

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0027-16

APA Citation (APA توثيق):

Bouguerrouche, Salem (2016). Synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique*

Département Hydraulique
Urbain

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

OPTION : Assainissement

**THEME : SYNTHÈSE DES LOIS D'ÉCOULEMENT AU
DROIT DES SEUILS ET DEVERSOIRS : ÉTUDE
THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE**

Présenté par :

M^r : BOUGUERROUCHE Salem

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr : KHODJET-KESBA Omar	Professeur	Président
Mr : KHAHLERRAS Djilali	M.C.B	Examineur
M ^{me} : AMMOUR Fadhila	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} : SALHI Chahrazed	M.A.B	Examinatrice
Mr : BOUKHELIFA Mustapha	M A.B	Promoteur

Juin 2016

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions.

je remercie MES PARENTS qui ont consacré toute leur vie pour je puisse accomplir mes études et tous les autres membres de ma famille qui m'ont aidés et encouragés quel que soit les conditions, en particulier mon frère Moussa. et je profite l'occasion pour prier pour mon frère Lakhdar : que dieu lui accueillera dans son vaste paradis.

J'aimerais exprimer ma gratitude pour la patience, le soutien et l'aide qu'a pu m'apporter mon promoteur M^r: BOUKHELIFA. Ainsi que sa disponibilité tout le long de l'élaboration de ce travail.

Sans oublier de remercier tous mes amis de l'ENSH spécialement achrik lhachimi, khali moh, dda abdesslam, ali hadj said, khoya ali , khoya fouzi , idris saidani, Kamilya, Yacine, Brahim et Abdou.

je profite l'occasion aussi pour remercier mes amis de l'enfance particulièrement : Bilal, karim , Dyhia, Brahim, Hilal et Mohand.

A tout Les membres de la bibliothèque de l'E.N.S.H, pour leurs précieuses aides.

A tout le corps enseignant et personnel de L'ENSH qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail.

BOUGUERROUCHE SALEM

ملخص :

يهدف هذا العمل إلى دراسة المصادقة على قوانين السيالان المستخدمة لقياس التدفق في العتبات و مصارف المياه. لهذا قمنا بإجراء دراسة سيالان المياه على مجموعة من المصارف وضعت على قناة تجريبية مع معدلات تدفق مختلفة، تعتمد هذه العملية على تحديد معاملات تدفق تجريبية التي يتم مقارنتها مع قيم نظرية نحصل عليها بقوانين نظرية وبالتالي التحقق من صحة هذه القوانين. تتم هذه المقارنة باستعمال أسلوب معدل الخطأ المربع. وعلاوة على ذلك، هذا العمل يهدف أيضا إلى تحديد العتبات الأكثر كفاءة وذلك بأخذ القدرة على تصريف التدفق كمعيار في هذا التحديد. وأخيرا يتم إعطاء بعض شروط الاستخدام التجريبي و الفعلي و العتبات الجيد للعتبات.

Résumé :

Ce travail a comme objectif d'étudier la validation des lois d'écoulement utilisées pour la quantification du débit au droit des seuils et des déversoirs. Pour cela nous avons procédé par l'étude de l'écoulement au-dessus de 11 déversoirs placés sur un canal expérimental avec des débits différents, ce processus vise la détermination des coefficients de débits expérimentaux qui vont être ensuite comparés avec leurs valeurs théoriques obtenues par des lois dont il est question d'étudier leur validation. L'étude comparative se fera par la méthode de l'erreur moyenne quadratique. Ce travail vise également la détermination des déversoirs les plus performants et cala en prenant comme critère la capacité d'évacuation du débit. Enfin quelques conditions de performance lors de l'utilisation expérimentale ou réelle des déversoirs sont données.

Abstract:

This work aims to study the validation of flow laws used to measure the flow at right thresholds and weirs. For this we conducted the study of flow over 11 spillways placed on some experimental channel with different flow rates. This process aimed at determination of experimental flow coefficients that will be then compared with theoretical values obtained by laws and which can permit to study validation. The comparative study will be done by the method of mean square error. Moreover, this work is the determination of the most efficient weirs by taking as criterion the flow discharge capacity. Finally, some performance conditions during the experimental or actual use of weirs are given.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Revue bibliographique des lois d'écoulement au niveau des seuils et des déversoirs	
I.1.Introduction :.....	2
I.3.Rappel de quelques notions hydrauliques :	2
I.3.1.Notion de débit :	2
I.3.2.Notion de charge hydraulique :	2
I.4.Caractéristiques géométriques des déversoirs :	3
I.5.Méthode générale de calcul de débit transitant par un seuil :	4
I.5.1.détermination du type de crête du seuil :	4
I.5.1.1.Généralités :	4
I.5.1.2.Incertitude sur le type de crête du seuil :	5
I.5.1.3.Particularités du seuil à crête épaisse :	5
I.5.2.détermination du régime d'écoulement :	6
I.5.3.choix et utilisation de la formule de débit adéquate :	7
I.5.3.1.déversoir à crête mince :	7
I.5.3.2. déversoir à crête épaisse :	17
I.5.3.3.Déversoir à crête non définie (à siphon) :	26
I.6.Conclusion :	27
Chapitre II : Présentation des pilotes et instruments de mesure	
II.1.Introduction :	28
II.2.description du canal expérimental :	28
II.3.description des déversoirs :	31
II.3.1.déversoirs à crête mince :	31
II.3.1.1.déversoir triangulaire :	31
II.3.1.2.déversoir rectangulaire:	31
II.3.1.3.déversoir trapézoïdale:	32
II.3.2.déversoirs à crête épaisse :	33
II.3.2.1.à paroi épaisse avec arrête arrondie :	33
II.3.2.2.à paroi épaisse avec arrête vive :	33
II.3.2.3.Déversoirs à tête arrondie :	34
II.3.2.4.Déversoirs à tête arrondie avec mesure de pression:	35
II.3.2.5.Déversoirs cunéiforme :	36
II.3.3.Déversoirs à crête non définie :	36
II.3.3.1.à siphon :	36

II.4.Instruments de mesure :	37
II.5.Conclusion :	38

Chapitre III : Validation des lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs sur canal expérimental

III.1.Introduction :	39
III.2.Présentation de la méthode de l'erreur moyenne quadratique :	39
III.3.Présentation des résultats des calculs :	40
III.3.1.Déversoir à paroi mince rectangulaire sans contraction latérale :	40
III.3.1.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	40
III.3.1.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	40
III.3.1.3.résultats de calculs :	40
III.3.1.4.Intérprétation des résultats :	41
III.3.2.Déversoir à paroi mince rectangulaire avec contraction latérale :	41
III.3.2.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	41
III.3.2.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	41
III.3.2.3.résultats de calculs :	41
III.3.2.4.Intérprétation des résultats :	42
III.3.3.Déversoir à paroi mince triangulaire :	42
III.3.3.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	42
III.3.3.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	42
III.3.3.3.résultats de calculs :	42
III.3.3.4.Intérprétation des résultats :	43
III.3.4.Déversoir à paroi mince trapézoïdale :	43
III.3.4.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	43
III.3.4.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	43
III.3.4.3.résultats de calculs :	43
III.3.4.4.Intérprétation des résultats :	43
III.3.5.Déversoir à paroi épaisse à crête arrondie sans contraction latérale :	44
III.3.5.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	44
III.3.5.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	44
III.3.5.3.résultats de calculs :	45
III.3.5.4.Intérprétation des résultats :	45
III.3.6.Déversoir à paroi épaisse à crête vive sans contraction latérale :	45
III.3.6.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	45
III.3.6.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	46
III.3.6.3.résultats de calculs :	46
III.3.6.4.Intérprétation des résultats :	46

III.3.7.Déversoirs à paroi épaisse à crête arrondie :	47
III.3.7.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	47
III.3.7.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	47
III.3.7.3.résultats de calculs :	47
III.3.7.4.Intérprétation des résultats :	48
III.3.8.Déversoir cunéiforme :	48
III.3.8.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	48
III.3.8.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	48
III.3.8.3.résultats de calculs :	48
III.3.8.4.Intérprétation des résultats :	49
III.3.9.Déversoir à siphon :	49
III.3.9.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :	49
III.3.9.2.Calcul du coefficient de débit théorique :	49
III.3.9.3.résultats de calculs :	49
III.3.9.4.Intérprétation des résultats :	50
III.4.Conclusion :	50
Chapitre IV : Evaluation des performances hydrauliques des seuils et déversoirs	
IV.1.Introduction :	51
IV.2.Etude comparative :	51
IV.2.1.Déversoirs à paroi mince :	51
IV.2.2.Déversoirs à paroi épaisse :	52
IV.2.3.Déversoirs à paroi épaisse à crête arrondie:	53
IV.3.Aération des déversoirs :	54
IV.3.1.Condition d'aération pour un déversoir à crête mince	54
IV.3.1.1.Pourquoi doit-on aérer un déversoir à crête mince ?	54
IV.3.1.2.Comment aérer un déversoir à crête mince ?	54
IV.3.1.3.Calcul du débit d'air pour aérer un déversoir à crête mince	55
IV.4.Conditions d'utilisation performante pour les déversoirs :	56
IV.4.1.Chenal d'approche :	56
IV.4.2.Présence d'un ressaut à l'amont du dispositif de mesure :	56
IV.4.3.Dispositif de mesure :	57
IV.4.4.Aval du déversoir :	57
IV.4.5.Entretien :	57
IV.4.6.Mesure de la hauteur de la lame :	57
IV.5.Conclusion :	57

Liste des tableaux

Tableau.I.1. classement des types d'écoulement selon le type de déversoir.....	6
Tableau.I.2. détermination du type d'écoulement pour les deux types de crête.....	6
Tableau.I.3. limites d'application pour un déversoir triangulaire à contraction complète.....	13
Tableau.I.4. limites d'application pour un déversoir triangulaire à contraction partielle.....	14
Tableau.III.1. résultats de calculs pour le déversoir rectangulaire sans contraction latérale.....	40
Tableau.III.2. résultats de calculs pour le déversoir rectangulaire avec contraction latérale.....	41
Tableau.III.3. résultats de calculs pour le déversoir triangulaire.....	42
Tableau.III.4. résultats de calculs pour le déversoir trapézoïdale.....	43
Tableau.III.5. résultats de calculs pour le déversoir à paroi épaisse à crête arrondie.....	45
Tableau.III.6. résultats de calculs pour le déversoir à paroi épaisse à crête vive.....	46
Tableau.III.7. résultats de calculs pour le déversoir à crête arrondie avec évacuateur à pente raide....	47
Tableau.III.8. résultats de calculs pour le déversoir à crête arrondie avec évacuateur en saut de ski...	47
Tableau.III.9. résultats de calculs pour le déversoir à crête arrondie avec mesure de pression.....	48
Tableau.III.10. résultats de calculs pour le déversoir cunéiforme.....	48
Tableau.III.11. résultats de calculs pour le déversoir à siphon.....	49
Tableau.IV.1. Etude de performance des déversoirs à paroi mince.....	51
Tableau.IV.2. Etude de performance des déversoirs à paroi épaisse.....	52
Tableau.IV.3. Etude de performance des déversoirs à paroi épaisse et à crête arrondie.....	53

Abréviations

CETEM : Centre d'Etudes Techniques Et Maritimes.

Liste des figures

Figure.I.1. coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse avec caractérisation de l'écoulement.....	3
figureI.2. vue en plan d'un déversoir avec contraction latérale et d'un déversoir oblique.....	3
Figure.I.3. vue en perspective d'un déversoir triangulaire à crête mince avec contraction latérale.....	3
Figure.I.4. coupe longitudinale de deux types d'ouvrages (à crête épaisse et à crête mince incliné).....	4
Figure.I.5. Types des seuils à crête épaisse selon le rapport h_1/C	5
figure.I.6. expression du coefficient de débit pour un déversoir à crête mince pour un écoulement dénoyé.....	7
figure.I.7. Coupe longitudinale d'un déversoir à crête mince en écoulement noyé.....	8
figure.I.8. vue en perspective d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale.....	9
figureI.9. vue en perspective d'un déversoir rectangulaire avec contraction latérale.....	10
figure.I.10. abaque de K_1 (mm) en fonction du rapport L/B	11
figure.I.11. abaque de φ et Ψ en fonction du rapport L/B . D'après	12
figure.I.12. vue en perspective d'un déversoir triangulaire à contraction complète.....	13
figure.I.13. vue en perspective d'un déversoir triangulaire partiellement contracté.....	14
figure.I.14. valeurs de K_h (en mm) avec α quelconque.....	15
figure.I.15. coefficient de débit fonction de l'angle d'ouverture α , pour un déversoir à contraction complète.....	15
Figure.I.16. valeur du coefficient de débit en fonction de h_1/p et de p/B pour $\alpha=90^\circ$ lorsque le déversoir est partiellement contracté.....	15
figure.I.17. coupe transversale d'un déversoir de Cipolletti	16
figure.I.18. déversoir à crête épaisse avec emplacement des sections permettant de calculer le coefficient de vitesse d'approche C_v	17
figure.I.19. abaque donnant C_v en fonction du rapport $(\mu S^*/S)$ et de la forme géométrique du déversoir à crête épaisse.....	17
figure.I.20. coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement dénoyé avec ..	18
figure.I.21. coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement dénoyé avec $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$ et $h_2/h_1 < \Psi$ avec $\Psi \in [0,66 ; 0,82]$	18
figure.I.22. coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement noyé avec $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$ et $h_2/h_1 > \Psi$ avec $\Psi \in [0,66 ; 0,82]$	19
figure.I.23. déversoir à crête épaisse et arête amont arrondie en écoulement dénoyé	19
figure.I.24. graphique permettant de déterminer le coefficient de débit pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête amont arrondie, sans contraction latérale et en écoulement dénoyé.....	20
figure.I.25. déversoir à crête épaisse et arête amont arrondie en écoulement noyé.....	20
figureI.26. coefficient de noyage K pour un déversoir à crête épaisse à arête arrondie en amont.....	21
figure.I.27. coupe longitudinale d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale à crête épaisse et arête vive, en écoulement dénoyé	21

figure.I.28. détermination du coefficient de correction F pour le calcul du coefficient de débit d'un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête vive en écoulement dénoyé suivant les valeurs de h_1/C et $h_1/(h_1+p)$ pour $0,33 < h_1/C < 1,5$.	22
figure.I.29. déversoir à crête arrondie avec évacuateur en pente raide	23
figure.I.30. déversoir à crête arrondie avec évacuateur à pente en saut de ski	23
figure.I.31. image d'un déversoir à crête arrondie avec mesure de pression	23
figure.I.32. abaque permettant de déterminer le coefficient de réduction c pour un déversoir à crête arrondie	24
figure.I.33. différents types d'écoulement selon la hauteur d'eau en amont, au dessus et en aval du déversoir à crête arrondie	24
Figure.I.34. réduction ΔC_d (ou $\Delta \mu$) du coefficient de débit [%] en fonction de $(h_2+\Delta h) / H_1$ et h_2/H_1 .	25
figure.I.35. schéma d'un déversoir à siphon	26
figure.I.36. déversoir à siphon sous écoulement	26
figure.I.37. schéma d'un déversoir à siphon en fonctionnement	26
Figure.I.38. variation du coefficient du débit μ en fonction du débit (l/s) pour un déversoir de type à siphon	27
figure.II.1. schéma des éléments constituant le canal expérimental	28
figure.II.2. le canal expérimental	28
figure.II.3. image d'un réservoir	29
figure.II.4. pompe type Aquafirst	29
figure.II.5. débitmètre électromagnétique	29
figure.II.6. réglage de l'inclinaison	30
figure.II.7. shéma du coffret de commande	30
figure.II.8. déversoir triangulaire	31
figure.II.9. dimensions du déversoir triangulaire en (mm)	31
figure.II.10. déversoir rectangulaire sans contraction latérale	31
figure.II.11. dimensions du déversoir rectangulaire sans contraction latérale en (mm)	31
figure.II.12. déversoir rectangulaire avec contraction latérale	32
figure.II.13. dimensions du déversoir rectangulaire avec contraction latérale en (mm)	32
figure.II.14. déversoir trapézoïdale	32
figure.II.15. dimensions du déversoir trapézoïdale en (mm)	32
figure.II.16. déversoir a seuil épais	33
figure.II.17. déversoir à paroi épaisse avec arrêtes vives	33
figure.II.18. déversoir à paroi épaisse avec arrêtes arrondies	33
figure.II.19. dimensions du déversoir à paroi épaisse avec arrête arrondie et vive	34
Figure.II.20. déversoir à arrête arrondie avec évacuateur à pente raide	34
Figure.II.21. dimensions du déversoir à arrête arrondie avec évacuateur à pente raide	34
Figure.II.22. déversoir à arrête arrondie avec évacuateur en saut de ski	35
figure.II.23. dimensions du déversoir à arrête arrondie avec évacuateur en saut de ski	35
Figure.II.24. déversoir à tête arrondie avec mesure de pression sous écoulement	35
figure.II.25. déversoir à tête arrondie avec mesure de pression	35
figure.II.26. déversoir cunéiforme sous écoulement	36
figure.II.27. déversoir cunéiforme	36
figure.II.28. déversoir à siphon sous écoulement	37
figure.II.29. déversoir à siphon	37
figure.II.30. limnimètrie	37
figure.II.31. manomètre à 10 tubes	38

figure.III.1. graphique permettant de déterminer le coefficient de débit pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête amont arrondie sans contraction latérale et en écoulement dénoyé.....	44
figure.III.2. abaque pour la détermination du coefficient de débit d'un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête vive.....	46
Figure.IV.1. mise en place d'un système d'aération.....	54
Figure.IV.2. différents cas d'aération pour un déversoir à crête mince.....	55
Figure.IV.3. système d'aération et notations pour les conditions d'aération.....	55

Notation

α : angle d'ouverture d'un déversoir triangulaire ou trapézoïdal ($^{\circ}$).

B : largeur du canal d'amenée en amont du déversoir (m).

C : épaisseur de la crête du seuil (m).

C_v : coefficient de vitesse d'approche du déversoir

β : obliquité du déversoir par rapport à l'écoulement ($^{\circ}$) ; $\beta = 90^{\circ}$ correspond à un déversoir orthogonal à l'axe d'écoulement.

Fr : nombre de Froude $Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot hm}}$ où hm est la hauteur d'eau moyenne dans la section d'écoulement.

g : accélération due à la gravité généralement égale à 9.81 (m/s).

h : hauteur d'eau (m).

h_1 : hauteur d'eau amont au-dessus du seuil (m).

h_{1max} : hauteur d'eau maximale que peut évacuer le déversoir dans les conditions d'utilisation (m).

h_2 : hauteur d'eau aval par rapport au seuil (m) (au-dessus ou au-dessous de la crête du seuil).

hc : hauteur critique au droit du seuil : $\frac{Q}{\sqrt{g}} = S \sqrt{\frac{S}{L}}$ (m) pour un seuil rectangulaire : $hc = \left(\frac{Q^2}{gL^2}\right)^{1/3}$.

H : charge hydraulique : $H = h + V^2 / 2g$ (m).

H_1 : charge amont au-dessus du seuil telle que : $H_1 = h_1 + V_1^2 / 2g$ (m).

H_2 : : charge aval par rapport au seuil telle que : $H_2 = h_2 + V_2^2 / 2g$ (m).

i : inclinaison du déversoir par rapport à la verticale ($^{\circ}$) ; i = 0 correspond à un déversoir vertical

L : largeur d'écoulement sur le seuil (m).

μ : coefficient de débit (sans dimension)

p : pelle (m).

P : pression (Pa).

Q : débit écoulé (m^3/s).

r : rayon de courbure de l'arrondi du rebord amont de la crête du seuil (m).

ρ : masse volumique (kg/m).

S : section d'écoulement (m^2).

V : vitesse moyenne d'écoulement (m/s).

V_1 : vitesse moyenne d'écoulement à l'amont du seuil (m/s).

V_2 : vitesse moyenne d'écoulement à l'aval du seuil (m/s).

Z : cote du point considéré (m).

Z seuil: cote de la crête du seuil (m).

Z_1 : cote de la surface libre de l'écoulement à l'amont du seuil hors du remous (m).

Z_2 : cote de la surface libre de l'écoulement à l'aval du seuil hors du remous (m).

INTRODUCTION GENERALE

- Dans le cadre du dimensionnement des ouvrages hydrauliques tels que les déversoirs, l'application des lois d'écoulement adéquats et une estimation correcte des coefficients de débits, représentent une part non négligeable dans la fiabilité de la conception des ouvrages hydrauliques. Actuellement la défaillance d'un certain nombre d'ouvrage hydraulique a été directement imputée à un vice de conception.

- Dans ce contexte, notre travail porte les objectifs suivant :
 - ❖ Présentation des différentes lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs.
 - ❖ Evaluation de l'incertitude sur les différentes lois d'écoulements au droit des seuils et déversoirs sur la base de simulation d'écoulement sur canal expérimental.
 - ❖ Estimation expérimentale des coefficients de débit
 - ❖ Perspective de choix de conception déversoirs pour des applications en cas réel.
 - ❖ Présentation des conditions d'utilisation et règlements de performance des déversoirs.

- L'étude de validation des lois d'écoulement et leur adéquation au niveau des seuils et des déversoirs se feront en utilisant la notion du coefficient de débit. En considérons que le coefficient de débit obtenu expérimentalement est le plus valable, et en le comparant avec celui calculé par ces lois on détermine le degré de leurs adéquation.

- On utilisant les résultats obtenus expérimentalement, on déterminera les déversoirs les plus performants (qui peuvent faire passer plus de débit) en faisant une comparaison entre les valeurs du coefficient du débit expérimental de chaque déversoir et pour les différents débits.

- Pour bien mener notre travail, nous l'avons divisé en quatre parties (chapitres) :
 - ❖ La première partie est une revue bibliographique sur les lois d'écoulement au droit des seuils et déversoirs dans laquelle nous allons présenter les différentes lois de débit et coefficient de débit appliqués pour les déversoirs.
 - ❖ La deuxième partie est une présentation du matériel utilisé durant la manipulation, ce dernier est constitué du canal expérimental, des déversoirs et instruments de mesure.
 - ❖ La troisième partie concerne l'étude de validation des lois d'écoulement à travers une analyse des résultats obtenus expérimentalement en utilisant la méthode de l'erreur moyenne quadratique.
 - ❖ La dernière partie a comme but de faire une analyse comparative entre les déversoirs utilisés de point de vue capacité d'évacuation et performance hydraulique.

Chapitre I

Revue

bibliographique des
lois d'écoulement
au droit des seuils
et déversoirs

I.1.Introduction :

- Les rivières présentent le long de leur linéaire un certain nombre d'ouvrages hydrauliques aux fonctions très diverses, mais qui sont, entre autres, des singularités hydrauliques, c'est-à-dire des obstacles physiques qui perturbent l'écoulement. Trois grandes classes d'ouvrages hydrauliques, considérés comme des singularités hydrauliques, sont fréquemment rencontrés : les vannes, les barrages et les déversoirs. Les ouvrages hydrauliques sont nombreux et génèrent des phénomènes particuliers, difficilement maîtrisables sans une connaissance approfondie de leurs caractéristiques et de leurs fonctions hydrauliques précises.
- Un déversoir est un ouvrage hydraulique permettant de contrôler ou de mesurer le débit s'écoulant au-dessus de l'ouvrage. Il contracte plus ou moins la section d'écoulement et peut permettre de stopper les érosions régressives (évolution de la rivière à l'aval de ponts ou de digues), de stabiliser la rivière ou de relever la ligne d'eau (éventuellement pour l'alimentation de canaux en dérivation).
- Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents types de déversoirs que nous allons utiliser, et les lois d'écoulement correspondantes pour chaque type.

I.3.Rappel de quelque notions hydrauliques :

I.3.1.Notion de débit :

$$Q = V * S \dots \dots \dots (I.1)$$

Q : le débit est fonction (m³/s).

V : la vitesse moyenne de l'écoulement (m/s).

S : la section mouillée (m²).

I.3.2.Notion de charge hydraulique :

$$H = Z + \frac{P}{\rho * g} + \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (I.2)$$

H : charge totale (m). $\frac{V^2}{2g}$: Énergie de vitesse (m).

