

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique
Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

AMER SAID MOULOU
BENZAI TASSADIT

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : Hydraulique Urbaine

INTITULE :

INFLUENCE DES TALUS DES DEVERSOIRS TRIANGULAIRES SUR LA CAPACITE D'ECOULEMENT

Soutenu le **21 /09 /2015** devant le jury composé de :

- Président : **M. A/BEDJOU**

Promoteur : **M. A/BRAKENI**

- Examineur : **M. A/SAOU**

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, qui sont la source de lumière qui m'éclairait depuis ma naissance :

A ma chère mère, qui m'a toujours soutenue dans toutes les étapes de ma vie.

A mon cher père, à qui j'exprime ma sincère et éternelle gratitude pour son attention, son soutien et surtout l'amour qu'il me procure.

A mes très chères sœurs et mes chers frères, mes nièces. (Nina, Maya, Manel, Amina)

A mon binôme, Mouloud.

A mes très chers amis : Souad, Katia, Taciana, Leila, Lynda, Zineb, Imane, et Sofiane, Abdou, Mazigh, lamine, A tous mes amis.

T/BENZAI

Remerciements

De prime à bord, nous tenons à remercier notre promoteur Monsieur Braķeni Ahmed pour son aide appréciable, son soutien et ses conseils fructueux qui nous ont facilité la réalisation de ce travail.

Nous remercions également tous nos professeurs et particulièrement, Mr: Saou Hamid, pour l'aide précieuse, qui nous ont apporté durant l'élaboration de ce modeste travail.

Aussi, nous vous permettons d'exprimer tout notre respect aux membres de jury .qui nous feront l'honneur d'apprécier notre travail.

Nous remercions enfin tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de cette étude.

Merci à tous.

Symboles

A	Aire du chenal d'approche
B	Largeur du seuil du déversoir
b , L	Largeur du déversoir
Cd	Coefficient de débit
Cv	Coefficient de vitesse d'approche
F,	Facteur de réduction de l'écoulement
σ_s	Noyé (coefficient de submersion)
g	Accélération de la pesanteur
h_0	Hauteur de chute totale
h	Hauteur de chute
h_p	Hauteur de prise mesurée au-dessus du seuil
h_d	Hauteur du déversoir
Z	Chute géométrique
Δ	Remontée du niveau aval
X'	Erreur aléatoire
X''	Erreur systématique
X_c	Erreur limite sur les coefficients
X_Q	Erreur limite sur la mesure de débit
S_y	Ecart type

Sommaire

Liste des symboles

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE

Partie I : Etude bibliographique

I.1. But d'utilisation des déversoirs de profil pratique	2
I.1.1. Définition.....	2
I.1.2. But d'utilisation des déversoirs.....	2
I.1.3. Principe des déversoirs.....	3
I.2. Classification des déversoir.....	3
I.2.1. Déversoir triangulaire à paroi mince.....	3
I.2.1.1. Définition.....	3
I.2.1.2. Détermination du coefficient de débit m.....	4
I.2.1.3. Forme des déversoirs	6
I.2.1.3.a. Déversoir de forme triangulaire	6
I.2.1.3.b. Déversoir de forme rectangulaire	7
I.2.1.3.b. Déversoir de forme trapézoïdal	9
I.2.2 Barrage –déversoir	9
I.2.3. Déversoir à seuil épais	10
I.2.3.1 déversoir à seuil épais dénoyé	11
I.2.3.2 déversoir à seuil épais noyé	11
I.2.3.3 Déversoir à seuil épais à profil triangulaire type CRUMP	13
I.2.4. Déversoir hydrodynamique	14
I.3. projet de norme internationale ISO/DIS4360	14
I.3.1. Caractéristiques du débit	15
I.3.1.1 écoulement dénoyée.....	15
I.3.1.1 écoulement dénoyée.....	15
I.3.2. Calcul des erreurs	15

I.3.2.1. précision sur le Calcul des différents coefficients	15
I.3.2.2.erreur de mesurage de débit	16
I.3.2.3.sources erreur	17
I.3.2.3.type erreur	17
I.3.2.4.combinaison des erreurs limites	17

Partie II : Etude expérimentale

II.1 Méthodes et technique expérimental.....	19
II.2 Description de bond d'essaiH12MH2.....	19
II.2.1 utilisation du canal hydraulique.....	19
II.2.a. Mesure de débit	20
II.2.b. Mesure de la hauteur de la lame déversante	20
II.3.condition d'application.....	21
II.3.a. Choix de l'emplacement.....	22
II.3.b. condition d'installation.....	22
II.2. étude des écoulements à travers les différents déversoirs.....	23
II.2.1.tracée des d'écoulements.....	23
II.2.1.a. l'écoulement à travers le déversoir de CRUMP.	23
II.2.1.b. l'écoulement à travers le déversoir a profile triangulaire (3/5).....	25
II.2.1.c. l'écoulement à travers le déversoir a profile triangulaire (3/4)	27
II.2.2. caractéristiques physique et hydrodynamique de l'écoulement.....	29
II.2.2.a. Description de la section transversale de l'écoulement.....	29
II.3.établissement des courbes caractéristique	40
II.3.1. les courbes caractéristiques de l'écoulement dénoyé	40
II.3.1.a détermination des coefficients C et Cv.....	40
II.3.1.b. tracée des courbes caractéristique de l'écoulement dénoyé.....	43
II.3.1.c. interprétation des courbes caractéristiques.....	50

II.3.2 les courbes caractéristique de l'écoulement noyée	52
II.3.2.a. détermination des coefficients de submersion σ_s	52
II.3.2.b. Tracée des courbes caractéristique de l'écoulement noyé.....	56
II.3.2.c. interprétation des courbes caractéristiques de l'écoulement noyé	59
II.3.2.d .calcul des débits submergée	60
II.3.2.e. calcul des coefficients de vitesse.....	60
II.4. évaluation des erreurs	61
II.4.1 erreurs sur détermination des débits pour l'écoulement dénoyée	61
II.4.2 erreurs sur le calcul des débits submergés	61
II.5. critique des résultats.....	61
II.6. élaboration du modèle empirique de calcul de coefficient de submersion.....	63

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

Liste des tableaux

Tableau (I.1) : Valeurs numériques de X_c^n	16
Tableau (II-1) : Section critique pour les différents débits	31
Tableau (II-2) : Perte d'énergie du déversoir de CRUMP pour les différents débits	33
Tableau (II-3) : Perte d'énergie du déversoir de talus 3 :5 pour les différents débits.....	33
Tableau (II-3) : Perte d'énergie du déversoir de talus 4 :5 pour les différents débits.....	34
Tableau (II-4) : caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de CRUMP.....	40
Tableau (II-5) : caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de talus 3 :4.....	41
Tableau (II-6) : caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de talus 3 :5.....	41
Tableau (II-7) : valeurs moyennes des coefficients C et C_v	49
Tableau (II-8) : variation de σS en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de CRUMP cas Q1	51
Tableau (II-9) : variation de σS en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de CRUMP cas Q2	51
Tableau (II-10) : variation de σS en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de CRUMP cas Q3	52
Tableau (II-11) : variation de σS en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de CRUMP cas Q4.....	52
Tableau (II-12) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :5 cas Q1	52
Tableau (II-13) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :5 cas Q2	52
Tableau (II-14) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :5 cas Q3	53
Tableau (II-15) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :5 cas Q4	53
Tableau (II-16) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :4 cas Q1	53
Tableau (II-17) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :4 cas Q2	53
Tableau (I-18) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :4 cas Q3.....	54
Tableau (I-19) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :4 cas Q4.....	54
Tableau (II-20) : Valeurs de $\delta(\%)$ pour différents débits.	58
Tableau (II-21) : Valeurs de $\delta(\%)$ pour différents débits.	59
Tableau (II-22) : coefficient de vitesse des différents déversoirs.	59
Tableau (II-23) : Erreurs limites sur la détermination des débits dénoyée.....	60
Tableau (II-24) : Erreurs limites sur la détermination des débits submergés.....	60

Tableau (II-24) variation de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ en fonction de $\frac{\Delta}{h_d}$ pour les débits Q_1 et Q_2 63

Tableau (II-25) variation de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ en fonction de $\frac{\Delta}{h_d}$ pour les débits Q_3 et Q_4 63

Liste des figures

<i>Figure (I.1) : Schéma hydraulique d'un déversoir (CRUMP).</i>	2
<i>Figure (I.2) : Déversoir à paroi mince.</i>	4
<i>Figure (I.3) : Déversoir triangulaire à paroi mince latéral.</i>	6
<i>Figure (I.4) : Déversoir rectangulaire à paroi mince à contraction latéral.</i>	7
<i>Figure (I.5) : Déversoir rectangulaire à paroi mince sans contraction.</i>	8
<i>Figure (I.6) : Déversoir trapézoïdal à paroi mince à contraction latéral.</i>	9
<i>Figure (I.7) : Schéma hydraulique du déversoir à seuil épais.</i>	10
<i>Figure (I.8) : Déversoir à seuil épais dans écoulement dénoyé.</i>	11
<i>Figure (I.9) : Déversoir à seuil épais dans écoulement noyé.</i>	12
<i>Figure (I.10) : Déversoir à seuil épais à profil triangulaire de type CRUMP.</i>	13
<i>Figure (I-1) : Schémas d'un déversoir hydrodynamique.</i>	14
<i>Figure (II-1) : le banc d'essai H12 MH2</i>	19
<i>Figure (II-2) : Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP pour le débit Q1</i>	23
<i>Figure (II-3) : Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP pour le débit Q2</i>	23
<i>Figure (II-4) : Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP pour le débit Q3</i>	24
<i>Figure (II-5) : Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP pour le débit Q4</i>	24
<i>Figure (II-6) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5 pour le débit Q1</i>	25
<i>Figure (II-7) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5 pour le débit Q2</i>	25
<i>Figure (II-8) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5 pour le débit Q3</i>	26
<i>Figure (II-9) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5 pour le débit Q4</i>	26
<i>Figure (II-10) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 4 :5 pour le débit Q1</i>	27
<i>Figure (II-11) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 4 :5 pour le débit Q2</i>	27
<i>Figure (II-12) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 4 :5 pour le débit Q3</i>	28
<i>Figure (II-13) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 4 :5 pour le débit Q4</i>	28
<i>Figure (II-14) : schéma hydraulique d'un écoulement à travers le déversoir de CRUMP</i>	29
<i>Figure (II-14) : visualisation de l'écoulement dénoyée à travers le déversoir de CRUMP</i>	30
<i>Figure (II-15) : Visualisation du début de submersion à travers le déversoir de CRUMP</i>	33
<i>Figure (II-16) : Visualisation de l'écoulement noyée transitoire à travers le déversoir de CRUMP.</i>	35
<i>Figure (II-18) : visualisation des écoulements à travers le déversoir de CRUMP</i>	37
<i>Figure (II-19) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir de talus (3 :5)</i>	38
<i>Figure (II-20) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir de talus (3 :4)</i>	39
<i>Figure (II-21) : Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale</i>	43
<i>Figure (II-22) : Tracé logarithmique</i>	43

Figure (II-23) : Variation de C en fonction des rapports h_0/h	44
Figure (II-24) : Variation de Cv en fonction des rapports h_0/h	44
Figure (II-25) : Variation de Cv en fonction de C	45
Figure (II-26) : Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale	45
Figure (II-27) : Tracé logarithmique	46
Figure (II-28) : Variation de C en fonction des rapports h_0/h	46
Figure (II-29) : Variation de Cv en fonction des rapports h_0/h	47
Figure (II-30) : Variation de Cv en fonction de C.	47
Figure (II-31) : Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale	48
Figure (II-32) : Tracé logarithmique	48
Figure (II-33) : Variation de C en fonction des rapports h_0/h	49
Figure (I-34) : Variation de Cv en fonction des rapports h_0/h	49
Figure (II-35) : variation de Cv en fonction de C.....	50
Figure (II-36) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_1	55
Figure (II-37) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_2	55
Figure (II-38) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_3	55
Figure (II-39) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_4	55
Figure (II-40) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_1	55
Figure (II-41) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_2	56
Figure (II-42) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_3	56
Figure (II-43) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_4	56
Figure (II-44) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_1	57
Figure (II-45) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_2	57
Figure (II-46) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_3	57
Figure (II-47) : Courbe de variation de σ_s en fonction de Δ/H_0 pour Q_4	57

Figure (II-48) : graphe de la variation de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ en fonction de $\frac{\Delta}{h_d}$ pour le débit Q_1	64
---	----

Figure (II-49) : graphe de la variation de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ en fonction de $\frac{\Delta}{h_d}$ pour le débit Q_2 65

Figure (II-50) : graphe de la variation de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ en fonction de $\frac{\Delta}{h_d}$ pour le débit Q_3 66

Figure (II-51) : graphe de la variation de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ en fonction de $\frac{\Delta}{h_d}$ pour le débit Q_4 67

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource indispensable à la survie de l'homme et à sa santé. Le développement démographique galopant ainsi que l'intensification de l'industrie s'ajoutant à l'agriculture nécessite des besoins en eau qui augmentent sans cesse, ce qui oblige les gouvernements à mettre en place des programmes 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.

Les moyens de mesure de débit sont actuellement nombreux, mais le choix de type reste une problématique. C'est pour cela que plusieurs scientifiques chercheurs se sont intéressés à ce type d'ouvrages tels que : Horton, Balizin, CRUMP, FILLIPOV... et ils ont réalisés beaucoup de travaux et d'études sur les écoulements à travers les déversoirs, pour définir les meilleurs profils.

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

Ce travail consiste à étudier le comportement des écoulements à travers trois différents types de déversoirs, à savoir: le déversoir de CRUMP, deux déversoirs à profil triangulaire de talus (3 :5), (3 :4) ; pour connaître les caractéristiques des différents régimes d'écoulements (dénoyé et noyé), à savoir les coefficients de débit, de vitesse pour l'écoulement dénoyé et de submersion pour l'écoulement noyé, d'établir les courbes caractéristiques de chaque déversoir ainsi que les erreurs effectués sur ces variantes.

La première partie est réservée à l'élaboration d'une synthèse bibliographique sur l'état actuel des connaissances sur les différents types de déversoirs, pour connaître la pratique et la méthodologie d'application du projet de norme internationale ISO/DIS.

La deuxième partie est une étude expérimentale dans le but de connaître les caractéristiques des écoulements à travers les déversoirs, à étudier les différents paramètres régissant le mouvement en analysant et interprétant les résultats obtenus tout en comparant les différents déversoirs, l'application de la norme internationale sur un modèle réel permettra d'apprécier sa fiabilité ,en fin l'utilisation de la forme de BAZIN pour élaborer un modèle empirique pour le calcul du coefficient de submersion.

Enfin une conclusion générale englobant les actions entreprises.

Partie I
Etat actuel
des connaissances

I.1 But d'utilisation des déversoirs à profil pratique :

I.1.1 Définition

Un déversoir est un orifice superficiel ouvert à sa partie supérieure et pratiqué dans une paroi généralement verticale. Ce sont ceux qui utilisent le libre déversement par-dessus une paroi verticale placée en travers de l'écoulement dans une section droite du canal. Ils sont appelés déversoirs et se basent sur une contraction verticale de l'écoulement.

Cette paroi peut présenter une échancrure rectangulaire, triangulaire, trapézoïdale ou circulaire. Le débit véhiculé par le canal est alors déterminé par une simple lecture limnométrique du plan d'eau amont au-dessus de l'arête du déversoir ainsi que par les caractéristiques du canal et du dispositif de mesure, [1,2].

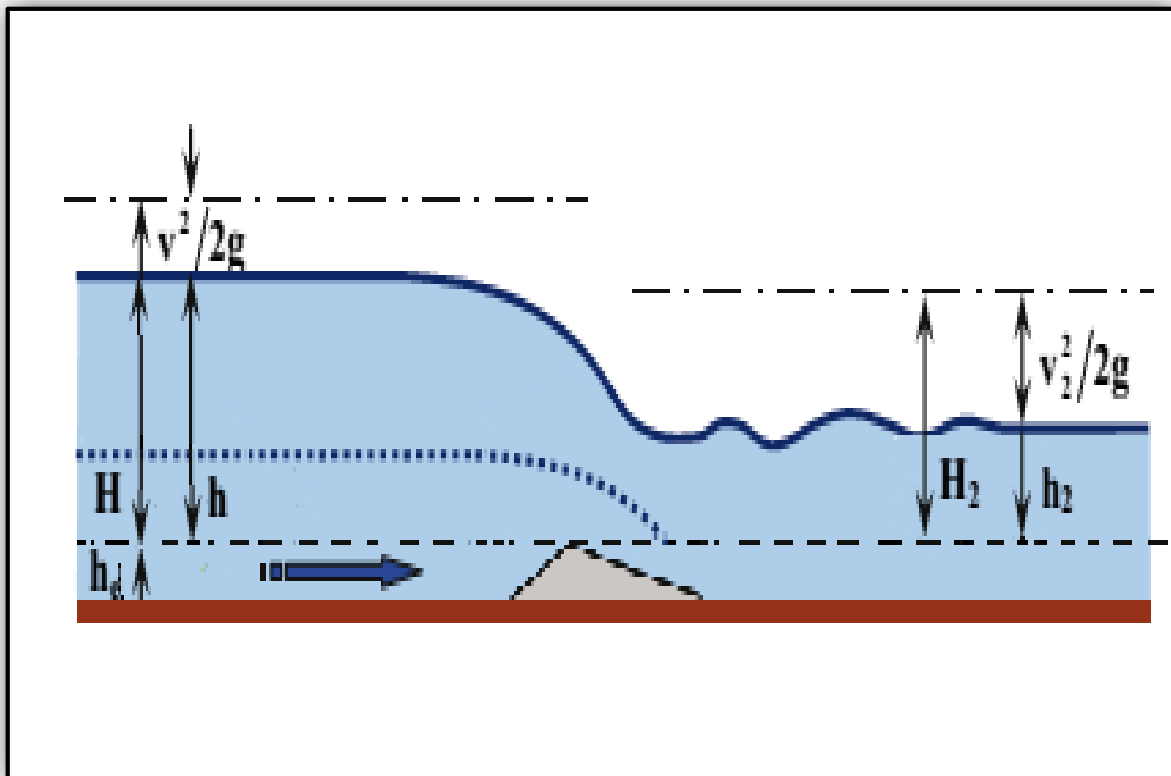


Figure (I.1) : Schéma hydraulique d'un déversoir (CRUMP).

I.1.2 But d'utilisation des déversoirs

Les déversoirs sont largement utilisés sous forme de barrage, d'ouvrage de tête et de jaugeurs, leur théorie permet de calculer les parties des ouvrages de passage et de vidange d'eau.

I.1.3 Principe des déversoirs

Un déversoir assure diverses fonctions :

- Envoyer un « trop plein » d'eau vers un « bras de décharge », pour étaler une crue quand le débit en amont provoque une montée d'eau incompatible avec la capacité d'absorption des vannages ou de moulins recevant cette eau.
- Conserver une hauteur minimale d'eau en amont d'un bief . Maintenir en amont du déversoir une hauteur importante d'eau dans la rivière permettait aussi d'utiliser des pierres gélives (moins coûteuses et plus facile à tailler) pour les radiers, les fondations et la partie basse et immergée des maçonneries détournant la rivière lorsqu'il faut la barrer provisoirement pour l'assécher en aval, afin par exemple d'y faire des travaux (de réfection d'un radier, d'un vannage, d'un mur, ou d'un support de roue à aubes.
- certains déversoirs peuvent être conçus comme passe à poissons.

Le déversoir doit répondre à un compromis entre capacité de stockage de la retenue et capacité d'évacuation, cette dernière étant souvent liée à la sécurité de l'ouvrage. Selon les cas les déversoirs de barrages peuvent être soit libre, soit vannés. Dans le cas d'un déversoir libres, les caractéristiques d'évacuation seront déterminées par ses dimensions et son coefficient de débitance. On peut faire varier le coefficient de débitance d'un déversoir en modifiant la section du déversoir (en cherchant par exemple à s'approcher de section de type Creager), en modifiant les conditions d'approche de l'eau (curage à l'amont), ou en modifiant la géométrie du réservoir (labyrinthe). Dans le cas d'un déversoir vanné, c'est la loi de fonctionnement de la vanne qui régira le fonctionnement du déversoir.

I.2 Classification des déversoirs

La classification des déversoirs est la suivante, [2] :

I.2.1 Déversoir à paroi mince

I.2.1.1 Définition

Le déversoir en mince paroi est facile à construire et relativement économique. Le débit est défini au moyen d'un coefficient m , qui lui est propre. Une attention particulière doit être portée à la forme de la face en aval de la partie supérieure du déversoir dans le but d'obtenir

une aération suffisante entre la nappe inférieure (pellicule d'eau qui s'écoule au-dessus du déversoir) et la structure. Si celle-ci est collée à la structure, des vibrations seront engendrées. Généralement, le nom donné au déversoir découlera de la forme de l'échancrure du déversoir; ainsi une échancrure en forme de V sera un déversoir triangulaire, une échancrure en forme de \sqcup , sera un déversoir rectangulaire, etc.

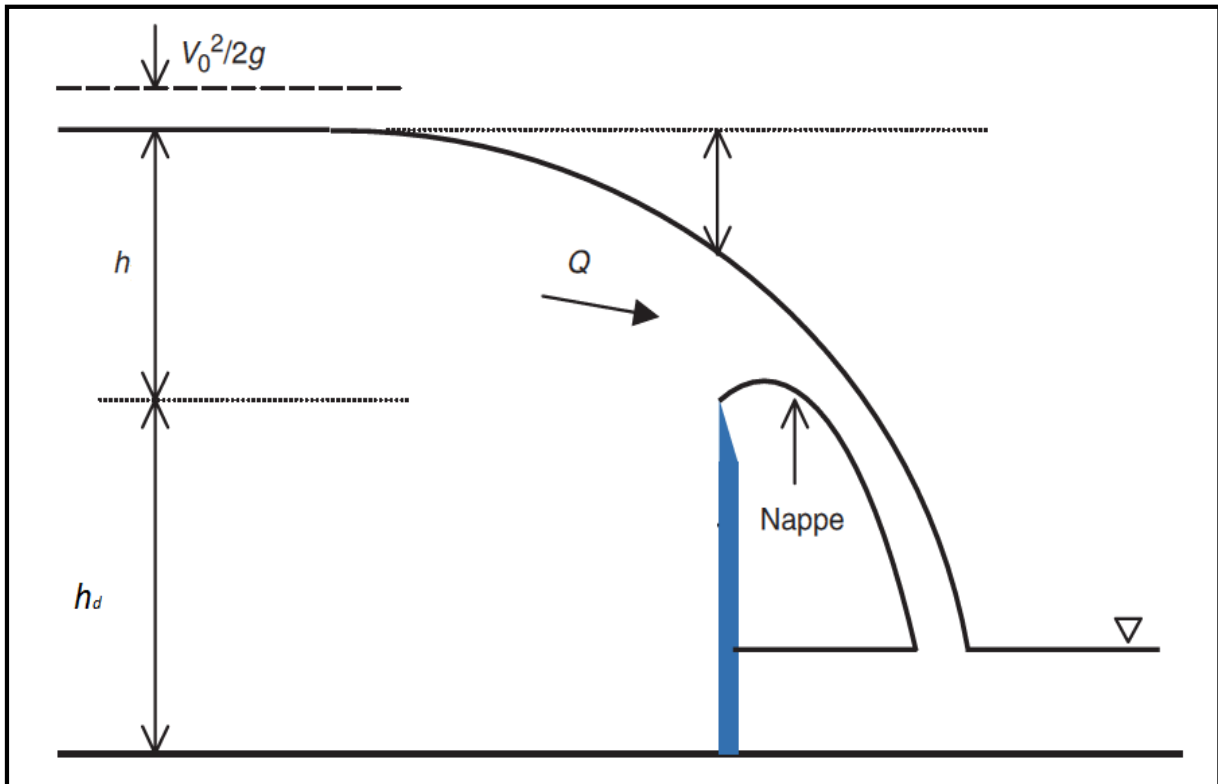


Figure (I.2) : Déversoir à paroi mince.

I.2.1.2 Détermination du coefficient de débit m

- Formule de Bazin(1988)

La formule de Bazin s'écrit comme suite,[1] :

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h_d} \right) \cdot \left(1 + 0,55 \left(\frac{H}{H + h_d} \right)^2 \right) \dots \dots \dots (I.1)$$

Avec :

h_d : Hauteur de déversoir(m) ;

H : Charge hydraulique (m).

Cette formule est applicable dans les limites suivantes des divers paramètres :

$$0,08m < H < 0,70m$$

$$L > 4.H$$

$$0,2\text{m} < h_d < 2\text{m}$$

- **Formule de la S.I.A (société suisse des ingénieurs et Architectes)**

Cette formule est applicable à un déversoir des mêmes types que précédemment mais procédé, à l'amont, d'un canal à faible longueur, à fond sensiblement horizontal et comportant un dispositif de régularisation des vitesses dans ces conditions, la formule de la S.I.A, s'écrit, [1] :

$$m = 0,410 \left(1 + \frac{1}{1000.H + 1,6} \right) \cdot \left(1 + 0,55 \cdot \left(\frac{H}{H + h_d} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (I.2)$$

Avec :

h_d : Hauteur de déversoir (m) ;

H : Charge hydraulique (m).

Les limites d'application de la formule S.I.A sont les suivantes :

$$0,025\text{m} < H < 0,8\text{m}$$

$$h_d > 0,3\text{m}$$

$$H < h_d$$

- **Formule de REHBOCK**

La formule de REHBOCK (1929), s'écrit comme suite, [1] :

$$Q = m.L.H.\sqrt{2.g.H} \dots\dots\dots (I.3)$$

Avec :

Q : Débit déversé (m^3/s) ;

m : Coefficient de débit ;

L : Largeur de déversoir (m) ;

H : Charge hydraulique (m) ;

g : Accélération de pesanteur, [$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$].

Le coefficient de débit est exprimé par la formule suivante, [1] :

$$m = 0,4023 + 0,0542 \cdot \frac{H}{h_d} \dots\dots\dots (I.4)$$

Avec :

h_d : Hauteur de déversoir (m).

