

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Etude de la fiabilité des moyen de controle de l'écoulement
dans un canal réctangulaire..**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0019-18

APA Citation (APA توثيق):

**Tahri, Malika (2019). Etude de la fiabilité des moyen de controle de l'écoulement
dans un canal réctangulaire.[Thèse de master, ENSH].**

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

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

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

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

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

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS

"The MujahidAbdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵎⴰⵔⵉⵜ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ ⵏ ⵉⵎⵓⵏⵏ

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: ASSAINISSEMENT

THEME :

**ETUDE DE LA FIABILITE DES MOYENS DE CONTROLE
DE L'ECOULEMENT DANS UN CANAL
RECTANGULAIRE**

Présenté par :
TAHRI Malika

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
AMMARI Abdelhadi	M.C.A	Président
KAHLERRAS Djillali	M.C.B	Examineur
AMMOUR Fadhila	M.A.A	Examineur
SALHI Chahrazed	M.A.A	Examineur
MOKRANE Wahiba	M.A.A	Promotrice

Session :Septembre-2019

ملخص

المسيل المائي جهاز لا غنى عنه لقياس التصريف. وفي هذا السياق ، يهدف عملنا إلى دراسة موثوقية المسيل المائي الذي له عدة أنماط وأشكال مختلفة . وفقاً لاختبار اتنا التجريبية في قناة مستطيلة شفافة ، وجدنا أن المسيل ذو شكل مثلث و الذي له نفس حدود تطبيق هندريك هو الأكثر موثوقية في قياس التدفق, هذا من ناحية.

ومن ناحية أخرى ، قمنا بإنجاز مسيل أسطواني الشكل مزود بمسبار كهربائي للقراءة المباشرة للتدفق والذي يبدو لنا الأسهل في استخدامه.

كلمات المفتاحية: المسيل المائي ، الجريان السطحي الحر ، قياس التدفق.

Résumé

Les déversoirs outils indispensables pour le contrôle et la mesure des paramètres de l'écoulement à surface libre sont de divers types et formes. Cependant l'exactitude des mesures et la facilité d'utilisation change d'un type à un autre. C'est dans ce contexte, qu'entre l'objectif de notre travail dans lequel nous visons l'étude de la fiabilité de déversoirs de différents types qui nous a révélé, d'après nos essais expérimentaux sur un canal rectangulaire transparent, que le déversoir triangulaire à paroi mince pour les mêmes limites d'application de Hyndrique d'une part. D'autre part c'est la réalisation d'un déversoir cylindrique muni d'une sonde électrique pour une lecture directe du débit dont la loi est de type puissance et qui nous parait le plus facile à utiliser.

Les mots clé : déversoir, contrôle , mesure , écoulement à surface libre .

Abstract

Spillways are indispensable tools for the control and measurement of free surface flow parameters and they are of various types and forms. However, the accuracy of the measurements and the ease of use vary from one type to another. Accordingly, the objective of this work is to study the reliability of weirs of different types which revealed to us, according to our experimental tests on a transparent rectangular channel, that triangular weir has the same application limits of Hyndrique on the one hand. On the other hand, it has been realized that a cylindrical weir equipped with an electric probe for a direct reading of the flow of which a power is adopted, seems to us the easiest to use.

Key words : Spillways, control , measurement, rectangular channel.

∞ Remerciements ∞

Avant tout, je remercie le bon Dieu qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de force et de sagesse, ainsi la bonne volonté pour achever ce modeste travail.

Mes profonds remerciements s'adressent à mon promoteur Mme. W.MOKRANE, qui s'est toujours montrée disponible et à l'écoute tout au long de l'élaboration de ce mémoire, et pour l'aide qu'elle m'a offert durant la période de la réalisation de ce travail.

A monsieur H.AHMEED LKHAL ET monsieur ZAROUKAT pour sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

A Monsieur A.AMMARI qui me fait l'honneur de présider mon jury. A monsieur D.KAHLERRAS, madame F.AMMOUR et madame C.Salhi qui m'ont fait l'honneur d'examiner mon travail. Je les remercie également de m'avoir enseignées durant mon cursus universitaire.

Mes remerciements vont à tous les enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique et particulièrement à ceux et celles qui ont contribué à ma formation.

TAHRI Malika

∞ Dédicace ∞

Je dédie ce mémoire en priorité à ma famille :

Ma mère OUZINA et Ma sœur SOUMIA

Qui m'ont toujours guidés et orientés sans jamais se laisser et en particulier pour leurs encouragements durant tout mon cursus universitaire. Recevez à travers ce modeste travail l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent que vous m'avez donné.

Je tiens également à dédier ce mémoire à ma grand-mère FAFÀ

ET À MES AMIES.

Merci à tous ceux qui m'ont soutenue au cours de la réalisation de ce mémoire

TAHRI Malika

Table des matières

Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralité	
I.1. Généralité.....	2
I.2. Écoulements à surface libre.....	2
I.3. Notions générales.....	2
I.4. Les différents régimes d'écoulement.....	4
I.4.1. Régime permanent	4
a. Écoulement permanent uniforme	4
b. Écoulement permanent varié.....	4
I.4.2. Régime transitoire.....	4
I.5. Outils de Contrôle des écoulements libres	5
I.5.1. Déversoirs.....	5
a. Définition	5
b. Fonctionnement.....	6
c. Principe de dimensionnement.....	6
d. Les différents type des déversoirs.....	7
e. Utilité des déversoirs	9
I.5.2. Canal de venturi	10
I.6. Conclusion	10
Chapitre II : Synthèse bibliographique	
II.1. Introduction	11
II.2. Déversoir à ; paroi mince	11
II.3 Déversoir à crête épaisse.....	15

II.4 Déversoir cylindrique	16
II.4 Problématique.....	17
II.5 Conclusion	17

Chapitre III : Etude théorique

III.1.Introduction.....	18
III.2.Caractéristiques géométriques des déversoirs	18
III.3.Méthodologie de calcul de débit déversé.....	19
III.4. Type de crête du seuil.....	19
III.5.Incertitude sur le type de crête du seuil.....	19
III.6. Formule adéquate du débit déversé.....	20
III.6.1.Déversoir à crête mince	20
III.6.1.1.Déversoir rectangulaire	20
a. Cas déversoir rectangulaire sans contraction latérale.....	21
b. Cas déversoir rectangulaire sans contraction latérale	22
c. Valeurs usuelles du coefficient de débit μ	24
III.6.1.2.Déversoir à échancrure triangulaire.....	24
III.6.1.3.Déversoir trapézoïdal	28
III.6.2. Déversoir à crête épaisse.....	32
III.6.2. 1. Détermination de C_v	30
a. écoulement à nappe dénoyé.....	30
b. écoulement à nappe noyé.....	31
c. Déversoir à crête épaisse avec arête arrondie	32
d. Valeur usuelles	34
III.7. Calcul des erreurs.....	35
III.7. 1. Précision sur le calcul des différents coefficients	35
III.7. 2. Type d'erreur	35

a. Erreur de mesurage débit.....	35
III.8 Conclusion.....	35

Chapitre IV : Etude expérimentale

IV.1.Introduction	36
IV.2.Déscription de l'installation expérimentale.....	36
IV.2.1. Le canal.....	36
IV.2. 2.Les déversoirs	40
IV.2.2.1.Déversoirs à crête mince	40
a. Déversoir triangulaire	40
b. Déversoir rectangulaire	40
b.1. Sans contraction latérale.....	40
b.2. Avec contraction latérale.....	41
c. Déversoir trapézoïdal	41
IV.2.2.2.Déversoirs à crête épaisse.....	42
a. A paroi épaisse avec arrête arrondie.....	43
b. A paroi épaisse avec arrête vive	43
IV.3.Realisation du déversoir cylindrique	49
IV.3.1.Choix de matériaux.....	49
a. Les plaques de métal.....	43
b. Les tubes en PEHD	43
IV.3.2.Conception.....	45
IV.4.Conception de la sonde électrique	46
IV.4.1.Etude théorique	46
a. La conductivité et la résistivité de l'eau.....	46
b. La diod LED.....	48
c. Les convertisseurs AC-DC.....	48

IV.4.2.Le principe de fonctionnement.....	49
IV.5.3.Conception	50
IV.4.4.Réalisation	51
IV.5. Essais expérimentaux	53
IV.6.Conclusion	54

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1.Introduction	55
V.2.Résultat expérimentaux.....	55
V.3.Interprétation des résultats	60
V.4 Interprétation des lignes d'eau à travers les déversoirs cylindriques.....	61
V.6.Étalonnage de la sonde	73
V.7 Conclusion	73
Conclusion Générale.....	74

Liste des Tableaux

Tableau.III.1 :.Limites d'application pour un déversoir triangulaire à contraction complète.	25
Tableau.III.2 :.Limites d'application pour un déversoir triangulaire à contraction partielle ...	26
Tableau.III.3 :.Coefficient de débit en fonction de α	27
Tableau.III.4 : Les valeurs de m.....	31
Tableau IV.1 : Les caractéristique de tube PE.	44
Tableau IV.4 : Conductivité et résistivité de différentes solutions a 25 °C.....	47
Tableau V.1 : Les caractéristiques statistiques.....	60
Tableau V.1 : Les résultats du test des limites d'application des formules de calcul de débit.	64
Tableau V.2 : Les formule de calcul de débit les plus fiable	71
Tableau V.3 : Le calcul d'erreur pour les formules de débit les plus faible.	72
Tableau V.4 : Calcul d'erreur pour les déversoirs cylindriques.	73

Listes des Figures

Figure I.1 : Schémas de la charge hydraulique dans un canal	2
Figure I.2 : Charge spécifique en fonction du nombre de Froude.....	3
Figure I.3 : Classification de l'écoulement unidimensionnel	5
Figure I.4 : Variation du débit de référence à travers le déversoir. Source (Lipeme 2004).....	6
Figure I.5 : principe de dimensionnement d'un déversoir.....	7
Figure I.6 : Vue d'un déversoir complexe.....	9
Figure I.7 : Représente un venturi mètre	10
Figure II.1 : Les déversoirs à paroi mince	11
Figure II.2 : Coefficient de débit C_d en fonction de H/H_d	14
Figure II.3 : L'écoulement le long du cylindre sous l'eau libre	17
Figure.III.1 : Coupe longitudinale d'un déversoir avec caractérisation de l'écoulement.....	18
Figure III.2 : Vue en plan d'un déversoir sans contraction latérale et d'un déversoir oblique.....	18
Figure.III.3 : Coupe longitudinale de deux types d'ouvrages (à crête épaisse et à crête mince incliné).....	19
Figure.III.4 : Déversoir rectangulaire sans contraction latérale.....	21
Figure.III.5 : Déversoir rectangulaire avec contraction latérale.....	23
Figure.III.6 : Déversoir triangulaire à contraction complète.....	25
Figure.III.7 :Déversoir triangulaire partiellement contracté.....	25
Figure.III.8 : Déversoir de Cipolletti ..	29
Figure.III.9 : Schéma de déversoir à crête épaisse.....	30
Figure.III.10 : Déversoir à crête épaisse avec écoulement dénoyé..	31

Figure.III.11 : déversoir à crête épaisse avec écoulement noyé	31
Figure.III.12 :Déversoir à crête épaisse avec arête arrondie en écoulement dénoyé.	32
Figure.III.13 . : Déversoir à crête épaisse avec arête arrondie en écoulement noyé.....	33
Figure.IV.1 :Le canal expérimental.....	36
figure.IV.2 : Schéma des éléments constituant le canal expérimental.....	36
Figure.IV.3 : Le réservoir.....	37
Figure.IV.4 : Élément de Pompage du dispositif expérimentale.....	37
Figure.IV.5 : Débitmètre électromagnétique.....	38
Figure.IV.6 : Réglage de l'inclinaison.....	38
Figure.IV.7 : Schéma du coffret de commande.....	39
Figure.IV.8 : Représente le limnimètre	39
Figure.IV.9 : Déversoir triangulaire	40
Figure.IV.10 : Dimension de déversoir triangulaire en (mm)	40
Figure.IV.11 : Déversoir rectangulaire sans contraction latérale	40
Figure.IV.12 Dimensions du déversoir rectangulaire sans contraction latérale en (mm).....	40
Figure.IV.13 : Déversoir rectangulaire avec contraction latérale	41
Figure.IV.14 : Dimensions du déversoir rectangulaire avec contraction latérale en (mm).....	41
Figure.IV.15 : Déversoir trapézoïdale.....	41
Figure .IV.16 : Dimension de déversoir trapézoïdale en (mm).....	41
Figure.IV.17 : Déversoir a seuil épais.....	42
Figure.IV.18 : Déversoir à parois épaisse avec arêtes vives.....	42
Figure.IV.19 : Déversoir à parois épaisse avec arrêtes arrondies.....	42
Figure.IV.20 : Dimensions du déversoir à paroi épaisse avec arrête arrondie et vive.....	43
Figure IV.21 : Les valeurs d'abrasion des différents matériaux des tubes.....	44
Figure IV.22 : Conception 3D de la perforation du cylindre 200 mm.....	45
Figure IV.23 : La perforation de cylindre.....	45

Figure IV.24 : L'état final de déversoir cylindrique.	46
Figure IV.25 : La conductivité de l'eau	47
Figure IV.26 : Le principe de fonctionnement de LED.....	48
Figure IV.27 : Schémas de convertisseur.....	49
Figure IV.28 : Montre le principe de fonctionnement de la sonde.....	50
Figure IV.29 : Conception 3D de la sonde et l'afficheur à l'aide de solidworks.....	50
Figure IV.30 : Schémas électrique de la sonde.....	51
Figure IV.31 : Réalisation de l'afficheur	52
Figure IV.32 : La réalisation de la sonde.....	58
Figure IV.33 : L'assemblage de la sonde et l'afficheur.....	53
Figure IV.33 : L'assemblage de la sonde et déversoir cylindrique.....	54

Figure VI.1 : Variation logarithmique de débit avec la hauteur h_2 pour le déversoir cylindrique de diamètre 200 m.....	56
Figure V.2 : Variation logarithmique de débit avec la hauteur h_1 pour déversoir cylindrique de diamètre 200 mm.....	57
Figure V. 3 : Variation logarithmique du débit avec la hauteur h_1 pour déversoir cylindrique de diamètre 250 mm	58
Figure V. 4: Variation logarithmique de débit avec la hauteur h_2 (débit/hauteur ²) pour déversoir cylindrique de diamètre 250 mm.....	59
Figure V.5 : Lignes d’eaux à travers le déversoir cylindrique de diamètre 200 mm.....	62
Figure V.6 : Lignes d’eaux à travers le déversoir cylindrique de diamètre 250 m.....	63
Figure V.7 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule valeurs usuelles.....	65
Figure V.8 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule Kindsvateret Carter	65
Figure V.9 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule des valeurs usuelles.....	66
Figure V.10 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Réhbock.....	66

Figure V.22 Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule Kindsvater et Carter	66
Figure V.23 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Réhbock.....	67
Figure V.24 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule des valeurs usuelles.....	67
Figure V.25 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Gourley et Cramp	68
Figure V.26 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Cône.....	68
Figure V.27 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Hyndrique.....	69
Figure VI28 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Gourley et Cramp.....	69
Figure V.29 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule des valeurs usuelles.....	70
Figure V.30 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Rao et Shulka.....	70
Figure V.31 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule des valeurs usuelles.....	71



Introduction

Générale

Introduction Générale

L'homme a besoin des ressources d'eau pour survivre. Les besoins en eau augmentent sans cesse à cause du développement démographique rapide ainsi que l'intensification de l'industrie s'ajoutant à l'agriculture, aujourd'hui les gouvernements doivent mettre en place des mesures drastiques afin d'y remédier à la situation.

Les acteurs de l'eau se sont toujours donné comme objectif la mobilisation et la bonne utilisation de cette ressource. Les débits destinés aux consommateurs d'une façon rationnelle et sans gaspillage.

Dans le contexte du contrôle de cette ressource, des moyens de mesure de son débit sont actuellement nombreux, mais le choix d'un type par rapport à un autre demeure une problématique de l'ingénieur. C'est pour cela que plusieurs scientifiques chercheurs se sont intéressés à ce type d'ouvrages. Diverses investigations ont été menées, dans le cadre du contrôle des écoulements à travers les déversoirs, afin de définir les formules de calcul de débit les plus adéquates.

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 un canal à surface libre, les moyens de mesure du débit sont différents.

Le présent travail consiste à étudier la fiabilité de mesure de débit en utilisant trois différents types de déversoirs, à savoir: le déversoir à paroi mince, le déversoir à paroi épaisse et le déversoir cylindrique. Pour connaître les caractéristiques de l'écoulement à travers ces déversoirs, à savoir les coefficients de débit, la hauteur de la lame d'eau déversée et d'établir les erreurs effectués sur ces variantes.

D'autre part l'étude du déversoir cylindrique a été effectuée sur un élément que nous allons réaliser à partir de l'idée proposée par W.Hagar et que nous allons développer en suggérant de l'accompagner d'une sonde électronique qui va permettre une lecture directe de débit.

Pour aboutir à notre objectif nous allons adopter un plan de travail dont le détail va suivre.

La première partie va être réservée à des généralités sur les déversoirs ainsi que sur les écoulements à surface libre.

La deuxième partie va être consacrée à une synthèse bibliographique sur les travaux antérieurs dans le même contexte de notre objectif et en adoptant un ordre chronologique. Dans cette partie nous visons particulièrement l'état de connaissance sur les formules proposées pour le débit déversé en fonction de la lame d'eau déversé au-dessus du seuil des déversoirs.

L'étude théorique visant la formulation de l'expression du débit pour chaque type de déversoir va être abordée dans la troisième partie.

La quatrième partie va avoir comme objectif l'étude expérimentale des différents déversoirs dans le but de connaître la fiabilité des moyens de contrôle de l'écoulement à surface libre et de réaliser le déversoir cylindrique ainsi que la sonde électronique. Les essais vont être effectués, au laboratoire d'hydraulique appliquée de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida, sur un canal de type rectangulaire.

Dans la cinquième partie nous allons faire l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus par nos essais expérimentaux tout en comparant les résultats issus des expériences sur les différents déversoirs.

Enfin notre travail va être achevé par une conclusion générale englobant les résultats et les perspectives.



CHAPITRE I :

Généralité

I.1. Généralité

L'objectif principal de ce chapitre est de faire un rappel de quelques notions concernant l'écoulement à surface libre dans un canal de forme rectangulaire et de définir les moyens de contrôles de ces écoulements et leurs classifications.

I.2. Écoulements à surface libre

C'est un écoulement défini par une pression régnante sur sa surface libre égale à la pression atmosphérique. Les écoulements dans les canaux naturels et artificiels (irrigation, assainissement) sont, des écoulements à surface libre.

I.3. Notions générales

Le débit

Il est donné par la relation suivante

$$Q = V \times S \quad (I.1)$$

Q : Débit (m³/s).

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

S : Surface mouillée (m²).

Charge hydraulique

C'est l'énergie mécanique totale en un point de l'écoulement, elle est exprimée par :

$$H_i = Z_i + \frac{P_i}{\rho \times g} + \frac{V_i^2}{2g} \quad (I.2)$$

i : 1 ou 2

H : la charge totale (m)

Z : cote du point considéré (m)

$\frac{P}{\rho \times g}$: Energie de pression (m)

$\frac{V^2}{2g}$: Energie cinétique (m)

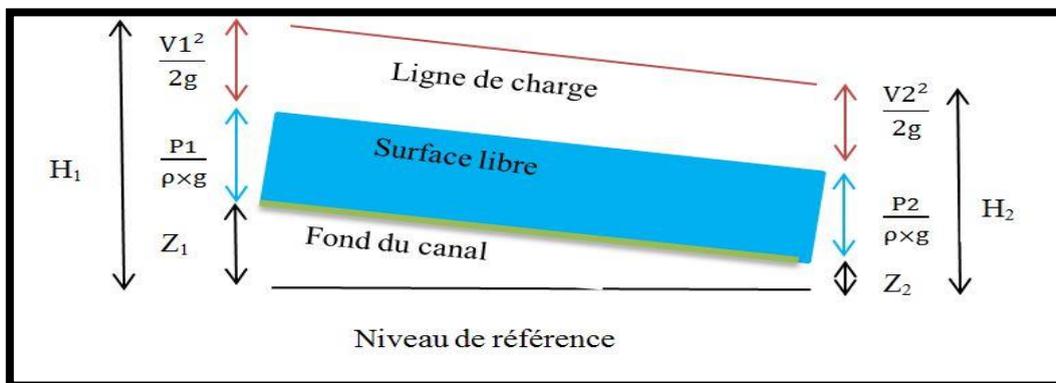


Figure I.1 : Schémas de la charge hydraulique dans un canal.

Nombre de Froude :

Le nombre de Froude 'Fr' est le rapport qui existe entre la vitesse d'écoulement v et la vitesse de propagation c d'une onde de surface et sert donc à déterminer le régime d'écoulement.

- ✓ Si $Fr < 1$: le régime est sous-critique,
- ✓ Si $Fr = 1$: critique,
- ✓ Si $Fr > 1$: supercritique

Il existe une relation entre l'énergie spécifique de l'écoulement et le nombre de Froude. Ceci est montré par la figure ci-après. [15]

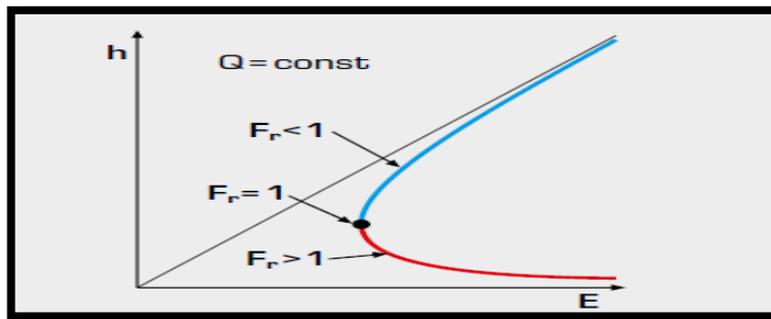


Figure I.2 : Charge spécifique en fonction du nombre de Froude.[15]

Nombre de Reynolds :

Le nombre adimensionnel de Reynolds est exprimé par

$$Re = \frac{v \times d}{\gamma} \tag{I.3}$$

où :

Re : Nombre de Reynolds :

V: Vitesse moyenne d'écoulement à travers la section considérée en (m/s)

d : Diamètre de la conduite ou largeur de la veine fluide en (m).

γ : Viscosité cinématique du fluide (m^2/s).[15]

I.4. Les différents régimes d'écoulement

I.4.1 - Régime permanent

Un écoulement à surface libre est dit permanent si les paramètres hydrauliques ; débit et hauteur d'eau sont constantes dans le temps. [20]

a. Écoulement permanent uniforme

Un écoulement permanent uniforme si tous les paramètres hydraulique sont constants dans l'espace et dans le temps.

b. Écoulement permanent varié

L'écoulement est varié lorsque la profondeur de l'eau, la forme géométrique ou la rugosité ne sont pas constantes [16]

b.1. Écoulements permanents graduellement variés

Un écoulement est dit graduellement varié lorsque le canal caractérisé par ses dimensions, sa forme, sa rugosité et sa pente varient lentement. Le tirant d'eau varie faiblement. [20]

b.2. Écoulement rapidement variés

Un écoulement rapidement varié existe dans le cas de variations de forme géométriques brusques ou dans le cas de forte courbure des lignes de courants. [20]

I.4.2- Régime transitoire

Pour ce type de régime le débit varie en fonction du temps, et il est de même pour la hauteur d'eau. [20]

Remarque

Nous récapitulons la classification de l'écoulement à surface libre dans l'organigramme suivant.

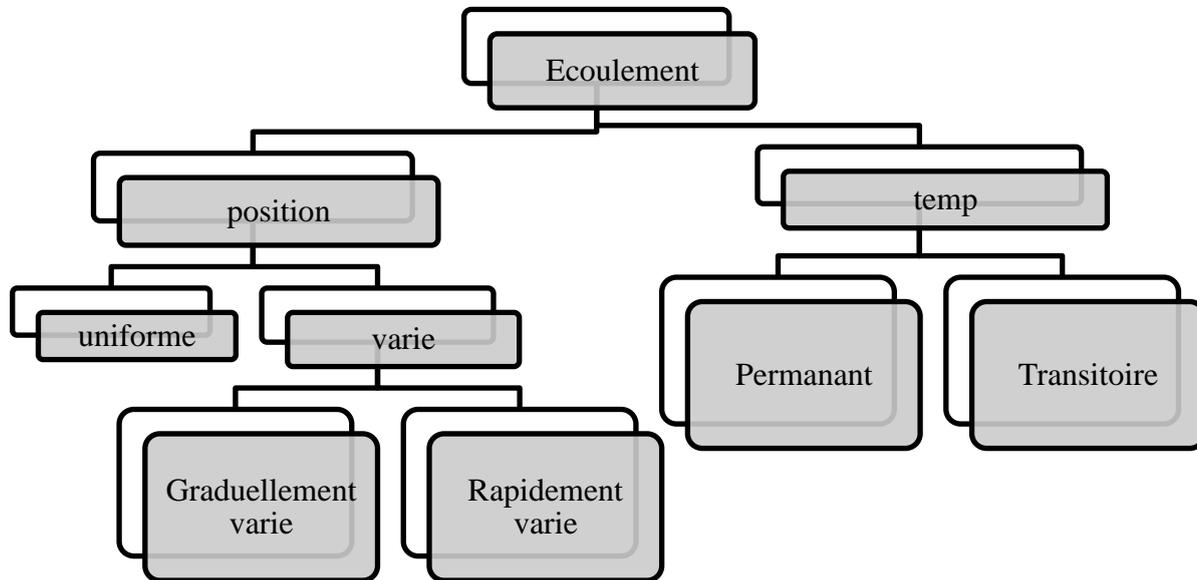


Figure I.3 : Classification de l'écoulement unidimensionnel

I.5. Outils de Contrôle des écoulements libres

Il existe plusieurs ouvrages hydrauliques consacrés au contrôle d'écoulements à surface libres comme les déversoirs et le canal de venturi.

I.5.1. Déversoirs

L'utilisation de seuil et de déversoirs dans le but de réguler les écoulements remonte à une époque lointaine. Tel que les romains avaient développé des systèmes similaires à ce jour.

a. Définition

Le déversoir est un ouvrage qui permet de contrôler le débit dérivé et de le diriger vers l'aval. En assainissement, il permet le rejet d'une partie de l'effluent au milieu naturel. Cet ouvrage permet à une optimisation des dimensions des ouvrages hydrauliques. [7]

b. Fonctionnement

En plus de l'ouvrage de dérivation qui reçoit les eaux à déverser et les dirige vers l'aval du canal de décharge. Le déversoir peut contenir une crête ou seuil qui doit être calé au-dessus de la ligne d'eau. L'évacuation des eaux déversées se fait vers un milieu naturel ou bien vers un bassin d'orage [5].

Lors du fonctionnement du déversoir, le débit de référence varie de l'amont vers l'aval comme le montre la figure ci-après.

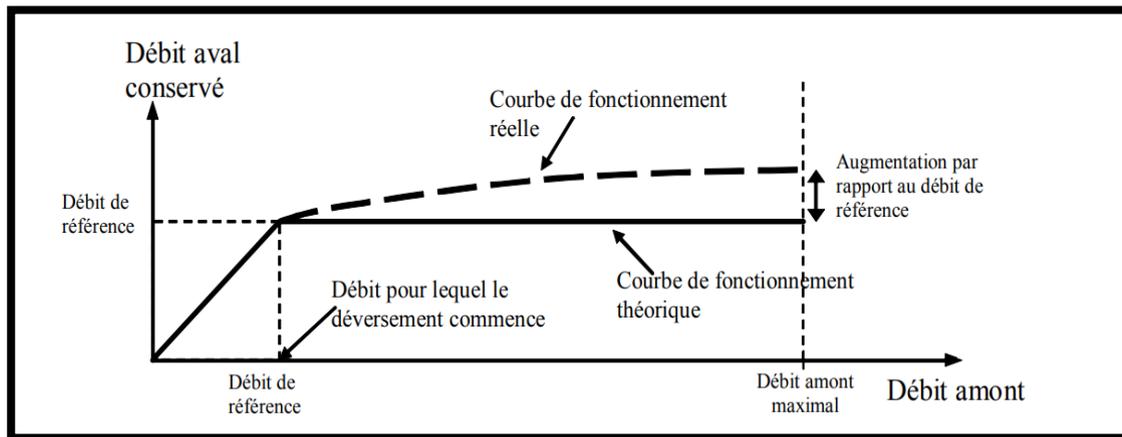


Figure I.4: Variation du débit de référence à travers le déversoir. **Source** (Lipeme 2004)

Remarques

- ✓ D'après le cas de régulation idéale représenté dans la figure ci-avant, nous remarquons que le débit amont est supérieur au débit de référence alors que le débit conservé est égal au débit de référence.[5]
- ✓ Le déversoir est d'autant plus performant que l'augmentation du débit soit faible.
- ✓ L'augmentation du débit admise est de 20 à 40% par rapport au débit de référence [3].

c. Principe de dimensionnement

Le dimensionnement du déversoir doit se faire en considérant l'organigramme suivant :

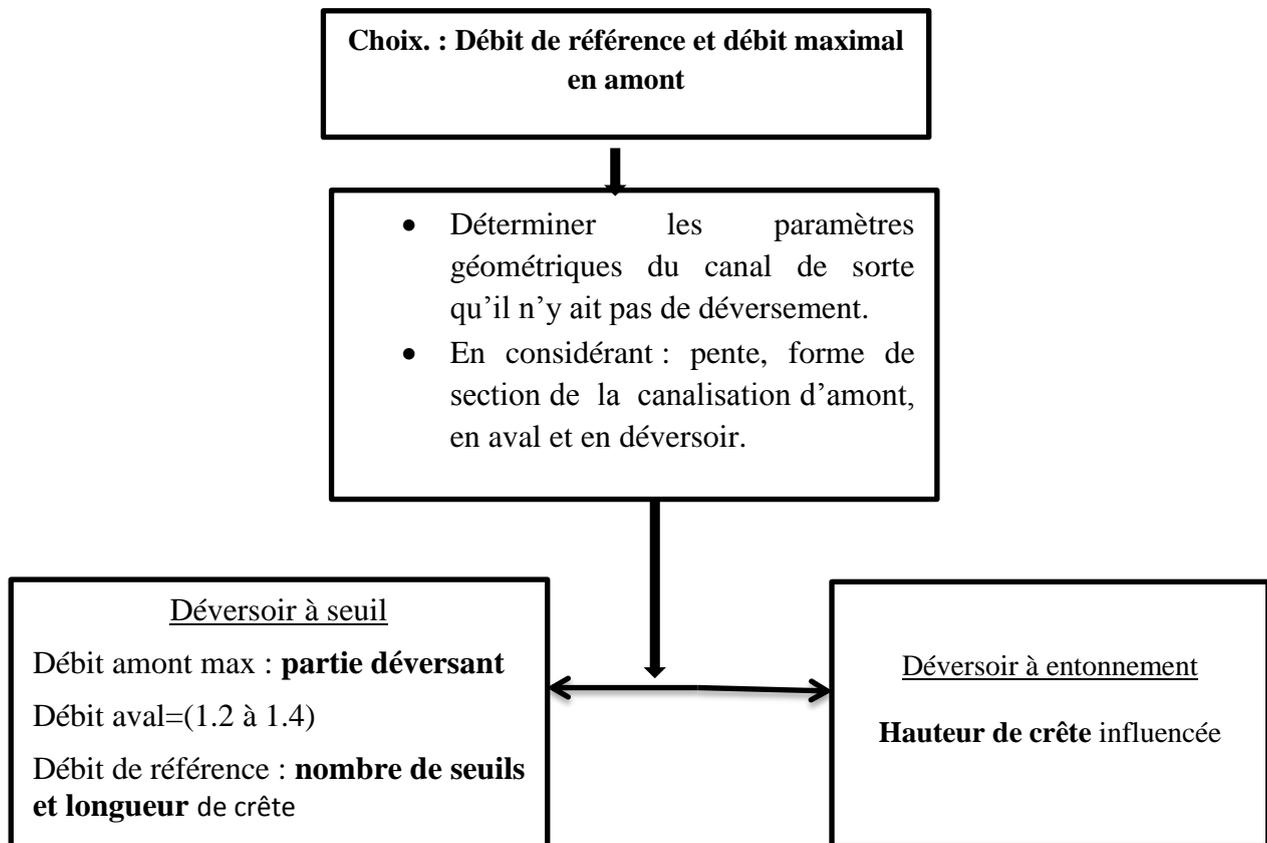


Figure I.5 :principe de dimensionnement d'un déversoir.

d. Les différents type de déversoirs

Les déversoirs sont classés en deux grandes catégories. La première implique l'existence d'un seuil pouvant être identifiée par le nombre, la position, la hauteur, l'épaisseur la longueur du seuil. La seconde catégorie n'implique pas l'existence d'un seuil alors que l'ouvrage de dérivation peut entrer constitué d'un orifice ou d'un vortex. [10] .

d.1. Déversoirs sans seuil

❖ Déversoirs à ouverture de radier :

Le déversement des eaux se fait dans une ouverture en radier de la canalisation. L'ouverture peut être rectangulaire (proposée par Hager, 1992) ou elliptique (proposée par Taubmann, 1972). Cette ouverture est commandée par plaque métallique cintrée. Le rôle principal de cette dernière est une variation du débit de référence. Le déversoir à ouverture de radier est installé lorsque on' a une forte pente ou un écoulement torrentiel. [10]

❖ Trous dans le mur :

Anciens ouvrages, qui ne sont plus utilisés La première est due à une leur capacité de déversement d'évacuation est très faible au niveau de la conduite de déversement. Ils peuvent induire une mise en charge du réseau [10] .

❖ **Ouvrages à vortex :**

Ce type de déversoir est adopté pour réduire l'énergie cinétique de l'écoulement pour accélérer des particules en suspension grâce à la longueur du trajet, [9]. voir Figure I.3 en ANNEXE I [10].

d.2. Déversoirs avec seuil

Ce sont des ouvrages dont les caractéristiques sont comme suit :

d.2.1. Le nombre de seuils

❖ **Déversoirs à seuil double :**

Ce type représente environ 85% des déversoirs à seuil. Tel que le déversoir à seuil double est placé d'un seul côté de l'ouvrage. [7]

❖ **Déversoirs à seuil simple :**

Ce type représente environ 15% des déversoirs à seuil. Tel que le déversoir à seuil simple est placé d'un seul côté de l'ouvrage. [7]

d.2.2. La position du seuil

❖ **Déversoirs à seuil latéral :**

Dans ce cas le seuil est rectiligne et strictement parallèle à l'écoulement [7].

❖ **Déversoirs à seuil frontal :**

Nous devons faire la distinction entre les seuils frontaux sans contraction et les seuils frontaux avec contraction. Les premiers correspondent à une longueur de crête égale à la largeur de l'ouvrage alors que les seconds correspondent à une longueur de seuil inférieure à la largeur du déversoir. Mais dans tous ces cas Le seuil est perpendiculaire à l'écoulement. [10]

❖ **Seuil complexe (voir figure ci-dessous) :**

Il s'agit d'une jonction de plusieurs canalisations, elle peut être frontal et latéral suivant l'angle des collecteurs arrivant à l'ouvrage. [10]



Figure I.6: Vue d'un déversoir complexe, **Source** (Vazquez 2006)

d.2.3. Détermination selon la hauteur du seuil

❖ Déversoirs à seuil "identique" :

Le niveau du seuil déversant se trouve au même niveau que la génératrice supérieure de la conduite aval [7].

❖ Déversoirs à seuil bas :

Le seuil déversant se trouve au-dessous du niveau de la génératrice supérieure de la conduite aval, la difficulté à dimensionner ce type d'ouvrage réside dans le fait qu'il se situe à la limite de l'écoulement en régime critique. [7]

❖ Déversoirs à seuil haut :

Dans ce cas le niveau du seuil est placé au-dessus du niveau de la génératrice supérieure de la conduite aval . Il est préférable d'utiliser ce type lorsque le régime amont est fluvial. [7]

d.2.4. Détermination selon l'épaisseur du seuil

❖ Déversoir à crête mince :

Le déversoir en mince paroi de largeur B permet de déterminer le débit Q en connaissant uniquement le tirant d'eau à l'amont. Ce type de déversoir constitue donc une structure qui permet une mesure de débit. Il est à mince paroi ou à crête mince si l'épaisseur de la crête est très réduite par rapport à la charge il existe plusieurs formes géométriques du seuil on distingue la forme rectangulaire avec et sans contraction et la forme triangulaire ainsi que le trapézoïdale. [13]

❖ Déversoir à crête épaisse :

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 $0.08 < H/L < 0.50$. On distingue un déversoir à crête épaisse à arrête arrondie et un déversoir à crête épaisse à arrête vive. [13]

d.2.5. Selon la longueur du seuil

On définit la longueur d'un seuil par le rapport de sa longueur sur le diamètre de la conduite amont. On distingue alors :

- ✓ Les seuils longs dont le rapport est supérieur à 3.
- ✓ Les seuils courts dont le rapport est inférieur ou égal à 3.[7]

e. Utilité des déversoirs

Le déversoir est utilisé dans le but d'un dispositif de mesure, de réglage et de contrôle de débit. Pour une prise d'eau ou une centrale hydroélectrique, et comme un point fixe dans un cours d'eau pour limiter les érosions du lit.

I.5.2. Canal venturi

Au moyen d'une section contractée à une certaine distance du début d'un canal à ciel ouvert, le débit peut être mesuré grâce à la différence de niveau d'eau provoquée. Il s'agit là du canal venturi comme outil de mesure de débit avec une bonne précision. Il est utilisé particulièrement dans le cas de liquides chargés [12].



Figure I.7: représente un venturi mètre ; **Source**

(Engees / veolia water anjou recherche)

I.6.Conclusion

Dans ce chapitre on a défini les régimes d'écoulements à surface libre et les ouvrages hydraulique principal de contrôle, on distingue le canal de venturi et les déversoirs.

Le rôle hydraulique de déversoir peut être différent en fonction du débit amont et de domaine d'utilisation. Il protège le milieu naturel contre la pollution. Dans certains cas, et en temps de forte pluie, il protège la ville contre les inondations et préserve les ouvrages hydraulique et la station de traitement et il alimente un bassin d'orage, ainsi que il soulage la station d'épuration à l'aval.



CHAPITRE II :
Synthèse
Bibliographique

II.1.Introduction

Les déversoirs jouent un rôle important dans les constructions hydrauliques ils sont utilisés, d'une part, pour les mesures de débit et d'autres part servent souvent d'ouvrage de contrôle. Les déversoirs sont réalisés partout où la limitation d'un débit ou d'un niveau d'eau doit être effectuée sans installations mécaniques, les plus grands déversoirs sont réalisés dans les aménagements équipés d'un évacuateur de crue ou leur bon fonctionnement est impératif pour la sécurité.

Rôles principaux des déversoirs :

- ✓ dispositif de mesure du débit en laboratoire est sur les cours d'eau.
- ✓ Ouvrage de réglage est de contrôle dans les rivières est les canaux.
- ✓ Evacuateur pour les retenues naturelles et artificielles.

D' autre part les déversoirs sont utilisés aussi en hydraulique urbaine comme un dispositif équipement d'évacuation des eaux de pointes exceptionnelles (débits d'orage) vers le milieu récepteur, donc leur rôle principal est de décharger le réseau d'une certaine quantité d'eaux pluviales, de manière à réagir sur l'économie d'un projet en réduisant les dimensions du réseau aval.

Vue l'importance de ce type d'équipement hydraulique, plusieurs chercheurs se sont intéressés à leur amélioration et leur étude dont la synthèse fait l'objectif du présent chapitre.

II.2. Déversoir à paroi mince

Le déversoir à paroi mince de largeur b permet de déterminer le débit Q en connaissant uniquement la hauteur d'eau à l'amont de l'ouvrage ce type de déversoir constitue une structure qui permet une mesure de débit.

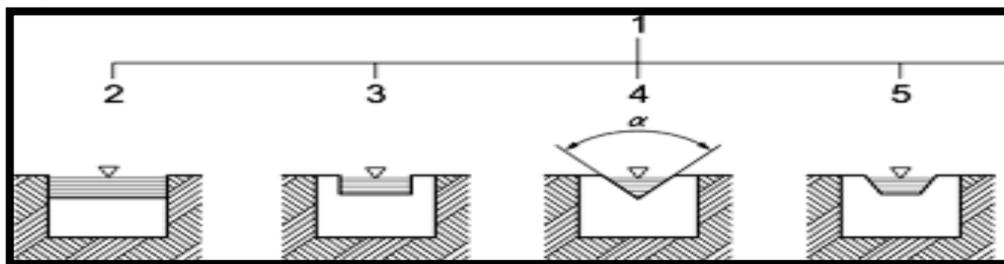


Figure II.1 : (1) les déversoirs à paroi mince
(2) déversoir rectangulaire sans contraction (3) Déversoir rectangulaire avec contraction
(4) déversoir triangulaire (5) déversoir trapézoïdale

Source (<https://www.iso.org/obp/ui/#!iso:std:41035:fr>)

Durant le 18^{ème} (dix-huitième) siècle Poleni s'est intéressé à l'influence de l'écoulement à travers un déversoir rectangulaire avec et sans contraction en se basant sur diverses simplifications, le débit Q est corrélé avec la hauteur d'eau à l'amont h et donne une formule générale de débit pour :

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \quad (\text{II.1})$$

μ est le coefficient de débit et g l'accélération gravitationnelle. Cette équation indique que le débit croît linéairement avec la largeur L du déversoir, mais dépend de la hauteur d'eau sur le déversoir.[10]

Pour le cas d'un régime critique de l'écoulement caractérisé par une hauteur h_c critique proportionnelle à la charge critique H_c et elle donnée par [24]:

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{2}{3} H_c \quad (\text{II.2})$$

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

Sachant que le débit par unité de largeur est : $q = Q/L$

Il est admis pour la première approximation que la charge critique prend la valeur de la hauteur déversée. Ceci correspond à : $\mu=0.577$ mais Poleni propose que μ soit égal à 0.64 ce qui induit une différence dans la précision de 11%. Ceci a été justifié par Boussinesq, en 1817, par l'influence de la courbure des filets liquides qui transitent le déversoir rectangulaire sans contraction.

