

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

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

**HAMEURLAINE SOULEYMAN**

**BOUZIANE HOUSSEYN**

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

Option : OUVRAGE ET AMENAGMENTS HYDRAULIQUE

### INTITULE:

## **ÉCOULEMENT A TRAVERS LES DEVERSOIRES A PROFILE TRIANGULAIR**

Soutenu le **07/07 /2019** devant le jury composé de :

- Président : **M. A/SAOU**
- Promoteur (s) : **M. A/BRAKEN**
- Examineur (s) : **M. A/BEDJOU**

Année Universitaire : 2018/2019

## 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 de multiples programmes afin d'y remédier à la situation.

L'étude de l'eau est à l'origine de nombreuses découvertes physiques importantes et c'est une des raisons pour lorsqu'elles, dans leur ouvrage consacré à l'eau K.S Daris et J.A Day le qualifient de « NIROIR DE LA SCIENCE »

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 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 quatre différents types de déversoirs, à savoir: le déversoir de CRUMP, trois déversoirs à profil triangulaire de différents talus 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 le calcul des erreurs effectués sur ces variantes.

La première partie est réservée à l'élaboration d'une synthèse bibliographique sur les différents types de déversoirs, pour connaître la pratique et la méthodologie d'application au se basent sur les normes internationales 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 formule de BAZIN pour élaborer un modèle empirique pour le calcul du coefficient de submersion. Enfin une conclusion générale de cette étude expérimentale sur les déversoirs a profile triangulaire.



## I-Introduction :

Les déversoirs sont parmi les structures les plus anciennes, les plus simples, et les plus fiables qui peuvent être employées pour mesurer le débit dans les canaux et les fossés. C'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 du déversoir, et, comme on le verra, augmente fortement et de manière univoque pour des hauteurs supérieures à celle du déversoir. Les propriétés de l'écoulement d'un déversoir dépendent de la forme géométrique de ce dernier.

En hydraulique urbaine un déversoir, c'est un dispositif dont la fonction essentielle est d'évacuer les pointes exceptionnelles des débits vers le milieu récepteur. C'est un ouvrage destiné à 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.

### I- 1. Définition :

Un déversoir est un orifice superficiel ouvert a sa partie supérieure et pratiqué généralement dans une paroi verticale.

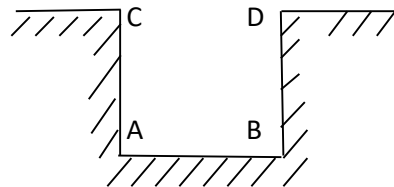


Fig. I. 1 : déversoir rectangulaire à mince paroi

AC et BD sont appelés les joues.

AB est le seuil ou la crête.

Les déversoirs sont généralement utilisés en tant que :

- Dispositifs de mesure des débits.
- Ouvrages de réglage et de contrôle des débits dans les rivières et les canaux.
- Evacuateurs pour les retenues naturelles et artificielles.

Le déversoir peut être soit vertical ou incliné vers l'amont ou vers l'aval. Sa crête peut être épaisse ou mince dépendant de la forme de l'échancrure.

Les déversoirs peuvent être rectangulaires, trapézoïdaux, triangulaires, ou circulaires. Dans le cas de déversoirs rectangulaires et trapézoïdaux, le fond de l'échancrure représente la crête du déversoir.

## I-2. Différents types de déversoir :

Il existe différents types de déversoirs :

- Déversoir à mince paroi.
- Barrage déversoir.
- Déversoir mobile.
- Déversoir à paroi épaisse

### I-2-1 Déversoir à paroi mince:

On dit que le déversoir est à mince paroi ou à crête mince si l'épaisseur de la crête est inférieure à la moitié ou même quelque fois aux deux tiers de la charge.

Le déversoir à mince paroi peut être vertical ou incliné.

#### I-2-1-1 Déversoir vertical :

Suivant la forme du profil de l'échancrure nous distinguons plusieurs types :

##### I-2-1-1-1 Déversoir rectangulaire :

La forme de l'échancrure est rectangulaire le fond de l'ouverture représente la crête du déversoir.

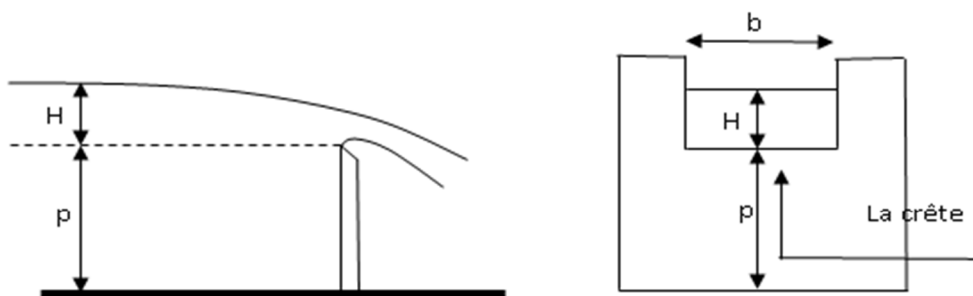


Fig. I. 2 : déversoir rectangulaire à mince paroi

Si on tient compte de la contraction on trouve :

- Déversoir rectangulaire sans contraction latérale.
- Déversoir rectangulaire avec contraction latérale.

##### I-2-1-1-2 Déversoir triangulaire :

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

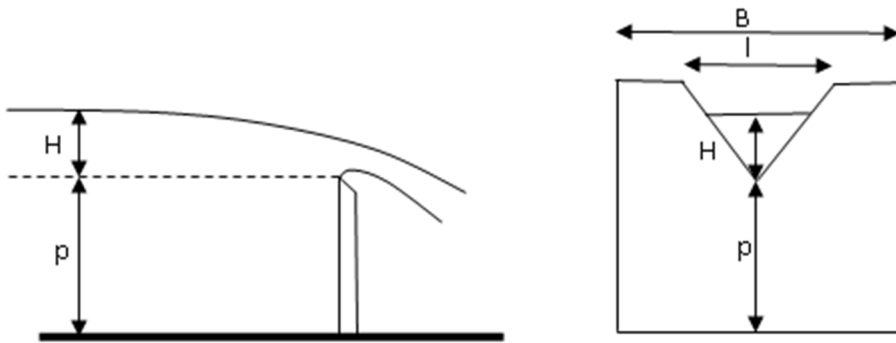


Fig. 1.3 : déversoir triangulaire à mince paroi

### I-2-1-1-3 Déversoir trapézoïdal :

La forme de l'échancrure est trapézoïdale, le fond de l'ouverture représente la crête du déversoir ce dernier se subdivise en :

- déversoir trapézoïdal à profil convergent vers le bas.
- Déversoir trapézoïdal à profil convergent vers le haut.

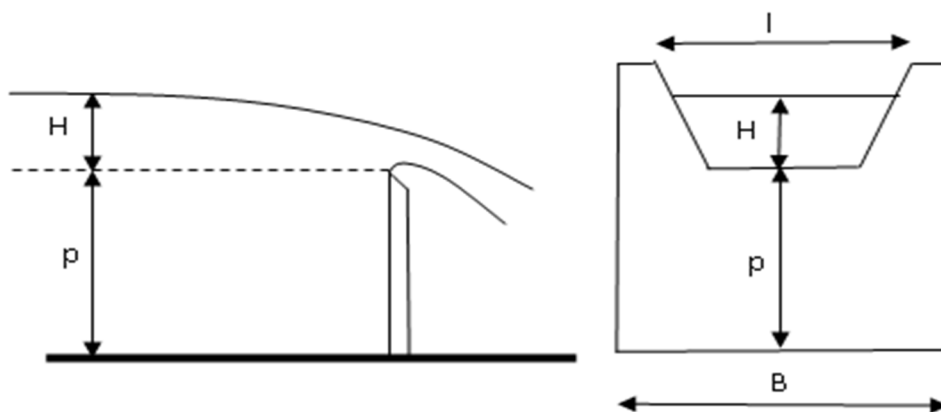


Fig. 1.4 : déversoir trapézoïdal à profil convergent vers le bas

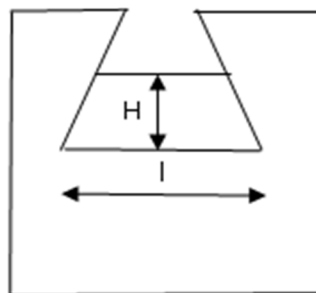


Fig. 1.5 : déversoir trapézoïdal à profil convergent vers le haut

**I-2-1-1-4 Déversoir circulaire :**

Selon le nom du déversoir le profil de l'échancrure est un cercle.

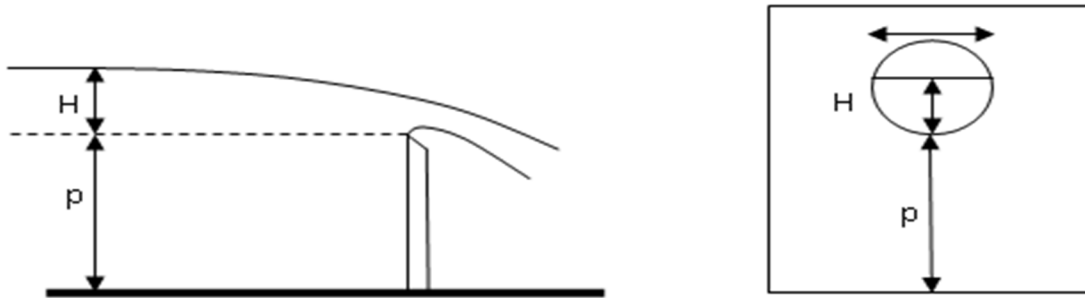


Fig. I. 6 : déversoir circulaire à mince paroi

**I-2-1-2 Déversoir incliné :**

C'est un déversoir à crête mince et à nappe libre dont la crête est perpendiculaire à l'axe du canal mais le plan du déversoir est incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport la verticale.

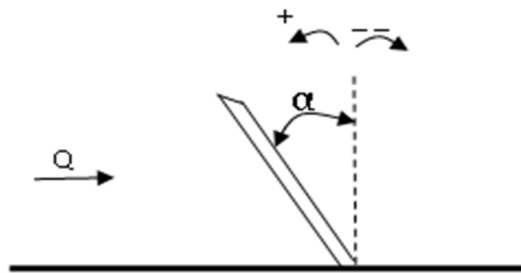


Fig. I. 7 : déversoir à mince paroi incliné

**I-2-1-3 Déversoir latéral :**

C'est un déversoir ménagé dans la paroi latérale d'un canal parallèle au sens d'écoulement.

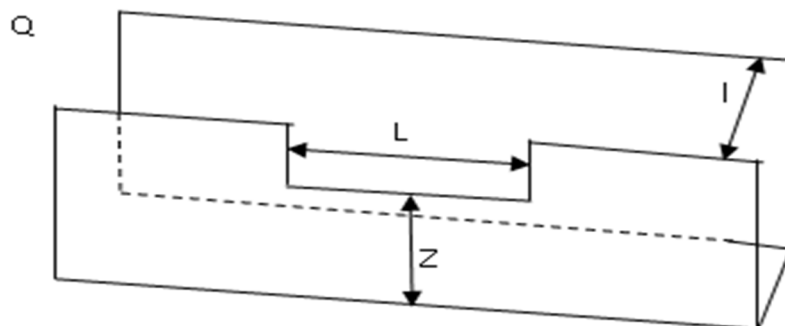


Fig. I. 8 : déversoir latéral

Partie I

I-2-1-4 Déversoir oblique :

C'est un déversoir vertical dont la crête est disposée obliquement par rapport à l'axe longitudinal du canal dans le quel il est placé.

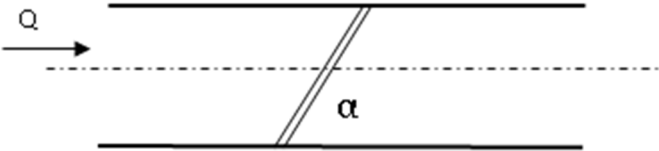


Fig. I. 9 : déversoir oblique (vu en plan)

I-2-2 Barrage déversoir :

La forme générale d'un barrage déversoir est donnée par la géométrie du linge inférieure de la nappe libre qui se manifeste dans un déversoir à mince paroi.

Plusieurs profils de se type de déversoir ont été développés notamment le profil Craeger.

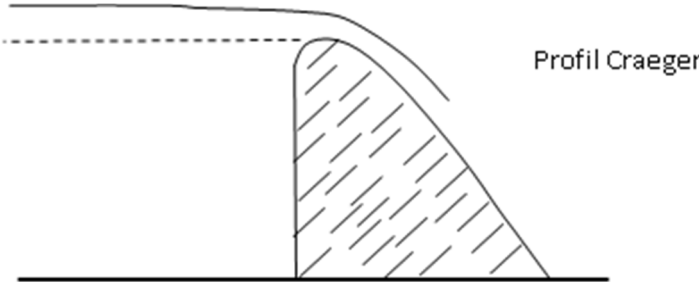


Fig. I. 10 : Barrage déversoir

Donc c'est un déversoir à crête fixe qui décrit la nappe inférieure d'un déversoir à mince paroi, appelé aussi déversoir standard.

La géométrie de la nappe inférieure d'un déversoir à mince paroi standard est représentée par l'équation du profil Craeger.

$$\frac{Y}{H} = 0.47 \cdot \left(\frac{X}{H}\right)^{1.8} \dots\dots\dots (I.1)$$

Où:

(Y, X) : coordonnées d'un point du profil.

H : la charge déversant.

**I-2-3 Déversoir mobile :**

Le barrage déversoir, qui est lui-même un déversoir fixe, peut être surmonté (équipé), mais également remplacé partiellement ou totalement par un déversoir mobile. Cet organe mobile permet par fermeture/ouverture de mieux régler le débit qui le travers.

Il existe différents types d'organe mobiles (déversoirs mobiles) tel que :

- Les vannes de déversoirs.
- Les vannes segments.
- Les vannes clapets ou les vannes batardeaux

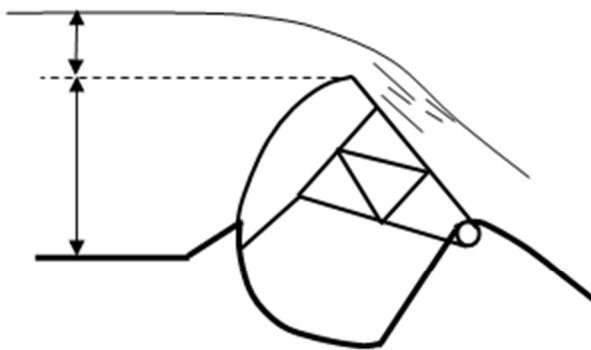


Fig. I. 11 : vanne clapet

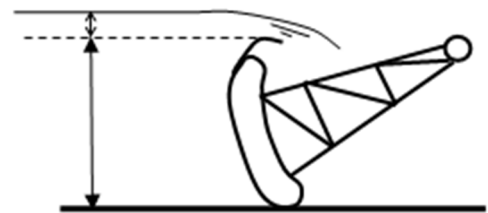


Fig. I. 12: vanne segment

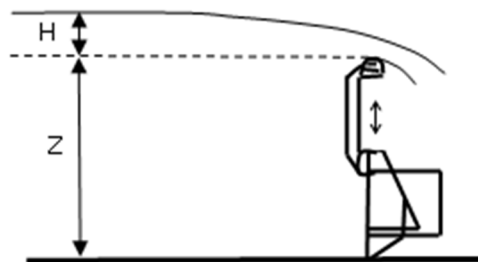


Fig. I. 13 : vanne batardeaux.[6]

On peut donc conclure que les déversoirs mobiles sont des déversoirs contrôlés par des vannes.

**I-2-4 Déversoir à seuil épais :**

On l'appelle aussi déversoir à large seuil généralement le seuil est horizontal. Un déversoir à large seuil est une structure sur laquelle les lignes de courant peuvent atteindre, tout au moins sur une courte distance, un parallélisme acceptable, c'est-à-dire, les lignes de courant se stabilisent sur le seuil.

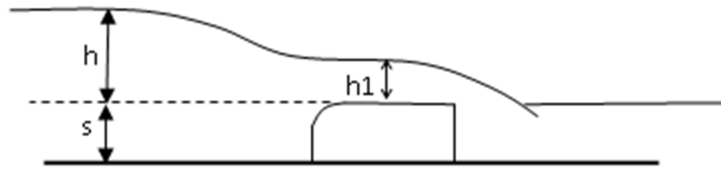


Fig. I. 14: déversoir à seuil large.