- **Formule de HEGLY :**

La formule de HEGLY (1921) s'écrit comme suit, [1] :

$$m = \left[0,405 + \frac{0,0027}{H} - 0,03 \cdot \frac{L_1 - L}{L_1} \right] \cdot \left[1 + 0,55 \cdot \left(\frac{L.H}{L_1 \cdot (H + h_d)} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (I.5)$$

Avec :

L_1 : Largeur du canal, (m) ;

L : Largeur du déversoir(m) ;

H : Charge hydraulique (m) ;

h_d : Hauteur de déversoir (m).

Les limites d'application de la formule de HEGLY sont les suivantes :

$$0,1\text{m} < H < 0,6\text{m}$$

$$0,4\text{m} < L < 1,8\text{m}$$

$$0,4\text{m} < h < 0,8\text{m}$$

$$0 < \frac{L_1 - L}{L_1} < 0,9$$

I.2.1.3 Forme des déversoirs

Les formes de déversoir les plus courants sont illustrés dans les figures suivantes:

- Déversoir de forme triangulaire

Le déversoir triangulaire à paroi mince est constitué d'une plaque verticale découpée selon le schéma de la figure (I.3). Une échancrure est opérée suivant un angle d'ouverture θ . Le dispositif est généralement placé dans un canal rectangulaire de largeur constante B .

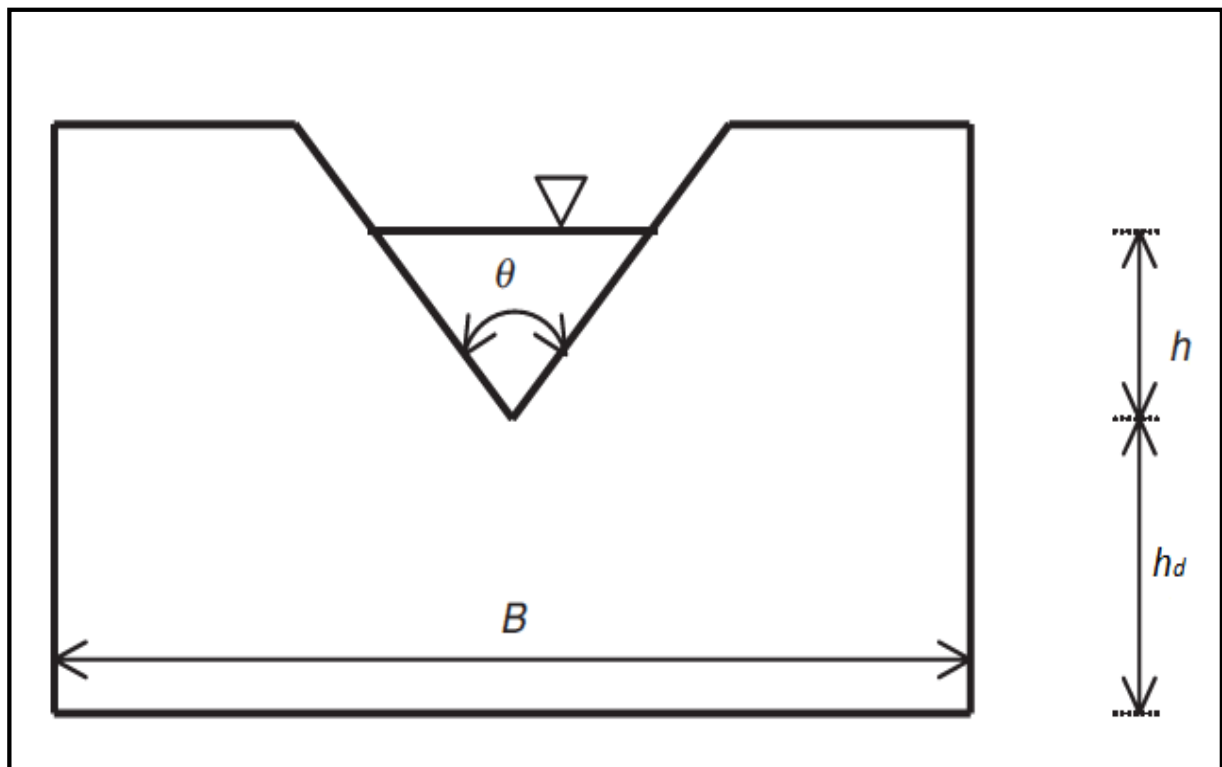


Figure (I.2) : Déversoir triangulaire à paroi mince latéral.

✓ **Système métrique:**

Le débit est estimé par la formule suivante, [3] :

$$Q = \frac{8}{15} \cdot 0,6 \cdot h^2 \cdot \tan g \cdot \left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \dots \dots \dots (I.10)$$

Avec :

Q : Débit déversé (m³/s) ;

h :Hauteur de la lame d'eau déverser (m) ;

L :Largeur en base du déversoir (m).

g : Accélération de pesanteur, [g = 9,81 m²/s].

θ : Angle d'ouverture du déversoir, [$35^\circ < \theta < 120^\circ$].

✓ **Système impérial:**

Le débit est estimé par la formule suivante, [3] :

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = 0,497 \cdot h^{(\frac{5}{2})} \quad \text{Si } \theta = 22.5^\circ \dots \dots \dots (I.11) \\ Q = 1,035 \cdot h^{(\frac{5}{2})} \quad \text{Si } \theta = 45^\circ \dots \dots \dots (I.12) \\ Q = 1,443 \cdot h^{(\frac{5}{2})} \quad \text{Si } \theta = 60^\circ \dots \dots \dots (I.13) \\ Q = 2,48 \cdot h^{(\frac{5}{2})} \quad \text{Si } \theta = 90^\circ \dots \dots \dots (I.14) \end{array} \right.$$

Avec :

Q : Débit déversé (pi³/s) ;

h :Hauteur de la lame d'eau déverser (pi).

- **Déversoir de forme rectangulaire**

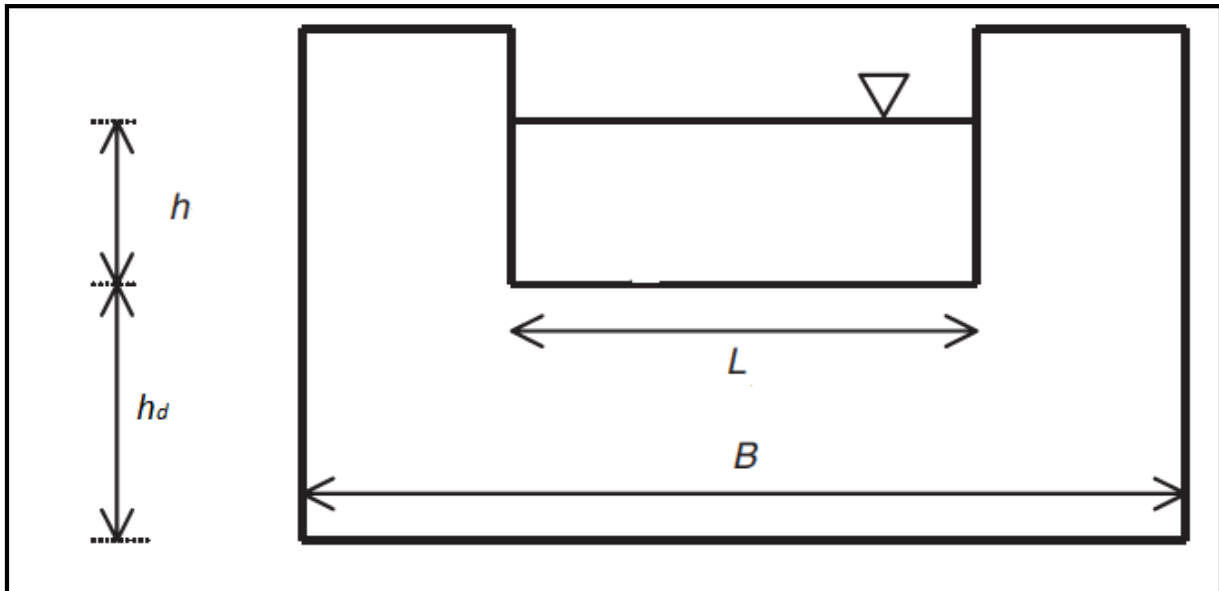


Figure (I.3) : Déversoir rectangulaire à paroi mince à contraction latéral.

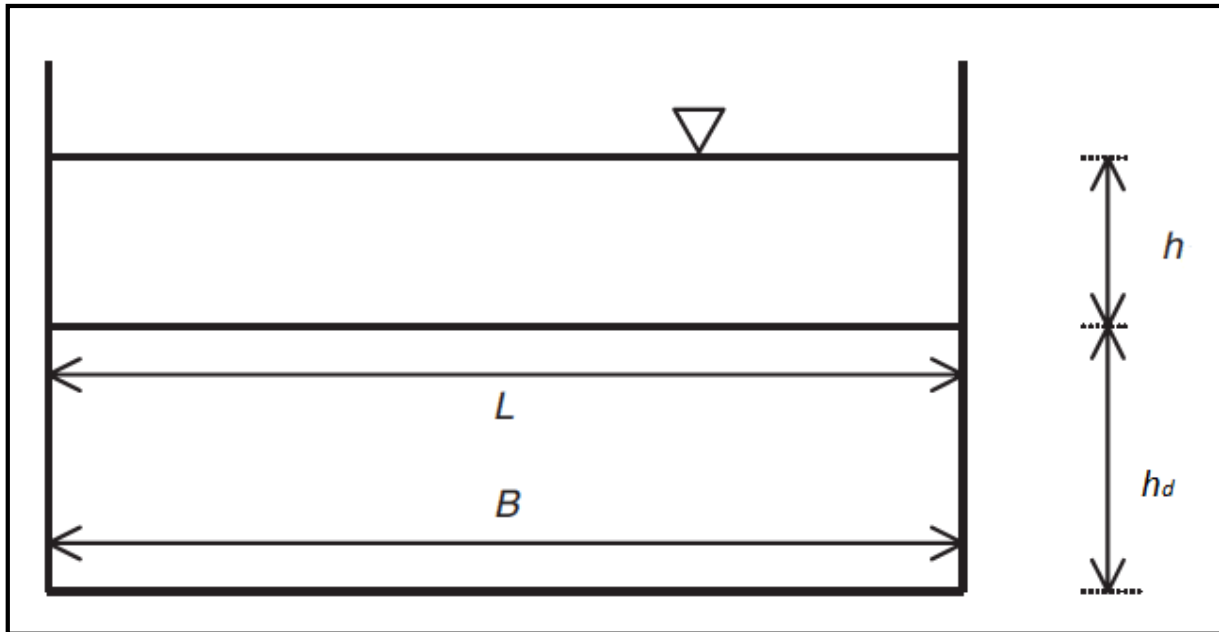


Figure (I.3) : Déversoir rectangulaire à paroi mince sans contraction.

Système métrique:

Le débit est estimé par la formule suivante, [3] :

$$Q = 1,83 \cdot (1 - 0,1 \cdot n \cdot h) \cdot h^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (I.6)$$

Avec :

Q : Débit déversé (m^3/s) ;

h : Hauteur de la lame d'eau déverser (m) ;

n : Coefficient qui dépend de la contraction de la nappe déversante. Elle est de l'ordre de :

- n = 0, pour barrage total ;
- n = (1 ÷ 2), à contraction.

Système impérial:

Le débit est estimé par la formule suivante, [3] :

$$Q = 3,33 \cdot (1 - 0,1 \cdot n \cdot h) \cdot h^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (I.7)$$

Avec :

Q : Débit déversé (pi^3/s) ;

h : Hauteur de la lame d'eau déverser (pi) ;

n : Coefficient qui dépend de la contraction de la nappe déversante. Elle est de l'ordre de :

- n = 0, pour barrage total ;
- n = (1 ÷ 2), à contraction.

- Déversoir de forme trapézoïdal

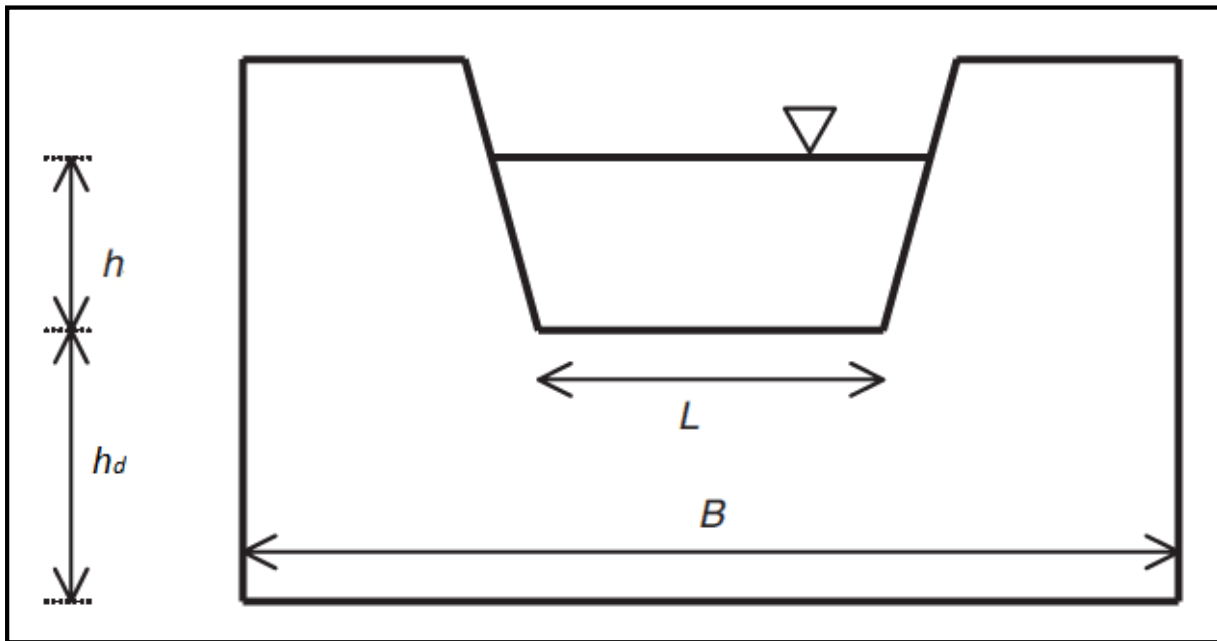


Figure (I.4) : Déversoir trapézoïdal à paroi mince à contraction latéral.

Système métrique

Le débit est estimé par la formule suivante, [3] :

$$Q = 1,86.L.h^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(I.8)$$

Avec :

Q : Débit déversé (m³/s) ;

h :Hauteur de la lame d'eau déverser (m) ;

L :Largeur en base du déversoir (m).

Système impérial

Le débit est estimé par la formule suivante, [3] :

$$Q = 3,367.L.h^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(I.9)$$

Avec :

Q : Débit déversé (pi³/s) ;

h :Hauteur de la lame d'eau déverser (pi) ;

L :Largeur en base du déversoir (pi).

3.2. Barrage-déversoir :

Un autre type de barrage en béton est le barrage-déversoir, dont la structure comprend l'évacuateur de crues, Il peut inclure ou non des vannes. Un barrage à vannes avec de grandes ouvertures de déversement, comparées à sa hauteur, est souvent conçue comme un barrage à

contreforts, tandis que les barrages-déversoirs de hauteur importante avec de petites ouvertures sont généralement conçus comme des barrages-poids, [4].

3.3. Déversoir à seuil épais :

Ce type de déversoir à angle vifs, peut s'imposer notamment pour des phases de construction de barrages. Comparé au déversoir en mince paroi, deux paramètres supplémentaires relatifs à la pente amont θ et la longueur de la crête du déversoir doivent être considérés. Le calcul simplifié introduit le coefficient de correction dans la formule générale du déversoir en mince paroi est définie comme suite, [5] :

$$Q = C_d \cdot C_e \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (I.15)$$

Avec :

Q : Débit déversé (m³/s) ;

C_d : Coefficient de débit ;

C_e : Coefficient de correction ;

L : Largeur en base du déversoir (m) ;

g : Accélération de pesanteur, [g = 9,81 m²/s] ;

h : Hauteur de la lame d'eau déversé (m).

La figure suivante illustre un déversoir à seuil épais, [6].

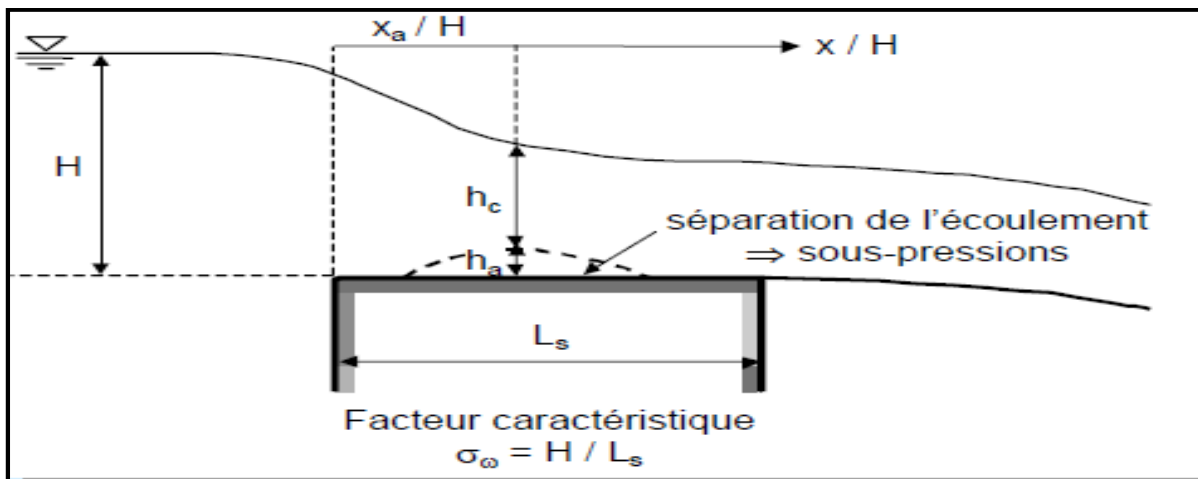


Figure (I.6) : Schéma hydraulique du déversoir à seuil épais.

3.3.1) Déversoir à seuil épais (dénoyé)

Le déversoir dénoyé est un ouvrage dont la crête limite le volume accumulé dans une retenue. L'écoulement est donc nul pour des hauteurs d'eau inférieures à la hauteur de déversoir, et, comme on le verra, augmente fortement et de manière univoque pour des hauteurs supérieures à celle du déversoir, [7].

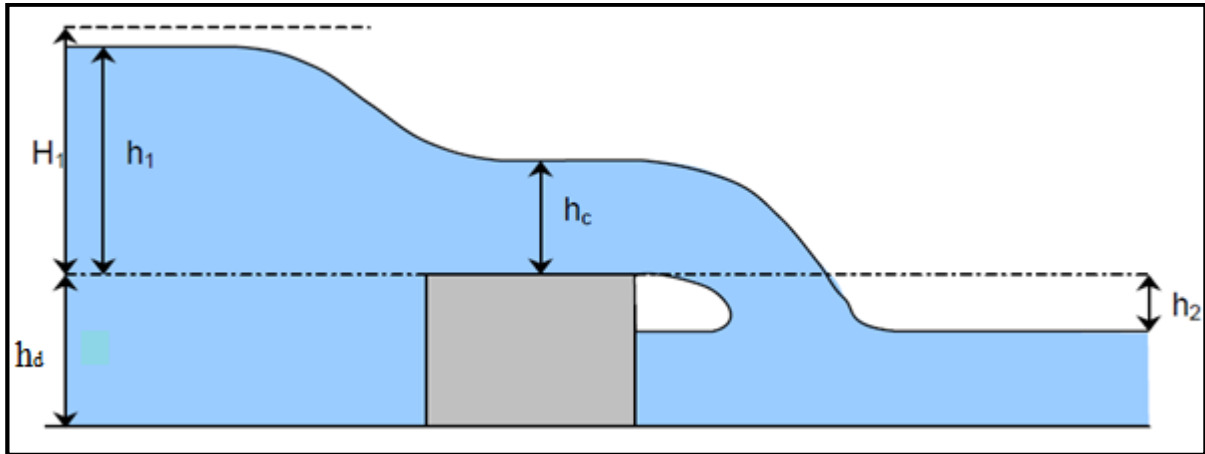


Figure (I.7) : Déversoir à seuil épais dans écoulement dénoyé.

Cette caractéristique spécifique en justifie l'utilisation en tant que :

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

3.3.2) Déversoir à seuil épais (noyé)

Le débit passant par un déversoir dénoyé n'est contrôlé que par une section constituant la section de contrôle. A l'amont de cette section, l'écoulement est fluvial tandis qu'à l'aval il est

Torrentiel ; dans la section de contrôle et pour un débit donné, la charge atteint une valeur minimale. Si le niveau aval est progressivement élevé, il peut en résulter un effet sur l'écoulement et le débit n'est plus déterminé par une seule section, mais par les deux sections amont et aval : l'écoulement devient noyé. Celui-ci s'établit lorsque la condition d'écoulement critique n'est plus réalisée dans la section de contrôle.

Le débit déversé est estimé à l'aide de la formule suivante, [5] :

$$Q = C_d \cdot S_b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (I.16)$$

Avec :

Q : Débit déversé (m³/s) ;

C_d : Coefficient de débit ;

g : Accélération de pesanteur, [g = 9,81 m²/s] ;

h : Hauteur de la lame d'eau déverser (m) ;

S_b : Coefficient de submersion.

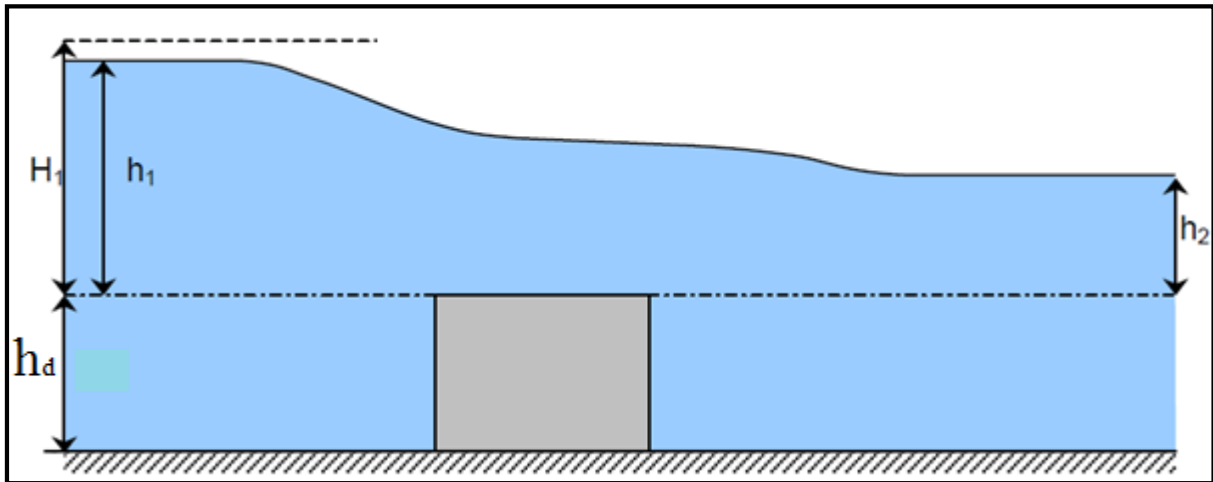


Figure (I.8) : Déversoir à seuil épais dans écoulementnoyé.

✓ **Coefficient de submersion**

Le coefficient de submersion est définie par la formule suivante, [5] :

$$S_b = [1 - (\frac{H_0}{H})^2]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (I.17)$$

Avec :

H_0 : Charge hydraulique à l'aval du déversoir (m) ;

H : Charge hydraulique à l'amont du déversoir (m).

Les valeurs de coefficient de submersion, S_b sont les suivantes :

- Ecoulement dénoyé $\Rightarrow S_b = 1$;
- Ecoulement noyé $\Rightarrow 0 < S_b < 1$;

La relation entre la charge hydraulique à l'amont du déversoir H et la hauteur d'eau amont h_0 au-dessus du niveau de la crête du déversoir s'écrit comme suite :

$$H = \frac{h_0 + v_0^2}{2g} \dots \dots \dots (I.18)$$

Avec :

h_0 : Hauteur de la lame d'eau à l'amont du déversoir (m) ;

v_0 : Vitesse d'écoulement de l'eau à l'amont du déversoir (m) ;

g : Accélération de pesanteur, [$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$] ;

La vitesse d'écoulement de l'eau à l'amont du déversoir est définie par la formule suivante :

$$v_0 = \frac{Q}{L.(h_0 + h_d)} \dots \dots \dots (I.19)$$

Avec :

L : Largeur en base du déversoir (m) ;

h_0 : Hauteur de la lame d'eau à l'amont du déversoir (m) ;

h_d : Hauteur de déversoir (m).

3.4 Déversoir à seuil épais à profil triangulaire type CRUMP :

La forme de ce déversoir est également caractérisée par un profil en long triangulaire mais les pentes amont et aval du seuil ont des valeurs différentes. La figure représente schématiquement ce déversoir.

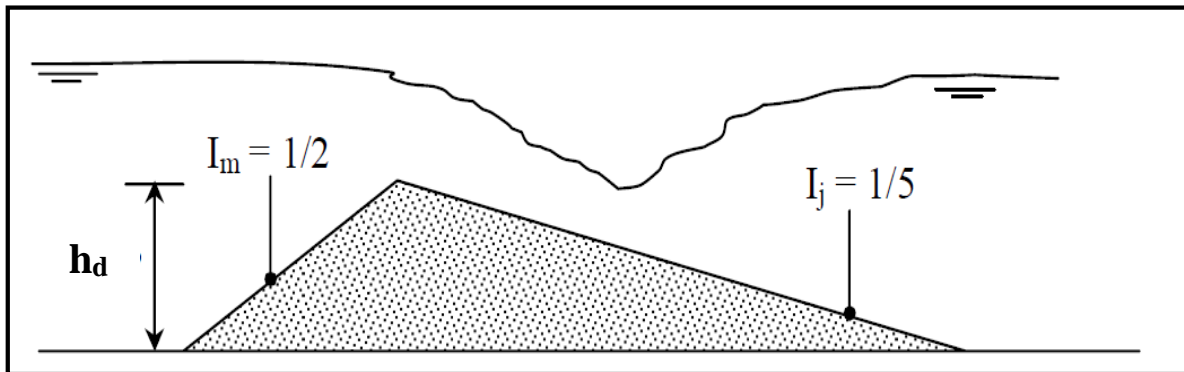


Figure (I.9) : Déversoir à seuil épais à profil triangulaire de type CRUMP.