D'après les travaux de Boussinesque en 1817, la relation suivante a été suggérée :

$$\mu=0.651 [1-0.39(i/\pi)] \quad (\text{II.4})$$

L'inclinaison d déversoir par rapport à la verticale est représentée par i dans cette formule. En 1841 ,Weisbach propose une formule pour le déversoir rectangulaire sans contraction latérale qui a été établie par en utilisant le théorème de Bernoulli :

$$Q = \frac{2}{3} C B \sqrt{2g} \left[\left(H + \frac{V_0^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{V_0^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (\text{II.5})$$

En prenant $m=(2/3) C = \text{cst}$ une relation qui fut encore simplifiée en considérant le terme $\frac{V_0^2}{2g}$ négligeable .

Toutefois, l'expérience a montré que m doit être une variable dépendant de H et de P , tenant compte l'énergie cinétique.

Les expériences n'ont pas été faites dans des conditions identiques ce qui est conduit aux valeurs de coefficient de débit différent. [14]

Bazin, il a utilisé un canal de longueur 230 m et une pente de 1% en 1888, pour étudié l'évaluation du débit à travers le déversoir rectangulaire sans contraction.

D'autres type de déversoir a paroi mince (déversoirs triangulaire) ont été également proposes pour le calcul du débit, on cite celle de cône 1916 qui est pour un angle d'échancrure limité entre 20° et 90° ainsi que d'hauteur d'eau déversé qui varie entre 0.06 m et 0.41 m. il a aussi donné une forme simplifiée de déversoir triangulaire à 90° .

Une autre investigation a été entrepris par Lenz en 1943 s'intéressant à l'influence de la viscosité du liquide, de la tension superficielle et du coefficient de débit. Et Thomson a opté a une formule de calcul de même type de déversoir d'angle 90° qui en fonction de la hauteur d'eau déversée. Puis Heyndrique à proposer en 1948 une formule pour le calcul de coefficient de débit qui est en fonction de largeur superficielle et de la hauteur la pointe de l'échancrure au-dessus du fond de canal à l'amont. De même Ramponi 1949, a analysé les effets du canal d'amenée sur les caractéristiques d'écoulement.

A 1921 M.Hégly en collaboration avec Bazin ont proposé une formule de calcul de coefficient de débit dans un déversoir rectangulaire avec contraction latérale en fonction de la largeur du canal.

1924, la société suisse des ingénieurs S.I.A ont aussi travaillé dans le même siècle pour extrapoler ce coefficient pour un déversoir rectangulaire à paroi mince.

En 1929, Rehbock recommande une formule pour le débit qui a universellement été acceptée pour un déversoir rectangulaire sans contraction en élargissant les limites d'application de la formule du débit et en basant sur la hauteur effective tel que la formule de débit est :

$$Q = \mu \times L \times H_e \times \sqrt{2g H_e} \quad (\text{II.6})$$

Et $H_e = H + 0.011$ [m]

Scimemi 1930 à représenter la nappe adimensionnelle d'un déversoir standard à paroi mince et a fait la géométrie de nappe provenant de la charge h_{aval} .

En 1957, Kindsvater et Carter propose des formules générales du débit déversé pour différents types de déversoir à paroi mince :

- ✓ Pour le déversoir rectangulaire sans contraction latérale (en fonction de la hauteur d'eau effective $h_e = h + 0.001$ [m])

$$Q = \mu \times C_v \times L (h_e)^{3/2} \times \sqrt{2g} \quad (\text{II.7})$$

- ✓ Pour le déversoir rectangulaire avec contraction latérale (en fonction de la hauteur d'eau effective et la largeur d'eau effective.

$$Q = \mu \times C_v \times L_e (h_e)^{3/2} \times \sqrt{2g} \quad (\text{II.8})$$

- ✓ Pour le déversoir triangulaire

$$Q = \frac{8}{15} \times \mu \times C_v \times \sqrt{2g} (h_1 + k_h)^{5/2} \times \tan \frac{\alpha}{2} \quad (\text{II.9})$$

Kindsvater-Carter et Rehbock ont utilisé une structure réduit, équipé d'un dispositif de tranquillisation pour remédier les vitesses en amont de la pelle, le seuil de cette dernière présentant un plat de 2m/m avec arrête vive amont.

Ceci peut en partie expliquer les faibles divergences dans le débit calculé pour les mêmes valeurs de L, H et P, et permet de donner un certain écart entre les résultats trouvé par les formule.[22]

Les divergences constatées peuvent êtres dues à :

- ✓ la répartition des vitesses en amont de la pelle.
- ✓ La forme du seuil (en particulier formule de Bazin).[22]

Le coefficient de débit a été déterminé expérimentalement par un grand nombre de chercheurs (Bos 1976, Hay and Markland 1958 White 1977) .

Hey et Markland à 1958 ayant étudié la transversale de la pression relative ($P/\rho g h$) pour la nappe inférieur et supérieur d'un déversoir standard à paroi mince h/P tendant vers zéro représente la géométrie des nappes et la répartition de la pression sur la paroi et à l'intérieur du jet pour un déversoir à hauteur infinie selon Hey et Merkland 1958.

La proposition de Chow 1959 pour le coefficient de débit s'écrit :

$$C_d/C_{dD} = (H/H_d)^{0.12} \quad (\text{II.10})$$

$$\text{Et donc} \quad Q/Q_d = (H/H_d)^{1.62} \quad (\text{II.11})$$

Cette équation est seulement valable pour $0.2 < H/H_d < 2$.

L'effet de la vitesse d'approche sur la nappe généralisée d'un déversoir a été étudié par Rajartnam et Al 1968.

L'effet de la charge relative H/H_d sur le coefficient de débit qui, coefficient croît avec la charge relative, mais plus fortement pour les petites valeurs de ce rapport. Pour H/H_d tendant vers 0, le minimum de $C_d = 0.385$ est atteint ; pour $H/H_d = 1$, cette valeur s'élève à $C_d = 0.494$; le maximum est de l'ordre de $C_d = 0.55$. Ces valeurs sont uniquement valables si les effets de la tension superficielle et de la viscosité peuvent être négligés. Comme démontré par Mathew 1963 la charge doit être s'élever au minimum à $H = 5 \text{ cm}$, valeur souvent retrouvée sur des modèles réduits (Ghetti et D Alpaos 1977)

Cette figure représente les résultats expérimentaux dans un déversoir à paroi mince.

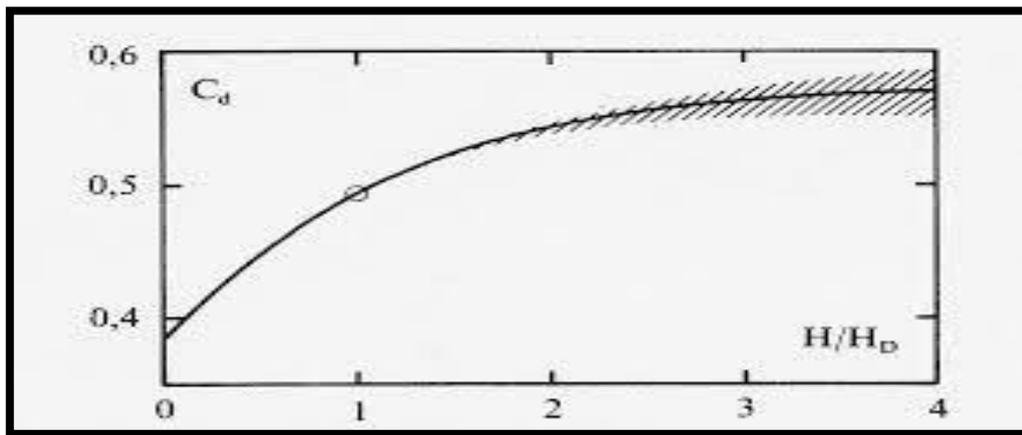


Figure II.2: Coefficient de débit C_d en fonction de H/H_d . Source (kobus et Rao 1972,USCE1958)

Le coefficient de débit d'après Sarginson [1972-1973], pour un déversoir rectangulaire sans contraction latérale, tel qu'il est en fonction de nombre Weber $W = \rho h^2 / \sigma$ ou ρ est la masse volumique du liquide ainsi que la tension superficielle σ .

Hagar [1986, 1991] a constaté que l'augmentation transversale de la vitesse et vers le centre de courbure est reliée à la variation de coefficient de débit avec la fonction de repartitions de vitesse $V / (2g Hd)^{1/2}$ pour $H/H_d = 1$ et $H/H_d = 2$. Et a opté à une formule pratique, qu'on peut l'utiliser dans un déversoir triangulaire à paroi mince avec $14^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$. [10]

$$Q = \frac{8}{15} C_d \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) (2gh^5)^{1/2} \quad (\text{II.12})$$

La quantification du débit déversé au moyen de ces ouvrages hydraulique, en utilisant des formules empiriques. Telles que celles de Coleman et Smith, Engles, de Balmceda et Gonzela ou de Dominguez qui expriment débit déversé en dépendance du tirant d'eau en amont et ou à l'aval du déversoir. Ces relations ne sont applicables que en fluvial ou torrentiel mais pas en régime transarctique et uniquement pour certaine géométrie des déversoirs (Carlier, 1972).

En 1957, Ackerss' est basé sur l'hypothèse de l'énergie constante pour l'estimation du débit déversé et le tracé de la ligne d'eau au-dessus du seuil.

En 1975, EL Kashab est arrivé au fait que cette approche n'est plus valable lorsque ressaut hydraulique est créé et qui est accompagnée d'une dissipation d'énergie. [7]

Cipolletti a établi une expression de débit passant à travers un déversoir trapézoïdale a paroi mince pour un cas particulier, où $\tan \alpha = 1/4$ et le coefficient de débit reste constant pour une vaste variation de la charge :

$$Q = \mu \times l \times h \sqrt{2gh} \quad (\text{II.13})$$

La formule de Cipolletti s'écrit donc sous forme simplifiée :

$$Q = 1.86h^{1.5} \quad (\text{II.14})$$

Les expériences récentes effectuées à l'I.M.F.T sont dans le but d'établir une formule de calcul de débit pour un déversoir rectangulaire sont destinées à être appliquées pour des limites plus larges comparées aux relations classiques. Nougaro a entrepris récemment des essais expérimentaux en proposant une expression explicite du débit déversé en fonction de l'énergie cinétique en amont du déversoir

Les dites expériences de Nougaro ont été menées sur un canal transparent de 8m de longueur, de 30cm de largeur, de 65cm de profondeur et équipé d'un déversoir à paroi mince; profondeur = 0,65 m, muni d'un déversoir à mince paroi en position vertical par rapport au courant. En faisant varier la hauteur de la pelle respectivement de: P = 0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,30, 0,40 et 0,50 m. ce qui correspond à la limite suivante :

$$0,03 \leq (E - P)/P \leq 2,5$$

$$\text{Sachant que : } E - P = H - P + \frac{V_0^2}{2g}$$

La loi issue des expériences précédentes est donnée par l'équation suivante :

$$Q = B \sqrt{2g} (0.0120 \frac{E-P}{P} + 0.418) (E - P)^{3/2} \quad (\text{II.15})$$

Notons que pour chaque essai expérimental cinq valeurs du coefficient de débit ont été déduites.

D'autres travaux effectués à L'école Nationale Supérieure Agronomique de Rennes en 1966 par Philippe Grood ont pu élargir les possibilités de mesure pour des déversoirs triangulaire de d'un angle de 90° et jusqu' a une hauteur de pelle nulle . [18]

$$Q = 0.602 \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2} [1 + 0.2577 \frac{h^4}{l^2(h+p)^2}] \quad (\text{II.16})$$

A (1989) Bos et Muller et Werren (1981) donnent les détails nécessaires à la réalisation et à l'utilisation d'un déversoir trapézoïdale.

II.3 Déversoir à crête épaisse

Dans le passé, un grand nombre de chercheurs ont cité les débits par des seuils à crête large comme un exemple parfait dans lequel la théorie classique de l'écoulement critique peut être appliquée. L'argument de base était que les lignes de courant sont presque parallèles le long d'une longueur suffisante.

Plusieurs chercheurs ont tenté de décrire la relation débit déversé pour les déversoirs à crête épaisse, mais aucune solution ne rend compte de la fluidité relativement complexe des phénomènes. Par conséquent, il est nécessaire de recourir à des expériences qui permettent de donner la formule suivante :

$$Q = C_d b \sqrt{2g} H^3 \quad (\text{II.17})$$

C_d est le coefficient de décharge associé, pour des lignes de courant strictement parallèles, $C_d = 0,385$ par analyse dimensionnelle, Rao et Muralidhar concluent que le débit déversé doit être fonction des profondeurs relatives des débits d'approche h_0 / l et h_0 / w . cependant, comme le montrent les expériences, l'effet de ce dernier paramètre est généralement insignifiant, tel que $C_d = C_d (h_0 / l)$ seul, évidemment, le paramètre h_0 / w représente la hauteur de vitesse en amont de laquelle h_0 et

$H = h_0 + \frac{Q^2}{[2gb^2(h_0+w)^2]}$ Sont liés à la relation fonctionnelle pour le C_d selon les données de Rao et Muralidhar, ainsi que les résultats de Bazin, USGS et Keutner :

$$C_d = 0.42 \left[1 - \frac{2}{9(1+\varepsilon^4)} \right] \quad (\text{II.18})$$

Avec :

$$\varepsilon = H/l$$

Rao et Muralidhar distinguent quatre types de flux différents sur un déversoir à crête large, en fonction de la longueur relative du déversoir h_0 / l , les déversoirs avec

$0 < h_0 / l < 0,1$ sont appelés des déversoirs très longs pour lesquels on observe des ondulations sur la surface debout; dans la région 2 ($0,1 < h_0 / l < 0,355$), le débit est au-dessus de déversoirs à les lignes de courant sont presque parallèles dans la zone aval du déversoir. Les déversoirs ont une crête étroite pour $0,35 < h_0 / l < 1,5$ à $1,9$.

Enfin, les déversoirs à crête vive, donnent $h_0 / l > 1,5$ à $1,9$, en insérant crête très large et ε tend vers ∞ en équation donne $C_d = 0.42 = 2\mu/3$ qui est une valeur moyenne trouvée

Contrairement au déversoir à crête large décrit ci-dessus avec un connecteur en amont pointu, le déversoir à crête large profilé est arrondi avec un rayon de courbure $R > 0$ au coin amont. Ce type de déversoir est décrit de manière détaillée par Harrison et Hall. Pourtant, il n'y a pas eu d'observations systématiques permettant de prédire avec précision le coefficient de décharge.

Bretschneider a étudié l'effet de la pente en amont sur les caractéristiques de débit, ses observations incluent les pentes 1: 1,1: 1,5 et 1: 2 mais seulement un faible poids relatif $h_0 / l < 0,25$, le coefficient de décharge est presque insignifiant les valeurs moyennes sont $C_d (i = 1: 2) = 0,354$. Les cercles ouverts et les équerres sont également des données pour lesquelles les effets de la tension superficielle deviennent significatifs; enfin, l'équation a été tracée sous forme de courbe pleine. Il est indiqué que le coefficient de décharge peut être légèrement augmenté (environ 5 à 10%) lorsque le bouton de déversoir en amont est incliné au lieu de vertical. [02]

II.4 Déversoir cylindrique

Willi Hagar a 1985 a opté pour un déversoir cylindrique en ALUMINIUM, Les premières mesures en laboratoire concernant ce type a été faite pour le cercle A, de diamètre $D = 0,150$ m en métal, qui consiste en une construction conventionnelle droite dans la division du canal de coin $B = 0,3005$ m avec la pente unique $J_s = 0,2$ % de section efficace dans deux sous-zones. Et La largeur critique $bc = B - D = 0.1505$ m.

Tel que :

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} b_c \sqrt{gH^3} \quad (\text{II.19})$$

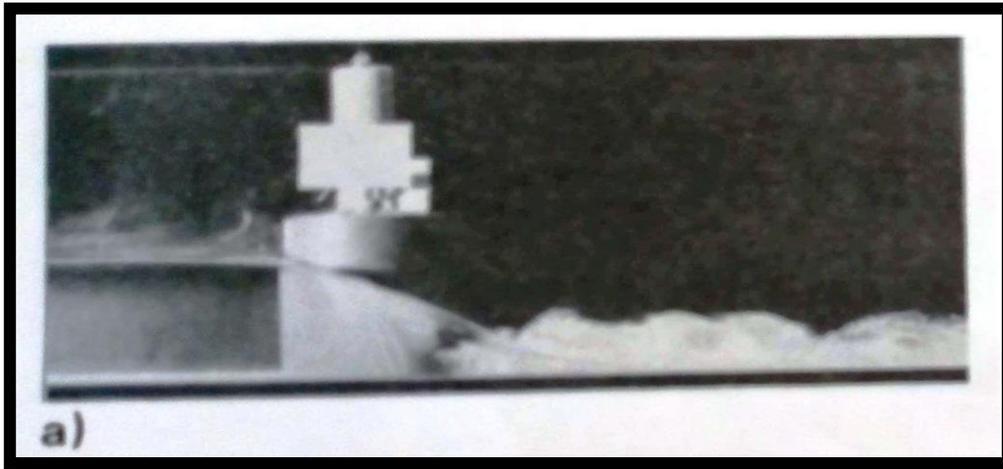


Figure II.3 : L'écoulement le long du cylindre sous l'eau libre ;**Source**
(verbandsbericht Nr.303 ;42 Hauptmitgliederversammlung vom 21 .Marz1986 in
Bern Dr .Willi H.Hagar sonderdruck aus GWA 11/1985)

II.4 Problématique

Il existe différents types de déversoir qui sont utilisés pour le contrôle d'écoulement à surface libre. Ces déversoirs sont d'épaisseur et de forme géométrique différentes, or pour le même type de forme et d'épaisseur les chercheurs ont proposé plusieurs formules avec des limites d'application différentes ou proches.

Ces formules peuvent donner des précisions de calcul différentes qui induisent souvent un sur/sous-dimensionnement des ouvrages hydrauliques, dans ce contexte notre travail vise l'étude de la fiabilité des mesures à partir des déversoirs de forme et d'épaisseur différentes. En plus nous proposons d'ajouter comme nouveau élément la réalisation d'une sonde électrique de mesure accompagnant le déversoir cylindrique; avec le PEHD comme matériaux de construction.

Cet outil va remédier au problème de mobilité

II.5 Conclusion

Ce chapitre a pour objectif de connaître l'évolution des moyens de contrôle d'écoulement à surface libre avec le temps et de passer en revue bibliographique sur les principaux chercheurs ayant travaillé sur les déversoirs à paroi mince, à paroi épaisse, déversoir cylindrique.

D'après ce chapitre nous pouvons noter que le débit déversé est directement lié à la hauteur déversé



CHAPITRE III :
Etude
Théorique

III.1.Introduction

La mesure du débit joue un rôle important dans la technologie hydraulique, car elle doit servir de base à la répartition des coûts d'exploitation dans les installations des associations, au dimensionnement lors de la construction initiale, ainsi qu'à des fins de surveillance et de contrôle.

Un grand nombre de chercheurs se sont intéressés au calcul du débit déversé dans un déversoir à paroi mince ou bien à paroi épaisse et sont arrivés à plusieurs formules.

III.2.Caractéristiques géométriques des déversoirs

Les paramètres de la géométrie d'écoulement à partir des déversoirs sont :

h_{amont} : La hauteur de niveau d'eau à l'amont de déversoir.

$h_{\text{dév}}$: La hauteur d'eau déversé à travers le déversoir.

P : La hauteur de pelle de déversoir.

h_{aval} : La hauteur de niveau d'eau à l'aval de déversoir

C : L'épaisseur de la crête de déversoir.

B : La largeur de la crête de déversoir.

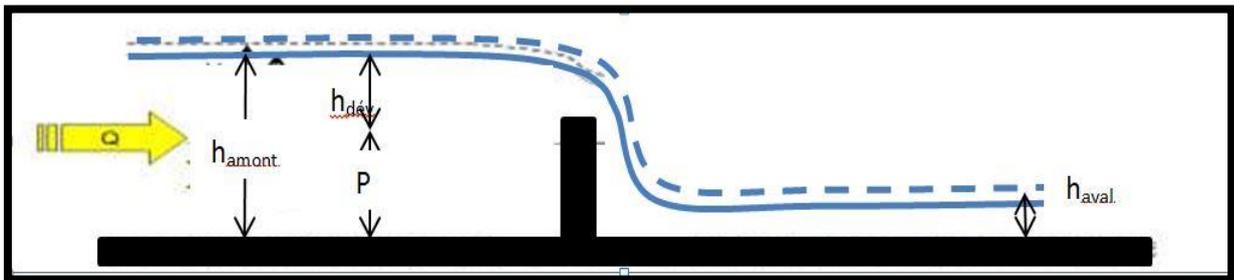


Figure.III.1: Coupe longitudinale d'un déversoir avec caractérisation de l'écoulement.

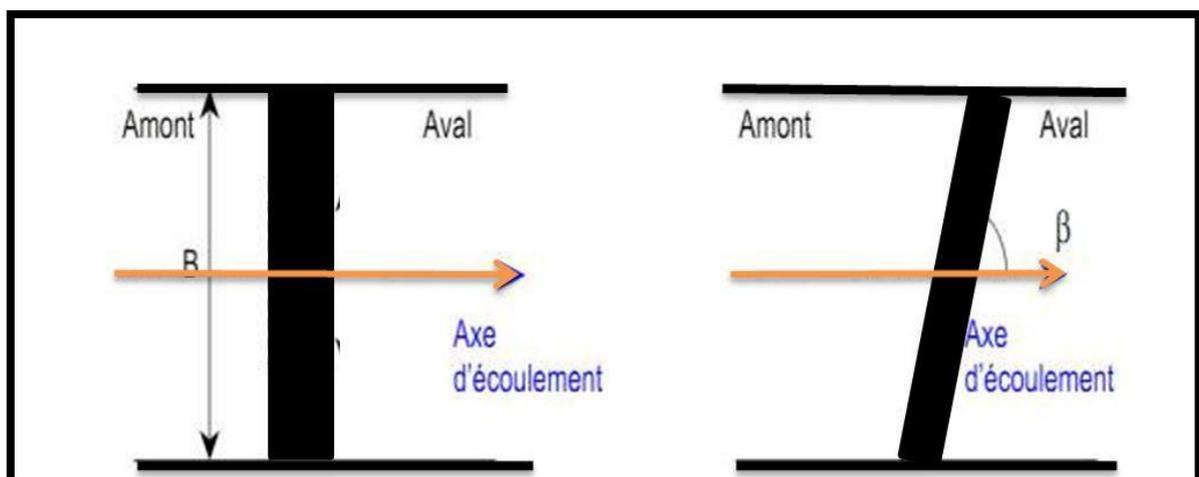


Figure III.2 : Vue en plan d'un déversoir oblique et d'un déversoir sans contraction latérale.

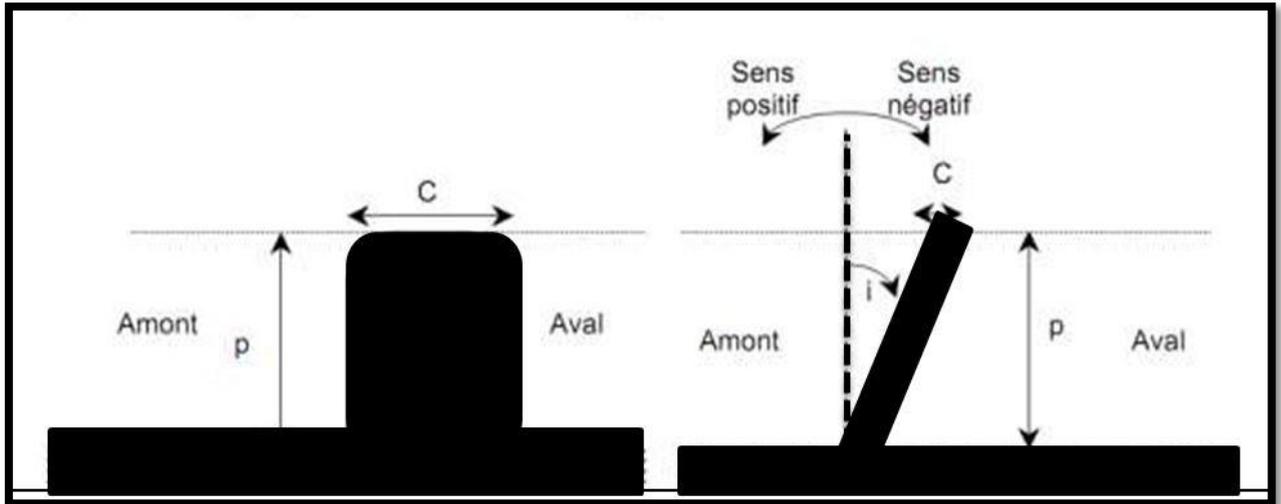


Figure.III.3 : Coupe longitudinale de déversoir à crête mince incliné et d'un déversoir à crête épaisse .

III.3.Méthodologie de calcul de débit déversé

Sachant que le régime d'écoulement à l'amont du déversoir, que ce dernier constitue un obstacle et que le régime d'écoulement à l'aval est torrentiel, nous présentons dans cette partie une méthode direct d'évaluation de débit déversé :

III.4. Type de crête du seuil

Plus l'épaisseur de la crête du seuil est faible devant la profondeur d'eau en amont , plus le seuil paraît transparent et plus la crête du seuil est mince.

Contrairement à ce qui a précédé, la largeur du seuil est d'autant plus importante que la ligne d'eau amont est proche de la crête et le seuil est épais

Nous distinguons :

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

Le type de seuil est déterminé en considérant :

Si $> \frac{2H1}{3}$, alors le seuil est à crête épaisse.

Si $C < \frac{H1}{2}$, alors le seuil est à crête mince.

III.5.Incertitude sur le type de crête du seuil

Il s'agit de faire les considérations suivantes : [23]

- ✓ Si $\frac{2H1}{3} < C < \frac{H1}{2}$: le type de crête n'est pas défini.
- ✓ Si les valeurs du tirant d'eau et de la vitesse n'appartiennent pas au domaine d'application des formules précédentes : le type de crête n'est pas défini.

III.6.formule adéquate du débit déversé

Pour le choix de la formule convenable pour exprimer le débit déversé, nous devons d'abord distinguer le type de crête.

III.6.1.Déversoir à crête mince

➤ **Conditions sur l'écoulement**

Pour que l'écoulement à l'amont du déversoir soit le plus calme possible, les conditions suivantes doivent être vérifiées :

- ✓ Vitesse d'approche faible.
- ✓ Répartition des vitesses régulière.
- ✓ La charge amont H_1 est estimée en tant que la hauteur d'eau amont (l'estimation faite et prise en compte par le coefficient de débit) .

Notons que :

- ✓ Dans le cas d'une vitesse faible , nous prenons le coefficient C_v représentant le terme de vitesse égale à l'unité et la charge amont est égale à la hauteur d'eau amont.
- ✓ Dans le cas de vitesse importante le coefficient C_v entre en considération dans le coefficient de débit.[23]

III.6.1.1.Déversoir rectangulaire

C'est le plus classique est celui qui a été le mieux étudié.

La théorie exacte est délicate à établir en raison de la difficulté à définir une section transversale perpendiculaire à tous les filets :

Considérons dans le plan vertical de l'échancrure rectangulaire de longueur L

Une tranche de la nappe de hauteur dh située à une profondeur h par rapport au niveau constant d'amont.

Le théorème de Bernoulli appliqué entre un point de vitesse négligeable situé sur la surface libre à l'amont, origine du filet liquide passant par la tranche de la nappe considérée et le point de vitesse V située dans cette tranche et en négligeant la perte de charge entre ces deux points permet d'écrire :

$$V = \sqrt{2gh} \quad \text{(III.1)}$$

Le débit élémentaire de la tranche de nappe considérée est égal à la vitesse commune V de ses divers points multipliée par la section $L \times dh$ que nous affecterons d'un coefficient m pour tenir compte de la contraction de la nappe à son passage dans l'échancrure pratiquée dans une paroi mince :

$$dQ = m \times L \times \sqrt{2gh} \times dh \quad \text{.(III.2)}$$

Le débit du déversoir sera donc :

$$Q = \int_0^H m \times L \times \sqrt{2gh} \times dh \quad \text{(III.3)}$$

En supposant m constant avec h :

$$Q = \frac{2}{3} \times m \times L \sqrt{2g} \times H^3 \quad (\text{III.4})$$

C'est la formule établie par POLENI au 18^{ème} siècle [11].

a. Cas de déversoir rectangulaire sans contraction

Un déversoir rectangulaire peut avoir une forme de plaque plane et ne pas comporter de contraction. La largeur de déversoir est égale à la largeur de la section d'écoulement dans ce cas. Voir figure ci-après. [23]

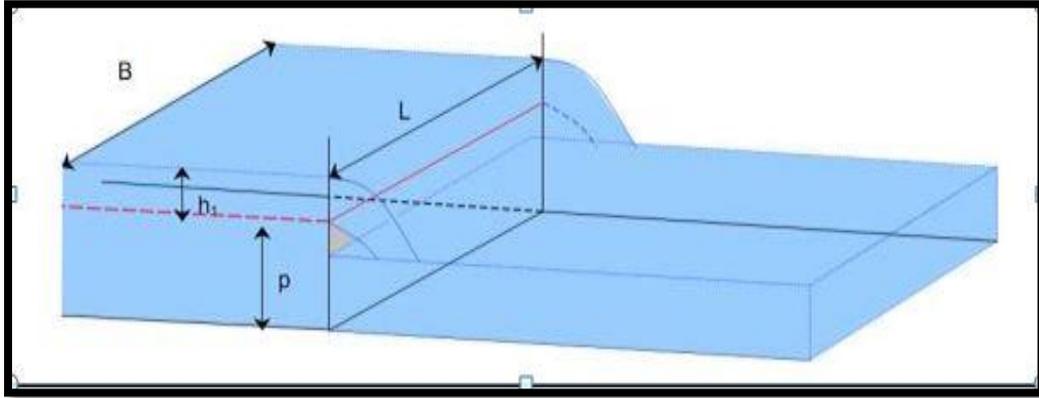


Figure.III.4 : Déversoir rectangulaire sans contraction latérale.

Formule classiques

a.1.formule de POLENI

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

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h_1)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \quad (\text{III.5})$$

a.1.1.Formule de BAZIN 1888

$$\mu = \left(0.405 + \frac{0.003}{H}\right) \left(1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+P}\right)^2\right) \quad (\text{III.6})$$

➤ Limites d'application :

$$0.08 \text{ m} < H < 0.70 \text{ m}$$

$$L > 4H$$

$$0.2 \text{ m} < p < 2 \text{ m}$$

Dans ces conditions la formule donne des résultats exactes 1 ou 2%.

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

Cette formule est applicable

$$\mu = 0.41 \left(1 + \frac{1}{1000h + 1.6}\right) \left[1 + 0.5 \left(\frac{h_1}{h_1 + p}\right)^2\right] \quad (\text{III.7})$$

➤ Limites d'application :

$$0.025 \text{ m} < H < 0.8 \text{ m}$$

$$P > 0.3 \text{ m}$$

$$H \leq P$$

a.1.3. Coefficient de débit d'après Rehbock

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0.605 + \frac{1}{1050h_1^{-3}} + 0.08 \frac{h_1}{p} \right) \quad \text{(III.8)}$$

➤ Limites d'application :

$h_1 > 0.05\text{m}$ (d'après Carlier et Lancaster).

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

$p > 0.10 \text{ m}$ (pour Schlag) ; $p > 0.30 \text{ m}$ (pour Miller).

a.2. Formule de Réhbock 1929

Applicable au déversoir type Réhbock

$$Q = \mu \times L \times H_e \times \sqrt{2g H_e} \quad \text{(III.9)}$$

avec :

$$\mu = 0.4023 + 0.0542 \frac{H_e}{p} \quad \text{(III.10)}$$

Et $H_e = H + 0.0011$ (H_e et H) m

Cette formule est valable pour toute la gamme de variation des paramètres mais il est préférable de ne pas utiliser pour $H < 0.05 \text{ m}$.

a.3. Formule de Kindsvater et Carter

En 1957, Kindsvater et Carter ont proposé, pour l'expression de débit déversé à travers un déversoir rectangulaire sans contraction, la relation suivante [23]:

$$Q = \mu \cdot C_v \cdot L \cdot (h_e)^{3/2} \cdot \sqrt{2g} \quad \text{(III.11)}$$

Sachant que h_e désigne le tirant d'eau effectif,

Avec : $h_e = h_1 + K_h$ ou $K_h \sim 1\text{mm}$.

Coefficient de débit

Il est exprimé par :

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0.602 + 0.075 \frac{h_1}{p} \right) \quad \text{(III.12)}$$

Cette formule est valable pour :

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

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

b. Cas de déversoir rectangulaire avec contraction

Un déversoir rectangulaire peut comporter une contraction dans sa section.

La largeur de déversoir est inférieure à la largeur de la section d'écoulement de déversement dans ce cas. Voir figure ci-après.[23]

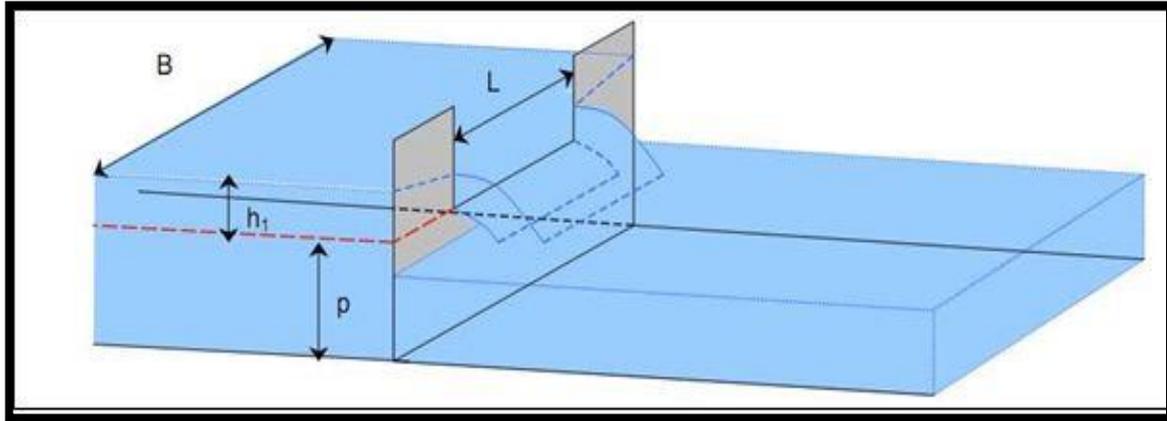


Figure III.5 : Déversoir rectangulaire avec contraction latérale.

NB : Les figures III.4 et III.5 sont extraites de la notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005.

Formules classiques

b.1. Formule de Poleni

Elle exprime le débit déversé par :

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

Cette expression est similaire à celle destinées pour le déversoir rectangulaire sans contraction avec un changement de coefficient de débit . [23]

b.1.1. Formule de Hegly

M.Hégly est collaborateur de Bazin à effectuer près de langres des mesures avec un déversoir vertical à contraction latérale placé à l'extrémité d'un canal type Bazin.

Il proposa en 1921 la formule suivante dans laquelle L_1 est la largeur du canal :

$$\mu = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H} - 0.03 \frac{L_1 - L}{L_1} \right) - \left(1 + 0.55 \left(\frac{L \times H}{L_1(H+Z)} \right)^2 \right) \quad (\text{III.14})$$

➤ Limite d'application :

$$0.1 \text{ m} < h_1 < 0.6 \text{ m} ;$$

$$0.4 \text{ m} < p < 0.8 \text{ m} ;$$

$$0.4 \text{ m} < L < 1.8 \text{ m} ;$$

$$0 \text{ m} < \frac{L_1 - L}{L_1} < 0.9 \text{ m}.$$

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

$$\mu = \left(0.3853 + 0.0246 \left(\frac{L}{L_1} \right)^2 + \frac{2.410 - 2 \left(\frac{L}{L_1} \right)^2}{1000H + 1.6} \right) \times \left(1 + 0.5 \left(\frac{L}{L_1} \right)^4 \times \left(\frac{H}{H+Z} \right)^4 \right) \quad (\text{III.15})$$

➤ Limites d 'application :

$$0.025 L_1/L < H < 0.8 \text{ m}$$

$$0.3 < L/L_1 < 0.8$$

$$P \geq 0.3 \text{ m}$$

$$H \leq P$$

b.2. Formule de Kindsvater et Carter

pour le déversoir rectangulaire avec contraction, Kindsvater et Carter ont proposé, en 1957 , la formule suivante : [23]

$$Q = \mu \times C_V \times L_e (h_e)^{3/2} \times \sqrt{2g} \tag{III. 16}$$

Sachant que h_e désigne le tirant d'eau effectif et L_e désigne la largeur d'eau effective.

Avec : $h_e = h_1 + K_h$ ou $K_h \sim 1 \text{ mm}$.

$$L_e = L + K$$

Pour les valeurs de K_1 , voir l'abaque (Figure I.1) en Annexe I. [23]

b.2.1. Coefficient de débit

Il est exprimé par :

$$\mu = \frac{2}{3} (\varphi + \Psi \frac{h_1}{p}) \tag{III.17}$$

Pour les valeurs de φ et Ψ voir l'abaque (Figure I.3) en Annexe I.

Cette formule est valable pour :

$$h_1/p \geq 2$$

Sachant que le rapport h_1/p doit être supérieure ou égale 2, pour éviter la formation des vagues en amont .[23]

c. Valeurs usuelles du coefficient de débit μ

La formule générale :

$$Q = \mu \times L \times h \sqrt{2gh} \tag{III.18}$$

Dans la pratique courante pour une première approximation dans le cas d'un déversoir en mince paroi vertical à nappe libre rectangulaire on peut prendre :

- ✓ Sans contraction latérale $\mu=0.43$
- ✓ Avec contraction latéral $\mu=0.40$

Ceci revient à négliger dans les formules données précédemment le terme en Z ce qui est acceptable des que $Z > 4 H$ et à arrondir le premier terme de l'expression de μ en lui donnant une valeur moyenne. [11]

III.6.1.2. Déversoir à échancrure triangulaire

a. Description:

désigné par le déversoir de Thom , il peut être à crête partiellement ou complètement contracté.

a.1. Cas d'une contraction complète :

Ce cas est représenté par la figure ci-dessous.

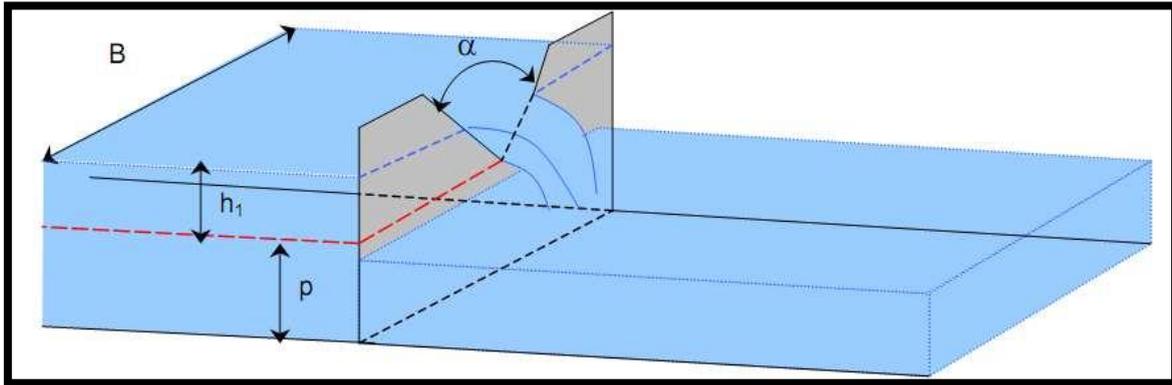


Figure.III.6 : Déversoir triangulaire à contraction complète. **Source** (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

➤ Condition de validité :

Ceci est montré par le tableau ci-dessous :

Tableau.III.1 : Domaine d'application correspondant au déversoir triangulaire à contraction complète. [23]

Déversoir à contraction complète
$25^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$
$h_1/P \leq 0.4$
$h_1/B \leq 0.2$
$0.05\text{m} \leq h_1 \leq 0.38\text{ m}$
$P \geq 0.45\text{ m}$
$B \geq 0.9\text{ m}$

Source (Notice sur les déversoirs, Février 2005)

a.2. Déversoir partiellement contracté :

Ce cas est représenté par la figure ci-dessous.