On trouve dans ce cas de déversoir à seuil épais :

1. Le déversoir rectangulaire sans contraction latérale qui comprend lui-même deux types :
  - Le déversoir rectangulaire à arêtes vives en amont et en aval, ce seuil est normalisé par la B S I (British Standard Institution) le bloc déversant doit être placé dans un canal rectangulaire et les surfaces doivent être lisses. On veillera spécialement à ce que l'arête amont soit bien définie et que l'angle soit égal à  $90^\circ$ .
  - Le déversoir rectangulaire à arête arrondie en amont il existe également un seuil normalisé avec arête arrondie en amont (B S I), l'arête qui définit son intersection avec le parement amont est remplacé par une surface arrondie de rayon « r » de manière à éviter la séparation de l'écoulement .la face avale peut-être verticale ou inclinée dans ce sens.

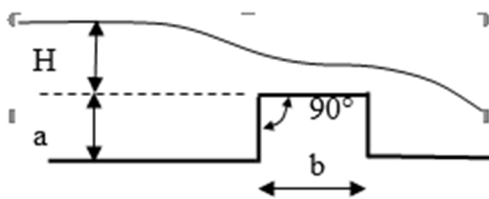


Fig. I. 15 : arêtes vives en amont et en aval. [2]

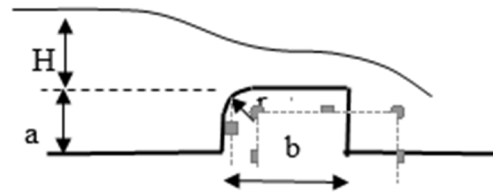


Fig. I. 16 : arête arrondie en amont

2. Déversoir triangulaire à seuil épais :

Il y a parfois un avantage d'utiliser une section de contrôle triangulaire quand on se propose de mesurer une vaste gamme de débit, les débits seront donnés avec une précision raisonnable, même quand ils sont relativement faibles.

Les éléments géométriques de ce type de déversoir sont définis sur la figure (I. 17).

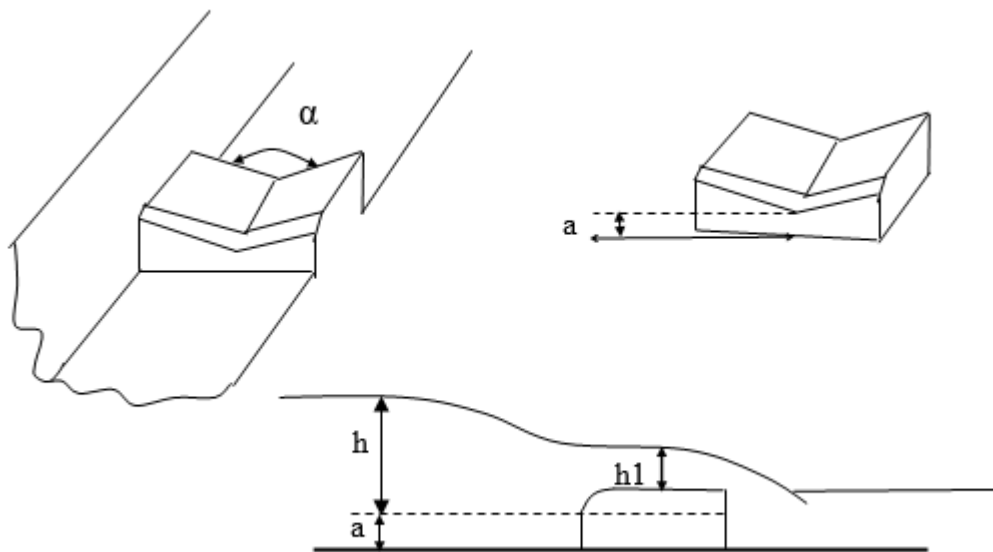


Fig. I. 17 : déversoir triangulaire à seuil épais.

#### I-2-5. Déversoir 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 (1.18) represents schématiquement ce déverser:

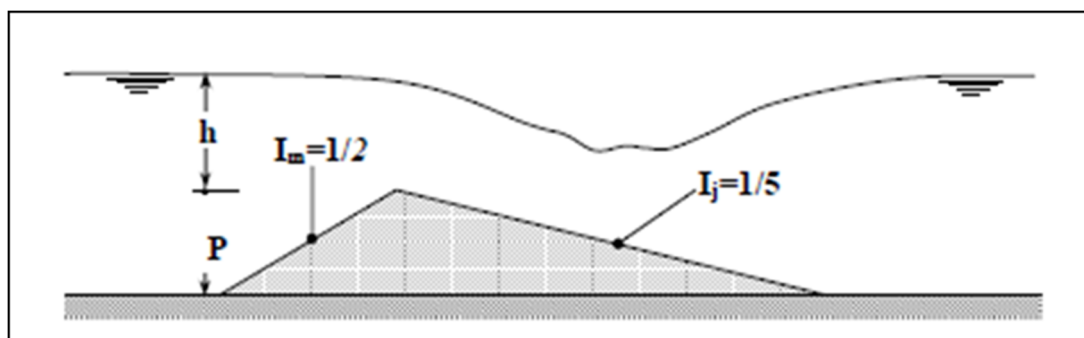


Fig.I.18: Déversoir a seuil épais a profil triangulaire de type CRUMP



**II- 1 Ecoulement à travers un déversoir à mince paroi :**

Les écoulements à travers les déversoirs peuvent être subdivisé en deux groupes :

- 1) - Ecoulement dénoyé.
- 2) - Ecoulement noyé.

Mais avant de passé aux écoulements à travers le déversoir à mince paroi en donne l'équation de se dernier ainsi que les recherches qui sont faite.

Considérons un seuil en mince paroi par lequel s'écoule un débit q par unité de largeur.

Quand la nappe est suffisamment aérée, elle prend une forme identique à celle d'un projectile lancé à une vitesse  $V_0$  et un angle  $\theta$  ; ainsi, on admettre que la composante horizontale de la vitesse est constante et que la seule force agissante est la force de gravité.

Dans ces conditions, une particule, sur la face inférieure de la nappe, parcourt, à l'horizontale, une distance x, et à la verticale, une distance y, données par :

$$\begin{cases} x = V_0 t \cos \theta \\ Y = V_0 t \sin \theta + gt^2 + c' \end{cases} \dots\dots\dots (II.1)$$

Eliminant t et divisant par la charge H sur le seuil, on a :

$$\frac{y}{H} = A \left( \frac{x}{H} \right)^2 + B \frac{x}{H} + C \dots\dots\dots (II.2)$$

Comme la composante horizontale de la vitesse est constante, de même l'épaisseur, E, de la nappe sera constante.

Ajoutant à l'équation précédente un terme  $D = \frac{E}{H}$ , on obtient l'équation de la partit inférieure de la veine.

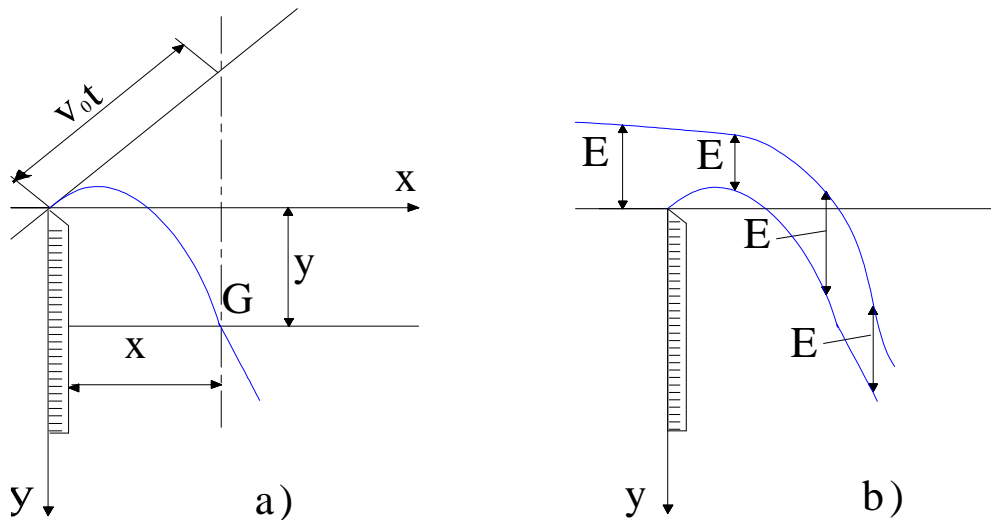


Fig.II.1 : définition de la géométrie d'un déversoir en mince paroi.

Divers essais ont conduit le us bureau of réclamation, Ippen and Al, cités par Chow ; aux valeurs suivantes :

$$A = -0.425 + 0.25 \frac{h_a}{H} \dots\dots\dots (II-3)$$

$$B = 0.411 - 1.603 \frac{h_a}{H} - \sqrt{1.568 \left(\frac{h_a}{H}\right)^2 - 0.892 \frac{h_a}{H} + 0.127} \dots\dots\dots (II-4)$$

$$C = 0.150 - 0.45 \frac{h_a}{H} \dots\dots\dots (II-5)$$

$$D = 0.57 - 0.02 (10\phi)^2 \exp(10\phi) \dots\dots\dots (II-6)$$

Où

$$\phi = \frac{h_a}{H} - 0.208.$$

Dans ces expressions  $h_a$  est la profondeur cinétique correspondant à la vitesse d'amenée.

Pour des déversoirs très élevés, la vitesse d'amenée est faible, et l'on a

$h_a = 0$  ; de là, résultent les valeurs suivantes :

$A = -0,525$  ;  $B = 0,055$  ;  $C = 0,150$  ;  $D = 0,559$ .

Les expressions sont valables pour  $\frac{x}{H} > 0.5$  et pour  $\frac{h_a}{H} < 0.2$

En un point générique de la veine où l'on peut considérer qu'il y a parallélisme des lignes de courant, la vitesse sera :

$$V = \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (II-7)$$

Où H représente la charge totale en ce point.

Dans la pratique, on adopte la section correspondant à la crête du déversoir et l'on prend  $H \approx h$ , ce qui revient à négliger l'énergie cinétique. Pour compenser les erreurs qui en résultent, on affecte la formule d'un coefficient de débit  $\mu'$ , qui doit en outre tenir compte d'autres effets secondaires. On aura donc :

$$V' = \mu' \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (II-8)$$

Le débit correspondant à une largeur  $l$  du seuil déversant sera :

$$Q = \mu' l \sqrt{2g} \int_0^h \sqrt{h} dy = \mu' l \sqrt{2g} \left[ \frac{2}{3} h^{\frac{3}{2}} \right]_0^h = \mu l \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (II-9)$$

Prenant  $\mu = 2/3\mu'$  ; la valeur de  $\mu$  est donnée expérimentalement.

**II-1-1 Déversoirs rectangulaires sans contraction latérale :**

**- déversoir de Bazin :**

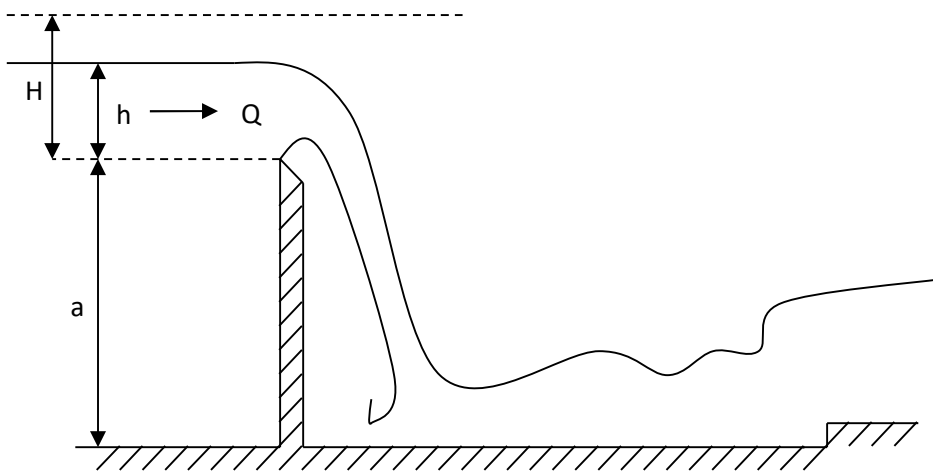
Sur le déversoir rectangulaire sans contraction latérale, habituellement désigné par déversoir de Bazin, il existe un grand nombre d'observations, ce qui permet d'obtenir une bonne précision dans la mesure des débits.

La formule qui donne le débit déversé est, en unités métriques :

$$Q = \frac{2}{3} \mu' l \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}} = \mu l \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}}$$

Où  $l$  est la largeur du déversoir, et  $h$  la charge.

Dans les équations suivantes, qui donnent la valeur de  $\mu$ , on représente par  $a$  la hauteur de pelle.



**Fig.II.2 :** écoulement à travers un déversoir en mince paroi.

a) Bazin (1898) :

$$\mu = \left( 0.405 + \frac{0.003}{h} \right) \left[ 1 + 0.55 \left( \frac{h}{h+a} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (II-10)$$

Les limites d'applications sont :

0.08 m < h < 0.70 m ; l > 4h ; 0.2 m < a < 2 m .la précision obtenue de 1 % à 2 %.

b) Rehbock :

$$\mu = \frac{2}{3} \left( 0.605 + \frac{1}{1050 h - 3} + 0.08 \frac{h}{a} \right) \dots\dots\dots (II-11)$$

Pour h > 0.05 m (annexe II, tableau II-1).

c) EN 1929, Rehbock a présenté une formule simplifier, donnant, en unités métriques :

$$Q = \left( 1.782 + 0.24 \frac{h}{a} \right) * l h_e^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (II-12)$$

Où h<sub>e</sub> = h + 0.0011

d) S.I.A.S. (société des ingénieurs et architectes Suisses -1947) :

$$\mu = \frac{2}{3} 0.615 \left( 1 + \frac{1}{1000 h + 1.6} \right) \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{h}{h+a} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (II-13)$$

Les limites d'application sont :

0.025 m < h < 0.8 m ; a > 0.3 m ; h ≤ a.

Les formules de Rehbock et de S.I.A.S. donnent des valeurs pratiquement confondues.

**II-1-2 Ecoulement dénoyé :**

Un déversoir précédé d'un courant en régime fluvial provoque souvent à son aval immédiate la formation d'un courant de profondeur inférieur a la profondeur critique, c'est-à-dire la profondeur a l'aval de la singularité (déversoir) est inférieure a la profondeur critique a l'amont du déversoir on dit que l'écoulement est dénoyé.

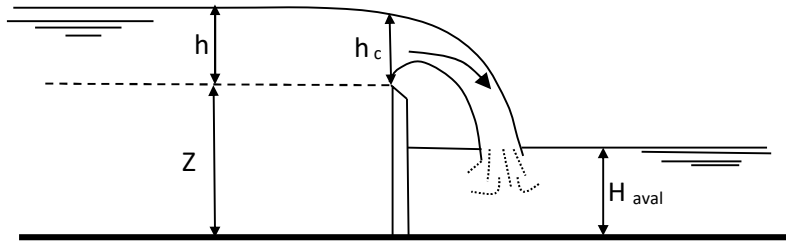


Fig. II .3 : déversoir dénoyé (déversoir vertical rectangulaire à crête mince)

On prend dans un canal rectangulaire muni d'un déversoir à mince paroi de largeur B, une tranche de la nappe de hauteur dh située a une profondeur h par rapport au niveau constant de l'amont du déversoir.