Représentation schématique de l'écoulement

Le dispositif de mesure ainsi décrit possède des limites d'utilisation comme tous ses homologues. Celles-ci sont :

- Charge relative maximale: $\frac{h}{h_d} < 3$.
- Charge minimale h : $h > 8$ cm.

La formule du débit issue de l'étalonnage de l'appareil est la suivante, [2] :

$$Q = C_d \cdot C_v \cdot g \cdot L \cdot h^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (I.20)$$

Avec :

C_d : Coefficient de débit ;

C_v : Coefficient de vitesse

g : Accélération de pesanteur, [g = 9,81 m²/s] ;

L : Largeur en base du déversoir (m) ;

h : Hauteur de la lame d'eau (m).

La hauteur du plan d'eau h doit être mesurée entre 3 et 4 fois la hauteur maximale du plan d'eau à l'amont de la crête du déversoir.

3.5. Déversoir hydrodynamique

C'est un déversoir ayant un profil hydrodynamique aux formes arrondies, il est utilisé comme un seuil jaugeur. C'est le résultat du déversoir de CRUMP après usure produite après une période de fonctionnement (25 à 30 ans).

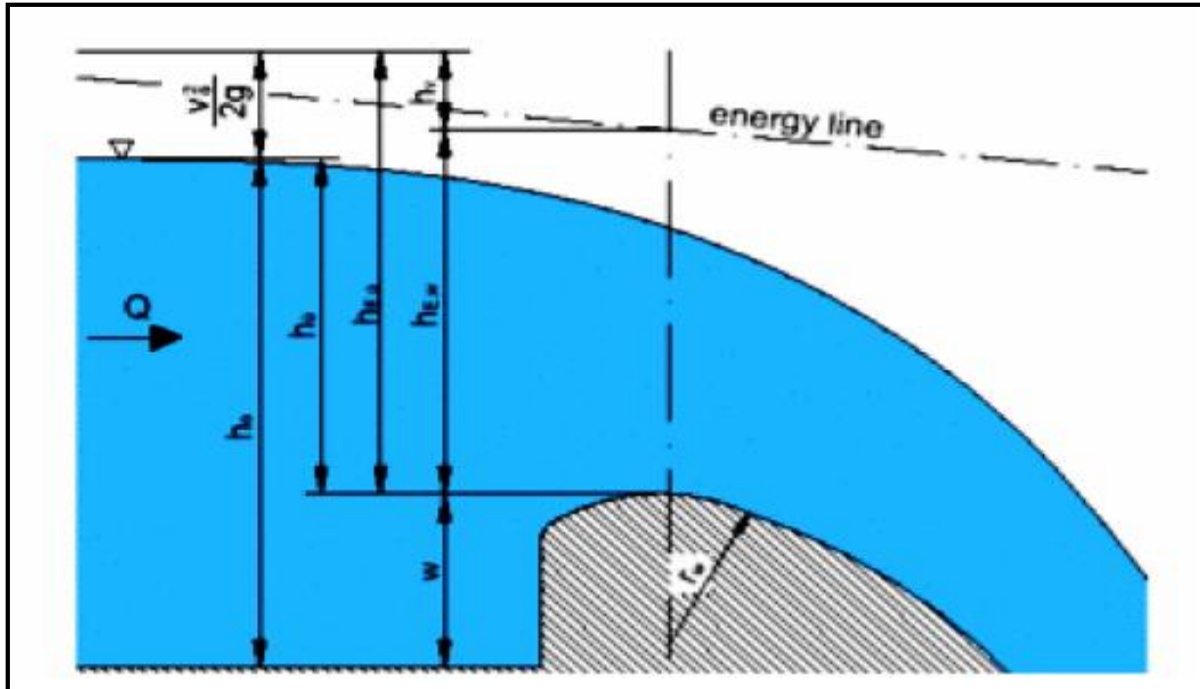


Figure (10) : Schémas d'un déversoir hydrodynamique.

4. projet de norme internationale ISO/DIS4360 :

Lors de la réunion de LENINGRAD en 1978 du sous-comité 2, il a été noté que le Royaume – Uni a désapprouvé l'ISO/DIS 4360 pour les raisons suivantes :

- écart dans les coefficients de mesure.
- emplacement des sections de mesure
- importance des erreurs limites sur le calcul de débit

Donc le Royaume-Uni a été prié d'élaborer un projet de révision de l'ISO/DIS4360. Après examen de l'ISO/DIS4360 il a été élaboré en 1982 un projet de norme internationale dans lequel y'a eu les améliorations suivantes :

- détermination des coefficients avec un très faible écart.
- détermination du coefficient de vitesse C_v et du coefficient combiné $C_v.f$.
- évaluation de l'erreur sur les coefficients et la hauteur de lame avec des calculs précis et à partir d'abaques.

4.1. Caractéristiques du débit :

Le projet de norme internationale ISO4360-1982 recommande de calculer les débits liquides dans les canaux découverts par les deux formules suivantes :

- **Pour un écoulement dénoyé :**

Le débit est déterminé à l'aide de la formule suivante, [9] :

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot C_d \cdot C_v \cdot \sqrt{g} \cdot L \cdot h^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (I.21)$$

Avec :

Q : Débit déversé (m³/s) ;

C_d : coefficient de débit ;

C_v : coefficient de vitesse ;

h : hauteur de la lame mesurée(m) ;

L : Largeur du déversoir (m) ;

g : hauteur accélération de la pesanteur (m/s²).

- **pour un écoulement noyé :**

Le débit est déterminé à l'aide de la formule suivante, [9] :

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot C_d \cdot C_v \cdot f \cdot \sqrt{g} \cdot L \cdot h^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (I.22)$$

Avec :

Q : Débit déversé (m³/s) ;

C_d : Coefficient de débit ;

C_v : Coefficient de vitesse ;

h : Hauteur de la lame mesurée (m) ;

L : Largeur du déversoir (m) ;

f : Facteur de réduction de l'écoulement noyé ;

g : Hauteur accélération de la pesanteur (m/s²).

3.2- Calcul des erreurs :

a. 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.

En construisant et en installant le déversoir avec le plus grand soin, on peut déduire l'erreur systématique sur le coefficient de débit, y compris C_v et f de l'équation suivante :

$$X_c^n = \pm \left(10 \frac{C_v}{f} - 9 \right) \% \dots \dots \dots (I.23)$$

Avec :

C_v : Coefficient de vitesse ;

f : Facteur de réduction de l'écoulement noyé ; facteur de réduction de l'écoulement noyé.

Les valeurs numériques de X_c^n sont données dans le tableau (I-1).

Tableau (I.1) : valeurs numériques de X_c^n .

Vitesse d'approche			Coefficient de vitesse C_v					
			1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
Degré de submersion			$(2/3)^{3/2}, C_d, b, h_1, A$					
f	h/h _p	h _d /h _p	0,00	0,24	0,33	0,38	0,42	0,45
1,00	<0,69	<0,20	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,5
0,95	0,86	0,39	1,53	2,05	2,58	3,11	3,63	4,15
0,90	0,92	0,52	2,11	2,67	3,22	3,78	4,33	4,89
0,85	0,93	0,62	2,76	3,35	3,94	4,53	5,12	5,71
0,80	0,94	0,70	3,50	4,13	4,75	5,38	6,00	6,63
0,75	0,94	0,78	4,33	5,00	5,67	6,33	7,00	7,67
0,70	0,95	0,81	5,29	6,00	6,71	7,43	8,14	8,86
0,65	0,96	0,85	6,38	7,15	7,92	8,69	9,46	10,23
0,60	0,96	0,88	7,67	8,50	9,33	10,17	11,00	11,83
0,55	0,97	0,91	9,18	10,10	11,00	11,91	12,82	13,73
0,50	0,97	0,92	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00

L'erreur aléatoire dépend de la qualité de la recherche utilisée pour déterminer le coefficient et peut être prise égale à $X_c' = \pm 0.5\%$ dans ce cas.

Les étalonnages expérimentaux sont réalisés sur des dispositifs de petites dimensions, dont leur transposition à des structures plus grandes peut provoquer de petites variations de coefficients de débit par suite des efforts d'échelle.

b. 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, le terme erreur limite est employé pour désigner la gamme à l'intérieur de laquelle la valeur réelle du débit mesuré doit se trouver environ dix-neuf fois sur vingt (probabilité de 95%).

- **Sources d'erreur :**

On peut identifier les sources d'erreur en considérant une expression générale de la formule de débit pour les déversoirs.

$\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}}$: Constante numérique sur laquelle on ne fait pas d'erreur.

g : Accélération due à la pesanteur, [g = 9,81 m²/s], qui varie selon le lieu mais sa variation est suffisamment faible pour être négligée dans la mesure du débit.

Donc, les sources d'erreur à considérer sont les suivants :

1)- le coefficient de débit « C_v » et le coefficient de vitesse « C_v » : les estimations numérique et les erreurs limite sur le coefficient combine « C_v » et « C_v » sont données dans le paragraphe précédent ; voir formule (1-28).

2)- le mesurage des dimensions du dispositif de mesurage par exemple la largeur du déversoir « b », « b » est connue donc on n'effectue pas de mesure ce qui fait $X_b = 0$ est négligeable.

3)- le mesurage de la hauteur de la lame h.

- **Type d'erreur :**

Les erreurs peuvent être accidentelles ou systématiques ; les premières affectent la reproductibilité « fidélité » du mesurage, les secondes affectent sa véritable précision. L'écart type d'un ensemble de mesures d'une grandeur « y » obtenues dans des conditions régulières peut être évalué à partir la forme suivante, [9] :

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (I.24)$$

Avec :

y : Grandeur d'une mesure quelconque ;

\bar{y} : Moyenne arithmétique des n mesures.

c. Combinaison des erreurs limites :

L'erreur limite systématique ou aléatoire totale est la résultante de plusieurs erreurs limites composées, qui peuvent elles-mêmes être des erreurs limites composées, si les erreurs

limites contributives sont indépendantes, faibles et nombreuses, elles peuvent être combinées pour donner une erreur limite aléatoire « ou systématique » totale avec une probabilité de 95%.

Toutes les sources qui contribuent à des erreurs limites auront des composantes aléatoires et systématiques. Cependant, dans certains soit la composante aléatoire, soit la composante systématique peut être prédominante et l'autre peut être négligeable par comparaison.

En raison de la nature différente des erreurs limites aléatoires et systématiques, elles ne devraient pas généralement être combinées. Cependant. Les erreurs limites aléatoires provenant de manière pour les erreurs limites systématiques.

L'erreur limite aléatoire, en pourcentage X'_Q sur le débit peut être calculé par la formule suivante, [9] :

$$X'_Q = \pm (X_c'^2 + X_b'^2 + 2.25X_h'^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (I.25)$$

Avec :

X_c'' : Erreur systématique sur C_v, m, f (%) .

X_b'' : Erreur systématique sur b .

X_h'' : Erreur systématique sur h .

Conclusion

La première partie de notre étude a pour objectif de passer en revue les principaux appareils de mesure du débit et des hauteurs dans les canaux ouverts utilisés dans la pratique de l'ingénieur.

Notre étude a montré deux grandes catégories d'appareils. La première catégorie correspond aux appareils utilisant le libre déversement par-dessus une paroi plane verticale placée en travers de l'écoulement. Ces appareils sont appelés déversoirs et sont dotés d'une échancrure soit de forme rectangulaire soit de forme triangulaire. Ce sont ces deux formes qui sont les plus utilisées.

Notre étude a montré que toutes les relations exprimant le débit transitant à travers ces déversoirs contiennent des termes correctifs. Le plus important d'entre eux est le coefficient de débit C_d .

Nous avons alors indiqué les paramètres dont dépend ce coefficient et nous avons également présenté, selon les auteurs, les relations qui permettent de l'évaluer.

Dans la partie suivante, notre étude se propose d'examiner les différents types de déversoirs basés sur une section droite triangulaire avec une hauteur de pelle qui se varie de vingt-cinq à trente millimètre. Nous examinerons ces déversoirs par des différents débits pour plusieurs ouvertures.

Les expressions de débit ainsi que le coefficient de débit et de submersion sont déterminées par une approche théorique et vérifiées expérimentalement.

Partie II

Etude expérimentale

1. Méthode et techniques expérimentale :

1.1..description du banc d'essai H12MH2 :

Le canal d'écoulement hydraulique produit par la firme DELTA LAB, permet de visualiser les phénomènes d'écoulement dans les canaux découverts. Le canal fonctionne en circuit fermé l'eau d'un réservoir d'alimentation est pompé avec un débit d'environ 2l/s vers un canal d'une largeur de 75mm, d'une hauteur de 150mm et d'une longueur de 5m à travers une vanne de haute pression. de la sortie de canal, l'eau tombe dans un réservoir de pesé et retourne au réservoir d'alimentation de capacité de 136 litres .la pompe est type centrifuge, tourne à une vitesse de 2850 tr/mn .le canal est alimenté avec un courant électrique monophasée 220/240Vet 50HZ.

1-2. Utilisation du canal hydraulique :

Pour calculer le débit dans le canal, nous effectuons la pesé de l'eau traversant le canal pendant un temps T. La gamme d'intervalle de temps conseillé par le constructeur étant de 30 à 90 secondes.



Figure (II-1) : le banc d'essai H12 MH2

a. Mesure des débits :

La méthode de la pesé du réservoir, repose sur la mesure du temps de remplissage du réservoir, avec de faible débit la remonte du fléau se fait lentement, on peut visualiser le moment de contact avec la butée. De ce fait la mesure du temps ce fait avec une exactitude relativement sur.

Avec des débits importants, la remonté du fléau se fait relativement vite, l'erreur peut être d'une seconde.

Une erreur significative sur le débit calculé se présentera si h_{total} à l'aval est inférieur ou égale à 75% de la hauteur totale en amont au-dessus du seuil, à moins qu'une prise soit prévue et deux mesures séparées de la hauteur soient effectuées, le banc est équipé d'un réservoir suspendu à une extrémité d'un fléau et contrebalance par une série de masse à l'autre extrémité.

Pour effectuer une mesure de débit, on place au préalable une masse supérieur à celle du réservoir vide et on déclenche le chronomètre lorsque le fléau revient en position haute ; contre la butée.

On rajoute alors une série de masses qui font redescendre le fléau et on arrête le chronométré lorsque le fléau remonte à sa position initiale.

Le temps T enregistré correspond donc à celui d'une certaine masse d'eau.

Étant donné que le bras de levier du fléau est 3 fois plus grand, chaque masse de 1Kg supplémentaire sur l'accroche-piod représente 3Kg d'eau recueillie dans le réservoir de mesure.

$$Q = \left(\frac{M / \rho}{T} \right) * 10^3$$

$Q(l/s)$
 $\rho(kg/m^3)$
 $T(s)$

b. mesure de la hauteur de la lame déversant :

Les mesure sont faite à l'aide du limnimétrie, on dispose d'action autre moyen matériel pour mesure avec précision la hauteur de la lame d'eau pour mesure de la hauteur de la lame, on

dispose d'un limnimètre vernier graduer en millimètre, étalonne pour une profondeur de 150 mm

La hauteur de la lame en amont du dispositif de mesure peut être mesurée au moyen d'un point limnimétrique, ou au moyen limnigraphie.

Dans plusieurs cas il est préférable de mesurer la hauteur de la lame dans un puits de mesurages séparés afin de réduire l'influence des irrégularités de la surface.

Il faut prévoir pour vérifier la position de zéro du dispositif de mesure de la hauteur de la lame, un niveau de référence rattaché au niveau déversoir.

Le contrôle du zéro, basé sur le niveau de l'eau quand l'écoulement cesse est sujet de graphes dues à l'influence de la tension superficielle, est cette méthode ne doit pas être employée.

On effectue par chaque débit 3 mesures de temps de la hauteur de l'eau pour plages de 1cm. On mesure de la lame de (-100 ; 0) amont. De(1 ;100) aval pour tous les régimes d'écoulement pour chaque déversoir.

- **Le limnimètre**

Le limnimètre 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 limnigraphie sur laquelle on lit le niveau de l'eau lors des jaugeages.

Le zéro de l'échelle limnimétrique doit être placé au-dessous des plus basses eaux possibles dans les conditions de creusement maximum du lit dans la section de contrôle et ce pour ne pas avoir de cotes négatives.

- **Puits de mesurages :**

Un puits de mesurages doit être vertical et avoir une marge de 0,6 m au-dessus du niveau maximal de l'eau susceptible d'être enregistré dans le puits.

Il doit être relié au chenal par une tuyauterie de liaison suffisamment grande pour permettre à l'eau dans le puits de suivre sans délai notable l'augmentation ou la diminution de la hauteur de la lame.

1-3. conditions d'application :

Les conditions d'écoulement doivent être limitées aux régimes de types permanents qui ne dépendent que de la hauteur de la charge en amont et en aval.

a. Choix de l'emplacement :

Il faut procéder au préalable à une étude préliminaire des conditions physiques et hydraulique :

- Existence d'une longueur suffisante de chenal, sans forte pente.
 - répartition des vitesses.
 - condition d'écoulement aval, y compris influence d'éléments tels que confluent avec d'autres cours d'eau, barrages et autres peuvent provoquer un écoulement noyé.
 - imperméabilité du sol sur lequel doit reposer le dispositif de déversoir.
 - Suppression des rochers et galets qui se trouvent dans le lit du canal d'approche.
 - effets du vent .celui-ci peut avoir une influence considérable sur l'écoulement en particulier si la rivière est large et la hauteur de la lame faible et que le vent dominant est dans une direction transversale.

b. conditions d'installation :

L'installation complète de mesurage comprend un chenal d'approche, un dispositif de mesurage et un chenal aval.

Les conditions exigées pour l'installation comprennent des caractéristiques telles que :

- Etat de la surface du déversoir.
- Forme de la section transversale du chenal.
- rugosité du chenal.
- Influence des appareils de mesurage en amont ou en aval du dispositif.

2. Etude des écoulements à travers les différents déversoirs :

Dans cette étude on a prélevé des mesures de la lame d'eau tout le long du canal pour les trois déversoirs pour chaque débit et pour les quatre ouvertures O_1 , O_2 , O_3 , O_4 de la vanne qui engendre le ressaut.

2.1. Tracé des écoulements :

a. Ecoulement à travers le déversoir de CRUMP :

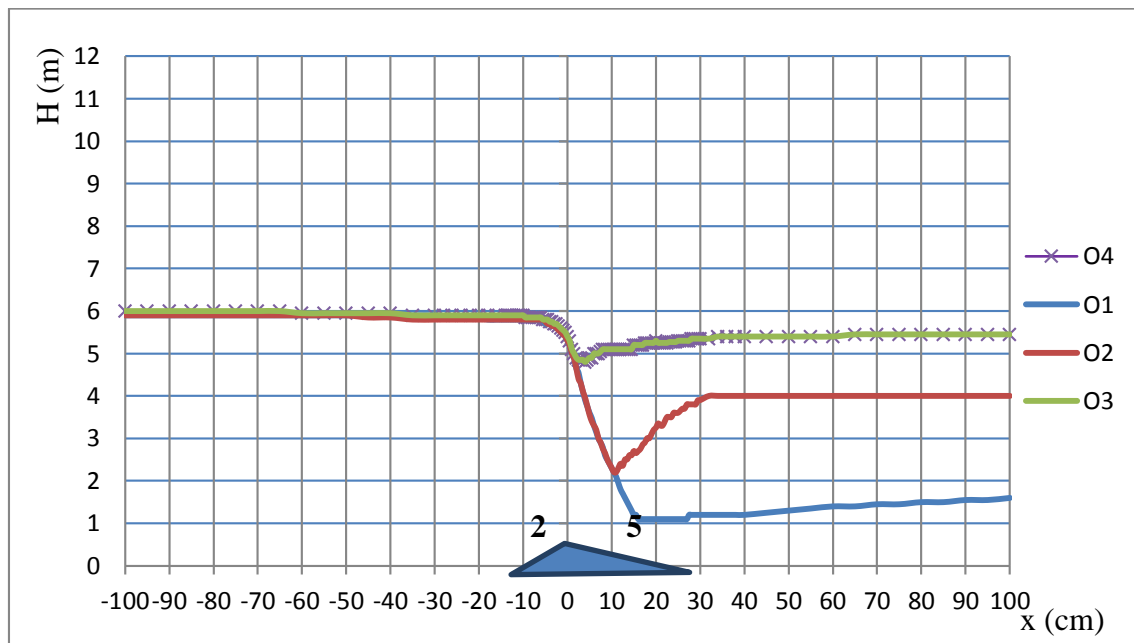


Figure (II-2) : Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP pour le débit $Q1$

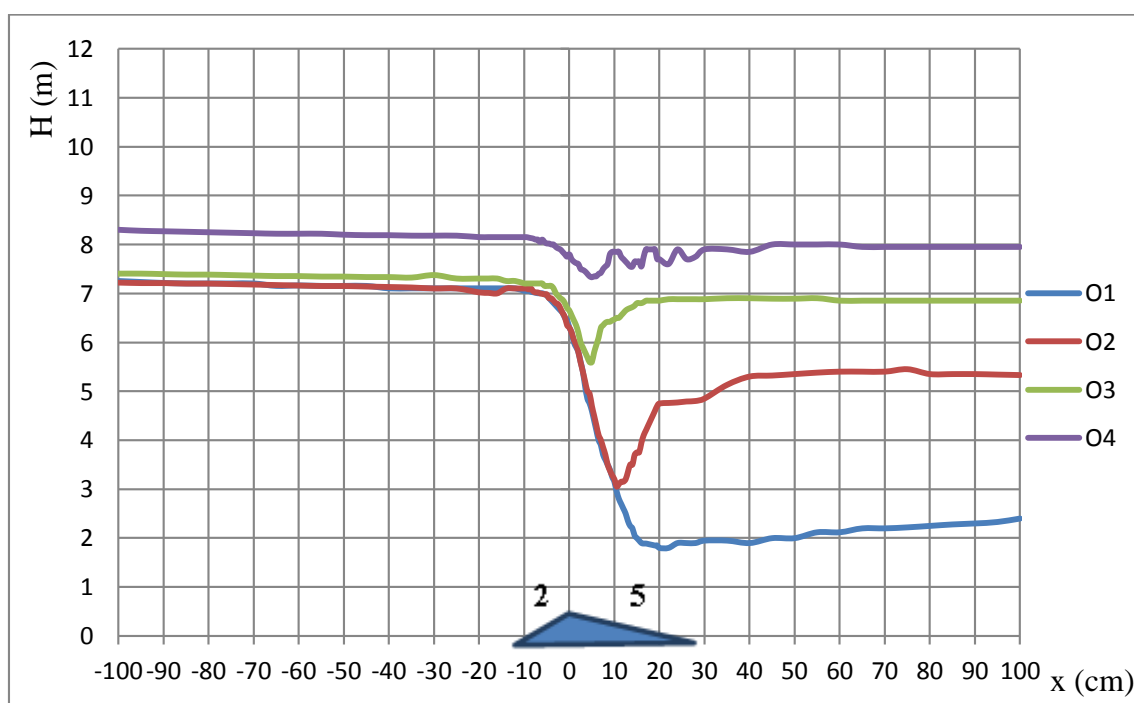
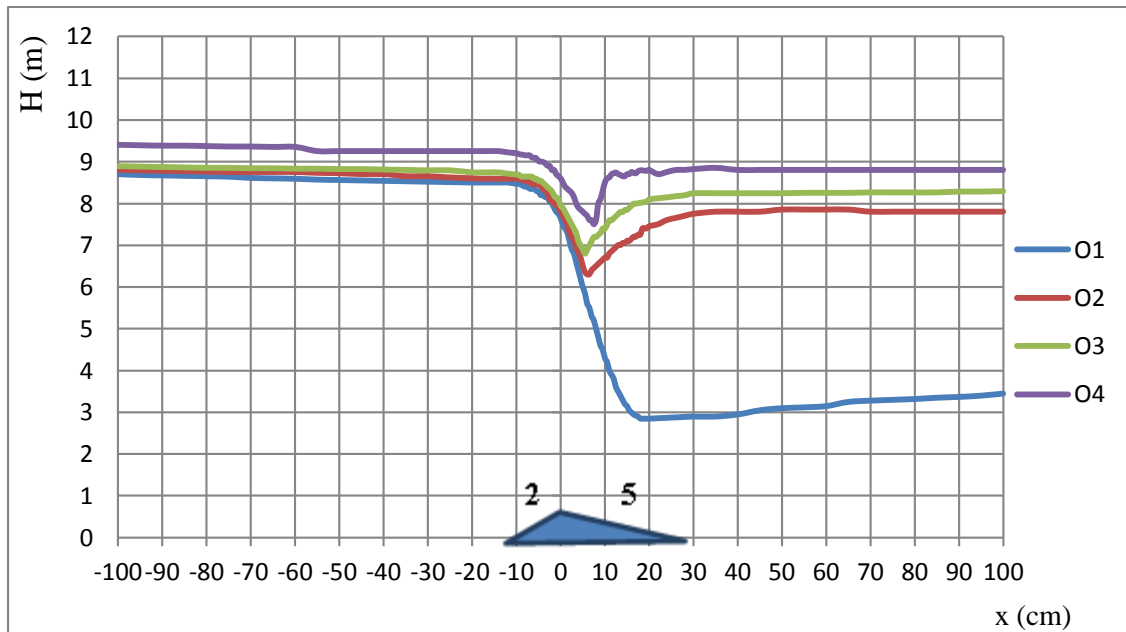
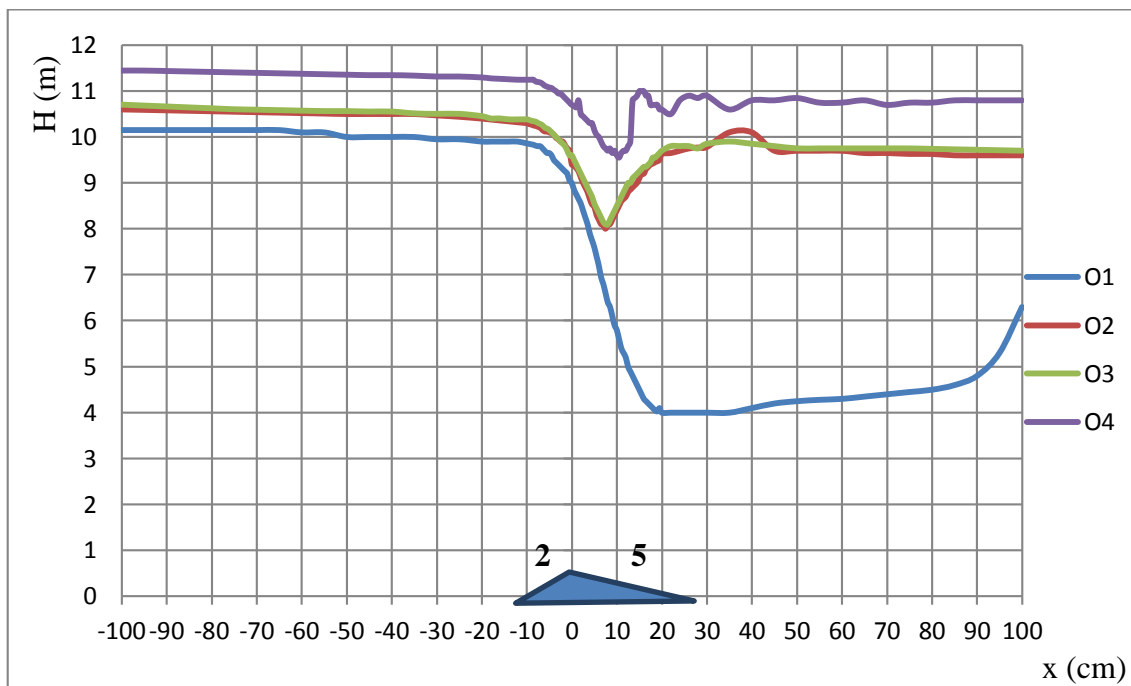


