

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Hydraulique

LABORATOIRE DE RECHERCHES DES SCIENCES DE L'EAU



MEMOIRE DE MAGISTER EN SCIENCES DE L'EAU

Présenté par :

Melle AOUMEUR Malika

Ingénieur d'état en Hydraulique

Diplômé de L'USTHB

THEME :

Contribution à l'étude et la conception d'un bassin de dissipation d'énergie classique

Soutenue publiquement en :

Membres du jury :

Président : Mr.KETTAB Ahmed.....Professeur,ENP

Directeur:Mr.MOULOUDI YahiaMaître Assistant Titulaire, ENP

Examineur : Mr.BENZIADA Salim ... Maître Assistant Titulaire, ENP
Mr.BARKANI Miloud ... Maître de Conférence , ENP
Mr.BILEK AmarMaître Assistant Titulaire, ENP

Année Universitaire 2008-2009

Remerciements

Je voudrais exprimer mes remerciements les plus sincères à mon directeur de thèse Mr Mouloudi yahia chargé de cours pour toutes les qualités tant dans le travail qu'humaine .Ainsi qu'a Mr Kettab, le Président du jury .

Egalement j'adresse mes remerciements les plus sincères à Mr Benziada et Mer Bermad Chef de département d'hydraulique à L'E.N.P, ainsi qu'a Melle Benmamar Saäda , et d'avoir bien voulu lire cette thèse et de la juger et d'avoir voulu accepter de faire partie de mon jury de thèse.

Aussi j'adresse mes remerciements à Mr H.Bencheik chargé de cours à l'université de Blida,et à Mr Berkani et Mr Billek chargés de cours à L'E.N.P, et à tous les enseignants du département d'hydraulique à L'E.N.P.

Enfin je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à toutes les personnes Ayant contribué de près ou de loin à l'achèvement de cette thèse.

ملخص

تخطيط وتحديد أبعاد حوض التهديئي الكلاسيكي لهم أهمية كبيرة للسير الحسن لهذه المنشآت, دراسة المراجع بينت لنا بان الطرق لتحديد أبعاد الحوض التهديئي الكلاسيكي, جزئية, بطيئة, غير مباشرة وغير كاملة متركزة على طريقة تقريبية وهذه الأسباب تجعل هذه الطرق في غالب الأحيان غير متكيفة مع حقيقة الموقع.

هذه الدراسة سمحت لنا بتحضير طريقة خطية, بسيطة, مباشرة وسريعة, تأخذ بعين الاعتبار مختلف الثوابت للحوض التهديئي الكلاسيكي مع مختلف العراقيل المفروضة, مراجعة النتائج المحصل عليها ومقارنتها مع المعطيات التطبيقية, أكدت لنا صحة الطريقة المحضرة.

الكلمات المفتاحية:

حوض التهديئي, امكانية الاشتغال, تحديد ابعاد , القفزة المائية

Résumé

La conception et le dimensionnement d'un bassin de dissipation d'énergie sont très importants pour le fonctionnement et l'exploitation optimum de ce dernier.

L'étude bibliographique a montré que les méthodes de dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie classique sont partielles, lentes, indirectes, incomplètes basées sur le procédé d'approximation, ce qui les rend souvent non adaptées à l'objectif assigné parla réalité du terrain.

Cette contribution a permis d'élaborer une méthode graphique, simple, directe et rapide prenant en considération les différents paramètres d'un bassin de dissipation d'énergie classique avec les différentes contraintes imposées par le terrain ou la pratique.

La vérification des résultats obtenus et leur comparaison à des données pratiques confirment la validité de la méthode élaborée.

Mots clés:

Bassin de dissipation, Fiabilité, Dimensionnement, Ressaut hydraulique.

Abstract

The designs and the dimensioning of stilling basin are very captal for the correct operation of structure.

The bibliographical study has shows that, the methods of dimensioning of classical stilling basin are partial, slow, indirect incomplete, based on the estimation process, that make them no adapted to the objective assigned to the real field.

That study gave the opportunity to elaborate a graphic method, simple, fast and complete, taking in consideration the different parameter of classical stilling basin whit the different constraint imposed to the field or the practice.

The verification of the results obtained and their comparisons with the practical data, confirm the validity of the method.

Key words:

Dissipation basin, Reliability, Dimensioning, Hydraulic jump.

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I Généralité sur les dissipateurs d'énergie	
-Introduction	03
I-1 Les différent type de bassins de dissipation	
I-1-1 Présentation des bassins de dissipation modifiés USBR type (I,II et III) à ressaut forcé)	03
I-1-2 Présentation du bassin de dissipation d'énergie type SAF	05
I-1-3 Présentation du bassin de dissipation d'énergie type USCE	05
I-1-4 Présentation du bassin de dissipation d'énergie type Bhavani	06
I-1-5 Présentation du bassin de dissipation d'énergie typeVNNIG	06
I-1-6 Présentation du bassin de type impact	08
I-1-7 Présentation du bassin de type plongé : (ou bassin de chute)	08
I-1-8 Bassins de dissipation d'énergie modifiée à ressaut forcé	10
I-2 Les différents types de dissipateurs d'énergie	
-Introduction	11
I-2-1 Dissipateur à auge (cuvette de dissipation submergé)	11
I-2-2 Les Becs déviateurs ou « sauts de ski »	13
I-2-3 Auge de déflexion (les déflecteurs)	14
Chapitre II Choix et Conception d'un bassin de dissipation d'énergie classique et les méthodes de dimensionnement de ce bassin	
II- 1 Choix et Conception d'un bassin de dissipation d'énergie classique	16
-Introduction	
II- 1 -1 Définition et description d'un bassin de dissipation d'énergie classique	16

II- 1 -2 Présentation du bassin de dissipation d'énergie classique16 (cas des barrages en matériaux locaux)	16
II-1-3 Présentation du bassin de dissipation d'énergie classique dans17 (cas de la vidange de fond.)	17
II-1-4 Choix et conception d'un bassin de dissipation d'énergie classique17	17
II-1-5 Directives et consignes d'exploitation18	18
II-1-6 Importance et utilité d'un bassin de dissipation classique..... 18	18
II-1-7 Avantages d'un bassin de dissipation d'énergie classique18	18
II-1-8 Inconvénients d'un bassin de dissipation d'énergie classique18	18
II-1-9 Règles de conceptions minimales recommandées par ICOLD (1987)19	19
Conclusion19	19

III-2 Détermination des débits de dimensionnement des évacuateurs de crue

II-2-1 Définition du laminage de crue20	20
II-2-2 L'effet de la retenue sur l'hydrogramme de crue.....20	20

II-2-3 Présentation des Méthodes de laminage de crues

- Introduction22	22
II-2-3-1 Méthode de E.I.E.R-C.I.E.H ou Méthode de coefficient "x ₀ "22 (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., 1999)	22
II-2-3-2 Méthode d'utilisation de logiciels24 (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., 1999)	24
II-2-3-3 Méthode de BLACKMORE (Rolley, R., 1974).....25	25
II-2-3-4 Méthode de (Greager, M., 1957)27	27
-Conclusion28	28

II-3 Méthodes de dimensionnement d'un bassin de dissipation d'énergie classique

Introduction.....29	29
---------------------	----

II-3-1-Méthode de (Alychev, V. & Kréménetski,N.&Schtérenliht,D.&Yakovlev,A.L., 1984)

II-3-1-1-Présentation de la méthode29
Introduction.....29
Conclusion35

II-3-2 Méthode d'Agroskine (1980)

(Alychev, V. & Kréménetski, N. & Schtérenliht, D. & Yakovlev, A.L., 1984)

II-3-2 -1 Présentation de la méthode36
Introduction.....36
Conclusion38

II-3-3 Méthode de (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., 1999)

Introduction38
II-3-3 -1-Présentation de la méthode38
Conclusion.....40

II-3-4 Méthode de Naoumenko, I., (1974)

-Introduction41
-Présentation de la méthode41
-Conclusion49

II-3-5 Méthode de (Tchouguaev, R.R., 1975)

Introduction.....49
Présentation de la méthode49
Conclusion52

II-3-6 Méthode de Ruhlmann-Dupuit et de Tolkmitt

(Lencastre,A.,1999) et (Carlier,M.,1986)(cas des barrages en matériaux locaux)

Introduction52
II-3-6-1 L'écoulement dans le coursier et le rapide52

Conclusion	53
II-3-6-2 Calcul de la profondeur Y_2 d'un bassin de dissipation classique	53
(Cas d'un barrage en matériaux locaux)	
Chapitre III Etude et présentation de la méthode élaborée de dimensionnement du bassin de dissipation classique	
III-1 Méthode élaborée	55
-Introduction	55
III-1-1 Développement de la méthode	55
III-1-2 Application de la méthode	61
III-1-3 Utilisation de la méthode	62
Conclusion.....	64
III-2 Méthodologie de dimensionnement des bassins de dissipations d'énergie classique.	
Introduction	64
III-2-1 Méthodologie N°1	64
Introduction	64
Développement de la méthodologie	65
Conclusion	67
III-2-2 Méthodologie N°2	67
Introduction	67
Développement de la méthodologie	67
Conclusion	68
III-2-3 Méthodologie N°3	68
Introduction	68
Développement de la méthodologie	68

Conclusion	69
III-2-4 Méthodologie N°4	69
Introduction	69
Développement de la méthodologie	69
Conclusion	70
 Chapitre IV Vérification expérimentale et application pratique	
IV-1 Validation des résultats	71
-Introduction	71
IV-1-1 Résultats expérimentaux	72
IV-1-2 Application de la méthode graphique élaborée	73
IV-1-3 Interprétation des résultats	75
-Conclusion	78
IV-2 Application pratique.....	78
IV-2 -1 Exemple N°1 (Barrage de Harreza)	78
- Introduction	78
IV-2 -1-1 Application de la méthode graphique élaborée	79
IV-2 -1-2 Interprétation des résultats	80
Conclusion	80
IV-2 -2 Exemple N°2 (Barrage de Djorf -Torba)	82
Introduction	82
IV-2-2-1 Application de la méthode graphique élaborée	83
IV-2-2-2 Interprétation des résultats	84
Conclusion	85

Conclusion générale..... 87

Bibliographie89

Liste des Figures

Figure (I.1)	Bassin USBR type I	03
Figure (I.2)	Bassin USBR type II	04
Figure (I.3)	Bassin USBR type III	05
Figure (I.4)	Bassin de dissipation USCE	05
Figure (I.5)	Bassin de dissipation Bhavani	06
Figure (I.6)	Bassin de dissipation VNNIG type III	07
Figure (I.7)	Bassin de dissipation VNNIG type IV	07
Figure (I.8)	Bassin de type impact	08
Figure (I.9)	Bassin de type plongé	10
Figure (I.10)	Dissipateur à auge (cuvette de dissipation submergée)	12
Figure (I.11)	Condition d'écoulement autour d'un dissipateur à auge avec seuil denté	13
Figure (I.12)	Bec déviateur	14
Figure (II.1)	Bassin de dissipation classique (cas des barrages en matériaux locaux)	16
Figure (II.2)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique	30
Figure (II.3)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique profond	32
Figure (II.4)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique avec paroi d'amortissement	34
Figure (II.5)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique combiné	34
Figure (II.6)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique	38
Figure (II.7)	Dispositif de contre digue	40
Figure (II.8)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique profond	40
Figure (II.9)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique avec paroi d'amortissement c_0	43
Figure (II.10)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique avec paroi d'amortissement c_1	43

Figure (II .11)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique de profondeur d_0	46
Figure (II .12)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique de profondeur d_1	46
Figure (II .13)	Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique	51
Figure (II.14)	Dimensionnement du bassin de dissipation classique (cas des barrages en matériaux locaux)	52
Figure (IV.1)	Modèle réduit	71
Figure (IV.2)	Déversoir à profil pratique type Greager suivi d'un bassin de dissipation classique profond (Barrage de Harreza)	78
Figure (IV.3)	Barrage de Harreza	81
Figure (IV.4)	Barrage de Djorf Torba suivi d'un bassin de dissipation classique.	83
Figure (IV. 5)	Barrage de Djorf Torba	86

Liste des Graphes

Graphe (II .1)	Visualisation de l'effet de laminage	21
Graphe (II .2)	$\beta(\%) = (\text{Log}_{10}x_0)$	23
Graphe (II .3)	Débit =f(temps)	24
Graphe (II .4)	Evolution de la charge sur le déversoir en fonction du temps	24
Graphe (II .5)	Représentation graphique de la méthode de Black More	26
Graphe (II .6)	Représentation graphique de la méthode de Greager	28
Graphe (II .7)	$c = f(Q)$	43
Graphe (II .8)	$\xi_c = f(\xi_0)$ et $\xi_c'' = f(\xi_c)$	51
Graphe (III .1)	Représentation graphique de la méthode élaborée	63
Abaque (II .1)	Profondeur du bassin de dissipation en fonction du tirant d'eau Aval et de la hauteur de la lame d'eau au dessus du déversoir	39
Abaque (II .2)	Fonction $R_1 = f(F_{r1}, \eta')$	48
Abaque (II .3)	$\xi_c = f(\xi_0)$ et $\xi_c'' = f(\xi_c)$	51
Abaque (II.4)	Abaque pour le calcul de la profondeur du bassin de dissipation classique (cas d'un barrage en matériaux locaux)	54

Liste des Tableaux

Tableau (I.1)	Résultats généraux sur des dissipateurs d'énergie	11
Tableau (II.1)	Valeurs de la fonction auxiliaire $\Phi(\tau_{ct})$ pour le calcul des profondeurs 37 conjuguées du ressaut hydraulique dans le bief aval des ouvrages de déversement.	
Tableau (II.2)	Détermination de la hauteur de la paroi par approximations successives	42
Tableau (IV.1)	Expérience N°1	72
Tableau (IV.2)	Expérience N°2	73
Tableau (IV.3)	Résultats théoriques N°1	74
Tableau (IV.4)	Résultats théoriques N°2	75
Tableau (IV.5)	Ecart I	76
Tableau (IV.6)	Ecart II	76
Tableau (IV.7)	Ecart Relatif I	77
Tableau (IV.8)	Ecart Relatif II	77
Tableau (IV.9)	Paramètres préliminaires (Barrage de Harreza)	79
Tableau (IV.10)	Paramètres adimensionnels déterminés par la méthode élaborée (Barrage de Harreza)	79
Tableau (IV.11)	Paramètres hydrauliques déterminés par des méthodes analytiques (Barrage de Harreza)	80
Tableau (IV.12)	Paramètres hydraulique trouvés par l'étude sur modèle réduit (Barrage-Djorf Torba)	82
Tableau (IV.13)	Paramètres hydraulique préliminaires (Barrage-Djorf Torba)	83
Tableau (IV.14)	Paramètres adimensionnel déterminés par la méthode élaborée (Barrage-Djorf Torba)	84
Tableau (IV.15)	Paramètres hydrauliques déterminés par des méthodes analytiques (Barrage-Djorf Torba)	84
Tableau (IV.16)	Ecart des résultats (Barrage -Djorf Torba)	85
Tableau (IV.17)	Ecart Relatif des résultats (Barrage-Djorf Torba)	85

Notations

Symboles	Unités	Significations
a	m	Hauteur du barrage déversoir à partir de la côte du pied amont du barrage jusqu'au niveau normal de retenue (N.N.R)
a'	m	Hauteur du seuil à l'aval du bassin de dissipation classique
a ₂	m	Hauteur du 2eme seuil (seuil épais)
a _{maxbar}	m	Hauteur maximale du barrage (du pied amont du barrage Jusqu'au couronnement)
b	m	Largeur du déversoir (égale à celle du bassin de dissipation)
b'	m	Largeur de la paroi d'amortissement
b _B	m	Epaisseur du bloc chicane (bassin Vnnig type III)
b _{opt}	m	Largeur optimale du déversoir
B	m	Profondeur de la cuvette
c	m	Hauteur de la paroi d'amortissement
c'	Sans dimensions	Constante dans l'expression du point d'impact du jet d'un saut de ski
c ₀	m	Hauteur initiel de la paroi d'amortissement
c ₁	m	Nouvelle hauteur de la paroi d'amortissement
c _c	m	Côte de la crête du barrage
d ₀	m	Profondeur de la chambre d'amortissement correspondant à l'état critique du ressaut
d ₁	m	Profondeur de la chambre pour un fonctionnement stable
D	Sans dimensions	Coefficient de noyage du ressaut
D _h	m	Diamètre hydraulique

e	m	Espacement entre 2 blocs chicane
E	m	Energie spécifique du bief aval (à l'aval du ressaut)
E_0	m	Energie spécifique de l'écoulement à l'amont du barrage
f_r	Sans dimensions	Coefficient de frottement
F_1	Sans dimensions	Nombre de Froude à l'amont du ressaut
g	m/s^2	Accélération de la pesanteur
h	m	Lame d'eau déversée à travers le déversoir (Hauteur d'eau au dessus du déversoir)
h'	m	Hauteur du ressaut hydraulique
h''	m	Hauteur entre le niveau de la retenue et la surface libre à la section aval du ressaut
h_1	m	Hauteur de chute
h_{av}	m	Profondeur de l'eau à l'aval (dans l'oued)
h_b	m	Hauteur des bajoyers
h_{bas}	m	Profondeur de l'eau dans le bassin de dissipation
h_{ct}	m	Profondeur contractée
h_e	m	Profondeur de l'écoulement
h_f	m	Profondeur d'écoulement à l'amont du barrage déversoir
h_g	m	Hauteur d'un seuil en gabion
h_n	m	Profondeur de noyage
h_p	m	Hauteur de l'eau au dessus de la paroi d'amortissement
h_r	m	Profondeur conjuguée aval du ressaut hydraulique
h'_r	m	Nouvelle profondeur conjuguée aval du ressaut
h_{r+}	Sans dimensions	Paramètre adimensionnel correspondant à la profondeur h_r
h_{opt}	m	Lame d'eau déversée optimale

h_t	m	Profondeur conjuguée amont du ressaut hydraulique
h_{t+}	Sans dimensions	Paramètre adimensionnel correspondant à la profondeur h_t
H	m	Charge hydraulique
H'	m	Hauteur entre le niveau de la retenue et la surface libre à la section amont du ressaut
H_1	m	Charge à l'amont du ressaut hydraulique
H_2	m	Charge à l'aval du ressaut hydraulique
H_{1+}	Sans dimensions	Paramètre adimensionnel correspondant à la charge H_1
H_{2+}	Sans dimensions	Paramètre adimensionnel correspondant à la charge à H_2
H_d	m	Charge hydraulique au dessus de la paroi d'amortissement
H_k	m	Charge hydraulique au dessus du déversoir
H_{min}	m	Charge minimale au dessus de la crête du barrage déversoir
j	m	Perte de charge dans le coursier
k	m	Profondeur critique
L	m	Longueur du ressaut
L_+	Sans dimensions	Paramètre adimensionnel correspondant à la longueur L
L_1	m	Distance entre l'entrée du bassin de dissipation USCE et Le 1 ^{er} rangé de bloc chicane
L_2	m	Distance entre Le 1 ^{er} rangé de bloc chicane et le 2eme rangé de bloc chicane (bassin de dissipation USCE)
L_{bas}	m	Longueur du bassin de dissipation
L_c	m	Longueur de la cuvette
L_{ch}	m	Distance d'envol de la nappe en chute
L_p	m	Longueur de la chambre d'amortissement
L_p'	m	Longueur aval protégé de pente 6%
L_{par}	m	Distance entre la profondeur conjuguée amont du ressaut et la paroi

L_r	m	Longueur du rouleau
L_{rp}	m	Longueur du ressaut parfait
m	Sans dimensions	Coefficient du débit
n%	Sans dimensions	Un certains pourcentage (de H)
N.N.R	m	Niveau normal de retenue
N_c	m	Côte du couronnement
N_T	m	Côte du Pieds amont du déversoir ou barrage
N P.H.E	m	Niveau de plus haute eau
P	m	Hauteur du barrage déversoir par rapport au plan de référence qui passe par le fond du bassin de dissipation
P_1	N	Force de pression qui s'exerce à la section amont du ressaut
P_2	N	Force de pression qui s'exerce à la section aval du ressaut
P_{bas}	m	Profondeur du bassin de dissipation
P_m	m	Périmètre mouillé
P_{par}	m	Hauteur de la paroi
q	m ² /s	Débit par unité de largeur
q_{max}	m ² /s	Débit spécifique maximum déversé
Q	m ³ /s	Débit
Q_c	m ³ /s	Débit de pointe entrant dans la retenue
Q_d	m ³ /s	Débit de dimensionnement du bassin de dissipation
Q_e	m ³ /s	Débit évacué
$Q_{maxdév}$	m ³ /s	Débit maximum déversé
r	m	Rayon de courbure de l'auge d'un saut de ski
R	m	Rayon de courbure de l'auge d'un dissipateur d'énergie
R'	m	Revanche

R_1	N	Réaction relative de la saillie de la chambre d'amortissement
R_s	N	Réaction de la saillie de la chambre d'amortissement
R_s/γ	N/m	Réaction de la saillie rapportée à l'unité de largeur
R_h	m	Rayon hydraulique
s	m ²	Section
S	m	Hauteur du bloc chicane (bassin de dissipation USCE)
S_e	m	Hauteur du seuil terminal (bassin de dissipation USCE)
S'	m ²	Surface du plan d'eau
S/h_t	Sans dimensions	Hauteur relative des blocs chicane
S_m	m ²	Section mouillée
t	s	Temps
t_m	s	Temps de montée des eaux
V	m ³	Volume d'eau déversé
V'	m/s	Vitesse de l'écoulement
V_0	m/s	Vitesse d'arrivée de l'eau vers le barrage ou le déversoir (Vitesse d'amenée)
V_1	m/s	Vitesse de l'écoulement à la section amont du ressaut Hydraulique
V_2	m/s	Vitesse de l'écoulement à la section aval du ressaut Hydraulique
V_k	m/s	Vitesse de l'écoulement correspondant à la profondeur k
V_{max}	m/s	Vitesse d'affouillement (Vitesse maximale de l'écoulement près du fond du bassin de dissipation)
w	m	Largeur de bloc de chute
x	m	Point d'impact du jet d'un saut de ski
x_0	Sans dimensions	Paramètre adimensionnel
y	m	Tirant d'eau au pied du coursier

y_1	m	Profondeur limite de la fosse de dissipation
Y_2	m	Profondeur du bassin de dissipation (cas des barrages en matériaux locaux)
z	m	Hauteur sur laquelle varie la surface du plan d'eau
α_0	Sans dimensions	Facteur de correction de l'énergie cinétique
α	Sans dimensions	Coefficient reliant j et H'
β	Sans dimensions	Rapport entre Q_{emax} et Q_{cmax}
β'	Sans dimensions	Rapport entre la longueur du ressaut et la longueur de la chambre d'amortissement
ε	m	Rugosité absolue d'un matériau
γ	$\text{Kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$	Poids spécifique du liquide
η	Sans dimensions	Efficacité
η'	Sans dimensions	Profondeur relative au bief aval
φ	Sans dimensions	Coefficient de vitesse
θ	Degrés	Angle que fait le jet d'eau relancé vers le haut par Un bec déviateur
ρ	Kg/m^3	Masse volumique de l'eau
σ	Sans dimensions	Coefficient de réserve
σ_n	Sans dimensions	Coefficient de noyage de la paroi d'amortissement
τ	N/m^2	Force tractrice d'affouillement
τ_{ct}	Sans dimensions	Constante relative à la détermination de la 1 ^{er} profondeur conjuguée du ressaut
τ_{ct}''	Sans dimensions	Constante relative à la détermination de la 2eme profondeur conjuguée du ressaut
ξ_c	Sans dimensions	Grandeur adimensionnelle
ξ_c''	Sans dimensions	Grandeur adimensionnelle
ξ_0	Sans dimensions	Grandeur adimensionnelle

dt	s	Variation du temps
Dt	s	Intervalle de temps
DZ	m	Différence de niveaux à la sortie du bassin de dissipation
ΔE	m	Perte d'énergie dissipée par le ressaut hydraulique
ΔH	m	Perte de charge produite par le ressaut hydraulique
ΔH_+	Sans dimensions	Paramètre adimensionnel correspondant à ΔH
ΔV	m^3	Volume d'eau déversé pour un pas de temps d'une heure
$\Phi(\tau_{ct})$	$m^{1/2}/s$	Fonction auxiliaire

Introduction générale

Les retenues d'eau alimentées par des débits importants non contrôlables, comme ceux provenant d'une crue, doivent être équipées d'un ouvrage d'évacuation pour permettre une évacuation efficace des eaux excédentaires.

Chaque retenue artificielle constitue une intervention plus ou moins grave sur le régime naturel d'un cours d'eau. Il importe, par conséquent de reconstituer au mieux les conditions de l'écoulement original lorsque des crues entrent dans des retenues pleines, les débits des volumes d'eau considérables doivent être restitués directement à l'aval dans la rivière.

Le lit de la rivière subit des dommages par l'érosion s'il n'est pas protégé. Aussi on peut avoir des problèmes d'affouillement et des inondations dans la zone aval d'un barrage donc la protection de cette dernière est indispensable. Il faut prévoir en un endroit bien précis, un ouvrage appelé dissipateur d'énergie. Le but de cette installation est de convertir un écoulement à haute énergie mécanique en un écoulement à faible énergie mécanique. Elle a aussi pour fonction de dissiper le surplus d'énergie en énergie de turbulence.

L'eau évacuée peut être aussi conduite par un coursier et atteint souvent une vitesse très élevée. Ce débit à haute vitesse peut endommager, à cause de l'importante quantité d'énergie cinétique en jeu, le lit naturel de la rivière à l'aval de la retenue. La seule manière de contrôler l'écoulement à haute vitesse et de dissiper une partie de l'énergie mécanique est de concevoir un bassin de dissipation d'énergie afin d'obtenir un écoulement à vitesse convenable dans le lit de la rivière. Plusieurs types de bassin amortisseurs ont été développés en fonction des différentes configurations, des types de barrages formant les retenues, de la topographie et de la géologie du site ainsi que des conditions hydrauliques.

Le choix et la conception des dissipateurs d'énergie dépendent des conditions hydrauliques, topographiques, géologiques, l'exploitation, type de barrage et le coût technico-économique. Plus précisément notre étude se base sur la conception et l'étude des méthodes de dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie classique là où le ressaut se forme d'une manière naturelle et le fonctionnement est automatique.

La conception et le dimensionnement d'un bassin de dissipation d'énergie classique influencent directement et de manière importante sur le fonctionnement optimum de la structure.

Actuellement, les méthodes de dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie classique sont partielles, laborieuses, lentes, indirectes et procèdent par itérations successives, ce qui les rend souvent non adaptés à l'objectif assigné par la réalité du terrain.

Afin de résoudre ces problèmes, la solution qu'on propose à travers cette présente étude, est d'élaborer une méthode directe, rapide et complète. Elle prendra également en considération les différents paramètres du bassin de dissipation d'énergie classique avec les contraintes imposées par la topographie, l'exploitation globale du barrage ou la protection de l'environnement. La méthode en question est basée sur une représentation graphique à échelle logarithmique d'un ensemble de paramètres adimensionnels correspondant à l'ouvrage hydraulique.

La connaissance d'un seul paramètre adimensionnel permet à cette méthode élaborée de déterminer graphiquement les autres paramètres nécessaires pour dimensionner le bassin de dissipation d'énergie classique.

Pour atteindre l'objectif visé par cette présente étude, le travail s'est subdivisé 4 grandes parties.

Une première partie regroupe les types de bassins de dissipation et les différents dissipateurs d'énergie.

Une deuxième partie concernant la recherche bibliographique s'est portée sur le choix et la conception du bassin de dissipation classique sous l'angle du calcul de débit de dimensionnement de l'évacuateur de crue et la recherche des méthodes de dimensionnement du bassin de dissipation classique

Une troisième partie sera consacré à l'étude de la méthode élaborée et la méthodologie de dimensionnement du bassin de dissipation classique.

Enfin une quatrième partie de ce travail est la validité de la méthode et la confrontation des résultats, tant du point de vue de vérification expérimentale sur modèle réduit hydraulique effectuée en laboratoire qu'aux applications pratiques sur des ouvrages hydrauliques en exploitation.

Chapitre I

Généralité sur les dissipateurs d'énergie

-Introduction

Les différents dissipateurs d'énergie utilisables pour dissiper l'énergie cinétique de l'écoulement sont généralement :

- Les bassins de dissipation classiques à ressaut.
- Les bassins modifiés (USBR) du type (I, II et III) à ressaut forcé.
- Les bassins SAF.
- Les bassins USCE.
- Les bassins Bhavani et les bassins VNNIG.
- Les bassins de types impact
- Les bassins de plongé (bassin de chute)
- Les becs déviateurs.
- Cuvettes submergées (dissipateurs à auge).
- Les déflecteurs

I-1 Les différents types de bassins de dissipation.

I-1-1 Bassins de dissipation modifiés USBR type (I, II et III) à ressaut forcé (Hager, W.H., 1991).

I-1-1-1 Bassin de dissipation d'énergie USBR type I

La conception de ce bassin de dissipation demande obligatoirement des blocs de chute à l'amont du bassin et un seuil terminal à l'extrémité aval de celui-ci (Figure (I.1)).

Ce bassin a été développé pour un nombre de Froude F_1 compris entre 2,5 et 4,5 ($2,5 \leq F_1 \leq 4,5$). Dans ce bassin le ressaut hydraulique n'est pas stable et cette instabilité rend le contrôle de l'écoulement difficile. Il y a oscillation du jet entrant dans le bassin de dissipation et chacune d'entre elles produit une vague difficile à amortir avec des surpressions. Dans ce cas, il est important de placer des blocs de chute à l'amont de ce bassin afin d'amortir ces vagues.

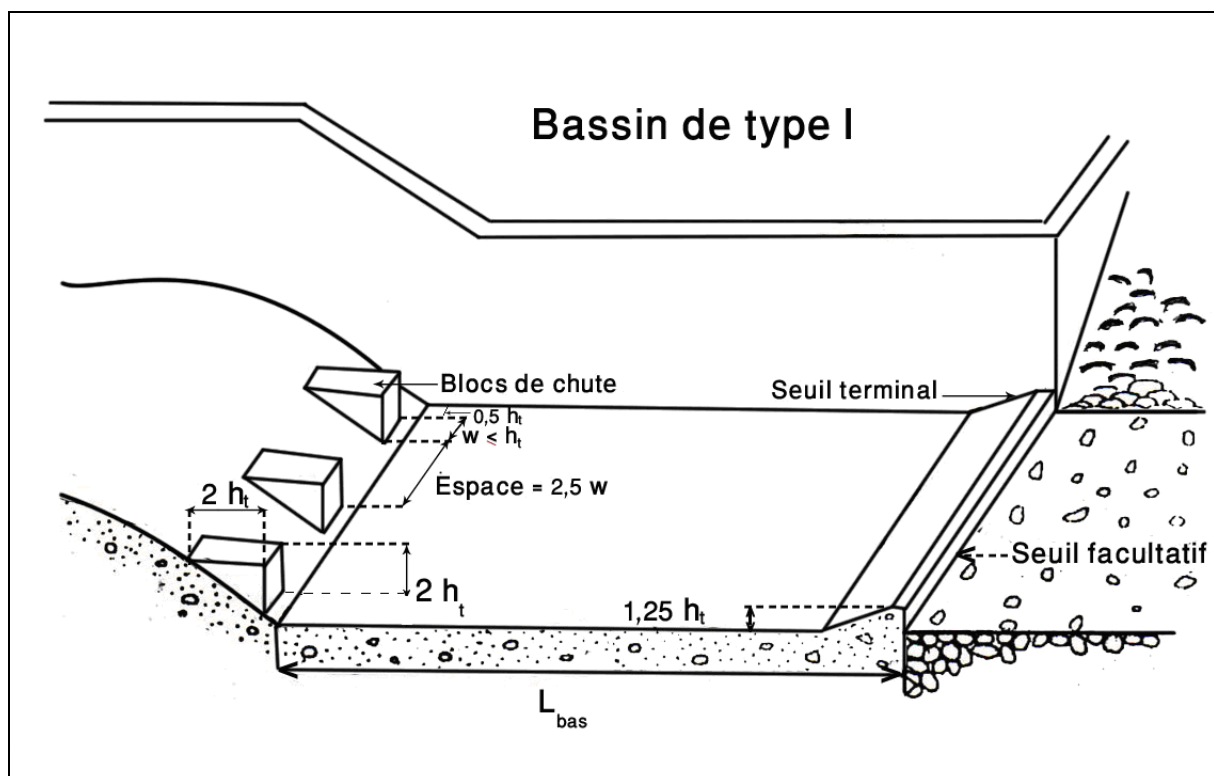


Figure (I.1) Bassin USBR type I

I-1-1-2 Bassin de dissipation d'énergie USBR type II

Le bassin contient des blocs de chute à l'amont, une rangée de blocs chicane à l'intérieur et un seuil terminal à l'extrémité aval Figure (I.2) Le Bassin de dissipation USBR type II a été conçu pour un nombre de Froude ($F_1 > 4,5$), une vitesse de l'écoulement à l'entrée du bassin de dissipation ($V_1 < 15$ m/s).