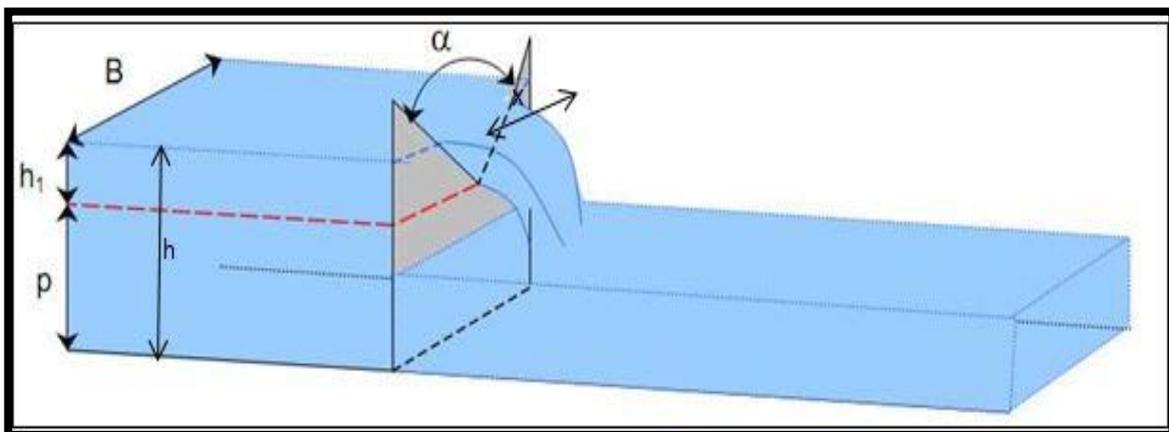


Figure.III.7 : Déversoir triangulaire partiellement contracté. **Source** (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

➤ Limites d'application :

Ceci est montré par le tableau ci-dessous :

Tableau.III.2 : Domaine d'application correspondant au déversoir triangulaire à contraction partielle. . [23]

Déversoir partiellement contracté
$\alpha = 90^\circ$
$h_1/P \leq 1.2$
$h_1/B \leq 0.4$
$0.05\text{m} \leq h_1 \leq 0.6 \text{ m}$
$P \geq 0.1 \text{ m}$
$B \geq 0.6 \text{ m}$

Source (Notice sur les déversoirs, Février 2005)

Formule classiques :

Le profil de l'échancrure est un triangle dont la bissectrice intérieure de l'angle des deux joues latérales est généralement verticale.

On peut faire la théorie approchée suivantes la vitesse moyenne dans la tranche d'eau de largeur x et de hauteur dh située à une profondeur h_1 au-dessous de la surface libre est approximativement $\sqrt{2gh}$.

Si on désigne μ_1 le coefficient de débit approprié, le débit élémentaire de cette tranche sera :

$$dQ = \mu_1 \times x \times dh\sqrt{2gh} \quad \text{(III.19)}$$

Mais on a $x = \frac{l}{h}(h - h_1)$

Donc

$$dQ = \mu_1 \times \frac{l}{h}(h - h_1) \times dh\sqrt{2gh} \quad \text{(III.20)}$$

$$Q = \int_0^h \mu_1 \times \frac{l}{h}(h - h_1) \times dh\sqrt{2gh} \quad \text{(III.21)}$$

En supposant μ_1 constante l'intégration donne

$$Q = \frac{4}{15}\mu_1 \times l \times h\sqrt{2gh} \quad \text{(III.22)}$$

Ou en introduisant l'angle α de l'échancrure :

$$Q = \frac{8}{15}\mu_1 \times h^2 \times \tan\frac{\alpha}{2}\sqrt{2gh} \quad \text{(III.23)}$$

La valeur de μ_1 varie avec le rapport $\frac{l}{h}$ pour un déversoir vertical à crête mince et à nappe libre on peut prendre. [10]

Pour $\frac{l}{h} = 2$ $\mu_1 = 0.59$

Pour $\frac{l}{h} = 4$ $\mu_1 = 0.62$

Si l'angle de l'échancrure est égale à 90° on a $l/h = 2$ et la formule devient :

$$Q = 1.40h^{\frac{5}{2}} \text{ (Formule de Thomson) } \quad \text{(III.24)}$$

Heyndrique à proposer en 1948 la formule suivante pour μ_1 :

$$\mu_1 = (0.5775 + 0.214h^{-1.25})(1 + \frac{h^2}{l^2(h+h_1)^2}) \quad \text{(III.25)}$$

L : largeur superficielle

H₁ : hauteur de la pointe de l'échancrure au-dessus du fond de canal à l'amont

En supposant un écoulement critique à travers le déversoir avec une charge totale H_c on aura H_c=5/4h_c ou h_c est la profondeur critique de l'écoulement, nous avons : [24]

$$h_c = \left(\frac{2Q^2}{gm^2}\right)^{1/5} \quad (III.26)$$

Avec : $\frac{\alpha}{2}$ et $m = \tan \frac{\alpha}{2}$

D'où :

$$Q = \frac{16}{25} m \times \sqrt{\frac{2}{5} g H_c^5} \quad (III.27)$$

Si la vitesse d'approche de l'écoulement est faible alors :

H_c=h=H

$$Q = \frac{16}{25} \times \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{2}{5} g h^5} \quad (III.28)$$

D'où : μ=0.5366

La pleine contraction est si : $\frac{h}{p} \leq 0.40$ et que $\frac{p}{l} \leq 0.20$, dans ce cas le coefficient de débit ne dépend que de l'angle d'ouverture α .Le tableau regroupe les valeurs de coefficient de débit pour quelques valeurs de α

Tableau.III.3 :Coefficient de débit en fonction de α

α	20	40	60	80	90	100
μ	0.597	0.582	0.577	0.577	0.578	0.580

Source (<http://thesis.univ-biskra.dz/1098/4/Chapitre%2001.pdf>)

a. Formule de cône (U.S.A 1916)

$$Q = (0.3065 \tan \frac{\alpha}{2} \times h^{\frac{5}{2}} \sqrt{2g} + 0.0031 h^{\frac{5}{2}} \times \sqrt{2g}) \times (3.28h)^{\frac{-0.0195}{0.75 \tan \frac{\alpha}{2}}} \quad (III.29)$$

➤ Limites d'application :

$$28^\circ < \alpha < 90^\circ$$

$$0.06 \text{ m} < h < 0.41 \text{ m}$$

Cône a également proposé la formule simplifiée suivantes qui pour α=90° donne des résultats aussi précis :

$$Q = 0.303 h^{-0.02} \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} h^{\frac{5}{2}} \quad (III.30)$$

b. Formule de Kindasvater

Pour le déversoir triangulaire, Kindasvater propose , que ce soit pour le déversoir triangulaire avec contraction partielle ou complète , la relation suivante pour exprimer le débit déversé :

$$Q = \frac{8}{15} \times \mu \times C_v \times \sqrt{2g} (h_1 + k_h)^{5/2} \times \tan \frac{\alpha}{2} \quad (III.31)$$

Avec: K_h longueur tenant compte de la tension superficielle et de la viscosité définie par

L'abaque (Figure I.3) dans l'Annexe 1.

➤ Limites d'application :

$$\begin{aligned} 25^\circ < \alpha < 100^\circ & ; \\ 0.05\text{m} < h_1 < 0.6\text{m} & ; \\ h_1/B & \geq 0.4\text{m} \\ p < 0.2\text{m} & ; \\ B < 0.6\text{m}. & \end{aligned}$$

b.2.1. Coefficient de débit pour un déversoir triangulaire partiellement Contracté

Il dépend d' h/p , p/B , et l'angle α .

Le déversoir triangulaire est à contraction complète : Si $h_1/p \leq 1,4$ et $p/B \leq 0,6$,

Le coefficient de débit μ est déterminé par l'abaque de la Figure I.5 en l'Annexe 1.[23]

b.2.2. Coefficient de débit pour un déversoir triangulaire partiellement Contracté

Le déversoir triangulaire est partiellement contracté : Si $h_1/p > 0,4$ et $p/B > 0,2$, [23]

Le coefficient de débit μ est déterminé par l'abaque de la Figure I.6 en l'Annexe 1, seulement pour $\alpha=90^\circ$. [9]

de débit μ peut être déterminé par l'abaque (Figure I.6) dans l'Annexe I, seulement pour $\alpha=90^\circ$. [9]

c. Formule de Gourel et Cramp

$$Q = 1.32 \tan \frac{\alpha}{2} \times h^{2.47} \quad (\text{III.32})$$

III.6.1.3. Déversoir trapézoïdal

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

On obtient la formule de débit d'un déversoir de mesure en décomposant la surface de la section transversale de forme trapézoïdale en un rectangle et un triangle.

✓ Zone triangulaire

$$Q_1 = \frac{8}{15} \mu \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{2gh}^{2.5} \quad (\text{III.33})$$

✓ Zone rectangulaire

$$Q_2 = \frac{2}{3} \mu b_w \sqrt{2gh}^{1.5} \quad (\text{III.34})$$

En additionnant la Formule (III.33) et la Formule ((III.34), on obtient finalement le coefficient de débit d'un déversoir à paroi mince trapézoïdal.

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (\text{III.35})$$

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2gh}^{1.5} \left[b_w + \frac{4}{5} h \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad (\text{III.36})$$

a. Cas particulier ($\text{tg } \alpha = 1/4$, déversoir et formule de Cipoletti)

Ce type de déversoir est souvent utilisé. Et sa crête est constituée par la plus petite base, de largeur L et la pente des côtés est de ¼ (horizontale/verticale).

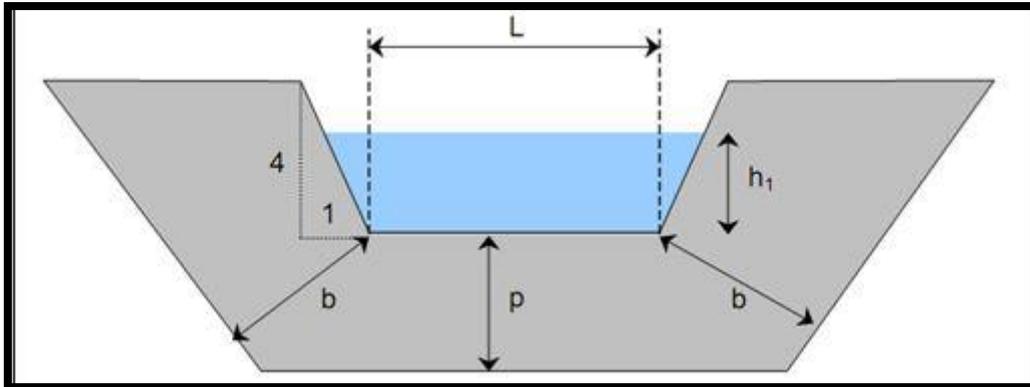


Figure.III.8: Déversoir de Cipolletti . **Source** (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)**Cas particulier $\alpha \approx 14^\circ$:**

Dans ce cas le coefficient de débit est constant pour un vaste domaine de variation de la charge et Cipolletti propose une formule particulière.[23]

Formule classiques

b. Formule de CIPOLETTI

Formule générale du débit :

$$Q = \mu \times l \times h \sqrt{2gh} \quad (\text{III.37})$$

L : Largeur de la crête horizontale (petit base du trapèze)

μ : Constante quelle que soit h (voisin 0.422)

La formule de Cipolletti s'écrit donc sous forme simplifiée :

$$Q = 1.86\mu h^{1.5} \quad (\text{III.38})$$

➤ Limites d'application :

$$0.08 \text{ m} < h_1 < 0.6 \text{ m} ;$$

$$h_1 < \frac{e}{2} ;$$

$$h_1 < \frac{l}{2} ;$$

$$h_1 < \frac{p}{3} ;$$

c. Formule de Gourley et Crimp [8]

$$Q = 1.32h^{2.47} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) + 1.69h^{1.47}L^{1.02} \quad (\text{III.39})$$

III.6.2. Déversoir à crête épaisse

Dans ce cas nous devons tenir compte du coefficient de vitesse C_v .

III.6.2.1. Détermination de C_v

Son expression est en fonction de certains paramètres :

- ✓ La charge en amont
 - ✓ de la forme géométrique du déversoir à crête épaisse ;
 - ✓ De S^*/S_1 (voir figure ci-dessous) .
 - ✓ De μ ; le coefficient de débit du déversoir.

Ainsi nous avons :

$$C_v = f \left[\mu \frac{S^*}{S_1}, \text{ forme du déversoir} \right] \quad [23]$$

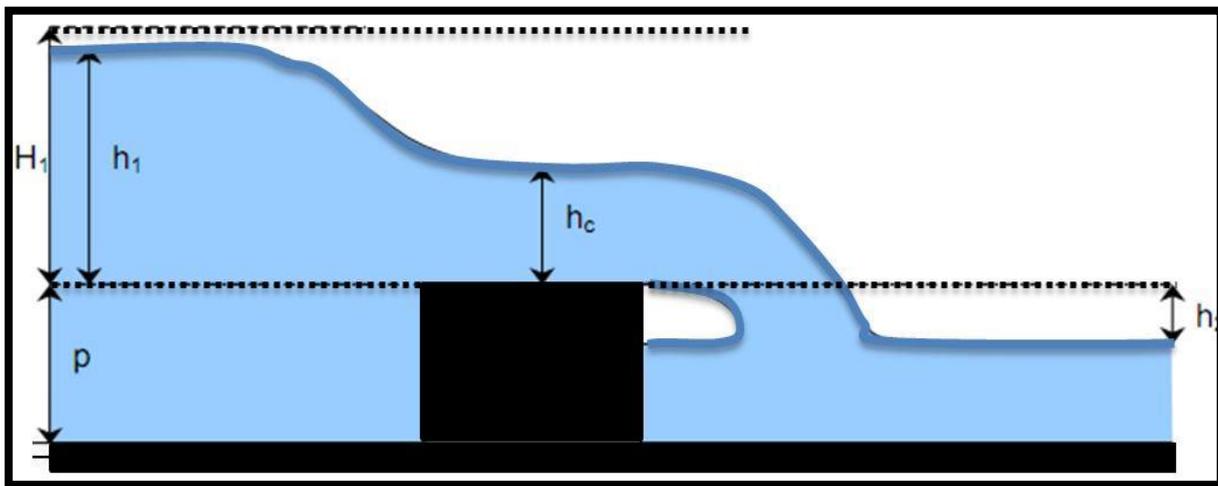


Figure III.9 : Schéma de déversoir à crête épaisse. [23]

Les valeurs de C_v sont montrées par l'abaque (Figure I.6) en Annexe 1. [23]

a. Ecoulement à nappe dénoyée : [16]

Lorsque la hauteur d'eau à l'aval du déversoir h_2 est au-dessous de celle du déversoir, on parle d'écoulement à nappe dénoyée.

Ceci est valable pour la condition suivante : $h_2/h_1 < \Psi$ avec Ψ varie de [0,66 ; 0,82].

Le débit est donné par :

$$Q = \mu \times l \times \sqrt{2g} \times h^{3/2}. \quad (III.40)$$

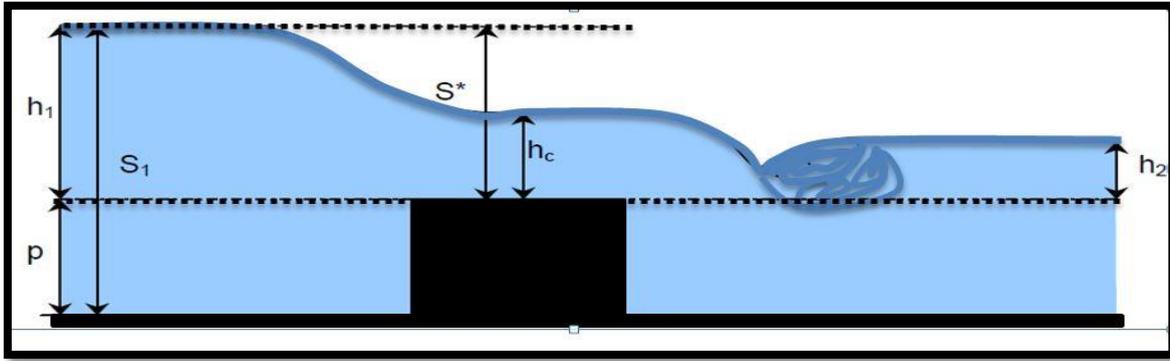


Figure.III.10 : Déversoir à crête épaisse avec écoulement dénoyé. [23]

b. Ecoulement a nappe noyée

Lorsque la hauteur d'eau à l'aval du déversoir h_2 est au-dessus de celle du déversoir, on parle d'écoulement a nappe noyée.

Ceci est valable pour la condition suivante : $h_2/h_1 > \Psi$ avec Ψ varie de [0,66 ; 0,82].

Dans ce cas le débit doit être multiplié par un coefficient de réduction k . Ainsi le débit est donné par :

$$Q_{noyé} = K \times Q_{dénoyé} \quad (III.41)$$

Sachant que K est le coefficient de noyage du déversoir. [16]

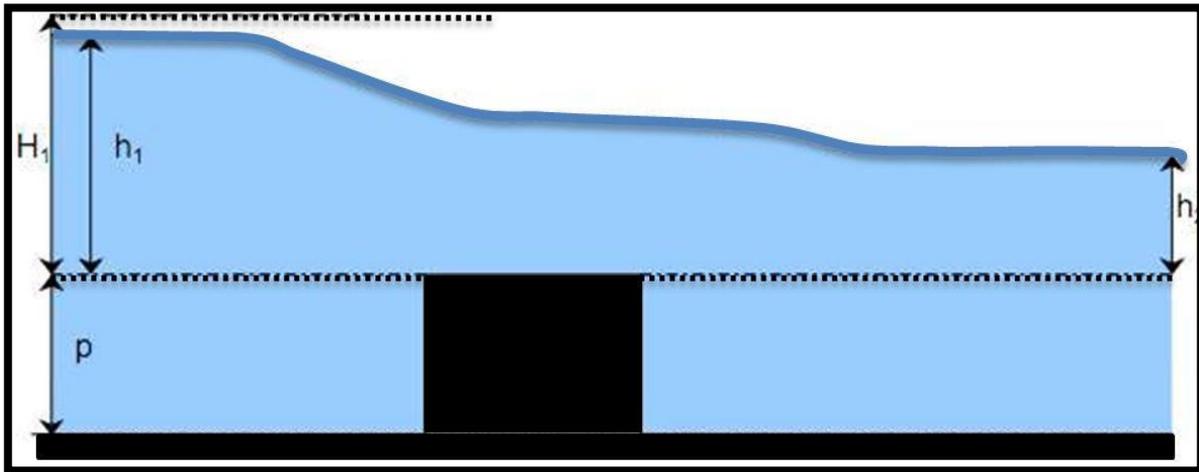


Figure.III.11 : déversoir à crête épaisse avec écoulement noyé.[23]

b.2 Autres formules de débit

Formule Rao et Shulka

$$Q = m L h_d \sqrt{2g h_d} \quad (III.42)$$

Tableau.III.4 : Les valeurs de m.

h_d	m
$h_d > 0.08c$	$0.66(0.265 + 0.011 h_d / c)$
$c > h_d > 0.08c$	$0.66(0.290 + 0.027 h_d / c)$
$1.60c > h_d > c$	$0.66(0.318 + 0.033 h_d / c)$
$h_d > 1.60c$	$0.66(0.336 + 0.044 h_d / c)$

Source (Guide techniques sur les fonctionnements des déversoirs d'orages anjou recherche .enge)

Cas dénoyé [3]:

$$Q = \mu c \sqrt{2g} h_d^{1.5} \quad (III.43)$$

Avec :

$$\mu = 0.326 \left[\frac{1 + \frac{9}{7} \left(\frac{h_d}{l} \right)^4}{1 + \left(\frac{h_d}{l} \right)^4} \right] \quad (III.44)$$

➤ Limite d'application

$$h_d > 50 \text{ mm}$$

$$c > 0.3 \text{ m}$$

$$w > 0.15 \text{ m}$$

c. Déversoir épais avec arête arrondie

pour ce cas ,nous distinguons un écoulement à nappe noyée de celui à nappe dénoyée en utilisant les données de l'abaque en figure I.7 de l'Annexe I.[23]

c.1. Ecoulement a nappe dénoyé

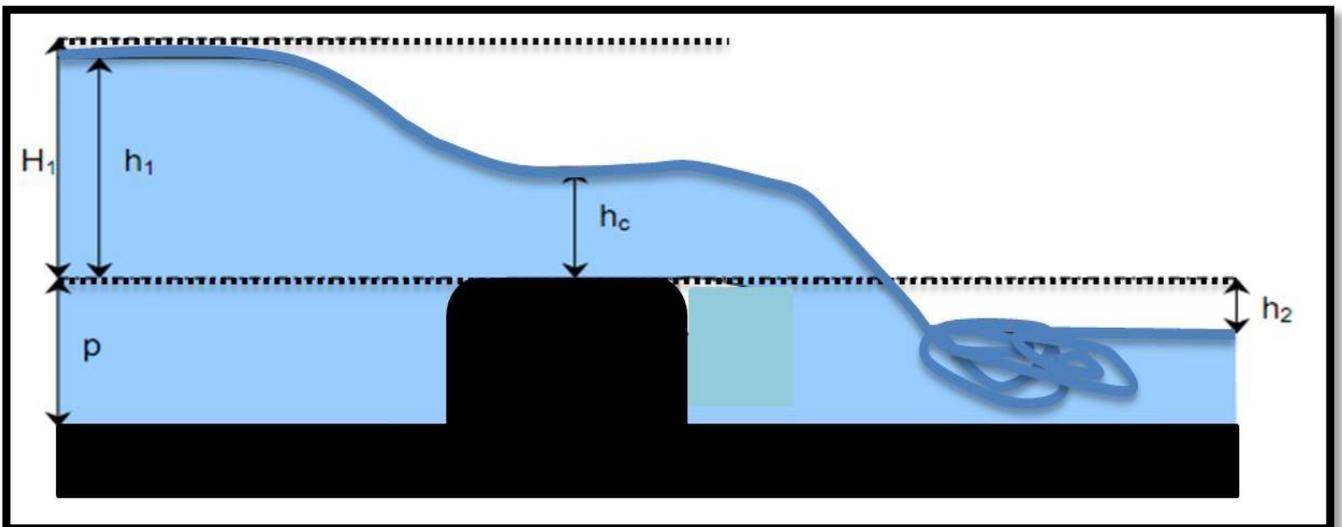


Figure.III.12.Déversoir à crête épaisse avec arête arrondie en écoulement dénoyé. .[23]

$$Q = \mu \times C_v \times L \times \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} gh_1^{3/2} \quad (III.45)$$

➤ Limites d'application :

$$h_{1max} > \max[0.06 ; 0.08 * C] \quad ; \quad 0.05 < h_1/C < 0.5 \text{ m} \quad ; \quad p > 0.15 \text{ m} \quad ; \quad 0.15 < h_1/p < 1.5$$

$$C > 1.75 h_{1max} \quad ; \quad L > \min[0.3 ; C/5 ; h_{1max}] \quad ; \quad r = 0.2 h_{1max}$$

Le coefficient de débit est donné par .[23]:

$$\mu = \left[\frac{(1 - 2x(C - r)/L)}{(1 - x(C - r)/h_1)} \right]^{3/2} \quad (III.46)$$

Sachant que x représente l'influence de la rugosité des parois et de la crête.

O u :

$x = 0,005$, béton normal (ouvrages réels)

$x = 0,003$, béton très lisse (modèles en laboratoire)

dans le cas du déversoir épais avec arrête arrondie en écoulement dénoyé , les valeurs du coefficient peuvent être les sur l'abaque de la Figure I.8 en Annexe 1.

Alors que le débit est exprimé par une **autre formule** :

$$Q = \mu \times C_v \times L \times \sqrt{2g} h_1^{3/2} \quad (\text{III.47})$$

c.2 Ecoulement a nappe noyé

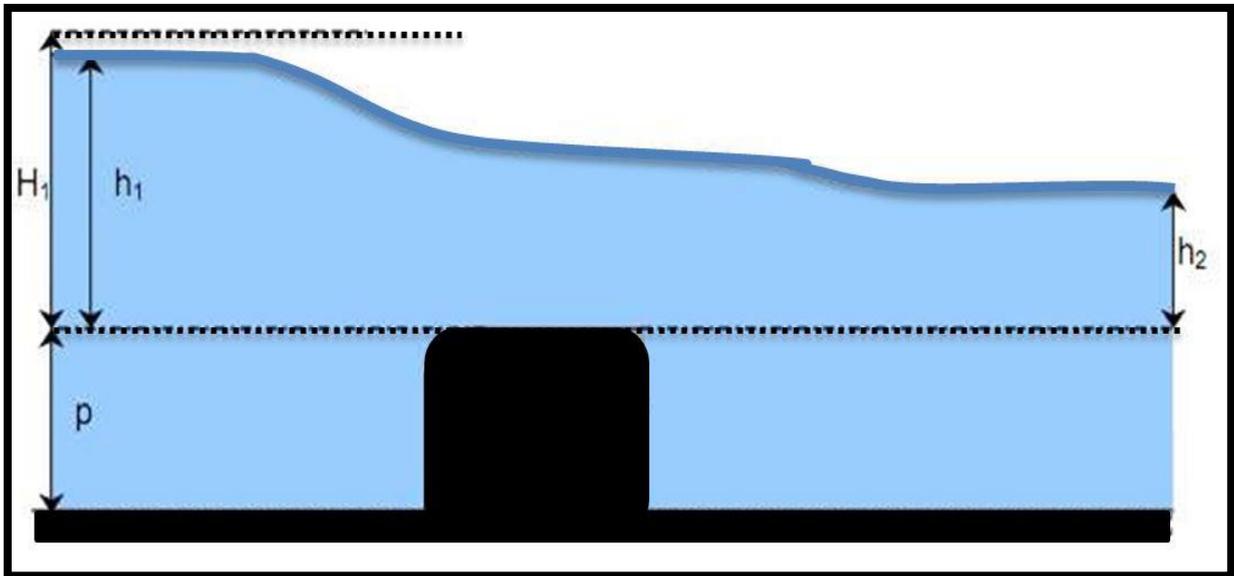


Figure.III.13 : Déversoir à crête épaisse avec arête arrondie en écoulement noyé.[23]

Le débit, dans ce cas, est obtenu par simple multiplication de celui correspondant au cas noyé par un coefficient de correction K :

$$Q_{\text{noyé}} = K \times Q_{\text{dénoyé}} \quad (\text{III.48})$$

Les valeurs de K peuvent être obtenues à l'aide de l'abaque de la figure I.9 en Annexe I. [23]

➤ Limites d'application :

$h_{1\text{max}} > \max [0,06 ; 0,08 \times C]$; pour $h_1/(h_1+p) < 0,35$; $0,08 < h_1/C < 1,5\text{m}$

$L > \min [0,3 ; C/5 ; h_{1\text{max}}]$; pour $h_1/(h_1+p) > 0,35$; $0,08 < h_1/C < 0,85\text{m}$, $p > 0,15\text{m}$;

c.2.1. Coefficient de débit

il dépend du coefficient **F** et du rapport $h_1/(h+p)$, déterminé par l'abaque de la figure I.11 en Annexe II.

Nous avons : $\mu = 0,848 \times F$.

d. Valeur usuelles

Pour une nappe dénoyée sur un déversoir rectangulaire sans contraction latérale, le débit est calculé selon la formule de Poleni de la manière suivante :

$$Q = \frac{2}{3} \mu \times b_w \times \sqrt{2gh_{dé}}^{3/2} \quad (\text{III. 49})$$

μ : coefficient de débit (sans dimensions)

b_w : largeur du déversoir.

g : accélération de pesanteur.

h : hauteur de lame déversant.

Le coefficient de débit dépend de la géométrie du déversoir, notamment de l'arrondi des arêtes de déversoir. Plus la géométrie du déversoir est favorable à l'écoulement, plus le coefficient de débit est élevé.

Les valeurs usuelles de coefficient de débit pour le déversoir à seuil épais sont :

- ✓ Pour le déversoir à arêtes vives $\mu = [0.49, 0.51]$.
- ✓ Pour le déversoir à arêtes arrondies $\mu = [0.50, 0.56]$.

Dans le cas d'une nappe noyée, le niveau d'eau en aval h_1 influence le niveau d'eau en amont h_0 .

Le débit est calculé de la même manière que pour la nappe dénoyée. Un coefficient de réduction est toutefois pris en compte.

$$Q = \frac{2}{3} \mu \times c \times b_w \times \sqrt{2gh_{dé}}^{3/2} \quad (\text{III.50})$$

Q : débit

c : coefficient de réduction (sans dimensions)

μ : Coefficient de débit (sans dimensions)

b_w : largeur du déversoir

g : accélération de pesanteur

h : hauteur de lame déversant

III.7. Calcul des erreurs

III.7. 1. Précision sur le calcul des différents coefficients

La précision relative des mesurages de débit, effectués avec des déversoirs dépend de la précision des mesurages de la hauteur de lame, des dimensions du déversoir et des coefficients qui s'appliquent au déversoir utilisé.

III.7. 2. Type d'erreur :

Les erreurs peuvent être systématiques ou accidentelles ; les premières affectent sa véritable précision, les secondes affectent la reproductibilité « fidélité » du mesurage.

a. Erreur de mesurage débit :

On peut évaluer l'erreur limite totale sur mesurages de débit si les erreurs limites provenant de différentes sources sont combinées. En générale, on peut évaluer ces erreurs qui constituent l'erreur limite totale, et elles indiquent si le débit peut être mesuré ou non avec une précision suffisante pour le cas considéré.

L'erreur peut être définie comme étant la différence entre le débit réel et celui calculé à partir de l'équation utilisée.

b. Sources d'erreur :

On peut identifier les sources d'erreur en considérant une expression générale de la formule de débit pour les déversoirs donc, les sources d'erreur à considérer sont les suivants :

- ✓ Le coefficient de débit « μ » et le coefficient de vitesse « C_v » .
- ✓ Le mesurage des dimensions du dispositif de mesurage par exemple la largeur du déversoir.
- ✓ Le mesurage de la hauteur de la lame h .

III.8. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de classifier les différents type de déversoir utiliser dans notre expérience et d'obtenir la relation entre la hauteur de la lame d'eau déversé et le débit ainsi que le coefficient de débit.

Nous avons montré que toutes les relations exprimant le débit transitant à travers ces déversoirs contiennent des limites d'application ainsi que des termes correctifs.

En effet, il n'est pas possible de mesurer une grandeur qui soit totalement exempte d'erreur ou d'incertitude.



CHAPITRE IV :
Etude
Expérimentale

IV.1.Introduction

Dans ce chapitre nous allons donner une description de l'installation expérimentale, les différents instruments de mesure et les déversoirs utilisés ainsi que la conception et la réalisation du déversoir cylindrique et de la sonde électrique ainsi le mode opératoire adopté..

IV.2.Déscription de l'installation expérimentale :

L'installation est composée essentiellement d'un canal rectangulaire à pente variable. Ce canal est alimenté au moyen d'une pompe centrifuge radiale à partir de six réservoirs montés en série. Des déversoirs à parois mince ainsi qu'épaisse seront utilisés sur ce canal en plus d'un déversoir cylindrique et une sonde électrique de mesure que nous avons réalisé.

IV.2.1.le canal :

La figure ci-dessous nous permet de prendre connaissance de la forme ainsi que des différents éléments faisant partie du canal expérimental.



Figure.IV.1 :Le canal expérimental.

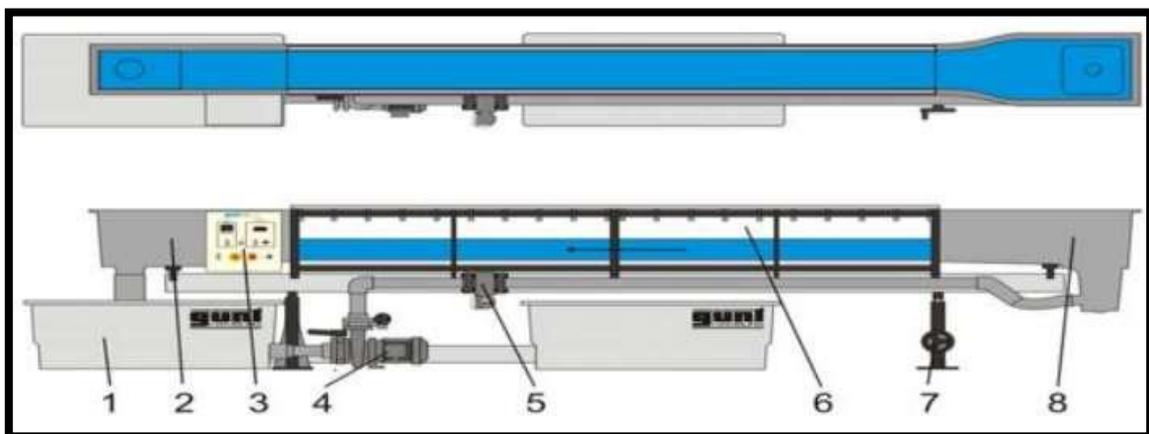


figure.IV.2 : Schéma des éléments de canal expérimental.

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

- ✓ Le canal expérimental est en matière transparente. Il est de 0.45 m de hauteur, de 0.309 m de largeur et de 12.5m de longueur . L'alimentation de ce canal se fait au moyen d'une aspirant à partir de quatre réservoirs , en matière plastique

renforcée de fibres de verre et d'une capacité totale de 4400 l (voir Figure IV.3)
.l'évacuation se fait dans un bac de décharge situé à l'aval.[14]



Figure.IV.3 : Le réservoir.

✓ L'eau est puisée des réservoirs à l'aide d'une pompe de type Aquafirst donnant un débit maximal de $130 \text{ m}^3/\text{h}$ sur une hauteur de 30m, tournant à une vitesse de 2800 tr/min et absorbant une puissance de 7.5 kw .la plage de variation des débits varie de 5.4 à $130 \text{ m}^3/\text{h}$. [14]



Figure.IV.4 : Elément de Pompage du dispositif expérimentale.

- ✓ le canal est équipé d'un débitmètre électromagnétique qui est installé dans la conduite, entre la pompe à eau et l'élément d'entrée .Le débit mesuré est affiché sur le coffret de Commande.

Figure.IV.5 : Débitmètre électromagnétique



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

Figure.IV.6 : Réglage de l'inclinaison



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

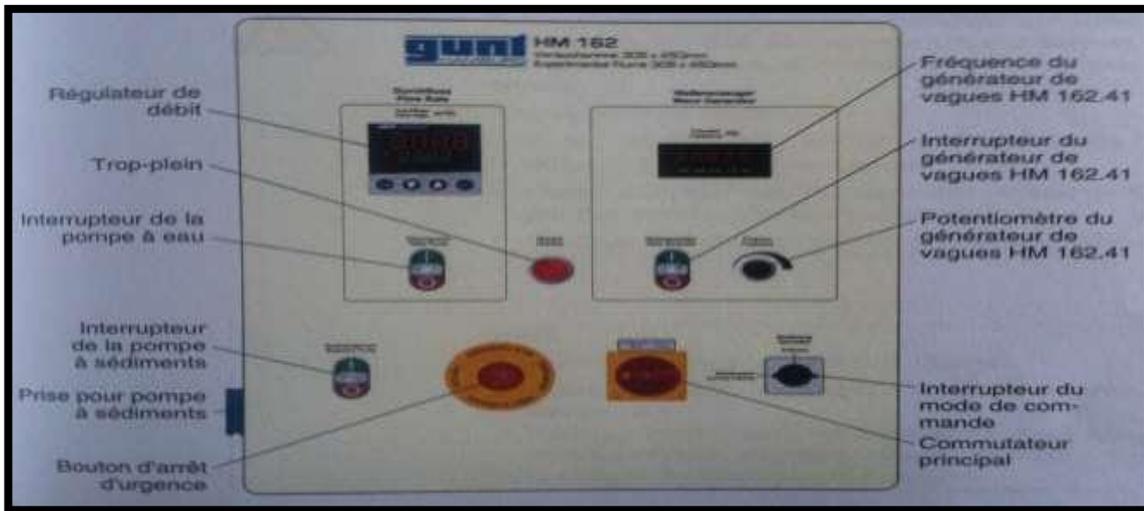


Figure.IV.7 : Schéma du coffret de commande.

- ✓ Le limnimétrie est l'élément de base des dispositifs de lecture et d'enregistrement du niveau de l'eau : il est constitué le plus souvent d'une échelle limnimétrique verticale ou inclinée placée près de la prise d'eau du limnigraphe sur laquelle on lit le niveau de l'eau lors des jaugeages. Le zéro de l'échelle limnimétrique est placé au-dessous des plus bas .



Figure.IV.8 : Représente le limnimètre.

IV.2. 2.Les déversoirs :

IV.2.2.1.Déversoirs à crête mince :

a. Déversoir triangulaire :

Sur un déversoir triangulaire, la crête déversant augmente sur les côtés. De par sa forme triangulaire.



Figure.IV.9 : Déversoir triangulaire

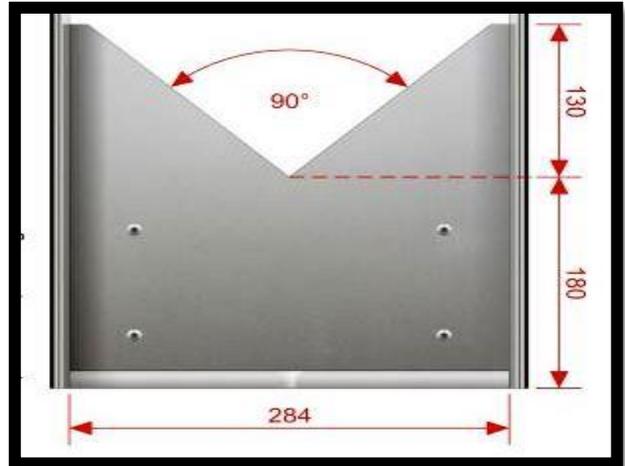


Figure.IV.10 : Dimension de déversoir triangulaire en (mm)

b. Déversoir rectangulaire:

La crête déversant d'un déversoir rectangulaire est de forme horizontale.. Les déversoirs rectangulaires peuvent être conçus avec ou sans contraction latérale.

b.1. Sans contraction latérale :



Figure.IV.11 :Déversoir rectangulaire sans contraction latérale



Figure.IV.12 : Dimensions du déversoir rectangulaire sans contraction latérale en (mm)

b.2. Avec contraction latérale



Figure.IV.13 : Déversoir rectangulaire avec contraction latérale

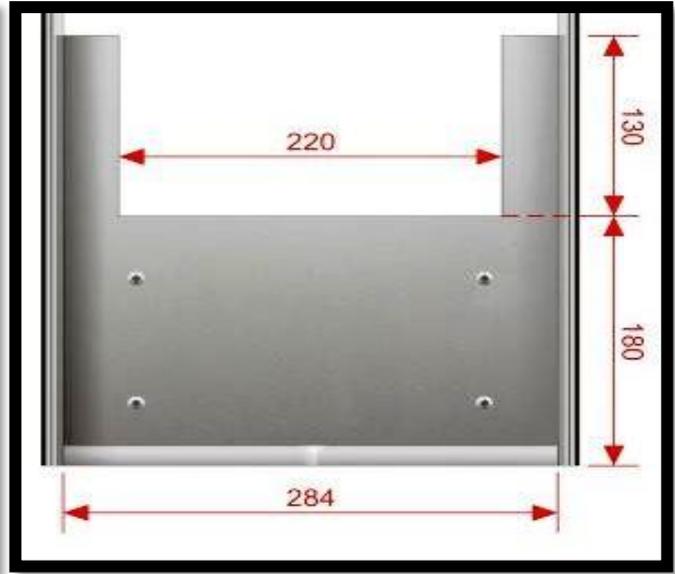


Figure.IV.14 : Dimensions du déversoir rectangulaire avec contraction latérale en (mm)

c. Déversoir trapézoïdal

Le déversoir de mesure trapézoïdal est la combinaison d'un déversoir rectangulaire et d'un déversoir triangulaire. Le déversoir trapézoïdal combine alors les avantages d'un déversoir triangulaire et un autre rectangulaire. La lame déversant d'un déversoir trapézoïdal est toujours aérée.

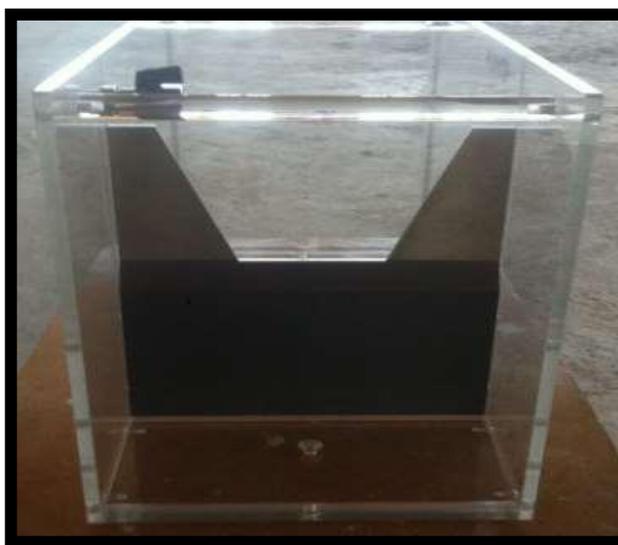


Figure.IV.15 : Déversoir trapézoïdale

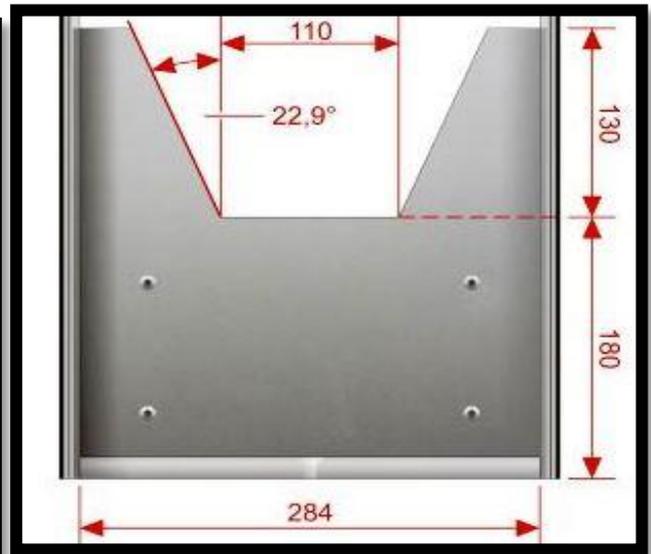


Figure.IV.15 : : Dimensions du déversoir trépozoidale (mm)

IV.2.2.2. déversoirs à crête épaisse :

Les déversoirs à seuil épais font partie des ouvrages de contrôle. Ils peuvent être noyés ou dénoyés.. Ce matériel comprend un corps de déversoir parallélépipédique à arêtes vives. Deux éléments supplémentaires peuvent être fixés sur le corps de déversoir afin d'obtenir des arêtes arrondies. La nappe dénoyée et la nappe noyée peuvent être bien démontrées. L'impact de la crête de déversoir à arêtes vives ou arrondies sur la lame déversant est bien visible.