Figure (II-3) : Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP pour le débit Q_2 Figure (II-4) : Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP pour le débit Q_3 Figure (II-5) : Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP pour le débit Q_4

b. Écoulements à travers le déversoir à profil triangulaire (3 : 5)

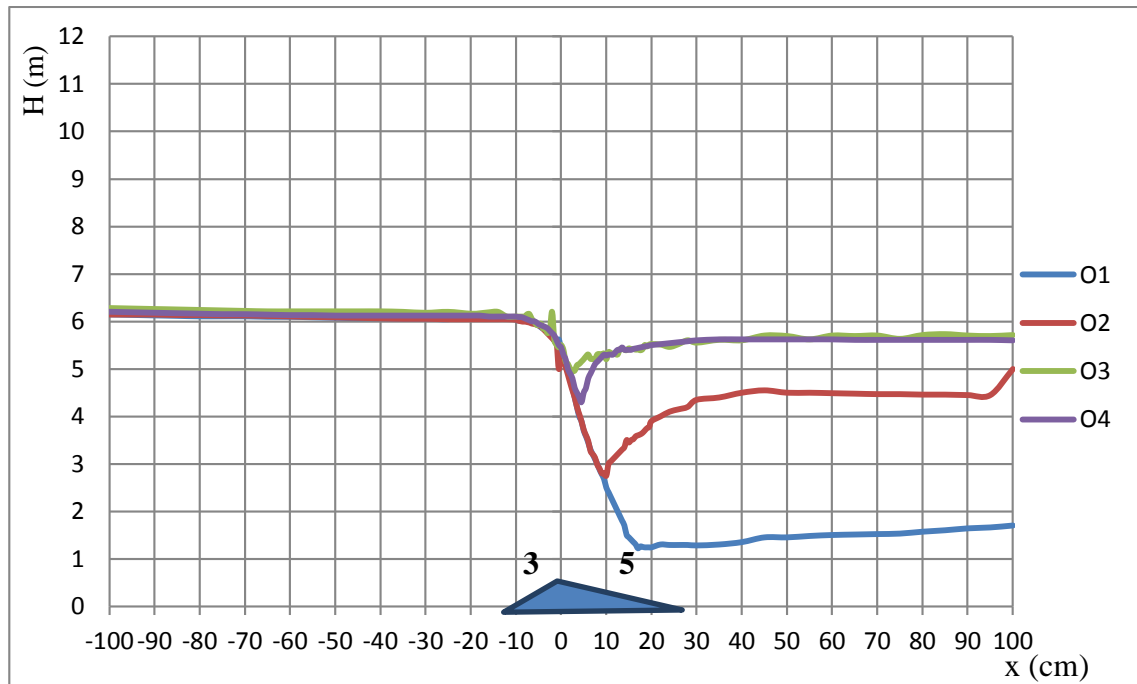


Figure (II-6) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5 pour le débit $Q1$

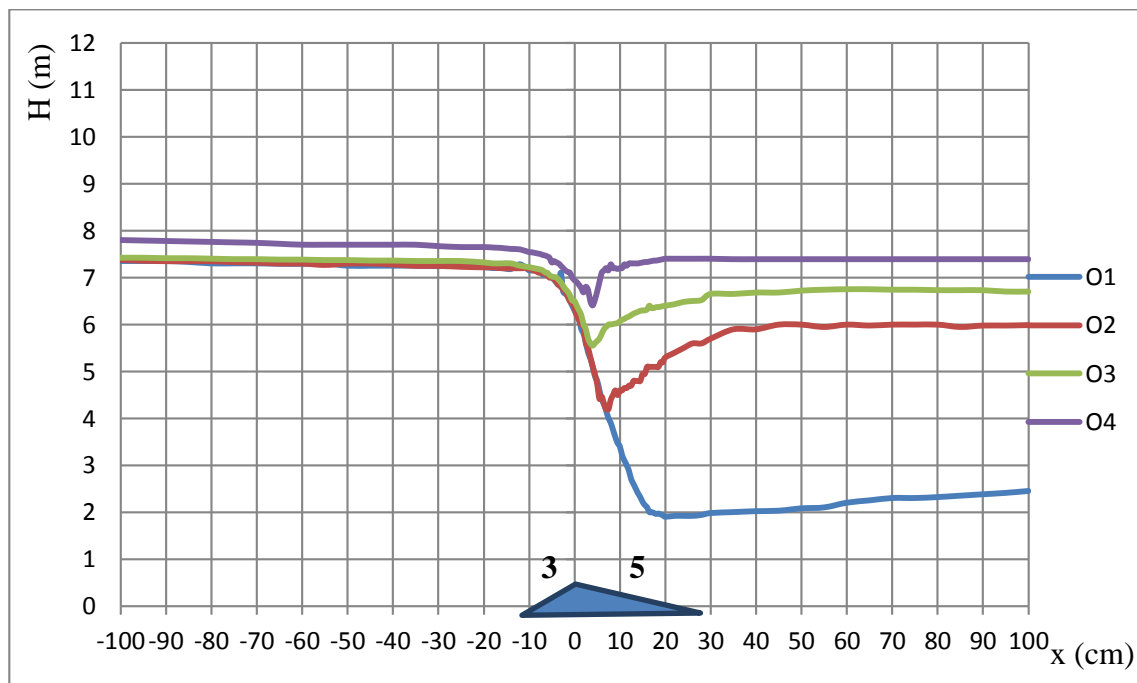


Figure (II-7) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5 pour le débit $Q2$

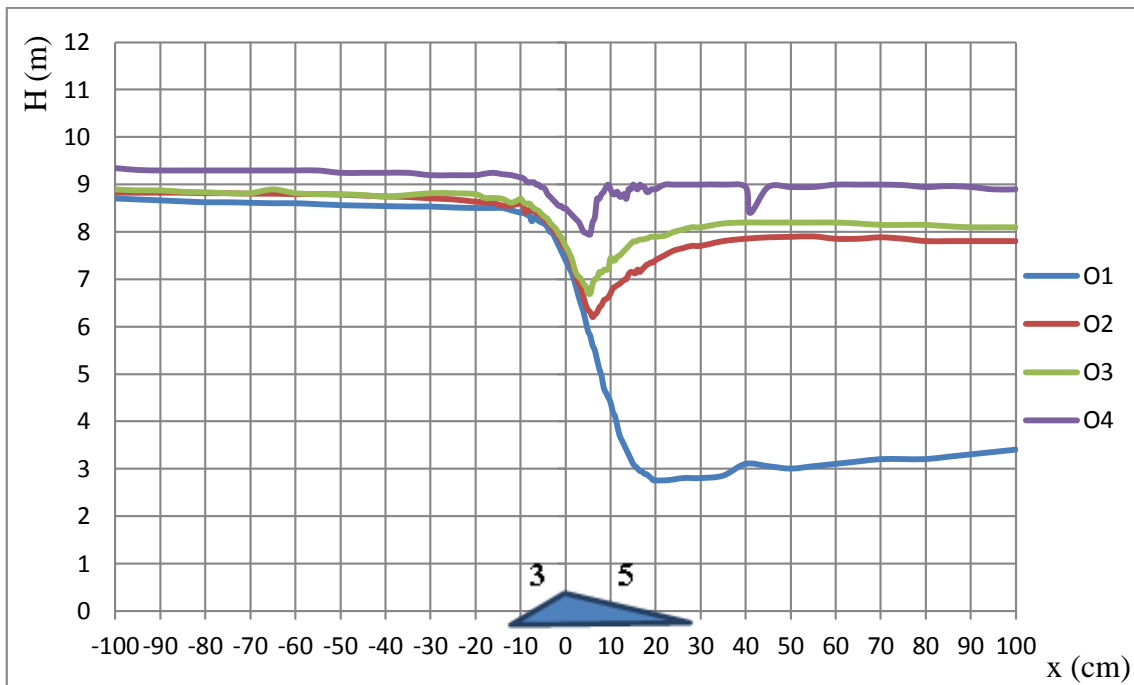


Figure (II-8) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5 pour le débit Q_3

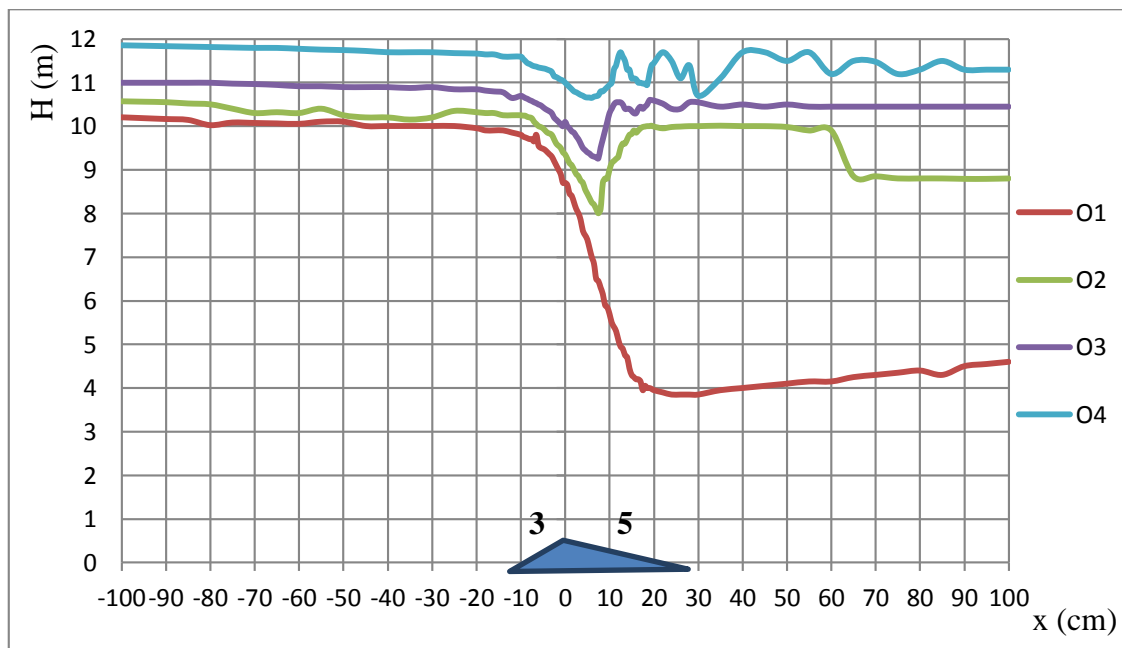


Figure (II-9) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5 pour le débit Q_4

c. *Écoulements à travers le déversoir à profil triangulaire (3 : 4)*

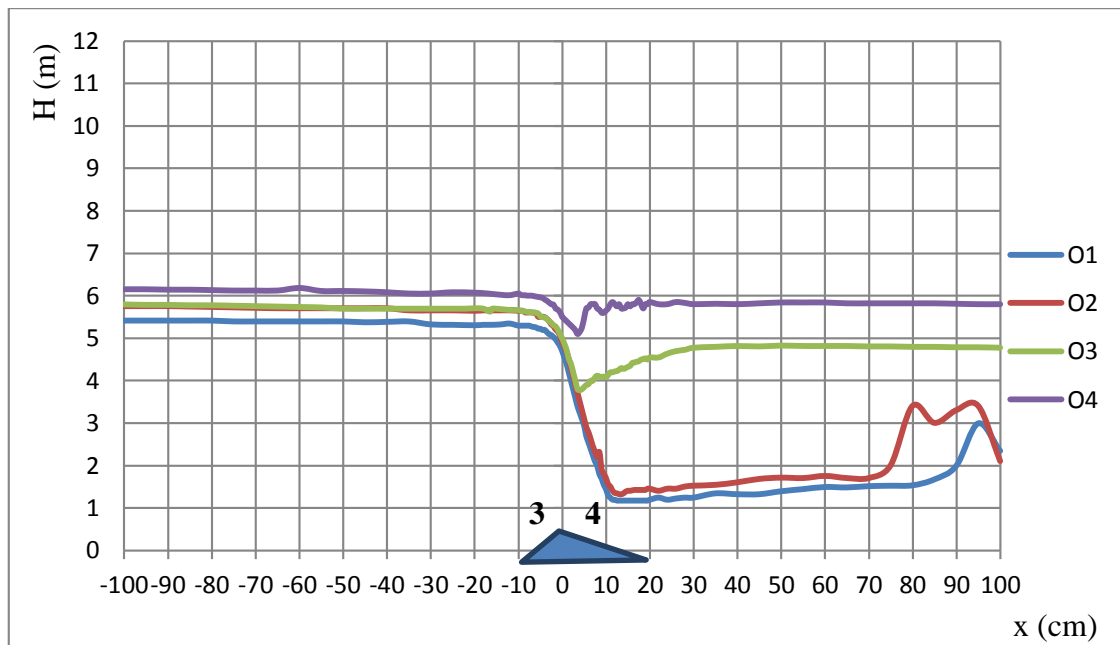


Figure (II-10) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :4 pour le débit $Q1$

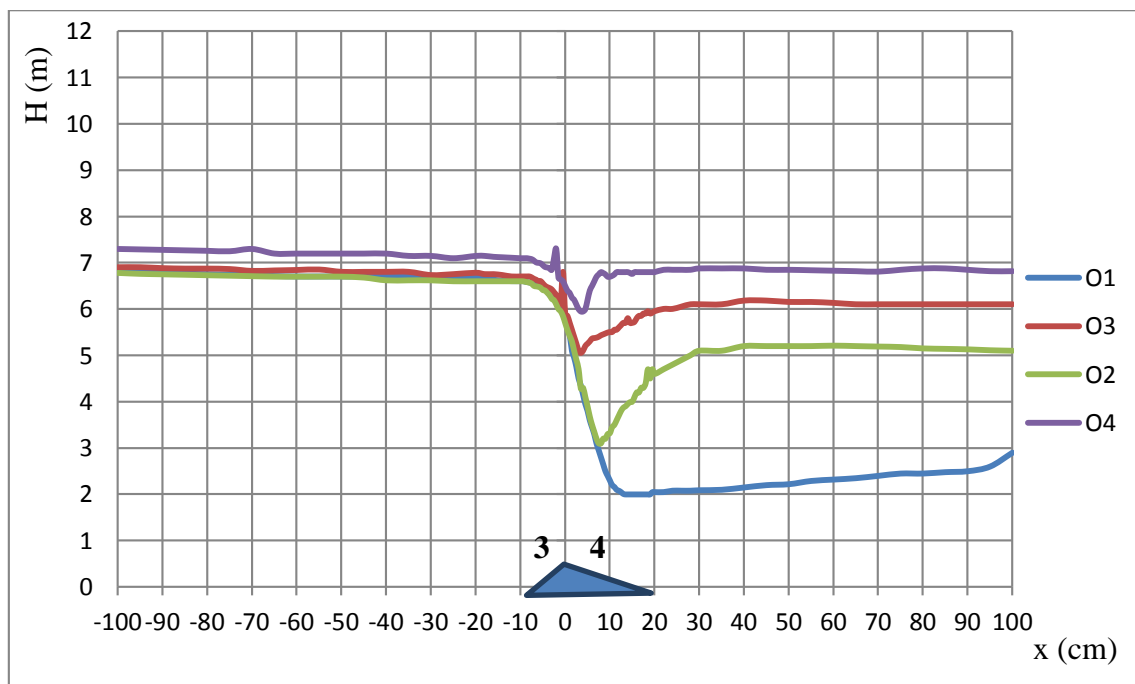


Figure (II-11) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :4 pour le débit $Q2$

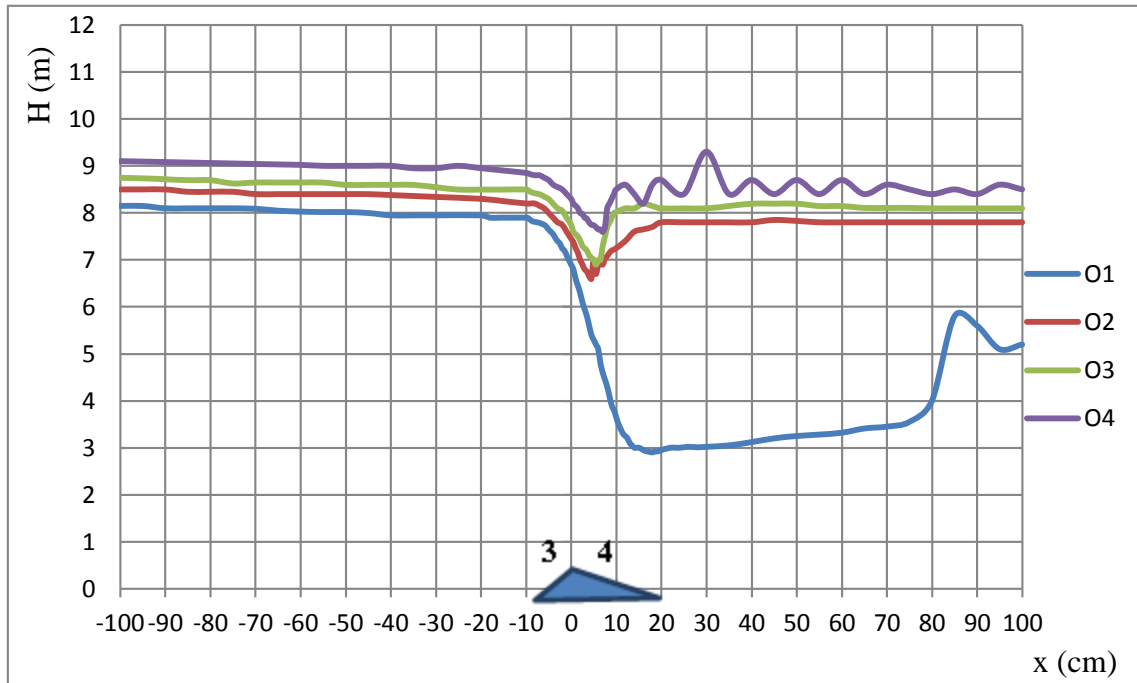


Figure (II-12) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :4 pour le débit Q_3

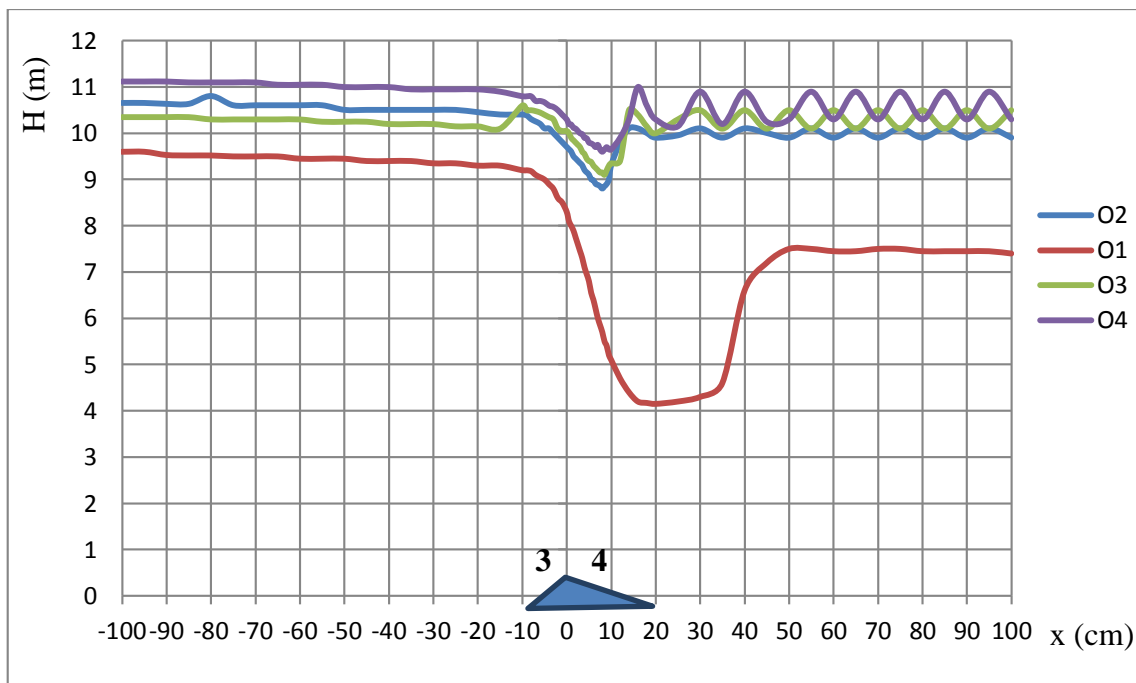


Figure (II-13) : Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :4 pour le débit Q_4

2.2. Caractéristiques physique et hydrodynamiques des écoulements :

a- Description de la section transversale de l'écoulement

L'écoulement à travers les déversoirs se compose de deux parties :

- **Zone morte**

C'est la partie du courant liquide endiguée par le déversoir, elle est dite zone morte car elle ne participe pas dans l'écoulement ; sa hauteur est celle du seuil du déversoir.

- **Chute motrice**

C'est la partie du courant liquide située au-dessus de la zone morte, elle est dite la chute motrice car elle permet de projeter de la nappe libre vers l'aval du déversoir, donc c'est elle qui gère le mouvement de l'eau.

b- Caractéristiques des différents régimes d'écoulement

Du point de vue nature d'écoulement, les déversoirs travail dans deux régimes :

- **Écoulement dénoyé :**

Définition :

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

L'écoulement dénoyé est caractérisé par :

-Une surface libre amont horizontale : le mouvement s'effectue avec une faible vitesse d'approche ; c'est l'état sous critique (Fluvial) .

-Un rabattement de la surface libre au niveau du profil du déversoir ; dans cette zone le mouvement s'accélère et permet à l'écoulement de passer du régime amont sous critique au régime aval sur critique, en passant par la section critique ; cette accélération s'effectue avec une faible pente d'énergie qui est négligeable.

-Un remous au pied du déversoir : le mouvement s'effectue avec une importante vitesse d'écoulement aval ; c'est le régime sur critique (fluvial).