Les blocs Chicane peuvent alors être placés dans ce bassin sans risque de dommage de cavitation. Ce bassin est développé pour un débit unitaire entrant dans le bassin de dissipation : ($Q/b < 20$ m²/s) (avec b : largeur de ce bassin).

La réduction de la longueur de ce bassin est principalement accomplie par les blocs Chicane.

- Avantage du bassin USBR type II

-Il est efficace par rapport au bassin type I et court grâce à l'utilisation des blocs chicane.

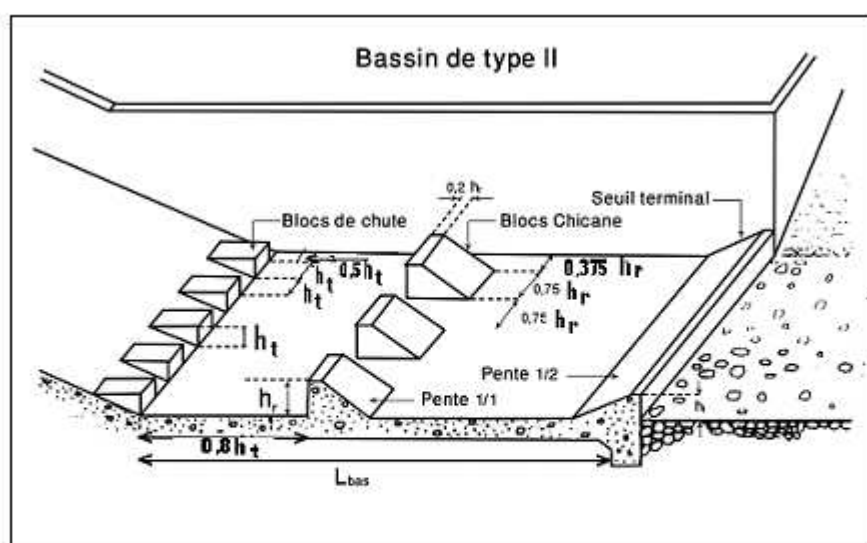


Figure (I.2) Bassin USBR type II

I-1-1-3 Bassin de dissipation d'énergie USBR type III

Ce Bassin contient des blocs de chute à l'amont et un seuil denté à l'aval (voir figure (I.3)). A cause des vitesses importantes d'arrivées de l'écoulement qui dépasse 30 m/s et du potentiel de dommages de cavitation, aucun bloc de Chicane n'est assuré au centre du Bassin.

Le Bassin USBR type III a été conçu pour les raisons suivantes:

- le nombre de Froude ($F_1 > 4,5$)
- La vitesse de l'écoulement entrant dans ce bassin ($V_1 > 15$ m/s)
- Le débit unitaire ($20 < (Q/b) < 50$ m²/s)

-Avantage du bassin USBR type III

Cet ouvrage est très efficace.

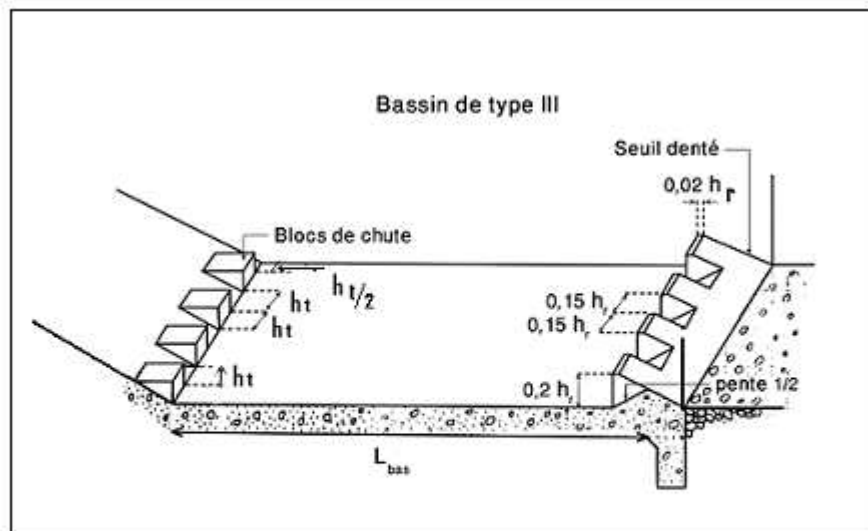


Figure (I.3) Bassin USBR type III

I-1-2 Bassin de dissipation d'énergie SAF (Hager, W.H., 1991).

La conception du bassin de dissipation SAF nécessite des blocs de chute à son entrée, une rangée de blocs Chicane à l'intérieur du bassin et un seuil terminal à son extrémité aval.

La dimension de ce bassin a été réduite par l'utilisation des blocs Chicane.

Ce bassin de dissipation a été développé à partir du bassin USBR. Il est identique au bassin de dissipation USBR type II et sa longueur d'origine est :

$$(L_{bas}/h_r) = 3,75 \quad (I.1)$$

Avec :

L_{bas} longueur du bassin de dissipation d'énergie

h_r : 2^{ème} profondeur conjuguée du ressaut hydraulique

I-1-3 Bassin de dissipation d'énergie type USCE) (Hager, W.H., 1991).

La conception du bassin de dissipation USCE exige deux rangées de blocs Chicane à l'intérieur et un seuil terminal à son extrémité aval (figure (I.4)).

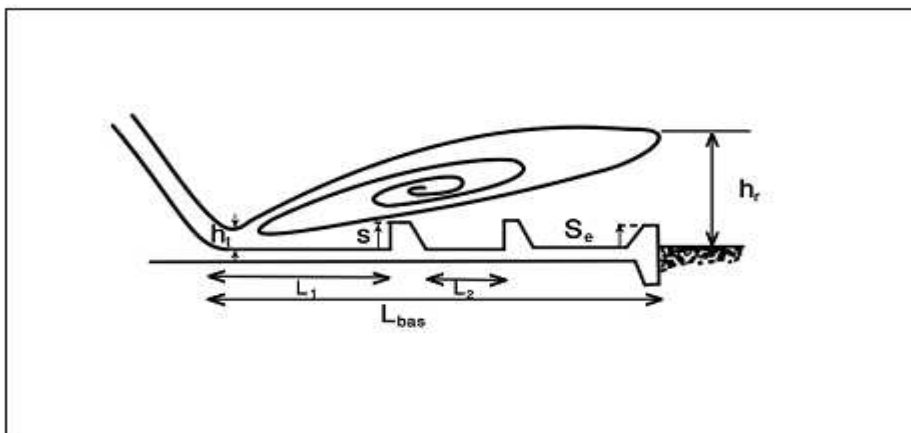


Figure (I.4) Bassin de dissipation USCE

I-1-4 Bassin de dissipation d'énergie type Bhavani (Hager, W.H., 1991).

La conception consiste à placer des blocs modelés en forme de T sur le fond du bassin figure (I.5). Ceux-ci sont encastrés au seuil. Les particularités attribuées à ce type de bassin sont :

- Le ressaut hydraulique pour toutes les conditions d'écoulement est toujours dans le bassin de dissipation
- La dissipation de l'énergie dans le bassin est relativement complète avec absence d'ébullition.
- Les blocs sont stables dans la conception et ils sont libres de cavitation.
- La conception est économique.

Ce type de bassin est adéquat quand la charge de l'écoulement entrant est supérieure à 35m

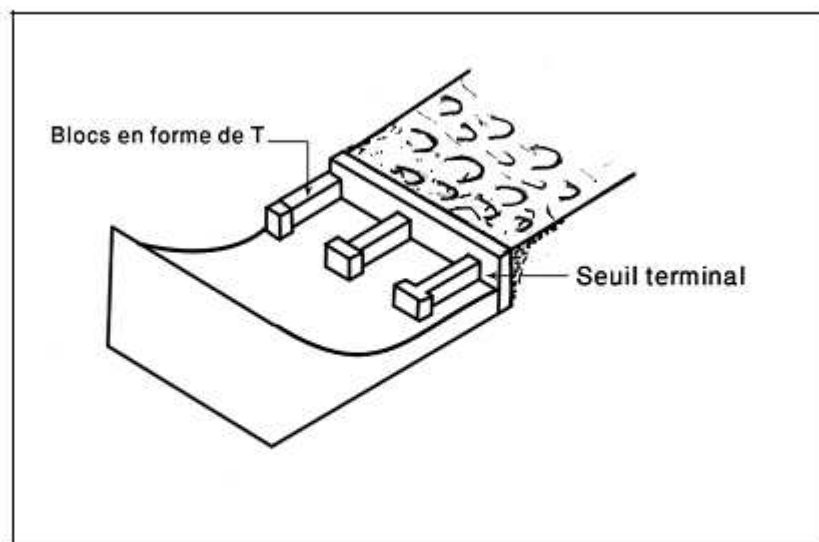


Figure (I.5) Bassin de dissipation Bhavani

I-1-5 Bassin de dissipation d'énergie VNNIG (Hager, W.H., 1991).

Il y a quatre types de bassins de dissipation d'énergie type VNNIG. Ces ouvrages devraient être utilisés pour un nombre de Froude F_1 compris entre 2,5 et 10 ($2,5 < F_1 < 10$).

I-1-5-1 Bassin de dissipation d'énergie VNNIG type I

Le Bassin VNNIG type I est identique à celui du USBR type I.

Un ressaut hydraulique classique se produit à l'intérieur de ce bassin. La longueur recommandée du bassin est:

$$L_{bas} = 7(h_r - h_t) \quad (I.2)$$

Avec :

- h_t : 1^{er} profondeur conjuguée du ressaut
- h_r : 2^{eme} profondeur conjuguée du ressaut

I-1-5-2 Bassin de dissipation d'énergie VNNIG type II

La conception de ce bassin demande un seuil Chicane placé à une distance de $3h_r$ à partir de l'amont du bassin.

I-1-5-3 Bassin de dissipation d'énergie VNNIG type III

Vu la conception de ce bassin, il est indispensable de placer une rangée de blocs chicane trapézoïdaux à l'intérieur de celui-ci.

I-1-5-4 Bassin de dissipation VNNIG type IV

Dans ce genre de conception, il est forcément nécessaire de placer une rangée de blocs Chicane triangulaires à l'intérieur du bassin.

Les avantages des bassins VNNIG

- La simplicité dans la conception
- Efficacité

L'inconvénient des bassins VNNIG

- Les structures sont longues.

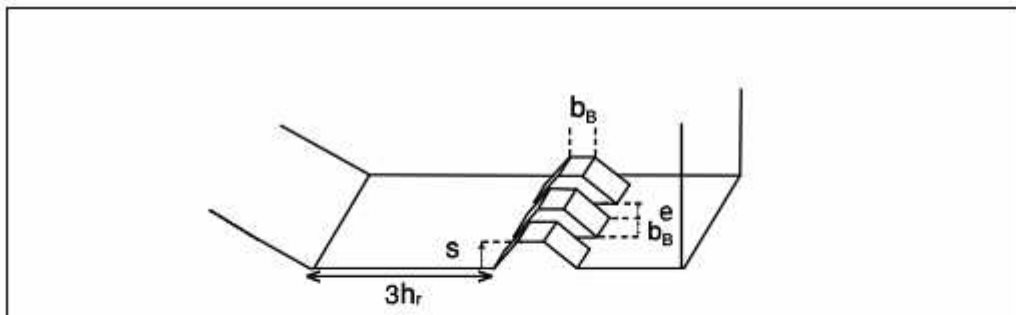


Figure (I.6) Bassin de dissipation VNNIG type III

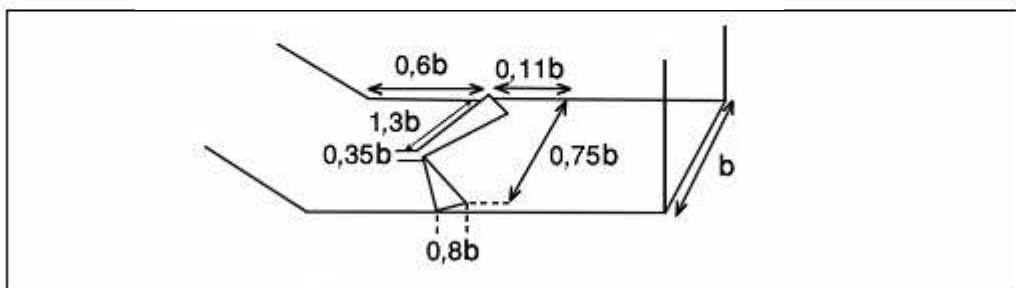


Figure (I.7) Bassin de dissipation VNNIG type IV

Les bassins VNNIG ont vraiment besoin de hauts murs sur les côtés, une action importante de pression dynamique se produit à l'intérieur du bassin de dissipation, en plus il y a un Entraînement d'air fort dans l'écoulement.

Souvent on réalise les bassins de dissipation d'énergie USBR type (I, II et III), SAF, USCE, Bhavani et VNNIG dans le cas des barrages en béton en tenant compte des conditions suivantes : hydraulique, topographique et économique.

I-1-6 Bassin de type impact (Rolley, R., 1974)

Dans ce type de bassin, la dissipation est réalisée par le choc du jet incident sur un écran vertical qui est en général une poutre traversant le bassin, le jet réfléchi vers l'arrière, heurte le jet incident et crée des tourbillons qui absorbent l'énergie cinétique de l'eau.

Ce type d'ouvrage est extrêmement efficace, ils sont plutôt réservés à la dissipation d'énergie de l'écoulement à la sortie d'une conduite en charge, mais ils pourront équiper certains évacuateurs; il peut être utilisé aussi bien au débouché d'une canalisation qu'en bas d'un coursier.

Le bas de l'écran doit être situé au même niveau que le radier du coursier (ou que la génératrice inférieure de la conduite)

Remarque

Étant donné les effets subis sur l'écran il faudra prévoir son armature en conséquence. On limitera l'emploi du bassin de type impact à des vitesses V inférieure à 10 m/s. Une partie de l'énergie de l'eau restant à dissiper à la sortie de l'ouvrage,

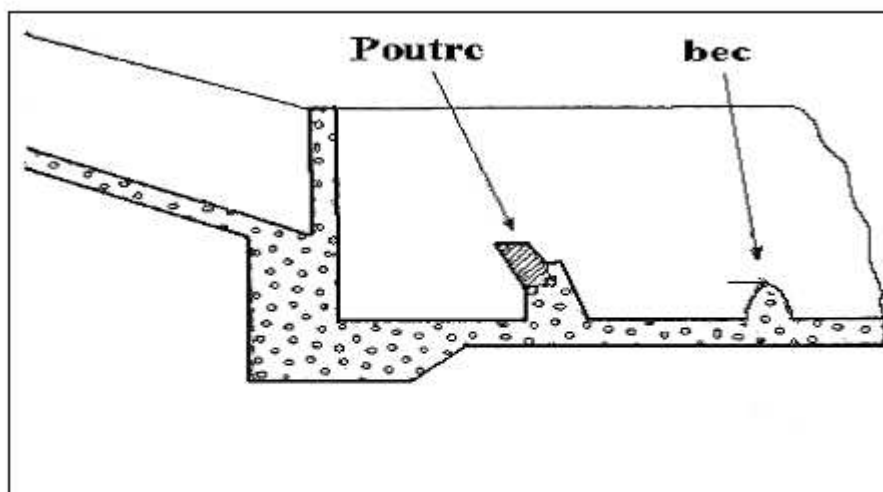


Figure (I.8) Bassin de type impact

I-1-7 Bassin de type plongé (ou bassin de chute) : (Rolley, R., 1974).

Pour les barrages de petites hauteurs, il est souvent économique de ne pas faire un coursier et déverser directement dans un bassin de plongée qui est un excellent dissipateur.

Le principe du bassin de chute est de dissiper l'énergie en la faisant absorber par un matelas d'eau suffisamment épais.

La chute d'une nappe déversante dans un bassin contenant une épaisseur d'eau suffisante est un excellent moyen d'absorber l'énergie.

Sous l'effet de la chute, le fond de la cuvette a tendance à s'affouiller, au lieu de mettre de coûteuses surépaisseurs de béton, il est préférable d'avoir un matelas d'eau de profondeur suffisante pour qu'il n'y ait pas affouillement.

La profondeur de la fosse qui se forme dans le fond d'un bassin de réception naturel sous l'effet d'une nappe d'eau tombant à peu près verticalement dépend :

- de la hauteur de chute.
- du niveau aval.
- de la concentration ou débit

Mais elle ne dépend pas à long terme de la nature du fond au moins pour les forts débits.

Le U.S Bureau de Réclamation a adopté la relation empirique suivante établie par VERONESE en 1937.

$$y_1 = 1,9h_1^{0,225} \cdot q^{0,54} \quad (I.3)$$

y_1 : profondeur limite de la fosse, sous le niveau aval en m

h_1 : hauteur de chute en m

q : débit unitaire, en $m^3/s/m$.

Dans le cas des petites hauteurs, les caractéristiques dimensionnelles de l'ouvrage peuvent être obtenues à partir du schéma de la figure (I.9)

Avec :

L_c : longueur de la cuvette.

a : hauteur du barrage déversoir (hauteur de chute par rapport au fond de la cuvette).

h_{av} : profondeur normal dans le lit aval.

B : profondeur de la cuvette par rapport à la zone protégée du lit aval.

L'_p : longueur aval protégé de pente 6%

H_k : Charge hydraulique au dessus du déversoir

Au déla de L_p , l'enrochement est poursuivi sur quelques mètres et buté par un niveau de palplanches.

Si l'équilibre n'est pas assuré

On aura

$$h_1 = a + H_k - B - 0,06L'_p - h_{av} \quad (I.4)$$

Les bassins de chute sont utilisables pour les barrages voûte

Remarque :

Ce type de bassin est bien adapté à de petits ouvrages utilisés par exemple dans le cas de déversoir en béton armé à contreforts de faible hauteur.

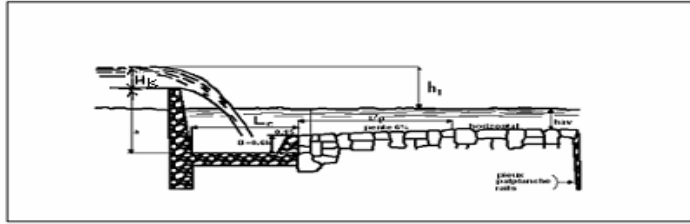


Figure (I.9) Bassin de type plongé

I-1-8 Bassins de dissipation d'énergie modifiée à ressaut forcé (Hager, W.H., 1989)

Dans un bassin de dissipation d'énergie prismatique et horizontal, si le ressaut hydraulique n'apparaît pas, la seule manière de contrôler l'écoulement à haute vitesse, de dissiper l'énergie mécanique, d'obtenir par des moyens appropriés un écoulement à vitesse convenable dans le lit de la rivière, est l'utilisation des bassins modifiés à ressaut forcé.

Ces bassins doivent imposer la formation d'un ressaut hydraulique en un endroit bien défini connu sous le nom de ressaut forcé. Ce dernier est caractérisé par une efficacité maximale et une longueur minimale sans provoquer d'effets indésirables dans le lit non protégé de la rivière.

On obtient un ressaut forcé dans un bassin de dissipation en mettant des dispositifs dans ce dernier tel que, seuil transversal ou blocs dissipateurs ou en réalisant des marches positives ou négatives cas des canaux ou en faisant un élargissement latéral du bassin de dissipation d'énergie

On obtient un bassin amortisseur raccourci, en faisant augmenter sa rugosité à cet effet, on place des blocs chicanes dissipateurs dans le bassin de dissipation mais si ces blocs chicanes sont placés trop à l'amont du bassin, elles risquent d'être inefficaces.

Si $F_1 > 5$ les blocs seuls ne sont plus capables de provoquer un ressaut hydraulique.

L'utilisation des blocs chicanes se limite à des faibles valeurs de nombres de Froude ($F_1 < 5$)

Si $F_1 > 5$ l'utilisation des seuils transversaux est plus favorable du point de vue de la compacité et de l'efficacité.

L'augmentation de l'efficacité du ressaut hydraulique (par rapport à la dissipation d'énergie mécanique de l'écoulement dans le cas d'un ressaut hydraulique normal) est souvent atteinte par seuils transversaux à l'intérieur du bassin amortisseur ou par l'élargissement latéral du bassin.

L'amélioration de la stabilité du ressaut hydraulique se fait normalement par des seuils terminaux situés à l'extrémité aval du bassin amortisseur.

Le volume minimale du dissipateur est obtenu en posant des blocs chicanes dissipateurs ou des seuils transversaux à l'intérieur du bassin de dissipation d'énergie.

Le tableau ci-dessous énumère quelques résultats généraux sur des dissipateurs d'énergie (Hager, W.H., 1989)

Tableau (I.1) Résultats généraux sur des dissipateurs d'énergie

Type dissipateur	Hauteur de la charge à l'entrée du dissipateur	Avantages	Inconvénients
A ressaut	$H < 10, 10 < H < 30$	-Formation d'un ressaut Hydraulique naturel -Simplicité dans la conception -La sécurité au fonctionnement	-Longue structure -Affouillement -Erosion
Avec des accessoires D'amortissement	$10 < H < 30$	- Absencedepulvérisation -compacité de la structure -Stabilité du ressaut	Dommages dus à la cavitation
Avec jets	$30 < H < 50$	-Pas de risque au pied du barrage	-Pulvérisation

I-2 Différents types de dissipateurs d'énergie

-Auge, saut de ski et déflecteur

-Introduction

Quand les conditions à l'aval du coursier notamment la stabilité du lit, le permettent, d'autres types d'ouvrages de longueur réduite sont envisageables, une disposition souvent utilisée, <<le dissipateur à auge>>, l'extension longitudinale de ce dissipateur est de l'ordre de la hauteur d'eau aval et donc extrêmement courte. Le dissipateur proprement dit est formé par une contre pente au pied du coursier, créant ainsi une auge dans laquelle se produit un rouleau à condition de disposer d'un niveau aval adéquat un deuxième type de dissipateur d'énergie, le saut de ski, présente une géométrie analogue à celle du dissipateur à auge, en ce qui concerne l'ouvrage. Mais le fonctionnement hydraulique est différent ; en dirigeant le jet d'eau à haute vitesse dans l'air. Une partie importante de l'énergie cinétique peut être dissipée par la formation de brume. Finalement, les déflecteurs seront examinés, ils sont caractérisés par un canal amont presque horizontal et une partie courbe à contre-pente qui guide le jet dans l'air.

I-2 -1 Dissipateur à auge (cuvette de dissipation submergée)(Hager, W.H., 1989)

La figure (I.10) représente un dissipateur à auge situé à l'aval d'un évacuateur de crue. Si la hauteur d'eau aval h_{av} , mesurée à partir de la cuvette de l'auge est supérieure à h_r , selon la formule de Bélanger, le dissipateur à auge est noyé, la longueur d'un tel dissipateur considérablement plus faible que celle du ressaut hydraulique sur fond horizontal.

Le dissipateur à auge peut être intégré dans l'ouvrage d'évacuation de crue. Il y a le dissipateur à auge sans et avec dents.

Selon (Bradley, J.N et Peterka, A.J., 1957) la deuxième variante est plus favorable en ce qui concerne les aspects essentiels d'un dissipateur ; soit le dissipateur à auge avec dents, et soit R le rayon de courbure de l'auge dans le sens longitudinal ; la largeur d'une dent est $R/8$ et l'espace libre entre les dents est $R/20$ pour qu'il n'existe pas de sous pression inadmissible

Autour des dents (danger d'érosion de cavitation). Le point le plus bas de l'aube se trouve à $R/20$ au dessus du radier du canal aval. La partie de longueur $R/2$ à l'aval des dents sert à faire jaillir les jets et est nécessaire pour uniformiser l'écoulement à la sortie de la structure. La pente finale de l'aube devrait être de 16° .

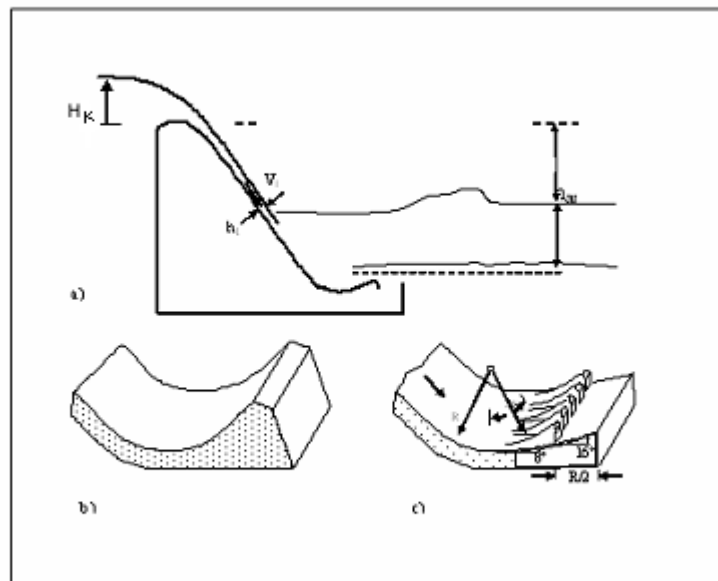
Le dissipateur à aube peut être réalisé juste à l'aval d'un barrage déversoir en béton.

I-2 -1-1 Description de l'écoulement

Les types d'écoulement autour d'un dissipateur à aube avec seuil denté sont représentés dans la figure (I.11) lorsque la hauteur d'eau t mesurée à partir du fond de la cuvette est faible. L'écoulement est soulevé par l'aube (fig. (I.11 a)).

Il en résulte un jet partiellement libéré du fond qui en retombant crée un affouillement considérable du lit meuble. Ce type d'écoulement peut être comparé à l'écoulement torrentiel à l'aval de dispositifs tel que marches, seuils ou blocs dissipateurs, la hauteur d'eau aval minimal h_{avmin} pour que l'écoulement soit contrôlé par l'aube (fig. (I.11b)) le jet disparaît et deux rouleaux se forment, le premier se situe au dessus et le deuxième au dessous de la zone d'écoulement principale.

Les deux rouleaux à contre sens sont à l'origine d'une forte dissipation d'énergie



**Figure (I.10) Dissipateur à aube
(cuvette de dissipation submergée)**

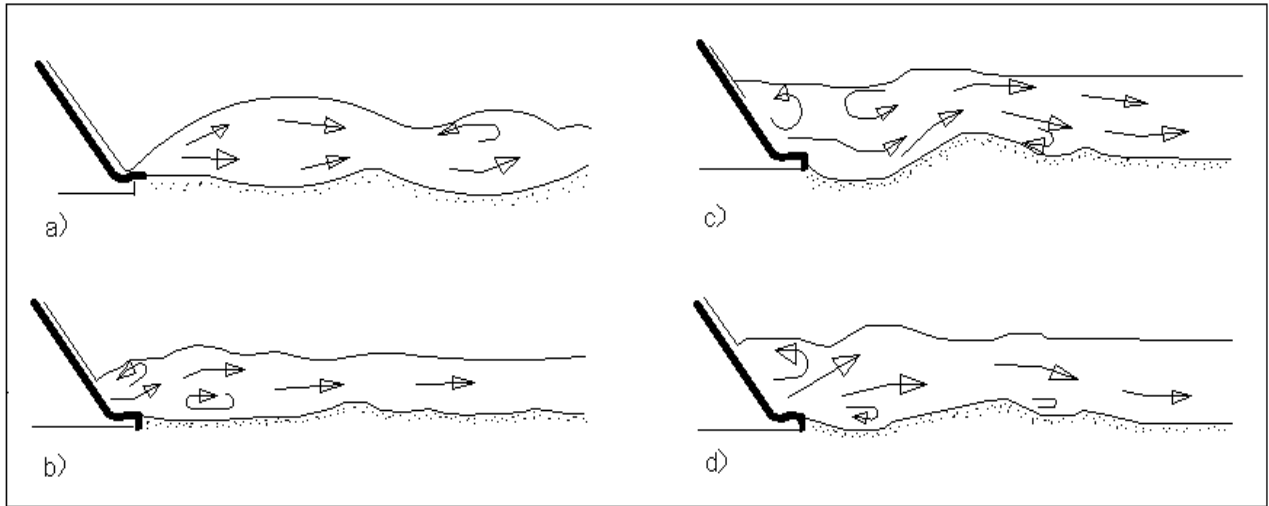


Figure (I.11) Conditions d'écoulement types autour d'un dissipateur à auge avec seuil denté .

I-2 -2 Les Becs déviateurs ou « sauts de ski » (Rolley, R ., 1974)

C'est un procédé intéressant pour les *barrages en béton*, le principe consiste à installer en bas du déversoir un bec relançant l'eau vers le haut suivant un angle θ de l'ordre de 35° à 45° .

Le jet se désintègre et retombe dans la cuvette à une distance :

$$x = 2c' \left[y + \left(\frac{V'^2}{2g} \right) \right] \sin 2\theta \quad (I.5)$$

Avec:

$c' = 0.9$

y : tirant d'eau,

V' : vitesse au départ du bec

Le rayon de courbure du bec doit être au moins 5 fois le tirant d'eau y (voir figure (I.12))

Ainsi la zone d'érosion est bien localisée. Pour lui éviter un affouillement trop profond si le sol est fragile, on peut la revêtir avec de gros blocs rocheux.

Ce type de dissipateur est souvent plus économique qu'un bassin à ressaut pour les déversoirs de hauteur importante. Il sera bien adapté si le barrage est fondé sur du rocher car la zone de réception de l'eau sera peu affouillable.

On le préconisera ainsi en particulier sur les ouvrages en béton ou en maçonnerie de plus de cinq mètres de hauteur.

Les effets essentiels d'un saut de ski sont d'éloigner de l'ouvrage un jet d'eau guidé par une auge recourbée vers le haut et de dissiper une partie importante de l'énergie du jet dans l'air. Le saut de ski se situe soit au pied d'un barrage, soit à une hauteur intermédiaire entre le niveau de la rivière et le couronnement.

Le canal amont de l'auge est un coursier à pente considérable, à cause des vitesses d'approche élevées de l'ordre de $V=20$ à 40 m/s le jet sortant de l'auge entraîne un volume d'air important.

Selon la trajectoire parcourue, un jet d'eau avec une faible concentration d'air rejoint le fond (petites distances) ou des gouttes d'eau retombent à terre (longues distances) c'est dans ce deuxième cas que la dissipation d'énergie par formation de gouttes est déjà plus ou moins accomplie dans l'air, donc une protection moyenne du fond à l'endroit de chute est suffisante.

Si par contre le jet reste encore compact, il est nécessaire de bien protéger le fond contre l'érosion pour des cas particuliers en présence de roche solide, l'érosion local peut être acceptée.

Il dirige le jet d'eau à haute vitesse dans l'air ainsi une partie importante de l'énergie cinétique de l'eau est dissipé par diffusion du jet dans l'air et le reste dans la zone d'impact.

Le saut de ski dirige le jet en un endroit d'impact déterminé et il est nécessaire de bien examiner toutes les conséquences de cet impact du point de vue de l'endommagement de la rivière et son lit, il faut aussi tenir compte des effets éventuels sur les ouvrages annexes situés près d'un site de barrage à cause de la présence de brume dans l'air.

Donc il est recommandé de vérifier les caractéristiques d'écoulement par des essais sur modèle réduit.

