

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



Mémoire présenté pour l'obtention

du diplôme de Master académique en hydraulique

Spécialité: Ouvrages hydrauliques

**Etude expérimentale d'un écoulement franchissant un
déversoir épais de forme demi-circulaire inséré dans un canal
rectangulaire**

Par :

- Sid djamel eddine

- Dechoucha hanan

Soutenu devant le jury composé de

.....

Dr. NEBBAR MOHAMED LAKHDAR

.....

Université de M'sila

Université de M'sila

Université de M'sila

Président

Rapporteur

Examineur

Année universitaire: 2023 /2024

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, Dr : Dr.NABBAR MOHAMED professeur à l'université de M'sila, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.pour le temps aussi qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence m'a grandement stimulé

Je remercie également toute l'équipe pédagogique du département de hydraulique et les intervenants professionnels responsables de ma formation pendant deux ans , pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Nous voulons remercier les membres de jury d'évaluation de note

Mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements

Nous voulons remercier tous les étudiants

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études

A mes frères,, pour ton appui et ton encouragement, ton soutien tout au long de mon parcours universitaire et ma vie aussi

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

Pour que je n'oublie pas mes amis

Merci d'être toujours là pour moi.

Table des Matières

Remerciements
Dédicace
Table des Matières
List des tableaux.....
List des figures
Résumé
INTRODUCTION GENERALE

Première partie: Etat de connaissance sur écoulement à travers les déversoirs

CHAPITER I: Déversoir à mince paroi

Introduction.....	17
1. Définition du déversoir	19
1.2 Rôle du déversoir	20
1.3 Principe des déversoirs	20
2- Déversoir en mince paroi	20
2.1- Déversoir rectangulaire en mince paroi	22
2.1.1 Déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale.....	23
2.1.2 Déversoir rectangulaire à paroi mince et à contraction latérale	26
2.2 Déversoir triangulaire.....	28
2.2.1 Déversoir triangulaire à paroi mince.....	28
2.2.2 Déversoir à paroi mince à profil en long triangulaire	31
2.3 Déversoir trapézoïdal en mince paroi.....	32
2.4 Déversoir circulaire.....	33
3. Choix d'un déversoir de mesure en mince paroi.....	34
Conclusion.....	35

CHAPITER II: Déversoir a seuil épais

Introduction.....	37
1.Définition du déversoir à seuil épais.....	38
1.1 Déversoir à crête épaisse en écoulement dénoyé	39
1.2 Déversoir à crête épaisse en écoulement noyé	39
1.3 Caractéristiques géométriques des canaux	40
1.4 Les rôle et applications	42
2. Les types de déversoir à seuil épais	42
2.1. Déversoirs a seuil épais rectangulaire	42
2.2 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire.....	46
2.2.1 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire type Bazin	47
2.2.2 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire type Crump.....	48
2.3 Déversoir trapézoïdal à seuil épais	49
2.4 Déversoir circulaire à seuil épais.....	51
2.5 Déversoir demi circulaire à seuil épais.....	53
2.6Jaugeurs a ressaut	54
2.6.1 Définition	54
2.6.2 Caractéristiques et expression du débit	55
2.6.3 Canal jaugeur Venturi à fond plat	58
2.6.4 Jaugeur en canal triangulaire de type Achour	59
3. Aération des déversoirs	64
Conclusion.....	68

CHAPITER III: Hydrométrie

Introduction	70
1. la station hydrométrique	70
1.1 Installation d'une station hydrométrique.....	70
2. Éléments primaires dans la station hydrométrique :	71
2.1. Généralité	71
2.2 Critères de conception généraux et particularités d'installation	71
2.3 Point de mesure et puits de mesurage	72
2.4. Exactitude.....	73
3. Les grandeurs mesurées	74
4. Critères de choix	75
4.1. Adaptation aux mesures	75
4.2. Stabilité de lit (section de contrôle).....	75
4.3. Bonne sensibilité	78
5. Sections caractéristiques	79
5.1 Section de l'échelle	79
5.2 Section de contrôle	80
5.3. Sections de jaugeages	80
Conclusion	81

Deuxième partie: Voie Expérimentale

CHAPITRE I: Description des essais

Introduction	84
1.Description du banc d'essais	85
2. Caractéristiques géométriques du canal	86
3. Appareillage de mesure	86
3.1. Mesure de la profondeur	86
3.2. Mesure du débit Q	87
3.3. Mesure de la pente.....	88
4. mode opératoire	89
5.Caractéristiques géométriques du déversoir	89
6. Procédure expérimentale	91

CHAPITRE II: Résultats et discussions

II.1 Introduction.....	93
II.2 Interprétation et discussion des résultats expérimentaux réalisés dans des conditions d'écoulement libre.....	94
II.2.1 La procédure de calcul des paramètres hydrauliques	94
II.2.2 Le régime d'écoulement selon la valeur de Nombre de Froude	95
II.2.3 Le profil du plan d'eau au dessus de déversoir	97
II.2.4 La Courbe hauteur-Débit	105
II.3 Description de l'appareil et du déroulement	107
II.4 Détermination du coefficient Cd pour un déversoir à seuil épaisse	109
II.4.1. Le coefficient Cd expérimental	110
Conclusion.....	112
CONCLUSION GENERALE	114
REFERENCES	116

Liste des tableaux

Tableau I.01: Coefficient de débit μ de l'équation (1) selon quelques auteurs.....	25
Tableau.I.02: Coefficient de débit μ de l'équation (15) en fonction de μ	29
Tableau II.01: Coefficient de débit μ pour différentes formes de l'entrée du déversoir rectangulaire à seuil épais sans contraction latérale.	45
Tableau II.02: coefficient de débit pour différentes formes de l'entrée du déversoir rectangulaire avec contraction latérale, sans hauteur de pelle.	46
Tableau II.03: Coefficient Valeurs des pentes amont et aval du déversoir à seuil épais à profile en long triangulaire -type Bazin-	48
Tableau II.04: Valeur du paramètre K de la relation (II.7) en fonction de h, Im et Ij.....	49
Tableau II.05: Valeur du coefficient K pour un déversoir circulaire d'après J.C. Stevens.D'après : « Discharge measurement structures » de Delft Hydraulics Laboratory.....	53
Tableau II.06: Valeur du coefficient de débit pour un déversoir circulaire.....	54
Tableau II.07 : Valeurs de l'exposant x de la relation(II.16)en fonction de la largeur b^2	59
Tableau VI.1: les Débits d'application	90
Tableau V.1 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir	98
Tableau V.2 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir	99
Tableau V.3 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir	100
Tableau V.4 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir	101
Tableau V.5 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir	102
Tableau V.6 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir	104
Tableau V.7 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir	105
Tableau V.8 : Valeurs de coefficient de débit expérimental calculer par la relation (II.5)	111
Tableau V.9 : Valeurs de coefficient de débit expérimental calculés par la relation (II.5).....	111

Liste des figures

Figure: I.01: Déversoir dénoyé (A) et déversoir noyé (B) (vazquez J, 2000).....	19
Figure: I.02: Déversoir en mince paroi standard (vazquez J, 2000)	21
Figure: I.03: Déversoir rectangulaire en mince paroi avec contraction latérale	23
Figure: I.04: Schéma de définition et détails du déversoir rectangulaire en mince paroi	23
Figure: I.05: Déversoir en mince paroi incliné d'un angle i par rapport à la verticale	24
Figure: I.06: Déversoir rectangulaire à paroi mince et à contraction latérale Schéma de définition	26
Figure: I.07: Déversoir triangulaire à paroi mince - Schéma de définition -	28
Figure: I.08: Variation du coefficient de débit en fonction de l'angle d'ouverture de l'échancrure d'un 27déversoir triangulaire à paroi mince pour une contraction pleine	29
Figure: I.09: Déversoir à échancrure triangulaire ($\theta=90^\circ$) - coefficient de débit μ pour une contraction partielle en fonction de h/P et P/B selon Bos (1976)	30
Figure: I.10: Représentation schématique du déversoir à paroi mince à profil en long triangulaire	31
Figure: I.11: Déversoir trapézoïdal	32
Figure: I.12: Déversoir circulaire	34
Figure II.01: Déversoirs à seuil épais, géométrie polygonale	38
Figure II.02: Coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement dénoyé ($Z_2 < Z_{\text{seuil}}$) .39	
Figure II.03: Coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement noyé avec $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$ 39	
Figure II.04: Transition entre l'écoulement noyé et celui dénoyé pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête amont arrondie, à paroi aval verticale ou inclinée de pente 1/4.....	40
Figure II.05: Déversoir à seuil épais– Schéma de définition.....	43
Figure II.06: Représentation schématique du déversoir en mince paroi à profil en long triangulaire.....	46
Figure II.07: Déversoir à seuil épais à profil triangulaire de type Crump	48
Figure II.08: coupe transversale d'un déversoir trapézoïdal.....	49
Figure II.09: coupe transversale d'un déversoir de Cipolletti	50
Figure II.10: coupe transversale d'un déversoir circulaireD'après : « Discharge measurement structures » de Delft Hydraulics Laboratory	51

Figure II.11: Géométrie typiques des jaugeurs (Hager, 1986).a) Fond horizontal du canal jaugeur, b)Fond à seuil, c)Fond en pente	55
Figure II.12: Vue en plan d'un canal jaugeur de section rectangulaire avec apparition des zones	56
Figure II.13: Jaugeur de Parshall–Représentation schématique en plan et de profil-	56
Figure II.14: Canal jaugeur venturi à fond plat - Caractéristiques géométriques-	58
Figure II.15: Jaugeur triangulaire de type Achour –Vue de face de l'appareil- Suivant	60
Figure II.16: Jaugeur triangulaire de type Achour –Vue en plan de l'appareil-.....	60
Figure II.17: mise en place d'un système d'aération	65
Figure II.18: système d'aération et notations pour les conditions d'aération.....	66
Figure II.19: Illustration de la ligne de charge et du point de mesure pour un déversoir	72
Figure II.20: Evolution d'un seuil instable au cours d'une crue.	76
Figure II. 21: Evolution d'une section à berges instables.	76
Figure. II. 22 : Sensibilité d'une section de mesure limnimétrique.	78
Figure VI.1: Schéma simplifié du canal, ayant servi à l'expérimentation.....	85
Figure V.2 : Le banc d'essai mis en expérience	86
Figure VI.3: Un limnimétrie De précision.....	87
Figure VI.4: Un limnimétrie mise en expérience	87
Figure VI.5: vue du tube de mesure de volume	88
Figure VI.6: dispositif de variation de pente.....	88
Figure VI.7: échelle de mesure.....	88
Figure V.1: Schéma de définition des paramètres géométriques en déversoir épais demi circulaire	94
FigureV. 2: Variation de Nombre de Froude le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à largeur du canal d'aménagé	95
FigureV. 3 : Variation de Nombre de Froude le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à largeur du canal d'aménagé	96
Figure V.4: Variation de Nombre de Froude le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de largeur du canal d'aménagé.....	97
Figure V.5: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'aménagé pour un débit $Q=0,00041 \text{ m}^3/\text{s}$	98

Figure V.6: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0,00069m^3/s$	99
Figure V.7: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0.00097m^3/s$	100
Figure V.8: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0.0012m^3/s$	101
Figure V.9: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0.0015m^3/s$	102
Figure V. 10 : La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0.00041 m^3/s$	103
Figure V. 11 : La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0.0015m^3/s$	104
Figure V. 12 : La courbe $Q=f(h)$ du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la largeur du canal d'amené	105
Figure V. 13 : La courbe $Q=f(h)$ du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de largeur du canal d'amené	105
Figure V. 14 : Vue en perspective du dispositif installé dans un canal d'approche rectangulaire.....	107
Figure V. 15 : Le dispositif à l'état sec placé dans un canal rectangulaire	107
Figure V. 16 : Vue du côté aval de l'appareil en fonctionnement	108
Figure II. 17 : Vue de l'écoulement en amont et en aval de l'appareil Ecoulement de droite à gauche....	108
Figure II. 18 : Seuil à crête épaisse (La nappe s'abaisse jusqu'à obtenir un parallélisme avec la crête du déversoir et passe par une hauteur critique, notée h_c)	110

Résumé

Le présent sujet a pour principal objectif la conception , la réalisation et l'expérimentation d'un nouveau type d'appareil de mesure du débit dans les canaux ouverts.

Notre choix s'est porté sur un déversoir de forme *demi-circulaire* à paroi épaisse, il est muni d'une hauteur de pelle variable et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée de forme rectangulaire dans lequel il est inséré , l'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section de canal d'amenée .

L'objectif visé par le présent est d'établir l'expression théorique de la loi hauteur-débit ainsi que celle du coefficient de débit .

Mots clé : déversoir , rectangulaire, hauteur, débit, demi-circulaire, coefficient de débit

المخلص

الهدف الرئيسي لهذا الموضوع هو تصميم وبناء واختبار نوع جديد من الأجهزة لقياس التدفق في القنوات المفتوحة .

وقع اختيارنا على مجرى مائي على شكل نصف دائري بجدار سميك ومجهز بارتفاع مجرفة متغير ومحوره الطولي يندمج مع قناة المدخل المستطيلة الشكل التي يكون فيها عند ادخاله، يتسبب الجهاز في تضيق حاد في قسم قناة التغذية.

الهدف من ذلك هو إنشاء التعبير النظري لقانون تدفق الارتفاع وكذلك معامل التدفق،

الكلمات المفتاحية: السد، مستطيل، الارتفاع، تفريغ، معامل التفريغ.

abstract

The main objective of this subject is the design, production and testing of a new type of device for measuring flow in open channels.

Our choice fell on a semi-circular overflow with a thick wall, it is equipped with a variable shovel height and its longitudinal axis merges with that of the rectangular-shaped intake channel in which it is inserted, the device causes a sudden narrowing of the feed channel section.

The objective of this study is to establish the theoretical expression of the height-flow law as well as that of the flow coefficient.

Keywords: weir, rectangular, height, flow, semi-circular, flow coefficient

Introduction Générale

Introduction générale

La mesure du débit véhiculé par un canal de forme donnée se rencontre souvent dans la pratique de l'Ingénieur hydraulicien. Les moyens de mesure du débit sont actuellement nombreux et chacun d'entre eux présente ses propres particularités, ses inconvénients et ses avantages. Que l'écoulement ait lieu dans une conduite ou dans un canal à surface libre, les moyens de mesure du débit diffèrent.

La première partie de ce travail se propose de passer en revue les plus importants appareils de mesure des débits dans les canaux ouverts, habituellement utilisés dans la pratique. Les appareils seront schématiquement décrits en mettant l'accent sur les limites de leur utilisation. Notre attention portera également sur le coefficient de débit, dont les principales relations seront exposées et discutées. Notre recherche bibliographique englobe aussi bien les appareils de mesure de débit classiques utilisant le libre déversement et pour lesquels la charge aval est faible, que ceux s'appuyant sur la capacité du ressaut hydraulique à surélever le plan de charge aval. Les premiers sont désignés par déversoirs mince paroi et les deuxième sont les déversoir a seuil épais.

Dans ce travail nous étudierons par voie expérimentale un nouveau dispositif destiné au mesure des débit dans les canaux ouverts soit artificiels ou bien naturels. Notre choix s'est porté sur un nouveau déversoir à seuil épais d'une forme inspirée de la nature. Cette dernière est une forme demi-circulaire qui porte des avantages d'évacuation de quantité maximal de liquide, et au ssine laisse pas des dépôts solide sur sa crête. Selon la bibliographie ce type de déversoir n'était pas testé jusqu'à nos jours.

Nous contribuons a étudier ce dispositif par voie expérimentale, à travers un canal rectangulaire au laboratoire d'hydraulique de la faculté technologique. Tout d'abord, nous concevons le dispositif en fonction des conditions strictes des déversoirs épais, afin d'examiner le dispositif d'une manière objective et scientifique. Nous allons essayer de comprendre le comportement du flux franchissant le dispositif. Nous allons essayer de trouver la relation liée le débit volume transitant le déversoir et la charge maximale en amont de ce dispositif. Et plus nous nous concentrerons principalement sur la recherche de la valeur expérimentale de coefficient de débit.

En effet pour atteindre cet objectif il convient de respecter le déroulement des essais par es étapes suivants

- ✓ Laisser un certain temps entre deux variation de débit
- ✓ La lecture de limnimètre soit frontale ;
- ✓ S'assurer que l'aiguille de débitmètre ne vibre pas.

Premier partie :
Etat de connaissance
sur écoulement à
travers les déversoir

CHAPITRE I

Déversoir à mince paroi

Introduction

La détermination du débit repose sur l'établissement provoqué, dans un tronçon d'écoulement, d'une relation bi-univoque, appelée courbe caractéristique, liant le débit écoulé Q (m^3/s) à la hauteur d'eau h (m) mesurée, sous la forme $Q = f(h)$.

Cette technique nécessite la mise en place d'un dispositif qui modifie le régime d'écoulement et qui permet d'utiliser la relation hauteur- débit théorique du dispositif moyennant le strict respect de conditions normalisées de mise en œuvre. Même en respectant ces conditions, une vérification de la validité des relations hauteur – débit appliqué reste toujours nécessaire.

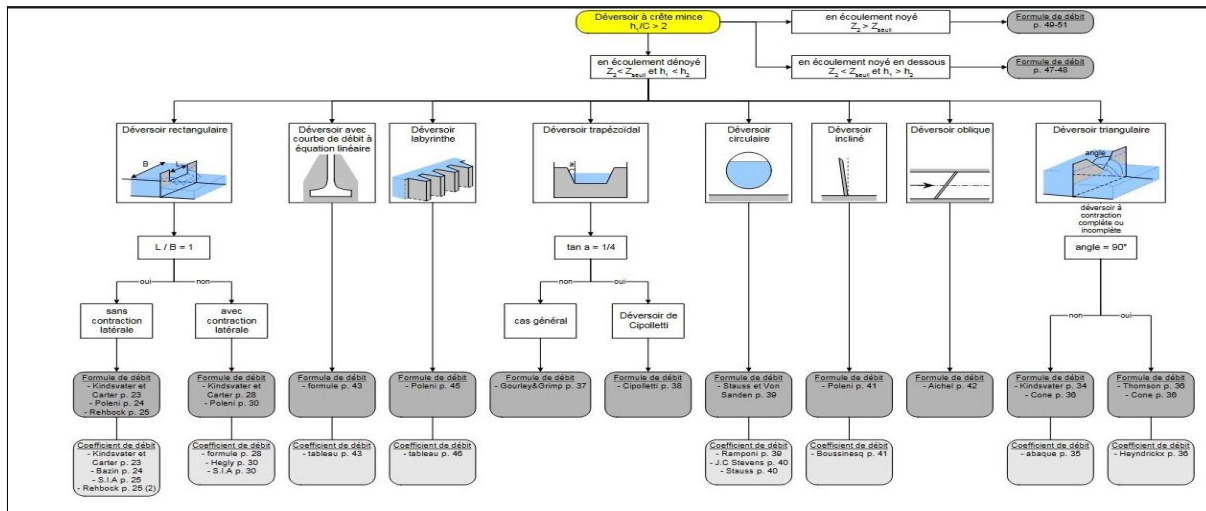
La méthode consiste à procéder au mesurage de la hauteur d'eau h en amont d'une section de contrôle particulière qui crée une transition entre un régime fluvial à l'amont et un régime torrentiel à l'aval, cette transition permettant d'obtenir une relation bi- univoque entre la hauteur d'eau et le débit en imposant un passage par le régime critique.

La relation hauteur – débit étant traduite par la courbe caractéristique qui doit être valable pour toute l'étendue des débits à mesurer.

La relation $Q = f(h)$ peut être théorique ou résulter d'un étalonnage spécifique en laboratoire. Les dispositifs doivent être installés dans des ouvrages rectilignes dont la partie amont, appelé chenal d'approche, permet une répartition régulière et uniforme des vitesses, et dont la partie aval, appelé chenal de fuite, ne doit pas influencer le niveau d'eau amont. Le changement de régime hydraulique peut être obtenu par réduction de la section d'écoulement et/ou augmentation de la pente.

Une très large gamme de dispositifs ou d'ouvrages peut être utilisée pour la mesure des débits dans les canaux ouverts, les souvent pratiquées sont les déversoirs et les jaugeurs à ressaut. Une littérature scientifique et technique très abondante a été consacrée à ces dispositifs depuis plusieurs décennies.

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire



Les différents types des déversoirs à crête mince

1. Définition du déversoir :

Un déversoir est un dispositif qu'on utilise pour mesurer ou contrôler le débit s'écoulant dans les canaux. Un déversoir est essentiellement une paroi, mince ou épaisse, ayant une hauteur qui peut être variable. Il est disposé verticalement pour obstruer plus ou moins la section du canal.

- A l'amont, le niveau d'eau supposé constant s'abaisse sensiblement au dessus du seuil. On appellera charge: la hauteur d'eau entre le niveau amont constant et le niveau du seuil.

- A l'aval du seuil, la lame déversant peut prendre différentes formes, en liaison avec la charge et la hauteur d'eau à l'aval. (Carlier, 1980).

Les déversoirs sont réalisés à travers les cours d'eau artificiels ou naturels et dans les retenues ou la limitation d'un débit ou d'un niveau d'eau doit être assurée. Ils sont également utilisés en combinaison avec des organes mobiles, en particulier les vannes et les clapets installés sur leurs sommets.

Dans le cas d'un déversoir dénoyé, le débit déversé n'est dépendant que des conditions hydrauliques amont; alors qu'un déversoir noyé fait intervenir en plus les conditions hydrauliques à l'aval de la crête déversant.

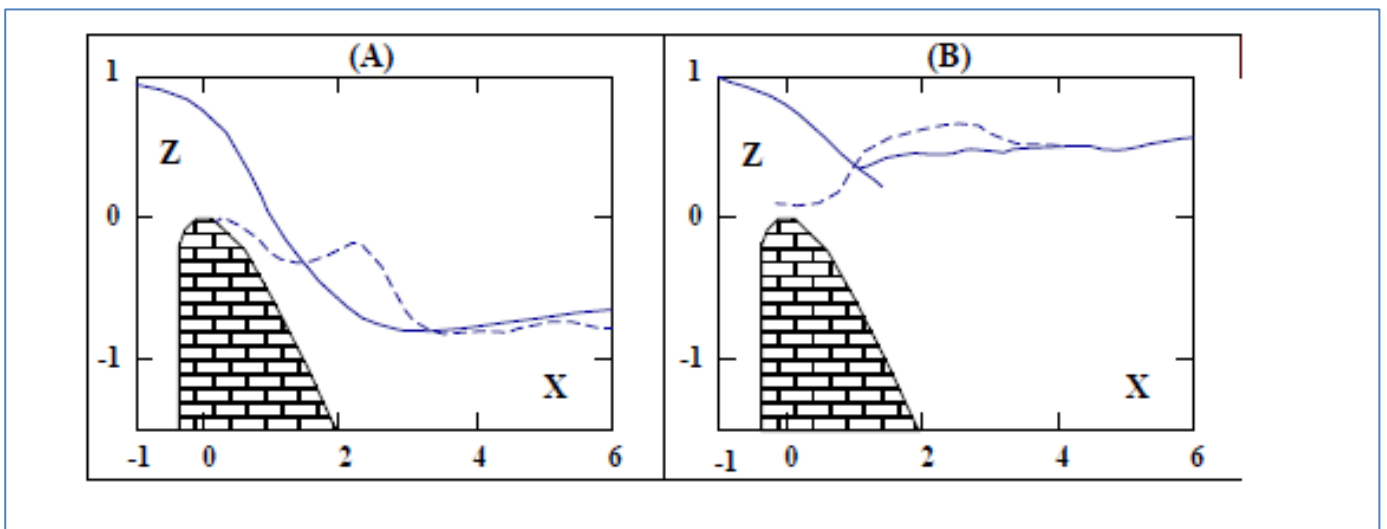


Figure: I.01: Déversoir dénoyé (A) et déversoir noyé (B) (vazquez J, 2000)

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Les déversoirs comptent parmi les plus simples et les plus anciens appareils de mesure du débit. Ce sont des structures hydrauliques formant un obstacle par exemple une paroi verticale disposée en travers de l'écoulement et comportant une ouverture ou une entaille de forme particulière, elle peut être rectangulaire triangulaire, trapézoïdale ou même circulaire, aussi elle peut être à paroi mince ou à paroi épaisse.

Le débit est déterminé à partir d'une simple lecture limnométrique du plan d'eau amont au-dessus de l'arête du déversoir (Carlier, 1980).

1.2 - Rôle du déversoir:

Les déversoirs ont d'autres usages que la mesure du débit. En milieu rural, le barrage-déversoir est utilisé pour la gestion des eaux et le laminage des crues.

Le déversoir de sécurité permet d'évacuer le surplus de débit pour la sécurité des digues. La conception des déversoirs de crues n'est pas abordée dans cet ouvrage.

En milieu urbain, les déversoirs d'orage permettent le déversement dans la rivière des surplus des eaux usées mélangées avec les eaux pluviales. Ces surplus sont causés soit par la limitation de transport dans le réseau soit par une limitation de la capacité de la station d'épuration.

1.3 - Principe des déversoirs :

Un déversoir assure les diverses fonctions:

- Envoyer un « trop plein » d'eau vers un « bras de décharge », pour étaler une crue.
- Certains déversoirs peuvent être conçus comme des passes à poissons.
- Le déversoir doit répondre à un compromis entre capacité de stockage de la retenue et Capacité d'évacuation, cette dernière étant souvent liée à la sécurité de l'ouvrage.

2- Déversoir en mince paroi :

Le déversoir en mince paroi de largeur b permet de déterminer le débit Q en connaissant uniquement la hauteur d'eau à l'amont de l'ouvrage h_0 .

Ce type de déversoir constitue donc une structure qui permet la mesure de débit.

Si la paroi est placée verticalement dans un canal rectangulaire prismatique, la crête ayant la forme de la

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

figure (I.02) et la nappe inférieure étant suffisamment aérée, cette structure est appelée déversoir en mince paroi standard.

Un tel déversoir est caractérisé par la hauteur \bar{w} du fond du canal jusqu'à la crête, sa largeur b et sa hauteur d'eau amont h_0 (Carlier, 1980).

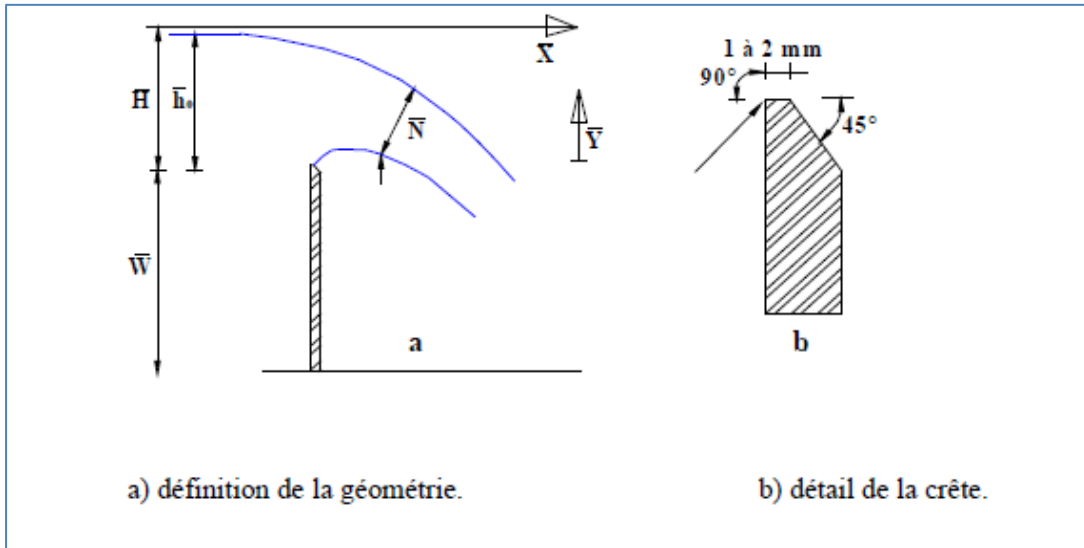


Figure: I.02: Déversoir en mince paroi standard (vazquez J, 2000)

La charge totale amont sur le déversoir peut être exprimée par la relation de Bernoulli:

$$H = h_0 + \frac{Q^2}{2gb^2(h_0 + w)^2} \quad (\text{I.01})$$

- H: Charge amont sur le déversoir (m);
- h_0 : Hauteur d'eau amont(m);
- w: Hauteur de déversoir du fond du canal jusqu'à la crête (m);
- Q: Débit qui transite sur le déversoir (m^3/s);
- b: Largeur de la crête (m);
- g: Accélération de la pesanteur(m/s^2).

- Ce type de déversoir fut étudié avec grand intérêt, notamment par Poleni (1683-1761). En se basant sur diverses simplifications, le débit Q est corrélé avec la hauteur d'eau amont \bar{h}_0 par:

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

$$Q = C_d \sqrt{2g} \cdot \overline{h_0}^{3/2} \quad (I.02)$$

Cette équation indique que le débit croît linéairement avec la largeur b du déversoir, mais dépend plus fortement de la hauteur h_0 sur le déversoir.

C_d : désigne le coefficient de débit, qui peut être déterminé de la relation Rehbock qui est universellement acceptée.

$$C_d = 0,4023 \left[1 + \frac{0,135 \overline{h_0}}{w} \right] \left[1 + \frac{0,0011}{\overline{h_0}} \right]^{3/2} \quad (I.03)$$

2.1 Déversoir rectangulaire en mince paroi

Déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale. Le déversoir rectangulaire est le plus classique, qui a été le mieux étudié, de part sa géométrie simple qui est représentée schématiquement par la figure (3), d'où les multiples observations qui ont été effectuées ce qui a permis de donner des valeurs plus exactes du débit.

Il est aussi le plus ancien car les premières études relèvent au 18ème siècle dû à (G.Poloni,1717) qui donna l'équation de base du débit qui est donnée par:

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot B \cdot h \sqrt{2g \cdot h} \quad (I.04)$$

Où Q est le débit volume, B : la largeur du canal, μ coefficient du débit et g l'accélération de la pesanteur.

h : représente la hauteur de la lame d'eau au-dessus du déversoir et c'est de ce là que né la définition du coefficient du débit. Puisqu'il est plus facile de mesurer la hauteur d'eau h que de mesurer la charge totale H d'où il revient à négliger la vitesse d'approche on aura alors.