Le théorème de Bernoulli appliqué entre un point de vitesse négligeable situé sur la surface libre et le point de vitesse v situé dans cette tranche, et on néglige la perte de la charge entre ces deux points ce qui nous permet d'obtenir :

$$U = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (II. 14)$$

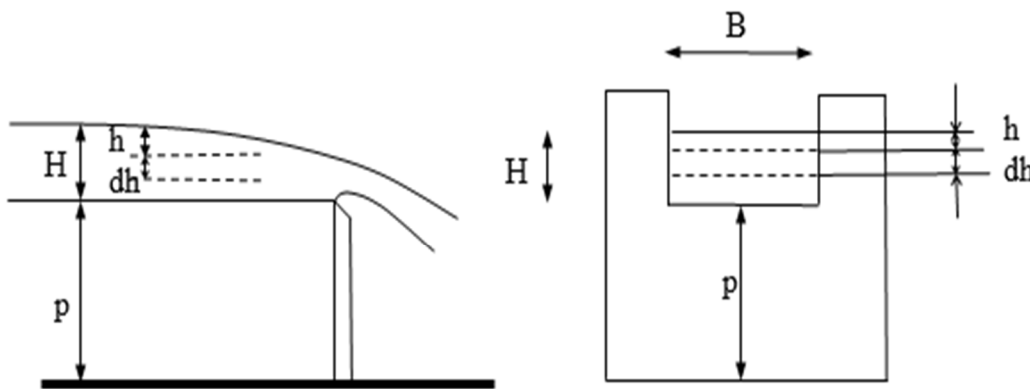


Fig. II .4 : débit du déversoir rectangulaire à mince paroi

Le débit élémentaire de la tranche de la nappe considérée est égale à la vitesse commun « u » aux différents points multipliés par la section.

$$S = dh .L\dots\dots\dots (II. 15).$$

Le débit du déversoir à mince paroi est :

$$Q = \int_0^H m.B.\sqrt{2gh}.dh$$

$$Q = \frac{2}{3}.m.B.H.\sqrt{2gh} \dots\dots\dots(II. 16)$$

- Tel que :
- m: coefficient de débit.
- B: largeur du déversoir (m).
- H: la charge déversante (m).

**II-1-3 Ecoulement noyé :**

Un écoulement est dit noyé lorsque la profondeur à l’aval du déversoir reste partout supérieure à la profondeur critique, comme nous l’avons défini un déversoir pour lequel la côte du niveau aval est supérieure à la côte de la crête du déversoir, il en résulte que la côte du niveau aval va intervenir dans l’expression du débit. En réalité, cette définition n’est pas exacte car il existe des cas où le niveau aval même lorsqu’il est plus élevé que la crête du déversoir est néanmoins sans influence sur le débit donc il est préférable de dire qu’un écoulement est noyé quand le niveau amont est influencé par le niveau aval.

A l’amont du déversoir l’écoulement est fluvial tant dis qu’a l’aval il est torrentiel, et pour un débit donné la charge a une valeur minimale si le niveau aval est progressivement élevé il peut en résulté un effet sur l’écoulement et le débit n’est plus déterminé par une seul section (amont), mais par les deux sections amont et aval. L’écoulement est donc noyé pour cela l’équation du débit d’un déversoir noyé peut être mise sous la forme.

$$Q = m.B.H.\delta.\sqrt{2gh} \dots\dots\dots(II. 17)$$

δ : coefficient de submersion.

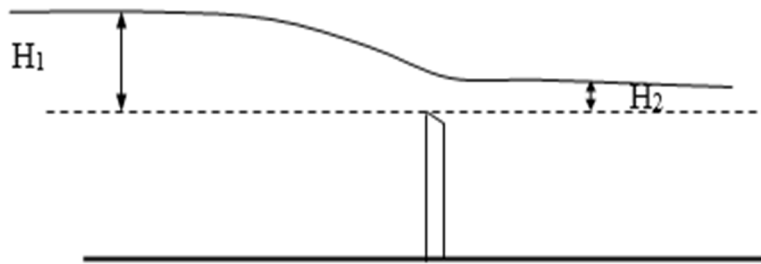


Fig. II .5 : déversoir noyé

Pour un déversoir à crête mince le niveau aval influence directement sur le niveau amont et sur le débit avant même d'atteindre la cote de crête, ceci résulte du fait que la nappe déversante n'est pas guidée par le parement aval du déversoir et est de ce fait beaucoup plus sensible à l'influence des conditions de pressions du bief aval, de plus sous la lame le niveau est toujours plus élevé que dans le bief aval et il réagit aussi bien sur le débit que sur le niveau amont lorsque le niveau aval s'élève.

### 3. Utilisation des normes internationales pour déterminer les caractéristiques hydrauliques (coefficient, débit, etc...) GOST (R 51657.4 – 2002) :

Comptabilisation de l'eau sur les systèmes d'irrigation et de drainage, intitulé : "mesure de débit à l'aide des déversoirs à seuil triangulaire"

Cette norme-exigences techniques générales nous aide à :

- Déterminer des coefficients avec un très faible écart.
- Déterminer le coefficient de vitesse  $C_v$  et de débit  $C_d$  ainsi que coefficient combiné  $C_v \cdot F$
- Evaluer des erreurs sur  $C_v \cdot F$  et hauteur de lame avec des calculs précisés.

#### 3.1. Caractéristique de débit :

Le projet de norme internationale GOST (R 51657.4 – 2002 ) 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:

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

Avec:

- Q: Débit déversé (m<sup>3</sup>/s) ;
- C<sub>d</sub>: coefficient de débit ;
- C<sub>v</sub>: coefficient de vitesse ;
- h: hauteur de la lame mesurée(m) ;
- L: Largeur du déversoir (m) ;
- g: hauteur accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup>).

• pour un écoulement noyé:

Le débit est déterminé à l'aide de la formule suivante:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot C_d \cdot C_v \cdot f \cdot \sqrt{g} \cdot L \cdot h^{3/2} \dots\dots\dots (I.23)$$

Avec:

- Q : Débit déversé (m<sup>3</sup>/s) ;
- C<sub>d</sub> : Coefficient de débit ;
- C<sub>v</sub> : 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/s<sup>2</sup>).

a. Détermination de coefficient de vitesse C<sub>v</sub>:

Le coefficient C<sub>v</sub> de l'écoulement dénoyer est donner par la formule (I.22), C<sub>v</sub> est le coefficient , sans dimension , tenatcmpte de l'effet de la vitesse d'aprouche

$$(h_0 / h)^{3/2}$$



**b. Détermination de coefficient de combiné Cv.f:**

le coefficient de combiné Cv.f pour la formule de l'écoulement noyé est donnée par la formule (I.23) ou  $h_p$  est la hauteur mesurée de la prise au dessus du seuil.

F est la facteur de réduction sans dimension de l'écoulement noyé

**c. Détermination De coefficient de débit Cd:**

Pour une eau a température ordinaire ,  $C_d$  est indépendant de h , sauf a des hauteurs très faible ou les propriétés du fluide influent sur le coefficient, Pour  $h > 0,1$  m ,  $C_d$  est Cst

Pour  $h < 0,1$  m ,  $C_d$  est donnée par l'équation suivante:

$$C_d = Q \cdot \left( 1 - \left( \frac{0,003}{h} \right) \right)^{3/2} \dots \dots \dots (I.24)$$

Avec:

Q : Débit déversé ( $m^3/s$ ) ;

$C_d$  : Coefficient de débit ,sans dimension;

h : Hauteur (m) ;

**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 :

$$X_c'' = \pm \left( 10 \cdot \frac{C_v}{f} - 9 \right) \dots \dots \dots (I.25)$$

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  $X_c''$  sont donnée sur le tableau (I.1):

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 <sub>p</sub>	h <sub>d</sub> /h <sub>p</sub>	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

**Tableau (L.1) :** valeurs numériques de  $X_c$ '

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.

- $(2/3)^{3/2}$ : Constante numérique sur laquelle on ne fait pas d'erreur.
- $g$  : Accélération due à la pesanteur, [ $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ ], 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 suivantes :

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.

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  $X_b' = 0$   $X_b''$  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:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n-1}} \dots \dots \dots (I.26)$$

Avec:

$y$ : Grandeur d'une mesure quelconque ;

$y'$  : 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 composés, 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 systématiques 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:

$$X_Q = \pm ( X_c^2 + X_b^2 + 2,25X_h^2 )^{1/2} \dots\dots\dots(I.27)$$

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 connaître des 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.

## 1. Méthodes et Technique Expérimentales :

### 1.1. Description de banc d'essai H12 MH2 :

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 de débit:**

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  $h_{\text{total}}$  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<sup>3</sup>)

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 on amont du dispositif de mesurage peut être mesurée on moyen d'une point limnimétrique, ou au moyen limnigraphe. Dans plusieurs cas il est préférable de mesure la hauteur de la lame dans un puits de mesurages séparer afin de réduire l'influence

des irrégularités de la surface. Il faut prévoir pour vérifier la position de zéro du dispositif de mesurage 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 graphe 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 (-50 ; 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 linographe 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.
  - Suppressions 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 :

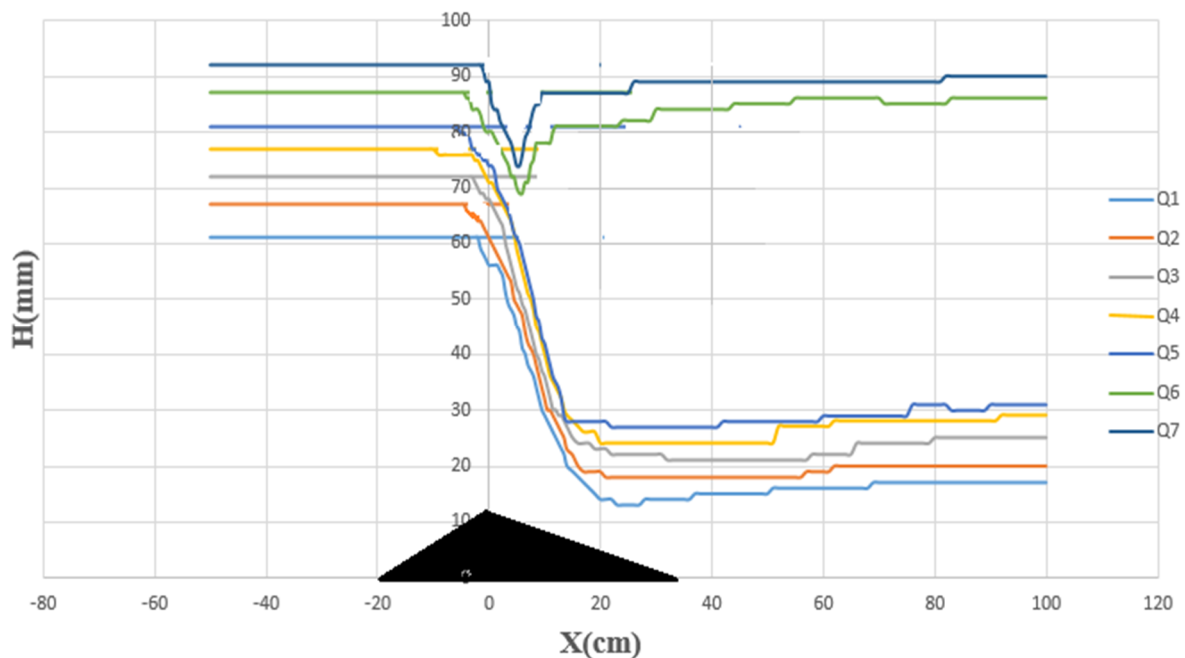
- Etat de la surface du déversoir.
- Forme de la section transversale du chenal.
- rugosité du chenal.
- Influence des appareils de mesurage en amont ou en aval du dispositi

## 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 quatres déversoirs pour chaque débit et pour les quatre ouvertures **Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7** de la vanne qui engendre le ressaut. Ces débits varie de **1,4(l/s)** jusqu'à **4,4 (l/s)**

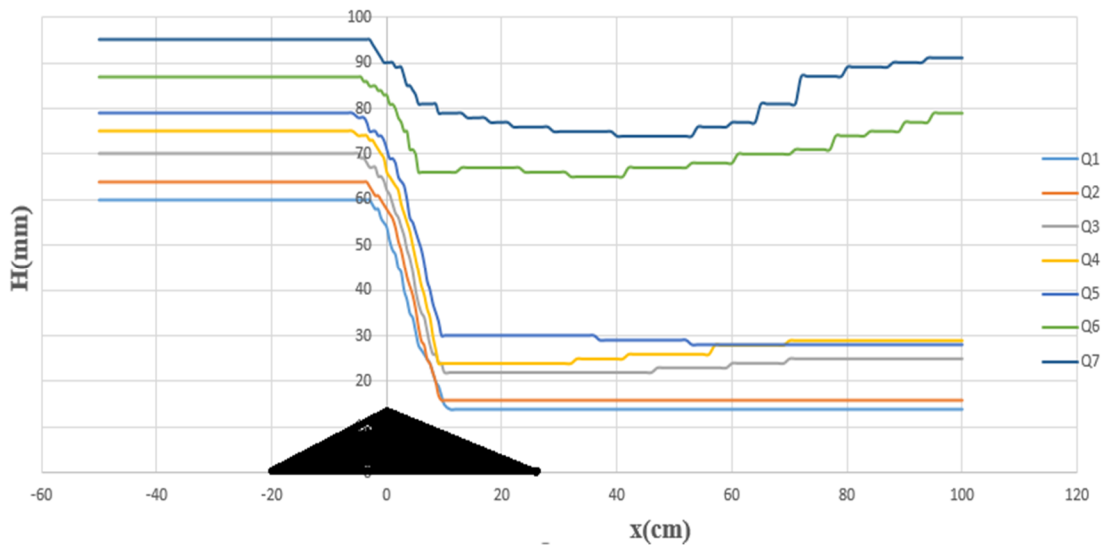
### 2.1. Tracé des écoulements :

#### a. Ecoulement à travers le déversoir de CRUMP :



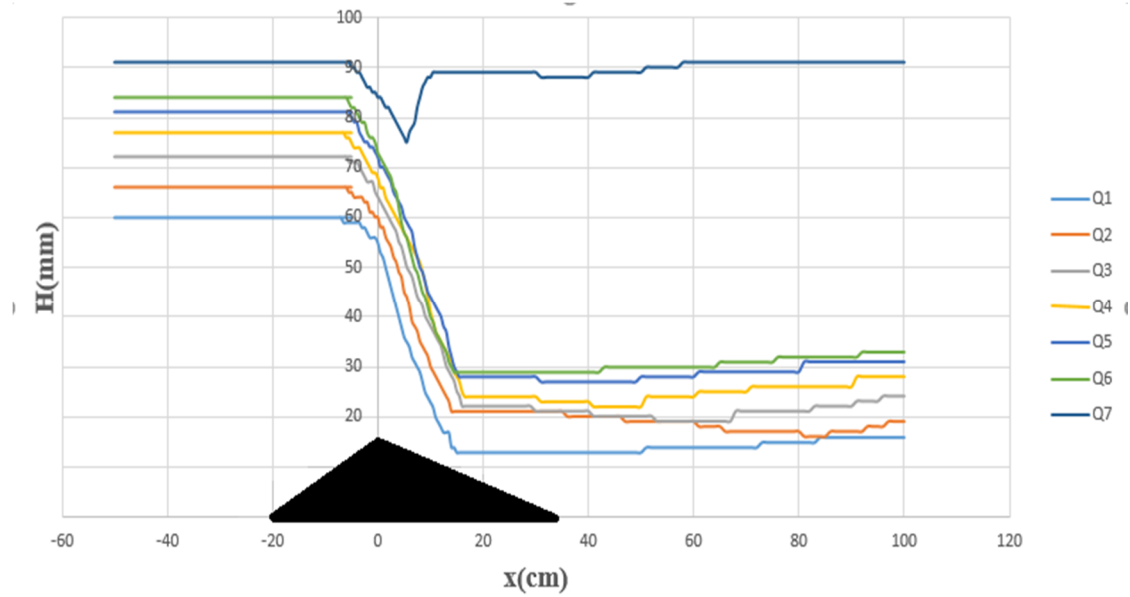
**Figure (II-2):** Allures des écoulements à travers le déversoir de CRUMP