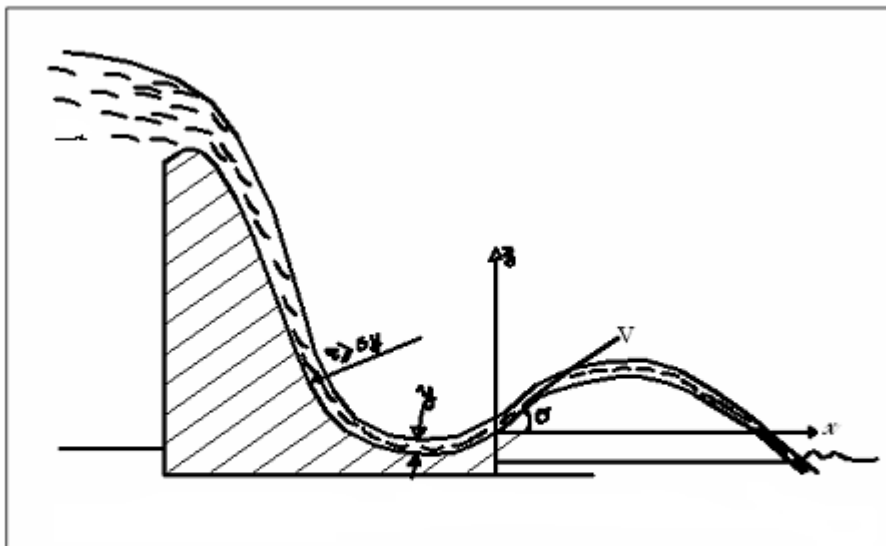


Figure (I.12) Bec déviateur

I-2 -3 Auge de déflexion (les déflecteurs) (Hager, W.H., 1989)

I-2 -3-1 Description

Les deux parties essentielles d'un déversoir déversant l'eau dans une galerie sont la crête du déversoir à l'amont et le tunnel à l'aval.

Il y a lieu par contre que l'écoulement dans la conduite soit toujours dénoyé (possibilité d'écoulement avec des sous-pressions dangereuse) par conséquent les vitesses dans la galerie sont élevées et l'écoulement est sensible à la formation d'ondes de chocs dues à des changements locaux de la géométrie de la galerie.

A cause des vitesses élevées à la sortie de telles conduites et du manque de place, une autre variante consiste à projeter de l'eau dans l'air par une auge de déflexion; la dissipation d'énergie ne se fait pas dans l'auge, mais elle est réalisée, partiellement dans l'air et partiellement à la zone d'impact.

L'auge de déflexion est caractérisé par un canal amont presque horizontal et une partie courbe à contre pente qui guide le jet dans l'air.

I-2 -3-2 Dimensionnement

Le profil de la conduite amont de l'auge de déflexion est normalement circulaire, par contre l'auge de déflexion elle même devrait avoir un profil presque rectangulaire.

Un auge de déflexion idéal soit satisfaire les exigences suivantes :

- Drainage simple du tunnel
- Forme simple de l'auge
- Pas de nécessité pour une transition de profils
- Une surface d'impact du jet qui résulte d'une modélisation approprié de l'auge de déflexion.

L'auge de déflexion doit être située plus haut que le niveau maximal de plan d'eau aval.

L'axe de l'auge de déflexion est un prolongement du canal amont. la direction longitudinale de l'ouvrage est telle que l'écoulement est guidé vers le centre du cours d'eau aval.

Chapitre II

Choix et Conception d'un bassin de dissipation classique et les méthodes de dimensionnement de ce bassin

II-1 Choix et conception d'un bassin de dissipation d'énergie classique

-Introduction

La sécurité des barrages en exploitation dépend de la fiabilité de ces derniers ainsi qu'à la sécurité à l'évacuation des débits de crues et de la dissipation d'énergie créée par ces mêmes ouvrages.

La conception et le dimensionnement de l'ouvrage de dissipation d'énergie sont très importants pour le fonctionnement optimum de ce dernier, tel est le thème essentiel de ce travail.

II-1-1 Définition et description d'un bassin de dissipation d'énergie classique

Un bassin de dissipation d'énergie classique est un bassin où le régime torrentiel de l'écoulement se transforme en régime fluvial par l'existence d'un ressaut hydraulique naturel et stable qui permet de dissiper une partie importante de l'énergie potentielle provoquée par le barrage et réduire la vitesse de l'écoulement à une valeur compatible avec la stabilité du lit de la rivière.

II-1-2 Présentation du bassin de dissipation d'énergie classique (cas des barrages en matériaux locaux)

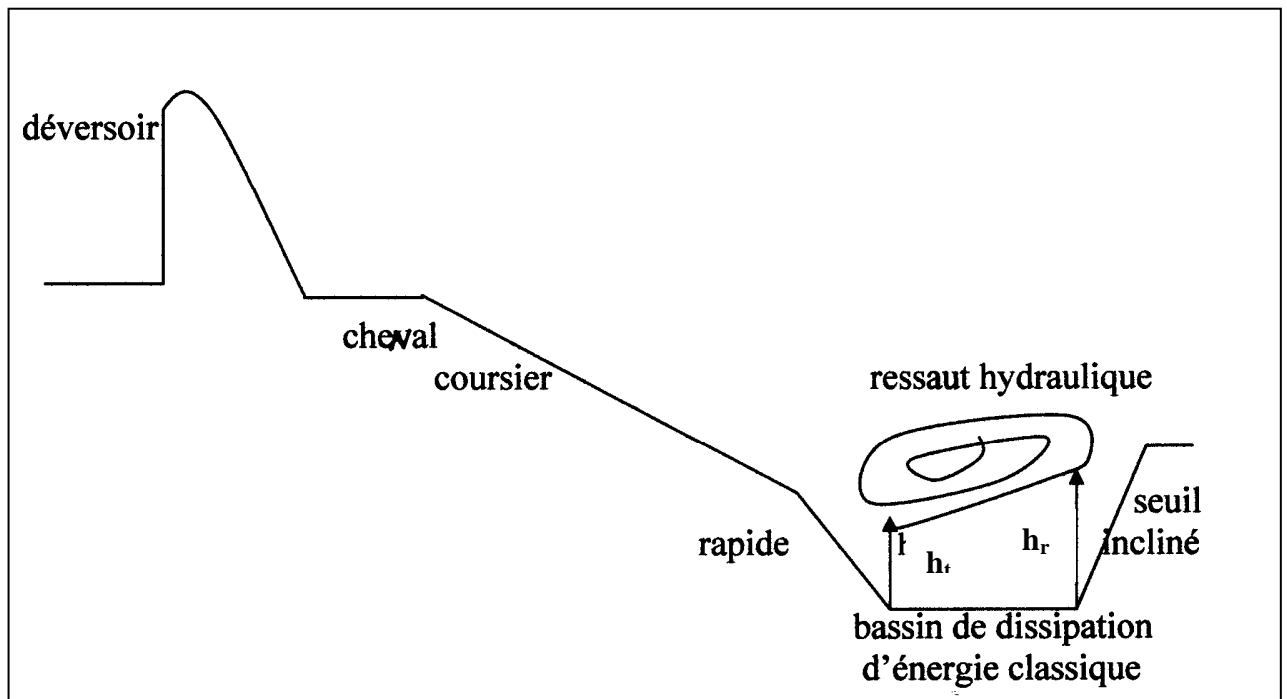


Figure (II.1) Bassin de dissipation classique (cas des barrages en matériaux locaux)

Dans le cas d'un barrage en matériaux locaux, le bassin de dissipation d'énergie classique est précédé d'un coursier et d'un rapide afin d'éviter le phénomène d'érosion et d'affouillement au pieds aval du barrage et d'orienter l'écoulement vers le lit de l'oued.

II-1-3 Présentation du bassin de dissipation classique dans le cas de la vidange de fond

On peut réaliser à la sortie d'une conduite de vidange de fond un bassin de dissipation d'énergie classique pour dissiper l'énergie de l'écoulement libéré par cette conduite.

II-1-4 Choix et Conception d'un bassin de dissipation d'énergie classique

On conçoit le bassin de dissipation d'énergie classique juste à l'aval d'un barrage déversoir ou un barrage d'accumulation en béton.

La conception d'un bassin de dissipation d'énergie classique exige :

- En général un déversoir à profil pratique type Greager
- Un radier plus au moins horizontal où se produit le ressaut hydraulique
- Un seuil terminal dont la hauteur est telle qu'un écoulement critique se forme au dessus de ce dernier.
- Un revêtement spéciale, adéquat pour lutter contre tout phénomène capable d'endommager le bassin de dissipation
- Le choix et la conception d'un bassin de dissipation classique dépendent des conditions hydraulique, hydrologique, topographique, géologique, d'exploitation et le côté technico-économique.

II-1-4 -1 Condition hydraulique

La formation d'un ressaut hydraulique naturel et stationnaire ($F_1 > 4,5$) est nécessaire dans un bassin de dissipation d'énergie classique. Ce ressaut doit dissiper une partie importante de l'énergie potentielle de l'écoulement provoqué par le barrage avec le passage de la crue extrême sur le déversoir. Il doit aussi réduire la vitesse de l'écoulement à une valeur très proche de celle de la rivière.

II-1-4 -2 Condition topographique

L'apparition d'un ressaut hydraulique stationnaire dans un bassin de dissipation d'énergie classique exige des dimensions suffisantes à l'aval d'un barrage déversoir, barrage d'accumulation en béton ou à l'aval d'un coursier afin qu'il puisse dissiper l'énergie potentielle de l'écoulement proposé par le projeteur.

S'il y a des contraintes topographique et pour assurer la condition de préservation de l'équilibre de l'environnement, on peut jouer sur la profondeur du bassin de dissipation donc sur les dimensions du ressaut hydraulique.

II-1-4 -3 Condition géologique

La réalisation d'un bassin de dissipation d'énergie classique demande une étude des propriétés des sols et des roches ainsi qu'un traitement de la fondation. Cette étude est spécialement suivie par la conception d'un réseau de drainage au dessous de cet ouvrage.

II-1-4 -4 Condition technico-économique

Une étude technico-économique est nécessaire pour la réalisation d'un bassin de dissipation d'énergie classique fiable et efficace.

Dans un bassin de dissipation classique le ressaut doit s'étendre sur une moindre longueur et fournir une hauteur finale avale la plus petite possible et bien dissiper l'énergie imposée ou choisi de telle sorte à ce que le bassin de dissipation d'énergie soit technico-économique.

II-1-5 directives et consignes d'exploitation

En général la vitesse de l'écoulement à l'entrée d'un bassin de dissipation classique doit être inférieur à la vitesse maximale érosive qui est fonction des caractéristiques du matériau.

D'une manière générale, dans le bassin de dissipation classique la 1^{er} profondeur conjugée h_t du ressaut hydraulique varie entre 0,1 et 1m et la 2^{eme} profondeur conjugée h_r du ressaut hydraulique varie entre 0,5 et 10 m et on peut prendre une longueur extrême du ressaut égale à $7(h_r - h_t)$.

Dans ce type de bassin de dissipation, le ressaut hydraulique se forme dans les limites de l'ouvrage ce qui implique la longueur du ressaut serait égale à la longueur du bassin de dissipation classique.

II-1-6 Importance et utilité d'un bassin de dissipation classique

Lorsque des crues entrent dans des retenues pleines, le surplus d'eau doit être évacué et restitué directement à l'aval dans la rivière

Le bassin de dissipation d'énergie classique joue un rôle très important pour la sécurité du barrage, la protection de l'environnement contre les inondations à l'origine des phénomènes d'érosion et d'affouillement à l'aval du barrage. Il permet de dissiper l'énergie potentielle créée par le barrage avec le passage de la crue extrême sur le déversoir, et de régulariser de manière naturelle et avec une grande sécurité le déversement ou l'élévation du plan d'eau sur la crête du déversoir, il permet aussi de réduire la vitesse de l'écoulement à l'aval d'un barrage.

La dissipation de l'énergie de l'écoulement se fait par tourbillonnement à l'intérieur du ressaut hydraulique, et l'effet de ce phénomène est de diffuser toutes les caractéristiques de l'écoulement tel que : quantité de mouvement, énergie, le cisaillement visqueux et produit une conversion de l'énergie mécanique en chaleur.

II-1-7 Avantages d'un bassin de dissipation d'énergie classique

Le bassin de dissipation classique a les avantages suivants :

- La formation d'un ressaut hydraulique naturel, stationnaire dans le bassin de dissipation permet de dissiper partiellement ou totalement l'énergie potentielle créée par le barrage.
- La simplicité dans la conception.
- La sécurité de fonctionnement.
- La réalisation d'un bassin de dissipation classique peut ne pas nécessiter une étude sur modèle réduit hydraulique.

II-1-8 Inconvénients d'un bassin de dissipation d'énergie classique

- La 2^{eme} profondeur conjugée du ressaut hydraulique ainsi que la longueur nécessaire à sa formation peuvent être considérables ce qui implique une longueur importante de l'ouvrage.
- Une instabilité du ressaut hydraulique dans le bassin de dissipation classique pour des faibles variations du débit.
- Une protection adéquate du fond du bassin de dissipation contre les forces d'affouillement et l'érosion dus à une grande vitesse de l'écoulement à l'entrée du bassin de dissipation, ce qui nécessite un coût important de l'ouvrage dus à un choix de matériaux spéciales qui pourraient supporter les forces tractrices importantes .

II-1-9 Règles de conception minimales recommandées par ICOLD (1987) (Hager, W.H., 1991)

La conception d'un bassin de dissipation d'énergie à ressaut hydraulique doit obéir aux règles suivantes :

- L'application d'une forte sous pression sur un bassin de dissipation vide pour analyser les effets de cette dernière.
- L'application d'une forte sous pression égale à la fluctuation de pression sous et à l'ensemble du bassin pour analyser les effets de cette dernière.

Le fond du bassin de dissipation doit être de telle façon que :

- Toutes les contractions des joints doivent être encastrées correctement et enfoncées.
- La dalle du fond du bassin de dissipation doit être assez large et doit être interconnectée aux joints.
- Les drains verticales doivent être placés au moins 1 à 2m de la surface mouillées.
- Les bassins de dissipation d'énergie classique doivent être conçu avec un revêtement adéquat et de bonne qualité.
- Le processus de destruction par les sous pression ou les forces dynamiques doit être contrôlé.
- Un écoulement aéré dans le bassin de dissipation permet de réduire la longueur de ce dernier ainsi que l'érosion à l'aval du bassin de dissipation.
- Les dalles du bassin de dissipation sont particulièrement exposées au danger de résonance et de vibration de fréquence inférieure à 10Hz, dans ce cas les dalles doivent être renforcé par des barres armées et aussi des joints sont recommandés.
- Les dommages de cavitation peuvent être évités par une aération suffisante de l'écoulement.
- La position du bassin de dissipation au dessous du niveau d'eau aval va soumettre les dalles du radier à des fortes sous pressions et à un phénomène de tourbillonnement intense, les variations du niveau d'eau local et les variation de pressions qu'en découlent ajoutent une composante dynamique aux forces résultantes dans ce cas les sous pressions et les forces dynamiques doivent être contrôlées.
- Même si un système de drainage efficace est prévu sous la dalle du bassin de dissipation, la transmission des variations de pressions à travers des joints ouverts résultant des waters stop défectueux ou des fissures dans les dalles du bassin peuvent endommager les zones du bassin de dissipation dans ce cas un contrôle périodique doit être fait.
- Comme les bassins de dissipation sont hautement vulnérables leur réparation est urgente.
- La vidange d'un bassin de dissipation est nécessaire pour la réalisation des travaux de réparation.

Conclusion

Le bassin de dissipation classique doit être fiable et conçu de telles sortes à répondre à toutes les contraintes posées par le terrain à savoir la contrainte topographique et l'impact positif du barrage sur l'environnement, aussi qu'au côté technico-économique qui est régie par la formation d'un ressaut hydraulique capable de dissiper totalement ou partiellement l'énergie Potentielle proposée par le concepteur, tout en optant pour une variante plus économique.

II-2 Détermination des débits de dimensionnement des évacuateurs de crue

II-2 -1 Définition du laminage de crue

Les crues entrant dans la retenue peuvent être laminées de façon appréciable par stockage dans la tranche disponible entre la cote du déversoir et celle des plus hautes eaux.

Le débit qui passe dans l'évacuateur de crue (Q_e) est inférieure à celui de la pointe de la crue à l'entrée de la retenue (Q_c).

L'effet de laminage de crue dépend de la forme de l'hydrogramme de crue entrant dans la retenue, de la capacité d'évacuation du déversoir de crue et de la forme de la partie supérieure de la retenue.

L'étude du laminage consiste soit à déterminer la cote maximale atteinte par le plan d'eau pendant la crue, la hauteur maximale du plan d'eau au dessus du déversoir et le débit maximum déversé à travers l'évacuateur de crue et les dimensions du déversoir de crue (Longueur déversante).

En général, pour des raisons hydraulique, on adopte une hauteur du plan d'eau au dessus du radier de l'évacuateur de crue comprise entre 0,6 et 1,5m.

L'étude doit être effectuée pour des crues de forme et de durées diverses afin de déterminer la cote maximale du plan d'eau et le débit maximum correspondant de l'évacuateur de crue dans les conditions les plus défavorable du laminage.

Cette étude peut se faire par calcul sur ordinateur, ce dernier permet d'utiliser un grand nombre d'hydrogramme et d'obtenir des résultats assez précis si on dispose de bonnes données hydrologiques.

II-2 -2 L'effet de la retenue sur l'hydrogramme de crue

La surface de la retenue est relativement importante, l'arrivée de la crue fait monter le plan d'eau depuis le N.N.R, au maximum jusqu'au N.P.H.E et le débit déversé à l'instant t est différent du débit de la crue au même instant on dit alors que la retenue lamine la crue. Le laminage sera d'autant plus important que la retenue sera étendue.

Pendant l'arrivée de la crue de débit Q_c , si l'évacuateur permet l'écoulement d'un débit $Q_e < Q_c$, la différence $Q_c - Q_e$ sert à élever le niveau du plan d'eau, la baisse de ce plan s'effectue au fur et à mesure qu'il y a de crue.

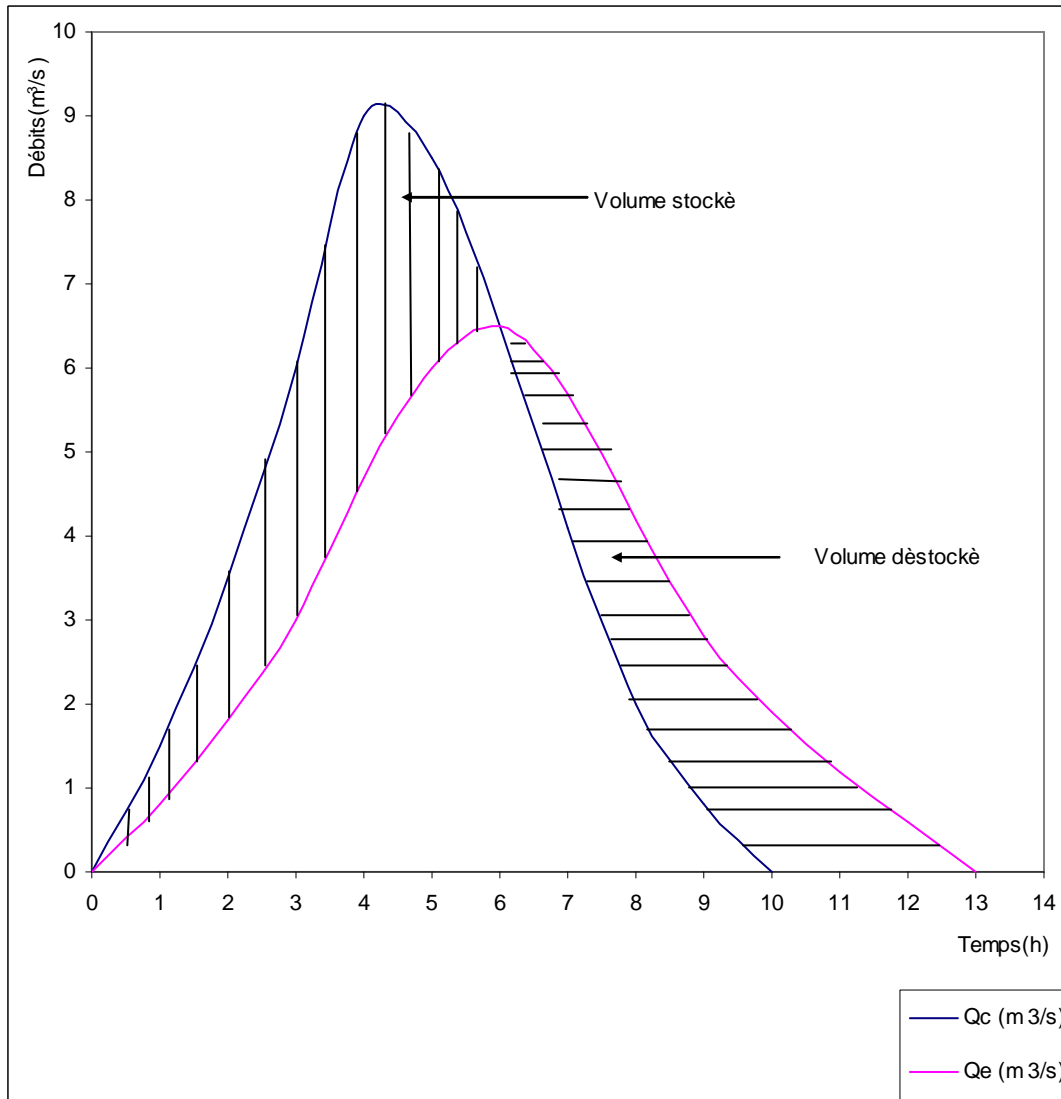
Un déversoir de capacité plus faible que le débit de pointe de crue peut suffire à protéger le barrage de la surverse.

Le phénomène se déroule de la façon suivante:

- Dans un premier temps, l'augmentation de l'épaisseur d'eau au dessus du seuil du déversoir provoque un stockage temporaire qui correspond au volume hachuré sous le pic:
- Dans un deuxième temps, ce volume supplémentaire d'eau retenue est déstocké progressivement (Zone hachurée à droite) graphe (II.1). Le débit de pointe ($Q_{e \max}$) sur l'évacuateur et donc inférieur au débit de pointe de la crue $Q_{c \max}$ prendre en compte l'effet de laminage revient à déterminer $Q_{e \max}$ à partir de $Q_{c \max}$.

A chaque pas de temps, on a l'égalité suivante:

Volume stocké = volume entrant - volume sortant.



Graphe (II.1) Visualisation de l'effet de laminage

Q_c : Hydrogramme de crue à l'entrée de la retenue

Q_e : Hydrogramme de crue sortant de l'évacuateur

Soit, si S' désigne la surface du plan d'eau, Q_c le débit de la crue entrant et Q_e le débit évacué par le déversoir :

$$S'(z)Dz = Q_c(t)Dt - Q_e(z)Dt \quad (\text{II .1})$$

Lorsque $Dt \rightarrow 0$ on a $S'(z)dz = Q_c(t)dt - Q_e(z)dt \quad (\text{II .2})$

$$dz/dt = (Q_c(t) - Q_e(z)) / S'(z) \quad (\text{II .3})$$

$$dz/dt = (Q_c(t) - Q_e[z(t)]) / S'[z(t)] \quad (\text{II .4})$$

$$dz/dt = f[t, z(t)] \quad (\text{II .5})$$

Cette équation différentielle est l'équation du laminage, la résoudre permet de déterminer $Q_{e \max}$ en fonction de $Q_{c \max}$. Mais elle ne peut s'intégrer analytiquement et un certain nombre de méthodes sont utilisées pour en approcher la solution.

- L'épure de Black More, à laquelle on peut avoir recours, surtout si l'on est dépourvue de Matériel informatique (Rolley, R., 1974)

- La méthode E.I.E.R–C.I.E.H ou méthode du coefficient x_0 (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., (1999))

- L'utilisation de logiciels dont le principe est de discrétiser la fonction f. (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., (1999))

- Technique des barrages en aménagement rural propose également une méthode graphique par abaques (Rolley, R., 1974)

II-2 -3 Présentation des méthodes de laminage de crues

- Introduction

C'est les conditions topographiques du terrain qui nous permet de fixer approximativement la largeur et le type de déversoir à retenir comme évacuateur de crues de surface pour un évacuateur frontal ou latéral ayant une section rectangulaire, il suffit de déterminer "b", la largeur du déversoir.

Les débits de crues fréquentiels pris en considération pour étudier le dimensionnement d'un évacuateur de crue sont : Q_{1000} , Q_{5000} , Q_{10000} . Ces débits fréquentiels sont des directives du C.I.G.B.

Le calcul du débit maximum déversé, la hauteur maximale d'eau déversé se fait en utilisant les méthodes suivantes :

II-2-3-1 Méthode de E.I.E.R-C.I.E.H ou Méthode de coefficient " x_0 " (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., 1999)

- Introduction

Cette méthode permet de déterminer la largeur du déversoir par itérations successives ainsi que le débit maximum de crue sortant de l'évacuateur.

Données nécessaires

$$\text{Formule :} \quad x_0 = m^2 g b^2 Q_{c \max} t_m^3 / S^3 \quad (\text{II.6})$$

$$\text{Graphe :} \quad \beta(\%) = (\text{Log}_{10} x_0) \quad (\text{II.7})$$

$$\text{Formule :} \quad Q_{e \max} = m b h_{\max} (2 g h_{\max})^{1/2} \quad (\text{II.8})$$

Avec

m : Coefficient de débit dépendant du type de déversoir

b : Largeur du déversoir (m)

g : Accélération de la pesanteur (m /s²)

S' : Surface du plan d'eau (m²)

t_m : Temps de montée des eaux (s)

$Q_{c \max}$: Débit de pointe de la crue (m³/s)

$Q_{e\max}$: Débit maximum de crue évacué (m^3/s)

h_{\max} : Hauteur d'eau maximale sur le déversoir (m)

Le paramètre adimensionnel x_0 a un rôle pour déterminer l'effet d'un laminage sur les crues schématisées par des hydrogrammes triangulaire et trapézoïdaux.

L'effet de laminage peut être évalué sous la forme d'un coefficient β tel que :

$$\beta = (Q_{e\max} / Q_{c\max}) \quad (\text{II.9})$$

La résolution du système suivant :

$$\beta = (Q_{e\max} / Q_{c\max})$$

$$Q_{e\max} = mbh_{\max} (2gh_{\max})^{1/2} \quad (\text{II.10})$$

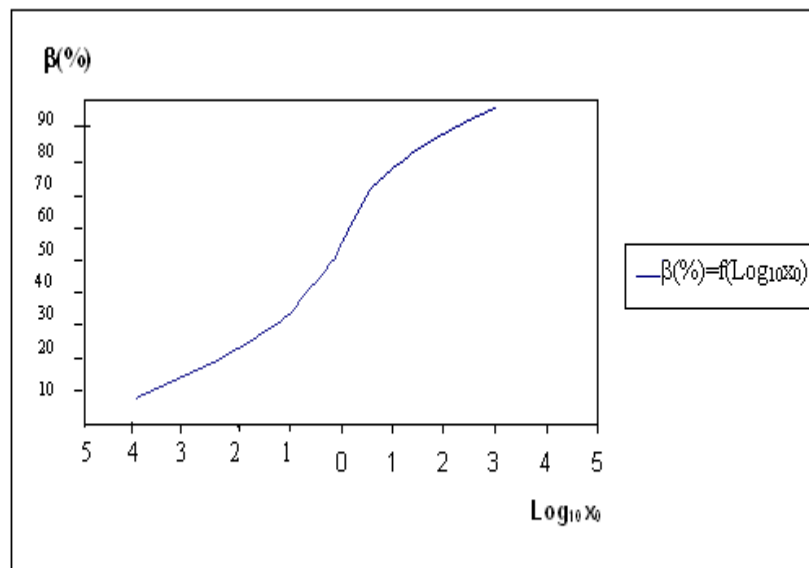
$$\text{AVEC} \quad h_{\max} = (N.P.H.E - N.N.R) \quad (\text{II.11})$$

Permet de trouver $Q_{e\max}$ et b. Il s'agit d'un système de deux équations à trois inconnues (β , b, $Q_{e\max}$) que l'on résoudra par itérations successives.

1^{er} Hypothèse

Ainsi, pour calculer la 1^{er} largeur du déversoir, on procéderait de la manière suivante :

On calcule b sans tenir compte de l'effet de laminage ($Q_{e\max} = Q_{c\max}$)



Graphe (II.2) $\beta(\%) = (\text{Log}_{10}x_0)$

Conclusion

L'utilisation du graphe $\beta(\%) = (\text{Log}_{10}x_0)$ et de la formule du paramètre adimensionnel x_0

Permettent à cette méthode de trouver la largeur b du déversoir ainsi que le débit maximum de crue évacué, après un calcul par itérations successives. Avec ce débit on dimensionnerait le bassin de dissipation.

II-2-3-2 Méthode d'utilisation de logiciels (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., 1999)

Introduction

On peut déterminer et visualiser l'effet de laminage grâce à un logiciel tel que : CERES ; développé par le CEMAGREF, son principe est de résoudre l'équation différentielle du laminage après discrétisation par la méthode de Runge – Kutta.

$$(dz/dt) = f(t, z(t)) \quad (\text{II.12})$$

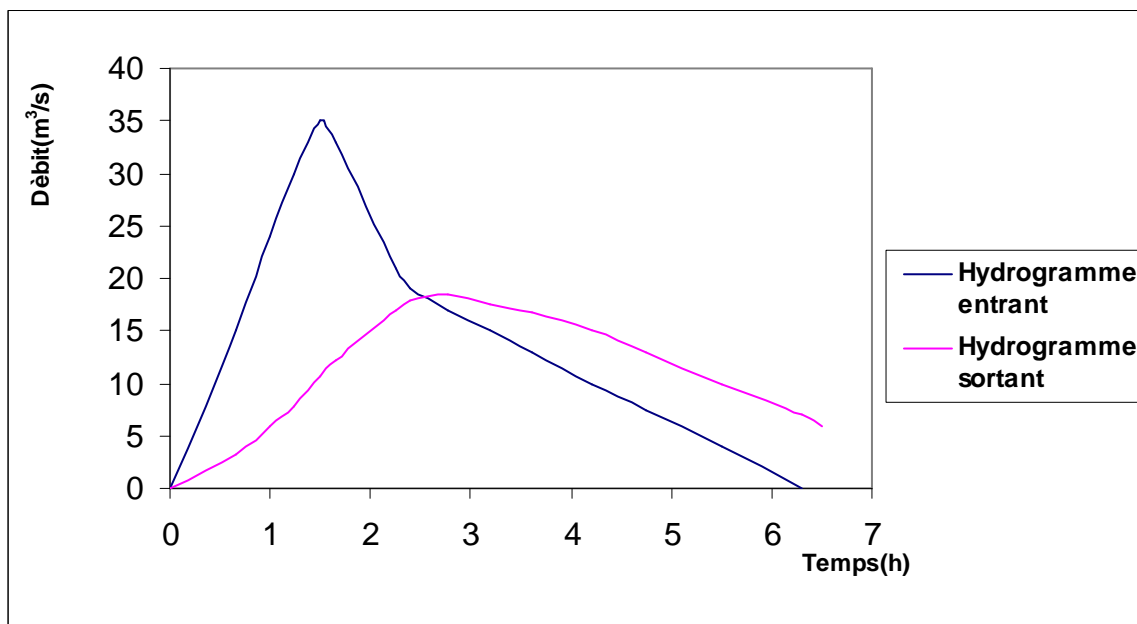
Données nécessaires

- Caractéristiques de l'évacuateur de crue
- Courbe hauteur –volume (ou hauteur surface) de la retenue
- Hydrogramme de crue (débit de pointe, temps de base, temps de montée, etc.).

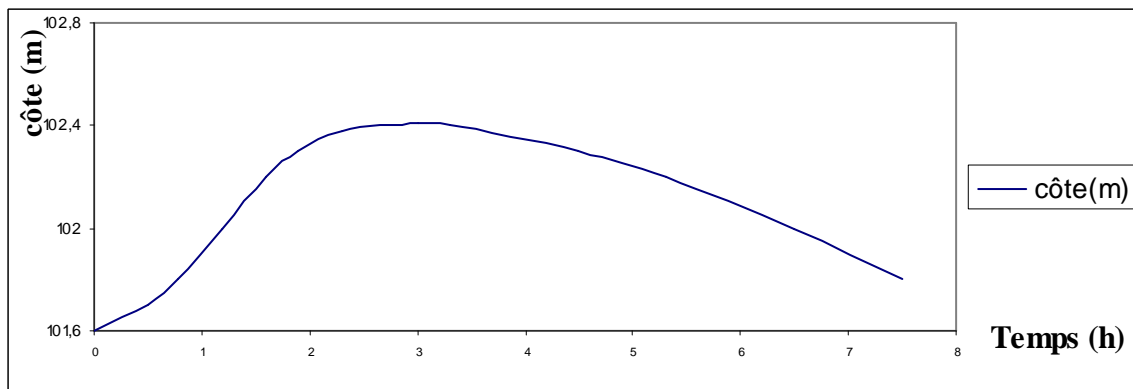
Le programme permet de tracer

- Hydrogramme de crue à l'entrée de la retenue
- Hydrogramme de crue sortant de l'évacuateur
- Courbe de l'évolution de la charge sur le déversoir en fonction du temps.