Figure.IV.17 :Déversoir a seuil épais.

a..à Seuil épais avec arrête arrondie

Les arêtes sont arrondies en amont en en aval de l'écoulement pour ce type de déversoir.

b.à paroi épaisse avec arrête vive :

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



Figure.IV.18 : Déversoir à crête épaisse à arrête vive.



Figure.IV.19 : Déversoir à crête épaisse à arrête arrondie.

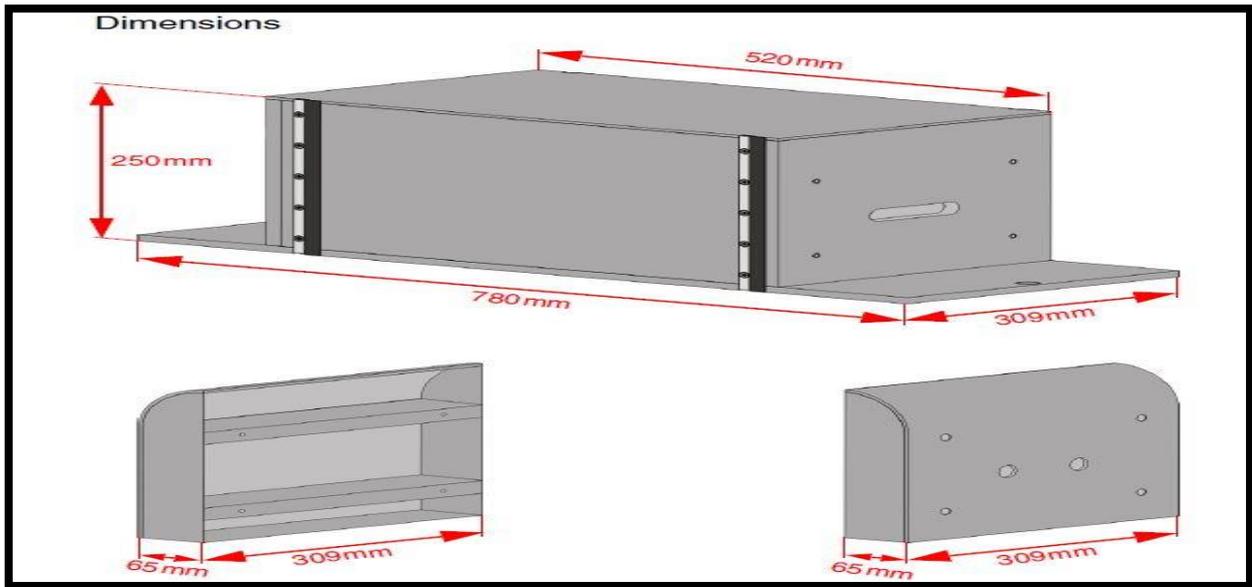


Figure.IV.20 : Dimensions du déversoir à paroi épaisse avec arrête arrondie et vive.

IV.3. Réalisation déversoir cylindrique :

Avant d'aller à la réalisation de notre déversoir on doit choisir le matériau de déversoir après en passe à la perforation de notre cylindre et en va montrer le choix de diamètre des trous ainsi que l'équidistance entre eux.

IV.3.1. Choix de matériaux

Nous allons nous intéresser au problème du choix du matériau. Le choix doit être en fonction de critère technique comme la densité de matériaux et la résistivité au corrosion, la maniabilité de matériaux et les notions de gestion de projet, ainsi que les critères économiques (prix, disponibilité).

a. Les plaques de métal

Les différentes plaques de métal proposées pour réaliser notre déversoir cylindrique sont : l'inox, aluminium et acier. Grâce aux différents critères.

Note : l'aluminium a un aspect argent-gris mat et est à l'aise autant en intérieur (idéal pour la rénovation) qu'en extérieur (résistant aux intempéries et aux UV). On peut donner à l'aluminium des formes très variées car on peut le plier, le percer, le cintrer et le souder. Il est idéal en fixation verticale car il a une faible densité. 3 fois plus léger que l'acier, il a une bonne résistance à la corrosion et il possède une bonne conductivité thermique et électrique (évacuation de la chaleur / refroidissement). Des traitements de surface peuvent encore améliorer cette résistance (anodisation, laquage, ...)

b. Les tubes en PEHD

La surface paraffinique du polyéthylène lui assure un faible coefficient de friction, c'est tube ayant une excellente résistance à l'abrasion par rapport aux tubes traditionnelles .(voir Figure IV.21).

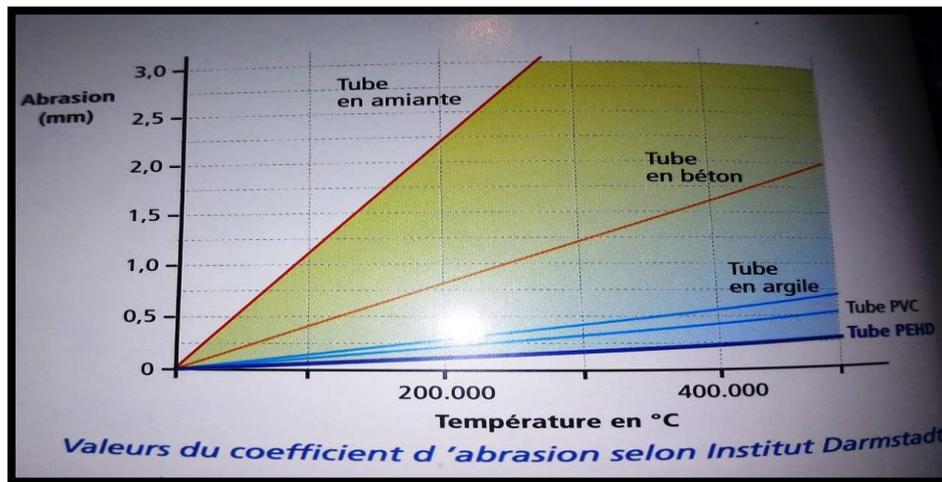


Figure IV.21 : Les valeurs d'abrasion des différents matériaux des tubes .
Source (catalogue technique tube en polyéthylène PEHD .GROUPE CHIALI).

✓ **Récapitulatif des caractéristiques de PE**

Ce tableau ce dessous- montre les caractéristiques de PE

Tableau IV.1 : Les caractéristique de tube PE.

Paramètre	PE80	Unité
Masse volumique	949 à 956	Kg/m ³
Coefficient de rugosité hydraulique	0.01 jusqu' a DN200 0.02 0.05 pour DN>= 200	
Résistivité électrique	$\geq 10^{17}$	Ω/cm

Source (catalogue technique ; Groupe Chiali)

Remarque : nous avons choisi le PEHD pour réaliser notre déversoir car ce tube ayant une forme cylindrique et une grande résistivité électrique, anticorrosion et une faible densité ainsi qu'il est disponible dans le marché.

Les diamètres choisis sont 200 mm et 250 mm en fonction de la largeur de canal d'essais, avec une erreur de 0.26 mm pour chaque 2 cm perforé.

La figure représente une modélisation 3D pour la perforation de la conduite de diamètre 200 mm à l'aide de SOLIDWORKS.

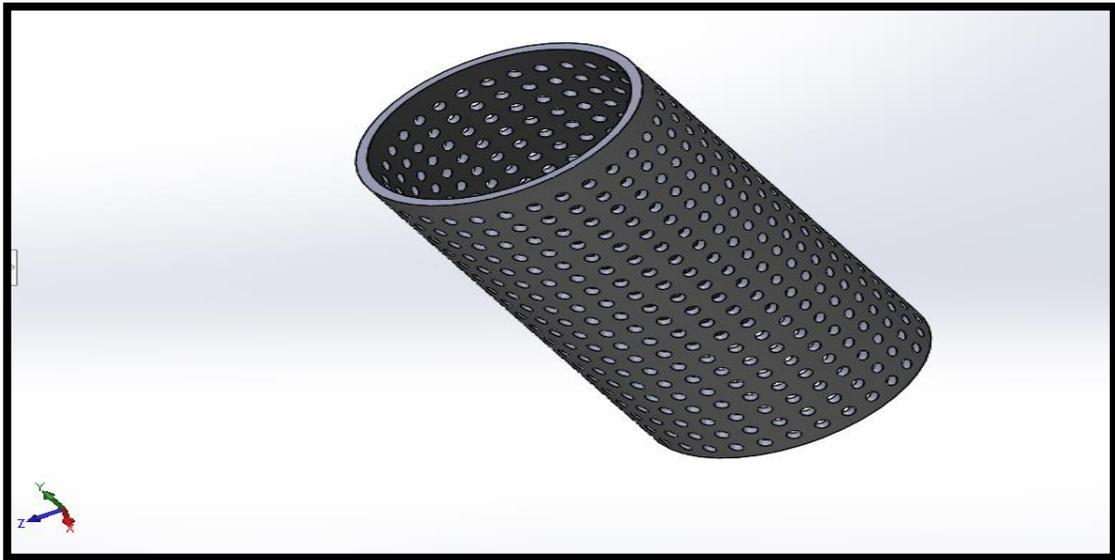


Figure IV.22 : Conception 3D de la perforation du cylindre 200 mm.

IV.3.2.Conception :

- Le découpage horizontal des tube de diamètre 200 mm et 250 mm a une longueur égal 40 cm
- fixation de la conduite dans le gabarit de la fraiseuse vertical.
- La perforation de la conduite chaque 10 mm par des trous de 10 mm.



Figure IV.23 : La perforation de cylindre.

- Installation de deux règles graduées non perforés symétriquement dans le tube.
- Installation d'une main de levage.



Figure IV.24 : L'état final de déversoir cylindrique.

IV.4. Conception de la sonde électrique

IV.4.1. Etude théorique

Avant d'entamer notre réalisation de la sonde de mesure de pour mesuré la hauteur d'eau, nous devons tenir compte de trois notions :

- a- La conductivité et la résistivité de l'eau
- b- Les diodes LED et leur principe de fonctionnement
- c- Les convertisseurs AC-DC 220VAC/5VDC

a- La conductivité et la résistivité de l'eau

✓ Résistance et conductance

La résistance est définie par le rapport de la tension U appliquée à ses bornes à l'intensité I du courant, et la conductance c'est l'inverse de sa résistance, à savoir le rapport de I à U :

$$R = \frac{U}{I} , \gamma = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad (\text{IV.5})$$

[U] = volts .

[I] = ampères,

[R] = W, γ en W^{-1} ou S (siemens).

Dans les liquides, la conduction est assurée par le mouvement d'ions. La conductance va donc dépendre de la quantité d'ions présents dans le liquide. [2]

✓ **Conductivité et résistivité d'une solution aqueuse**

Une solution aqueuse est une solution dont le solvant (espèce majoritaire) est l'eau. Dans cette eau sont dissoutes certaines espèces appelées solutés.

L'eau pure est peu conductrice du courant électrique car elle ne contient que très peu de particules chargées électriquement (ions), susceptibles de se déplacer dans un champ électrique. [2]

La conductivité est donnée par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{1}{RS} \quad (IV.6)$$

Avec :

R : Sa résistance en Ohms,

l : Distance entre les électrodes de mesure en m.

γ : Conductivité en siemens par mètre ($S.m^{-1}$),[2]

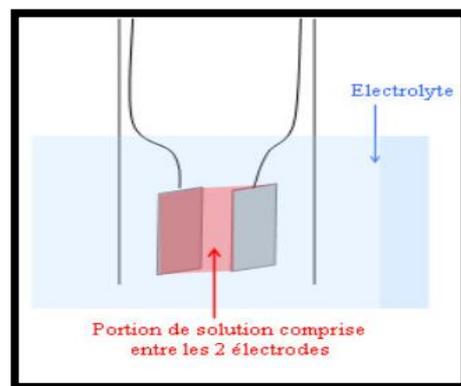


Figure IV.25: La conductivité de l'eau.

S : section de passage du courant électrique en m^2 : On a : $1 \mu S.cm^{-1} = 10^{-4} S.m^{-1}$

Remarque : On utilise aussi la grandeur résistivité : $\rho = \frac{1}{\gamma} = \frac{RS}{l} \quad (IV.7)$

ρ : l'inverse de la conductivité. L'unité SI de résistivité est l'Ohm. Mètre ($\Omega.m$)

Tableau IV.4: Conductivité et résistivité de différentes solutions a 25 °C.

SOLUTION	CONDUCTIVITÉ	RÉSISTIVITÉ
Eau ultra-pure (théorique) à 20°C	0.0 $\mu S/cm$	28 000 000 $\Omega.cm$
Eau pure	0.055 $\mu S/cm$	20 000 000 $\Omega.cm$
Eau distillée ou déminéralisée	0.5 – 2 $\mu S/cm$	500 000 – 2 000 000 $\Omega.cm$
Eau de pluie campagne et montagne	20 – 30 $\mu S/cm$	33 000 – 50 000 $\Omega.cm$
Eau de montagne	30 – 45 $\mu S/cm$	22 000 – 50 000 $\Omega.cm$
Eau osmosée	30 – 50 $\mu S/cm$	14 000 – 25 000 $\Omega.cm$
Eau de pluie région industrielle et ville	+/- 60 $\mu S/cm$	10 000 – 20 000 $\Omega.cm$
Maximum pour une eau potable	2 500 $\mu S/cm$	400 $\Omega.cm$
Eau de mer	56 mS/cm	17.8 $\Omega.cm$
Eau salée Na Cl à 5 %	70 mS/cm	14.3 $\Omega.cm$
Eau saumure	100 mS/cm	10 $\Omega.cm$
Soude à 30 %	222 mS/cm	4.5 $\Omega.cm$
Acide chlorhydrique à 10 %	700 mS/cm	1.5 $\Omega.cm$

b- La diode LED

Le mot LED est l'acronyme de Light Emitting Diode (Diode Électroluminescente en français). Le symbole de la LED est similaire à celui de la diode mais on y a ajouté deux flèches sortantes pour représenter le rayonnement lumineux émis.

✓ **fonctionnement de LED :**



Une LED se comporte électriquement comme une diode. Pour émettre elle doit être polarisée en direct.

La caractéristique $I_F(V_F)$ (figure IV.25) montre que la tension de conduction de la diode LED (forward voltage) est environ 1,5 Volts à 2 V.

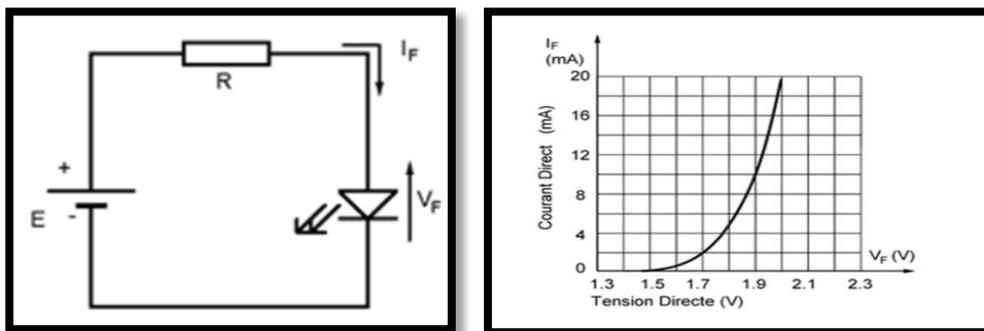


Figure IV.26 : Le principe de fonctionnement de LED.

c- Les convertisseurs AC-DC

Le redresseur nous permet de convertir une alimentation alternative 220VAC en continue 5VDC. La tension et la puissance de sortie peuvent être contrôlées par les composants de puissance utilisés transformateur diodes et filtrées par des condensateurs.

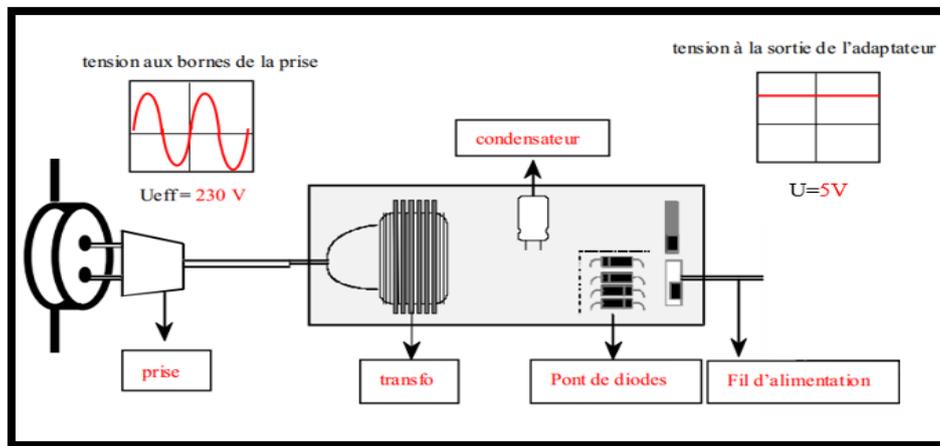
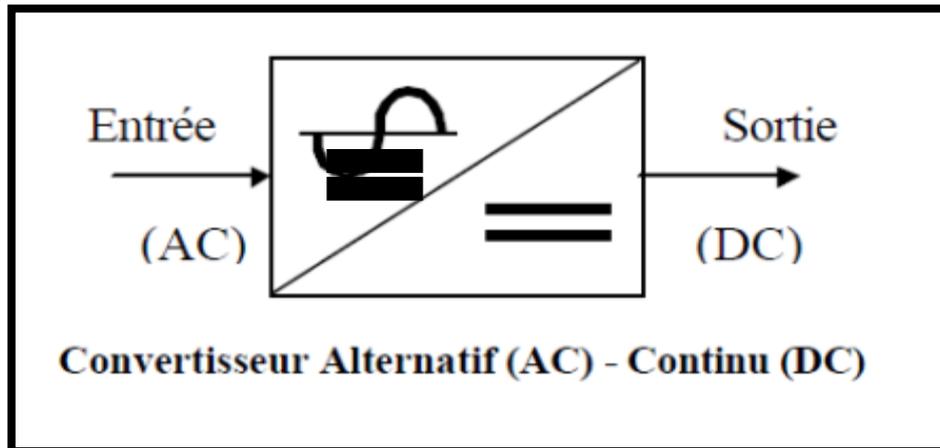


Figure IV.27 : Schémas de convertisseur.

IV.4.2. Le principe de fonctionnement

Le convertisseur AC-DC nous donne une tension de 5VDC à partir du 220VAC pour alimenter un circuit simple allumage d'une diode LED.

Nous avons utilisé la conductivité de l'eau pour fermer le circuit en remplaçant la résistance du circuit par la résistivité de l'eau.

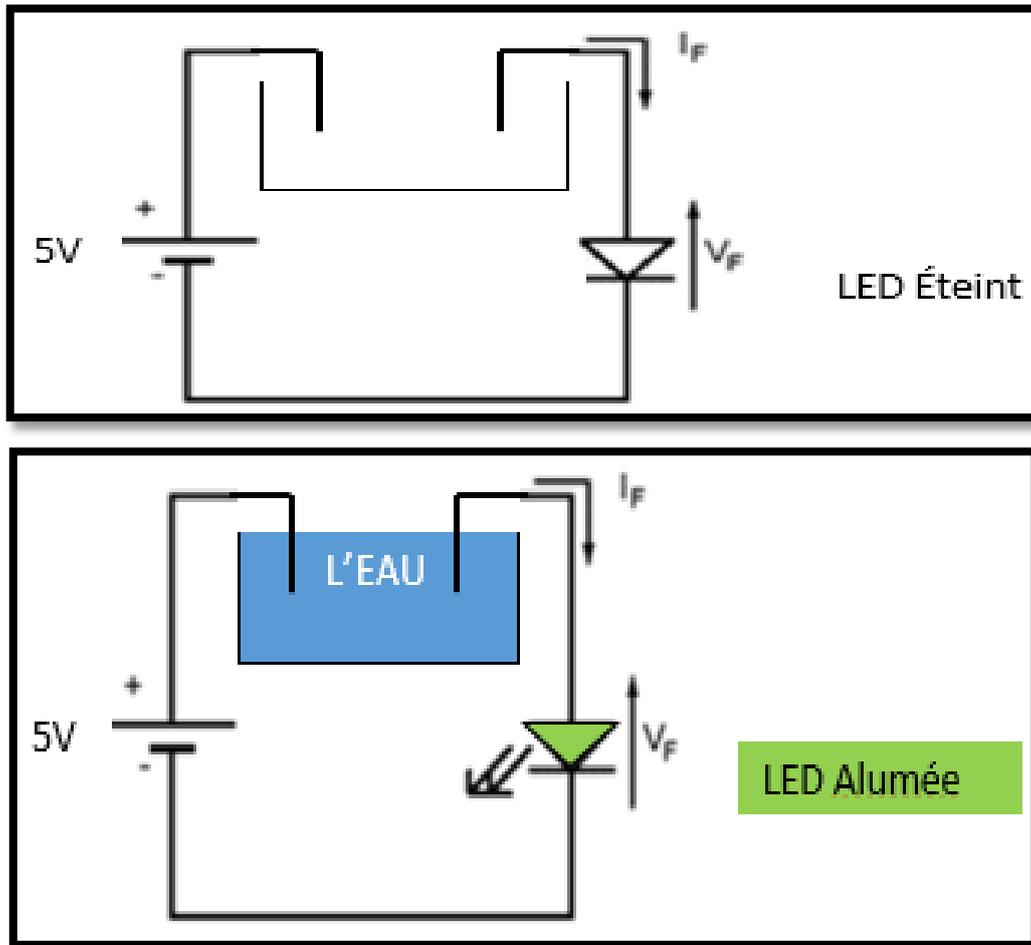


Figure IV.28 : Montre le principe de fonctionnement de la sonde.

IV.5.3.Conception

Le système mécanique est divisé en deux partie la sonde et l'afficheur. Voir figure ci après.

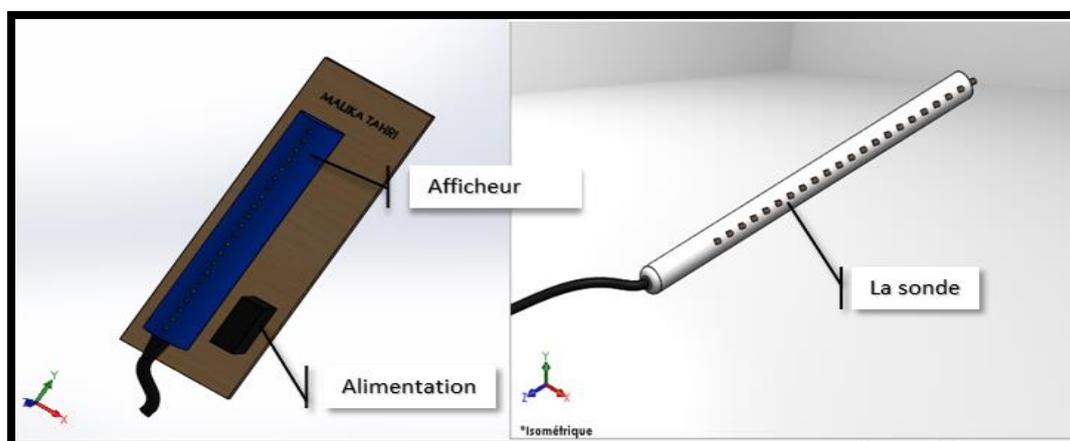


Figure IV.29 : Conception 3D de la sonde et l'afficheur à l'aide de solidworks

- a- La sonde se compose de 22 pats conducteurs logés sur un tube multicouche de 60 cm de long, ce dernier est électriquement isolant. les pates sont séparées d'une distance de 2 cm pour couvrir une hauteur de 44cm.
- b- L'afficheur se compose de 22 LEDS chaque LED et liée avec une patte de la sonde respectivement tell que chaque LED représente 2cm c.-à-d. la premier LED représente 2cm, la 2^{iem} LED : 4cm, la 3^{iem} :6cm ainsi de suite jusqu'au 22^{iem} LED : 44cm

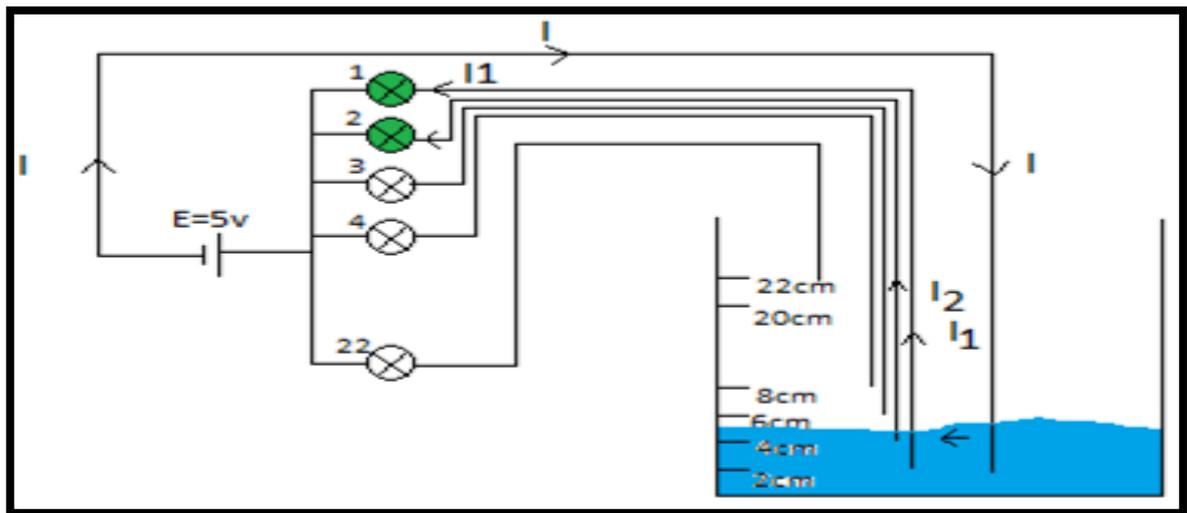


Figure IV.30 : Schémas électrique de la sonde.

IV.4.4.Réalisation

1. Plan de réalisation

En se basant sur les schémas des composants ci-dessus nous allons réaliser notre appareil de mesure selon le plan de travail suivant:

- a- Réalisation de l'afficheur :
 - La préparation de la planche de bois et le boîtier en PVC avec les perçages.
 - La pose des LEDS en position.
 - La soudure des pattes des LEDS et les câbles électriques.
 - Le branchement de l'alimentation 5V.
 - Numérotation des câbles électriques.
 - Le test de circuits Alimentation –LEDS.

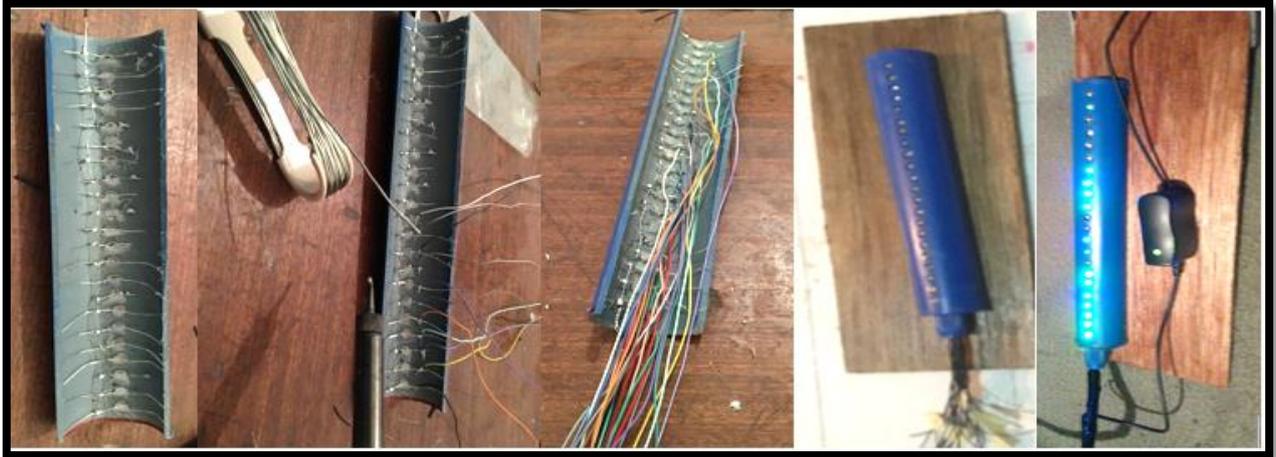


Figure IV.31: Réalisation de l'afficheur.

b- Réalisation de la sonde :

- Préparation de tube multicouche avec perçage.
- Insertion des câbles électriques dans le tube et soudure des pattes métallique.
- Fixation du câble de masse le long du tube.
- Numérotation des câbles électriques.
- Test de continuité des câbles électriques.



Figure IV.32: La réalisation de la sonde.

c- Assemblage des deux parties :

- Branchement et soudure de chaque fil de l'afficheur avec son correspondant de la sonde.

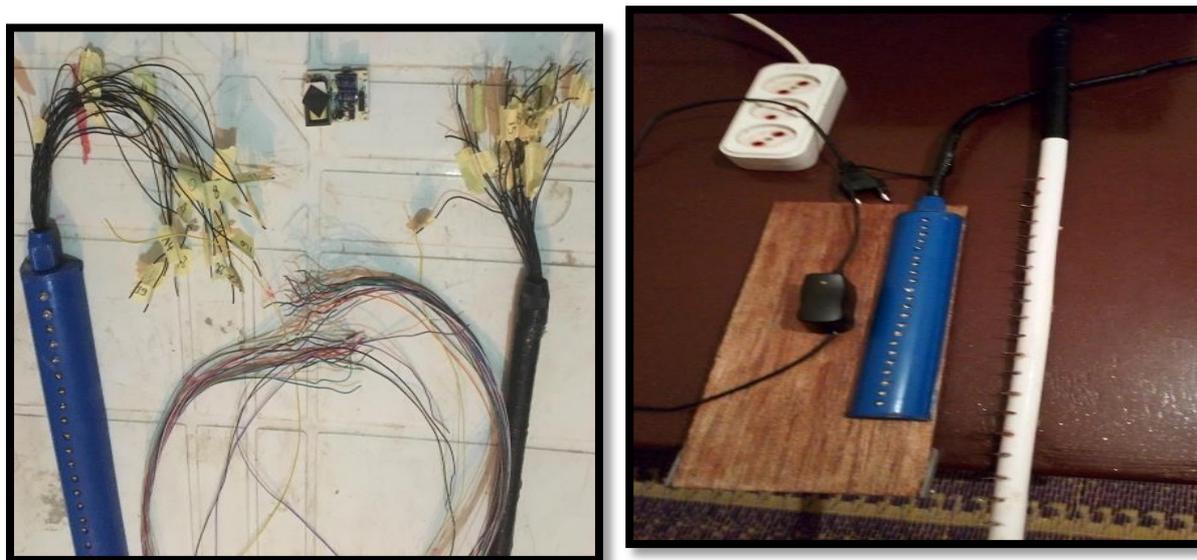


Figure IV.33: L'assemblage de la sonde et l'afficheur.

IV.5. Essais expérimentaux :

Les essais ont été effectués selon le mode opératoire suivant :

1. Mesurer la hauteur exacte de la crête de déversoir par rapport au fond du canal (hauteur de déversoir h_w) à l'aide du limnimètre
2. Mettre l'installation expérimentale en marche.
3. Régler la pente de canal à 0.2%.
4. Déterminer le débit maximum possible Q_{max} , augmenter pour cela le débit jusqu'à ce que l'eau atteigne le bord supérieur de la plaque de déversoir.

On obtient les résultats suivant :

- le déversoir triangulaire (robinet d'aération fermé): le débit varie de 10 à 34 en montant avec un pas de $3 \text{ m}^3/\text{h}$.
- le déversoir trapézoïdal (robinet d'aération fermé): le débit varie de 10 à 50 en montant avec un pas de $5 \text{ m}^3/\text{h}$.
- le déversoir rectangulaire avec contraction (robinet d'aération fermé): le débit varie de 10 à 70 en montant avec un pas de $5 \text{ m}^3/\text{h}$.
- le déversoir rectangulaire sans contraction (robinet d'aération fermé): le débit varie de 10 à 90 en montant avec un pas de $10 \text{ m}^3/\text{h}$.
- le déversoir rectangulaire sans contraction (robinet d'aération ouvert): le débit varie de 10 à 90 en montant avec un pas de $10 \text{ m}^3/\text{h}$.
- le déversoir épais à arrêt arrondi: le débit varie de 10 à 82 en montant avec un pas de $3 \text{ m}^3/\text{h}$.
- le déversoir épais à arrêt vive: le débit varie de 10 à 82 en montant avec un pas de $3 \text{ m}^3/\text{h}$.

- le déversoir cylindrique 200 mm: le débit varie de 10 à 100 en montant avec un pas de 5 m³/h avec l'utilisation de la sonde.
- le déversoir cylindrique 250 mm : le débit varie de 10 à 80 en montant avec un pas de 5 m³/h avec l'utilisation de la sonde.

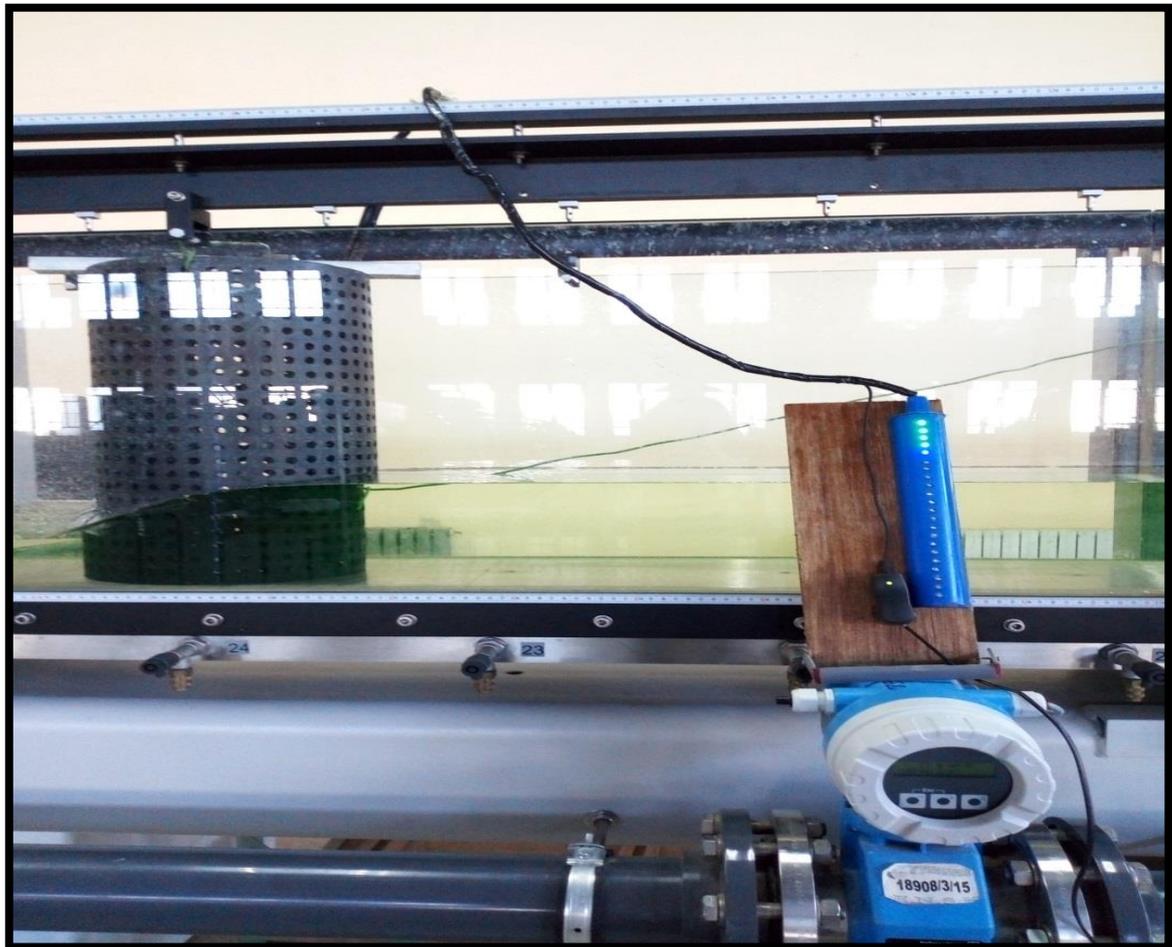


Figure IV.34: L'assemblage de la sonde et déversoir cylindrique.

5. Mesurer le niveau de l'eau en amont h_0 (les résultats obtenus sont de l'Annexe II)
6. Arrêter la pompe à eau et attendre qu'il n'y ait plus d'eau dans la section de mesure.

IV.6. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons défini tous les moyens et matériel utilisés dans nos expériences ainsi que la réalisation et la construction de déversoir cylindrique et de la sonde électrique.

Dans la deuxième partie de ce chapitre nous avons expliqué les procédures d'essais en utilisant les déversoirs à paroi mince (déversoir rectangulaire avec contraction, déversoir rectangulaire sans contraction, déversoir triangulaire, déversoir trapézoïdale) et le déversoir à paroi épaisse (déversoir à arrêt vive, déversoir à arrêt arrondi) ainsi que le déversoir cylindrique en PEHD (de diamètre 200 mm, diamètre 250 mm) et de la sonde électrique réalisés.



CHAPITRE V :
Résultats
Et
Interprétations

V.1.Introduction

Dans cette partie nous présentons les résultats de nos essais expérimentaux sur les déversoirs à paroi mince (triangulaire, trapézoïdal, rectangulaire avec contraction, rectangulaire sans contraction) et déversoir à paroi épaisse (à arrête vive et à arrête arrondie). Ainsi que ceux provenant des essais sur les déversoirs cylindriques et la sonde que nous avons conçu et réalisé.

V.2.Résultat expérimentaux :

Les figures ci-dessous représentent les résultats obtenus d'après notre étude expérimentale sur les différents types de déversoirs utilisés comme suit :

CHAPITRE V : Résultats et interprétation

Les figures V.1 et V.2 représentent la variation logarithmique du débit avec les hauteurs respectives h_1 et h_2 pour le déversoir cylindrique de 200 mm de diamètre.