Coefficient de débit **C_d** :

$$C_d = \frac{Q}{b} \cdot \sqrt{g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (II - 1)$$

Coefficient de vitesse **C_v** :

$$C_v = \left(\frac{h_0}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (II - 2)$$

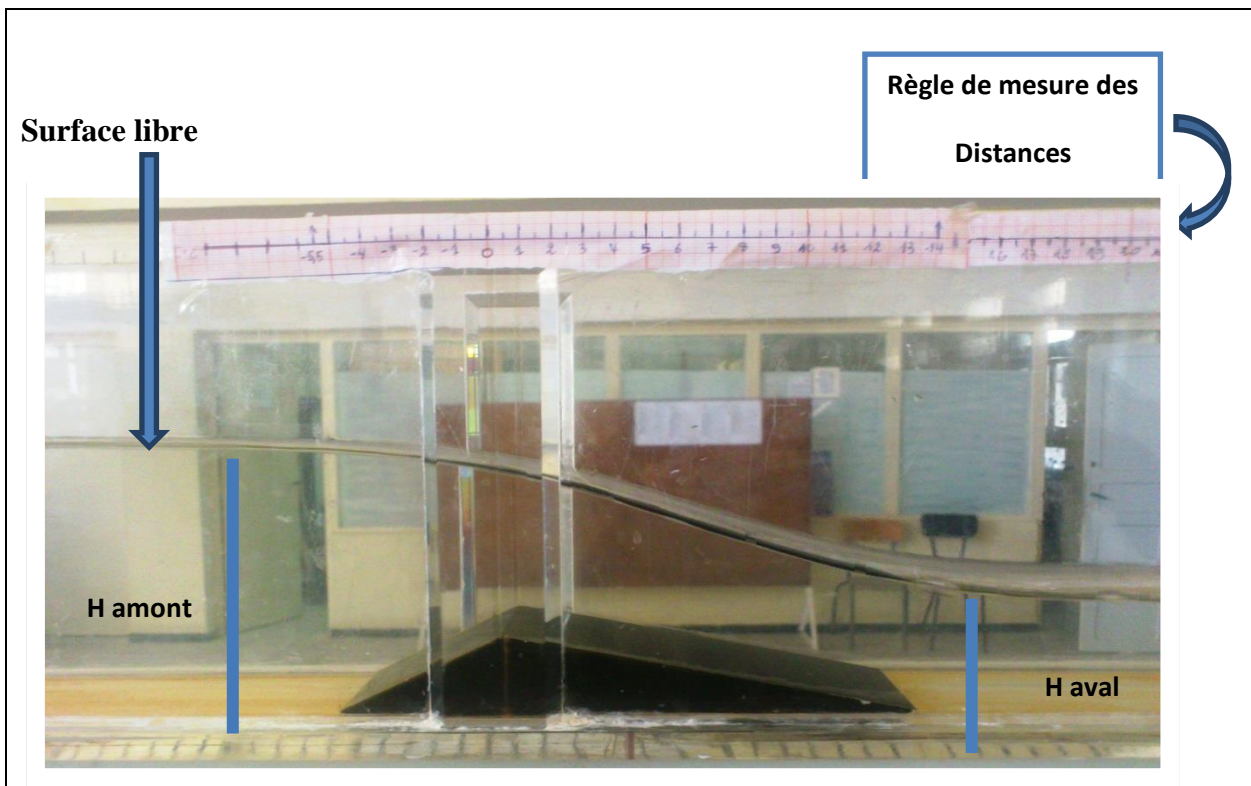


Figure (II-14) : visualisation de l'écoulement dénoyé à travers le déversoir de CRUMP

- **Détermination de la vitesse critique :**

$$Q = V_c \cdot S_c \Rightarrow V_c = \frac{Q}{S_c}$$

$$V_c = \frac{Q}{b \cdot h_c} \dots\dots\dots (II-3)$$

- **Détermination de la profondeur critique :**

La profondeur critique se détermine comme suit :

On a :

La formule de l'énergie cinétique

$$E_c = \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (II-4)$$

On considère l'égalité suivante :

$$\frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{A}{2 \cdot T}$$

On a : $Q = V \cdot A \Rightarrow V = \frac{Q}{A}$

Donc :

$$\frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A}$$

$$\Rightarrow \frac{Q^2}{g \cdot A^2} = \frac{A}{T}$$

$$\Rightarrow \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

$$\Rightarrow A = b \cdot h_c \quad \text{donc} \quad \frac{Q^2}{g} = \frac{b^3 \cdot h^3}{b}$$

Avec : T=b

$$\Rightarrow h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} \dots\dots\dots (I-5)$$

Les valeurs de h_c et V_c sont données dans le tableau suivant :

Tableau (II-1) : Section critique pour les différents débits cas du déversoir de CRUMP

Q (l/s)	2.95	1.93	1.11	0.58
h_c (mm)	54.03	40.72	28.16	18.27
V_c (m/s)	0.73	0.63	0.53	0.42

- **Ecoulement noyé**

Définition :

Un écoulement est dit « noyé » lorsque le niveau d'eau aval influence le niveau d'eau amont.

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

- Coefficient de submersion σ_s :

Le coefficient de submersion est calculé par la formule de Bazin suivante :

$$\sigma_s = (1,05 + 0,8 \cdot \frac{\Delta}{h_d}) \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{h_0}} \dots\dots\dots (I-6)$$

Avec :

h_0 : Hauteur de chute totale

z : Chute géométrique

Δ : Remontée du niveau aval

h_d : Hauteur du déversoir

Les expériences effectuées permettent d'observer trois phases d'écoulement noyé :

1- Première phases (début de submersion)

Cette phase est caractérisée par la formation d'un ressaut hydraulique au pied du déversoir, qui s'effectue avec une importante perte d'énergie et une remontée du niveau de la surface libre ; c'est le début de la submersion.

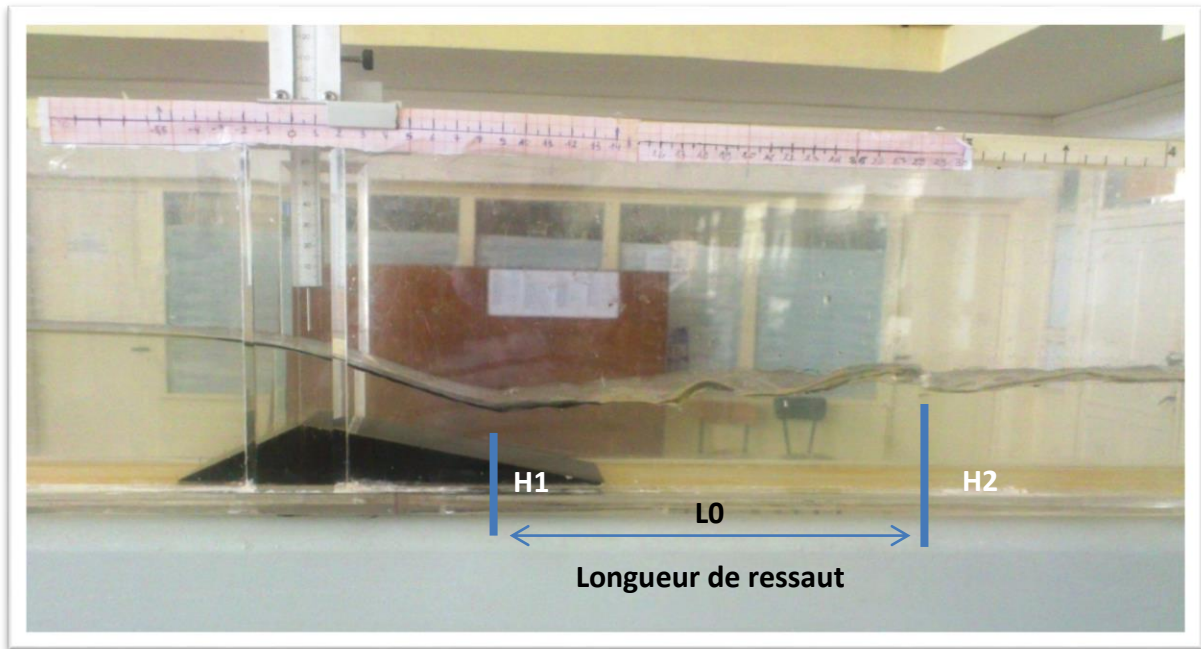


Figure (II-15) : Visualisation du début de submersion à travers le déversoir de CRUMP

La perte d'énergie du ressaut se détermine comme suit :

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\Delta E = \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2.g} \right) - \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2.g} \right) = (h_1 - h_2) + \left(\frac{V_1^2}{2.g} - \frac{V_2^2}{2.g} \right)$$

$$\text{On a : } q = \left(\frac{Q}{B} \right) \Rightarrow q = V_1.h_1 = V_2.h_2$$

$$\Delta E = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4.h_1.h_2} \dots\dots\dots (I-7)$$

Les pertes d'énergie provoquées par le ressaut hydraulique sont représentées dans les tableaux suivant :

Tableau (II-2) : Perte d'énergie du déversoir de CRUMP pour les différents débits

déversoir de CRUMP				
Q ΔE	Débit l/s	les hauteurs du ressaut (cm)		les pertes d'énergies (m)
ΔE1	Q1=0,58	H1	2,2	1,66E-03
		H2	4	
ΔE2	Q2=1,11	H1	3,1	7,63E-04
		H2	4,75	
ΔE3	Q3=1,93	H1	6,3	1,56E-04
		H2	7,75	
ΔE4	Q4=2,95	H1	8,1	1,50E-04
		H2	9,78	

Tableau (II-3) : Perte d'énergie du déversoir de talus 3 :5 pour les différents débits

Déversoir de talus3:5				
Q Δ E	Débit l/s	les hauteurs du ressaut (cm)		les pertes d'énergies (m)
ΔE1	Q1=0,58	H1	2,75	8,56E-04
		H2	4,35	
ΔE2	Q2=1,11	H1	4,42	3,11E-04
		H2	5,9	
ΔE3	Q3=1,93	H1	6,2	1,77E-04
		H2	7,7	
ΔE4	Q4=2,95	H1	8	2,50E-04
		H2	10	

Tableau (II-4) : Perte d'énergie du déversoir de talus 4 :5 pour les différents débits

Déversoir de talus 2:5				
Q ΔE	débit l/s	les hauteurs du ressaut (cm)		les pertes d'énergies(m)
ΔE1	Q1=0,58	H1	4	6,20E-05
		H2	4,78	
ΔE2	Q2=1,11	H1	5,1	8,04E-05
		H2	6,1	
ΔE3	Q3=1,93	H1	6,75	1,13E-04
		H2	8,1	
ΔE4	Q4=2,95	H1	8,9	7,48E-05
		H2	10,3	

2- Deuxième phase (écoulement noyé transitoire)

Dans la deuxième phase, le ressaut se déplace vers l'amont pour atteindre la section critique et engendre une faible perte d'énergie ; le niveau de la surface libre continue à s'élever.

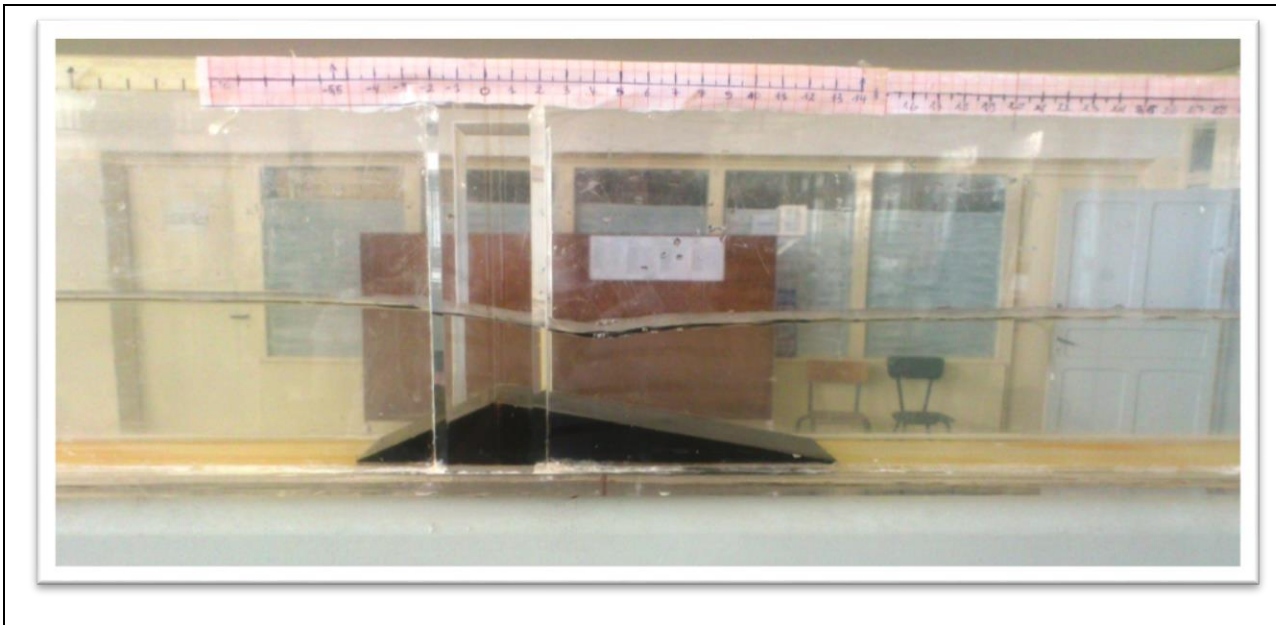


Figure (II-16) : Visualisation de l'écoulement noyé transitoire à travers le déversoir de CRUMP

3- Troisième phase

Le ressaut n'existe plus dans cette phase, mais des petites ondulations apparaissent au niveau de la surface libre délimitée par le profil du déversoir, la section critique ne devient plus critique et le niveau amont et aval sont pratiquement les mêmes, c'est la fin de la submersion, cette dernière provoque une diminution de débit.

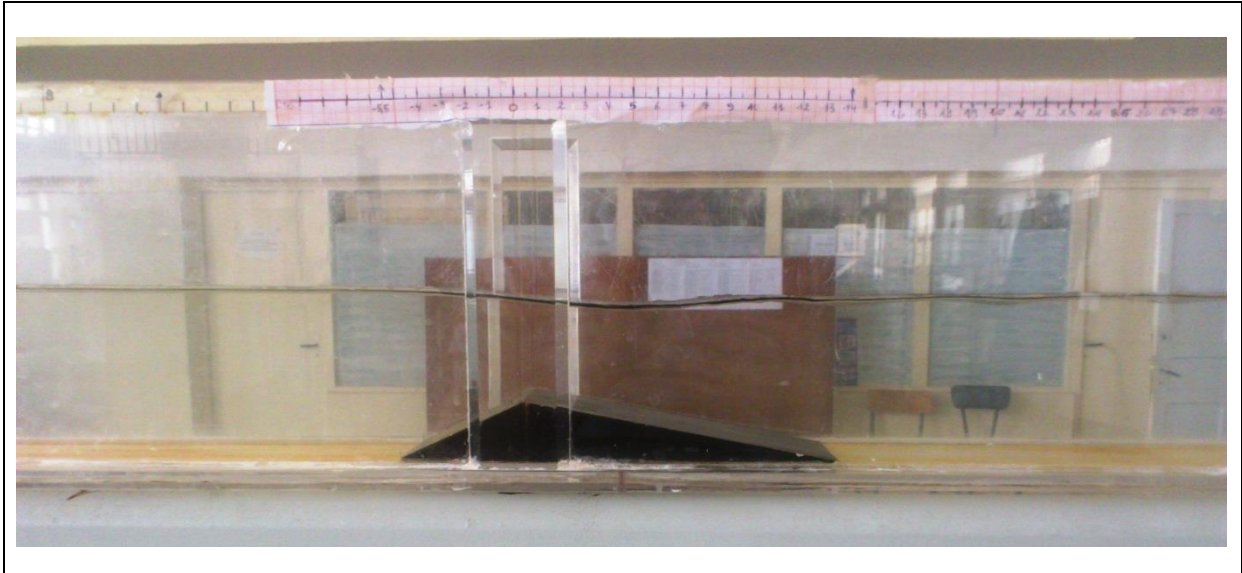


Figure (II-17) : Visualisation de la fin de submersion à travers le déversoir de CRUMP

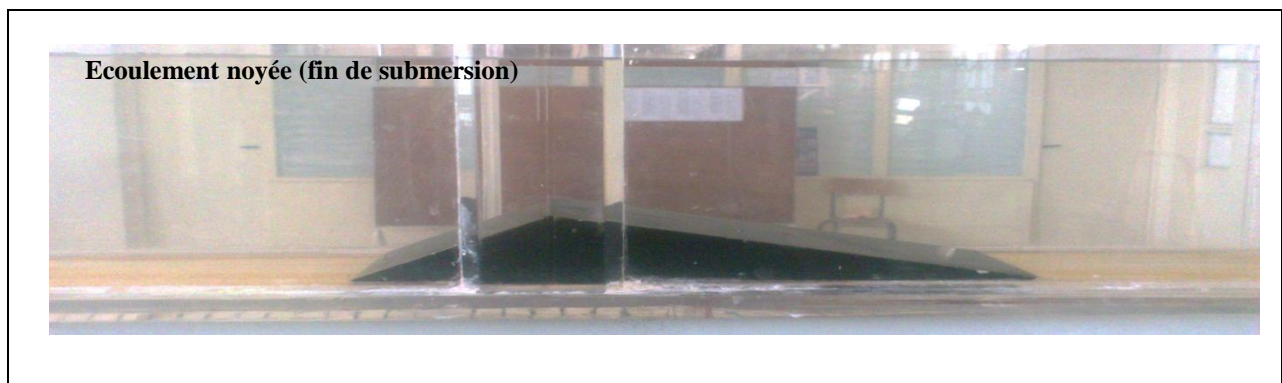
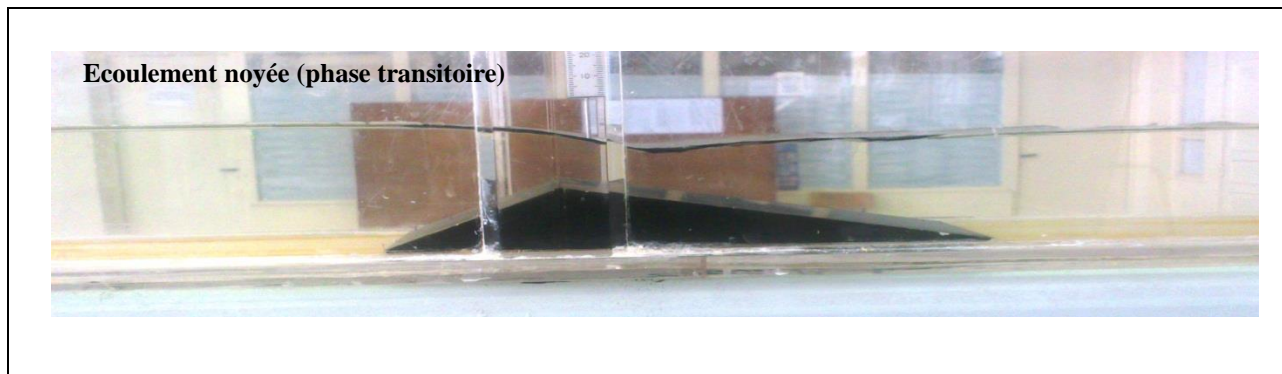
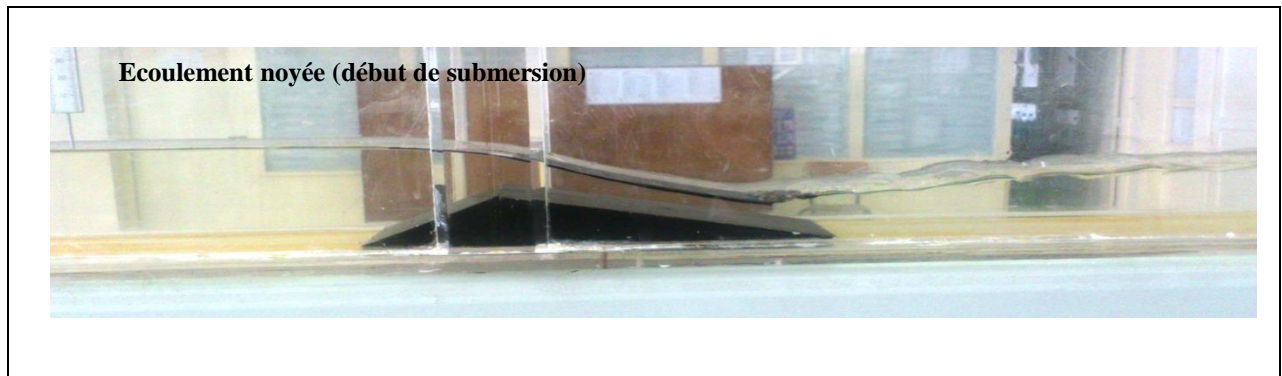


Figure (II-18) : visualisation des écoulements à travers le déversoir de CRUMP

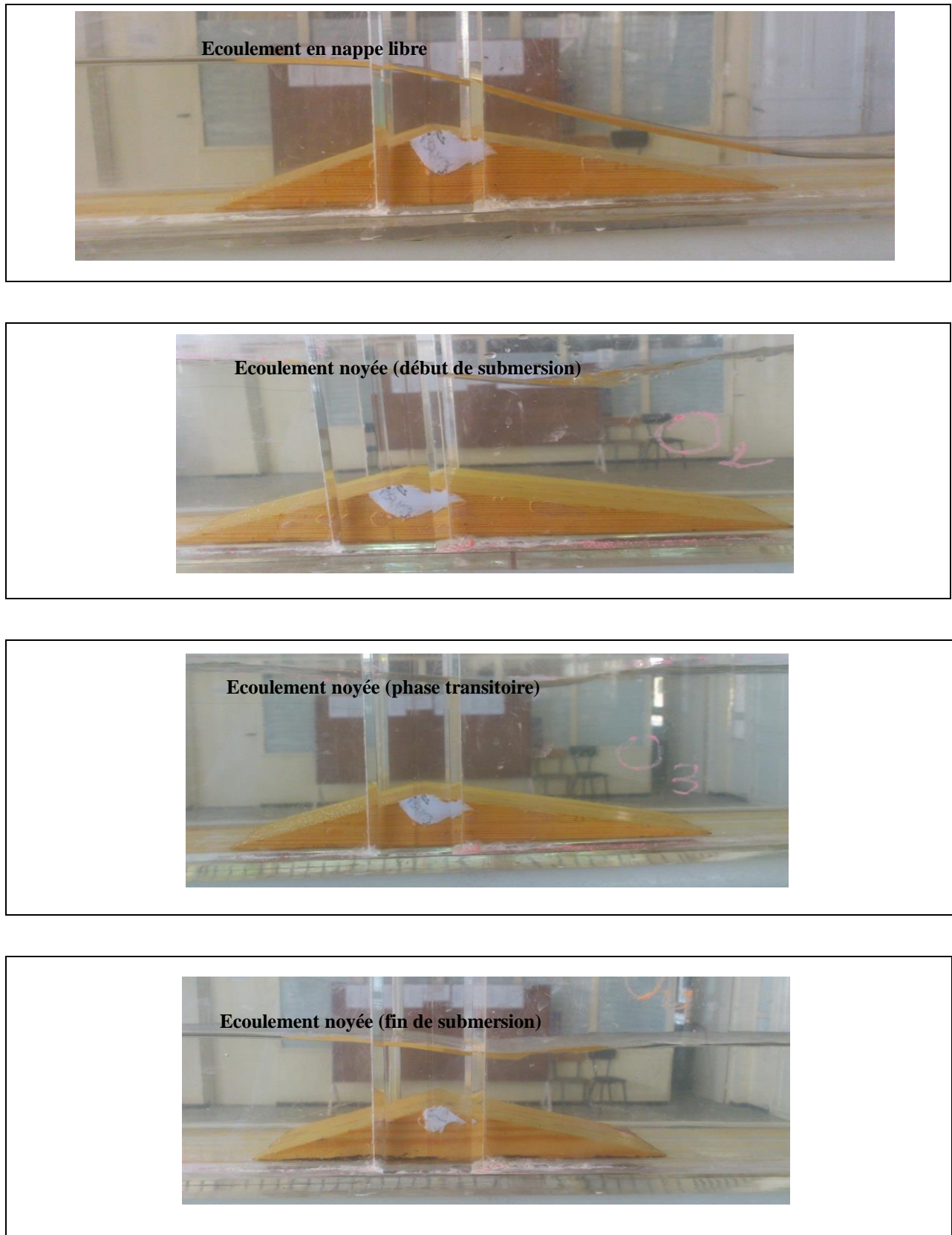


Figure (II-19) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir de talus (3 :5)

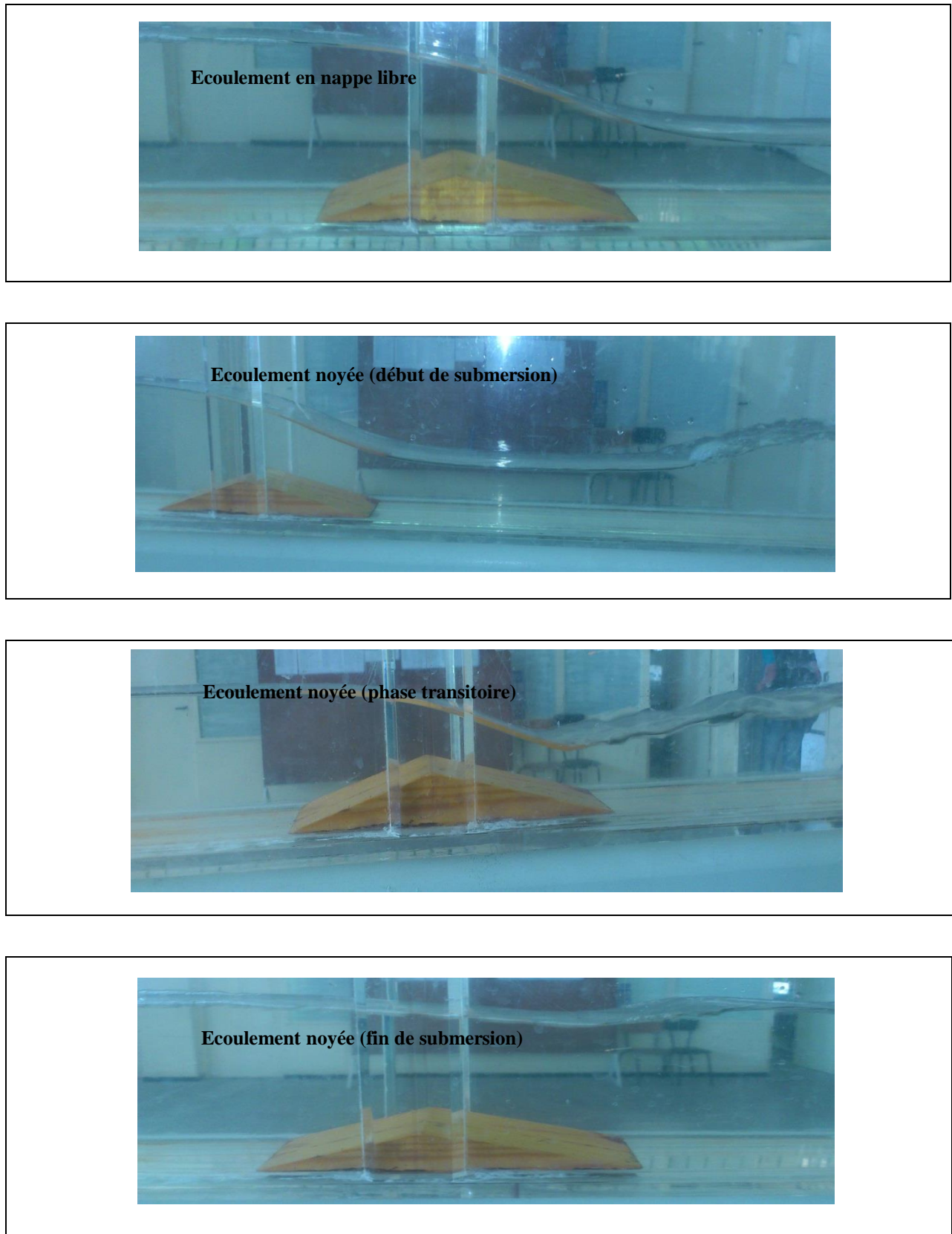


Figure (II-20) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir de talus (3 :4)

3. Etablissement des courbes caractéristiques des écoulements :

Afin d'étudier un déversoir donné, il est nécessaire de lui établir ses courbes caractéristiques, qui lui donnent son identité de base et qui nous permettent de l'exploiter.