Ainsi, on pourrait lire directement sur les graphes (graphe (II.3) et graphe (II.4)) le débit maximum de crue évacué et la charge maximale sur le déversoir.



Grappe (II.3) Débit =f(temps)



Grappe (II.4) Evolution de la charge sur le déversoir en fonction du temps

II-2-3-3 Méthode de Black More (Rolley, R., 1974)

Epure de Black More

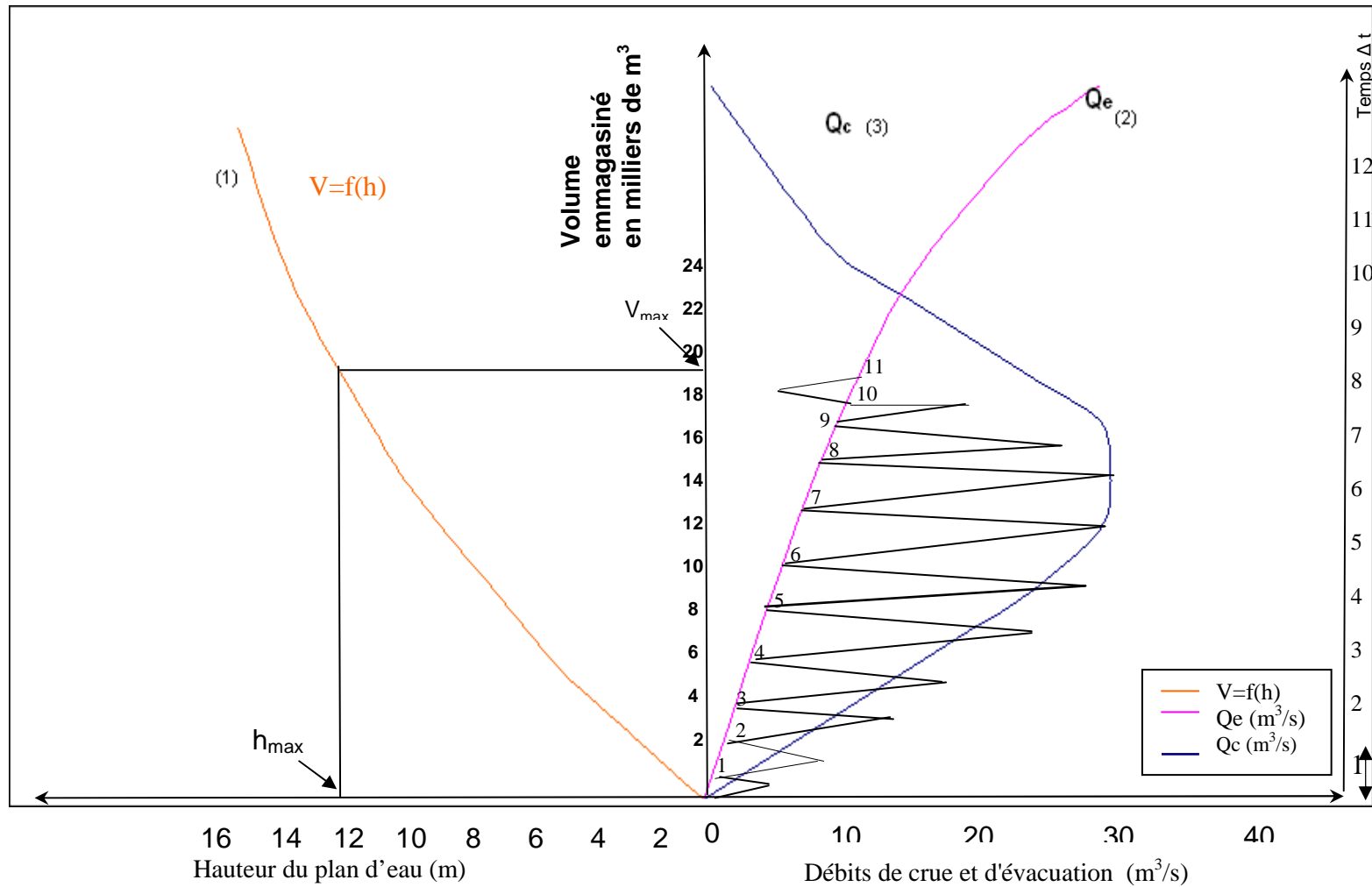
Introduction

On peut également effectuer l'étude de laminage de crue par la méthode graphique de Black More. Cette méthode permet de déterminer le volume d'eau maximum stocké dans la retenue pendant la crue, la hauteur maximale du plan d'eau correspondante et le débit maximum évacué pendant la crue.

Données nécessaires

- Courbe hauteur –volume de la retenue
- Hydrogramme de crue de la retenue
- Hydrogramme de crue de l'évacuateur

La construction graphique donne un maximum (point 11) dont l'ordonnée correspond au volume maximum stocké dans la retenue pendant la crue. La hauteur maximale du plan d'eau correspondante se détermine après lecture sur la courbe (1). le débit maximum de l'évacuateur pendant la crue se détermine aussi en fonction de l'abscisse du point 11 de la courbe (2). Avec ce débit on dimensionnerait le bassin de dissipation.



Graphe (II.5) Représentation graphique de la méthode de Black More

II-2-3-4 Méthode de (Greager, M., 1957)

Introduction

Lorsqu'une crue arrive dans la retenue d'un barrage, la méthode en question permet de déterminer le débit maximum déversé à travers un déversoir à profil pratique type Greager ainsi que la lame d'eau maximale déversée à travers ce dernier, c'est l'une des rares méthodes grapho-analytique où on peut se permettre de faire l'interprétation physique à chaque étape de calcul.

Données nécessaires

- Courbe hauteur – volume de la retenue
- Hydrogramme de crue de l'évacuateur pour un pas de temps d'une heure
- Formule :

$$Q = mb(2g)^{1/2} h^{3/2} \quad (\text{II.13})$$

On représenterait sur le graphe (II.6).

- Le segment de la courbe hauteur – volume de la retenue à partir du niveau normal de la retenue.

- On représenterait de part et d'autre la courbe $(V + \Delta V / 2) = f(h)$ et $(V - \Delta V / 2) = f(h)$

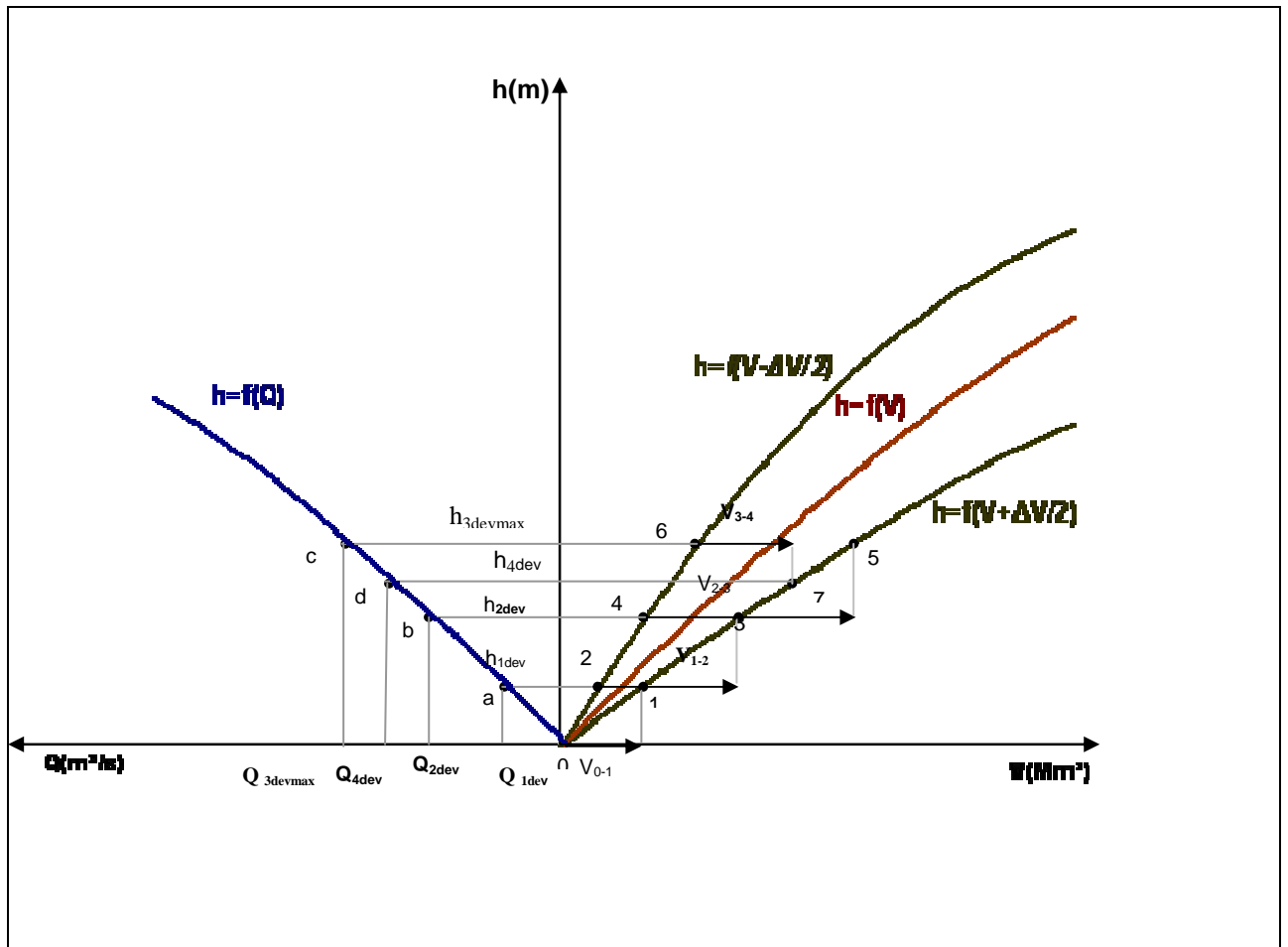
Pour des hauteurs d'eau déversées allant de 1 à 5m.

- Sur la partie gauche du graphe est représenté la courbe du débit passant par le déversoir en fonction de la hauteur d'eau au dessus de ce dernier en donnant des valeurs arbitraires à h.

En se fixant des valeurs arbitraires de la largeur b du déversoir, on détermine les hauteurs d'eau déversées h en discrétisant l'hydrogramme de crue et en utilisant le concept de la régularisation en utilisant et appliquant le graphe (II.6) mentionné ci-dessous.

En faisant une étude technico-économique sur l'ensemble des couples des valeurs déterminées (b,h), reposant sur le concept que quand b augmente h diminue c'est-à-dire quand b augmente les dimensions donc le prix de l'évacuateur de crue augmente et quand h diminue la hauteur du barrage donc le prix du barrage diminue et vis versa .

Comme le prix de revient des différents matériaux utilisés différent, le calcul technico-économique détermine les dimensions optimales de b et h .



Graphe (II.6) Représentation graphique de la méthode de Greager

Conclusion

Cette méthode permet de déterminer les dimensions optimales b et h du déversoir et détermine avec une grande précision le débit optimale déversé laminé ainsi que l'évolution du stockage partiel de l'eau lors de l'expansion et l'arrivée de la crue au niveau de la retenue .

II-3 Méthodes de dimensionnement d'un bassin de dissipation d'énergie classique

Introduction

Le problème de dimensionnement des bassins de dissipation d'énergie classique réside dans la détermination des paramètres dimensionnels des bassins en question ainsi qu'à la fiabilité des méthodes de dimensionnement de ces bassins.

L'étude bibliographique nous a permis de trouver différentes méthodes de dimensionnement du bassin de dissipation classique, parmi ces méthodes nous présentons les méthodes suivantes :

II-3-1 Méthode proposée par

(Alychev, V & Kréménetski, N. & Shtérenliht, D. & Yakovlev, A.L., (1984))

II-3-1-1 Présentation de la méthode

-Introduction

La méthode permet de déterminer la 1^{er} profondeur conjuguée du ressaut hydraulique à l'aide de l'application du théorème de Bernoulli à l'amont et à l'aval du barrage déversoir figure (II.2). On déterminera ensuite les autres paramètres nécessaires pour dimensionner le bassin de dissipation d'énergie classique.

-Hypothèse de calcul

- Hauteur P du barrage déversoir par rapport au plan de référence qui passe par le fond du bassin de dissipation
- Charge hydraulique H_k sur le déversoir
- Débit maximum déversé (Q_{\max} déversé)
- Largeur b du déversoir (partie déversante)

-Développement de la méthode

A l'aide de ces données on peut calculer E_0 l'énergie spécifique du courant dans le bief amont du barrage déversoir par rapport au plan de référence horizontal 1-1 qui passe par le fond du bassin de dissipation

Soit

$$E_0 = H_k + P \quad (\text{II .14})$$

Avec

$$H_k = 1,5k \quad \text{et} \quad k = (q^2 / g)^{1/3} \quad (\text{II .15})$$

La 1^{ère} profondeur conjuguée du ressaut h_t (profondeur contractée h_{ct}) peut être déterminée à l'aide de l'équation de Bernoulli établie pour les sections 0-0 et c-c à la surface libre par rapport au plan de référence horizontal 1-1 en négligeant les pertes de charge sur le déversoir à profil pratique type Greager figure (II.2).

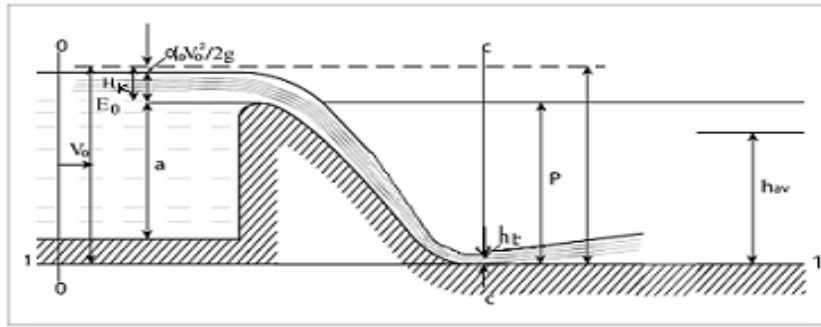


Figure (II.2) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique

On déduit la formule suivante :

$$h_t = q / \left[\varphi (2g(E_0 - h_t))^{1/2} \right] \quad (\text{II} .16)$$

Où φ : le coefficient de vitesse

La profondeur h_t peut être trouvée soit par injection de valeur aléatoire dans l'équation (II .16) Pour trouver la valeur finale par itération successive, soit par résolution de l'équation cubique ci-dessus relatif à h_t .

Ensuite on peut déterminer la 2^{ème} profondeur conjuguée h_r à l'aide de la formule suivante :

Cas d'un bassin de dissipation rectangulaire

$$h_r = (h_t/2) \left(\left(1 + 8(k/h_t)^3 \right)^{1/2} - 1 \right) \quad (\text{II} .17)$$

Calcul des pertes de charges

On peut calculer la perte de charge dans le ressaut à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta H = (h_r - h_t)^3 / 4h_r h_t \quad (\text{II} .18)$$

Calcul de la longueur du ressaut

Le calcul des longueurs des ressauts hydraulique se fait par application des différentes formules empiriques obtenues par expérience aux laboratoires:

a) formule empirique de N.pavlovski (Naoumenko, I., (1974))

$$L = 2,5(1,9h_r - h_t) \quad (\text{II} .19)$$

b) formule empirique de M.Tchertousov (Naoumenko, I., (1974))

$$L = 10,3h_t \left(\sqrt{F_1} - 1 \right)^{0,81} \quad (\text{II .20})$$

c) formule semi empirique de S.kouznetsov (Naoumenko, I., (1974))

$$L = 16,7(k - h_t) \quad (\text{II .21})$$

Dans le cas d'un bassin de dissipation d'énergie classique profond ou avec un seuil terminal incliné ou une paroi d'amortissement, quand $h_r \leq h_{av}$ le ressaut se forme dans les limites du bassin de dissipation, ce qui implique la longueur du ressaut hydraulique serait égale à la longueur du bassin de dissipation d'énergie .

II-3-1-2 calcul hydraulique du bassin d'amortissement

-Introduction

Dans le cas d'un ressaut éloigné (la 2^{ème} profondeur conjuguée du ressaut supérieure à la profondeur d'eau aval), $h_r > h_{av}$, l'écoulement torrentiel continue son mouvement sur une longueur appelé longueur d'éloignement, sur cette longueur la vitesse de l'écoulement peut atteindre de grandes valeurs dans ce cas il faut consolider ce tronçon afin d'éviter les affouillements, mais cette solution n'est pas toujours justifiée du point de vue économique. dans ce cas on utilise un bassin d'amortissement approfondie ou une paroi d'amortissement ou bien un bassin combiné pour que le ressaut se forme dans les limites du bassin et l'énergie se dissipe au sein du ressaut.

Le calcul hydraulique d'un bassin d'amortissement se ramène à la détermination de ses paramètres (profondeur et longueur).

a) Calcul de la profondeur du bassin.

-Hypothèse de calcul

- Débit q maximum déversé par unité de largeur
- Profondeur d'eau h_{av} au bief aval
- Profondeur conjuguée aval h_r du ressaut

Sur le schéma de la figure (II.3) du point de vue géométrique, la profondeur de l'eau dans le bassin h_{bas} est constituée de trois grandeurs :

$$h_{bas} = P_{bas} + h_{av} + DZ \quad (\text{II .22})$$

Où

DZ : Différence de niveaux à la sortie du bassin

P_{bas} : Profondeur du bassin

La grandeur DZ peut être définie comme :

$$DZ = \frac{q^2}{2g\varphi^2 h_{av}^2} \quad (\text{II .23})$$

La profondeur de l'eau dans le bassin h_{bas} est un peu supérieure à la deuxième profondeur conjuguée h_r déterminée à l'aide des formules pour le cas d'un ressaut parfait.

Soit :
$$h_{bas} = \sigma h_r \tag{II .24}$$

Où σ est le coefficient de réserve.

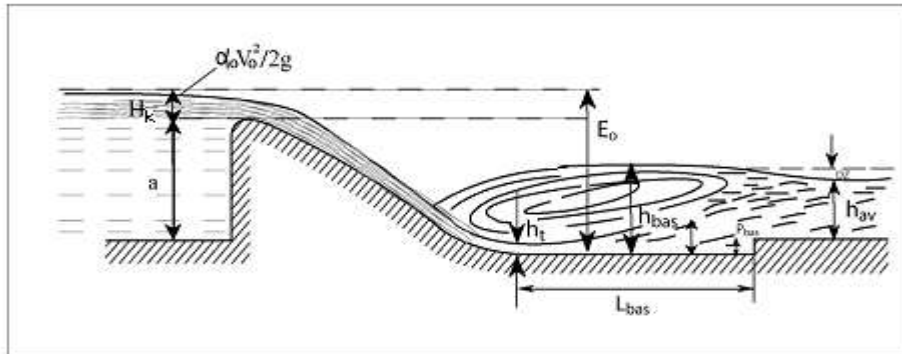


Figure (II.3) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique profond

En général on a $\sigma = 1,05$ si on prend en considération DZ et $\sigma=1$ quand on néglige DZ. En remplaçant h_{bas} par σh_r dans l'équation (II.22) on obtient la formule pour déterminer la profondeur du bassin.

$$P_{bas} = \sigma h_r - (h_{av} + DZ) \tag{II .25}$$

La profondeur P_{bas} du bassin est déterminée à l'aide de la formule (II .25)

La longueur du bassin d'amortissement L_{bas} est déterminée à l'aide de la formule suivante

$$L_{bas} = L_{ch} + L \tag{II .26}$$

L : longueur du ressaut

L_{ch} : la distance d'envol de la Nappe en chute, elle est déterminée à l'aide des formules spéciales en fonction du type de déversoir pour un déversoir courbe sans vide à profil pratique $L_{ch} = 0$ donc $L_{bas} = L$ figure(II.3)

b) calcul hydraulique d'une paroi d'amortissement

Hypothèse de calcul

- Débit q maximum déversé par unité de largeur
- Profondeur conjuguée aval du ressaut h_r
- Vitesse V_2 de l'écoulement dans la section aval du ressaut hydraulique

Le calcul hydraulique d'une paroi d'amortissement nécessite à la détermination de la hauteur de la paroi et la distance l_{par} entre la section contractée et la paroi .Le schéma de calcul de la

Paroi d'amortissement est représenté sur la figure(II.4) . La hauteur de la paroi est déterminée à l'aide de la formule suivante

$$c_0 = \sigma h_r - h_p \quad (\text{II .27})$$

h_p : Hauteur de l'eau au dessus de la paroi.

h_p peut être déterminé à l'aide de la formule (II .28) du déversoir dénoyé

Soit H_d la charge hydraulique au dessus de la paroi.

$$h_p = H_d - \frac{\alpha_0 V_2^2}{2g} \quad (\text{II .28})$$

Où:

$$H_d = \left(\frac{q}{m\sqrt{2g}} \right)^{2/3} \quad (\text{II .29})$$

La distance l_{par} entre la section contractée et la paroi, est déterminée de la même façon que la longueur du bassin d'amortissement approfondie.

Remarque

Le calcul d'une paroi d'amortissement impose obligatoirement à vérifier en aval de la paroi s'il y a un ressaut éloigné, dans ce cas on doit placer en aval de la première paroi une deuxième paroi dont le calcul se fait de la même manière que celui de la première paroi.

Si l'écoulement par-dessus de la paroi est noyé on a :

$$H_d = \left(\frac{q}{\sigma_n m\sqrt{2g}} \right)^{2/3} \quad (\text{II .30})$$

Où σ_n est le coefficient de noyage de la paroi d'amortissement

c) calcul hydraulique du bassin d'amortissement combiné

Si les dimensions trouvées des bassins amortisseurs sont inadmissibles (par exemple, une grande profondeur du bassin) dans ce cas on conçoit un bassin d'amortissement combiné figure (II.5) qui est formé d'un bassin approfondie et d'une paroi d'amortissement.

On doit choisir l'une des grandeurs inconnues P_{bas} ou c_0 , ensuite, le calcul du bassin combiné consiste soit à la détermination de la hauteur de la paroi, soit à la détermination de la profondeur du bassin.

Dans le premier cas, on détermine la hauteur de la paroi :

$$c_0 = \sigma h_r - (P_{\text{bas}} + h_p) \quad (\text{II .31})$$

Dans le deuxième cas, la profondeur du bassin :

$$P_{\text{bas}} = \sigma h_r - (c_0 + h_p) \quad (\text{II .32})$$

Après avoir déterminé la hauteur de la paroi, on doit vérifier le caractère du raccordement en aval d'elle.

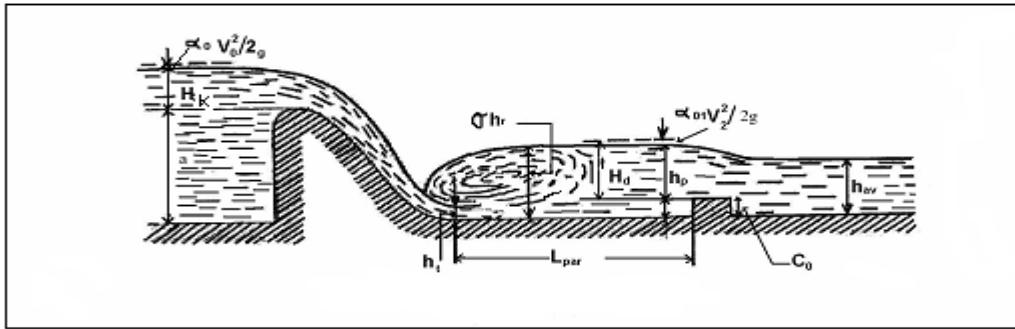


Figure (II.4) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique avec paroi d'amortissement

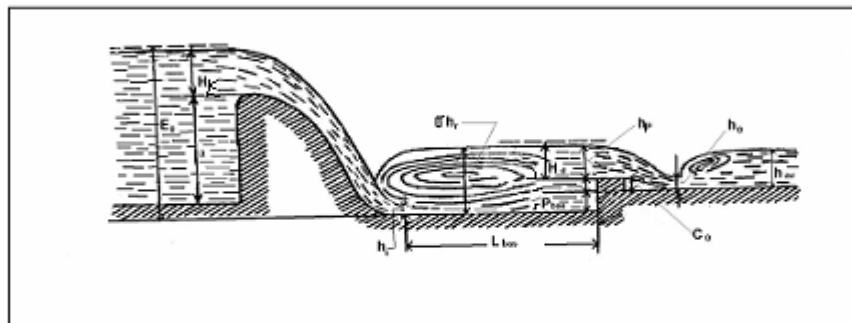


Figure (II.5) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique combiné

d) Détermination de la hauteur « a' » du seuil terminal incliné à l'aval du bassin de dissipation d'énergie classique

Soit H_2 l'énergie spécifique à l'aval du ressaut :

$$H_2 = h_r + (V_2^2 / 2g) \quad (\text{II .33})$$

$$V_2 = q/h_r \quad (\text{II .34})$$

h_r : Profondeur conjuguée aval du ressaut

V_2 : Vitesse à l'aval du ressaut

q : Débit spécifique m^2/s

Cette énergie spécifique H_2 est égal à l'énergie spécifique à l'amont du seuil qui est égale à :

$$H_2 = a' + 1,5k \quad (\text{Figure à la dernière page}) \quad (\text{II .35})$$

Avec k : profondeur critique.

Donc:

$$H_2 = h_r + (V_2^2 / 2g) = a' + 1,5k \quad (\text{II .36})$$

$$a' = H_2 - 1,5k = h_r + q^2 / (2gh_r^2) - 1,5k \quad (\text{II .37})$$

e) Les bajoyers (murs latéraux)

La hauteur des bajoyers dans un bassin de dissipation d'énergie doit être approximativement égale à la 2^{ème} profondeur conjuguée h_r du ressaut hydraulique pour un débit maximum déversé augmenté de la revanche qui est donné par l'expression suivante :

$$R' = 0,1(h_r + V_1) \quad (\text{II .38})$$

Avec: V_1 la vitesse de l'écoulement à la section amont du ressaut hydraulique.

Soit h_b la hauteur des bajoyers

$$h_b = h_r + R' \quad (\text{II .39})$$

Conclusion

L'avantage de cette 1^{ère} méthode permet de trouver la 1^{ère} profondeur conjuguée du ressaut. Les formules empiriques déterminent les autres paramètres nécessaires pour dimensionner le bassin de dissipation classique ces paramètres se résument à la 2^{ème} profondeur conjuguée h_r du ressaut, la perte de charge ΔH dissipée par le ressaut, la longueur du ressaut, la longueur du bassin de dissipation et la profondeur de ce dernier ainsi que la hauteur de la paroi d'amortissement.

Les inconvénients de l'application de cette méthode résident dans les faits qu'elle est trop lente et assez laborieuse, elle nécessite également un calcul par itérations successives.

II-3-2 Méthode d'Agroskine (1984)

(Alychev, V. & Kréménetski, N. & Schtärenliht, D. & Yakovlev, A.L., (1984))

II-3-2-1-Présentation de la méthode

-Introduction

Cette méthode est basée sur un procédé tabulaire et une fonction auxiliaire pour déterminer les paramètres dimensionnels d'un bassin de dissipation d'énergie classique.

-Hypothèse de calcul

- Débit spécifique maximum déversé q
- Energie spécifique E_0 du courant dans le bief amont du barrage déversoir par rapport au plan de référence qui passe par le fond du bassin de dissipation classique (on prend le plan de référence le plan 1-1) figure (II.6).
- Fonction auxiliaire
- Tableau (II.1)

-Développement de la méthode

La profondeur conjuguée amont h_t du ressaut (profondeur contractée " h_{ct} ") ainsi que la profondeur conjuguée aval h_r du ressaut hydraulique peuvent être déterminées, en utilisant une fonction auxiliaire $\Phi(\tau_{ct})$ et le tableau (II .1).

Le calcul se fait dans l'ordre suivant

1^{ère}) On calcul la valeur de la fonction auxiliaire

$$\Phi(\tau_{ct}) = \left(q / \varphi E_0^{3/2} \right) \quad (\text{II .40})$$

2^{ème}) A l'aide du tableau (II .1) on détermine τ_{ct} et τ''_{ct} pour la valeur calculée de $\Phi(\tau_{ct})$ et le coefficient de vitesse φ .

3^{ème}) On calcul les valeurs de la profondeur conjuguée amont h_t et la profondeur conjuguée aval h_r du ressaut à l'aide des formules suivantes:

$$h_t = \tau_{ct} E_0 \quad (\text{II .41})$$

$$h_r = \tau''_{ct} E_0 \quad (\text{II .42})$$

Mais on doit tenir compte du fait qu'à l'établissement du tableau (II .1) la valeur de τ''_{ct} a été déterminée dans le cas du ressaut parfait.

Ayant trouvé la 1^{ère} et la 2^{ème} profondeur conjuguée du ressaut, on peut déterminer la perte de charge ΔH dissipée par le ressaut, la longueur du ressaut, ainsi que les autres paramètres nécessaire pour dimensionner le bassin de dissipation classique à l'aide des formules empiriques citées en 1^{ère} méthode.

Tableau (II.1) Valeurs de la fonction auxiliaire $\Phi(\tau_{ct})$ pour le calcul des profondeurs conjuguées du ressaut hydraulique dans le bief aval des ouvrages de déversement.

$\Phi(\tau_{ct})$	τ_{ct}	τ_{ct}''				
		$\varphi = 0,80$	$\varphi = 0,85$	$\varphi = 0,90$	$\varphi = 0,95$	$\varphi = 1,00$
0,0044	0,001	0,0504	0,0532	0,0504	0,0696	0,0027
0,0089	0,002	0,0705	0,0740	0,0794	0,0839	0,0884
0,0133	0,003	0,0861	0,0910	0,0971	0,1026	0,1081
0,0177	0,004	0,0990	0,1053	0,1116	0,1179	0,1242
0,0221	0,005	0,1104	0,1174	0,1245	0,1315	0,1386
0,0205	0,006	0,1206	0,1283	0,1360	0,1438	0,1535
0,0309	0,007	0,1299	0,1383	0,1466	0,1549	0,1633
0,0353	0,008	0,1386	0,1475	0,1564	0,1653	0,1742
0,0397	0,009	0,1467	0,1541	0,1630	0,1750	0,1844
0,0441	0,010	0,1543	0,1642	0,1742	0,1841	0,1941
0,0550	0,0125	0,1716	0,1827	0,1938	0,2049	0,2160
0,0660	0,0150	0,1871	0,1993	0,2114	0,2236	0,2357
0,0768	0,0175	0,2012	0,2143	0,2274	0,2405	0,2536
0,0877	0,0200	0,2142	0,2282	0,2422	0,2562	0,2702
0,0985	0,0225	0,2263	0,2411	0,2559	0,2707	0,2856
0,1094	0,0250	0,2376	0,2532	0,2688	0,2844	0,3000
0,1201	0,0275	0,2483	0,2645	0,2809	0,2973	0,3136
0,1309	0,0300	0,2584	0,2754	0,2924	0,3095	0,3205
0,1523	0,0350	0,2771	0,2954	0,3138	0,3321	0,3505
0,1736	0,0400	0,2942	0,3137	0,3334	0,3529	0,3724
0,1948	0,045	0,3100	0,3306	0,3513	0,3720	0,3927
0,2159	0,050	0,3246	0,3404	0,3681	0,3899	0,4116
0,2369	0,055	0,3383	0,3610	0,3838	0,4065	0,4293
0,2755	0,060	0,3511	0,3748	0,3985	0,4222	0,4459
0,2784	0,065	0,3633	0,3879	0,4124	0,4370	0,4616
0,2991	0,070	0,3747	0,4002	0,4256	0,4510	0,4765
0,3196	0,075	0,3856	0,4118	0,4381	0,4643	0,4906
0,3399	0,080	0,3959	0,4229	0,4500	0,4770	0,5041
0,3602	0,085	0,4057	0,4335	0,4613	0,4891	0,5169
0,3804	0,090	0,4151	0,4436	0,4721	0,5006	0,5291
0,4004	0,095	0,4240	0,4532	0,4824	0,5116	0,5409
0,4597	0,110	0,4480	0,4708	0,5109	0,5420	0,5732
0,4987	0,120	0,4634	0,4957	0,5280	0,5603	0,5927
0,5752	0,140	0,4896	0,5240	0,5585	0,5930	0,6275
0,6496	0,160	0,5120	0,5484	0,5847	0,6211	0,6576
0,6861	0,170	0,5220	0,5592	0,5955	0,6337	0,6710
0,7575	0,190	0,5398	0,5786	0,6175	0,6504	0,6953
0,8266	0,210	0,5551	0,5954	0,6366	0,6760	0,7164
0,8941	0,230	0,5681	0,6096	0,6512	0,6928	0,7345
0,9269	0,240	0,5735	0,6159	0,6581	0,7003	0,7446
0,9908	0,260	0,5838	0,6270	0,6702	0,7135	0,7569

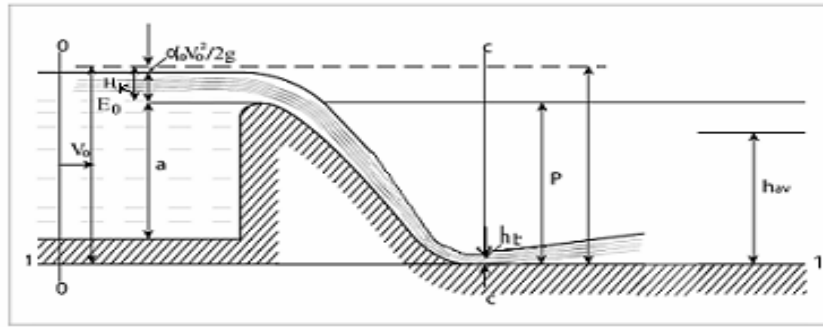


Figure (II.6) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique

Conclusion

L'avantage de cette 2^{ème} méthode permet de trouver les deux profondeurs conjuguée du ressaut hydraulique en utilisant le tableau (II.1) et la fonction auxiliaire puis vient la détermination des autres paramètres dimensionnels du bassin de dissipation classique. L'utilisation de l'extrapolation dans ce tableau rend la méthode lente et laborieuse. Cela constitue un inconvénient principal de ce procédé.