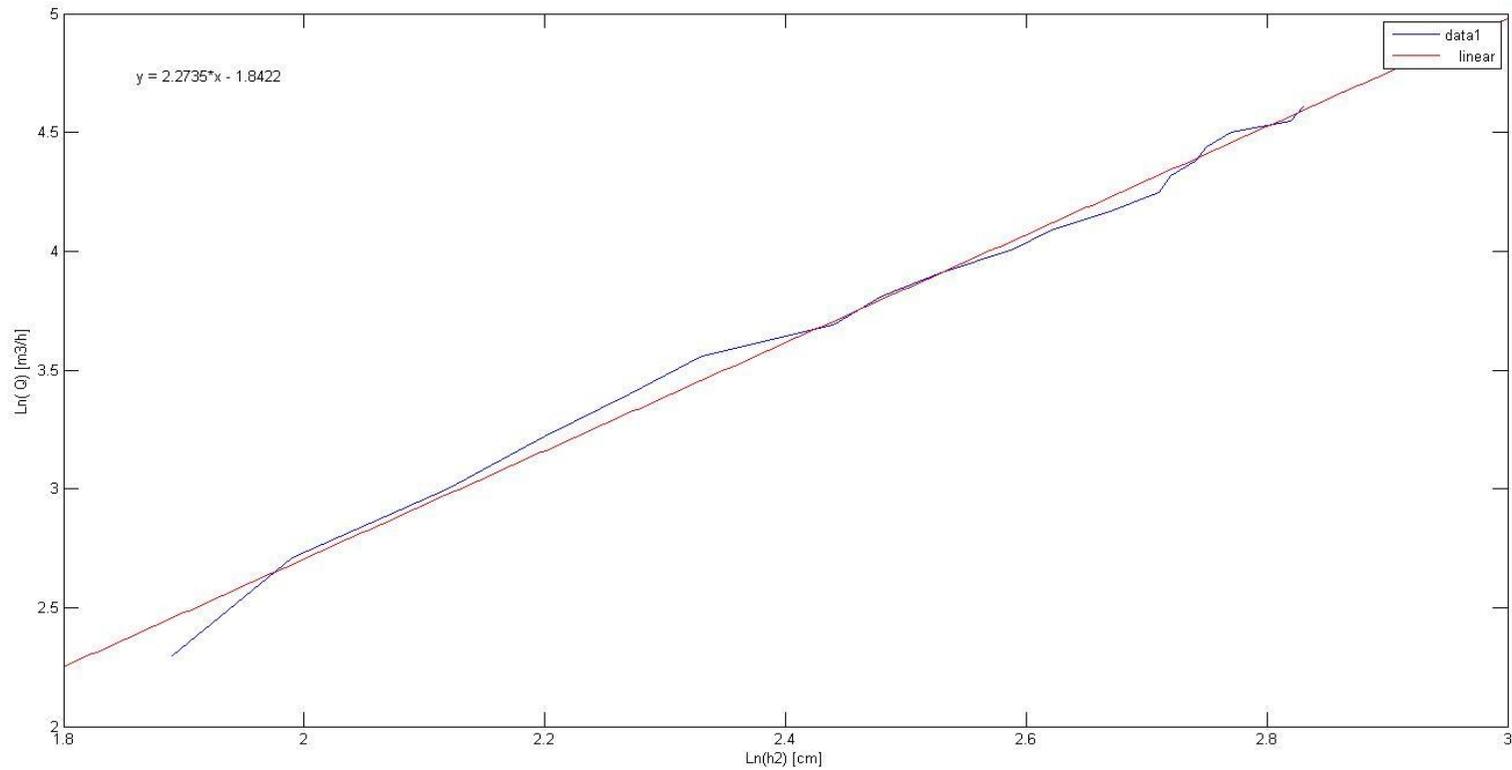


Figure V.1 : Variation logarithmique de débit avec la hauteur h_2 pour le déversoir cylindrique de 200 mm

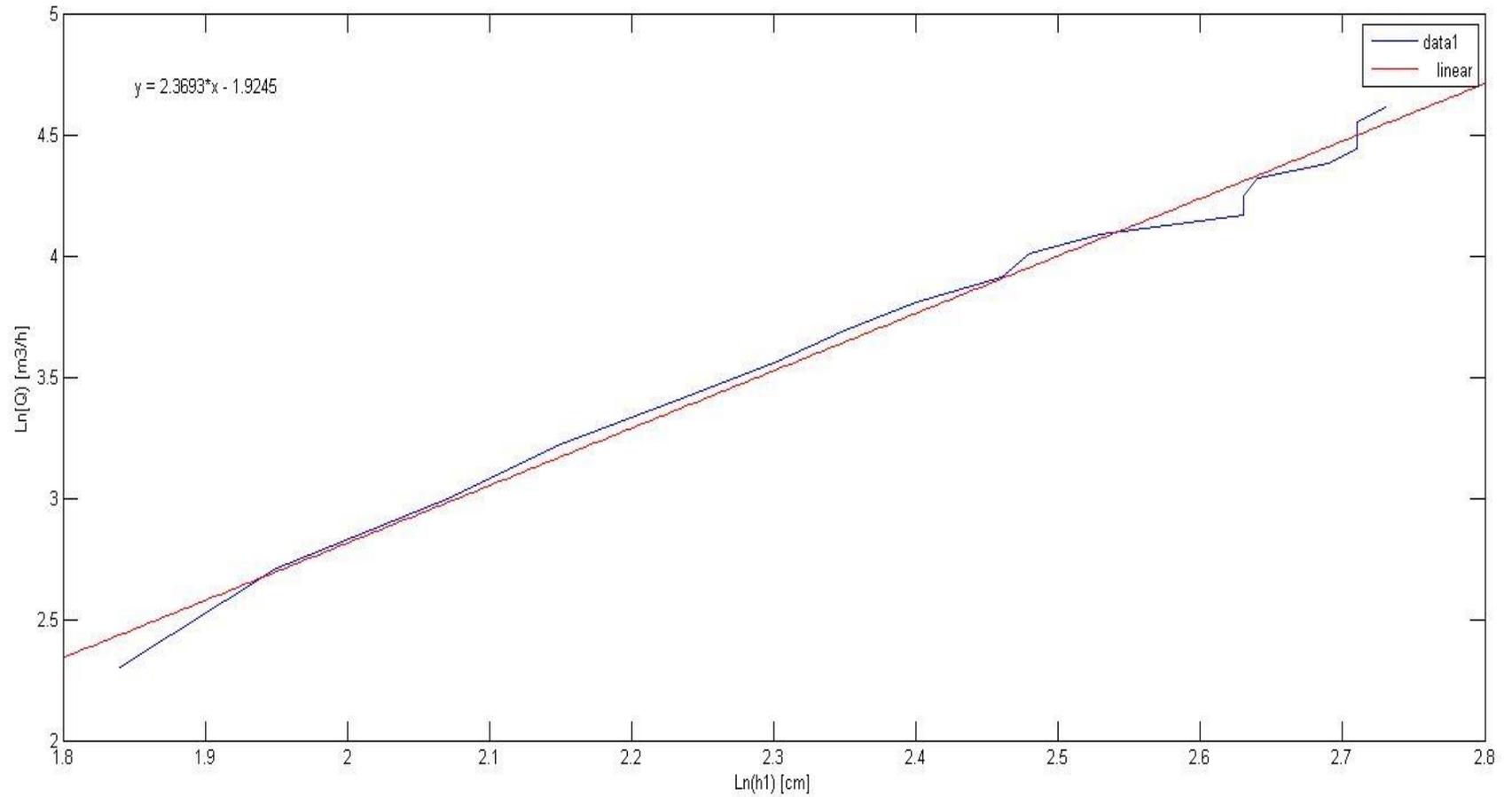


Figure V.2 : Variation logarithmique de débit avec la hauteur h_1 pour déversoir cylindrique de diamètre 200 mm.

Les figures V.3 et V.4 représentent la variation logarithmique du débit en fonction des et la hauteurs h_1 et h_2 pour le déversoir cylindrique de 250 mm de diamètre.

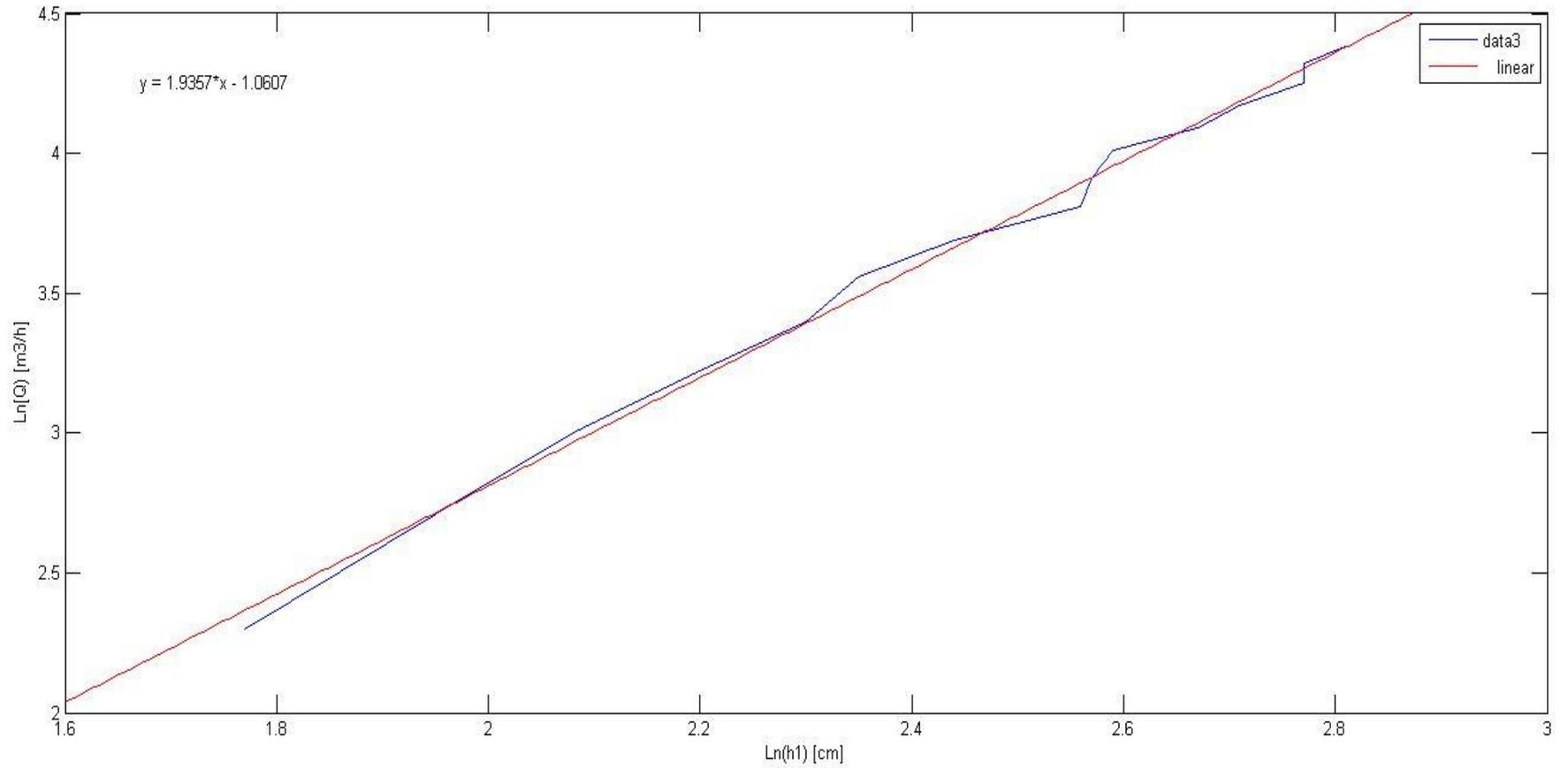


Figure V. 3 : Variation logarithmique du débit avec la hauteur h_1 pour déversoir cylindrique de diamètre 250 mm.

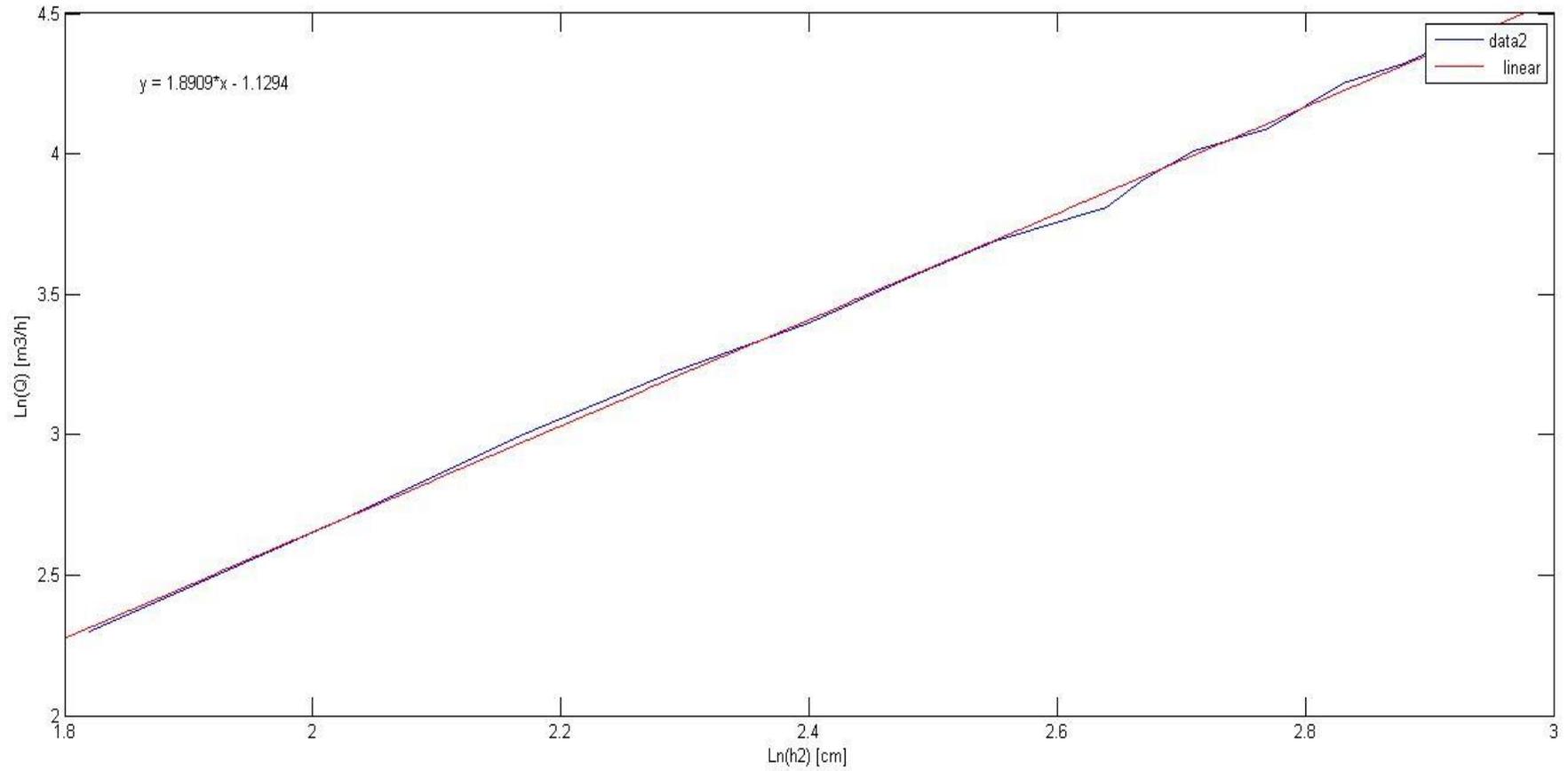


Figure V. 4: Variation logarithmique de débit avec la hauteur h_2 (débit/hauteur²) pour déversoir cylindrique de diamètre 250 mm.

VI.3. Interprétation des résultats:

Concernant le déversoir cylindrique, il est nécessaire de lui établir la formule de calcul de débit en fonction de la hauteur de la lame d'eau à l'intérieur de déversoir, les courbes des Figure V.1, Figure V.2, Figure V.3, Figure V.4 nous permettent d'identifier la loi d'exploitation de cette base de données pour ce déversoir réalisé.

La représentation de $\ln(Q)$ en fonction de $\ln(h_i)$ est une droite qui coupe l'axe des ordonnées, Ce tracé permet de déterminer le débit avec une précision meilleure la courbe d'étalonnage.

Nous avons ajouté un courbe de tendance linéaire logarithmique pour pouvoir que tirer la formule de débit déversée et de choisir le meilleur emplacement a l'intérieure de notre déversoir pour la lecture de la hauteur de la lame d'eau déversée.

En se basant sur une étude statistique des courbes logarithmiques, nous pouvons faire notre choix d'emplacement.

En s'appuyant sur une Analyse statistique appliqués au deux cas de dimensions de déversoir cylindrique réalisé, nous avons obtenus les résultats récapitulé dans le tableau V.1 ci-après .

Tableau V.1 : Les caractéristiques statistiques.

Diamètre [mm]	paramétré	Min	max	Mean	médian	std
200	H1	1.8400	2.7300	2.4321	2.4800	0.2770
	Q	2.300	4.6100	3.8379	4.0100	0.6592
	H2	1.8900	2.8300	2.4984	2.5900	0.2888
250	H1	1.7700	2.8100	2.4360	2.5600	0.3205
	Q	2.300	4.3800	3.6547	3.8100	0.6219
	H2	1.8200	2.9100	2.5300	2.6400	0.3287

Le débit mesuré 'Q' et la hauteur d'eau à l'intérieur du cylindre dont la position de mesure est située à un angle de 90° et à une distance de 'd/2 ' du centre ou 'd' représente le diamètre intérieure du déversoir cylindrique est égale à 200 mm, désigné par H1 présentent une corrélation légèrement plus faible avec un coefficient de 0.995.

Concernant la hauteur H2 dans la position de mesure et symétrique a H1 nous remarquons une bon corrélation avec un coefficient de 0.9976, ces valeurs sont pour les déversoirs cylindriques 200 mm et 250 mm.

D'après ce coefficient on peut constater que le meilleur emplacement de la sonde ou bien de la lecture d'hauteur de la lame d'eau déversée est la hauteur 'h₂'.

On remarque que les coefficients standards de déviation standard son petit. Ce qui s'explique par une bonne distribution des points.

Dans cet emplacement nous pouvons obtenir l'équation de calcul de débit.

Pour les déversoirs cylindriques de diamètre 200 mm et 250 mm on a adopté une loi puissance tel que : $Q = a h^b$

$$\ln(Q) = \ln(a) + b \ln(h)$$

Pour le déversoir cylindrique de diamètre 200 mm l'application de l'ajustement linéaire nous a permis de déterminer la constante a qui est de

$$a_{200} = 0.1585$$

Et la valeur de l'exposant b qui est de $b_{200} = 2.2735$

$$\text{Equation: } Q_{200} = 0.1585 h_2^{2.2735}$$

avec h₂ en [cm]

Pour le déversoir cylindrique de diamètre 250 mm :

$$a_{250} = 0.3236$$

Et la valeur de l'exposant b qui est de $b_{250} = 1.8909$

$$\text{Equation: } Q_{250} = 0.3236 h_{250}^{1.8909}$$

avec h_2 en [cm]

Nous remarquons que les exposants ' a_{200} et a_{250} ' des cas de diamètres 200 et 250 mm sont en rapport de 2.0416 alors que les constantes ' b_{200} et b_{250} ' sont en rapport de 0.8317.

V.4 Interprétation des lignes d'eau à travers les déversoirs cylindriques

Dans cette partie nous avons prélevé les mesures d' hauteur le long d'une section de canal sur une longueur 1.04 m pour des positions avec un pas régulier d'espace de 1 cm à l'exception de ces positions [6.26 ;6.40 ;6.50 ;6.60 ;6.74 ;6.93 ;6.95 ;7.01 ;7.11 ;7.21 ;7.30]m pour le déversoir cylindrique de 200mm .

Pour le déversoir cylindrique de 250 mm nous avons prélevé les mesures d' hauteur le long d'une section de canal sur une longueur 1.04 m pour des positions avec un pas régulier d'espace de 1 cm à l'exception de ces positions [6.26 ;6.40 ;6.50 ;6.60 ;6.71 ;6.93 ;6.74 ;6.77 ;7.01 ;7.11 ;7.21 ;7.30] m

Les allures des lignes d'eaux à travers les déversoirs cylindriques sont présentées dans la figure V.5 et la figure V.6.

D'après Ces lignes d'eau on peut constater que l'écoulement à travers le déversoir cylindrique se compose de trois parties :

il n'y a pas de variation de hauteur en fonction d'espace caractérisé par un régime fluviale ; C'est la hauteur d'eau a l'amont de déversoir, elle se caractérise par sa stabilité et uniformité ,elle varie entre $x = [6.20 ;6.75]$ m pour le déversoir de diamètre 200 ,et $x = [6.20 ;6.68]$ m pour le déversoir de diamètre 250 mm nous remarquons que nous avons à une augmentation de la lame d'eau importante a $x=6.60$ m pour un débit égale à 40 m³/h, cette augmentation est due soit à une erreur de lecture ou bien une anomalie due à ce type de déversoir.

La partie de chute gère le mouvement de l'eau, au niveau de la position de $x= 6.80$ m pour les deux déversoirs cylindriques.

La troisième partie; celle de l'écoulement torrentielle elle est dans l'intervalle $x=[6.80 ;7,30]$ m pour les différents diamètres des déversoirs cylindriques , on remarque dans cette partie une apparition des ressauts hydraulique.

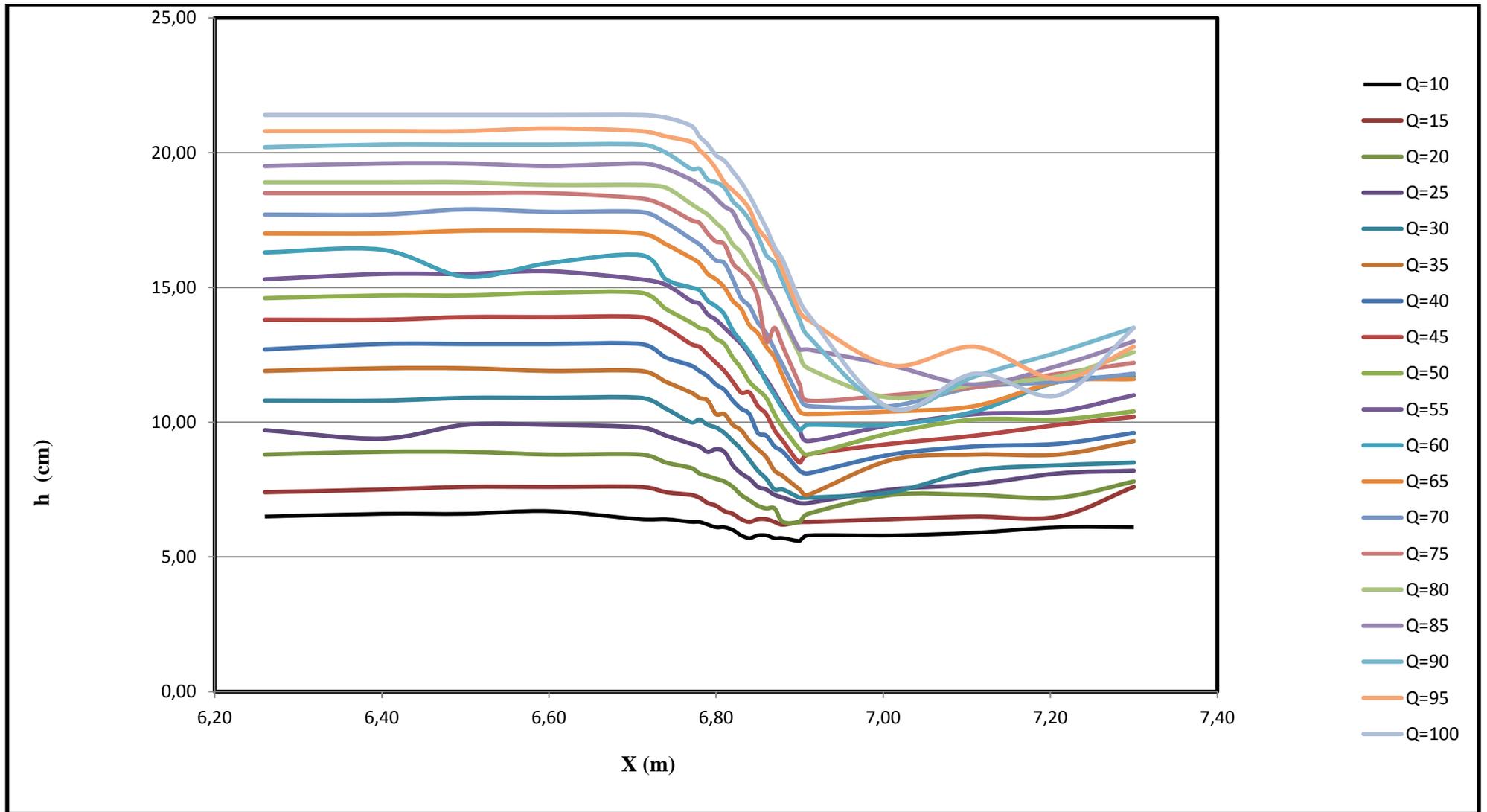


Figure V.5 :Lignes d’eaux à travers le déversoir cylindrique de diamètre 200 mm.

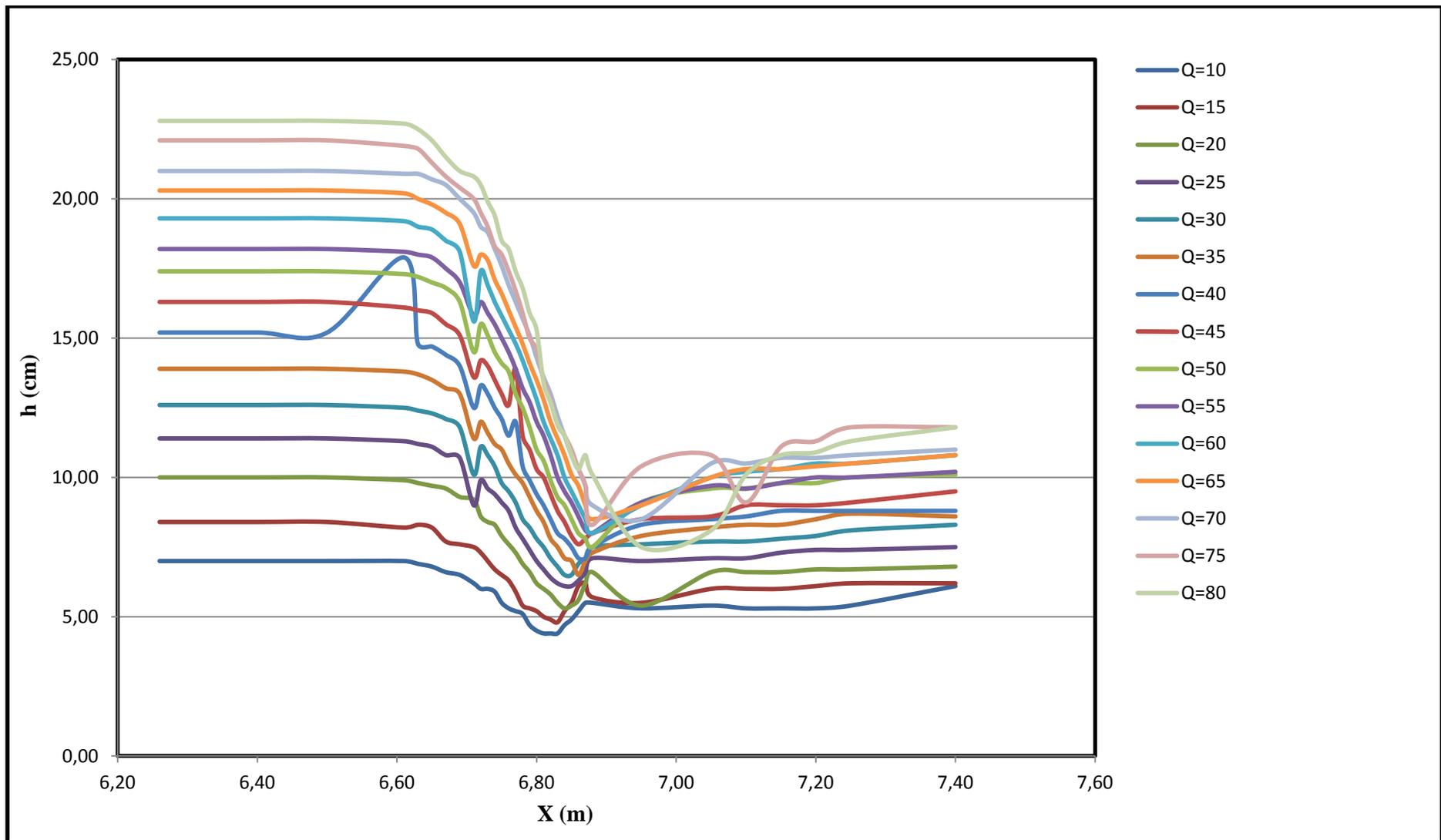


Figure V.6 :Lignes d’eaux à travers le déversoir cylindrique de diamètre 250 mm.

Les résultats de l'application des formules théoriques sur les conditions expérimentales concernant les hauteurs d'eau déversée sont récapitulées dans le tableau VI.1, sachant que c'est le test basé sur les limites d'application de l'écoulement qui nous a permis d'arriver à ces résultats (voir annexe III).

Tableau V.1 : Les résultats du test des limites d'application des formules de calcul de débit.

Type de déversoir	Formule de débit	Formule de coefficient de débit	Résultats du test des conditions
Déversoir à paroi mince			
Rectangulaire avec contraction	Poleni	Hégly	non applicable
		S.I.A	non applicable
		Valeurs usuelles	applicable
	Kindsvater et Carter	Kindsvater et Carter	non applicable
Rectangulaire sans contraction	Poleni	Bazin	non applicable
		S.I.A	non applicable
		Valeurs usuelles	applicable
	Réhbook	Réhbook	applicable
	Kindsvater et Carter	Kindsvater et Carter	applicable
Triangulaire	Cône USA 1916	Cône USA 1916	applicable
	Heyndrique	Heyndrique	applicable
	Thomsone	Thomsone	non applicable
	Kindsvater et Carter	Kindsvater et Carter	non applicable
	Gourley et Cramp	Gourley et Cramp	Applicable
trapézoïdale	Cippolti	Cippolti	non applicable
	Goulery et Crimp	Goulery et Crimp	applicable
Déversoir à paroi épaisse			
A arrêt vive	Rao et Shulka	Rao et Shulka	applicable
	Poleni	Valeurs usuelles	applicable
A arrête arrondie	Poleni	Valeurs usuelles	applicable

Nous avons étudié la fiabilité des formules théoriques pour chaque type de déversoir à paroi mince et épaisse en comparant le niveau de corrélation entre le débit calculée et le débit mesuré. D'après cela nous avons pu déduire les résultats montrés dans les figures suivantes Figure V.7; Figure V.8 ; Figure V.9 ; Figure V.10; Figure V.11 ; Figure V.12 ; Figure V.13 ; Figure V.14 ; Figure V.15 ; Figure V.16 ; Figure V.17 concernant déversoir a paroi mince et les figures Figure V.18 ; Figure V.19 ; Figure V.20 concernant les déversoirs à paroi épaisse.

➤ Déversoir à paroi mince

Déversoir rectangulaire avec contraction

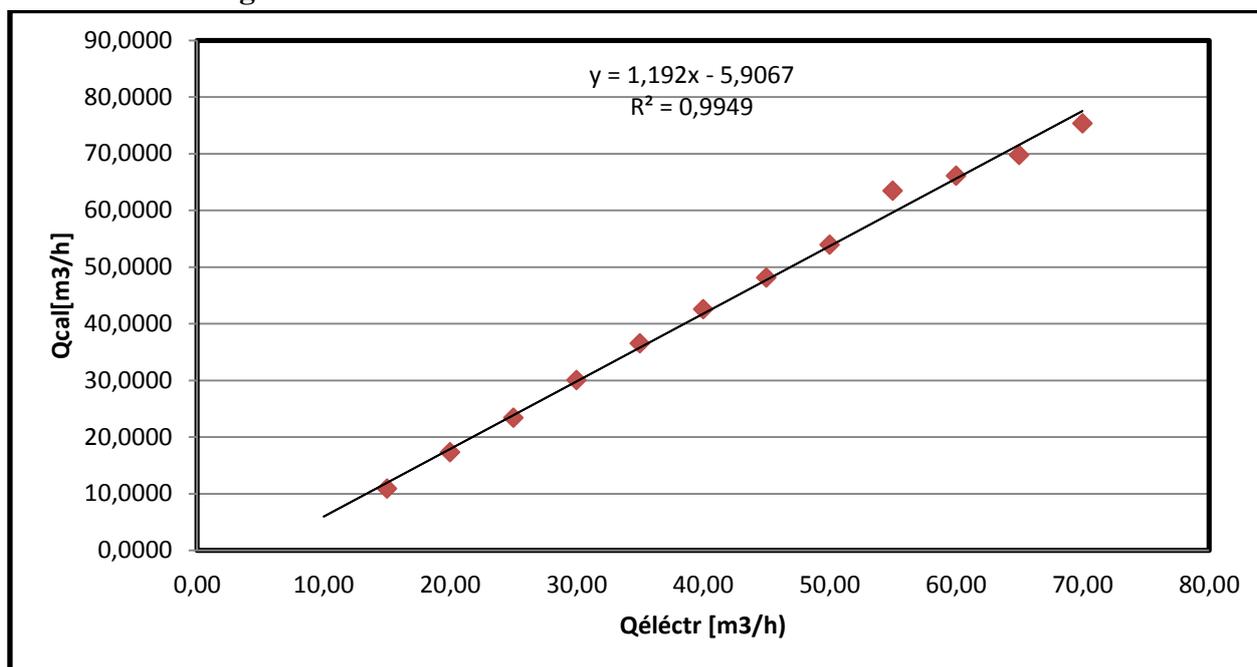


Figure V.7 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule valeurs usuelles.

Déversoir rectangulaire sans contraction (sans aération)

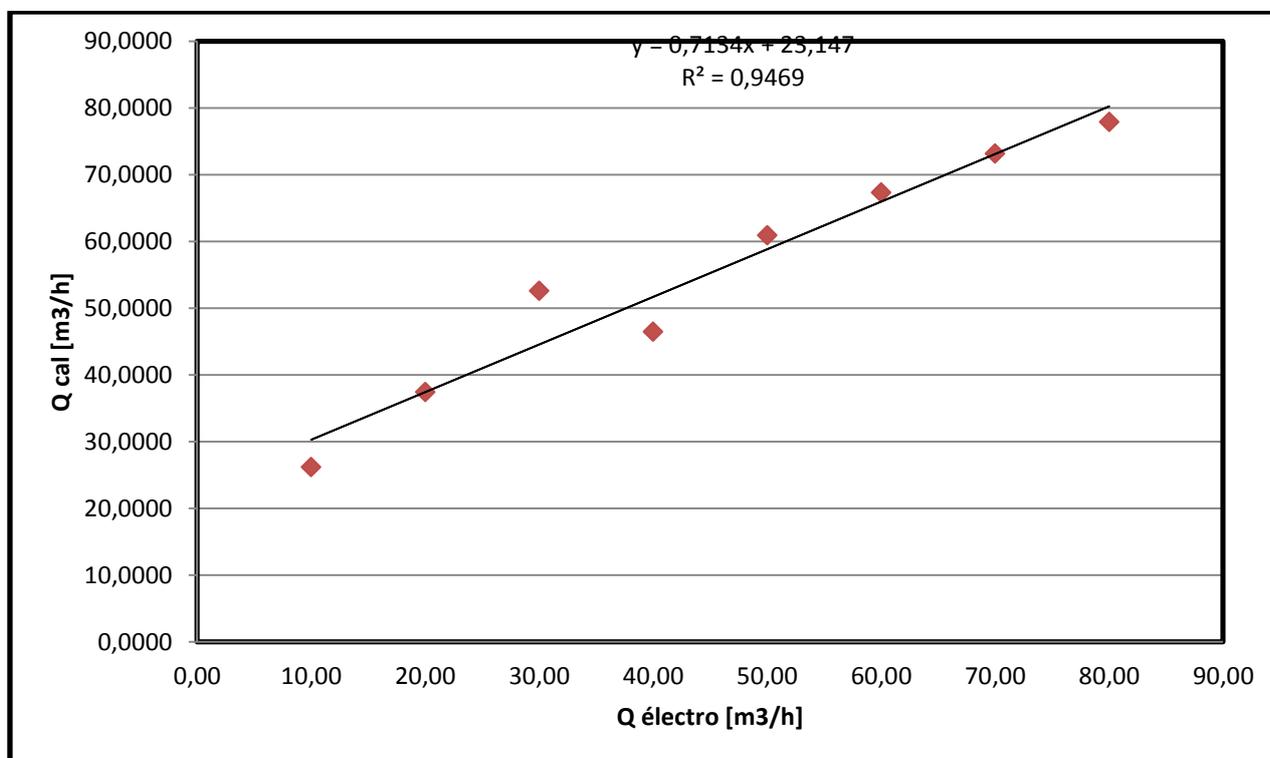


Figure V.8 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule Kindsvateret Carter .

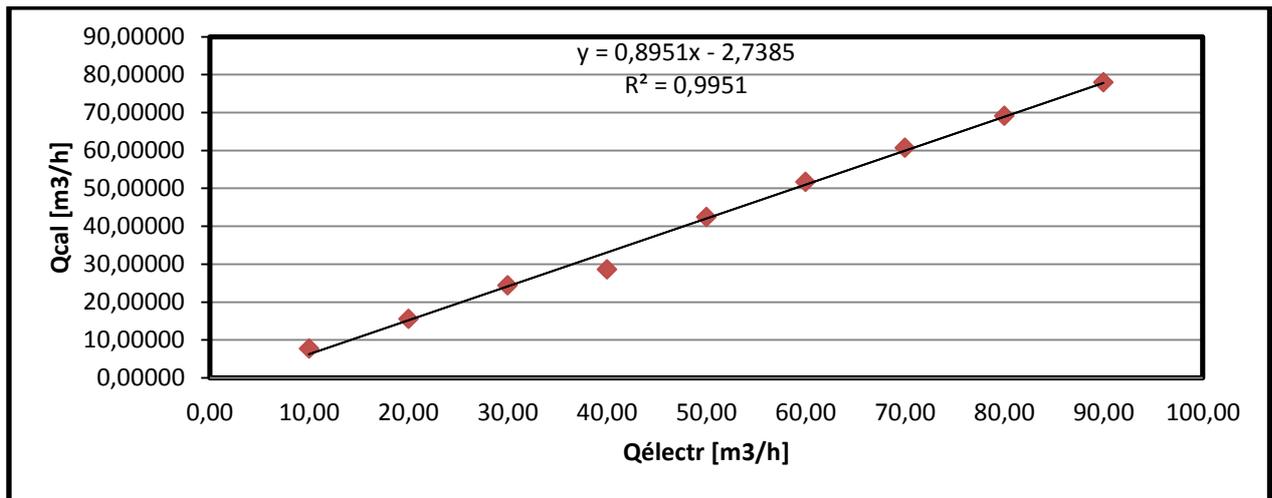


Figure V.9 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule des valeurs usuelles.

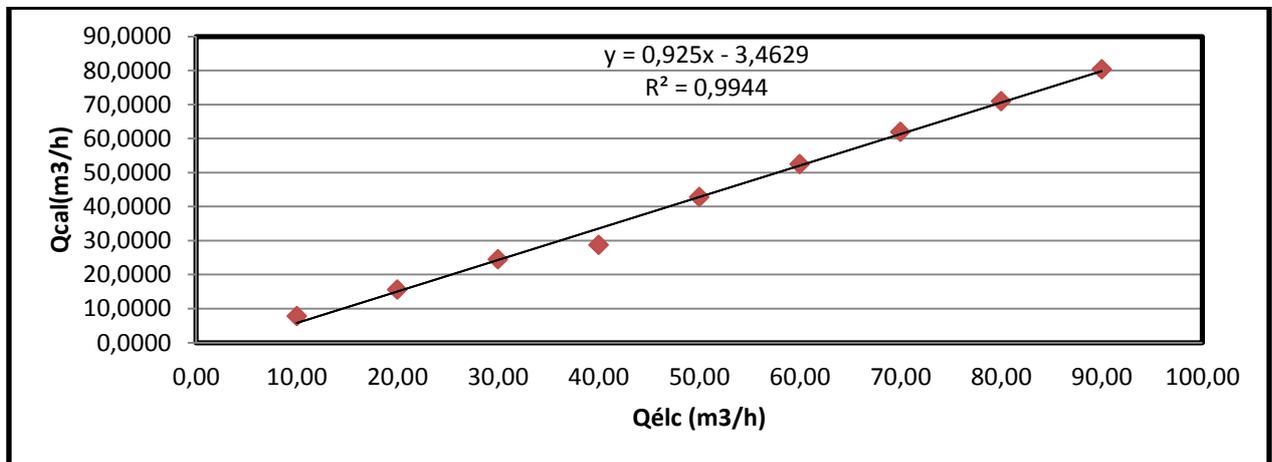


Figure V.10 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Réhbock.

Déversoir rectangulaire sans contraction (avec aération)

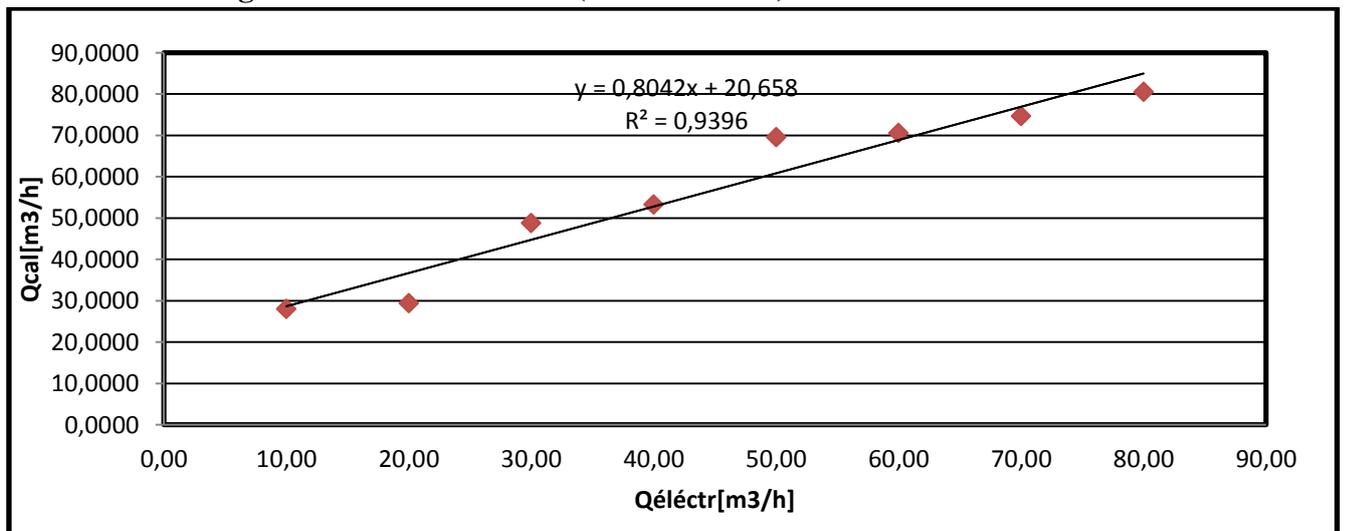


Figure V.11 Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule Kindsvater et Carter .