$h=H$ (en général dans cette zone la ligne de charge coïncide avec la surface libre).

Les erreurs qui résultent de cette approximation sont corrigées par le coefficient de débit.

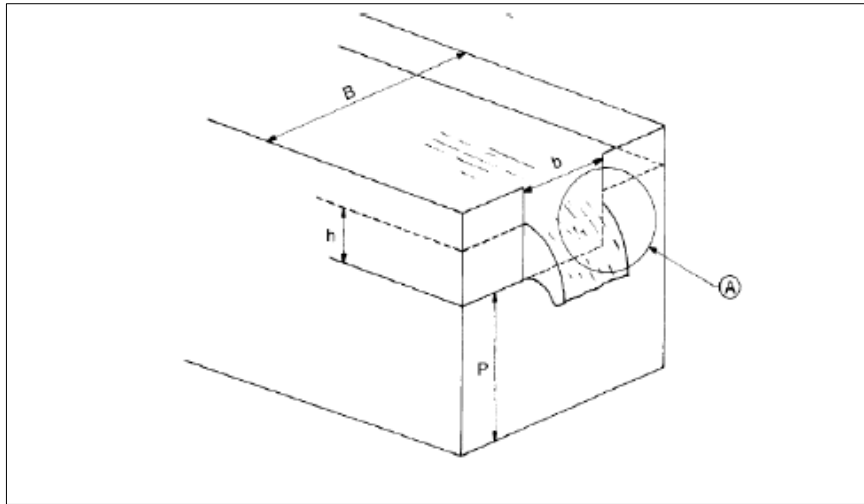


Figure: I.03 :Déversoir rectangulaire en mince paroi avec contraction latérale

2.1.1 Déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale

Coefficient de débit

Le déversoir est défini par sa géométrie simple représentée par une paroi verticale en mince paroi dont les caractéristiques géométriques sont indiquées sur la figure 4. Ce type de déversoir est l'un des plus anciens, puisque les premières recherches sur ce dispositif sont dues à Poleny au 18^{ème} siècle.

Les résultats ont pu conduire à l'établissement de la relation liant la hauteur h de déversement au-dessus de l'arête et le débit unitaire $q = Q/B$, où Q et B représentent respectivement le débit volume et la largeur du canal rectangulaire dans lequel est inséré le dispositif.

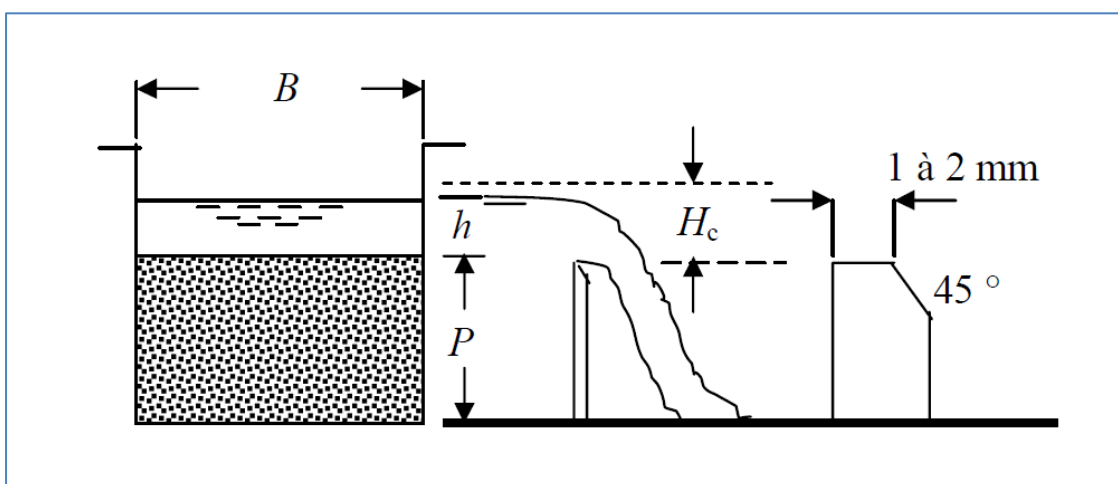


Figure: I.04 :Schéma de définition et détails du déversoir rectangulaire en mince paroi sans contraction latérale

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Le débit unitaire est donné par la relation :

$$q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} h^{3/2} \quad (1)$$

μ désigne le coefficient de débit et g est l'accélération de la pesanteur.

En admettant que le déversoir est franchi par un écoulement en régime critique de profondeur h_c et de charge totale H_c , on peut écrire en vertu de la condition de criticité $h_c = (q^2/g)^{1/3} = (2/3)H_c$

$$q = \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{2g} H_c^{3/2} \quad (2)$$

En admettant également en première approximation que H_c est égale à la hauteur h de déversement les relations (1) et (2) permettent d'écrire que $\mu = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,577$

Cependant, les observations de Poleny indiquent que $\mu = 0,64$, ce qui permet de conclure à un écart d'environ 11%. Cet écart a été attribué par Boussinesq (1877) à l'effet de la courbure des filets liquides franchissant l'arête du déversoir. Cette courbure joue un rôle significatif et l'augmentation de la valeur du coefficient de débit μ est essentiellement due à son effet. Les résultats de Boussinesq (1877) ont permis d'écrire que :

$$\mu = 0,651 \left(1 - 0,391 \frac{i}{\pi} \right) \quad (3)$$

où i désigne l'angle d'inclinaison du déversoir par rapport à la verticale comme l'indique la figure 5. La relation (3) ne peut être appliquée que si $P/h \gg 1$.

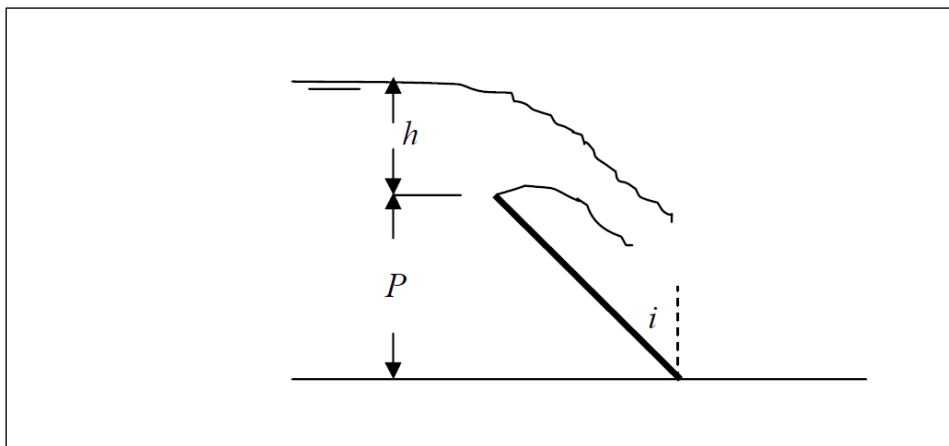


Figure: I.05 : Déversoir en mince paroi incliné d'un angle i par rapport à la verticale. lame d'eau inférieure complètement aérée

Dans la pratique, le cas usuel d'un déversoir en mince paroi consiste en une plaque verticale dont la

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

largeur est égale à celle amont et aval du canal dans lequel elle est insérée.

Plusieurs relations du coefficient de débit μ ont été proposées par le passé et dont les plus importantes sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau I.01 : Coefficient de débit μ de l'équation (1) selon quelques auteurs.

Auteur	Année	Coefficient de débit μ
<i>Bazin</i>	1898	$\mu=0,6075 \left(1+\frac{0,074}{h}\right) \left[1+0,55\left(\frac{h}{h+P}\right)^2\right]$ (4)
<i>Rehbock</i>	1913	$\mu=0,6050 \left(1+\frac{0,0019}{h}\right) \left(1+0,138\frac{h}{P}\right)$ (5)
<i>SLA</i>	1924	$\mu=0,615 \left(1+\frac{0,001}{h}\right) \left[1+0,5\left(\frac{h}{h+P}\right)^2\right]$ (6)
<i>Kindsvater - Carter</i>	1957	$\mu=0,602 \left(1+0,125\frac{h}{P}\right)$ (7)
<i>Sarginson</i>	1972-1973	$\mu=0,613 \left(1+\frac{2,33}{W}+0,122\frac{h}{P}\right)$ (8)

Dans la relation (8) de Sarginson, le paramètre W représente le nombre de Weber tel que $W = \rho h^2 / \sigma$ où ρ est la masse volumique du liquide et σ est la tension superficielle exprimée en kg/m. On peut également écrire que $W = \rho g h^2 / \sigma$ où σ est en N/m. On peut constater à partir du tableau 1 que toutes les relations, à l'exception de la formule de Kindsvater-Carter, contiennent trois termes :

- a) Une constante dont la valeur moyenne est de l'ordre de 0,61.
- b) Un terme qui tient compte de l'effet de la tension superficielle et proportionnel à $1/h$ où h est exprimé en mètres. Ce terme se retrouve, à travers le nombre de Weber, dans la relation (8) de Sarginson.
- c) Un terme qui tient compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement à travers le rapport h/P . Lorsque $h/P \ll 1$, la hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement est faible ($V^2/2g \approx 0$).

Le coefficient de débit μ de Kindsvater-Carter (1957), donné par la relation (7), se rapporte à la formule :

$$q = \mu \sqrt{g h_e^3} \quad (9)$$

où $h_e = h + 0,9$ (mm). La valeur 0,9 mm a été introduite pour représenter l'effet de la tension superficielle.

La relation du débit unitaire la plus acceptée de nos jours est la deuxième version de la formule de

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Rehbock (1929) :

$$q = 0,4023\sqrt{2g(h + 0,0011)^3} \left(1 + 0,135\frac{h}{p}\right) \quad (10)$$

Dans cette dernière relation, h s'exprime en mètres.

La relation (10) est applicable pour $h/P < 0,5$. La précision obtenue sur la mesure du débit varie entre 0,1 et 0,2%, à condition que la géométrie du déversoir soit respectée pour être conforme à celle de la figure 1, et que la nappe liquide à l'aval soit complètement aérée.

Notons également la deuxième version de Kindsvater-Carter (1959) concernant le calcul du débit Q véhiculé par le canal. En considérant le coefficient de débit donné par la relation (7) du tableau 1, Kindsvater-Carter (1959) propose d'évaluer le débit Q par la relation :

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g\mu}(B - 0,001)(h + 0,001)^{3/2} \quad (10)$$

Cette relation est applicable sous les conditions suivantes :

- Hauteur de pelle $P > 0,1$ m
- Hauteur de la lame déversant h (minimale) $> 0,08$ m
- Hauteur relative $h/P < 0,25$

2.1.2 Déversoir rectangulaire à paroi mince et à contraction latérale

Le cas le plus général rencontré en pratique est le déversoir en mince paroi à contraction latérale schématiquement représenté sur la figure I 06.

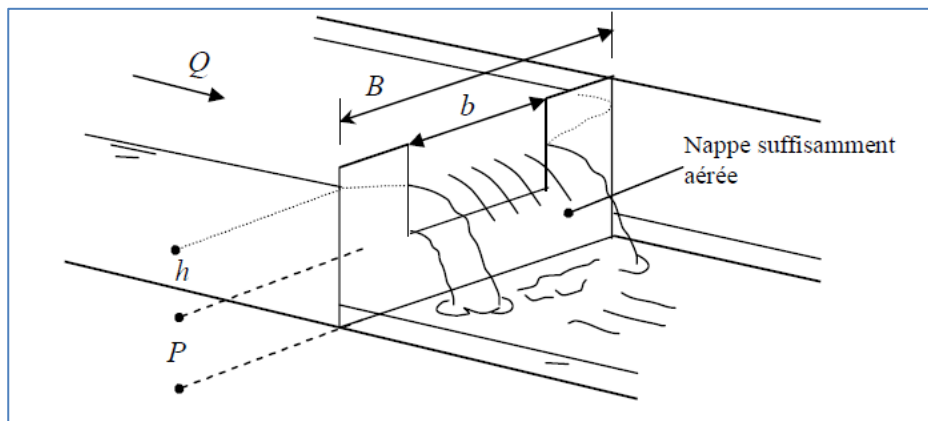


Figure: I.06 :Déversoir rectangulaire à paroi mince avec contraction latérale Schéma de définition

La largeur b de l'échancrure du déversoir est inférieure à la largeur B du canal d'amenée de forme

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

rectangulaire. Ces deux paramètres géométriques définissent par leur rapport $\beta = b/B$ la valeur du taux de contraction. Pour ce type de déversoir, de très nombreux tests ont été effectués par SIA (1926). Ces tests ont montré que le débit unitaire q pouvait être calculé en application de la relation (1), en tenant compte du fait que le coefficient de débit μ est tel que:

$$\mu = 0,578 \left(1 + 0,065\beta^2 + \frac{6,25-5,19\beta^2}{1000(h+0,016)} \right) \left[1 + 0,5\beta^4 \left(\frac{h}{h+P} \right)^2 \right] \quad (12)$$

Dans la relation (12), le taux de contraction est tel que $\beta < 1$, mais doit être supérieur ou égal à 0,30 ($\beta \geq 0,30$), soit $0,30 \beta < 1$. La relation (12) est composée de quatre termes :

- Le premier terme est représenté par la constante 0,578.
- Le second terme est représenté par le taux de contraction β .
- Le troisième terme tient compte de l'effet de la tension superficielle, proportionnelle à $1/h$ (h est exprimé en mètres).
- Le quatrième terme tient compte de l'effet de la vitesse d'approche de l'écoulement, à travers le rapport h/P . En effet, le terme $h/(h + P)$ figurant dans la relation (12) peut s'écrire $h/(h + P) = (h/P)/(1 + h/P)$.

Il est à noter que pour $\beta = 1$, les relations (6) et (12) sont identiques.

D'autres formules du débit ont été également proposées par plusieurs chercheurs, mais ces formules convergent dans leur ensemble vers la même valeur du débit unitaire calculé par application des relations que nous venons de citer. Notons surtout que toutes ces formules doivent être appliquées sous les conditions suivantes :

- $B-b \geq 4h$
- $\frac{h}{P} \leq 0,5$
- $\frac{h}{b} \geq 0,5$
- $P \geq 0,30m$
- $\frac{0,025}{\beta} \geq h \geq 0,80 m$
- $b \geq 0,30m$

Si l'une de ces conditions n'est pas respectée, la valeur calculée du débit peut être entachée d'une erreur significative.

2.2 Déversoir triangulaire

2.2.1 Déversoir triangulaire à paroi mince:

Le déversoir triangulaire à paroi mince est constitué d'une plaque verticale découpée selon le schéma de la figure I.07. Une échancrure est opérée suivant un angle d'ouverture θ . Le dispositif est généralement placé dans un canal rectangulaire de largeur constante B .

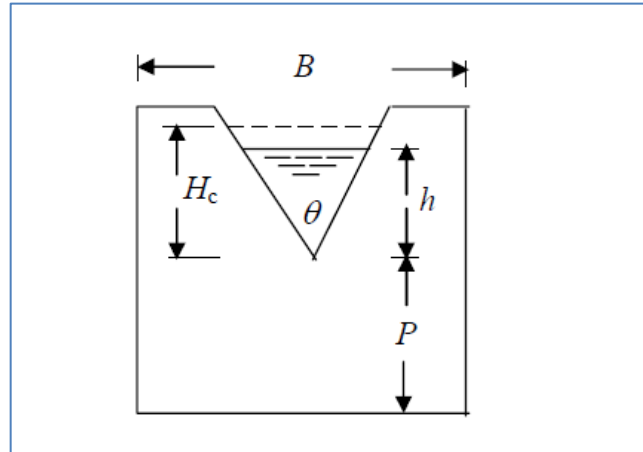


Figure: I.07: Déversoir triangulaire à paroi mince - Schéma de définition -

Le déversoir à échancrure triangulaire est l'un des dispositifs de mesure le plus précis, englobant une large gamme de valeurs du débit.

En admettant que le déversoir est franchi par un écoulement en régime critique de charge totale H_c , on peut écrire que $H_c = 5h_c/4$ où h_c est la profondeur critique telle que, en vertu de la condition de criticité, $h_c = [2Q^2/(gm^2)]^{1/5}$, où m est la cotangente de l'angle d'inclinaison des parois de l'échancrure par rapport à l'horizontale, ou bien $m = \text{tg}(\theta/2)$. En tenant compte de ces considérations, le débit Q s'écrit :

$$Q = \frac{16}{25} m \sqrt{\frac{2}{5} g H_c^5} \quad (13)$$

En admettant en outre que la vitesse d'approche de l'écoulement est faible, on peut écrire que En admettant en outre que la vitesse d'approche de l'écoulement est faible, on peut écrire que $H_c = H \approx h$.

La relation (13) devient alors :

$$Q = \frac{16}{25} \text{tg}(\theta/2) \sqrt{\frac{2}{5} g h^5} \quad (14)$$

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

ou bien:

$$Q = \frac{8}{15} \mu t g(\theta/2) \sqrt{2gh^5} \quad (15)$$

avec: $\mu = \frac{6}{5\sqrt{5}} \cong 0,537$

La relation (15) est due à Thomson et le déversoir triangulaire est également appelé déversoir Thomson.

Lorsque la hauteur relative $h/P \leq 0,40$ et que $P/B \leq 0,20$, la contraction est dite pleine et le coefficient de débit μ figurant dans la relation (15) ne dépend que de l'angle θ . Le tableau 2 regroupe les valeurs de μ pour quelques valeurs de l'angle θ .

Tableau.I.02: Coefficient de débit μ de l'équation (15) en fonction de θ

$\theta(^{\circ})$	20	40	60	80	90	100
μ	0,597	0,582	0,577	0,577	0,578	0,580

Nous avons représenté sur la figure I.08 la variation du coefficient de débit μ en fonction de l'angle θ , selon les valeurs données au tableau I.02.

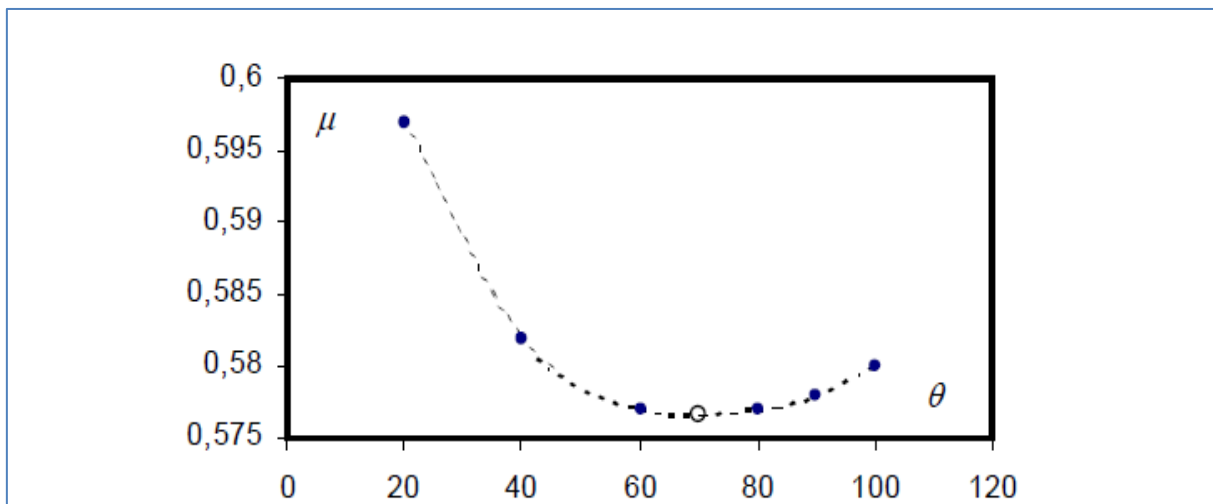


Figure: I.08 : Variation du coefficient de débit en fonction de l'angle d'ouverture de l'échancrure d'un déversoir triangulaire à paroi mince pour une contraction pleine

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Nous pouvons observer que la courbe obtenue est une courbe en cloche, qui se compose d'une branche descendante et d'une autre ascendante. Le coefficient de débit μ passe par un minimum tel que $\mu = \mu_{\text{minimum}} \approx 0,577$ pour $\theta = 70^\circ$.

Lorsque :

- la hauteur relative $h/P \leq 1,20$
- $h/B \leq 0,40$
- $0,05 \leq h \leq 0,60$ m
- $P \geq 0,10$ m
- $B \geq 0,60$ m

La contraction est dite partielle. La vitesse d'approche de l'écoulement ainsi que la largeur B du canal d'amenée ont alors un effet très important sur le coefficient de débit μ . Pour illustrer cet effet, des essais ont été effectués sur un déversoir triangulaire à échancrure de 90° (Bos, 1976). La figure I.09 montre la variation du coefficient de débit μ en fonction de h/P et P/B . Il est à noter que le canal d'amenée doit être de forme rectangulaire ou pouvant être assimilé comme telle.

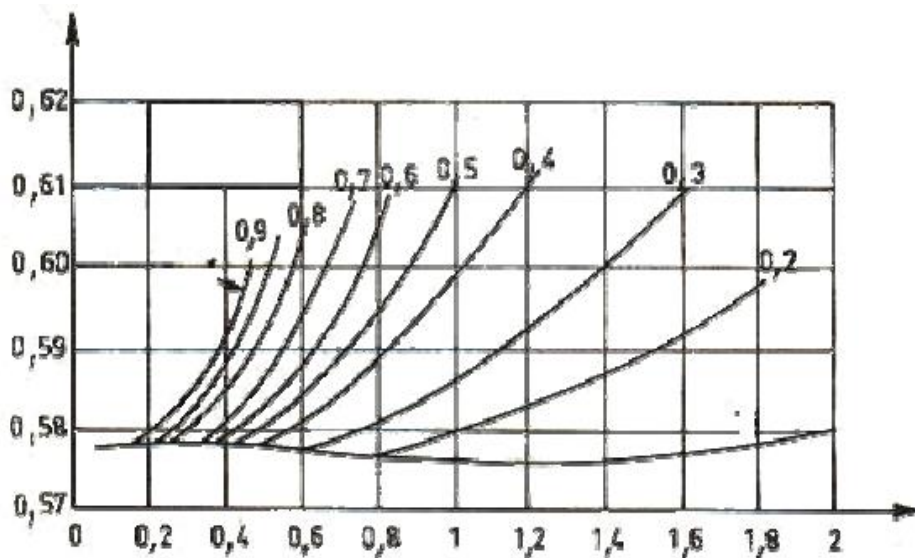


Figure: I.09 : Déversoir à échancrure triangulaire ($\theta=90^\circ$) - coefficient de débit μ pour une contraction partielle en fonction de h/P et P/B selon Bos (1976)

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Le déversoir triangulaire à paroi mince a également fait l'objet d'investigations de la part de Lenz (1943) qui s'est intéressé en particulier aux effets de la viscosité du liquide et de la tension superficielle sur le coefficient de débit μ .

De même, Ramponi (1949) analyse les effets du canal d'aménée sur les caractéristiques de l'écoulement, tandis que De Coursey et Blanchard (1970) ont étudié les caractéristiques de l'écoulement déversant par dessus de larges déversoirs triangulaires.

Plusieurs types de déversoirs ont été également proposés et testés tel que le déversoir de Cipoletti (1963) dont l'échancrure est de forme trapézoïdale. Nous pouvons également citer le déversoir circulaire à paroi mince appelé aussi déversoir proportionnel en raison de la linéarité qu'il induit entre le débit et la lame liquide franchissant le dispositif.

Mais ces appareils de mesure de débit sont rarement utilisés en pratique et ne seront pas exposés dans notre mémoire.

2.2.2 Déversoir à paroi mince à profil en long triangulaire

Il s'agit d'un déversoir créant une contraction verticale de l'écoulement par sa surélévation en formant un seuil dit " seuil épais " (figure I.10). Il est en général inséré dans un canal d'aménée de section rectangulaire et l'écoulement s'y étend sur toute la largeur et reste en contact avec le seuil sur une certaine longueur.

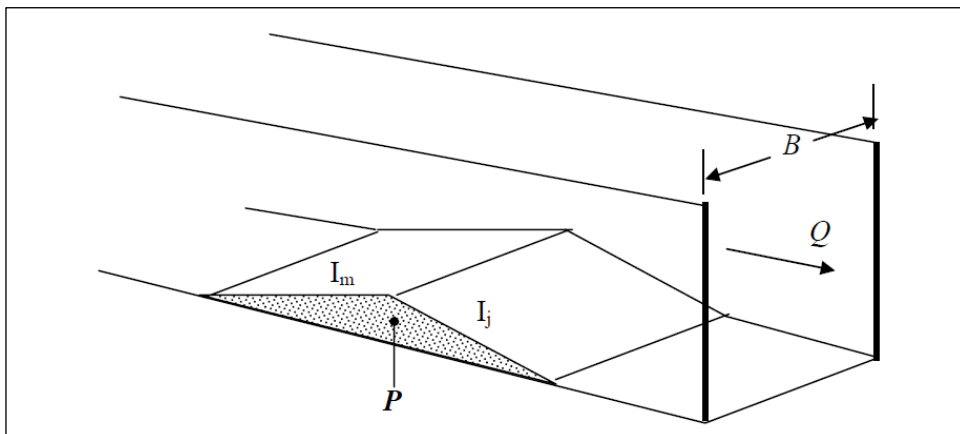


Figure: I.10 : Représentation schématique du déversoir à paroi mince à profil en long triangulaire

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Le débit est donné après étalonnage de l'appareil par mesure de la profondeur de la lame déversante. Si B est la largeur du canal d'amenée, sur une longueur d'au moins $10B$ les caractéristiques suivantes doivent être respectées :

- Le canal d'amenée doit être rectiligne.
- La section transversale du canal d'amenée doit être rectangulaire et constante.
- La pente du canal d'amenée doit être inférieure à 2%.
- Les parois du canal d'amenée doivent être lisses.
- L'arête déterminée par l'intersection des parements amont et aval de pente respective I_m et I_j doit être horizontale avec cependant une tolérance de 0,2%.

2.3 Déversoir trapézoïdal en mince paroi

Dans ce type de déversoir la forme de l'échancrure est un trapèze isocèle envasé vers le haut, la figure (I.11) montre schématiquement la forme du déversoir

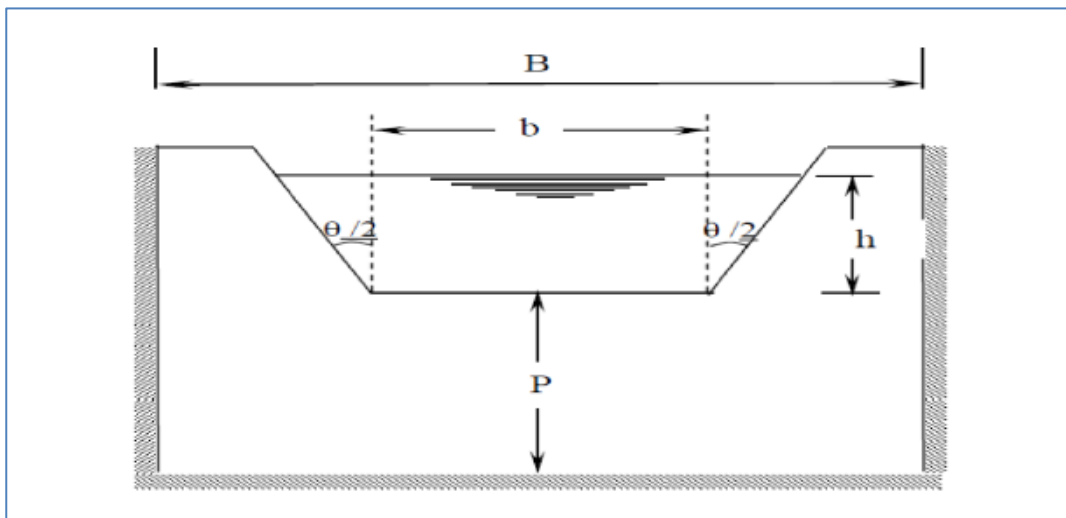


Figure I.11: Déversoir trapézoïdal

Le déversoir le plus fréquemment utilisé est celui de (Cipoletti, 1963), dont la crête est constituée par

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

la plus petite base b et d'angle d'inclinaison θ tel que $\text{tg } \theta = 1/4$, ce qui permet de compenser l'influence de contraction due aux joues par l'augmentation de la largeur de la surface libre de manière à conserver le plus possible un coefficient de débit μ constant pour une large gamme de la variation de la charge h .

La relation générale du débit pour un déversoir de type Cipolletti est donnée par: Où q est le débit unitaire Lorsque:

$$q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (16)$$

Où q est le débit unitaire Lorsque :

- $0,06 \text{ m} < h < 0,60 \text{ m}$
- $\frac{h}{p} < 0,50 \text{ m}$
- $P > 2h$ avec une valeur minimale de $0,30 \text{ m}$

La valeur du coefficient de débit $\mu=0,422$ d'où la forme simplifiée de la relation de Cipolletti qui s'écrit :

$$q = 1.86bh^{3/2} \quad (17)$$

Pour une valeur quelconque de l'angle d'inclinaison des joues du déversoir sur la verticale (Gourley et Crimp) ont donné la formule suivante pour le calcul du débit:

$$Q = 1.32h^{2.47} \text{tg } \frac{\theta}{2} + 1.69b^{1.02} h^{1.47} \quad (18)$$

b : est la petite base du trapèze et h : la hauteur d'écoulement.

2.4- Déversoir circulaire

Le déversoir circulaire a fait l'objet de plusieurs études, vu les avantages qu'il présente, une simplicité et une facilité d'exécution (il n'y a ni à placer le seuil par faitement horizontal comme pour le déversoir rectangulaire ni à placer la bissectrice parfaitement verticale tel est le cas pour le déversoir triangulaire) et une précision meilleure pour la mesure des petits débits.

Le déversoir est de forme circulaire de diamètre D et de hauteur d'écoulement h , la figure (I.12) ci-après représente schématiquement le déversoir circulaire à paroi mince.