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



**Figure (II-3):** Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :5

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



**Figure (II-4) :** Allures des écoulements à travers le déversoir triangulaire 3 :4

d. *Écoulements à travers le déversoir à profil :*

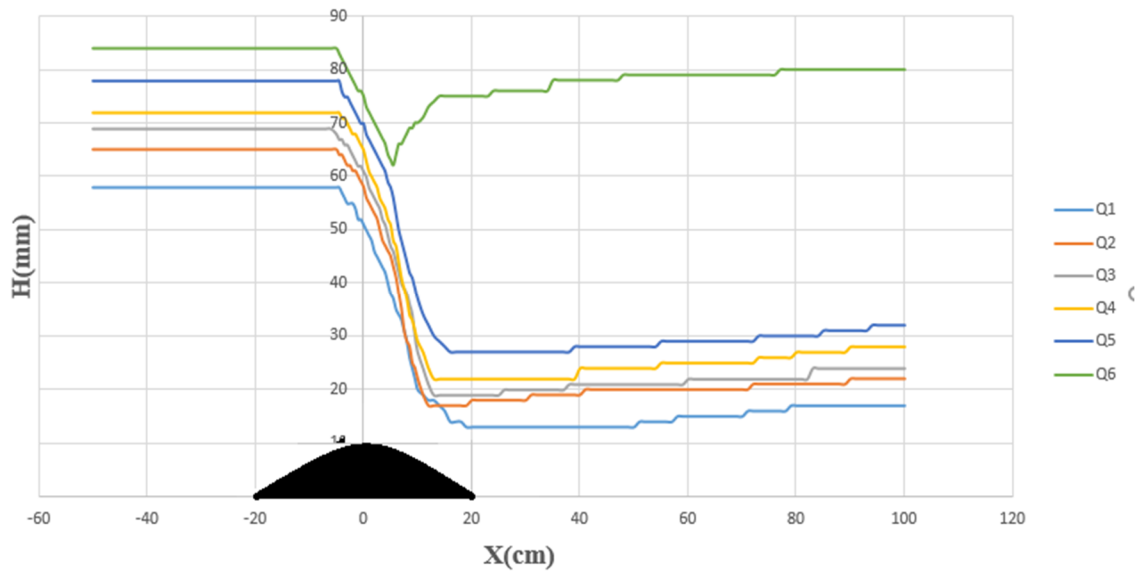


Figure (II-5) : Allures des écoulements à travers le déversoir

## 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 travaillent 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

Parteie II

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  $C_d$  :

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

Coefficient de vitesse  $C_v$  :

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

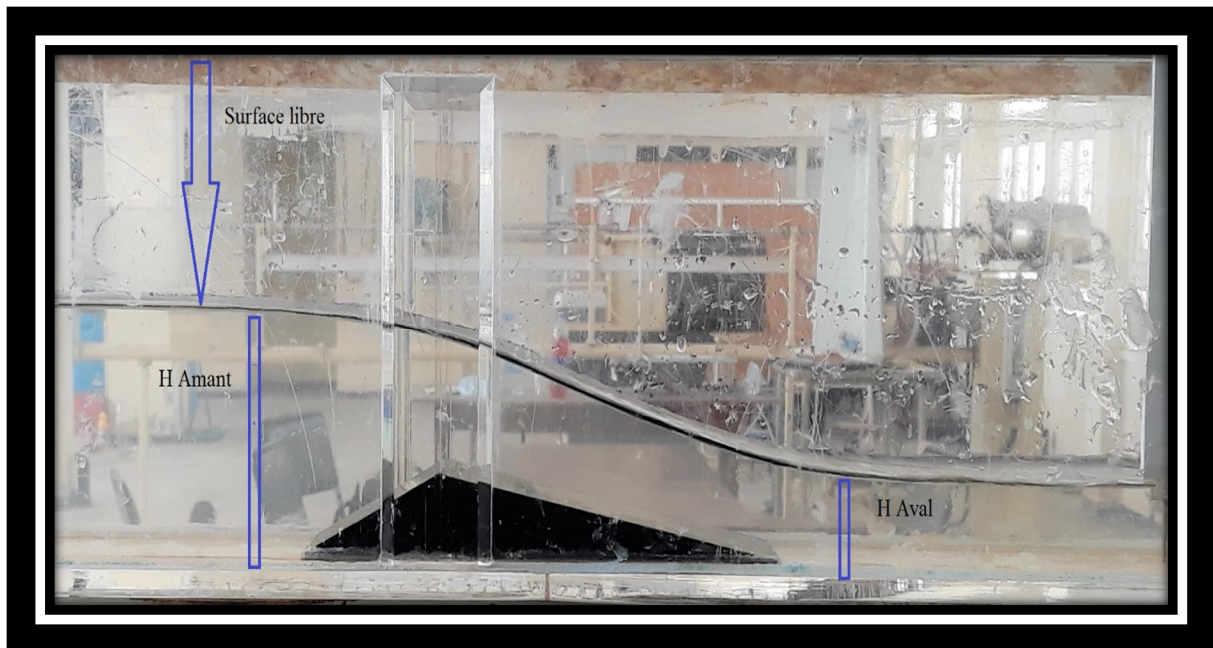


Figure (II-6) : visualisation de l'écoulement dénoyé à travers le déversoir de CRUMP

Parteie II

- Détermination de la vitesse critique:

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

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

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 :

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

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

Donc:

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

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

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

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

Avec : T=b

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

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

<b>Q(l/s)</b>	1,47	2,14	2,7	3,24	3,71	4,21	4,41
<b><math>h_c</math>(mm)</b>	34	43	51	58	63	69	71
<b><math>V_c</math> (m/s)</b>	0,58	0,67	0,71	0,74	0,79	0,81	0,83

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

### • Écoulement 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 $\sigma_s$ :

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

$$\sigma_s = \left(1,05 + 0,8 \cdot \frac{\Delta}{hd}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{h_s}} \dots\dots\dots (II-6)$$

Avec :

$h_0$ : Hauteur de chute totale

$z$ : Chute géométrique

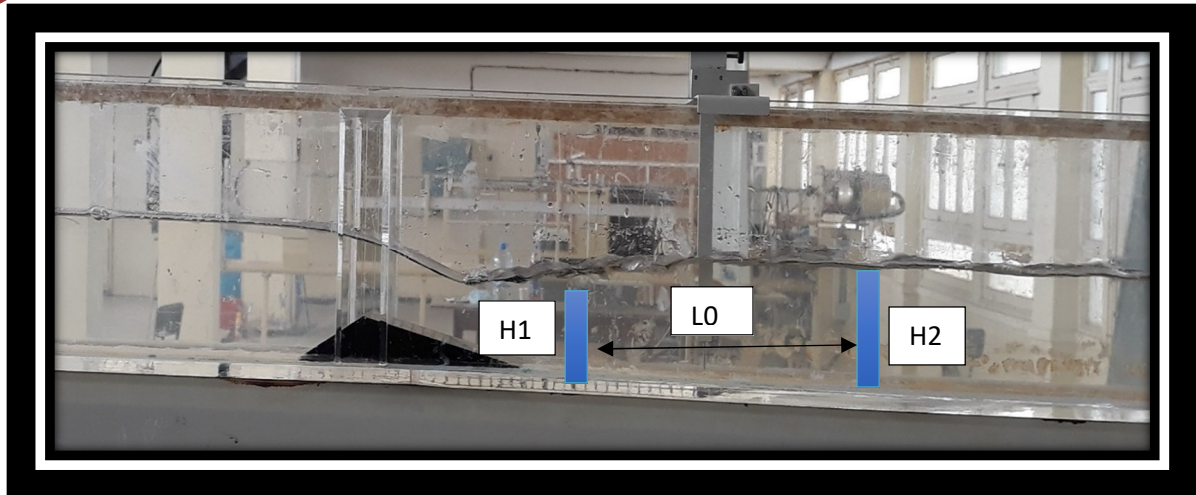
$\Delta$ : Remontée du niveau aval

$hd$ : 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-7):** Visualisation du début de submersion à travers le déversoir de CRUMP

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

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\Delta E = \left( h_1 + \frac{v_1^2}{2.g} \right) - \left( h_2 + \frac{v_2^2}{2.g} \right) = (h_1 - h_2) + \left( \frac{v_1^2}{2.g} - \frac{v_2^2}{2.g} \right)$$

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

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

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

déversoir de CRUMP				
$Q$	Débit (l/s)	les hauteurs du ressaut (mm)		les pertes d'énergies (m)
$\Delta E$				
$\Delta E1$	$Q1= 1.472$	$h_1$	20	$5.95E-06$
		$h_2$	21	
$\Delta E2$	$Q2=2,147$	$h_1$	24	$4.16E-06$
		$h_2$	25	
$\Delta E3$	$Q3=2,703$	$h_1$	26	$3.65E-06$
		$h_2$	27	
$\Delta E4$	$Q4=3.240$	$h_1$	32	$2.37 E-06$
		$h_2$	33	
$\Delta E5$	$Q5=3.719$	$h_1$	32	$1.83 E-05$
		$h_2$	34	
$\Delta E6$	$Q6=4.210$	$h_1$	76	$2.8 E-04$
		$h_2$	85	
$\Delta E7$	$Q7=4.410$	$h_1$	73	$1.08 E-03$
		$h_2$	87	

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



déversoir de TALUS 3:4				
Q	Débit (l/s)	les hauteurs du ressaut (mm)		les pertes d'énergies (m)
$\Delta E$				
$\Delta E1$	Q1=1.481	h <sub>1</sub>	17	8.16 E-06
		h <sub>2</sub>	18	
$\Delta E2$	Q2=1.887	h <sub>1</sub>	23	4.23 E-06
		h <sub>2</sub>	24	
$\Delta E3$	Q3=2.484	h <sub>1</sub>	28	3.08 E-06
		h <sub>2</sub>	29	
$\Delta E4$	Q4=2.767	h <sub>1</sub>	34	2.1 E-06
		h <sub>2</sub>	35	
$\Delta E5$	Q5=3.48	h <sub>1</sub>	40	1.52 E-06
		h <sub>2</sub>	41	
$\Delta E6$	Q6=3.961	h <sub>1</sub>	58	1.3 E-03
		h <sub>2</sub>	71	
$\Delta E7$	Q7=4.40	h <sub>1</sub>	68	9.97 E-04
		h <sub>2</sub>	81	

**Tableau (II-3) :** Perte d'énergie du déversoir de talus (3:4) pour les différents débits

déversoir de 3:5				
Q	Débit (l/s)	les hauteurs du ressaut (mm)		les pertes d'énergies (m)
$\Delta E$				
$\Delta E1$	Q1=1.32	$h_1$	13	1.37 E-05
		$h_2$	14	
$\Delta E2$	Q2=1.926	$h_1$	21	5.41 E-05
		$h_2$	22	
$\Delta E3$	Q3=2.476	$h_1$	28	3.07 E-05
		$h_2$	29	
$\Delta E4$	Q4=3.12	$h_1$	35	1.98 E-05
		$h_2$	36	
$\Delta E5$	Q5=3.70	$h_1$	35	1.54 E-05
		$h_2$	37	
$\Delta E6$	Q6=4.06	$h_1$	36	1.46 E-05
		$h_2$	38	
$\Delta E7$	Q7=4.35	$h_1$	76	2.0 E-04
		$h_2$	84	

**Tableau (II-4) :** Perte d'énergie du déversoir de talus (3:5) pour les différents débits

déversoir de hydrodynamique				
$Q$	Débit (l/s)	les hauteurs du ressaut (mm)		les pertes d'énergies (m)
$\Delta E$				
$\Delta E1$	Q1=1.354	$h_1$	16	9.19 E-06
		$h_2$	17	
$\Delta E2$	Q2=2.02	$h_1$	20	5.95 E-06
		$h_2$	21	
$\Delta E3$	Q3=2.528	$h_1$	26	3.65 E-06
		$h_2$	27	
$\Delta E4$	Q4=2.96	$h_1$	26	2.75 E-05
		$h_2$	28	
$\Delta E5$	Q5=3.607	$h_1$	30	2.08 E-05
		$h_2$	32	
$\Delta E6$	Q6=3.94	$h_1$	68	7.9 E-04
		$h_2$	80	

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

## 2- Deuxième phase (écoulement noyé transitoire):

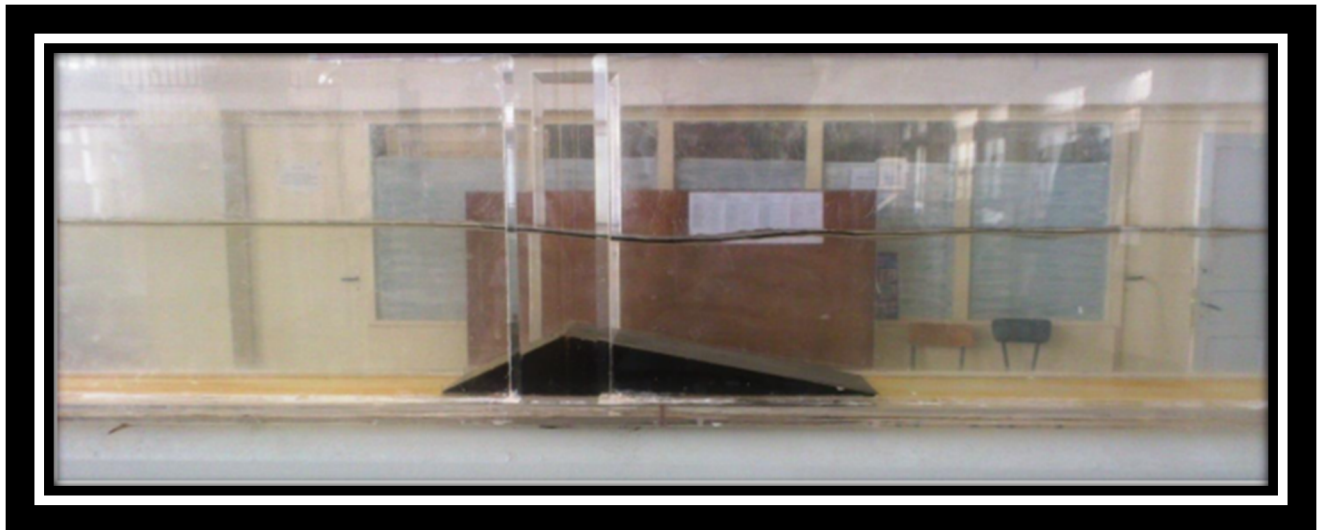
Dans la deuxième phase, le ressaut se déplace vers l'amont pour atteindre la section critique et engendre une faible perte d'énergie ; le niveau de la surface libre continue à s'élever.



Figure (II-8): Visualisation de l'écoulement noyé transitoire à travers le déversoir de CRUMP

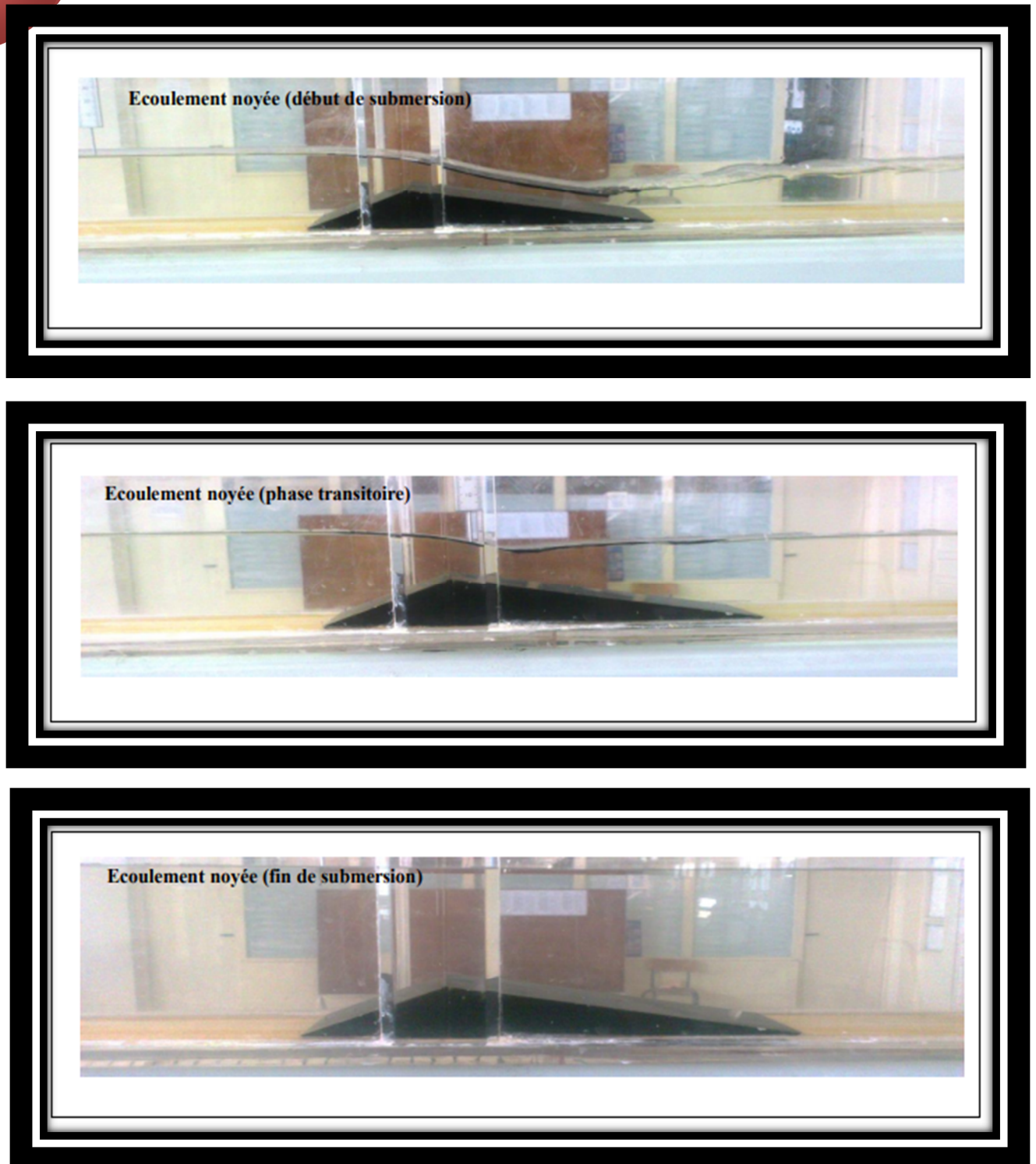
### 3- Troisième phase

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-9) :** Visualisation de la fin de submersion à travers le déversoir de CRUMP