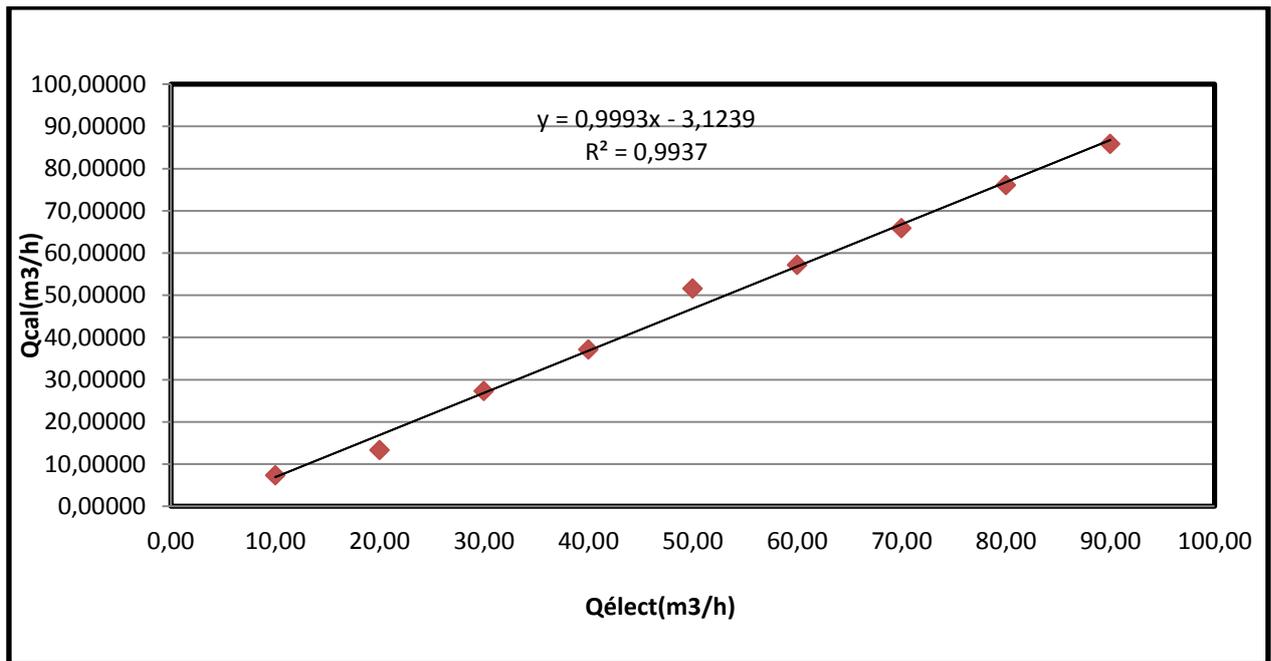


Figure V.12 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Réhbock.

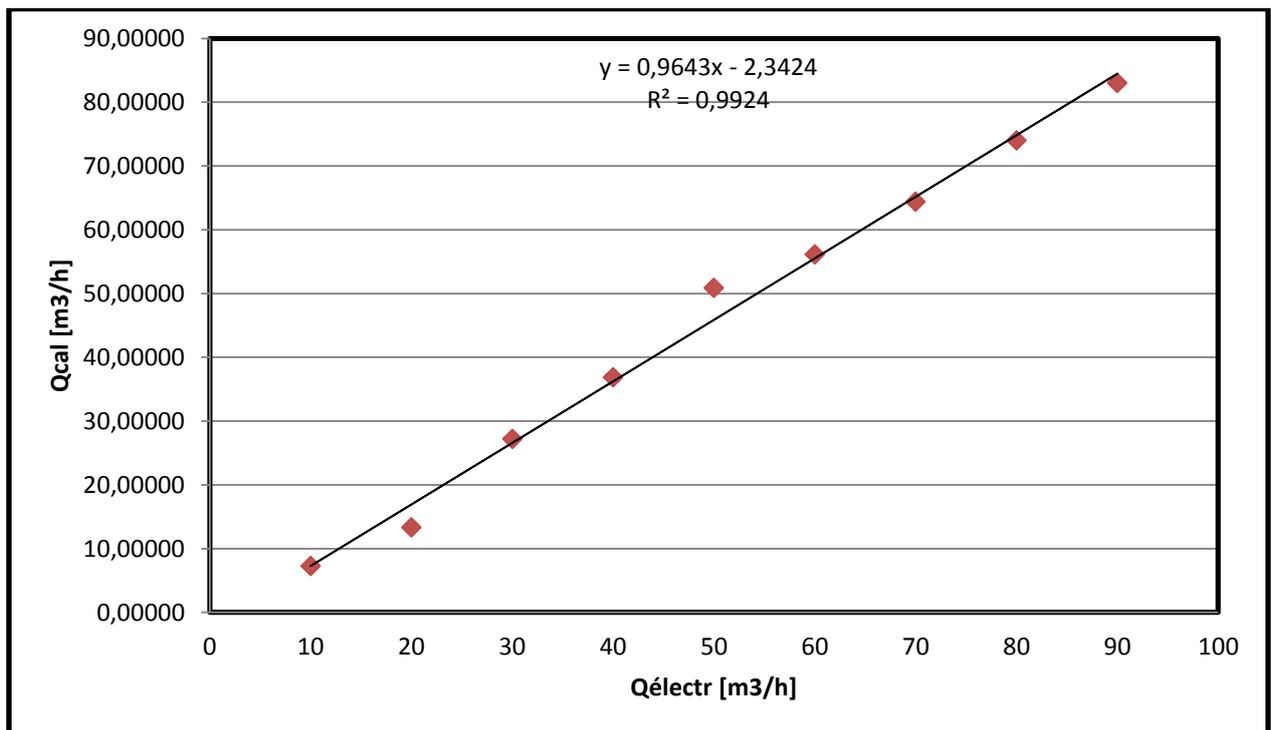


Figure V.13 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule des valeurs usuelles.

Déversoir triangulaire

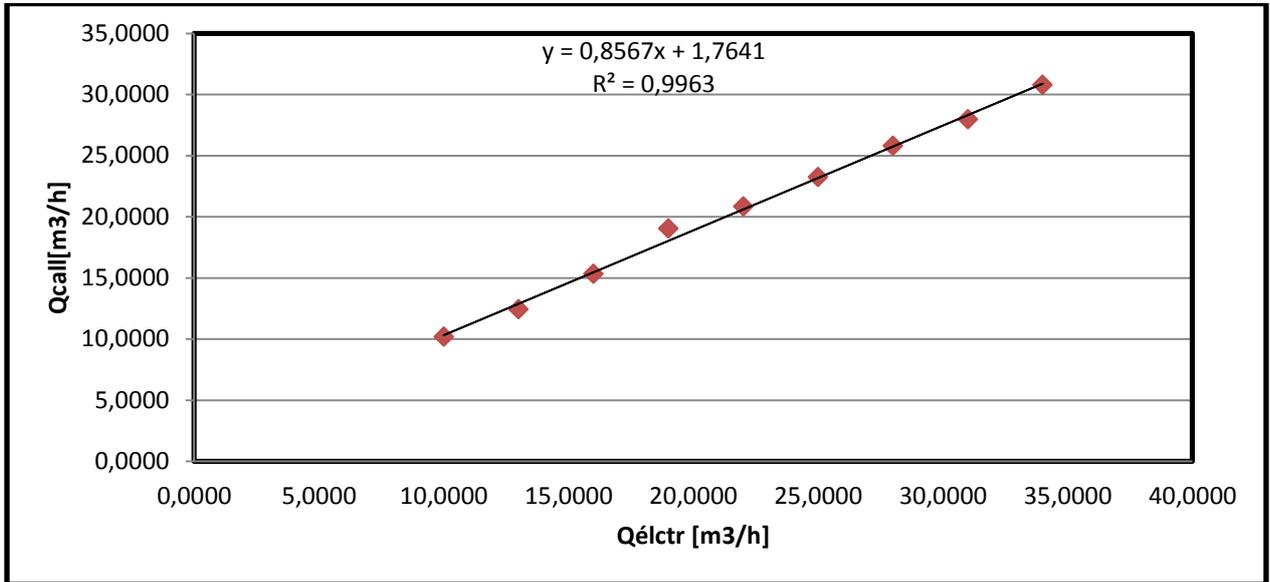


Figure V.14 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Gourley et Cramp .

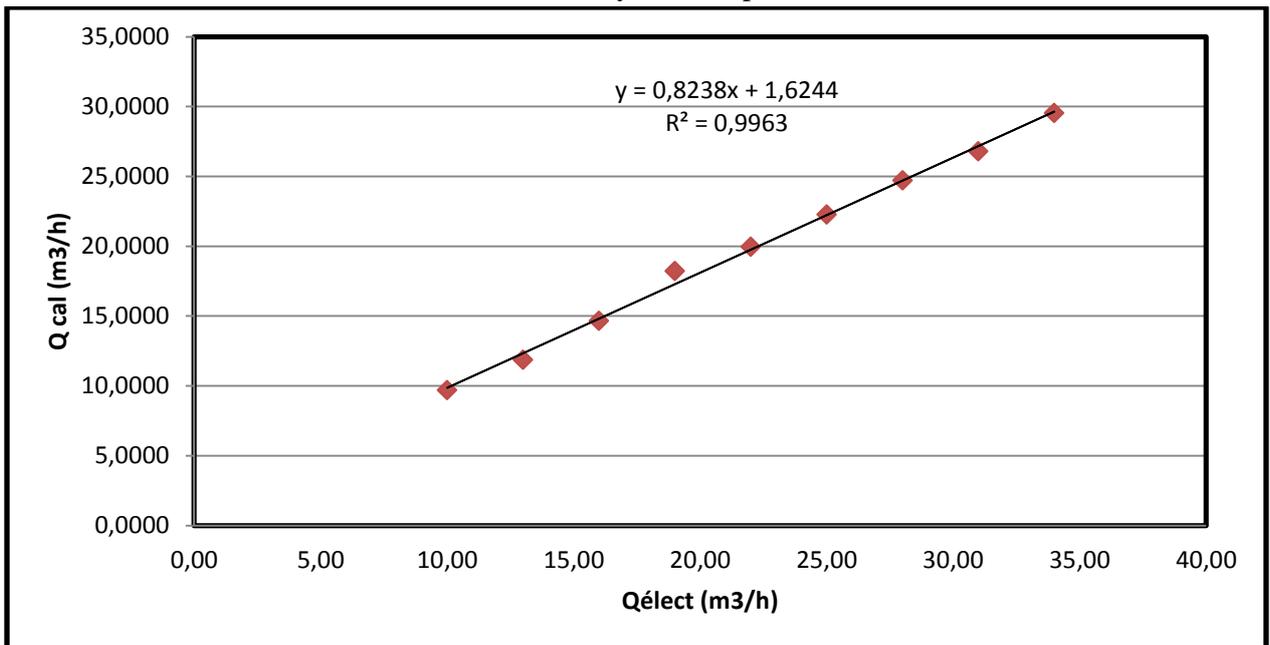


Figure V.15 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Cône.

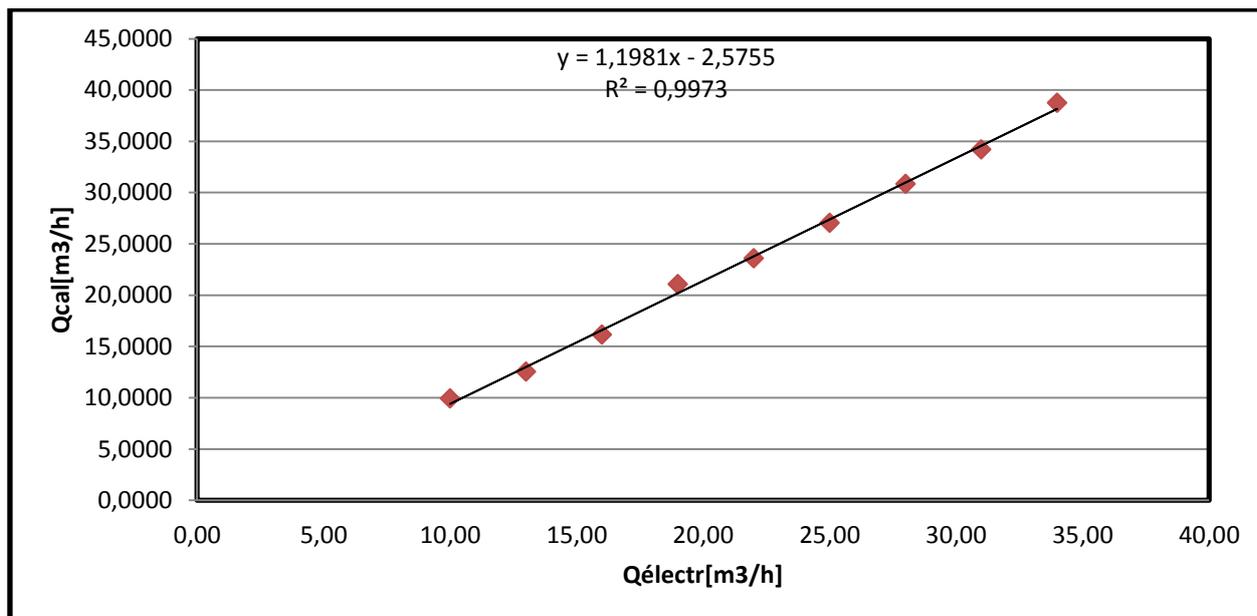


Figure V.16 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Hyndrique

Déversoir trapézoïdale

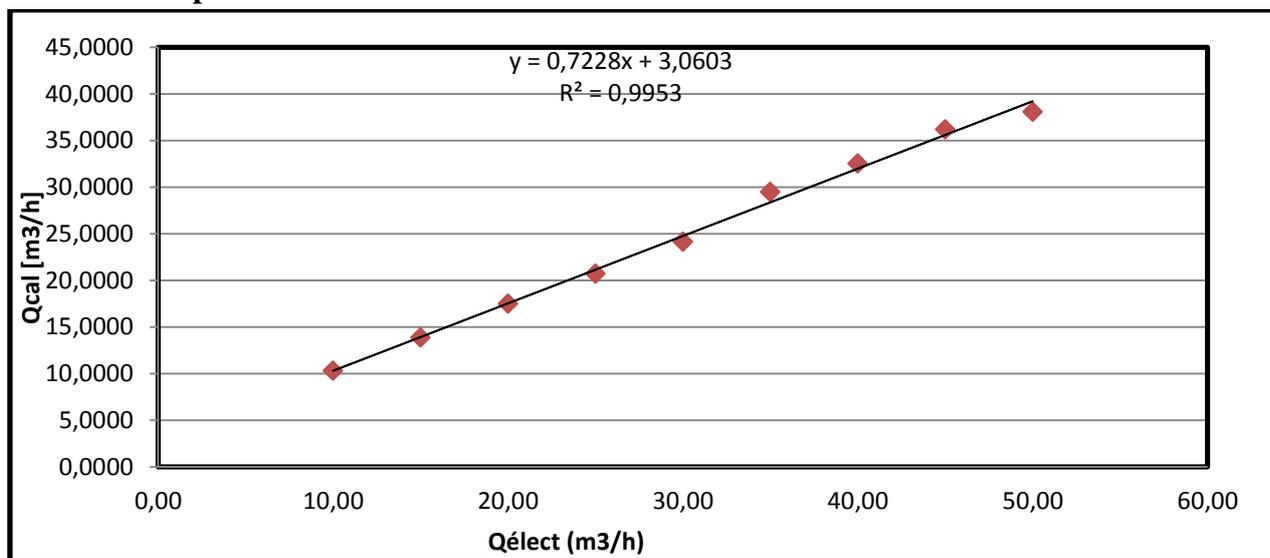


Figure VI.17 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Gourley et Cramp.

➤ **Déversoir à paroi épaisse**

Déversoir a paroi épaisse à arrêt arrondie

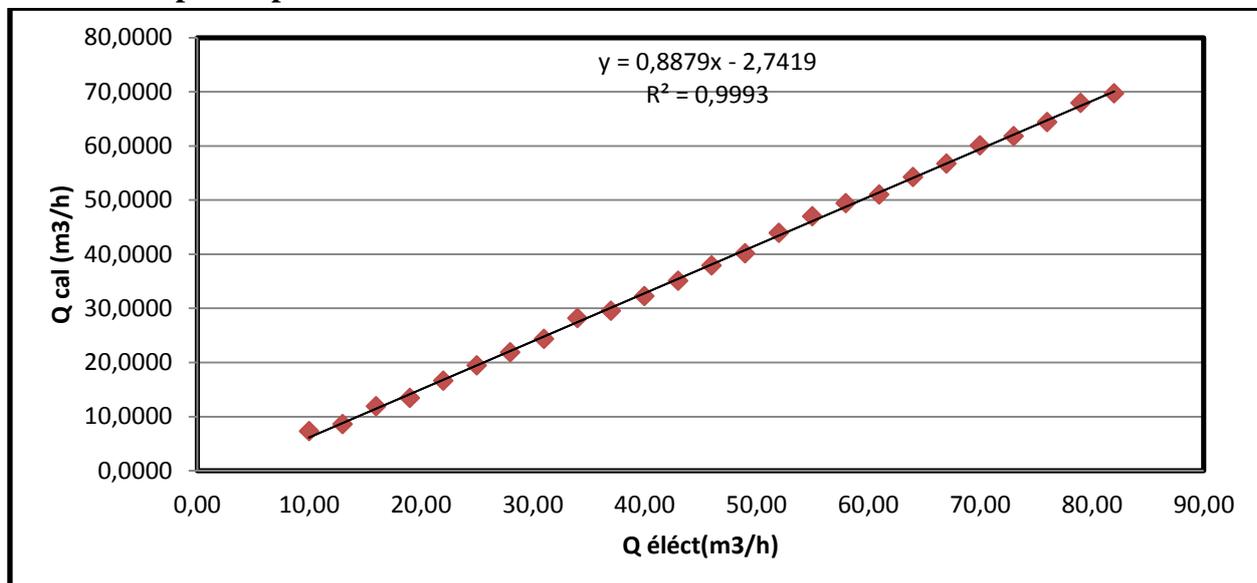


Figure VI.18 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule des valeurs usuelles.

Déversoir à paroi épaisse à arrête vive

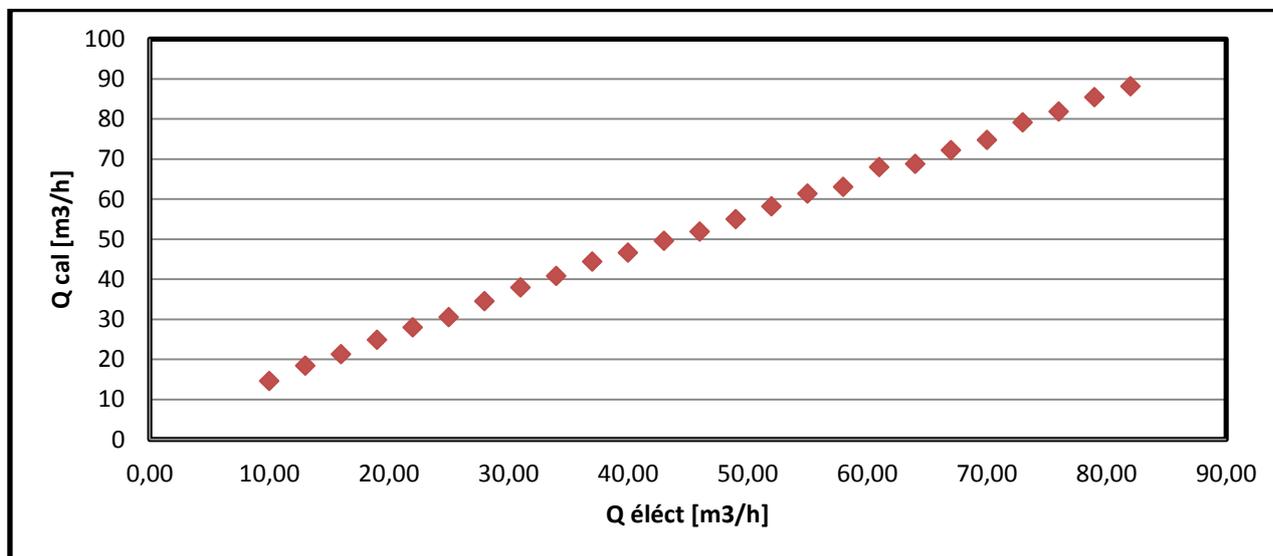


Figure VI.19 : Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule de Rao et Shulka.

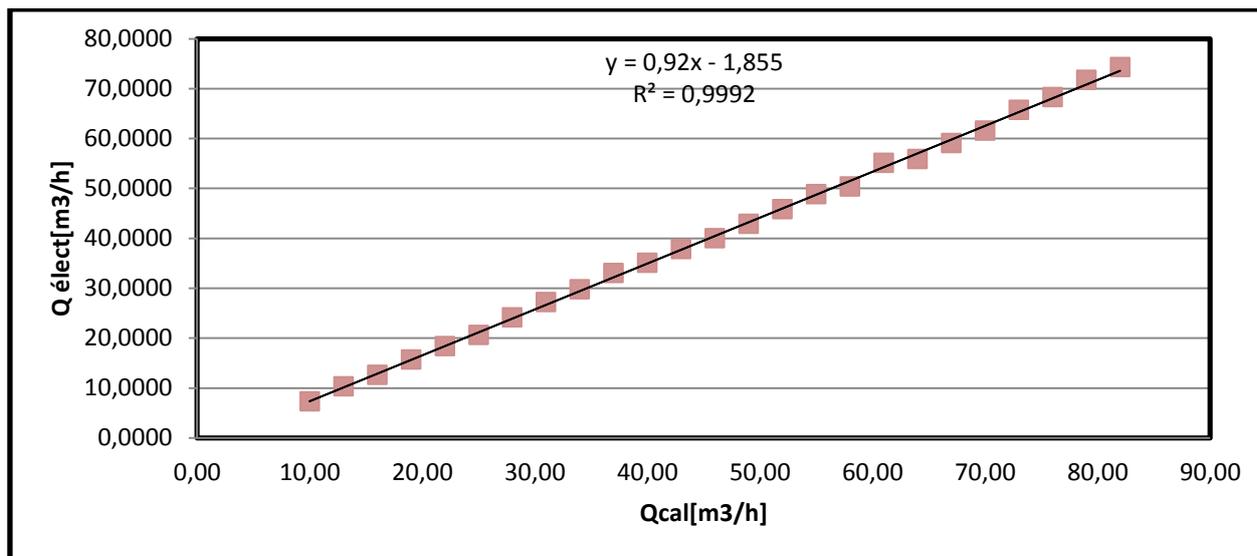


Figure VI.20: Ajustement linéaire (débit calculé/ débit électromagnétique) pour la formule des valeurs usuelles.

Constats

Le coefficient de corrélation trouvé pour chaque formule de calcul de débit dans le même type de déversoir va nous permettre de juger et vérifier ainsi que choisir la formule de calcul de débit la plus fiable. Voir le tableau suivant :

Tableau V.2 : les formules de calcul de débit les plus fiables

Type de déversoir	Formule de débit	Formule de coefficient de débit	Coefficient de corrélation R
Déversoir à paroi mince			
Rectangulaire avec contraction	Poleni	Valeurs usuelles	0.9974
Rectangulaire sans contraction (sans aération)	Poleni	Valeurs usuelles	0.9975
Rectangulaire sans contraction (avec aération)	Réhbook	Réhbook	0.9968
Triangulaire	Heyndrique	Heyndrique	0.9986
Trapézoïdale	Goulery et Crimp	Goulery et Crimp	0.9976
Déversoir à paroi épaisse			
A arrêt vive	Poleni	Valeurs usuelles	0.9996
A arrête arrondie	Poleni	Valeurs usuelles	0.9996

Nous remarquons que les valeurs de R sont proches de 1 est que la corrélation entre les deux variables $x (Q_{\text{calculé}})$ et $y(Q_{\text{Electromagnétique}})$ est assez grande. Les résultats de ce calcul est plus fiable avec l'utilisation des citées dans le tableau V.2.

Après l'étude de la corrélation des différentes formules avec les résultats des essais de mesure du débit à travers les déversoirs cité nous avons calculé l'erreur absolue et relative (voir annexe IV) pour choisir le déversoir qui donne les meilleurs résultats.

Le tableau suivant représente une comparaison d'erreur relative (moyenne, maximale et minimale) pour les différents types de déversoir :

Tableau V.3 : Le calcul d'erreur pour les formules de débit les plus faible.

Type de déversoir	Erreur max $\Delta Q_{r_{\text{max}}} (\%)$	Erreur min $\Delta Q_{r_{\text{min}}} (\%)$	Erreur moyen $\Delta Q_{r_{\text{moy}}} (\%)$
Déversoir à paroi mince			
Rectangulaire avec contraction	26.80	8.59	18.14
Rectangulaire sans Contraction (sans aération)	28.45	13.34	17.94
Rectangulaire sans contraction (avec aération)	33.37	4.63	11.09
Triangulaire	13.94	0.76	7.29
Trapézoïdale	23.87	2.99	15.32
Déversoir à paroi épaisse			
A arrêt vive	27.13	9.22	13.61
A arrête arrondie	33.86	14.05	19.31

Constats

D'après ce calcul on peut dire que le déversoir le plus fiable pour le contrôle d'écoulement c'est le déversoir triangulaire car il donne une erreur relative moyenne minimum par rapport aux autres déversoirs qui est de 7.29 %.

En se basant sur le calcul d'erreur relative dans la comparaison entre les déversoirs cylindriques, nous obtenons les résultats récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau V.4 : Calcul d'erreur pour les déversoirs cylindriques.

Déversoir cylindrique	Erreur max $\Delta Q_{r_{max}}$ (%)	Erreur min $\Delta Q_{r_{min}}$ (%)	Erreur moyen $\Delta Q_{r_{moy}}$ (%)
Diamètre 200 mm	15.68	0.08	4.27
Diamètre 250 mm	5.68	0.14	1.40

D'après ce calcul on peut dire que le déversoir le plus fiable et qui donne des résultats précis et exactes est le déversoir cylindrique de diamètre 250 mm.

V.6.Étalonnage de la sonde

L'étalonnage de la sonde sera en fonction de la hauteur de la lame d'eau à la sortie de déversoir (h_2) qui correspond à la meilleure position pour la lecture et qui donne des résultats plus fiables.

V.7 Conclusion

D'après ce chapitre nous pouvons conclure que, parmi les déversoirs étudiés, le meilleur déversoir qui donne le plus de précision dans notre canal rectangulaire est le déversoir triangulaire en utilisant la formule de Hyndrique.

Concernant le déversoir cylindrique que nous avons réalisé, la meilleure évaluation de débit s'est avérée pour l'emplacement de la sonde a une distance D de l'entrée de cylindre selon une formule de type puissance.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Notre travail dont l'objectif est l'étude de fiabilité des moyens de contrôle de l'écoulement dans un canal rectangulaire, étant achevé nous pouvons conclure que notre synthèse bibliographique nous a permis de faire un état de connaissance, allant du dix-huitième siècle jusqu'à nos jours, sur les déversoirs comme moyen de contrôle des écoulements à surface libre qu'ils soient dans des canaux naturels ou artificielles, fermés ou découverts. Ceci nous a permis de déduire que la large diversité des formules théoriques proposées par différents auteurs pouvaient induire des résultats de mesure de débit différents en plus de leurs limites d'application différentes concernant la pelle du déversoir, sa largeur et la hauteur déversé. Nous avons pu constater aussi que la facilité d'installation et d'utilisation diffèrent d'un type de déversoir à un autre. Par conséquent, nous avons jugé utile d'étudier la précision des différents déversoirs d'une part en effectuant une étude expérimentale visant la comparaison entre des déversoirs de type paroi mince ainsi que paroi épaisse.

D'autre part, nous avons projeté la réalisation d'un déversoir cylindrique muni d'une sonde électronique pour remédier au problème de la facilité et la mobilité posé.

D'après l'étude expérimentale, ciblant la fiabilité des déversoirs (à paroi mince de forme : triangulaire, rectangulaire et trapézoïdale, à paroi épaisse avec arrêtes vives et arrêtes arrondies.) que nous avons mené au laboratoire d'hydraulique appliqué de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, nous avons déduit les constats suivants :

- ✓ Le déversoir à paroi mince de formes rectangulaire avec contraction, trapézoïdale et triangulaire en absence de l'aération présentent l'avantage de non endommagement de la paroi par érosion.
- ✓ Dans le cas du déversoir rectangulaire sans contraction la lame d'eau est accolée à la paroi induisant le risque de son endommagement. Alors que dans le cas des essais effectués sur ce même type de déversoir en présence d'air, la lame d'eau déversée s'élève par rapport à la paroi en réduisant son risque d'endommagement.
- ✓ Le déversoir à seuil épais avec arêtes vives a présenté une zone d'air qui est absente dans l'écoulement à travers le déversoir à seuil épais avec arrêtes arrondies.
- ✓ Le déversoir triangulaire, à paroi mince avec un angle de 90° , présente la plus faible capacité d'évacuation.

L'exploitation des résultats expérimentaux des mesures de débit en fonction de la hauteur déversée comparés aux résultats théoriques basés sur les formules de Poleni, Kindsvater et Carter et Rehbock, Gourley et Crump, Cippoletti, Rao et Shulka, Cône USA 191, Hyndriquet et Thomsons nous ont permis de déduire, que pour nos mêmes limites expérimentales, le déversoir triangulaire avec la formule de Hyndriquet est le plus fiable.

Le second volet de notre travail a visé la réalisation de deux déversoirs cylindriques, de diamètres respectifs de 200 mm et 250 mm, à base de polyéthylène de haute densité désignée par PEHD et avec des parois que nous avons perforé. Nous avons effectué deux séries d'essais expérimentaux.

La première série sur le déversoir cylindrique de 200 mm de diamètre qui nous a révélé les observations suivantes :

- ✓ Le déversoir cylindrique est mobile et facile à installer.
- ✓ Le débit est limité à $100 \text{ m}^3/\text{h}$.
- ✓ Le débit à travers le cylindre suit une loi puissance en fonction de la hauteur d'eau à l'intérieur de cylindre et a une distance égale au diamètre.
- ✓ La deuxième série d'essais menée sur le déversoir cylindrique de 250 mm de diamètre nous a permis de faire les remarques suivantes :
- ✓ Le déversoir cylindrique est mobile et facile à installer.
- ✓ Le débit est limité à $80 \text{ m}^3/\text{h}$.
- ✓ Le débit à travers le cylindre suit une loi puissance, en fonction de la hauteur d'eau à l'intérieur du cylindre et à une distance égale au diamètre, dont la constante est presque deux fois supérieure à celle obtenue pour le déversoir de 200 mm de diamètre alors que l'exposant est en rapport 0.8.
- ✓ Ce déversoir (250 mm de diamètre) présente les meilleurs résultats.

Nous avons fait suivre les deux séries d'essais ci-dessus par un étalonnage de la sonde électronique que nous avons conçu et réalisé en utilisant des lumières LED .

Enfin, nous pensons avoir contribué, avec ce modeste travail, à remédier à la problématique de la précision des moyens de contrôle des écoulements a surface libre et à leur facilité d'utilisation

Bibliographie

- [1] Catalogue technique tube en polyéthylène PEHD .GREOUBE CHIALI.
- [2] Cignus2.free.fr/.../ph/Mesuredeconductivit.
- [3] Discharge measurement structures ;W.H.Hagar LAUSANNE 1986.
- [4] Diagnostic pour l'aide à l'instrumentation des déversoirs d'orage ; José VAZQUEZ, Matthieu DUFRESNE, Martin FISCHER, Marie MANCEAU, Gilles ISENMANN et Jonathan WERTEL ;Février 2001.
- [5] Expérimentations et modélisations tridimensionnelles de l'hydrodynamique et de la séparation particulaire dans les déversoirs d'orage. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur – Strasbourg .Lipeme Kouyi, G. 2004.
- [6] Évaluation des performances, Sources d'erreur et incertitudes dans les modèles de déversoirs d'orage. Thèse de doctorat. École doctorale Mécanique, Énergétique, Génie Civil, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. 425P Garcia Salas, J.C. (2003),
- [7] [Engees.unistra.fr/guide technique.pdf](http://Engees.unistra.fr/guide%20technique.pdf)
- [8] Fonctions et typologie des déversoirs d'orage. Technique de l'ingénieur.14P Vazoquez, J., et al. (2009).
- [9] Guide techniques sur les fonctionnement des déversoirs d'orages ;ANJOU RECHERCHE .ENGEES.
- [10] Guide technique sur le fonctionnement des déversoirs d'orage Vazoquez, J., et al.2006.
- [11] Hydraulique générale est appliquée ,MICHEL CARLIER.
- [12] <http://www.c2plus.fr/project/lame-v-2/>.
- [13] <http://thesis.univ-biskra.dz/1098/4/Chapitre%2001.pdf>.
- [14] Lamine Guemane Groupe ENSH-Blida
- [15] Mécanique des fluides dynamique des fluides incompressibles réels, Mr riadh ben hamouda, université virtuelles de tunis.
- [16] Notice sur les déversoirs, CETEF, Février 2005.
- [17] Notions de base sur les incertitudes et le traitement des données expérimentales christian bourdillon, coordinateur, version juillet 2001.
- [18] Quelque nouveauté sur les déversoirs pour la mesure de débit par L.CASTEX Communication présentée au Comité technique de la Société Hydrotechnique de Francee 21 mars 1969.

- [19] Revues des sciences de l'eau Modélisation du comportement hydraulique des déversoirs d'orage latéraux en régime transcritique M.Buyer ,J,B,Bermond Volume 18, numéro 1,2005.
- [20] Traité d'hydraulique à surface libre ;Gérard DEGOUTTE.
- [21] Verbandsbericht Nr.303 ;42 Hauptmitgliederversammlung vom 21 .Marz1986 in Bern Dr .Willi H.Hager sonderdruck aus GWA 11/1985 .
- [22] www.shf-lhb.org/05/lhb1969043.pdf
- [23] www.side.developpement-durable.gouv.fr/ged/viewportalpublished.ashx.
- [24] docplayer.fr/.../64576266-1-1-i-2-d...-1-definition.html.

Liste des ANNEXES

ANNEXE I	I – V
ANNEXE II	VI - XX
ANNEXE III	XXI - XXII
ANNEXE IV	XXXVII - XLII



ANNEXE I

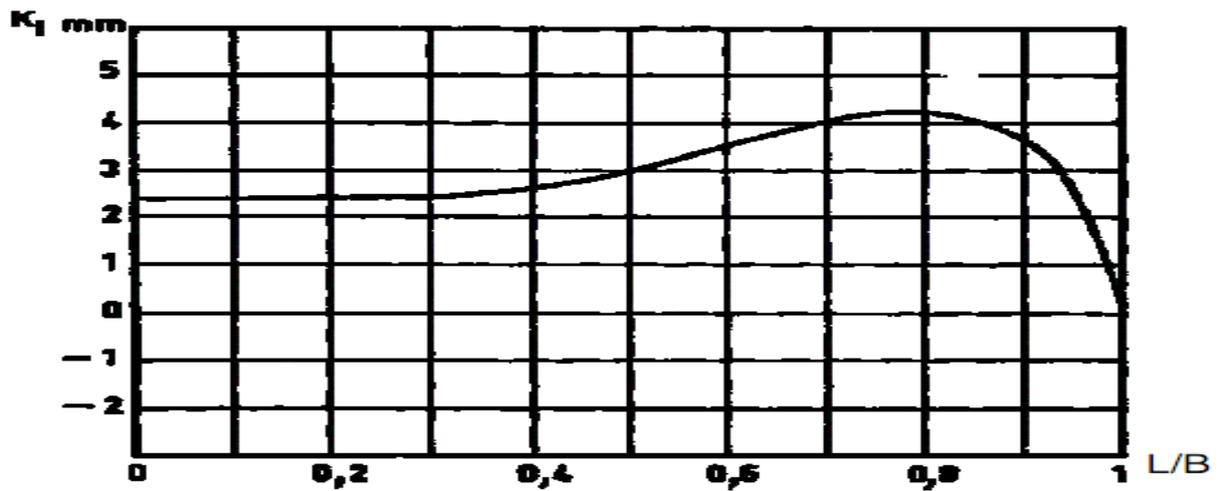


Figure.I.1:abaque de K_1 (mm) en fonction du rapport L/B. D'après : « Hydraulique générale et appliquée » de Carlier. Source (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

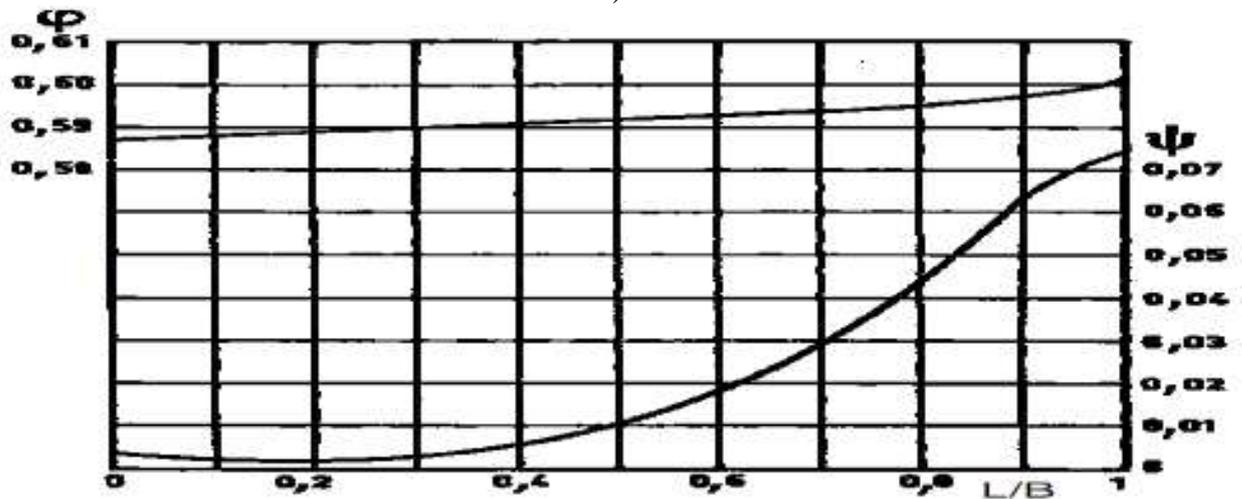


Figure.I.2:abaque de ϕ et ψ en fonction du rapport L/B. D'après : « Hydraulique Appliquée » de Carlier. Source(Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

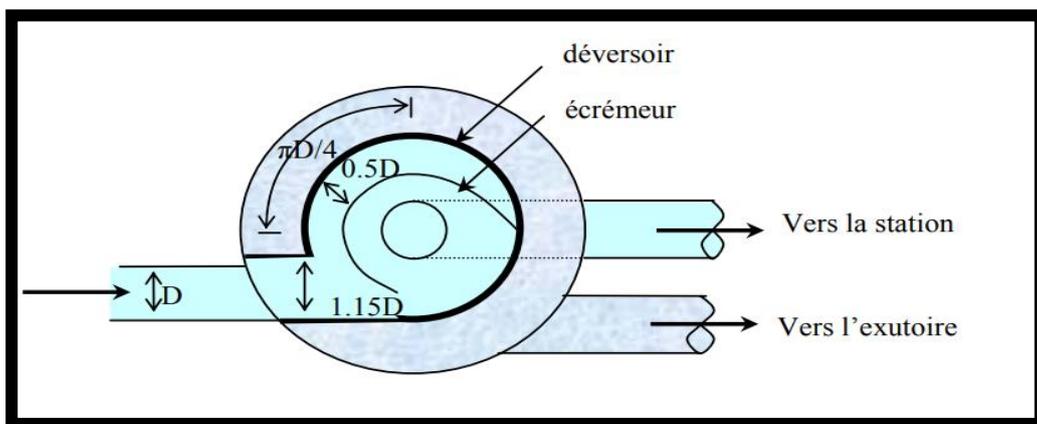


Figure I.3 Chambre à vortex avec déversoir périphérique, Source (Vazquez 2006, Bertrand-Krajewski 2007)

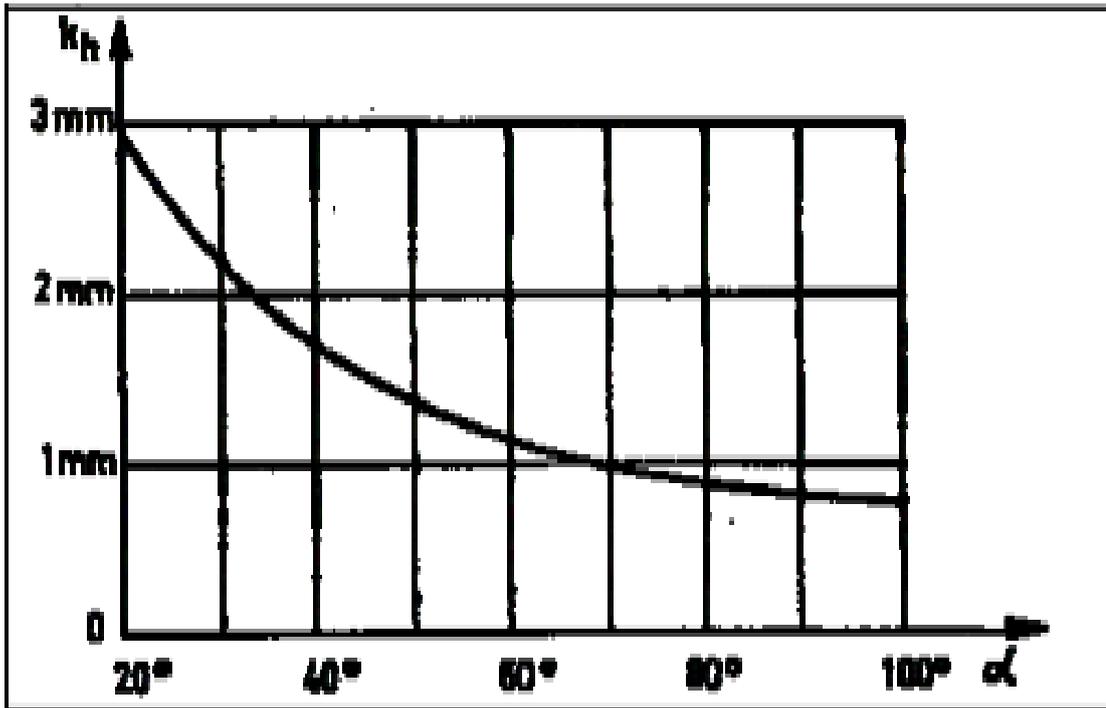


Figure.I.4 :valeurs de K_h (en mm) avec α quelconque. Source (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