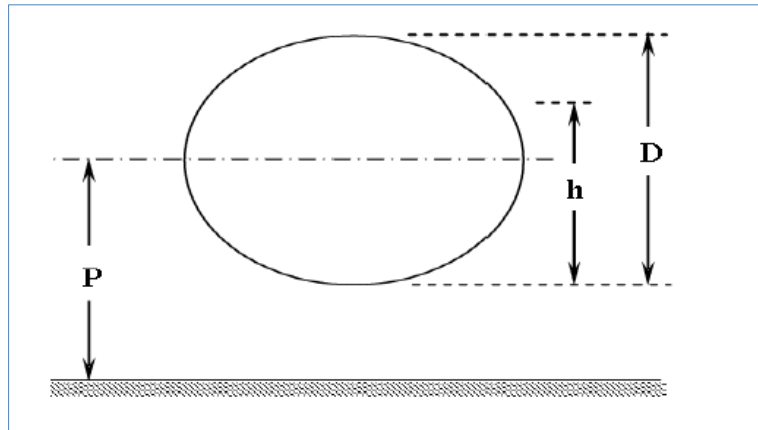


Figure I.12: Déversoir circulaire

D'après les résultats de Stauss et Von Sanden, la forme générale de la formule de débit est donnée par:

$$Q = C K D^{2.5} \quad (19)$$

D:est le diamètre du cercle

K : est fonction du taux de remplissage h/D , dont la valeur dépend des considérations théoriques.

3. Choix d'un déversoir de mesure en mince paroi

Dans la description des différents types de déversoirs, nous en avons défini les limites d'application. Les déversoirs en mince paroi permettent d'obtenir une bonne précision.

Le déversoir rectangulaire est plus précis ($E \approx 1\%$), mais moins sensible que le déversoir triangulaire. Les déversoirs triangulaires sont utilisés pour la mesure des petits débits, car il est recommandé de ne pas utiliser de déversoir rectangulaire de moins de 0.30m de largeur, soit lorsque la gamme de débits à mesurer est très étendue et que l'on ne peut pas admettre une grande variation de la hauteur de lame déversante.

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Conclusion:

Le chapitre de notre mémoire a eu pour objectif de passer en revue les principaux appareils de mesure du débit dans les canaux ouverts utilisés dans la pratique de l'ingénieur.

Nous pouvons noter que ces appareils présentent tous une loi hauteur – débit. Cette hauteur correspond à l'épaisseur de la lame d'eau franchissant l'appareil et elle est mesurée à l'amont. Notre étude a montré deux grandes catégories d'appareils. La première catégorie correspond aux appareils utilisant le libre déversement par -dessus une paroi plane mince verticale placée en travers de l'écoulement. Ces appareils sont appelés déversoirs à paroi mince et sont dotés soit d'une échancrure de forme rectangulaire, soit d'une échancrure de forme triangulaire circulaire ou trapézoïdale. Ce sont les deux premières formes qui sont les plus utilisées.

Chapitre II

DEVERSOIR A SEUIL EPAIS

Introduction

Dans cet présent chapitre nous présentons par un bref rappel une deuxième catégories de déversoirs, cette fois ci sont les déversoirs constitués d'un seuil épais ou large. Leur profil en long peut être de forme triangulaire ou rectangulaire. Nous vous expliquerons alors présenté les déversoirs à paroi épaisse de type Bazin et de type Crump. Nous avons indiquons leurs caractéristiques géométriques et notamment les valeurs de leurs pente amont et aval. Les conditions de leur bon fonctionnement ont été également présentées, tout en insistant sur la nécessité de leur strict respect. Ce sont des dispositifs qui provoquent exclusivement une contraction verticale de l'écoulement en raison de leur hauteur de pelle. Ils sont par contre démunis de toute contraction latérale de leur géométrie; leur largeur correspond donc à celle du canal d'amenée rectangulaire dans lequel ils sont insérés.

1. Définition du déversoir à seuil épais:

Le déversoir est considéré à seuil épais dans le cas où la largeur du seuil est suffisamment grande pour qu'elle assure une forme régulière de la nappe déversante le long du seuil, les filets liquides sont parallèles et horizontaux. Ce type de déversoir à angles vifs, représentés dans la figure (II.01), peut s'imposer notamment pour des phases de construction des barrages en béton. Comparés au déversoir en mince paroi, deux paramètres supplémentaires relatifs à la pente amont θ et la longueur de la crête L_0 du déversoir doivent être considérés. Le calcul simplifié introduit un coefficient de correction C_e dans la formule générale du déversoir en mince paroi.

$$Q = \overline{C_d} C_e \sqrt{2g} \cdot \overline{H}^{3/2} \quad (\text{II.1})$$

- \overline{H} : Charge totale sur le déversoir (m) ;
- Q : Débit évacué (m^3/s) ;
- C_d : Coefficient de débit ;
- C_e : Coefficient de correction ;
- b : Largeur du déversoir (m) ;
- g : Accélération de la pesanteur (m/s^2).

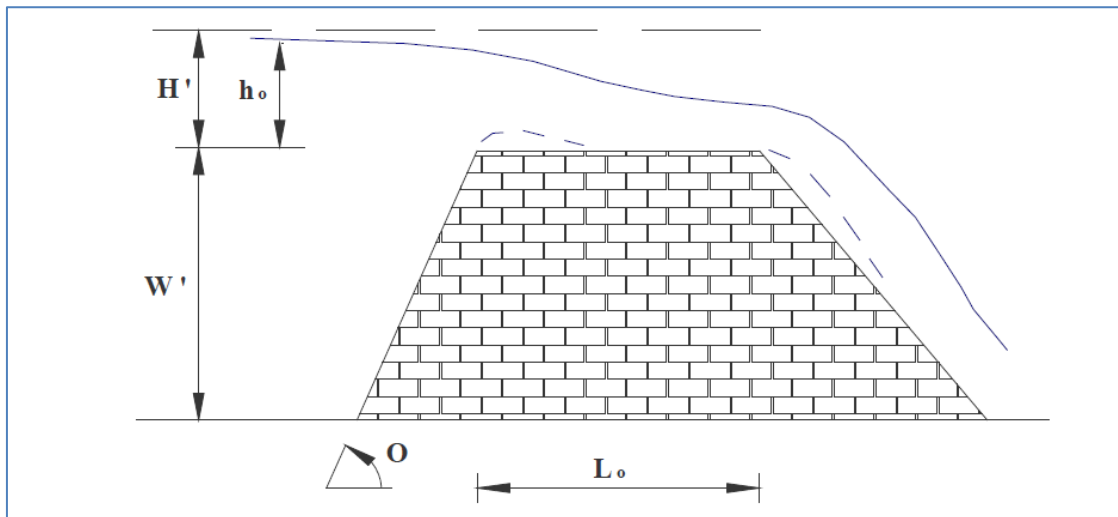


Figure II.01: Déversoirs à seuil épais, géométrie polygonale

1.1 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'influe pas sur le niveau amont :

$$Z_2 < Z_{\text{seuil}}$$

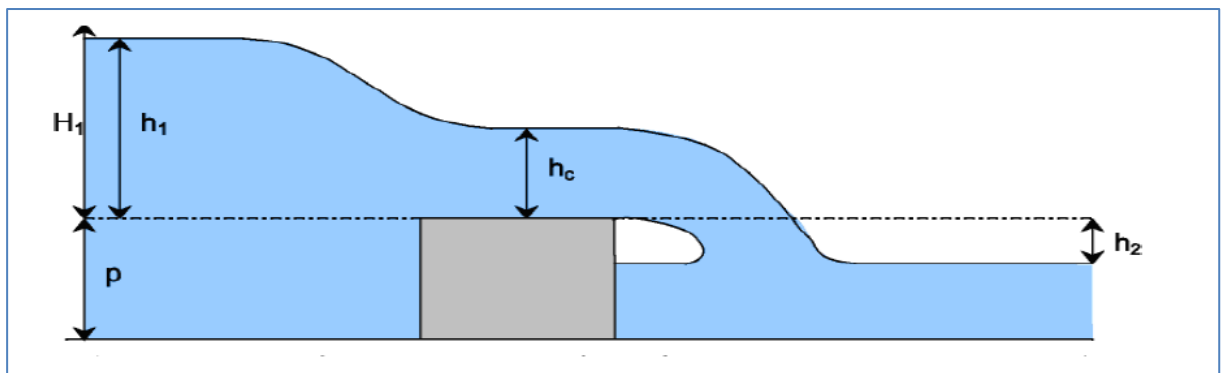


Figure II.02: Coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement dénoyé ($Z_2 < Z_{\text{seuil}}$)

1.2 Déversoir à crête épaisse en écoulement noyé:

Le déversoir à crête épaisse est dit « en écoulement noyé », lorsque $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$. La ligne d'eau ne passe plus par une hauteur d'eau critique h_c au-dessus du seuil.

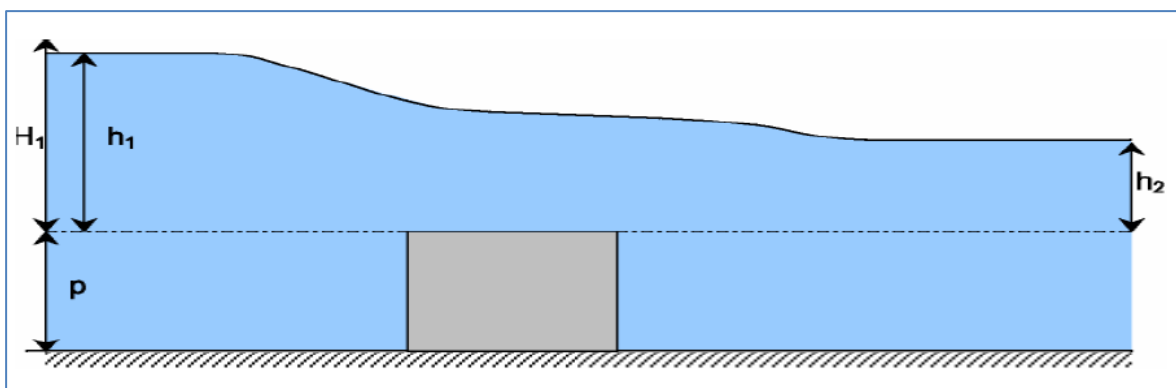


Figure II.03 : Coupe longitudinale d'un déversoir à crête épaisse en écoulement noyé avec $Z_2 > Z_{\text{seuil}}$

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

L'abaque ci-dessous permet de déterminer si l'écoulement est noyé ou dénoyé. En effet, pour garantir un écoulement dénoyé, la nappe doit passer par une hauteur critique, découplant l'interaction de l'aval sur l'amont. Pour les valeurs de h_2/h_1 plus faibles que la courbe donnée, l'écoulement est dénoyé.

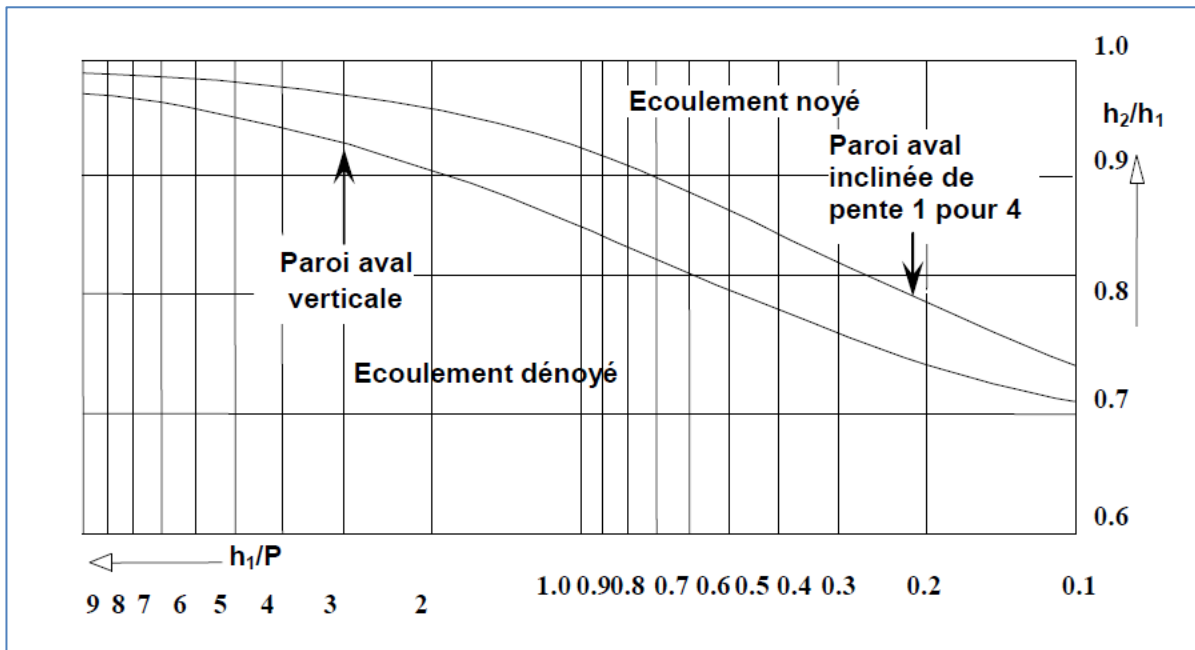


Figure II.04 : Transition entre l'écoulement noyé et celui dénoyé pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête amont arrondie, à paroi aval verticale ou inclinée de pente 1/4

1.3 Caractéristiques géométriques des canaux

- La pente du fond du canal

$$J_0 = - \frac{dz}{dx}$$

- la section mouillée S (dans les écoulements en charge, le contour d'une section était nécessairement fermé et la section est entièrement mouillée).
- le périmètre mouillé, P formé de la ligne de contact entre la surface mouillée et le lit compris les berges, mais ne comprenant pas la surface libre.
- La largeur au miroir (ou à la surface libre), B
- le rayon hydraulique, donné par:

$$R = \frac{S}{P}$$

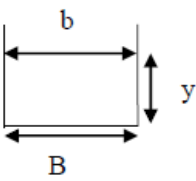
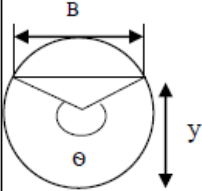
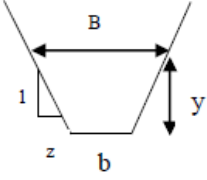
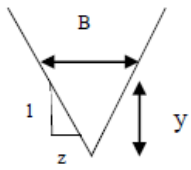
CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

- la largeur superficielle B, du canal à la surface libre
- la profondeur hydraulique, D_h , définit par:

$$D_h = \frac{S}{B}$$

• la profondeur (hauteur ou tirant) d'eau h ; puisque la pente du fond est faible, la profondeur d'eau suivant la verticale et perpendiculaire au fond peuvent être considérées confondues. Dans un canal prismatique (la pente du fond, la section et la rugosité restent constante).

• Le tableau suivant donne les formules des éléments géométriques pour les types de sections de canaux (Bennis, 2009).

Forme de section	Section mouillée (S)	Périmètre mouillé (P)	Rayon hydraulique(R)	Largeur du miroir (B)
	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b
	$\frac{D^2}{8}(\theta - \sin\theta)$	$\frac{\theta D}{2}$	$\frac{D}{4}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)$	$D \sin \frac{\theta}{2}$
	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$
	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2y\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$

1.4 Les rôle et applications

- Les déversoir sont d'autres usages que la mesure du débit En milieu rural, le barrage-déversoir est utilisé pour la gestion des eaux et le laminage des crues.

- Le déversoir de sécurité permet d'évacuer le surplus de débit pour la sécurité des digues. La conception des déversoirs de crues n'est pas abordée dans cet ouvrage.

- En milieu urbain, les déversoirs d'orage permettent le déversement dans la rivière des surplus des eaux usées mélangées avec les eaux pluviales. Ces surplus sont causés soit par la limitation de transport dans le réseau soit par une limitation de la capacité de la station d'épuration.

Un déversoir assure les diverses fonctions:

- Envoyer un « trop plein » d'eau vers un « bras de décharge », pour étaler une crue.

- Certains déversoirs peuvent être conçus comme des passes à poissons.

- Le déversoir doit répondre à un compromis entre capacité de stockage de la retenue et Capacité d'évacuation, cette dernière étant souvent liée à la sécurité de l'ouvrage.

2. Les types de déversoir à seuil épais

Ces types de déversoirs ont une géométrie identique à celles des déversoirs en mince paroi sauf que ces derniers ont une épaisseur plus ou moins grande. Pour assurer une bonne performance du seuil, les conditions d'écoulement doivent être restreintes à la gamme d'opération $0.08 < H/L < 0.50$.

Pour $H/L < 0.08$, les pertes de charge sur le seuil ne peuvent pas être négligées, tandis que pour $H/L > 0.50$, les lignes d'écoulement sur le seuil ne sont pas horizontales et la pression n'est plus hydrostatique. Un seuil épais est considéré non noyé. lorsque le niveau aval est à un niveau inférieur à $0.8 H$ mesuré au-dessus du seuil.

2.1. Déversoirs a seuil épais rectangulaire

Ce type de déversoir se présente comme un canal de faible longueur, de section rectangulaire inférieure à celle du canal dans lequel il est inséré et avec une pente longitudinale nulle, La figure II.05 représente un écoulement par-dessus un déversoir à paroi épaisse de forme rectangulaire.

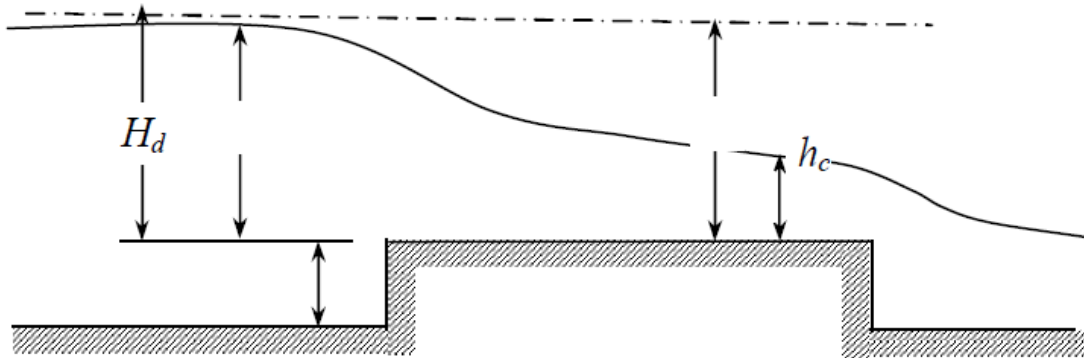


Figure II.05 :Déversoir à seuil épais– Schéma de définition

Après la mise en place du seuil, l'écoulement sera fluvial à l'amont dans le canal d'amenée. Dans le cas où l'écoulement serait dénoyé, il s'établit un écoulement critique de profondeur h_c sur le seuil au voisinage de l'arête aval.

La condition de criticité s'écrit:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Dans la relation précédente, q représente le débit unitaire ($q=Q/B$) et g représente l'accélération de la pesanteur.

La charge totale critique sur le seuil est:

$$H_c = h_c + \frac{q^2}{2gh_c^2}$$

Tenant compte de la condition de criticité, la charge totale critique sur le seuil s'écrit:

$$H_c = \frac{3}{2}h_c$$

En admettant que la hauteur représentative de la vitesse d'approche ($V^2/2g$) est négligeable, on peut mettre où H_d représente la charge totale de déversement de l'écoulement dans le canal d'amenée, h_d est la profondeur de déversement à l'amont du seuil.

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Enfin, en négligeant la perte de charge au passage sur le seuil du déversoir, on peut écrire:

$$H_d = h_d = H_c = (3/2)h_c$$

Tenant compte de la condition de criticité et que $h_c = (2/3)h_d$, le débit unitaire écoulé par-dessus du seuil s'écrit:

$$q = \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{2gh_d^3} \quad (\text{II.2})$$

En réalité, la formule exacte du débit est un peu différente de celle théorique (II.2) Le débit exact est donné par la formule suivante :

$$q = \mu \sqrt{2gh_d^3} \quad (\text{II.3})$$

Le paramètre μ de la relation (II.3) représente le coefficient de débit.

Les expériences démontrent que les résistances apparaissent en amont du déversoir dépendent essentiellement de la forme de la crête, de la hauteur relative de pelle (P/h_d) et de sa rugosité et de la contraction latérale (b/B). Le tableau II.1 présente quelques valeurs du coefficient de débit μ en fonction du rapport (P/h_d) et en fonction de la forme de l'arête amont du déversoir à seuil épais sans contraction latérale. Tandis que le tableau II.2 donne quelques valeurs du coefficient du débit μ pour des déversoirs à seuil épais sans hauteur de pelle, et avec contraction latérale et pour différentes formes de l'entrée.

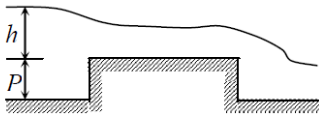
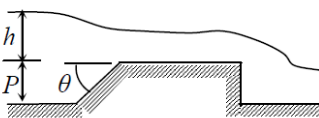
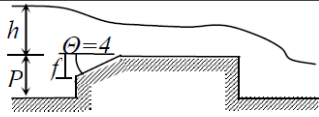
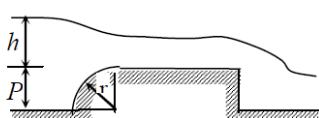
Forme du déversoir			P/h_d									
			0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	∞
			0,385	0,366	0,356	0,350	0,345	0,342	0,333	0,327	0,325	0,320
	Cotgθ	0,5	0,385	0,372	0,365	0,361	0,357	0,355	0,349	0,345	0,344	0,340
		1,0	0,385	0,377	0,373	0,370	0,368	0,367	0,363	0,361	0,360	0,358
		1,5	0,385	0,380	0,377	0,376	0,375	0,374	0,371	0,370	0,369	0,368
		$\geq 2,5$	0,385	0,382	0,381	0,380	0,379	0,378	0,377	0,376	0,376	0,375
	f/h_u	0,025	0,385	0,372	0,365	0,361	0,357	0,355	0,349	0,346	0,344	0,340
		0,05	0,385	0,374	0,368	0,364	0,361	0,359	0,353	0,350	0,349	0,346
		$\geq 0,2$	0,385	0,377	0,374	0,370	0,368	0,366	0,362	0,360	0,359	0,357
	r/h_u	0,025	0,385	0,372	0,365	0,361	0,357	0,355	0,349	0,346	0,344	0,340
		0,05	0,385	0,374	0,368	0,364	0,361	0,359	0,354	0,359	0,349	0,346
		0,2	0,385	0,377	0,374	0,370	0,368	0,366	0,363	0,360	0,359	0,357
		0,6	0,385	0,380	0,377	0,376	0,375	0,374	0,371	0,370	0,369	0,368
		≥ 1	0,385	0,382	0,381	0,380	0,379	0,378	0,377	0,376	0,376	0,375

Tableau II.01 : Coefficient de débit μ pour différentes formes de l'entrée du déversoir rectangulaire à seuil épais sans contraction latérale.

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

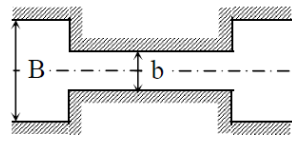
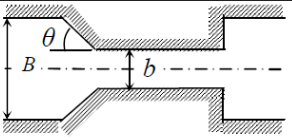
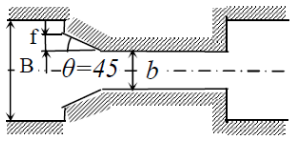
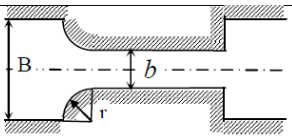
Forme de l'entrée en plan			b/B						
			1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0
			0,385	0,367	0,355	0,340	0,330	0,324	0,320
	$\text{Cotg } \theta$	0,5	0,385	0,373	0,365	0,356	0,350	0,346	0,343
		1,0-3,0	0,385	0,375	0,369	0,361	0,356	0,352	0,350
	f/h	0,05	0,385	0,371	0,362	0,350	0,343	0,338	0,345
		$\geq 0,2$	0,385	0,375	0,368	0,360	0,355	0,351	0,349
	r/h	0,05	0,385	0,371	0,362	0,350	0,343	0,338	0,335
		0,20	0,385	0,375	0,368	0,360	0,355	0,351	0,349
		$\geq 0,30$	0,385	0,378	0,373	0,368	0,364	0,362	0,360

Tableau II.02 : Coefficient de débit pour différentes formes de l'entrée du déversoir rectangulaire avec contraction latérale, sans hauteur de pelle.

Dans le cas des déversoirs à seuil épais présentant à la fois une contraction latérale et une hauteur de pelle, le coefficient de débit est calculé en multipliant les valeurs du tableau II.1 par le coefficient de la contraction latérale (b/B).

V. Smyslov a proposé les formules approximatives ci-après pour ces types de déversoirs pour les différentes formes de la crête d'entrée :

- Entrée non arrondie

$$\bullet \quad \mu = 0,30 + 0,08 \frac{bh_d}{B(h_d+P)} \quad (\text{II.4})$$

- Entrée avec cônes

$$\bullet \quad \mu = 0,30 + \frac{0,08}{1+2 \cot g \theta \frac{h_d}{b}} \quad (\text{II.5})$$

Dans la formule précédente θ représente l'angle d'écartement des talus du cône.

- Entrée arrondie en plan raccordée d'après le tube d'évasement

$$\mu = 0,35 \quad \text{à} \quad 0,36$$

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Les expériences de Bazin (1898) sur les déversoirs à seuil épais sans contraction latérale ont donné des valeurs du coefficient du débit μ compris entre 0,37 et 0,39.

Plusieurs autres chercheurs et organisations (Blackwell, U.S. Deep, Water Ways Board et (U.S.Geological Survy) ont pu démontrer que pour des charges de (0,06m à 1,5m) et des longueurs du seuil comprises entre 0,15m et 4,5m, le coefficient de débit est compris entre 0,329 et 0,414.

2.2 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire

Les seuils triangulaires, également appelés seuils Crump du nom de celui qui les a décrit le premier (Crump, 1952), créent une contraction verticale progressive qu'un déversoir, en formant un seuil dit «seuil épais » (figure II.06).

Il est en général inséré dans un canal de forme rectangulaire et l'écoulement s'y étant sur toute la largeur et reste en contact avec le seuil sur une certaine longueur.

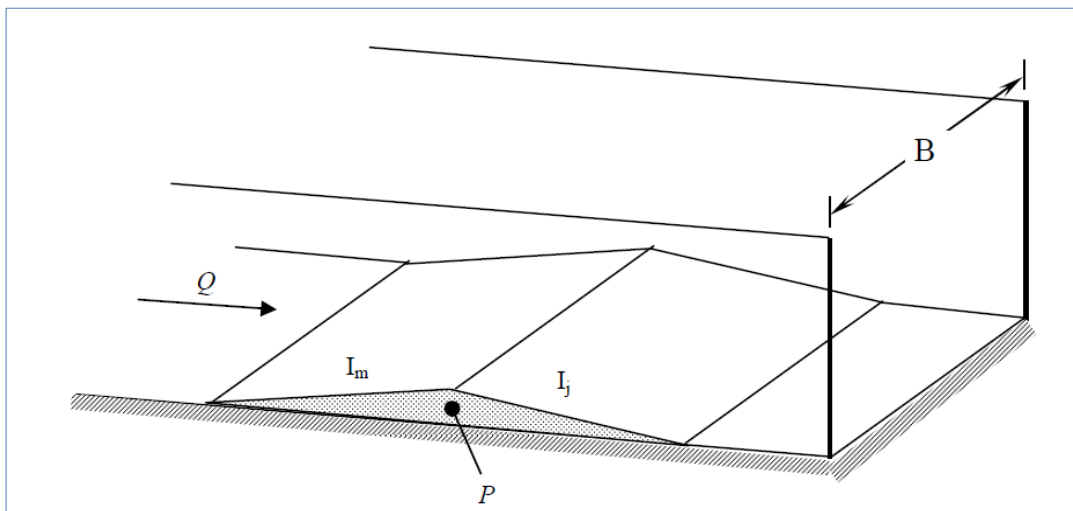


Figure II.06: Représentation schématique du déversoir en mince paroi à profil en long triangulaire

Le débit est donné après étalonnage de l'appareil par la mesure de la profondeur de la lame déversant.

Si B est la largeur du canal d'amenée sur une longueur d'au moins 10B, les caractéristiques suivantes doivent être respectées :

- Le canal d'amenée doit être rectiligne.
- La section transversale du canal d'amenée doit être rectangulaire est constante.
- La pente du canal d'amenée doit être inférieure à 2%.

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

- Les parois du canal d'amenée doit être lisses.
- L'arête de terminée par l'intersection des parements amont et aval de pente respective I_m et I_j doit être horizontale avec cependant une tolérance de 0,2%.

2.2.1 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire type Bazin

Les caractéristiques de l'appareil, basé sur une contraction verticale telle que représentée par la figure II.06 sont :

- Hauteur de pelle $P=50\text{cm}$ en admettant une tolérance de 2cm.
- Le bon fonctionnement de l'appareil est conditionné par les quatres combinaisons suivantes des pentes des parements amont et aval I_m et I_j :

I_m	1/1	1/1	1/1	1/2
I_j	1/1	1/2	1/3	1/2

Tableau II.3 : Coefficient Valeurs des pentes amont et aval du déversoir à seuil épais à profile en long triangulaire -type Bazin-

Le débit passant par l'appareil se calcul par la relation suivante:

$$Q = \mu B \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (\text{II.6})$$

Rappelons que μ est le coefficient de débit et que B est la largeur du canal dans lequel est inséré le dispositif de mesure. La profondeur h correspond à l'épaisseur de la lame d'eau et doit être mesurée à deux fois et demi la profondeur h_{max} , à l'amont . Afin de simplifier les calculs, la formule du débit peut également s'écrire :

$$Q = KBh^{3/2} \quad (\text{II.7})$$

Où $K = \mu \sqrt{2g}$

Dans la relation (II.7), la profondeur h ainsi que la largeur B sont mesurées en centimètres et le débit Q est exprimé en litres par seconde.

Les valeurs de K sont consignées dans le tableau 4, en fonction de h est des pentes I_m et I_j des parements amont et aval du seuil.