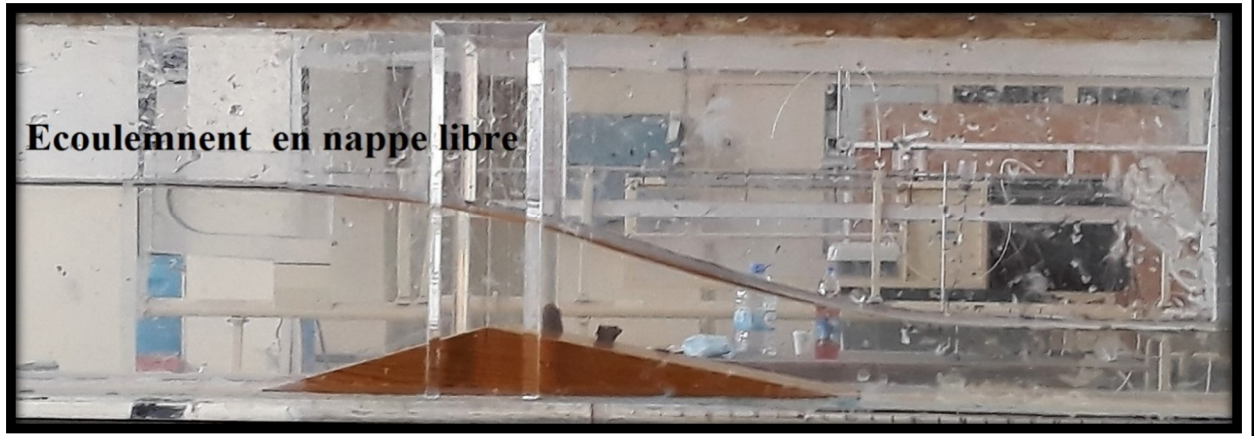




**Figure (II-10):** visualisation des écoulements à travers le déversoir de CRUMP



Écoulement en nappe libre



Écoulement noyé (début de submersion)



Écoulement noyé (phase transition)

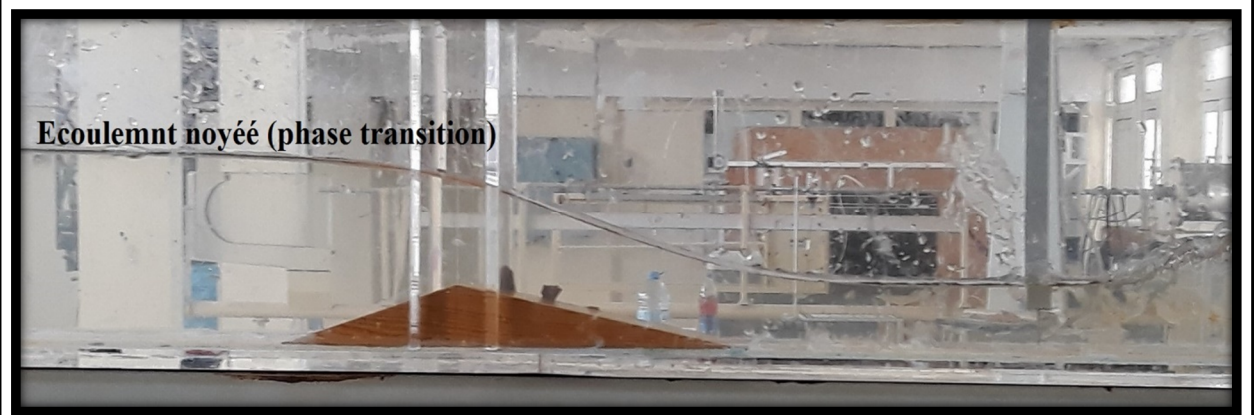
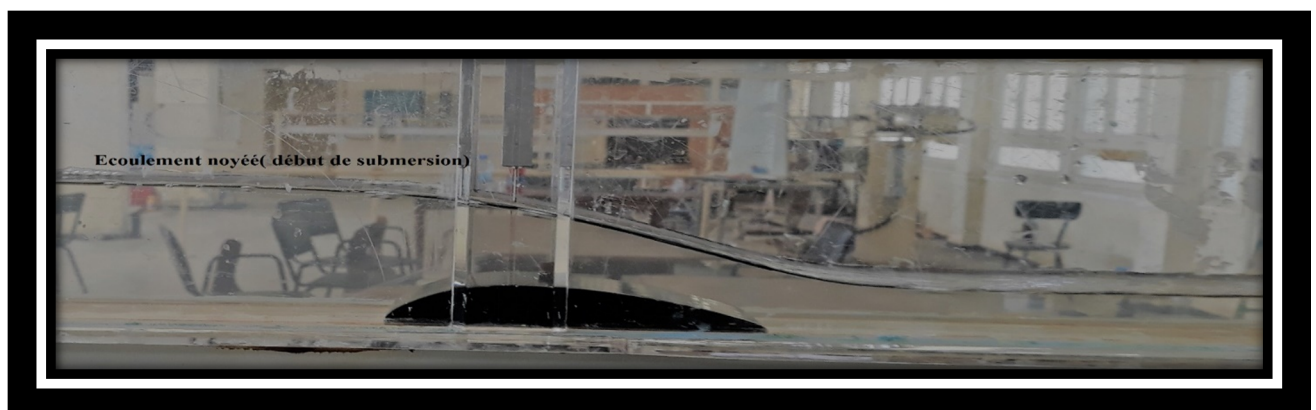
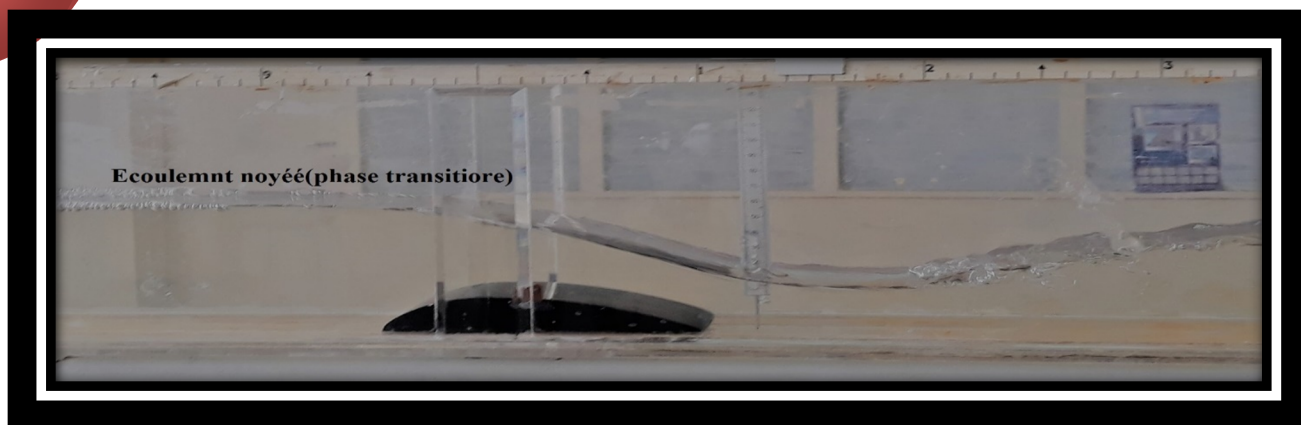




Figure (II-11) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir de talus (3 :5)







*Figure (II-12) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir hydrdinamique*







**Figure (II-13) :** 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 :

-  $h_0 = f(Q)$

-  $\log(h_0) = \log(Q)$

-  $C = f(h_0 / h_d)$

-  $C_v = f(h_0 / h_d)$

-  $C_v = f(C)$

-  $\sigma_s = f(\Delta / h_0)$

**3.1. Courbes caractéristiques de l'écoulement dénoyé:**

**a. Détermination des coefficients C et C<sub>v</sub>:**

- Détermination du coefficient de débit C:

On a l'expression générale de débit :

$$Q = m.b.\sqrt{2.g}.h_0^{3/2} \dots\dots\dots(II-8)$$

Avec:  $m = C / \sqrt{2} \Rightarrow C = m . \sqrt{2}$

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

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

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

- Détermination du coefficient de la vitesse d'approche C<sub>v</sub>:

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

$$h_0 = h + E_c \Rightarrow h_0 = h + \frac{v_o^2}{2.g}$$

On calcul V<sub>0</sub>:

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

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

- Exemple de calcul:

Soit le calcul de C et C<sub>v</sub> pour le déversoir de CRUMP (pour le débit Q1):

$$V_o = \frac{1,47 \cdot 10^{-3}}{[0,075 \cdot (30+61) \cdot 10^{-3}]} = 0,215 \text{ m/s}$$

$$h_0 = 61 + \frac{(0,215)^2 \cdot 10^{-3}}{0,075 \cdot \sqrt{9,81}} = 63,370 \text{ mm}$$

$$C = \frac{1,472 \cdot 10^{-3}}{0,075 \cdot \sqrt{9,81} (63,370 \cdot 10^{-3})^{\frac{3}{2}}} = 0,393$$

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

Q(l/s)	h(mm)	V <sub>o</sub>	V <sub>o</sub> <sup>2</sup> /(2*g)	h <sub>o</sub> (mm)	C	C <sub>v</sub>	h <sub>o</sub> /hd
1,47	61	0,215	2,370	63,370	0,393	1,058	2,112
2,14	67	0,295	4,439	71,439	0,478	1,101	2,381
2,70	72	0,353	6,363	78,363	0,524	1,135	2,612
3,24	77	0,403	8,308	85,308	0,553	1,166	2,843
3,71	81	0,446	10,171	91,171	0,575	1,194	3,039
4,21	87	0,479	11,731	98,731	0,578	1,208	3,291
4,41	92	0,481	11,839	103,831	0,561	1,199	3,461

Tableau (II-6): caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de CRUMP

Q(l/s)	h(mm)	V <sub>o</sub>	V <sub>o</sub> <sup>2</sup> /(2*g)	h <sub>o</sub> (mm)	C	C <sub>v</sub>	h <sub>o</sub> /hd
1,48	60	0,219	2,453	62,453	0,404	1,061	2,081
1,88	64	0,267	3,651	67,651	0,456	1,086	2,255
2,48	70	0,331	5,590	75,590	0,509	1,122	2,519
2,76	75	0,351	6,292	81,292	0,508	1,128	2,709
3,48	79	0,425	9,236	88,236	0,565	1,180	2,941
3,96	87	0,607	18,782	105,782	0,490	1,340	3,526
4,4	95	0,469	11,227	106,227	0,541	1,182	3,540

Tableau (II-7): caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de talus 3 :4

Q(l/s)	h(mm)	$V_o$	$V_o^2/(2*g)$	$h_o$ (mm)	C	Cv	$h_o/hd$
1,32	60	0,195	1,949	61,949	0,364	1,049	2,064
1,92	66	0,267	3,647	69,647	0,446	1,084	2,321
2,47	72	0,323	5,339	77,339	0,490	1,113	2,577
3,12	77	0,388	7,704	84,704	0,539	1,153	2,823
3,7	81	0,444	10,067	91,067	0,573	1,192	3,035
4,06	84	0,474	11,492	95,492	0,586	1,212	3,183
4,73	91	0,521	13,846	104,846	0,593	1,236	3,494

Tableau (II-8): caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de talus 3 :5

Q(l/s)	h(mm)	$V_o$	$V_o^2/(2*g)$	$h_o$ (mm)	C	Cv	$h_o/hd$
1,35	58	0,217	2,411	60,411	0,388	1,063	2,416
2,02	65	0,299	4,564	69,564	0,468	1,107	2,782
2,52	69	0,358	6,555	75,553	0,518	1,145	3,022
2,96	72	0,406	8,437	80,437	0,552	1,180	3,217
3,60	78	0,466	11,112	89,112	0,577	1,221	3,564
3,94	84	0,481	11,839	95,839	0,565	1,218	3,833

Tableau (II-9): caractéristiques des écoulements à travers le déversoir hydrodynamique

