

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المدنية والري
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
Magister

Spécialité : **Hydraulique**

Option : **Ouvrages Hydrauliques**

Thème

**Contribution à l'étude de l'effet des conditions amont sur
l'écoulement du déversoir en touches de piano (PK-Weir)**

Présenté par : **BOUREDJI Salah**

Soutenu le : 20/03/ 2013 devant le jury composé de

DEBABECHE	Mahmoud	Professeur	Président	Université de Biskra
OUAMANE	Ahmed	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
BENMEBAREK	Naima	Professeur	Examineur	Université de Biskra
BOUZIANE Mohamed	Toufik	Maître de conférences	Examineur	Université de Biskra

Résumé

Le déversoir en touches de piano (PK-Weir) représente une nouvelle solution qui permet d'accroître la capacité des déversoirs et/ou la capacité de stockage des retenues des barrages existants. Cependant, l'analyse des paramètres géométriques et hydrauliques reste un domaine de recherche pour l'amélioration de ce nouveau type de déversoir.

Les diverses études et recherches effectuées jusqu'au jour sur le PK-Weir ont été focalisées sur l'amélioration de forme géométrique et l'étude de l'écoulement sur ce type de déversoir. Ainsi, le présent travail représente une contribution à l'étude de l'effet des conditions de l'amont immédiat du déversoir sur sa performance et de déterminer ainsi les conditions amont les plus favorables.

Cette étude s'est basée principalement sur l'expérimentation sur modèles physiques, les conditions d'approche les plus favorable pour le bon fonctionnement du PK-Weir ont été déterminés suite à l'analyse de plusieurs disposition amont qui sont les plus répandues en pratique.

Mots clés : Barrage, Déversoir, Piano Key Weir, Déversoir en touches de piano, écoulement sous différentes conditions d'approche.

Abstract

The Piano Keys Weir (PK-Weir) represents a new solution which allows increasing weirs capacity (and/or) the capacity storage of the volume water of existing dams. However, the analysis of the geometrical and hydraulic parameters still of research for the improvement of this new type of weir.

Different studies and researches made up today on the PK-Weir were focused on the improvement of the geometrical shape and on the study of this kind of weir. Thus, the present work represents a contribution to the study of the conditions effect of the immediate upstream of the weir on its performance and thus determining the most favorable upstream conditions.

This study is chiefly based on experimentation on physical models; the most favorable conditions of the approach for the good functioning of the PK-Weir were determined further to the analysis of several upstream capacities which are the most spread in practice.

Keywords: Dam, Spillway, Piano Key weirs, Spillway keys of a piano, flow under various conditions of approach.

ملخص

الهدار على شكل مفاتيح البيانو يمثل الحل الجديد الذي يسمح لزيادة قدرة السدود أو السعة التخزينية للخزانات الموجودة. و مع ذلك، فإن تحليل الشكل الهندسي و الهيدروليكي يبقى قيد البحث من أجل تحسين هذا الهدار الجديد.

تتركز معظم الدراسات المختلفة والبحوث التي اجريت حتى الآن على الهدار بشكل مفاتيح البيانو و ذلك لتحسين الشكل الهندسي ودراسة التدفق. و بالتالي فإن هذا العمل يمثل مساهمة لدراسة تأثير الظروف المباشرة على منبع الهدار وعلى أدائه وبالتالي تحديد الظروف الأكثر ملائمة للمنبع.

تستند هذه الدراسة أساسا بالتجارب على نماذج فيزيائية مصغرة. الظروف المحيطة و الملائمة لسير عمل الهدار على شكل مفاتيح البيانو بشكل احسن و ذلك تبعا لتحليل عدة أوضاع امامية و التي تعتبر ذات مردودية عالية تجريبيا.

الكلمات المفتاحية : سد، هدار، هدار على شكل مفاتيح البيانو، هدار على شكل مفاتيح البيانو، سيلان تحت مختلف الظروف الجانبية.

Remerciement

De prime à bord, je tiens à remercier mon promoteur Monsieur OUAMANE Ahmed pour son aide appréciable, son soutien et ses conseils fructueux qui m'ont facilité la réalisation de ce travail.

Je remercie également tous mes professeurs et particulièrement, M^r: Achour Bachir, M^r: Bouziane Mohamed Toufik, M^r: Debabeche Mahmoud, M^r: Bidjaoui Ali, M^r: Cidi Morad, M^r: Benhafid Massoud, M^r: Atmani Bacem, Ben Aissa Sahraoui et Ben malek Ahmed pour l'aide précieuse, qu'ils m'ont apportée durant l'élaboration de ce modeste travail.

Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres de jury « DEBABECHE.M, BENMEBAREK. N et BOUZIANE .M^{ed}.T qui me feront l'honneur d'apprécier notre travail.

Je remercie enfin tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de cette étude.

Merci à tous.

BOUREDJI SALAH

Dédicace

Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance envers :

Ma mère qui pour ses sacrifices pour l'affection qu'elle ma toujours portée.

Mon père qui m'a tout donné pour que j'atteigne mon but dans son sens spirituel.

A ma petite famille (ma femme, mes fils) qui ont beaucoup sacrifié pour moi et leur aide appréciable, leur soutient et ses conseils fructueux qui mon facilité la réalisation de ce travail.

Je le dédie également à :

Mes frères et mes sœurs. En un mot, à toute ma famille, mes amis de l'université Biskra et Mohamed Gu, Ahmed Gu, fatima N, Sofiane S, Anouar Gu, Bachir B, Bachir Gu, Amer L et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

Pour vous je présente ce travail

BOUREDJI SALAH

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Etude bibliographique

CHAPITRE I : Etat de connaissance sur les évacuateurs de crues non rectilignes

I- Généralités sur les évacuateurs de crue non rectiligne.....	2
I-1- Introduction.....	2
I-2- Différentes formes des déversoirs en labyrinthe.....	3
I-3- Description de l'écoulement sur le déversoir en labyrinthe.....	4
I-3-1- Ecoulement complètement aéré.....	4
I-3-2- Ecoulement partiellement aéré.....	4
I-3-3- Ecoulement de transition.....	4
I-3-4- Ecoulement déprimé.....	4
I-4- Performance du déversoir en labyrinthe.....	5
I-5 Représentation mathématique de l'équation de débit par voies d'analyses dimensionnelle et expérimentale.....	8
I-6- Influence des conditions d'approche sur le rendement d'un déversoir en labyrinthe.....	10
I-6-1- Effet de la dénivelée entre les radiers amont et aval sur la performance.....	10
I-6-2- Effet de la contraction latérale sur la performance.....	11
I-7- Effet des conditions d'approches sur l'écoulement.....	12

CHAPITRE II : Déversoirs non rectiligne auto-stable

II-1- Déversoir en hausse fusible.....	15
II-1-1 Principe de fonctionnement des hausses fusibles.....	16
II-1-2- Caractéristiques de débit des hausses fusibles.....	18
II-2- Blocs fusibles.....	19
II-2-1- Blocs fusibles permettant le déversement avant renversement.....	20

CHAPITRE III : Déversoir en touches de piano PK-Weir

III-1- Conception de PK-Weir.....	23
III-2- Configuration géométrique du PK-Weir.....	23
III-3 Mode d'écoulement sur le PK-Weir.....	26
III-3-1- Performance hydraulique.....	26
III-3-2 Rapport d'aspect vertical, W/P.....	27
III-3-3 Longueur relative, L/W.....	27
III-3-4 Impact de la largeur des alvéoles (a) et (b).....	28
III-3-5 Impact des corps flottants.....	28
III-3-6 Impact de la longueur des porte-à-faux.....	29
III-3-7 Effet de l'emplacement du déversoir.....	31
III-3-8 Effet de la forme d'entrée au pied du déversoir.....	32
III-3-9 Effet de la contraction latérale sur l'écoulement.....	33
Conclusion.....	35

Etude expérimentale

CHAPITRE I : Description du dispositif et protocole expérimentaux

I-1- Introduction.....	37
I-2- Modèles expérimentaux.....	37
I-3- Description de l'organisation expérimentale.....	38
I-3-1- Description de la station d'expérimentation.....	38
I-3-2- Instrumentation de mesure.....	41
I-3-2-1- Instruments de mesure des profondeurs d'eau.....	41
I-3-2-2- Instruments de mesure des débits.....	42
I-4- Procédure expérimentale.....	43

CHAPITRE II : Résultats expérimentaux

II-1- Introduction.....	44
II-2- Interprétation et discussion des résultats expérimentaux réalisés dans des conditions d'écoulement libre.....	44
II-3- Etude de l'effet de l'emplacement des guideaux droits par rapport au sens d'écoulement.....	46
II-3-1- Effet de l'inclinaison des guideaux rectilignes sur la débitance du PK-Weir.....	47
II-3-2- Détermination de l'inclinaison optimale des guideaux rectilignes.....	48
II-4- Rendement des guideaux curviligne.....	50
II-5- Effet de la contraction latérale sur la performance du PK-Weir.....	52
II-6- Effet de l'emplacement avancé du PK-Weir dans la retenue.....	53

CHAPITRE III :

Représentation géométrique en 3D du plan d'eau de l'amont immédiat du PK-Weir

III-1 Introduction.....	55
III-2 Interprétation des résultats.....	55
III-2-1 Géométrie en 3D de la surface libre de l'eau pour un faible débit $Q=47$ l/s.....	55
III-2-2 Géométrie en 3D de la surface libre de l'eau pour un débit moyen $Q=103$ l/s.....	57
III-2-3 Géométrie en 3D de la surface libre de l'eau pour un grand débit $Q=145$ l/s.....	58
Conclusion.....	61
Conclusion générale.....	63
Liste des figures.....	67
Liste des tableaux.....	70
Liste de notations.....	71
Références bibliographique.....	73
L'annexe.....	74

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Les barrages réservoirs sont destinés à l'irrigation, la dotation humaine, production énergie électrique et à d'autres utilisations. Pour des raisons techniques et de sécurité des agglomérations, le barrage nécessite l'installation d'un organe d'évacuation et de contrôle dit évacuateur de crue, son rôle est d'assurer le passage des crues exceptionnelles dans des conditions favorables à la sécurité. Ce dernier représente une partie considérable du coût globale du barrage. Ce coût serait l'apposition Von flash si la crue choisie est à grande période de retour, par conséquent les dimensions de l'évacuateur de crues seraient importantes. Il est possible de réduire les dimensions globales de l'évacuateur de crues ; ceci est réalisable en adoptant une forme non rectiligne de la crête du déversoir. Cette forme de crête est la caractéristique principale des déversoirs appelés souvent déversoirs en labyrinthe.

Le déversoir en labyrinthe se caractérise par une longueur de crête discontinue largement plus longue que la largeur de l'emprise du déversoir, ceci permet d'évacuer un débit plus grand qu'un déversoir rectiligne de même largeur. En 2003, une nouvelle forme de déversoir baptisée PK-Weir quelque peu semblable au déversoir en labyrinthe a été développée par F. Lempérière et A. Ouamane. Cette nouvelle forme de déversoir, représente une alternative plus efficace que le déversoir en labyrinthe des points de vue économiques et de performance hydraulique.

L'alternative du déversoir en touches de piano semble être une technique prometteuse par son faible coût, son rendement hydraulique et son impact limité sur les structures existantes.

Le PK-Weir peut être réalisés à travers les cours d'eau artificiels ou naturels comme barrage déversoir et dans les retenues. Les différents travaux de recherche réalisés sur le PK-Weir, se sont intéressés essentiellement à la forme géométrique que peut prendre ce type de déversoir tout en assurant une meilleure performance hydraulique.

L'étude de fonctionnement du PK-Weir dans des conditions d'écoulement amont n'a fait l'objet d'aucun travail de recherche jusqu'à ce jour. Ainsi le présent travail se propose dont le but d'une meilleure compréhension des phénomènes hydraulique d'étudier l'effet de la variation d'angle d'inclinaison des guideaux par rapport au sens d'écoulement, l'effet d'emplacement de déversoir de différent condition et étudier le passage d'écoulement sur le déversoir PK-Weir en 3D. Ce travail est basé essentiellement sur l'expérimentation sur modèles réduits de PK-Weir avec différentes conditions d'écoulement en amont. Une relation de prédiction du débit dans les conditions d'écoulement libre est proposée suite à l'analyse des résultats obtenus expérimentalement.

Etude Bibliographique

CHAPITRE I

Etat de connaissance sur les évacuateurs de crues non rectilignes

CHAPITRE I

Etat de connaissance sur les évacuateurs de crues non rectilignes

DEFINITION

L'évacuateur de crues constitue l'organe principal de sécurité des barrages, son rôle est d'assurer le passage des eaux en surplus dans des conditions favorables à la sécurité du barrage et sans créer de risque d'érosion ou d'inondation en aval du barrage.

Selon l'alignement du seuil déversant, les évacuateurs de crues sont classés en deux catégories, rectilignes et non rectiligne.

Les déversoirs rectilignes se distinguent par le type d'alignement de la crête qui est disposée sous forme d'une droite de longueur égale à la largeur de l'emprise du déversoir. Par contre, les déversoirs à crête non rectiligne sont caractérisés par un seuil déversant plus long que la largeur de l'emprise du déversoir. Cette caractéristique fait que ce type de déversoir est plus efficace que les déversoirs à crête rectiligne. Les déversoirs non rectilignes regroupent les déversoirs en labyrinthe, les hausses fusibles et le PK-Weir.

I- Généralités sur les évacuateurs de crue non rectiligne

I-1- Introduction

L'évacuateur de crue non rectiligne se caractérise par un axe brisé en plan, sous forme d'éléments de formes trapézoïdale, rectangulaire ou triangulaire, répétés périodiquement. Cette disposition augmente vivement la longueur de la crête et par conséquent la capacité d'évacuation qui est plus importante que celle d'un évacuateur de crue rectiligne. Cependant, la discontinuité de l'alignement de la crête conduit à un écoulement complexe au fur et à mesure que la charge sur le seuil du déversoir augmente. Par conséquent, il est conseillé de concevoir ce type d'ouvrage pour des charges moyennes.

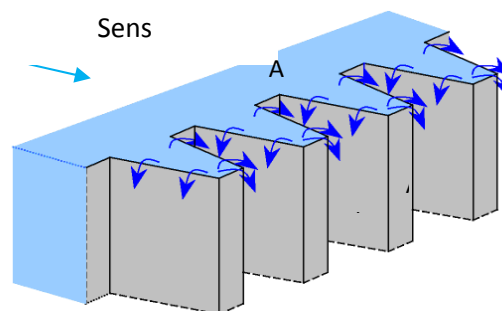


Figure I-1 : géométrie et configuration de l'écoulement sur un déversoir en labyrinthe.

I-2- Différentes formes des déversoirs en labyrinthe

La géométrie des déversoirs en labyrinthe peut prendre plusieurs formes en plan, les formes les plus répondues sont les formes rectangulaire, trapézoïdale, curviligne, triangulaire ou trapézoïdale arrondie.

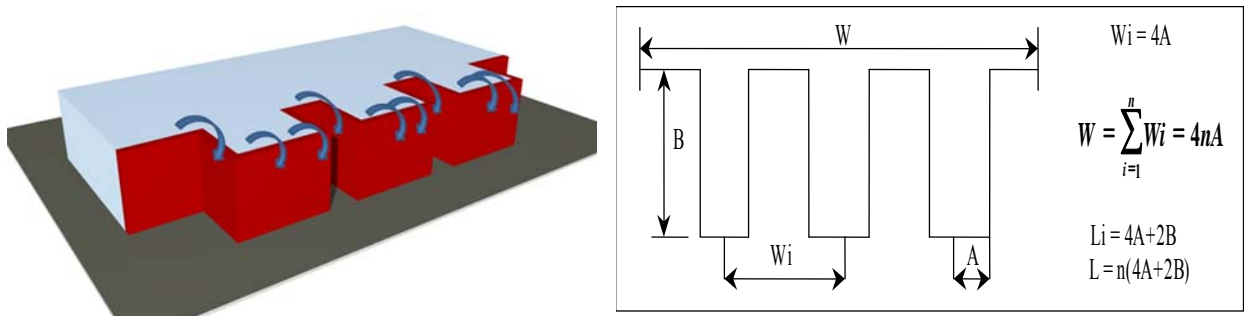


Figure I-2 déversoir en labyrinthe à éléments rectangulaires en plan.

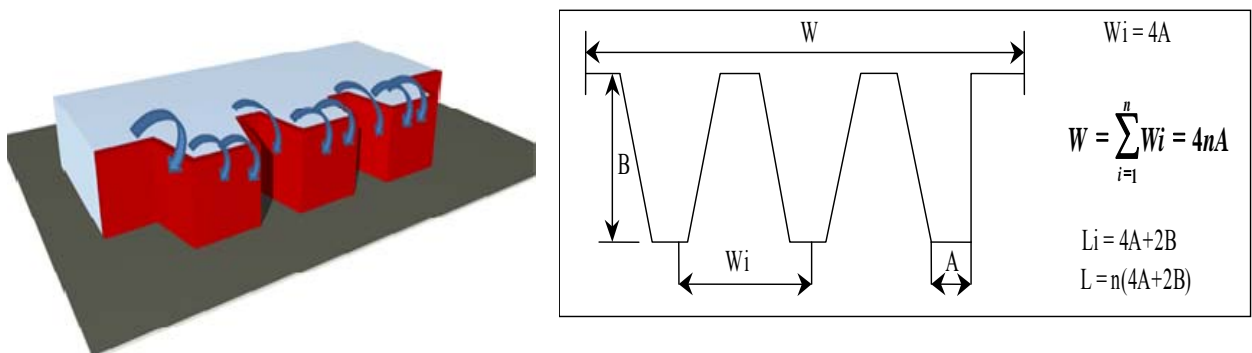


Figure I-3 Déversoir en labyrinthe à éléments trapézoïdaux en plan.

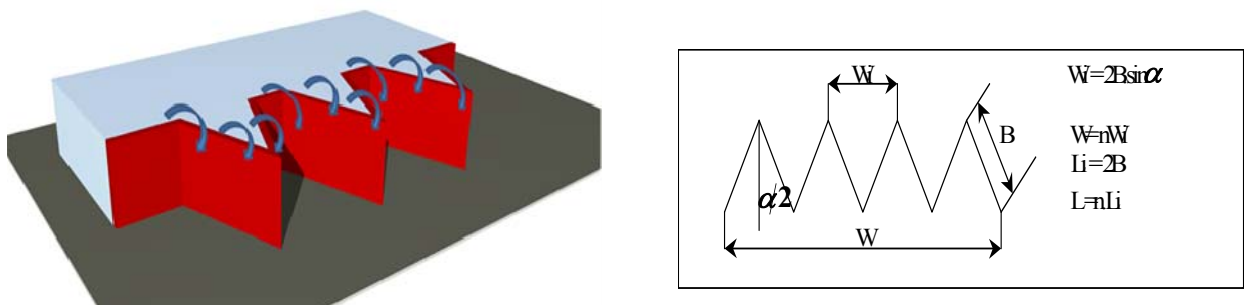


Figure I-4 Déversoir en labyrinthe à éléments triangulaires en plan.

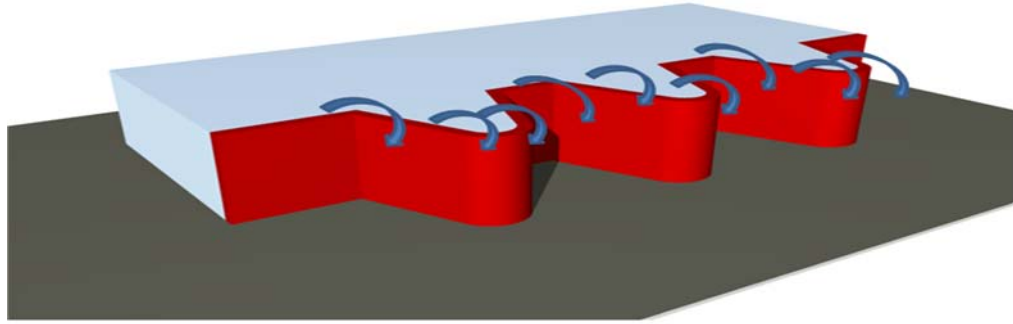


Figure I-5 Déversoir en labyrinthe à éléments trapézoïdaux arrondies en plan.

I-3- Description de l'écoulement sur le déversoir en labyrinthe

L'écoulement sur le déversoir en labyrinthe est bien différent de celui d'un déversoir rectiligne, il se caractérise par quatre phases d'écoulement distinctes :

I-3-1- Ecoulement complètement aéré.

Lorsque le déversoir en labyrinthe fonctionne à des faibles charges, la lame déversante tombe librement sur toute la longueur du déversoir, dans cette phase la valeur du coefficient de débit est maximal en comparaison avec un déversoir rectiligne de même largeur. Dans cette phase l'écoulement est considéré comme complètement aéré.

I-3-2- Ecoulement partiellement aéré.

L'accroissement de la charge amont sur le déversoir provoque une surélévation du plan d'eau sur le seuil, ceci force les nappes déversantes opposées à converger. Par conséquent, l'aération devient perturbée avec l'apparition d'une dépression sous la nappe déversante frontale et des poches d'air sous la lame déversante le long de chaque paroi latérale. Ceci marque le début de l'écoulement partiellement aéré.

I-3-3- Ecoulement de transition.

En augmentant encore la charge sur le déversoir, la nappe devient déprimée dans plusieurs endroits, les poches d'air se fractionnent en petites poches, ce qui provoque une instabilité de la nappe. Ceci marque le début de la phase de transition.

I-3-4- Ecoulement déprimé.

Lorsque la charge d'eau sur le seuil devient plus grande que la hauteur du déversoir, l'écoulement forme une seule nappe non aérée. Il est dans une phase à écoulement déprimé, ceci fait croire que la submersion complète se produit si la charge au-dessus de la crête est plus grande que la hauteur du déversoir.

I-4- Performance du déversoir en labyrinthe

La première étude de la performance hydraulique des évacuateurs de crues en labyrinthe a été réalisée par Hay et Taylor [1]. Cette étude a été considérée comme une méthode d'évaluation du coefficient du débit théorique et la détermination de débit admissible pour un déversoir en labyrinthe.

La performance d'un déversoir en labyrinthe a été exprimée par le rapport : Q_L/Q_N ou :

$$q^* = Q_L/Q_N \quad (1-1)$$

- Q_L : Débit passant sur un déversoir en labyrinthe de largeur W .

- Q_N : Débit sur un déversoir rectiligne de largeur W .

q^* : Performance hydraulique

Q_L et Q_N les débits sous la même charge H

Hay et Taylor [1] ont présenté des courbes de la performance q^* en fonction de la charge relative H/P pour plusieurs valeurs de la longueur relative L/W et pour deux types de déversoirs en labyrinthe, le premier de forme triangulaire et le second de forme trapézoïdale en plan. Ces courbes ont montrées que la performance est maximale pour les faibles valeurs de la charge relative H/P et diminue avec l'accroissement de cette dernière. Ces courbes ont fait montrer aussi que le déversoir en labyrinthe est plus efficace pour les valeurs de la longueur relative L/W suivantes :

* $2 < L/W < 8$ pour la forme trapézoïdale.

* $2.5 < L/W < 8$ pour la forme triangulaire.

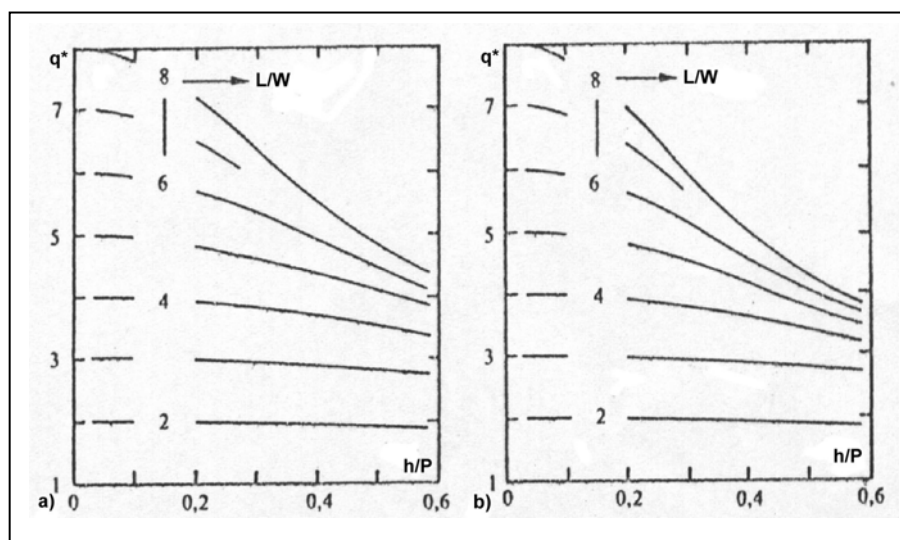


Figure I-6 Courbe de conception des déversoirs en labyrinthe en fonction de H/P et L/W (a : forme triangulaire, b : forme trapézoïdale) selon Hay et Taylor [1]

L'étude réalisée par Hay et Taylor [1] a fait l'objet d'une analyse par Darvas [2] qui a présenté un graphique pour déterminer le coefficient de débit C_w en fonction de la charge relative H/P et la longueur relative L/W .

La majorité des résultats des travaux réalisés par d'autres auteurs ont montré que le coefficient de débit réel est plus petit que celui rapporté par Darvas [2]. En effet Magalhaes [3] a constaté d'après ses études expérimentales que les valeurs de coefficient de débit obtenues sont inférieures à ceux obtenus par Hay et Taylor [1] et Darvas [2]. Par conséquent, Magalhaes [3] a procédé à la modification de la relation théorique donnée par Darvas [2] qui devient :

$$\mu_w = Q/W (2g)^{1/2} H^{3/2} \quad (1-2)$$

Ainsi l'auteur [3] a présenté le coefficient de débit en fonction de la charge relative H/P qui représente la charge totale ($H=H_p + H_v$). La figure (1-7) présente les résultats obtenus de

$$\mu_w = f(H/P, L/W).$$

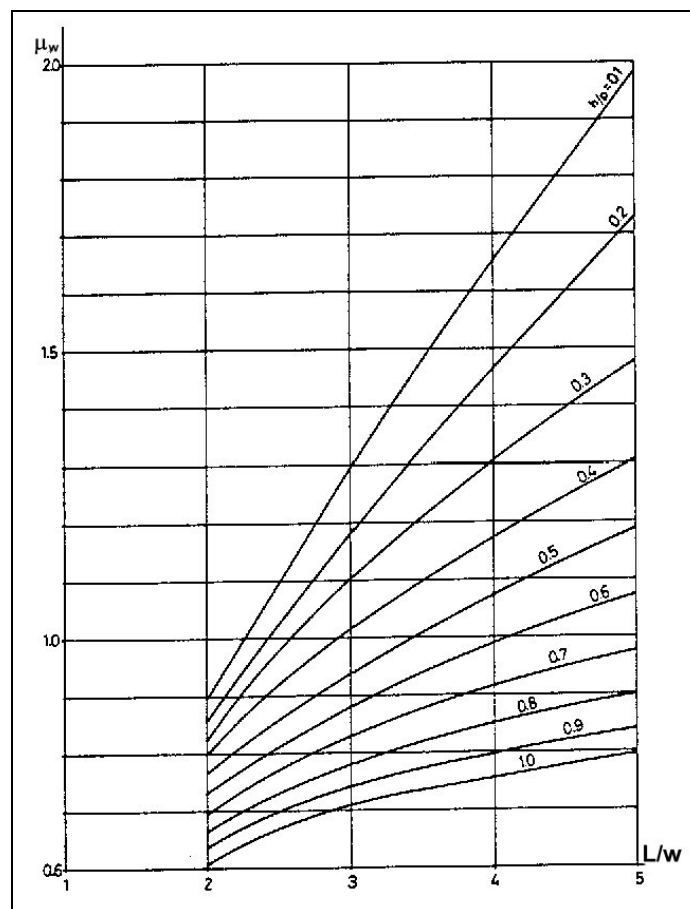


Figure I-7 coefficient de débit d'un déversoir en labyrinthe en fonction de L/W et H/P

La figure (I-8) qui représente $C_w = f(H/P, L/W)$ montre la comparaison entre les résultats obtenus par Darvas [2] et ceux de Magalhaes [3]. De cette comparaison l'auteur [3] a conclu que les valeurs de C_w obtenu de ses expériences sont strictement inférieures à celles obtenues par Darvas [2] pour le même couple de valeur de $(L/W, H/P)$.