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Tableau II.04 : Valeur du paramètre K de la relation (II.7) en fonction de h, Im et Ij

(cm)	$I_m=1/1$ $I_j=1/1$	$I_m=1/1$ $I_j=1/2$	$I_m=1/1$ $I_j=1/3$	$I_m=1/2$ $I_j=1/2$
6	0,0211	0,0211	0,0211	0,0211
9	0,0235	0,0210	0,0192	0,0213
12	0,0232	0,0208	0,0194	0,0211
15	0,0228	0,0208	0,0192	0,0212
18	0,0227	0,0209	0,0191	0,0212
21	0,0227	0,0211	0,0190	0,0211
24	0,0227	0,0212	0,0191	0,0213
27	0,0226	0,0213	0,0192	0,0213
30	0,0225	0,0213	0,0192	0,0213
36	0,0202	0,0213	0,0192	0,0213
45	0,0207	0,0212	0,0191	0,0213

2.2.2 Déversoir à seuil épais à profil en long triangulaire type Crump

Les seuils triangulaires, également appelés seuils Crump du nom de celui qui les a décrit le premier (Crump,1952), créent une contraction. La forme de ce déversoir est également caractérisée par un profil en long triangulaire mais les pentes amont et aval du seuil ont des valeurs différentes de celles du seuil à profil triangulaire de type Bazin que nous avons décrit précédemment, la figure II.06 représente schématiquement ce déversoir.

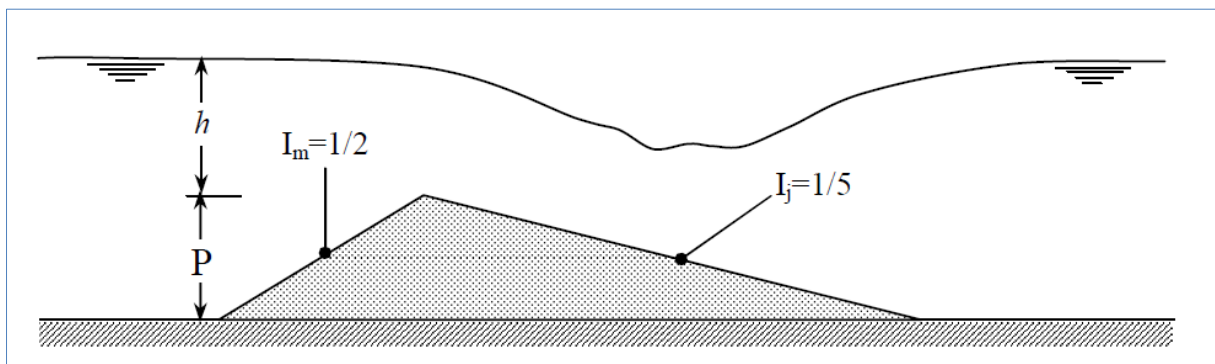


Figure II.07 : Déversoir à seuil épais à profil triangulaire de type Crump

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Le dispositif de mesure ainsi décrit possède de des limites d'utilisation comme tous ses homologues.

Celles-ci sont :

- Charge relative maximale : $h/P < 3$.
- Charge minimale : $h > 8\text{cm}$.

La formule du débit issue de l'étalonnage de l'appareil est :

$$Q = C_e C_v \sqrt{g} B h^{3/2} \quad (\text{II.8})$$

- C_e est un coefficient sans dimension et dont la valeur est 0,626.
- C_v désigne le coefficient de vitesse, fonction de la largeur B , de la hauteur du plan d'eau h et de la hauteur de pelle P .
- La hauteur du plan d'eau h est mesurée entre 3 et 4 fois la hauteur maximale du plan d'eau à l'amont de la crête du déversoir.

2.3. Déversoir trapézoïdal à seuil épais

Si l'échancrure du déversoir a la forme d'un trapèze isocèle évasé vers le haut, le débit s'écoulant au travers de cette section trapézoïdale peut être déterminé par une formule ne dépendant pas du coefficient de débit. Cependant, le type de déversoir le plus couramment utilisé (avec une forme trapézoïdale) est celui de Cipolletti (cf. 7.2.4.3 Cas particulier : $\text{tg } \alpha = 1/4$, déversoir de Cipolletti).

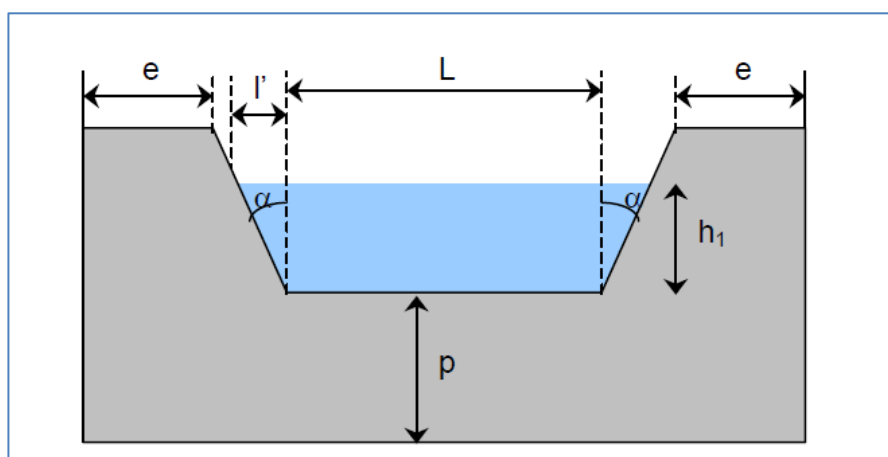


Figure II.08 : coupe transversale d'un déversoir trapézoïdal

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Cas général : formule de GOURLEY et GRIMP

Pour une valeur quelconque de l'angle α d'inclinaison des joues du déversoir sur la verticale :

Formule générale de débit :

$$Q = 1,32 h_1^{2,47} \tan \alpha + 1,69 L^{1,02} h_1^{1,47} \quad (\text{II.09})$$

avec :

- L : la largeur de la petite base du trapèze
- α : l'angle entre la verticale et le côté du trapèze

Cette formulation ne fait pas intervenir de coefficient d'écoulement.

Cas particulier : $\text{tg } \alpha = 1/4$, déversoir de Cipolletti, 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).

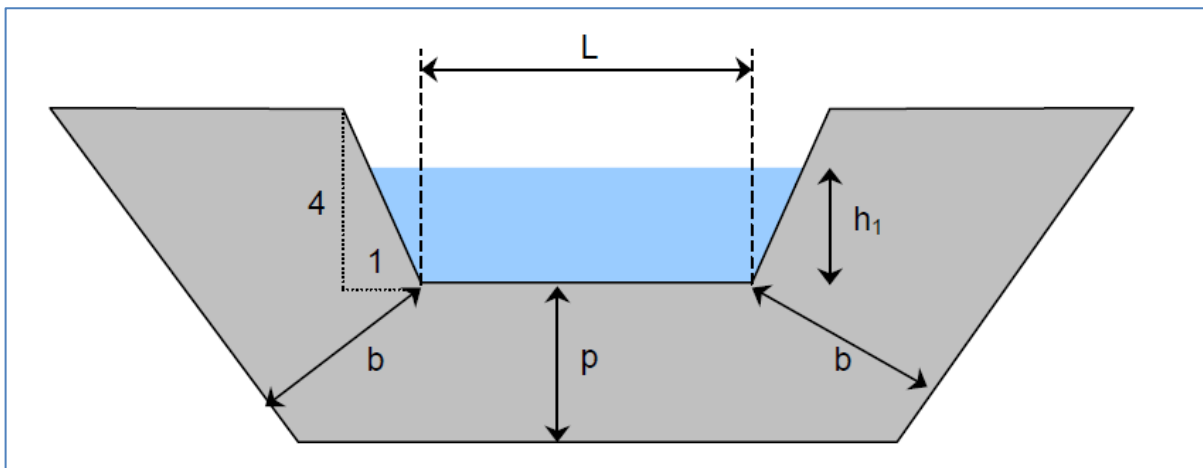


Figure II.09 : coupe transversale d'un déversoir de Cipolletti

Pour ce cas particulier, où $\text{tg } \alpha = 1/4$, 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 :

$$Q = \mu C_v L (h_1)^{3/2} \sqrt{2g} \quad (\text{II.10})$$

avec : μ constant voisin de 0,42 d'où, sous forme simplifiée,

$$Q = 1,86 C_v L (h_1)^{\frac{3}{2}} \quad (\text{II.11})$$

Limites d'application :

$$\begin{array}{ll} 0,06 \text{ m} < h_1 < 0,60 \text{ m} & b / 2h_1 \\ h_1 < L/2 & b / 0.30 \text{ m} \\ Z_2 < Z_{\text{seuil}} - 0.05 \text{ m} & p / 2h_1 \\ & p / 0.30 \text{ m} \end{array}$$

2.4 Déversoir circulaire à seuil épais

Ce type de déversoir, assez similaire à un écoulement de type orifice du point de vue géométrique, n'en est pas moins totalement différent du point de vue hydraulique. En effet, ce type de déversoir comporte une section d'écoulement à surface libre et présente les avantages suivants :

- simplicité et facilité d'exécution et de mise en place (il n'y a ni à placer le seuil parfaitement horizontalement comme c'est le cas pour un déversoir rectangulaire, ni à placer la bissectrice parfaitement verticalement comme c'est la cas pour un déversoir triangulaire),
- facilité de ventilation de la nappe,
- une plus grande précision que le déversoir rectangulaire pour la mesure des petits débits.

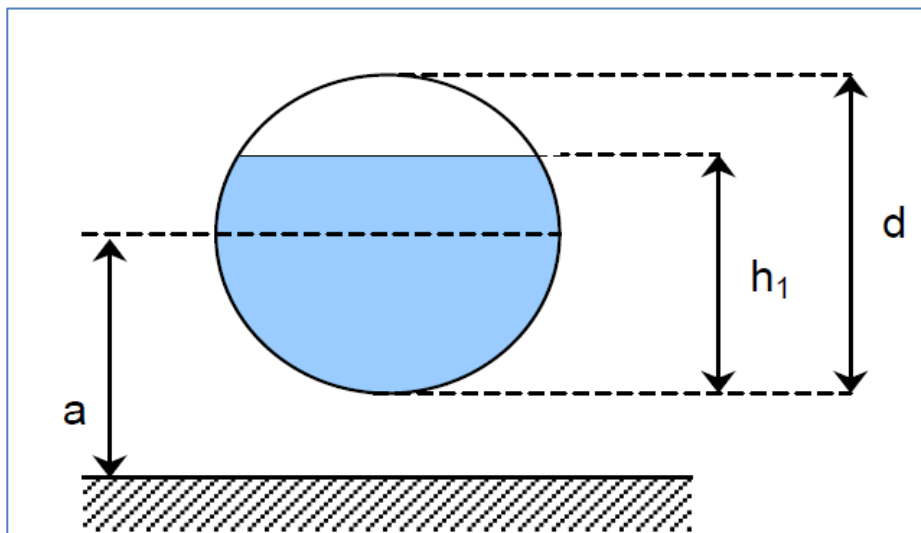


Figure II.10 : coupe transversale d'un déversoir circulaire

Cas général : formule d'après les résultats de STAUS et VON SANDEN (1926)

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Formule générale de débit

$$Q = \mu K d^{5/2} \quad (\text{II.12})$$

avec :

d: diamètre d'ouverture (m)

K: fonction du degré de remplissage h_1/d ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$)

Le coefficient K est une fonction complexe de h_1/d dont la valeur résulte de considérations théoriques : ce coefficient correspond au débit d'un déversoir de diamètre unitaire et sans contraction.

Il peut être déterminé par des tables numériques ou la formule de Ramponi.

a) Expression du coefficient K d'après la formule approximative de Ramponi

expression du coefficient de débit d'après Ramponi pour un déversoir circulaire

$$K = 3,203 \left(\frac{h_1}{d}\right)^{1,975} - 0,842 \left(\frac{h_1}{d}\right)^{3,78} \quad (\text{II.13})$$

Nous n'avons pas d'estimation de l'erreur commise par cette approximation.

b) Valeurs du coefficient K d'après J.C Stevens (1957)

h_1/d	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
K	0.00047	0.00154	0.00319	0.00543	0.00839	0.0120	0.0164	0.0215	0.0273	0.0338
h_1/d	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20
K	0.0409	0.0487	0.0571	0.0661	0.0758	0.0860	0.0967	0.1080	0.1198	0.1322
h_1/d	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30
K	0.1452	0.1588	0.1729	0.1877	0.2030	0.2190	0.2355	0.2527	0.2704	0.2886
h_1/d	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40
K	0.3072	0.3264	0.3460	0.3660	0.3866	0.4076	0.4291	0.4511	0.4735	0.4965
h_1/d	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50
K	0.5199	0.5437	0.5681	0.5929	0.6182	0.6439	0.6700	0.6965	0.7233	0.7506
h_1/d	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60
K	0.7782	0.8062	0.8344	0.8630	0.8920	0.9212	0.9509	0.9809	1.0111	1.0416
h_1/d	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70
K	1.0724	1.1035	1.1349	1.1666	1.1986	1.2308	1.2632	1.2957	1.3284	1.3612
h_1/d	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80
ωK	1.3943	1.4275	1.4609	1.4946	1.5284	1.5623	1.5963	1.6303	1.6644	1.6986
h_1/d	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90
K	1.7328	1.7671	1.8013	1.8356	1.8699	1.9041	1.9384	1.9725	2.0066	2.0407
h_1/d	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
K	2.0743	2.1077	2.1409	2.1738	2.2063	2.2384	2.2702	2.3015	2.3322	-

Tableau II.05 : Valeur du coefficient K pour un déversoir circulaire d'après J.C. Stevens.
D'après : « Discharge measurement structures » de Delft Hydraulics Laboratory
Expression du coefficient de débit d'après STAUS (1930)

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

expression du coefficient de débit d'après A. Staus pour un déversoir circulaire

$$\mu = \left(0,555 + \frac{d}{110h_1} + 0,041 \frac{h_1}{d} \right) \left(\frac{2d}{B} \right)^{0.0625} \quad (\text{II.14})$$

Valeurs du coefficient de débit μ en fonction de h_1/d :

h_1/d	μ	h_1/d	μ	h_1/d	μ
1.00	0.606	0.65	0.595	0.30	0.600
0.95	0.604	0.60	0.594	0.25	0.604
0.90	0.602	0.55	0.593	0.20	0.610
0.85	0.600	0.50	0.593	0.15	0.623
0.80	0.599	0.45	0.594	0.10	0.650
0.75	0.597	0.40	0.595	0.05	0.75
0.70	0.596	0.35	0.597	0	-

Tableau II.06 : Valeur du coefficient de débit pour un déversoir circulaire.
D'après : « Discharge measurement structures » de Delft Hydraulics Laboratory

2.5 Déversoir demi circulaire à seuil épais

Schéma de définition des paramètres géométriques en déversoir épais demi circulaire

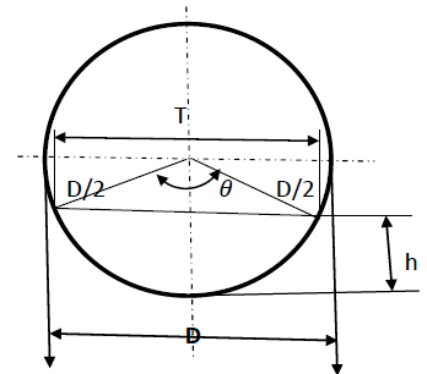
Avec

T : La largeur au miroir ou l'ouverture de l'eau

D ; Diamètre de déversoir

h : hauteur d'eau dans le déversoir

- La relation entre la hauteur d'eau et l'angle au centre s'écrit:
- L'aire de la section mouillée, telle que:
- La largeur au miroir T tel que:
- Le rayon hydraulique



2.6. Jaugeurs a ressaut

Cette dénomination regroupe de nombreux dispositifs, disponibles sous forme d'ouvrages préfabriqués livrés avec leurs courbes d'étalonnage, intégrant section contractée, chenal d'approche et puits de mesure de la hauteur d'eau.

2.6.1 Définition

Ce sont des appareils présentés sous forme d'un canal plus ou moins long et qui présentent une diminution locale de la section. Cette diminution de la section est considérée comme une singularité et selon le type de jaugeur celle-ci peut être longue ou extrêmement réduite et peut être caractérisée par une variation géométrique graduelle ou brusque. La forme de la section transversale de la singularité peut être arbitrairement choisie, mais il est recommandé qu'elle soit simple afin d'éviter les difficultés dans son exécution. Le fond du canal jaugeur peut être horizontal ou présentant des discontinuités. Pour illustrer cette définition, nous avons représenté sur la figure II.11 quelques types de géométrie de jaugeurs en canal rectangulaire.

Sur la figure II.11.a, le canal jaugeur est caractérisé par un fond plat horizontal et sa section subit une variation graduelle qui se traduit par une contraction latérale jusqu'à une section minimale. Sur la figure II.09.b, le canal jaugeur est caractérisé par une surélévation du fond qui se traduit par un seuil déversant dans la section minimale contractée. En fin, sur la figure II.11 .c le fond du canal jaugeur est caractérisé par trois tronçons qui forment une ligne brisée. Les tronçons situés à l'amont et à l'aval sont horizontaux, tandis que le tronçon intermédiaire est légèrement incliné.

La section contractée est localisée à la limite des deux premiers tronçons. La géométrie présentée par la figure II.10.a présente des avantages certains par rapport aux autres, car elle occasionne un minimum de perte de charge et permet l'évacuation aisée des sédiments qui pourraient s'accumuler en présence d'un seuil tel que celui représenté par la figure II.11.b.

Ces types de jaugeurs sont dits à ressaut car ils provoquent dans leurs parties un ressaut hydraulique par transformation de l'écoulement torrentiel, à l'aval immédiat de la section contractée, en un écoulement fluvial dans la partie aval évasée du canal.

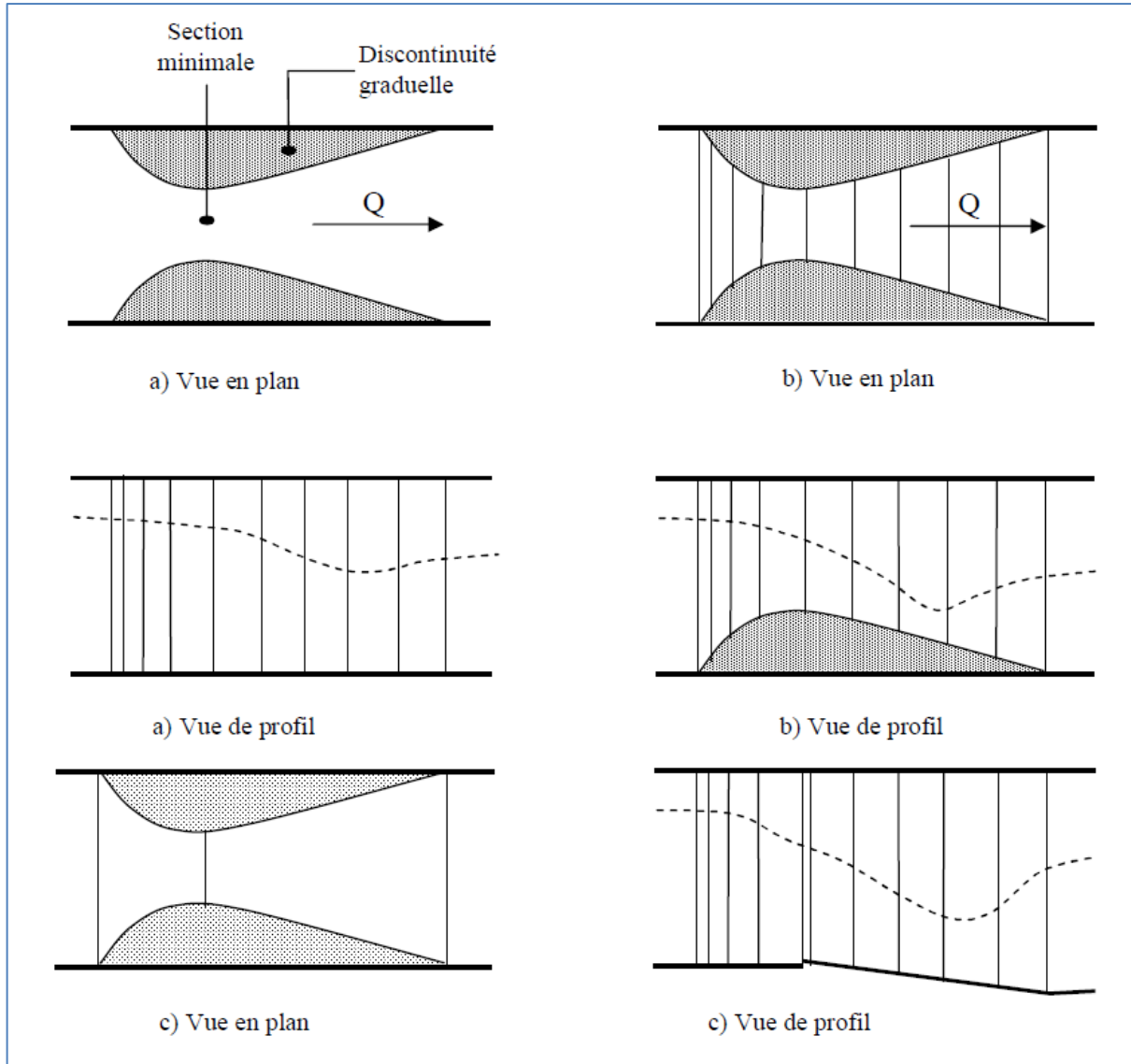


Figure II.11 :Géométrie typiques des jaugeurs (Hager, 1986).

a) Fond horizontal du canal jaugeur, b) Fond à seuil, c)Fond en pente

2.6.2 Caractéristiques et expression du débit

Les jaugeurs présentant des rétrécissements et des élargissements de la section sont largement utilisés en pratique. Lorsque la géométrie de ces rétrécissements et élargissements n'est pas profilée mais plane, des zones de séparation de l'écoulement ou des zones d'eau morte apparaissent aux abords des discontinuités. Cet aspect est schématiquement décrit sur la figure II.12.

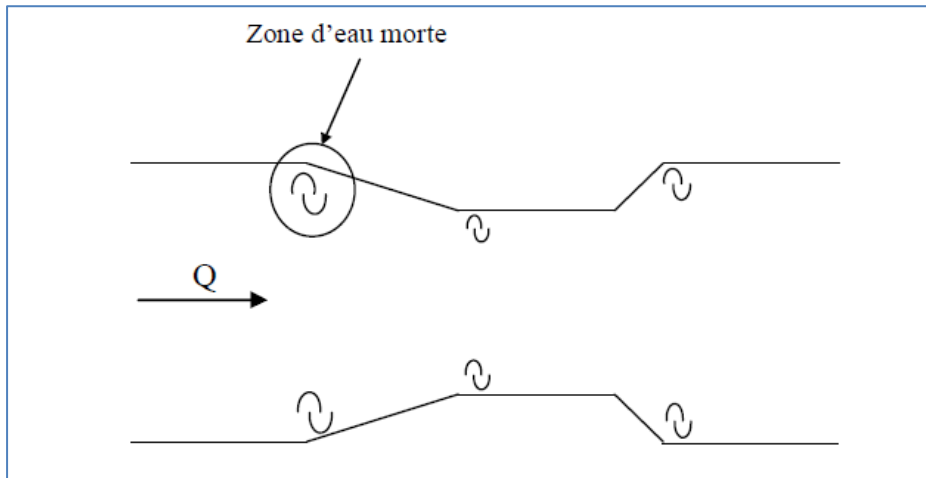


Figure II.12 : Vue en plan d'un canal jaugeur de section rectangulaire avec apparition des zones d'eau morte

L'appareil dit jaugeur Parshall est un dispositif dont la géométrie s'appuie sur le principe schématiquement décrit sur la figure II.12. Il est doté d'une section convergente qui se termine par une section rétrécie appelée col, suivie d'une marche négative. Celle-ci se prolonge par un tronçon court ascendant constituant le fond d'une section légèrement divergente. Le schéma simplifié du jaugeur de type Parshall est décrit sur la figure II.12.

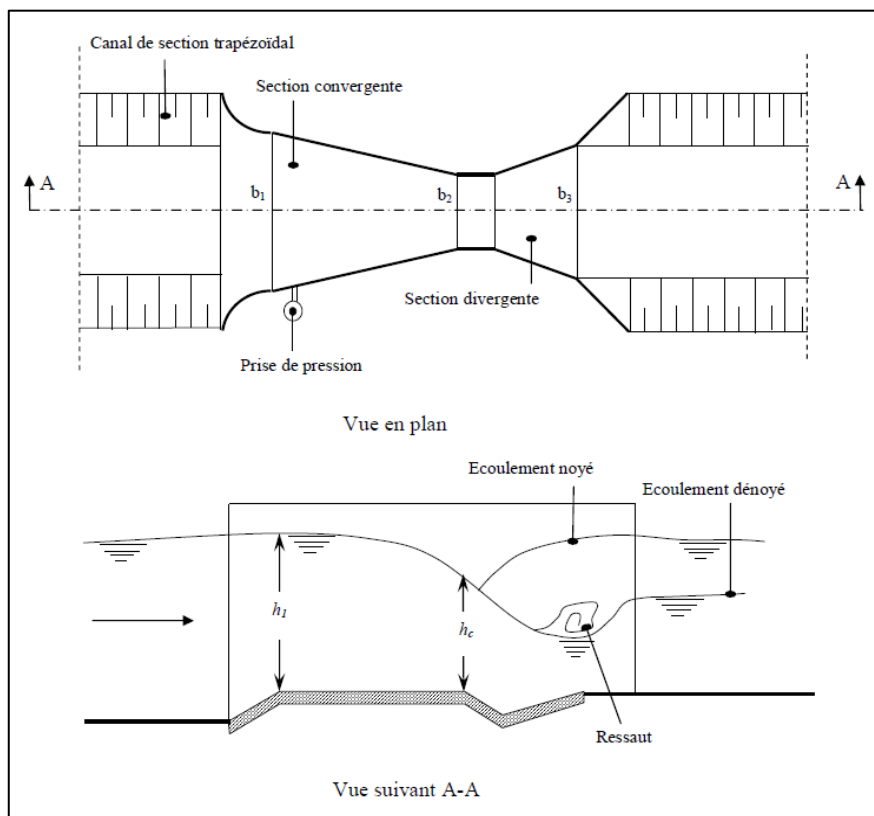


Figure II.13 : Jaugeur de Parshall—Représentation schématique en plan et de profil-

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Le jaugeur Parshall est étalonné sous une hauteur piézométrique h mesurée à quelques centimètres de l'entrée de la section convergente. La section rétrécie ou divergente a pour effet l'apparition d'un écoulement torrentiel s'écoulant par-dessus la marche. Un écoulement de profondeur critique h_c apparaît au droit du col. La section divergente située à l'aval du dispositif permet de transformer l'écoulement torrentiel en un écoulement fluvial par l'intermédiaire d'un ressaut hydraulique. Dans la section initiale de largeur b_1 (figure II.13), la charge totale est, en considérant le coefficient de Coriolis égal à l'unité :

$$H_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (\text{II.15})$$

En règle générale, le terme $(V_1^2/2g)$ qui représente la hauteur capable de la vitesse d'approche de l'écoulement est négligé en raison du caractère fluvial de l'écoulement dans la section d'entrée de l'appareil de largeur b_1 , ce qui permet d'écrire que $H_1 = h_1$.

En outre, la charge critique au droit du col est, pour une section rectangulaire, $H_c = (3/2) h_c$.

Le dispositif de mesure est conçu tel que la longueur de la section divergente séparant b_1 et b_2 est suffisamment courte. Cette particularité nous permet d'écrire que la perte de charge occasionnée sur la distance séparant b_1 et b_2 est négligée. En d'autres termes, $H_1 = h_1 = H_c = (3/2)h_c$, soit :

$$h_c = \frac{2}{3} h_1 \quad (\text{II.16})$$

Au droit du col de largeur b_2 est de profondeur h_c , la condition de criticité permet d'écrire:

$$Q = \sqrt{g} b_2 h_c^{3/2} \quad (\text{II.17})$$

En tenant compte de la relation (II.16), la relation (II.17) devient:

$$Q = 1,704 b_2 h_1^{3/2} \quad (\text{II.18})$$

Tenant compte des approximations effectuées lors de l'établissement de la relation (II.18) celle-ci est affectée d'un coefficient de correction C légèrement inférieur à l'unité et l'on peut alors écrire :

$$Q = 1,704 C b_2 h_1^{3/2} \quad (\text{II.19})$$

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Formule pratique de débit

La formule proposée par Parshall pour évaluer le débit transitant par le dispositif et dont les termes ont été exprimée en unités métriques, est :

$$Q = 372b_2 h_1^{x} \quad (II.20)$$

Dans la relation (II.20):

- Q est en litre par seconde.
- b_2 est exprimé en mètre et généralement compris entre $b_1/3$ et $b_1/2$.
- h_1 est mesuré en mètre à $2/3$ de la distance séparant l'entrée de la section convergente et celle du col.
- L'exposant x est fonction de la largeur du col b_2 et dont les valeurs sont consignées dans le tableau II.07.

$b_2(\text{m})$	0,20	0,60	0,80	1,00	2,00	2,60
X	1,506	1,548	1,560	1,569	1,598	1,609

Tableau II.07 : Valeurs de l'exposant x de la relation(II.16)en fonction de la largeur b_2

2.6.3 Canal jaugeur Venturi à fond plat– caractéristiques géométriques et expression du débit

Les canaux Venturi comportent tous une contraction latérale précédée d'un convergent et suivi d'un divergent. Leur section est souvent rectangulaire. Mais des sections trapézoïdales ou en forme de U sont également possibles. Ils sont caractérisés par une hauteur aval maximum de l'ordre de 80% de la hauteur amont. Cette condition est d'autant plus facile à obtenir, en particulier pour les faibles débits, que le radier de la section contractée est sur élevé.

La figure II.14 montre une représentation schématique en plan de ce dispositif ainsi que ses principales caractéristiques.