Elles se résument dans les graphes suivants :

$$\begin{aligned} -h_0 &= f(Q) \\ -\log(h_0) &= \log(Q) \\ -C &= f(h_0/h_d) \\ -C_v &= f(h_0/h_d) \\ -C_v &= f(C) \\ -\sigma_s &= f(\Delta/h_0) \end{aligned}$$

3.1. Courbes caractéristiques de l'écoulement dénoyé

a. Détermination des coefficients C et C_v

- Détermination du coefficient de débit C

On a l'expression générale de débit :

$$Q = mb \cdot \sqrt{2g} \cdot h_0^{3/2} \dots\dots\dots (II-8)$$

$$\text{Avec : } m = c / \sqrt{2} \Rightarrow C = m \cdot \sqrt{2}$$

$$Q = C / \sqrt{2} \cdot b \cdot \sqrt{(2 \cdot g)} \cdot h_0^{3/2} \dots\dots\dots (II-9)$$

$$C = Q \cdot \sqrt{2} / b \cdot \sqrt{(2 \cdot g)} \cdot h_0^{3/2} \dots\dots\dots (II-10)$$

$$C = \frac{Q}{b \cdot \sqrt{g} \cdot h_0^{3/2}} \dots\dots\dots (II-11)$$

- Détermination du coefficient de la vitesse d'approche C_v :

$$C_v = (h_0/h)^{3/2} \dots\dots\dots (II-12)$$

$$h_0 = h + E_c \Rightarrow h_0 = \frac{h + v_0^2}{2 \cdot g}$$

On calcul V_0 :

$$Q = V_0 \cdot S_0 \Rightarrow V_0 = Q / S_0$$

$$V_0 = \frac{Q}{b (h_d + h)} \dots \dots \dots (II-13)$$

• **Exemple de calcul :**

Soit le calcul de C et C_v pour le déversoir de CRUMP (pour le débit Q_1)

$$V_0 = \frac{(2,95 \cdot 10^{-3})}{[75 \cdot 10^{-3} (30 + 71,5) \cdot 10^{-3}]} = 0,388 \text{ m/s}$$

$$h_0 = 71,5 + \frac{(0,388)^2 \cdot 10^{-3}}{75 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{9,81}} = 79,154 \text{ mm}$$

$$C = \frac{2,95 \cdot 10^{-3}}{75 \cdot 10^{-3} \sqrt{9,81} (79,154 \cdot 10^{-3})^{3/2}} = 0,564$$

En procédant de la même manière pour les autres débits pour chaque déversoir, on obtient les résultats représentés dans les tableaux suivants :

Tableau (II-5) : caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de CRUMP

Q(l/s)	h(mm)	V_0	$\frac{V_0^2}{2 \cdot g}$	h_0 (mm)	C	C_v	$\frac{h_0}{h_d}$
2,95	71,5	0,388	7,654	79,154	0,564	1,165	2,638
1,93	57	0,296	4,459	61,459	0,539	1,120	2,049
1,11	42,5	0,204	2,124	44,624	0,501	1,076	1,487
0,58	29	0,131	0,876	29,876	0,478	1,046	0,996

Tableau (II-6) : caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de talus 3 :4

Q(l/s)	h(mm)	V_0	$\frac{V_0^2}{2.g}$	h_0 (mm)	C	C_v	$\frac{h_0}{h_d}$
2,95	72	0,466	11,070	83,070	0,525	1,239	8,144
1,93	56,8	0,372	7,048	63,848	0,509	1,192	6,260
1,11	43,5	0,265	3,573	47,073	0,463	1,126	4,615
0,58	31,5	0,176	1,582	33,082	0,410	1,076	3,243

Tableau (II-7) : caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de talus 3 :5

Q(l/s)	h(mm)	V_0	$\frac{V_0^2}{2.g}$	h_0 (mm)	C	C_v	$\frac{h_0}{h_d}$
2,95	71	0,410	8,556	79,556	0,560	1,186	3,182
1,93	56,6	0,315	5,069	61,669	0,536	1,137	2,467
1,11	43	0,218	2,414	45,414	0,488	1,085	1,817
0,58	29,2	0,143	1,038	30,238	0,470	1,054	1,210

b. Tracé des courbes caractéristiques de l'écoulement dénoyé :

➤ Courbes caractéristiques du déversoir CRUMP :

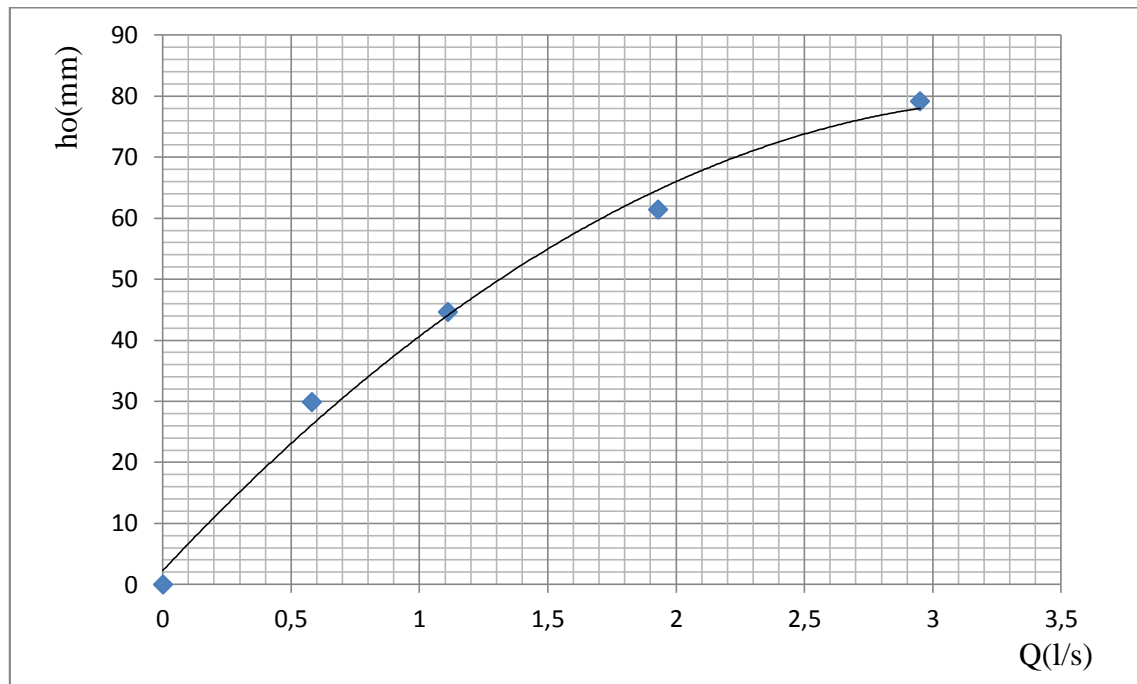


Figure (II-21) : Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale

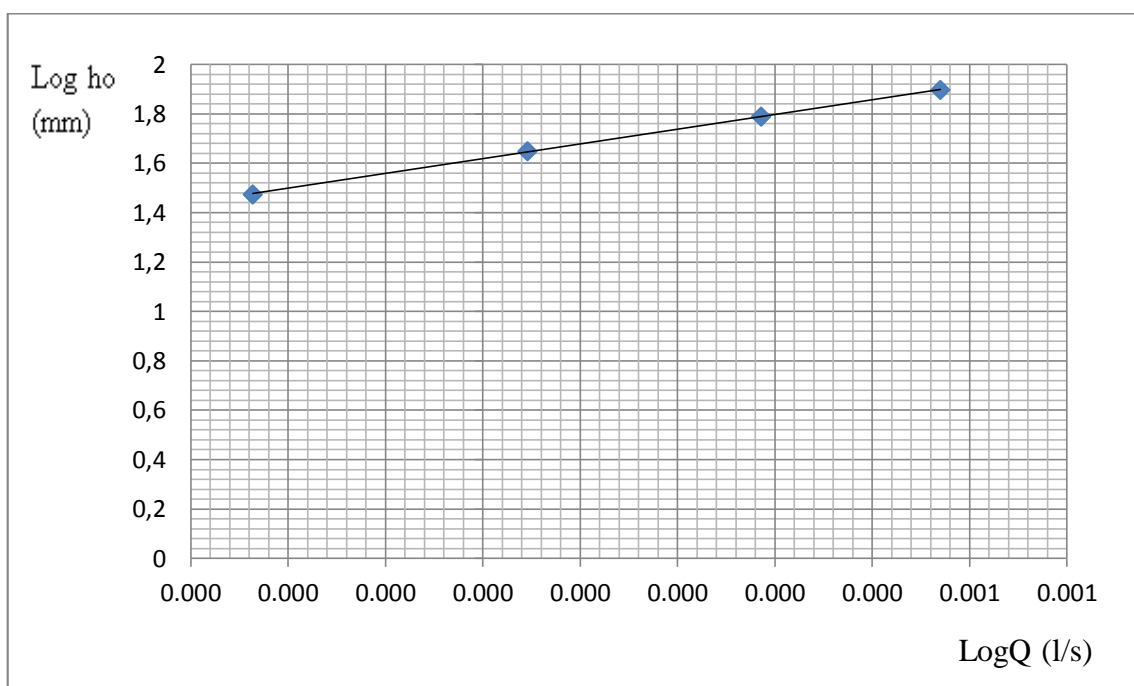


Figure (II-22) : Tracé logarithmique

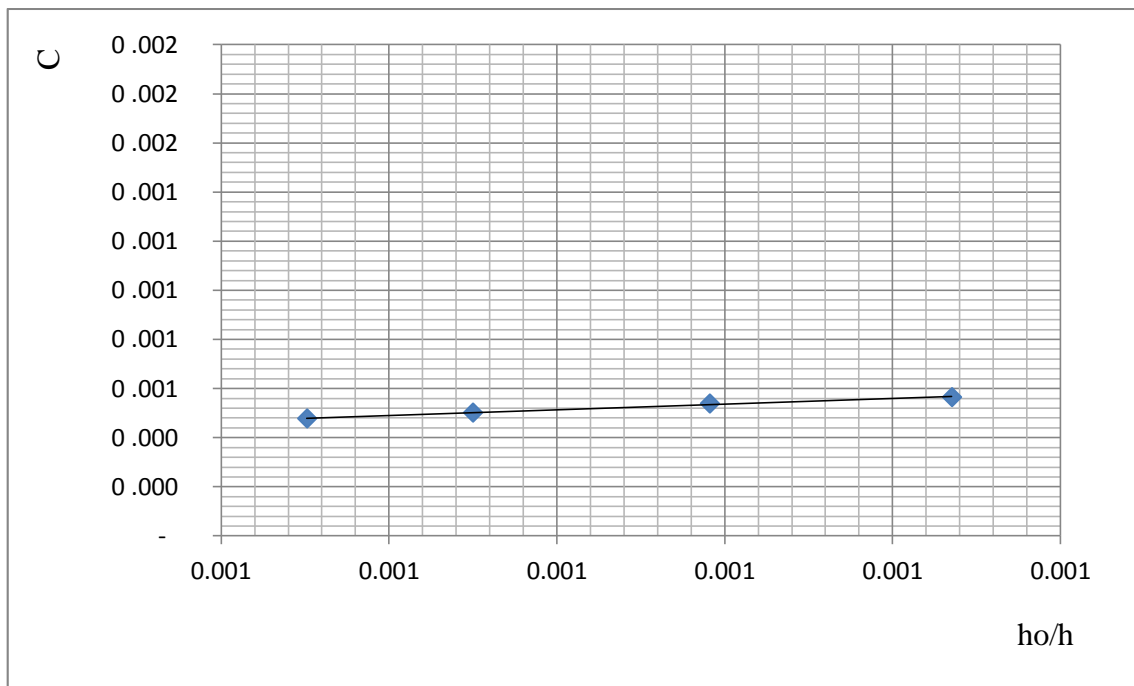


Figure (II-23) : Variation de C en fonction des rapports h_0/h

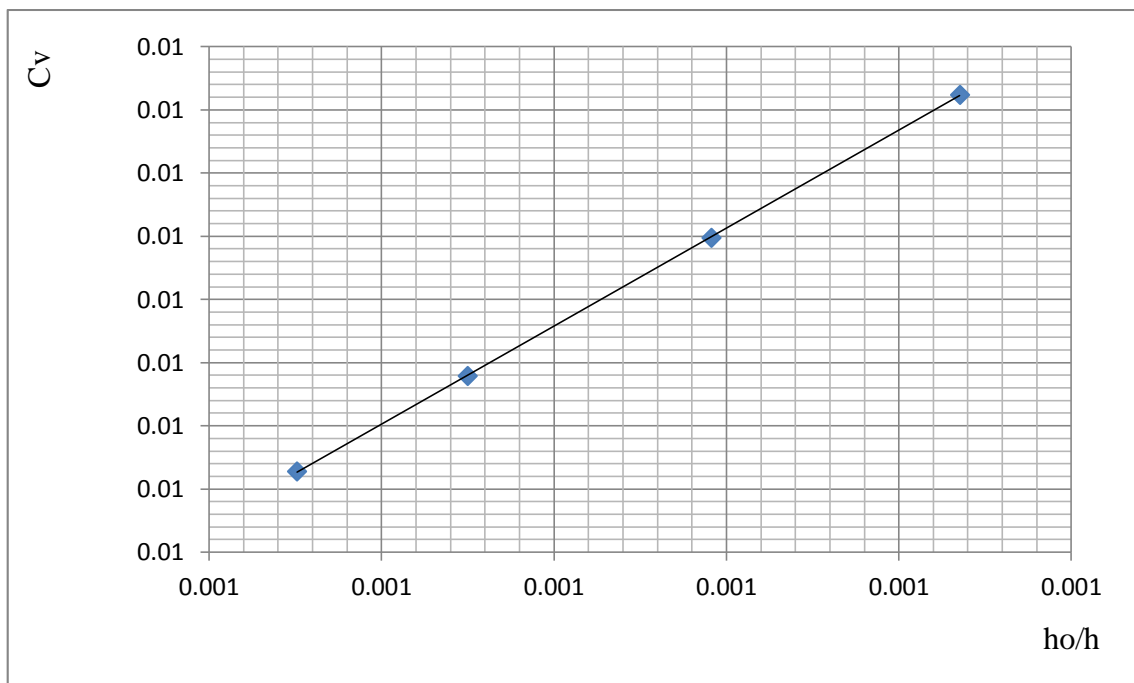


Figure (II-24) : Variation de C_v en fonction des rapports h_0/h .

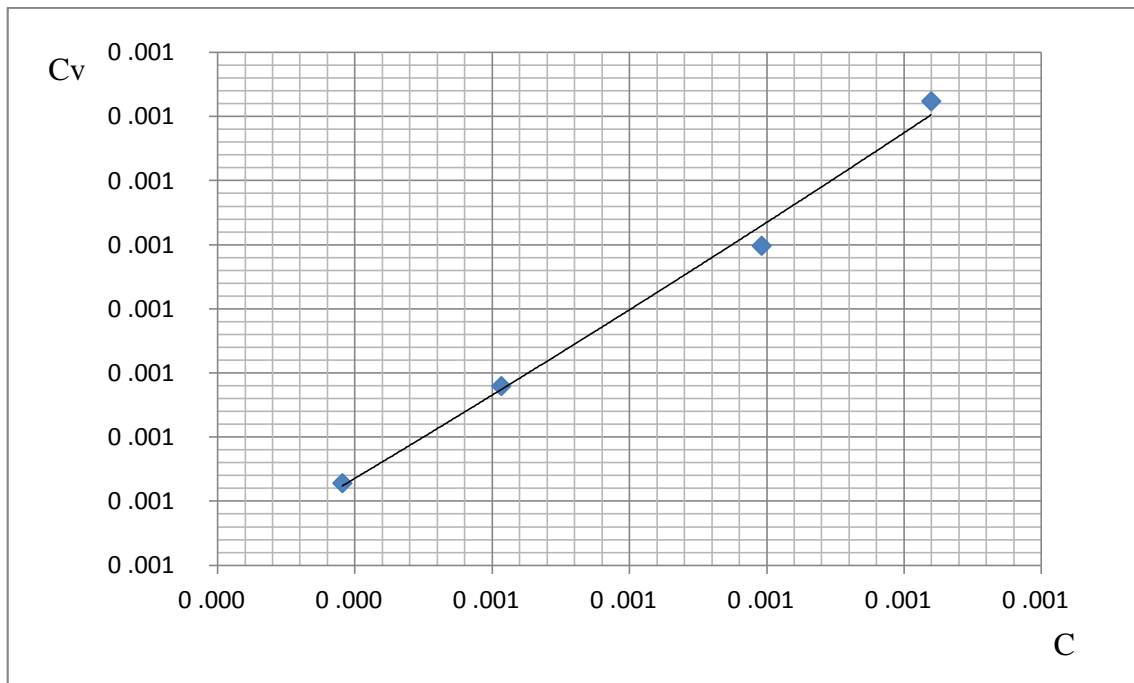


Figure (II-25) : Variation de C_v en fonction de C

➤ **Courbes caractéristiques du déversoir à profil triangulaire:(3 :5)**

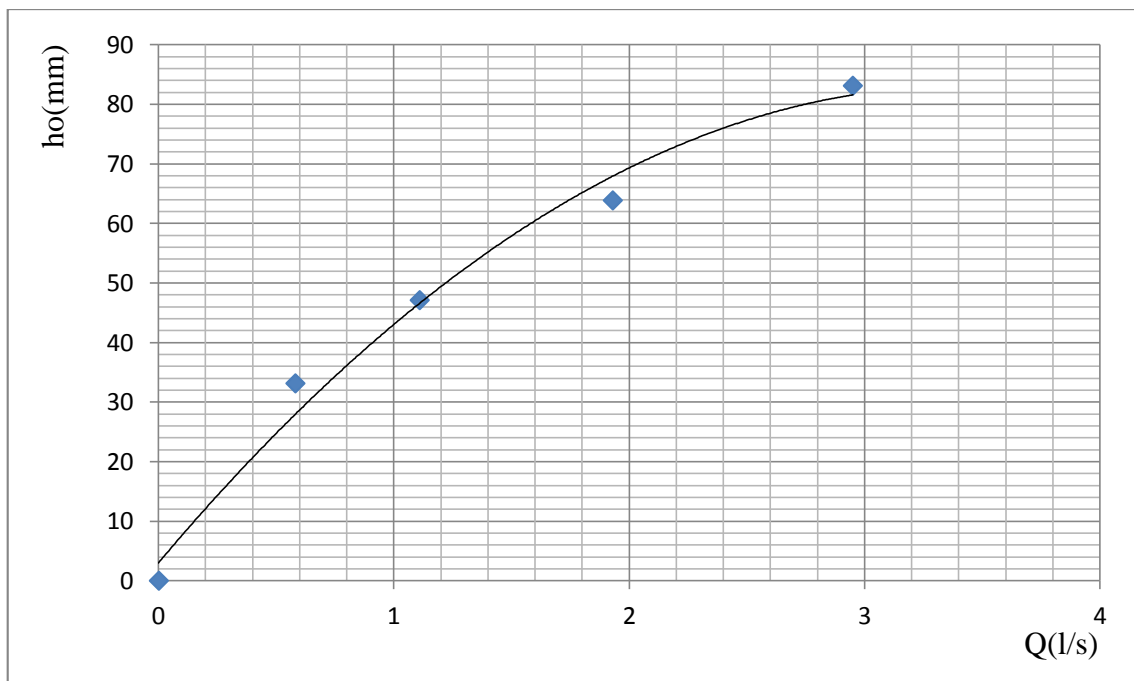


Figure (II-26) : Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale

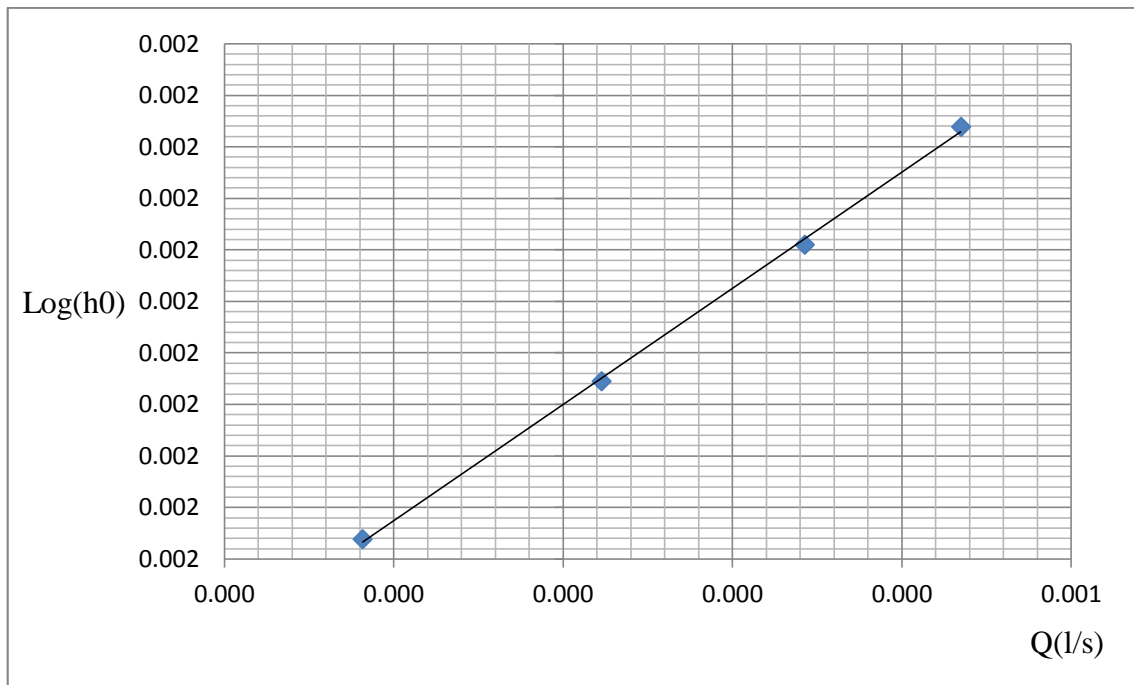


Figure (II-27) : Tracé logarithmique

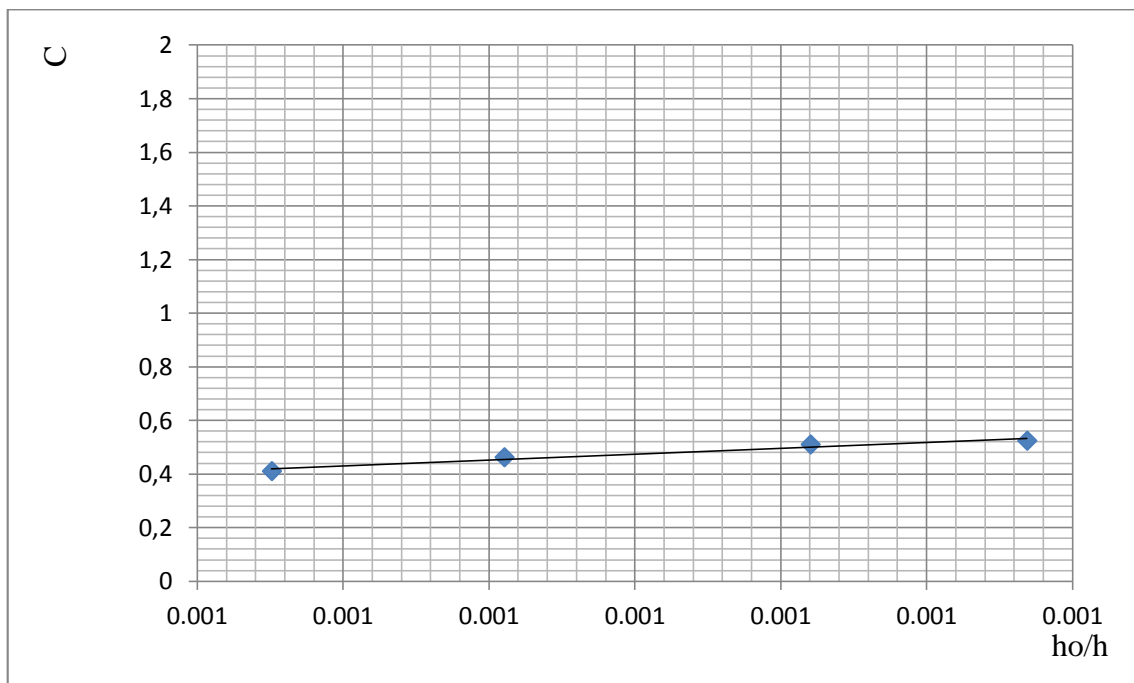


Figure (II-28) : Variation de C en fonction des rapports h_0/h .