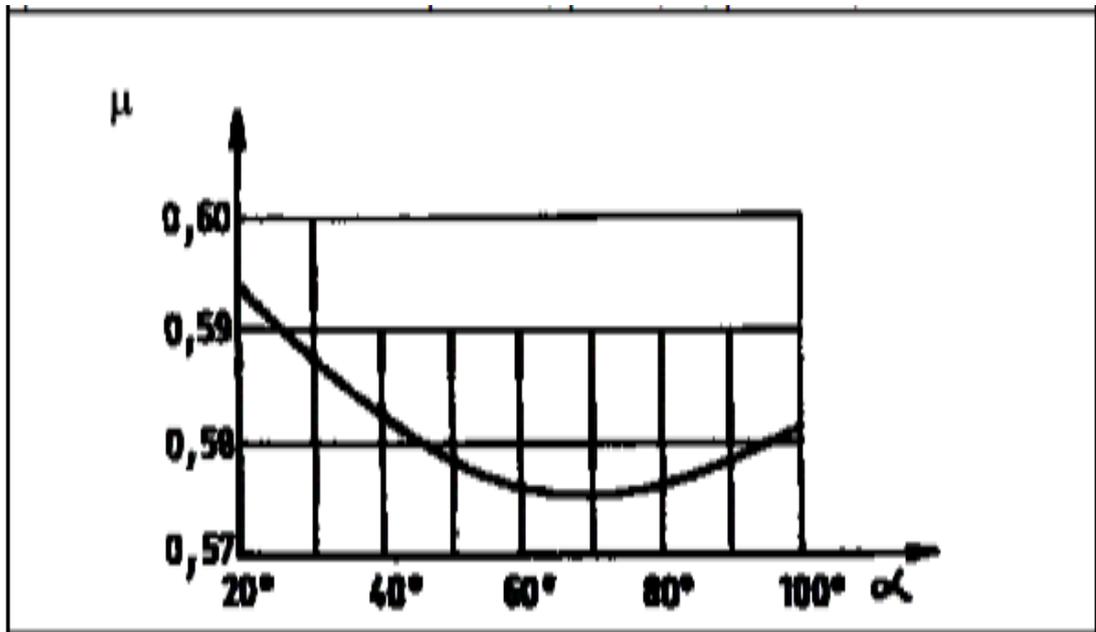


Figure.I.5:coefficient de débit fonction de l'angle d'ouverture α , pour un déversoir à contraction complète. Source (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

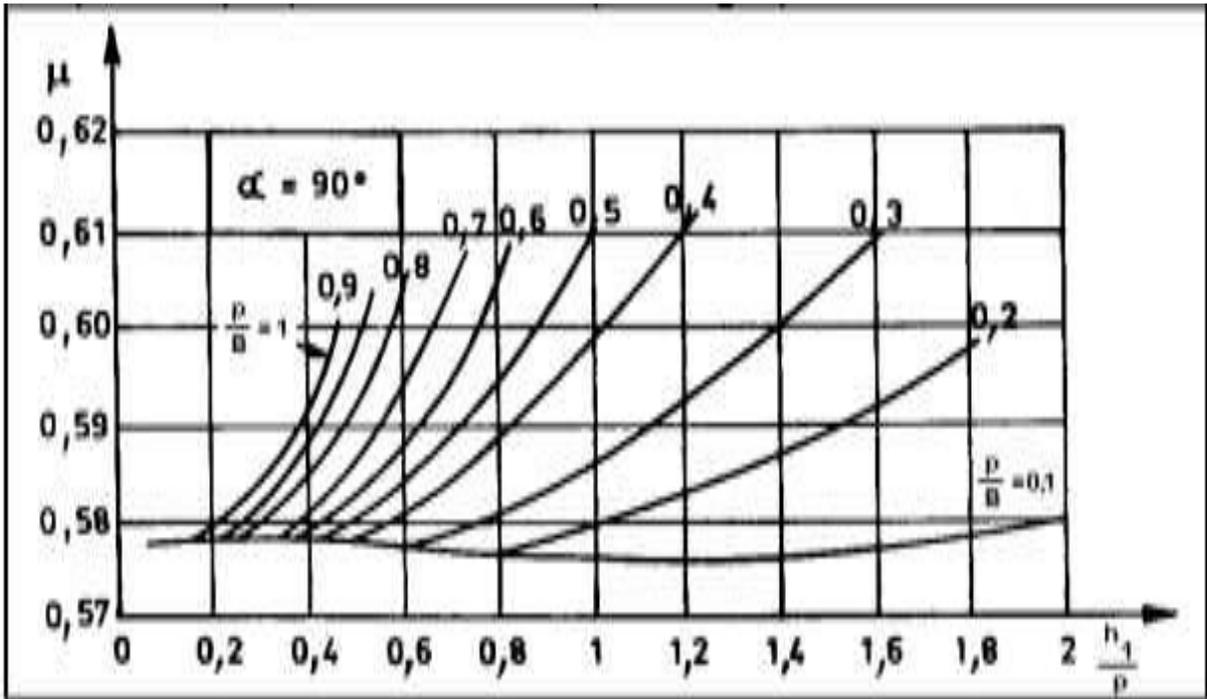


Figure.I.6 : valeur du coefficient de débit en fonction de h_1/p et de p/B pour $\alpha=90^\circ$ lorsque le Déversoir est partiellement contracté. **Source** (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

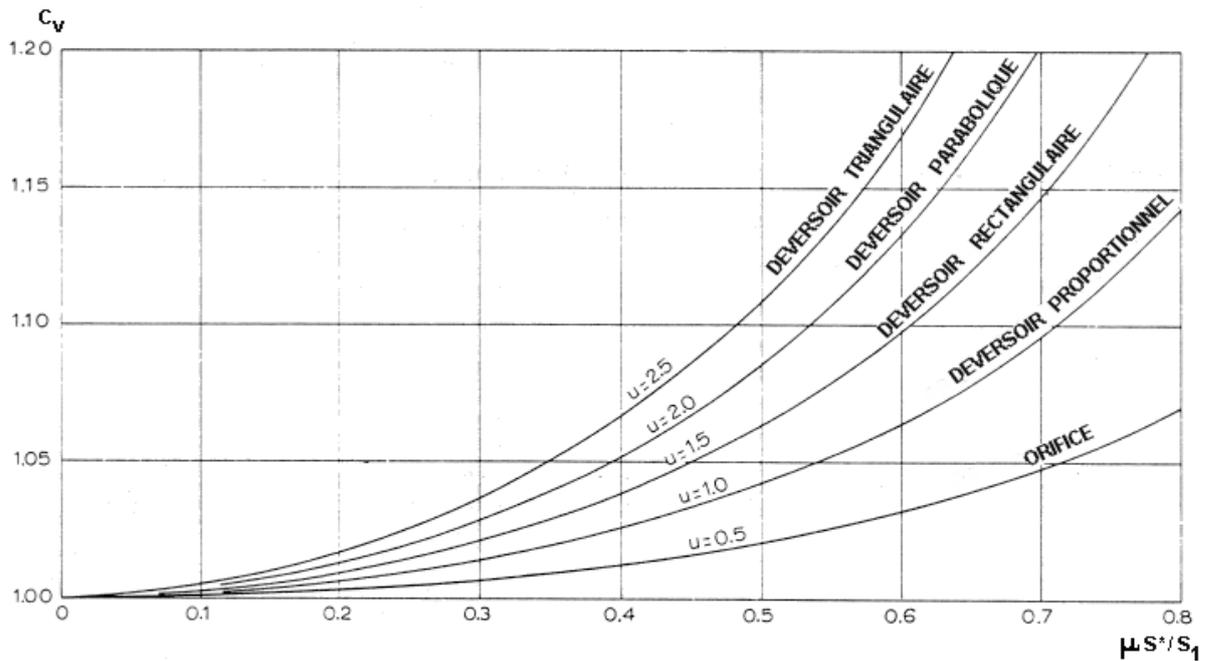


Figure I.7 : abaque donnant C_v en fonction du rapport $\mu S^*/S_1$ et de la forme géométrique du déversoir à crête épaisse. **source** (Discharge measurement structures de Delft Hydraulics Laboratory)

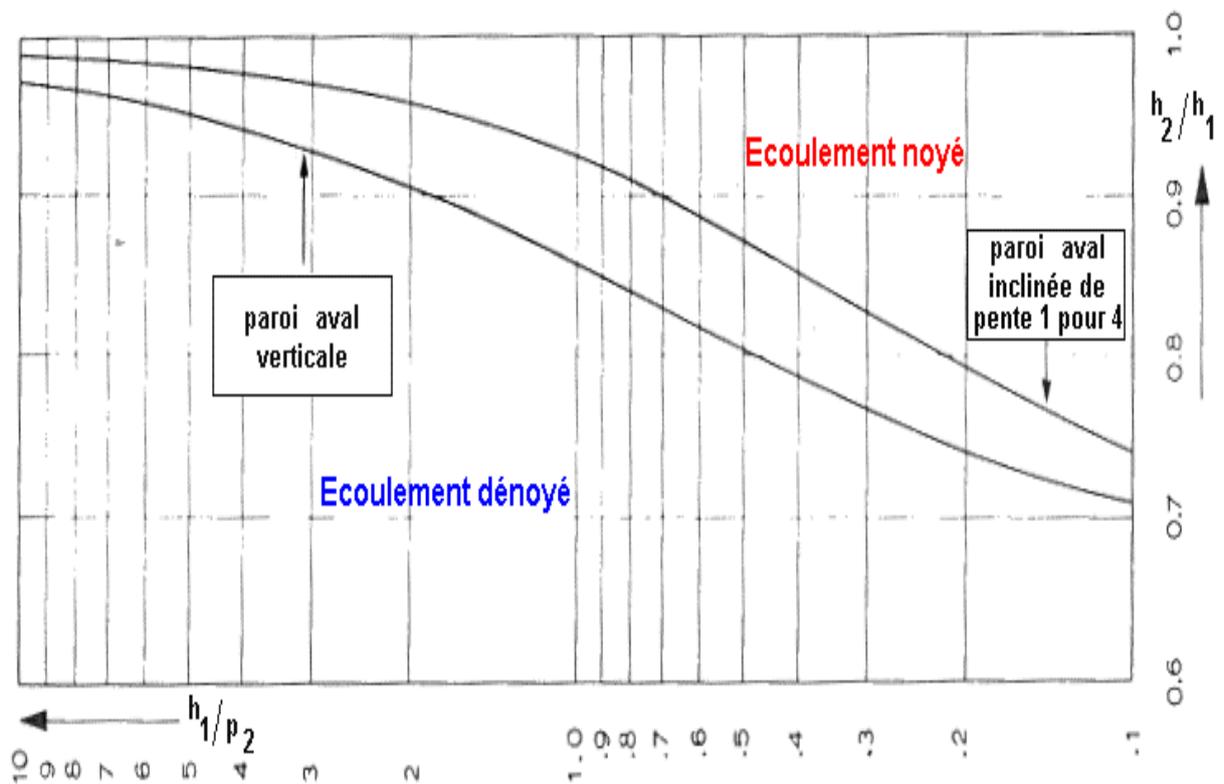


Figure I.8: transition entre un écoulement noyé et dénoyé pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête amont arrondie, à paroi aval verticale ou inclinée de pente 1 pour 4. **Source** (Discharge measurement structures de Delft Hydraulics Laboratory)

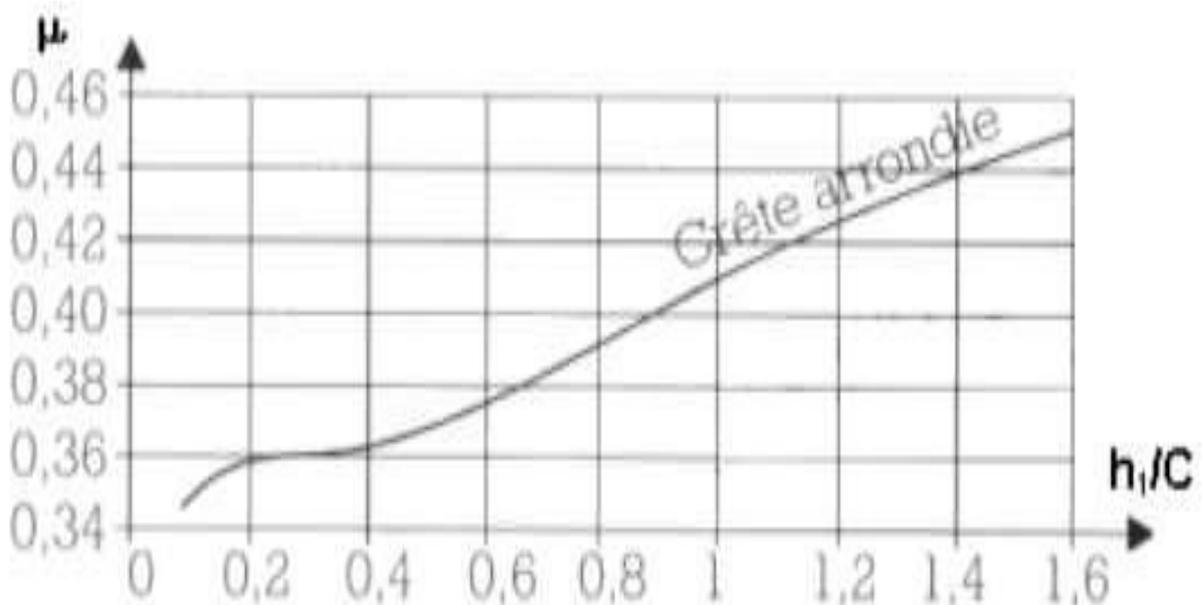


Figure.I.9: graphique permettant de déterminer le coefficient de débit pour un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête amont arrondie, sans contraction latérale et en écoulement dénoyé. **Source** (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

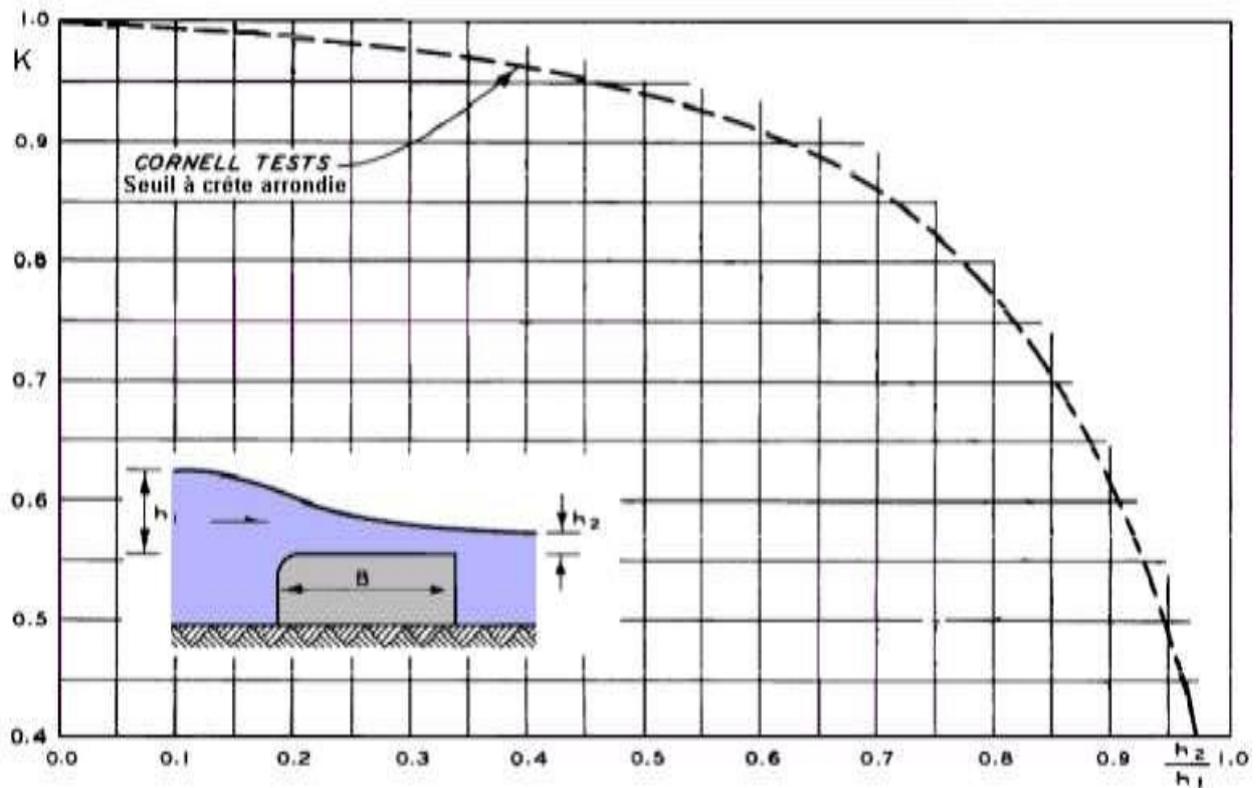


Figure I.10 : coefficient de noyage K pour un déversoir à crête épaisse à arête arrondie en amont. **Source** (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)

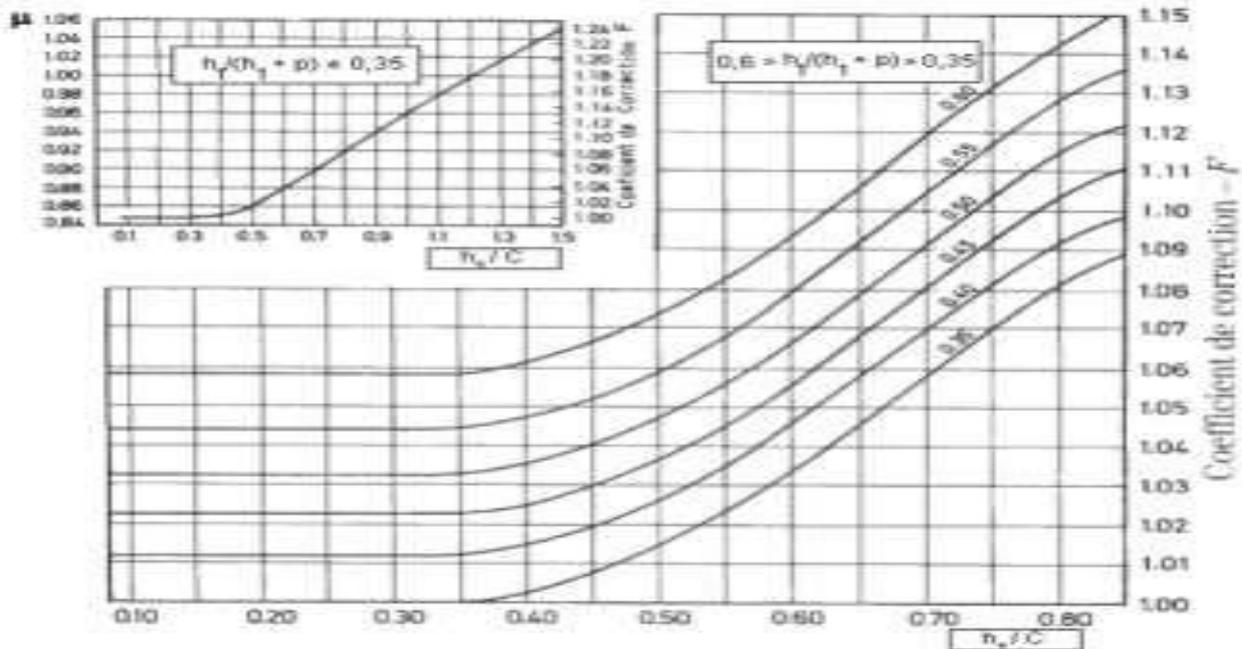


Figure I.11 : détermination du coefficient de correction F pour le calcul du coefficient de débit d'un déversoir rectangulaire à crête épaisse et arête vive en écoulement dénoyé suivant les valeurs de h_1/C et $h_1/(h_1+p)$ pour $0,33 < h_1/C < 1,5$.
Source (Notice sur les déversoirs, CETMF, Février 2005)



ANNEXE II

Tableau II.1 : Résultats expérimentaux de déversoir à paroi mince (Q/h).

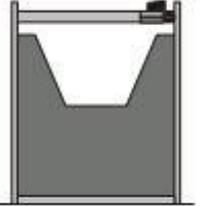
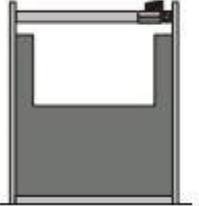
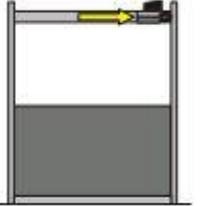
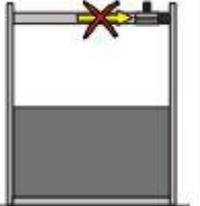
									
P= 18 cm		P=18 cm		P=18 cm		P=18 cm		P=18 cm	
Déversoir triangulaire		Déversoir trapézoïdale		Déversoir rectangulaire avec contraction		Déversoir rectangulaire sans contraction (aéré)		Déversoir rectangulaire sans contraction (non aéré)	
Q	h _{amont}	Q	h _{amont}	Q	h _{amont}	Q	h _{amont}	Q	h _{amont}
[m ³ /h]	[cm]	[m ³ /h]	[cm]	[m ³ /h]	[cm]	[m ³ /h]	[cm]	[m ³ /h]	[cm]
10.00	26,30	10.00	23,70	10.00	21,30	10.00	20,40	10.00	20,50
13.00	27.00	15.00	24,90	15.00	22,50	20.00	21,60	20.00	22.00
16.00	27,80	20.00	26.00	20.00	23,50	30.00	23,80	30.00	23,40
19.00	28,70	25.00	26,90	25.00	24,50	40.00	25,10	40.00	24.00
22.00	29,10	30.00	27,80	30.00	25,40	50.00	26,80	50.00	25,80
25.00	29,60	35.00	29,10	35.00	26,20	60.00	27,40	60.00	26,90
28.00	30,10	40.00	29,80	40.00	26,90	70.00	28,30	70.00	27,90
31.00	30,50	45.00	30,60	45.00	27,60	80.00	29,30	80.00	28,80
34.00	31.00	50.00	31.00	50.00	28,70	90.00	30,20	90.00	29,70
/	/	/	/	55.00	29.00	/	/	/	/
/	/	/	/	60.00	29,40	/	/	/	/
/	/	/	/	65.00	30.00	/	/	/	/
/	/	/	/	70.00	30,40	/	/	/	/

Tableau I.2 : Résultats expérimentaux de déversoir à paroi épaisse (Q/h).

Déversoir à arêtes vives				Déversoir à arêtes arrondies			
Débit Q en [m ³ /h]	Niveau d'eau en amont h1 en [cm]	Niveau d'eau en aval h2 en [cm]	Observation	Débit Q en [m ³ /h]	Niveau d'eau en amont h1 en [cm]	Niveau d'eau en aval h2 en [cm]	Observation
10,00	27,70	26,70	dénoyé - aérée	10,00	27,60	20,80	dénoyé
13,00	28,40	27,50	dénoyé - aérée	13,00	27,90	21,10	dénoyé
16,00	28,90	27,60	dénoyé - aérée	16,00	28,60	21,40	dénoyé
19,00	29,50	27,50	dénoyé - aérée	19,00	28,90	21,60	dénoyé
22,00	30,00	27,30	dénoyé	22,00	29,50	22,50	dénoyé
25,00	30,40	27,50	dénoyé	25,00	30,00	23,00	dénoyé
28,00	31,00	27,60	dénoyé	28,00	30,40	23,40	dénoyé
31,00	31,50	27,80	dénoyé	31,00	30,80	23,70	noyé
34,00	31,90	28,00	noyé	34,00	31,40	24,10	noyé
37,00	32,40	28,30	noyé	37,00	31,60	24,80	noyé
40,00	32,70	28,70	noyé	40,00	32,00	25,10	noyé
43,00	33,10	28,70	noyé	43,00	32,40	25,50	noyé
46,00	33,40	29,00	noyé	46,00	32,80	25,80	noyé
49,00	33,80	29,00	noyé	49,00	33,10	26,70	noyé
52,00	34,20	29,20	noyé	52,00	33,60	27,00	noyé
55,00	34,60	29,40	noyé	55,00	34,00	27,20	noyé
58,00	34,80	29,60	noyé	58,00	34,30	27,40	noyé
61,00	35,40	29,70	noyé	61,00	34,50	27,30	noyé
64,00	35,50	30,00	noyé	64,00	34,90	27,40	noyé
67,00	35,90	30,20	noyé	67,00	35,20	27,50	noyé
70,00	36,20	30,40	noyé	70,00	35,60	27,60	noyé
73,00	36,70	30,60	noyé	73,00	35,80	28,60	noyé
76,00	37,00	30,80	noyé	76,00	36,10	28,80	noyé
79,00	37,40	31,10	noyé	79,00	36,50	28,00	noyé
82,00	37,70	31,20	noyé	82,00	36,70	28,70	noyé

Tableau II.3 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 200 mm					Diamètre 250 mm				
Q	h ₁	h ₂	h _{sonde1}	h _{sonde2}	Q	h ₁	h ₂	h _{sonde1}	h _{sonde2}
[m ³ /h]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[m ³ /h]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
10,00	6,30	6,60	4,00	4,00	10,00	5,90	6,20	4-6	4,00
15,00	7,00	7,30	4-6	4-6	15,00	7,00	7,60	6,00	6,00
20,00	7,90	8,30	6,00	6,00	20,00	8,00	8,80	8,00	8,00
25,00	8,60	9,00	6,00	6,00	25,00	9,00	9,90	10,00	8,00
30,00	9,30	9,70	6-8	6-8	30,00	10,00	11,00	10,00	10,00
35,00	10,00	10,30	8,00	8,00	35,00	10,50	12,00	10,00	10,00
40,00	10,50	11,50	8,00	8,00	40,00	11,50	12,80	12,00	12,00
45,00	11,00	12,00	8-10	8,00	45,00	13,00	14,00	14,00	12-14
50,00	11,70	12,50	10-12	10,00	50,00	13,10	14,40	16,00	14,00
55,00	12,00	13,30	10-12	10,00	55,00	13,30	15,00	16,00	14,00
60,00	12,60	13,80	12-14	10-12	60,00	14,50	16,00	16,00	14,00
65,00	13,90	14,50	12,00	12,00	65,00	15,00	16,40	16,00	14,00
70,00	13,90	15,00	14,00	12,00	70,00	16,00	17,00	16-18	16,00
75,00	14,00	15,20	14,00	12-14	75,00	16,00	17,80	18,00	16,00
80,00	14,80	15,50	12-14	12,00	80,00	16,60	18,30	20,00	16-18
85,00	15,00	15,60	14-16	14,00	/	/	/	/	/
90,00	15,10	16,00	14,00	14,00	/	/	/	/	/
95,00	15,00	16,70	16,00	14,00	/	/	/	/	/
100,00	15,30	16,90	16-18	14-16	/	/	/	/	/

Tableau II.4 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 200 mm					
Q= 10 m3/h		Q= 15 m3/h		Q= 20 m3/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	6,50	6,26	7,40	6,26	8,80
6,40	6,60	6,40	7,50	6,40	8,90
6,50	6,60	6,50	7,60	6,50	8,90
6,60	6,70	6,60	7,60	6,60	8,80
6,74	6,40	6,74	7,40	6,74	8,50
6,77	6,30	6,77	7,30	6,77	8,30
6,78	6,30	6,78	7,20	6,78	8,10
6,79	6,20	6,79	7,00	6,79	8,00
6,80	6,10	6,80	6,90	6,80	7,90
6,81	6,10	6,81	6,70	6,81	7,80
6,82	6,00	6,82	6,60	6,82	7,60
6,83	5,80	6,83	6,40	6,83	7,30
6,84	5,70	6,84	6,30	6,84	7,10
6,85	5,80	6,85	6,40	6,85	6,90
6,86	5,80	6,86	6,40	6,86	6,80
6,87	5,70	6,87	6,30	6,87	6,80
6,88	5,70	6,88	6,20	6,88	6,30
6,90	5,60	6,90	6,30	6,90	6,30
6,91	5,80	6,91	6,30	6,91	6,60
7,01	5,80	7,01	6,40	7,01	7,30
7,11	5,90	7,11	6,50	7,11	7,30
7,21	6,10	7,21	6,50	7,21	7,20
6,71	6,40	6,71	7,60	6,71	8,80
7,30	6,10	7,30	7,60	7,30	7,80
6,93	/	6,93	/	6,93	/
6,95	/	6,95	/	6,95	/

Tableau II.5 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 200 mm					
Q= 25 m³/h		Q= 30 m³/h		Q= 35 m³/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	9,70	6,26	10,80	6,26	11,90
6,40	9,39	6,40	10,80	6,40	12,00
6,50	9,90	6,50	10,90	6,50	12,00
6,60	9,90	6,60	10,90	6,60	11,90
6,74	9,50	6,74	10,50	6,74	11,50
6,77	9,20	6,77	10,00	6,77	11,10
6,78	9,10	6,78	10,10	6,78	10,90
6,79	8,90	6,79	9,90	6,79	10,80
6,80	9,00	6,80	9,80	6,80	10,30
6,81	8,90	6,81	9,60	6,81	10,30
6,82	8,40	6,82	9,30	6,82	9,90
6,83	8,10	6,83	9,00	6,83	9,70
6,84	7,90	6,84	8,60	6,84	9,30
6,85	7,60	6,85	8,20	6,85	9,00
6,86	7,50	6,86	7,90	6,86	8,70
6,87	7,30	6,87	7,50	6,87	8,20
6,88	7,20	6,88	7,50	6,88	8,00
6,90	7,00	6,90	7,20	6,90	7,50
6,91	7,00	6,91	7,20	6,91	7,30
7,01	7,50	7,01	7,40	7,01	8,60
7,11	7,70	7,11	8,20	7,11	8,80
7,21	8,10	7,21	8,40	7,21	8,80
6,71	9,80	6,71	10,90	6,71	11,90
7,30	8,20	7,30	8,50	7,30	9,30
6,93	/	6,93	/	6,93	/
6,95	/	6,95	/	6,95	/

Tableau II.6 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 200 mm					
Q= 40 m3/h		Q= 45 m3/h		Q= 50 m3/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	12,70	6,26	13,80	6,26	14,60
6,40	12,90	6,40	13,80	6,40	14,70
6,50	12,90	6,50	13,90	6,50	14,70
6,60	12,90	6,60	13,90	6,60	14,80
6,74	12,40	6,74	13,50	6,74	14,20
6,77	12,10	6,77	12,90	6,77	13,70
6,78	11,90	6,78	12,80	6,78	13,50
6,79	11,70	6,79	12,50	6,79	13,40
6,80	11,40	6,80	12,20	6,80	13,10
6,81	11,20	6,81	11,90	6,81	12,90
6,82	10,80	6,82	11,50	6,82	12,40
6,83	10,50	6,83	11,10	6,83	12,00
6,84	10,30	6,84	11,10	6,84	11,50
6,85	9,60	6,85	10,60	6,85	11,20
6,86	9,50	6,86	10,30	6,86	10,90
6,87	9,10	6,87	9,70	6,87	10,30
6,88	8,90	6,88	9,30	6,88	9,80
6,90	8,20	6,90	8,50	6,90	9,00
6,91	8,10	6,91	8,80	6,91	8,80
7,01	8,80	7,01	9,20	7,01	9,60
7,11	9,10	7,11	9,50	7,11	10,10
7,21	9,20	7,21	9,90	7,21	10,10
6,71	12,90	6,71	13,90	6,71	14,80
7,30	9,60	7,30	10,20	7,30	10,40
6,93	/	6,93	/	6,93	/
6,95	/	6,95	/	6,95	/

Tableau II.7 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 200 mm					
Q= 55 m3/h		Q= 60 m3/h		Q= 65 m3/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	15,30	6,26	16,30	6,26	17,00
6,40	15,50	6,40	16,40	6,40	17,00
6,50	15,50	6,50	15,40	6,50	17,10
6,60	15,60	6,60	15,90	6,60	17,10
6,74	15,10	6,74	15,30	6,74	16,60
6,77	14,50	6,77	15,00	6,77	16,10
6,78	14,40	6,78	14,90	6,78	15,90
6,79	14,00	6,79	14,50	6,79	15,50
6,80	13,80	6,80	14,30	6,80	15,30
6,81	13,50	6,81	14,00	6,81	15,00
6,82	13,20	6,82	13,40	6,82	14,50
6,83	12,90	6,83	13,00	6,83	14,20
6,84	12,50	6,84	12,60	6,84	13,60
6,85	12,00	6,85	12,10	6,85	13,30
6,86	11,60	6,86	11,50	6,86	12,80
6,87	11,10	6,87	11,00	6,87	12,40
6,88	10,60	6,88	10,50	6,88	11,70
6,90	9,70	6,90	9,70	6,90	10,40
6,91	9,30	6,91	9,90	6,91	10,30
7,01	9,90	7,01	9,90	7,01	10,40
7,11	10,30	7,11	10,40	7,11	10,60
7,21	10,40	7,21	11,50	7,21	11,50
6,71	15,30	6,71	16,20	6,71	17,00
7,30	11,00	7,30	11,70	7,30	11,60
6,93	/	6,93	/	6,93	/
6,95	/	6,95	/	6,95	/

Tableau II.8 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h)

Diamètre 200 mm					
Q= 70 m3/h		Q= 75 m3/h		Q= 80 m3/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	17,70	6,26	18,50	6,26	18,90
6,40	17,70	6,40	18,50	6,40	18,90
6,50	17,90	6,50	18,50	6,50	18,90
6,60	17,80	6,60	18,50	6,60	18,80
6,74	17,40	6,74	18,00	6,74	18,70
6,77	16,80	6,77	17,50	6,77	18,10
6,78	16,60	6,78	17,40	6,78	17,90
6,79	16,30	6,79	17,00	6,79	17,70
6,80	16,00	6,80	16,70	6,80	17,40
6,81	15,90	6,81	16,60	6,81	17,10
6,82	15,30	6,82	15,90	6,82	16,60
6,83	14,60	6,83	15,60	6,83	16,30
6,84	14,30	6,84	15,30	6,84	15,80
6,85	13,70	6,85	14,60	6,85	15,40
6,86	13,30	6,86	13,00	6,86	15,00
6,87	12,70	6,87	13,50	6,87	14,50
6,88	12,10	6,88	12,80	6,88	13,80
6,90	10,90	6,90	11,40	6,90	12,50
6,91	10,60	6,91	10,80	6,91	12,00
7,01	10,60	7,01	11,00	7,01	10,90
7,11	11,30	7,11	11,30	7,11	11,40
7,21	11,50	7,21	11,80	7,21	11,70
6,71	17,80	6,71	18,30	6,71	18,80
7,30	11,80	7,30	12,20	7,30	12,60
6,93	/	6,93	/	6,93	/
6,95	/	6,95	/	6,95	/

Tableau II.9 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 200 mm					
Q= 85 m³/h		Q=90 m³/h		Q= 95 m³/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	19,50	6,26	20,20	6,26	20,80
6,40	19,60	6,40	20,30	6,40	20,80
6,50	19,60	6,50	20,30	6,50	20,80
6,60	19,50	6,60	20,30	6,60	20,90
6,74	19,40	6,74	20,00	6,74	20,60
6,77	19,00	6,77	19,40	6,77	20,40
6,78	18,80	6,78	19,40	6,78	20,10
6,79	18,60	6,79	19,00	6,79	19,80
6,80	18,30	6,80	18,90	6,80	19,40
6,81	18,00	6,81	18,70	6,81	18,90
6,82	17,80	6,82	18,20	6,82	18,60
6,83	17,20	6,83	17,90	6,83	18,30
6,84	16,80	6,84	17,50	6,84	17,90
6,85	16,00	6,85	16,90	6,85	17,20
6,86	15,10	6,86	16,20	6,86	16,80
6,87	14,50	6,87	15,90	6,87	16,30
6,88	13,90	6,88	15,20	6,88	15,60
6,90	12,70	6,90	13,80	6,90	14,10
6,91	12,70	6,91	13,,2	6,91	13,80
7,01	12,10	7,01	10,50	7,01	12,10
7,11	11,40	7,11	11,70	7,11	12,80
7,21	12,10	7,21	12,60	7,21	11,60
6,71	19,60	6,71	20,30	6,71	20,80
7,30	13,00	7,30	13,50	7,30	12,80
6,93	11,30	6,93	11,80	6,93	12,40
6,95	10,40	6,95	10,40	6,95	10,80

Tableau II.10 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 200 mm	
Q= 100 m³/h	
x	h
[m]	[cm]
6,26	21,40
6,40	21,40
6,50	21,40
6,60	21,40
6,74	21,30
6,77	21,00
6,78	20,60
6,79	20,30
6,80	19,90
6,81	19,70
6,82	19,30
6,83	18,90
6,84	18,40
6,85	17,80
6,86	17,20
6,87	16,50
6,88	16,00
6,90	14,50
6,91	14,00
7,01	10,50
7,11	11,80
7,21	11,00
6,71	21,40
7,30	13,50
6,93	12,80
6,95	11,40

Tableau II.11 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 250 mm					
Q= 10 m ³ /h		Q=15 m ³ /h		Q= 20 m ³ /h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	7,00	6,26	6,00	6,26	10,00
6,40	7,00	6,40	8,40	6,40	10,00
6,50	7,00	6,50	8,40	6,50	10,00
6,61	7,00	6,61	8,20	6,61	9,90
6,63	6,90	6,63	8,30	6,63	9,80
6,65	6,80	6,65	8,20	6,65	9,70
6,67	6,60	6,67	7,70	6,67	9,60
6,69	6,50	6,69	7,60	6,69	9,30
6,71	6,20	6,71	7,50	6,71	9,20
6,72	6,00	6,72	7,30	6,72	8,60
6,73	6,00	6,73	7,00	6,73	8,40
6,74	5,90	6,74	6,70	6,74	8,30
6,75	5,50	6,75	6,50	6,75	7,90
6,76	5,30	6,76	6,30	6,76	7,60
6,77	5,20	6,77	5,90	6,77	7,30
6,78	5,10	6,78	5,40	6,78	6,90
6,79	4,70	6,79	5,30	6,79	6,60
6,80	4,50	6,80	5,20	6,80	6,20
6,81	4,40	6,81	5,00	6,81	6,00
6,82	4,40	6,82	4,90	6,82	5,80
6,83	4,40	6,83	4,80	6,83	5,50
6,84	4,70	6,84	5,20	6,84	5,30
6,85	4,90	6,85	5,50	6,85	5,40
6,86	5,20	6,86	6,10	6,86	5,60
6,87	5,50	6,87	6,20	6,87	6,20
6,88	5,50	6,88	5,70	6,88	6,60
6,95	5,30	6,95	5,50	6,95	5,40
7,05	5,40	7,05	6,00	7,05	6,60
7,10	5,30	7,10	6,00	7,10	6,60
7,15	5,30	7,15	6,00	7,15	6,60
7,2	5,30	7,2	6,10	7,2	6,70
7,25	5,40	7,25	6,20	7,25	6,70
7,4	6,1	7,4	6,20	7,40	6,80

Tableau II.12 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 250 mm					
Q= 25 m3/h		Q=30 m3/h		Q= 35 m3/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	11,40	6,26	12,60	6,26	13,90
6,40	11,40	6,40	12,60	6,40	13,90
6,50	11,40	6,50	12,60	6,50	13,90
6,61	11,30	6,61	12,50	6,61	13,80
6,63	11,20	6,63	12,40	6,63	13,70
6,65	11,10	6,65	12,30	6,65	13,50
6,67	10,80	6,67	12,10	6,67	13,20
6,69	10,70	6,69	11,80	6,69	13,00
6,71	9,00	6,71	10,10	6,71	11,40
6,72	9,90	6,72	11,10	6,72	12,00
6,73	9,60	6,73	10,80	6,73	11,60
6,74	9,40	6,74	10,40	6,74	11,20
6,75	9,10	6,75	9,80	6,75	11,00
6,76	8,80	6,76	9,50	6,76	10,50
6,77	8,20	6,77	9,10	6,77	10,10
6,78	7,80	6,78	8,50	6,78	9,80
6,79	7,40	6,79	8,20	6,79	9,30
6,80	7,00	6,80	7,80	6,80	8,80
6,81	6,70	6,81	7,50	6,81	8,40
6,82	6,40	6,82	7,10	6,82	7,80
6,83	6,20	6,83	6,80	6,83	7,50
6,84	6,10	6,84	6,50	6,84	7,10
6,85	6,10	6,85	6,50	6,85	7,00
6,86	6,30	6,86	6,90	6,86	6,50
6,87	6,60	6,87	7,10	6,87	7,00
6,88	7,10	6,88	7,50	6,88	7,30
6,95	7,00	6,95	7,60	6,95	7,90
7,05	7,10	7,05	7,70	7,05	8,20
7,10	7,10	7,10	7,70	7,10	8,30
7,15	7,30	7,15	7,80	7,15	8,30
7,2	7,40	7,2	7,90	7,2	8,50
7,25	7,40	7,25	8,10	7,25	8,70
7,40	7,50	7,40	8,30	7,40	8,60

Tableau II.13 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 250 mm					
Q= 40 m3/h		Q=45 m3/h		Q= 50 m3/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	15,20	6,26	16,30	6,26	17,40
6,40	15,20	6,40	16,30	6,40	17,40
6,50	15,20	6,50	16,30	6,50	17,40
6,61	17,90	6,61	16,10	6,61	17,30
6,63	14,80	6,63	16,00	6,63	17,20
6,65	14,70	6,65	15,90	6,65	17,00
6,67	14,40	6,67	15,50	6,67	16,80
6,69	14,00	6,69	15,10	6,69	16,30
6,71	12,50	6,71	13,60	6,71	14,50
6,72	13,30	6,72	14,20	6,72	15,50
6,73	13,00	6,73	14,00	6,73	15,10
6,74	12,50	6,74	13,50	6,74	14,50
6,75	12,10	6,75	13,00	6,75	14,10
6,76	11,50	6,76	12,60	6,76	13,80
6,77	12,00	6,77	13,90	6,77	13,00
6,78	10,40	6,78	11,50	6,78	12,50
6,79	9,90	6,79	11,00	6,79	11,80
6,80	9,40	6,80	10,30	6,80	11,00
6,81	9,00	6,81	10,00	6,81	10,60
6,82	8,50	6,82	9,40	6,82	9,90
6,83	8,00	6,83	8,80	6,83	9,30
6,84	7,80	6,84	8,40	6,84	9,00
6,85	7,50	6,85	7,90	6,85	8,50
6,86	7,10	6,86	7,60	6,86	8,00
6,87	7,10	6,87	7,80	6,87	7,80
6,88	7,50	6,88	8,00	6,88	7,50
6,95	8,30	6,95	8,50	6,95	9,10
7,05	8,50	7,05	8,60	7,05	9,60
7,10	8,60	7,10	9,00	7,10	9,60
7,15	8,80	7,15	9,00	7,15	9,80
7,20	8,80	7,20	9,00	7,20	9,80
7,25	8,80	7,25	9,10	7,25	10,00
7,40	8,80	7,40	9,50	7,40	10,10

Tableau II.14 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 250 mm					
Q= 55 m3/h		Q=60 m3/h		Q= 65 m3/h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	18,20	6,26	19,30	6,26	20,30
6,40	18,20	6,40	19,30	6,40	20,30
6,50	18,20	6,50	19,30	6,50	20,30
6,61	18,10	6,61	19,20	6,61	20,20
6,63	18,00	6,63	19,00	6,63	20,00
6,65	17,90	6,65	18,90	6,65	19,80
6,67	17,50	6,67	18,50	6,67	19,50
6,69	17,00	6,69	18,10	6,69	19,10
6,71	15,80	6,71	15,60	6,71	17,60
6,72	16,30	6,72	17,40	6,72	18,00
6,73	15,90	6,73	16,90	6,73	17,80
6,74	15,50	6,74	16,30	6,74	17,10
6,75	15,00	6,75	15,80	6,75	16,60
6,76	14,50	6,76	15,30	6,76	16,00
6,77	13,90	6,77	14,80	6,77	15,40
6,78	13,20	6,78	14,20	6,78	14,80
6,79	12,70	6,79	13,50	6,79	14,10
6,80	12,00	6,80	12,80	6,80	13,50
6,81	11,50	6,81	12,00	6,81	12,80
6,82	10,80	6,82	11,40	6,82	12,00
6,83	10,00	6,83	10,80	6,83	11,40
6,84	9,50	6,84	10,00	6,84	10,80
6,85	9,10	6,85	9,50	6,85	10,10
6,86	8,60	6,86	9,00	6,86	9,70
6,87	8,10	6,87	8,50	6,87	9,00
6,88	8,00	6,88	8,00	6,88	8,50
6,95	9,10	6,95	9,00	6,95	9,00
7,05	9,70	7,05	10,00	7,05	10,00
7,10	9,60	7,10	10,20	7,10	10,30
7,15	9,80	7,15	10,30	7,15	10,30
7,20	10,00	7,20	10,50	7,20	10,40
7,25	10,00	7,25	10,50	7,25	10,50
7,40	10,20	7,40	10,80	7,400	10,80

Tableau II.15 : Résultats expérimentaux de déversoir cylindrique (Q/h).