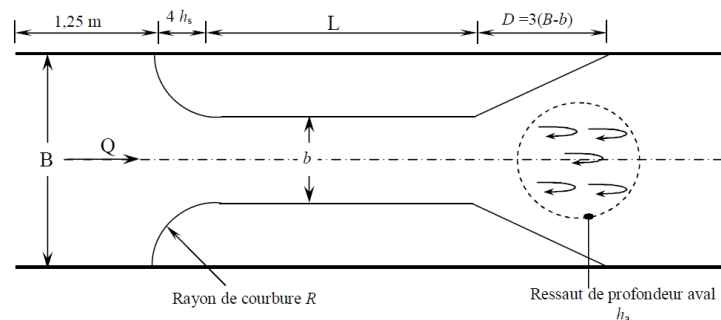


Figure II.14 : Canal jaugeur venturi à fond plat - Caractéristiques géométriques-

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Comme le montre la figure II.14, Le canal jaugeur Venturi à fond plat est constitué:

- D'un canal de section rectangulaire à radier horizontal de largeur B qui s'étend sur une longueur égale au minimum à $(1,25 m + 4 h_s)$, où h_s est la hauteur du plan d'eau maximum.
- D'un tronçon de canal rectiligne de section rectangulaire de largeur b comprise entre 10 cm et $0,70B$ et qui s'étend sur une longueur $L1,5 h_s$. L'axe longitudinal de ce tronçon doit se confondre avec celui du canal. On pourra tolérer cependant un écart de 2 cm
- D'un divergent d'une longueur $D = 3 (B-b)$ qui pourra dans le cas échéant être réduite de moitié, c'est à dire $D = 1,5 (B-b)$.

Les parois du canal jaugeur Venturi doivent être lisses et verticales avec une tolérance de 0,2%. Toutes les dimensions du dispositif doivent être respectées avec une tolérance ne dépassant pas 2 mm.

La formule développée du débit transitant par le canal Venturi à fond plat est la suivante:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_e C_v b h^{3/2} \quad (\text{II.21})$$

Dans la relation (II.21):

- Le coefficient C_e dépend des pertes dues aux frottements et à la turbulence et il est fonction de h, b et L.

Il dépend en fait des rapports L/b et h/L .

Bien que C_v ait été déterminé pour les valeurs L/b comprises entre 0,20 et 5, la valeur

$L/b = 2$ adoptée par certains fabricants semble être la plus utile.

- Le coefficient C_v dépend de la vitesse de l'écoulement dans le canal amont.

Pour tous les débits à mesurer au moyen du canal jaugeur Venturi à fond plat, les conditions suivantes doivent être respectées :

- Si b/B est supérieur à 0,35, la hauteur h du plan d'eau amont doit être supérieure ou à la limite égale à 1,2, où h_a est la hauteur aval du ressaut figure 1.15.
- Si b/B est inférieur à 0,35, h doit être supérieur ou égale à 1,30 h_a .

2.6.4 Jaugeur en canal triangulaire de type Achour

Présentation du dispositif

Les Figures II.15 et II.16 montrent de manière schématique le dispositif ainsi que ces caractéristiques géométriques. L'appareil est composé des surfaces gauches OABCO et OA'B'CO constituant la partie convergente du dispositif figure II.15.

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Ces surfaces sont conçues de telle manière que toute section transversale soit représentée par un triangle isocèle. Le tronçon B'A'AB constitue donc un canal de section triangulaire à angle d'ouverture variable. La partie A'D'DA succédant aux parois gauches est un canal triangulaire à angle d'ouverture constant servant de transition à l'écoulement et dans lequel ce dernier devient critique. Tout l'ensemble ainsi décrit présente un fond unique de pente nulle et un seul axe longitudinal.

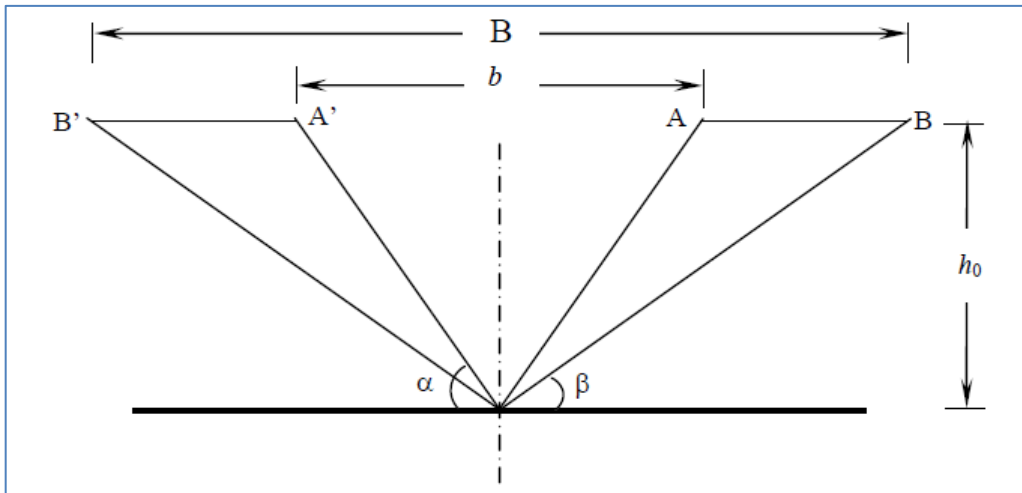


Figure II.15 : Jaugeur triangulaire de type Achour –Vue de face de l'appareil- Suivant

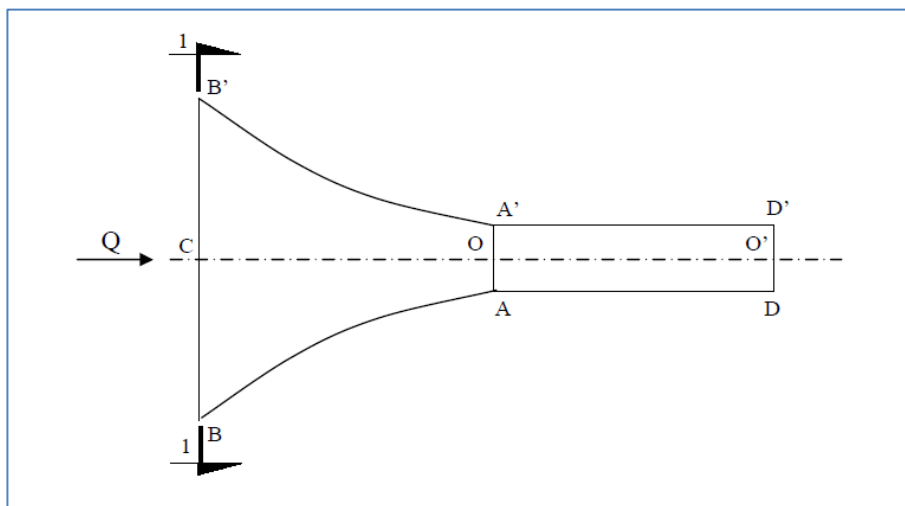


Figure II.16 : Jaugeur triangulaire de type Achour –Vue en plan de l'appareil-

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

Etude théorique de l'appareil et expression du débit

L'étude théorique porte sur le tronçon B'A'AB de l'appareil (II.21) où l'angle d'ouverture de la section triangulaire varie depuis $(\pi-2\beta)$ jusqu'à constituant l'angle d'ouverture de la section rétrécie de l'appareil (figure II.15). En désignant par :

• h_0 hauteur géométrique de l'appareil qui correspond également à la hauteur géométrique du canal dans lequel est inséré le dispositif,

- B la largeur de la section triangulaire d'angle d'ouverture $(\pi-2\beta)$,
- b la largeur de la section triangulaire d'angle d'ouverture $(\pi-2)$,
- m_1 le talus de la section d'entrée BB' de l'appareil défini par la $\cotg \beta$,
- m_2 le talus de la section rétrécie AA' de l'appareil défini par la $\cotg \alpha$.

Nous pouvons alors établir géométriquement les relations suivantes:

$$m_1 = \cotg \beta = \frac{B/2}{h_0} \quad (\text{II.22})$$

$$m_2 = \cotg \alpha = \frac{b/2}{h_0} \quad (\text{II.23})$$

Le rapport de relations (II.22) et (II.23) conduit à écrire que:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{B}{b} \quad (\text{II.24})$$

La variation progressive de l'angle d'ouverture de la section divergente de l'appareil (figure II.14) permet d'obtenir une infinité de profondeurs critiques. On peut alors exprimer ces profondeurs, pour les sections triangulaires BB' et AA' respectivement par les relations :

$$h_{c1} = \left[\frac{2Q^2}{gm_1^2} \right]^{1/5} \quad (\text{II.25})$$

$$h_{c2} = \left[\frac{2Q^2}{gm_2^2} \right]^{1/5} \quad (\text{II.26})$$

Dans lesquels Q est le débit passant par l'appareil et g est l'accélération de la pesanteur. Les relations (II.25) et (II.26) découlent de la condition de criticité bien connue :

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

$Q^2e / (gA^3) = 1$, où e est la largeur du plan d'eau tel que $e = 2mhc$ et A est l'aire de la section mouillée critique telle que $A = mhc^2$. La combinaison des relations (II.25) et (II.26) permet d'écrire :

$$h_{c1} = h_{c2} \left(\frac{b}{B} \right)^{2/5} \quad (\text{II.27})$$

Si le régime initial de l'écoulement avant la mise en place de l'appareil est torrentiel, il se transformera en fluvial à l'amont de l'appareil, après la mise en place de ce dernier. Cette transformation se fera moyennant un ressaut. Par conséquent, l'écoulement se produisant dans la section d'entrée BB' est en régime fluvial. En désignant par h_1 la profondeur de l'écoulement dans la section BB', nous pouvons écrire que $h_1 > h_{c1}$.

Par contre, si le régime primitif de l'écoulement est fluvial, il gardera son caractère après la mise en place de l'appareil. Par conséquent, l'écoulement se produisant dans la section d'entrée BB' est en régime fluvial et nous pouvons écrire que $h_1 > h_{c1}$.

Dans les deux cas ci-dessus indiqués, la profondeur h_1 diminue au fur et à mesure que l'on passe de la section d'entrée BB' de l'appareil à sa section rétrécie AA', nous pouvons écrire que $h_2 = h_{c2}$. La profondeur critique h_{c2} est définie par la relation (II.26). La section rétrécie AA' de l'appareil est alors une section de contrôle. En désignant respectivement par H_1 et H_2 la charge totale dans la section BB' et AA' et en négligeant la perte de charge se produisant entre les deux sections, nous pouvons écrire $H_1 = H_2$.

La section rétrécie AA' de l'appareil étant critique ($h_2 = h_{c2}$) et de forme triangulaire, la charge totale H_2 s'exprime par la relation $H_2 = (5/4) h_{c2} = H_1$, soit :

$$h_{c2} = \frac{4}{5} H_1 \quad (\text{II.28})$$

En substituant (II.28) dans (II.27), nous pouvons écrire:

$$h_{c1} = \frac{4}{5} H_1 \left(\frac{b}{B} \right)^{2/5} \quad (\text{II.29})$$

En rapportant la charge totale H_1 à la profondeur critique h_{c1} , la relation (II.29) devient:

$$\frac{H_1}{h_{c1}} = H_{1X} = \frac{5}{4} \left(\frac{B}{b} \right)^{2/5} \quad (\text{II.30})$$

Ainsi, le paramètre sans dimension H_{1X} ne dépend que des caractéristiques géométriques B et b de l'appareil étudié.

En considérant le facteur de correction de l'énergie cinétique égal à l'unité, la charge totale H_1 s'exprime, pour la section triangulaire BB', par la relation:

$$H_1 = h_1 + \frac{Q^2}{2g(m_1 h_1^2)^2}$$

soit:
$$\frac{H_1}{h_{c1}} = \frac{h_1}{h_{c1}} + \frac{Q^2}{2gh_{c1}(m_1 h_1^2)^2}$$

En tenant compte de la relation (II.21), la relation ci-dessus devient:

$$\frac{H_1}{h_{c1}} = \frac{h_1}{h_{c1}} + \frac{h_{c1}^4}{4h_1^4} = \frac{h_1}{h_{c1}} + \frac{1}{4(h_1/h_{c1})^4}$$

Or, par définition, $H_1/h_{c1}=H_{1X}$ et $h_1/h_{c1}=h_{1X}$. Ainsi le paramètre H_{1X} s'exprime par la relation:

$$H_{1X} = h_{1X} + \frac{1}{4h_{1X}^4} \quad (\text{II.27})$$

Nous pouvons déduire de (II.26) et (II.26) que:

$$\frac{5}{4} \left[\frac{B}{b} \right]^{2/5} = h_{1X} + \frac{1}{4h_{1X}^4} \quad (\text{II.28})$$

Etant donné que les paramètres géométriques B et b sont connus, la relation (II.28) permet d'évaluer h_{1X} pour n'importe quel canal de type étudié.

La forme de l'appareil est telle que $B/b > 1$, par conséquent la relation (II.28) nous montre que:

$$h_{1X} + \frac{1}{4h_{1X}^4} > 5/4$$

Nous pouvons ainsi en déduire que le paramètre sans dimension h_{1X} est différent de l'unité ($h_{1X} \neq 1$). Cependant, compte tenu du fait que le régime d'écoulement dans la section BB' d'entrée de l'appareil est fluvial ($h_1 > h_{1X}$), le paramètre h_{1X} est strictement supérieur à l'unité ($h_{1X} > 1$).

Les relations (II.20) et (II.21) permettent d'écrire:

$$Q^2 = \frac{g}{2} m_2^2 \left[\frac{B}{b} \right]^2 h_{c1}^5 \quad (\text{II.29})$$

Puisque $hc_1 = h_1/h_{1X}$, la relation (II.29) devient:

$$Q = \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{m_2}{(b/B)h_{1X}^{5/2}} h_1^{5/2} \quad (\text{II.30})$$

C'est l'expression du débit qui prend la forme définitive suivante:

$$Q = a \sqrt{\frac{g}{2}} m_2 h_1^{5/2} \quad (\text{II.31})$$

avec

$$a = \frac{1}{(b/B)h_{1X}^{5/2}}$$

Le paramètre a n'est fonction que du rapport b/B , donc des caractéristiques géométriques de l'appareil. Le débit est alors déterminé par une simple lecture limnométrique de la profondeur h_1 de l'écoulement à l'entrée de l'appareil, correspondant à la section BB' de la figure (II.16) et moyennant les caractéristiques de ce dernier. Ceci est d'ailleurs conforme aux appareils semi-modulaires.

3. Aération des déversoirs

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.

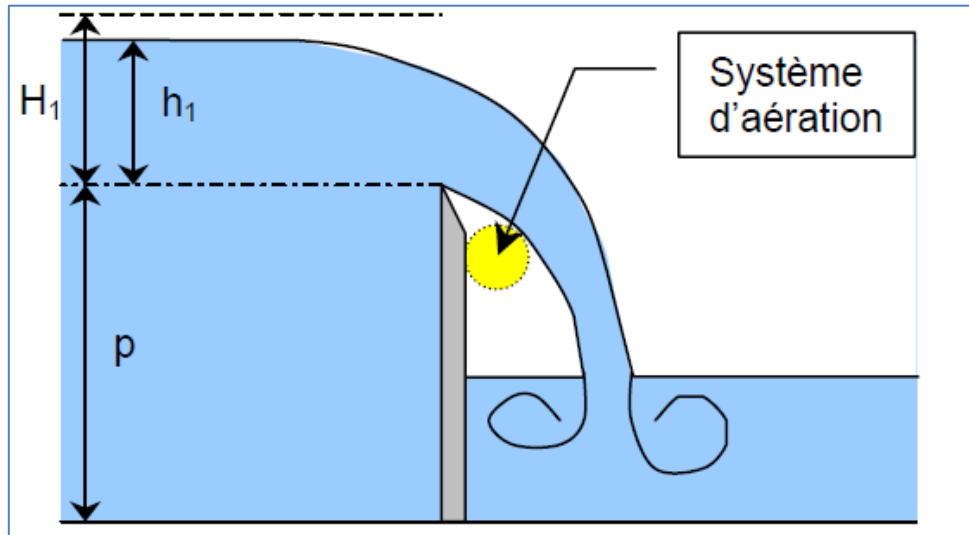


Figure II.17 : mise en place d'un système d'aération

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.

Ainsi, 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.

Attention ! 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 malaérée, les pertes d'énergie provoquées engendrent une erreur supplémentaire sur le débit. Les formules de cette notice ne sont valides que dans le cas d'une nappe libre.

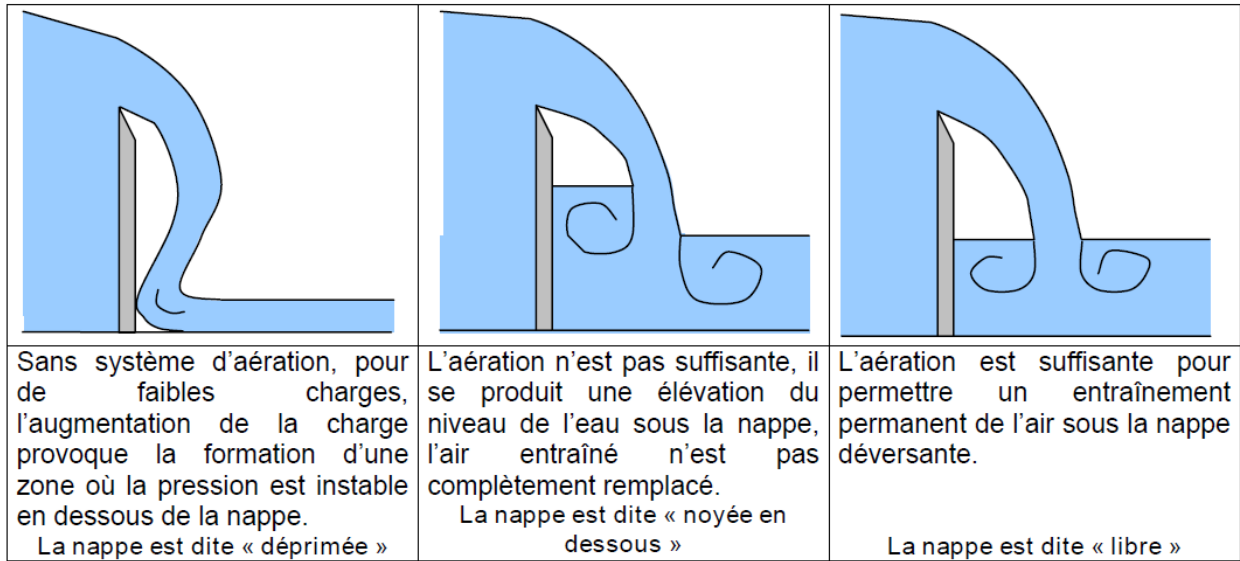


Figure II.18 : système d'aération et notations pour les conditions d'aération

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 la présente notice fournit un extrait non-exhaustif dans la mesure notamment où ce n'est pas son objet principal.

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 re-oxygéner l'eau pour parfaire à l'équilibre naturel, c'est à dire à la vie des espèces aquatiques.

Le calcul du débit d'aération (*extrait de «Hydraulique générale» d'Armando LENCASTRE*)

peut être obtenu en utilisant la formule de HOWE (1955) :

avec h_p la hauteur sous la nappe définie par la formule ci-dessous et q le débit par unité de largeur transitant par l'ouvrage

$$q_{air} = 0,1 q \left(\frac{h_1}{h_p} \right)^{3/2}$$

Formule 1: expression du débit d'air par unité de largeur d'après Howe pour aérer un déversoir

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 :

CHAPITRE II : Déversoir à seuil épais

$$h_p = \Delta Z \left(\frac{q^2}{g\Delta Z^3} \right)^{0,22}$$

Formule 2: expression de la hauteur sous la nappe h_p pour un écoulement dénoyé avec un ressaut aval libre

$$h_p \approx \Delta Z - h_2$$

Si le ressaut noyé, la hauteur h_p est:

Formule 3: expression de la hauteur sous la nappe h_p pour un écoulement dénoyé avec un ressaut en aval noyé

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. Par ailleurs, ce n'est pas l'objet de la présente notice.

Conclusion

les déversoir à seuil épais sont des structures hydraulique utilisées pour mesurer le débit d'écoulement en déversant l'eau sur un seuil épais, ce qui crée une nappe libre d'eau en aval. la hauteur de cette nappe libre est ensuite utilisée pour calculer le débit à l'aide d'une équation spécifique.

les avantages des déversoirs à seuil épais incluent: simplicité de construction et d'exploitation: ils sont relativement faciles à construire et à entretenir, large plage de mesure, bonne précision, insensibilité aux sédiments.

ce pendent, les déversoir à seuil épais présentent également quelque inconvénients: sensibilité à la submergence, perte de charge, présence de vagues.

en général, les déversoir à seuil épais sont des outils utiles pour mesurer le débit d'écoulement dans les canaux ouverts, ils sont simples, robustes et précis.

CHAPITRE III

Hydrométrie

Introduction

Le chapitre présent a pour but de donner un aperçu général sur un moyen primordial pour la mesure des débits dans les canaux et les cours d'eau. Cet moyen est appelé la station hydrométrique, qui définit comme un ensemble d'appareillage mis en place sur un cours d'eau, canal ou un réservoir d'eau permettant d'en évaluer le débit. L'installation de cette station nécessite de respecter des règles très strictes pour satisfaire le bon fonctionnement afin de résulter les valeurs de débit exactes et précises. Ces résultats sont obtenus par l'élaboration d'un graphe univoque du débit en fonction de la profondeur d'écoulement en amont un élément dit un débitmètre soit un déversoir ou un jaugeur selon les conditions de site et le type d'écoulement évoluant.

1. la station hydrométrique

1.1 Installation d'une station hydrométrique

Une station hydrométrique est un appareillage mis en place sur un cours d'eau, canal ou un réservoir d'eau permettant d'en évaluer le débit en continu et d'enregistrer les valeurs obtenues. La station hydrométrique, une section de cours d'eau sur laquelle on installe un dispositif de mesure en continu des débits, permet l'observation d'éléments déterminés telles que la profondeur, le débit et aussi la forme géométrique de la station, en vue de l'étude de phénomènes hydrologiques.

Les niveaux des cours d'eau ou des réservoirs servent directement à la prévision des écoulements, à la délimitation des zones exposées aux inondations, et à la conception d'ouvrages hydrauliques. Par leurs relations avec les débits des cours d'eau ou les volumes d'eau contenus dans les réservoirs et les lacs, les niveaux d'eau constituent l'information de base pour la détermination des débits ou des stocks.

Le niveau d'eau, ou la hauteur d'eau, est la hauteur de la surface de l'eau d'un cours d'eau ou un canal et ou d'un autre corps liquide relativement à un plan de référence. La précision requise pour son observation est en général de un centimètre, et de trois millimètres aux stations limnométriques effectuant des enregistrements continus[7].

Les critères de choix pour l'emplacement de la station doivent répondre à l'objectif final des observations et à l'accessibilité du site, compte tenu des propriétés géométriques et hydrauliques du bief. Les conditions hydrauliques constituent également un facteur important pour le choix du site le long de cours d'eau, particulièrement lorsque les niveaux d'eau sont utilisés pour le calcul des débits. Les stations sur les cours d'eau et les réservoirs sont normalement situées près des exutoires, mais suffisamment en amont pour éviter l'influence du phénomène d'abaissement du niveau dû à l'augmentation de la vitesse.

2. Éléments primaires dans la station hydrométrique :

2.1. Généralité :

L'élément primaire est un dispositif qui a pour fonction de modifier l'écoulement de l'eau de façon à créer des conditions d'écoulement particulières permettant à l'utilisateur d'obtenir un emplacement de mesure adéquat et fiable pour connaître le débit. La mesure du débit est donc effectuée au moyen d'une structure hydraulique qui permet d'établir une relation unique hauteur – débit. Le débit peut être ainsi obtenu à partir de la seule mesure de la hauteur d'eau réalisée au point de mesure de l'élément primaire.

On divise en deux catégories principales les éléments primaires de mesure du débit en écoulement à surface libre, soit les canaux jaugeurs et les déversoirs. Chaque type de canal jaugeur et de déversoir est caractérisé par sa structure, sa forme et sa courbe hauteur – débit. On obtient le débit en se servant de la formule théorique ou de la table de débit appropriée qui est établie selon la forme et la dimension de la structure.

2.2 Critères de conception généraux et particularités d'installation des éléments primaires :

Certains critères généraux doivent être considérés lors du choix et de l'installation d'un type d'élément primaire particulier.

Dans un premier temps, ces structures doivent être suffisamment solides et résistantes à l'érosion pour faire face aux conditions d'écoulement et aux intempéries pouvant survenir à l'emplacement choisi.

En second temps les dimensions de l'élément primaire doivent aussi correspondre à l'intervalle de mesure du débit à mesurer, et l'installation doit être aménagée conformément aux recommandations du fabricant.

En plus le canal d'approche de l'élément primaire, il ne doit pas y avoir de branchement, de courbe, de chute ou de changement rapide du radier. L'écoulement à l'approche du point de mesure doit être bien réparti et relativement exempt de turbulences, de vagues et de tourbillons, alors que la partie située en aval de ce point doit permettre une évacuation libre, sans ressac et sans submersion. Les bords ou les fonds irréguliers dans le canal d'approche sont aussi à éviter puisqu'ils peuvent également contribuer à générer un profil d'écoulement irrégulier qui aura un effet néfaste sur l'exactitude de la mesure.

Il est à noter que, lorsque l'eau est chargée en sédiments ou matières en suspension, il est préférable d'utiliser un canal jaugeur, ce dernier retenant moins les dépôts de matières en suspension qu'un déversoir.

Finalement, l'emplacement choisi pour l'installation de ces structures doit être facile d'accès pour permettre la lecture in situ et la vérification de la courbe hauteur – débit, ainsi que l'inspection et l'entretien. En effet, l'inspection visuelle régulière de ce type d'installation est primordiale.

2.3 Point de mesure et puits de mesurage :

Le point de mesure se situe où l'effet de rehaussement du niveau d'eau se produit, c'est-à-dire dans la partie élevée où la ligne de charge est observée dans l'ensemble de l'installation comprenant l'élément primaire, le canal d'approche et le canal de sortie (Figure III.1). La ligne transversale à l'axe longitudinal de l'élément primaire, associée au point de mesure, constitue l'emplacement théorique de la mesure du débit. Il n'y a pas d'emplacement commun ou standard de ce point à travers les différents types d'éléments primaires. Chaque dispositif possède son propre emplacement de mesure. La conformité de l'emplacement du point de mesure du débit par rapport à l'élément primaire choisi est primordiale, car un emplacement inadéquat de ce point peut entraîner une diminution de l'exactitude de la mesure.

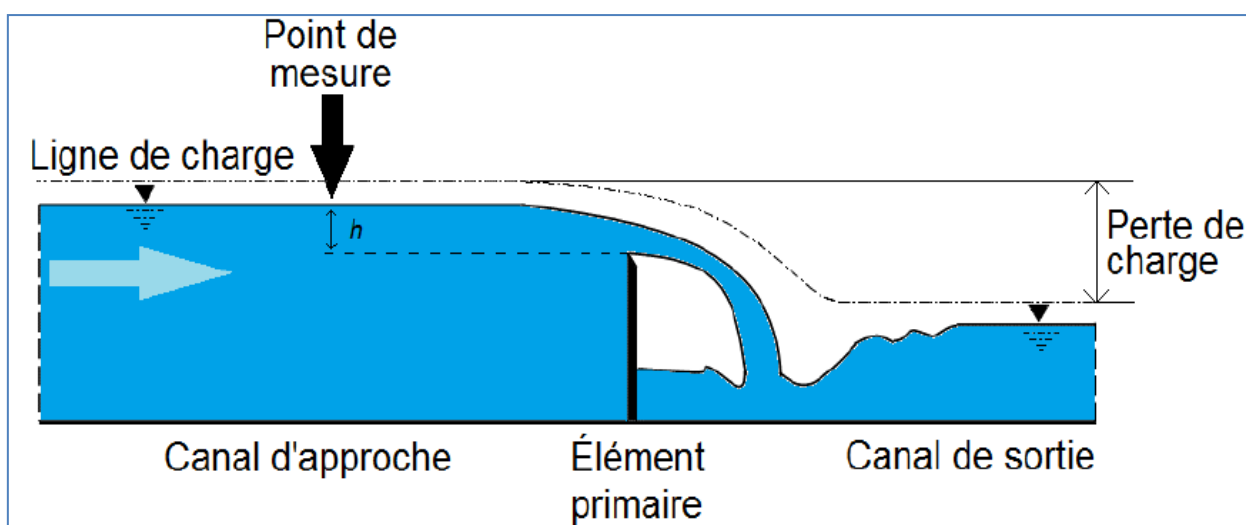


Figure II.19 : Illustration de la ligne de charge et du point de mesure pour un déversoir

Idéalement, les éléments primaires de mesure devraient être munis d'un tranquillisateur (ou puits de stabilisation). Ce puits est situé au point de mesure de l'installation. Il permet à l'utilisateur de procéder à la mesure du niveau d'eau dans des conditions relativement calme, en reproduisant les conditions de niveau présentes dans l'élément primaire.