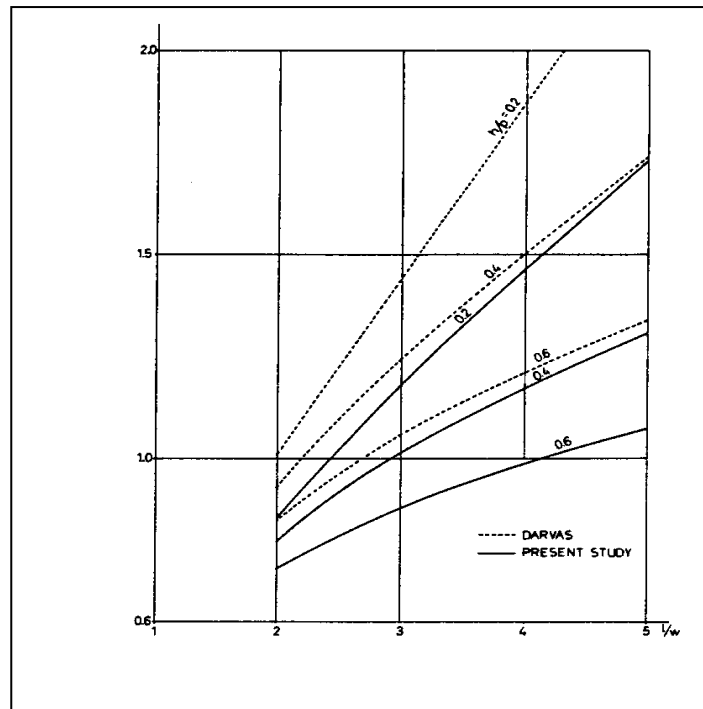


Figure I-8 Comparaison des courbes de coefficient de débit obtenu par Magalhaes [3] et celles de Darvas [2].

Tableau I-1 : Comparaison des résultats obtenus par Magalhaes [3] avec les données des évacuateurs de crues de quelques barrages existants

Barrage	L/W	P	H	H/P	μ_w modèle hydraulique	μ_w DARVAS	μ_w MAGALHAES
HARREZZA	2.94	3.5	0.7	0.2	1.19	1.43	1.17
			1.4	0.4	1.06	1.23	1.00
DUNGO	2.94	3.5	0.7	0.2	1.16	1.43	1.17
			1.4	0.4	1.03	1.23	1.00
			2.1	0.6	0.91	1.05	0.87
S.DOMINGOS	3.00	3.0	0.6	0.2	1.07	1.45	1.17
			1.2	0.4	1.02	1.24	1.02
			1.8	0.6	0.83	1.06	0.88
ALIJO	2.42	2.5	0.5	0.2	1.06	1.20	1.00
			1.0	0.4	1.03	1.07	0.90
GEMA	2.40	2.5	0.5	0.2	0.97	1.20	1.00
			1.0	0.4	0.94	1.07	0.90

Le tableau (I-1) montre que les valeurs des coefficients de débit obtenues par Magalhaes [3] sont comparables avec ceux obtenus sur les six déversoirs réels. Par ailleurs, les résultats de l'étude de Kathleen et Carol [4] effectuée sur des modèles réduits de l'évacuateur de crues du barrage Ute (USA) confirment les mêmes résultats obtenus par Magalhaes [3], en particulier pour les grandes charges relatives H/P. Ils ont justifiés la différence des résultats entre leur travail et celui de Darvas [2] à la définition de la charge sur le déversoir qui a été défini comme :

$$H = H_p + H_v = H_p + v^2/2g \quad (1-3)$$

Par contre les auteurs Hay et Taylor [1] et Darvas [2] considèrent que la charge est égale à la charge piézométrique : $H = H_p$.

I-5 Représentation mathématique de l'équation de débit par voies d'analyses dimensionnelle et expérimentale

Etant donné que l'écoulement sur le déversoir en labyrinthe est tridimensionnel et ne se prête pas aisément à une description mathématique, la solution la plus directe pour exprimer mathématiquement la fonction du débit, implique une combinaison d'analyse dimensionnelle et expérimentale. L'utilisation de cette technique a permis à Lux et Hinchliff [5] de présenter l'équation simplifiée de débit pour les déversoirs en labyrinthe.

Afin de simplifier cette analyse, l'échelle des modèles et les vitesses ont été supposées être d'une grandeur suffisante, la viscosité et les effets de la tension superficielle pourraient être négligés. Avec cette supposition, le seul paramètre important du fluide qui reste est l'accélération de la pesanteur g .

Alors il en résulte que le débit par cycle d'un déversoir en labyrinthe est en fonction des paramètres suivant :

$$Q_w = f(L, A, W, P, D, T, R, H_0, H_d, g) \quad (1-4)$$

Avec :

- L : Longueur développée de déversoir
- W : Largeur du déversoir
- P : Hauteur amont du déversoir
- D : Hauteur aval du déversoir
- T : Epaisseur du déversoir
- R : Rayon de courbure de la crête du déversoir
- H_0 : Charge totale d'eau sur le déversoir
- H_d : Niveau d'eau à l'aval du déversoir
- g : Accélération de la pesanteur

ou d'une autre manière :

$$Q = C W \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (1-5)$$

Les auteurs [4] ont simplifié la fonction du coefficient du débit aux paramètres adimensionnelles en fixant les valeurs suivantes : $A/W, D/P=1, R=0, T=12.7 \text{ mm}$

Alors l'équation (1-2) devient :

$$C = f(L/W, W/P, H_0/P) \quad (1-6)$$

La représentation graphique de $C_w = f(H_0/P, L/W, W/P)$, (figure 1-9) montre que pour les déversoirs de même rapport L/W l'effet des différentes valeurs du rapport d'aspect vertical W/P restent constant.

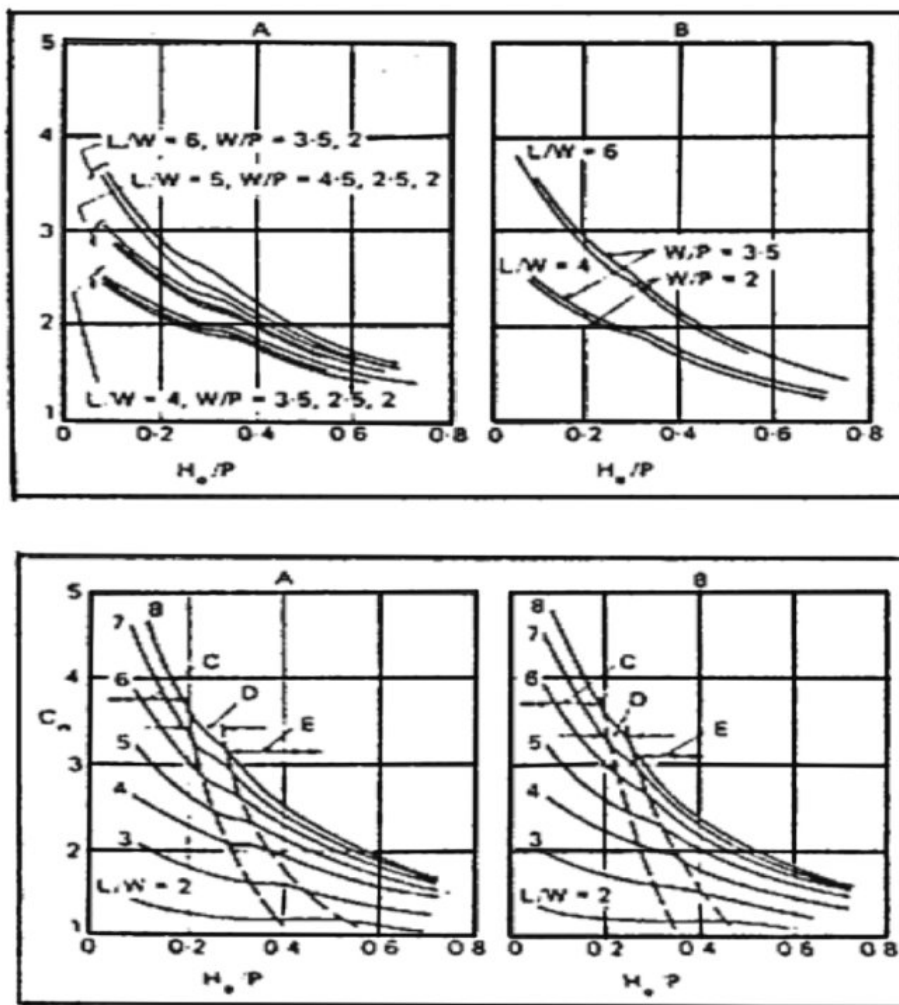


Figure I-9 Courbe de conception du déversoir en labyrinthe en fonction de $H_0/P, W/P$ et L/W selon Lux et Hinchliff [5]

A cet effet les auteurs (1982) ont proposé la relation suivante :

$$Q = C_w [(W/P) / ((W/P) + K)] \cdot W g^{1/2} \cdot H^{3/2} \quad (1-7)$$

K = constante qui dépend de la forme en plan du déversoir

$K = 0.18$ pour la forme triangulaire.

$K = 0.1$ pour la forme trapézoïdale.

Avec $A/W = 0.0765$

Pour obtenir la valeur du débit totale, la largeur du déversoir W présentée à l'équation (1-5) doit être remplacée par la largeur totale du déversoir.

L'analyse des graphiques Lux et Hinchliff [5] par Afchar [6] a fait apparaître que la réduction du coefficient de débit avec l'accroissement de la charge relative H_0/P est provoqué par la présence des interférences de la nappe qui commencent au sommet amont du déversoir et se déplace vers le sommet aval.

Les courbes (1-8-b) indiquent trois paliers C, D et E.

- La zone E définie la limite entre la phase déprimée et la phase de transition.
- La zone D définie la limite entre la phase de transition et la phase partiellement aérée.
- La zone C définie la limite entre la phase partiellement aérée et la phase complètement aérée.

Dans la zone déprimée le déversoir en labyrinthe fonctionne de la même façon qu'un déversoir rectiligne et les courbes s'aplatissent dans cette zone, ceci indique une faible variation de coefficient de débit C_w .

I-6- Influence des conditions d'approche sur le rendement d'un déversoir en labyrinthe

L'effet des conditions d'approche sur le rendement du déversoir en labyrinthe a été étudié par Cidi Mourad et al [7] dans le cadre de préparation de mémoire d'ingénieur. L'étude s'est intéressée essentiellement à l'influence de la contraction latérale sur la performance et l'effet de la variation de la hauteur amont du déversoir par rapport à celle de l'aval. Cette étude a été réalisée sur deux modèles de base. Le premier sans contraction latérale, constitué essentiellement par un canal de section 30x45cm et de longueur d'essai de 12m. Le second modèle de base qui simule l'écoulement avec des conditions d'entonnement en contraction latérale se caractérise par un canal d'amené de section uniforme 0,75 x 0,77 m, connecté à un bassin de simulation de retenue ayant la forme d'un carré de côté de 3 m et de hauteur 1,13, à l'exutoire de bassin se trouve l'endroit de l'emplacement des modèles.

I-6-1- Effet de la dénivelée entre les radiers amont et aval sur la performance.

Les essais effectués sur une série de modèles de déversoir avec contraction latérale ont permis de représenter graphiquement le coefficient de débit en fonction du rapport D/P pour une longueur relative L/W constante. Cette représentation graphique (figure-1-10) montre

deux groupes de courbes. Le premier correspond aux valeurs de $D/P \geq 1$ et le deuxième correspond aux valeurs de $D/P < 1$.

Le premier groupe de courbes ($D/P \geq 1$), fait remarquer une nette influence de la hauteur relative D/P dont le coefficient de débit décroît avec la diminution du rapport D/P . Par contre, pour le deuxième groupe de courbes ($D/P < 1$), on remarque que l'influence de la hauteur relative du déversoir D/P ne se manifeste que pour les valeurs de la charge relative $H^*/P > 0.3$. Cette influence est engendrée par l'effet de noyade à cause de la faible hauteur aval du déversoir.

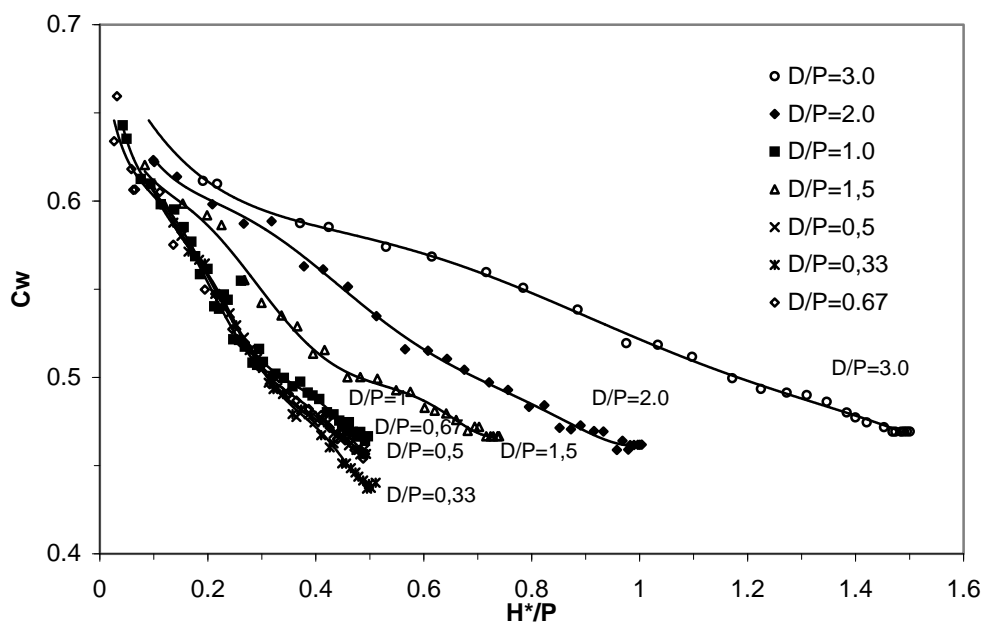


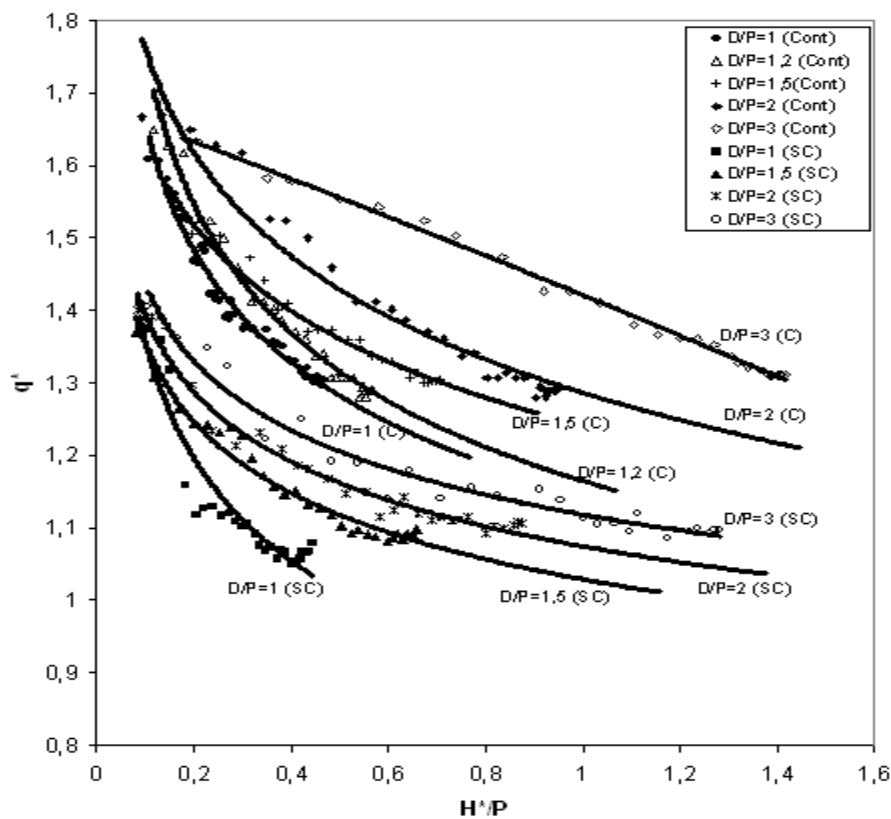
Figure I-10 Coefficient de débit en fonction de la charge relative H^*/P la hauteur relative W/P et le rapport des hauteurs D/P (Modèles avec contraction latérale)

Les valeurs du coefficient de débit des courbes représentant les rapports $D/P > 1$ sont nettement supérieures aux valeurs correspondant aux rapports $D/P < 1$. Donc, il est préférable en pratique de concevoir le radier aval du déversoir plus bas que le radier amont.

I-6-2- Effet de la contraction latérale sur la performance.

Afin d'étudier l'influence de la contraction latérale sur l'écoulement d'un déversoir en labyrinthe, des essais ont été réalisés sur deux modèles de mêmes dimensions, le premier sans contraction latérale (SC) et le deuxième avec contraction latérale (C). Les résultats obtenus ont permis de vérifier l'effet de la contraction sur la performance. Le graphique (1-11) montre

deux faisceaux de courbes. Le premier concerne le déversoir avec contraction latérale et le second correspond au déversoir sans contraction latérale.



I-11 Effet de la contraction sur les longueurs de l'écoulement perturbé.

Pour le modèle avec contraction latérale la performance est supérieure à celle du déversoir sans contraction latérale pour les différentes courbes de la hauteur relative (D/P).

I-7- Effet des conditions d'approches sur l'écoulement

Le déversoir en labyrinthe est particulièrement sensible à la forme d'entrée immédiate en amont de l'ouvrage. Le fonctionnement des évacuateurs de crues existants a montré que les conditions d'entrée médiocres peuvent diminuer le rendement du déversoir en labyrinthe jusqu'à 18%.

Pour étudier l'influence de la forme d'entrée amont du déversoir en labyrinthe, trois cas ont été expérimentés par A. Ouamane [8]. Le premier cas sans guideaux amont, le second avec des guideaux amont curviligne et le dernier cas avec des guideaux droit parallèles au sens de l'écoulement.

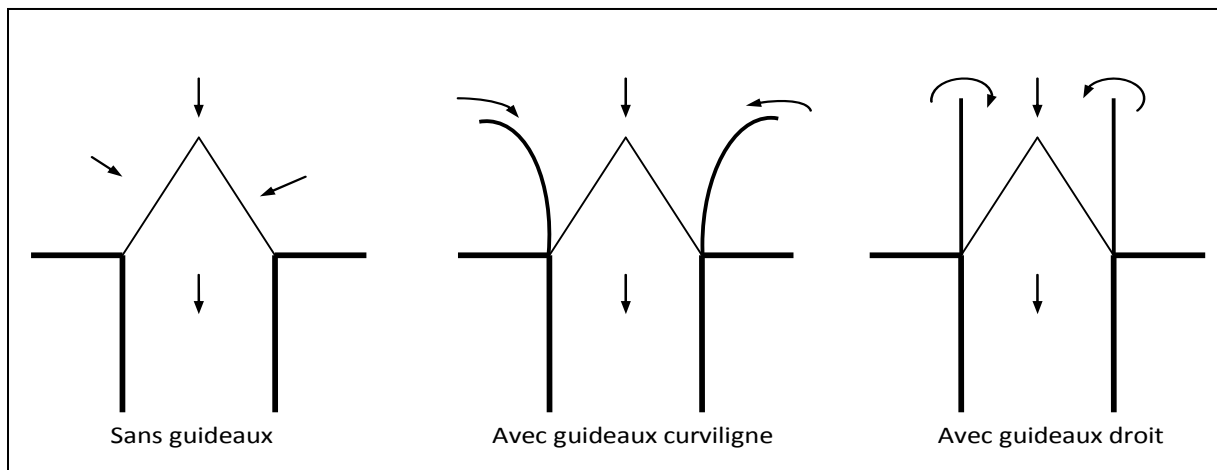


Figure I-12 Différents type de la forme d'entrée du déversoir en labyrinthe.

Les résultats obtenus ont montré deux types de courbes distinctes de coefficient de débit qui ont la même forme. Une courbe type correspondant au déversoir sans guideaux qui est caractérisée par les quatre phases d'écoulement (aéré, partiellement aéré, de transition et déprimé). Une courbe qui diffère de la courbe type du déversoir en labyrinthe correspond au modèle avec guideaux curviligne. Cette distinction a été expliquée par la direction de l'écoulement amont immédiat qui est perpendiculaire à chaque paroi pour le cas sans guideaux, cependant, l'écoulement est unidirectionnel pour le déversoir avec guideaux curviligne qui se caractérise par un écoulement qui est orienté perpendiculairement à l'axe longitudinal du déversoir. Ainsi, le type d'alimentation du déversoir influe la capacité d'évacuation.

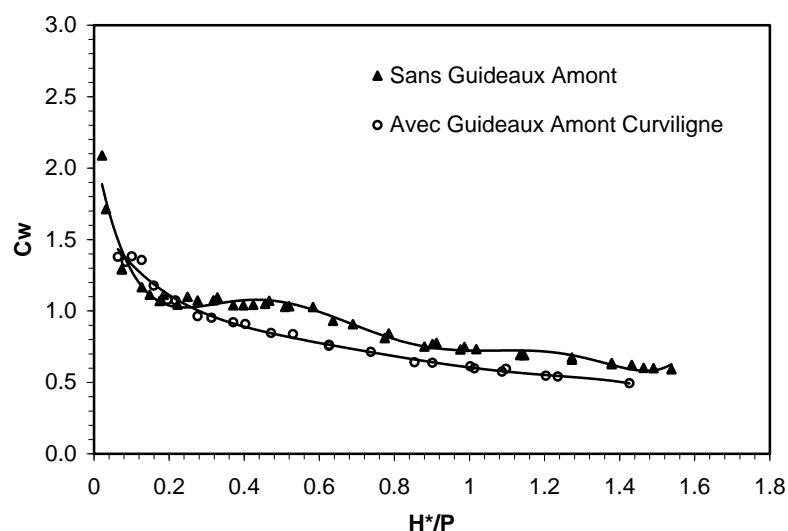


Figure I-13 Coefficient de débit en fonction des conditions d'approches amont (Forme trapézoïdale) $L/W=3$ $W/P=2$.

La figure (I-13) montre aussi que le modèle sans guideaux est défini par des valeurs de coefficient de débit supérieures à ceux correspondant au modèle avec guideaux curviligne. Cette différence est remarquée même pour des valeurs de la charge relative $H^*/P > 1$. Selon l'auteur [8], il est recommandé que le déversoir en labyrinthe doit être dirigé le plus que possible vers l'intérieur de la retenue ce qui favorise un écoulement symétrique sur tous les côtés du déversoir.

Le deuxième type d'essais qui a été réalisé par l'auteur [8] sur un modèle de déversoir en labyrinthe de forme triangulaire en plan de ratio $L/W=3$ et de rapport d'aspect vertical $W/P=2$, composé de deux cycles a montré que la courbe de coefficient de débit qui correspond au déversoir en labyrinthe avec guideaux curvilignes se caractérise par des valeurs légèrement supérieures à celles obtenues sur le modèle de déversoir avec guideaux droit fig.(I-14).

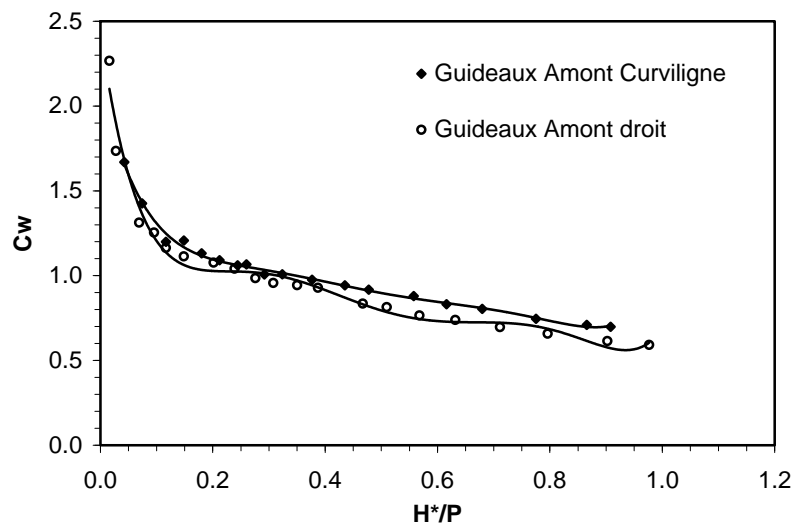


Figure I-14 Coefficient de débit en fonction des conditions d'approches amont (Forme triangulaire). Cette faible différence entre les deux courbes peut s'expliquer par le fait que l'écoulement dans les deux cas est presque semblable dans le canal d'approche et se caractérise par une orientation perpendiculaire à l'axe longitudinal du déversoir. La seule différence entre les deux cas de forme d'entrée se rapporte à la forme d'alimentation du canal d'approche aux extrémités amont des guideaux, qui est stable pour le cas des guideaux curvilignes et perturbé pour le cas des guideaux droits.

CHAPITRE II

Déversoirs non rectiligne auto-stable

CHAPITRE II

II- Déversoirs non rectiligne auto-stable

II-1- Déversoir en hausse fusible

Le déversoir en hausse fusible a été inventé en 1989 par François Lempérière [9]. Ce système est l'équivalent d'un tampon fusible, semblable à des hausses multiples placées sur la crête de déversoir. Elles ont la forme d'un déversoir en labyrinthe dans lequel chaque hausse représente un cycle du labyrinthe.

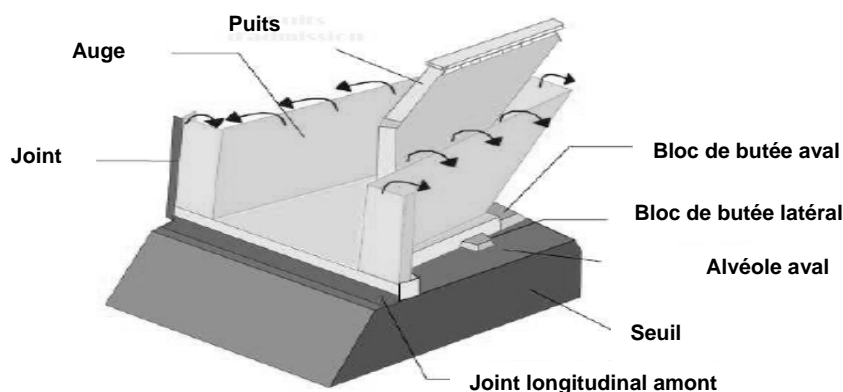
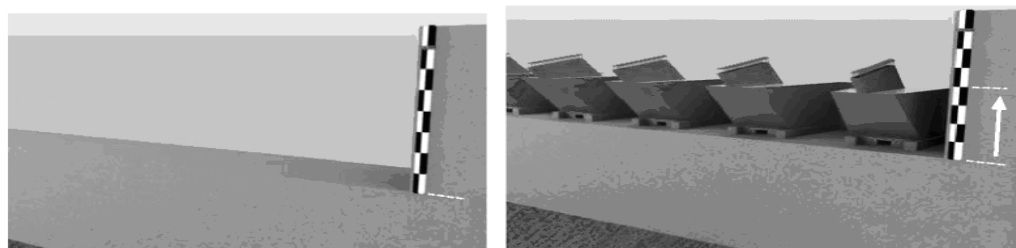


Figure II-1 Déversoir de hausse fusible (un élément).

Ce dispositif est composé par des éléments sous forme de vannes, chacune d'elles se compose de trois parties fondamentales, un godet fabriqué en acier ou en béton armé, une base et un puits d'admission qui est connecté à une chambre dans la base. (Figure II-1).

L'accumulation d'eau de suintement dans la chambre de fond est évitée en prévoyant deux drains pour chaque chambre. L'étanchéité entre les hausses fusibles adjacentes est assurée par un joint plat en caoutchouc comme indiqué dans la figure (II-1). Les joints sont seulement attachés à une des deux hausses adjacentes Degoutte.

Les hausses fusibles peuvent augmenter la capacité du déversoir et le stockage dans la retenue. Pour une installation sur un déversoir existant, une partie de la crête de type Creager est enlevée pour fournir une surface plane. L'augmentation de capacité de stockage exige que la crête des hausses fusibles soit placée au-dessus du niveau initial de la crête Creager.



A)- Déversoir d'origine

B)- Déversoir en hausses fusibles

Figure II-2 Disposition des hausses fusibles

Si le but de l'installation est seulement pour augmenter la capacité de déversoir, la crête des hausses fusibles doit être placée près du niveau initial de la crête Creager.