II-3-3 Méthode de (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., (1999))

Introduction

Cette méthode permet de déterminer la profondeur P_{bas} d'un bassin de dissipation d'énergie classique, en déterminera ensuite tout les autres paramètres nécessaires pour dimensionner un bassin de dissipation d'énergie classique.

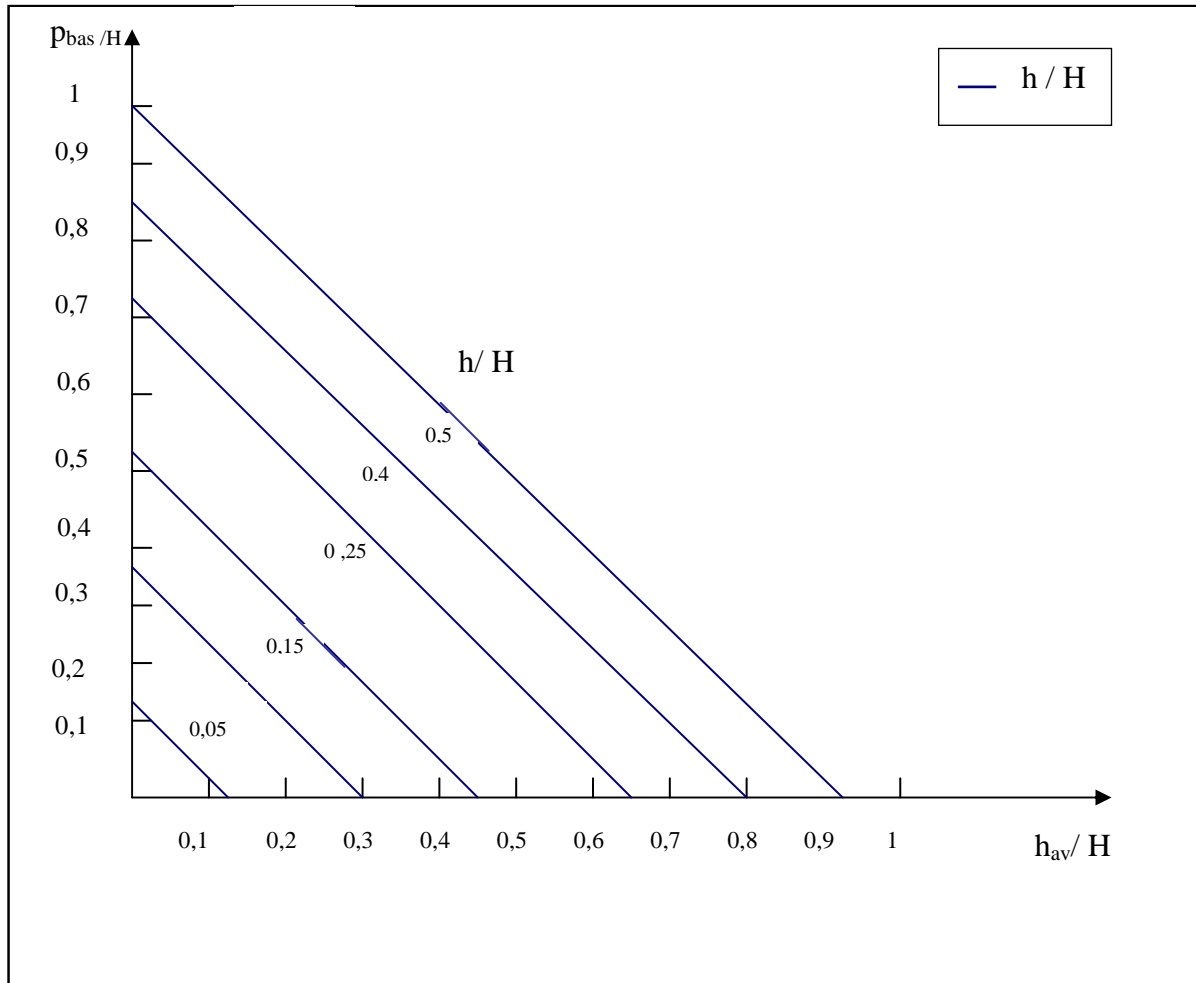
II-3-3-1 Présentation de la méthode

On peut commencer par détermination de la profondeur P_{bas} du bassin de dissipation d'énergie classique en utilisant une abaque: $(P_{bas}/H) = f(h/H, h_{av}/H)$ Abaque (II.1)

Puis en déterminera tout les autres paramètres dimensionnels du bassin de dissipation classique.

Hypothèse de calcul

- Hauteur a du barrage déversoir
- Hauteur h de la lame d'eau maximale déversée à travers le barrage déversoir
- Profondeur d'eau h_{av} à l'aval du bassin de dissipation
- ABAQUE (II.1)



Abaque (II.1) Profondeur du bassin de dissipation en fonction du tirant d'eau aval et de la hauteur de la lame d'eau au dessus du déversoir

Développement de la méthode

On a

$$H = a + h \quad (\text{Figure (II.8)}) \quad (\text{II .43})$$

Mais on peut utiliser cet abaque que si :

$$\begin{aligned} 0,05 < (h/H) < 0,7 \\ 0,1 < (h_{av}/H) < 0,8 \end{aligned} \quad (\text{II .44})$$

Lorsque h_{av} n'est pas donné, on peut la déterminer en Aménageant l'aval du bassin de dissipation à l'aide d'un seuil en gabion de hauteur h_g connu (voir figure (II.7)) dans ce cas la profondeur d'eau à l'aval du bassin de dissipation.

$$h_{av} = h_g + (3k/2) \quad (\text{II .45})$$

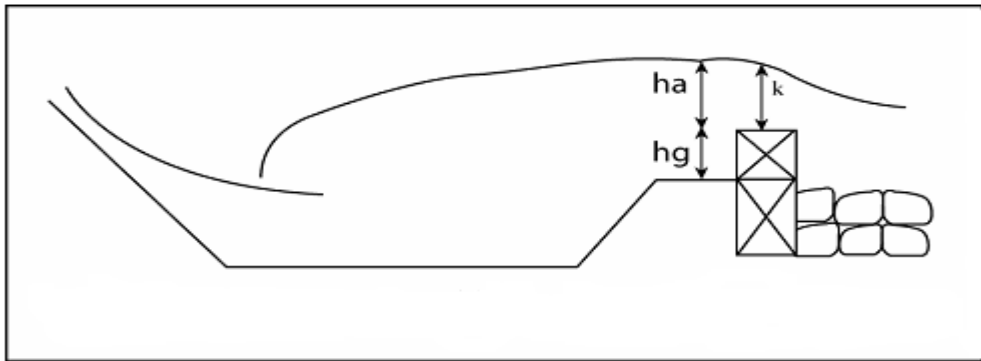


Figure (II.7) Dispositif de contre digue

k :profondeur critique au passage du débit sur le seuil en gabion.La détermination de la profondeur P_{bas} du bassin permet l'application du théorème de Bernoulli à l'amont et à l'aval du barrage déversoir (à la surface libre).Ce théorème est appliqué par rapport au plan de référence qui passe par le fond du bassin de dissipation (figure(II.8)), la 1^{ère} profondeur conjuguée h_t du ressaut est déduite par l'application du théorème précédent .

On déterminera ensuite les autres paramètres tels que : la 2^{ème} profondeur conjuguée h_r du ressaut, la perte de charge dissipée par ce dernier ainsi que la longueur du ressaut et les autres paramètres nécessaires pour dimensionner un bassin de dissipation d'énergie classique par les formules empiriques citées en 1^{er} méthode.

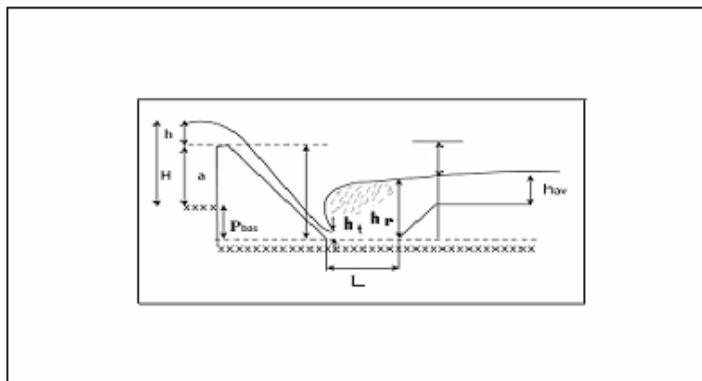


Figure (II.8) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique profond

Conclusion

L'utilisation de cette méthode est avantageuse dans le sens où elle permet de déterminer la profondeur P_{bas} du bassin de dissipation classique, la découverte de P_{bas} permet de trouver les autres grandeurs nécessaires pour dimensionner le bassin de dissipation d'énergie classique.

L'inconvénient de cette méthode réside dans l'utilisation du procédé de calcul et des formules empiriques ceux-la ont pour objectif de déterminer tous les paramètres dimensionnels du bassin de dissipation d'énergie classique.

II-3-4 Méthode de Naoumenko, I., (1974)

-Introduction

Cette méthode est différente de la première, elle consiste à déterminer d'une autre manière, la hauteur de la paroi d'amortissement à l'aval d'un bassin de dissipation d'énergie classique ainsi que la profondeur de ce dernier. Cette méthode s'applique quand le ressaut est éloigné ($h_r > h_{av}$).

-Présentation de la méthode

La méthode en question permet le calcul hydraulique de la paroi d'amortissement et de la chambre d'amortissement (bassin de dissipation classique profond)

II-3-4-1 Calcul hydraulique de la paroi d'amortissement

-Hypothèse de calcul

Débit Q maximum déversé à travers le barrage déversoir
 Largeur b' de la paroi d'amortissement
 Profondeur conjuguée aval h_r du ressaut hydraulique
 Profondeur d'eau h_{av} à l'aval du bassin de dissipation classique

Développement de la méthode

Le schéma de calcul de la paroi d'amortissement est représenté sur la figure (II.9). Cette figure représente le cas où le ressaut hydraulique est en état critique

D'après la figure (II.9), on constate que la hauteur de la paroi d'amortissement est égale à :

$$c_0 = h_r - h_p \quad (\text{II .46})$$

Soit :

h_p Hauteur de l'eau au dessus de la paroi d'amortissement

La valeur de h_p peut être déterminée par la formule suivante :

$$h_p = H_d - \frac{\alpha_0 V_2^2}{2g} \quad (\text{II .47})$$

Où : α_0 = le coefficient de l'énergie cinétique dans la section de profondeur h_r , dans les calculs on peut prendre $\alpha_0 = 1,2$

La vitesse moyenne dans la section de profondeur h_r est :

$$V_2 = \frac{q}{h_r} \quad (\text{II .48})$$

Le débit spécifique est :

$$q = \frac{Q}{b'} \quad (\text{II .49})$$

H_d : Charge hydraulique au dessus de la crête de la paroi d'amortissement est égale

$$\text{à : } H_d = \left(\frac{q}{\sigma_n m \sqrt{2g}} \right)^{2/3} \quad (\text{II .50})$$

Où $m = 0,4 - 0,44 \approx 0,42$ est le coefficient de débit

σ_n : Coefficient de noyage de la paroi d'amortissement est en fonction du rapport h_n/h_p

h_n : Profondeur de noyage est égale à :

$$h_n = h_{av} - c_0 \quad (\text{II .51})$$

Quand $h_n = 0$ on a $\sigma_n = 1$

Au cas où $h_n \geq 1$ la valeur de σ_n peut être déterminé à l'aide d'un tableau (Naoumenko, I.,(1974)) .

Il faut que le ressaut hydraulique soit inondé (noyé) pour que la conjugaison des biefs soit stable. C'est-à-dire la 2^{ème} profondeur conjuguée du ressaut est inférieure à la profondeur d'eau à l'aval du bassin de dissipation classique ($h_r < h_{av}$). Mais la condition du ressaut noyé n'est pas remplie et cela exige une augmentation artificielle de la profondeur d'eau dans la section aval du ressaut. Ceci a pour objectif de diminuer la vitesse de l'écoulement dans cette section ($V_2 = q/h_r$). Donc on a une réduction de l'énergie cinétique ($V_2^2 / (2g)$) par conséquent une augmentation de la dissipation de l'énergie de l'écoulement .

La croissance de la hauteur de la paroi d'amortissement permet d'aboutir au but précédent.

Soit h'_r la nouvelle profondeur conjuguée avale du ressaut figure (II.10).

Alors on peut écrire :

$$D = \frac{h'_r}{h_r} = \frac{c_1 + h_p}{h_r} = \frac{c_1 + (h_r - c_0)}{h_r} \quad (\text{II .52})$$

Nous obtenons :

$$h'_r = Dh_r = c_1 + h_r - c_0 \quad (\text{II .53})$$

D'où :

$$c_1 = c_0 + (D - 1)h_r \quad (\text{II .54})$$

Où $D = 1,05 - 1,1$ est le coefficient de noyage du ressaut hydraulique.

Compte tenu de cette dernière formule et de la formule (II .46) on peut écrire que la nouvelle hauteur de la paroi est :

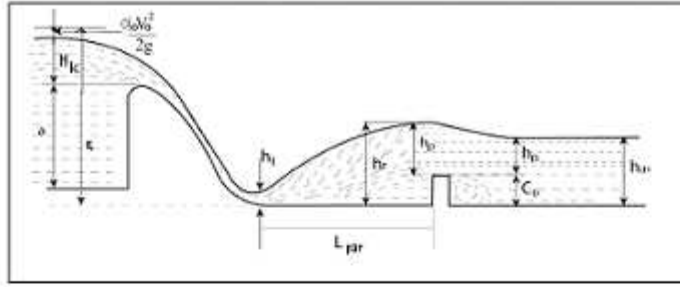
$$c_1 = Dh_r - h_p \quad (\text{II .55})$$

La méthode qui est exposée ci-dessus est valable pour le calcul de la paroi d'amortissement non noyée et noyée du côté du bief aval.

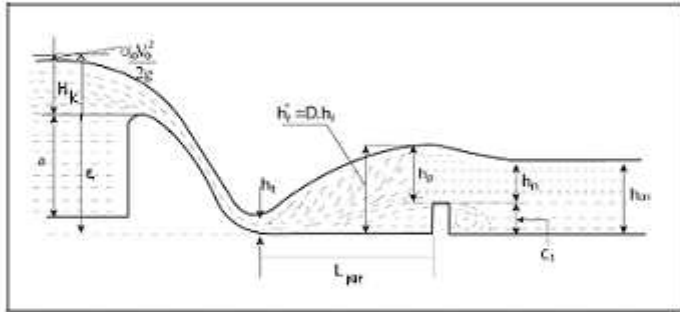
On détermine la hauteur de la paroi par approximations successives si la paroi d'amortissement est noyée $h_n > 0$. Dans ce cas il vaut mieux donner la solution sous forme d'un tableau dont le schéma est montré ci-dessous

Tableau (II.2) détermination de la hauteur de la paroi par approximations successives

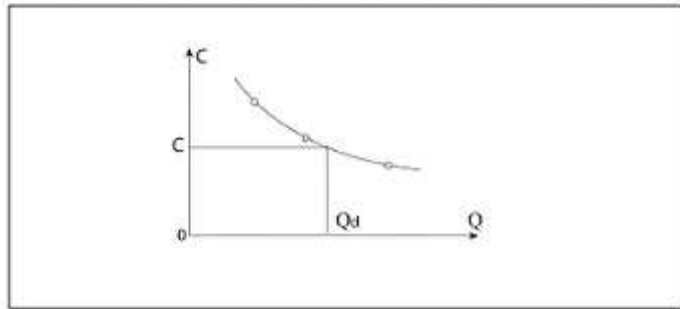
c	$h_p = Dh_r - c$	$h_n = h_{av} - c$	σ_n	Q
c_1				Q ₁
c_2				Q ₂
c_3				Q ₃



Figure(II.9) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique avec paroi d'amortissement C_1 .



Figure(II.4) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique avec paroi d'amortissement C_1 .



Graphe (II.7) $c = f(Q)$

On doit suivre les étapes suivantes pour calculer la hauteur de la paroi

-Les étapes de calcul de la hauteur de la paroi d'amortissement

1- on prend quelques valeurs de la hauteur c de la paroi dans le tableau se sont $c_1 ; c_2 ; c_3$

2- on calcule la hauteur d'eau sur la crête de la paroi :

$$h_p = Dh_r - c \tag{II .56}$$

3- on calcule la charge totale

$$H_d = h_p + \frac{\alpha q^2}{2g(Dh_r)^2} \tag{II .57}$$

4- on détermine la profondeur de noyage de la paroi :

$$h_n = h_{av} - c \tag{II .58}$$

5- à l'aide d'un tableau Naoumenko, I., (1974) on détermine le coefficient de noyage σ_n de la paroi d'amortissement.

6- on calcule le débit passant par la paroi d'amortissement

$$Q = \sigma_n m b' \sqrt{2g} H_d^{3/2} \quad (\text{II .59})$$

7- en utilisant les résultats des calculs on construit le graphique $c = f(Q)$ (Graphe (II .7))

8- ayant le débit pour lequel il faut dimensionner le dissipateur d'énergie ; à l'aide de ce graphique on détermine la hauteur c disponible de la paroi d'amortissement.

La distance entre la section contractée c-c et la paroi d'amortissement peut être prise égale à $3h_r$; c'est-à-dire :

$$L_p = 3h_r \quad (\text{II .60})$$

En conclusion, après avoir calculé la hauteur de la paroi d'amortissement il faut vérifier la possibilité de la formation du ressaut éloigné derrière la paroi d'amortissement. Afin de calculer l'énergie total devant la paroi.c'est-à-dire:

$$E_0 = Dh_r + \frac{\alpha_0 q^2}{2g(Dh_r)^2} \quad (\text{II .61})$$

L'obtention de E_0 permet de déterminer la profondeur contractée derrière la paroi d'amortissement h_t

$$E_0 = h_t + \frac{\alpha_0 q^2}{2g(h_t)^2 \varphi^2} \quad (\text{II .62})$$

Avec φ : coefficient de vitesse

Après avoir trouvé h_t à l'aide de la formule ci-dessus (on peut prendre $\alpha_0 = 1$ et $\varphi = 1$). On calcule h_r par la formule suivante

$$h_r = \frac{h_t}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{k}{h_t} \right)^3} - 1 \right] \quad (\text{II .63})$$

Si $h_r < h_{av}$ le ressaut hydraulique est inondé (noyé)

Dans le cas contraire il faut mettre la seconde paroi d'amortissement dont le calcul est le même que celui de la première paroi. Il y a aussi une autre solution au problème en question. Elle consiste à construire la chambre d'amortissement (bassin de dissipation classique profond) à la place de la paroi d'amortissement

II-3-4-2 Calcul hydraulique de la chambre d'amortissement

-Hypothèse de calcul

Débit maximum déversé Q à travers le barrage déversoir

Largeur b de la partie déversante

Profondeur conjuguée amont h_t du ressaut hydraulique

Profondeur conjuguée aval h_r du ressaut hydraulique

Profondeur d'eau h_{av} à l'aval du bassin de dissipation classique

Développement de la méthode

Le schéma de calcul est représenté sur la figure (II.11) l'équation du ressaut retenu permet d'établir les formules de calcul.

Dans ce cas, écrivons l'équation de la quantité de mouvement dans le volume entre les sections 1-1 et 2-2 . Nous aurons :

$$\alpha_0 \rho Q (V_2 - V_1) = p_1 - p_2 - R_s \quad (\text{II .64})$$

Où R_s : Réaction de la saillie de la chambre d'amortissement.

Pour le ressaut dans un bassin rectangulaire on obtient

$$\frac{\alpha_0 q^2}{g} \left(\frac{1}{h_{av}} - \frac{1}{h_t} \right) = \frac{h_t^2}{2} - \frac{h_{av}^2}{2} - \frac{R_s}{\gamma} \quad (\text{II .65})$$

Avec :

$$k^3 = \frac{\alpha_0 q^2}{g} \quad (\text{II .66})$$

Nous obtenons :

$$\frac{k^3}{h_t} + \frac{h_t^2}{2} = \frac{k^3}{h_{av}} + \frac{h_{av}^2}{2} + \frac{R_s}{\gamma} \quad (\text{II .67})$$

Cette dernière équation représente l'équation du ressaut retenu dans un bassin rectangulaire.

R_s/γ : est la réaction de la saillie de la chambre d'amortissement rapportée à l'unité de largeur de cette dernière.

On peut déterminer la réaction R_s selon la loi hydrostatique si la longueur de la chambre d'amortissement L_p est supérieure à la longueur du ressaut parfait

Dans ce cas on peut obtenir :

$$\frac{R_s}{\gamma} = \frac{(2h_r - d_0)}{2} d_0 \quad (\text{II .68})$$

Où d_0 la profondeur de la chambre d'amortissement correspondant à l'état critique du ressaut retenu dans la chambre d'amortissement.

Introduisant cette dernière équation dans l'équation du ressaut retenu dans un bassin rectangulaire et en résolvant cette dernière par rapport à d_0

Nous obtenons :

$$d_0 = h_r - \sqrt{h_r^2 - A} \quad (\text{II .69})$$

Où le paramètre A est égale à :

$$A = (h_{av} - h_t) \left(\frac{2k^3}{h_t h_{av}} - h_t - h_{av} \right) \quad (\text{II .70})$$

Généralement on construit la chambre d'amortissement avec la longueur inférieure à la longueur du ressaut parfait : $L_p < L_{rp}$

Dans ce cas, comme le montrent les expériences la réaction de la saillie d'amortissement R_s est supérieure à celle qui est déterminée par la formule précédente.

Divisons tous les termes de l'équation du ressaut retenu dans un bassin rectangulaire par h_t^2 avec $F_{r1} = F_1^2$ Nous obtenons donc :

$$F_{r1} + 1/2 = \frac{F_{r1}}{\eta'} + \frac{\eta'^2}{2} + R_1 \quad (\text{II.71})$$

Ou bien

$$R_1 = F_{r1} - \frac{F_{r1}}{\eta'} - \frac{\eta'^2}{2} + 1/2 \quad (\text{II.72})$$

Où:

$$R_1 = \frac{R_s}{\gamma h_t^2} \quad (\text{II.73})$$

Représente la réaction relative de la saillie de la chambre d'amortissement

Et :

$$\eta' = \frac{h_{av}}{h_t} \quad (\text{II.74})$$

Définit la profondeur relative au bief aval

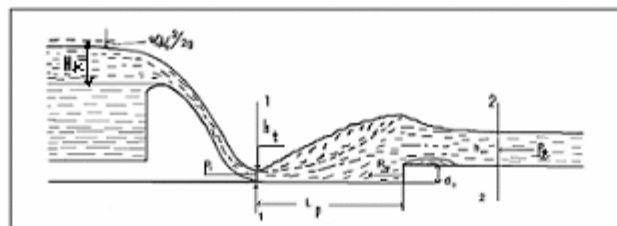


Figure 01.10) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique de profondeur d_s

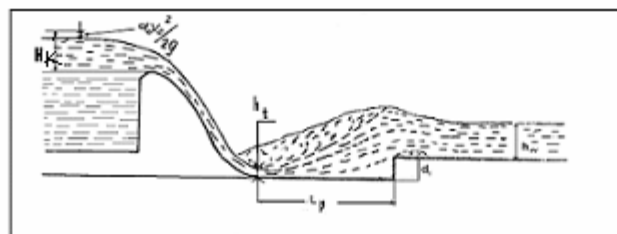


Figure 01.11) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique de profondeur d_s

Le nombre de Froude est :

$$F_1 = \left(\frac{k}{h_t} \right)^3 \quad (\text{II.75})$$

Comme on voit dans la formule la réaction relative est la fonction suivante :

$$R_1 = f(F_{r1}; \eta') \quad (\text{II.76})$$

Boiko, I (Naoumenko, I., 1974) propose le graphique qui est représenté sur l'abaque (II.2) pour déterminer la valeur de R_1 .

En utilisant ce graphique on peut déterminer le régime de la conjugaison sans calculer la seconde profondeur conjugquée du ressaut hydraulique h_r :

- sur le graphique en question la ligne $R_1 = 0$ correspond au cas $h_r = h_{av}$, c'est-à-dire le ressaut hydraulique est en état critique.

- quand le point de coordonnées $(F_{r1}; \eta')$ se trouve en haut de la ligne $R_1 = 0$ le ressaut est inondé.

- au cas où le point $(F_{r1}; \eta')$ se trouve en bas de la ligne $R_1 = 0$ le ressaut est éloigné et il faut construire la chambre d'amortissement ou un autre amortisseur d'énergie.

D'après les recherches expérimentales de Bioko I la profondeur d_0 de la chambre d'amortissement assurant l'état critique du ressaut, d_0 peut être déterminée par les formules suivantes :

$$\text{Quand } 15 < F_{r1} < 40 \text{ On a : } d_0 = \frac{h_t(3,13 + 0,032F_{r1}\beta' + 0,118F_{r1} - \eta')}{0,65 + 0,019F_{r1}} \quad (\text{II.77})$$

$$\text{Au cas où } 40 < F_{r1} < 75 : d_0 = \frac{h_t(3,13 + 0,028F_{r1}\beta' + 0,117F_{r1} - \eta')}{0,65 + 0,020F_{r1}} \quad (\text{II.78})$$

$$\text{Où : } \beta' = \frac{L_p}{L_{rp}} \quad (\text{II.79})$$

L_p : Longueur de la chambre d'amortissement

L_{rp} : Longueur du ressaut parfait

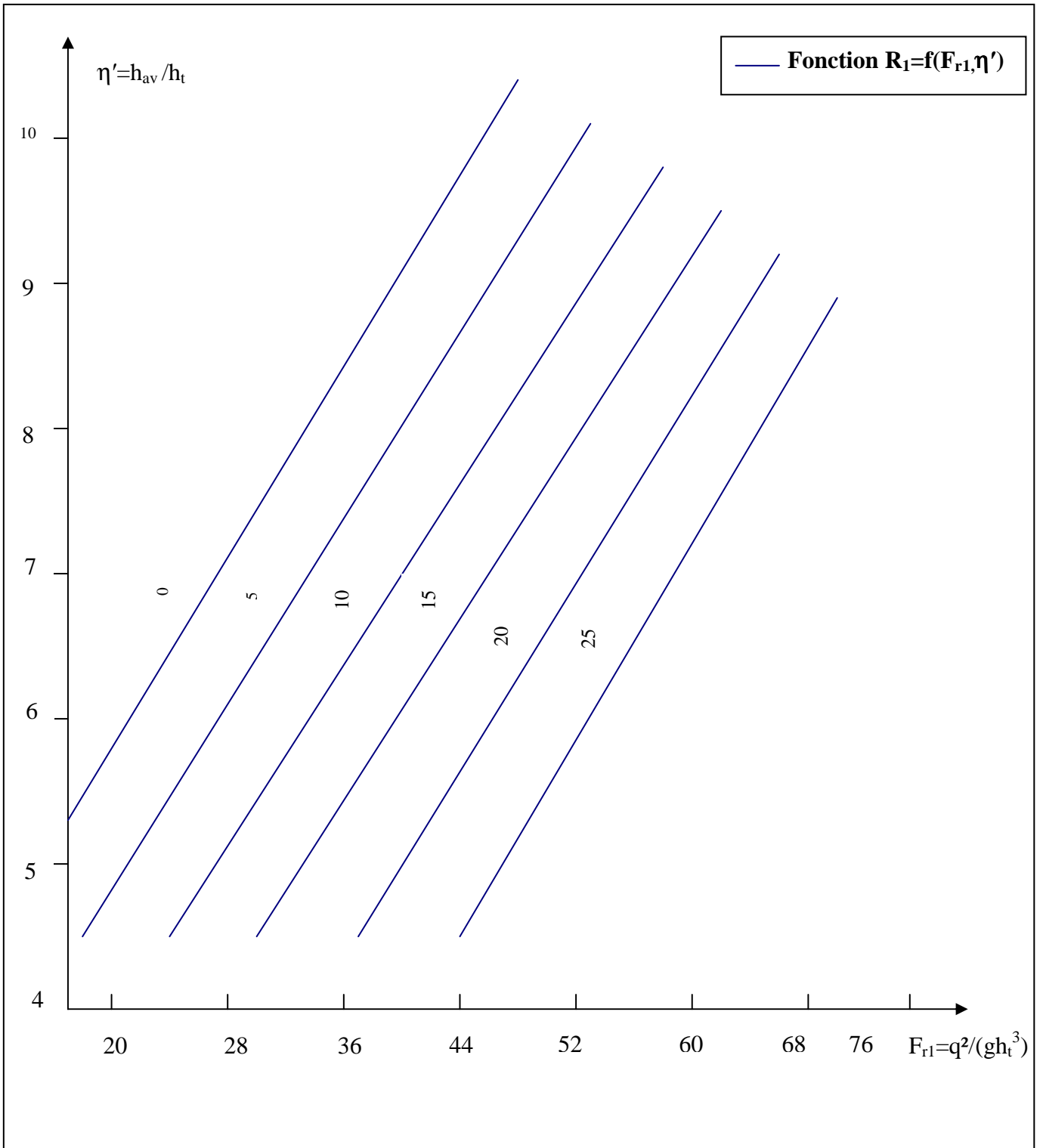
Les deux formules de d_0 ci-dessus sont valables dans les limites suivantes :

$$0,6 \leq \beta' \leq 1 \quad ; \quad 0,7 \leq (d_0/h_t) \leq 2,5 \quad (\text{II.80})$$

Il faut accroître la profondeur de la chambre d'amortissement pour que son fonctionnement soit stable et on peut déterminer sa profondeur d_1 (figure (II.12)) par la formule suivante.

$$d_1 = Dd_0 + (D-1)h_{av} \quad (\text{II.81})$$

Où $D = 1,05 - 1,1$ le coefficient de noyage du ressaut hydraulique.



Abaque(II.2) Fonction $R_1=f(F_{r1},\eta')$

Conclusion

La longueur de l'éloignement du ressaut, à une rugosité insignifiante, est caractérisé par de faibles pertes spécifique de l'énergie en longueur. C'est pourquoi la longueur de l'éloignement peut atteindre de grande valeurs et les vitesses sur ce tronçon dépassent celles admissibles. Dans ce cas il est nécessaire de consolider ce tronçon afin d'éviter l'affouillement de l'ouvrage, mais cette solution n'est pas toujours justifiée du point de vue économique, pour cela il faut réduire la longueur de l'éloignement par augmentation artificielle de la rugosité. Mais la solution la plus désirable est celle où des biefs sont conjugués sans éloignement du ressaut. A cet effet le ressaut se forme dans les limites de l'ouvrage et l'énergie s'amortit au sein du ressaut. Un tel type conjugué n'a lieu que lorsque $h_{av} > h_r$ et s'appelle conjugué avec ressaut noyé. Mais la condition du ressaut noyé n'est pas toujours remplie et ceci exige une augmentation artificielle de la profondeur d'eau en aval du ressaut.