2.4. Exactitude :

La qualité et la configuration de l'installation de l'élément primaire, l'entretien apporté à celui-ci ainsi que les conditions d'écoulement existantes sont tous des facteurs pouvant influencer l'exactitude des mesures. Dans le but de maximiser l'exactitude des canaux jaugeurs et des déversoirs, les éléments suivants sont à considérer :

- 1) Choisir un élément primaire dont les caractéristiques concordent avec les conditions du site, par exemple privilégier un canal jaugeur plutôt qu'un déversoir en présence d'un effluent chargé en sédiments;
- 2) Installer un équipement de dimension appropriée aux conditions d'écoulement, c'est-à-dire dont la dimension sera suffisante pour permettre un écoulement libre à tous les régimes hydrauliques,
- 3) Respecter les dimensions standard lors de la construction de l'élément primaire;
- 4) Prendre les précautions nécessaires lors de son installation, par exemple :
 - S'assurer que la structure est au niveau transversalement et longitudinalement. Si la base du canal n'est pas au niveau par rapport à l'axe transversal, la hauteur moyenne doit être utilisée pour que la relation hauteur – débit soit conservée, c'est-à-dire que la hauteur doit être mesurée sur chacun des côtés du canal pour l'établissement de la hauteur moyenne;
 - Installer la structure hydraulique en ligne droite avec le canal d'approche dans le cas d'un canal jaugeur et perpendiculairement à l'écoulement dans le cas d'un déversoir;
 - S'assurer lors de l'installation que la structure ne se déforme pas et qu'elle conserve ses dimensions et sa forme originales (ex. : éviter l'apparition du soulèvement du fond du canal, l'évasement des parois ou encore l'arrondissement de la crête d'un déversoir);
 - Éviter la présence d'obstruction dans les différentes sections de l'élément primaire ainsi que dans les canaux d'approche et de sortie. En présence d'une obstruction, le liquide est forcé de passer par-dessus l'obstacle, ce qui augmente la hauteur du niveau d'eau au point de mesure et surévalue le débit;
 - S'assurer que la structure est étanche pour que tout l'écoulement soit capté;
- 5) S'assurer que la longueur d'approche est adéquate, car un canal d'approche trop court ne permet pas de corriger adéquatement toutes les distorsions importantes de vitesse d'approche et de distribution;
- 6) Utiliser un étalon de travail conforme (ex. : règle);
- 7) Respecter l'emplacement du point de mesure et du « zéro » de l'échelle pour la mesure de la hauteur d'eau;

- 8) Respecter l'intervalle de mesure de l'élément primaire, car l'erreur de mesure augmente lorsque le débit est inférieur au débit minimal recommandé par le fabricant;
- 9) S'assurer que l'augmentation du niveau d'eau est suffisante pour que se dégage clairement une relation hauteur – débit;
- 10) S'assurer que l'installation permet d'obtenir un régime d'écoulement uniforme et constant en amont de l'élément primaire pour tout l'intervalle de mesure;
- 11) Veiller à ce que la vitesse d'écoulement soit suffisante pour qu'il y ait un écoulement libre;
- 12) Entretenir de manière régulière l'installation pour enlever les dépôts de sédiments, d'herbes et d'autres débris qui s'accumulent en amont de la structure (ex. : canal d'approche, base amont d'un déversoir), dans les sections de contrôle (ex. : gorge d'un canal jaugeur, crête d'un déversoir) et à la sortie de l'installation;
- 13) Inspecter régulièrement la structure pour s'assurer qu'elle ne présente pas de déformation ou de fissure qui causent des fuites;
- 14) Utiliser adéquatement l'équation de débit et respecter les constantes.

Les erreurs de mesure des canaux jaugeurs et des déversoirs sont grandement influencées par la qualité de l'installation de l'élément primaire et par les conditions d'écoulement. De cette façon, les erreurs de mesure théoriques sont variables. En général, les marges d'erreur théoriques des éléments primaires sont de $\pm 3 \%$ pour les canaux jaugeurs et de $\pm 2 \%$ pour les déversoirs. Toutefois, l'expérience démontre qu'il est possible d'obtenir une erreur se situant

aux environs de $\pm 5 \%$ lorsque l'installation est conforme aux recommandations du fabricant. Cette valeur augmente lorsque le débit est faible, ce qui se traduit par la diminution de l'exactitude de cette installation lorsque le débit se situe dans la limite inférieure de son étendue de mesure.

3. les grandeurs mesurées :

Les deux grandeurs principales mesurées sont :

- **les hauteurs d'eau** relevées d'une manière discontinue sur une échelle limnimétrique et, si les variations du plan d'eau sont rapides, sous la forme continue des enregistrements limnigraphiques

- **les débits**, qui très rarement mesurables sous une forme continue, font l'objet de mesurages périodiques .

Les autres grandeurs mesurées concernent :

- **la géométrie de bief amont** : levés topographiques longitudinaux et transversaux,
- **la pente hydraulique** : rarement mesurée en continu, sauf si sa connaissance est indispensable au calcul des débits,

- **les matières en suspension** (argiles et sables) et en solution (par analyse ou mesure de la conductivité de l'eau) et d'autres paramètres physico-chimiques de l'eau.

4. Critères de choix :

Sont pris en compte dans ce choix deux types de critères. Les uns concernent le mode et la facilité de la gestion de la station : accessibilité, surveillance, présence d'un observateur, etc.....

Les autres portent sur les propriétés naturelles du site du point de vue géométrique et du régime hydraulique : adaptation aux mesures hydrométriques, stabilité du bief et du contrôle, sensibilité.

4.1. Adaptation aux mesures :

Le site choisi doit permettre l'observation de tous les niveaux d'eau et le mesurage de tous les débits, qu'ils soient très faibles ou très élevés.

Ceci implique que la totalité du débit passe dans la section de mesures (lit à chenal unique) et qu'un équipement limnimétrique (la mire gradue) puisse y être solidement installé sans risques de destruction, de submersion et d'émersion.

Ceci suppose aussi que les mesures soient effectuées dans de bonnes conditions : échelle bien lisible sans risque, surface libre plate et stable (quel que soit le débit), écoulement lent pour les jaugeages au moulinet ou à fort brassage latéral pour les techniques de dilution chimique.

Cette première condition de bonne adaptation de la station aux mesures apparaît évidente mais beaucoup d'hydrologues oublient très souvent d'en tenir compte : c'est la raison pour laquelle de nombreuses stations installées dans des sites inadaptés se sont avérées inexploitable, malgré d'importants investissements faits pour tenter d'assurer leur sauvegarde.

4.2. Stabilité de lit (section de contrôle).

La relation hauteur-débit d'une station hydrométrique doit être aussi stable que possible. Il faut pour cela choisir un bief, creusé dans un matériau résistant ou du moins de bonne cohésion et surtout rechercher, de manière systématique, les contrôles permanents et si possible complets.

Cette seconde condition impose le choix d'un bief à régime fluvial contrôlé par l'aval, ainsi qu'une localisation des seuils ou sections de contrôle avec évaluation des limites d'efficacité de chacune d'elles (Fig II.20. et II.21)

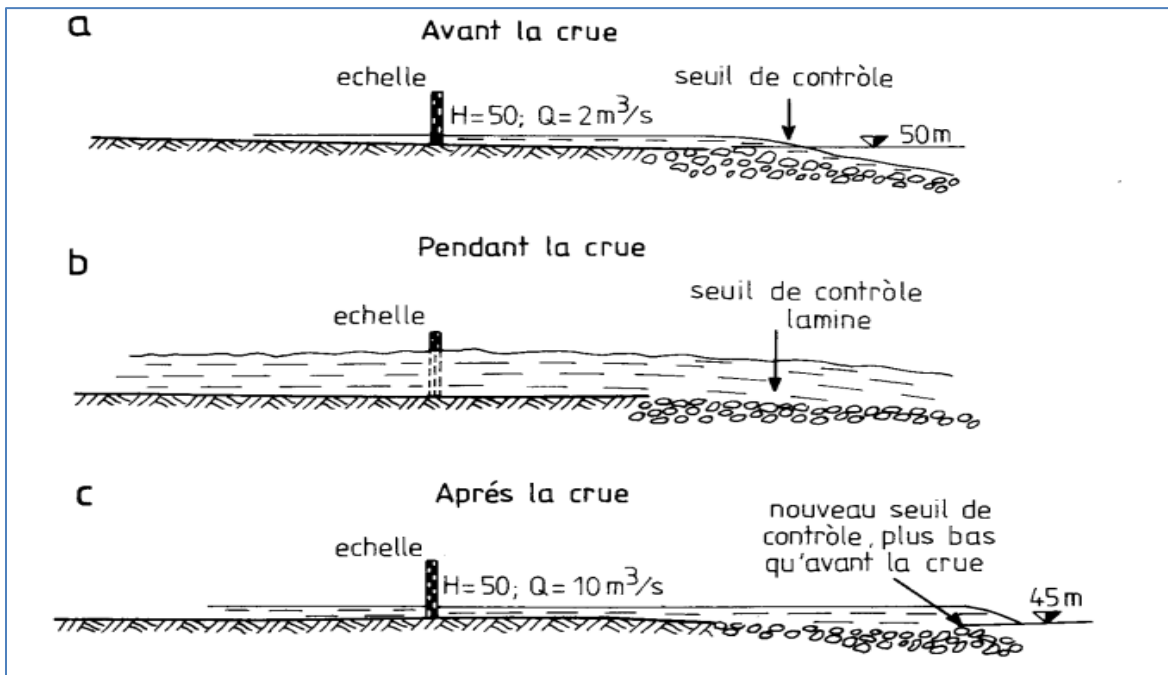


Figure II.20 : Evolution d'un seuil instable au cours d'une crue.

Il est toujours difficile en pratique de connaître avec précision permanence d'un contrôle : lors d'une simple prospection de terrain, même si l'on dispose de documents topographiques précis, la stabilité du lit n'est pas facile à apprécier, surtout dans le cas de lits alluvionnaires.

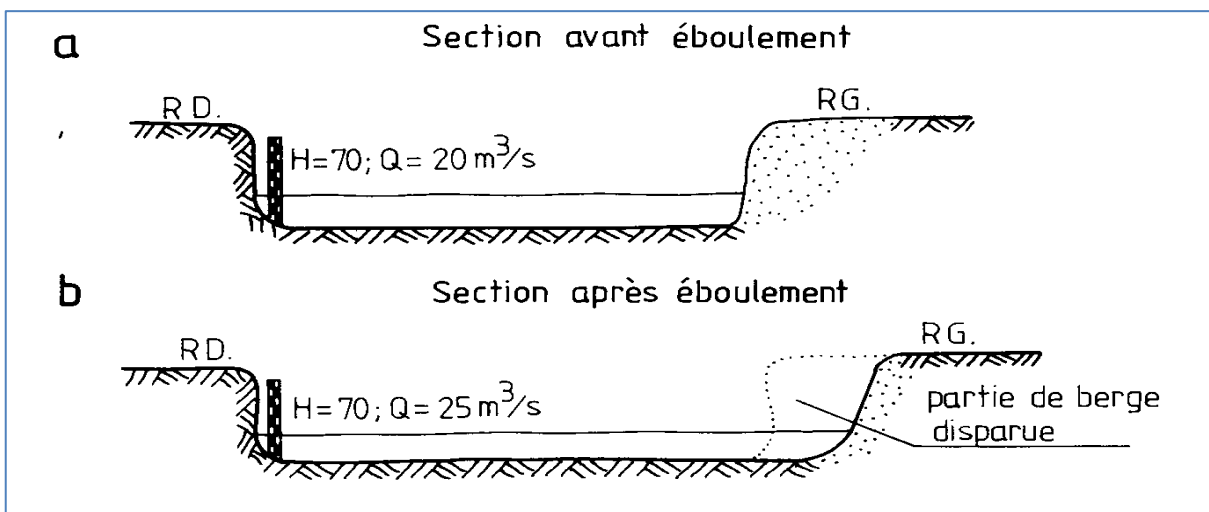


Figure II. 21 : Evolution d'une section à berges instables.

Pour ces derniers, la seule procédure sûre dans ce domaine est de contrôler la géométrie du site choisi durant 6 à 12 mois par des levés périodiques du profil transversal. Mais il est bien rare que l'hydrologue dispose d'un tel délai avant de mettre en place une échelle.

On désigne sous le nom de section de contrôle toute modification dans la topographie ou dans la hauteur du lit, naturelle ou artificielle, qui entraîne un changement dans le type d'écoulement.

On l'observe en pratique par une augmentation des vitesses de déboulement.

Un simple banc de sable constitue en basses eaux une section de contrôle : à l'amont et à l'aval, les profondeurs sont plus grandes et les vitesses plus faibles que sur le banc lui-même. Mais la moindre crue déplace le sable et par suite la section de contrôle.

Nous distinguerons donc :

A) Les sections de contrôle fixes :

Soit naturelles: seuil rocheux au fond du lit, barre rocheuse constituant une diminution de largeur, chute. ..

Soit artificielles : seuils-jaugeurs (col de cygne, Parshall), déversoirs épais, ponts étroits ou avec piles, etc..... .

B) Les sections de contrôle instables

Par exemple : bancs de sable ou de graviers, végétation etc,..

Sans entrer dans les lois de l'Hydraulique, il suffit de retenir qu'à l'amont d'une section de contrôle fixe la loi hauteur-débit (c'est-à-dire courbe d'étalonnage) est nécessairement stable et univoque (c'est-à-dire qu'à un débit donné correspond une seule hauteur d'eau). " A l'amont " signifie dans la zone d'influence de la section la longueur de cette zone varie suivant la pente du lit et la hauteur d'eau.

On voit l'importance d'une telle section et la diminution du nombre de jaugeages qu'elle entraîne. [7]

remarque

1. Il n'est pas nécessaire qu'il y ait une section de contrôle pour que la loi hauteur-débit soit univoque et stable (oueds à faible pente et lit stable par exemple)

2. Il faut absolument éviter l'influence d'une section de contrôle instable : c'est une garantie d'instabilité de la courbe d'étalonnage.

En pratique, on utilisera aussi souvent que possible les seuils rocheux au fond du lit, les avancées rocheuses latérales des rives et les ponts routiers ou S.N.C.F.A., perpendiculaires au lit et sans piles si possibles. Dans le cas des ponts, la stabilité du fond du lit est rarement assurée.

Eventuellement, on envisagera la construction d'un seuil en béton (seuil épais) mais en restant bien conscient du cout d'un tel ouvrage et clés frais d'entretien qu'il entraine nécessaire.

4.3. Bonne sensibilité

La sensibilité d'une station est d'autant meilleure qu'une grande variation de la hauteur lue à l'échelle correspond à une faible augmentation du débit traversant la section de l'échelle. Elle peut être exprimée par le rapport $\frac{\Delta Q}{\Delta h}$ ou mieux encore, puisque la précision relative sur le débit importe plus que la précision absolue, par le rapport à la quantité ($\frac{\Delta Q/Q}{\Delta h}$)

La valeur du rapport $\frac{\Delta Q/Q}{\Delta h}$ exprimée en % par centimètre est variable suivant le niveau mais doit rester aussi faible que possible. Il faut ajouter qu'il n'existe en fait pas de méthode pour définir une « valeur étalon » de la sensibilité permettant de comparer les stations entre elles. Une définition de la sensibilité a été proposée par J.C. LAMBLE du Scottisch Développement Département, Edinburg: «C'est l'augmentation de la hauteur d'eau en mm correspondant à une augmentation de débit de 1% pour la cote à l'échelle dépassée 95 % du temps en moyenne interannuelle ».

La sensibilité d'une station est meilleure dans les sections étroites et profondes (marnage fort) et à régime d'écoulement lent (donc fluvial).

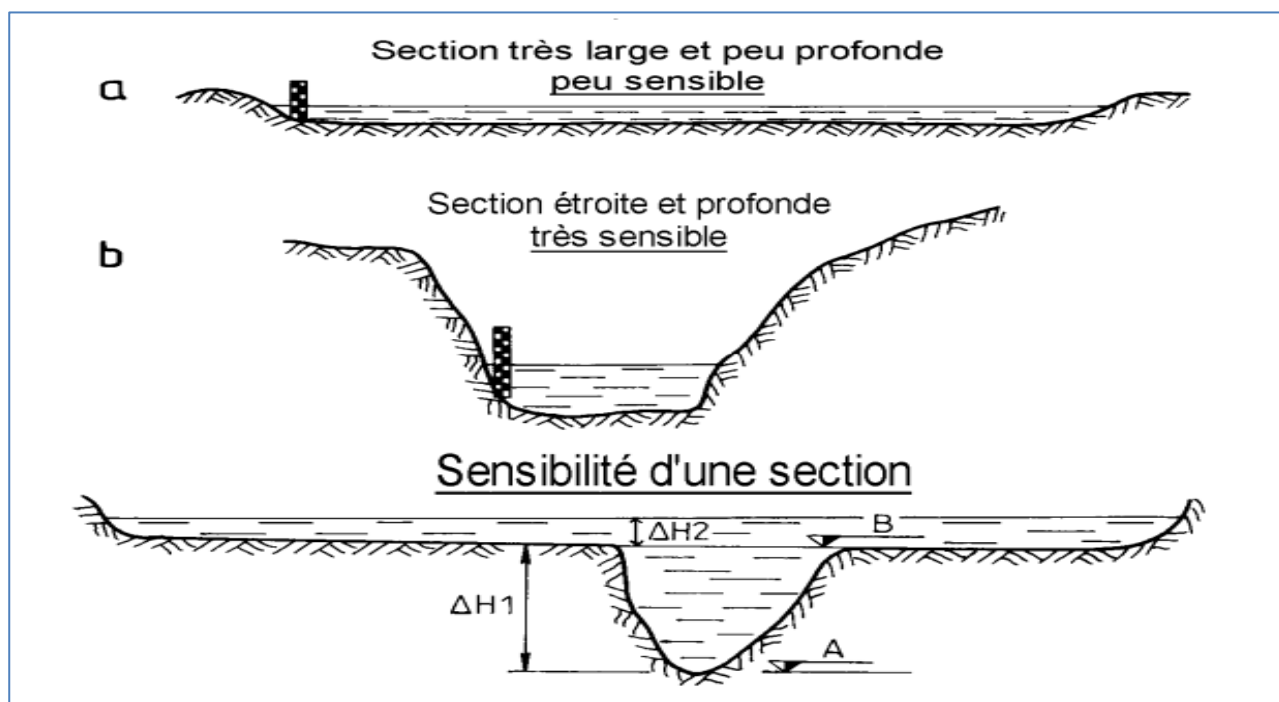


Figure.II. 22 : Sensibilité d'une section de mesure limnimétrique.

En résumé :

Les qualités hydrauliques d'une station hydrométrique sont par ordre de priorité :

- Son adaptation à des mesures complètes et de bonne qualité.
- Sa stabilité pour diminuer le nombre des mesurages de débits, opération toujours coûteuse et difficile.
- Sa sensibilité pour améliorer la précision.

5. Sections caractéristiques

Il est assez peu fréquent que la station hydrométrique se réduise à une seule section transversale. Des sections différentes sont généralement utilisées pour le mesurage des hauteurs et des débits. La station hydrométrique peut donc s'étendre sur un bief de plusieurs kilomètres de long. Mais la seule section de référence pour la définition de la relation hauteur - débit, est **la section de l'échelle**.

5.1 Section de l'échelle :

Une station hydrométrique possède toujours une échelle limnimétrique : c'est le seul élément permanent strictement indispensable. La section de l'échelle est la section verticale qui comprend la graduation zéro, donc en général l'élément inférieur de l'échelle.

Lorsque la station comprend plusieurs batteries d'échelles, implantées dans des sections transversales différentes, soit pour mesurer la pente hydraulique, soit pour suivre les variations de niveau pendant les jaugeages ou encore pour doubler temporairement une échelle menacée de destruction, l'une d'elle doit impérativement être désignée comme échelle principale, en fonction des trois critères de choix définis au paragraphe précédent.

Une échelle est souvent composée d'éléments métriques séparés ou regroupés en tronçons de longueur variable. Ces éléments doivent être alignés dans la section de l'échelle : lorsque cela n'est pas possible pour des raisons techniques, on doit prendre soin d'éviter toute discontinuité dans les lectures en assurant un calage altimétrique entre les éléments prenant en compte la pente superficielle.

Dans les cours d'eau à niveau rapidement variable l'enregistrement continu des hauteurs est effectué par un limnigraphe, dont la prise de niveau doit être placée dans la section de l'échelle.

D'une manière générale, dans une même station hydrométrique, il faut éviter au maximum de multiplier le nombre des sections de mesure du niveau.

5.2 Section de contrôle :

Généralement située à l'aval de la section de l'échelle, la section de contrôle, lorsqu'elle existe, peut néanmoins être confondue avec elle. C'est le cas par exemple des seuils jaugeurs à contraction latérale. La section de contrôle est alors une section à écoulement critique, dans laquelle la hauteur pour un débit donné (hauteur critique) ne dépend que de la géométrie de la section.

Un autre type de contrôle complet se rencontre dans les lits non aménagés mais pourvus naturellement de chutes ou zones de rapides. Nous citons Gérard HIEZ (IRD) : En GUYANE, les échelles étaient installées, chaque fois que cela était possible, à l'amont de sauts ou rapides qui constituent de remarquables sections de contrôle. La section au droit de l'échelle

est quelquefois parfaitement « indéfinie » (par exemple la station de MARIPA sur l'OYAPOQUE) et le lit peut être encombré d'îles et de rochers. Ces stations présentent, en général, d'excellentes qualités de sensibilité et de stabilité parce que situées à l'amont immédiat d'un contrôle absolu ».

Ce cas, presque idéal, où le contrôle est complet et parfaitement défini n'est malheureusement pas le plus fréquent. Très souvent la section de contrôle est imprécise, fuit vers l'aval lorsque le niveau d'eau augmente et se stabilise à une singularité du lit (coude, pont), ou se perd dans un « channel-control ».

5.3. Sections de jaugeages :

En régime permanent le débit est le même (ou plus exactement est considéré comme tel) en toute section du bief hydrométrique. Il est donc permis de mesurer ce débit n'importe où. On choisit de le faire dans la section qui offre les meilleures garanties de précision de la mesure.

C'est ce débit qu'on déclare transiter à l'instant de la mesure, au droit de l'échelle limnimétrique.

Section transversale régulière et stable, vitesse de courant suffisante, filets d'eau parallèles sont les critères de choix d'une section de jaugeage au moulinet. Ces conditions ne sont pas toujours faciles à réunir à proximité de l'échelle limnimétrique, d'autant plus qu'il y a généralement opposition entre basses eaux et moyennes ou hautes eaux.

Une section de hautes eaux est choisie dans un bief à pente faible pour limiter la violence du courant. Elle peut être équipée d'un câble gradué, d'un transporteur aérien. Il n'y a pas

d'inconvénient à placer cette station de de jaugeage loin de la section de l'échelle si le débit reste inchangé.

Pour les basses eaux au contraire, on se heurte à une insuffisance soit des profondeurs (seuils), soit des vitesses (mouilles). De plus les jaugeages doivent être faits aussi près que possible de la section de l'échelle en raison de la rapide variation des faibles débits (échanges avec la nappe phréatique, percolation). Il en résulte que, très souvent, le mesurage des débits d'étiage est beaucoup plus difficile à réaliser que celui des débits de moyennes et hautes eaux. L'utilisation d'un seuil jaugeur étalonné peut apporter une solution lorsque le débit est inférieur à 500 l/s.

L'utilisation des méthodes de jaugeage par dilution chimique n'entraîne pas le choix d'une section de jaugeage mais au contraire celui d'un bief long de plusieurs hectomètres ou kilomètres suivant le débit et le brassage des eaux.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenter d'une façon globale les conditions et les règles qui doivent strictement respectées sur le plan de la conception et la fonction d'une station hydrométrique. Celle-ci est considérée comme un moyen le plus classique de mesure des débits évoluant un canal artificiel ou un cours d'eau. La mesure des débits est faite par l'élaboration d'un courbe de tarage lié les deux grandeurs hydrauliques tels que le débit Q et la profondeur h . La précision est basé essentiellement sur la satisfaction de toutes les conditions hydrauliques et géométriques tels que le choix de site de l'implantation de la station qui favorise un écoulement de type fluvial stable en amont de l'élément primaire soit un déversoir ou bien un jaugeur.

La géométrie de l'élément primaire tien en compte l'évacuation facile sans obstruction et sans perturbation de la surface libre de l'écoulement, ainsi que le profil de l'élément primaire doit adapté convenablement avec tous les débits de crue et d'étiage pour englobe une grande intervalle des débits qui s'intéresse les hydrologues.

Deuxième partie: Voie Expérimentale

CHAPITRE I

Description des essais

Introduction

La présente partie de notre étude a pour but, d'étudier un appareil semi modulaire par voie expérimentale. Cet appareil présente un déversoir épais de forme demi-circulaire de diamètre D , et de hauteur de pelle P en premier égal au diamètre D et en seconde égal a la moitié de diamètre D .

Afin de mettre au point un nouveau dispositif de mesure des débits dans les canaux ouverts, nous veillerons soigneusement à la nécessité d'un changement du régime d'écoulement, au cours de son passage au dessus de notre dispositif. Ce dernier est un prototype conçu selon les termes d'un déversoir épais concernant les dimensions géométriques et la rugosité du surface. Le choix de ce dispositif est caractérisé par plusieurs critères utiles, tels que la forme circulaire qui avait une bonne conductivité considérable et il est également ne favorise pas le dépôt des débris solides sur sa face superficielle. Notre appareil est surélevé par une hauteur de pelle P , créant un seuil ralentisse la vitesse d'écoulement a fin d'obtenir un régime fluvial en amont de déversoir d'une part et d'autre part le volume robuste de celui ci permet de stabiliser l'ouvrage contre la poussée d'écoulement et l'échappé contre le renversement. Nous veillons à ce que le flux soit libre en aval, pour éviter toutes influences sur le comportement de l'écoulement au dessus de déversoir.

L'appareil est bien inséré dans un canal rectangulaire d'une largeur égale au diamètre de déversoir. Le canal d'amené est menu par des paroi en plexiglas permet de visualiser le profil superficiel de l'eau passant a travers le déversoir, par trois étapes, la profondeur de l'eau est supérieure au diamètre de déversoir, où la section mouillée prend la forme U et ensuite l'écoulement se passe entièrement à l'intérieure de déversoir où la profondeur d'eau est totalement inférieur au valeur = $D/2$

Dans ce travail, nous essayons de contribuer à montrer la Lure du plan d'eau a travers les valeurs mesurées de profondeurs d'eau le long de déversoir, ce qui donne d'une façon claire le comportement de l'écoulement au dessus de déversoir et en plus d'établir une relation semi-empirique liant le débit déversé et la hauteur d'eau mesurée en amont de ce dispositif

Cette partie sera entamée par la description du banc d'essais et des dispositifs testés, enrichie par des schémas de définitions et des photographies.

1. Description du banc d'essais

La figure I.1 représente la photo de la Figure I.1 de l'installation expérimentale destinée à tester les dispositifs ci-dessus décrits. Tandis que la photographie 2 montre une vue d'ensemble du banc d'essais. Il est constitué d'un canal de forme rectangulaire de 0,57 m de longueur, permettant la visualisation de l'écoulement.

Le canal est alimenté en circuit fermé par une pompe axiale. Celle-ci aspire de l'eau d'un réservoir ouvert de récupération et la refoule dans un canal, également ouvert, alimentant le canal. Le système bassin de récupération pompe bassin d'alimentation est relié par une conduite circulaire en PVC. Le bassin de récupération est doté d'un tranquillisant d'eau spécialement aménagé afin d'éviter les perturbations de la surface libre qui peuvent perturber le fonctionnement de la pompe.

Le réglage des débits volumes s'effectue par manipulation de la vanne et sont mesurés directement à l'aide d'un débitmètre. L'alimentation du canal s'effectue par le moyen d'une pompe débitant jusqu'à 16 m³/h.

Le canal de mesure a été conçu au laboratoire du département d'hydraulique de l'**université de M'sila**.



Figure I.1: Photographie du canal, ayant servi à l'expérimentation



Figure I.2 : Le banc d'essai mis en expérience

2. Caractéristiques géométriques du canal

C'est un canal de forme rectangulaire a plusieurs pentes I, et le tableau ci-dessous pressante leur dimensions :

dimensions du canal

Longueur : **600 cm**

Largeur: **7.5 cm**

Profondeur : **16 cm**

3. Appareillage de mesure

3.1. Mesure de la profondeur

Lors de nos essais, la mesure de la profondeur de l'écoulement à l'amont du dispositif testé est un élément important dans l'évaluation du débit écoulé. Cette profondeur correspond également, dans le cas qui intéresse notre étude, à la profondeur déversée en travers du dispositif. Plus la mesure de la profondeur s'effectue avec précision et plus l'évaluation le débit est acceptable. Il est donc recommandé de procéder aux mesures de la profondeur par un appareillage aussi précis que possible.

Dans le cas des essais que nous avons effectués, nous avons utilisé un limnimétrie, dont la précision est tout à fait requise pour la nature des essais envisagés.

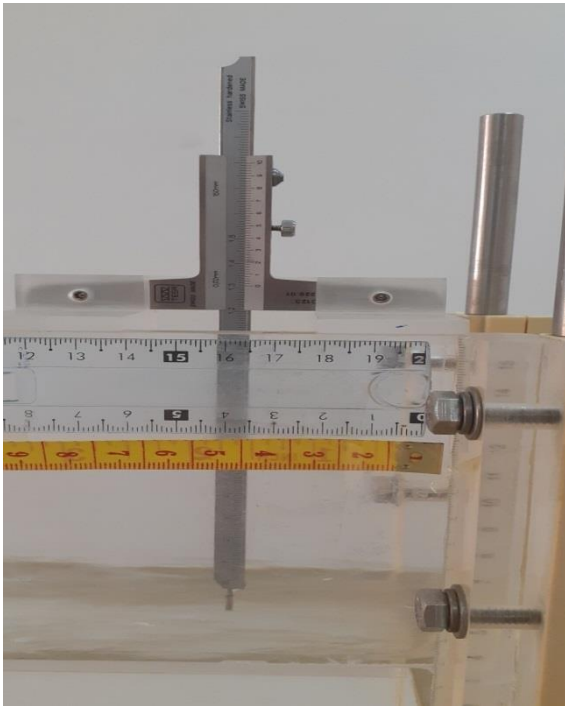


Figure I.3: Un limnimétrie De précision



Figure I.4 : Un limnimétrie mise en expérience

Le limnimétrie est muni, à sa partie inférieure d'une pointe verticale, appelée pointe limnométrique, dont le rôle est d'effleurer la surface de l'eau.

Après avoir alimenté le canal de mesure avec un débit volume Q quelconque, la pompe d'alimentation est arrêtée. Le canal se vide au fur et à mesure et une fine pellicule d'eau demeure au fond du canal. Dans cette position, nous procédons à la lecture de la graduation sur la règle, coïncidant avec l'origine O du vernier. Cette graduation correspond alors au "Zéro" du limnimétrie et toutes les profondeurs obtenues à différents débits volumes Q sont mesurées par rapport à cette origine.

