief amont $H = n_2 h_n$, où n_2 correspond à la valeur calculée de la fonction $f(\eta_{av}) = \frac{h_c^3}{h_n^3} + f(\eta_{av})$. Le choix technico-économique de toutes les dimensions de la digue, particulièrement la largeur du fond, est fondé sur des calculs de laminage de plusieurs valeurs de la largeur du radier b . La hauteur de la digue doit être supérieure à la profondeur de l'eau en amont, au moins d'un demi mètre.

5- RECOMMANDATIONS PRATIQUES

En premier lieu, il faut connaître le débit d'eau que la zone inondable peut supporter, qu'on appelle débit admissible Q_{adm} . Sachant que l'objectif du laminage est de réduire la valeur du débit maximum probable Q_{p} jusqu'à la valeur Q_{adm} . Les étapes essentielles de l'étude sont :

1. délimiter le bassin versant en amont de la zone inondable ;
2. recenser toutes les cuvettes potentielles pouvant stocker un volume d'eau maximum avec une hauteur minimale ne dépassant pas 4-5 mètres ;
3. déterminer les temps de concentration entre toutes les sections de l'amont vers l'aval ;
4. projeter les hydrogrammes de crues pour les superficies versantes entre les sections ;
5. effectuer les calculs de laminage au niveau de toutes les sections ;
6. examiner les scénarii de laminage simultané par des barrages situés en amont ;
7. examiner les variantes les plus économiques ;
8. vérifier que le débit admissible remplit la condition suivante $Q_{adm} > Q_{1,p}$.

CONCLUSION

Les digues perméables sont un moyen de lutte contre les inondations des centres urbains et des zones d'activités économiques. Leur réalisation ne nécessite pas une technologie particulière. Surtout que les matériaux sont disponibles et les méthodes de calculs hydrologique et hydraulique existent et sont maîtrisables. Ces digues peuvent être utilisées comme ouvrages de franchissement des petits et moyens oueds.

RÉFÉRENCES

1- Izbach S. V. 1931. A propos de la filtration dans les matériaux macro granulaire. Bulletin de l'Institut des recherches Scientifiques de l'Hydrotechnique, Tome I, page 114-135.

2- Jeleznik I.A. 1965. Régularisation de l'écoulement des crues. Guidrométéoizdat, Leningrad.

Ladjel M. 1998. Contribution au calcul des barrages de protection des centres urbains contre les crues pluviales 3-ème Séminaire National sur l'Hydraulique, 26,27 et 28 octobre 1998, Biskra

4 - Ladjel M. 1999. Construction de l'hydrogramme de la crue laminée par un barrage. CMGC'99, 30 nov. et 01 déc. 1999.

5- Ladjel M. 2002. Lutte contre les inondations des centres urbains par la construction des digues filtrantes. CMEE'2002, 8 et 9 octobre 2002, Alger,

6 - Ladjel M. 2004. Projection de l'hydrogramme de la crue de projet et de l'hydrogramme laminé. Premier Séminaire National sur les Sciences de la Terre au Service du Développement Durable, 26 et 27 avril 2004, Tebessa.

7- Pouzirevsky N. P. 1934. Les remblais filtrants, ONT Gostroizdat, Moscou.

8- Sribni M. F. 1934. La théorie et la pratique des ouvrages filtrants. Transjeldorizdat, Moscou.