Z : cote du point considéré (m). $\frac{P}{\rho * g}$: Énergie de pression (m).

La charge hydraulique sur une verticale de l'écoulement est fonction de la cote sur cette verticale, de la pression P à la surface de l'écoulement et de la vitesse V moyenne sur la section. Cette relation est connue sous le nom d'équation de Bernoulli. A la surface libre, la pression, égale à la pression atmosphérique, est constante et négligeable.

I.4. Caractéristiques géométriques des déversoirs :

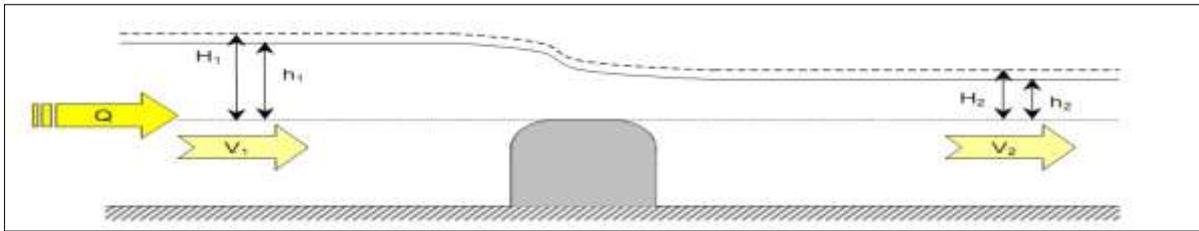
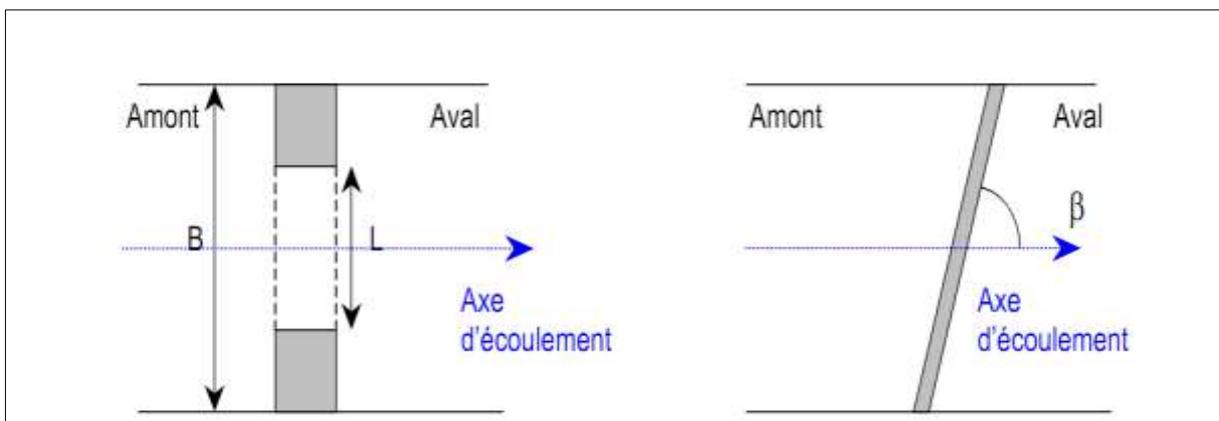


Figure.I.1: coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse avec caractérisation de l'écoulement. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)



figureI.2 : vue en plan d'un déversoir avec contraction latérale et d'un déversoir oblique. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

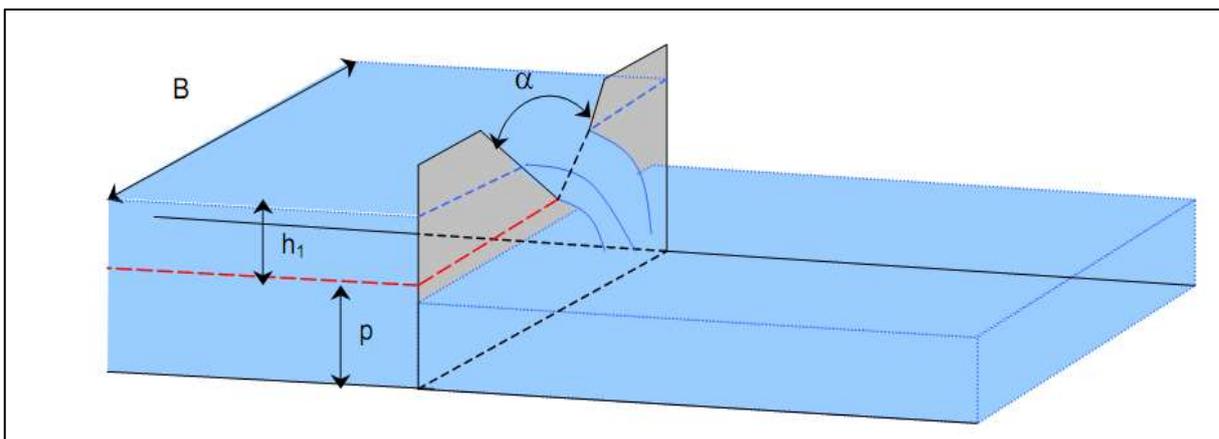


Figure.I.3 : vue en perspective d'un déversoir triangulaire à crête mince avec contraction latérale. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

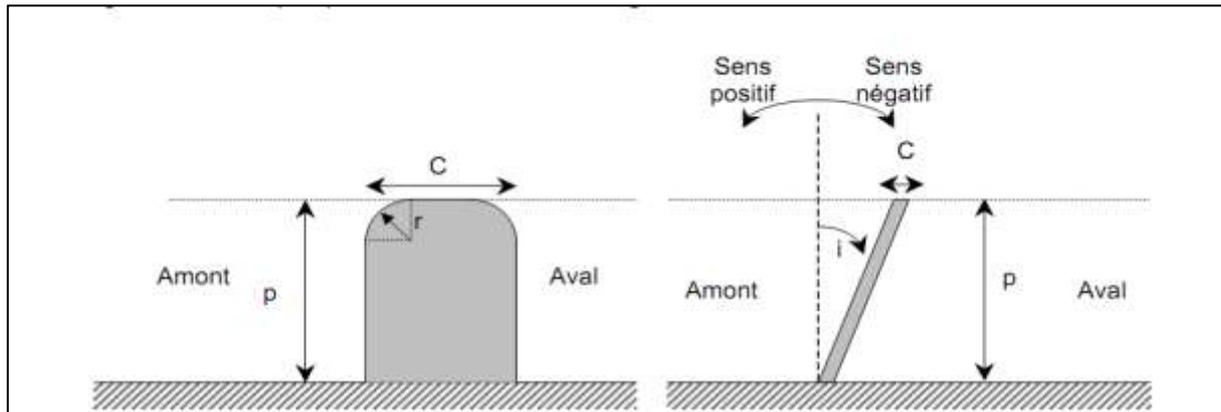


Figure.I.4 : coupe longitudinale de deux types d'ouvrages (à crête épaisse et à crête mince incliné). (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

I.5.Méthode générale de calcul de débit transitant par un seuil :

Dans ce travail, le régime d'écoulement à l'amont de l'ouvrage est toujours fluvial. Il est indispensable de vérifier cette hypothèse avant tout usage des formules répertoriées (nombre de Froude $Fr < 1$). Lors de l'étude d'un écoulement au passage d'une singularité, la détermination du débit, de la cote amont ou du coefficient de débit de l'ouvrage obéissent à la méthode de calcul décrite ci-après :

I.5.1.détermination du type de crête du seuil :

I.5.1.1.Généralités :

Le type de seuil est relatif à l'écoulement au droit de l'ouvrage. En effet, plus l'épaisseur de la crête du seuil est négligeable devant la hauteur d'eau amont au-dessus de celui-ci, plus le seuil paraît transparent vis-à-vis de l'écoulement et donc plus la crête du seuil paraît mince.

A l'inverse, plus la ligne d'eau amont se rapproche de la crête du seuil, plus la largeur du seuil paraît grande vis-à-vis de l'épaisseur de la lame d'eau qui y transite et donc plus la crête du seuil paraît épaisse.

Un déversoir en rivière appartient ainsi à l'une des trois catégories suivantes :

- ✓ Seuil à crête mince.
- ✓ Seuil à crête épaisse.
- ✓ Seuil à crête non définie.

Afin de déterminer le type de seuil étudié, les conditions suivantes doivent être vérifiées :

Si $C < \frac{H_1}{2}$, alors le seuil est à crête mince.

Si $C > \frac{2H_1}{3}$, alors le seuil est à crête épaisse.

I.5.1.2. Incertitude sur le type de crête du seuil :

Lorsque l'épaisseur de la crête du seuil vérifie : $\frac{2H_1}{3} < C < \frac{H_1}{2}$ le type de crête du seuil peut être épais ou mince, voire non défini.

Ainsi, si la hauteur d'eau amont et les vitesses sont connues et que la crête du seuil ne vérifie pas les conditions de validité des formulations ci-dessus, le type de crête du seuil n'est alors pas défini par les conditions hydrauliques et ses caractéristiques géométriques. Par exemple, pour un barrage-déversoir à poutrelles, les deux modes d'écoulement (noyé et dénoyé) peuvent se produire et on prendra la formule correspondant au mode d'écoulement constaté.

Par ailleurs, certaines singularités hydrauliques, comme les barrages, réagissent différemment dans le temps et peuvent changer de type de crête en fonction de l'écoulement. En effet, les barrages de régulation gardent une cote amont quasi constante (tant que les conditions le permettent), mais la hauteur (ou pelle) ou la bouchure du barrage sont modifiés au cours du temps puisque la régulation se fait en abaissant ou en relevant la partie mobile. Par conséquent, un barrage peut passer d'un écoulement de type « seuil mince » à un écoulement de type « seuil épais ». (Source : Notice sur les déversoirs, CETEF, Février 2005)

I.5.1.3. Particularités du seuil à crête épaisse :

A. Caractéristiques suivant la plage de valeurs de $\frac{h_1}{C}$:

Le seuil épais est caractérisé par le fait que la nappe inférieure de l'écoulement adhère à la crête du seuil. En effet, plus cette crête est faible, plus le seuil se comporte comme un seuil à crête mince. Trois types de seuils épais peuvent être distingués :

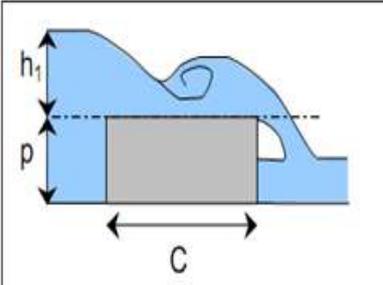
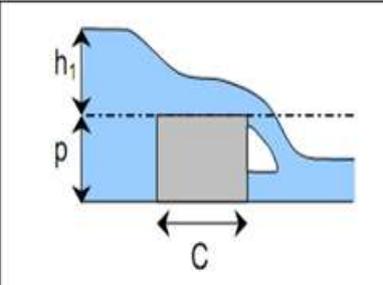
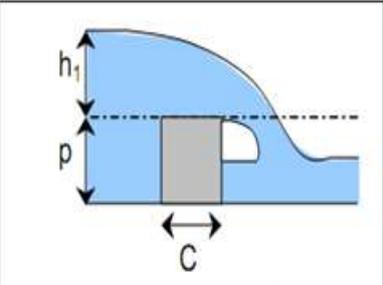
		
$h_1/C < 0,1$ Seuil à crête épaisse et longue	$0,1 < h_1/C < 0,4$ Seuil à crête épaisse	$0,4 < h_1/C < 1,5$ Seuil à crête « pas très épaisse »
Un ressaut se crée au-dessus du déversoir	La nappe s'abaisse jusqu'à obtenir un parallélisme avec la crête du déversoir et passe par une hauteur critique, notée h_c .	La nappe s'incline de l'amont vers l'aval sur toute l'épaisseur du déversoir. L'écoulement passe par une hauteur critique difficilement identifiable.

Figure.I.5 : Types des seuils à crête épaisse selon le rapport $\frac{h_1}{C}$. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

I.5.2.détermination du régime d'écoulement :

L'écoulement réagit de manière différente suivant le type de crête de l'ouvrage défini dans l'étape précédente. Pour une singularité à crête mince, l'écoulement peut être de trois types, tandis que pour une singularité à crête épaisse, l'écoulement ne peut être que de deux types, comme les représente le tableau suivant :

Tableau.I.1.classement des types d'écoulement selon le type de déversoir.

Déversoir à crête mince	Déversoir à crête épaisse
écoulement noyé	écoulement noyé
écoulement noyé en dessous	écoulement dénoyé
écoulement dénoyé	

Un écoulement est dit « dénoyé » lorsque le niveau d'eau amont est indépendant du niveau d'eau aval. L'écoulement est fluvial à l'amont du seuil, passe en régime torrentiel au droit de l'ouvrage et se raccorde à l'écoulement fluvial en aval soit par un ressaut en dissipant l'énergie par des mouvements très turbulents avec des instabilités à la surface, soit en chute libre.

Un écoulement est dit « noyé en dessous » exclusivement dans le cas de seuils à crête mince, lorsque la cote d'eau aval est inférieure à la cote de crête du seuil et que la hauteur d'eau amont (par rapport au seuil) est supérieure à la hauteur d'eau aval (par rapport au seuil).

Un écoulement est dit « noyé » lorsque le niveau d'eau aval influence le niveau d'eau amont. A débit constant, l'écoulement reste fluvial d'amont en aval, même au passage du seuil. Il se produit une surélévation en amont du seuil au-dessus de la hauteur normale (exhaussement), puis une accélération au droit du seuil, traduit par un abaissement de la ligne d'eau.

❖ **Remarque :** La différence entre un écoulement noyé et un écoulement dénoyé se traduit par le passage de l'écoulement par une hauteur critique en un point de la ligne d'eau ou sur une certaine distance.

Le tableau 2 ci-dessous répertorie les critères de détermination du type d'écoulement pour les deux types de seuil (seuil épais et seuil mince) :

tableau.I.2.détermination du type d'écoulement pour les deux types de crête.

Déversoir	Écoulement noyé	Écoulement dénoyé	Écoulement noyé en dessous
à crête épaisse	$\frac{h_2}{h_1} > \varphi$ avec $\varphi \in [2/3 ; 0.82]$ avec $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$	soit : $Z_2 < Z_{\text{seuil}}$ ou: $\frac{h_2}{h_1} < \varphi$ avec : $\varphi \in [2/3 ; 0.82]$ et $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$	
à crête mince	$Z_2 > Z_{\text{seuil}}$	$Z_2 < Z_{\text{seuil}}$ et $h_1 < h_2$	$Z_2 < Z_{\text{seuil}}$ et $h_1 > h_2$

I.5.3.choix et utilisation de la formule de débit adéquate :

I.5.3.1.déversoir à crête mince :

➤ **vitesse d'approche et coefficient de vitesse C_v :**

Pour la précision des mesures et la validité du coefficient de débit μ , il est essentiel qu'en amont du déversoir, l'écoulement soit aussi calme que possible et que la répartition des vitesses soit bien régulière. L'écoulement doit respecter les conditions suivantes :

- ✓ des vitesses d'approche assez faibles,
- ✓ une répartition des vitesses régulière et symétrique par rapport à l'axe longitudinal de l'écoulement et sur toute sa largeur,
- ✓ assurer un profil de vitesse normal au plan de symétrie de l'écoulement.

Attention, la charge amont H_1 utilisée dans les formules est généralement prise égale à la hauteur d'eau h_1 à l'amont du déversoir, sachant que l'approximation faite est corrigée par le coefficient de débit (en utilisant un coefficient multiplicateur intégré dans celui-ci).

En effet, le terme de vitesse est pris en compte sous la forme d'un coefficient de vitesse d'approche, noté C_v , que l'on multiplie au coefficient de débit. Quand les vitesses sont négligeables (terme $V^2/2g \ll 1$), ce coefficient est pris égal à 1 et la charge amont est assimilable à la hauteur d'eau amont. Par contre, si les vitesses sont élevées à l'emplacement de la mesure de la hauteur d'eau amont, le terme $V^2/2g$ doit être pris en compte dans les formules de débit sous la forme du coefficient de vitesse C_v que l'on multiplie au coefficient de débit. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

➤ **Formule du coefficient C_v pour un déversoir à crête mince :**

✓ **Formule générale :**

$$C_v = \left(\frac{H_1}{h_1} \right)^u \dots\dots\dots(I.3)$$

✓ **Valeurs de l'exposant u dans l'expression du coefficient C_v**

- $u = 1$ pour un déversoir proportionnel,
- $u = 1,5$ pour un déversoir rectangulaire,
- $u = 2$ pour un déversoir parabolique,
- $u = 2,5$ pour un déversoir triangulaire.

❖ **déversoir à crête mince en écoulement dénoyé :**

Pour une singularité dite à crête mince, définie par l'épaisseur de sa crête, en écoulement dénoyé, le niveau aval n'influence pas le niveau amont et la formule générale suivante est utilisée :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots\dots\dots(I.4)$$

A titre d'information, pour un déversoir à crête mince, rectangulaire, sans contraction latérale, en écoulement dénoyé, dont la nappe est adhérente, Rehbock donne la formule suivante :

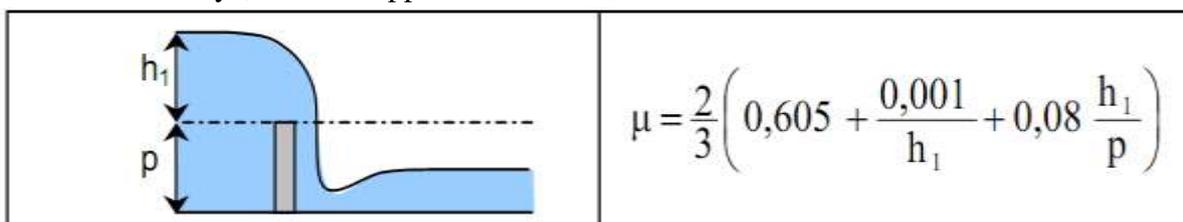


figure.I.6:expression du coefficient de débit pour un déversoir à crête mince pour un écoulement dénoyé. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

Pour des déversoirs à crête mince, le coefficient de débit μ dépend des caractéristiques géométriques du seuil (contraction, inclinaison et oblicité) et du régime d'écoulement (noyage du déversoir). Le coefficient de débit est alors défini de la manière suivante :

$$\mu = \mu_1 * \mu_2 * \mu_3 * K \dots \dots \dots (I.5)$$

μ_1 : coefficient de débit suivant la contraction latérale.

μ_2 : coefficient d'inclinaison.

μ_3 : coefficient d'oblicité.

K : coefficient de noyage (noyé, dénoyé, noyé sous) .

❖ **Déversoir à crête mince en écoulement noyé, pour $h_2/h_1 < 0.9$:**

S'il y a une influence du niveau d'eau aval sur le niveau d'eau amont, le déversoir est dit « noyé ». La ligne d'eau ne passe plus par une hauteur critique (section de contrôle). Il y a accélération des vitesses juste à l'aval du déversoir puis l'écoulement retrouve son état fluvial. Cette influence provoque une diminution du débit transitant par l'ouvrage, du fait du ralentissement provoqué par la masse d'eau aval plus importante. la formule du débit utilisé est :

$$Q = \mu_1 . C_v . L . (h_1)^{3/2} . \sqrt{2g} . \dots \dots \dots (I.6)$$

Avec $\mu_1 = K . \mu$

μ : coefficient de débit pour un déversoir dénoyé de même type.

K coefficient fonction du rapport h_2/h_1 .

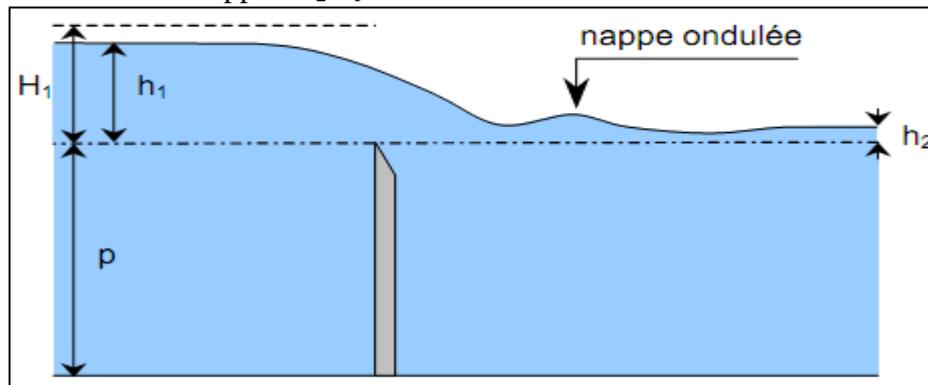


figure.I.7.Coupe longitudinale d'un déversoir à crête mince en écoulement noyé. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

➤ le coefficient K est déterminé selon la relation suivante :

$$K = \frac{Q_{noyé}}{Q_{denoyé}} = \left[1 - \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{1.5} \right]^{0.385} \dots \dots \dots (I.7)$$

A. Déversoir rectangulaire sans contraction latérale :

Un déversoir rectangulaire est dit « sans contraction latérale » lorsque la largeur d'écoulement sur le déversoir (L) est égale à la largeur d'écoulement (B) en amont du déversoir.

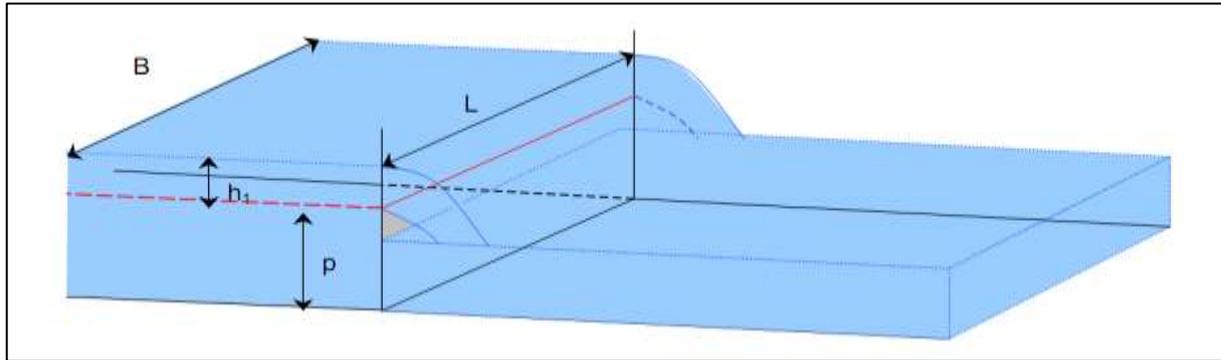


figure.I.8.vue en perspective d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

A.1. Formule préconisée : KINDSVATER et CARTER :

La littérature recense diverses formules pour déterminer l'expression du débit déversé par un déversoir à crête mince à échancrure rectangulaire sans contraction latérale. Nous préconisons la formule établie par KINDSVATER et CARTER en 1957, par ailleurs retenue en priorité par l'Association Française de Normalisation.

A.1.1. Formule générale de débit (expression du débit d'après Kindsvater et Carter) :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h_e)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots \dots \dots (I.8)$$

h_e : la hauteur d'eau effective telle que : $h_e = h_1 + K_h = h_1 + 0.001$ ($K_h \sim 1\text{mm}$)

A.1.2. Expression du coefficient de débit:

$$\mu = 2/3(0.602 + 0.075h_1/p) \dots \dots \dots (I.9)$$

➤ **Limites d'application :**

$h_1 > 0,03 \text{ m}$

$p > 0,10 \text{ m}$

A.2. formule de POLENI :

A.2.1. Formule générale de débit (expression du débit d'après Poleni) :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots \dots \dots (I.10)$$

A.2.2. Expression du coefficient de débit d'après BAZIN:

$$\mu = (0.405 + \frac{0.003}{h_1}) [1 + 0.55(\frac{h_1}{h_1 + p})] \dots \dots \dots (I.11)$$

➤ **Limites d'application :**

$0.7\text{m} > h_1 > 0.08 \text{ m}$

$2 \text{ m} > p > 0.18 \text{ m}$

A.2.3.Expression du coefficient de débit d'après la S.I.A (Société suisse des Ingénieurs et Architectes) :

$$\mu = 0.41 \left(1 + \frac{1}{1000h_1 + 1.6} \right) \left[1 + 0.5 \left(\frac{h_1}{h_1 + p} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(I.12)$$

➤ **Limites d'application :**

0.8m > h₁ > 0.025 m

h₁ ≤ p

A.2.4.Expression du coefficient de débit d'après Rehbock

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0.605 + \frac{1}{1050h_1 - 3} + 0.08 \frac{h_1}{p} \right) \dots\dots\dots(I.13)$$

➤ **limites d'application :**

h₁ > 0.05m (d'après Carlier et Lancaster).