3.2. Mesure du débit Q

Nous sommes dans un intervalle fermé liée aux valeurs des débits qui nous allons le proposer dans la caractéristique de la pompe en débute par un débit de $0.00041(\text{m}^3/\text{s})$ jusqu'à $0.0015 (\text{m}^3/\text{s})$

L'affichage du volume sur le tube d'affichage gradué est tributaire de la valeur du diamètre intérieur de la conduite d'alimentation.



Figure I.5: vue du tube de mesure de débit

3.3. Mesure de la pente

Dans cette partie de la composition de laboratoire peut contrôler manuellement l'inclinaison grâce à la direction rotative installé sur un appui fixé Figure V.6, s'accompagner une échelle des pentes Figure V.7, a une valeur maximale est égale à : $I_{\max} = 4\%$.



Figure I.6: dispositif de variation de pente



Figure I.7: échelle de mesure

4. mode opératoire

Avant d'entamer la procédure expérimentale, il est nécessaire de rappeler l'objectif principal de cette partie de notre étude, pour cela on va respecter les démarches suivantes :

Comme premier pas et prend en compte que nous sommes dans un intervalle fermé liée aux valeurs des débits qui nous allons le proposer dans la caractéristique de la pompe en débute par un débit de 1,6 m³/h jusqu'à 15.5 m³/h, le tableau ci-dessous affiche les valeurs exactes.

Tableau I.1: les Débits d'application

Q(m³/h)	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
Valeur	1,5	2,5	3,5	4.5	5.5	6.5

- Le principe de fonctionnement est basé sur plusieurs essais, chaque essai on va fixer la pente et varier le débit, et mesurer la profondeur normale à différents positions et on prend la valeur moyenne de ces mesures
- Après prendre les mesures, faire le calcul hydraulique.
- Ensuite tracer les graphes, et faire une contribution des différents états qui nous avons,

Dernièrement on va faire une lecture analytique

5.Caractéristiques géométriques du déversoir:

Le dispositif testé est un déversoir à seuil épais de forme demi-circulaire doté par une hauteur de pelle P. Les caractéristiques géométriques sont présentés ci-dessous avec ces photos.

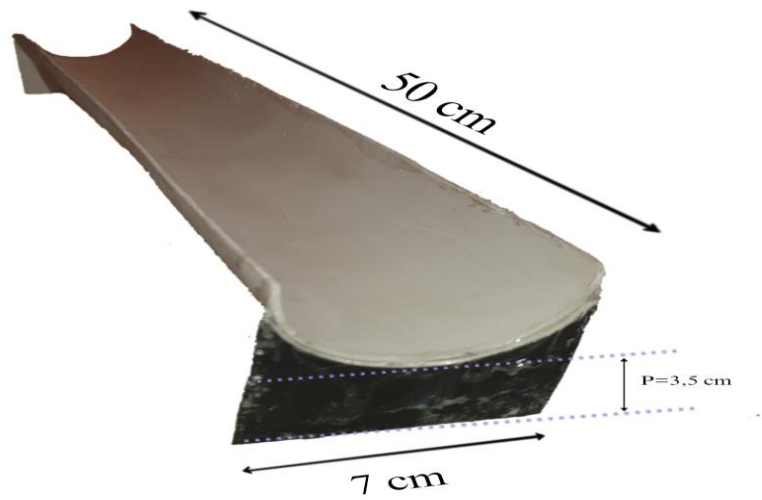
La longueur de déversoir est largement suffisamment qui permet l'accomplissement des régimes critique et en suite torrentiel

$p = 3.5 \text{ cm}$

$B = 7 \text{ cm}$

$D = 7 \text{ cm}$

$L = 50 \text{ cm}$



Dispositif . P = 3.5

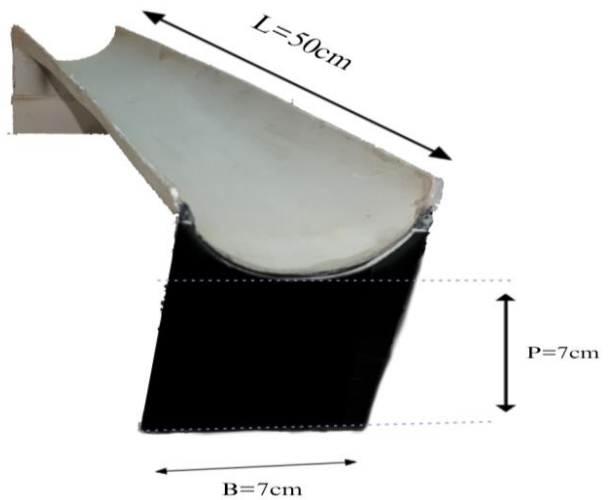
$p = 7 \text{ cm}$

$R = 3.5 \text{ cm}$

$B = 7 \text{ cm}$

$D = 7 \text{ cm}$

$L = 50 \text{ cm}$



Dispositif p = 7 cm

6. Procédure expérimentale

La température ambiante au laboratoire et aussi de l'eau est respectivement: $T= 32^{\circ}$ et la température de l'eau : $T=31C^{\circ}$.

On commence par la pente $I= 0 \%$, en cours de variation les débits on mesure les profondeurs d'eau à partir d'une distance en amont de dispositif jusqu'à l'aval de celui-ci. Pour chaque débit en fait une série de mesure de profondeur d'eau.

CHAPITRE II

Résultats et discussions

II.1 Introduction

L'expérimentation sur modèle réduits est sanctionnée par des résultats qui nécessitent une interprétation des essais effectués sur les différents modèles testés. Ces résultats sont exprimé soit par le débit en fonction de la charge totale sur le déversoir $Q=f(h_1)$ ou par le coefficient de débit en fonction de la charge h_1 . Ces résultats permet de décrypter le comportement d'écoulement au dessus de déversoir a travers la connaissance de Nombre de Froude, autrement dit lorsque si ce nombre est inférieur à l'unité l'écoulement est en état de ralentissement ce qui explique que le dispositif à freiner l'inertie d'écoulement, en revanche lorsqu'il est supérieur à l'unité l'écoulement s'accélère due au dispositif à travers l'étranglement de surface de son passage à l'aval de celui-ci.

II.2 Interprétation et discussion des résultats expérimentaux réalisés dans des conditions d'écoulement libre

Étant donné que la présente étude s'intéresse se propose d'étudier l'écoulement sur le déversoir épais de forme demi-circulaire dans des conditions dénoyée, ainsi, les essais effectués sur les deux modèles de différents hauteur de pelle P ont été réalisés

II.2.1 La procédure de calcul des paramètres hydrauliques

Pour étudier et interpréter les paramètres mesurés au cours de notre essais, tous d'abord il convient de calculer certains paramètres hydrauliques a pour but de comprendre la nature de l'écoulement et sa comportement au cours de son passage a travers le déversoir.

Le schéma ci dessus montre la géométrie hydraulique quand l'eau a un profondeur inférieur au rayon du cercle du déversoir.

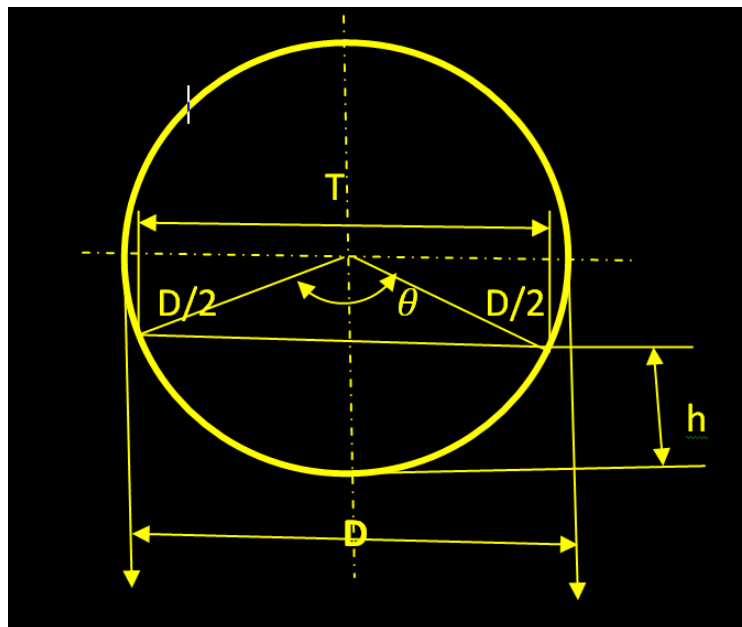


Figure V.1: Schéma de définition des paramètres géométriques en déversoir épais demi circulaire

Avec

T : La largeur au miroir ou plan d'eau

D ; Diamètre de déversoir

h : hauteur d'eau dans le déversoir

- 1) La relation entre la hauteur d'eau et l'angle au centre s'écrit :

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \left(1 - 2\frac{h}{D}\right) \quad (II.1)$$

- 2) L'aire de la section mouillée , telle que :

$$A = \frac{D^2}{8}(\theta - \sin \theta) \quad (II.2)$$

- 3) Le périmètre mouillé , tel que :

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

$$P = \frac{1}{2} \theta \cdot D \quad (II.3)$$

4) La largeur au miroir T tel que :

$$T = D \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (II.4)$$

5) Le rayon hydraulique

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right) \quad (II.5)$$

6) Nombre de Froude

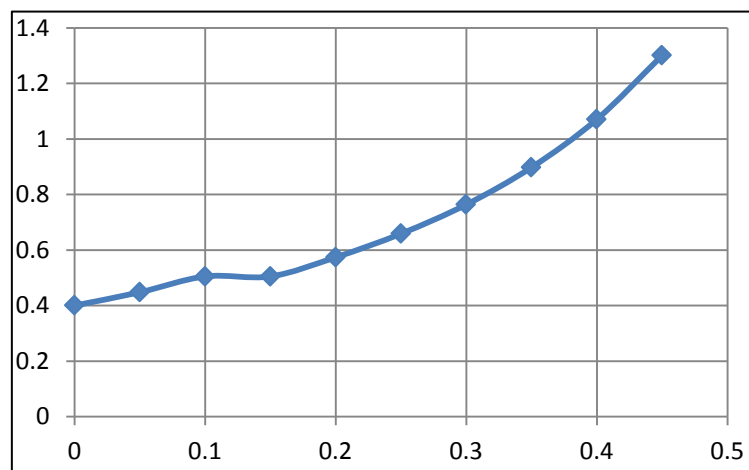
$$Fr = \frac{Q}{\sqrt{g \frac{A^3}{T}}} \quad (II.6)$$

II.2.2 Le régime d'écoulement selon la valeur de Nombre de Froude

Expérience N°1 La pente du canal $I=0$ et la hauteur de pelle $P = D = B$

Essai n°1 $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$

X (cm)	Fr
0	0,4407
0,05	0,4948
0,1	0,52588
0,15	0,5599
0,2	0,59758
0,25	0,6392
0,3	0,68549
0,35	0,794975
0,4	1,017639
0,45	1,224137

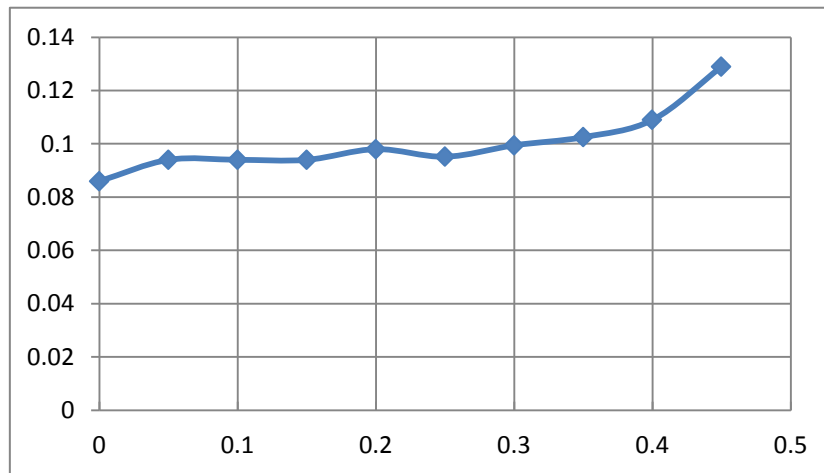


FigureV. 2: Variation de Nombre de Froude le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à largeur du canal d'améné

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Essai n° 2 $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$

X (cm)	Fr
0	0,086
0,05	0,094
0,1	0,094
0,15	0,094
0,2	0,098
0,25	0,09516
0,3	0,09945
0,35	0,1025
0,4	0,109
0,45	0,129



FigureV. 3 : Variation de Nombre de Froude le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à largeur du canal d'aménagé

Expérience N°2 La pente du canal $I=0$ et la hauteur de pelle $P = D/2$

Essai n° 1 $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$

X (cm)	Fr
0	0,4003
0,05	0,448
0,1	0,505
0,15	0,505
0,2	0,574
0,25	0,659
0,3	0,764
0,35	0,898
0,4	1,071
0,45	1,301

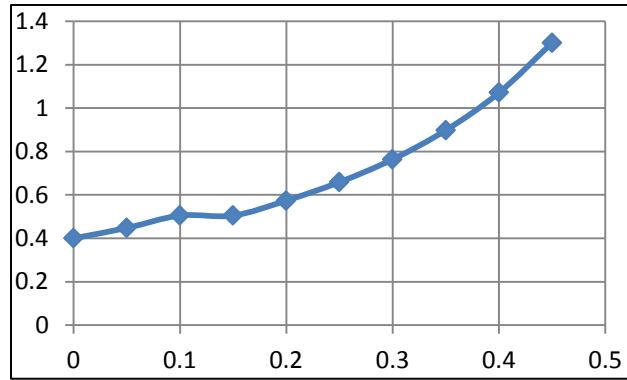


Figure V.4: Variation de Nombre de Froude le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de la largeur du canal d'amené

Les figures représentant la variation de Nombre de Froude F_r le long de déversoir selon les exemples montrés passe un régime critique traduit par la valeur de Fr égal à l'unité ce qui implique qu'il ya un changement de régime d'écoulement. Hydrauliquement le dispositif fonctionne d'une façon fiable. Notre déversoir provoque l'écoulement a changé son régime du fluvial vers le torrentiel.

II.2.3 Le profil du plan d'eau au dessus de déversoir

L'allure du plan d'eau au dessus de déversoir permet aux Ingénieurs hydrauliciens de savoir l'effet de cet ouvrage de créé un obstacle de ralentissement d'un flux dans un canal ouvert qui provoque un exhaussement de ligne d'eau en amont et après un abaissement progressif suis par une lame d'eau en parallèle avec la crête de déversoir.

Les essais I : La pente du canal $I=0$ et la hauteur de pelle $P = D = B$

Expérience N°1 Le débit $Q=0,00041(m^3/s)$

Tableau V.1 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir

$Q/3600(m^3/s)$	h (m)	X (m)
0,00041	0,107	0
0,00041	0,108	0,05
0,00041	0,106	0,1
0,00041	0,106	0,15
0,00041	0,034	0,2
0,00041	0,032	0,25
0,00041	0,031	0,3
0,00041	0,03	0,35
0,00041	0,029	0,4
0,00041	0,028	0,45
0,00041	0,027	0,5
0,00041	0,025	0,55
0,00041	0,022	0,6
0,00041	0,02	0,65
0,00041	0,083	0,7
0,00041	0,026	0,75
0,00041	0,02	0,8
0,00041	0,01	0,85

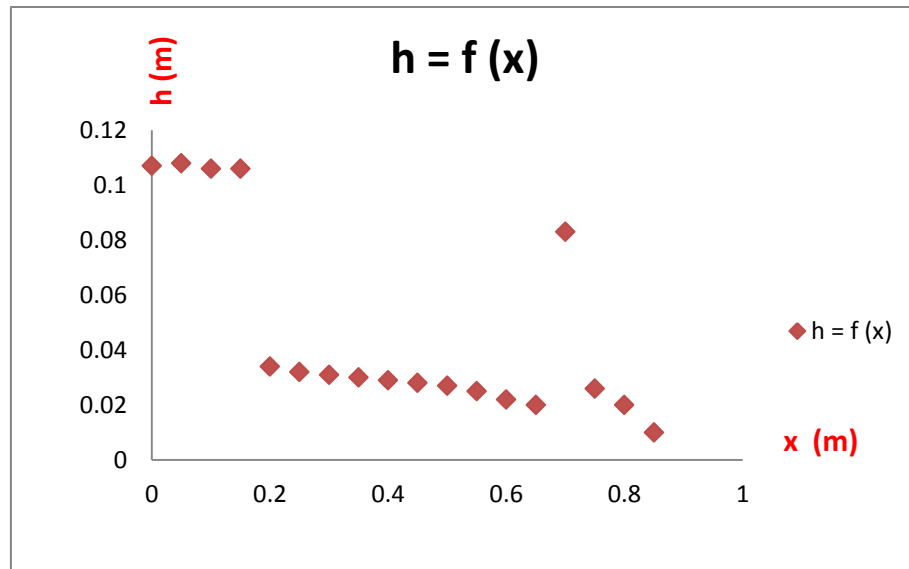


Figure V.5: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q=0,00041 \text{ m}^3/\text{s}$

Expérience N°2 Le débit $Q=0,00069 \text{ (m}^3/\text{s)}$

Tableau V.2 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir

$Q/3600(\text{ m}^3/\text{s})$	h (m)	X (m)
0,00069	0,121	0
0,00069	0,121	0,05
0,00069	0,121	0,1
0,00069	0,12	0,15
0,00069	0,048	0,2
0,00069	0,042	0,25
0,00069	0,042	0,3
0,00069	0,042	0,35
0,00069	0,039	0,4
0,00069	0,04	0,45
0,00069	0,038	0,5
0,00069	0,036	0,55
0,00069	0,032	0,6
0,00069	0,022	0,65
0,00069	0,091	0,7
0,00069	0,048	0,75
0,00069	0,081	0,8
0,00069	0,041	0,85

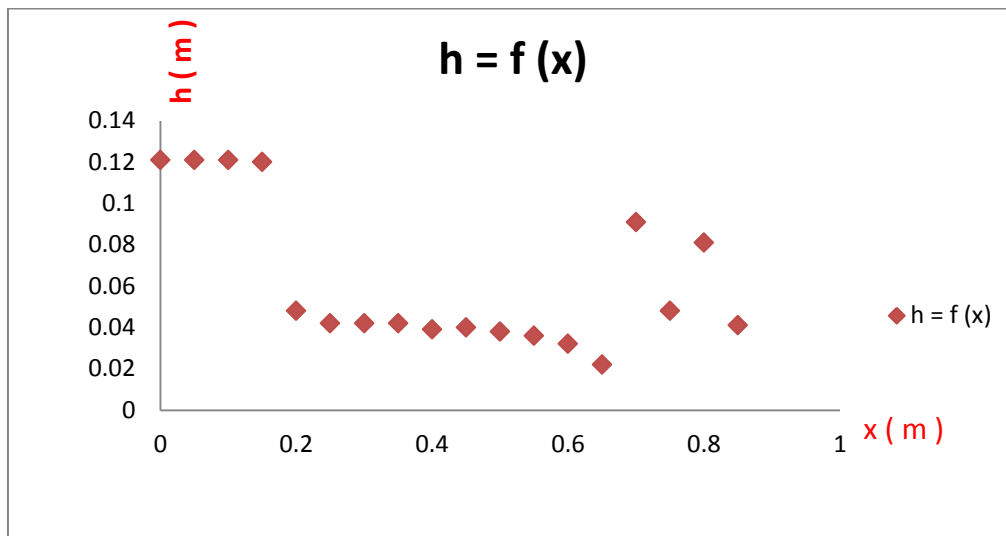


Figure V.6: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q=0,00069\text{m}^3/\text{s}$

Expérience N°3 Le débit $Q=0.00097 \text{ (m}^3/\text{s)}$

Tableau V.3 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir

$Q/3600(\text{m}^3/\text{s})$	$h \text{ (m)}$	$X \text{ (m)}$
0,00097	0,128	0
0,00097	0,13	0,05
0,00097	0,129	0,1
0,00097	0,127	0,15
0,00097	0,055	0,2
0,00097	0,048	0,25
0,00097	0,052	0,3
0,00097	0,047	0,35
0,00097	0,046	0,4
0,00097	0,047	0,45
0,00097	0,044	0,5
0,00097	0,041	0,55
0,00097	0,037	0,6
0,00097	0,034	0,65
0,00097	0,095	0,7
0,00097	0,062	0,75
0,00097	0,012	0,8
0,00097	0,04	0,85

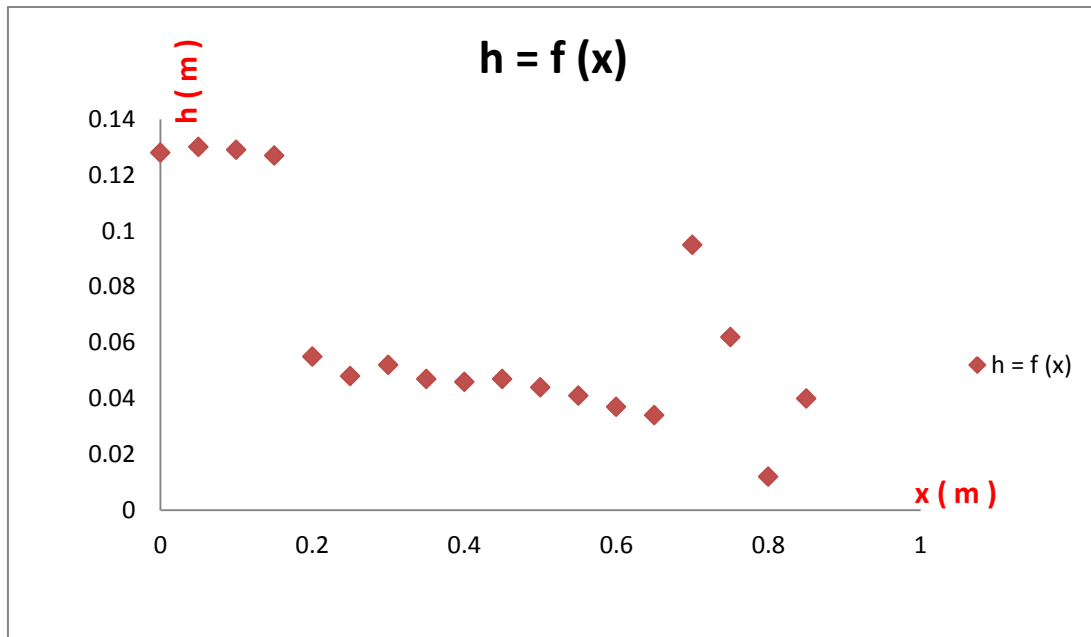


Figure V.7: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0.00097m^3/s$

Expérience N°4 Le débit $Q=0.0012(m^3/s)$

Tableau V.4 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir

Q/3600(m ³ /s)	h (m)	X (m)
0,0012	0,136	0
0,0012	0,136	0,05
0,0012	0,135	0,1
0,0012	0,134	0,15
0,0012	0,064	0,2
0,0012	0,054	0,25
0,0012	0,055	0,3
0,0012	0,055	0,35
0,0012	0,05	0,4
0,0012	0,052	0,45
0,0012	0,052	0,5
0,0012	0,045	0,55
0,0012	0,042	0,6
0,0012	0,037	0,65
0,0012	0,097	0,7
0,0012	0,068	0,75
0,0012	0,017	0,8
0,0012	0,06	0,85

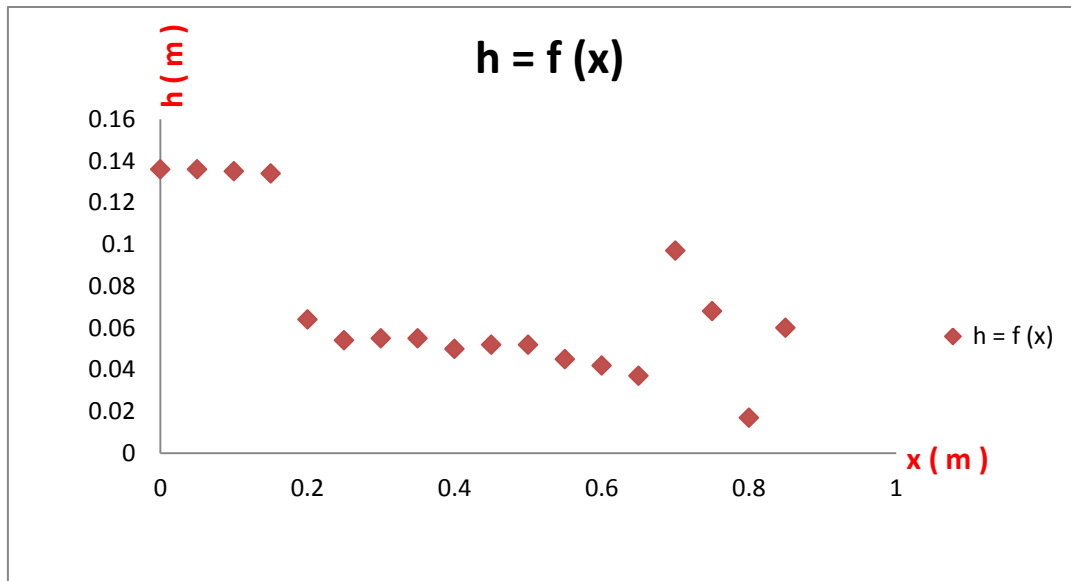


Figure V.8: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0.0012m^3/s$

Expérience N°5 Le débit $Q=0.0015 (m^3/s)$

Tableau V.5 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir

$Q/3600(m^3/s)$	$h (m)$	$X (m)$
0,0015	0,143	0
0,0015	0,142	0,05
0,0015	0,142	0,1
0,0015	0,14	0,15
0,0015	0,067	0,2
0,0015	0,059	0,25
0,0015	0,056	0,3
0,0015	0,062	0,35
0,0015	0,054	0,4
0,0015	0,05	0,45
0,0015	0,05	0,5
0,0015	0,05	0,55
0,0015	0,04	0,6
0,0015	0,04	0,65
0,0015	0,1	0,7
0,0015	0,07	0,75
0,0015	0,026	0,8
0,0015	0,021	0,85

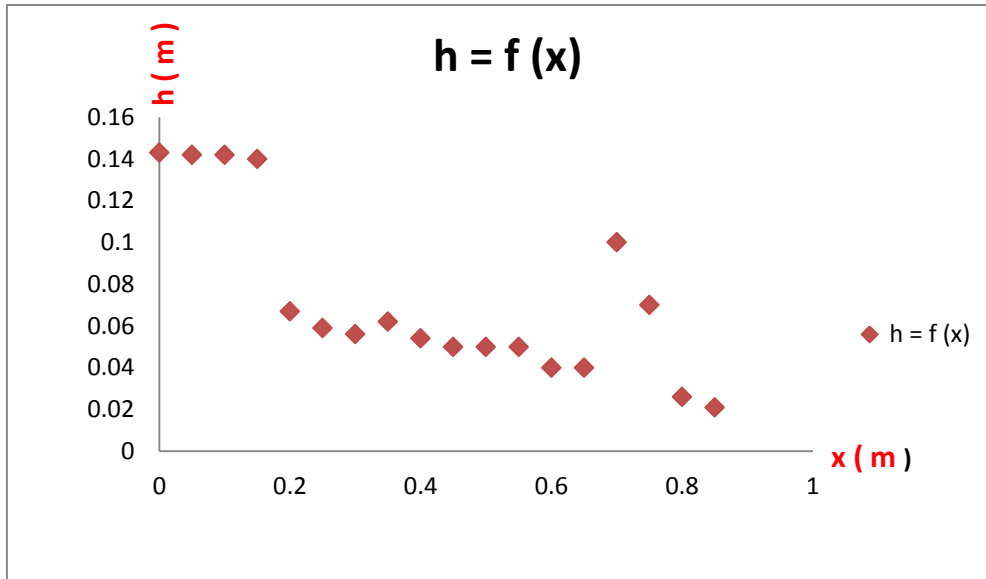


Figure V.9: La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la de largeur du canal d'amené pour un débit $Q= 0.0015m^3/s$

Selon les quatre figures de V.5 jusqu'à V.9, on distingue généralement que le profil du plan d'eau est constitué par trois zones séparées par l'emplacement de déversoir. La première s'apparaitre en amont de déversoir se caractérise par des hauteurs d'eau élevées. A l'entrée de déversoir la lame d'eau s'abaisse brusquement due au l'étranglement qui pousse l'écoulement a s'accélère et garde une parallélisme avec la crête de déversoir. Et la troisième zone c'est celle de l'évacuation vers l'aval de déversoir. En troisième zone les hauteurs d'eau fait des sauts aléatoires. Les mesures de la profondeur d'eau h sont comptées a partir de la crête de déversoir pour tous les valeurs de débits testés.

Les essais II : La pente du canal $I=0$ et la hauteur de pelle $P = D/2 = 3.5\text{ cm}$

Cette fois ci nous testons le même déversoir mais doté par hauteur de pelle P égale à la moitié de son diamètre a fin de minimiser le volume de matériau de construction.

De même procédure de mesure des profondeur d'eau le long de notre deuxième dispositif pour chaque débit. Nous nous limitons à présenter deux expériences des débits min et max.

Les valeurs mesurés sont regroupés dans les tableaux ci-dessous traduisant graphiquement par la variation de h en fonction de X.