Les crues des dimensionnements des évacuateurs des crues sont parfois réévaluées après la construction du barrage. Les hausses fusibles offrent alors une solution économique, fiable et particulièrement adaptée pour la mise à niveau de la capacité de déversement des seuils pour une modification des crues de dimensionnement.

II-1-1 Principe de fonctionnement des hausses fusibles

Le principe des hausses fusibles consiste à obstruer le seuil sur une hauteur de l'ordre de un à trois mètres par des éléments auto stables jusqu'à une certaine cote du plan d'eau amont et qui s'effacent automatiquement en cas de forte crue.

Selon le niveau d'eau dans la retenue, les éléments de rehausse fonctionnent comme un barrage, un déversoir, ou un fusible.

Lorsque le niveau de l'eau est inférieur ou égal au niveau du seuil des hausses, celles-ci fonctionnent comme un barrage. Chaque élément est largement auto stable et résiste à la poussée hydrostatique grâce à son poids propre, au poids de l'eau contenue dans l'alvéole amont et à la butée en pied aval de la hausse.

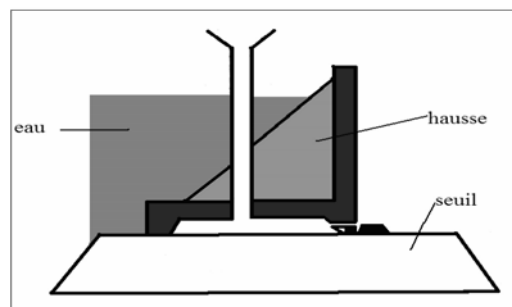


Figure II-3 Hausse fusible fonctionne comme un barrage.

Lorsque le niveau de l'eau s'élève au-dessus de la cote du seuil des hausses, celles-ci fonctionnent comme un déversoir à surface libre, jusqu'à une certaine épaisseur de lame d'eau. La forme dite en labyrinthe de la partie supérieure des hausses permet d'allonger la longueur du seuil déversant qui peut être de l'ordre de quatre fois la longueur du seuil d'origine. Pendant cette phase de fonctionnement, chaque élément reste largement auto stable comme dans la phase précédente.

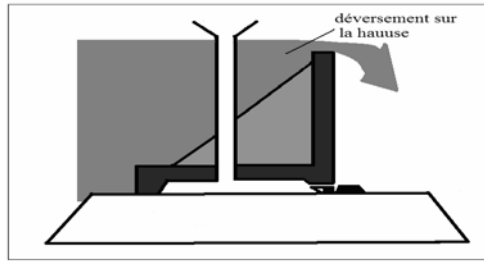


Figure II.4: Hausse fusible fonctionne comme un déversoir

En cas de fortes crues, au-delà de la crue choisie, le niveau de l'eau atteint la cote d'entrée d'un puits par lequel l'eau pénètre dans une chambre à la base de l'élément. La sous-pression ainsi introduite sous l'élément modifie radicalement ses conditions de stabilité et provoquent brutalement son basculement, libérant ainsi une brèche dans laquelle le niveau du seuil libre redevient celui du seuil initial dérasé.

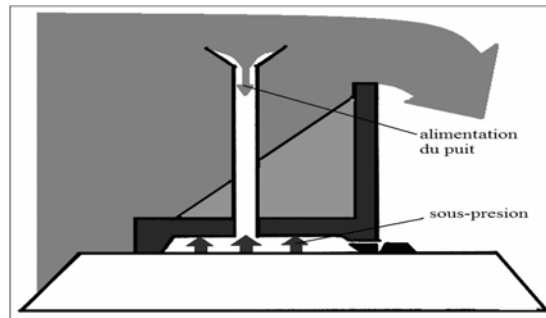


Figure II-5 Alimentation de la chambre de mise en pression.

Lorsque le seuil est équipé de plusieurs hausses, les côtes d'entrée des puits sont décalées de quelques centimètres de façon à ce que les éléments puissent si nécessaire basculer les uns après les autres au fur et à mesure de la montée du plan d'eau. En cas de crue moyenne, un seul élément bascule, les autres restent en place.

Lorsqu'un ou plusieurs éléments ont basculé, le niveau de la retenue s'établit à la fin de la crue au niveau du seuil initial dérasé. Il faut alors remplacer les éléments effacés afin de retrouver la pleine capacité de la retenue.

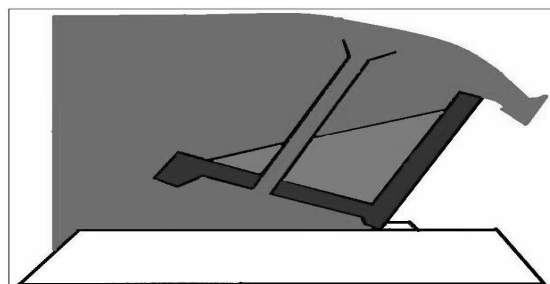


Figure II-6 Basculement de la hausse.

II-1-2- Caractéristiques de débit des hausses fusibles

Les caractéristiques de débit qui transite par les hausses fusibles ont fait l'objet des études hydrauliques au Laboratoire National d'Hydraulique à Chatou (France) et au laboratoire Tennessee Valley Authority à Norris (USA). Plusieurs configurations de hausses ont été testées par le LNH, tandis que seulement la largeur et la configuration à basse charge ont été évaluées par le TVA. Les différences entre les deux résultats étaient de 4%.

Les caractéristiques de débit ont été exprimées employant le coefficient de débit C_d pour les déversoirs définis par Rouse [10] comme :

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_c \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (\text{II.1})$$

Où Q = débit; g = accélération de l'apesanteur L_c = longueur de la crête de la hausse fusible; et h = différence entre le niveau d'eau dans le réservoir et le niveau de la crête.

Le coefficient de débit est une fonction de la longueur de la crête de la hausse et la hauteur d'eau amont h rapportée à la profondeur totale de l'écoulement sur le seuil Falvey [11].

Le coefficient de débit diminue quand la charge sur la hausse fusible augmente. La meilleure équation convenable pour le coefficient de débit suit une loi de puissance donnée par :

$$C_d = C_1 \left(\frac{h}{H} C_2 \right)^{C_3} \quad (\text{II.2})$$

Où H = la hauteur de la hausse et C_1 , C_2 et C_3 sont des constantes pour les valeurs de h/H supérieures à 0.1. Le coefficient C_2 est un facteur de la tension superficielle qui devient négligeable quand la profondeur d'étau sur la hausse augmente. Théoriquement, pour un débit nul la valeur du coefficient de débit doit être 0.611. Une extrapolation linéaire des données empiriques s'approche de cette limite pour les valeurs de h/H moins de 0.1.

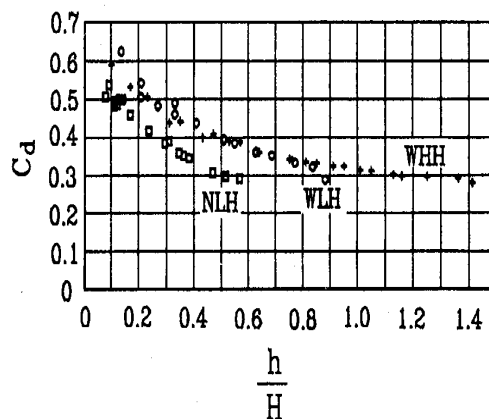


Figure II-7 : Courbe des coefficients de débit obtenu expérimentalement (Falvey, [11]).

Les hausses fusibles sont conçues pour fonctionner avec une nappe aérée. Les essais au TVA ont montré que le coefficient de débit était constant jusqu'au point où le niveau d'eau aval devient égal au niveau de la crête. Les effets de submersion sur les coefficients de débit observés pour les déversoirs en labyrinthe ne sont pas significatifs avec les hausses fusibles. L'inclinaison de la face aval et la barre de renforcement au milieu de la hauteur de la hausse se combinent pour maintenir la crête aérée pour les hauts niveaux d'eau aval (Falvey, [11]).

II-2- Blocs fusibles

Les blocs fusibles sont des éléments massifs en béton simplement posés les uns à côté des autres sur le seuil d'un déversoir, ils sont auto stables jusqu'à ce que le niveau d'eau à l'amont atteigne un certain niveau pour lequel ils basculent.

Les blocs posés sur un même seuil ont la même hauteur mais peuvent avoir des épaisseurs et donc des poids différents de sorte qu'ils basculent pour des hauteurs d'eau différentes. Ce niveau peut être prévu avec précision si la valeur de la sous-pression qui s'exerce sous le bloc est bien connue. Une façon simple de résoudre ce problème est de s'assurer que la sous-pression est soit totale, soit inexistante. Ceci peut se faire par la création, sous chaque bloc d'un vide qui soit fermé par un joint d'étanchéité à l'aval et communicant avec l'amont (sous-pression totale), ou soit fermé par un joint d'étanchéité à l'amont et communicant avec l'aval (sous-pression inexistante).

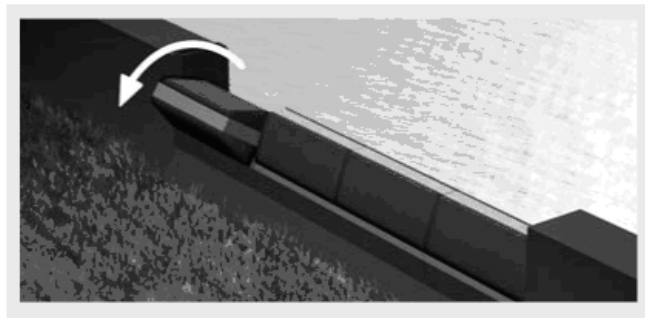


Figure II-8: Vue en perspective d'un déversoir Blocs fusibles

Les blocs peuvent être prévus pour basculer avant d'être submergés. Ils sont alors relativement hauts par rapport à leur longueur (hauteur H jusqu'à deux fois la longueur L) et la solution sans sous-pression permet de garder une épaisseur E réduite. Ils forment une crête fusible qui peut atteindre une hauteur importante et jouer le rôle d'un déversoir de sécurité.

Les blocs peuvent au contraire être prévus pour être submergés par une nappe d'eau h importante (jusqu'à deux fois la hauteur H du bloc) avant de basculer. Ils sont alors relativement longs et épais par rapport à leur hauteur (L/H jusqu'à 10; E/H jusqu'à 3) et peuvent présenter un profilage à l'amont pour faciliter l'écoulement.

La solution (sous-pression totale), bien que consommant plus de béton, paraît plus intéressante dans ce cas car elle donne une meilleure précision quant au niveau d'eau assurant le basculement (les courbes représentatives du moment stabilisateur et du moment de renversement se coupent avec un angle maximum). En outre, cette solution n'exige pas une grande précision pour la position exacte du joint d'étanchéité, celui-ci étant situé à l'aval, c'est-à-dire proche de l'axe de rotation du bloc quand il bascule. Il convient simplement de veiller à une aération suffisante de la nappe, ce qui est facile à réaliser.

Ces blocs sont particulièrement intéressants pour l'amélioration des seuils libres (augmentation du débit par abaissement du seuil ou augmentation du stockage par relèvement du plan d'eau ou combinaison des deux) et semblent très bien adaptés aux nombreux petits barrages testés au Burkina Faso.

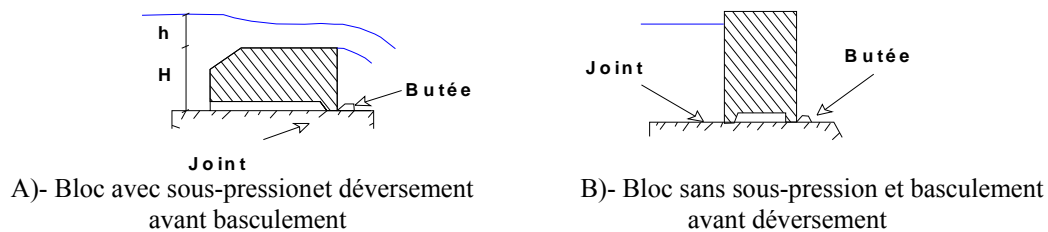


Figure II-9 Types de blocs fusibles

II-2-1- Blocs fusibles permettant le déversement avant renversement

Pour s'assurer que la sous-pression est totale, la partie inférieure amont du bloc sera laissée ouverte. Les extrémités latérales pourront rester également ouvertes (quelques supports sont alors nécessaires pour assurer la stabilité du bloc sur le seuil) ou être fermées, créant ainsi sous le bloc une chambre fermée sur trois côtés et ouverte à l'amont.

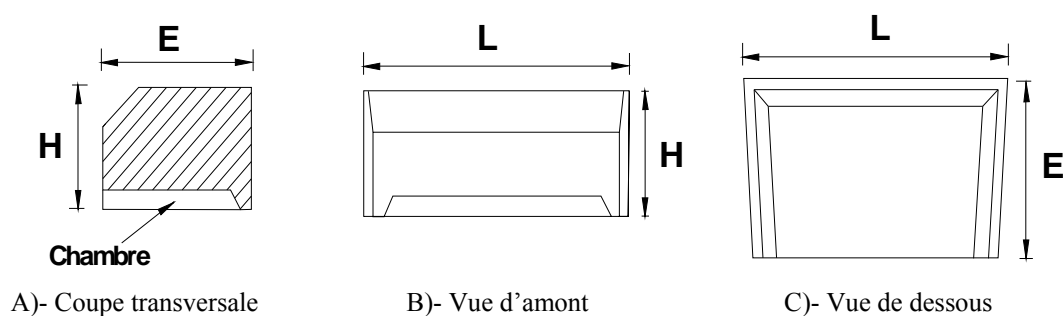


Figure II-10 Bloc type

Des dispositions doivent être prises aux extrémités des blocs pour éviter que les irrégularités ou les défauts de verticalité toujours possibles lors de leur fabrication, n'entraînent des frottements entre blocs ou entre un bloc et un mur séparateur lors du

basculement. Une solution possible consiste à réduire légèrement la longueur de la face aval du bloc pour donner à celui-ci une forme trapézoïdale.

Les blocs peuvent être placés directement côte à côte, mais les nombreux essais sur modèles réalisés dans différents pays (France, Algérie, Chine, Vietnam), coordonnés par Hydrocoop, ont montré l'intérêt de placer un mur vertical mince entre deux blocs adjacents lorsque ceux-ci ne sont pas d'une longueur importante. Ces murs, fixés dans le seuil, limitent l'influence de la déformation de la nappe due au départ d'un bloc, sur les blocs adjacents et augmentent ainsi la précision du niveau de l'eau assurant le renversement des blocs restants.

Les essais ont également montré que ces murs n'avaient pas besoin d'avoir de grandes dimensions pour être efficaces (voir figure II-11).

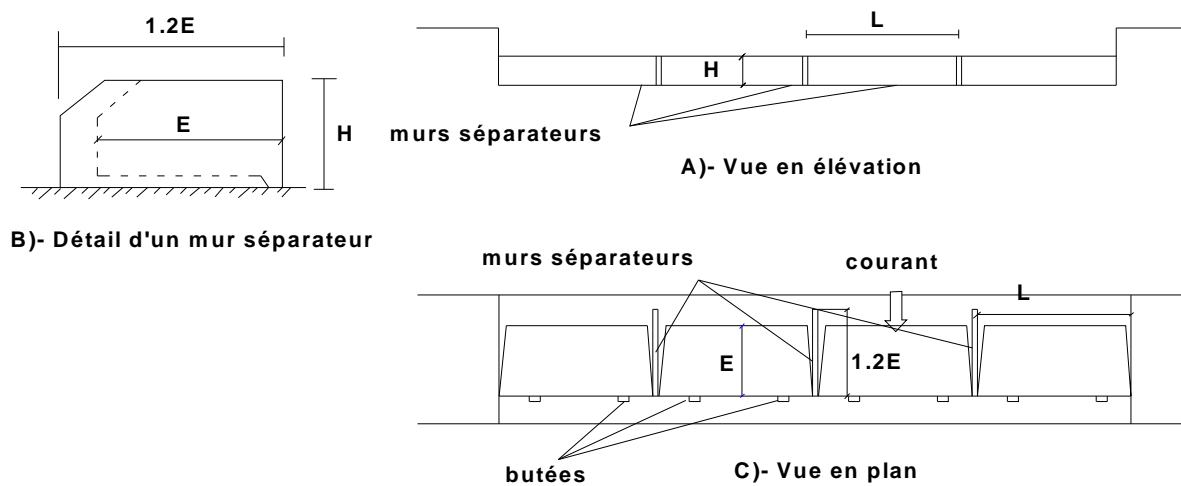


Figure II-11: Disposition générale et murs séparateurs

Les calculs théoriques ne sont simples qu'avant déversement, après déversement, il est difficile de calculer l'épaisseur exacte de la nappe au dessus des blocs et la pression qui s'exerce contre la partie haute à l'amont des blocs ainsi que de prendre en compte les effets dynamiques et les frottements de l'eau contre les blocs.

Les calculs théoriques ne permettent donc que de réaliser des avant projets et des essais de calibrage sur modèles réduits restent souhaitables pour préciser les épaisseurs assurant les renversements pour les hauteurs d'eau désirées.

La figure (II-2) montre les courbes théoriques de stabilité, la lignes brisée MV représente le moment des forces verticales et la courbe MH le moment des forces horizontales (les moments sont calculés par rapport à la butée aval) en fonction d'une charge d'eau totale W à l'amont d'un bloc d'épaisseur E et de hauteur H . Le renversement du bloc correspond au point de rencontre de ces deux courbes. La ligne brisée MV1 en pointillée correspond à une épaisseur de bloc augmentée de 10 %.

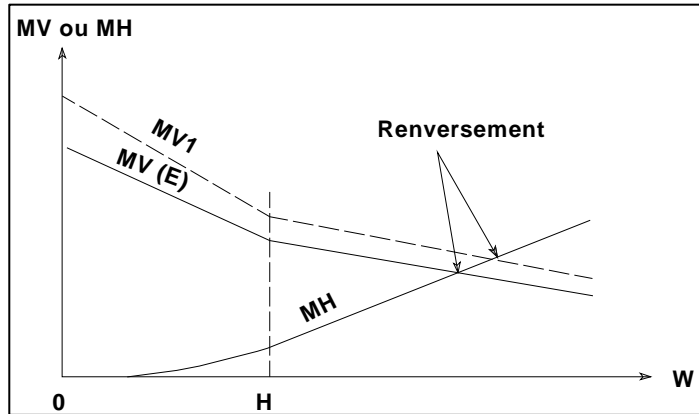


Figure II-12 : Diagramme de stabilité

Les essais sur modèles ont montré la fiabilité du rapport entre l'épaisseur E d'un bloc et l'épaisseur de lame d'eau pour laquelle il bascule.

Pour un avant projet très préliminaire, on peut utiliser la formule approchée suivante pour un bloc ayant la forme générale décrite aux paragraphes précédents et une densité moyenne :

$$h = E - 0,4 H \quad (\text{II.3})$$

Qui signifie qu'un bloc dont l'épaisseur est égale à une fois et demi sa hauteur ($E = 1,5 H$) bascule pour une épaisseur de nappe à peu près égale à sa hauteur ($h = H$).

Dans la plupart des cas, il faut environ 1 m^3 de bloc de béton pour augmenter le débit de $1 \text{ m}^3/\text{sec}$. L'utilisation de blocs fusibles à la place d'un seuil classique permet à la fois de réduire la quantité de béton à mettre en œuvre et d'accroître la capacité de l'évacuateur d'environ $1 \text{ m}^3/\text{sec}$.

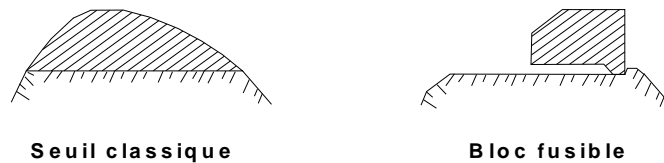


Figure II-13 Comparaison d'un seuil classique et d'un seuil équipé de blocs fusibles.

La construction des blocs peut être réalisée très simplement, par exemple en coulant le béton sur une couche de matériaux tout venant facile à enlever après coulage du béton, recouverte d'une membrane plastique comme indiqué sur la figure (II-14) Si les extrémités latérales restent ouvertes, quelques supports sont nécessaires pour assurer la stabilité du bloc.

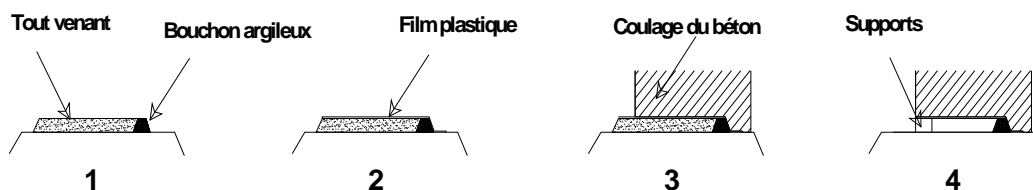


Figure II-14 Exemple de phases de construction

CHAPITRE III

Déversoir en touches de piano

PK-Weir

CHAPITRE III

III- Déversoir en touches de piano PK-Weir

Les formes traditionnelles des déversoirs exigent des grandes profondeurs de la nappe déversante, ainsi d'énormes pertes de stockage des déversoirs à écoulement libre (100 milliards de m^3 dans le monde entier). Une nouvelle forme de déversoir à écoulement libre baptisée PK-Weir a été développée par F. Lempérière et A. Ouamane [12]. Cette nouvelle forme permet de multiplier le débit spécifique par 4 ou plus et peut être employé pour des débits spécifiques de 5 à $100 m^3/s/m$.

III-1- Conception de PK-Weir.

Le PK-Weir définit une structure qui :

- Peut être placé sur des sections des barrages des poids existants ou nouveaux.
- Peut permettre des débits spécifiques jusqu'à $100 m^3$.
- Peut être structurellement simple et facile à construire

III-2- Configuration géométrique du PK-Weir

Sur la base des essais préliminaires sur des modèles réduits physiques la forme géométrique du PK-Weir a été définie par :

- Une disposition rectangulaire des alvéoles quelque peu semblable aux formes de touches de Piano, ce qui explique le nom de Déversoir en touches de Piano (PK-Weir) ;
- Un radier incliné des alvéoles amont et aval, ce qui favorise l'utilisation des porte-à-faux ;
- Une longueur réduite de la base grâce à l'utilisation des porte-à-faux ;
- Une largeur réduite des éléments grâce à la forme rectangulaire ;
- Une surface réduite des murs latéraux ; (voir figure III-1).

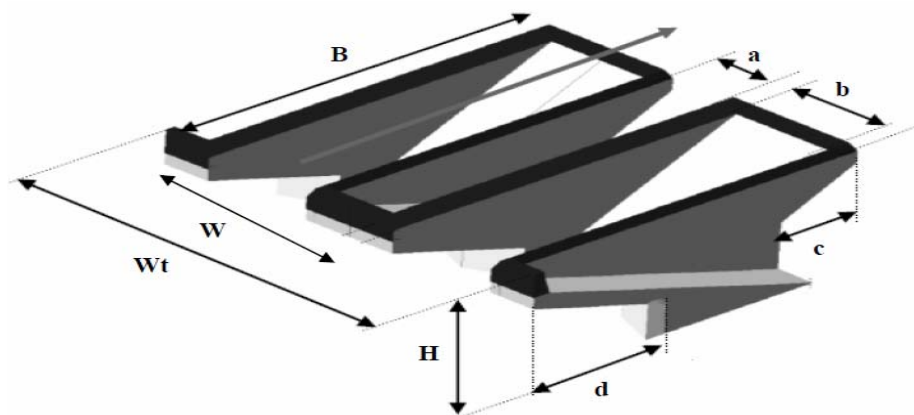


Figure III-1 Schéma d'un élément du déversoir en touches de Piano (PK-Weir)

- H : Hauteur maximale du PK-Weir ;
- B : Longueur d'une paroi latérale ;
- a : Largeur de l'alvéole amont ;
- b : Largeur de l'alvéole aval.
- c : Longueur du porte-à-faux amont ;
- d : Longueur du porte-à-faux aval ;
- W: Largeur d'un cycle du déversoir ;
- Wt : Largeur total du déversoir.

La forme de déversoir en plan peut changer, cependant, la forme la plus avantageuse correspond à la forme symétrique rectangulaire en plan comme montrée dans la figure (III-1).

La configuration d'une telle forme en plan est totalement définie par la hauteur maximale H des parois latérales, la largeur des alvéoles amont et aval, la longueur des porte-à-faux, l'accroissement de longueur L/W, le nombre de cycles, n formant le déversoir et le rapport d'aspect vertical W/P.

Selon le travail de Lempérière et Ouamane [12], deux types de PK-Weir ont été définis, le type A avec deux porte-à-faux en amont et en aval et le type B avec uniquement des porte-à-faux en amont, ce dernier permet des gains importants de rendement supérieurs à 10% par rapport au type A, les efforts structurelles sont moins importants pour les grands débits spécifiques.

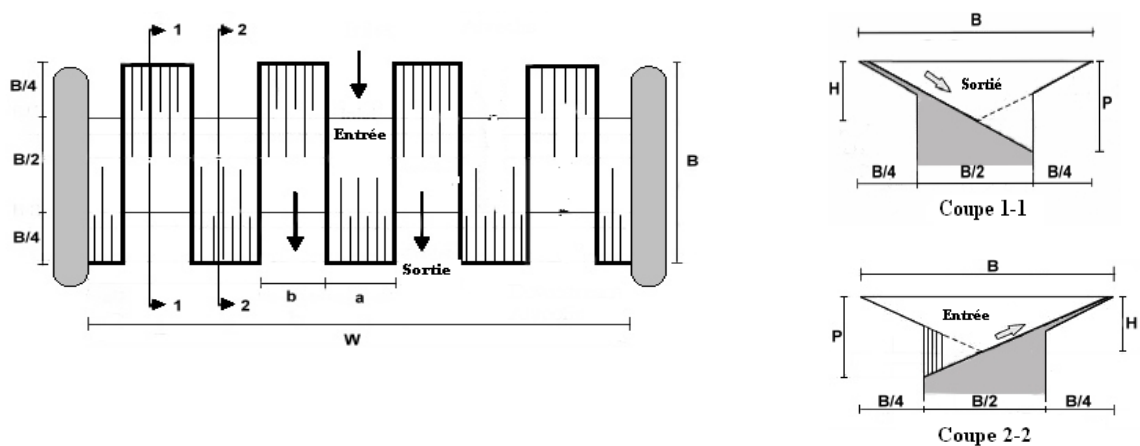


Figure III -2 PK-Weir de type A

Le PK-Weir de type B se caractérise par des porte-à-faux uniquement en amont, des gains importants en rendement d'environ 10 % par rapport au type A sont enregistrés (Ouamane, [13]b). Les efforts structurels sont moins importants pour les grands débits spécifiques. Cela pourrait ainsi être le choix le plus attirant pour plusieurs barrages futurs.

Cependant, le modèle de type B ne favorise pas l'utilisation des éléments préfabriqués qui peuvent être financièrement avantageux pour des débits spécifiques inférieurs à $20\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$. Le modèle B est probablement plus intéressant pour les grands débits spécifiques (Ouamane et al. [14]c).

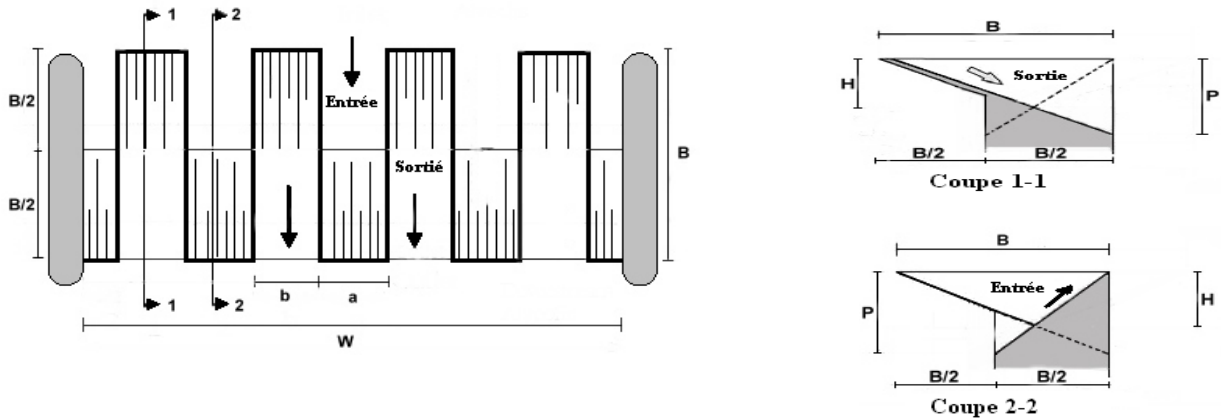


Figure III-3 PK-Weir de type B

Quant au modèle A, il est possible de modifier la largeur d'élément, les gains appropriés et les dépenses. L'augmentation de la longueur ou la hauteur de 10 % pour la même largeur d'éléments augmente les gains et le coût d'environ 5 %. L'octroi d'une meilleure forme hydraulique à la partie verticale l'entrée, comme pour les piliers d'un déversoir vanné, augmente des gains de débit d'environ 10 % pour un faible coût supplémentaire. La modification de la partie basse de la sortie ne réduit pas considérablement le débit, ce qui peut favoriser les conditions de construction.