$\frac{h_1}{p} < 1$; 0.03 m < h < 0.75 m ; L > 0.30 m (d'après Schlag et Miller).

p > 0.10 m (pour Schlag) ; p > 0.30 m (pour Miller).

A.3. formule de REHBOCK :

A.3.1.formule générale du débit :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h_e)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots\dots\dots(I.14)$$

Avec: h_e = h + 0.0011

A.3.1.Expression du coefficient de débit d'après Rehbock :

$$\mu = 0.4023 + 0.0542 \frac{h_e}{p} \dots\dots\dots(I.15)$$

avec : h_e = h + 0.0011

B. Déversoir rectangulaire avec contraction latérale :

Un déversoir rectangulaire est dit « avec contraction latérale » lorsque la largeur du canal B est supérieure à la largeur d'écoulement L du déversoir.

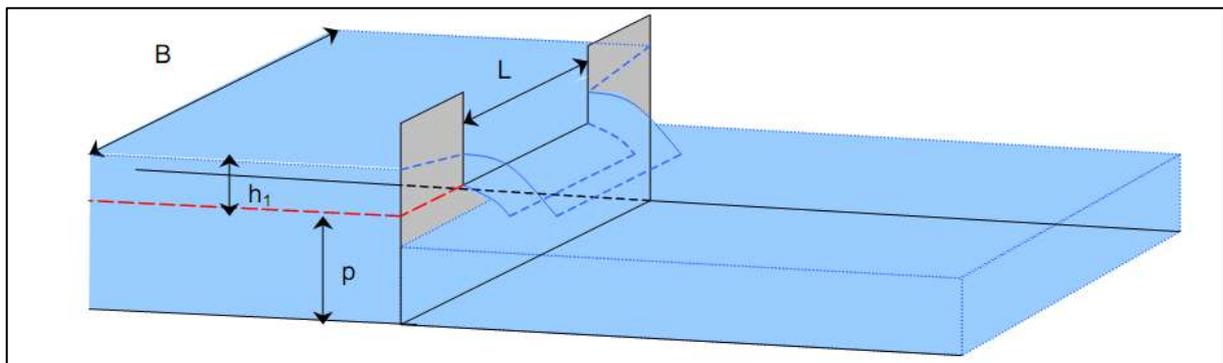


figure I.9. vue en perspective d'un déversoir rectangulaire avec contraction latérale. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

B.1. Formule préconisée : KINDSVATER et CARTER :

Pour les déversoirs rectangulaires à parois minces en écoulement dénoyé avec contraction latérale, la formule de KINDSVATER et CARTER permet d'estimer les débits de la même manière que pour les déversoirs sans contraction latérale ; seule la valeur du coefficient de débit μ est modifiée. Nous préconisons la formule ci-dessous établie par KINDSVATER et CARTER en 1957, retenue par ailleurs en priorité par l'Association Française de Normalisation (normes AFNOR en annexe). (Source : Notice sur les déversoirs, Février 2005)

B.1.1. Formule générale de débit :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L_e \cdot (h_e)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots \dots \dots (I.16)$$

h_e : la hauteur d'eau effective telle que : $h_e = h_1 + K_h = h_1 + 0.001$ ($K_h \sim 1\text{mm}$)

L_e : la largeur d'eau effective telle que : $L_e = L + K_1$ avec K_1 est donné par l'abaque ci-dessous :

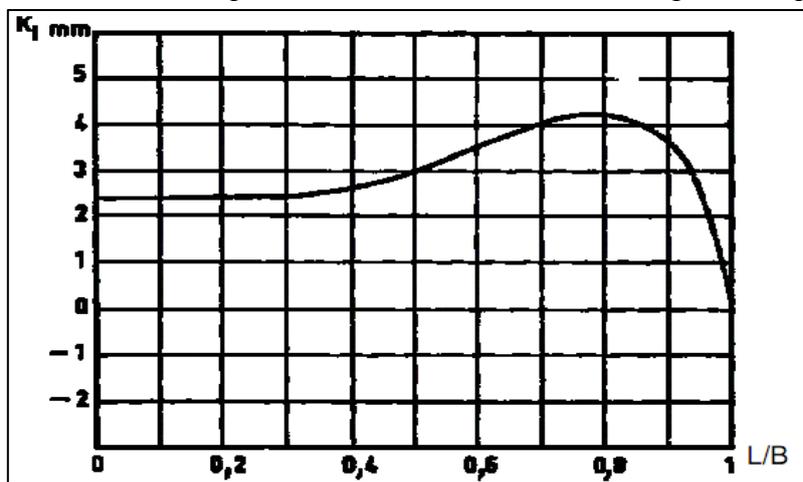


figure.I.10.abaque de K_1 (mm) en fonction du rapport L/B . D'après : « Hydraulique générale et appliquée » de Carlier. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

B.1.2. Expression du coefficient de débit :

$$\mu = \frac{2}{3} \left(\phi + \Psi \frac{h_1}{p} \right) \dots \dots \dots (I.17)$$

Les valeurs de ϕ et Ψ sont données par l'abaque ci-dessous :

➤ **Limites d'application :**

$h_1/p \geq 2$

Remarque : $h_1/p \geq 2$, afin d'éviter la formation de vagues en amont du déversoir.

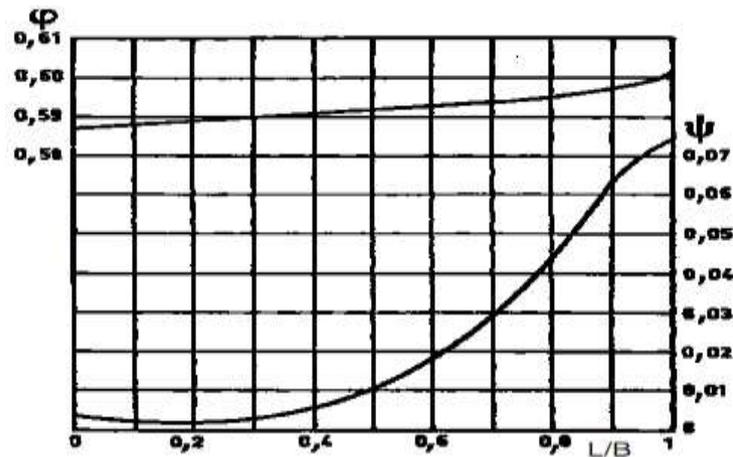


figure.I.11.abaque de φ et Ψ en fonction du rapport L/B. D'après : « Hydraulique générale et appliquée » de Carlier. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

B.2. formule de POLENI :

B.2.1. Formule générale de débit :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots \dots \dots (I.18)$$

❖ **Remarque :** Formule identique à celle d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale, en effet, seul le coefficient de débit change.

B.2.2. Expression du coefficient de débit d'après Hegly :

Les expériences ont été réalisées sur un déversoir à crête mince avec contraction latérale à l'extrémité d'un canal de type BAZIN. L'expression du coefficient de débit est :

$$\mu = \left(0.405 + \frac{0.0027}{h_1} - 0.03 \frac{B-L}{B} \right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{L \cdot h_1}{B(h_1+p)} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (I.19)$$

Limites d'application :

$$0.1m < h_1 < 0.6m \quad ; \quad 0.14m < p < 0.8m$$

$$0.14m < L < 1.8m \quad ; \quad 0 < \frac{B-L}{B} < 0.9m$$

B.2.3. Expression du coefficient de débit d'après la S.I.A (Société suisse des Ingénieurs et Architectes) :

$$\mu = \left[0.3853 + 0.0246 \left(\frac{L}{B} \right)^2 + \frac{2.41 - 2 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^2}{1000h_1 + 1.6} \right] \cdot \left[1 + 0.5 \left(\frac{L}{B} \right)^4 \left(\frac{h_1}{h_1+p} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (I.20)$$

➤ **Limites d'application :**

$$0.025 \cdot B/L < h_1 < 0.8 \text{ m} \quad ;$$

$$0.3 < L/B < 0.9 \quad ;$$

C. Déversoir à échancrure triangulaire :

C.1. Description et forme de la crête :

Ce type de déversoir comporte une pelle dont l'échancrure en forme de V est symétrique par rapport à l'axe du canal (la bissectrice est verticale). Il est généralement appelé le déversoir de Thomson.

- Deux types de configurations existent : le déversoir à crête triangulaire peut ainsi être « partiellement » ou « entièrement » contracté.

C.1.1. Déversoir à contraction complète :

Un déversoir est dit à « contraction complète » lorsque le lit et les bords du canal d'approche, en amont du déversoir, sont suffisamment éloignés des bords du déversoir pour obtenir un parallélisme longitudinal du profil des vitesses d'approche en amont du déversoir.

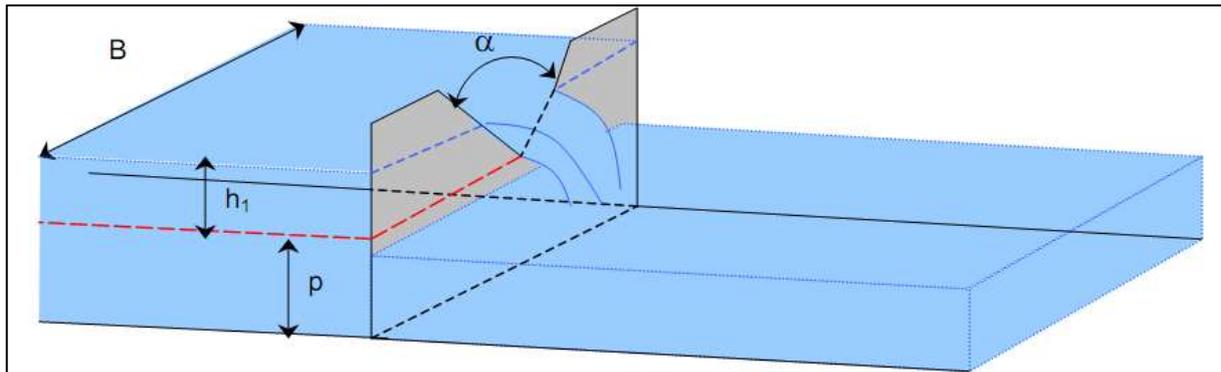


figure.I.12. vue en perspective d'un déversoir triangulaire à contraction complète. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

- limites d'application :

tableau.I.3. limites d'application pour un déversoir triangulaire à contraction complète.

Déversoir à contraction complète
$25^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$
$h_1 / p \leq 0,4$
$h_1 / B \leq 0,2$
$0,05 \text{ m} < h_1 < 0,38 \text{ m}$
$p \geq 0,45 \text{ m}$
$B \geq 0,9 \text{ m}$

C.1.2. Déversoir partiellement contracté :

- ✓ Un déversoir est dit « partiellement contracté » lorsque le canal d'approche est trop proche pour que l'écoulement s'établisse avec des vitesses longitudinales parallèles aux bords du canal d'amenée et qu'il est placé dans un canal dont l'amont est de forme rectangulaire.
- ✓ Pour le déversoir partiellement contracté, il n'existe pas dans la littérature d'expression ni d'abaque du coefficient de débit autre que pour l'angle $\alpha = 90^\circ$.

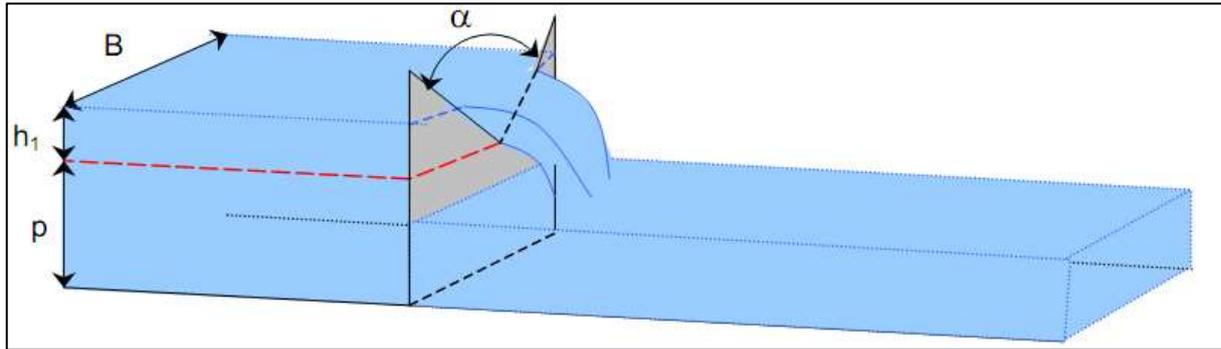


figure.I.13.vue en perspective d'un déversoir triangulaire partiellement contracté. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

➤ **Limites d'application :**

tableau.I.4.limites d'application pour un déversoir triangulaire à contraction partielle.

(Source : Notice sur les déversoirs, Février 2005)

Déversoir partiellement contracté
$\alpha=90^\circ$
$h_1 / p \leq 1,2$
$h_1 / B \leq 0,4$
$0,05 \text{ m} < h_1 < 0,6 \text{ m}$
$p \geq 0,1 \text{ m}$
$B \geq 0,6 \text{ m}$

C.2. Formule préconisée : KINDSVATER :

Cette formule est utilisable que le déversoir soit à contraction complète ou partiellement contracté. L'Association Internationale de Normalisation (I.S.O) recommande l'utilisation de cette formule.

C.2.1. Formule générale de débit :

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot C_v \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_1 + K_h)^{5/2} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots (I.21)$$

Avec: K_h longueur tenant compte de la tension superficielle et de la viscosité définie par l'abaque ci-dessous.

➤ **Limites d'application :**

- $25^\circ < \alpha < 100^\circ$;
- $0.05\text{m} < h_1 < 0.6\text{m}$; $h_1/B \geq 0.4\text{m}$
- $p < 0.2\text{m}$; $B < 0.6\text{m}$
- $B-L < 1.5L$

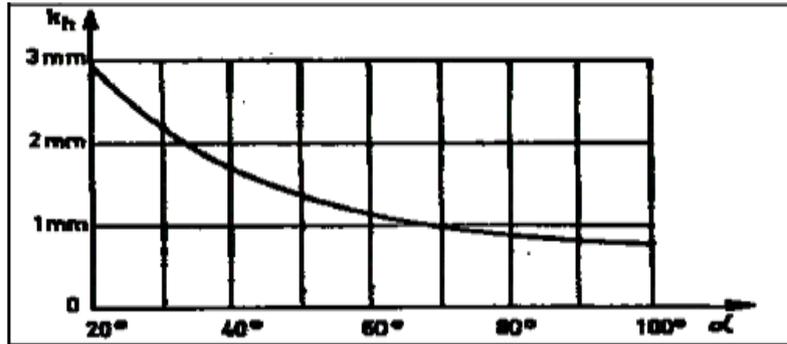


figure.I.14.valeurs de K_h (en mm) avec α quelconque. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C.2.2.Expression du coefficient de débit pour un déversoir triangulaire à contraction complète :

Le coefficient de débit μ pour un déversoir triangulaire, est fonction de trois variables (h/p , p/B , et l'angle α).

Si $h_1/p \leq 1,4$ et $p/B \leq 0,6$, le déversoir triangulaire est à contraction complète et le coefficient de débit μ est déterminé par l'abaque ci-dessous :

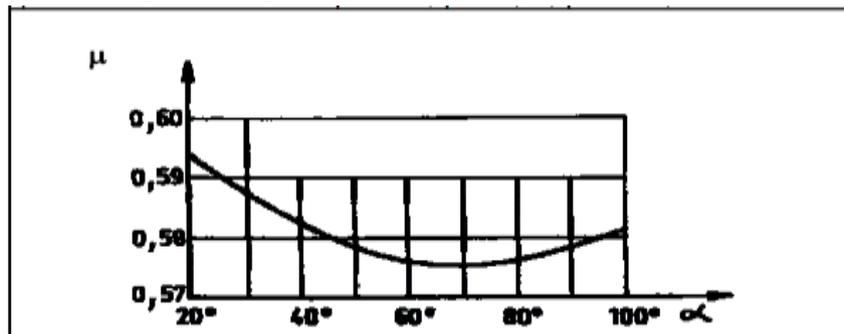


figure.I.15.coefficient de débit fonction de l'angle d'ouverture α , pour un déversoir à contraction complète. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C.2.3.Expression du coefficient de débit pour un déversoir triangulaire partiellement contracté :

Si $h_1/p > 0,4$ et $p/B > 0,2$, le déversoir triangulaire est alors partiellement contracté et le coefficient de débit μ peut être déterminé par l'abaque ci-dessous, **seulement pour $\alpha=90^\circ$** :

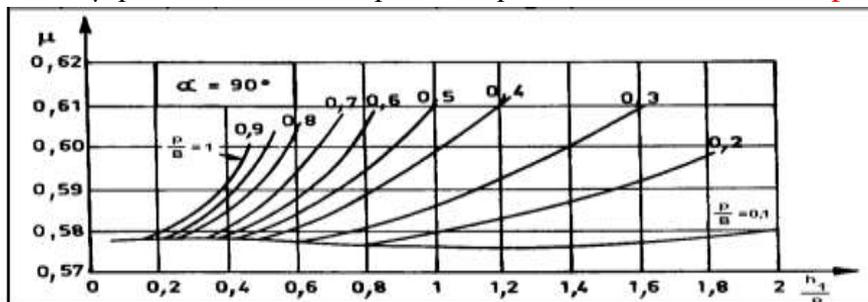


Figure.I.16.valeur du coefficient de débit en fonction de h_1/p et de p/B pour $\alpha=90^\circ$ lorsque le déversoir est partiellement contracté. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C.2.4. formule générale :

C.2.4.1. Formule générale de débit :

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot C_v \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_1)^{5/2} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots (I.22)$$

D. Déversoir trapézoïdal Cas particulier : tg α = 1/4, déversoir et formule de CIPOLETTI :

Ce type de déversoir est le plus fréquemment utilisé parmi les déversoirs trapézoïdaux. Sa crête est constituée par la plus petite base, de largeur L et la pente des côtés est de 1/4 (horizontale/verticale).

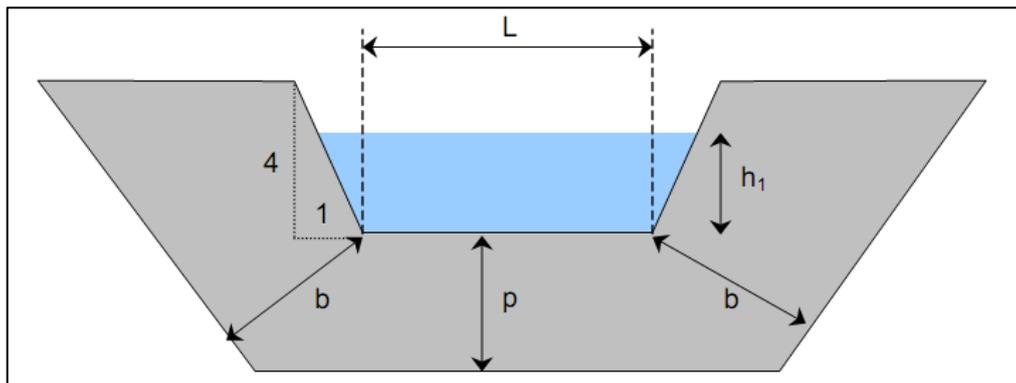


figure.I.17. coupe transversale d'un déversoir de Cipolletti . (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

Pour ce cas particulier, où tg α = 1/4, l'influence de la contraction due aux côtés du trapèze est compensée par l'augmentation de la largeur superficielle de la nappe due à la forme de l'échancrure. De fait, le coefficient d'écoulement est constant pour une large plage de variation de la charge. CIPOLETTI a établi la formule suivante donnant l'expression du débit passant au travers de ce type d'ouvrage :

D.1. Formule de CIPOLETTI :

D.1.1. Formule générale du débit :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots \dots \dots (I.24)$$

➤ **Limites d'application :**

$$0.06 \text{ m} < h_1 < 0.6 \text{ m}$$

D.1.2. Expression du coefficient de débit d'après la S.I.A (Société suisse des Ingénieurs et Architectes) :

$$\mu = \left[0.3853 + 0.0246 \left(\frac{L}{B} \right)^2 + \frac{2.41 - 2 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^2}{1000h_1 + 1.6} \right] \cdot \left[1 + 0.5 \left(\frac{L}{B} \right)^4 \left(\frac{h_1}{h_1 + p} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (I.25)$$

I.5.3.2. déversoir à crête épaisse :

A. Détermination du coefficient C_v pour un déversoir à crête épaisse : il dépend de certains paramètres comme l'explique la formule suivante :

$$C_v = f\left(\mu \cdot \frac{S^*}{S_1}\right) \dots\dots\dots(I.26)$$

Avec :

S^* : section au droit du déversoir avec une hauteur d'eau hypothétique de h_1 .

S_1 : section où la mesure de h_1 a été prise.

μ : coefficient de débit du déversoir.

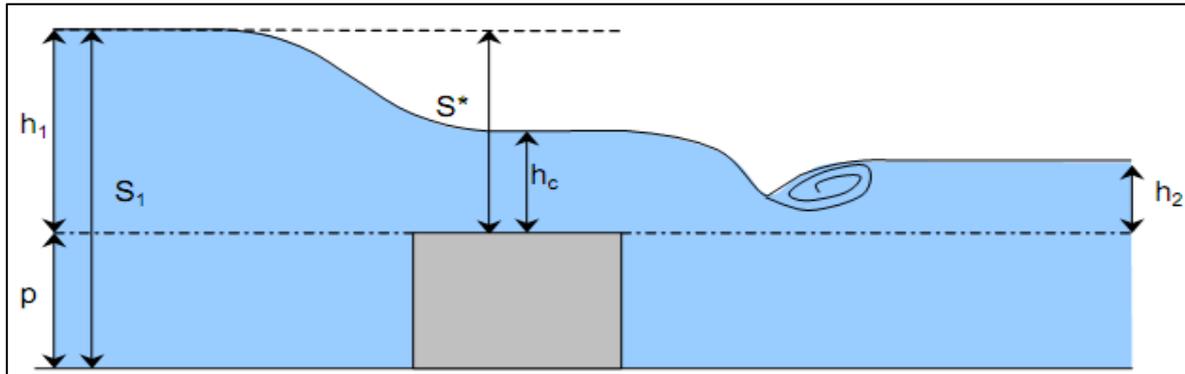


figure.I.18.déversoir à crête épaisse avec emplacement des sections permettant de calculer le coefficient de vitesse d'approche C_v . (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

L'abaque ci-dessous permet d'obtenir le coefficient de vitesse C_v pour différentes configurations géométriques de déversoir à crête épaisse.