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Expérience N°1 Le débit $Q=0.00041(m^3/s)$

Tableau V.6 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir

$Q/3600(m^3/s)$	h (m)	X (m)
0,00041	0,073	0
0,00041	0,073	0,05
0,00041	0,073	0,1
0,00041	0,072	0,15
0,00041	0,072	0,2
0,00041	0,037	0,25
0,00041	0,037	0,3
0,00041	0,035	0,35
0,00041	0,034	0,4
0,00041	0,033	0,45
0,00041	0,031	0,5
0,00041	0,03	0,55
0,00041	0,03	0,6
0,00041	0,028	0,65
0,00041	0,026	0,7
0,00041	0,057	0,75
0,00041	0,054	0,8

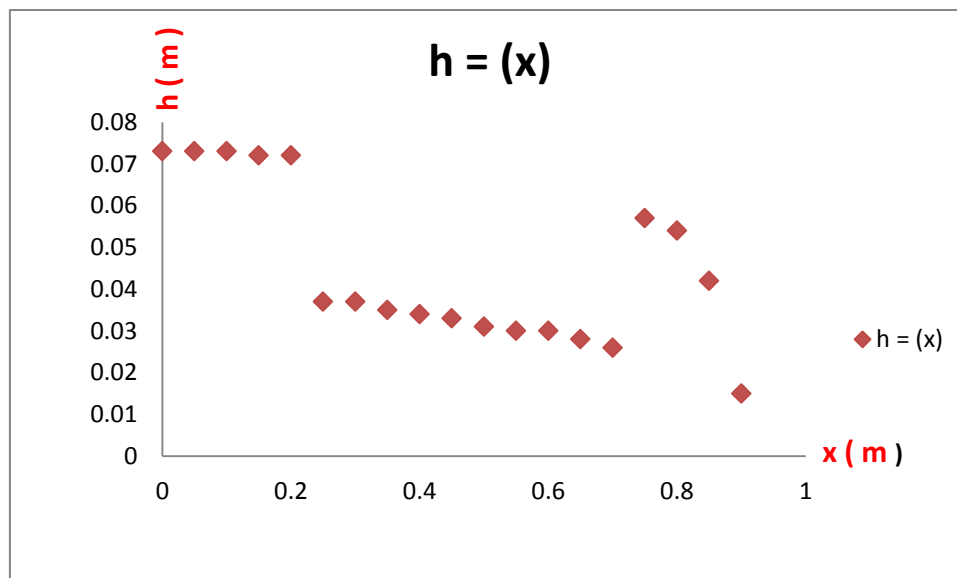


Figure V. 10 : La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de largeur du canal d'aménagé pour un débit $Q= 0.00041 m^3/s$

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Expérience N°2 Le débit $Q=0.00041$ (m^3/s)

Tableau II.7 : Valeurs de la profondeur h en chaque position X de déversoir

$Q/3600$ (m^3/s)	h (m)	X (m)
0,0015	0,105	0
0,0015	0,104	0,05
0,0015	0,105	0,1
0,0015	0,106	0,15
0,0015	0,104	0,2
0,0015	0,069	0,25
0,0015	0,069	0,3
0,0015	0,066	0,35
0,0015	0,058	0,4
0,0015	0,058	0,45
0,0015	0,06	0,5
0,0015	0,053	0,55
0,0015	0,052	0,6
0,0015	0,055	0,65
0,0015	0,051	0,7
0,0015	0,081	0,75
0,0015	0,075	0,8
0,0015	0,061	0,85
0,0015	0,032	0,9

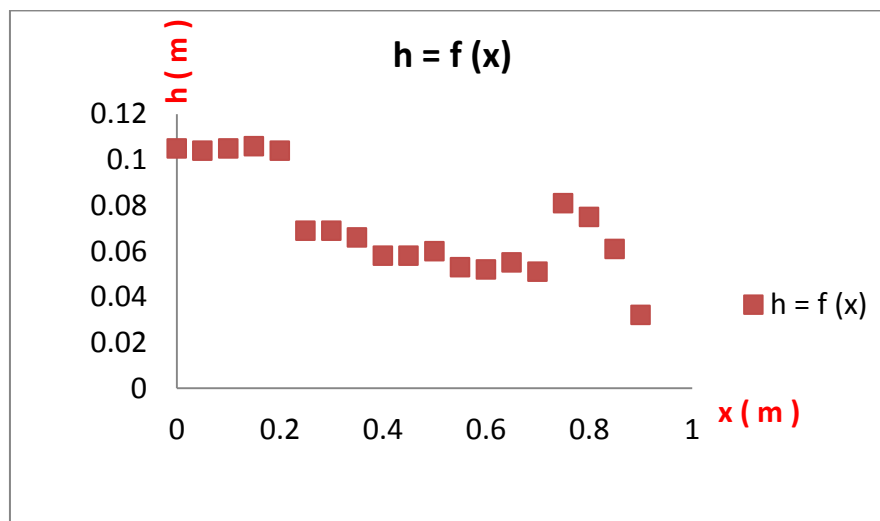


Figure V. 11 : La courbe $h=f(X)$ le long du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de largeur du canal d'aménagé pour un débit $Q= 0.0015m^3/s$

Il ressort à partir des figures que la ligne d'eau en amont de déversoir est parallèle au fond du canal sans aucune perturbation, qui s'explique que le flux est tranquillisé, qui aide à faciliter l'attache de prendre les mesures de hauteur max avec une précision d'une côté et de l'autre côté on peut négliger la quantité de la vitesse d'approche d'écoulement en raison de vitesse faible à cet endroit. Le comportement de l'écoulement à l'aval de déversoir est paradoxal due à la libration vers une

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

chute libre, par la formation d'une nappe libre. La lame d'eau s'exhausse pour perdre une charge revient de l'augmentation de la vitesse.

II.2.4 La Courbe hauteur-Débit

L'un des objectifs visés dans cette partie est de se focaliser sur la courbe de tarage qui caractérise le déversoir épais de demi-circulaire. La courbe a un intérêt primordial dans le domaine de l'hydrométrie.

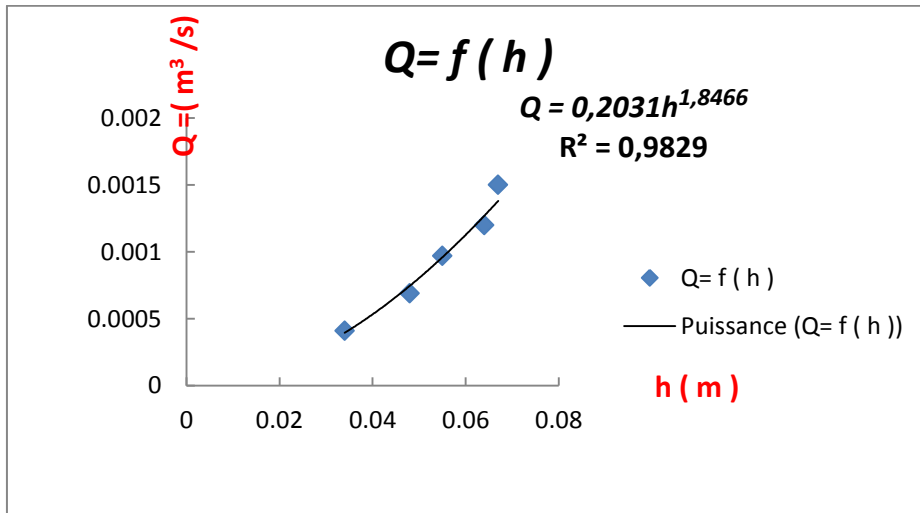


Figure II. V : La courbe $Q=f(h)$ du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la largeur du canal d'aménagé

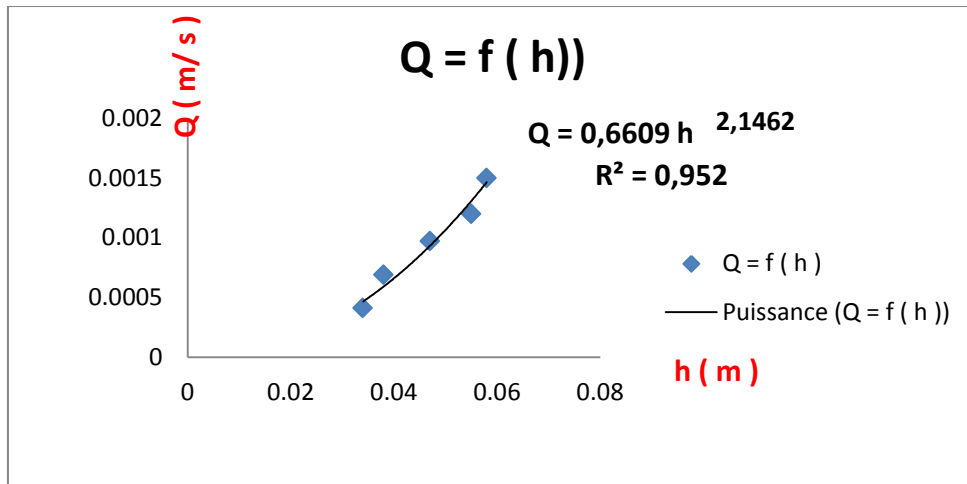


Figure V. 13 : La courbe $Q=f(h)$ du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de la largeur du canal d'aménagé

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

L'utilisation de cette courbe univoque pour le jaugeage des débits des cours d'eau:

- sur les canaux artificiels où règne un écoulement uniforme, c'est-à-dire où les caractéristiques hydrauliques (tirant d'eau, vitesse, pente) sont constantes dans le temps et dans l'espace ; ils agissent d'un cas très rare en réseau hydrométrique.
- sur les cours d'eau à fond stable, à pente modérée et dont le régime n'est pas perturbé par de brusques variations de cotes (crues brutales); le régime d'écoulement permanent, à constance dans le temps des caractéristiques hydrauliques, s'y applique en moyenne.

La courbe $Q=f(h)$ du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la largeur du canal d'aménagé est comme suit :

$$Q = 0,2031h_1^{1,8466} \quad (II.7)$$

Et l'équation du courbe $Q=f(h)$ du déversoir surélevé de hauteur de Pelle P égale à la moitié de la largeur du canal d'aménagé est comme suit :

$$Q = 0,6609h_1^{2,1462} \quad (II.8)$$

Les deux relations (II.7) et (II.8) s'écrivent sous forme :

$$Q = Kh_1^n \quad (II.9)$$

Cette équation est basée selon le principe de l'écoulement libre où:

Q est le débit (m^3/s)

h_1 est le niveau d'eau au point de mesure (m);

n est un exposant en conditions d'écoulement libre;

K est un coefficient en conditions d'écoulement libre (variable selon la dimension du canal).

Donc chaque dispositif caractérise par une relation différente selon les dimensions de fabrication.

II.3 Description de l'appareil et du déroulement

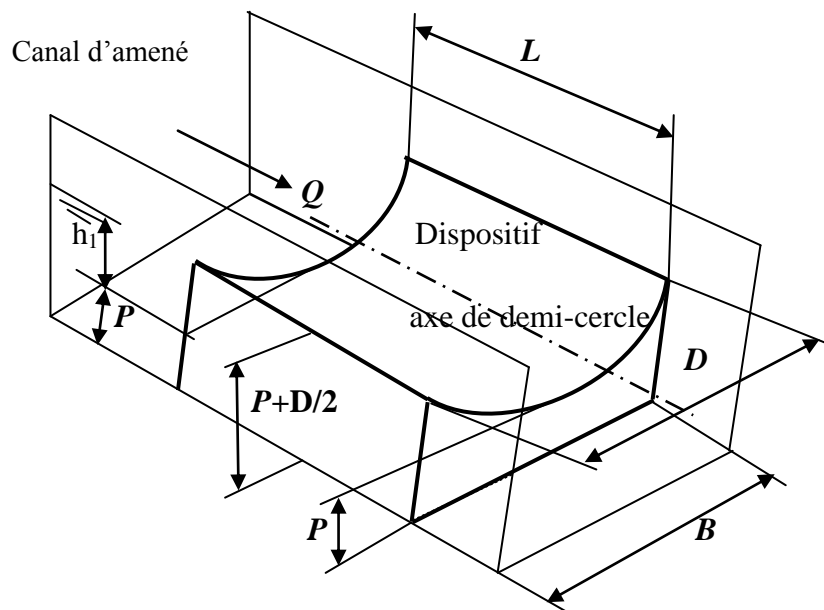


Figure II. 14 : Vue en perspective du dispositif installé dans un canal d'approche rectangulaire

La figure V. 15 montre clairement le dispositif en vue de face lorsqu'il est à l'état sec avant son fonctionnement, tandis que la figure 3 illustre le dispositif en fonctionnement vu de l'aval.



Figure II. 15 : Le dispositif à l'état sec placé dans un canal rectangulaire

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

On constate facilement que l'écoulement en amont du dispositif est calme et tranquille, ne présentant aucune perturbation notable de la surface libre. Cet état est bien confirmé par la figure **II. 17**.

Les formes géométriques du dispositif génèrent ainsi deux contractions du flux. La première contraction est latérale du fait du passage de la section rectangulaire en amont à une section en forme U réduite à l'entrée du dispositif. En effet, la section transversale diminue à partir de la quantité $B(P + D/2)$ correspondant à la section rectangulaire du canal. La seconde est verticale puisque le dispositif est doté d'une hauteur de crête de P .



Figure V. 16 : Vue du côté aval de l'appareil en fonctionnement

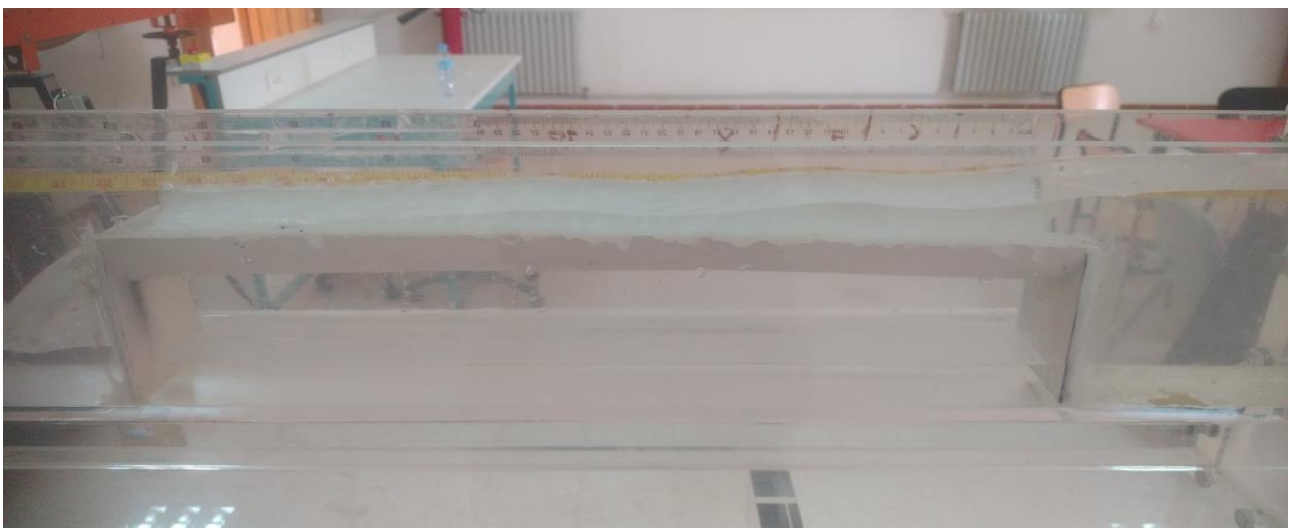


Figure V. 17 : Vue de l'écoulement en amont et en aval de l'appareil.

Écoulement de droite à gauche

II.4 Détermination du coefficient C_d pour un déversoir à seuil épais

Pour un déversoir à crête mince, le coefficient C_d peut être facilement calculé, c'est-à-dire sans utiliser la formule d'expression du coefficient C_v qui dépend de la charge amont H_1 . Comme nous l'avons expliqué dans le premier chapitre de la première partie que 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.

Le coefficient C_d est fonction d'un certain nombre de paramètres :

A travers une relation fonctionnelle qualitative, l'analyse dimensionnelle permet de mettre en évidence les paramètres sur lesquels le coefficient de débit C_d de l'appareil dépend. On peut logiquement énumérer les dix paramètres physiques intervenant dans la problématique actuelle à savoir : le débit Q , la profondeur amont h_1 comptés sur la crête, la hauteur de crête P , la largeur du canal B , diamètre de l'appareil D , la longueur de crête L , l'accélération due à la gravité g , la densité du liquide en écoulement ρ , la viscosité dynamique μ du liquide et la tension superficielle σ .

Ces paramètres sont interdépendants par la relation fonctionnelle suivante :

$$f(Q, g, \rho, \mu, \sigma, h_1, B, D, P, L) = 0 \quad (II. 10)$$

En utilisant le théorème π de Vashy-Buckingham (Langhaar, 1951), la fonction exprimant la relation coefficient de débit C_d en fonction de paramètres sans dimension peut être dérivée comme suit :

$$C_d = \phi \left(R_e, W_e, \frac{h_1}{L}, \frac{h_1}{B}, \frac{h_1}{P}, \frac{h_1}{D} \right) \quad (II. 11)$$

Il est à noter que compte tenu de la nature de l'écoulement en amont de seuil, l'effet du nombre de Reynolds R_e n'est pas du tout significatif. De plus, l'effet de la tension superficielle exprimé par le nombre de Weber W_e n'apparaît que pour de faibles débits Q et pour de petites valeurs de l'angle au

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

sommet θ , c'est-à-dire pour un cas de gorge serrée. En revanche, l'influence de la longueur L peut être négligée à condition que le rapport L/h_1 excède la valeur seuil définir les critères généraux à crête.

En tenant compte de toutes ces considérations et on a $D=B$, Éq. (II. 11) réduite :

$$C_d = \varphi \left(\frac{h_1}{B}, \frac{h_1}{P}, \frac{h_1}{D} \right) \quad (II. 12)$$

Le 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 et 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.

Cependant, la ligne d'eau peut ne pas « devenir » parallèle à la crête du seuil comme précédemment

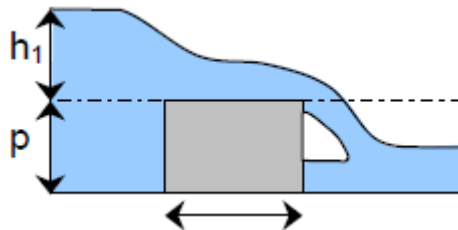


Figure V. 18 :Seuil à crête épaisse (La nappe s'abaisse jusqu'à obtenir un parallélisme avec la crête du déversoir et passe par une hauteur critique, notée h_c)

II.4.1. Le coefficient C_d expérimental

La présente étude s'intéressant à la mesure de débit dans des canaux ouverts, il est recommandé de mesurer expérimentalement le débit Q avec la plus grande précision possible. Pour répondre à cette exigence, un rotamètre, d'une précision de l'ordre de 0,1 à 0,2 l/s, a été utilisé. Quant à la profondeur amont h_1 , elle constitue un paramètre important dans l'évaluation du débit. Plus la profondeur h_1 est effectuée avec précision, plus l'évaluation du débit est fiable et acceptable. Il est donc recommandé de prendre mesures de la profondeur d'écoulement à l'aide d'un appareil aussi précis que possible. Pour minimiser les erreurs de lecture sur la profondeur h_1 , le limnimétrie à double précision gradué au 1/10 ème a été utilisé avec une erreur absolue de 0,02 mm.

Etude expérimentale d'un déversoir épais de forme demi-circulaire

Pour chaque test, c'est-à-dire pour chaque paire de valeurs mesurées (Q_{Exp} , h_1), le coefficient de débit expérimental du dispositif testé est calculé selon la relation suivante en conformément à l'équation (II.13) :

$$C_{d\ exp} = \frac{Q_{exp}}{\sqrt{2g} \left(\frac{D^2}{8} \left(2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - 2 \frac{h_1}{D} \right) - \sin \left(2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - 2 \frac{h_1}{D} \right) \right) \right) \right) h_1^{1/2}} \quad (II.13)$$

Les valeurs expérimentales de la profondeur amont h_1 ainsi que les débits Q sont donnés dans les tableaux V.8 à V.9, pour les deux appareils pour les hauteurs de pelles P proposées respectivement $P=D$ et $P=(D/2)$.

1. Le coefficient C_d expérimental de déversoir doté d'une hauteur de pelle $P=D$

Tableau V.8 : Valeurs de coefficient de débit expérimental calculer par la relation (II.5)

Q_{Exp} (m ³ /s)	h_1 (m)	Cd_{Exp}
0,00041	0,032	0,28779945
0,00069	0,042	0,29859413
0,00097	0,048	0,33474124
0,0012	0,054	0,34236183
0,0015	0,059	0,37396034
$C_{dExp\ moy} \approx 0,323$		

2. Le coefficient C_d expérimental de déversoir doté d'une hauteur de pelle $P=D/2$

Tableau V.9 : Valeurs de coefficient de débit expérimental calculés par la relation (II.5)

Q_{Exp} (m ³ /s)	h_1 (m)	Cd_{Exp}
0,00041	0,034	0,25785197
0,00069	0,038	0,35572523
0,00097	0,047	0,34667545
0,0012	0,055	0,33270397
0,0015	0,058	0,38356283
$C_{dExp\ moy} \approx 0,3353$		

Le coefficient de débit a pour but de corriger l'expression de débit théorique. Le calcul montre que le coefficient de débit expérimentale pour les deux dispositifs sont presque égaux avec une légère différence produite par la différence de hauteur de pelle. Donc on peut dire que l'effet de la hauteur de pelle est significatif.

Conclusion

Cette investigation expérimentale avait comme objectif l'étude du déversoir a seuil épais de forme demi-circulaire fonctionnant dans des conditions d'écoulement libre. Pour ce faire, il était nécessaire d'analyser expérimentalement dans la phases correspond le fonctionnement du déversoir a seuil épais dans des conditions d'écoulement libre (dénoyé).

L'expérimentation sous les conditions d'écoulement libre ou dénoyé s'est intéressée essentiellement aux conditions d'entrée et de sortie de l'écoulement à travers notre appareil. Ces conditions sont de doter le déversoir par une hauteur de pelle signifiante constante le long de déversoir , en premier lieu pour garder la même pente du canal d'amené et en seconde lieu pour créer un obstacle de freiner l'écoulement et le rend calme afin de facilité la mesure des hauteurs d'eau sans perturbation et sans tension superficielle.

L'expérimentation réalisée sur deux types de disposition (avec hauteur de Pelle P égale à la largeur du canal d'amené et à la moitié de largeur du canal d'amené) a montré que effet de cette surélévation provoque le changement de régime d'écoulement de fluvial au torrentiel passant par le régime critique. Le débit qui transite par un déversoir est souvent exprimé par la relation : $Q = Kh_1^n$, avec chaque dispositif est donné par une relation différente dépend de la valeur de hauteur de pelle P.

Le débit qui transite par un déversoir est souvent exprimé par le coefficient de débit qui représente l'efficacité d'un déversoir donné L'effet de la hauteur de pelle sur la capacité du déversoir peut être déterminé par la variation du coefficient de débit. Les résultats obtenus de coefficient de débit expérimental montrent qu'il ya un faible effet, Ceci est dû à la convergence des valeurs des deux coefficients

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent mémoire a eu pour principal objectif la conception, la réalisation et l'expérimentation d'un nouveau type d'appareil de mesure de débit dans les canaux ouverts. Notre choix s'est porté sur un élément de forme demi-circulaire à seuil épais de diamètre égal au largeur du canal d'amené, il est muni d'une hauteur de pelle et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée de forme rectangulaire dans lequel il est inséré. L'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section du canal d'amenée.

Pour mieux mener notre travail, nous avons présenté notre mémoire en deux parties. Au cours de la première partie, nous avons passé en revue les principaux appareils de mesure du débit dans les canaux à ciel ouverts utilisés dans la pratique de l'ingénieur. Nous pouvons noter que ces appareils présentent tous une loi hauteur-débit. Cette partie contient trois chapitres. Les deux premiers chapitres qui expliquent et montrent deux grandes catégories d'appareils. Le troisième chapitre montre les conditions d'une station hydrométrique.

Les deux premiers chapitres montrent la première catégorie correspond aux appareils utilisant le libre déversement par-dessus une paroi plane verticale placée en travers de l'écoulement. Ces appareils sont appelés déversoirs et sont dotés soit d'une échancrure de forme rectangulaire, soit d'une échancrure de forme triangulaire, et de forme trapézoïdale, les déversoirs sont dotés, dans leur ensemble, d'une hauteur de pelle qui provoque une contraction verticale de l'écoulement lorsque le dispositif est dépourvu d'une contraction latérale de sa géométrie. Par contre, pour ceux dotés d'une hauteur de pelle et d'une contraction latérale, l'écoulement qui les franchit subit à la fois les contractions verticale et horizontale.

Nous avons montré que toutes les relations exprimant le débit transitant à travers ces déversoirs contiennent des termes correctifs. Le plus important d'entre eux est le coefficient de débit μ . Nous avons tenté de définir aussi clairement que possible les limites d'applicabilité des divers déversoirs présentés en indiquant les gammes de valeurs des paramètres hydrauliques de l'écoulement et géométrie de l'appareil.

Nous avons poursuivi notre étude bibliographique par un bref rappel des dispositifs de mesure de débit dans les canaux ouverts, constitués d'un seuil épais ou large. Leur profil en long peut être de forme triangulaire ou rectangulaire. Nous avons alors présenté les déversoirs à paroi épaisse de type Bazin et de type Crump. Nous avons indiqué leurs caractéristiques géométriques et notamment les valeurs de leurs pente amont et aval. Les conditions de leur bon fonctionnement ont été également présentées, tout en insistant sur la nécessité de leur strict respect. Ce sont des

dispositifs qui provoquent exclusivement une contraction verticale de l'écoulement en raison de leur hauteur de pelle. Ils sont par contre démunis de toute contraction latérale de leur géométrie; leur largeur correspond donc à celle du canal d'amenée rectangulaire dans lequel ils sont insérés.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté d'une façon globale les conditions et les règles qui doivent strictement être respectées sur le plan de la conception et la fonction d'une station hydrométrique. Celle-ci est considérée comme un moyen le plus classique de mesure des débits évoluant un canal artificiel ou un cours d'eau.

La deuxième partie de notre mémoire, a été consacrée à l'exposé de notre modeste contribution dans la conception, d'un nouveau type de dispositif de mesure de débit dans les canaux ouverts. Notre attention a été portée sur un élément de forme demi-circulaire à seuil épais et de diamètre égal au largeur du canal d'amené. Il est muni d'une hauteur de pelle et son axe longitudinal se confond avec celui du canal d'amenée dans lequel il est inséré. Le dispositif Placé dans un canal de section rectangulaire constante, l'appareil provoque un rétrécissement brusque de la section. La veine liquide s'y écoulant subit une surélévation pour franchissant le seuil. L'écoulement dans le canal d'amenée rectangulaire est en régime fluvial et se transforme en régime torrentiel à l'intérieur du dispositif. Cette transformation s'opère par une section de contrôle qui apparaît alors quelque part à l'aval du rétrécissement. L'objectif principal de cette partie de notre étude a été de définir le comportement de l'écoulement franchissant le dispositif. Les résultats obtenus montrent que les valeurs de Nombre de Froude passe par l'unité qui s'exprime l'accomplissement de régime critique au dessus de dispositif en connaissant son endroit exacte.

L'analyse des mesures expérimentales obtenues a permis de montrer que l'expression de débit volume, dépendant des caractéristiques géométriques des dispositifs et de la profondeur h_1 de l'écoulement dans le canal d'amené, exprimé par la relation : $Q = Kh_1^n$, avec chaque dispositif est donné par une relation différente dépend de la valeur de hauteur de pelle P.

L'objectif principal des essais effectués, sur les deux dispositifs choisis, a donc été d'estimer quantitativement le coefficient de débit expérimental C_{dExp} . Les débits volumes Q ont été évalués par un débitmètre à rotamètre, tandis que les hauteurs déversées h_1 ont été mesurées à l'aide d'un limnimétrie à vernier à double précision.

Références bibliographiques

1. ACHOUR B., BOUZIANE M.T., NEBBAR K. (2003). Débitmètre triangulaire à paroi épaisse dans un canal rectangulaire, Larhyss Journal, 2, 7-43, Juin.
2. ACHOUR. B.(1989).Débitmètre à ressaut en canal de section droite triangulaires an sseuil, J.Hydraulic Research, Vol. 27, n° 2, 205-214.
3. Balachandar, R, Silvana S (1991) A note on circular sharp-crested weirs, Canadian Journal of Civil Engineering
4. BAZIN H., 1894. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir, Annales des Points et Chaussées, Mémoires et Documents (7e Série) Tome VII.
5. BOS M.G.(1976).Discharge measurement structures, hydraulic laboratory, Wageningen, The Netherlands, Rapport 4, May
6. BOUSSINESQ J.M. (1877). Théorie des eaux courantes. Mémoires présentés par divers savants, Vol. 23,Académie des Sciences, France.
7. CARLIERM.(1972). Hydraulique Générale et Appliquée. Ed. Eyrolles,Paris.
8. CRUMP E.S. (1952). A new method of gauging stream flow with little afflux by means of submerged weir of triangular profile. Proc. Inst. Civ. Eng., Vol. 1, London.
9. FRANCIS J.B., 1884. Experiments on the flow of water over submerged weirs. American Society of Civil Engineers Transactions, pp. 303-312.
10. GOUZROU,A:‘ l ’hydraulique au pluriel’,MarrakechEdition2013, Maroc.
11. GRAF,W–Hydraulique fluviale (TomeI).Ecoulement permanent un iforme et non uniformed (1993).
12. HAGER W.H. (1986). Discharge measurement structures, Communication 1, Département de Génie Civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.
13. HAGER,W.H.etSCHLEISS,A.J.:’’ConstructionsHydrauliques’’.Volume15,Deuxième édition Presses Poly techniques Romandes, 2009.
14. LADREYT S., LABORIE V., 2005. Notice sur les déversoirs, Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF), France, pp 21-71.
15. LANCASTREA.(1961).Manueld’hydrauliquegénérale.EditionEyrolles,Paris.
16. LENCASTRE,A. :’’Hydraulique générale’’.Eyrolles, Paris,1996.
17. LENZ A.T.(1943).Viscosity and surface tension effectson V-notch coefficients, Trans. ASCE, Vol. 108, 759-781.
18. RAMPONIF. (1949).Sulleformedi imbocco deicanali e delle operediscarico superficiali, L'Energia Electrica, Vol. 26, 453-460.

19. Abed, Mourad. Contribution à l'étude de l'écoulement uniforme dans une conduite fermée de forme circulaire. Diss. Université Mohamed Khider-Biskra, 2010
20. Carlier M., (1980), Hydraulique générale et appliqué, Eyrolles, pp. 189-215.
21. (Carlier .M, 1986). Hydraulique générale et appliquée, Editions Eyrolles , Paris
22. LANGHAAR H.L. (1951). Dimensional Analysis and Theory of Models, John Wiley and Son Ltd, 1st Edition, 166.