L'écoulement est considérablement aéré par un P.K. Weir; le risque d'érosion aval ou cavitation est ainsi très réduit. Ceci a été confirmé par des essais sur modèle et les déversoirs de forme labyrinthe existants.

Les efforts principaux dans le béton armé sont dans les parois verticales entre l'entrée et la sortie ; ces murs agissent comme des porte-à faux sur les blocs en béton et non pas comme les poutres horizontales, il est possible pour éviter les tensions thermiques de prévoir un joint vertical à la partie la plus haute de ce mur.

La forme triangulaire du mur réduit considérablement les tensions en comparaison avec un mur rectangulaire; l'épaisseur de la partie supérieure du mur peut être faible (10 à 20 cm).

L'épaisseur moyenne de la structure de béton armé peut être 15 à 25 cm pour des débits spécifiques inférieurs à 20 m³/s/m et dans la gamme de 50 cm pour les débits spécifiques de 50 m³/s/m.

Le PK-Weir comme présenté ci-dessus avec une hauteur maximale de mur H exige par mètre de déversoir une surface totale de béton armé de 4.2 H. Comme le gain de profondeur de la nappe est de 0.4 à 0.5 H, le volume nécessaire de béton armé pour le gain d'un mètre de profondeur par un mètre linéaire de déversoir existant est d'environ dix fois l'épaisseur moyenne de mur c'est-à-dire varie de 1.5 m³ pour H = 2 m jusqu'à 5 m³ pour H = 8 m.

Comme l'augmentation de débit spécifique est de $1.5 H^{1.5}$, l'augmentation de débit de $1/m^3/s$ exige $0.35 m^3$ de béton armé pour $H = 2 m$; ou pour $H = 4m$ et $0.5 m^3$ pour $H = 8m$.

Si la profondeur de la nappe pour la crue de conception est h , il sera possible d'augmenter le niveau d'exploitation de $0.6h$ en baissant le seuil de $0.9 h$ et plaçant le PK-Weir dont la hauteur H sera $1.5h$.

III-3 Mode d'écoulement sur le PK-Weir

L'écoulement sur le PK-Weir est tout à fait différent de l'écoulement sur le déversoir en labyrinthe, il se caractérise par deux nappes déversante, la première sous forme d'un jet de fond qui s'écoule le long du radier incliné de l'alvéole aval et le second sous forme d'un écran plus au moins mince selon la charge sur le déversoir. La deuxième nappe qui est superficielle favorise l'aération du déversoir à cause de la présence des porte-à-faux (Ouamane, [13]b).



Figure III-4 Ecoulement en deux nappes déversant sur un cycle de PK-Weir (Ouamane [13] b).

III-3-1- Performance hydraulique

La performance hydraulique du PK-Weir est en fonction des paramètres sans dimensions dérivant directement de la géométrie du déversoir et de la charge d'exploitation qui sont d'importance principale (Ouamane, [13]a).

La performance peut aussi être affectée par les paramètres d'importance secondaire résultant des détails de construction, comme la forme de la section de la crête, la forme d'entrée sous les porte-à-faux, et la présence des corps flottants.

Une couverture systématique des paramètres principaux et des paramètres secondaires a fait l'objet d'études sur modèles réduits physique de PK-Weir qui a fait apparaitre l'effet de chaque paramètre sur le rendement de ce type de déversoir.

Les paramètres affectant particulièrement la performance hydraulique sont le ratio $n=L/W$, la largeur relative des alvéoles a/b , la longueur relative des porte-à-faux c/d , le ratio de l'aspect vertical W/P et la charge relative H/P (Ouamane, [13]a).

$$C_w = f\left(\frac{D}{P}, \frac{W}{P}, \frac{L}{W}, \frac{b}{a}, \frac{c}{d}, \frac{h^*}{P}, \frac{t}{P}, \frac{R}{P}\right) \quad (III.1)$$

III-3-2 Rapport d'aspect vertical, W/P

Le rapport d'aspect vertical qui représente la géométrie verticale peut avoir deux indications, la première reflète l'effet de la variation de la hauteur pour une largeur de cycle fixe et la seconde indique l'influence de la variation de la largeur pour une hauteur du déversoir fixe.

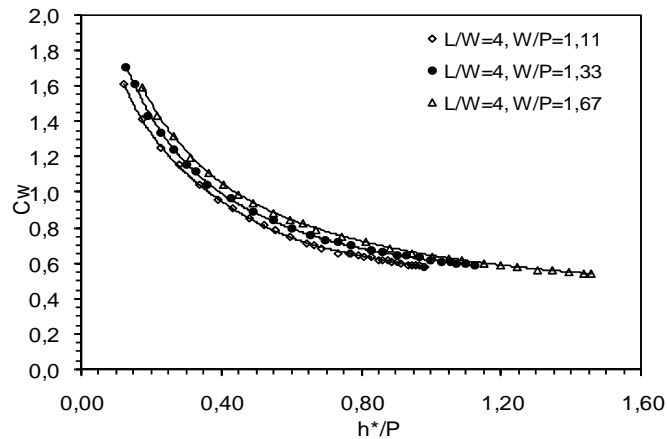


Figure III-5 Coefficient de débit en fonction du rapport de l'aspect vertical W/P (Ouamane, [13]b).

Selon A. Ouamane ([13]b), le coefficient de débit est dépendant du paramètre W/P. Autrement dit, la capacité d'évacuation est dépendante de la hauteur du PK-Weir.

III-3-3 Longueur relative, L/W

Généralement, le ratio L/W qui exprime le rapport entre la longueur totale de la crête et la largeur du déversoir influe remarquablement sur l'écoulement. La figure (III-6) a montré que l'augmentation dans l'accroissement de la longueur du PK-Weir fait augmenter la capacité d'évacuation d'une manière significative, autrement dit, faire augmenter le ratio L/W de deux fois cela conduit à un accroissement du coefficient de débit de plus de 50% pour les charges relatives $h^*/H < 0.4$.

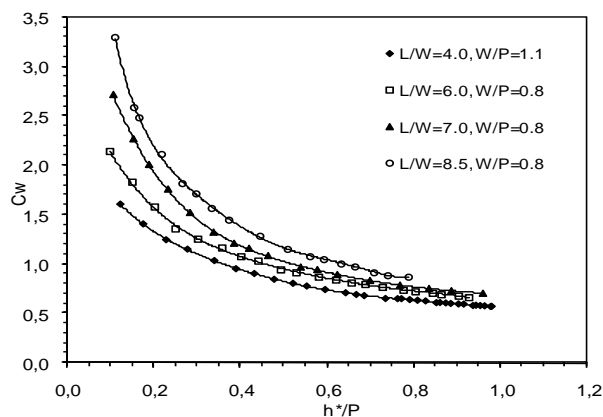


Figure III-6 Coefficient de débit en fonction du ratio L/W (Ouamane, [13]b).

Cependant, l'efficacité diminue remarquablement pour les charges relatives $h^*/H > 0,6$. Le faible gain dans la capacité d'évacuation enregistré pour les grandes valeurs de L/W et h^*/P est peu probable en pratique de justifier les dépenses supplémentaires structurelles impliquées (Ouamane, [13]b).

III-3-4 Impact de la largeur des alvéoles (a) et (b)

La géométrie en plan du PK-Weir est caractérisée par deux alvéoles de forme rectangulaire, la première de largeur (a) orientée vers l'amont et la seconde de largeur (b) orientée vers l'aval. La pente des radiers des alvéoles est dépendante de la longueur des porte-à-faux et de la hauteur du déversoir, de ce fait, l'écoulement dans les alvéoles amont et aval peut être différent.

La figure (III-7) fait remarquer que pour une même largeur d'un élément de PK-Weir, il est possible pour le même coût d'augmenter la largeur de l'alvéole amont de 20 % et réduire en conséquence la largeur de l'alvéole aval. Ceci fait augmenter le rendement d'environ 5 % sans aucune dépense supplémentaire (Ouamane, [13]b).

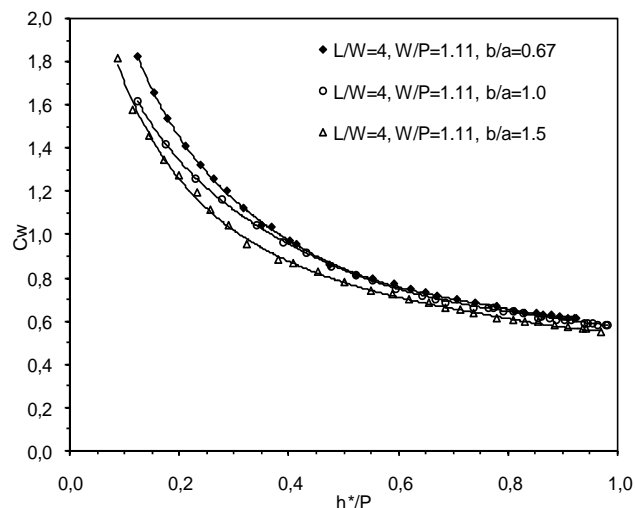


Figure III-7 Coefficient de débit en fonction de la largeur des alvéoles (Ouamane, [13]b)

III-3-5 Impact des corps flottants

L'écoulement à travers les déversoirs et en présence des corps flottants a été toujours considéré comme un cas critique qui peut affecter la sécurité du barrage. Le risque peut se manifester par le blocage des corps flottants à l'entrée du déversoir provoquant ainsi une réduction du débit évacué et par conséquent, une surélévation du plan d'eau de la retenue. Ceci engendre la submersion de la crête du barrage. L'écoulement à travers le PK-Weir dans le cas de présence des corps flottants a fait l'objet d'étude qui a montré qu'aucun blocage des corps flottants sous les porte-à-faux n'a été observé pendant la montée du niveau d'eau de la

base du PK-Weir jusqu'à la crête. Pour les faibles charges les corps flottants sont entraînés dans les alvéoles aval et reste bloqués jusqu'à une charge moyenne de l'ordre de $0.4H$. Au-delà de cette charge les corps flottants commencent à être évacués systématiquement vers l'aval. La figure (III-9) montre l'impact des corps flottants qui se caractérise par une réduction du coefficient de débit pour des charges relatives $H^*/P < 0.5$, au-delà de cette valeur, l'écoulement redevient normal et le coefficient de débit prend des valeurs égales aux valeurs correspondant à l'écoulement libre (A. Ouamane). L'effet des corps flottants peut réduire le débit d'environ 10 % quand la profondeur de la lame déversante est dans la gamme de 1 ou 2m (Comme pour le déversoir Creager).



Figure III-8 Fonctionnement du PK-Weir avec encombrement de l'entrée par des corps flottants.

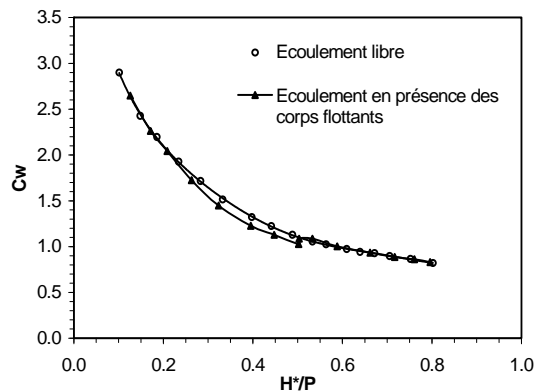


Figure III-9 Coefficient de débit en fonction de la présence des corps flottants

III-3-6 Impact de la longueur des porte-à-faux

Les porte-à-faux du PK-Weir peuvent prendre trois dispositions, la première avec des porte-à-faux amont plus longs que les porte-à-faux aval, la seconde avec des porte-à-faux amont et aval identiques et la dernière configuration avec seulement des porte-à-faux amont. Les essais effectués pour ces trois dispositions de porte-à-faux ont montré que le cas sans porte-à-faux aval ($d/c=0$) se caractérise par un rendement plus élevé que les modèles avec porte-à-faux aval. Par contre, le rendement de la disposition avec des porte-à-faux symétriques ($d/c=1$) est plus grand que celui du modèle avec des porte-à-faux non

symétriques. A cet effet, le modèle sans porte-à-faux aval peut être considéré comme une solution pour les grands débits spécifiques (Ouamane, [13]b).

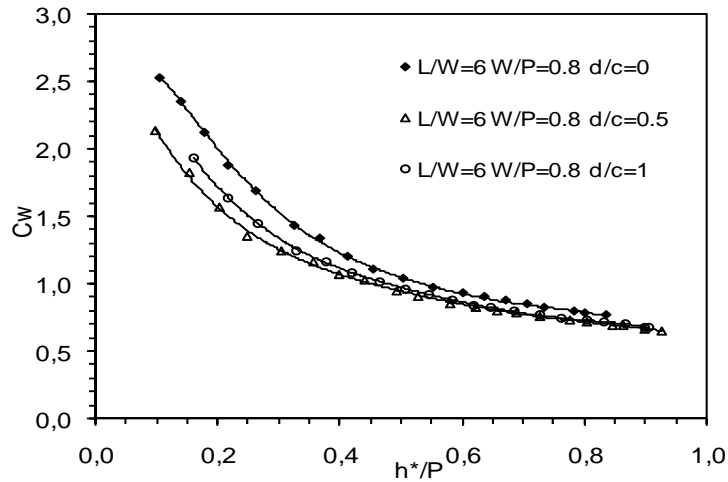


Figure III-10 Coefficient de débit en fonction de la longueur des porte-à-faux (Ouamane, [13]b)

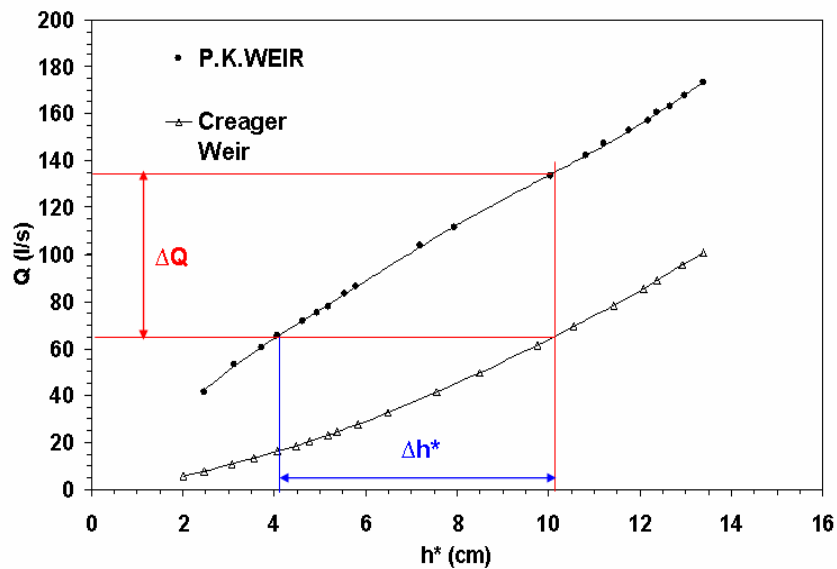


Figure III-11 Comparaison de débit entre le PK-Weir et le déversoir Creager (Ouamane [14]c)

Le débit spécifique du PK-Weir est comparé ci-dessus au débit du déversoir standard de type Creager en fonction de la profondeur de la lame déversante h^* . il a été constaté que:

- Le débit spécifique d'un déversoir Creager est près de $2,2h^{*1.5}$ ($m^3/s/m$).
- Le débit spécifique d'un PK-Weir est près de $1,7nh^{*1.5}$ pour $h^* < 0.3H$.

Pour les grandes valeurs de h^* et de n près de 5, le débit spécifique est de l'ordre de $4h^*H^{0.5}$.

Le PK-Weir de type B a fait l'objet d'une étude détaillée au Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement (Université de Biskra) pour définir la forme optimale de ce

type de PK-Weir. Ce travail qui a été réalisé par A. Noui [15] dans le cadre de préparation de mémoire de Magister (2007). Le travail cité ci-dessus a permis de vérifier l'impact des différents paramètres géométriques sur la performance de ce type de déversoir. Cette étude a montré que l'effet du ratio L/W n'apparaît pas pour les faibles pentes des radiers des alvéoles, par contre si les pentes des radiers sont raides, l'effet du ratio L/W est très apparent.

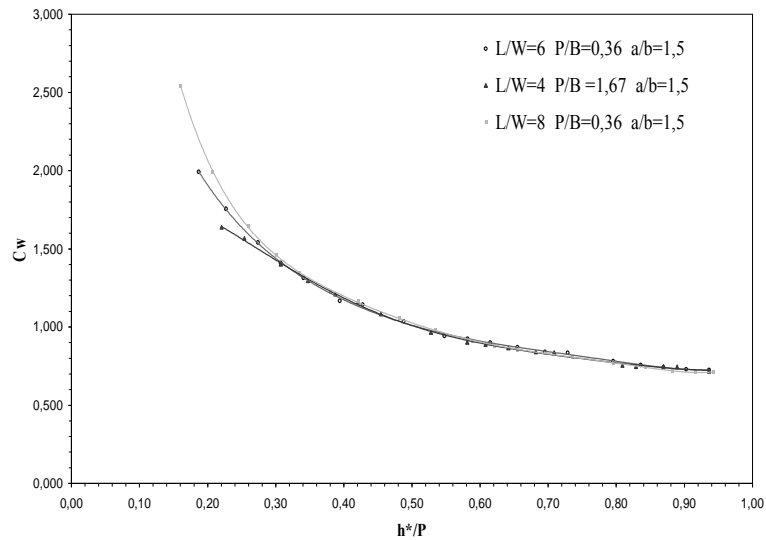


Figure III-12: Courbe des débits en fonction du ratio L/W (Noui.A, [15])

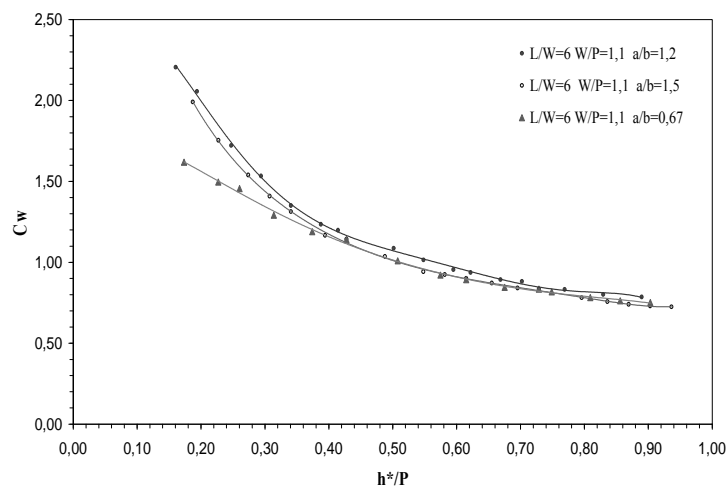


Figure III-13: Coefficient de débit en fonction des largeurs des alvéoles amont et aval (Noui.A, [15])

Ce travail a montré aussi que le meilleur rendement est obtenu pour une largeur de l'alvéole amont égale à 1.2 fois la largeur de l'alvéole aval.

III-3-7 Effet de l'emplacement du déversoir

L'emplacement du déversoir sur socle peut engendrer une perte de performance. F. Belabed et al[16] ont justifié cette perte de performance par le fait des filets liquide du fond qui butent sur le socle avant de se diriger vers le haut pour pénétrer dans alvéoles amont.

Alors que dans le cas sans socle les filets d'écoulement de fond dirigent directement vers les alvéoles amont.



Figure III-14 : Modèle A1m sans socle



Figure III-15 : Modèle A1m sur socle

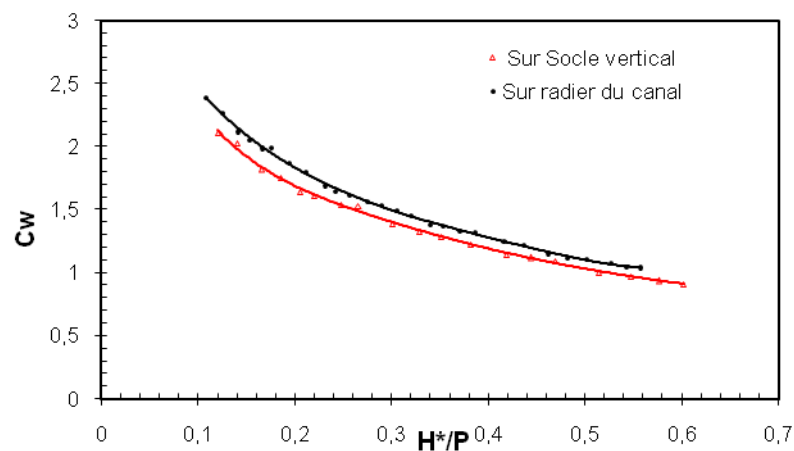


Figure III-16 : Coefficient de débit en fonction de la position du déversoir (PK-Weir A1m)

III-3-8 Effet de la forme d'entrée au pied du déversoir.

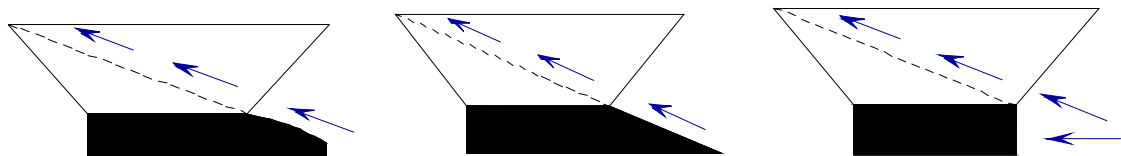


Figure III-17 a- Socle à parement arrondi. b- Socle à parement incliné. c- Socle à parement vertical.

La forme d'entrée au pied amont du déversoir a été montrée qu'elle n'influe que faiblement sur la performance du PK-Weir (F. Belabed et al. [16]). Les auteurs ont justifié ceci par le faible écart entre la courbe expérimentales qui correspond au socle à parement amont incliné et les deux autres forme de parement.

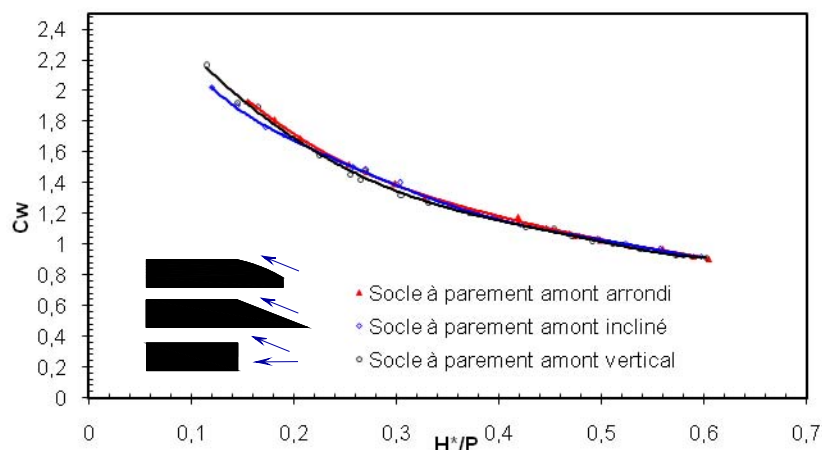


Figure. III-18 Coefficients de débit en fonction de la forme amont du Socle

III-3-9 Effet de la contraction latérale sur l'écoulement

Le PK-Weir peut être réalisé dans un canal de même largeur que l'emprise du déversoir ou sur le contour d'une retenue ce qui engendre une largeur amont largement supérieure à la largeur du déversoir. Ainsi, deux cas ont été étudiés:

Pour le premier cas, le PK-Weir est inséré dans un canal de même largeur, donc, il est considéré sans contraction latérale $W=W_c$. les filets liquides sont parallèles et l'alimentation du déversoir se fait frontalement par rapport à l'axe longitudinal du déversoir, dans ces conditions, si la noyade se manifeste, une surélévation du plan d'eau amont est enregistrée.

Le second cas correspond à l'insertion du PK-Weir dans une retenue, avec contraction latérale $W < W_c$. Dans cette condition, l'écoulement est frontal au centre et radial sur les cotés ce qui engendre un étranglement au niveau de la section d'entrée du déversoir, Ceci conduit à une réduction du débit qui transite par le déversoir.

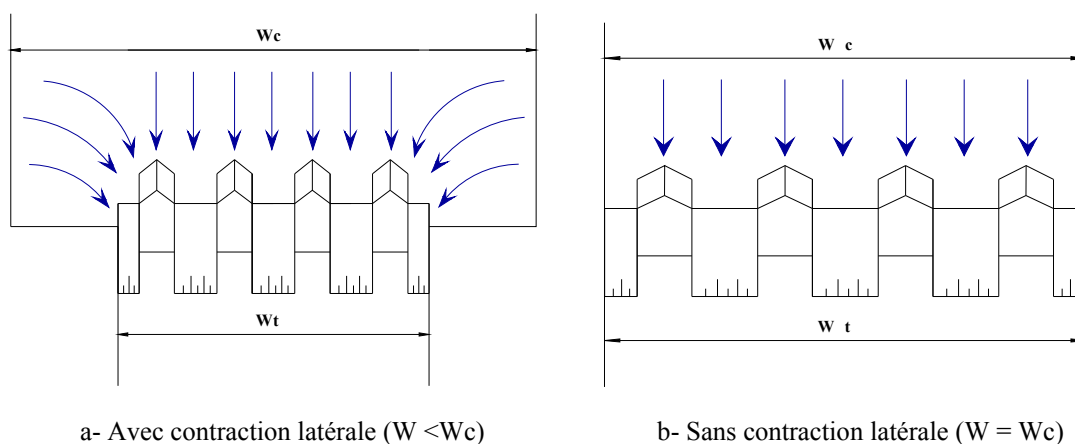
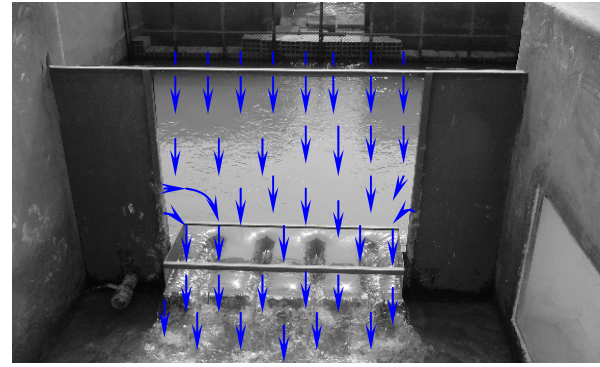
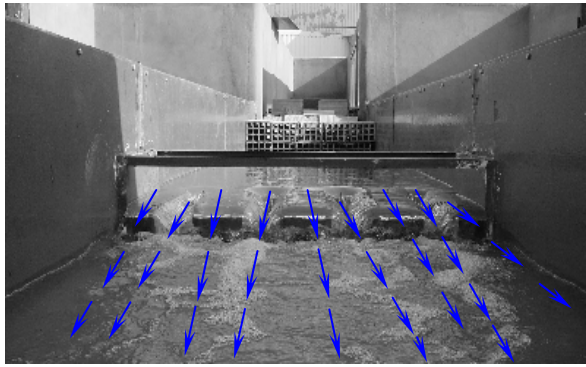


Figure III-19 Schémas du déversoir en PK-Weir avec et sans contraction latérale



a- Modèle de PK-Weir sans contraction latérale

b Modèle de PK-Weir avec contraction latérale

Figure III-20 Modèles de déversoir avec et sans contraction latérale

L'expérimentation réalisée sur ces deux types de disposition (avec contraction et sans contraction latérale) a montré que l'évolution du niveau d'eau amont en fonction du niveau aval est indépendante de la contraction latérale du déversoir en PK-Weir pour les deux cas étudiés

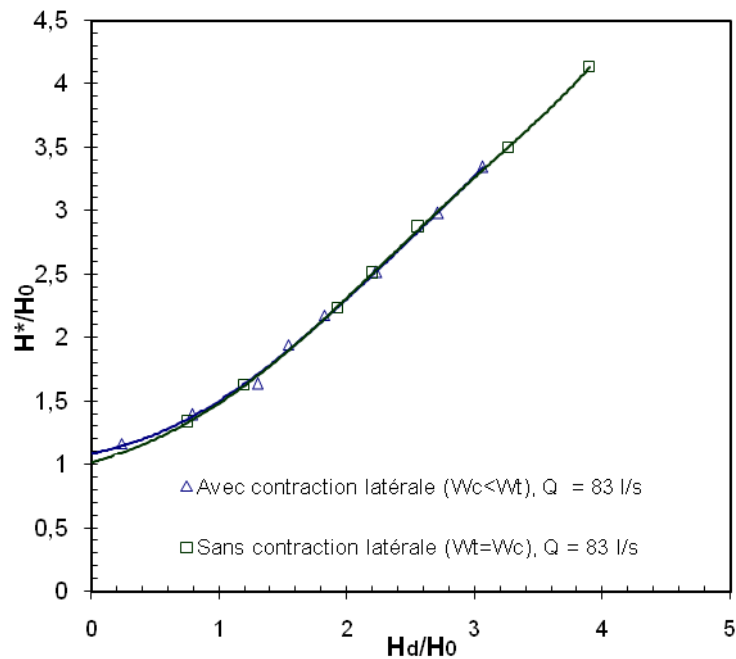


Figure III-21 : Courbes de la charge relative amont en fonction de la charge relative aval

Conclusion

Conclusion

La présente étude bibliographique a été réalisée dans le but de donner un aperçu général sur les différents travaux de recherche réalisés à ce jour dans le domaine des déversoirs non rectiligne et en particulier le PK-Weir. Cette étude a montré que la géométrie des déversoirs non rectilignes se caractérise par une crête à axe discontinu en plan, permettant d'avoir une crête plus longue que la largeur du déversoir.