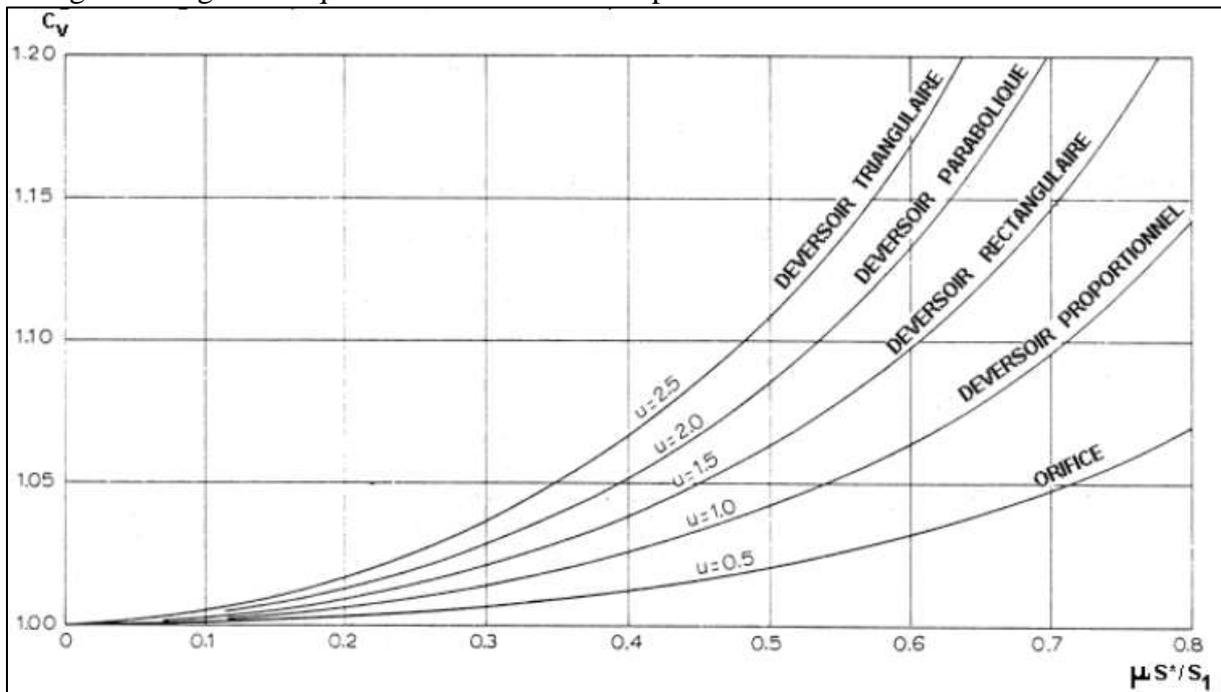


figure.I.19.abaque donnant C_v en fonction du rapport $(\mu S^*/S)$ et de la forme géométrique du déversoir à crête épaisse. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

B. Noyage d'un déversoir à crête épaisse :

B.1. Déversoir à crête épaisse en écoulement dénoyé :

Dans les conditions optimales d'utilisation du déversoir, en écoulement dénoyé, la ligne d'eau atteint, sur une courte distance au moins, un parallélisme avec la crête du déversoir.

L'écoulement passe alors par une section de contrôle où la hauteur d'eau au-dessus du seuil est égale à la hauteur critique h_c . Sur une portion de la crête du seuil, les filets liquides sont parallèles et horizontaux, le champ de vitesses est uniforme. On admet qu'il existe une distribution hydrostatique des pressions.

Pour un seuil épais, l'écoulement est « dénoyé » tant que le niveau aval n'influence pas le niveau amont, $Z_2 < Z_{\text{seuil}}$ ou que $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$ et $h_2/h_1 < \Psi$ avec $\Psi \in [0,66 ; 0,82]$. (Source : Notice sur les déversoirs, Février 2005)

B.1.1. Formule générale de débit :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2g}{3}} \cdot h_1^{3/2} \dots \dots \dots (I.27)$$

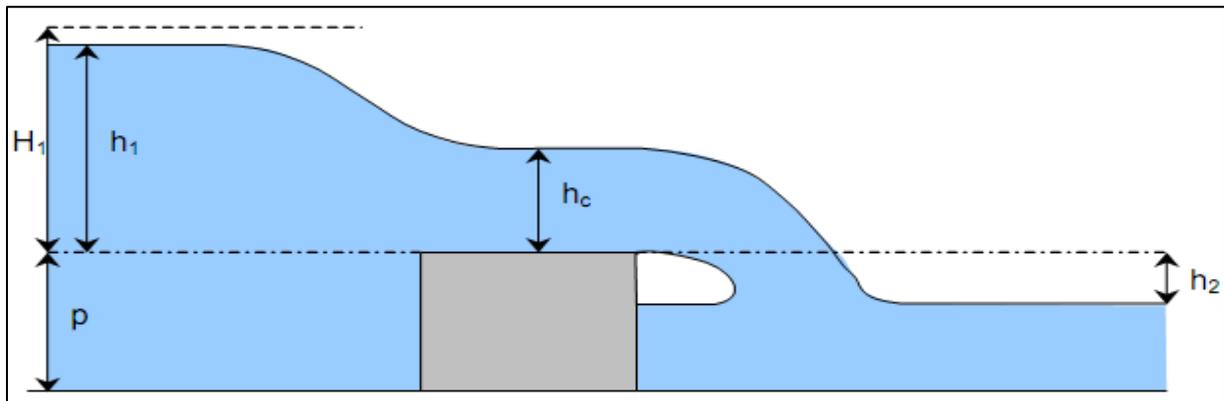


figure.I.20. coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement dénoyé avec $Z_2 < Z_{\text{seuil}}$. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

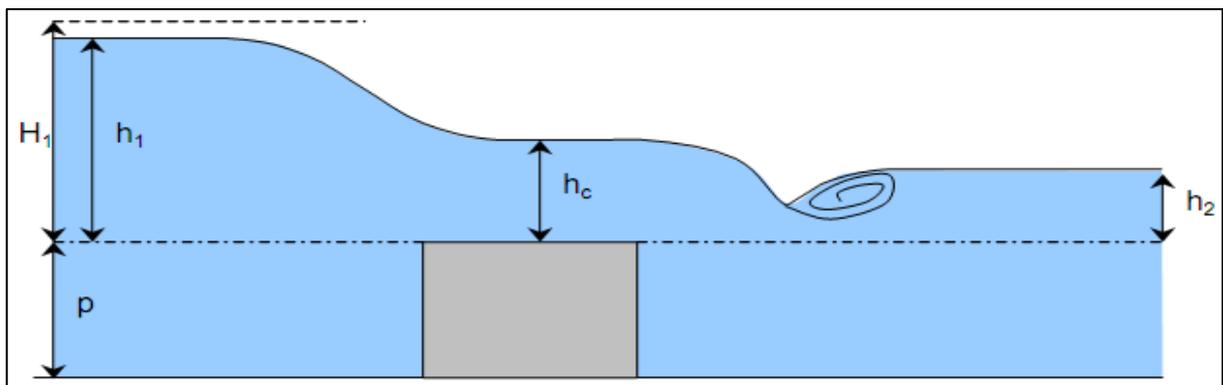


figure.I.21. coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement dénoyé avec $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$ et $h_2/h_1 < \Psi$ avec $\Psi \in [0,66 ; 0,82]$. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

B.2. Déversoir à crête épaisse en écoulement noyé :

Le déversoir à crête épaisse est dit « en écoulement noyé », lorsque $Z_2 > Z_{seuil}$ et $h_2/h_1 > \Psi$ avec $\Psi \in [0,66 ; 0,82]$. La ligne d'eau ne passe plus par une hauteur d'eau critique h_c au-dessus du seuil.

Dans le cas d'un écoulement noyé, un coefficient réducteur K doit être appliqué, suivant le type de déversoir, au débit obtenu par la formule précédente en écoulement dénoyé. Ce coefficient dépend du type de déversoir et ne peut être généralisé comme dans le cas d'un déversoir à crête mince.

La formulation en écoulement noyé se traduit donc par $Q_{noyé} = K * Q_{dénoyé}$ où K est le coefficient de noyage du déversoir. (Source : Notice sur les déversoirs, Février 2005)

B.2.1. Formule générale de débit :

$$Q = \mu.K.C_v.L.\frac{2}{3}.\sqrt{\frac{2g}{3}}.h_1^{3/2} \dots\dots\dots(I.28)$$

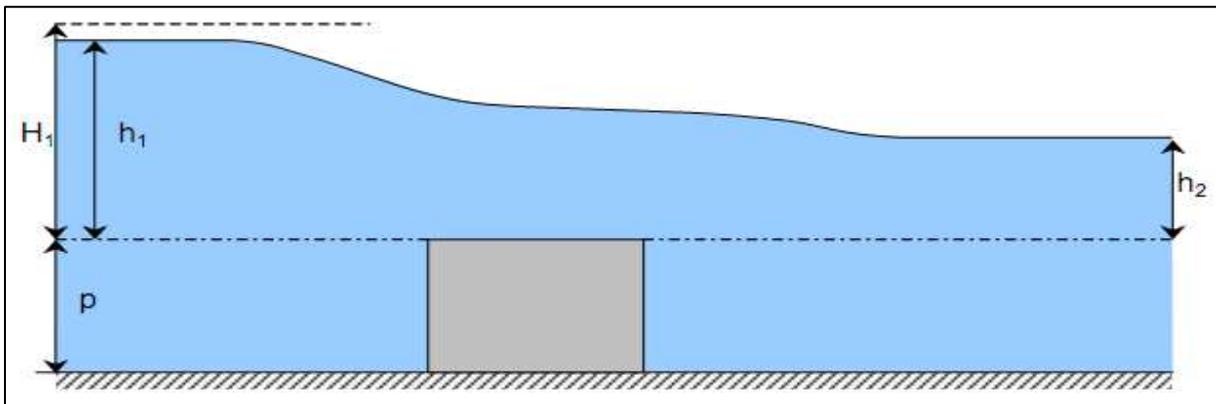


figure.I.22.coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement noyé avec $Z_2 > Z_{seuil}$ et $h_2/h_1 > \Psi$ avec $\Psi \in [0,66 ; 0,82]$. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C. Déversoir à crête épaisse de longueur longitudinale finie :

C.1. Déversoir rectangulaire à arête arrondie sans contraction latérale :

C.1.1. Formulation en écoulement dénoyé :

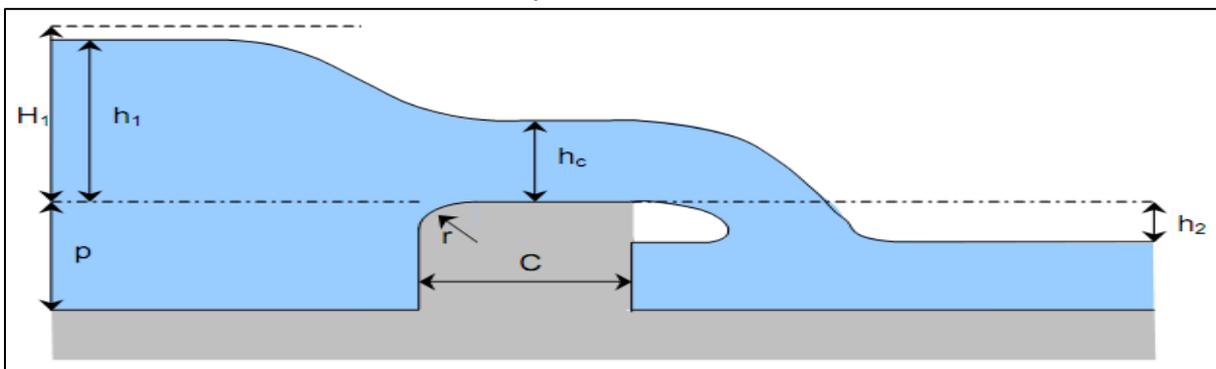


figure.I.23.déversoir à crête épaisse et arête amont arrondie en écoulement dénoyé. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C.1.1.1. Formule générale de débit :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2g}{3}} \cdot h_1^{3/2} \dots\dots\dots(I.29)$$

➤ **Limites d'application :**

$h_{1max} > \max[0.06 ; 0.08 \cdot C]$; $0.05 < h_1/C < 0.5$ m p > 0.15 m ; $0.15 < h_1/p < 1.5$
 $C > 1.75 h_{1max}$; $L > \min[0.3 ; C/5 ; h_{1max}]$; $r = 0.2 h_{1max}$

C.1.1.2. Expression du coefficient de débit :

$$\mu = \left(\frac{1 - 2x(C-r)/L}{1 - x(C-r)/h_1} \right)^{3/2} \dots\dots\dots(I.30)$$

x : coefficient qui dépend de la rugosité des parois et du seuil.

x = 0,005 pour du béton normal (ouvrages sur le terrain).

x = 0,003 pour du béton très lisse (ouvrages en laboratoire).

C.1.1.3. Autre formule de débit :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot h_1^{3/2} \dots\dots\dots(I.30)$$

C.1.1.4. Expression du coefficient de débit :

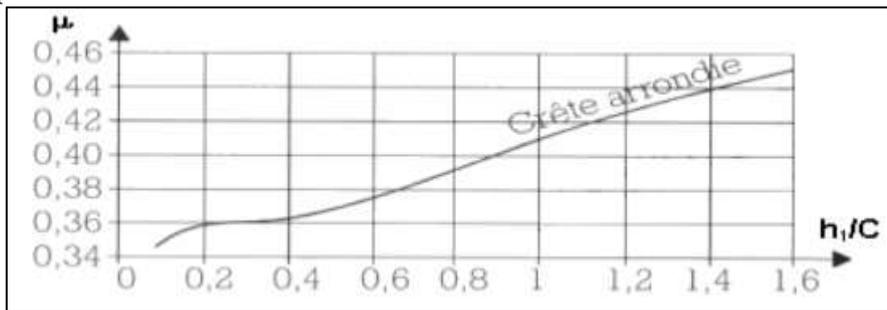


figure.I.24. graphique permettant de déterminer le coefficient de débit pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête amont arrondie, sans contraction latérale et en écoulement dénoyé. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C.1.2. Formulation en écoulement noyé :

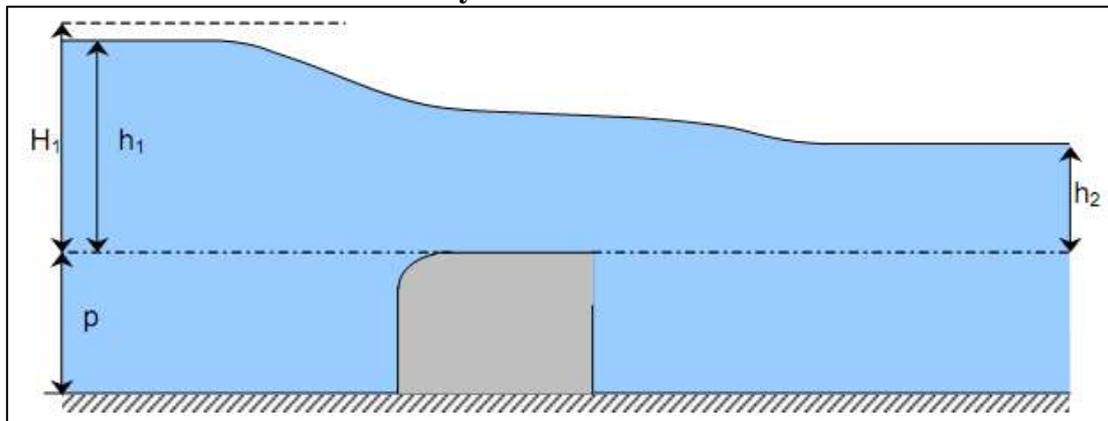


figure.I.25. déversoir à crête épaisse et arête amont arrondie en écoulement noyé. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

La formulation en écoulement noyé se traduit par :

$$Q_{\text{noyé}} = K * Q_{\text{dénouyé}} \dots \dots \dots (I.32)$$

Le coefficient K de noyage du déversoir se détermine grâce à l'abaque général de submersion pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse suivant :

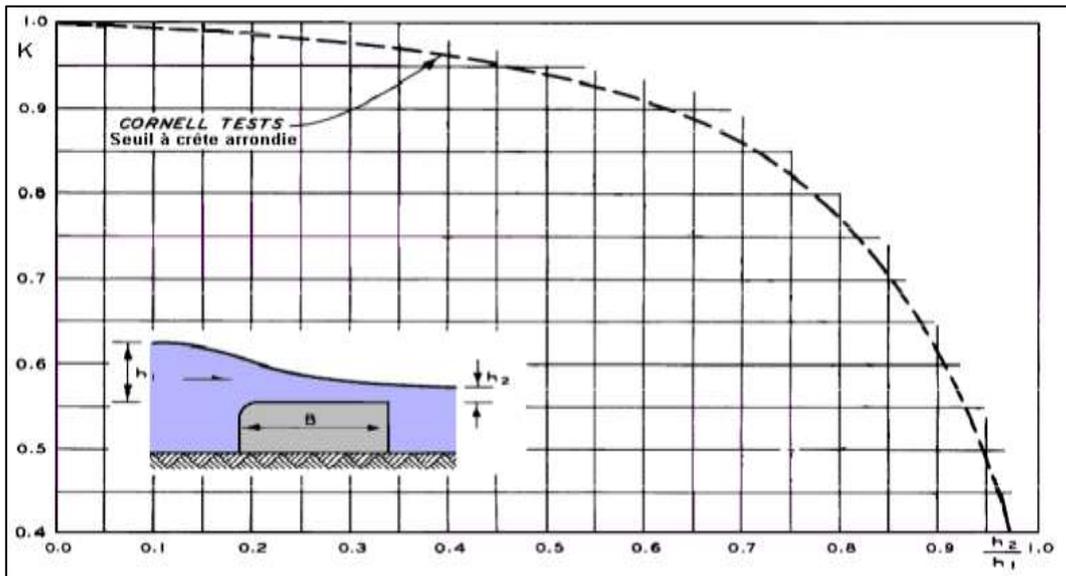


figure I.26. coefficient de noyage K pour un déversoir à crête épaisse à arête arrondie en amont. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C.2. Déversoir rectangulaire à arête vive sans contraction latérale :

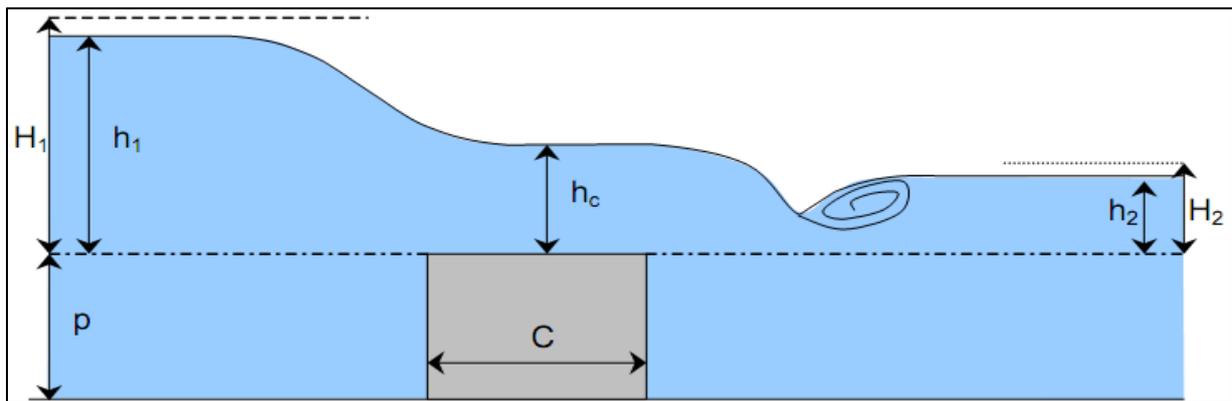


figure I.27. coupe longitudinale d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale à crête épaisse et arête vive, en écoulement dénoyé. (Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C.2.1. Formulation en écoulement dénoyé :

C.2.1.1. Formule générale de débit :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2g}{3}} \cdot h_1^{3/2} \dots \dots \dots (I.33)$$

➤ **Limites d'application :**

$h_{1max} > \max [0.06 ; 0.08 \cdot C]$; pour $h_1/(h_1+p) < 0.35$; $0.08 < h_1/C < 1.5m$
 $L > \min [0.3 ; C/5 ; h_{1max}]$; pour $h_1/(h_1+p) > 0.35$; $0.08 < h_1/C < 0.85m$
 $p > 0.15m$;

C.2.1.2. Expression du coefficient de débit :

➤ La valeur du coefficient de débit μ dépend du coefficient F fonction de la valeur de $h_1/(h+p)$, obtenue à l'aide des abaques ci-dessous avec : $\mu = 0,848 \cdot F$.

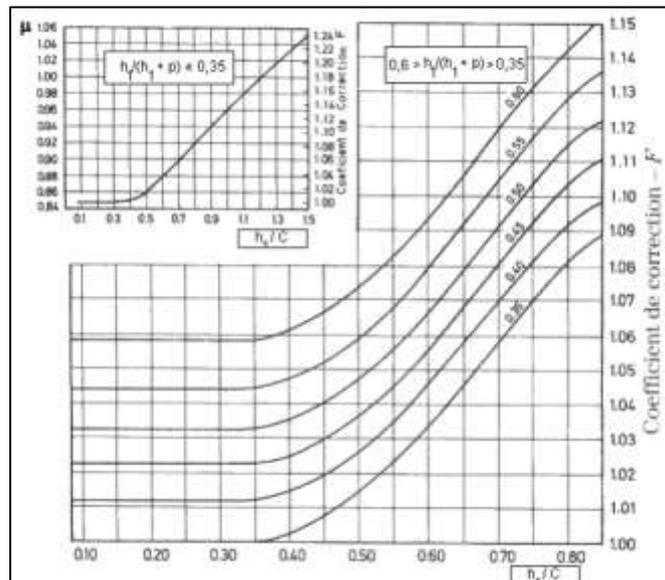


figure.I.28.détermination du coefficient de correction F pour le calcul du coefficient de débit d'un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête vive en écoulement dénoyé suivant les valeurs de h_1/C et $h_1/(h_1+p)$ pour $0,33 < h_1/C < 1,5$.(Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

C.3. Déversoirs à tête arrondie :

➤ Les déversoirs à crête arrondie sont des déversoirs fixes qui font partie des ouvrages de contrôle. Ils sont souvent utilisés pour retenir les eaux d'une rivière. Le déversoir lui-même est constitué d'un corps de barrage massif. Les contours extérieurs du déversoir ont plus ou moins la forme d'un triangle. Le dos de déversoir est souvent conçu de manière à favoriser l'écoulement, afin d'atteindre un débit Q maximum.(Source :EQUIPEMENT FOR ENGINEERING EDUCATION, HM 162.32, 2013)

C.3.1. déversoir à crête arrondie avec deux évacuateurs (à pente raide et en saut de ski) :

- pour l'évacuateur à pente raide, l'eau s'écoule par l'évacuateur sur le fond de l'eau.
- pour l'évacuateur en saut de ski, il crée jet libre qui atteint la surface de l'eau à une certaine distance du déversoir .cet évacuateur est utilisé pour dissiper l'énergie.
- le fond des eaux derrière provoquées par le jet d'eau survenant .c'est pourquoi il doit être fixé ou protégé contre l'érosion par un niveau d'eau élevé. (**Source : EQUIPEMENT FOR ENGINEERING EDUCATION, HM 162.32 Déversoir à crête arrondie avec 2 évacuateurs, G.U.N.T HAMBURG.2013**)



figure.I.29.déversoir à crête arrondie avec évacuateur à pente raide.



figure.I.30.déversoir à crête arrondie avec évacuateur en saut de ski.