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

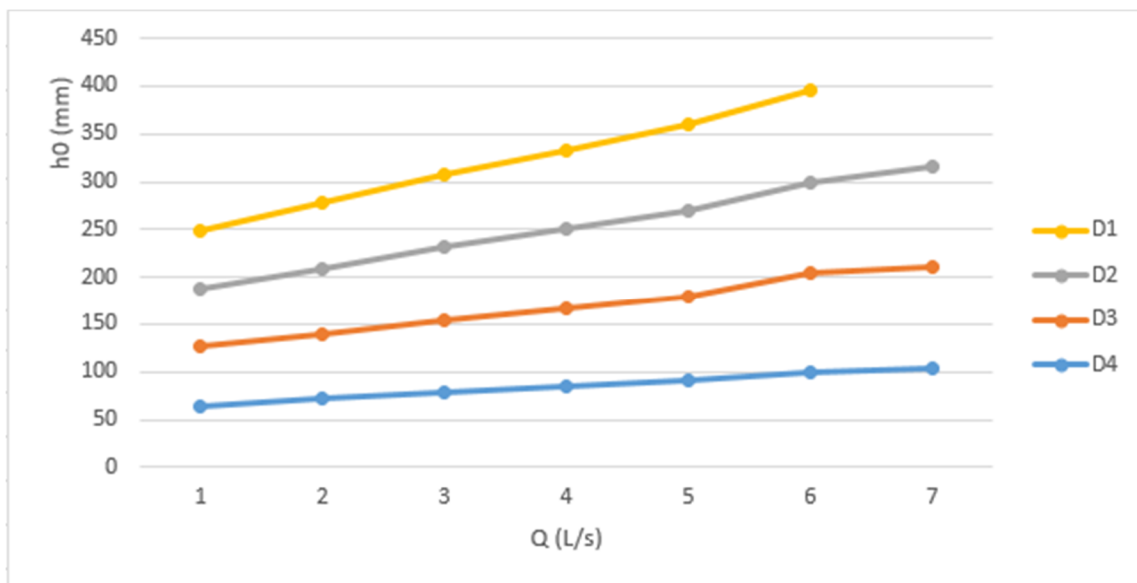


Figure (II-14): Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale

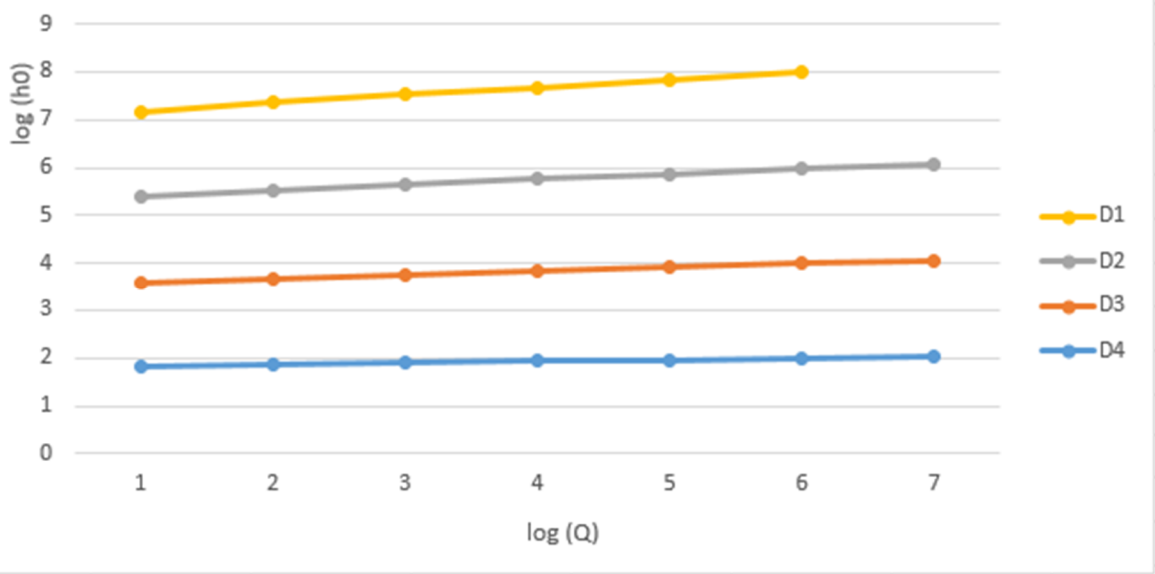


Figure (II-15): Tracé logarithmique

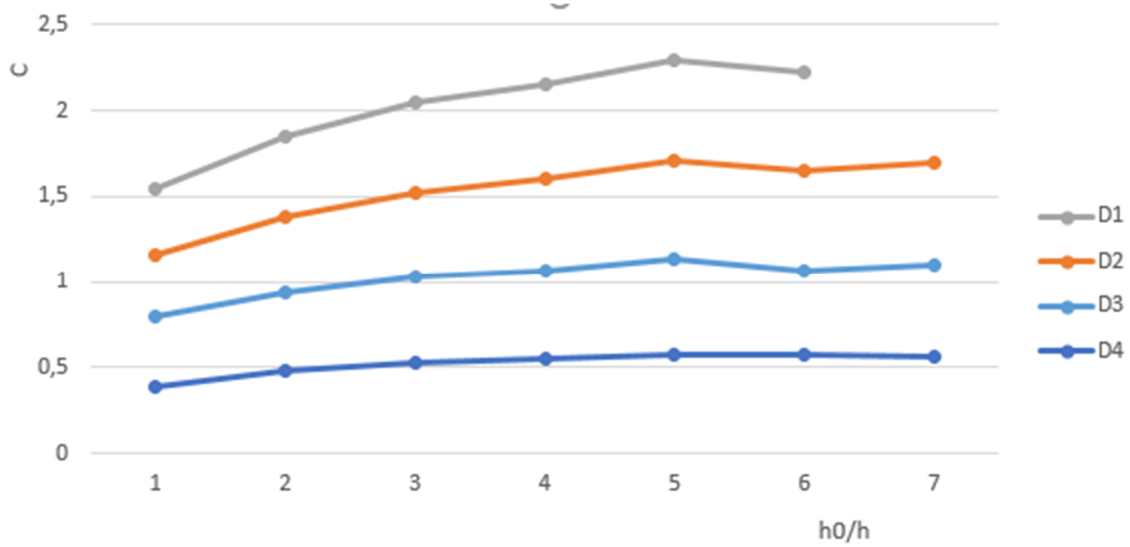
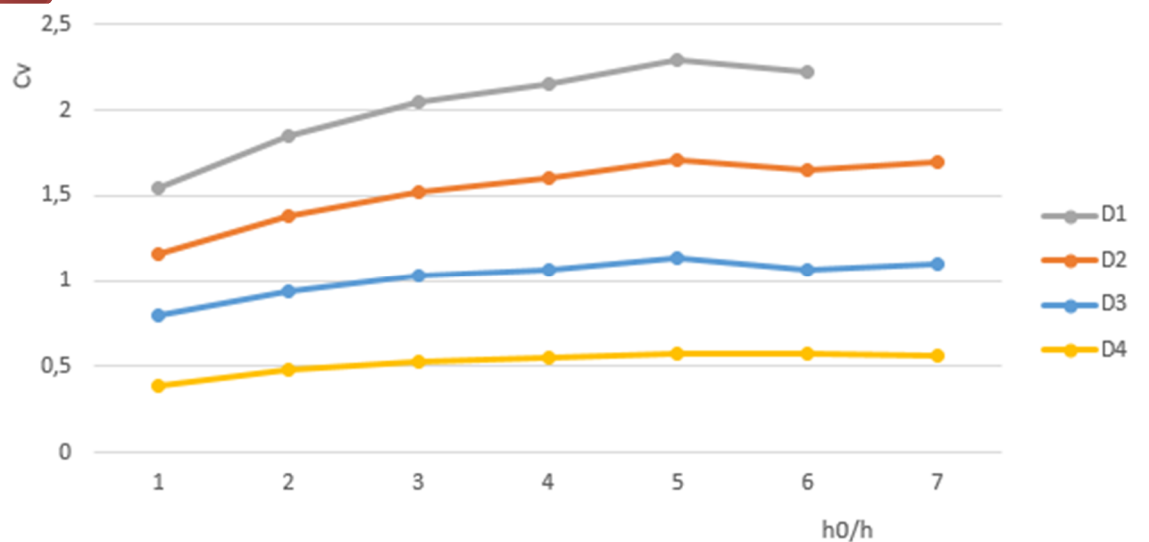


Figure (II-16): Variation de C en fonction des rapports h0/h



**Figure (II-17):** Variation de  $C_v$  en fonction des rapports  $h_0/h$ .

### 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 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 CV 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

Les coefficients	C	C <sub>v</sub>
Déversoir de CRUMP	0,57	1,15
Déversoir de talus (3 :4)	0,56	1,15
Déversoir de talus (3 :5)	0,59	1,48
Déversoir Hydrodynamique	0,57	1,15

**Tableau (II-10):** valeurs moyennes des coefficients C et C<sub>v</sub>

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

Les valeurs moyennes du coefficient C de deux déversoirs à profil triangulaire et hydrodynamique 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 trois déversoirs.

Les valeurs de C des déversoirs:

**Pour Déversoir de CRUMP: 0.57**  
**Pour Déversoir de talus (3; 4): 0,56**  
**Pour Déversoir de talus (3; 5): 0,59**  
**Pour Déversoir hydrodynamique : 0,57**

- **Critiques des valeurs du coefficient de vitesse C<sub>v</sub> :**

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

**Pour Déversoir de CRUMP: [1,05 ; 1,20]**  
**Pour Déversoir de talus (3; 4): [1,06 ; 1,34]**  
**Pour Déversoir de talus (3; 5): [1,05 ; 1,23]**  
**Pour Déversoir hydrodynamique : [1,06 ; 1,22]**

• **Courbe de la variation de Cv en fonction de C :**

C'est des paraboles de forme plongeante ; le coefficient de vitesse d'approche Cv 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  $\sigma_s = f\left(\frac{\Delta}{h_o}\right)$ , le coefficient de submersion

$\sigma_s$  est calculer par la formule de BAZIN Suivante:

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

Avec:

$h_o$ : Hauteur de chute totale

Z: Chute géométrique

$\Delta$ : Remontée du niveau aval

$h_d$ : Hauteur du déversoir

**a. Détermination du coefficient de submersion  $\sigma_s$ :**

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux suivant:

Q	Z	$\Delta$	$h_o$	$\sigma$	$\Delta/h_o$
1,47	4,4	17	63,370	0,617	0,268
2,14	4,6	20	71,439	0,634	0,279
2,70	4,7	28	78,363	0,703	0,357
3,24	4,8	29	85,308	0,698	0,339
3,71	5	31	91,171	0,713	0,340
4,21	0,2	86	98,731	0,423	0,871
4,41	0,1	90	103,839	0,340	0,866

**Tableau (II-11):** variation de  $\sigma_s$  en fonction du rapport  $\Delta/h_o$  pour le déversoir de CRUMP



Q	Z	$\Delta$	$h_o$	$\sigma$	$\Delta/h_o$
1,48	4,6	14	62,453	0,596	0,224
1,88	4,6	16	67,651	0,602	0,236
2,48	4,5	25	75,590	0,670	0,330
2,76	4,6	29	81,292	0,700	0,356
3,48	5,1	28	88,236	0,694	0,317
3,96	0,7	79	105,782	0,592	0,746
4,4	0,4	91	106,227	0,540	0,856

**Tableau (II-12):** variation de  $\sigma_s$  en fonction du rapport  $\Delta/h_0$  pour le déversoir de talus 3 :4

Q	Z	$\Delta$	$h_o$	$\sigma$	$\Delta/h_o$
1,32	4,4	16	61,949	0,611	0,257
1,92	4,9	19	69,647	0,642	0,272
2,47	5	24	77,339	0,678	0,310
3,12	5,5	28	84,704	0,722	0,330
3,7	5,2	31	91,067	0,722	0,340
4,06	5,2	33	95,492	0,731	0,345
4,73	0,1	91	104,846	0,342	0,867

**Tableau (II-13):** variation de  $\sigma_s$  en fonction du rapport  $\Delta/h_0$  pour le déversoir de talus 3:5

Q	Z	$\Delta$	$h_o$	$\sigma$	$\Delta/h_o$
1,35	4,1	17	60,411	0,613	0,281
2,02	4,3	22	69,564	0,647	0,316
2,52	4,5	24	75,553	0,659	0,317
2,96	4,4	28	80,437	0,682	0,348
3,60	4,6	32	89,112	0,708	0,359
3,94	0,4	80	95,839	0,512	0,834

**Tableau (II-14):** variation de  $\sigma_s$  en fonction du rapport  $\Delta/h_0$  pour le déversoir hydrodynamique

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

Les courbes  $\sigma_s = F\left(\frac{\Delta}{h_o}\right)$  présentent des allures paraboliques, d'après les résultats obtenus, On constate que le coefficient de submersion  $\sigma_n$  est inversement proportionnel au rapport  $\left(\frac{\Delta}{h_o}\right)$  les degrés de submersion  $\sigma$  (%) obtenus sont dans le tableau suivant :

	Q <sub>1</sub> =1,47(l/s)	Q <sub>2</sub> =2,14(l/s)	Q <sub>3</sub> =2,70(l/s)	Q <sub>4</sub> =3,24(l/s)	Q <sub>5</sub> =3,71(l/s)	Q <sub>6</sub> =4,21(l/s)	Q <sub>7</sub> =4,41(l/s)
CRUMP	38,9	36,6	29,7	30,2	28,7	57,7	66,0
(3:4)	40,4	39,8	33,0	30	30,6	40,8	46,0
(3:5)	38,9	35,8	32,2	27,8	27,8	26,9	65,8
hydramique	38,7	35,3	34,1	31,8	29,2	48,8	

Tableau (II-15) : Valeurs de  $\sigma$  (%) pour différents débits

A partir des courbes caractéristiques, on peut déterminer le coefficient  $\sigma_n$  en connaissant le Rapport  $(\frac{\Delta}{h_o})$  pour différents cas de submersion  $\sigma = 1 - \sigma_n$ , donc on peut calculer le degré de submersion qui est un paramètre qui exprime le taux de réduction de débit.

Les degrés de submersion obtenus varient de 26 % à 66%. Il a été démontré expérimentalement par BAZIN que la courbe  $\sigma_s = F(\frac{\Delta}{h_o})$  des déversoirs à profile 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 66%, 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<sub>s</sub>: Débit noyé, ou submergé (l/s).

Q<sub>d</sub>: Débit dénoyé (l/s).

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

	Q <sub>s1</sub>	Q <sub>s2</sub>	Q <sub>s3</sub>	Q <sub>s4</sub>	Q <sub>s5</sub>	Q <sub>s6</sub>	Q <sub>s7</sub>
CRUMP	0,91	1,36	1,90	2,26	2,65	2,84	2,96
Déversoir (3 :4)	0,88	1,14	1,67	1,94	2,41	2,55	2,64
Déversoir (3 :5)	0,80	1,23	1,67	2,25	2,67	2,97	3,10

Hydrodynamique	0,83	1,30	1,66	2,01	2,55	2,85	
----------------	------	------	------	------	------	------	--

**Tableau (II-16):** Valeurs de  $Q_s$  pour différents débits.

#### d. Calcul des coefficients de vitesse:

Le coefficient de vitesse se calcule de la même manière que pour un écoulement dénoyé.

	$C_{v1}$	$C_{v2}$	$C_{v3}$	$C_{v4}$	$C_{v5}$	$C_{v6}$	$C_{v7}$
CRUMP	1,06	1,10	1,13	1,16	1,19	1,20	1,21
Déversoir (3 :4)	1,06	1,08	1,12	1,13	1,14	1,18	1,22
Déversoir (3 :5)	1,06	1,09	1,12	1,16	1,21	1,23	1,25
Hydrodynamique	1,06	1,10	1,14	1,18	1,22	1,25	

**Tableau (II-17):** coefficient de vitesse des différents déversoirs.

On remarque que les coefficients de vitesse dans le cas des écoulements submergés sont très proches pour les quatre 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.

Exemple :

- Pour calculer les erreurs limite pour cette valeur de  $Q$ , les erreurs limite sur les valeurs des coefficients sont d'abord déterminées :

$$X'_c = \pm 0,5 \%$$

$$X''_c = \pm \left( \frac{10 \times 1,06}{1} - 9 \right) \% = \pm 1,50 \%$$

- L'erreur limite symétrique sur la mesure de la longueur est considérée être dans ce cas 0,01 m . en conséquence,

$$X'_b = 0$$

$$X''_b = \frac{0,01}{10} \times 100 = \pm 0,1 \%$$

- Les erreurs limites sur la mesure de niveau de l'eau sont:

$$X'_h = \pm \sqrt{0 + 0,17^2} = \pm 0,17 \%$$

$$X''_h = \pm \sqrt{0,47^2 + 0,35^2} = \pm 0,58 \%$$

- L'erreur limite aléatoire totale sur la mesure de débit :

$$X'_Q = \pm (0,5^2 + 0 + 2,25 \cdot 0,17^2)^{1/2} = \pm 0,55 \%$$

$$X''_Q = \pm (1,5^2 + 0,1^2 + 2,25 \cdot 0,58^2)^{1/2} = \pm 1,75 \%$$

Selon la règle de la racine carrée de la somme des carrée :

$$X_Q = \pm \sqrt{0,5^2 + 1,75^2} = 1,8 \%$$

Le debit Q peut etre indiqué comme suit:

$$1,47 \text{ (l/s) } , \pm 1,8 \% ; \text{ Erreur limite aléatoire} = \pm 0,55\%$$

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

	X <sub>Q1</sub>	X <sub>Q2</sub>	X <sub>Q3</sub>	X <sub>Q4</sub>	X <sub>Q5</sub>	X <sub>Q6</sub>	X <sub>Q7</sub>
<b>CRUMP</b>	±0,5	±14	±11,5	±9,75	±6,5	±4,75	±2,10
<b>Déversoir (3 :4)</b>	±0,5	±8,75	±8	±7,10	±6,51	±6	±5,13
<b>Déversoir (3 :5)</b>	±0,5	±9,10	±8,13	±7,35	±6,10	±5,91	±5,10
<b>hydrodynamique</b>	±0,5	±10,13	±9,25	±8,75	±7,13	±6,65	

**Tableau (II-18) :** Erreurs limites sur la détermination des débits dénoyé.

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:**

	X <sub>Q1</sub>	X <sub>Q2</sub>	X <sub>Q3</sub>	X <sub>Q4</sub>	X <sub>Q5</sub>	X <sub>Q6</sub>	X <sub>Q7</sub>
<b>CRUMP</b>	±0,5	±6,51	±5,13	±4,75	±4,63	±3,15	±2,5
<b>Déversoir (3 :4)</b>	±6,20	±5,5	±4,25	±3,75	±3,13	±3,03	±2,63
<b>Déversoir (3 :5)</b>	±0,5	±8,65	±7,20	±6,93	±6,14	±5,15	±4,03
<b>hydrodynamique</b>	±0,5	±9,20	±8,22	±7,77	±7,33	±6,51	

**Tableau (II-19):** Erreurs limites sur la détermination des débits submergés.

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) , (3 :4) et hydrodynamique 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 :4) , (3:5) et hydrodynamique ce dernier est supérieur à celui du déversoir de talus (3 :4) et (3:5) 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 quatre déversoirs.
- 5- L'écoulement noyé est presque atteint une submersion totale vue à la valeur ,élevée du débit qui est de 4,41 (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, 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 :

Donc le modèle qui sera élaboré aura la formule suivante:

$$\sigma_s = (A + B \cdot \frac{\Delta}{hd}) \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{h_o}} \dots \dots \dots (II-16)$$

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:

$$\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{z}{h_o}}} = f \left( \frac{\Delta}{hd} \right) \dots \dots \dots (II-17)$$

$$\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{z}{h_o}}} = A + B \cdot \frac{\Delta}{hd} \dots \dots \dots (II-18)$$