Les premiers travaux qui ont fait l'objet de l'étude de la performance et du coefficient de débit sont ceux de Hay et Taylor [1] et Darvas [2] qui ont considéré la charge piézométrique pour déterminer les différents paramètres de l'écoulement, les résultats obtenus par ces derniers ont fait l'objet d'une correction par Magalhaes [3] et Kathleen [4] qui ont considéré que la charge totale correspond à la charge piézométrique augmenté par charge cinétique ($H=H_p + H_c$).

Hinchliff et al. [5] ont considéré que la viscosité et la tension superficielle sont négligeables. Alors, le débit par cycle d'un déversoir en labyrinthe est en fonction des paramètres géométriques et du paramètre qui exprime la pesanteur.

La nouvelle forme de déversoir développé par F. Lempérière et A. Ouamane [12] baptisée PK-Weir représente une alternative économique et efficace pour l'évacuation des crues et l'accroissement de la capacité des retenues des barrages. Ce nouveau type de déversoir multiplie le débit spécifique d'un déversoir Creager par trois ou plus pour la même largeur du déversoir et sous la même charge, il réduit considérablement le coût de la construction de la plupart des nouveaux barrages ; peut assurer la sécurité des barrages à faible coût ;

Le PK-Weir est un déversoir de type labyrinthe, caractérisé par des éléments de forme rectangulaire en plan. Sa structure est constituée essentiellement par des porte-à-faux amont et aval, ceci lui donne une longueur transversale de crête supérieure à la base d'appui. Les radiers amont et aval sont inclinés. Ce déversoir a fait l'objet d'une étude expérimentale détaillée qui a permis de sélectionner deux types de PK-Weir, le premier avec des porte-à-faux amont et aval (Type A) et le second avec seulement des porte-à-faux amont (Type B).

Le PK-Weir de type (A) a fait l'objet d'une étude expérimentale détaillée, qui a permis de déterminer l'impact de chaque paramètres géométrique sur le rendement de ce type de PK-Weir est de définir sa forme optimale.

-L'emplacement du PK-Weir dans un canal permet d'avoir un meilleur rendement que de le placer sur un socle qui représente un barrage poids. A. Ouamane et F. Belabed [16] ont montré que l'écoulement au pied amont du déversoir est dirigé directement vers les alvéoles

amont pour le cas d'emplacement dans un canal, tandis que le cas avec socle l'écoulement qui transite par le fond se dirige vers le haut du socle pour atteindre finalement les alvéoles amont du déversoir. Ainsi, le meilleur rendement est obtenu en utilisant une forme d'entrée vertical au pied amont du déversoir.

Partie Expérimentale

CHAPITRE I

Description du dispositif et protocole expérimentaux

CHAPITRE I

Description du dispositif et protocole expérimentaux

I-1- Introduction

Le déversoir en touches de piano (PK-Weir) est particulièrement sensible à la forme d'entrée immédiate en amont de l'ouvrage. Le fonctionnement des déversoirs non rectilignes existants a montré que les conditions d'entrée médiocres peuvent diminuer la capacité d'évacuation du déversoir.

Le but de la présente étude expérimentale consiste à apporter quelques réponses à la problématique de l'effet des conditions d'approche sur la performance du PK-Weir. Ainsi, cette étude expérimentale consiste à déterminer :

- 1- L'effet de la présence des guideaux droits par rapport au sens d'écoulement avec des angles d'ouverture qui varient de 0° à 90° .
- 2- L'effet des guideaux curviligne sur la performance hydraulique du PK-Weir.
- 3- L'effet de l'emplacement du PK-Weir dans un canal de même section en amont et en aval (sans contraction latérale).
- 4- L'effet de l'emplacement avancé du PK-Weir par rapport de la digue.
- 5- La géométrie en 3D de plan d'eau de la zone d'approche du seuil du PK-Weir.

I-2- Modèles expérimentaux

L'étude expérimentale a été réalisée sur deux modèles de PK-Weir confectionnés en plaques métalliques. Les caractéristiques géométriques de ces modèles sont mentionnées dans le tableau (I-1).

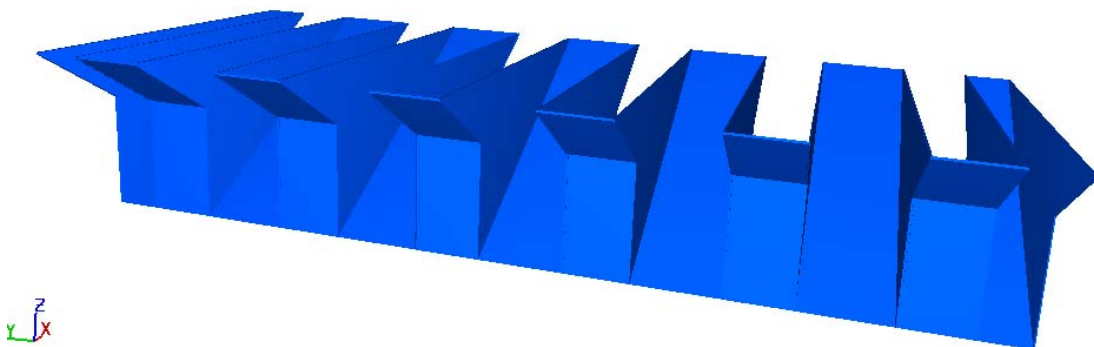


Figure I-1 Modèle de PK-Weir expérimenté

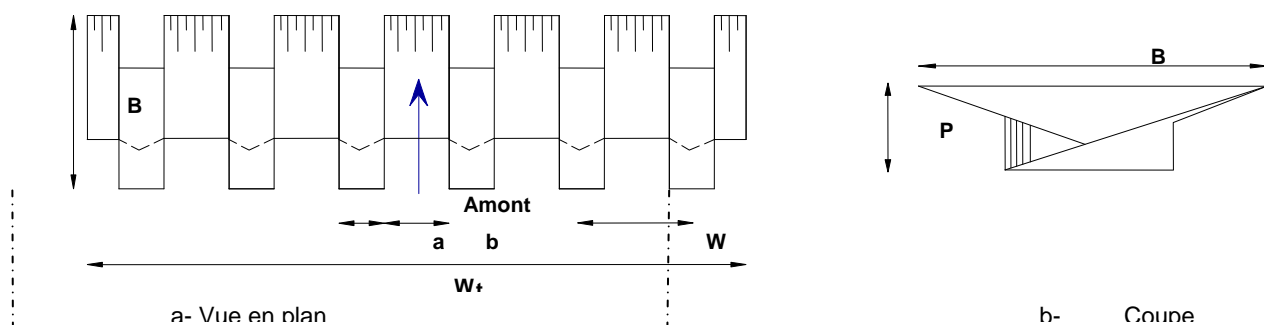


Figure I-2 Schéma du modèle expérimental de PK-Weir type A

Tableau I-1 Caractéristiques géométriques des modèles réduits

Modèle de PK-Weir	N°	n	L	Wt	P	B	W	a	b	L/W	W/P	a/b
		-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	-	-	-
avec porte-à-faux amont et aval	A1m	6	599	101	15.4	41.25	16.5	9.5	7	6	1.07	1.36
avec porte-à-faux amont	Bm1	4	505	101	20	48.48	25	12.5	12.5	5	1.25	1

I-3- Description de l'organisation expérimentale

I-3-1- Description de la station d'expérimentation

Le dispositif expérimental est constitué d'un ensemble de canaux à ciel ouvert permettant de simuler les écoulements dans les cours d'eau en amont et en aval des ouvrages hydrauliques avec et sans contraction latérale. Ce dispositif expérimental a été dimensionné dans le but de permettre la réalisation des essais sur des modèles réduits des évacuateurs de crues et autres ouvrages hydrauliques à une échelle suffisamment acceptable.



Figure I-3 Vue d'ensemble de la station d'expérimentation des modèles réduits.

La station d'expérimentation est équipée d'une station de pompage regroupant deux pompes qui débitent 180 l/s, raccordées par l'intermédiaire de deux conduites de diamètre 200mm à un bassin de tranquillisation de l'écoulement, qui est raccordé à son tour à un canal d'amenée de longueur 5m, de hauteur 1.2m et de largeur 0.95m. L'une des parois de ce canal

est conçue en verre afin de permettre la visualisation de l'écoulement. L'eau qui transite par le canal d'amenée passe dans un bassin de simulation de retenue de section 5x4m et de hauteur 1.5m, des vitres en verre sont insérées dans l'une des parois latérale du bassin permettant ainsi la visualisation de l'écoulement.

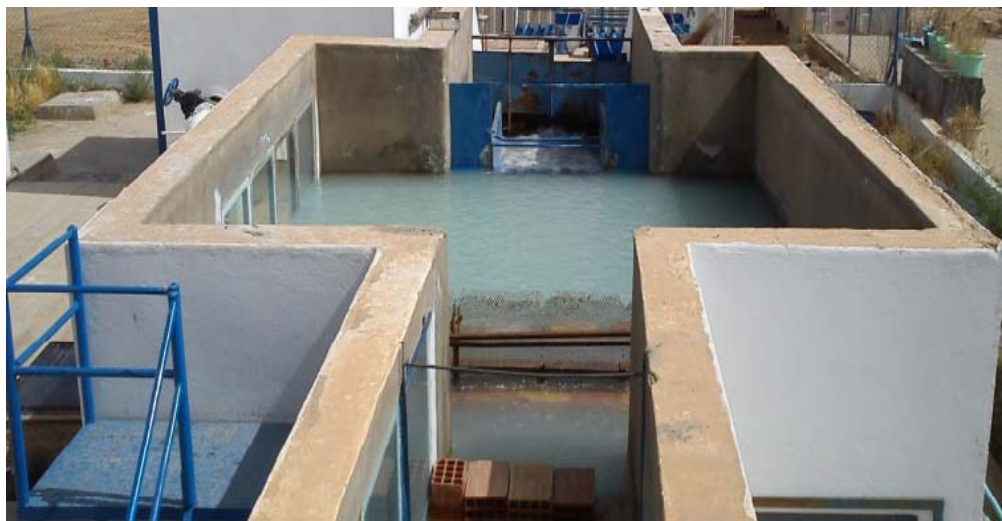
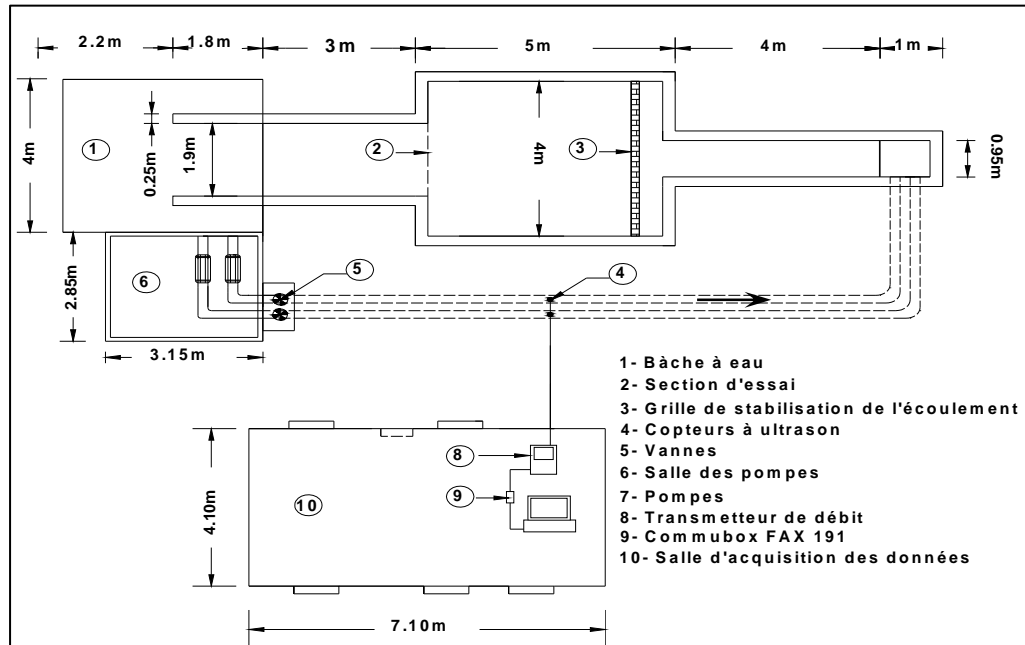


Figure I-4 Schéma de station d'expérimentation. (Vue en plan)

Le bassin de simulation de retenue est équipé d'un réseau de prise de pression permettant de déterminer les profondeurs d'eau aux différents endroits du bassin. Ces prises de pression sont raccordées à un tableau manométrique qui permet la lecture directe de la profondeur d'eau en chaque point. Le débit qui transite par le dispositif expérimental est mesuré par un débitmètre à ultrason installé sur les deux conduites d'adduction.

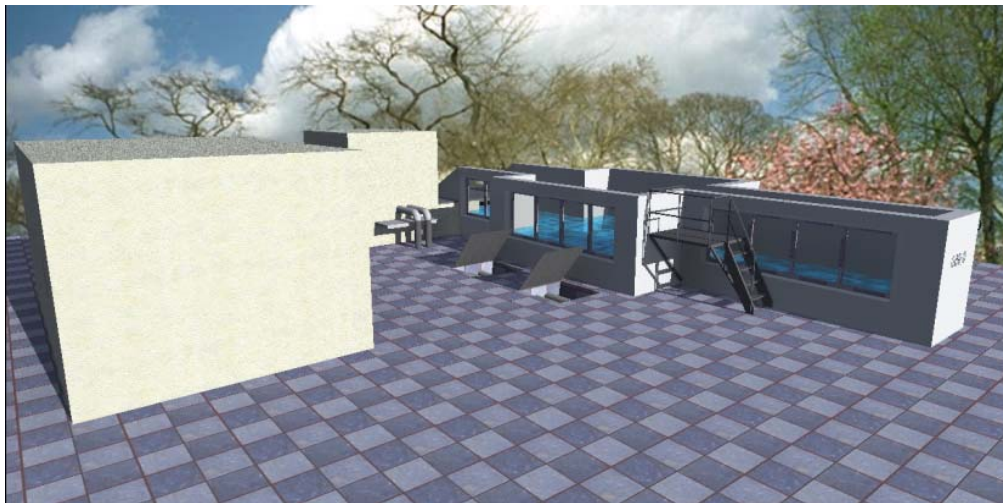
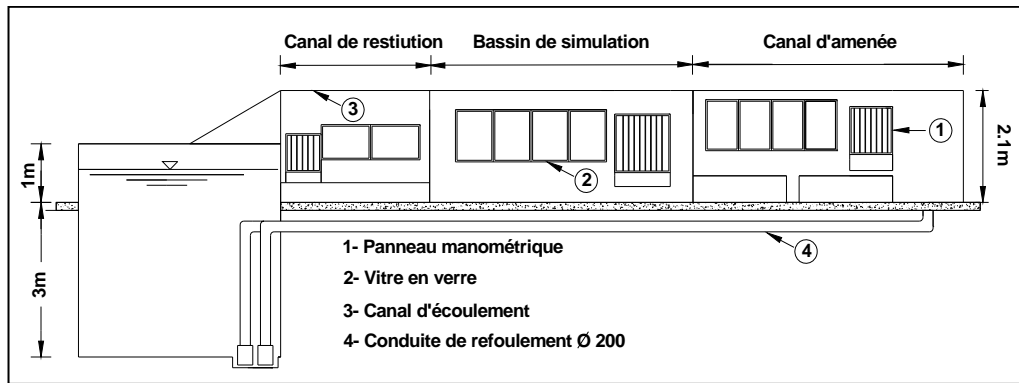


Figure I-5 Schéma du dispositif expérimental (Vue de profil)

A la sortie aval du bassin de simulation se situe l'endroit d'emplacement des modèles des déversoirs qui est raccordé à un canal de restitution de largeur 1.90m qui joue le rôle de coursier d'un évacuateur de crues. Le canal de restitution est équipé d'un réseau de prise de pression et d'une vanne de réglage du niveau d'eau. Le réglage des débits se fait par deux vannes qui permettent ainsi d'effectuer des essais avec une large gamme de débit.



Figure I-6 Vue de l'aval de la station d'expérimentation.

Le débit transitant par le canal de sortie est restitué dans une bêche à eau d'une capacité de 48m^3 , qui sert comme bassin de puisage, le système fonctionne en circuit fermé.

I-3-2- Instrumentation de mesure

I-3-2-1- Instruments de mesure des profondeurs d'eau

Les profondeurs d'eau dans les différents canaux du dispositif sont mesurées à l'aide d'un limnimètre à pointe et trois séries de tubes piézométriques. Ces dernières sont raccordées aux prises de pressions installées au fond des canaux et du bassin de simulation. Chaque série de piézomètres est raccordée à un tableau piézométrique contenant des tubes en plexiglas de faibles diamètres et des règles graduées permettant la lecture des différents niveaux d'eau dans les canaux.

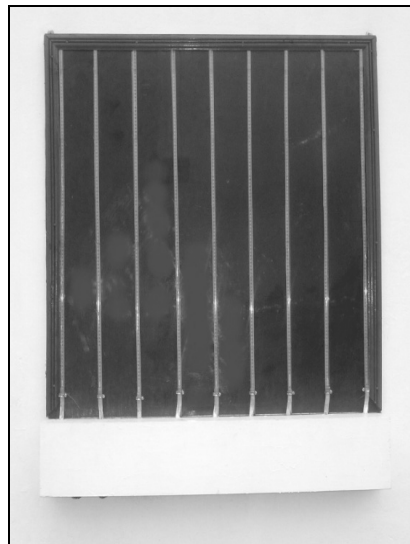


Figure I-7 Tableaux manométriques de mesure des niveaux d'eau

Lors des expériences les profondeurs d'eau dans le canal ont été évaluées aussi par un limnimètre à pointe. Cet instrument est constitué d'une règle graduée en millimètre fixée sur un support et une tige métalliques sur laquelle est fixé un vernier gradué en dixième de millimètre. Cette tige munie en sa partie inférieure d'une pointe dont le rôle est d'affleurer la surface de l'eau, se déplace verticalement par l'intermédiaire d'une vis de calage. L'ensemble du système est solidaire à un chariot équipé de roues qui servent au déplacement du limnimètre sur des rails la longueur et la largeur du canal Figure (1-8).

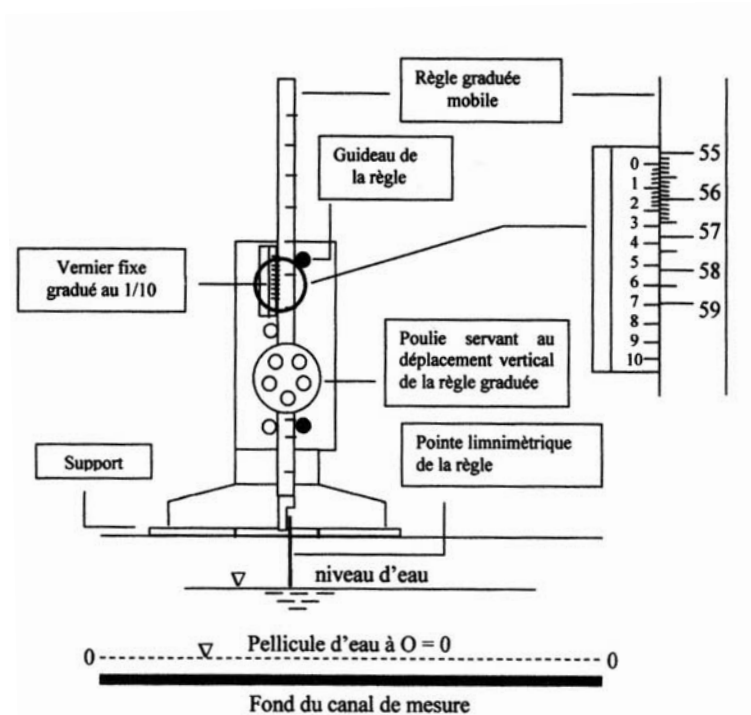


Figure I-9 Schéma détaillé de limnimètre à pointe.

I-3-2-2- Instruments de mesure des débits

Les débits qui transite par le modèle sont mesurés par un débitmètre à ultrason de type Flowmeter, raccordé à un PC par le biais de Commubox FXA 191, le logiciel Commuwin II permet l'enregistrement et le traitement des données des débits mesurés.



Figure I-8 Débitmètre à ultrason Flowmeter 93W2

Le débitmètre à ultrason est constitué de deux parties distinctes :

- Deux sondes identiques (transducteurs), fixées par une chaînette sur la conduite d'alimentation du système, les deux sondes jouent le rôle d'émetteur et de récepteur des ondes ultrasonores.

- Un transmetteur à écran en cristaux liquides qui permet l'affichage de débit passant dans la conduite d'alimentation. L'appareil permet aussi l'affichage de la vitesse moyenne de l'écoulement dans la conduite d'alimentation.

I-4- Procédure expérimentale

L'expérimentation sur modèles réduits nécessite une attention particulière pour aboutir à des résultats fiables. Ainsi, il a été fondamental de scinder le protocole expérimental en trois phases :

- Installation et calage du modèle réduit dans la section d'essai.
- Vérification du bon fonctionnement des instruments de mesure et de l'ensemble du système expérimental.
- Démarrage des essais par amorçage de la pompe.

La préparation des essais commence par l'installation du modèle, l'étanchéisation des joints et la vérification de l'horizontalité le long de la crête du modèle. Cette phase est suivie de l'amorçage de la pompe en laissant l'eau s'écouler dans le système expérimental jusqu'à déversement par-dessus le modèle à expérimenté, on procède ensuite à l'arrêt de la pompe. Quand l'eau s'arrête de s'écouler par-dessus la crête du déversoir à expérimenter on prend la lecture sur les piézomètres pour connaître le niveau du seuil.

Après cette étape, on fait fonctionner la pompe à un débit donné par manipulation de la vanne, après quelques minutes l'écoulement se stabilise, ainsi on procède à la lecture des profondeurs d'eau et du débit. Cette opération se répète chaque fois qu'on modifie le débit par manipulation de la vanne. On obtient ainsi, une série de couple des valeurs des débits et des profondeurs d'eau correspondantes. Ce mode opératoire est appliqué pour chaque modèle testé.

CHAPITRE II

Résultats expérimentaux

CHAPITRE II

Résultats expérimentaux

II-1- Introduction

La performance hydraulique des déversoirs est souvent liée aux conditions d'approche amont, une mauvaise orientation de l'écoulement amont peut entraîner une réduction de la performance de ces ouvrages. Afin de vérifier l'importance de l'effet des conditions amont sur le rendement du PK-Weir, il était nécessaire de procéder à une campagne expérimentale sur modèles réduits physiques.

L'expérimentation sur modèle réduits est sanctionnée par des résultats qui doivent être interprétés et discutés. Pour le cas des déversoirs, les résultats sont exprimés soit par le débit en fonction de la charge totale sur le déversoir $Q=f(h)$, le coefficient de débit en fonction de la charge relative $C_w=f(h/P)$ ou par la performance en fonction de la charge relative $q^*=f(h/P)$.

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

Dans un premier temps, la présente étude s'est intéressée à l'étude de l'écoulement sur le PK-Weir dans des conditions d'approches variées (utilisation des différentes positions des guideaux droits et curvilignes) et dans un second temps l'intérêt s'est porté sur la représentation en 3D de la surface libre de l'écoulement dans la zone limitrophe amont du PK-Weir. .

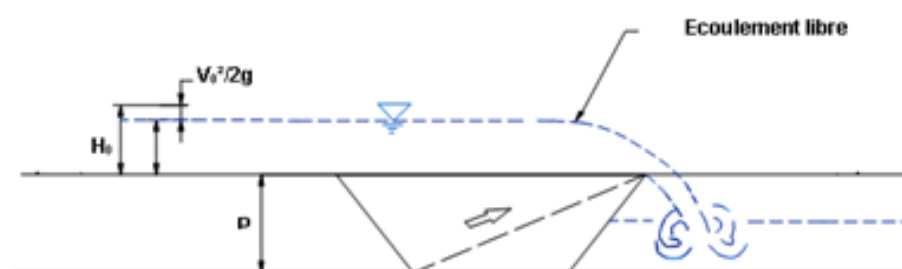


Figure II-1 Définition des paramètres du déversoir à écoulement libre

- H_0 est la charge total amont;
- h_0 est la charge piézométrique amont.

L'interprétation des résultats obtenus sur les différents modèles testés nécessite l'utilisation d'un certain nombre de relations théoriques qui régissent l'écoulement sur les déversoirs.

La charge totale sur le déversoir H_0 (en écoulement dénoyé) correspond à la somme de la charge piézométrique h_0 et la charge cinétique h_c

$$H_0 = h_0 + h_c \quad (\text{II.01})$$

Ou :

- H_0 : Charge totale sur le seuil du déversoir (m) ;
- h_0 : Charge piézométrique mesurée (m) ;
- h_c : Charge cinétique (m).

$$h_c = \frac{Q^2}{2gA^2} = \frac{Q^2}{2g(l(P + h_0))^2} \quad (\text{II.02})$$

Ou :

- Q: Débit mesuré (m^3/s) ;
- A: Section de l'écoulement dans le bassin de simulation (m^2) ;
- l: Largeur du bassin de simulation (m) ;
- P: Hauteur du déversoir (m) ;
- h_0 : Profondeur d'eau sur le seuil du déversoir mesurée à deux mètres en amont du seuil (m).

Le coefficient de débit peut être déterminé à partir de la relation de Poleni

$$C_w = \frac{Q}{W_t \sqrt{2gH}^{3/2}} \quad (\text{II.03})$$

Ou :

- C_w : Coefficient de débit du déversoir testé ;
- W_t : Largeur totale du déversoir (m) ;
- H_0 : Charge totale sur le seuil du déversoir (m).

La performance représente le rendement du PK-Weir par rapport au déversoir Creager. Elle est exprimée par le rapport entre le débit qui transite par le PK-Weir et celui d'un déversoir Creager de même largeur et sous la même charge.

$$q^* = \frac{Q_{P.K.Weir}}{Q_{cr}} \quad (\text{II.04})$$

Ou :

- q^* : Performance du déversoir expérimenté (PK-Weir) ;
- $Q_{P.K.Weir}$: Débit mesuré du PK-Weir (m^3/s) ;
- Q_{cr} : Débit calculé pour un déversoir rectiligne à mince paroi (m^3/s).

Le débit qui transite par le déversoir rectiligne à paroi mince est déterminé par la relation :

$$Q_{cr} = \mu L \sqrt{2gH_0}^{3/2} \quad (II.05)$$

Ou :

- μ : Coefficient de débit d'un déversoir standard de type Creager ($\mu=0.49$) ;
- L : Largeur du déversoir ($L=W$) (m) ;
- H_0 : Charge totale sur le déversoir (m).