Diamètre 250 mm					
Q=70 m ³ /h		Q=75 m ³ /h		Q= 80 m ³ /h	
x	h	x	h	x	h
[m]	[cm]	[m]	[cm]	[m]	[cm]
6,26	21,00	6,26	22,10	6,26	22,80
6,40	21,00	6,40	22,10	6,40	22,80
6,50	21,00	6,50	22,10	6,50	22,80
6,61	20,90	6,61	21,90	6,61	22,70
6,63	20,90	6,63	21,80	6,63	22,50
6,65	20,70	6,65	21,30	6,65	22,10
6,67	20,50	6,67	20,80	6,67	21,50
6,69	20,00	6,69	20,40	6,69	21,00
6,71	19,50	6,71	20,00	6,71	20,80
6,72	19,00	6,72	19,50	6,72	20,50
6,73	18,80	6,73	19,00	6,73	19,90
6,74	18,20	6,74	18,30	6,74	19,40
6,75	17,60	6,75	18,00	6,75	18,50
6,76	16,90	6,76	17,40	6,76	18,20
6,77	16,30	6,77	16,70	6,77	17,40
6,78	15,70	6,78	15,90	6,78	16,80
6,79	15,10	6,79	15,00	6,79	15,90
6,80	14,30	6,80	14,60	6,80	15,30
6,81	13,60	6,81	13,50	6,81	13,40
6,82	13,00	6,82	12,80	6,82	12,70
6,83	12,20	6,83	11,90	6,83	11,90
6,84	11,50	6,84	11,50	6,84	11,50
6,85	10,80	6,85	11,00	6,85	10,80
6,86	10,30	6,86	10,30	6,86	10,30
6,87	9,70	6,87	9,70	6,87	10,80
6,88	9,00	6,88	8,30	6,88	10,10
6,95	8,50	6,95	10,40	6,95	7,50
7,05	10,50	7,05	10,80	7,05	8,10
7,10	10,50	7,10	9,10	7,10	10,10
7,15	10,70	7,15	11,10	7,15	10,80
7,2	10,70	7,20	11,30	7,20	10,90
7,25	10,80	7,25	11,80	7,25	11,30
7,40	11,00	7,40	11,8	7,40	11,8



ANNEXE III

➤ **Déversoir a paroi mince**

✓ Déversoir rectangulaire avec contraction

Tableau III.1 : vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Hégly)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application				
			0,1 < H _{dé} m	H _{dé} < 0,6 m	0,4 < P < 0,8 m	0,4 < L < 1,8 m	0 < ((L1-L)/L1) < 0,9 m
10,00	21,30	3,30	Non	Valable	NON	Non	Valable
15,00	22,50	4,50	Non	Valable	Non	Non	Valable
20,00	23,50	5,50	Non	Valable	Non	Non	Valable
25,00	24,50	6,50	Non	Valable	Non	Non	Valable
30,00	25,40	7,40	Non	Valable	Non	Non	Valable
35,00	26,20	8,20	Non	Valable	Non	Non	Valable
40,00	26,90	8,90	Non	Valable	Non	Non	Valable
45,00	27,60	9,60	Non	Valable	Non	Non	Valable
50,00	28,70	10,70	Valable	Valable	Non	Non	Valable
55,00	29,00	11,00	Valable	Valable	Non	Non	Valable
60,00	29,40	11,40	Valable	Valable	Non	Non	Valable
65,00	30,00	12,00	Valable	Valable	Non	Non	Valable
70,00	30,40	12,40	Valable	Valable	Non	Non	Valable

Tableau III.2 : vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Kindsvater et carter)

Q (m3/h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application
			(H _{dé} /p) > 2
10,00	21,30	3,30	Non
15,00	22,50	4,50	Non
20,00	23,50	5,50	Non
25,00	24,50	6,50	Non
30,00	25,40	7,40	Non
35,00	26,20	8,20	Non
40,00	26,90	8,90	Non
45,00	27,60	9,60	Non
50,00	28,70	10,70	Non
55,00	29,00	11,00	Non
60,00	29,40	11,40	Non
65,00	30,00	12,00	Non
70,00	30,40	12,40	Non

Tableau III.3: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de S.I.A)

Q (m3/h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application				
			$0,025(L1/L) < H_{dé}$ m	H _{dé} < 0,8 m	$0,3 < L/L1 < 0,8$ m	p > 0,3 m	H _{dé} < p
10,00	21,30	3,30	Non	Valable	Non	Non	Valable
15,00	22,50	4,50	Non	Valable	Non	Non	Valable
20,00	23,50	5,50	Non	Valable	Non	Non	Valable
25,00	24,50	6,50	Valable	Valable	Non	Non	Valable
30,00	25,40	7,40	Valable	Valable	Non	Non	Valable
35,00	26,20	8,20	Valable	Valable	Non	Non	Valable
40,00	26,90	8,90	Valable	Valable	Non	Non	Valable
45,00	27,60	9,60	Valable	Valable	Non	Non	Valable
50,00	28,70	10,70	Valable	Valable	Non	Non	Valable
55,00	29,00	11,00	Valable	Valable	Non	Non	Valable
60,00	29,40	11,40	Valable	Valable	Non	Non	Valable
65,00	30,00	12,00	Valable	Valable	NON	NON	Valable
70,00	30,40	12,40	Valable	Valable	NON	NON	Valable

Tableau III.4: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Valeur usuelles)

Q(m3/h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	μ	Q cal (m3/s)	Q cal (m3/h)
10,0000	21,3000	3,3000	0,4000	0,0030	10,8593
15,0000	22,5000	4,5000		0,0048	17,2922
20,0000	23,5000	5,5000		0,0065	23,3655
25,0000	24,5000	6,5000		0,0083	30,0193
30,0000	25,4000	7,4000		0,0101	36,4651
35,0000	26,2000	8,2000		0,0118	42,5355
40,0000	26,9000	8,9000		0,0134	48,0967
45,0000	27,6000	9,6000		0,0150	53,8812
50,0000	28,7000	10,7000		0,0176	63,4024
55,0000	29,0000	11,0000		0,0184	66,0875
60,0000	29,4000	11,4000		0,0194	69,7249
65,0000	30,0000	12,0000		0,0209	75,3013
70,0000	30,4000	12,4000		0,0220	79,0975

✓ déversoir rectangulaire sans contraction (aérée)

Tableau III.5: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule Bazin)

Q (m3/h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application		
			$l > 4 H_{dé}$	$0,2 < P < 2$ m	$0,08 < H_{dé} < 0,7$ m
10,00	20,40	2,40	Valable	Non	Non
20,00	21,60	3,60	Valable	Non	Non
30,00	23,80	5,80	Valable	Non	Non
40,00	25,10	7,10	Non	Non	Non
50,00	26,80	8,80	Non	Non	Non
60,00	27,40	9,40	Non	Non	Non
70,00	28,30	10,30	Non	Non	Non
80,00	29,30	11,30	Non	Non	Non
90,00	30,20	12,20	Non	Non	Non

Tableau III.6: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de SIA)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application			
			P>0,30 m	H _{dé} <P	H _{dé} <0,8 m	0,025m<H _{dé}
10.00	20,40	2,40	Non	Valable	Valable	Non
20.00	21,60	3,60	Non	Valable	Valable	Valable
30.00	23,80	5,80	Non	Valable	Valable	Valable
40.00	25,10	7,10	Non	Valable	Valable	Valable
50.00	26,80	8,80	Non	Valable	Valable	Valable
60.00	27,40	9,40	Non	Valable	Valable	Valable
70.00	28,30	10,30	Non	Valable	Valable	Valable
80.00	29,30	11,30	Non	Valable	Valable	Valable
90.00	30,20	12,20	Non	Valable	Valable	Valable

Tableau III.7: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Kindsvater et Carter)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	limites d'application		He	Cv	μ	Q _{cal} (m ³ /h)
			H _{dé} >0,03 m	p>0,10 m				
10,000 0	20,4000	2,4000	Non	Valable	/	/	/	/
20,000 0	21,6000	3,6000	Valable	Valable	0,037 0	14,696 9	0,4080	28,0461
30,000 0	23,8000	5,8000	Valable	Valable	0,059 0	8,3123	0,4113	29,3791
40,000 0	25,1000	7,1000	Valable	Valable	0,072 0	6,6470	0,4174	48,7564
50,000 0	26,8000	8,8000	Valable	Valable	0,089 0	5,3147	0,4211	53,2565
60,000 0	27,4000	9,4000	Valable	Valable	0,095 0	4,9766	0,4258	69,5839
70,000 0	28,3000	10,3000	Valable	Valable	0,104 0	4,5543	0,4274	70,5770
80,000 0	29,3000	11,3000	Valable	Valable	0,114 0	4,1753	0,4299	74,6483
90,000 0	30,2000	12,2000	Valable	Valable	0,123 0	3,8947	0,4327	80,5314

Tableau III.8: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Réhbok)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	H _e (m)	μ	Q cal (m ³ /s)	Qcal (m ³ //h)
10,0000	20,4000	2,4000	0,0250	0,4098	0,0020	7,3364
20,0000	21,6000	3,6000	0,0370	0,4134	0,0037	13,3256
30,0000	23,8000	5,8000	0,0590	0,4201	0,0076	27,2625
40,0000	25,1000	7,1000	0,0720	0,4240	0,0103	37,0949
50,0000	26,8000	8,8000	0,0890	0,4291	0,0143	51,5956
60,0000	27,4000	9,4000	0,0950	0,4309	0,0159	57,1397
70,0000	28,3000	10,3000	0,1040	0,4336	0,0183	65,8605
80,0000	29,3000	11,3000	0,1140	0,4366	0,0211	76,1093
90,0000	30,2000	12,2000	0,1230	0,4393	0,0238	85,8273

Tableau III.9: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Valeur usuelle)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	μ	Q calculé (m ³ /s)	Qcal (m ³ //h)
10,0000	20,4000	2,4000	0,4300	0,0020	7,2403
20,0000	21,6000	3,6000	0,4300	0,0037	13,3013
30,0000	23,8000	5,8000	0,4300	0,0076	27,2007
40,0000	25,1000	7,1000	0,4300	0,0102	36,8406
50,0000	26,8000	8,8000	0,4300	0,0141	50,8350
60,0000	27,4000	9,4000	0,4300	0,0156	56,1217
70,0000	28,3000	10,3000	0,4300	0,0179	64,3716
80,0000	29,3000	11,3000	0,4300	0,0205	73,9701
90,0000	30,2000	12,2000	0,4300	0,0231	82,9810

✓ Déversoir rectangulaire avec contraction sans aération

Tableau III.10: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule Bazin)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application		
			$l > 4 H_{dé}$	$0,2 < P < 2$ m	$0,08 < H_{dé} < 0,7$ m
10,00	20,50	2,50	Valable	Non	Non
20,00	22,00	4,00	Valable	Non	Non
30,00	23,40	5,40	Valable	Non	Non
40,00	24,00	6,00	Valable	Non	Non
50,00	25,80	7,80	Non	Non	Non
60,00	26,90	8,90	Non	Non	Non
70,00	27,90	9,90	Non	Non	Non
80,00	28,80	10,80	Non	Non	Non
90,00	29,70	11,70	Non	Non	Non

Tableau III.11: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de SIA)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application			
			$P > 0,30$ m	$H_{dé} < P$	$H_{dé} < 0,8$ m	$0,025 < H_{dé}$ m
10,00	20,50	2,50	Non	Valable	Valable	Non
20,00	22,00	4,00	Non	Valable	Valable	Valable
30,00	23,40	5,40	Non	Valable	Valable	Valable
40,00	24,00	6,00	Non	Valable	Valable	Valable
50,00	25,80	7,80	Non	Valable	Valable	Valable
60,00	26,90	8,90	Non	Valable	Valable	Valable
70,00	27,90	9,90	Non	Valable	Valable	Valable
80,00	28,80	10,80	Non	Valable	Valable	Valable
90,00	29,70	11,70	Non	Valable	Valable	Valable

Tableau III.12: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Kindsvater et Carter)

Q (m3/h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	limites d'application		He	Cv	μ	Qcal (m3/h)
			H _{dé} > 0,03 m	p>0,10 m				
10,0000	20,5000	2,5000	Non	Valable	/	/	/	/
20,0000	22,0000	4,0000	Valable	Valable	0,0410	12,8986	0,4083	26,1865
30,0000	23,4000	5,4000	Valable	Valable	0,0550	9,0206	0,4124	37,4418
40,0000	24,0000	6,0000	Valable	Valable	0,0610	8,0000	0,4163	52,5763
50,0000	25,8000	7,8000	Valable	Valable	0,0790	6,0157	0,4180	46,4899
60,0000	26,9000	8,9000	Valable	Valable	0,0900	5,2546	0,4230	60,9107
70,0000	27,9000	9,9000	Valable	Valable	0,1000	4,7310	0,4261	67,3244
80,0000	28,8000	10,8000	Valable	Valable	0,1090	4,3546	0,4288	73,1749
90,0000	29,7000	11,7000	Valable	Valable	0,1180	4,0444	0,4313	77,8883

Tableau III.13: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Réhbok)

Q (m3/h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	H _e (m)	μ	Q cal (m3/s)	Qcal (m3/h)
10,0000	20,5000	2,5000	0,0260	0,4101	0,0022	7,7867
20,0000	22,0000	4,0000	0,0410	0,4146	0,0043	15,5892
30,0000	23,4000	5,4000	0,0550	0,4189	0,0068	24,4672
40,0000	24,0000	6,0000	0,0610	0,4207	0,0080	28,7015
50,0000	25,8000	7,8000	0,0790	0,4261	0,0119	42,8460
60,0000	26,9000	8,9000	0,0900	0,4294	0,0146	52,5045
70,0000	27,9000	9,9000	0,1000	0,4324	0,0172	61,9252
80,0000	28,8000	10,8000	0,1090	0,4351	0,0197	70,9121
90,0000	29,7000	11,7000	0,1180	0,4378	0,0223	80,3711

Tableau III.14: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Valeur usuelle)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	μ	Q _{cal} (m ³ /s)	Q _{cal} (m ³ /h)
10,0000	20,5000	2,5000	0,4300	0,0021	7,6975
20,0000	22,0000	4,0000	0,4300	0,0043	15,5786
30,0000	23,4000	5,4000	0,4300	0,0068	24,4360
40,0000	24,0000	6,0000	0,4300	0,0079	28,6197
50,0000	25,8000	7,8000	0,4300	0,0118	42,4210
60,0000	26,9000	8,9000	0,4300	0,0144	51,7040
70,0000	27,9000	9,9000	0,4300	0,0168	60,6585
80,0000	28,8000	10,8000	0,4300	0,0192	69,1153
90,0000	29,7000	11,7000	0,4300	0,0216	77,9323

✓ Déversoir trapézoïdale

Tableau III.15: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Cipolletti)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application				
			0,08 < H _{dé} < 0,6 m	H _{dé} < 0,6 m	H _{dé} < (e/2)	H _{dé} < (l/2)	H _{dé} < (P/3)
10,00	23,70	5,70	Non	Valable	Non	Non	Valable
15,00	24,90	6,90	Non	Valable	Non	Non	Non
20,00	26,00	8,00	Non	Valable	Non	Non	Non
25,00	26,90	8,90	Valable	Valable	Non	Non	Non
30,00	27,80	9,80	Valable	Valable	Non	Non	Non
35,00	29,10	11,10	Valable	Valable	Non	Non	Non
40,00	29,80	11,80	Valable	Valable	Non	Non	Non
45,00	30,60	12,60	Valable	Valable	Non	Non	Non
50,00	31,00	13,00	Valable	Valable	Non	Non	Non

Tableau III.16: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Gourley et crimp)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Q Cal (m ³ /s)	Q Cal (m ³ /h)
10,0000	23,7000	5,7000	0,0029	10,2995
15,0000	24,9000	6,9000	0,0039	13,8631
20,0000	26,0000	8,0000	0,0049	17,4856
25,0000	26,9000	8,9000	0,0057	20,6965
30,0000	27,8000	9,8000	0,0067	24,1262
35,0000	29,1000	11,1000	0,0082	29,4623
40,0000	29,8000	11,8000	0,0090	32,5211
45,0000	30,6000	12,6000	0,0100	36,1751
50,0000	31,0000	13,0000	0,0106	38,0652

✓ Déversoir triangulaire

Tableau III.17: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Cône USA)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	limites d'application		Q cal (m ³ /s)	Qcal (m ³ /h)
			0,06 m < H _{dé}	H _{dé} < 0,41 m		
10,0000	26,3000	8,3000	Valable	Valable	0,0027	9,7072
13,0000	27,0000	9,0000	Valable	Valable	0,0033	11,8659
16,0000	27,8000	9,8000	Valable	Valable	0,0041	14,6562
19,0000	28,7000	10,7000	Valable	Valable	0,0051	18,2244
22,0000	29,1000	11,1000	Valable	Valable	0,0055	19,9610
25,0000	29,6000	11,6000	Valable	Valable	0,0062	22,2657
28,0000	30,1000	12,1000	Valable	Valable	0,0069	24,7223
31,0000	30,5000	12,5000	Valable	Valable	0,0074	26,7989
34,0000	31,0000	13,0000	Valable	Valable	0,0082	29,5366

Tableau III.18: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Thomson)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	limites d'application
			B/ H _{dé} < 2
10,00	26,30	8,30	Non
13,00	27,00	9,00	Non
16,00	27,80	9,80	Non
19,00	28,70	10,70	Non
22,00	29,10	11,10	Non
25,00	29,60	11,60	Non
28,00	30,10	12,10	Non
31,00	30,50	12,50	Non
34,00	31,00	13,00	Non

Tableau III.19: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Gourley et Cramp)

Q (m ³ /h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Q _{cal} (m ³ /s)	Q _{cal} (m ³ /h)
10,0000	26,3000	8,3000	0,0028	10,1625
13,0000	27,0000	9,0000	0,0034	12,4124
16,0000	27,8000	9,8000	0,0043	15,3181
19,0000	28,7000	10,7000	0,0053	19,0307
22,0000	29,1000	11,1000	0,0058	20,8365
25,0000	29,6000	11,6000	0,0065	23,2321
28,0000	30,1000	12,1000	0,0072	25,7844
31,0000	30,5000	12,5000	0,0078	27,9411
34,0000	31,0000	13,0000	0,0086	30,7834

Tableau III.20: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Hyndrique)

Q (m3/h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	μ	Q _{cal} (m3/s)	Q _{cal} (m3/h)
10,0000	26,3000	8,3000	1,7567	0,0992	9,9235
13,0000	27,0000	9,0000	1,9657	0,1254	12,5381
16,0000	27,8000	9,8000	2,2260	0,1613	16,1329
19,0000	28,7000	10,7000	2,5463	0,2105	21,0540
22,0000	29,1000	11,1000	2,6981	0,2357	23,5714
25,0000	29,6000	11,6000	2,8959	0,2703	27,0287
28,0000	30,1000	12,1000	3,1029	0,3085	30,8532
31,0000	30,5000	12,5000	3,2751	0,3419	34,1935
34,0000	31,0000	13,0000	3,4987	0,3874	38,7407

Tableau III.21: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Kindsvater)

Q (m3/h)	H _{amont} (cm)	H _{déverser} (cm)	Limites d'application						
			H _{dé} /p<1,2	H _{dé} /B<0,4	0,05m < H _{dé}	H _{dé} <0,6m	P<0,2m	B<0,6 m	H _{dé} /B>0,4
10,00	26,30	8,30	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	NON
13,00	27,00	9,00	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	NON
16,00	27,80	9,80	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	NON
19,00	28,70	10,70	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	NON
22,00	29,10	11,10	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable	NON
25,00	29,60	11,60	Valable	NON	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable
28,00	30,10	12,10	Valable	NON	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable
31,00	30,50	12,50	Valable	NON	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable
34,00	31,00	13,00	Valable	NON	Valable	Valable	Valable	Valable	Valable

➤ **Déversoir a paroi épaisse**

✓ Déversoir a paroi épaisse a arrête arrondie

Tableau III.22: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Valeur usuelles)

Q (m3/h)	H _{aval} (cm)	H _{déversé} (cm)	μ	h _{av} /h _{dé}	Cv de l'abaque	Q (m3/s)	Q (m3/h)
10,0000	20,8000	2,6000	0,5300	/	/	0,0020	7,2989
13,0000	21,1000	2,9000	0,5300	/	/	0,0024	8,5979
16,0000	21,4000	3,6000	0,5300	/	/	0,0033	11,8918
19,0000	21,6000	3,9000	0,5300	/	/	0,0037	13,4089
22,0000	22,5000	4,5000	0,5300	/	/	0,0046	16,6193
25,0000	23,0000	5,0000	0,5300	/	/	0,0054	19,4648
28,0000	23,4000	5,4000	0,5300	/	/	0,0061	21,8467
31,0000	23,7000	5,8000	0,5300	0,2447	1,0000	0,0068	24,3185
34,0000	24,1000	6,4000	0,5300	0,2656	1,0000	0,0078	28,1881
37,0000	24,8000	6,6000	0,5300	0,2661	1,0000	0,0082	29,5196
40,0000	25,1000	7,0000	0,5300	0,2789	1,0000	0,0090	32,2435
43,0000	25,5000	7,4000	0,5300	0,2902	1,0000	0,0097	35,0463
46,0000	25,8000	7,8000	0,5300	0,3023	1,0000	0,0105	37,9260
49,0000	26,7000	8,1000	0,5300	0,3034	1,0000	0,0111	40,1349
52,0000	27,0000	8,6000	0,5300	0,3185	1,0000	0,0122	43,9079
55,0000	27,2000	9,0000	0,5300	0,3309	1,0000	0,0131	47,0066
58,0000	27,4000	9,3000	0,5300	0,3394	1,0000	0,0137	49,3764
61,0000	27,3000	9,5000	0,5300	0,3480	1,0000	0,0142	50,9777
64,0000	27,4000	9,9000	0,5300	0,3613	1,0000	0,0151	54,2310
67,0000	27,5000	10,2000	0,5300	0,3709	1,0000	0,0158	56,7147
70,0000	27,6000	10,6000	0,5300	0,3841	1,0000	0,0167	60,0833
73,0000	28,6000	10,8000	0,5300	0,3776	1,0000	0,0172	61,7918
76,0000	28,8000	11,1000	0,5300	0,3854	1,0000	0,0179	64,3842
79,0000	28,0000	11,5000	0,5300	0,4107	1,0000	0,0189	67,8956
82,0000	28,7000	11,7000	0,5300	0,4077	1,0000	0,0194	69,6745

✓ Déversoir a paroi épaisse a arrêté vive

Tableau III.23: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Valeur usuelles)

Q (m3/h)	H _{aval} (cm)	H _{déversé} (cm)	μ	Q _{dénoyé} (m3/s)	Q _{dénoyé} (m3/h)	h _{av} /h _{dé}	K	Q _{noyé} (m3/s)	Q _{noyé} (m3/h)
10,0000	19,7000	2,7000	0,5000	0,0020	7,2868	/	/	/	/
13,0000	20,6000	3,4000	0,5000	0,0029	10,2969	/	/	/	/
16,0000	21,0000	3,9000	0,5000	0,0035	12,6499	/	/	/	/
19,0000	21,9000	4,5000	0,5000	0,0044	15,6786	/	/	/	/
22,0000	22,0000	5,0000	0,5000	0,0051	18,3630	/	/	/	/
25,0000	22,8000	5,4000	0,5000	0,0057	20,6101	/	/	/	/
28,0000	23,0000	6,0000	0,5000	0,0067	24,1388	/	/	/	/
31,0000	23,5000	6,5000	0,5000	0,0076	27,2182	/	/	/	/
34,0000	23,6000	6,9000	0,5000	0,0083	/	1,3517	0,9000	0,0083	29,7689
37,0000	23,9000	7,4000	0,5000	0,0092	/	4,3784	0,9000	0,0092	33,0626
40,0000	24,1000	7,7000	0,5000	0,0097	/	4,2468	0,9000	0,0097	35,0934
43,0000	24,4000	8,1000	0,5000	0,0105	/	4,0864	0,9000	0,0105	37,8632
46,0000	24,7000	8,4000	0,5000	0,0111	/	3,9762	0,9000	0,0111	39,9860
49,0000	25,0000	8,8000	0,5000	0,0119	/	3,8409	0,9000	0,0119	42,8759
52,0000	25,4000	9,2000	0,5000	0,0127	/	3,7174	0,9000	0,0127	45,8322
55,0000	25,4000	9,6000	0,5000	0,0136	/	3,6042	0,9000	0,0136	48,8535
58,0000	25,6000	9,8000	0,5000	0,0140	/	3,5510	0,9000	0,0140	50,3881
61,0000	25,9000	10,4000	0,5000	0,0153	/	3,4038	1,0000	0,0153	55,0857
64,0000	26,3000	10,5000	0,5000	0,0155	/	3,3810	1,0000	0,0155	55,8822
67,0000	26,6000	10,9000	0,5000	0,0164	/	3,2936	1,0000	0,0164	59,1056
70,0000	26,9000	11,2000	0,5000	0,0171	/	3,2321	1,0000	0,0171	61,5625
73,0000	27,2000	11,7000	0,5000	0,0183	/	3,1368	1,0000	0,0183	65,7307
76,0000	27,4000	12,0000	0,5000	0,0190	/	3,0833	1,0000	0,0190	68,2749
79,0000	27,6000	12,4000	0,5000	0,0199	/	3,0161	1,0000	0,0199	71,7169
82,0000	28,7000	12,7000	0,5000	0,0206	/	2,9685	1,0000	0,0206	74,33525

Tableau III.24: vérification des limites d'application et calcul de débit (formule de Rao et Shulka)

Q(m ³ /h)	H amon t (cm)	H déver sé (cm)	hd>0, 08c	c>hd>0,08c		m ²	1,6c>hd>c		hd>1, 60c	Q ₂ cal (m ³ / s)	Q ₂ cal (m ³ / h)
				c>hd	hd>0, 08c		1,6c> hd	hd >c			
10,00	27,70	2,700	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,39 53	Vala ble	No n	Non	0,00 40	14,54 36
13,00	28,40	3,400	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,35 34	Vala ble	No n	Non	0,00 51	18,36 88
16,00	28,90	3,900	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,33 26	Vala ble	No n	Non	0,00 59	21,24 03
19,00	29,50	4,500	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,31 38	Vala ble	No n	Non	0,00 69	24,83 57
22,00	30,00	5,000	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,30 15	Vala ble	No n	Non	0,00 78	27,95 36
25,00	30,40	5,400	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,29 34	Vala ble	No n	Non	0,00 85	30,52 54
28,00	31,00	6,000	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,28 32	Vala ble	No n	Non	0,00 96	34,50 91
31,00	31,50	6,500	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,27 61	Vala ble	No n	Non	0,01 05	37,94 14
34,00	31,90	6,900	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,27 12	Vala ble	No n	Non	0,01 13	40,75 89
37,00	32,40	7,400	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,26 58	Vala ble	No n	Non	0,01 23	44,36 85
40,00	32,70	7,700	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,26 29	Vala ble	No n	Non	0,01 29	46,58 02
43,00	33,10	8,100	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,25 94	Vala ble	No n	Non	0,01 38	49,58 15
46,00	33,40	8,400	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,25 70	Vala ble	No n	Non	0,01 44	51,87 12
49,00	33,80	8,800	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,25 40	Vala ble	No n	Non	0,01 53	54,97 51
52,00	34,20	9,200	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,25 13	Vala ble	No n	Non	0,01 61	58,13 62
55,00	34,60	9,600	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,24 88	Vala ble	No n	Non	0,01 70	61,35 35
58,00	34,80	9,800	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,24 76	Vala ble	No n	Non	0,01 75	62,98 30
61,00	35,40	10,40	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,24 43	Vala ble	No n	Non	0,01 89	67,95 33
64,00	35,50	10,50	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,24 38	Vala ble	No n	Non	0,01 91	68,79 35
67,00	35,90	10,90	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,24 19	Vala ble	No n	Non	0,02 01	72,18 75
70,00	36,20	11,20	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,24 06	Vala ble	No n	Non	0,02 08	74,76 76
73,00	36,70	11,70	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,23 85	Vala ble	No n	Non	0,02 20	79,13 26

76,00 00	37,00 00	12,00 00	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,23 73	Vala ble	No n	Non	0,02 27	81,79 00
79,00 00	37,40 00	12,40 00	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,23 58	Vala ble	No n	Non	0,02 37	85,37 75
82,00 00	37,70 00	12,70 00	Valabl e	Vala ble	Valabl e	0,23 48	Vala ble	No n	Non	0,02 45	88,10 08



ANNEXE IV

➤ **Déversoir a paroi mince**

Tableau IV.1 : calcul d'erreur (déversoir rectangulaire avec contraction).

Q (m3/h)	Q cal (m3/h)	ΔQ (m3/h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	10,8593	0,8593	0,0859	8,5929
15,0000	17,2922	2,2922	0,1528	15,2810
20,0000	23,3655	3,3655	0,1683	16,8273
25,0000	30,0193	5,0193	0,2008	20,0771
30,0000	36,4651	6,4651	0,2155	21,5505
35,0000	42,5355	7,5355	0,2153	21,5299
40,0000	48,0967	8,0967	0,2024	20,2418
45,0000	53,8812	8,8812	0,1974	19,7360
50,0000	63,4024	13,4024	0,2680	26,8049
55,0000	66,0875	11,0875	0,2016	20,1591
60,0000	69,7249	9,7249	0,1621	16,2081
65,0000	75,3013	10,3013	0,1585	15,8481
70,0000	79,0975	9,0975	0,1300	12,9965

Tableau IV.2 : calcul d'erreur (déversoir rectangulaire sans contraction ;non aérée).

Q (m3/h)	Qcal (m3/h)	ΔQ (m3/h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	7,69748	2,3025	0,2303	23,0252
20,0000	15,57861	4,4214	0,2211	22,1069
30,0000	24,43596	5,5640	0,1855	18,5468
40,0000	28,61974	11,3803	0,2845	28,4507
50,0000	42,42098	7,5790	0,1516	15,1580
60,0000	51,70396	8,2960	0,1383	13,8267
70,0000	60,65849	9,3415	0,1335	13,3450
80,0000	69,11534	10,8847	0,1361	13,6058
90,0000	77,93232	12,0677	0,1341	13,4085

Tableau IV.3 : calcul d'erreur (déversoir rectangulaire sans contraction ; aérée).

Q (m ³ /h)	Qcal (m ³ /h)	ΔQ (m ³ /h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	7,3364	2,6636	0,2664	26,6362
20,0000	13,3256	6,6744	0,3337	33,3720
30,0000	27,2625	2,7375	0,0913	9,1251
40,0000	37,0949	2,9051	0,0726	7,2627
50,0000	51,5956	1,5956	0,0319	3,1912
60,0000	57,1397	2,8603	0,0477	4,7672
70,0000	65,8605	4,1395	0,0591	5,9135
80,0000	76,1093	3,8907	0,0486	4,8633
90,0000	85,8273	4,1727	0,0464	4,6363

Tableau IV.4 : calcul d'erreur (déversoir trapézoïdale).

Q (m ³ /h)	Q Cal (m ³ /h)	ΔQ (m ³ /h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	10,2995	0,2995	0,0299	2,9948
15,0000	13,8631	1,1369	0,0758	7,5791
20,0000	17,4856	2,5144	0,1257	12,5721
25,0000	20,6965	4,3035	0,1721	17,2142
30,0000	24,1262	5,8738	0,1958	19,5793
35,0000	29,4623	5,5377	0,1582	15,8220
40,0000	32,5211	7,4789	0,1870	18,6973
45,0000	36,1751	8,8249	0,1961	19,6110
50,0000	38,0652	11,9348	0,2387	23,8696

Tableau IV.5: calcul d'erreur (déversoir triangulaire).

Q(m ³ /h)	Q cal (m ³ /h)	ΔQ (m ³ /h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	9,9235	0,0765	0,0077	0,7650
13,0000	12,5381	0,4619	0,0355	3,5529
16,0000	16,1329	0,1329	0,0083	0,8304
19,0000	21,0540	2,0540	0,1081	10,8103
22,0000	23,5714	1,5714	0,0714	7,1425
25,0000	27,0287	2,0287	0,0811	8,1147
28,0000	30,8532	2,8532	0,1019	10,1901
31,0000	34,1935	3,1935	0,1030	10,3018
34,0000	38,7407	4,7407	0,1394	13,9434

➤ **Déversoir a paroi épaisse**

Tableau IV.6: calcul d'erreur (Déversoir a paroi épaisse a arrêté arrondie)

Q (m3/h)	Qcal (m3/h)	ΔQ (m3/h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	7,2989	2,7011	0,2701	27,0114
13,0000	8,5979	4,4021	0,3386	33,8624
16,0000	11,8918	4,1082	0,2568	25,6760
19,0000	13,4089	5,5911	0,2943	29,4270
22,0000	16,6193	5,3807	0,2446	24,4575
25,0000	19,4648	5,5352	0,2214	22,1408
28,0000	21,8467	6,1533	0,2198	21,9761
31,0000	24,3185	6,6815	0,2155	21,5532
34,0000	28,1881	5,8119	0,1709	17,0940
37,0000	29,5196	7,4804	0,2022	20,2172
40,0000	32,2435	7,7565	0,1939	19,3913
43,0000	35,0463	7,9537	0,1850	18,4969
46,0000	37,9260	8,0740	0,1755	17,5522
49,0000	40,1349	8,8651	0,1809	18,0920
52,0000	43,9079	8,0921	0,1556	15,5617
55,0000	47,0066	7,9934	0,1453	14,5335
58,0000	49,3764	8,6236	0,1487	14,8683
61,0000	50,9777	10,0223	0,1643	16,4299
64,0000	54,2310	9,7690	0,1526	15,2640
67,0000	56,7147	10,2853	0,1535	15,3513
70,0000	60,0833	9,9167	0,1417	14,1667
73,0000	61,7918	11,2082	0,1535	15,3537
76,0000	64,3842	11,6158	0,1528	15,2839
79,0000	67,8956	11,1044	0,1406	14,0562
82,0000	69,6745	12,3255	0,1503	15,0311

Tableau IV.7: calcul d'erreur (Déversoir a paroi épaisse a arrêté vive)

Q (m3/h)	Qcal (m3/h)	ΔQ (m3/h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	7,2868	2,7132	0,2713	27,1320
13,0000	10,2969	2,7031	0,2079	20,7931
16,0000	12,6499	3,3501	0,2094	20,9381
19,0000	15,6786	3,3214	0,1748	17,4811
22,0000	18,3630	3,6370	0,1653	16,5318
25,0000	20,6101	4,3899	0,1756	17,5596
28,0000	24,1388	3,8612	0,1379	13,7900
31,0000	27,2182	3,7818	0,1220	12,1994
34,0000	29,7689	4,2311	0,1244	12,4444
37,0000	33,0626	3,9374	0,1064	10,6416
40,0000	35,0934	4,9066	0,1227	12,2665
43,0000	37,8632	5,1368	0,1195	11,9460
46,0000	39,9860	6,0140	0,1307	13,0739
49,0000	42,8759	6,1241	0,1250	12,4982
52,0000	45,8322	6,1678	0,1186	11,8612
55,0000	48,8535	6,1465	0,1118	11,1755
58,0000	50,3881	7,6119	0,1312	13,1240
61,0000	55,0857	5,9143	0,0970	9,6956
64,0000	55,8822	8,1178	0,1268	12,6841
67,0000	59,1056	7,8944	0,1178	11,7827
70,0000	61,5625	8,4375	0,1205	12,0536
73,0000	65,7307	7,2693	0,0996	9,9579
76,0000	68,2749	7,7251	0,1016	10,1646
79,0000	71,7169	7,2831	0,0922	9,2191
82,0000	74,33525	7,6648	0,0935	9,3473

➤ **Déversoir cylindrique**

Tableau IV.8: calcul d'erreur (Déversoir cylindrique 200 mm)

Débit (m ³ /h)	Q cal (m ³ /h)	ΔQ (m ³ /h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	11,5681	1,5681	0,1568	15,6811
15,0000	14,5477	0,4523	0,0302	3,0155
20,0000	19,4784	0,5216	0,0261	2,6080
25,0000	23,4153	1,5847	0,0634	6,3388
30,0000	27,7623	2,2377	0,0746	7,4591
35,0000	31,8211	3,1789	0,0908	9,0827
40,0000	40,8814	0,8814	0,0220	2,2035
45,0000	45,0348	0,0348	0,0008	0,0772
50,0000	49,4145	0,5855	0,0117	1,1711
55,0000	56,8992	1,8992	0,0345	3,4530
60,0000	61,8792	1,8792	0,0313	3,1319
65,0000	69,2468	4,2468	0,0653	6,5335
70,0000	74,7950	4,7950	0,0685	6,8500
75,0000	77,0816	2,0816	0,0278	2,7755
80,0000	80,5839	0,5839	0,0073	0,7299
85,0000	81,7708	3,2292	0,0380	3,7991
90,0000	86,6156	3,3844	0,0376	3,7605
95,0000	95,4718	0,4718	0,0050	0,4966
100,0000	98,0911	1,9089	0,0191	1,9089

Tableau IV.9: calcul d'erreur (Déversoir cylindrique 250 mm)

Débit (m ³ /h)	Q cal (m ³ /h)	ΔQ (m ³ /h)	ΔQ_r	ΔQ_r (%)
10,0000	10,1939	0,1939	0,0194	1,9394
15,0000	14,9809	0,0191	0,0013	0,1271
20,0000	19,7665	0,2335	0,0117	1,1673
25,0000	24,6976	0,3024	0,0121	1,2095
30,0000	30,1424	0,1424	0,0047	0,4747
35,0000	35,5330	0,5330	0,0152	1,5230
40,0000	40,1450	0,1450	0,0036	0,3626
45,0000	47,5578	2,5578	0,0568	5,6841
50,0000	50,1598	0,1598	0,0032	0,3197
55,0000	54,1850	0,8150	0,0148	1,4817
60,0000	61,2180	1,2180	0,0203	2,0300
65,0000	64,1441	0,8559	0,0132	1,3168
70,0000	68,6538	1,3462	0,0192	1,9232
75,0000	74,8907	0,1093	0,0015	0,1458
80,0000	78,9182	1,0818	0,0135	1,3522