C.3.2. déversoir à crête arrondie avec mesure de pression :

Ce type de déversoir permet d'étudier la répartition de la pression le long du dos de déversoir. La mesure de la pression s'effectue par des orifices qui sont perpendiculaires à la surface du dos de déversoir. Les hauteurs de pression sont affichées directement sur les tubes de manomètre intégrés.(**Source :EQUIPEMENT FOR ENGINEERING EDUCATION, HM 162.32 Déversoir à crête arrondie avec mesure de pression, G.U.N.T HAMBURG, 2013**)



- **figure.I.31.**image d'un déversoir à crête arrondie avec mesure de pression. (Source : **Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005**)

C.3.3.formule du débit :

➤ Dans le cas d'une nappe dénoyée, on utilise la formule de POLENI suivante :

$$Q = \mu.S.L.\sqrt{2g} .h_1^{3/2} \dots\dots\dots(I.34)$$

➤ Dans le cas d'une nappe noyée, le niveau d'eau en aval h_2 influence le niveau d'eau en amont h_1 .Le débit est calculé de la même manière que pour la nappe dénoyée. Un coefficient de réduction est toutefois pris en compte.

$$Q = c.\mu.S.L.\sqrt{2g} .h_1^{3/2} \dots\dots\dots(I.35)$$

c = coefficient de réduction (sans dimension) qui dépend du rapport $\frac{h_2}{h_1}$ et $\frac{h_1}{p}$.

$$S = (1- (H_2/H_1)^2)^{1/2}$$

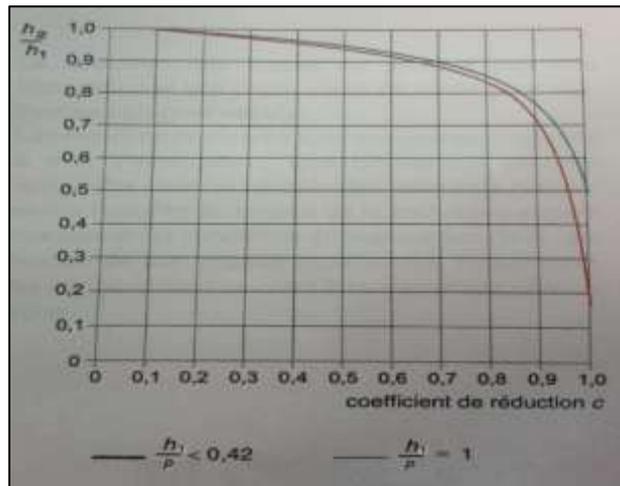


figure.I.32.abaque permettant de déterminer le coefficient de réduction c pour un déversoir à crête arrondie.(Source : HANDBOOK OF HYDRAULICS,Ernest F.Brater,Seventh Edit)

C.3.4.formule du coefficient du débit :

Pour la détermination du coefficient du débit μ , on doit :

A. Déterminer le type d'écoulement au dessus du déversoir selon les 4 types d'écoulement présentés dans la figure suivante et qui dépendent des grandeurs $(h_2+\Delta h)/H_1$ et h_2/H_1 :

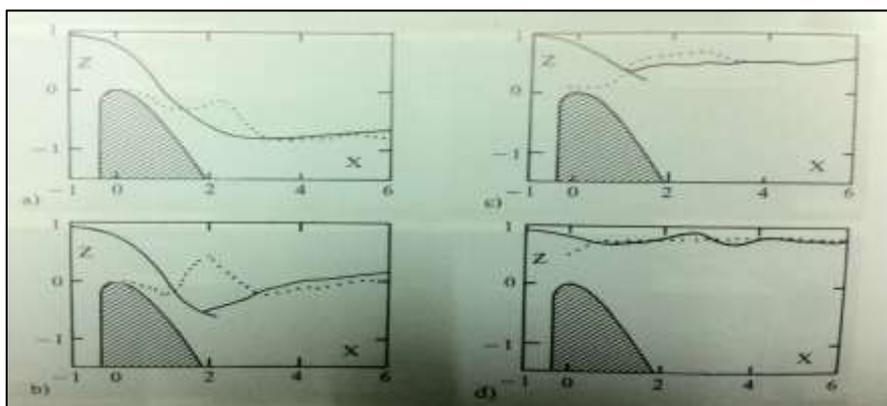


figure.I.33.différents types d'écoulement selon la hauteur d'eau en amont, au dessus et en aval du déversoir à crête arrondie. (Source : HANDBOOK OF HYDRAULICS, Ernest F.Brater,Seventh Edit)

Avec :

- pour le schéma (a) : $[(h_2+\Delta h) / H_1 ; h_2/H_1] = [2.14 ; 1.75]$
- pour le schéma (b) : $[(h_2+\Delta h) / H_1 ; h_2/H_1] = [2.14 ; 0.955]$
- pour le schéma (c) : $[(h_2+\Delta h) / H_1 ; h_2/H_1] = [2.14 ; 0.513]$
- pour le schéma (d) : $[(h_2+\Delta h) / H_1 ; h_2/H_1] = [2.14 ; 0.142]$

et $\Delta h = p + H_1 - h_2$.

B. déterminer la réduction du coefficient de débit ΔC_d (ou $\Delta \mu$) [%] en fonction de $(h_2+\Delta h) / H_1$ et h_2/H_1 en utilisant l'abaque représenté dans l'abaque suivant :

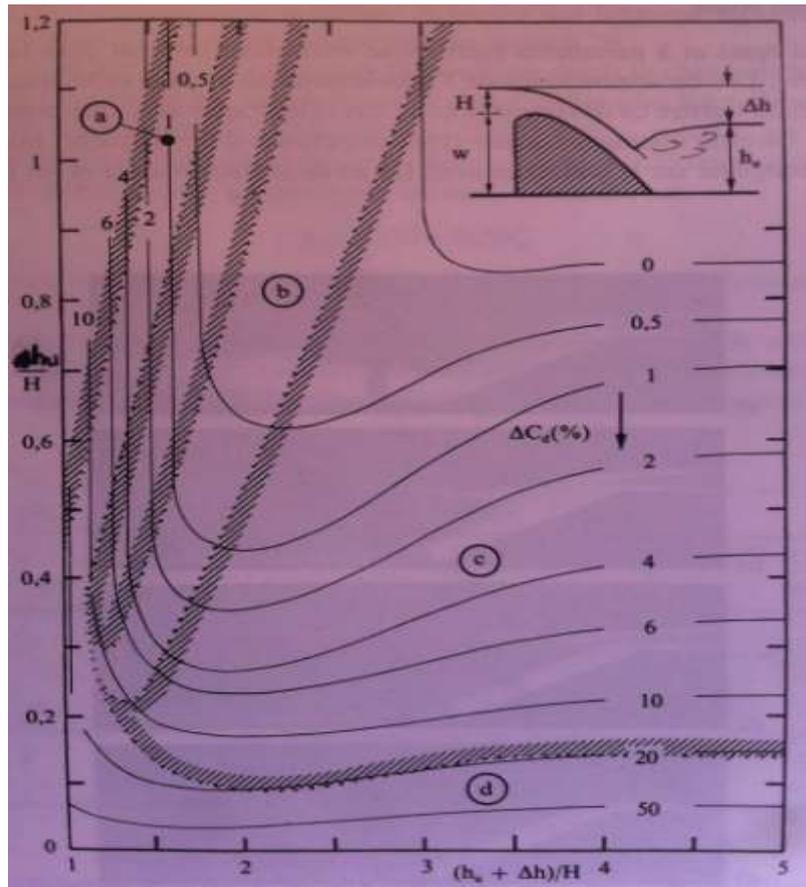


Figure.I.34. réduction ΔC_d (ou $\Delta \mu$) du coefficient de débit [%] en fonction de $(h_2+\Delta h) / H_1$ et h_2/H_1 . (Source : Constructions hydrauliques, Wili H.Hager et Anton J.Schleiss)

C.4. Déversoir cunéiforme :

Les déversoirs à seuil épais et à parements inclinés se retrouvent souvent dans la pratique, notamment pour les digues en terre. Les caractéristiques de l'écoulement par-dessus cette structure sont d'un intérêt particulier.

L'écoulement est décrit par la relation entre le débit Q et la charge amont H_1 , comme suit :

$$Q = \mu \cdot L_e \cdot (2gH_1^3)^{1/2}$$

Le coefficient de débit μ dépend essentiellement de la charge adimensionnelle $\zeta = H_1/(H_1+L_e)$ avec L_e est la longueur du seuil .pour le déversoir considéré avec une pente de parement de $1/2$ des essais de laboratoire ont fourni la relation (Fritz et Hager 1998)

$$\mu = 0.43 + 0.06 \cdot \sin [\pi (\zeta - 0.55)]$$

I.5.3.3. Déversoir à crête non définie (à siphon) :

Les déversoirs à siphon comptent parmi les déversoirs fixes. Ils sont utilisés pour l'évacuation de crues sur les barrages et présentent une capacité d'évacuation spécifique élevée. Les déversoirs à siphon « se mettent en action » dès que le niveau de l'eau du lac artificiel atteint une hauteur déterminée. On assiste alors à un écoulement en charge dans le conduit entièrement traversé. Cet écoulement en charge a une capacité d'évacuation élevée, qui est supérieure à la capacité d'évacuation au niveau de la nappe dénoyée.

Lorsque le niveau de l'eau baisse à nouveau, de l'air est aspiré dans le siphon. Ce qui interrompt brusquement la colonne d'eau.

Le déversoir à siphon transparent dispose d'une aération permettant de comparer le fonctionnement ou la capacité d'évacuation du déversoir à siphon avec et sans aération. L'aération permet également d'interrompre à tout moment le débit dans le siphon actif.

(Source : G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Barsbüttel, Germany, 05/1999)

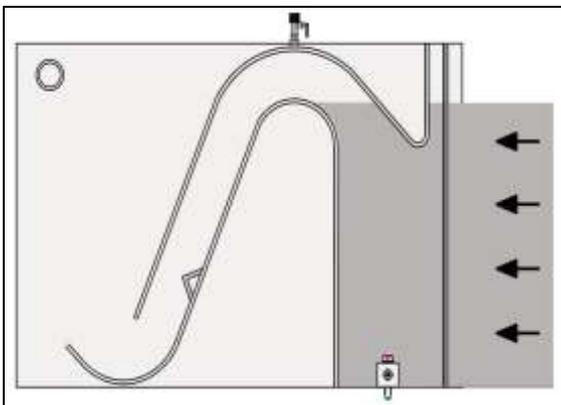


figure.I.35.schéma d'un déversoir à siphon. (Source : EQUIPEMENT FOR ENGINEERING EDUCATION , G.U.N.T HAMBURG, 2013.)

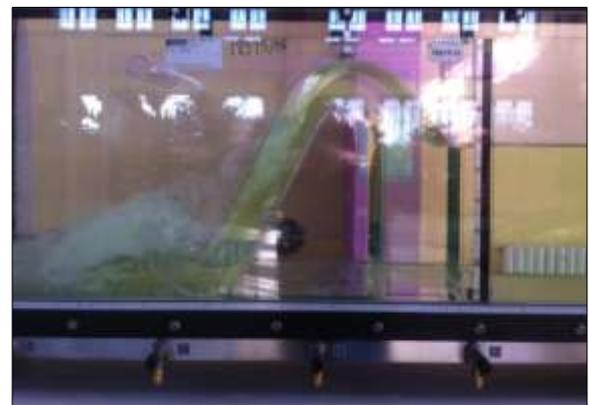


figure.I.36.déversoir à siphon sous écoulement

A. Formule du débit :

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(I.36)$$

- A : section d'évacuation d'eau.
- h : différence de hauteur entre le niveau maximum en aval et la section d'évacuation.
- μ : coefficient de débit du déversoir à siphon (varie $0.5 \leq \mu \leq 0.8$).

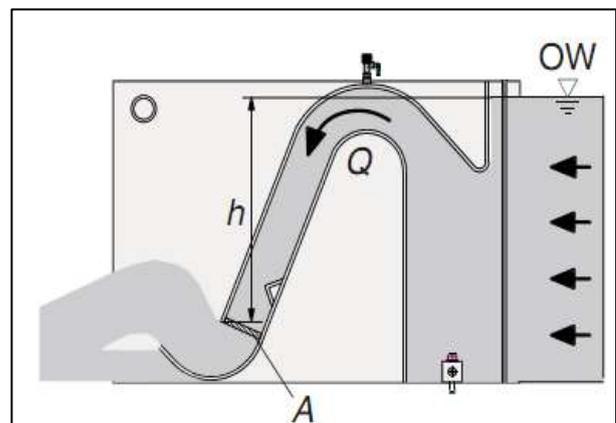


figure.I.37.schéma d'un déversoir à siphon en fonctionnement.

B. Formule du coefficient du débit :

Pour la détermination du coefficient du débit, on utilise l'abaque suivant qui donne les valeurs de ce coefficient en fonction du débit.

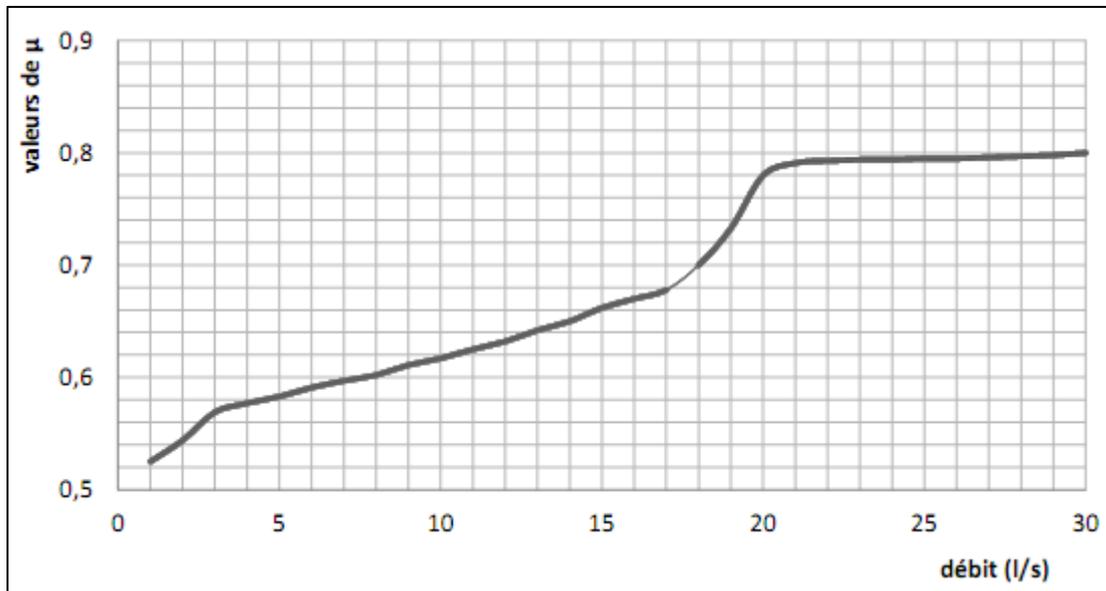


Figure.I.38.variation du coefficient du débit μ en fonction du débit (l/s) pour un déversoir de type à siphon.(Source : Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

I.6.Conclusion :

- ❖ Ce chapitre nous a permis de :
- ✓ définir les différentes étapes pour le calcul du débit transitant par un seuil, à savoir :
 - détermination du type de crête du seuil.
 - détermination du régime d'écoulement.
 - choix et utilisation de la formule de débit adéquate.
- ✓ définir les différents types des déversoirs, à savoir :
 - Seuil à crête mince.
 - Seuil à crête épaisse.
 - Seuil à crête non définie.
- ❖ pour le même type de déversoir, il existe plusieurs formules pour calculer le débit et le coefficient de débit, pour cela il faut prendre en considération les limites d'application de chaque formule et vérifier la validité de cette dernière avec le type de déversoir utilisé.

Chapitre II

Présentation des pilotes et instruments de mesure

II.1.Introduction :

Dans ce chapitre nous allons donner une brève description du canal expérimental, les différents déversoirs et les instruments de mesure utilisés dans cette partie expérimentale ainsi que de définir le mode opératoire adopté et cela dans le but d'obtenir des résultats concrets et exploitables.

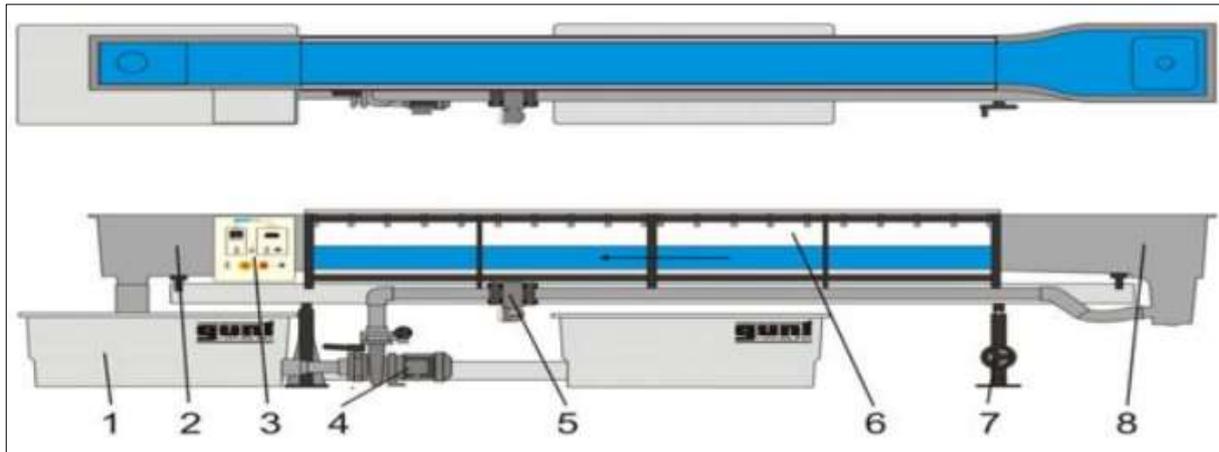


figure.II.1.schéma des éléments constituant le canal expérimental.

II.2.description du canal expérimental :

Avec : 1 réservoir d'eau, 2 élément de sortie, 3 coffret de commande, 4 pompe, 5 capteur de débit, 6 section d'essai, 7 système d'ajustage de l'inclinaison, 8 élément d'entrée

- ✓ Ce canal est de section rectangulaire de 12.5m de longueur avec un circuit d'eau fermé et une coupe transversale de 450x309mm.
- ✓ Les parois latérales de la section d'essai sont en verre trempé permettant l'observation optimale des essais. Tous les composants en contact avec l'eau sont fabriqués dans des matériaux résistants à la corrosion (acier inoxydable, plastique renforcé de fibres de verre).



figure.II.2.le canal expérimental.

- ✓ Le canal est alimenté en amont par quatre (04) réservoirs en matière plastique renforcée de fibres de verre contenant chacun 1100 L et se déverse en aval dans un bac de décharge,
- ✓ chaque réservoir est de dimensions (L x l x h=2180 x 1000 x 765mm possédant un couvercle en aluminium de 2000x1000x5mm et une surface antidérapante.



figure.II.3.image d'un réservoir.

- ✓ L'eau est puisée des réservoirs à l'aide d'une pompe de type Aquafirst donnant un débit maximal de $130 \text{ m}^3/\text{h}$ sur une hauteur de 30m, la plage de mesure des débits varie de 5.4 à $130 \text{ m}^3/\text{h}$. Cette pompe possède une vitesse de rotation de 2800 min^{-1} s'accompagnant d'une puissance absorbée de 7.5 Kw.



figure.II.4.pompe type Aquafirst.

- ✓ L'élément d'entrée est conçu de telle manière à minimiser les turbulences de l'écoulement à son arrivée dans la section d'essai Afin de permettre la simulation de chutes et l'ajustage d'un écoulement uniforme ayant une profondeur constante, il est possible d'ajuster en continu l'inclinaison du canal d'essai.
- ✓ Le dispositif a un poids total d'environ 1950 kg et nécessite pour son fonctionnement une tension de 400 V pour une fréquence de 50 Hz sur un système à 3 phases.
- ✓ le canal est équipé d'un débitmètre électromagnétique qui est installé dans la conduite, entre la pompe à eau et l'élément d'entrée .Le débit mesuré est affiché sur le coffret de commande.



figure.II.5.débitmètre électromagnétique.

- ✓ Ce dispositif possède un système d'ajustage électronique de l'inclinaison qui peut varier de $[-0,5 \text{ à } +2,5\%]$ avec un pas de 0.1 % ainsi qu'un Système d'acquisition de données et d'automatisation.
- ✓ le réglage peut être électrique ou manuel.



figure.II.6.réglage de l'inclinaison.

- ✓ Le coffret de commande est constitué des éléments présentés dans l'image suivante :

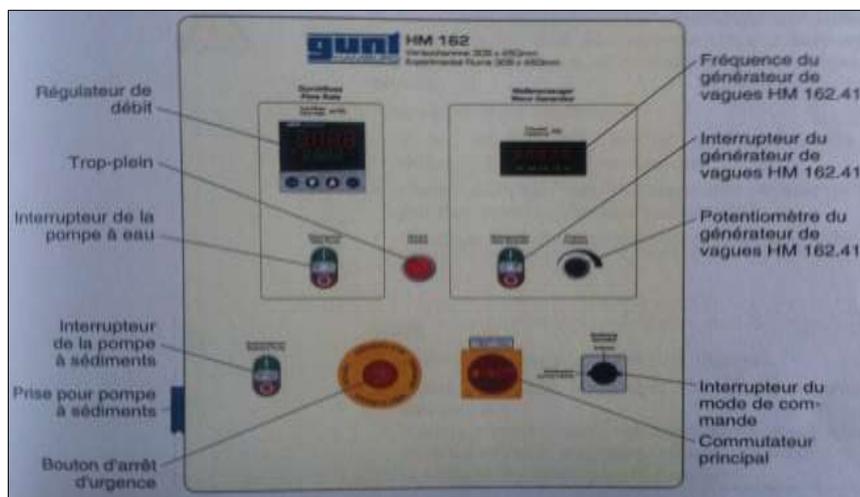


figure.II.7.shéma du coffret de commande.

II.3.déscription des déversoirs :

II.3.1.déversoirs à crête mince :

II.3.1.1.déversoir triangulaire :

Sur un déversoir triangulaire, la crête déversante augmente sur les cotés. De par sa forme triangulaire, ce déversoir présente une précision élevée dans la plage de mesure inférieure. C'est pourquoi ce type de déversoir est adapté avant tout aux faibles débits. La lame déversante d'un déversoir triangulaire est toujours aérée.



figure.II.8.déversoir triangulaire.

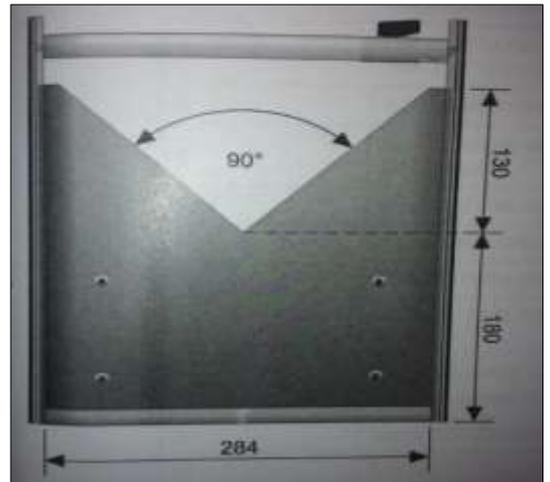


figure.II.9.dimensions du déversoir triangulaire en (mm).

II.3.1.2.déversoir rectangulaire:

La crête déversante d'un déversoir rectangulaire est de forme horizontale. Ce type de déversoir est adapté aux débits importants. Pour de faibles hauteurs, ce déversoir présente par contre une faible précision de mesure. Les déversoirs rectangulaires peuvent être conçus avec ou sans contraction latérale.

A. sans contraction latérale :



figure.II.10.déversoir rectangulaire sans contraction latérale .

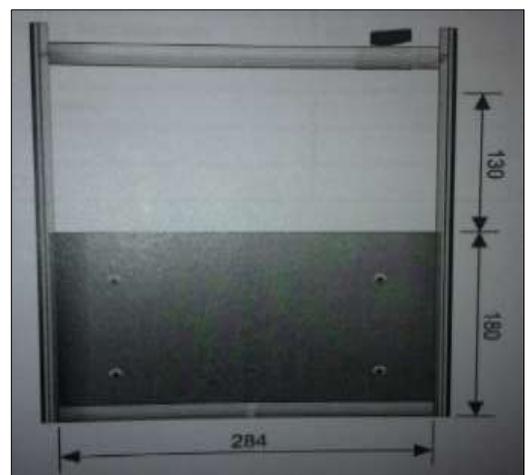


figure.II.11.dimensions du déversoir rectangulaire sans contraction latérale en (mm).

B. avec contraction latérale :



figure.II.12.déversoir rectangulaire avec contraction latérale.