II-3- Etude de l'effet de l'emplacement des guideaux droits par rapport au sens d'écoulement

Le déversoir en labyrinthe et le PK-Weir jouent le rôle d'organe de contrôle et d'évacuation des débits dans les rivières, les fleuves, à l'entrée des canaux des évacuateurs de crues des barrages. Le PK-Weir est particulièrement sensible à la forme d'entrée immédiate en amont de l'ouvrage. Le fonctionnement des déversoirs non rectilignes existants a montré que les conditions d'entrée médiocres peuvent diminuer le rendement.

En pratique, trois types de disposition amont peuvent se présenter :

- Conditions d'approche avec contraction latérale en présence de guideaux rectiligne ou curviligne.
- Conditions d'approche sans contraction latérale avec canal de section constante ou graduellement variable.
- Conditions d'approche avec déversoir en position avancée à l'intérieure de la retenue

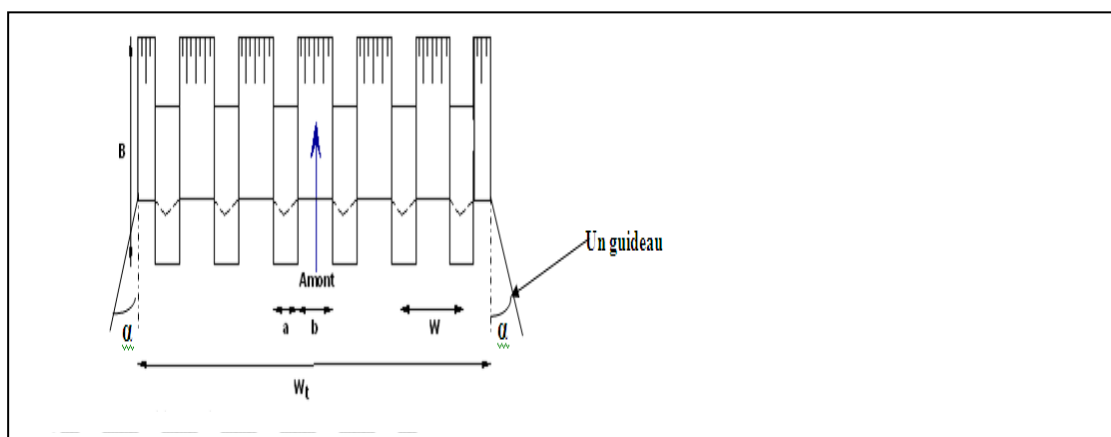


Figure II-2 PK-Weir avec et sans contraction latérale

II-3-1- Effet de l'inclinaison des guideaux rectilignes sur la débitance du PK-Weir

Les conditions d'approche amont avec contraction latérale peuvent se présenter sous plusieurs formes, en présence de guideaux sous différentes inclinaisons, avec des guideaux curvilignes ou en absence de guideaux. Le premier cas que présente cette étude correspond au PK-Weir avec des conditions d'approche caractérisées par la présence des guideaux rectilignes.

Ainsi, plusieurs dispositions des guideaux d'entrée ont été choisies en faisant varier l'angle d'inclinaison des guideaux par rapport au sens de l'écoulement. Les angles qui ont été testés dans un premier temps correspondent à : (15° , 30° , 45° , 60° et 90°).

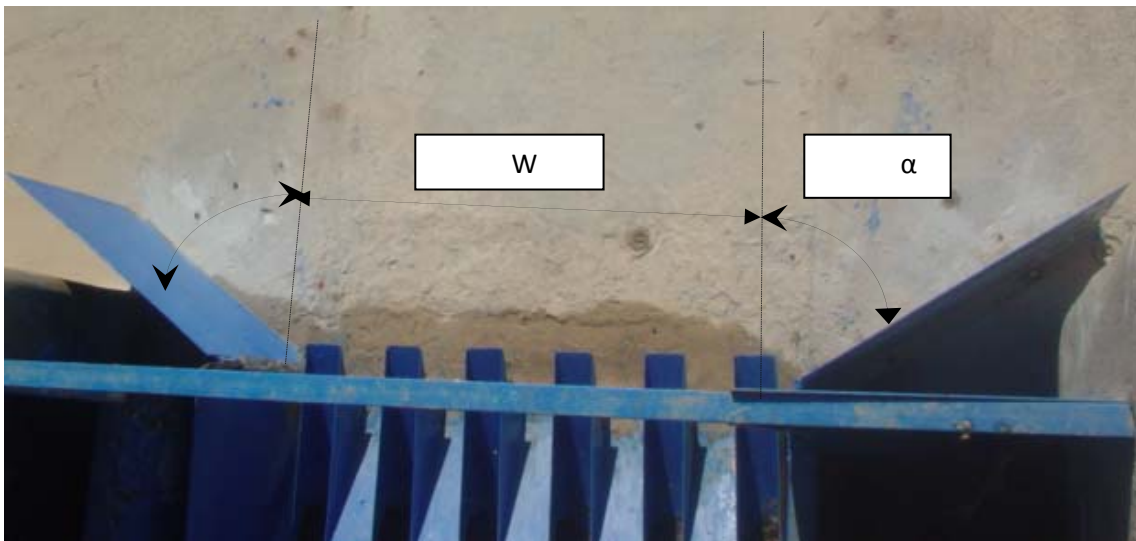


Figure II-3 Modèle de PK-Weir type A avec des guideaux rectilignes

Les résultats des essais effectués sur les cinq dispositions des guideaux citées ci-dessus montrent que la disposition des guideaux influe effectivement sur le rendement du déversoir d'une manière plus ou moins significative. Le cas le plus défavorable correspond à la condition sans guideaux ($\alpha=90^\circ$). Cependant, l'inclinaison des guideaux de 30° paraît être la disposition qui permet d'avoir un meilleur rendement (rendement plus grand que celui de l'angle d'inclinaison $\alpha=90^\circ$ d'environ 12%) (Figure II-4).

Il est remarqué que pour les valeurs de la charge relative H/P inférieure de 0.4, les valeurs du coefficient de débit correspondant au PK-Weir avec guideaux rectilignes d'inclinaison 15° sont supérieures (d'environ 6%) à celles obtenues pour les trois modèles avec guideaux inclinés successivement de (90° , 60° et 45°). Ceci fait croire que la performance du PK-Weir est maximale quand l'angle d'inclinaison est minimal pour les valeurs petites et moyennes de la charge relative.

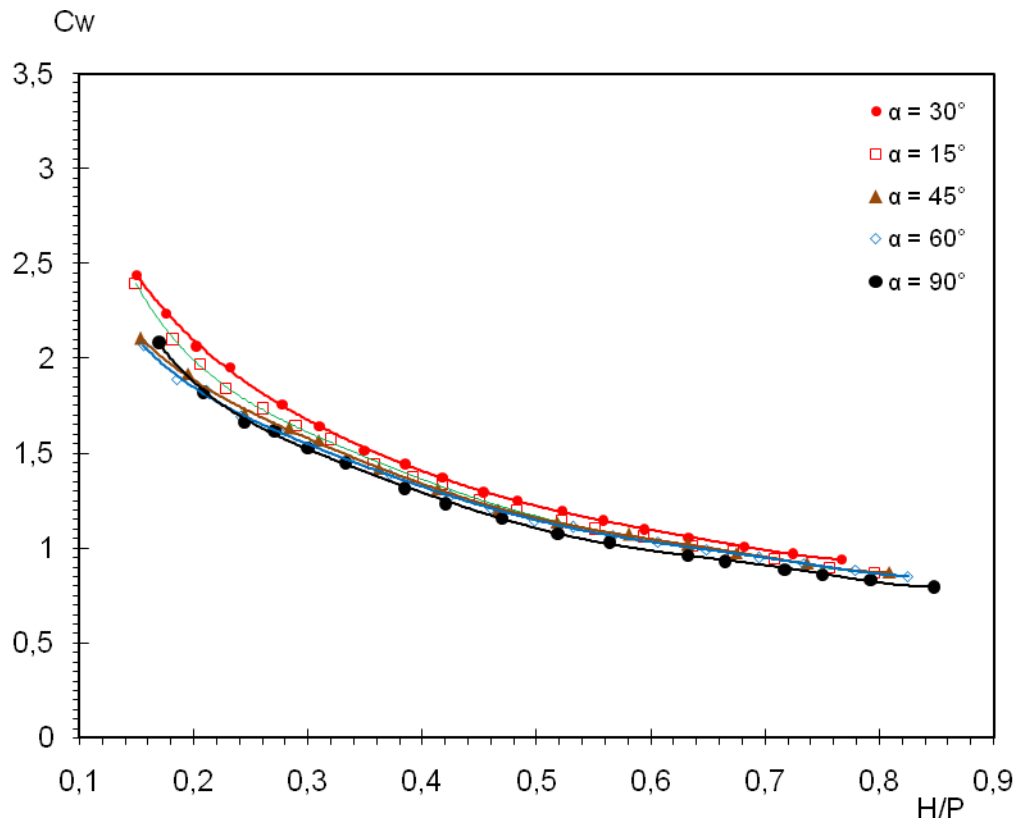


Figure II-4 Coefficient de débit en fonction de la charge relative et l'angle d'inclinaison des guideaux rectilignes

Ainsi on peut dire que pour le cas de PK-Weir avec des guideaux de faible inclinaison et pour des charges modérées l'écoulement est relativement semblable au cas de l'écoulement dans un canal d'approche de même emprise que le déversoir. Cependant, quand la charge relative devient supérieure à 0.4, les différentes dispositions donnent presque le même résultat que les autres cas à l'exception de l'inclinaison de 30° (Figure II-4).

Ce résultat montre que l'optimum se situe autour de la valeur de l'angle d'inclinaison $\alpha=30^\circ$, ainsi il était plus convenable de rechercher la valeur optimale en utilisant plusieurs inclinaisons autour de la valeur $\alpha=30^\circ$.

II-3-2- Détermination de l'inclinaison optimale des guideaux rectilignes

Afin de déterminer l'inclinaison optimale que peut prendre les guideaux une deuxième série de disposition des guideaux à été expérimentée.

Etant donnée que l'optimum a été localisé autour de la valeur $\alpha=30^\circ$, ainsi, les essais se sont intéressés aux angles d'inclinaison suivants : $\alpha = (25^\circ, 27^\circ, 33^\circ, 37.5^\circ)$.

La représentation graphique des résultats obtenus (Figure II-5) montre une légère différence entre les différentes courbes ceci peut être justifié par le faible pas choisi entre chaque deux valeurs ($\approx 3^\circ$). Néanmoins, la courbe correspondant à l'inclinaison $\alpha=30^\circ$ paraît

être la meilleure, les courbes correspondant à 27° et 33° sont semblable et moins meilleures que celle de 30° , tandis que les valeurs de coefficient de débit correspondant à $\alpha = 25^\circ$ et 37.5° sont les plus faibles surtout pour les faibles et moyennes valeurs de la charge relative (Figure II-5).

Ceci fait apparaitre que l'inclinaison optimale des guideaux rectilignes correspond à un angle $\alpha=30^\circ$.

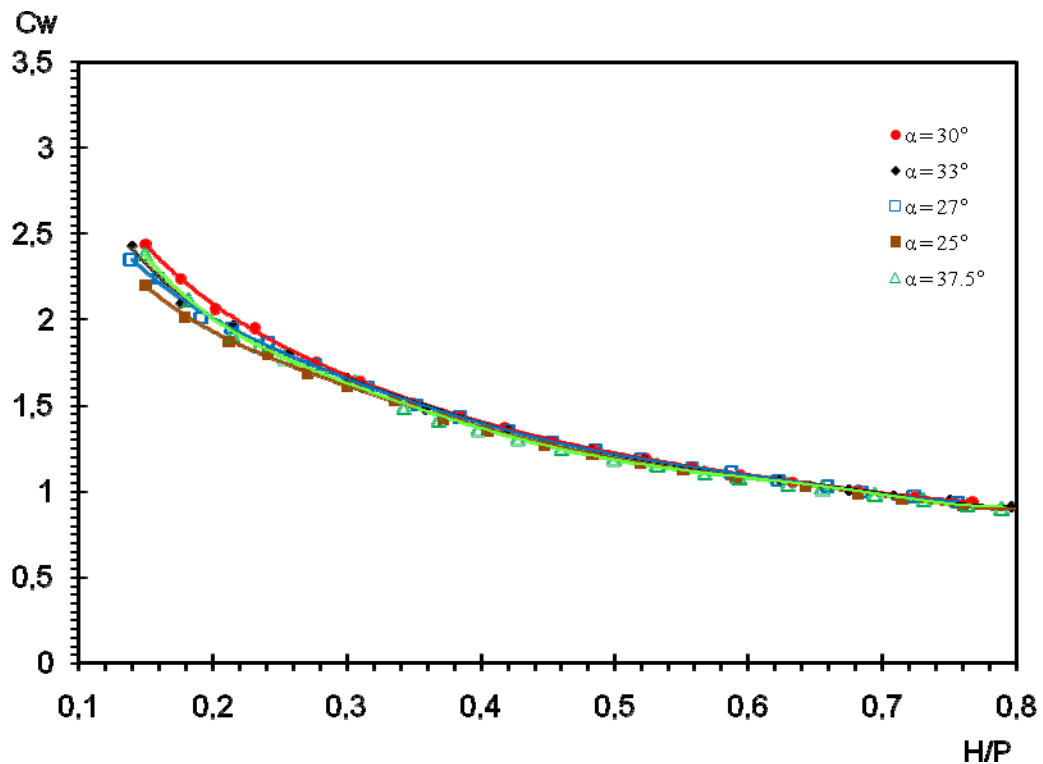


Figure II-5 Coefficient de débit en fonction de la charge relative et l'angle d'inclinaison des guideaux.

Sur la base des deux résultats mentionnés précédemment (graphique II-4 et II-5), une représentation graphique a été développée pour exprimer le coefficient de débit en fonction de l'angle d'inclinaison (α) pour chaque charge relative (H/P) (Figure II-6).

La représentation graphique du coefficient de débit en fonction de l'angle fait apparaitre d'une manière très remarquable que l'optimum se situe dans l'intervalle ($27^\circ - 33^\circ$) et d'une manière plus précise on constate que l'optimum correspond à l'angle d'inclinaison des guideaux $\alpha = 30^\circ$. Le graphique (II-6) montre aussi que l'inclinaison des guideaux d'un angle plus grand que 45° donne un rendement faible. Il est à signaler que le rendement le plus faible correspond à un angle d'inclinaison de 90° c'est-à-dire les cas d'un déversoir sans guideaux est avec contraction latérale.

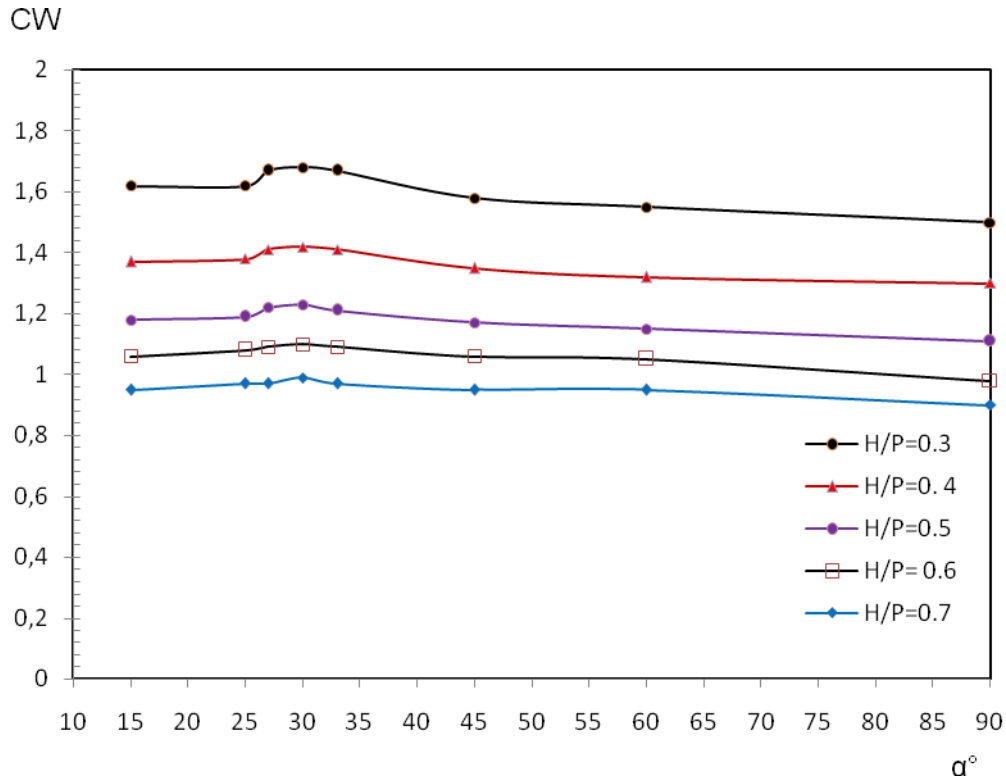


Figure II-6 Coefficient de débit en fonction de l'angle d'inclinaison des guideaux pour chaque valeur de H/P

II-4- Rendement des guideaux curviligne

La forme curviligne des guideaux peut avoir un résultat favorable sur le rendement du PK-Weir. Il a été remarqué qu'une grande partie des évacuateurs de crues à travers le monde sont équipés de guideaux de forme curviligne, c'est évacuateurs de crues sont équipés de déversoir rectiligne.

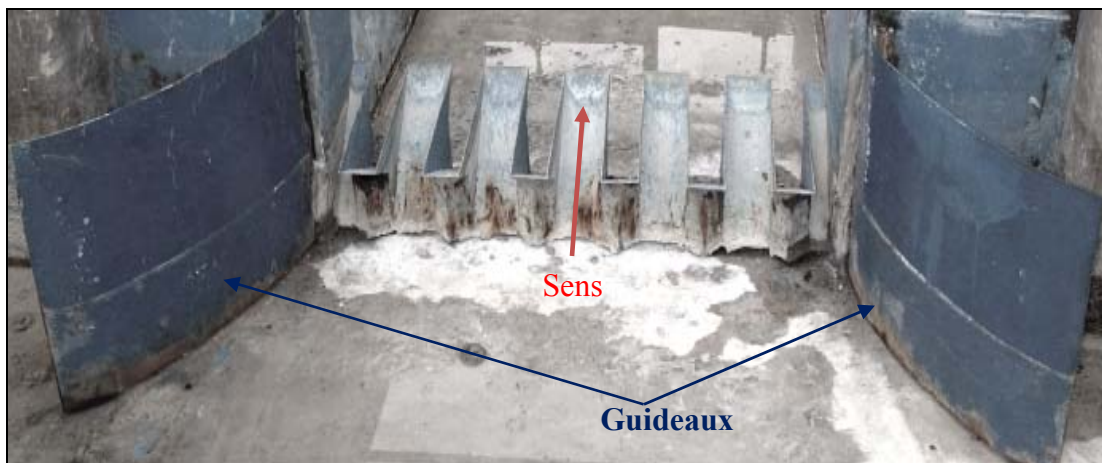


Figure II-7 Modèle du PK-Weir équipé de guideaux curvilignes

Il est donc intéressant de vérifier l'effet des guideaux curvilignes sur le rendement du PK-Weir. Pour se faire, des essais ont été réalisés sur un PK-Weir équipé de guideaux curvilignes. Les résultats obtenus ont fait l'objet de comparaison avec les résultats des essais du modèle le plus performant en disposition rectiligne (Figure II-8).

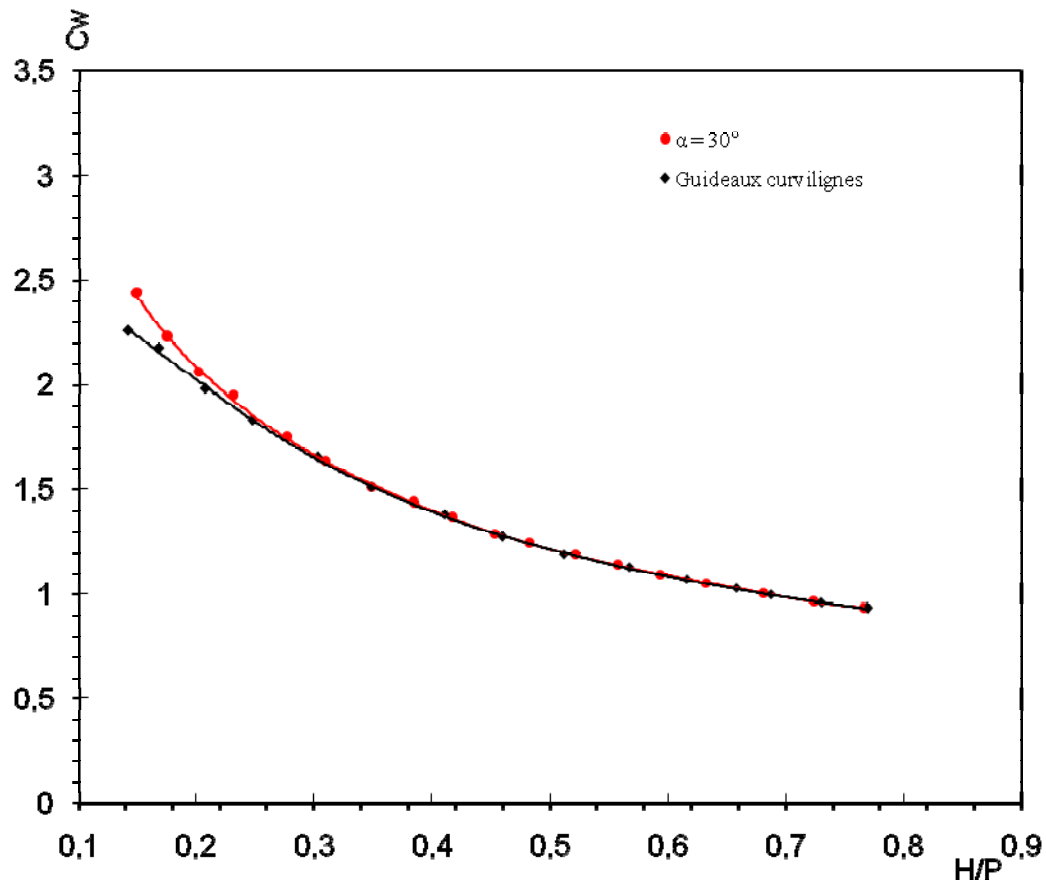


Figure II-8 Comparaison du coefficient de débit pour un déversoir avec guideaux ($\alpha = 30^\circ$) et celui avec des guideaux curvilignes

Cette comparaison fait apparaître que la conception du PK-Weir avec des guideaux curviligne donne un rendement élevé, semblable à celui obtenu pour la meilleure disposition des guideaux rectilignes ($\alpha = 30^\circ$) pour des valeurs de la charge relative supérieure à 0,25. Ceci peut être justifié par le fait que la forme d'entrée curviligne permet de diriger l'écoulement vers l'exutoire sans aucune perturbation de l'écoulement. Cet avantage est le résultat de la forme curviligne.

II-5- Effet de la contraction latérale sur la performance du PK-Weir

L'écoulement sur un déversoir à seuil libre peut se présenter sous deux formes.

- L'écoulement est considéré sans contraction latérale si la largeur du déversoir est la même que celle du canal d'approche, dans ce cas les filets liquide sont parallèles et aucune perturbation de l'écoulement n'est enregistrée. On rencontre souvent ce type d'écoulement dans les canaux à ciel ouvert, les fleuves ou dans les retenues des barrages si l'évacuateur de crues est équipé d'un canal d'approche plus long que la largeur du déversoir.
- L'écoulement est considéré avec contraction latérale si la largeur du déversoir est largement inférieure à la largeur du canal d'approche. Dans cette condition, l'écoulement vers le seuil du déversoir est frontal et latéral. Ce type d'écoulement on le rencontre souvent dans les retenues des barrages en béton.

Afin de vérifier l'importance de l'effet de la contraction latérale, un canal de longueur 7m et de largeur 1 m a été réalisé pour simuler l'écoulement dans un canal sans contraction latérale. Le PK-Weir installé dans ce canal avait la même largeur que le canal.

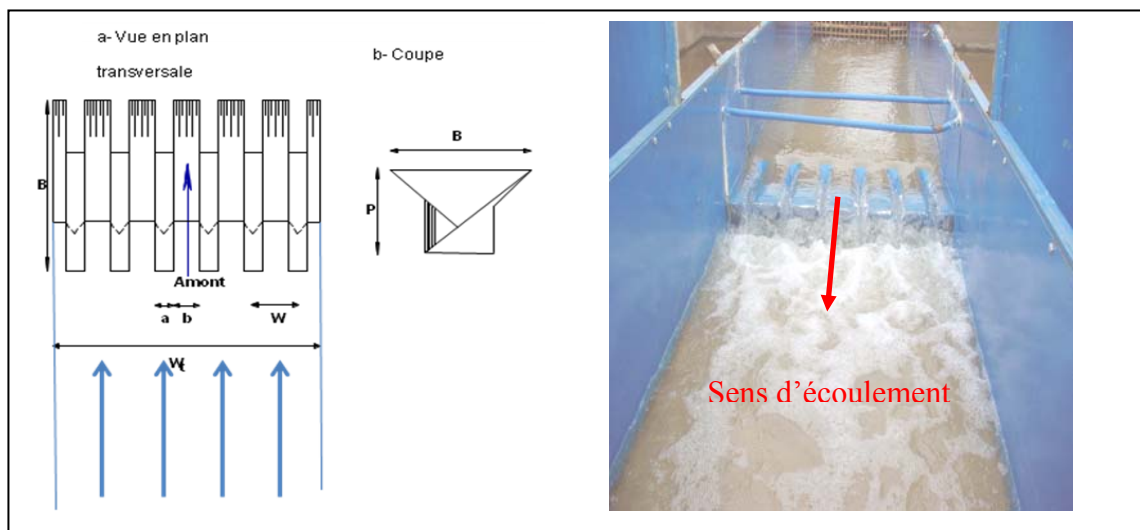


Figure II-9 Écoulement sur le PK-Weir de même largeur que le canal d'approche

Les résultats des essais obtenus ont montré que l'écoulement dans un canal de même largeur que le déversoir se caractérise par un rendement supérieur à celui du déversoir avec contraction latérale.

La figure (II-10) représente la comparaison entre le cas avec contraction latérale et celui sans contraction latérale. Cette représentation graphique montre que l'écoulement dans des conditions sans contraction latérale est meilleur que celui avec contraction latérale. Les valeurs de coefficient de débit du déversoir sans contraction latérale sont plus grandes que celles avec contraction latérale en moyenne de 25%.

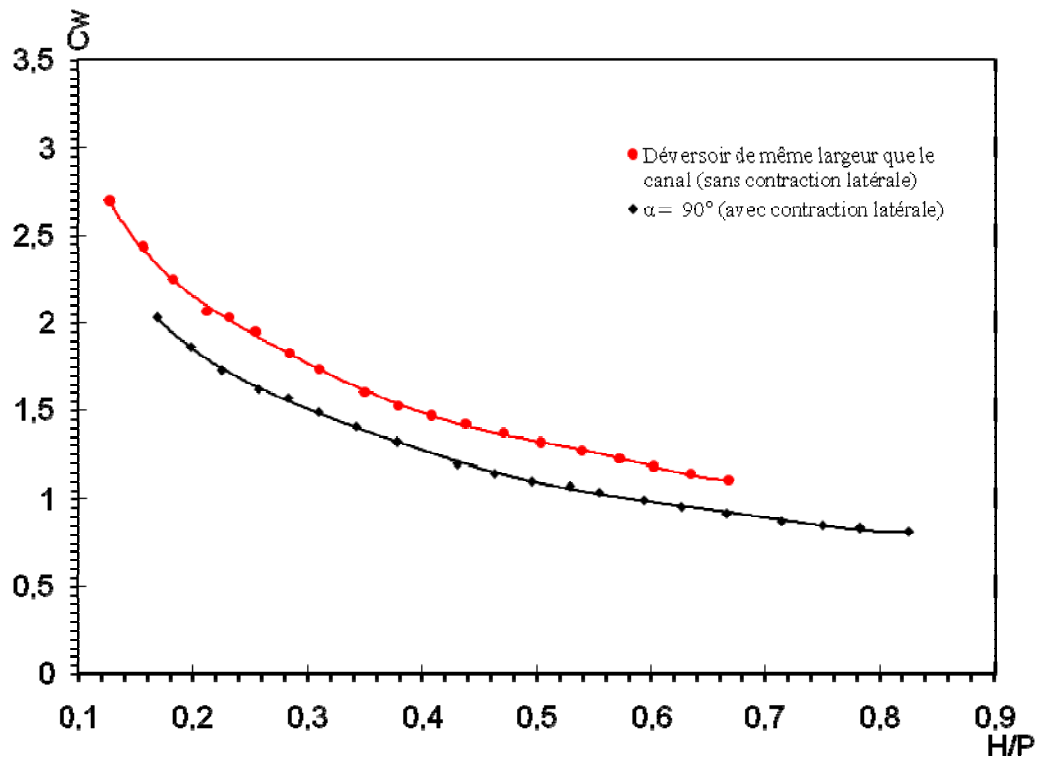


Figure II-10 Comparaison du coefficient de débit pour un déversoir avec contraction latérale et sans guideaux ($\alpha = 90^\circ$) et celui sans contraction latérale (Déversoir inséré dans un canal de section uniforme)

Ceci peut être justifié par le fait que l'écoulement dans un canal se caractérise par des filets liquide parallèles qui sont dirigé perpendiculairement au seuil du déversoir ce qui permet un écoulement bidimensionnel sans perturbation. Par contre, l'écoulement sur le PK-Weir avec contraction latérale se caractérise par deux types d'écoulement sur le seuil l'un frontal et l'autre latéral, ceci engendre une perturbation aux points de rencontre des deux lame d'eau ce qui produit un écoulement perturbé qui influe sur le rendement du PK-Weir de manière négative.