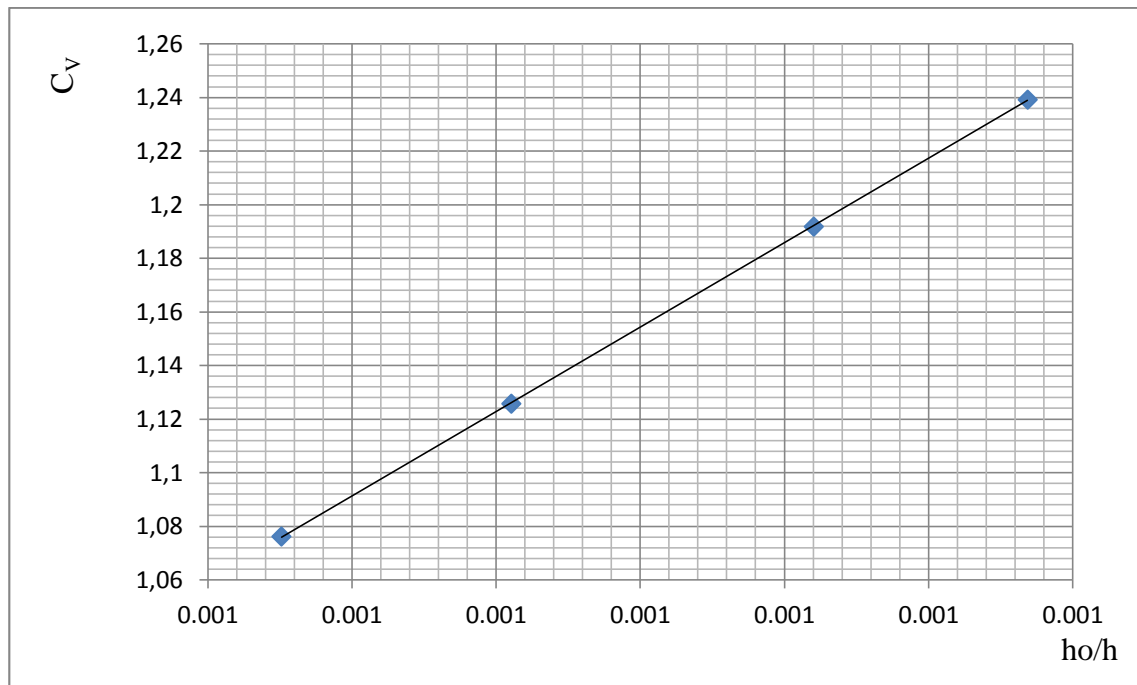


Figure (II-29) : Variation de C_v en fonction des rapports h_0/h

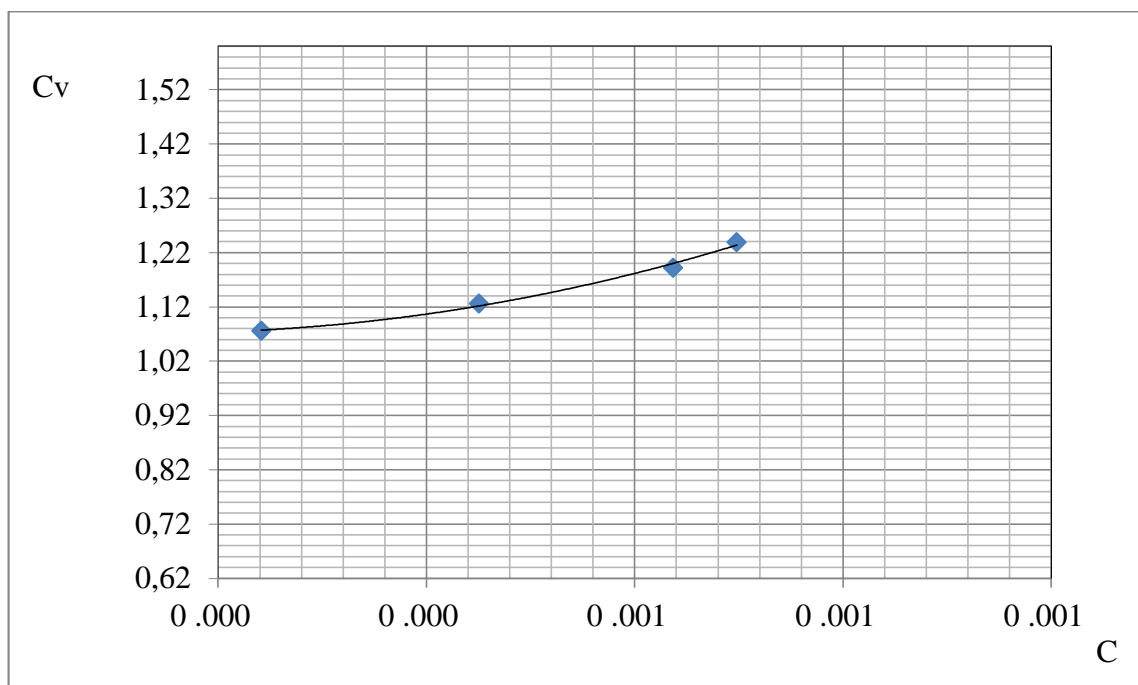


Figure (II-30) : Variation de C_v en fonction de C .

- **Courbes caractéristiques du déversoir à profil triangulaire (4 :5)**

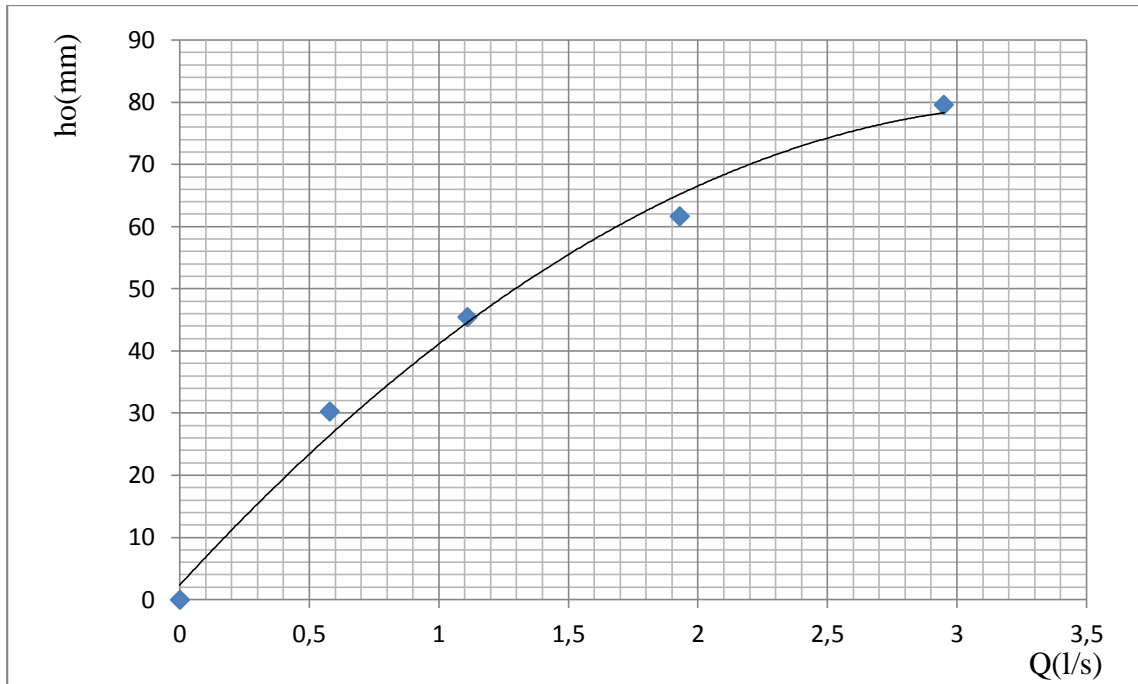


Figure (II-31) : Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale

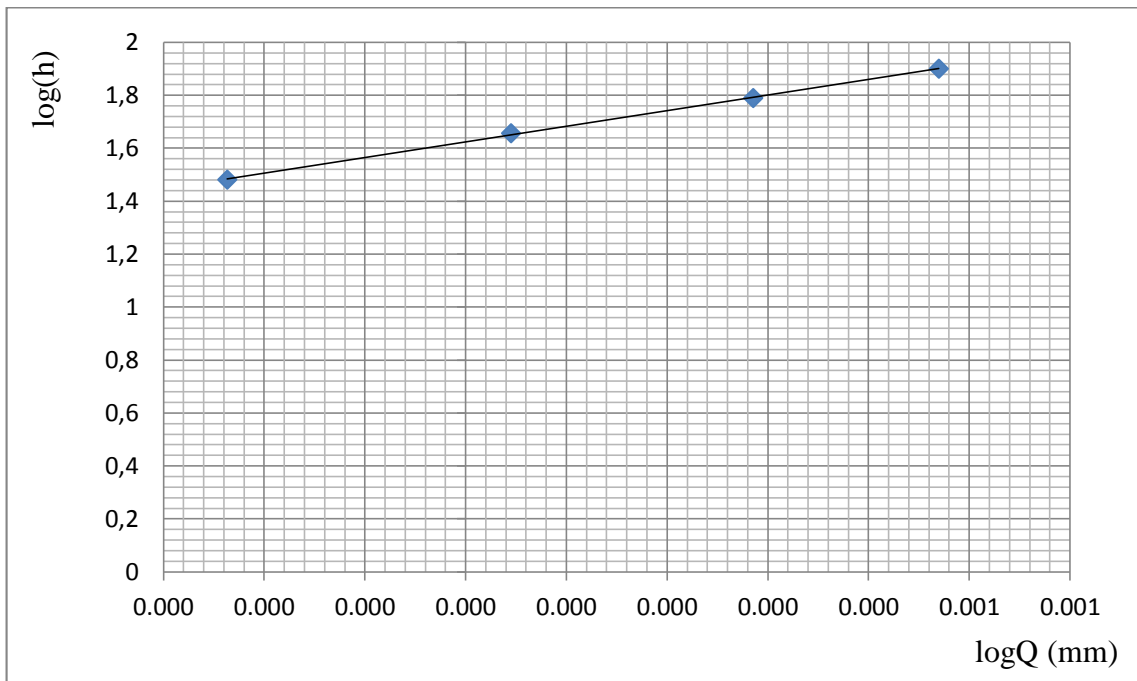


Figure (II-32) : Tracé logarithmique

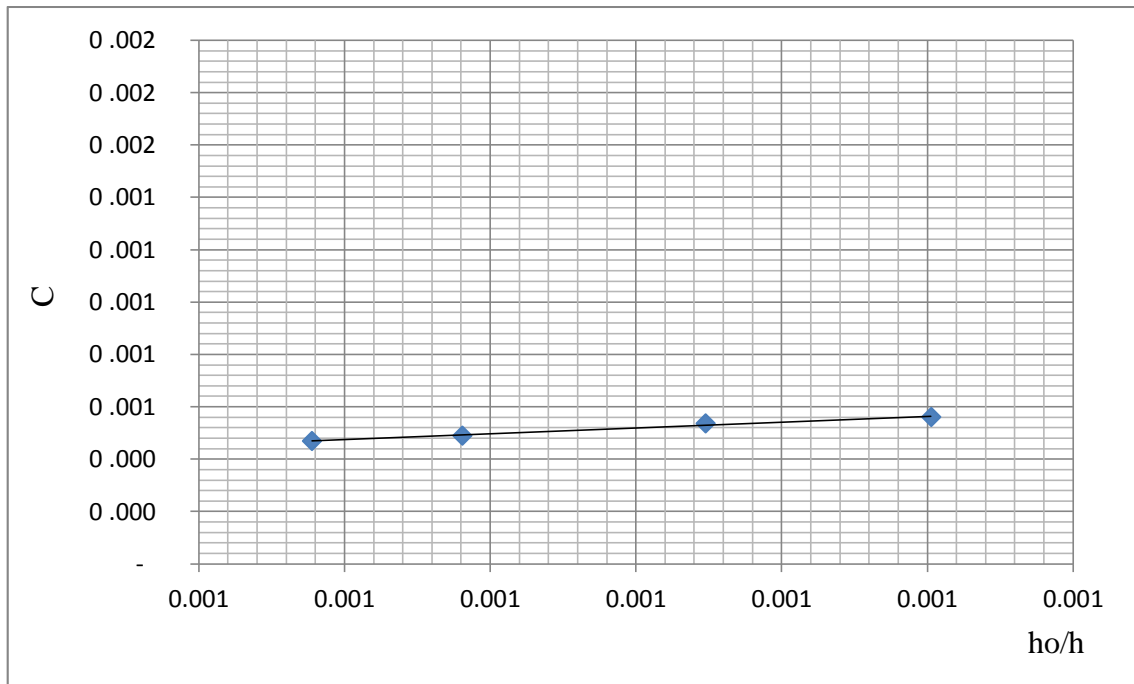


Figure (II-33) : Variation de C en fonction des rapports h_0/h

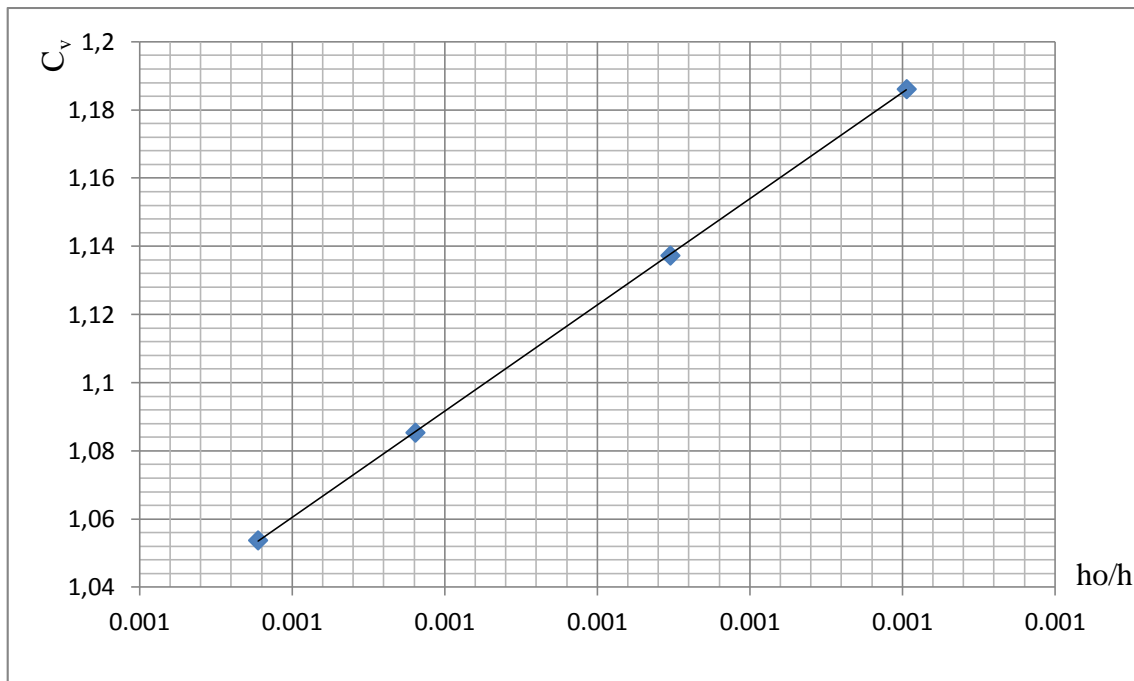


Figure (I-34) : Variation de C_v en fonction des rapports h_0/h

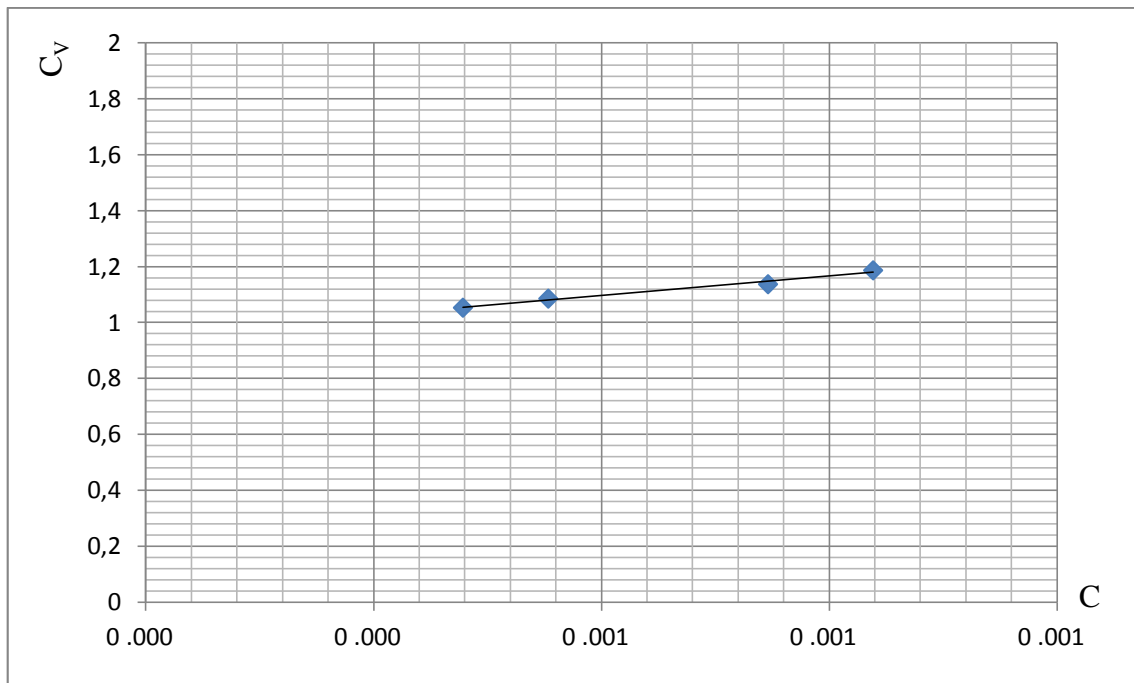


Figure (II-35) : variation de C_v en fonction de C

c. Interprétation des courbes caractéristiques :

Les courbes caractéristiques obtenus, présente pratiquement les même allures pour les différents déversoirs, avec une légère différence.

- **Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale :**

Elle présente une allure parabolique passant par l'origine pour $Q=0 : h_0=0$ après analyses des différentes courbes d'étalonnage, on constate que h_0 est directement corrélatif à Q . Cette courbe d'étalonnage permet de déterminer le débit en connaissant de chute totale.

- **Tracé logarithmique :**

Il représente le $\log(h_0)$ en fonction de $\log(Q)$, c'est une droite qui coupe l'axe des ordonnées, Ce tracé permet de déterminer le débit avec une précision meilleur qu'à partir de la courbe d'étalonnage.

- **Courbe de la variation de C et C_v en fonction du rapport h_0/h :**

C'est des droites d'une faible vitesse ce qui traduit le faible écart type entre les valeurs des coefficients. Le tableau suivant, représente les valeurs moyennes des coefficients C et C_v avec leurs l'écart-type :

Tableau (II-8) : valeurs moyennes des coefficients C et C_v

Les coefficients	C	S_c	C_v	S_{c_v}
Déversoirs				
Déversoir de CRUMP	0.521	1,117	1.101	1,545
Déversoir de talus (3 :4)	0.477	1.106	1.158	1.567
Déversoir de talus (3 :5)	0.513	1,059	1.116	1.553

- **Critique des valeurs du coefficient de C :**

Les valeurs moyennes du coefficient C de deux déversoirs à profil triangulaire sont proches et varient dans les mêmes intervalles ; par contre celles du déversoir de CRUMP varient dans un autre intervalle plus important que celui des deux déversoirs.

Les valeurs de C des deux déversoirs à profil triangulaire varient dans les intervalles suivant :

Déversoir de CRUMP	[0.501, 0.564]
Déversoir de talus (3 ; 5)	[0.410, 0.463]
Déversoir de talus (3 ; 4)	[0.470, 0.488]

- **Critiques des valeurs du coefficient de vitesse C_v :**

Les valeurs du coefficient de vitesse sont déterminées avec un faible écart et appartiennent aux intervalles suivants :

Pour le déversoir de CRUMP	[1.120, 1.165]
Pour le déversoir de talus (3 ; 5)	[1.126, 1.239]
Pour le déversoir de talus (4 ; 5)	[1.137, 1.186]

- **Courbe de la variation de C_v en fonction de C :**

C'est des paraboles de forme plongeante ; le coefficient de vitesse d'approche C_v est directement proportionnel au coefficient de débit C ; donc la forme plongeante de ces courbes peut être interprétée par la chute de la performance de la pompe centrifuge, à partir d'un certain débit.

3.2. Courbes caractéristiques de l'écoulement noyé :

Cette écoulement est caractérisé par les courbes $\sigma_s = f\left(\frac{\Delta}{h_0}\right)$, le coefficient de submersion σ_s est

calculer par la formule de BAZIN Suivante :

$$\sigma_s = \left(1,05 + 0,8 \cdot \frac{\Delta}{h_d}\right) \sqrt[3]{\frac{z}{h_0}} \dots\dots\dots (II-14)$$

Avec :

h_0 : Hauteur de chute totale

Z : Chute géométrique

Δ : Remontée du niveau aval

h_d : Hauteur du déversoir

a. Détermination du coefficient de submersion σ_s :

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux suivant :

Tableau (II-9) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de CRUMP cas Q1

Q1				
Z	Δ	H0	σ	Δ/h_0
17	2.6	29,876	0,928	0,087
5,5	6.4	29,876	0,694	0,214
1,5	7.5	29,876	0,461	0,251

Tableau (II-10) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de CRUMP cas Q2

Q2				
Z	Δ	H0	σ	Δ/h_0
18,9	6	44,624	0,909	0,134
5,5	10	44,624	0,655	0,224
3,5	12.9	44,624	0,597	0,289

Tableau (II-11) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de CRUMP cas Q3

Q3				
Z	Δ	H0	σ	Δ/h_0
10	12.5	61,459	0,755	0,203
6	13.8	61,459	0,653	0,225
6	15.1	61,459	0,584	0,246

Tableau (II-12) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de CRUMP cas Q4

Q4				
Z	Δ	H0	σ	Δ/h_0
10	17.2	79,154	0,540	0,217
8	17.4	79,154	0,540	0,220
6,5	20.2	79,154	0,468	0,255

Tableau (II-13) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :5 cas Q1

Q1				
Z	Δ	H0	σ	Δ/h_0
11,5	5.2	33,082	0,836	0,157
5,7	7.1	33,082	0,690	0,215
3	6.8	33,082	0,553	0,206

Tableau (II-14) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :5 cas Q2

Q2				
Z	Δ	H0	σ	Δ/h_0
14,3	7.8	47,073	0,846	0,166
7,2	9.6	47,073	0,698	0,204
4,1	11.4	47,073	0,600	0,242

Tableau (II-15) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :5 cas Q3

Q3				
Z	Δ	H0	σ	Δ/h_0
10,2	12,5	63,848	0,751	0,196
8	13,3	63,848	0,703	0,208
4,5	15,3	63,848	0,602	0,240

Tableau (II-16) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :5 cas Q4

Q4				
Z	Δ	H0	σ	Δ/h_0
17,7	15,1	83,07	0,868	0,182
5,5	19,4	83,07	0,634	0,234
3,6	13,8	83,07	0,498	0,166

Tableau (II-17) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :4 cas Q1

Q1				
Z	Δ	H0	σ_s	Δ/h_0
20,5	2,1	30,238	0,972	0,069
10,2	5,9	30,238	0,840	0,195
3,5	8,6	30,238	0,623	0,284

Tableau (II-18) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :4 cas Q2

Q2				
Z	Δ	H0	σ_s	Δ/h_0
16,8	6,7	46,573	0,875	0,144
8	9,4	46,573	0,723	0,202
4,8	11,2	46,573	0,632	0,240

Tableau (I-19) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :4 cas Q3

Q3				
Z	Δ	H0	σ_s	Δ/h_0
7	13,8	63,588	0,680	0,217
6,5	14,6	63,588	0,673	0,230
6	15,6	63,588	0,667	0,245

Tableau (I-20) : variation de σ_s en fonction du rapport Δ/h_0 pour le déversoir de talus 3 :4 cas Q4

Q4				
Z	Δ	H0	σ_s	Δ/h_0
7,5	19,2	79,556	0,711	0,241
2,5	19,8	79,556	0,498	0,249
8,2	20,3	79,556	0,746	0,255

b. Interprétation des courbes caractéristiques de l'écoulement noyé :

Les courbes $\sigma_n = F\left(\frac{\Delta}{h_0}\right)$ présentent des allures paraboliques, d'après les résultats obtenus,

On constate que le coefficient de submersion σ_n est inversement proportionnel au rapport $\frac{\Delta}{h_0}$

les degrés de submersion $\delta(\%)$ obtenus sont dans le tableau suivant :

Tableau (II-21) : Valeurs de $\delta(\%)$ pour différents débits.

	$Q_1 = 0,58/s$	$Q_2 = 1,11l/s$	$Q_3 = 1,93l/s$	$Q_4 = 2,95l/s$
CRUMP	32,7	51,6	49,2	53,2
Déversoir (3 :4)	36	51,1	53,9	56,2
Déversoir (3 :5)	44,9	47,6	50,4	49,5

A partir des courbes caractéristiques, on peut déterminer le coefficient σ_n en connaissant le rapport $\frac{\Delta}{h_0}$ pour différents cas de submersion, donc on peut calculer le degré de submersion

$\delta = 1 - \sigma_n$ qui est un paramètre qui exprime le taux de réduction de débit.

Les degrés de submersion obtenus varient de 32% à 56%. Il a été démontré expérimentalement par BAZIN que la courbe $\sigma_n = F\left(\frac{\Delta}{h_0}\right)$ des déversoirs à profil triangulaire est située entre celle des déversoirs à mince paroi et celle des barrages déversoir ; dans le cas de notre étude elle est située légèrement sous la courbe des déversoirs à mince paroi pour la plupart des cas, cela est due au degré de submersion qui n'est pas assez important, qui représente au maximum de 56% voire le tableau (II-), ce qui signifie qu'on a pas atteint la fin de la submersion .

On peut interpréter cette submersion incomplète par les dimensions de la boucle expérimentale ; car on a constaté qu'une submersion complète provoque le débordement du canal.

c. Calcul des débits submergés :

Le débit submergé est celui obtenu dans un écoulement noyé, il est déterminé comme suit :

$$Q_s = \sigma_s \cdot Q_d \dots\dots\dots (II-15)$$

Avec :

Q_s : Débit noyé, ou submergé (l/s) .