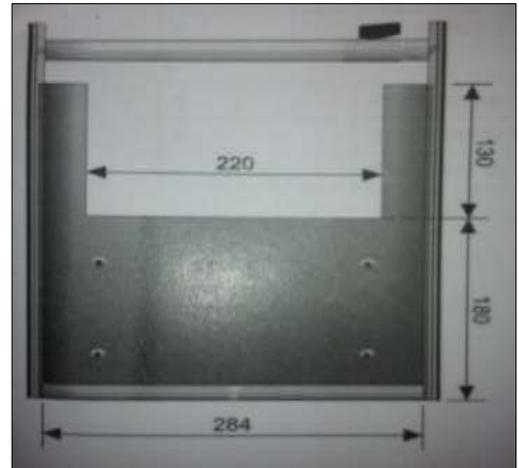


figure.II.13.dimensions du déversoir rectangulaire avec contraction latérale en (mm).

II.3.1.3.déversoir trapézoïdale:

Le déversoir de mesure trapézoïdal est la combinaison d'un déversoir rectangulaire et d'un déversoir triangulaire. En comparaison avec le déversoir triangulaire, le déversoir trapézoïdal présente une précision un peu plus faible dans la plage de mesure inférieure. il a par contre l'avantage que la limite supérieure de la plage de mesure de mesure est nettement plus élevée. Le déversoir trapézoïdal combine alors les avantages d'un déversoir triangulaire et un autre rectangulaire. La lame déversante d'un déversoir trapézoïdal est toujours aérée.



figure.II.14.déversoir trapézoïdale.

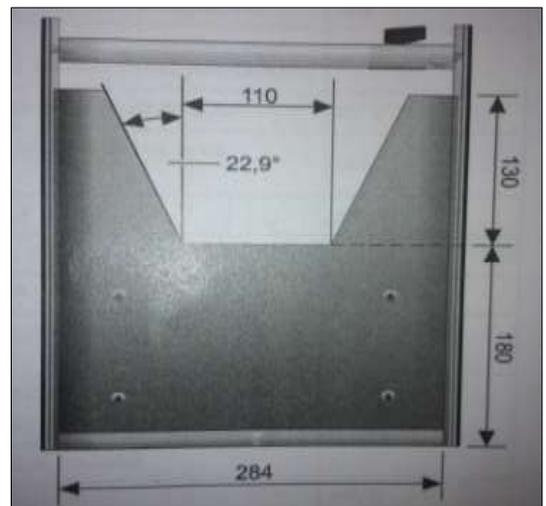


figure.II.15.dimensions du déversoir trapézoïdale en (mm).

II.3.2.déversoirs à crête épaisse :

Les déversoirs à seuil épais font partie des ouvrages de contrôle. On a souvent une nappe noyée, c'est-à-dire que le déversoir est entièrement immergé dans l'eau en aval. Les déversoirs à seuil épais peuvent aussi, dans certaines conditions, être utilisés comme déversoirs de mesure. Ce matériel comprend un corps de déversoir parallélépipédique à arêtes vives. Deux éléments supplémentaires peuvent être fixés sur le corps de déversoir afin d'obtenir des arêtes arrondies. La nappe dénoyée et la nappe noyée peuvent être bien démontrées. L'impact de la crête de déversoir à arêtes vives ou arrondies sur la lame déversante est bien visible.

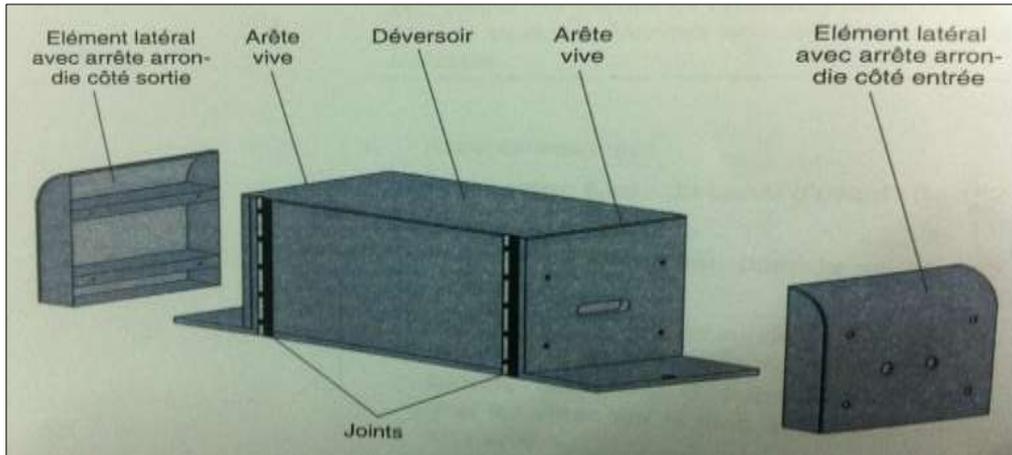


figure.II.16.déversoir a seuil épais. (Source : Constructions hydrauliques, Wili H.Hager et Anton J.Schleiss)

II.3.2.1.à paroi épaisse avec arrête arrondie :

Il existe également un seuil normalisé avec arête arrondie en amont et en aval. L'arête qui définit l'intersection du parement amont et aval avec la crête est remplacée par une surface arrondie, de rayon r, de manière à éviter la séparation de l'écoulement.

II.3.2.2.à paroi épaisse avec arrête vive :

Le bloc déversant doit être placé dans un canal rectangulaire et les surfaces doivent être lissées. On veillera spécialement à ce que l'arête d'amont soit bien définie et que l'angle soit à 90°.



figure.II.17.déversoir à paroi épaisse avec arrêtes vives



figure.II.18.déversoir à paroi épaisse avec arrêtes arrondies.

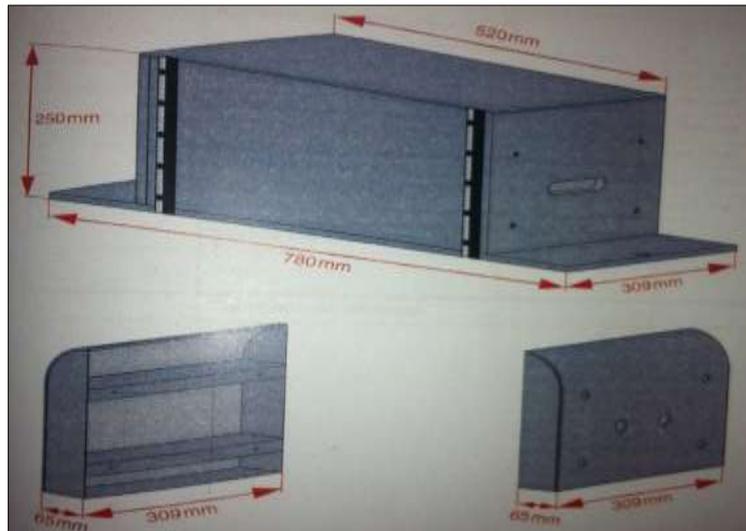


figure.II.19.dimensions du déversoir à paroi épaisse avec arrête arrondie et vive. (Source : **Constructions hydrauliques, Wili H.Hager et Anton J.Schleiss**)

II.3.2.3. Déversoirs à tête arrondie :

Les déversoirs à crête arrondie sont des déversoirs fixes qui font partie des ouvrages de contrôle. Lorsqu'un corps de déversoir est submergé, il se produit un changement d'écoulement: ce dernier devient supercritique. L'écoulement supercritique présente une énergie cinétique élevée à l'extrémité du dos de déversoir. La part de cette énergie qui est excédentaire peut provoquer des dommages. C'est pourquoi il faut dissiper de l'énergie, p.ex. en utilisant un évacuateur de déversoir en forme de saut de ski ou un bassin d'amortissement. Ce matériel comprend deux déversoirs à crête arrondie avec différents évacuateurs de déversoir (en forme de saut de ski et à pente raide). D'autres possibilités de dissipation d'énergie peuvent être étudiées avec les accessoires disponibles (Éléments de dissipation d'énergie).



Figure.II.20.déversoir à arrête arrondie avec évacuateur à pente raide.

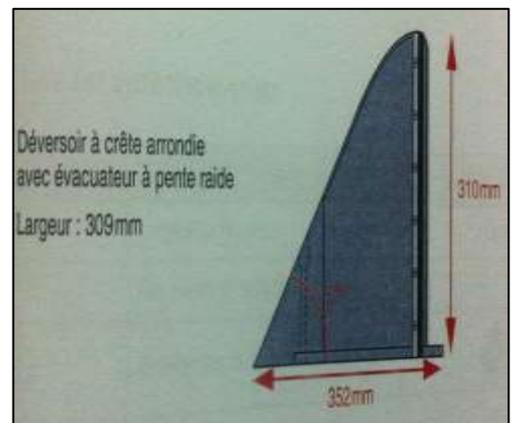


Figure.II.21. dimensions du déversoir à arrête arrondie avec évacuateur à pente raide.



Figure.II.22. déversoir à arrête arrondie avec évacuateur en saut de ski.

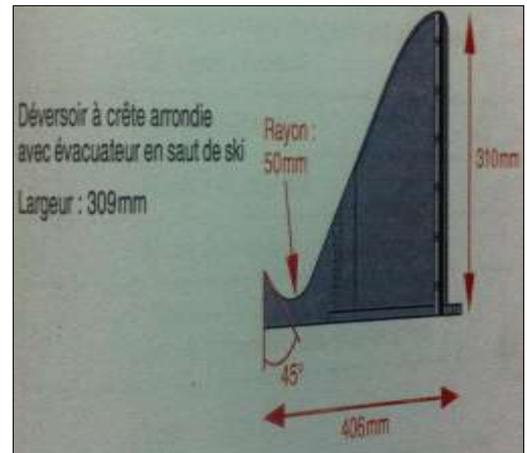


figure.II.23. dimensions du déversoir à arrête arrondie avec évacuateur en saut de ski.

II.3.2.4. Déversoirs à tête arrondie avec mesure de pression:

Les déversoirs à crête arrondie sont des déversoirs fixes qui font partie des ouvrages de contrôle. Ils sont souvent utilisés pour retenir les eaux d'une rivière. Le déversoir lui-même est constitué d'un corps de barrage massif. Les contours extérieurs du déversoir ont plus ou moins la forme d'un triangle. Le dos de déversoir est souvent conçu de manière à favoriser l'écoulement, afin d'atteindre un débit Q maximum. Cela permet d'étudier la répartition de la pression le long du dos de déversoir. La mesure de la pression s'effectue par des orifices qui sont perpendiculaires à la surface du dos de déversoir. Les hauteurs de pression sont affichées directement sur les tubes de manomètre intégrés.

Les dimensions de ce déversoir sont comme suit :

- ✓ Longueur = 620 mm
- ✓ largeur = 304 mm
- ✓ hauteur = 310 mm
- ✓ poids = 15 kg

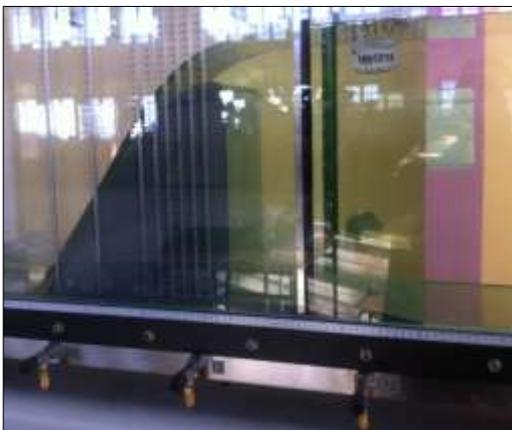


Figure.II.24. déversoir à tête arrondie avec mesure de pression sous écoulement.



figure.II.25. déversoir à tête arrondie avec mesure de pression.

II.3.2.5. Déversoirs cunéiforme :

Les déversoirs cunéiformes font partie des ouvrages de contrôle. Ils font partie des déversoirs à seuil épais. La forme triangulaire du déversoir présente différents avantages; la faiblesse des atterrissements devant le déversoir en fait partie. Une partie du transport des sédiments dans le canal peut s'écouler au travers du déversoir. En outre, les créatures aquatiques arrivent souvent à traverser ce déversoir en amont. Ce déversoir présente des inclinaisons définies du côté de l'écoulement incident et du côté de l'écoulement sortant. Ce déversoir dit de Crump est utilisé essentiellement comme seuil. Les seuils servent à réduire la vitesse d'écoulement afin de prévenir l'érosion. Un seuil est bien dimensionné par rapport au débit existant lorsqu'aucun ressaut ne se produit.

Les dimensions de ce déversoir sont :

- ✓ Longueur = 1060 mm
- ✓ largeur = 309 mm
- ✓ hauteur = 70 mm

il représente deux inclinaisons :

- ✓ côté écoulement incident: 1:2
- ✓ côté écoulement sortant: 1:5

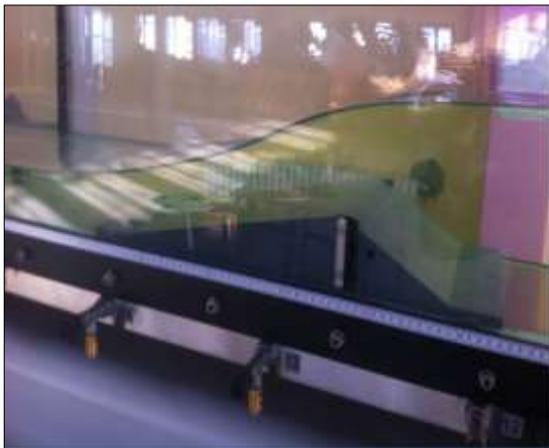


figure.II.26. déversoir cunéiforme sous écoulement.



figure.II.27. déversoir cunéiforme.

II.3.3. Déversoirs à crête non définie :

II.3.3.1. à siphon :

Les déversoirs à siphon comptent parmi les déversoirs fixes. Ils sont utilisés pour l'évacuation de crues sur les barrages et présentent une capacité d'évacuation spécifique élevée. Les déversoirs à siphon « se mettent en action » dès que le niveau de l'eau du lac artificiel atteint une hauteur déterminée. On assiste alors à un écoulement en charge dans le conduit entièrement traversé. Cet écoulement en charge a une capacité d'évacuation élevée, qui est supérieure à la capacité d'évacuation au niveau de la nappe dénoyée. Lorsque le niveau de l'eau baisse à nouveau, de l'air est aspiré dans le siphon. Ce qui interrompt brusquement la colonne d'eau. Le déversoir à siphon transparent dispose d'une aération permettant de comparer le fonctionnement ou la capacité d'évacuation du déversoir à siphon avec et sans aération. L'aération permet également d'interrompre à tout moment le débit dans le siphon actif.

Les dimensions de la section d'écoulement sont :

- ✓ largeur = 284 mm
- ✓ hauteur = 60 mm

Les dimensions du déversoir sont :

- ✓ Longueur = 620 mm
- ✓ largeur = 304 mm
- ✓ hauteur = 430 mm
- ✓ poids = 10 kg



figure.II.28.déversoir à siphon sous écoulement.



figure.II.29.déversoir à siphon.

II.4.Instruments de mesure :

- ✓ Nous avons utilisé un une limnimétrie pour la mesure des hauteurs d'eau en écoulement, l'image suivante illustre cet instrument.



figure.II.30.limnimétrie.

✓ Nous avons utilisé un manomètre à 10 tubes pour la mesure de la charge totale le long du canal en écoulement, l'image suivante illustre cet instrument.

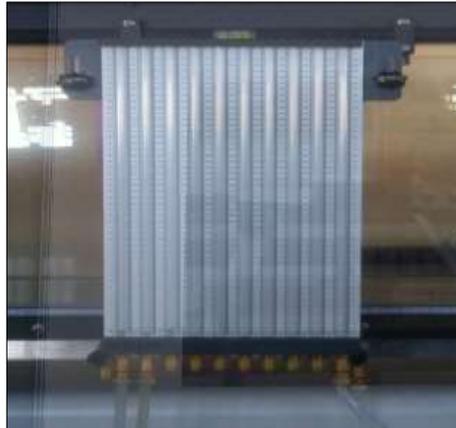


figure.II.31.manomètre à 10 tubes.

II.5.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné une description du matériel utilisé pendant la partie expérimentale à savoir :

- ✓ Le canal expérimental : nous avons décrit les différents éléments constituant ce canal qui sont : les réservoirs d'eau, l'élément de sortie, le coffret de commande, la pompe, le capteur de débit, la section d'essai, le système d'ajustage de l'inclinaison, l'élément d'entrée.
- ✓ Les déversoirs : nous avons définie les types des déversoirs que nous avons utilisés durant les expériences ainsi que les dimensions de chacun.
- ✓ les instruments de mesure : limnimétrie et un manomètre à 10 tubes.

Chapitre III

Validation des lois
d'écoulement au droit
des seuils et déversoirs
sur canal expérimental

III.1.Introduction :

- Dans ce chapitre, le but est de faire une comparaison entre les valeurs du coefficient du débit calculé théoriquement en utilisant des formules et des abaques. et celui obtenu expérimentalement en utilisant des équations qui portent des paramètres obtenues à travers les expériences faites durant la phase de manipulation sur le canal d'essai.
- Pour déterminer l'erreur existante dans l'estimation du coefficient du débit calculé théoriquement par des formules par rapport à sa vraie valeur obtenue expérimentalement. on utilise la méthode de l'erreur moyenne quadratique.
- Pensez à une cible avec un œil de bœuf au milieu. L'erreur quadratique moyenne représente la distance au carré moyen d'un coup de flèche sur la cible et le centre. Maintenant. si les flèches sont dispersées uniformément autour du centre. puis le tireur n'a pas de biais de visée et l'erreur quadratique moyenne est la même que la variance. (Source : www.sciences.gov)
- Pour appliquer cette méthode. on commence par la détermination du coefficient du débit théorique en utilisant les équations correspondantes à chaque type tout en vérifiant leurs limites d'applications. et puis en se basant sur les paramètres mesurés au cours des expériences on détermine le coefficient du débit expérimental.
- L'erreur moyenne quadratique est calculée pour chaque type de déversoir et pour tous les débits utilisés lors des essais.

III.2.Présentation de la méthode de l'erreur moyenne quadratique :

Pour calculer une erreur moyenne quadratique.on suit les étapes suivantes :

- ❖ On détermine la variance des valeurs du coefficient de débit expérimental :

$$\text{Var} (\mu)_i = \sum_{i=1}^n (\mu_{\text{exp } i} - m) \dots\dots\dots(\text{III.1})$$

Var : la variance.

$\mu_{\text{exp}} (\mu)_i$: Coefficient de débit expérimental.

m : moyenne des valeurs du coefficient de débit expérimental.

N : nombre d'essai effectué pour chaque expérience.

- ❖ On détermine l'espérance des valeurs du coefficient du débit théorique :

$$\text{Esp} (\mu)_i = \sum_{i=1}^n (\mu_{\text{thé } i} * p_i) \dots\dots\dots(\text{III.2})$$

Avec :

Esp (μ)_i: L'espérance.

$\mu_{\text{thé } i}$: Coefficient de débit expérimental.

P_i : probabilité pour que $\mu_{\text{thé}}$ estime la vraie valeur de μ_{exp} .

- ❖ On détermine le biais des valeurs du coefficient du débit :

$$\text{Biais} (\mu)_i = \text{Esp} (\mu)_i - \mu_{\text{exp } i} \dots\dots\dots(\text{III.3})$$

Avec:

Biais (μ)_i: le biais du coefficient de débit.

❖ On détermine l'erreur moyenne quadratique :

$$EMQ (\mu)_i = \text{Biais}^2 (\mu)_i + \text{Var} (\mu)_i \dots \dots \dots (III.4)$$

III.3. Présentation des résultats des calculs :

III.3.1. Déversoir à paroi mince rectangulaire sans contraction latérale :

III.3.1.1. Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = \mu_{\text{exp}} \cdot C_v \cdot L \cdot (h_e)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots \dots \dots (III.5)$$

$$\text{donc : } \mu_{\text{exp}} = \frac{Q}{C_v \cdot L \cdot (h_e)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}}$$

III.3.1.2. Calcul du coefficient de débit théorique :

$$\mu_{\text{théor1}} = 2/3(0.602 + 0.075h_1/p) \dots \dots \dots (III.6)$$

$$\mu_{\text{théor2}} = (0.405 + \frac{0.003}{h_1}) [1 + 0.55(\frac{h_1}{h_1+p})] \dots \dots \dots (III.7)$$

$$\mu_{\text{théor3}} = 0.41 (1 + \frac{1}{1000h_1+1.6}) [1 + 0.5(\frac{h_1}{h_1+p})^2] \dots \dots \dots (III.8)$$

❖ Les limites d'application des lois sont vérifiées :

$h_1 > 0.03 \text{ m}$; $0.7 \text{ m} > h_1 > 0.08 \text{ m}$; $0.8 \text{ m} > h_1 > 0.025 \text{ m}$

$h_1 \leq p$; $2 \text{ m} > p > 0.18 \text{ m}$; $p > 0.10 \text{ m}$;

III.3.1.3. résultats de calculs :

Tableau.III.1. résultats de calculs pour le déversoir rectangulaire sans contraction latérale.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pe nte	Débit choisi (m ³ /h)	Débit lu (m ³ /s)	h ₁ cm	H ₁ cm	Coef de vitess e C _v	μ expéri	μ théor1	μ théor2	μ théor3	EMQ
à paroi mince	rectangulaire sans contraction latérale P=18cm L=28.4cm	0.5 %	10	0.003	4.2	4.9	1.26	0.206	0.413	1.236	0.711	0.338
			20	0.006	7.1	7.7	1.13	0.206	0.421	0.956	0.705	0.239
			30	0.008	8.4	9.4	1.18	0.231	0.425	0.896	0.704	0.198
			40	0.011	9.5	10.7	1.20	0.252	0.428	0.858	0.703	0.170
			50	0.014	11	12.7	1.24	0.244	0.432	0.819	0.702	0.167
			60	0.017	12	13.8	1.23	0.259	0.435	0.799	0.701	0.150
			70	0.019	13.7	15	1.15	0.266	0.439	0.772	0.700	0.139
			80	0.022	14.7	15.9	1.12	0.279	0.442	0.760	0.700	0.127
			90	0.025	15.6	16.9	1.13	0.286	0.445	0.750	0.700	0.120
			100	0.028	16.5	17.4	1.08	0.304	0.447	0.741	0.700	0.107

III.3.1.4. Interprétation des résultats :

- Pour des faibles débits, l'erreur est importante (33.8%) et elle diminue à chaque fois que le débit augmente (10.7%) ce qui explique que les formules utilisés pour le calcul du coefficient du débit théorique estime la vraie valeur (mesuré) à condition que le débit soit important.
- Les valeurs du coefficient du débit théoriques sont moins proches entre eux. cet écart fait augmenter l'erreur et par conséquent la différence entre la valeur théorique et celle mesuré du coefficient du débit.
- La formule du débit théorique 1 ($\mu_{théor 1}$) donne une meilleure estimation du coefficient de débit, ceci apparait dans le petit écart existant entre les valeurs de $\mu_{théor 1}$ et $\mu_{expér}$.