II-6- Effet de l'emplacement avancé du PK-Weir dans la retenue

La disposition avancée du déversoir dans la retenue représente l'un des cas qui n'est utilisé que rarement dans la conception des évacuateurs de crues. Cette disposition se caractérise par une alimentation frontale et latérale du déversoir, mais qui est différente de celle avec contraction latérale.

Il était utile de vérifier la performance du PK-Weir avec cette disposition. Ainsi un essai a été réalisé sous ces conditions.

Les résultats expérimentaux obtenus sous les conditions d'emplacement avancé du PK-Weir ont été comparé avec ceux du déversoir avec contraction latérale.

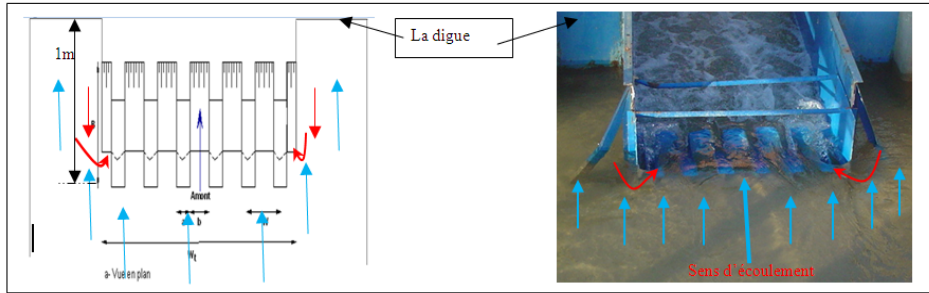


Figure II-11 PK-Weir en disposition avancée dans la retenue

De la figure (II-12) on peut remarquer que la courbe correspondant à la disposition avancée du PK-Weir se trouve en bas de la courbe correspondant aux valeurs de coefficient de débit sous la condition avec contraction latérale. La différence entre les valeurs des deux courbes est en moyenne de 9%. Cela veut dire que le rendement du PK-Weir dans la condition de disposition avancée est plus faible de 9% que celui dans le cas avec contraction latérale.

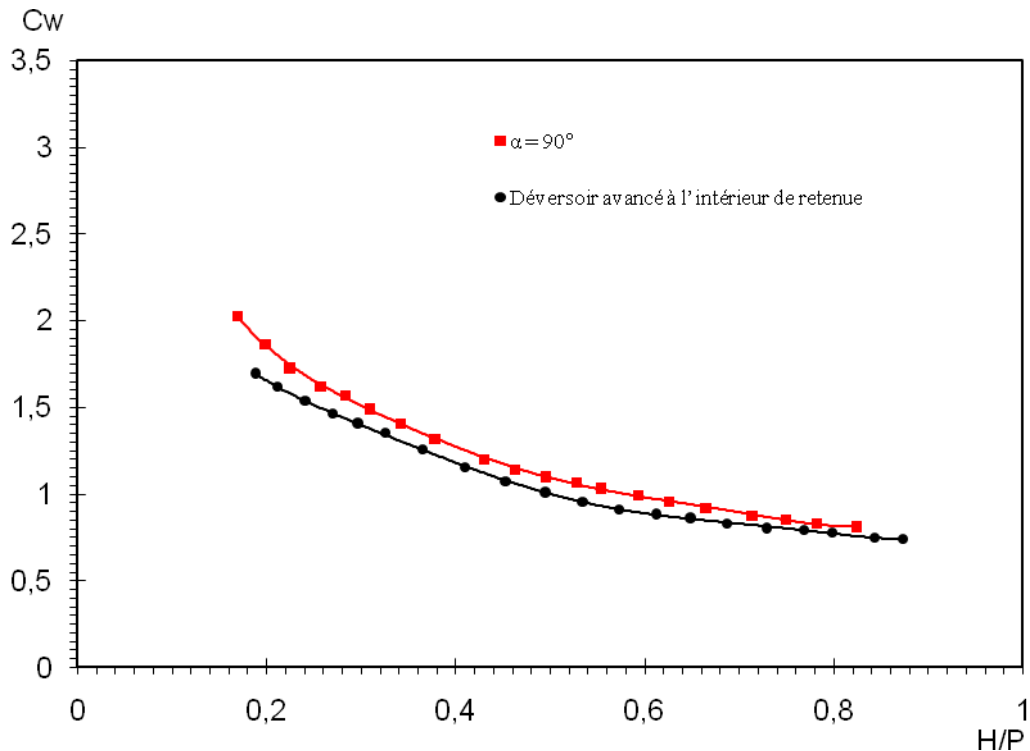


Figure II-12 Coefficient de débit de la disposition avancée du PK-Weir et celle avec contraction latérale

Il a été remarqué que l'écoulement sur le PK-Weir avec contraction latérale représente le cas le plus défavorable parmi les cas étudiés, cependant on constate que la disposition avancée est plus médiocre que celle avec contraction latérale. Ainsi, on peut dire qu'il est préférable d'éviter la conception d'évacuateur de crues avec cette disposition qui peut engendrer une réduction du débit évacué.

CHAPITRE III :

Représentation géométrique
en 3D du plan d'eau de l'amont
immédiat du PK-Weir

CHAPITRE III

Représentation géométrique en 3D du plan d'eau de l'amont immédiat du PK-Weir

III-1 Introduction

Etant donnée que l'écoulement sur le PK-Weir est jugé différent de celui des déversoirs rectilignes est même de celui du déversoir en labyrinthe, ceci implique que la surface libre de l'eau dans la zone limitrophe en amont du seuil peut avoir une configuration différente. A cet effet, une campagne planimétrique a été réalisée. Cette campagne a eu comme but de déterminer les trois coordonnées (X_i , Y_i , Z_i) de chaque sommet de maillage conçu précédemment sur toute la zone limitrophe en amont du déversoir le nombre de points de mesure a été fixé à 207 points.

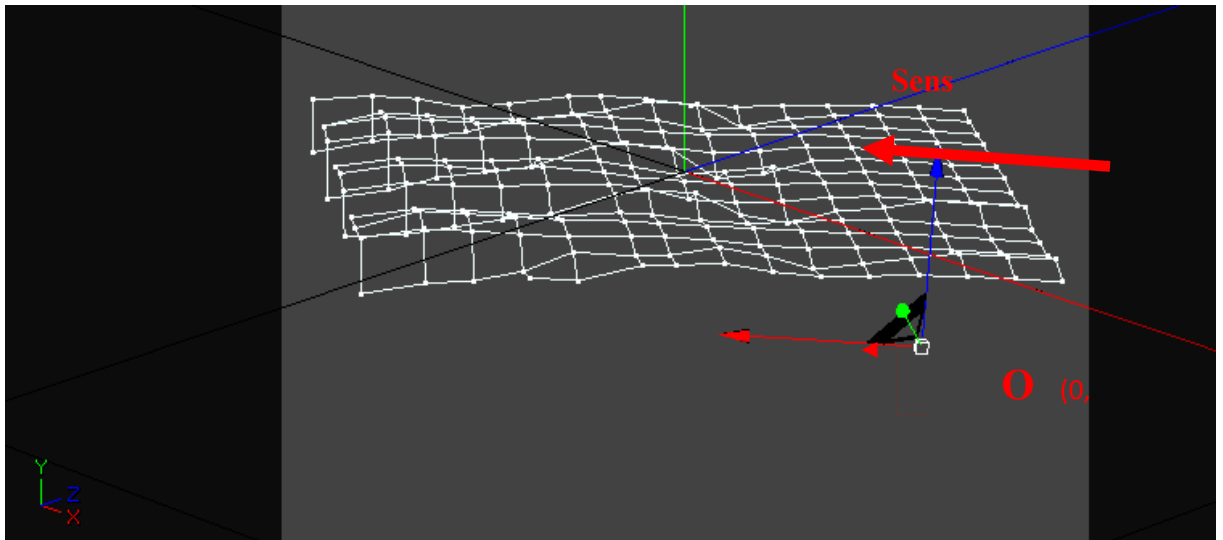


Figure III-1 Forme géométrique en 3D de plan d'eau sur le PK-Weir

L'écoulement sur le PK-Weir se caractérise par un changement de la configuration géométrique de la surface libre de l'eau chaque fois que le débit ou la charge augmente. Pour donnée une meilleure représentation géométrique de la surface libre de l'eau, trois campagnes de mesures ont été réalisées pour trois débits différents, un débit faible $Q = 47$ l/s, un débit moyen $Q = 103$ l/s et un grand débit $Q = 145$ l/s.

III-2 Interprétation des résultats

III-2-1 Géométrie en 3D de la surface libre de l'eau pour un faible débit $Q=47$ l/s

Une Interprétation qualitative de l'écoulement sur le PK-Weir a été obtenue suite à une investigation expérimentale réalisée pour trois débits différents. Le premier cas a concerné un faible débit ($Q = 47$ l/s) qui conduit automatiquement à une faible charge sur le déversoir ($H = 2,8$ cm).

Les mesures effectuées montrent que la forme de plan d'eau en amont du seuil du PK-Weir est presque horizontale le long de la largeur du déversoir. L'eau s'écoule librement le long des parois du PK-Weir à l'exception de la partie amont des alvéoles de sortie où il a été constaté un écoulement perturbé.

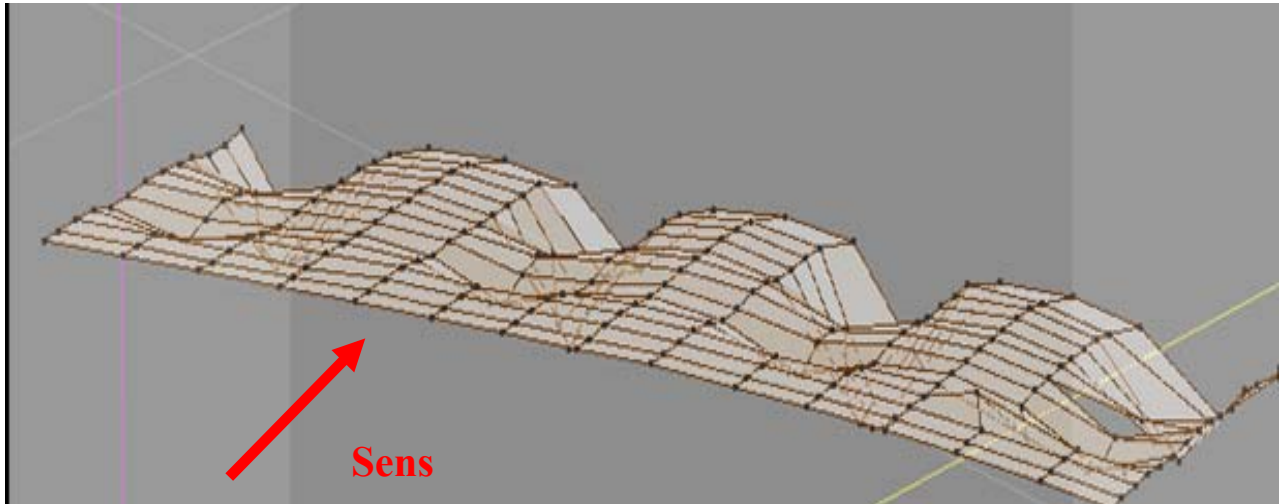


Figure III-2 Forme géométrique en 3D du plan d'eau à l'entrée du PK-Weir pour un faible débit ($Q = 47$ l/s)



Figure (III-3): Photo du plan d'eau à l'entrée du PK-Weir pour un faible débit ($Q = 47$ l/s)

La représentation géométrique en 3D obtenue des mesures directes de la surface du plan d'eau (Figure III-2) a fait montrée que la configuration géométrique du plan d'eau au voisinage et sur le seuil du PK-Weir se caractérise par trois parties distinctes. La première partie située en amont du seuil est définie par une surface du plan d'eau plus au moins uniforme avec un écoulement bidimensionnel. Cette partie est suivit par une zone à l'entrée du PK-Weir ou on constate un abaissement du niveau du plan d'eau dans la partie amont des

alvéoles aval (ou de sortie) ou l'écoulement devient torrentiel et tridimensionnel, cependant, l'écoulement dans la partie amont des alvéoles amont (ou d'entrée) est considéré comme fluvial et bidimensionnel avec une surélévation du plan d'eau dans la partie aval. La troisième zone qui se situe dans la partie aval des alvéoles de sortie se caractérise par un écoulement trop perturbé au fond de l'alvéole.

III-2-2 Géométrie en 3D de la surface libre de l'eau pour un débit moyen $Q=103$ l/s

Le second cas d'investigation de la configuration géométrique du plan d'eau à l'amont immédiat et sur le seuil du PK-Weir a concerné un débit moyen ($Q = 103$ l/s) correspondant à une moyenne charge sur le déversoir ($H = 6,3$ cm).

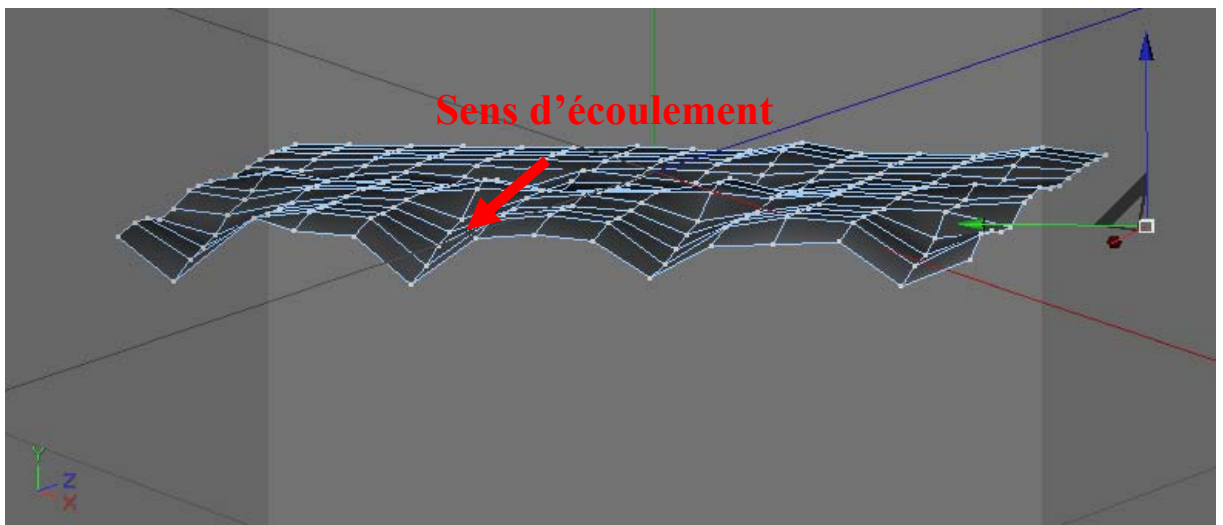


Figure III-4 Forme géométrique en 3D du plan d'eau à l'entrée du PK-Weir pour un débit moyen ($Q = 103$ l/s)
Les mesures effectuées montrent que la forme de plan d'eau en amont du seuil du PK-Weir est presque horizontale le long du seuil du déversoir. Le niveau d'eau dans les alvéoles de sortie augmente et la partie amont de ces dernières est complètement submergée.



Figure III-5 Photo du plan d'eau à l'entrée du PK-Weir pour un débit moyen ($Q = 103$ l/s)

La représentation géométrique en 3D de la surface du plan d'eau (Figure III-4) a fait remarquer que la géométrie du plan d'eau au voisinage et sur le seuil du PK-Weir commence à être agitée cependant, l'écoulement est toujours considéré comme fluvial. La partie amont des alvéoles d'entrée et de sortie se caractérise par une nappe d'eau solidaire avec une légère différence entre le niveau d'eau dans les alvéoles d'entrée et celles de sortie. Dans la partie aval du PK-Weir on constate une surélévation du plan d'eau au-dessus des alvéoles d'entrée avec un écoulement fluvial et une augmentation du niveau dans les alvéoles de sortie, l'écoulement est torrentiel. Dans cette phase l'écoulement est considéré comme tridimensionnel perturbé.

III-2-3 Géométrie en 3D de la surface libre de l'eau pour un grand débit $Q=145$ l/s

Le dernier cas d'investigation de la géométrie du plan d'eau à l'amont immédiat et sur le seuil du PK-Weir a concerné un grand débit ($Q = 145$ l/s) correspondant à une grande charge sur le déversoir ($H = 9,2$ cm).

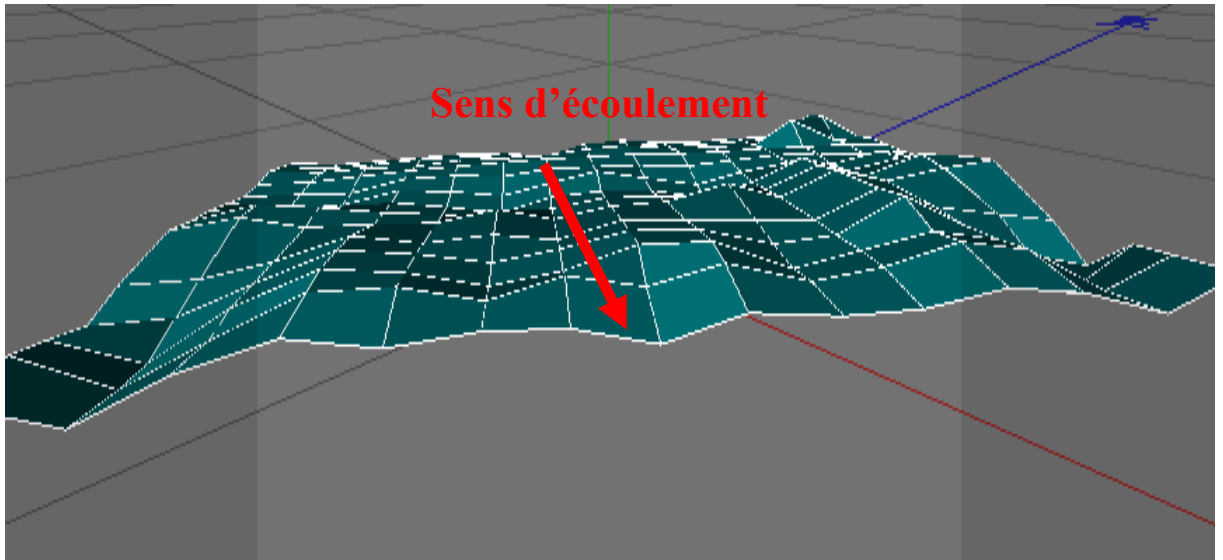


Figure III-6 Forme géométrique en 3D du plan d'eau à l'entrée du PK-Weir pour un grand débit ($Q = 145 \text{ l/s}$)

La représentation en 3D de la surface libre de l'eau en amont immédiat et sur le déversoir montre une nappe d'eau perturbée qui correspond à un écoulement torrentiel, les alvéoles de sortie sont presque engorgées et le plan d'eau dans ces alvéoles commence à atteindre le niveau du seuil du PK-Weir. La partie amont des alvéoles de sortie est complètement submergée.

La représentation géométrique en 3D de la surface du plan d'eau (Figure III-6) fait remarquer aussi que la géométrie du plan d'eau au voisinage et sur le seuil du PK-Weir devient fortement agitée et l'écoulement n'est plus fluvial.

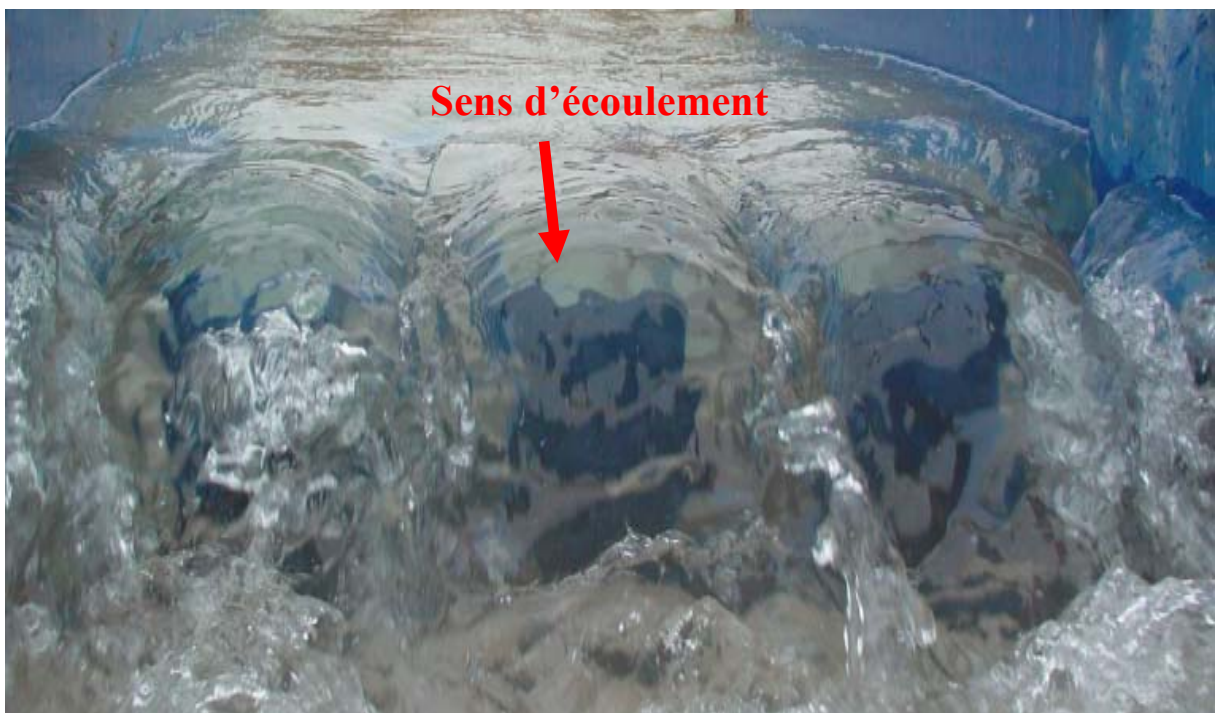


Figure III-7 Photo du plan d'eau à l'entrée du PK-Weir pour un grand débit ($Q = 145 \text{ l/s}$)

Dans cette phase l'écoulement est caractérisé par une nappe d'eau solidaire avec une légère différence entre le niveau d'eau dans les alvéoles d'entrée et de sortie. Dans ces conditions on peut dire que l'écoulement sur le PK-Weir a atteint la limite du passage à l'écoulement complètement submergé.

Dans la théorie unidimensionnelle les équations de continuité et d'énergie dans l'écoulement subarctique exigent que le niveau d'eau baisse ou bien l'écoulement rencontre une contraction et monte ou il rencontre un élargissement. Par conséquent, une quantité de liquide crociera cette zone particulière, c'est l'équivalent d'un accroissement de débit qui aboutit à une hausse du niveau. De la même manière qu'une contraction qui mène à une baisse dans le niveau. Ce concept simple de hausse et de baisse, liée à l'élargissement et la contraction de l'écoulement est suffisant pour donner une explication de fond au comportement de l'écoulement sur le PK-Weir.

En considérant un cycle de PK-Weir qui se caractérise par une contraction soudaine, cette particularité mène à une baisse de niveau à partir de la section où l'écoulement dans le canal d'approche entre dans les alvéoles amont. De plus le long de l'alvéole amont, l'écoulement a tendance à relever le niveau tandis que la contraction de canal a tendance à le baisser. Le résultat implique un profil lentement naissant ayant tendance à dépassé celui dans le canal d'approche. En admettant la relation de débit du déversoir normal pour l'appliquer à chaque section le long de la crête du PK-Weir, il est évident que le débit manquera l'idéal à cause de la charge dans le canal amont du déversoir qui est au-dessous de la charge de fonctionnement.

Conclusion

IV Conclusion :

L'étude expérimentale avait comme objectif d'étude de l'effet des conditions d'approche sur le rendement du PK-Weir fonctionnant dans des conditions libre. Pour atteindre cet objectif, il a été nécessaire de scinder cette analyse expérimentale en deux phases. La première phase correspond à une analyse des différentes dispositions locales en amont immédiat du PK-Weir et la seconde phase se rapporte à l'étude de la forme géométrique en 3D de plan d'eau dans la zone limitrophe en amont du PK-Weir.

La première phase expérimentale qui s'est intéressée essentiellement aux conditions d'approche amont telles que l'orientation des guideaux, leur forme en plan, la contraction latérale de l'entonnement du déversoir et les conditions d'emplacement du PK-Weir.

Les essais qui ont été effectués sur le PK-Weir avec des guideaux rectilignes sous plusieurs inclinaison $\alpha = 15^\circ, 25^\circ, 27^\circ, 30^\circ, 33^\circ, 37.5^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ et 90° a montré que l'angle d'inclinaison $\alpha=30^\circ$ parait être la meilleure, les courbes correspondant à 27° et 33° sont semblable et moins meilleures que celle de 30° , tandis que les valeurs de coefficient de débit correspondant à $\alpha = 25^\circ$ et 37.5° sont les plus faibles surtout pour les faibles et moyennes valeurs de la charge relative. Par conséquent, l'inclinaison optimale des guideaux rectilignes correspond à un angle $\alpha=30^\circ$.

La forme curviligne des guideaux peut avoir un résultat favorable sur le rendement du PK-Weir. Ainsi, il a été remarqué des résultats obtenus que la conception du PK-Weir avec des guideaux curviligne donne un rendement élevé, semblable à celui obtenu pour la meilleure disposition des guideaux rectilignes ($\alpha = 30^\circ$). Ceci peut être justifié par le fait que la forme d'entrée curviligne permet de diriger l'écoulement vers l'exutoire sans aucune perturbation de l'écoulement.

L'écoulement sur un déversoir à seuil libre peut se présenter sous deux formes, avec contraction latérale et sans contraction latérale.

Les résultats des essais obtenus ont montré que l'écoulement dans un canal de même largeur que le déversoir se caractérise par un rendement supérieur à celui du déversoir avec contraction latérale. L'expérimentation a montré que le rendement du PK-Weir dans des conditions sans contraction latérale est plus élevé de plus 25% que celui avec contraction latérale.

La disposition avancée du déversoir dans la retenue représente l'un des cas qui n'est utilisé que rarement dans la conception des évacuateurs de crues. Cette disposition se caractérise par une alimentation frontale et latérale du déversoir, mais qui est différente de

celle avec contraction latérale. Selon les résultats obtenus, il a été constaté que la disposition avancée du PK-Weir engendre une réduction de la performance du PK-Weir. La performance dans ces conditions est plus faible de 9% que le cas avec contraction latérale.

Il a été remarqué que l'écoulement sur le PK-Weir avec contraction latérale représente le cas le plus défavorable parmi les cas étudiés, cependant on constate que la disposition avancée est plus médiocre que celle avec contraction latérale. Ainsi, on peut dire qu'il est préférable d'éviter la conception d'évacuateur de crues avec cette disposition qui peut engendrer une réduction du débit évacué.