Q_d : Débit dénoyée (l/s)

Les valeurs des débits submergés sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau (II-22) : Valeurs de δ (%) pour différents débits.

	Q_{s1}	Q_{s2}	Q_{s3}	Q_{s4}
CRUMP	0,39	0,54	0,98	1,38
Déversoir (3 :5)	0,37	0,54	0,89	1,29
Déversoir (3 :4)	0,32	0,58	0,95	1,49

d. Calcul des coefficients de vitesse :

Le coefficient de vitesse se calcul de la même manière que pour un écoulement dénoyée.

Tableau (II-23): coefficient de vitesse des différents déversoirs.

	C_{v1}	C_{v2}	C_{v3}	C_{v4}
CRUMP	1,046	1,029	1,020	1,005
Déversoir (3 :5)	1,074	1,055	1,033	1,010
Déversoir (3 :4)	1,045	1,035	1,019	1,011

On remarque que les coefficients de vitesse dans le cas des écoulements submergés sont très proches pour les trois déversoirs et pour les différents débits submergés.

4. Evaluation des erreurs sur la détermination des débits :

Les formules de calcul des erreurs sont données dans la partie I.

4.1. Erreurs sur la détermination de débit par l'écoulement dénoyé :

Tableau (II-24) : Erreurs limites sur la détermination des débits dénoyée.

	X_{Q1}	X_{Q2}	X_{Q3}	X_{Q4}
Déversoir de CRUMP	±0,5	±11	±4,75	±3,78
Déversoir de talus (3 :5)	±0,5	±6,75	±6	±4,89
Déversoir de talus (3 :4)	±0,5	±7,15	±6,33	±5,12

On remarque que les erreurs limites sur la détermination des débits dénoyés sont négligeables sauf dans un seul cas.

4-2. Erreur sur le calcul des débits submergés :

Tableau (II-25) : Erreurs limites sur la détermination des débits submergés.

	X_{Q1}	X_{Q2}	X_{Q3}	X_{Q4}
Déversoir de CRUMP	±0,5	±3,85	±2,51	±0,5
Déversoir de talus (3 :5)	±6,17	±5,5	±3,17	±2,03
Déversoir de talus (3 :4)	±0,5	±7,65	±3,26	±2,03

D'après le tableau on constate que les erreurs le débit submergé sont négligeables.

5. Critique des résultats :

Après l'analyse des résultats obtenus dans notre étude on peut faire les commentaires et les critique suivantes :

- 1- Les écoulement à travers les déversoir a profil triangulaire se comportent pratiquement de la même manière.
- 2- Le coefficient de débit pour le déversoir de CRUMP et les déversoirs triangulaires de talus (3 :5) et (3 :4) varie dans des intervalles très proche, et ils se rapprochent de la valeur déterminée par CRUMP.
- 3- Le coefficient de débit du déversoir de CRUMP est supérieur à celui du déversoir de talus (3 :5) et ce dernier est supérieur à celui du déversoir de talus (3 :4) vue à la déférent de la hauteur de seuil et au changement du talus .

- 4- Le coefficient de vitesse varie dans le même intervalle pour les trois déversoirs.
- 5- L'écoulement noyé est presque atteint une submersion totale vue à la valeur ,élevée du débit qui est de 2,95 (l/s).
- 6- Les erreurs sur la détermination de débit son très faible, ce qui explique la précision des mesures.
- 7- Les erreurs sur le modèle du laboratoire sont plus importante que celle sur le model réel vue l'importance du coefficient de vitesse du déversoir réduit, qui est déterminé à partir d'un calcul.

6. Elaboration d'un model empirique de calcul du coefficient de submersion :

Lorsque un phénomène physique n'est pas régit par une loi théorique. L'ingénieur essaye d'élaboré un mode empirique qu'il puisse modélise son comportement, on se basant sur des séries d'expériences : un tel model est généralement appliqué pour des conditions illimité bien définit en dehors desquelles il n'est plus faible.

Pour ce cas des écoulements à travers les déversoirs , les coefficient de débit , de vitesse de submersion ne sont pas régit par des lois théorique , donc le cas de cette étude on élaborera des modèles empirique pour le calcul du coefficient de submersion, on se basant sur les résultats de l'expérience effectue sur le déversoir de CRUMP , car c'est le plus répondu vue les avantage présent voir partie I paragraphe (2-4)), mais qui pourra être utilise aussi pour les autre déversoirs a profile triangulaires , a fin d'élaborée le module, en vas se baser sur le modèle proposé par BAZIN , (voir formule (I-10)).

Donc le modèle qui sera élaboré aura la formule suivante

$$\sigma_s = \left(A + B \frac{\Delta}{h_d} \right) \sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}} \dots \dots \dots (\text{II-15})$$

Avec A et B : constante numériques.

L'élaboration du modèle consiste à déterminer les valeurs numériques des constantes A et B à partir des graphes :

$$\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}} = f \left(\frac{\Delta}{h_d} \right) \dots \dots \dots (\text{II-16})$$

$$\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}} = A + B \cdot \frac{\Delta}{h_d} \dots \dots \dots (\text{II-17})$$

C'est la formule d'une droite qui ne passe pas par l'origine, les constantes A et B se déterminent comme suit :

Détermination de A :

La constante A se détermine directement à partir des graphes, c'est l'intersection des droits tracée avec l'axe des ordonnées.

Détermination de B :

La constante B se détermine directement à partir d'un calcul, c'est la pente des droits tracés.

Donc : $B = \operatorname{tg} \theta$.

Pour tracer les graphes, on calcule les valeurs de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ et $\frac{\Delta}{h_d}$ pour les différents débits, les

résultats obtenus sont représentés dans les tableaux suivants :

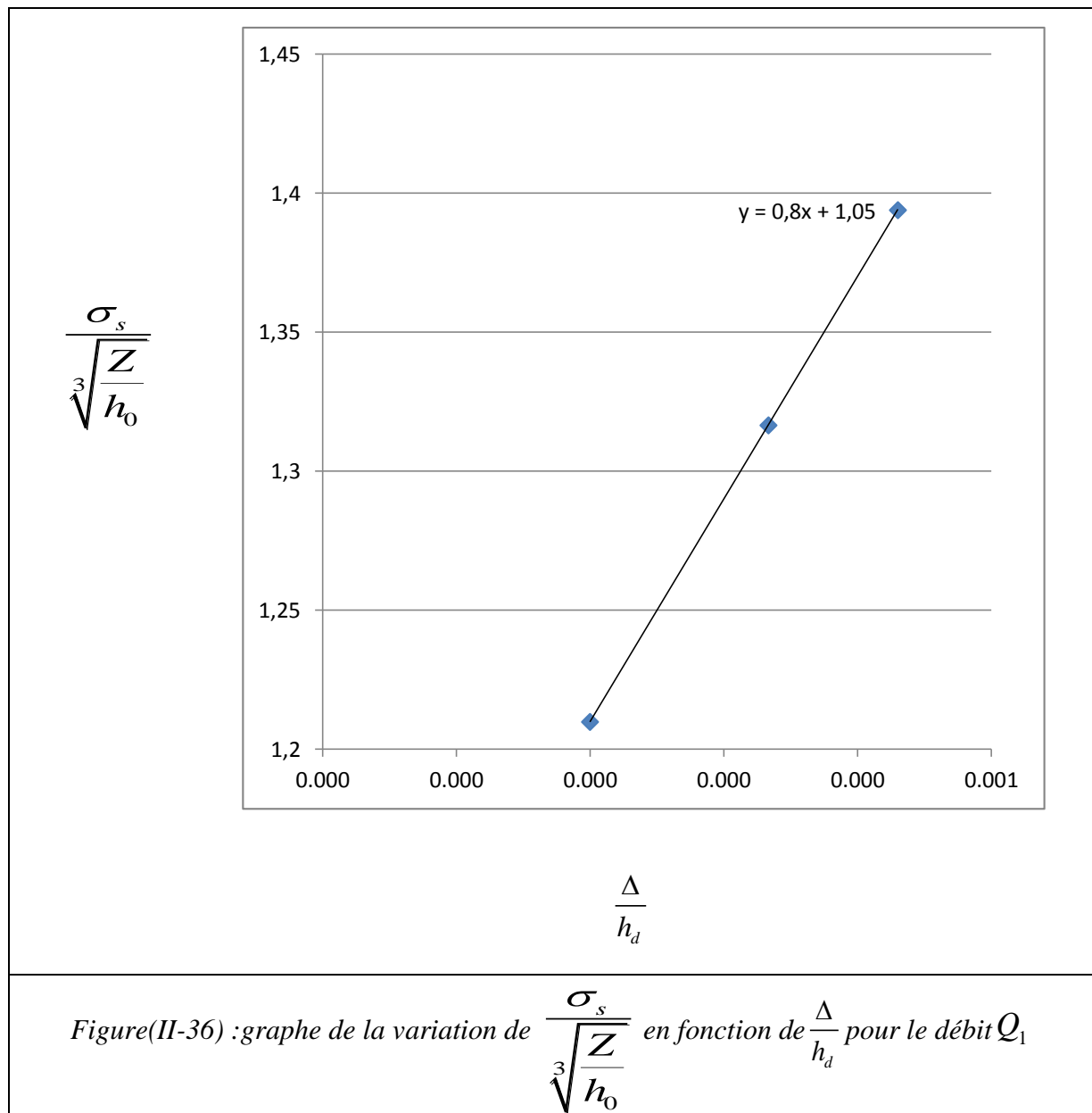
Tableau (II-26) variation de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ en fonction de $\frac{\Delta}{h_d}$ pour les débits Q_1 et Q_2

	Q_1			Q_2		
$\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$	1,12	1,22	1,25	1,21	1,32	1,39
$\frac{\Delta}{h_d}$	0,087	0,213	0,250	0,200	0,333	0,430

Tableau (II-27) variation de $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$ en fonction de $\frac{\Delta}{h_d}$ pour les débits Q_3 et Q_4

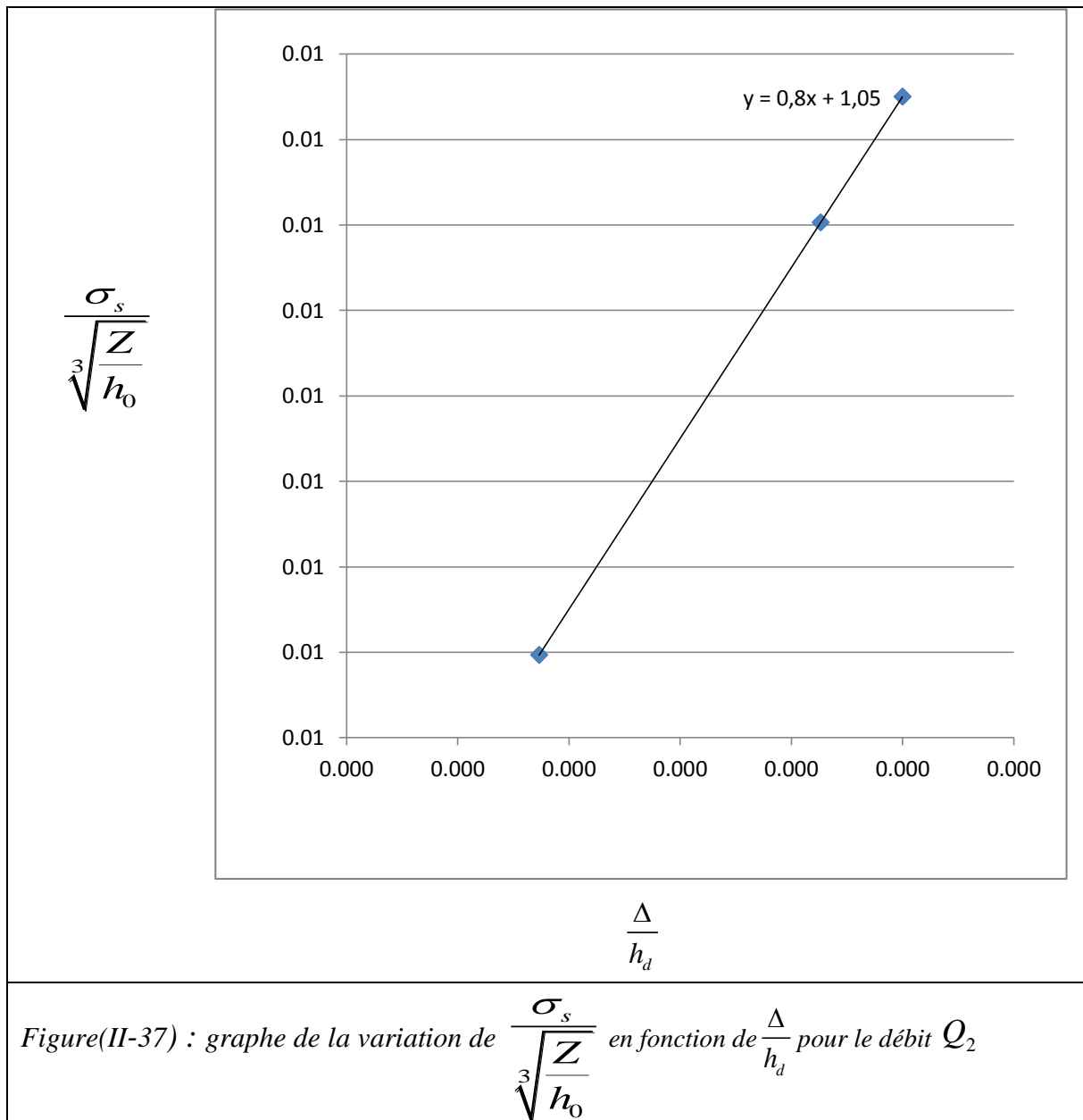
	Q_3			Q_4		
$\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$	1,38	1,42	1,45	1,509	1,514	1,589
$\frac{\Delta}{h_d}$	0,417	0,460	0,503	0,573	0,580	0,673

Trace des graphes $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}} = f\left(\frac{\Delta}{h_d}\right)$ pour les différents débits :



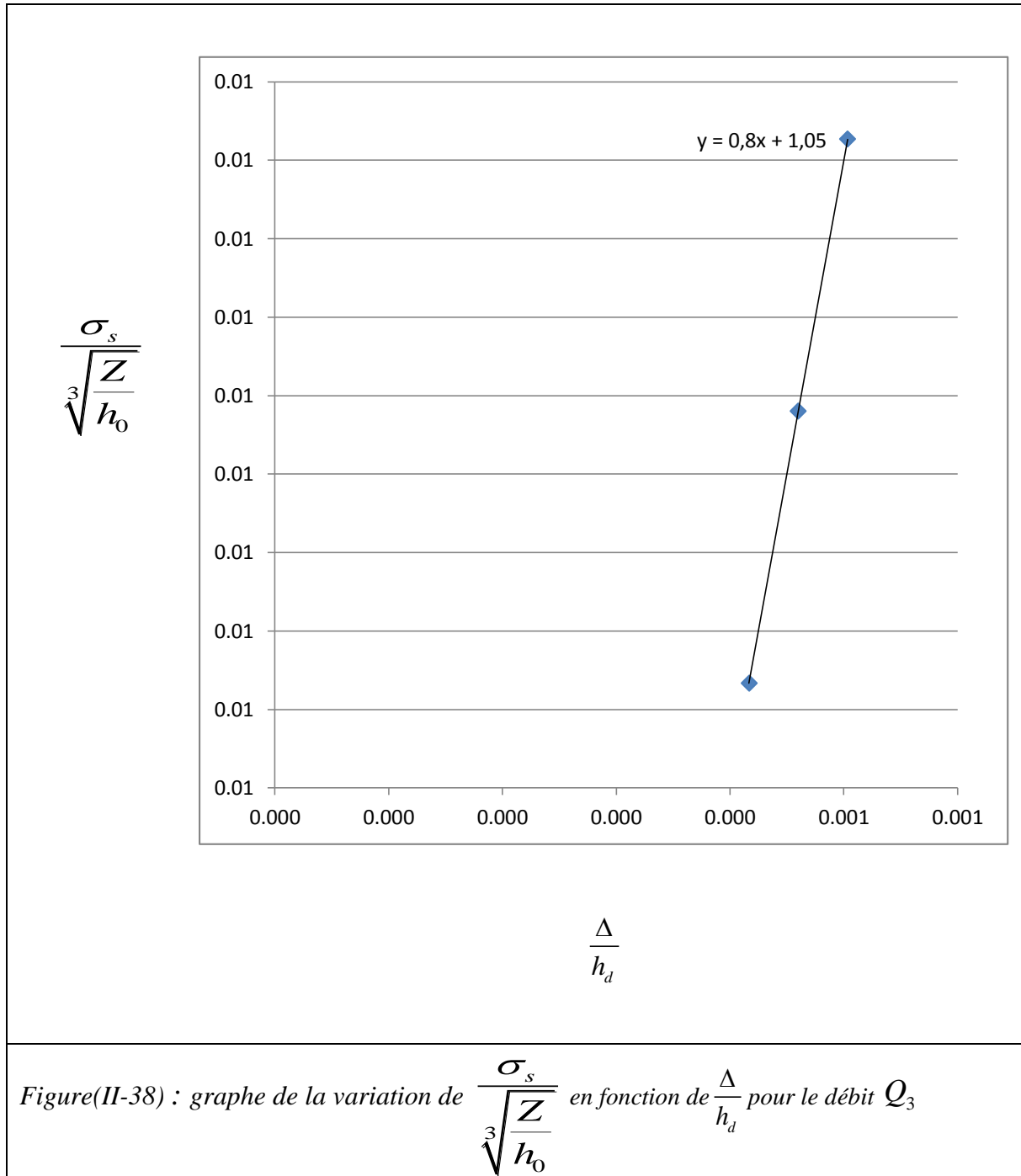
$$A_1 = 1,05$$

$$B_1 = \frac{1,25 - 1,12}{0,250 - 0,087} = 0,8$$



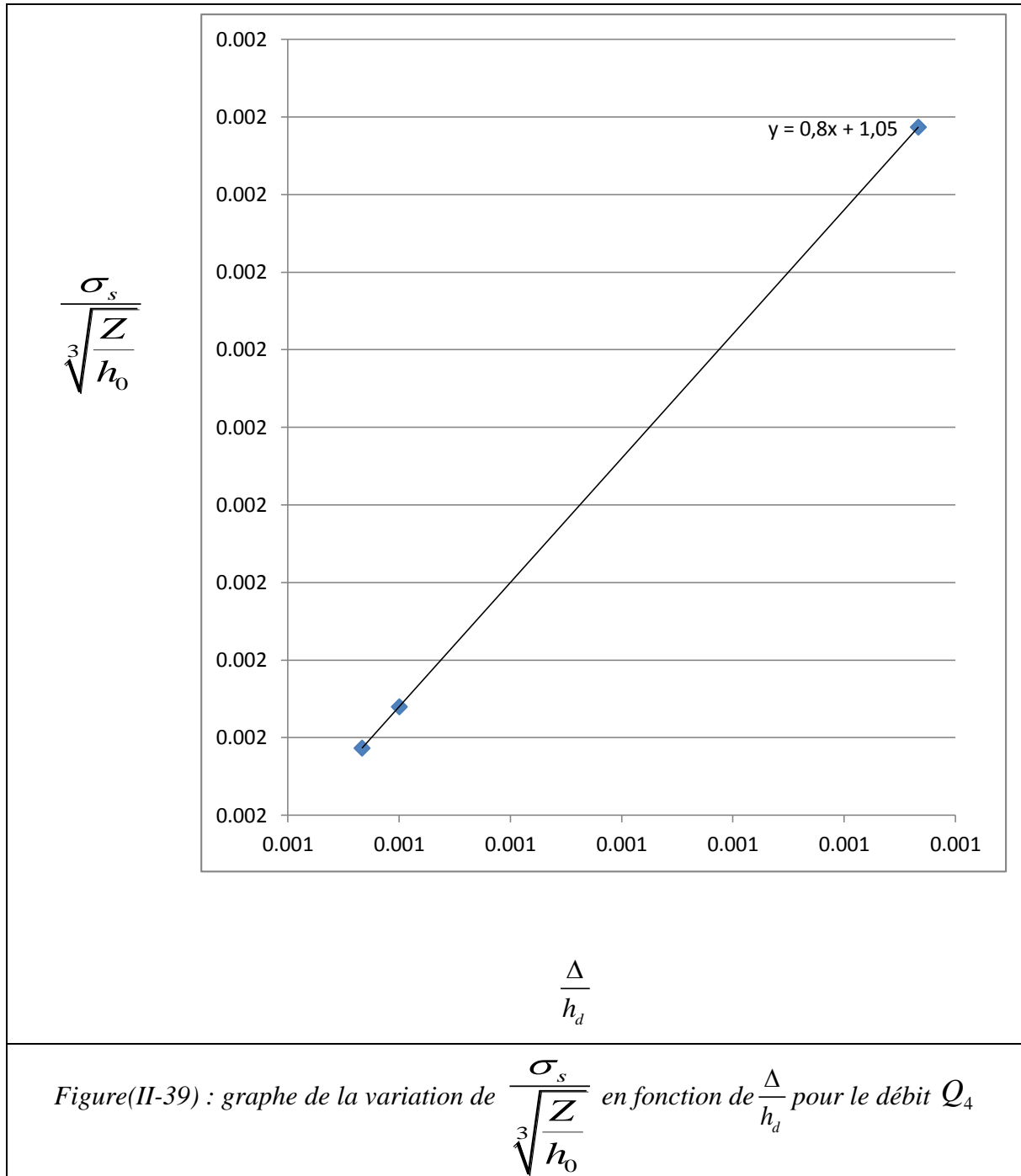
$$A_2 = 1,05$$

$$B_2 = \frac{1,39 - 1,21}{0,430 - 0,200} = 0,8$$



$$A_3 = 1,05$$

$$B_3 = \frac{1,45 - 1,38}{0,503 - 0,417} = 0,8$$



$$A_4 = 1,05$$

$$B_4 = \frac{1,589 - 1,509}{0,673 - 0,573} = 0,8$$

Les valeurs de A et B qu'on considère dans le modèle sera :

On n'a pas fait la moyenne arithmétique parce que toutes les valeurs sont identiques :

Alors :

$$A= 1,05$$

$$B= 0,8$$

Le modèle élaboré sera : par coïncidence si le même de celle de BAZIN

$$\sigma_s = \left(1,05 + 0,8 * \frac{\Delta}{h_d} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{h_0}}$$

Conclusion Générale

Notre présente étude a porté sur un travail expérimental en vue de déterminer les caractéristiques physiques et hydrodynamiques des écoulements à travers les déversoirs à profil triangulaire ce type de déversoir de CRUMP présente pratiquement les mêmes caractéristiques hydrodynamiques que les deux déversoirs de talus (3 :5), (3 :4).

La submersion des déversoirs étudiés permet un écoulement fluvial avec de très faibles débits, dans notre étude il était difficile d'obtenir des écoulements complètement submergés, vue la hauteur réduite du canal.

Les résultats obtenus sont d'une assez bonne précision, ce qui permet d'élaborer un modèle Empirique le coefficient de submersion sur la base de la formule.

Cette étude expérimentale nous à permis encore une fois de mettre en évidence que les déversoirs à profil triangulaire peuvent être utilisés comme jaugeurs parfaits car ils assurent un écoulement permanent avec une erreur très négligeable sur le calcul de débit.

Enfin, nous espérons que ce présent travail servira de guide pour d'autres études sur le canal et de support non négligeable pour les promotions à venir.

Bibliographie

- [1] **Carlier, M.** "Hydraulique générale et appliquée", Edition Eyrolles, 14 rue Girardet, 54-Nancy, 1968.
- [2] **Achoue, b et Al.** "Débitmètre triangulaire à paroi épaisse dans un canal rectangulaire " , Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, (2003).
- [3] https://cours.etsmtl.ca/gpa668/aCours/Deversoirs_E2011.pdf
- [4] **European Small Hydro power Association.** "Petite Hydroélectricité : Guide Technique pour la Réalisation de Projet". Maison des Energie renouvelables, Bruxelles, Belgique, 2005.
- [5] <https://documents.epfl.ch/groups/1/lc/lchunit/www/pdf/support/bollaert/Ouvrages%20hydrauliques%20de%CC%81versoirs.pdf>
- [6] **Source internet** ; laboratoire de construction hydraulique Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- [7] **Département Environnement Littoral et Cours d'Eau; Division Hydraulique et Sédimentologie Fluviale.** "Notice de déversoir: Synthèse des lois d'écoulement au droit des seuils et déversoir", février 2005.
- [8] Projet de norme internationale ISO /DIS 4360.
- [9] **Ait Yahia, N et Ouaret, H.** "Contribution à l'étude expérimentale d'un déversoir triangulaire-déversoir de CRUMP". Université Abderrahmane Mira de Béjaia , 2003.

Résumé

Ce présent travail consiste à étudier l'influence des talus sur la capacité de l'écoulement à travers les déversoirs à profil triangulaire ayant des pentes différentes pour connaître les caractéristiques de chaque écoulement (dénoyé et noyé), à savoir les coefficients de débit, de vitesse pour l'écoulement dénoyé et de submersion pour l'écoulement noyé, ainsi que les erreurs effectués sur ces variantes.

Les résultats obtenus, nous ont permis de mettre en évidence que les déversoirs à profil triangulaire peuvent être utilisés comme jaugeurs parfaits car ils assurent un écoulement permanent avec une erreur très négligeable sur le calcul de débit.

Mots clés: déversoir, talus, débit, noyé et dénoyé

Abstract:

This present work consist to study the influence of slope on the capacity of the disposal through the weirs to triangular profile with different slopes for the characteristics of each flow (upstream and drowned), namely the coefficients of flow, speed for the flow and upstream of submergence for the flow drowned, as well as the errors made on these variants.

The results obtained, we have helped to highlight that the weirs to triangular profile can be used as perfect algs because they provide a continuous flow with an error very negligible on the calculation of flow.

Key words: weir, embankment, flow, drowned and upstream