Parteie II

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:  $B = \text{tg } \theta$

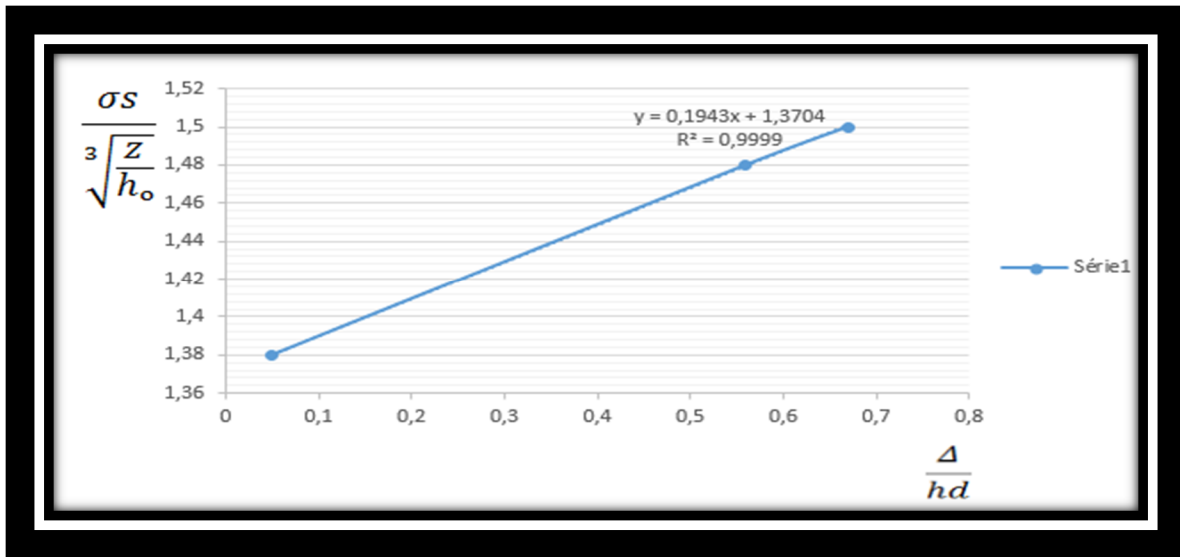
Pour tracée les graphes, on calcul les valeurs de  $\frac{\sigma S}{\sqrt[3]{\frac{z}{h_0}}}$  et  $\frac{\Delta}{hd}$  pour les déferents débits, les

résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivants:

	$\frac{\sigma S}{\sqrt[3]{\frac{z}{h_0}}}$			$\frac{\Delta}{hd}$		
Q1	1,38	1,48	1,5	0,05	0,56	0,67
Q2	1,56	1,58	1,64	0,50	0,6	0,88
Q3	1,74	1,78	1,81	0,70	1	1,24
Q4	1,62	1,8	2,20	0,82	0,96	1,30
Q5	1,75	1,86	2,30	0,90	1,03	1,58
Q6	3,1	3,6	3,80	2,50	2,86	2,97
Q7	3,33	3,44	3,70	2,74	2,98	3,50

**Tableau (II-20):** variation de  $\frac{\sigma S}{\sqrt[3]{\frac{z}{h_0}}}$  en fonction de  $(\frac{\Delta}{hd})$  pour les débits

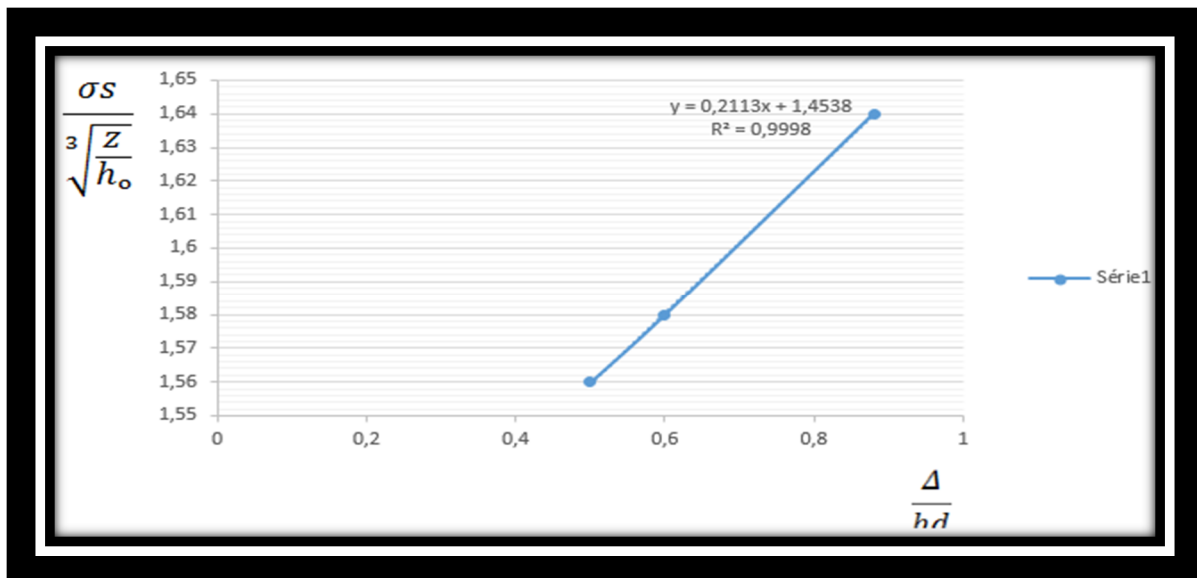
Trace des graphes  $\frac{\sigma S}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}} = f\left(\frac{\Delta}{hd}\right)$  pour les différents débits:



Figure(II-18) : graphe de la variation de  $\frac{\sigma S}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$  en fonction de  $\frac{\Delta}{hd}$  pour le débit Q1

$$A_1 = 1,37$$

$$B_1 = \frac{1,50 - 1,38}{0,67 - 0,05} = 0,19$$

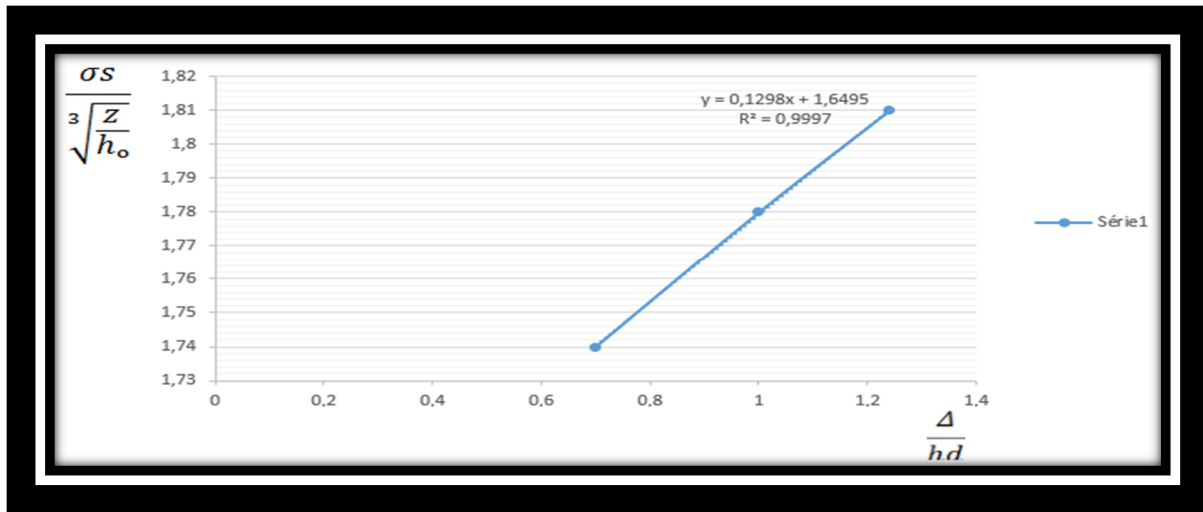


Figure(II-19) : graphe de la variation de  $\frac{\sigma S}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_0}}}$  en fonction de  $\frac{\Delta}{hd}$  pour le débit Q2

$$A_2 = 1,45$$

Parteie II

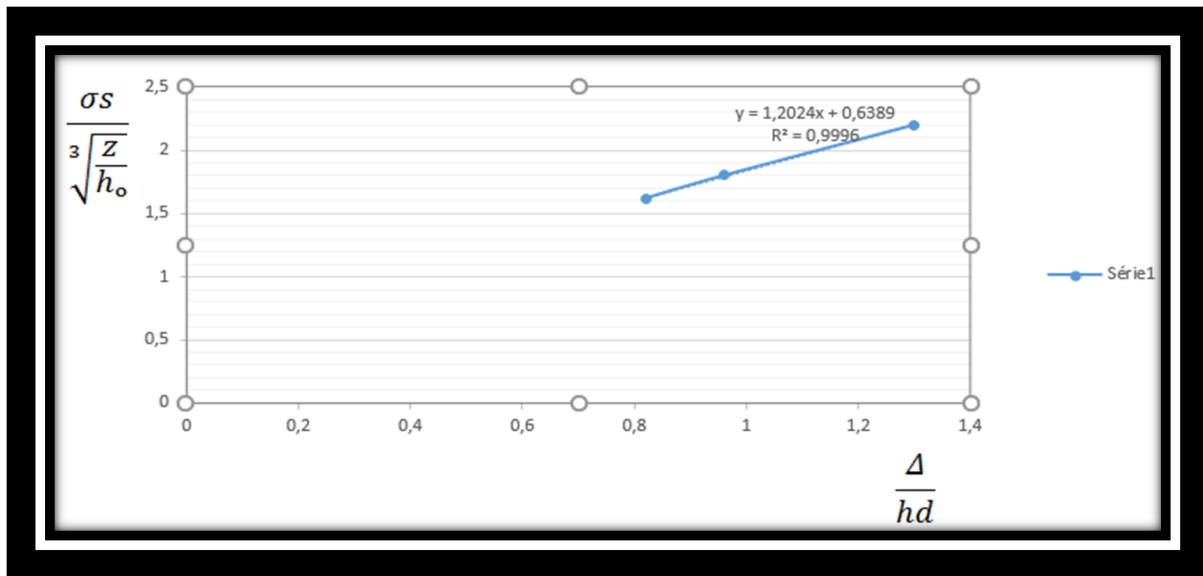
$$B_2 = \frac{1,64-1,56}{0,88-0,5} = 0,21$$



Figure(II-20) : graphe de la variation de  $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_o}}}$  en fonction de  $\frac{\Delta}{hd}$  pour le débit Q3

$$A_3 = 1,64$$

$$B_3 = \frac{1,81-1,74}{1,24-0,7} = 0,13$$

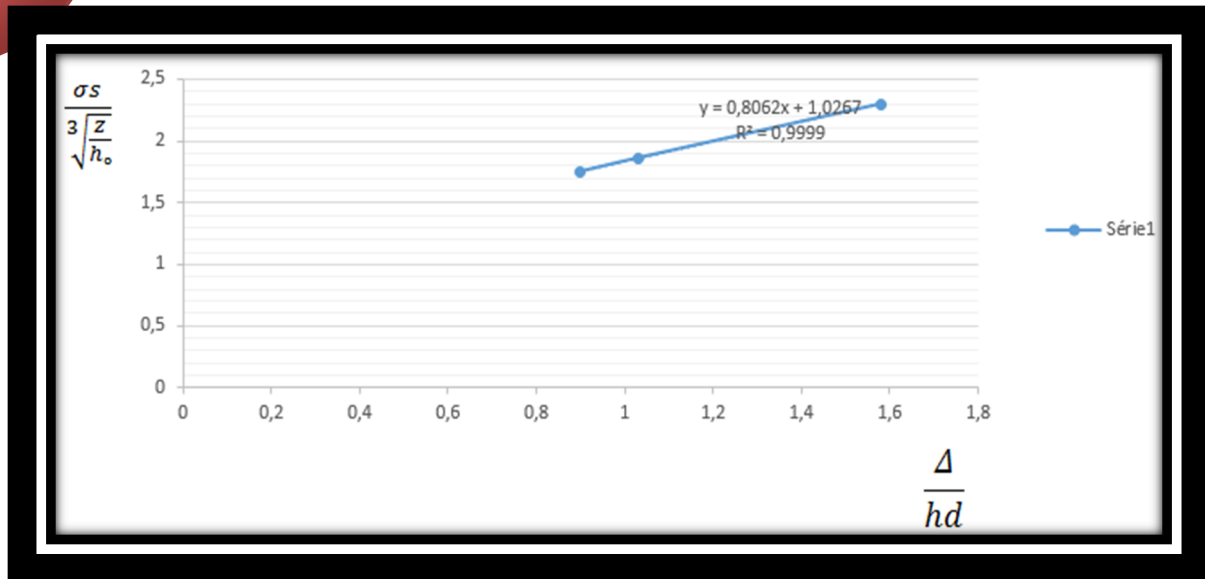


Figure(II-21) : graphe de la variation de  $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{Z}{h_o}}}$  en fonction de  $\frac{\Delta}{hd}$  pour le débit Q4

$$A_4 = 0,63$$

$$B_4 = \frac{2,2-1,62}{1,3-0,82} = 1,20$$

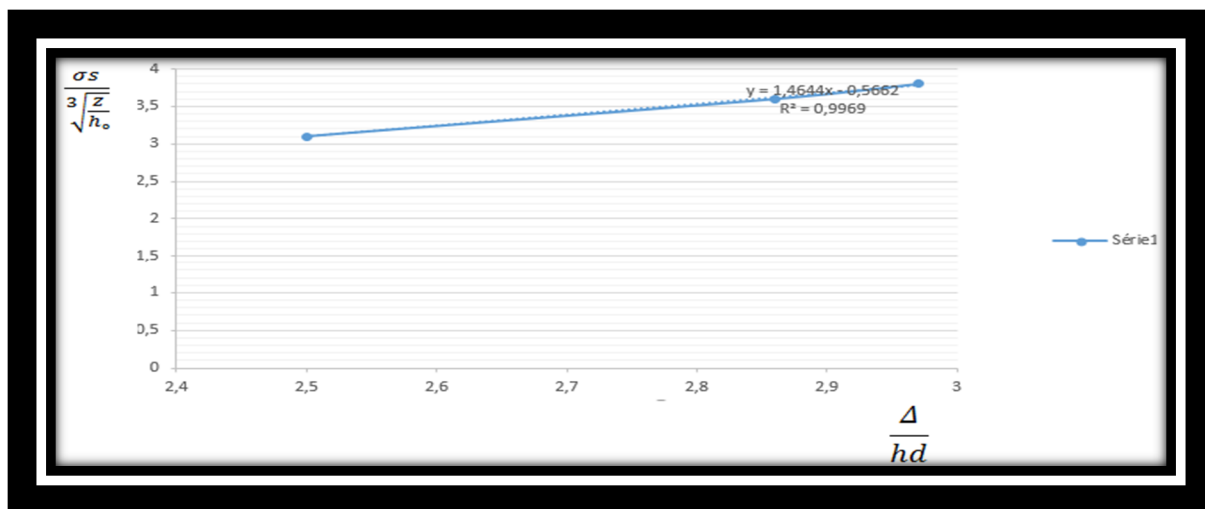




Figure(II-22) : graphe de la variation de  $\frac{\sigma s}{3\sqrt{\frac{z}{h_0}}}$  en fonction de  $\frac{\Delta}{hd}$  pour le débit Q5

$$A_5 = 1,026$$

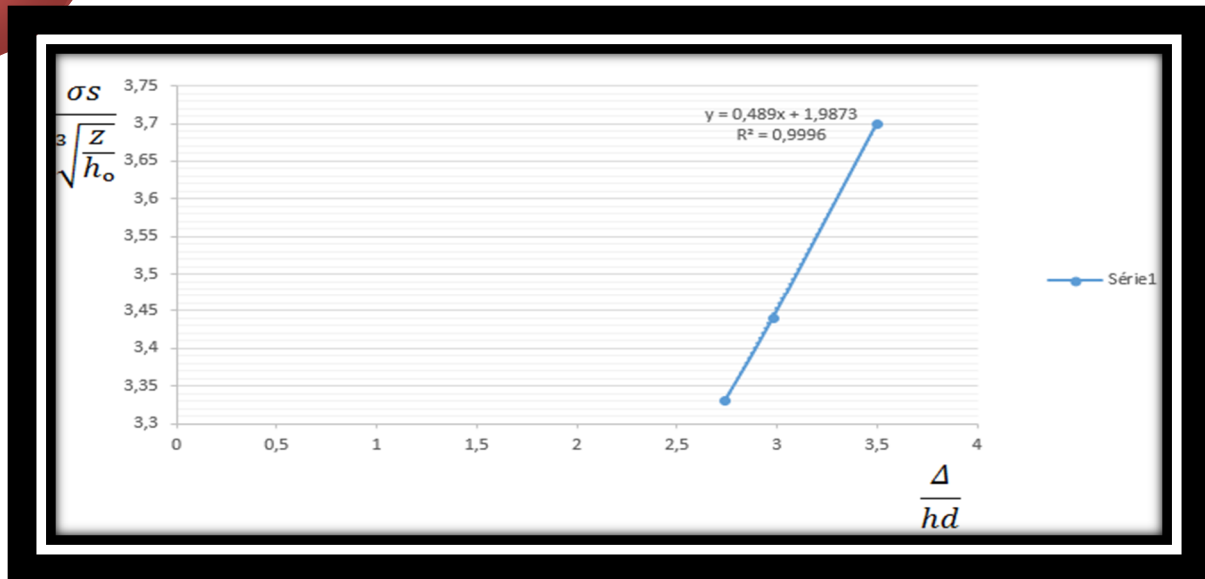
$$B_5 = \frac{2,3-1,75}{1,58-0,9} = 0,80$$



Figure(II-23) : graphe de la variation de  $\frac{\sigma s}{3\sqrt{\frac{z}{h_0}}}$  en fonction de  $\frac{\Delta}{hd}$  pour le débit Q6

$$A_6 = 0,56$$

$$B_6 = \frac{3,8-3,1}{2,97-2,5} = 1,46$$



**Figure(II-24)** : graphe de la variation de  $\frac{\sigma_s}{\sqrt[3]{\frac{z}{h_o}}}$  en fonction de  $\frac{\Delta}{hd}$  pour le débit Q7

$$A_7 = 1,98$$

$$B_7 = \frac{3,7-3,33}{3,5-2,94} = 1,67$$

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

On n'a fait la moyenne arithmétique de toutes les valeurs, Alors :

$$A = 1,05$$

$$B = 0,8$$

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

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

## 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 (1:2 , 1:5) présente pratiquement les mêmes caractéristiques hydrodynamiques que les trois déversoirs de talus (3 :5), (3 :4); hydrodynamique.