L'amortissement de l'énergie exèdente au raccordement des biefs amont et aval par augmentation de la profondeur d'eau est le procédé le plus répondu dans la pratique de réalisation des projets.

Les amortisseurs principaux qui nous permettent d'augmenter cette profondeur se résument au bassin d'amortissement approfondie, à la paroi d'amortissement et au bassin d'amortissement combiné. Pour assurer le fonctionnement et la stabilité de la chambre d'amortissement ou bien la conjugaison des biefs il faut accroître respectivement la profondeur de la chambre d'amortissement ou la hauteur de la paroi d'amortissement.

Deux méthodes de calcul hydraulique du bassin d'amortissement sont données. Elle consistent à déterminer la profondeur du bassin et la hauteur de la paroi d'amortissement ainsi que la longueur du bassin d'amortissement.

Ce fait constitue l'avantage de ces méthodes. Mais leurs inconvénients résident dans le Procède de calcul et les formules empiriques qui sont lents et laborieux.

II-3-5 Méthode de (Tchouguaev, R.R., 1975)

Introduction

Cette méthode est différente des autres, elle permet de déterminer les deux profondeurs conjuguées du ressaut hydraulique dans un bassin de dissipation d'énergie classique à l'aide d'un abaque à échelle logarithmique et les autres paramètres dimensionnels du bassin de dissipation s'en déduisent.

-Présentation de la méthode

II-3-5-1 Détermination des deux profondeurs conjuguées h_t et h_r du ressaut hydraulique

Hypothèses de calcul

- Débit Q maximum déversé
- Largeur b de la partie déversante du barrage déversoir (égale à la largeur du bassin de dissipation)

- Energie spécifique E_0 à l'amont du barrage déversoir par rapport au plan de référence qui passe par le fond du bassin de dissipation (figure (II.13))

-Abaque (II.3)

-Développement de la méthode

On a
$$q = (Q/b) \quad (II .82)$$

Et
$$k = (q^2/g)^{1/3} \quad (II .83)$$

Soit les grandeurs adimensionnelles suivantes :

$$\xi_0 = (E_0/k) \quad (II .84)$$

$$\xi_c = (h_t/k) \quad (II .85)$$

$$\xi_c'' = (h_r/k) \quad (II .86)$$

Avec

h_t : Profondeur conjuguée amont du ressaut

h_r : Profondeur conjuguée avale du ressaut

Ayant E_0 et k on calcule ξ_0 et à l'aide de l'abaque(II.3) (cas d'un barrage déversoir à profil pratique , soit le coefficient de vitesse $\phi = 0,95$), on peut déterminer graphiquement ξ_c et ξ_c'' (voir les étapes sur le graphe(II.8),par la suite on calcul h_t et h_r .

On a
$$h_t = \xi_c .k \text{ et } h_r = \xi_c'' .k \quad (II .87)$$

On a :
$$Q = V_1 .h_t .b \Rightarrow V_1 = (Q/h_t b) \quad (II .88)$$

Afin de calculer le nombre de Froude $F_1 = (V_1/(gh_t)^{1/2})$ pour vérifier si le ressaut est parfait et stationnaire, les autres caractéristiques du ressaut ainsi que la longueur du bassin de dissipation seront déterminés à l'aide des formules empiriques citées dans les méthodes précédentes.

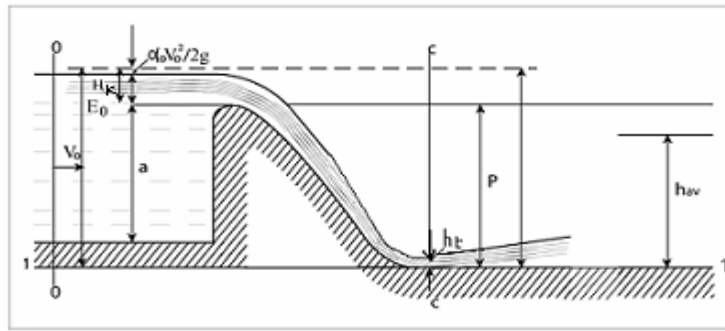
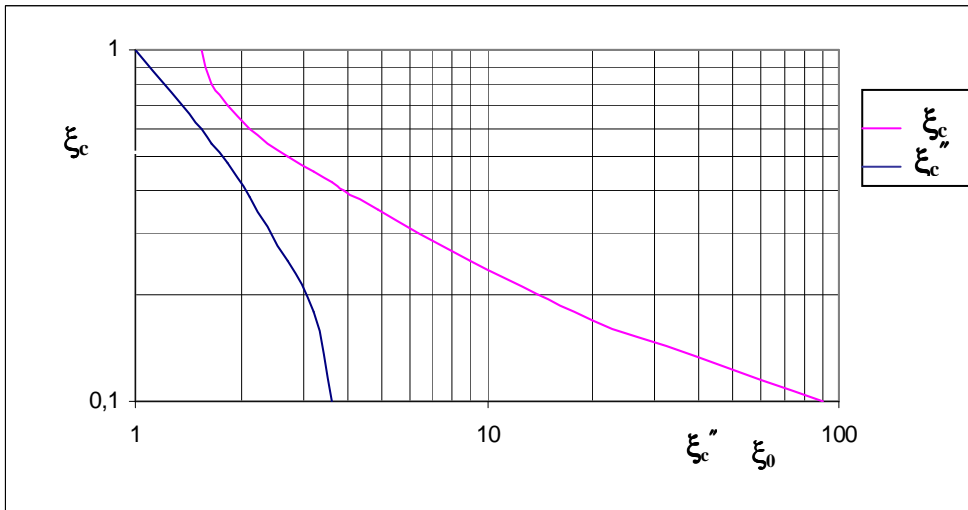
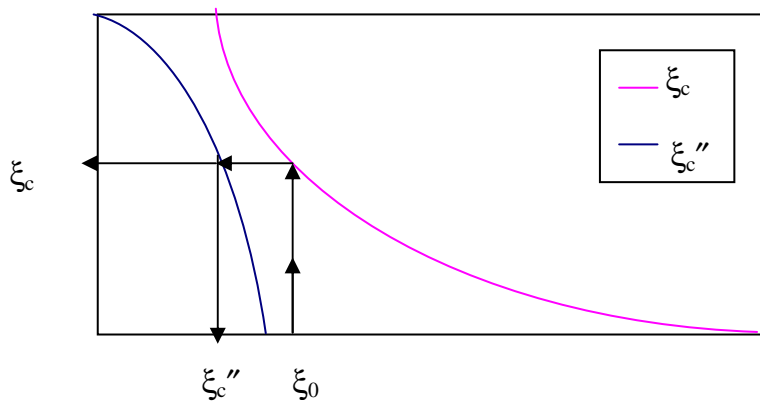


Figure (II. 13) Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique



Abaque(II.3) $\xi_c = f(\xi_0)$ et $\xi_c'' = f(\xi_c)$



Graphe (II.8) $\xi_c = f(\xi_0)$ et $\xi_c'' = f(\xi_c)$

Conclusion

L'avantage de cette méthode permet de déterminer les deux profondeurs conjuguées du ressaut hydraulique à l'aide d'un abaque à échelle logarithmique (abaque (II.3)), ensuite, on peut déterminer les autres paramètres nécessaires pour dimensionner le bassin de dissipation classique.

II-3-6 Méthode de Ruhlmann-Dupuit et de Tolkmitt (Lencastre,A.,1999) et (Carlier,M.,1986) Dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie classique(cas des barrages en matériaux locaux)

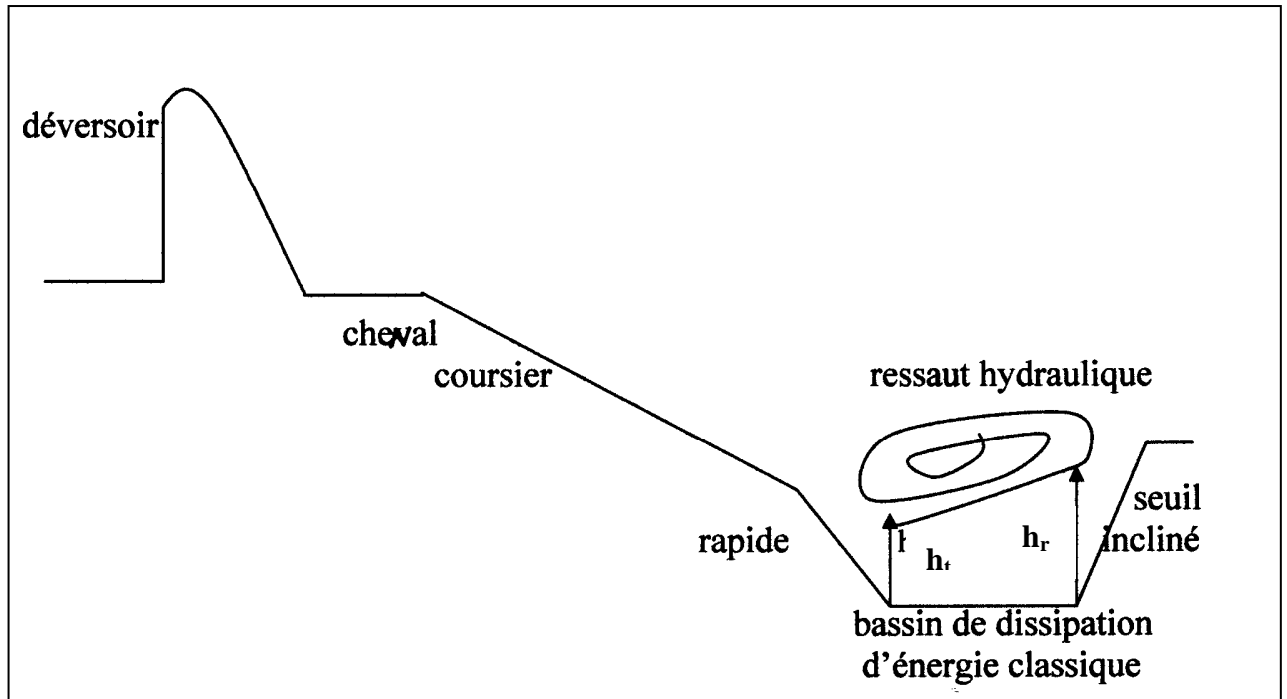


Figure (II.14) Dimensionnement du bassin de dissipation classique (cas des barrages en matériaux locaux)

Introduction

Cette méthode permet de déterminer la 1^{er} profondeur conjuguée du ressaut hydraulique dans le bassin de dissipation classique dans le cas du barrage en matériaux locaux. La 1^{er} profondeur conjuguée du ressaut hydraulique est déterminée après un calcul de Remous et les autres paramètres dimensionnels s'en déduisent .

II-3-6-1 L'écoulement dans le coursier et le rapide

Le régime de l'écoulement dans le coursier et le rapide est graduellement varié, avec un régime torrentiel et les lignes du courant sont déterminées par un calcul de remous.

La formule de Ruhlmann-Dupuit et de Tolkmitt. (Lencastre, A., 1999) et (Carlier, M., 1986) permet de déterminer les profondeurs réelles ou pratique de l'eau le long du coursier et le rapide.

Conclusion

L'étude du bassin de dissipation d'énergie dans ce type de barrage se fait en appliquant la même méthodologie que pour un barrage déversoir une fois que la profondeur de l'écoulement à l'amont du ressaut hydraulique est déterminée après une étude de Remous.

II-3-6-2 Calcul de la profondeur Y_2 d'un bassin de dissipation d'énergie classique dans le cas d'un barrage en matériaux locaux (Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., (1999)).

1. Cas où il y a des pertes de charge dans le coursier, soit j la perte de charge dans ce dernier :
Avec:
$$j = \alpha H' \quad (\text{II .89})$$

Et avec la figure de l'abaque (II.4)

On a:
$$h'' + h_r = H' + h_t \Rightarrow h'' = H' + h_t - h_r, \text{ et } H' = h'' + h_r - h_t = h'' + h' \quad (\text{II .90})$$

Et
$$j = \alpha H' = \alpha(h'' + h') \quad (\text{II .91})$$

On détermine la profondeur Y_2 du bassin de dissipation classique en utilisant l'abaque (II.4) et la droite (2), avec $\alpha = 0,2$

On peut déterminer H' à l'aide de la formule suivante :

$$H' = 2q^2 \left/ \left[(1 - \alpha)gh_r^2 \left(\left(1 + 8q^2 / gh_r^3 \right)^{1/2} - 1 \right)^2 \right] + (h_r/2) \left[\left(1 + (8q^2) / (gh_r^3) \right)^{1/2} - 1 \right] \right. \quad (\text{II .92})$$

Avec:

h_t : Profondeur conjuguée amont du ressaut

h_r : Profondeur conjuguée aval du ressaut

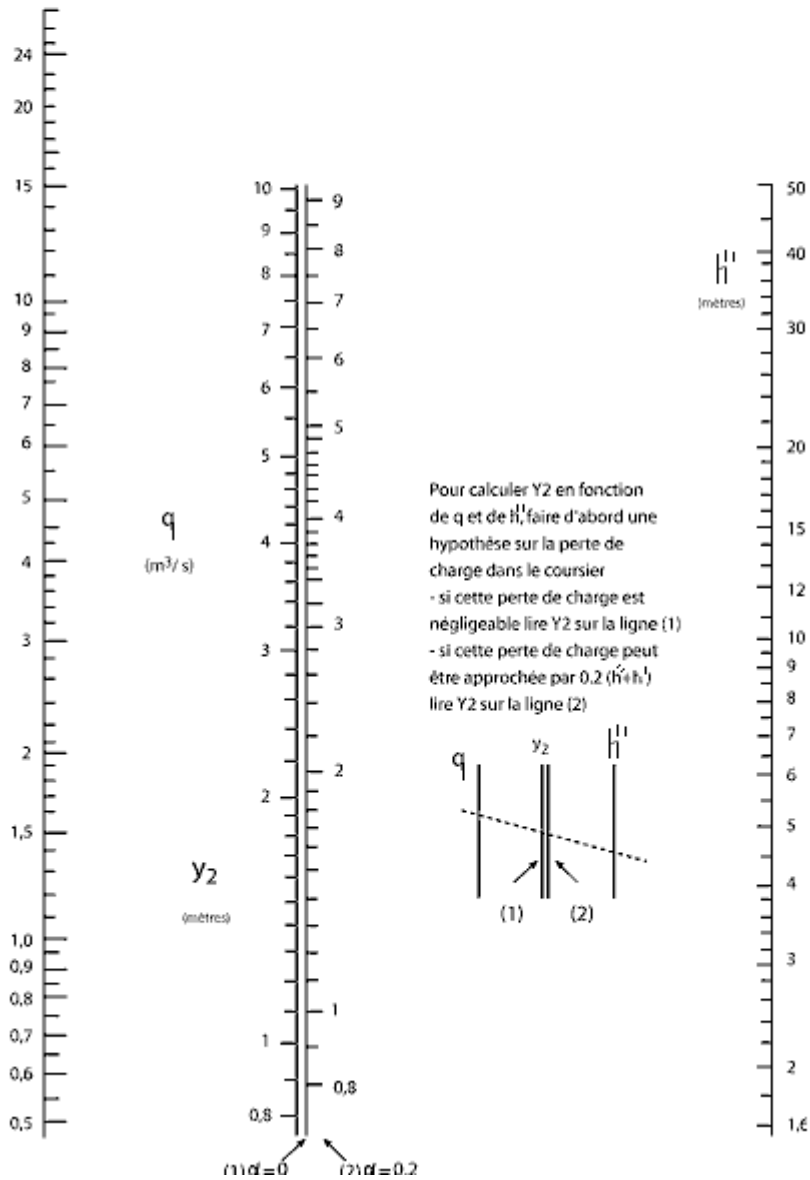
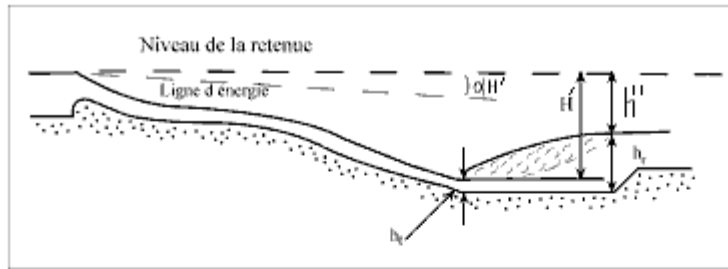
q : débit spécifique par unité de largeur en m^2/s

g : accélération de la pesanteur en m/s^2

2. Cas où les pertes de charge dans le coursier sont négligeables :

On a : $\alpha = 0$ donc $j = \alpha H' = 0$

Dans ce cas on détermine la profondeur Y_2 du bassin de dissipation classique en utilisant l'abaque (II.4) et la droite (1), avec $\alpha = 0$



Abaque (II.4) Abaque pour le calcul de la profondeur du bassin de dissipation classique (Cas d'un barrage en matériaux locaux)

Chapitre III

Etude et présentation de la méthode élaborée de dimensionnement du bassin de dissipation classique

III-1 Méthode élaborée

Introduction

La majorité des méthodes précédentes relatives au dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie classique sont lentes, indirectes, laborieuses et procèdent par approximations successives. Il en existe d'autre, partielle, qui ne permettent pas la résolution complète de l'ouvrage de dissipation d'énergie. D'une façon générale, les méthodes en question ne prennent pas en considération les contraintes multiples rencontrées sur le terrain. On peut citer en exemple celles liées à la topographie du site, aux problèmes de l'érosion donc aux caractéristiques du matériau et à l'impact de l'ouvrage de dissipation d'énergie sur l'environnement.

On est appelé alors à rechercher une méthode de dimensionnement directe, rapide, spécifique et complète, qui permettrait de trouver les dimensions adéquates du bassin de dissipation d'énergie classique et ainsi, de démarrer à partir de n'importe quel paramètre du bassin de dissipation d'énergie classique.

L'objet principal de cette méthode élaborée vise donc à déterminer les autres paramètres et à prendre en considération les éventuelles contraintes liées à la topographie, au côté technico-économique et aux problèmes liés à la préservation de l'environnement à l'aval du barrage.

Afin de lever l'indétermination, généraliser la méthode et l'appliquer à tous les types de bassins de dissipation d'énergie classique, cette contribution se base sur l'utilisation des paramètres adimensionnels ainsi que le développement des équations classiques de la théorie du ressaut hydraulique stationnaire.

Cette méthode se résume par une représentation graphique à échelle logarithmique d'un ensemble de paramètres adimensionnels :

$$(h_{r+}, L_+, \Delta H_+, H_+) = f(h_{t+}) \quad (\text{III} .1)$$

Les paramètres adimensionnels $(h_{t+}, h_{r+}, L_+, H_+, \Delta H_+)$ dont le produit par k définissent les grandeurs dimensionnelles du bassin de dissipation d'énergie classique. Elles représentent aussi les caractéristiques principales du ressaut hydraulique.

$$h_{t+} = h_t/k, \quad h_{r+} = h_r/k, \quad \Delta H_+ = \Delta H/k, \quad H_+ = H/k, \quad L_+ = L/k \quad (\text{III} .2)$$

h_t : Profondeur amont du ressaut hydraulique.

h_r : Profondeur aval du ressaut hydraulique.

L : Longueur du ressaut hydraulique.

ΔH : Perte de charge produite par le ressaut hydraulique.

k : Profondeur critique

H : Charge à l'amont du barrage déversoir (égale à la charge H_1 à l'amont du ressaut) "cas d'un barrage déversoir à profil pratique type Greager"

III-1 -1 Développement de la méthode

Lors du passage du débit maximum sur la crête du barrage, il se produit une charge minimale H_{\min} ; le débit spécifique maximum qui correspond au régime critique est lié au profondeur critique par la relation suivante :

$$k = (q_{\max}^2 / g)^{1/3} \quad (\text{III} .3)$$

$$k^3 = q^2_{\max} / g \quad (\text{III .4})$$

Au passage du débit sur la crête du barrage soit :

H_k : Charge spécifique sur la crête du barrage.

h_e : Profondeur de l'écoulement.

V' : Vitesse de l'écoulement.

Ces trois (03) grandeurs sont liées par la relation suivante :

$$H_k = h_e + \alpha_0 V'^2 / 2g \quad (\text{III .5})$$

Avec:

α_0 : Facteur de correction de l'énergie cinétique.

Soit $\alpha_0 = 1$.

Soit b : Largeur du bassin de dissipation d'énergie classique rectangulaire.

Quand $(b/h_e) > 10$ l'écoulement est bidimensionnel (III .6)

$(b/h_e) < 10$ l'écoulement est non bidimensionnel (III .7)

Soit aussi : b : Largeur du déversoir (partie déversante)

Q : Débit de crue laminé maximum franchissant la crête du déversoir.

On a le débit spécifique :

$$q = Q/b \quad (\text{III .8})$$

On a aussi :

$$V' = (Q/s) = [Q/(bh_e)] = (q/h_e) \quad (\text{III .9})$$

Remplaçant la vitesse dans la relation (III .5)

On a:

$$H_k = h_e + q^2 / (2gh_e^2) \quad (\text{III .10})$$

$$q^2 = 2gh_e^2 (H_k - h_e) \quad (\text{III .11})$$

$$(\text{III .11}) \Rightarrow q = h_e [2g(H_k - h_e)]^{1/2} \quad (\text{III .12})$$

Étant donné que $H_k = f(h_e)$ et le débit est maximum donc sa dérivé par rapport à h_e est nul.

Donc on a :

$$\partial q / \partial h_e = -6gh_e^2 + 4gH_k h_e \quad (\text{III .13})$$

Puisque le débit maximum correspond au régime critique donc $h_e = k$

On a:

$$-6gk^2 + 4gH_k k = 0 \quad (\text{III .14})$$

On divise par 2 g on obtient :

$$-3k^2 + 2H_k k = 0 \quad (\text{III .15})$$

Donc :

$$H_k = H_{\min} = (3/2)k \quad (\text{III .16})$$

De la relation (III .10) et (III .16) on a :

$$(k/2) = (q^2 / 2gk^2) \quad (\text{III .17})$$

Donc :

$$k = q^2 / (gk^2) \Rightarrow k^3 = q^2 / g \quad (\text{III .18})$$

D'où :

$$k = (q^2 / g)^{1/3} \quad (\text{III .19})$$

On a:

$$V_k = (q/k) = \left[(k^3 g)^{1/2} / k \right] = (kg)^{1/2} \quad (\text{III .20})$$

On a aussi :

$$q_{\max} = k(kg)^{1/2} \quad (\text{III .21})$$

Le théorème de quantité de mouvement appliquée aux sections initiale et finale du ressaut donne :

$$\left[\rho g (h_t^2 - h_r^2) / 2 \right] = \rho q (V_2 - V_1) \quad (\text{III .22})$$

Comme :

$$V_1 = q/h_t \quad \text{et} \quad V_2 = q/h_r \quad (\text{III .23})$$

Et en tenant compte de (III .20) on obtient :

$$(h_t^2 / 2) + [q^2 / (gh_t)] = (h_r^2 / 2) + [q^2 / (gh_r)] \quad (\text{III .24})$$

$$(h_t^2/2) + (k^3/h_t) = (h_r^2/2) + (k^3/h_r) \quad (\text{III .25})$$

$$h_t^2 - h_r^2 = 2k^3(h_t - h_r)/(h_t h_r) \quad (\text{III .26})$$

$$2k^3 = (h_t + h_r)(h_t h_r) \quad (\text{III .27})$$

$$h_t h_r^2 + h_t^2 h_r - 2k^3 = 0 \quad (\text{III .28})$$

La racine positive de cette dernière équation est :

$$h_r = -(h_t/2) + \left[(h_t^2/4) + 2k^3/h_t \right]^{1/2} \quad (\text{III .29})$$

La hauteur du ressaut est :

$$h_r - h_t = -(3h_t/2) + \left[(h_t^2/4) + 2k^3/h_t \right]^{1/2} \quad (\text{III .30})$$

La longueur du ressaut est définie pratiquement par l'inégalité suivante :

$$L \leq 7(h_r - h_t) \quad (\text{III .31})$$

Le ressaut ne se produit que si :

$$h_r > h_t \quad (\text{III .32})$$

C'est-à-dire/

$$h_r - h_t > 0 \quad (\text{III .33})$$

$$h_r - h_t > 0 \Rightarrow h_r - h_t = -(3h_t/2) + \left[(h_t^2/4) + 2k^3/h_t \right]^{1/2} > 0 \quad (\text{III .34})$$

$$\left[(h_t^2/4) + 2k^3/h_t \right]^{1/2} > (3h_t/2) \quad (\text{III .35})$$

$$\left[(h_t^2/4) + 2k^3/h_t \right] > (3h_t/2)^2 \quad (\text{III .36})$$

$$(2k^3/h_t) > (9h_t^2/4) - (h_t^2/4) \quad (\text{III .37})$$

$$(2k^3/h_t) > 2h_t^2 \quad (\text{III .38})$$

$$k^3 > h_t^3 \quad (\text{III .39})$$

$$k > h_t \Rightarrow h_t < k \quad (\text{III .40})$$

C'est-à-dire que le régime dans la section amont du ressaut est torrentiel.

Au début et à la fin du ressaut les charges totales sont :

$$H_1 = h_t + V_1^2 / (2g) \text{ et } H_2 = h_r + V_2^2 / (2g) \quad (\text{III .41})$$

La perte de charge due à la dissipation d'énergie par le ressaut est :

$$\Delta H = H_1 - H_2 = (h_r - h_t)^3 / (4h_t h_r) \quad (\text{III .42})$$

On considère que :

h_f : Profondeur d'écoulement à l'amont du barrage déversoir

h_t : Profondeur d'écoulement conjuguée amont du ressaut).

h_r : Profondeur d'écoulement conjuguée aval du ressaut).

H : Charge spécifique à l'amont du barrage déversoir (égale à la charge H_1 à l'amont du ressaut)

En vue de pouvoir exprimer h_r et h_t en fonction de H et de k on élimine q entre (III .10) et (III .21) et on tire :

$$H = h_f + k^3 / (2h_f^2) \quad (\text{III .43})$$

En multipliant par h_f^2 , cette équation devient :

$$h_f^3 - Hh_f^2 + (k^3/2) = 0 \quad (\text{III .44})$$

En posant :

$$h_f = y + (H/3) \quad (\text{III .45})$$

Il vient :

$$y^3 - (H^2/3)y - (2H^3/27) + (k^3/2) = 0 \quad (\text{III .46})$$

Équation ayant la forme de :

$$y^3 - 3ay - 2b = 0 \quad (\text{III .47})$$

Avec :

$$a = (H/3)^2 \text{ et } b = (H/3)^3 - (k^3/4) \quad (\text{III .48})$$

Le discriminant de cette équation est :

$$a^3 - b^2 = [(H/3)^2]^3 - [(H/3)^3 - (k^3/4)]^2 \quad (\text{III .49})$$

$$a^3 - b^2 = (k^3/4) \left[2(H/3)^3 - (k^3/4) \right] \quad (\text{III .50})$$

Comme :

$$H_{\min} = 3k/2 \quad (\text{III .51})$$

On a :

$$H \geq H_{\min} \Rightarrow H \geq 3k/2 \Rightarrow (H/3) \geq (k/2) \quad (\text{III .52})$$

$$(H/3)^3 \geq (k/2)^3 \quad (\text{III .53})$$

$$(H/3)^3 \times 2 \geq (k/2)^3 \times 2 \quad (\text{III .54})$$

$$2(H/3)^3 \geq 2k^3/(4 \times 2) \quad (\text{III .55})$$

$$2(H/3)^3 \geq k^3/4 \quad (\text{III .56})$$

On a:

$$2(H/3)^3 - (k^3/4) \geq 0 \quad (\text{III .57})$$

$$a^3 - b^2 = (k^3/4) \left[2(H/3)^3 - (k^3/4) \right] \quad \dots \quad (\text{III .58})$$

Donc:

$$\text{Comme :} \quad k^3 > 0 \text{ et } 2(H/3)^3 - (k^3/4) \geq 0 \quad (\text{III .59})$$

Donc:

$$a^3 - b^2 \geq 0 \quad (\text{III .60})$$

Ainsi que :

$$a^3 - b^2 = \left[(k^3/2)(H/3)^3 - (k^6/16) \right] \geq 0 \quad (\text{III .61})$$

$$(k^3/2)(H/3)^3 \geq (k^6/16) \quad (\text{III .62})$$

L'équation du 3^{ème} degré en y a trois racines réelles

Les trois racines peuvent être écrites comme suit :

$$h_f = (H/3) + (2/3)H \cos(1/3) \arccos \left[1 - 2(3k/2H)^3 \right] \quad (\text{III .63})$$

$$h_x = (H/3) + (2/3)H \cos(1/3) \left[2\pi + \arccos \left(1 - 2(3k/2H)^3 \right) \right] \quad (\text{III .64})$$

$$\text{Et } h_t = (H/3) + (2/3)H \cos(1/3) \left[4\pi + \arccos \left(1 - 2(3k/2H)^3 \right) \right] \quad (\text{III .65})$$

En considérant les expressions ci-dessus on démontre que

$$H \geq h_f \geq (2H/3), 0 \geq h_r \geq -(H/3) \text{ et } (2H/3) \geq h_t \geq 0 \quad (\text{III .66})$$

On a :

$$H \geq H_{\min} \Rightarrow H \geq (3k/2) \Rightarrow k \leq (2H/3) \quad (\text{III .67})$$

A l'amont du barrage déversoir l'écoulement est fluvial on a :

$$H = h_f + (V_f^2 / 2g) = h_f + (q^2 / 2gh_f^2) \quad (\text{III .68})$$

$$H \geq h_f, h_f \geq k \text{ et } k \leq (2H/3) \quad (\text{III .69})$$

Donc :

$$H \geq h_f \geq (2H/3) \quad (\text{III .70})$$

A l'amont du ressaut hydraulique on a :

$$H = h_t + (q^2 / 2gh_t^2), k \geq h_t \geq 0 \text{ et } (2H/3) \geq k \quad (\text{III .71})$$

$$(2H/3) \geq k \geq h_t \geq 0 \quad (\text{III .72})$$

Donc :

$$(2H/3) \geq h_t \geq 0 \quad (\text{III .73})$$

D'où la profondeur du liquide correspondant à une charge totale H et à un débit unitaire q est :

h_f : si le régime de l'écoulement est fluvial

h_t : si le régime de l'écoulement est torrentiel.

La 2^{ème} racine h_x est négative ou nul, n'a pas de signification physique.

Les caractéristiques du ressaut, transforment le régime torrentiel d'un écoulement en régime fluvial, peuvent être toutes déterminées en application des équations ;(III.16) (III.20) ;(III.30) ;(III.31) ;(III.32) : (III.66) en y substituant les valeurs de :

q : Débit unitaire

H = H_1 : Charge totale au début du ressaut.

III-1 -2 Application de la méthode

Soit les grandeurs adimensionnelles suivantes :

$$H_+ = (H/k), h_{t+} = (h_t/k), h_{r+} = (h_r/k), \Delta H_+ = (\Delta H/k), L_+ = (L/k) \quad (\text{III .74})$$

On tire des équations (III.20) ; (III.44) ; (III.66) ; (III.63) ; (III.65) ; (III.30); (III.32) et les définitions suivantes.

$$h_{f+} = (H_+/3) + (2H_+/3) \cos(1/3) \arccos \left[1 - \left[\left(54H_+^{-3} / 8 \right) \right] \right] \quad (\text{III .75})$$

$$h_{t+} = (H_+/3) + (2H_+/3)\cos(1/3)\arccos\left[1 - \left[\left(54H_+^{-3}/8\right) + 4\pi\right]\right] \quad (\text{III .76})$$

On a aussi les expressions suivantes.

$$H_+ = h_{t+} + 0,5h_{t+}^{-2} \quad (\text{III .77})$$

$$h_{r+} = \left[(h_{t+}/2)^2 + (2/h_{t+})\right]^{1/2} - (h_{t+}/2) \quad (\text{III .78})$$

$$L_+ = 7(h_{r+} - h_{t+}) \quad (\text{III .79})$$

$$\Delta H_+ = (h_{r+} - h_{t+})^3 / 4h_{t+}h_{r+} \quad (\text{III .80})$$

Les paramètres adimensionnels H_+ , h_{r+} , L_+ , ΔH_+ , peuvent être exprimés en fonction du paramètre adimensionnel h_{t+} et à chaque valeur de ce dernier ne correspond qu'une seule valeur réelle positive de chacune des autres.