La seconde phase de l'étude expérimentale s'est intéressée essentiellement à l'étude de la forme géométrique en 3D de plan d'eau dans la zone limitrophe en amont du PK-Weir, les résultats obtenus pour trois débits différents ont montré que la géométrie de la surface libre du plan d'eau en amont du PK-Weir se caractérise par deux zones de configuration différentes. La première zone se situe à la limite amont du PK-Weir et s'étend vers l'amont, elle est considérée comme régulière, la surface du plan d'eau est plus ou moins lisse et l'écoulement est bidimensionnel. La deuxième zone se limite entre l'extrémité amont du PK-Weir et l'extrémité aval. Dans cette zone la surface libre est complètement perturbée et l'écoulement ne se prête pas à être considéré comme bidimensionnel. La configuration géométrique sur le PK-Weir est fortement influencée par la variation de la charge ou de du débit.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le déversoir en touches de piano n'a été développé que récemment, pour mieux comprendre son fonctionnement est atteindre la forme optimale de ce déversoir, il est essentiel de procéder à des travaux de recherche afin d'atteindre ces objectifs.

Ainsi, la présente étude a eu pour objectif d'apporter une contribution à la compréhension et l'optimisation du fonctionnement du déversoir en Touches de Piano (PK-Weir) qui représente une alternative efficace pour les nouveaux barrages. Il servira comme organe de contrôle de surélévation du plan d'eau amont tout en assurant une évacuation maximale des eaux.

L'objectif essentiel du présent travail est la définition de l'effet de condition d'approche sur le rendement du PK-Weir et par conséquent, la détermination des conditions d'approche les plus optimales. Ce travail est basé essentiellement sur l'expérimentation sur modèles réduits de PK-Weir avec des différentes dispositions en amont.

Pour atteindre les objectifs fixés, ce travail a été scindé en deux parties principales ; la première bibliographique et la seconde expérimentale.

La première partie correspondant qui se rapporte à l'étude bibliographique a permis de présenter un état de connaissance sur les déversoirs en labyrinthe et le PK-Weir qui représentent une solution efficace pour l'évacuation des grands débits sous des faibles charges. Ces types de déversoirs ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherches dans le but de mieux comprendre leur fonctionnement hydraulique et d'optimiser leurs configurations géométriques.

La géométrie des déversoirs non rectilignes est caractérisée par une crête à axe discontinu en plan, permettant d'avoir une crête plus longue que la largeur du déversoir. Les premiers travaux qui ont fait l'objet de l'étude de la performance hydraulique du déversoir en labyrinthe sont ceux de HAY-TAYLOR [1] et DARVAS [2] qui ont considéré la charge piézométrique pour déterminer les différents paramètres de l'écoulement, les résultats obtenus par ces derniers ont fait l'objet d'une correction par MAGALHAES [3] et KATHLEEN-CAROL [4] qui considèrent que la charge totale correspond à la charge piézométrique augmenté par charge cinétique ($H=H_p + H_c$).

Lux et Hinchliff [5] ont considéré que la viscosité et la tension superficielle sont négligées. Alors Ainsi, une relation du débit a été proposée, qui est en fonction du paramètre adimensionnel H/P .

L'influence des conditions d'approche n'a fait l'objet que de quelques études qui ont montré que les conditions d'approche ont une nette influence sur le rendement du déversoir en labyrinthe.

Les conditions amont sans guideaux et avec guideaux (rectiligne et curviligne) pour un déversoir en labyrinthe ont fait l'objet d'étude expérimentale dans le cadre de mémoire de fin d'étude au département d'Hydraulique de l'université de Biskra en l'année 2000. Les résultats obtenus l'influence des guideaux sur la performance hydraulique. Par contre, la courbe de débit qui correspond au modèle avec guideaux curviligne diffère de la courbe type du déversoir en labyrinthe. La comparaison entre le déversoir avec guideaux rectilignes avec celui curvilignes a montré une faible différence entre les deux. La seule différence entre les deux cas de forme d'entrée se rapporte à la forme d'alimentation du canal d'approche aux extrémités amont des guideaux, qui est stable pour le cas des guideaux curvilignes et perturbé pour le cas des guideaux rectilignes.

Les déversoirs en labyrinthes fusibles constituent une méthode simple pour augmenter la capacité de stockage des barrages et/ou des déversoirs. Ils sont constitués par des éléments jointifs et indépendants disposés sur la crête du déversoir du barrage. Pendant une forte crue et en fonction de son importance, les hausses basculent les unes après les autres sous la seule action de l'eau, de manière à libérer progressivement le seuil.

La nouvelle forme de déversoir développé par F. Lempérière et A. Ouamane [12] baptisée PK-Weir représente une alternative économique et efficace pour l'évacuation des crues et l'accroissement de la capacité des retenues des barrages. Ce nouveau type de déversoir multiplie le débit spécifique d'un déversoir Creager par trois ou plus pour la même largeur du déversoir et sous la même charge, il réduit considérablement le coût de la construction de la plupart des nouveaux barrages ; peut assurer la sécurité des barrages à faible coût ;

Le PK-Weir est un déversoir de type labyrinthe, caractérisé par des éléments de forme rectangulaire en plan. Sa structure est constituée essentiellement par des porte-à-faux amont et aval, ceci lui donne une longueur transversale de crête supérieure à la base d'appui. Les radiers amont et aval sont inclinés. Ce déversoir a fait l'objet d'une étude expérimentale détaillée qui a permis de sélectionner deux types de PK-Weir, le premier avec des porte-à-faux amont et aval (Type A) et le second avec seulement des porte-à-faux amont (Type B).

Le PK-Weir de type (A) a fait l'objet d'une étude expérimentale détaillée, qui a permis de déterminer l'impact de chaque paramètres géométrique sur le rendement de ce type de PK-Weir est de définir sa forme optimale.

A. Ouamane et F. Belaabed [16] ont réalisé une étude sur l'influence des conditions aval sur l'amont, cette étude a montré que la limite du taux de remplissage est égale à une hauteur des marches de 50% de la hauteur du déversoir, les marches sont réalisées dans chaque alvéole aval et le niveau d'eau aval n'influe sur les conditions amont que si la surface du plan d'eau aval dépasse le niveau de la crête du PK-Weir.

La seconde partie du présent travail se rapporte à une étude expérimentale qui a comme objectif l'étude de l'effet des conditions environnante en amont du PK-Weir sur la performance dans le cas de fonctionnement dans des conditions libre. Pour se faire, il a été essentiel de scinder cette analyse expérimentale en deux chapitres. Le premier chapitre a été consacré à l'analyse des différentes dispositions en amont immédiat du PK-Weir et le second chapitre s'est rapporté à l'étude de la forme géométrique en 3D de plan d'eau dans la zone limitrophe en amont du PK-Weir.

La première phase expérimentale s'est intéressée aux conditions d'approche amont telles que l'orientation et la forme des guideaux, la contraction latérale de l'entonnement du déversoir et les conditions d'emplacement du PK-Weir.

Les essais qui ont été effectués sur le PK-Weir avec des guideaux rectilignes sous plusieurs angles d'inclinaison $\alpha = 15^\circ, 25^\circ, 27^\circ, 30^\circ, 33^\circ, 37.5^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ et 90° a permis de définir la disposition optimale des guideaux qui correspond à un angle d'inclinaison $\alpha=30^\circ$. Le rendement correspondant à $\alpha = 25^\circ$ et 37.5° est le plus faible surtout pour les faibles et moyennes valeurs de la charge relative. Par conséquent, l'inclinaison optimale des guideaux rectilignes correspond à un angle $\alpha=30^\circ$.

La conception du PK-Weir avec des guideaux curviligne donne un rendement élevé, semblable à celui obtenu pour la meilleure disposition des guideaux rectilignes ($\alpha = 30^\circ$). Ceci peut être justifié par le fait que la forme d'entrée curviligne permet de diriger l'écoulement vers l'exutoire sans aucune perturbation de l'écoulement.

L'écoulement sur un déversoir à seuil libre peut se présenter sous deux formes, avec contraction latérale et sans contraction latérale. Les résultats obtenus ont montré que l'écoulement dans un canal de même largeur que le déversoir est plus rentable que celui avec contraction latérale. Les résultats des essais ont montré aussi que le rendement du PK-Weir dans des conditions sans contraction latérale est plus élevé de plus 25% que celui avec contraction latérale.

La disposition avancée du déversoir dans la retenue se caractérise par une alimentation frontale et latérale du déversoir, mais qui diffère de celle avec contraction latérale. L'expérimentation a fait constater que la disposition avancée du PK-Weir provoque une

réduction du rendement hydraulique du PK-Weir. Il a été constaté ainsi que la disposition avancée est la plus médiocre des cas étudiés. Ainsi, on recommande d'éviter la conception d'évacuateur de crues avec cette disposition qui peut engendrer une réduction du débit évacué.

La seconde phase de l'étude expérimentale s'est intéressée à la description de la surface libre du plan d'eau dans la zone amont qui entoure le PK-Weir, les résultats obtenus pour trois débits différents ont montré que la géométrie de la surface libre du plan d'eau en amont du PK-Weir est dépendante de l'importance de la charge sur le seuil du déversoir. La configuration générale du plan d'eau se caractérise par deux zones de géométrie différente. La première zone se situe à la limite amont du PK-Weir et s'étend vers l'amont, elle est considérée comme régulière, la surface du plan d'eau dans ce cas est plus ou moins lisse et l'écoulement est bidimensionnel. La deuxième zone se limite entre l'extrémité amont du PK-Weir et l'extrémité aval. Dans cette zone la surface libre est complètement perturbée et l'écoulement ne se prête pas à être considéré comme bidimensionnel.

Finalement, le présent travail ne représente qu'une modeste contribution à l'étude du PK-Weir qui reste un vaste domaine de recherche pour définir la forme optimale de ce type d'ouvrage et de bien comprendre son fonctionnement.

Liste des figures

Liste des figures

Etude bibliographique

Figure I-1 : géométrie et configuration de l'écoulement sur un déversoir en labyrinthe.....	2
Figure I-2 déversoir en labyrinthe à éléments rectangulaires en plan.....	3
Figure I-3 Déversoir en labyrinthe à éléments trapézoïdaux en plan.....	3
Figure I-4 Déversoir en labyrinthe à éléments triangulaires en plan.....	3
Figure I-5 Déversoir en labyrinthe à éléments trapézoïdaux arrondies en plan.....	4
Figure I-6 Courbe de conception des déversoirs en labyrinthe en fonction de H/P et L/W (a : forme triangulaire, b : forme trapézoïdale) selon Hay et Taylor (1970).....	5
Figure I-7 coefficient de débit d'un déversoir en labyrinthe en fonction de L/W et H/P.....	6
Figure I-8 Comparaison des courbes de coefficient de débit obtenu par Magalhaes (1989) et celles de Darvas (1971).....	7
Figure I-9 Courbe de conception du déversoir en labyrinthe en fonction de H_0/P , W/P et L/W selon Lux et Hinchliff (1985).....	9
Figure I-10 Coefficient de débit en fonction de la charge relative H^*/P la hauteur relative W/P et le rapport des hauteurs D/P (Modèles avec contraction latérale).....	11
I-11 Effet de la contraction sur les longueurs de l'écoulement perturbé.....	12
Figure I-12 Différents type de la forme d'entrée du déversoir en labyrinthe.....	13
Figure I-13 Coefficient de débit en fonction des conditions d'approches amont (Forme trapézoïdale) $L/W=3$ $W/P=2$	13
Figure I-14 Coefficient de débit en fonction des conditions d'approches amont (Forme triangulaire).....	14
Figure II-1 Déversoir de hausse fusible (un élément).....	15
Figure II-2 Disposition des hausses fusibles.....	15
Figure II-3 Hausse fusible fonctionne comme un barrage.....	16
Figure II.4: Hausse fusible fonctionne comme un déversoir.....	17
Figure II-5 Alimentation de la chambre de mise en pression.....	17
Figure II-6 Basculement de la hausse.....	17
Figure II.7 : Courbe des coefficients de débit obtenu expérimentalement (Falvey, 1995).....	18
Figure II.8: Vue en perspective d'un déversoir Blocs fusibles.....	19
II-2-1- Blocs fusibles permettant le déversement avant renversement.....	20
Figure II-10 Bloc type.....	20
Figure II.11: Disposition générale et murs séparateurs.....	21
Figure II.12 : Diagramme de stabilité.....	22
Figure II-13 Comparaison d'un seuil classique et d'un seuil équipé de blocs fusibles.....	22
Figure II-14 Exemple de phases de construction.....	22
Figure III-3 Schéma d'un élément du déversoir en touches de Piano (PK-Weir).....	23
Figure III -1 PK-Weir de type A.....	24
Figure III-2 PK-Weir de type B.....	25
Figure III-3 Ecoulement en deux nappes déversant sur un cycle de PK-Weir (Ouamane 2006 b)...	26
Figure III-4 Coefficient de débit en fonction du rapport de l'aspect vertical W/P (Ouamane, 2006b).....	27
Figure III-5 Coefficient de débit en fonction du ratio L/W (Ouamane, 2006b).....	27
Figure III-6 Coefficient de débit en fonction de la largeur des alvéoles (Ouamane, 2006b).....	28

Figure III-7 Fonctionnement du PK-Weir avec encombrement de l'entrée par des corps flottants.....	29
Figure III-8 Coefficient de débit en fonction de la présence des corps flottants.....	29
Figure III-9 Coefficient de débit en fonction de la longueur des porte-à-faux (Ouamane, 2006b).	30
Figure III-10 Comparaison de débit entre le PK-Weir et le déversoir Creager (Ouamane 2006c).	30
Figure III-11: Courbe des débits en fonction du ratio L/W (Noui.A, 2007)	31
Figure 3-12: Coefficient de débit en fonction des largeurs des alvéoles amont et aval (Noui.A, 2007).....	31
Figure III-15 : Coefficient de débit en fonction de la position du déversoir (PK-Weir A1m).....	29
Figure III-16 a- Socle à parement arrondi. b- Socle à parement incliné. c- Socle à parement vertical.....	30
Figure. III-17 Coefficients de débit en fonction de la forme amont du Socle.....	30
Figure III-18 Schémas du déversoir en PK-Weir avec et sans contraction latérale.....	31
Figure III-19 : Modèles de déversoir avec et sans contraction latérale.....	31
Figure III-20 : Courbes de la charge relative amont en fonction de la charge relative aval.....	32

Etude expérimentale

Figure I-1 Modèle de PK-Weir expérimenté.....	37
Figure I-2 Schéma du modèle expérimenté de PK-Weir type A.....	38
Figure I-3 Vue d'ensemble de la station d'expérimentation des modèles réduits.....	38
Figure I-4 Schéma de station d'expérimentation. (Vue en plan).....	39
Figure I-5 Schéma du dispositif expérimental (Vue de profil).....	40
Figure I-6 Vue de l'aval de la station d'expérimentation.....	40
Figure I-7 Tableaux manométriques de mesure des niveaux d'eau.....	41
Figure I-9 Schéma détaillé de limnimètre à pointe.....	42
Figure I-8 Débitmètre à ultrason Flowmeter 93W2.....	42
Figure II-1 Définition des paramètres du déversoir à écoulement libre.....	44
Figure II-2 PK-Weir avec et sans contraction latérale.....	46
Figure II-3 Modèle de PK-Weir type A avec des guideaux rectilignes.....	47
Figure II-4 Coefficient de débit en fonction de la charge relative et l'angle d'inclinaison des guideaux rectilignes.....	48
Figure II-5 Coefficient de débit en fonction de la charge relative et l'angle d'inclinaison des guideaux.....	49
Figure II-6 Coefficient de débit en fonction de l'angle d'inclinaison des guideaux pour chaque valeur de H/P.....	50
Figure II-7 Modèle du PK-Weir équipé de guideaux curvilignes.....	50
Figure II-8 Comparaison du coefficient de débit pour un déversoir sans guideaux ($\alpha = 90^\circ$) et celui avec des guideaux curvilignes.....	51
Figure II-9 Ecoulement sur le PK-Weir de même largeur que le canal d'approche.....	52
Figure II-10 Comparaison du coefficient de débit pour un déversoir avec contraction latérale et sans guideaux ($\alpha = 90^\circ$) et celui sans contraction latérale (Déversoir inséré dans un canal de section uniforme).....	53
Figure II-11 PK-Weir en disposition avancée dans la retenue.....	54
Figure II-12 Coefficient de débit de la disposition avancée du PK-Weir et celle avec contraction latérale.....	54

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Comparaison des résultats obtenus par Magalhaes [3] avec les données des évacuateurs de crues de quelques barrages existants.....	7
Tableau I-1 Caractéristiques géométriques des modèles réduits.....	38

Liste des notations

Liste des notations

Symbole	Désignation	Unité
a	Largeur de l'alvéole amont	[m]
A	Section de l'écoulement dans le bassin de simulation	[m ²]
b	Largeur du déversoir	[m]
b	Largeur de l'alvéole aval	[m]
B	Longueur d'une paroi latérale	[m]
c	Longueur du porte-à-faux aval	[m]
C _w	Coefficient de débit du déversoir testé	[-]
d	Longueur du porte-à-faux aval	[m]
D	Hauteur aval des parois	[m]
E	Epaisseur de bloc fusible	[m]
g	Accélération de la pesanteur	[m/s ²]
h ₀	Charge piézométrique amont (conditions d'écoulement libre)	[m]
$\overline{h_0}$	Hauteur d'eau amont	[m]
H	Hauteur piézométrique en amont	[m]
H	Hauteur maximale du P.K.Weir	[m]
h _c	Charge cinétique	[m.c.e]
H	Charge total amont (conditions d'écoulement libre)	[m.c.e]
H _v	Charge cinétique d'approche en amont	[m.c.e]
\overline{H}	Charge amont sur le déversoir	[m.c.e]
H _t	Charge total sur la crête	[m.c.e]
H/P	(Paramètre adimensionnelle) charge relative	[-]
H/H ₀	(Paramètre adimensionnelle) charge relative amont	[-]
l	Largeur du bassin de simulation	[m]
L	Longueur développée du déversoir (L=a+b+2B)	[m]

Weir	L_c	Longueur de la crête	[m]
	P	Hauteur maximale amont du P.K. Weir	[m]
	Q	Débit évacué (m^3/s)	[m^3/s]
	Q_l	Débit à écoulement liber	[m^3/s]
	$Q_{P.K.}$	Débit mesuré	[m^3/s]
	q	Performance du déversoir expérimenté	[-]
	T	Epaisseur des parois	[m]
	v	Vitesse d'écoulement	[m/s]
	W	Largeur d'un cycle du déversoir	[m]
	W_t	Largeur total du déversoir	[m]
	W_c	Largeur de canal	[m]
	w_i	Largeur du déversoir ($w=a+b$)	[m]
	\bar{W}	Hauteur de déversoir du fond du canal jusqu' à la crête	[m]
	α	Angle d'inclinaison des guideaux	[°]
μ	Coefficient de débit d'un déversoir standard de type Creager ($\mu=0.49$)	[-]	

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] **HAY.N et TAYLOR.G**: 1970 «Performance and desing of labyrinth weirs» ASE, journal of hydraulics Eneginier 96 11/ 2337-2357.
- [2] **DARVAS.L.A** 1971: « Performance and desing of labyrinth weirs »discussion ASCE, journal of hydraulics Eneginier.97-8/1246-1251
- [3] **MAGLHAES A.P et LORENA** : 1989 « hydraulic desing of labyrinth weirs» laboratoire nationale de engharia CIVIL , Memoria n°736, Lisbona.
- [4] **KATHLEEN et CAROL** : 1982 a site specific of labyrinth spillway « Applying resarch to hydraulic paractice» American society of civil engeneers-New york.
- [5] **LUX et HINCHLIFF** : 1985«Desing and construction of labyrinth spillways» 15th congress of ICOLD, Lausanne, suisseerland Q59, R15 ,.
- [6] **AFSHAR.A** : 1988 «The developement of labyrinth spillway Water power and dam construction » May.
- [7] **M.CIDI, N.ABDELMADJID et A-OUAMANE** «Etude influence des conditions d'approche sur l'écoulement sur un déversoir en labyrinthe» mémoire ingénieur en hydraulique UNIVERSITE DE BISKRA ALGERIE juin 1999.
- [8] **A.OUAMANE** «Etude de l'effet du nombre de cycles d'un déversoir en labyrinthe sur l'écoulement» UNIVERSITE DE BISKRA ALGERIE juin 2001.
- DEGOUTTE G., ROYET P.**, 1992. Hausses fusibles sur déversoirs de barrages, Augmentation de la capacité utile des retenues ou de la sécurité des évacuateurs de crues. CEMAGREF, n° 15, note 1.
- [9] **ROUSE.H 1960** «Advanced Mechanics of Fluids Robert E. Krieger publishing Co. Huntington . new york.
- [10] **LEMPERIERE F. HYDROCOOP FRANCE 2000** more coste data may help to optomise spillways.the international journal on hydropower and dams. Issue four.
- [11] **FALVEY H.T.**, 1995. Hydraulics and design of fuse gate, Journal of Hydraulics Engineering.
- [12] **LEMPERIERE F. HYDROCOOP FRANCE OUAMANE A UNIVERSITE DE BISKRA ALGERIE (2003)** « Une nouvelle solution financièrement avantageuse pour la plupart des déversoirs ».
- [13] **OUAMANE A.**, 2006. Hydraulic and Costs data for various Labyrinth Weirs, 22th Congress on Large Dams, ICOLD, Q84, Barcelona.
- [14] **OUAMANE A., LEMPÉRIÈRE F.**, 2006. Design of a new economic shape of weir, International Symposium on Dams in the Societies of the XXI Century. Barcelona.
- [15] **NOUI A et OUAMANE A** , 2007.mémoire magister en hydraulique Etude de l'optimisation de l'évacuateur de crues en touches de piano (P.K.Weir), Biskra, pp. 74-79.
- [16] **BELAABED F et OUAMANE A** 2011. mémoire magister en hydraulique Contribution à l'étude des déversoirs en touches de piano (PK-Weir) noyés par l'aval en labyrinthe UNIVERSITE DE BISKRA ALGERIE.

L'annexe

Les mesures de la Forme géométrique en 3D du PK-Weir pour un faible débit (Q=47 l/s)

X \ Y	7,5	14,5	21	28	34,5	41	47	53,25	59,5	66,5	72,5	79	85	92	98
-15	3,6	3,65	3,7	3,7	3,7	3,68	3,7	3,7	3,84	3,75	3,78	3,8	3,75	3,7	3,54
-10	3,6	3,7	3,63	3,7	3,8	3,68	3,7	3,7	3,84	3,75	3,78	3,8	3,75	3,7	3,54
-5	3,59	3,67	3,63	3,7	3,8	3,7	3,7	3,84	3,84	3,78	3,78	3,8	3,75	3,7	3,54
0	3,51	2,86	3,66	3,7	3,8	3,55	3,7	3,84	3,84	3,58	3,78	3,73	3,68	3,39	3,45
5	3,25	1,92	3,32	3,7	3,53	1,92	3,4	3,7	3,64	1,95	3,38	3,7	3,4	1,55	3,18
10	3	2,6	3	3,53	3,1	1,2	2,7	3,5	3,09	1,1	2,92	3,6	3,02	0,9	3
15	3,15	3,06	3,28	3,53	3,3	2,3	2,7	3,5	3,09	2,39	3,34	3,6	3,19	1,97	3
20	3,15	2,8	3,33	3,6	3,35	2,7	3,3	3,7	3,43	2,39	3,34	3,65	3,19	1,8	3
25	2,93	2,13	3,33	3,6	3,2	2,04	3,3	3,7	3,3	1,8	3,3	3,58	3,2	2	2,9
35	2,76	-1,9	3,19	3,6	3,02	-2,5	2,9	3,7	2,94	-3,1	3	3,58	3,05	-4,03	2,55
40	2,29	-3,4	3,29	3,6	3,02	-4,9	3,1	3,7	2,94	-5	3	3,58	3,05	-4,03	2,3
45	2,29	-3,6	3,05	3,5	3,02	-3,1	3,1	3,7	2,94	-5,9	3	3,46	2,9	-1,8	2,66
49	2,55	-4	2,92	3,3	3,02	-1,7	2,95	3,51	2,94	-6,7	3	3,13	2,5	-3,5	2,3
55	1,1	-9,3	1,64	1,9	1,2	-2,9	1,6	2,15	1,6	-4,8	1,4	1,8	1,2	-3,1	1,3

Les mesures de la Forme géométrique en 3D du PK-Weir pour un débit moyen (Q=103 l/s)

X \ Y	7,5	14,5	21	28	34,5	41	47	53,25	59,5	66,5	72,5	79	85	92	98
-15	6,11	6,11	6,06	5,85	5,5	5,13	5,27	5,85	5,37	5,09	3,1	3,1	3,6	3,8	2,8
-10	7	7	7	6,2	5,29	4,4	5,5	6,07	4,95	4,63	4,63	2,3	1	0,4	-1,1
-5	6,01	6,04	6,01	6,01	5,7	5,25	5,25	5,5	5,5	5,3	4,87	4,87	4,87	4,77	3,4
0	6,01	6,01	6,01	6,01	5,7	5,68	5,6	5,53	5,53	5,53	5,24	5,24	5,24	5,24	3
5	6,07	6,07	6,07	6,07	5,79	5,3	4,8	4,8	5,1	5,1	4,3	4,3	4,3	4,1	2,8
10	7,17	7,17	7,17	6,06	5,4	3,8	4,4	6,4	6,4	5,7	3,2	2,3	1,2	0,4	-0,6
15	6,1	6,1	6,07	6,07	5,7	4,9	4,5	4,5	5,44	5,6	5,1	4,68	4,4	4,4	3,1
20	6,2	6,2	6,2	6,2	5,95	5,5	5,2	5,2	5,3	5,6	5,81	5,1	5,2	5,08	3,7
25	6,45	6,2	6,27	6,2	5,7	6,1	5,3	4,63	5,19	5,55	5,4	4,8	4,6	4,5	3,2
35	6,3	6,2	6,3	6,2	5,63	3,95	3,1	5,9	6,3	5,7	3,1	2,2	1,3	-0,4	-1,7
40	6,2	6,2	6,26	6,2	6,03	5,2	4,72	5	5,13	5,25	5	4,7	4,55	4,55	3,25
45	6,2	6,2	6,2	6,2	6,06	5,7	5,4	5,4	5,4	5,58	5,32	5,1	5,1	5,1	3,7
49	6,2	6,2	6,2	6,1	5,8	5,25	4,8	5,5	5,5	5,5	4,6	4,4	4,4	4,4	3,3
55	6,2	6,2	6,2	5,9	5,2	4	6,2	6,2	4,8	4,2	3,18	1,5	0,7	-0,1	-1,8

Les mesures de la Forme géométrique en 3D du PK-Weir pour un grand débit (Q = 145 l/s)

X \ Y	7,5	14,5	21	28	34,5	41	47	53,25	59,5	66,5	72,5	79	85	92	98
-15	8,3	10,37	8,4	8,48	8,4	8,54	9	8,3	7,85	8,4	8,6	8,5	8,4	8,3	8,68
-10	8,3	10,4	8,4	8,48	8,4	8,54	9	9,1	7,9	8,51	8,6	8,6	8,4	8,3	8,68
-5	8,3	8,35	10,4	8,3	8,4	8,54	9	8,9	8,55	8,51	8,6	8,3	8,4	8,3	8,68
0	7,95	8,2	8,2	8,3	8,25	8,3	8,5	8,5	8,55	8,51	8,4	8,3	8,1	7,85	7,95
5	7,61	7,6	7,93	8	7,8	7,6	7,9	8	8,06	7,7	8	7,98	7,15	7,3	7,4
10	7,35	8,15	7,35	7,7	7,2	6,54	7,25	8	7,3	6,6	7,18	7,5	6,7	6,65	7
15	7,68	7,89	7,2	8,38	6,8	5,86	6,7	6,89	6,7	5,8	6,5	7,1	6,6	7,2	7
20	8,1	8,45	7,2	8,16	6,7	6,45	6,7	6,89	6,4	5,8	6,5	6,9	7,55	8	7,2
25	8,13	7,8	7,2	8,16	6,6	7,75	6,83	6,8	6,2	7,1	6,5	6,7	6,8	7,7	7,2
35	5,1	5,7	6,45	7,8	6,2	6,4	6,7	7	6,15	6,7	6,5	7,2	6,1	5,45	5,45
40	3,05	3,9	5,92	7,8	5,92	5,7	6,8	7	6,3	5,85	6,6	7,1	5,7	4,3	4,25
45	4,92	2,6	5,76	6,43	5,75	5,1	6,8	6,9	5,9	5,45	6,4	6,9	5,4	3,1	4,6
49	4,92	3,4	5,76	6,43	5,5	5,1	6,3	5,5	6,3	5,45	6,4	6,47	4,7	2,9	4,8
55	4,92	3,5	4,7	5,2	4,6	4,6	5,1	4,1	5,1	5,3	4,95	5,7	4,62	2,9	4,3

X (cm), Y (cm) et Z (cm)