III.3.2. Déversoir à paroi mince rectangulaire avec contraction latérale :

III.3.2.1. Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = \mu_{exp} \cdot C_v \cdot L \cdot (h_e)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots \dots \dots (III.9)$$

$$\text{donc : } \mu_{exp} = \frac{Q}{C_v \cdot L \cdot (h_e)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}}$$

Avec: $h_e = h + 0.0011$

III.3.2.2. Calcul du coefficient de débit théorique :

$$\mu_{théor 1} = (0.405 + \frac{0.0027}{h_1} - 0.03 \frac{B-L}{B}) [1 + 0.55 (\frac{L \cdot h_1}{B(h_1+p)})^2] \dots \dots \dots (III.10)$$

$$\mu_{théor 2} = [0.3853 + 0.0246 (\frac{L}{B})^2 + \frac{2.41 - 2 * (\frac{L}{B})^2}{1000 h_1 + 1.6}] * [1 + 0.5 (\frac{L}{B})^4 (\frac{h_1}{h_1+p})^2] \dots \dots \dots (III.11)$$

❖ Les limites d'application des lois sont vérifiées :

$0.1m < h_1 < 0.6m$; $0.14m < p < 0.8m$; $0.025 * B/L < h_1 < 0.8m$
 $0.3 < L < 1.8m$; $0m < \frac{B-L}{B} < 0.9m$; $0.3 < L/B < 0.9$

III.3.2.3. résultats de calculs :

Tableau.III.2. résultats de calculs pour le déversoir rectangulaire avec contraction latérale.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pente	Débit choisi (m ³ /h)	Débit lu (m ³ /s)	h ₁ cm	H ₁ cm	Coeff de vitesse	μ expéri	μ théor 1	μ théor 2	EMQ
à paroi mince	rectangulaire avec contraction latérale P=18cm L=28.4cm B=30.9cm	0.5 %	10	0.003	2.7	10	7.128	0.134	0.462	0.585	0.253
			20	0.006	5.1	9.2	2.423	0.151	0.445	0.570	0.156
			30	0.008	6.3	11	2.307	0.156	0.435	0.566	0.133
			40	0.011	8.5	12.5	1.783	0.189	0.424	0.562	0.111
			50	0.014	9.9	14	1.682	0.192	0.420	0.561	0.101
			60	0.017	11.1	15.3	1.618	0.235	0.417	0.560	0.092
			70	0.019	12.5	16.6	1.530	0.254	0.414	0.559	0.086
			80	0.022	13.5	17.7	1.501	0.273	0.413	0.558	0.080
			90	0.025	14.4	18.7	1.480	0.292	0.412	0.558	0.075
			100	0.028	15.5	19.5	1.411	0.303	0.410	0.557	0.065

III.3.2.4. Interprétation des résultats :

- Pour des faibles débits, l'erreur est importante (25.3%) et elle diminue à chaque fois que le débit augmente (6.5%) ce qui explique que les formules utilisés pour le calcul du coefficient du débit théorique estime la vraie valeur (mesuré) à condition que le débit soit important.
- Les valeurs du coefficient du débit théoriques sont moins proches entre eux. cet écart fait augmenter l'erreur et par conséquent la différence entre la valeur théorique et celle mesuré du coefficient du débit.
- Les deux formules théoriques surestiment le coefficient de débit surtout pour des faibles débits. La formule ($\mu_{thé1}$) donne des valeurs plus proches aux résultats expérimentaux.

III.3.3. Déversoir à paroi mince triangulaire :

III.3.3.1. Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu_{exp} \cdot C_v \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_1 + K_h)^{5/2} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots (III.12)$$

$$\text{donc : } \mu_{exp} = \frac{15}{8} \frac{Q}{C_v \cdot (h_1 + K_h)^{5/2} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{2g}}$$

III.3.3.2. Calcul du coefficient de débit théorique :

Pour le calcul du coefficient de débit théorique. on a utilisé l'abaque représenté dans la page 15 du premier chapitre qui donne valeur du coefficient de débit en fonction de h_1/p et de p/B pour $\alpha=90^\circ$ lorsque le déversoir est partiellement contracté.

K_h : longueur qui dépend de la tension superficielle et de la viscosité définie l'abaque (page 15).

❖ **Les limites d'application des lois sont vérifiées :**

$25^\circ < \alpha < 100^\circ$; $B-L < 1.5L$; $p/B \leq 0.6$; $p < 0.2m$; $B < 0.6m$; $h_1/p \leq 1.4$; $h_1/B \geq 0.4m$; $0.05m < h_1 < 0.6m$;

III.3.3.3. résultats de calculs :

Tableau.III.3. résultats de calculs pour le déversoir triangulaire.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pe nte	Débit (m ³ /h)	Débit lu (m ³ /s)	h ₁ cm	H ₁ cm	μ expéri	μ théor	EMQ
à paroi mince	Triangulaire P=18cm L=28.4cm B=30.9cm	0.5 %	10	0.003	6.9	11	0.289	0.570	0.145
			20	0.006	9.7	14	0.246	0.586	0.194
			30	0.008	11.2	15.9	0.255	0.590	0.189
			40	0.011	13.3	17.5	0.249	0.595	0.199
			50	0.014	14.8	18.6	0.241	0.605	0.215
			60	0.017	15.8	20	0.252	0.613	0.213
			70	0.019	16.9	21	0.244	0.618	0.215
			80	0.022	18	24	0.242	0.630	0.228
			90	0.025	18.8	23.2	0.261	0.635	0.215
			100	0.025	19.6	23.8	0.241	0.660	0.259

III.3.3.4. Interprétation des résultats :

- Pour des faibles débits, l'erreur est faible (14.5%) et elle diminue à chaque fois que le débit augmente (25.9%) ce qui explique que l'abaque utilisé pour le calcul du coefficient du débit théorique estime la vraie valeur (mesuré) à condition que le débit soit faible.
- L'estimation du coefficient du débit théorique par une seule valeur donnée par l'abaque diminue l'erreur.
- L'abaque utilisée pour l'estimation du coefficient du débit théorique reste moins efficace vue que l'erreur est importante (EMQ_{min}=14.5%)

III.3.4. Déversoir à paroi mince trapézoïdale :

III.3.4.1. Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = \mu_{\text{exp}} \cdot C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \dots \dots \dots (III.13)$$

$$\mu_{\text{exp}} = \frac{Q}{C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}}$$

III.3.4.2. Calcul du coefficient de débit théorique :

$$\mu_{\text{théor}} = [0.3853 + 0.0246 \left(\frac{L}{B}\right)^2 + \frac{2.41 - 2 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2}{1000h_1 + 1.6}] \cdot [1 + 0.5 \left(\frac{L}{B}\right)^4 \left(\frac{h_1}{h_1 + p}\right)^2] \dots \dots \dots (III.14)$$

❖ **Les limites d'application des lois sont vérifiées :**

$$0.06 \text{ m} < h_1 < 0.6 \text{ m}$$

III.3.4.3. résultats de calculs :

Tableau.III.4. résultats de calculs pour le déversoir trapézoïdale.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pente	Débit (m ³ /h)	Débit lu m ³ /h	h ₁ cm	H ₁ cm	μ expéri	μ théor	EMQ
à paroi mince	trapézoïdale P=18cm L=28.4cm B=30.9cm	0.5%	10	10.0	4.2	8.5	0.089	0.633	0.297
			20	20.1	7.2	11.4	0.115	0.622	0.259
			30	30.0	9.4	13.6	0.132	0.619	0.239
			40	40.1	10.7	15.5	0.145	0.618	0.225
			50	50.0	12.7	17	0.158	0.616	0.212
			60	60.1	13.8	18	0.174	0.616	0.197
			70	70.0	15	19.3	0.182	0.615	0.189
			80	80.0	15.9	20.2	0.195	0.615	0.178
			90	90.1	16.9	21.1	0.205	0.614	0.169
	100	100.0	17.4	23	0.200	0.614	0.173		

III.3.4.4. Interprétation des résultats :

- Pour des faibles débits, l'erreur est importante (29.7%) et elle diminue à chaque fois que le débit augmente (17.3%) ce qui explique que l'abaque utilisé pour le calcul du coefficient du débit théorique estime la vraie valeur (mesuré) à condition que le débit soit important.
- L'estimation du coefficient du débit théorique par une seule valeur diminue l'erreur.

- La formule utilisée pour l'estimation du coefficient du débit théorique reste moins efficace vue que l'erreur est importante ($EMQ_{\min}=17.3\%$)

III.3.5. Déversoir à paroi épaisse à crête arrondie sans contraction latérale :

III.3.5.1. Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = \mu_{\text{exp}} \cdot C_v \cdot L \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2g}{3}} \cdot h_1^{3/2} \dots\dots\dots(III.15)$$

$$\mu_{\text{exp}} = \frac{3}{2} \frac{Q}{C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g/3}}$$

III.3.5.2. Calcul du coefficient de débit théorique :

A. méthode 1 :

$$\mu_{\text{théorique 1}} = \left(\frac{1-2x(C-r)/L}{1-x(C-r)/h_1} \right)^{3/2} \dots\dots\dots(III.16)$$

x : coefficient qui dépend de la rugosité des parois et du seuil.

x = 0.005 pour du béton normal (ouvrages sur le terrain).

x = 0.003 pour du béton très lisse (ouvrages en laboratoire).

B. méthode 2 :

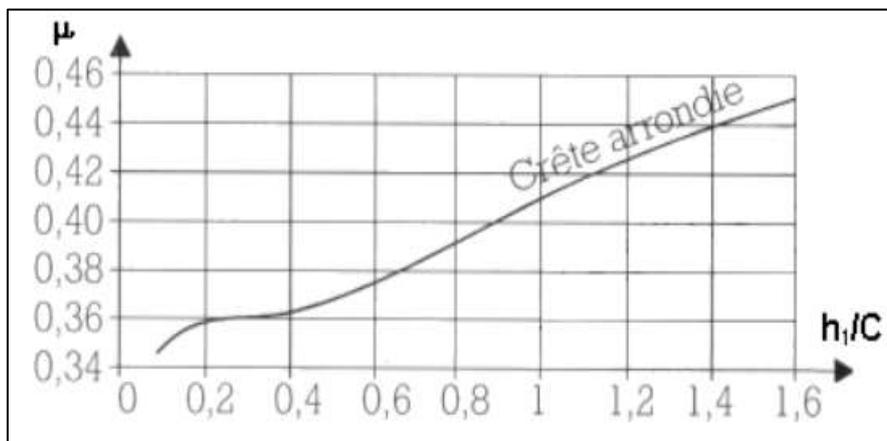


figure.III.1. graphique permettant de déterminer le coefficient de débit pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête amont arrondie sans contraction latérale et en écoulement dénoyé. (Source : Notice sur les déversoirs, CETEM, Février 2005)

❖ Les limites d'application des lois sont vérifiées :

$h_{1\max} > \max[0.06 ; 0.08 \cdot C]$; $0.05 < h_1/C < 0.5m$; $p > 0.15 m$; $0.15 < h_1/p < 1.5$
 $C > 1.75 h_{1\max}$; $L > \min[0.3 ; C/5 ; h_{1\max}]$; $r = 0.2 h_{1\max}$

III.3.5.3.résultats de calculs :

Tableau.III.5. résultats de calculs pour le déversoir à paroi épaisse à crête arrondie.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pente	Débit (m ³ /h)	Débit lu (m ³ /s)	h ₁ (cm)	H ₁ (cm)	h ₁ /C	h critique (m)	μ expéri	μ théor 1	μ théor 2	EMQ
à paroi épaisse	à crête arrondie sans contraction latérale P=25cm L=30.9cm C=78cm	0.5 %	10	10.0	2.9	7.2	0.037	0.022	0.055	0.399	0.34	0.100
			20	20.0	4.9	9	0.063	0.042	0.076	0.559	0.34	0.141
			30	29.9	6.4	10.5	0.082	0.057	0.096	0.639	0.35	0.161
			40	39.9	7.6	11.3	0.097	0.069	0.113	0.688	0.35	0.166
			50	50.0	8.8	13	0.113	0.078	0.129	0.728	0.35	0.170
			60	60.0	9.9	14.1	0.127	0.089	0.142	0.758	0.36	0.175
			70	69.9	11	15.1	0.141	0.1	0.153	0.784	0.36	0.177
			80	80.0	11.8	16.1	0.151	0.106	0.165	0.800	0.36	0.174
			90	90.1	13	17	0.167	0.118	0.173	0.822	0.36	0.176
			100	99.9	13.7	18	0.176	0.124	0.185	0.833	0.36	0.171

III.3.5.4.Intérprétation des résultats :

- On a utilisé deux méthodes pour l'estimation du coefficient du débit théorique (formule et abaque). la formule donne des valeurs plus loin des valeurs expérimentales alors que l'abaque donne des valeurs plus ou moins fixes mais proches des valeurs expérimentales.
- La formule utilisée est moins efficace sur tout pour les débits importants.
- l'abaque utilisé est plus utile lorsque le débit est faible cela peut être expliqué par la faible valeur de l'erreur enregistré.

III.3.6.Déversoir à paroi épaisse à crête vive sans contraction latérale :

III.3.6.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = \mu_{\text{exp}} \cdot C_v \cdot L \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2g}{3}} \cdot h_1^{3/2} \dots\dots\dots(\text{III.17})$$

$$\text{donc : } \mu_{\text{exp}} = \frac{3}{2} \frac{Q}{C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g/3}}$$

III.3.6.2.Calcul du coefficient de débit théorique :

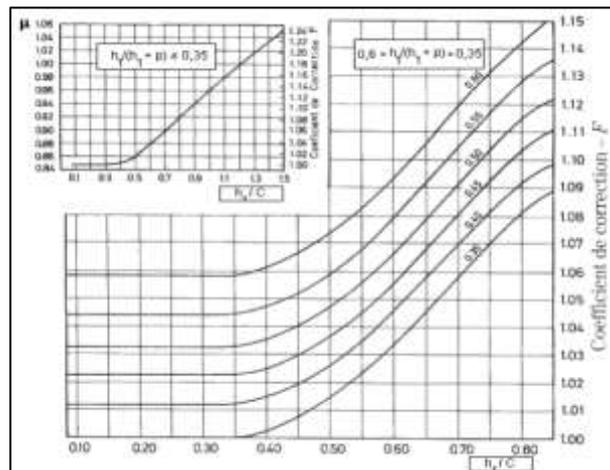


figure.III.2.abaque pour la détermination du coefficient de débit d'un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête vive.(Source : Notice sur les déversoirs, CETEM, Février 2005)

❖ Les limites d'application des lois sont vérifiées :

$h_{1max} > \max [0.06 ; 0.08 * C]$; pour $h_1/(h_1+p) < 0.35$; $0.08 < h_1/C < 1.5m$; $p > 0.15m$;
 $L > \min [0.3 ; C/5 ; h_{1max}]$; pour $h_1/(h_1+p) > 0.35$; $0.08 < h_1/C < 0.85m$

III.3.6.3.résultats de calculs :

Tableau.III.6.résultats de calculs pour le déversoir à paroi épaisse à crête vive.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pente	Débit (m ³ /h)	Débit lu (m ³ /h)	h ₁ (cm)	H ₁ (cm)	h ₂ (cm)	H ₂ (cm)	hc (cm)	μ expéri	μ théor	EMQ
à paroi épaisse	à crête vive sans contraction latérale P=25cm L=30.9cm C=52cm	0.5 %	10	10	3.3	7.5	1.8	3.1	0.023	0.176	0.82	0.416
			20	20.1	5	9.4	2.4	3.8	0.042	0.201	0.83	0.396
			30	30	6.7	11	2.9	4.3	0.059	0.202	0.83	0.396
			40	40.1	8.2	12.3	3.2	4.8	0.071	0.206	0.84	0.403
			50	50	9.5	13.5	3.8	5.3	0.080	0.215	0.84	0.392
			60	60.1	10.5	14.8	4.0	5.5	0.092	0.238	0.84	0.363
			70	70	11.9	16	4.1	5.7	0.120	0.238	0.85	0.376
			80	80	12.8	17.1	4.6	6.2	0.109	0.256	0.85	0.353
			90	90.1	13.8	18.1	4.8	6.8	0.200	0.267	0.85	0.341
100	100	15	19.1	5.5	7.1	0.126	0.268	0.85	0.339			

III.3.6.4.Intérprétation des résultats :

- Les valeurs des coefficients du débit théorique données par l'abaque sont importantes et presque fixes.
- L'abaque utilisé surestime la valeur du coefficient du débit ce qui fait que l'erreur calculée est importante (EMQ_{max}=41.6%).
- L'absence d'une formule spécifique pour ce type de déversoir n'as pas permis une bonne estimation du coefficient du débit mesuré.

III.3.7. Déversoirs à paroi épaisse à crête arrondie :

III.3.7.1. Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = c \cdot \mu_{\text{exp}} \cdot S \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot h_1^{3/2} \dots \dots \dots (III.18)$$

donc :

$$\mu_{\text{exp}} = \frac{Q}{C.L.S.(h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}}$$

III.3.7.2. Calcul du coefficient de débit théorique :

Les étapes à suivre pour le calcul du coefficient de débit théorique du déversoir à crête arrondie avec évacuateur à pente raide sont détaillées dans le premier chapitre (page 24 et 25).

III.3.7.3. résultats de calculs :

A. à crête arrondie avec évacuateur à pente raide :

Tableau.III.7. résultats de calculs pour le déversoir à crête arrondie avec évacuateur à pente raide.

Type de dévr	Nom de déversoir	Pente	Débit (m ³ /h)	Débit lu (m ³ /h)	h ₁ (cm)	H ₁ (cm)	h ₂ (cm)	H ₂ (cm)	μ expéri	μ théor	EMQ
à paroi épaisse	avec évacuateur à pente raide P=31cm L=30.9cm C=35.2cm	0.5%	10	10.0	2.4	7	1.7	3.3	0.688	0.850	0.051
			20	20.1	3.9	8.5	2.1	3.8	0.630	0.855	0.080
			30	30.0	5	10.6	2.4	4.2	0.624	0.860	0.077
			40	40.0	6.2	10.7	2.8	4.5	0.604	0.862	0.108
			50	50.1	7	11.5	3.0	4.7	0.620	0.938	0.102
			60	60.0	7.6	12.4	3.3	5.0	0.655	0.840	0.082
			70	70.1	8.2	13.2	3.5	5.4	0.685	0.840	0.066
			80	80.0	9.1	13.9	4.0	5.7	0.676	0.840	0.071
			90	90.1	9.6	14.6	4.0	6.0	0.695	0.830	0.056
			100	100.0	10.3	15.4	4.3	6.4	0.696	0.838	0.060

B. à crête arrondie avec évacuateur à pente en saut de ski :

Tableau.III.8. résultats de calculs pour le déversoir à crête arrondie avec évacuateur en saut de ski.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pente	Débit (m ³ /h)	Débit lu m ³ /h	h ₁ (cm)	H ₁ (cm)	h ₂ (cm)	H ₂ (cm)	μ expéri	μ théor	EMQ
à paroi épaisse	à crête arrondie avec évacuateur en saut de ski C=40.6 cm L=30.9cm P=31cm	0.5%	10	10.0	2.5	6.9	1.7	3.3	0.635	0.810	0.076
			20	20.1	4	8.4	2.3	4.0	0.610	0.813	0.093
			30	30.0	5.2	9.6	2.7	4.5	0.605	0.815	0.097
			40	39.9	6.1	10.6	3.2	4.7	0.625	0.830	0.094
			50	50.0	7.1	11.5	3.7	5.3	0.630	0.839	0.097
			60	60.1	8	12.4	4.1	5.7	0.626	0.842	0.101
			70	69.9	8.7	13.3	4.4	6.2	0.644	0.844	0.091
			80	80.0	9.4	13.9	4.8	6.5	0.657	0.857	0.091
			90	89.9	10.1	14.6	5.3	7.2	0.681	0.856	0.077
			100	100.0	10.7	15.3	5.6	7.5	0.693	0.860	0.072

C. à crête arrondie avec mesure de pression :

Tableau.III.9. résultats de calculs pour le déversoir à crête arrondie avec mesure de pression.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pente	Débit (m ³ /h)	h ₁ (cm)	H ₁ (cm)	h ₂ (cm)	H ₂ (cm)	μ expéri	μ théor	EMQ
à paroi épaisse	à crête arrondie avec mesure de pression C=30.5 cm L=30.4cm P=31cm	0.5%	10	2.4	7.5	1.7	3.3	0.661	0.810	0.076
			20	4.1	9	2.3	3.7	0.567	0.813	0.093
			30	5.6	10.3	2.5	4.1	0.522	0.815	0.097
			40	6.6	11.5	2.8	4.9	0.550	0.830	0.094
			50	7.6	12.5	3.0	4.7	0.544	0.839	0.097
			60	8.5	13.4	3.4	5.1	0.549	0.842	0.101
			70	9.3	14.4	4.7	5.5	0.558	0.844	0.091
			80	10.1	15.1	4.2	5.8	0.565	0.857	0.091
			90	10.9	15.9	4.5	6.2	0.574	0.856	0.077
			100	11.4	16.5	4.8	6.5	0.591	0.860	0.072

III.3.7.4. Interprétation des résultats :

- pour ces trois types de déversoirs. on a utilisé la même procédure pour l'estimation du coefficient du débit théorique en utilisant un abaque.
- L'erreur calculé pour les trois déversoirs est faible et ne dépasse pas 10%.
- Les valeurs du coefficient du débit théorique sont importantes et supérieures à celles mesurés expérimentalement mais avec un petit écart.
- L'abaque utilisé est avantageux. puisque il estime des valeurs du coefficient de débit plus ou moins semblables à celles mesurés d'où des faibles erreurs.

III.3.8. Déversoir cunéiforme :

III.3.8.1. Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = \mu_{\text{exp}} \cdot L_e \cdot (2gH_1^3)^{1/2} \dots\dots\dots(III.19)$$

$$\text{donc : } \mu_{\text{exp}} = \frac{Q}{L_e \cdot (H_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}}$$

III.3.8.2. Calcul du coefficient de débit théorique :

$$\mu_{\text{théor}} = 0.43 + 0.06 \cdot \sin [\pi (\zeta - 0.55)] \dots\dots\dots(III.20)$$

Avec :

ζ : la charge adimensionnelle (ζ = H₁ / (H₁ + L_e)).

L_e : longueur du seuil du déversoir.

III.3.8.3. résultats de calculs :

Tableau.III.10. résultats de calculs pour le déversoir cunéiforme.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pe nte	Débit (m ³ /h)	Débit lu m ³ /h	h ₁ (cm)	H ₁ (cm)	h ₂ (cm)	H ₂ (cm)	μ expéri	μ théor	EMQ
à paroi épaisse	Déversoir cunéiforme L=1060 mm l=309 mm	0.5 %	10	10.0	2.5	6.9	1.7	3.3	0.132	0.370	0.115
			20	20.1	4	8.4	2.3	4.0	0.149	0.370	0.104
			30	30.0	5.2	9.6	2.7	4.5	0.161	0.370	0.096
			40	39.9	6.1	10.6	3.2	4.7	0.170	0.370	0.091

Suite : Tableau.III.10.résultats de calculs pour le déversoir cunéiforme.

h=70mm p.am. 1 :2 p.av. 1 :5	50	50.0	7.1	11.5	3.7	5.3	0.181	0.370	0.084
	60	60.1	8	12.4	4.1	5.7	0.181	0.370	0.084
	70	69.9	8.7	13.3	4.4	6.2	0.187	0.370	0.081
	80	80.0	9.4	13.9	4.8	6.5	0.190	0.370	0.074
	90	89.9	10.1	14.6	5.3	7.2	0.194	0.370	0.073
	100	100.0	10.7	15.3	5.6	7.5	0.197	0.370	0.071

III.3.8.4.Intérprétation des résultats :

- Les valeurs du coefficient du débit expérimental sont faibles. ce qui explique que ce type de déversoir n'as pas une capacité importante pour l'évacuation du débit.
- La formule utilisée pour l'estimation du coefficient du débit théorique est sinusoidale. pour cela elle donne une valeur fixe malgré la variation des paramètres avec lesquels elle dépend.
- Il n'existe pas un grand écart entre les valeurs théorique et expérimentales du coefficient du débit. ce qui explique les faibles valeurs de l'erreur qui ne dépasse pas 11%.

III.3.9.Déversoir à siphon :

III.3.9.1.Calcul du coefficient de débit expérimental :

$$Q = \mu_{\text{exp}} \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (III.21)$$

$$\text{Donc : } \mu_{\text{exp}} = \frac{Q}{A \cdot \sqrt{2gh}}$$

III.3.9.2.Calcul du coefficient de débit théorique :

Pour la détermination du coefficient du débit théorique.on utilise l'abaque représenté dans le chapitre précédent qui donne les valeurs de ce coefficient en fonction du débit.

III.3.9.3.résultats de calculs :

Tableau.III.11.résultats de calculs pour le déversoir à siphon.