La représentation graphique graphe (III.1) correspondant à :

$$(H_+, h_{r+}, L_+, \Delta H_+) = f(h_{t+}) \quad (\text{III .81})$$

Les dimensions linéaires H , h_r , h_t , L et ΔH définissent le profil en long d'un courant bidimensionnel, elles sont toutes proportionnelles à la profondeur critique k . Ces dimensions représentent les paramètres dimensionnels du bassin de dissipation d'énergie classique.

Connaissant un paramètre adimensionnel, cette représentation graphique à échelle logarithmique permet de déterminer toutes les autres paramètres adimensionnels nécessaires pour dimensionner un bassin de dissipation d'énergie classique quelque soit la nature des contraintes.

III-1 -3 Utilisation de la méthode

On peut appliquer notre méthode graphique élaborée pour dimensionner le bassin de dissipation classique. On peut démarrer de la charge à l'amont du barrage déversoir pour déterminer graphiquement ou analytiquement les paramètres adimensionnels du bassin de dissipation classique et par la suite les grandeurs dimensionnelles de cet ouvrage.

Soit H cette charge, elle est égale à : (figure à la dernière page)

$$H = a + 1,5k \quad (\text{III .82})$$

Avec :

a : Hauteur du barrage déversoir

k : Profondeur critique

La charge H sera égale à la charge H_1 à l'amont du ressaut hydraulique car les pertes de charge sur le barrage déversoir à profil pratique type Greager sont négligeables donc on a :

$$H = H_1 = a + 1,5k \quad (\text{III .83})$$

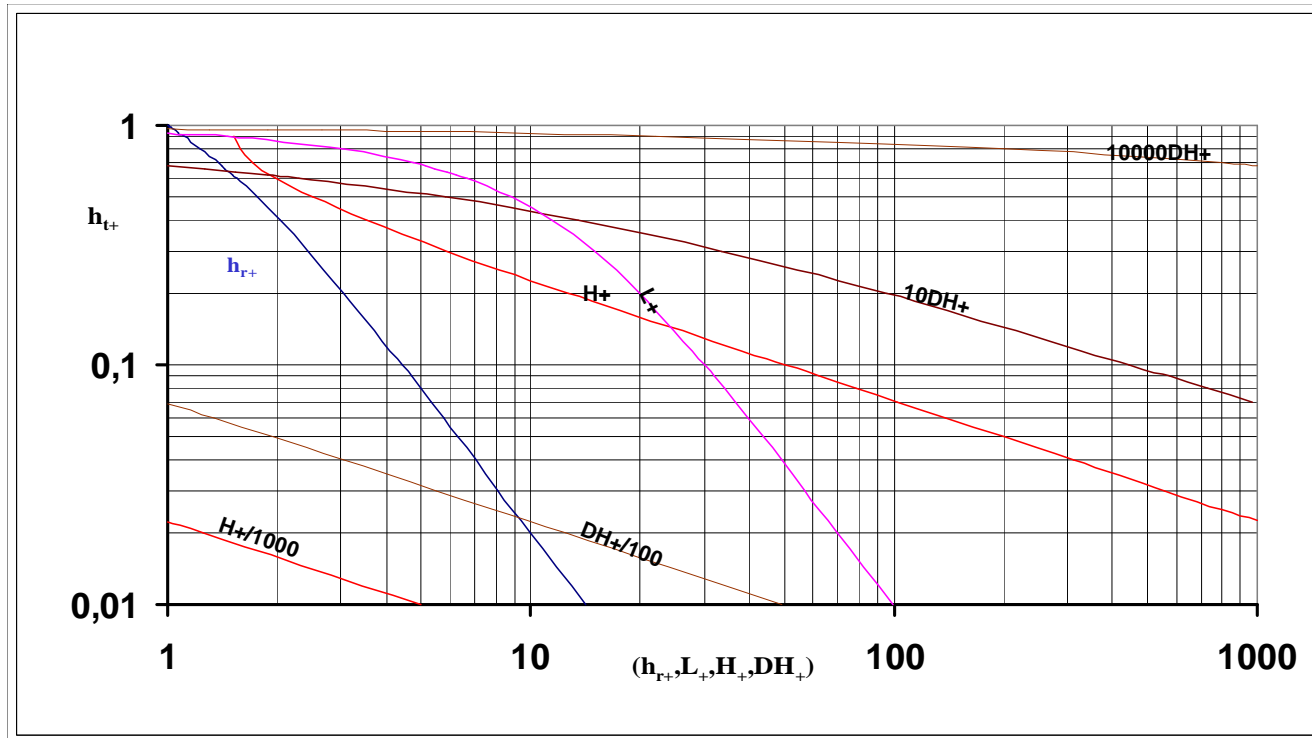
On a :

$$H_+ = H_{1+} = (H/k) = (H_1/k) \quad (\text{III .84})$$

Graphe (III.1)

Représentation graphique de la méthode élaborée

$$(h_{r+}, L_+, H_+, DH_+) = f(h_{t+})$$



Avec le paramètre H_+ notre représentation graphique à échelle logarithmique donne les autres paramètres adimensionnels dont le produit par k définissent les paramètres dimensionnels du bassin de dissipation d'énergie classique tels que : la longueur L du ressaut hydraulique, les profondeurs conjuguées h_t et h_r de ce dernier ainsi que sa perte de charge ΔH .

Conclusion

Une méthode graphique, simple, rapide, directe et complète a donc été élaborée. Cette méthode remplace le procédé par approximations successives et évite les lents et laborieux calculs. La variation de chaque paramètre adimensionnel en fonction des autres est représentée par des courbes sur un graphe à échelle logarithmique (graphe (III.1)), où la connaissance d'un seul paramètre permet de connaître les autres graphiquement par simple lecture sur le graphe et en conséquence les dimensions du bassin de dissipation d'énergie classique en multipliant chaque paramètre par la profondeur critique « k » correspondant au débit spécifiques « q ».

La méthode en question prend en considération les contraintes imposées par la topographie du site, celles liées à la préservation de l'environnement à l'aval du barrage et au côté technique –économique.

Cette méthode permet de démarrer de n'importe quel paramètre de l'ouvrage en question, imposé par le projeteur ou par les contraintes topographiques, environnementales, technico-économiques, pour faire un dimensionnement complet et optimal de la totalité de l'ouvrage d'une manière rapide et expéditive.

Elle permet même de prendre en considération la qualité du matériaux utilisé pour la réalisation de l'ouvrage, pour lui trouver des dimensions appropriés du bassin de telle sorte, à éviter tout phénomène néfaste susceptible de mettre l'ouvrage en péril et aussi de dimensionner l'ouvrage de tel sorte à préserver l'environnement à l'aval, donc avoir un impact positif du barrage sur l'environnement, quelques soit les conditions d'exploitation de l'ouvrage

III-2 Méthodologie de dimensionnement des bassins de dissipations d'énergie classique.

Introduction

Nous présentons une méthodologie de dimensionnement du bassin de dissipations d'énergie classique, qui permet de prendre en considération les contraintes imposées par la réalité du site ou la pratique, comme celle liée à la topographie du site, la préservation de l'équilibre de l'environnement et au côté technico-économique.

III-2 -1 Méthodologie N°1

-Introduction

La profondeur amont du ressaut hydraulique où le régime de l'écoulement est torrentiel se détermine soit en fonction des caractéristiques de la qualité des matériaux utilisés ou de l'importance de la force tractrice sévissant au pied aval du barrage déversoir.

Le dimensionnement du bassin de dissipation se fait à partir de la connaissance ou la détermination de cette profondeur amont du ressaut hydraulique classique et des

Caractéristiques de la section mouillée, pour déterminer par la suite les autres paramètres dimensionnels du bassin de dissipation qui sont les dimensions de l'ouvrage en question.

-Développement de la méthodologie

Le matériau imposé peut résister à une force tractrice τ spécifique à ce dernier, pour éviter tout phénomène érosif (Sanglérat,c.,1990).

Avec :

$$\tau = fr\rho V_1^2 / 8 \quad (\text{III .85})$$

τ : Force tractrice d'affouillement

fr : Coefficient de frottement

ρ : Masse volumique de l'eau

V_1 : Vitesse d'écoulement à la section amont du ressaut.

Le coefficient du frottement se détermine à l'aide de la formule de Nikuradsè si le régime est turbulent rugueux.

$$fr = (1,14 - 0,86 \ln(\varepsilon / D_h))^{-2} \quad (\text{III .86})$$

Avec ε : Rugosité absolue du matériau.

D_h : Diamètre hydraulique

En pratique l'écoulement est bidimensionnel, c'est-à-dire que la profondeur de l'écoulement est négligeable ou faible devant la largeur « b » du canal ou du bassin de dissipation

Cas d'un bassin de dissipation d'énergie de forme rectangulaire

S_m : Section mouillée

P_m : Périmètre mouillé

h_t : Profondeur de l'eau à la section amont du ressaut (1ère profondeur conjuguée du ressaut)

Puisque $h_t \ll b$ (écoulement bidimensionnel)

$$R_h = S_m / p_m = (h_t b) / (2h_t + b) = h_t b / b = h_t \quad (\text{III .87})$$

$$D_h = 4R_h = 4h_t \quad (\text{III .88})$$

En utilisant les formules (III .85) et (III .86) et:

Soit V_1 la vitesse à l'amont du ressaut hydraulique :

$$V_1 = q / h_t \quad (\text{III .89})$$

Soit q le débit spécifique :

$$q = Q / b \quad (\text{III .90})$$

On a :

$$\tau = fr\rho V_1^2 / 8 = (1,14 - 0,86 \ln(\varepsilon / 4h_t))^{-2} \rho q^2 / 8h_t^2 \quad (\text{III .91})$$

On a comme hypothèse (τ , Q , b et ε), on peut déterminer h_t à l'aide de la formule (III .91) ainsi que V_1 et le nombre de Froude F_1

Avec :

$$F_1 = V_1 / (gh_t)^{1/2} \quad (\text{III .92})$$

Pour vérifier si le ressaut est parfait et stationnaire.

Soit le cas d'un bassin de dissipation d'énergie rectangulaire

La détermination de la 2^{ème} profondeur conjuguée h_r se fait en fonction de la formule suivante :

Avec :

$$h_r = (h_t / 2) \left[\left(1 + 8(k / h_t)^3 \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (\text{III .93})$$

$$k = \left(q^2 / g \right)^{1/3} \quad (\text{III .94})$$

La perte de charge dissipée par le ressaut est :

$$\Delta H = (h_r - h_t)^3 / 4h_t h_r \quad (\text{III .95})$$

La charge à l'amont et à l'aval du ressaut sont respectivement égales à :

$$H_1 = h_t + \left(q^2 / 2gh_t^2 \right) \quad (\text{III .96})$$

$$H_2 = h_r + \left(q^2 / 2gh_r^2 \right) \quad (\text{III .97})$$

La longueur du ressaut se détermine à l'aide des formules élaborées d'après des résultats expérimentaux suivantes :

a) formule empirique de Pavlovski, N. (Naoumenko ,1974)

b) formule empirique de Tchertousov, M. (Naoumenko ,1974)

c) formule semi empirique de Kouznetsov, S. (Naoumenko ,1974)

Voir ces formules dans la 1ère méthode de dimensionnement du bassin de dissipation classique "chapitre II").

d) Dans le cas d'un bassin de dissipation d'énergie classique, la longueur de ce dernier est pratiquement égale à celle du ressaut hydraulique et on peut prendre une longueur extrême du ressaut égale à : $L = 7(h_r - h_t)$.

On détermine la profondeur du bassin de dissipation ainsi que la hauteur du seuil terminal à l'aide des formules empiriques citées dans la 1ère méthode de dimensionnement du bassin de dissipation classique

Conclusion

Le bassin de dissipation classique se dimensionne aisément seulement avec la connaissance du débit Q , la largeur b du déversoir et un seul paramètre h_t déterminé par la force tractrice imposé et calculé en fonction des caractéristiques géotechniques du matériaux choisi au niveau de la section amont du début du ressaut où le régime est torrentiel avec une force hydrodynamique maximale, pour déterminer les autres paramètres de l'ouvrage soit analytiquement ou graphiquement.

III-2 -2 Méthodologie N°2

-Introduction

Les raisons topographiques ne permettent la réalisation d'un bassin de dissipation d'énergie que pour une longueur limitée. Partant de cette donnée, on détermine toutes les caractéristiques principales du ressaut hydraulique tels que: $h_t, h_r, \Delta H, H_1, H_2$ et η respectivement les profondeurs conjuguées du ressaut, perte de charge dissipée par le ressaut, la charge à l'amont et à l'aval du ressaut, ainsi que l'efficacité de ce dernier.

-Développement de la méthodologie

Souvent la topographie du terrain nous impose la longueur de l'ouvrage en question (longueur limitée $L = \text{cte}$), dans ce cas on peut trouver la 1^{er} profondeur conjuguée h_t du ressaut hydraulique.

Soit par exemple la formule semi empirique de S. Kouznetsov qui donne la longueur L du ressaut.

$$L = 16,7(k - h_t) \quad (\text{III .98})$$

Avec :

$$k = (q^2 / g)^{1/3} \quad (\text{III .99})$$

Comme dans le bassin de dissipation d'énergie classique la longueur de ce dernier est égale à la longueur du ressaut donc on peut déterminer h_t à l'aide de la formule (III .98), donc on peut trouver la vitesse d'écoulement V_1 à la section amont du ressaut ainsi que le nombre de Froude F_1 .

On a:

$$V_1 = q / h_t \quad (\text{III .100})$$

$$F_1 = V_1 / (gh_t)^{1/2} \quad (\text{III .101})$$

Par la suite on peut déterminer tous les autres paramètres du ressaut hydraulique ainsi que la profondeur du bassin de dissipation d'énergie et la hauteur du seuil terminal à l'aide des formules empiriques citées dans les méthodes précédentes.

Application de la méthode graphique élaborée

On peut aussi utiliser la représentation graphique de notre méthode élaborée. Partant de la longueur L imposé par le terrain, on détermine tous les autres paramètres.

On a :

$$L_+ = L/k \quad (\text{III .102})$$

Avec k (profondeur critique)

A l'aide du paramètre adimensionnel L_+ on peut déterminer graphiquement (voir les courbes de la méthode élaborée) les paramètres (h_{t+} , h_{r+} , H_+ , ΔH_+) dont le produit par k définissent les caractéristiques principales du ressaut hydraulique.

Conclusion

Avec un paramètre imposé par le terrain $L=\text{cte}$, on peut trouver toutes les caractéristiques principales du ressaut ainsi que les autres paramètres dimensionnels du bassin de dissipation d'énergie classique.

III-2 -3 Méthodologie N°3

Introduction

On peut imposer la 2^{ème} profondeur conjuguée du ressaut hydraulique comme paramètre donné pour déterminer les autres paramètres du bassin de dissipation classique.

Développement de la méthodologie

On peut imposer que la 2^{ème} profondeur conjuguée h_r du ressaut est égale à la profondeur d'eau à l'aval du bassin de dissipation ($h_r = h_{av}$, profondeur de l'eau dans l'oued après passage de la crue maximale avant la construction de l'ouvrage), dans ce cas h_r est connue et on peut trouver la 1^{ère} profondeur conjuguée h_t du ressaut à l'aide de la formule (III .103) .

Cette solution est choisi dans le concept de préserver l'environnement à l'aval de l'ouvrage, donc prendre en considération l'impact du barrage , ou d'une manière spécifique éviter tout phénomène d'érosion et affouillement à l'aval de l'ouvrage après le passage de la crue maximale observée au niveau du site en question.

Cas d'un bassin de dissipation d'énergie rectangulaire

$$h_t = (h_r / 2) \left[\sqrt{1 + 8(k / h_r)^3} - 1 \right] \quad (\text{III .103})$$

Avec :

$$k = (q^2 / g)^{1/3} \quad (\text{III .104})$$

Puis calculer la vitesse d'écoulement V_1 à l'amont du ressaut et le nombre de Froude F_1 .

$$V_1 = q / h_t \quad (\text{III .105})$$

$$F_1 = V_1 / (gh_t)^{1/2} \quad (\text{III .106})$$

Par la suite on peut déterminer tout les paramètres nécessaires pour dimensionner le bassin de dissipation classique tels que : la perte de charge ΔH dissipée par le ressaut, la longueur du ressaut, la longueur du bassin de dissipation ainsi que sa profondeur et la hauteur du seuil terminal à l'aide des formules empiriques citées précédemment

Application de la méthode graphique élaborée

On peut aussi utiliser la représentation graphique de notre méthode élaborée. Partant du paramètre imposé ($h_r = h_{av}$), on détermine tous les autres paramètres

On a :

$$h_{r+} = h_r / k \quad (\text{III .107})$$

A l'aide du paramètre adimensionnel h_{r+} on peut déterminer graphiquement (voir les courbes de la méthode élaborée) .Les paramètres (h_{t+} , L_+ , H_+ , ΔH_+) dont le produit par k donnent les grandeurs nécessaires pour dimensionner le bassin de dissipation d'énergie classique.

Conclusion

On vient de montrer qu'avec un seul paramètre imposé comme la 2^{ème} profondeur conjuguée du ressaut $h_r = h_{av}$ (correspondant à la profondeur de l'eau dans l'oued après passage de la crue maximale avant la construction de l'ouvrage), on déterminerait tous les autres paramètres dimensionnels du bassin de dissipation d'énergie classique.

III-2 -4 Méthodologie N°4

Introduction

On peut aussi imposer comme hypothèse la perte de charge dissipée par le ressaut hydraulique comme paramètre donné ou choisi à priori pour déterminer les autres paramètres de l'ouvrage hydraulique.

Cette solution est souvent optée pour dimensionner les bassins de dissipations des petits barrages en béton ou pour les retenues collinaires.

Développement de la méthodologie

Soit H la charge à l'amont du barrage déversoir

On a :

$$H = a + 1,5k \quad (\text{III .108})$$

Avec: a : Hauteur du barrage entre la côte du pied amont du barrage et le niveau normal de retenue.

On peut imposer la perte de charge ΔH à dissiper par le bassin de dissipation soit égale à une valeur choisie ou égale à un certain pourcentage de la charge amont totale provoquée par l'obstacle qui est soit un barrage d'accumulation, soit un barrage déversoir.

La charge H est égale à la charge spécifique H_1 à l'amont du ressaut car les pertes de charges sur le barrage déversoir à profil pratique type Greager sont négligeables

On a la charge spécifique à l'amont du ressaut H_1 est égale à la charge spécifique à l'aval du ressaut H_2 plus les pertes de charge ΔH dissipée par le ressaut hydraulique.

On a donc :

$$H_1 = H_2 + \Delta H = H \quad (\text{III .109})$$

Avec : $(\Delta H = n\% H)$ (III .110)

$$H_2 = H - \Delta H = H - n\% H = H(1 - n\%) \quad (\text{III .111})$$

Avec :

$$H_2 = h_r + \left(q^2 / 2gh_r^2 \right) \quad (\text{III .112})$$

La résolution de l'équation (III .112) nous permet de déterminer h_r , et puisque :

$(H_1 = H)$ et :

$$H_1 = h_t + \left(q^2 / 2gh_t^2 \right) \quad (\text{III .113})$$

Donc on peut aussi trouver h_t à l'aide de l'équation (III .113)

Par la suite on peut déterminer tous les paramètres nécessaires pour dimensionner un bassin de dissipation classique à l'aide des formules empiriques citées dans les méthodes précédentes.

Application de la méthode graphique élaborée

On peut aussi utiliser la représentation graphique de notre méthode élaborée. Partant du paramètre imposé ($\Delta H = n\% H$), on détermine tous les autres paramètres.

On a :

$$\Delta H_+ = \Delta H / k \quad (\text{III .114})$$

A l'aide du paramètre adimensionnel ΔH_+ on peut déterminer graphiquement (voir les courbes de la méthode élaborée) les paramètres (h_{t+} , h_{r+} , L_+ , H_+) dont le produit par k donnent les grandeurs nécessaires pour dimensionner le bassin de dissipation d'énergie classique.

Conclusion

Avec un paramètre imposé ($\Delta H = n\% H$), le débit Q et la largeur du déversoir, on peut déterminer les autres paramètres dimensionnels du bassin de dissipation d'énergie classique.

Chapitre IV

Vérification expérimentale et application pratique

IV-1-Validation des résultats

-Introduction

Notre méthode graphique élaborée a été validée par des expériences déjà effectuées sur des modèles réduits en laboratoire. Parmi ces expériences on considère l'expérience N°1 (Laboratoire d'hydraulique, ENP. Alger) et l'expérience N°2 (Laboratoire d'hydraulique « Institut de Biskra »).

Le modèle d'application est un déversoir à profil pratique type Greager de hauteur a et de largeur b , suivi d'un bassin de dissipation d'énergie classique.

- Hypothèses de calcul

$$a = 13,5 \text{ cm}$$

$$b = 7,5 \text{ cm}$$

$$Q_{\text{max dever}} = 193 \text{ l/mn}$$

Les débits q

$$4,3 \leq F_1 \leq 5,535$$

Expérience N° 1

$$4,284 \leq F_1 \leq 5,811$$

Expérience N° 2

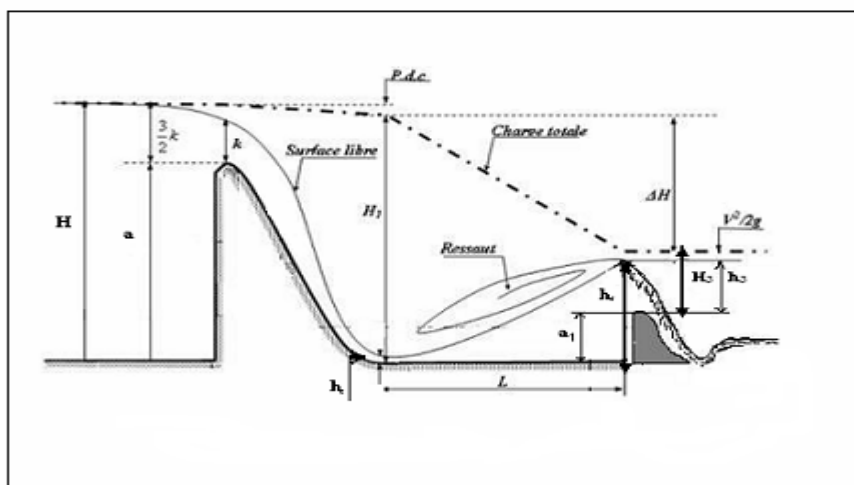


Figure (IV.1) Modèle réduit
(Mahdi, B.,1993)

-Principe des deux expériences

Le principe de ces deux expériences, consiste à déverser des débits différents à travers le 1^{er} seuil et déterminer (lire ou relever) directement sur le modèle réduit les deux profondeurs conjuguées du ressaut hydraulique h_t et h_r , ainsi que la longueur L de ce dernier.

Les résultats des deux expériences N°1 et N°2 sont regroupés dans les tableau (IV.1) et Tableau (IV.2)

- Calcul de la profondeur critique

Les profondeurs critiques sont déterminées pour chaque débit déversé q à l'aide de l'expression suivante :

$$k = (q^2 / g)^{1/3} \quad (\text{IV.1})$$

- Paramètres à déterminer

a) Les caractéristiques principales du ressaut hydraulique tels que

$h_t, h_r, L, H_1, H_2, \Delta H$

b) Les paramètres adimensionnels leur correspondant

$h_{t+}, h_{r+}, L_+, H_{1+}, H_{2+}, \Delta H_+$

IV-1-1 Résultats expérimentaux

1- Résultats expérimentaux N°1. (Mahdi, B., 1993)

Tableau (IV.1) Expérience N°1

q (m ² /s)	0,0425	0,040	0,038	0,035	0,031	0,027	0,020
k (cm)	5,690	5,460	5,280	5,000	4,610	4,200	3,440
h_t (cm)	2,150	2,050	1,95	1,80	1,600	1,420	1,100
h_r (cm)	12,05	11,60	11,30	10,90	10,30	9,55	8,05
L(cm)	69,30	66,83	65,47	63,70	60,83	56,80	48,85
H_1 (cm)	22,06	21,46	21,34	21,09	20,53	19,80	18,30
H_2 (cm)	12,68	12,20	11,87	11,42	10,76	9,94	8,38
ΔH (cm)	9,38	9,26	9,47	9,66	9,77	9,86	9,92
h_{t+}	0,378	0,375	0,369	0,360	0,349	0,338	0,319
h_{r+}	2,118	2,124	2,140	2,180	2,234	2,270	2,348
H_{1+}	3,877	3,930	4,041	4,218	4,454	4,714	5,320
H_{2+}	2,229	2,235	2,249	2,285	2,334	2,367	2,438
L_+	12,18	12,24	12,40	12,74	13,19	13,52	14,20
ΔH_+	1,648	1,695	1,792	1,933	2,12	2,347	2,886

2-Résultats expérimentaux N°2 (Sedani, N . ,1999)

Tableau (IV.2) Expérience N°2

q (m ² /s)	0,021	0,025	0,029	0,033	0,037	0,041	0,0423
k (cm)	3,555	3,994	4,410	4,806	5,187	5,554	5,671
h _t (cm)	1,100	1,350	1,600	1,750	1,900	2,100	2,150
h _r (cm)	8,500	9,050	9,600	10,400	11,200	11,750	12,000
L(cm)	51,79	53,92	56,00	60,55	65,09	69,09	68,96
H ₁ (cm)	19,71	18,83	18,33	19,88	21,26	21,53	19,74
H ₂ (cm)	8,809	9,44	10,06	10 ,90	11,75	12,56	14,65
ΔH(cm)	10,90	9,39	8,27	8,97	9,50	8,97	7,11
h _{t+}	0,309	0,338	0,363	0,364	0,366	0,378	0,379
h _{r+}	2,391	2,266	2,177	2,164	2,159	2,155	2,116
H ₁₊	5,545	4,714	4,157	4,137	4,098	3,877	3,481
H ₂₊	2,478	2,363	2,282	2,270	2,266	2,262	2,227
ΔH ₊	3,067	2,351	1,875	1,867	1,832	1,615	1,254
L ₊	14,57	13,50	12,70	12,60	12,55	12,44	12,16
F ₁	5,811	5,088	4,575	4,550	4,510	4,301	4,284

IV-1-2-Application de la méthode graphique élaborée

- Introduction

Notre objectif est d'appliquer la méthode graphique élaborée et comparer les résultats théoriques donnés par la méthode en question avec les résultats expérimentaux effectués sur modèle réduit.

- Hypothèse de calcul

- Le débit spécifique q
- La charge H à l'amont du 1^{er} seuil

- Paramètre à déterminer graphiquement par la méthode élaborée

h_{t+} , h_{r+} , L_+ , ΔH_+

- Détermination des Paramètres h_{t+} , h_{r+} , L_+ et ΔH_+

Calcul de la profondeur critique

Les résultats de calcul de la profondeur critique k sont mentionnés dans les tableaux (IV. 3) et (IV. 4)

-Détermination de la charge H à l'amont du 1^{er} seuil

La charge à l'amont du 1^{er} seuil est déterminée pour chaque profondeur critique k à l'aide de l'expression suivante :

$$H = a + 1,5k \quad (\text{IV .2})$$

On: $H_+ = H_{1+} = (H_1/k) = (H/k) \quad (\text{IV .3})$

Avec : H_1 : charge à l'amont du ressaut hydraulique (égale à la charge H car les pertes de charge sur le déversoir à profil pratique type Greager sont négligeable)

On démarre de ce paramètre H_+ pour trouver graphiquement les valeurs des autres paramètres adimensionnels tels que : h_{t+} , h_{r+} , L_+ et ΔH_+ dont le produit par k donne les caractéristiques principales du ressaut hydraulique

Les résultats théoriques de l'application de la méthode graphique élaborée sont regroupés dans le tableau (IV.3) et le tableau (IV. 4)

- Résultats théoriques N °1 donnés par la méthode graphique à échelle logarithmique

Tableau (IV.3) Résultats théoriques N°1

q (m ² /s)	0,0425	0,040	0,038	0,0350	0,031	0,027	0,02
k (cm)	5,69	5,46	5,28	5,00	4,61	4,20	3,44
H_1 (cm)	22,03	21,69	21,42	21,00	20,41	19,80	18,66
H_{1+}	3,873	3,970	4,056	4,200	4,428	4,714	5,424
h_{t+}	0,380	0,375	0,370	0,360	0,350	0,340	0,320
h_{r+}	2,11	2,12	2,14	2,20	2,23	2,27	2,35
$10\Delta H_+$	16,45	16,95	17,90	19,40	21,20	23,45	27,80
ΔH_+	1,645	1,695	1,79	1,94	2,12	2,345	2,780
L_+	12,20	12,25	12,50	13,00	13,20	13,60	14,25
H_{2+}	2,228	2,275	2,266	2,260	2,308	2,369	2,644
h_t (cm)	2,16	2,047	1,95	1,80	1,61	1,43	1,10
h_r (cm)	12,00	11,57	11,30	10,95	10,28	9,53	8,08
ΔH (cm)	9,36	9,25	9,45	9,70	9,77	9,85	9,56
H_2 (cm)	12,68	12,42	11,96	11,30	10,64	9,95	9,095
L (cm)	69,32	66,88	65,50	63,75	60,85	56,85	48,90

-Résultats théoriques N °2 donnés par la méthode graphique à échelle logarithmique

Tableau (IV.4) Résultats théoriques N °2

q (m ² /s)	0,021	0,025	0,029	0,033	0,037	0,041	0,0423
k(cm)	3,555	3,994	4,410	4,806	5,187	5,554	5,671
H ₁ (cm)	18,83	19,49	20,11	20,709	21,28	21,83	20,00
H ₁₊	5,30	4,88	4,56	4,309	4,103	3,93	3,88
h _{t+}	0,32	0,33	0,35	0,36	0,365	0,370	0,375
h _{r+}	2,35	2,27	2,23	2,20	2,16	2,156	2,13
10 ΔH ₊	30	24	23	22	18,4	16,2	16,15
ΔH ₊	3,00	2,40	1,90	1,85	1,80	1,62	1,30
L ₊	14,6	13,8	12,8	12,6	12,5	12,20	12,00
h _t (cm)	1,14	1,318	1,540	1,73	1,89	2,055	2,126
h _r (cm)	8,45	9,066	9,63	10,47	11,20	11,77	12,08
H ₂ (cm)	8,18	9,91	11,73	11,82	11,94	12,84	14,63
ΔH(cm)	10,66	9,58	8,38	8,87	9,34	8,99	7,37
L (cm)	51,80	55,12	56,05	60,55	65	69	68,95

IV-1-3- Interprétation des résultats

La comparaison des résultats est caractérisée par les écarts mentionnés ci-dessous :

Ecart N°1

C'est la différence entre la 1^{er} profondeur conjuguée h_t du ressaut, donné par l'expérience N °1 ou N°2 et la 1^{er} profondeur conjuguée h_t du ressaut trouvée d'après les résultats théoriques N°1 ou N°2 donnés par la représentation graphique de la méthode élaborée .