La submersion des déversoirs étudiés permet un écoulement fluvial avec des différents 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

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

1. AGROSKIN LI., DMITRIEV G.T., PIKALOV F.I., (1964).” Hydraulic”. M.: Gosenergoizdat.
2. BAKHMETEFF B.A., (1934). Hydraulic open Channels-Moscow, Gostranizdat, USSR.
3. BRAKENI. A., (1996).” Capacité écoulement des déversoirs a profile triangulaire. Déversoir de Crump ». Moscow.
4. CARLIER M.,” Hydraulique générale”. (1984). Edition : Eyrolles.
4. FILIPPOV E.G. (1987). Measurement of water flow in open channels and drainage Systems. Methods for measuring water flow and flow. Moscow. Edition. Minvodkhoz. USSR.
5. HORTON R.E, (1907). Weir experiments, coefficients and formulas, Water Supply and Irrigation Paper N9 200, U.S. Geological Survey, Washington
6. ISO " 4360-1984". « Liquid flow measurement in open channels –Rectangular trapezoidal profile weirs (first version). Geneva.1984.
7. GOST (R 51657.4 – 2002). General technical requirements Water accounting on irrigation and drainage systems and water management systems. Measurement of expenses using weirs with triangular thresholds.
  
8. Mémoire de fin d'étude influence des talus sur la capacité de écoulements à travers les déversoirs à profil triangulaire

## Symboles

A: Aire du chenal d'approche

B: Largeur du seuil du déversoir

b, L: Largeur du déversoir

$C_d$ : Coefficient de débit

$C_v$ : Coefficient de vitesse d'approche

F: Facteur de réduction de l'écoulement

$\sigma_s$ : Noyé (coefficient de submersion)

g: Accélération de la pesanteur

$h_o$ : 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

$\Delta$ : 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: bibliographie

1. 1-Introduction :.....	(2)
1.1 Définition .....	(2)
I -2. Différents types de déversoir : .....	(3)
I-2-1 Déversoir à paroi mince:.....	(3)
I-2-1-1 Déversoir vertical : .....	(3)
I-2-1-1-1 Déversoir rectangulaire :.....	(3)
I-2-1-1-2 Déversoir triangulaire :.....	(3)
I-2-1-1-3 Déversoir trapézoïdal :.....	(4)
I-2-1-1-4 Déversoir circulaire :.....	(5)
I-2-1-2 Déversoir incliné : .....	(5)
I-2-1-3 Déversoir latéral :.....	(5)
I-2-1-4 Déversoir oblique :.....	(6)
I-2-2 Barrage déversoir :.....	(6)
I-2-3 Déversoir mobile :.....	(7)
I-2-4 Déversoir à seuil épais.....	(7)
I-2-5. Déversoir type CRUMP :.....	(9)
II- 1 Ecoulement à travers un déversoir à mince paroi :.....	(10)
II-1-1 Déversoirs rectangulaires sans contraction latérale .....	(12)
II-1-2 Ecoulement dénoyé .....	(13)
II-1-3 Ecoulement noyé .....	(15)
III.3. projet de norme international ISO/DIS4360.....	(16)
3.1.Caractéristiques du débit .....	(17)

- Pour un écoulement dénoyé .....(17)
- ,pour un écoulement noyé .....(17)
  - a.Determination de coefficient de vitesse  $C_v$  .....(17)
  - b.Determination de coefficient de combiné  $C_v.f$ .....(18)
  - c.Determination De coefficient de debit  $C_d$  .....(18)
- 3.2. Calcul des Erreurs.....(18)
  - a. précision sur le Calcul des différents coefficients.....(18)
  - b.erreur de mesurage de débit.....(19)
  - sources erreur.....(20)
  - type erreur.....(20)
  - c.combinaison des erreurs limites.....(20)
- Conclusion.....(22)

## **Partie II : Etude expérimentale**

- 1. Méthodes et technique expérimental.....(23)
  - 1.1. Description de bond d'essai H12MH2.....(24)
  - 1.2. utilisation du canal hydraulique.....(24)
    - a. Mesure de débit .....(24)
    - b. Mesure de la hauteur de la lame déversante .....(25)
      - Le limnimètre .....(25)
      - Puits de mesurages .....(25)
    - 1.3.condition d'application.....(25)
      - a. Choix de l'emplacement.....(25)
      - b. condition d'installation.....(26)
  - 2. étude des écoulements à travers les différents déversoirs.....(26)
    - 2.1.tracée des d'écoulements.....(26)

a. l'écoulement à travers le déversoir de CRUMP .....	(26)
b. l'écoulement à travers le déversoir a profile triangulaire (3/5).....	(27)
c. l'écoulement à travers le déversoir a profile triangulaire (3/4) .....	(27)
d. l'écoulement à travers le déversoir hydrodynamique .....	(28)
2.2. caractéristiques physique et hydrodynamique de l'écoulement.....	(28)
a. Description de la section transversale de l'écoulement.....	(28)
b. caractéristique des différentes régime d'écoulement .....	(28)
3.établissement des courbes caractéristique .....	(42)
3.1. les courbes caractéristiques de l'écoulement dénoyé .....	(43)
a. détermination des coefficients C et Cv.....	(43)
b. tracée des courbes caractéristique de l'écoulement dénoyé.....	(45)
c. interprétation des courbes caractéristiques.....	(47)
3.2 les courbes caractéristique de l'écoulement noyée .....	(48)
a. détermination des coefficients de submersion $\sigma_s$ .....	(49)
b. Interprétation des courbes caractéristiques de l'écoulement noyé .....	(50)
c. Calcul des débits submergés.....	(51)
d. calcul des coefficients de vitesse.....	(52)
4. évaluation des erreurs .....	(52)
4.1 erreurs sur détermination des débits pour l'écoulement dénoyée .....	(52)
4.2 erreurs sur le calcul des débits submergés .....	(52)
5. critique des résultats.....	(53)
6. élaboration du modèle empirique de calcul de coefficient de submersion.....	(54)
CONCLUSION GENERALE	

### Liste des tableaux



Tableau (I-1): Valeurs numériques de $X_c''$ .....	(19)
Tableau (II-1) : Section critique pour les différents débits cas du déversoir de CRUMP .....	(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 (3:4) pour les différents débits.....	(34)
Tableau (II-4) : Perte d'énergie du déversoir de talus (3:5) pour les différents débits.....	(35)
Tableau (II-5): Perte d'énergie du déversoir hydrodynamique pour les différents débits.....	(36)
Tableau (II-6): caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de CRUMP.....	(44)
Tableau (II-7): caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de talus 3 :4.....	(44)
Tableau (II-8): caractéristiques des écoulements à travers le déversoir de talus 3 :5.....	(45)
Tableau (II-9): caractéristiques des écoulements à travers le déversoir hydrodynamique.....	(45)
Tableau (II-10): valeurs moyennes des coefficients C et $C_v$ .....	(48)
Tableau (II-11): variation de $\sigma_s$ en fonction du rapport $\Delta/h_0$ pour le déversoir de CRUMP....	(49)
Tableau (II-12): variation de $\sigma_s$ en fonction du rapport $\Delta/h_0$ pour le déversoir de talus 3 :4....	(50)
Tableau (II-13): variation de $\sigma_s$ en fonction du rapport $\Delta/h_0$ pour le déversoir de talus 3:5....	(50)
Tableau (II-14): variation de $\sigma_s$ en fonction du rapport $\Delta/h_0$ pour le déversoir hydro.....	(50)
Tableau (II-15) : Valeurs de $\sigma$ (%) pour différents débits.....	(51)
Tableau (II-16): Valeurs de $Q_s$ pour différents débits.....	(52)
Tableau (II-17): coefficient de vitesse des différents déversoirs.....	(52)
Tableau (II-18) : Erreurs limites sur la détermination des débits dénoyé.....	(53)
Tableau (II-19): Erreurs limites sur la détermination des débits submergés.....	(53)

Tableau (II-20): variation de  $\frac{\sigma S}{\sqrt[3]{\frac{z}{h_0}}}$  en fonction de  $\left(\frac{\Delta}{hd}\right)$  pour les debits.....(55)

## Liste des figures

Figure (I.1) : déversoir rectangulaire à mince paroi .....	(2)
Figure (I.2): déversoir a paroi mince.....	(3)
Figure (I.3): Déversoir triangulaire en mince paroi incliné .....	(4)
Figure (1.4) : Déversoir trapéziqque a profil convergent vers le bas .....	(4)
Figure (1.5): Déversoir trapéziqque a profil convergent vers le haut.....	(4)
Figure (1.6) : Déversoir circulaire a mince paroi .....	(5)
Figure (1.7): Déversoir a mince paroi incliné.....	(5)
Figure (1.8): Déversoir latéral .....	(5)
Figure (1.9) : Déversoir oblique.....	(6)
Figure (1.10): barrage déversoir .....	(6)
Figure (1.11) : vanne clapet .....	(7)
Figure (1.12): vanne sugment.....	(7)
Figure (1-13): vanne batar deaux.....	(7)
Figure (1-14): Déversoir a seuil larg.....	(8)
Figure (I-15): Arêtes vives en amant et en aval .....	(8)
Figure (I.16) : Arête arondi en amant .....	(8)
Figure (I-17) : Déversoir triangulaire a seul epais .....	(8)
Figure (I-18) : Déversoir a seuil epais a profil triangulaire de type CRUMP.....	(9)
Figure (II-1): définition de la géométrie d'un déversoir en mince paroi .....	(11)
Figure (II-2) : écoulement à travers un déversoir en minc paroi.....	(12)
Figure (II-3) : Déversoire Dénoyer .....	(13)

Figure (II-4): Déversoir noyé.....	(14)
Figure (II-5) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir de talus (3 :5).....	(40)
Figure (II-12) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir hydrdinamique.....	(41)
Figure (II-13) : Visualisation des écoulements à travers le déversoir de talus (3 :4).....	(42)
Figure (II-14): Courbe d'étalonnage débit/hauteur de chute totale.....	(46)
Figure (II-15): Tracé logarithmique.....	(46)
Figure (II-16): Variation de C en fonction des rapports $h_0/h$ .....	(47)
Figure (II-17): Variation de $C_v$ en fonction des rapports $h_0/h$ .....	(47)
Figure(II-18) : graphe de la variation de $\sigma s/\sqrt[3]{(z/h_0)}$ en fonction de $\Delta/hd$ pour le débit Q1.....	(56)
Figure(II-19) : graphe de la variation de $\sigma s/\sqrt[3]{(z/h_0)}$ en fonction de $\Delta/hd$ pour le débit Q2.....	(56)
Figure(II-20) : graphe de la variation de $\sigma s/\sqrt[3]{(z/h_0)}$ en fonction de $\Delta/hd$ pour le débit Q3.....	(57)
Figure(II-21) : graphe de la variation de $\sigma s/\sqrt[3]{(z/h_0)}$ en fonction de $\Delta/hd$ pour le débit Q4.....	(57)
Figure(II-22) : graphe de la variation de $\sigma s/\sqrt[3]{(z/h_0)}$ en fonction de $\Delta/hd$ pour le débit Q5.....	(58)
Figure(II-23) : graphe de la variation de $\sigma s/\sqrt[3]{(z/h_0)}$ en fonction de $\Delta/hd$ pour le débit Q6.....	(58)
Figure(II-24) : graphe de la variation de $\sigma s/\sqrt[3]{(z/h_0)}$ en fonction de $\Delta/hd$ pour le débit Q7.....	(59)

## **REMERCIEMENTS**

*Au terme de cette étude qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui m'ont apporté leur aide.*

*Je tien à remercier chaleureusement, Mon promoteur Monsieur **BRAKENI.A**, qu'a bien voulu m'encadrer durant ce mémoire de fin d'études, et qui a assuré la direction et l'orientation scientifique de ce travail. Je lui exprime mes vifs remerciements et mes sincères gratitudes.*

*Je tiens à remercier également le président et les membres de Jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.*

*Je tiens à remercier tous les enseignants et les travailleurs de la bibliothèque Femme et homme pour leurs disponibilités ,leurs générosités et la qualité des services mis à la disposition de l'étudiant.*

*Je remercie très sincèrement,mes chers amis **Ali , Kinpa , Réda , ibrahim , Sonia, Lina , sarah , Sonia et Badiaa** pour tout leurs soutient et aides dans la réalisation de ce mémoire, et tout les moment passer a leurs cotes qui restèrent graver dans ma mémoire a tout jamais.*

*Un grand merci à tous ceux que je connais.*

## Dédicace

*Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur.*

*Je dédie ce modeste travail à deux personnes les plus chères de ma vie, à celle qui m'a donnée la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère KAFIA et à mon père HACHEMI, écale de mon enfance, Qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.*

*Que dieu les garde et les protège.*

*A mes adorables sœurs Et surtout mon frère Ahcene  
A mes nièces Adem, Asil, oussama, sirajedin, Ranim, Abdou  
A mes amis Réda, safir, abdellah, hamza, ibrahim, badiaa  
A toute ma famille (BOUZIANE);*

## Dédicace

*Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur.*

*Je dédie ce modeste travail à deux personnes les plus chères de ma vie, à celle qui m'a donnée la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère SAAIDA et à mon père SALAH, écale de mon enfance, Qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.*

*Que dieu les garde et les protège.*

*À mes adorables sœurs Et surtout mon frère YASSINE*

*À mes amis Sonia , ali , imad , sarah , lina , kenza*

*À toute ma famille (HAMOURAIN);*

## 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

ملخص

يتكون هذا العمل من دراسة تأثير المنحدرات على سعة التدفق من خلال السدود المثلثية ذات المنحدرات المختلفة لمعرفة خصائص كل تدفق (مغمور ومغرق)، أي التدفق، سرعة التدفق العكسي والغمر بالتدفق المغمور، وكذلك الأخطاء التي ارتكبت على هذه المتغيرات. سمحت لنا النتائج التي تم الحصول عليها بتسليط الضوء على أن السدود المثلثية يمكن استخدامها كمقاييس مثالية لأنها تضمن تدفقاً دائماً مع وجود خطأ ضئيل للغاية في حساب التدفق

الكلمات المفتاحية: المجرى المائل، المنحدر، التدفق، الغرق والماء