Type de déversoir	Nom de déversoir	Pe nte	Débit (m³/h)	Débit lu (m³/h)	h ₁ (cm)	H ₁ (cm)	h ₂ (cm)	H ₂ (m)	h= h ₁ - 8.5 (cm)	μ expéri	μ théor	EMQ
à paroi non définie	à siphon L=30.4cm P=43cm Section d'écoulement : B*H =30.4cm*8.5cm	0.5 %	10	10	24.1	29.0	2.2	4.0	15.6	0.061	0.560	0.255
			20	20.1	24.4	29.5	2.8	4.3	15.9	0.122	0.590	0.226
			30	30.0	24.8	30	3.7	5.0	16.3	0.190	0.610	0.191
			40	40.1	25.2	31	4.3	5.7	16.7	0.238	0.630	0.160
			50	50.0	27.6	32.5	4.4	5.9	19.1	0.378	0.650	0.145
			60	60.0	37.9	41.4	4.5	6.2	29.4	0.451	0.670	0.132
			70	70.1	44.3	48.0	4.8	6.5	35.8	0.532	0.692	0.120

III.3.9.4. Interprétation des résultats :

- Le débit maximum utilisé pour ce type de déversoir durant la partie expérimentale est de $70(\text{m}^3/\text{h})$. au delà de ce débit il s'est produit un débordement dans le canal.
- Les valeurs du coefficient du débit théorique sont importantes et supérieures à celles mesurées expérimentalement cela explique que l'abaque utilisé sert à surestimer le coefficient de débit.
- L'erreur entre les deux valeurs du coefficient du débit est importante ($\text{EMQ}_{\text{max}}=25\%$). mais diminue pour des débits importants ($\text{EMQ}_{\text{min}}=12\%$).

III.4. Conclusion :

- Ce chapitre nous a permis de faire une comparaison entre le coefficient du débit expérimental et théorique avec tous les types des déversoirs et pour plusieurs débits.
- Le calcul du coefficient du débit expérimental se fait avec des paramètres purement expérimentaux. tandis que le coefficient du débit théorique est estimé par des formules ou par des abaques.
- On calcul l'erreur moyenne quadratique pour déterminer l'écart qui existe entre les deux types du coefficient du débit.
- L'utilisation de plusieurs formules ou abaques pour l'estimation du coefficient du débit théorique augmente l'erreur, par conséquent l'écart qui existe entre les deux coefficients.
- Les valeurs du coefficient du débit expérimental les plus importantes sont enregistrées pour les déversoirs à paroi épaisse à crête arrondie. ce qui explique que ces types de déversoir ont une capacité d'évacuation importante. L'erreur calculée pour ce type est la plus faible donc l'abaque utilisé est plus efficace pour la détermination du coefficient du débit théorique.
- les valeurs du coefficient du débit les plus faibles sont enregistrées pour les déversoirs à paroi mince, par conséquent ils peuvent faire passer moins de débit
- L'erreur la plus importante est enregistrée pour le déversoir rectangulaire sans contraction latérale ($\text{EMQ}_{\text{max}}=33.8\%$) et cela est due à l'estimation du coefficient du débit théorique par plusieurs formules. et pour le déversoir à paroi épaisse à crête vive ($\text{EMQ}_{\text{max}}=41.6\%$) ce qui explique que la formule qui a estimé le coefficient du débit théorique est moins efficace.
- L'erreur la plus faible est enregistrée pour les déversoirs :à crête arrondie avec évacuateur à pente raide ($\text{EMQ}_{\text{max}}=6\%$), avec évacuateur à pente en saut de ski ($\text{EMQ}_{\text{max}}=7\%$), avec mesure de pression ($\text{EMQ}_{\text{max}}=7\%$) et cunéiforme ($\text{EMQ}_{\text{max}}=7\%$), ce qui explique que les formules et abaques correspondants utilisés pour estimer le coefficient de débit théorique sont de validité importante.

Chapitre IV

Evaluation des
performances
hydrauliques
des seuils et
déversoirs

IV.1.Introduction :

- Il est but dans ce chapitre d'étudier les performances hydrauliques des déversoirs utilisés pendant tout ce travail. cela va être réalisé en faisant une étude comparative entre les déversoirs qui ont les mêmes caractéristiques (longueur de crête et hauteur) et en déduire ceux qui peuvent faire passer le plus grand débit donc qui ont la meilleure capacité d'évacuation.
- L'étude comparative se fait en utilisant la notion du coefficient du débit. sachant que ce dernier représente comme sens physique le rapport entre le débit réel et le débit théorique.
- Dans cette partie du travail. on va étudier aussi l'effet de l'aération sur le fonctionnement des déversoirs et leurs performances.

IV.2.Etude comparative :

Cette étude consiste à prendre en considération des déversoirs de même type c.-à-d. qui ont la même largeur en crête et la même hauteur. ensuite pour la même hauteur déversante on déterminera les déversoirs qui peuvent faire passer le plus grand débit. Cette caractéristique est appelée la capacité d'évacuation du débit.

IV.2.1.Déversoirs à paroi mince :

On considère des déversoirs à paroi mince dont les dimensions sont les mêmes mais avec des échancrures différentes. Les dimensions des déversoirs à paroi mince sont :

Hauteur : 310 mm . Largeur : 284 mm . longueur en crête : 5 mm

Tableau.IV.1.Etude de performance des déversoirs à paroi mince.

Déversoir rectangulaire sans contraction latérale		Déversoir rectangulaire avec contraction latérale		Déversoir triangulaire		Déversoir trapézoïdale	
Hauteur déversante h (m)	Débit lu (m ³ /h)	Hauteur déversante h (m)	Débit lu (m ³ /h)	Hauteur déversante h (m)	Débit lu (m ³ /h)	Hauteur déversante h (m)	Débit lu (m ³ /h)
0.042	10.10	0.027	10	0.049	10.1	0.042	10
0.071	19.90	0.051	20	0.087	19.9	0.072	20.1
0.084	30.10	0.063	30	0.102	30	0.094	30
0.095	39.90	0.085	40	0.122	40.1	0.107	40.1
0.11	50.00	0.099	50	0.148	50.1	0.122	50
0.122	60.10	0.111	60.1	0.148	60	0.138	60.1
0.137	70.10	0.122	70	0.169	70.1	0.15	70
0.147	80.10	0.135	80.1	0.16	80	0.159	80

Suite : Tableau.IV.1.Etude de performance des déversoirs à paroi mince.

0.156	90.00	0.144	89.9	0.168	90.1	0.169	90.1
0.165	100.00	0.155	100	0.186	91.1	0.174	100

❖ **Interprétation des résultats :**

- Pour la même hauteur déversante ($h=0.122$ m). le déversoir rectangulaire sans contraction latérale fait passer le plus grand débit ($70 \text{ m}^3/\text{h}$) ce qui montre que ce déversoir a la meilleure capacité d'évacuation parmi les déversoirs à paroi mince.
- Dans un ordre décroissant. les déversoirs rectangulaires sans contraction latérale. trapézoïdale et triangulaire peuvent faire passer plus de débit. puisque pour la même hauteur déversante ils font passer respectivement les débits $60.10 \text{ m}^3/\text{h}$. $50 \text{ m}^3/\text{h}$. et $40.1 \text{ m}^3/\text{h}$.
- l'influence du débit sur la hauteur déversante apparait lorsque le débit est important.

IV.2.2.Déversoirs à paroi épaisse :

On considère deux déversoirs à crête épaisse. le premier a des arrêtes arrondies et l'autre a des arrêtes vives. les deux ont la même hauteur et largeur et longueur en crête. Le déversoir à arrêtes arrondie a plus de longueur en crête (130 mm). Les dimensions des deux déversoirs sont :

Hauteur : 250 mm . Largeur : 309 mm . longueur en crête : 520 mm

Tableau.IV.2.Etude de performance des déversoirs à paroi épaisse.

Déversoir à paroi épaisse et à arrêtes arrondies		Déversoir à paroi épaisse et à arrêtes vives	
Hauteur déversante h (m)	Débit lu (m^3/h)	Hauteur déversante h (m)	Débit lu (m^3/h)
0.029	10	0.033	10
0.049	20	0.05	20.1
0.064	29.9	0.067	30
0.076	39.9	0.082	40.1
0.088	50	0.095	50
0.099	60	0.105	60.1
0.11	69.9	0.119	70
0.119	80	0.128	80
0.13	90.1	0.138	90.1
0.137	99.9	0.15	100

❖ **Interprétation des résultats :**

- Pour la même valeur de la hauteur déversante ($h=0.119$ m). le déversoir à arrêtes arrondies fait passer un débit de 80 (m^3/h) tandis que le déversoir à arrêtes vives fait passer un débit de 70 (m^3/h). ce qui prouve que le premier a une capacité d'évacuation plus importante.

IV.2.3. Déversoirs à paroi épaisse à crête arrondie:

- On considère deux déversoirs à paroi épaisse de même hauteur. largeur et longueur en crête. et qui ont une crête arrondie et des évacuateurs de forme différente. Les dimensions des deux déversoirs sont : Hauteur : 310 mm . Largeur : 309 mm . longueur en crête : 306 mm
- L'évacuateur à pente raide a une longueur $L= 46$ mm
- L'évacuateur à pente en saut de ski a une longueur $L= 100$ mm

Tableau.IV.3. Etude de performance des déversoirs à paroi épaisse et à crête arrondie.

Déversoir à paroi épaisse à crête arrondie avec évacuateur à pente raide		Déversoir à paroi épaisse à crête arrondie avec évacuateur à pente en saut de ski	
Hauteur déversante h (m)	Débit lu (m^3/h)	Hauteur déversante h (m)	Débit lu (m^3/h)
0.07	10	0.069	10
0.085	20.1	0.085	20.1
0.106	30	0.096	30
0.107	40	0.106	39.9
0.115	50	0.115	50
0.124	60	0.124	60.1
0.132	70.1	0.133	69.9
0.139	80	0.139	80.1
0.146	90.1	0.146	90.1
0.154	100	0.153	100

❖ **Interprétation des résultats :**

- On constate que plusieurs mêmes valeurs de la hauteur déversante ont donné les mêmes valeurs du débit, ce qui implique que ces deux déversoirs ont la même capacité d'évacuation des débits.

IV.3. Aération des déversoirs :

IV.3.1. Condition d'aération pour un déversoir à crête mince

IV.3.1.1. Pourquoi doit-on aérer un déversoir à crête mince ?

Outre la raison environnementale (besoin des êtres vivants en oxygène), un déversoir doit être aéré du fait d'endommagements de l'ouvrage susceptibles de se produire sans cette aération. En effet, le déversement de la lame d'eau au-dessus du seuil à crête mince provoque l'emprisonnement de l'air situé sous la nappe déversante. La fluctuation de la pression de l'air piégé entre la lame déversante et le seuil peut alors entraîner des vibrations dommageables à l'ouvrage du fait de l'apparition du phénomène de cavitation. C'est pourquoi, pour rétablir la pression atmosphérique sous la lame déversante, il est nécessaire de prévoir des dispositifs d'aération. (Source : Notice sur les déversoirs. CETMF. Février 2005)

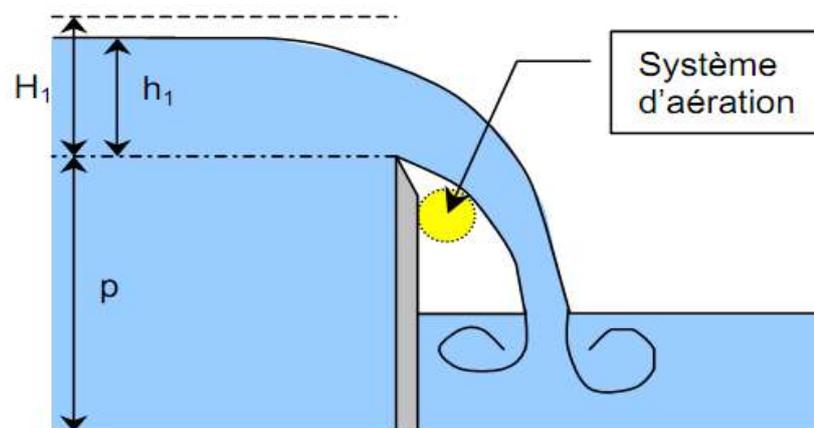


Figure.IV.1. mise en place d'un système d'aération. (Source : Notice sur les déversoirs. CETMF. Février 2005)

IV.3.1.2. Comment aérer un déversoir à crête mince ?

Pour assurer l'aération indispensable de la lame déversante, divers dispositifs peuvent être réalisés selon l'épaisseur de la lame d'eau.

- ❖ Pour les lames d'eau épaisses, il peut être envisagé de :
 - créer symétriquement dans les parois du canal des orifices mettant en communication la surface inférieure de la lame avec l'atmosphère.
 - rétrécir la lame d'eau déversante afin de mettre en communication l'air extérieur avec celui emprisonné sous la nappe
- ❖ Pour les lames d'eau faibles, il peut être envisagé d'ajouter des becs de fractionnement sur la crête du déversoir.

Les formules de débit et l'expression du coefficient de débit dépendent de l'aération de la nappe déversante et ne sont valables que dans une situation de nappe libre. En effet, lorsque celle-ci est mal aérée, les pertes d'énergie provoquées engendrent une erreur supplémentaire sur le débit.

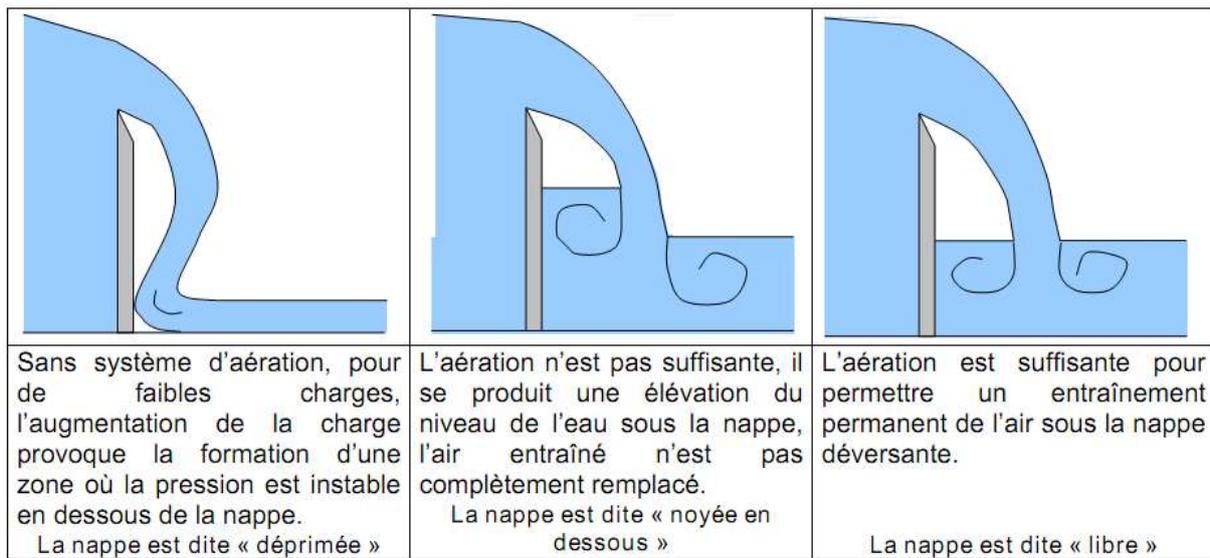


Figure.IV.2.différents cas d'aération pour un déversoir à crête mince. (Source : Notice sur les déversoirs. CETMF. Février 2005)

IV.3.1.3.Calcul du débit d'air pour aérer un déversoir à crête mince

Le calcul du débit d'air nécessaire au maintien d'une aération suffisante pour un déversoir a fait l'objet de quelques expérimentations. dont le présent travail fournit un extrait non-exhaustif dans la mesure.

Généralement. on trouve dans la littérature diverses expérimentations dans ce domaine qui dépendent surtout des caractéristiques géométriques du déversoir. Par ailleurs. ces systèmes sont. pour certains. couplés à des systèmes d'oxygénation afin de ré-oxygéner l'eau pour parfaire à l'équilibre naturel. c'est à dire à la vie des espèces aquatiques.

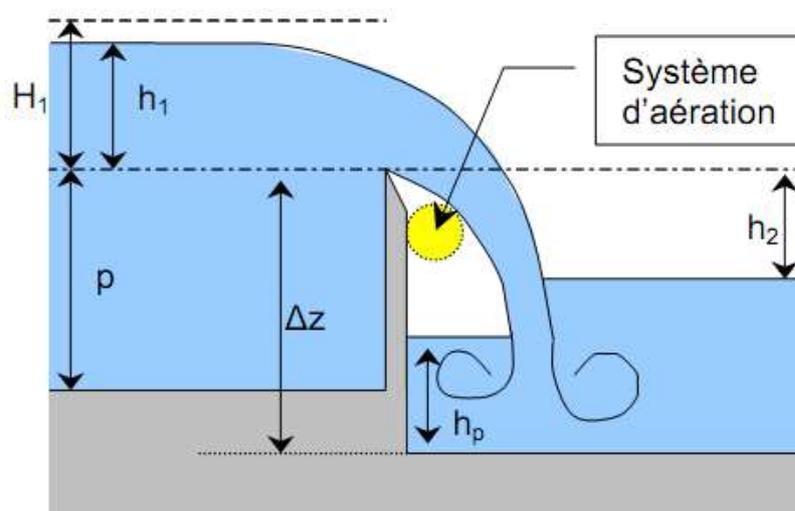


Figure.IV.3. système d'aération et notations pour les conditions d'aération. (Source : Notice sur les déversoirs. CETMF. Février 2005)

Le calcul du débit d'aération peut être obtenu en utilisant la formule de HOWE (1955) :

$$q_{\text{air}} = 0.1 * q * \left(\frac{h_1}{h_p}\right)^{3/2} \dots\dots\dots(IV.1)$$

q : le débit par unité de largeur transitant par l'ouvrage.

h_p : la hauteur sous la nappe définie par la formule ci-dessous.

- ❖ S'il y a un ressaut libre en aval du déversoir. donc pour un écoulement dénoyé. la hauteur h_p sous la nappe est définie par la formule :

$$h_p = \Delta Z * \left(\frac{q^2}{g \Delta Z^3}\right)^{0.22} \dots\dots\dots(IV.2)$$

- ❖ Si le ressaut noyé. la hauteur h_p est :

$$h_p \approx \Delta Z - h_2 \dots\dots\dots(IV.3)$$

- ❖ Cette caractérisation du calcul du débit d'aération peut paraître succincte. mais les diverses formules trouvées dans la littérature sont toutes différentes car chaque personne a « créé » sa propre formule appliquée à un déversoir type. Par conséquent. pour le calcul du débit d'air nécessaire. une recherche approfondie de la part du concepteur est nécessaire. **(Source : Notice sur les déversoirs. CETMF. Février 2005)**

IV.4. Conditions d'utilisation performante pour les déversoirs :

IV.4.1. Chenal d'approche :

Recevant le déversoir à son extrémité aval. le chenal d'approche doit être rectiligne. lisse. horizontal et rectangulaire. afin d'éviter toute perturbation de l'écoulement et assurer une répartition régulière des vitesses dans toute la section transversale. La longueur de la partie rectiligne du chenal d'approche doit être égale à dix fois sa largeur **B** si la largeur de l'échancrure **b** du déversoir est égale ou supérieure à **B/2**. **(Source : Mesures de débits en réseau d'assainissement par déversoirs. Lucien LAVEUF)**

IV.4.2. Présence d'un ressaut à l'amont du dispositif de mesure :

Si le chenal d'approche est à forte pente (non respect de la condition d'horizontalité). un ressaut peut apparaître. S'il est à une distance en amont au moins égale à trente fois la hauteur de lame maximale. on peut effectuer la mesure à condition que la répartition des vitesses soit régulière au niveau du dispositif de jaugeage. **(Source : Mesures de débits en réseau d'assainissement par déversoirs. Lucien LAVEUF)**

IV.4.3. Dispositif de mesure :

Le déversoir doit être étanche, rigide et suffisamment solide pour résister aux écoulements de crue sans se déformer ni casser. Il doit être perpendiculaire à la direction de l'écoulement. Le déversoir doit être réalisé dans un matériau aux parois lisses et unies de faible épaisseur. La largeur de la crête du déversoir ou des parties verticales, selon la forme de l'échancrure, doit être comprise entre 1 et 2 mm. Les surfaces doivent être lisses et usinées perpendiculairement à la face amont. Les arêtes aval du déversoir doivent être chanfreinées à 45° minimum si la paroi du déversoir est d'une épaisseur importante. (Source : Mesures de débits en réseau d'assainissement par déversoirs. Lucien LAVEUF)

IV.4.4. Aval du déversoir :

Le niveau d'eau aval doit être suffisamment bas pour ne gêner ni l'aération, ni l'écoulement libre (régime dénoyé) de la lame d'eau. Le régime est dit dénoyé lorsque les niveaux amont et aval sont indépendants. La norme précise que, pour satisfaire cette condition, le niveau d'eau aval doit se trouver à 0.1 m au-dessous du niveau du point le plus bas de l'échancrure. (Source : Mesures de débits en réseau d'assainissement par déversoirs. Lucien LAVEUF)

IV.4.5. Entretien :

Le déversoir doit être maintenu propre et exempt de toute accumulation de débris. Le chenal d'approche doit être dépourvu de dépôts. En présence d'eaux chargées (cas de mesures en collecteur d'eaux usées), cette condition est difficile à satisfaire. (Source : Mesures de débits en réseau d'assainissement par déversoirs. Lucien LAVEUF)

IV.4.6. Mesure de la hauteur de la lame :

Celle-ci sera faite de préférence dans un puits de mesure afin de réduire l'influence des irrégularités de la surface de l'écoulement. La section de mesure sera placée à une distance comprise entre quatre et cinq fois la charge maximale (4 et 5 H_{max}) en amont du déversoir. Le repérage du zéro, dont dépendent les mesures, doit être fait avec précision. (Source : Mesures de débits en réseau d'assainissement par déversoirs. Lucien LAVEUF)

IV.5. Conclusion :

- Cette partie du travail nous a permis de faire une étude comparative entre les déversoirs dont les caractéristiques sont les mêmes et cela en considérant la capacité d'évacuation de chaque déversoir.
- On conclut à partir de cette étude que deux ou plusieurs déversoirs qui ont la même longueur en crête et la même hauteur peuvent évacuer les grandeurs différentes de débit pour la même hauteur (lame) déversante, dont peuvent avoir des capacités d'évacuations différentes.
- La fluctuation de la pression de l'air piégé entre la lame déversante et le seuil d'un déversoir à paroi mince peut entraîner des vibrations dommageables à l'ouvrage du fait de l'apparition du phénomène de cavitation. on peut procéder par l'aération comme solution à ce problème.
- Le déversoir à paroi épaisse présente plus de stabilité par rapport à celui dont la paroi est mince. donc moins de risque d'endommagement qui peut être causé par la cavitation.

Bibliographie :

Notice sur les déversoirs, synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et des déversoirs, Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales; Février 2005.

HANDBOOK OF HYDRAULICS, Ernest F.Brater, Seventh Edit.

Constructions hydrauliques, Wili H.Hager et Anton J.Schleiss.

EQUIPEMENT FOR ENGINEERING EDUCATION, G.U.N.T HAMBURG, 2013.

EXPERIMENTAL COMPARATIVE STUDY OF SIPHON SPILLWAY AND OVER-FLOW SPILLWAY; LARBI HOUICHI, GHASSAN IBRAHIM , BACHIR ACHOUR;Mars 2009.

Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 02, Juin 2003, pp. 7-43, 2003 Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface.

Mesure en déversoirs et sur les seuils ; José VAZQUEZ.

Hydraulique des ouvrages déversoirs ; Laboratoire de construction hydraulique ; ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE.

Mesures de débits en réseau d'assainissement par déversoirs Limites des formules hydrauliques classiques Propositions d'amélioration ; Lucien LAVEUF Chargé d'Études au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de l'Ouest Parisien.

PUISSANCE D'ÉCOULEMENT DES DÉVERSOIRS ; PONROY Ingénieur agronome Membre du Bureau du Syndicat des étangs de Sologne.

Modélisation hydraulique 2D Ecoulement dénoyé autour d'un seuil épais ; Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg.

Sito-graphie :

www.sciences.gov

www.wikipedia.com

www.jybaudot.fr/Stats/indicecart.html

https://meteo.gc.ca/verification/scores/rmse_f.html

www.chups.jussieu.fr/polys/biostats/poly/POLY.Chp.10.html

www.ilemaths.net/sujet-statistiques-erreur-quadratique-467515.html