Ecart N°2

C'est la différence entre la 2^{eme} profondeur conjuguée du ressaut, donné par l'expérience N°1 ou N °2 et la 2^{eme} profondeur conjuguée du ressaut trouvée d'après les résultats théoriques N°1 ou N°2 donnés par la représentation graphique de la méthode élaborée

Ecart N°3

C'est la différence entre la longueur L du ressaut , donné par l'expérience N °1 ou N °2 et la longueur L du ressaut trouvée d'après les résultats théoriques N°1 ou N°2 donnés par la représentation graphique de la méthode élaborée

Ecart I

C'est la différence entre les résultats théoriques N°1 et les résultats expérimentaux N°1

Ecart II

C'est la différence entre les résultats théoriques N°2 et les résultats expérimentaux N°2

Ecart relatif

Comme les expériences au laboratoire ont été menées minutieusement et avec une grande Prudence, le concept de la fiabilité des résultats théoriques est pris comme suit :

On considère comme valeur de référence la valeur expérimentale V_{exp} et soit $V_{théo}$ la valeur théorique donnée par la méthode en question, l'écart relatif est la valeur absolue de la différence entre la valeur théorique $V_{théo}$ et la valeur expérimentale V_{exp} divisé par la valeur expérimentale V_{exp} . On a :

$$\text{Ecart relatif} = \left| \frac{V_{théo} - V_{exp}}{V_{exp}} \right| \quad (\text{IV.4})$$

Ecart relatif I

C'est l'écart relatif entre les résultats théoriques N°1 et les résultats expérimentaux N°1

Ecart relatif II

C'est l'écart relatif entre les résultats théoriques N°2 et les résultats expérimentaux N°2

Tableau (IV.5) Ecart I

Ecart I			Ecart I en %		
Ecart N°1	Ecart N°2	Ecart N°3	Ecart N°1	Ecart N°2	Ecart N°3
0,01	0,05	0,02	1	5	2
0,003	0,03	0,05	0,3	3	5
0	0	0,03	0	0	3
0	0,05	0,05	0	5	5
0,01	0,02	0,02	1	2	2
0,01	0,02	0,05	1	2	5
0	0,03	0,05	0	3	5

Tableau (IV.6) Ecart II

Ecart II			Ecart II en %		
Ecart N°1	Ecart N°2	Ecart N°3	Ecart N°1	Ecart N°2	Ecart N°3
0,04	0,05	0,01	4	5	1
0,032	0,016	0,01	3,2	1,6	1
0,06	0,03	0,05	6	3	5
0,02	0,07	0	2	7	0
0,01	0	0,09	1	0	9
0,05	0,02	0,09	5	2	9
0,02	0,01	0,01	2	1	1

Tableau (IV.7) Ecart Relatif I

Ecart Relatif I			Ecart Relatif I en %		
N°1	N°2	N°3	N°1	N°2	N°3
0,0046	0,0041	0,0017	0,46	0,41	0,17
0 ,0014	0 ,0026	0,00075	0,14	0,26	0,075
0	0	0,00046	0	0	0,046
0	0,0092	0,0016	0	0,92	0,16
0,0062	0,0019	0,00033	0,62	0,19	0,033
0,007	0,0021	0,0017	0,70	0,21	0,17
0	0 ,0037	0,0035	0	0,37	0,35

Tableau (IV.8) Ecart Relatif II

Ecart Relatif II			Ecart Relatif II en %		
N°1	N°2	N°3	N°1	N°2	N°3
0,036	0,0176	0,00212	3,6	1,76	0,212
0 ,0237	0,00176	0,000185	2,37	0,176	0,0185
0 ,0375	0,00312	0,00267	3,75	0,312	0,267
0,0114	0,01634	0	1,14	1,63	0
0,0053	0,0134	0	0,53	1,34	0
0,0238	0,0102	0,0027	2,38	1,02	0,27
0,0093	0 ,00083	0,000145	0,93	0,083	0,0145

Remarque N°1

On fonction du tableau(IV.5),on constate que l'écart I entre les résultats expérimentaux N°1 et les résultats théoriques N°1 donnés par la méthode en question ,est faible ,l'écart est estimé à 3 % ce qui montre l'approche et la coïncidence des résultats.

Remarque N°2

Egalement , on constate que l'écart II tableau(IV.6)entre les résultats expérimentaux N°2 et les résultats théoriques N° 2 donnés par la méthode en question ,est faible ,l'écart est estimé à 5 % , écart acceptable ce qui montre aussi l'approche et la coïncidence des résultats obtenus. Puisque l'écart N°1 est faible, donc la charge H_1 à l'amont du ressaut déterminé en fonction de la valeur expérimentale de la 1^{ère} profondeur conjuguée du ressaut est aussi très proche de la charge H_1 qu'on détermine à l'aide de la représentation graphique de la méthode élaborée. Même observation pour la charge H_2 à l'aval du ressaut, donc la perte de charge ΔH produite par le ressaut déterminée en fonction des valeurs expérimentales H_1 et H_2 sera aussi proche de la perte de charge ΔH qu'on détermine graphiquement.

Remarque N°3

On constate aussi que l'écart relatif est très faible.

Conclusion

Les remarques N°1, N°2 et N°3 montrent que les résultats théoriques sont très proches des résultats expérimentaux, ce qui confirme la fiabilité de notre méthode graphique élaborée.

IV-2 Applications pratiques de la méthode élaborée aux barrages en exploitation de Harreza et Djorf Torba.

IV-2-1 Exemple N°1 (Barrage de Harreza) (Agence Nationale de Barrage, 1985)

- Introduction

Le site du barrage de Harreza se trouve à 15 km au sud-ouest de la ville d'El Khemis Miliana, sur l'oued Harreza, qui est un affluent rive gauche de l'oued Chélif.

La digue principale d'une hauteur maximale de 41m, permet la construction d'un barrage d'accumulation d'un volume total de 70 millions de m³.

Cet aménagement est destiné à satisfaire partiellement les besoins en eau d'irrigation de la haute plaine rive gauche du Chélif par stockage et régularisation des apports naturels de l'oued Chélif à partir de la station de pompage d'El Khemis II.

L'évacuateur de crue est incorporé dans le corps du barrage, le déversoir est à profil pratique type Greager suivi d'un bassin de dissipation d'énergie classique.

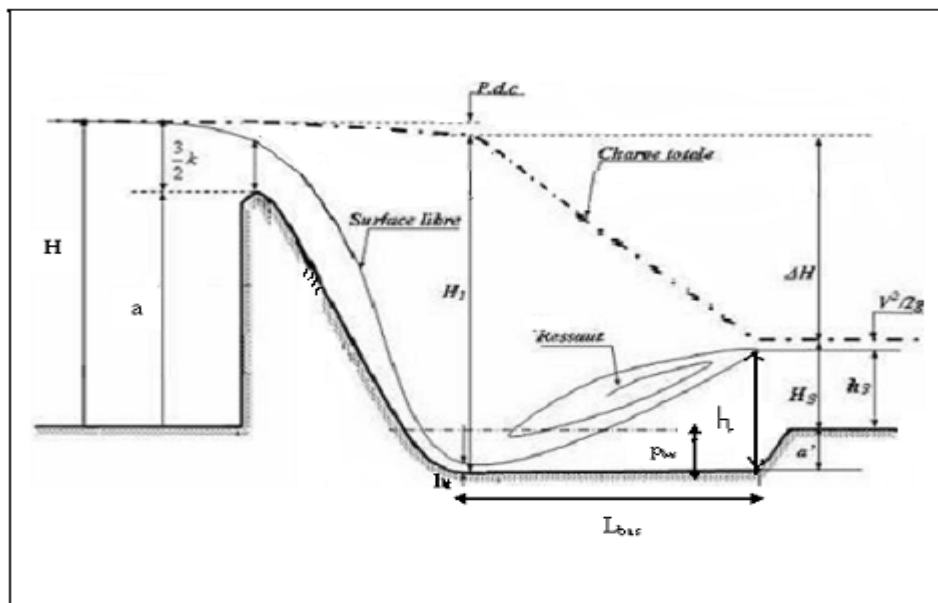


Figure (IV.2) Déversoir à profil pratique type Greager suivi d'un bassin de dissipation classique profond (Barrage de Harreza) (Agence Nationale de Barrage, 1985)

-Hypothèse de calcul

- $a_{\max}=8\text{m}$
- $b=64,5\text{m}$
- $L_{\text{bas}}=L=20\text{m}$
- $p_{\text{bas}}=4,5\text{m}$
- $Q_{\text{max d\`ever}} = 350\text{m}^3/\text{s}$ (crue cinquantenaire)
- $N_C=317\text{m}$
- $N.N.R =313\text{m}$

- Paramètres à déterminer

-q, k, N_T , a, H

-Détermination des Paramètres préliminaires

Les résultats de calcul de ces paramètres sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau (IV.9) Paramètres préliminaires (Barrage de Harreza)

q (m ² /s)	k (m)	N_T (m)	a (m)	H (m)
5,42	1,43	309	4	10,64

IV-2-1-1 Application de la méthode graphique élaborée

- Hypothèse de calcul

- $p_{\text{bas}}=4,5\text{m}$
- $k=1,43\text{m}$
- $a=4\text{m}$

Avec :

$$- H_+ = H_{1+} = H/k \qquad H = H_1 = p_{\text{bas}} + a + 1,5k \qquad \text{(IV .5)}$$

-Paramètres adimensionnels à déterminer à partir de la représentation graphique de la méthode élaborée

L_+ , h_{t+} , h_{r+} , ΔH_+

-Les résultats de l'application de la méthode graphique élaborée sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

On calcule la charge H à l'amont du déversoir par rapport au plan de référence qui passe par le fond du bassin de dissipation, puis on démarre du paramètre adimensionnel H_+ pour déterminer graphiquement les autres paramètres.

Tableau (IV.10) Paramètres adimensionnels déterminés par la méthode élaborée (Barrage de Harreza)

H_+	L_+	h_{t+}	h_{r+}	ΔH_+
7,44	14,1	0,28	2,7	5,5

-Paramètres hydrauliques à déterminer par des méthodes analytiques

$L, \Delta H, h_t, h_r, V_1, V_2, \eta, F_1$

L'application de la méthode théorique a donnée les résultats mentionnés dans le tableau ci dessous

Tableau (IV.11) Paramètres hydrauliques déterminés par des méthodes analytiques (Barrage de Harreza)

L (m)	h_t (m)	h_r (m)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	ΔH (m)	η %	F_1
20,16	0,4	3,86	13,55	1,4	7,86	74	6,84

IV-2-1-2 Interprétation des résultats

On constate que la longueur du bassin ($L_{bas}=L=20,16$ m) déterminée par la méthode graphique est très proche de la valeur réelle sur terrain ($L_{bas} =20$ m) déterminée par les méthodes traditionnelles après étude sur modèle réduit.

On remarque aussi que la réduction de la vitesse de l'écoulement à l'aval du ressaut ainsi que les pertes de charge produite par ce dernier sont importantes, donc la dissipation d'énergie de l'écoulement est aussi.

Egalement on constate que le nombre de Froude F_1 est supérieur à 4,5, donc le ressaut est efficace et stationnaire.

Conclusion

La méthode graphique élaborée a permis de donner un résultat « $L_{bas}=20,16$ m »conforme à la réalité ($L_{bas} =20$ m), ce qui explique la consistance, la puissance et la validité de la méthode graphique établie.

En conclusion la méthode en question permet de donner des résultats identiques à celles de la pratique déterminés par des études sur modèle réduit, utilisé comme support technique incontournable pour la détermination technico-économique de l'ouvrage en question.



Figure (IV.3) Barrage de Harreza

IV-2-2 Exemple N°2 (barrage de Djorf Torba) (Belouni, MG. & Bouloc, J. & Goguel, B & Sahraoui, T., 1983)

-Introduction

Il est apparu nécessaire de revoir l'évacuateur de crues du barrage de Djorf Torba pour des raisons de sécurité, ce barrage achevé 1968 sur l'oued Guir où il crée une retenue considérée parmi les plus grandes retenues d'Algérie, malgré sa hauteur modeste de 35m.

La partie centrale de ce long barrage – poids en béton est équipée de seuils déversants pouvant lâcher jusqu'à 3500m³/s sur un tapis déflecteur de 100m de large (le bassin de dissipation d'énergie) ces seuils déversants présentent deux niveaux différents de déversement.

Le barrage de Djorf Torba est destiné à amortir les crues violentes de l'oued Guir et à régulariser les apports au profit des irrigations de la plaine d'Abadla .

La construction d'un nouveau modèle réduit hydraulique s'imposait pour permettre l'introduction de nouvelles données apparues entre temps.

La construction de ce modèle à l'échelle 1/50^e, avec quelques mois d'essais ont permis de confirmer les craintes relatives à la stabilité de l'ouvrage, mais aussi de réduire au minimum l'ampleur et la difficulté des travaux de consolidation nécessaires.

Le barrage de Djorf Torba est un barrage poids en béton déversoir à profil classique avec une partie centrale déversante à profil pratique type Greager, suivi d'un bassin de dissipation classique.

Le modèle réduit hydraulique a été construit au L.C.H.F, ce modèle a constitué un outil important et indispensable pour l'étude et l'amélioration de la restructuration du déversoir de crues de Djorf Torba, l'étude rendue nécessaire par une révision des estimations hydrologiques et des risques de déversements .

Egalement pour préciser les limites de stabilité du ressaut dans le bassin de dissipation et apprécier les risques d'affouillement compte tenu de l'absence du seuil aval..

La nouvelle étude a permis la réactualisation de l'étude hydrologique et l'étude des risques de déversements ce qui explique l'existence d'un déversoir à deux niveaux.

- Solutions finale trouvée par l'étude sur modèle réduit hydraulique

La recherche de solutions a été faite avec un souci d'économie et de simplicité, ce qui a permis d'éviter :

- Le prolongement du bassin de dissipation
- L'approfondissement du parafouille existant

La Solution finale consiste à édifier un seuil aval continu de 2m de hauteur.

Cette solution est accompagnée d'une surélévation des bajoyers existants modulés d'amont en aval.

Paramètres hydrauliques du bassin de dissipation trouvés par l'étude sur modèle réduit hydraulique

**Tableau (IV.12) Paramètres hydraulique
Trouvés par l'étude sur modèle réduit
(Barrage Djorf Torba)**

V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	ΔH (m)	F ₁
27,1	2,7	23,75	7,5

Hypothèse de calcul

$Q_{\text{maxdèver}} = 3500 \text{ m}^3/\text{s}$ (crue millénale)

$b = 100 \text{ m}$

$L_{\text{bas}} = L = 35 \text{ m}$

$a_{\text{maxbar}} = 35 \text{ m}$

$N_c = 706 \text{ m}$

$N.N.R = 701,5 \text{ m}$

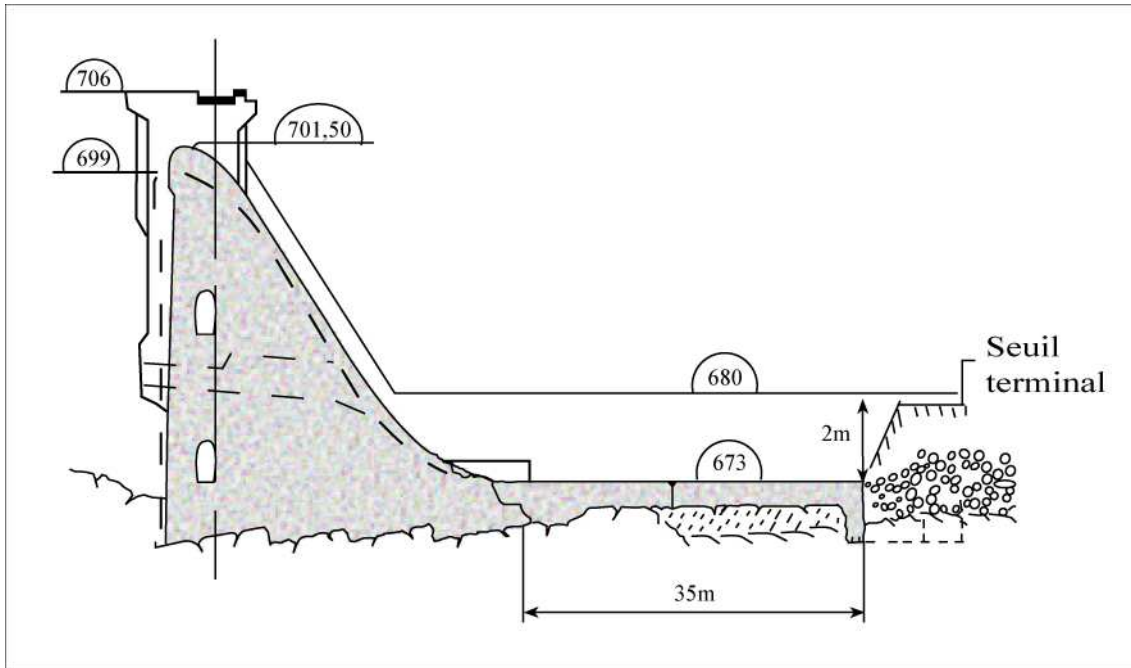


Figure (IV.4) Barrage de Djorf Torba
(Belouni, MG. & Bouloc, J. & Goguel, B. & Sahraoui, T., 1983)

-Paramètres hydrauliques préliminaires à déterminer par des méthodes analytiques
 N_T, a, q, k, H

Les résultats de calcul de ces paramètres sont regroupés dans le tableau ci dessous

Tableau (IV.13) Paramètres hydrauliques préliminaires (Barrage Djorf Torba)

N_T (m)	a (m)	q (m^2/s)	k (m)	H (m)
671	30,5	35	4,96	36

IV-2-2-1 Application de la méthode graphique élaborée

-Hypothèse de calcul

$H = 36 \text{ m}$ (avec H la charge à l'amont du barrage déversoir par rapport au plan de référence qui passe par le fond du bassin de dissipation .

$H_+ = 7,26$ avec : $(H_+ = H / k)$

-Paramètres adimensionnel à déterminer à partir de la représentation graphique de la méthode élaborée

$h_{t+}, h_{r+}, \Delta H_+, L_+$

Les résultats théoriques de la méthode graphique élaborée sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

On démarre du paramètre H_+ , pour trouver les autres paramètres graphiquement.

Tableau(IV.14) Paramètres adimensionnel déterminés par la méthode élaborée (Barrage Djorf Torba)

h_{t+}	h_{r+}	ΔH_+	L_+
0,26	2,6	4,8	16

- Autre paramètres hydrauliques à déterminer par des méthodes analytiques

$h_t, h_r, \Delta H, L, V_1, V_2, \eta, F_1$

Les résultats de calcul de ces paramètres sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Tableau (IV.15) Paramètres hydrauliques déterminés par des méthodes analytiques (Barrage Djorf Torba)

h_t (m)	h_r (m)	ΔH (m)	L (m)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	η %	F_1
1,29	12,9	23,8	79,36	27,13	2,71	66,22	7,55

IV-2-2-2 Interprétation des résultats

La comparaison des résultats théorique avec les résultats pratique trouvés par l'étude sur modèle réduit hydraulique est caractérisée par les écarts mentionnés ci-dessous.

Ecart N°1 : c'est la différence entre la valeur théorique de la vitesse à l'amont du ressaut et la valeur pratique de cette dernière trouvée par l'étude sur modèle réduit hydraulique

Ecart N°2 : c'est la différence entre la valeur théorique de la vitesse à l'aval du ressaut et la valeur pratique de cette dernière trouvée par l'étude sur modèle réduit hydraulique

Ecart N°3 : c'est la différence entre la valeur théorique de la perte de charge produite par le ressaut et la valeur pratique de cette dernière trouvée par l'étude sur modèle réduit hydraulique

Ecart N°4 : c'est la différence entre la valeur théorique du nombre de Froude à l'amont du ressaut et la valeur pratique de ce dernier trouvée par l'étude sur modèle réduit hydraulique

Ecart relatif : On considère comme référence la valeur pratique trouvée par l'étude sur modèle réduit, dans ce cas l'écart relatif c'est la valeur absolue de la différence entre la valeur théorique $V_{théo}$ et la valeur pratique V_p trouvée par l'étude sur modèle réduit hydraulique divisé par la valeur pratique trouvée par ce dernier.

$$\text{Ecart relatif} = \left| \frac{V_{théo} - V_p}{V_p} \right| \quad (\text{IV.6})$$

Tableau (IV.16) Ecart des résultats (Barrage Djorf Torba)

Ecart				Ecart en %			
Ecart N°1	Ecart N°2	Ecart N°3	Ecart N°4	Ecart N°1	Ecart N° 2	Ecart N° 3	Ecart N°4
0,03	0,01	0,05	0,05	3	1	5	5

Tableau (IV.17) Ecart relatif des résultats (Barrage Djorf Torba)

Ecart relatif				Ecart relatif en %			
Ecart N°1	Ecart N°2	Ecart N°3	Ecart N°4	Ecart N°1	Ecart N° 2	Ecart N° 3	Ecart N°4
0,0011	0,0037	0,0021	0,0067	0,11	0,37	0,21	0,67

On constate que: les Ecart N°1, Ecart N°2, Ecart N°3 et Ecart N°4 sont très faibles ainsi que leurs pourcentages ce qui explique que les valeurs théoriques trouvées par la méthode élaborée sont très proches des valeurs pratiques trouvées par l'étude sur modèle réduit, ce qui confirme encore la validité de la méthode élaborée à l'exception de la longueur du bassin

(du ressaut hydraulique), mais l'étude sur modèle réduit hydraulique a permis de résoudre ce problème, il est apparu possible d'éviter le prolongement du bassin de dissipation, en édifiant un seuil aval continu de 2m de hauteur.

Cette solution est accompagnée d'une surélévation des bajoyers existants modulés d'amont en aval.

Conclusion

L'analyse des résultats théoriques trouvés par la méthode graphique élaborée et la comparaison de ces résultats avec les valeurs pratiques données par l'étude sur modèle réduit hydraulique confirme la consistance et la fiabilité de la méthode élaborée.

Nous constatons que malgré le bassin de dissipation est sous dimensionné, la réduction de la vitesse de l'écoulement à l'aval du ressaut hydraulique, ainsi que les pertes de charge produites par ce dernier sont importantes. Le problème de sous dimensionnement est résolu grâce à l'étude sur modèle réduit hydraulique.

La solution consiste à édifier un seuil aval continu de 2m de hauteur.

Cette solution est accompagnée d'une surélévation des bajoyers existants modulés d'amont en aval.

Observation.

La surélévation des bajoyers dans le cas du bassin de dissipation sous dimensionné permet une augmentation artificielle de la profondeur de l'écoulement à la section aval du ressaut hydraulique pour un débit de dimensionnement du bassin de dissipation ce qui implique une réduction de la vitesse de l'écoulement à l'aval du ressaut hydraulique, donc une diminution de l'énergie cinétique de l'écoulement et une régulation des débits de crues exceptionnelles pour éviter tout débordement ou submersion dans le cas où le problème de l'information hydrologique se poserait..



Figure (IV.5) Barrage de Djorf Torba

Conclusion générale

Le bassin de dissipation d'énergie classique joue un rôle très important pour la sécurité du barrage et de la protection de l'environnement contre les inondations, les phénomènes d'érosion et d'affouillement à l'aval de l'ouvrage.

Il permet de dissiper l'énergie potentielle créée par le barrage après le passage de la crue extrême sur le déversoir, et de régulariser de manière naturelle et avec une grande sécurité le déversement ou l'élévation du plan d'eau sur la crête du déversoir et permet aussi de réduire la vitesse de l'écoulement à l'aval d'un barrage.

La fiabilité d'un bassin de dissipation est fonction de sa conception, de l'information hydrologique utilisée et de son dimensionnement pour avoir un fonctionnement optimal et assurer la sécurité à l'exploitation du barrage.

La présente étude a eu pour but d'étudier et de présenter les méthodes de dimensionnement du bassin de dissipation classique utilisées, de faire des observations et des critiques de ces dernières et de proposer ou d'élaborer une éventuelle méthode afin d'améliorer la résolution de ces ouvrages hydrauliques.

Nous venons de proposer une méthode grapho-analytique, se basant sur les équations classiques d'un ressaut hydraulique stationnaire se produisant dans un bassin de dissipation classique.

L'intégration et l'utilisation des paramètres adimensionnels à lever l'indétermination et a étendu l'expansion et l'utilisation de cette méthode à tous les types de bassin de dissipation classique et à rendre la méthode beaucoup plus flexible et rapide tout en permettant de faire une résolution complète de l'ouvrage, tout en ayant l'avantage de résoudre n'importe quel problème se rapportant au thème étudié en connaissant seulement un paramètre donné ou imposé, le débit de crue et la largeur du déversoir.

Cette méthode a aussi l'avantage de nous permettre même de prendre en considération les contraintes topographiques, technico-économiques et la préservation de l'environnement.

La validité de la méthode grapho-analytique élaborée a été confrontée à une application sur des modèles réduits déjà élaborés en ce sens, à des applications sur des ouvrages hydrauliques déjà existant en exploitation.

Les comparaisons des résultats théoriques, pratiques et ceux donnés par la présente méthode élaborée ont donné des résultats satisfaisants, avec une bonne concordance et approche, ce qui met en considération l'apport que peut apporter l'utilisation de cette méthode dans la conception et le dimensionnement des bassin de dissipation classique et ce qui peut faciliter et réduire même les éventuelles études sur modèles réduits ainsi que le travail du concepteur.

Nous soulignerons encore une seconde fois que c'est une méthode simple, rapide et directe qui prend en considération les différents paramètres d'un bassin de dissipation d'énergie classique et les contraintes imposées par la topographie du site, celles liées à l'environnement et au côté technico-économique, caractéristique intrinsèque et particularité de la méthode et l'objectif principal de cette présente étude.

La méthode en question permet de démarrer à partir de n'importe quel paramètre adimensionnels du bassin de dissipation d'énergie classique pour déterminer les autres paramètres par simple lecture sur le graphe et en multipliant chaque paramètre par la profondeur critique k correspondant au débit spécifique q , pour obtenir les autres grandeurs dimensionnelles du bassin de dissipation classique.

L'analyse des résultats expérimentaux et théorique obtenues par applications aux ouvrages hydrauliques en exploitations a permis de conclure la consistance et la fiabilité de la méthode élaborée.

Des résultats appréciables ont été notés et finalement, la méthode s'est étendue avec succès dans différents domaines d'application des bassins de dissipation classique.

Nous recommandons de bien dimensionner les éléments de l'évacuateur de crue tels que : le déversoir, le coursier et bien calculer le débit maximum déversé pour avoir un débit correct arrivant au bassin de dissipation d'énergie car le dimensionnement de ce dernier dépend en grande partie de ce débit exceptionnel.

Le bassin de dissipation d'énergie classique est exposé à divers dommages, il est de l'intérêt de la structure de bien calculer la vitesse maximale de l'écoulement près du fond du bassin de dissipation et à l'aval de celui-ci. L'objectif par là est de choisir le matériau nécessaire pour protéger l'ouvrage.

Des dispositifs doivent être mis en place afin de lutter contre tout phénomène susceptible d'endommager le bassin de dissipation d'énergie.

Un système de drainage efficace et des joints de dilatation sont obligatoires sous le bassin de dissipation d'énergie contre la présence des sous pressions en particulier pendant le fonctionnement du ressaut hydraulique, aussi des joints de water stop et redans anti-renards sont nécessaires respectivement contre les infiltrations et le phénomène de renard.

La conception, le dimensionnement et l'exploitation doivent obéir à plusieurs facteurs tels que l'aspect technique- économique de l'ouvrage, la dissipation d'énergie, la protection de l'environnement (inondation et érosion, préservation de la flore et de la faune).

Le bassin de dissipation d'énergie classique doit être fiable et conçu de telles sortes à répondre à toutes les contraintes rencontrées en pratiques.

BIBLIOGRAPHIE

Alychev, V. & Kréménetski, N. & Shtérenliht, D. Yakovlev, A.L., (1984). «Hydraulique». Mir, Moscou, 170 pages

Agence Nationale de Barrage, (1985). «Etude du barrage de Harreza », Alger, 450 pages

Belouni, MS. & Bouloc, J. & Goguel, B. & Sahraoui, T., (1983). «Restructuration du déversoir du barrage de Djorf Torba ». La houille blanche, N°3/4, pp231-238.

Bradly, J.N. & Peterka, A.J., (1957). « The Hydraulic design of stilling basins: Hydraulic jump on a horizontal apron ». Proc. ASCE, J. Hydraulics Division, Vol. 83, pp1-24.

Carlier, M., (1986). «Hydraulique générale et appliquée». Edition Eyrolles, Paris, France, 565 pages

Degoutte, G., 1990. «Procédé Hydroplus», Rapport d'expertise technico-économique à l'ANVAR. p17.

Degoutte, G., Royet, P., 1993, «Sécurité des Barrages en service», Session de formation continue de l'ENGREF, Montpellier, 25 au 28 Mai 1993. CEMAGREF pp 21 -25.

Degoutte, G., 1997. «Barrages en Remblai. Dans Petits Barrages». Chap.4. Editions : Cemagref, Paris (France), pp.67-111.

Durand, J.M. & Meriaux, P & Royet, P., (1999). «Technique des petits barrages en Afrique Sahélienne et Equatorial », E I E R Cemagref, Paris, 140 pages.

Greager, M., (1957). «Evacuateur de crue à surface libre». Edition Eyrolles, Paris, France, 160 pages

Gresillon J.M., (1981). « Contribution à l'étude des petits barrages », Bulletin technique n°5 de l'E.I.E.R.- Ouagadougou. pp 12-18.

Hager, W.H., (1991). «Energy dissipaters and hydraulic jump». Kluwer Academic Publishers Dordrecht. The Netherlands. 288 pages

Hager, W.H. & Sinniger, Richard .O. (1989). «Construction hydraulique ». Presses Lausanne .Polytechniques romandes, Lausanne, Vol 15 ,460 page

Lancastre, A., (1999). «Hydraulique générale » Edition Eyrolles, 633 pages.

Mahdi, B., (1993). «Détermination du débit maximum et du débit minimum compatible en présence du ressaut (phénomène d'hystérésis) ». Mémoire de magister, E.N.P d'Alger, 54 pages.

Naoumenko, I., (1974). «Gidravlika i girotechnika» N°19, Kiev, 360 pages.

Rolley, R., (1974). «Technique des barrage en aménagement rural».Ministère de l'Agriculture, France ,318pages

Sanglèrat, C., (1990). « Mécaniques des sols». Edition Eyrolles, 350 pages.

Sedani,N., (1999). «Contribution à l'étude du ressaut hydraulique dans un bassin de dissipation rectangulaire ». Mémoire de magister, Université de Biskra, Institut d'hydraulique, 89 pages.

Tchouguaev, R.R.,(1975).«L'énergie hydraulique (Hydraulic power)». Mir, Moscou, 405 pages

US Bureau of Reclamation .,(1987). «Design of Small Dams», Revised Reprint, Washington. pages

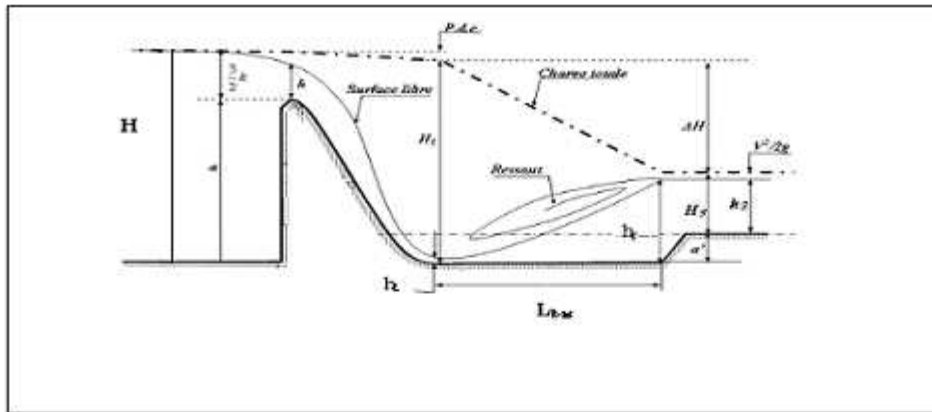


Figure N°1 Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique

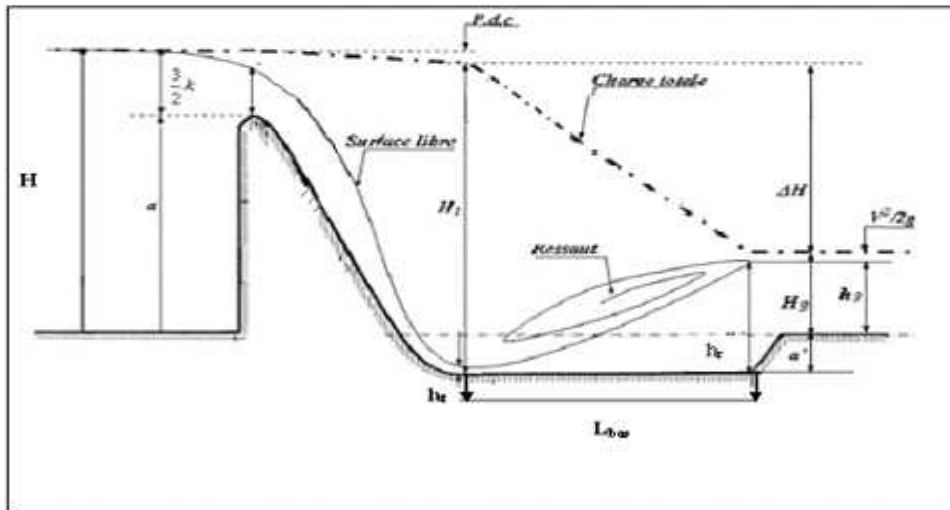


Figure N°2 Barrage déversoir suivi d'un bassin de dissipation classique profond