

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث 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 Hydraulique

Référence :...../ 2018



جامعة محمد خيضر
بiskra

جامعة محمد خيضر - بiskra

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم الهندسة المدنية و الري

المرجع: / 2018

Mémoire de Master

2^{ème} année

Option : Ouvrages Hydrauliques

THEME

Etude de l'écoulement sur le déversoir
en touches de piano de faible hauteur

Etudiant:

•Hachani Noureddine

Encadreur:

•Pr : Ouamane Ahmed

•Mr : Laiadi Adil

PROMOTION : 2018

Résumé

Le déversoir en Touches de Piano (PK-Weir) représente une alternative économique et efficace pour l'évacuation des crues et l'accroissement de la capacité des retenues des barrages. Il est considéré comme étant une optimisation technico-économique du déversoir en labyrinthe. En recense actuellement plus d'une trentaine de PK-Weir qui ont été réalisés dans une douzaine de pays. Le PK-Weir peut-être aussi implanté dans un cours d'eau dans un but de surélévation du plan d'eau pour le stockage partiel et la régulation de niveau d'eau.

Dans le cas où le PK-Weir est installé au fil de l'eau, il est intéressant de vérifier les conditions de son implantation à travers le cours d'eau et leurs impacts sur le rendement du PK-Weir. Pour ce faire, une investigation expérimentale a été réalisée. Les résultats obtenus ont montré que la performance hydraulique du PK-Weir n'est pas affectée par la présence de fosses en amont et en aval du PK-Weir, cependant cette disposition peut être intéressante de point de vue dissipation d'énergie.

Abstract

The Piano Key Weir (PK-Weir) represents a cost-effective and efficient alternative for flood evacuation and increased the capacity of dam reservoir. It is considered to be a techno-economic optimization of the labyrinth weir. There are currently more than thirty PK-Weirs that have been constructed in a dozen countries. The PK-Weir can also be installed in a river for the purpose of raising the water level for partial storage and water level regulation.

In the case where the PK-Weir is installed along the water stream, it is interesting to check the conditions of its establishment through the stream and their impact on the performance of PK-Weir. To do this, an experimental investigation was carried out. The results obtained showed that the hydraulic performance of the PK-Weir is not affected by the presence of upstream and downstream basin, however this arrangement can be interesting from the point of view of energy dissipation.

ملخص

يمثل مفرغ الحملة أو الهدار ذا الشكل مفاتيح البيانو (PK-Weir) بديلاً فعالاً من حيث التكلفة كونه فعال في الفيضانات و في زيادة سعة التخزين بالسد. ويعتبر بمثابة تحسين اقتصادي تكنولوجي للهدار المتأهي . يوجد حالياً أكثر من ثلاثين نوع (PK-Weir) تم تطبيقه في أكثر من عشر دول. يمكننا أيضاً وضع (PK-Weir) في المجرى المائي لأجل هدف التخزين الجزئي أو التحكم في المستوى أو.

منذ استحداث وتطوير الـ (PK-Weir) في عام 2003 من قبل F. Lempérière و A. Ouamane ، تم إجراء العديد من الأبحاث و التجارب من أجل فهم أفضل و أعمق للعملية الهيدروليكية لهذا النوع من السد. وقد تم تكريس هذا العمل للدراسة من قبل طريقة تجريبية للتحقق من أداء عمليات تثبيت (PK-Weir) في مستوى منخفض من المجرى المائي وتأثير تدفق المصب على أداء (PK-Weir).

في حالة تركيب PK-Weir على طول المياه ، من المثير للاهتمام التحقق من شروط تأسيسه من خلال المجرى المائي وتأثيرها على أداء PK-Weir. للقيام بذلك ، تم إجراء تحقيق تجريبي بها. وأظهرت النتائج أن PK-Weir الأداء الهيدروليكي لا يتأثر وجود الدبابات المنبع والمصب من PK-Weir ، ومع ذلك ، قد يكون هذا الحكم المثير للاهتمام منظور تبديد الطاقة.

∞ Remerciements ∞

Avant tout, Nous remercier mon DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour finir mes études.

Nous remercier beaucoup mon père et mon promoteur : M^r: OUAMANE AHMED de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener a bien ce travail.

Je remercier également tous mes professeurs et docteurs particulièrement, M^r: BOUZIANE Mohamed Toufik, et madame Charhabil Sonya, M^r: Yazid loghraichi et ADILE LAIADHI et BENAÏSSA Sahraoui 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 qui me feront l'honneur d'apprécier notre travail.

Je remercier encore tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration et de département d'hydraulique de cette étude.

Merci à tous

Dédicace

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

Ma mère Torchi Naziha qui a beaucoup sacrifiée pour moi et pour l'affection qu'elle m'a toujours portée. Mon père Miloud et Mon grand-père Abdallah

Mes oncles, chacun et ton nom qui m'a orienté vers cette filière noble, encouragé et m'a beaucoup soutenu.

Je le dédie également à :

Mes frères : Mohamed ; Zaineb et mes amis de mon quartier Et dans ma carrière éducative.

Spécialement pour demoiselle Ferdawes Amira .

Pour vous je présente ce travail

Hachani Noureddine

Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Première Partie

Etude bibliographique

CHAPITRE I : Déversoir rectiligne

I-1- Introduction.....	03
I-2 Généralités sur les évacuateurs de crue non rectiligne	03
I.3 Différentes formes des déversoirs non rectilignes :	04
I.3.1 Déversoir en Labyrinthe	04
I.3.1-1 Géométrie du déversoir en labyrinthe	05
I.3.1.2 Description de l'écoulement sur un déversoir en labyrinthe	07
a- Phase complètement aérée	07
b- Phase partiellement aérée	07
c- Phase de transition	08
d- Phase déprimée	08
I.3.1.3 Effet des paramètres géométriques sur la performance	09
Charge relative h/P	09
Accroissement de la longueur L/W	09
Rapport d'aspect vertical W/P	10
Impact du nombre de cycles	10
Impact de niveau d'eau aval h_d/P	10
I.3.1.4 Analyse numérique du débit du déversoir en labyrinthe	11
I.3.1.5 Effet de la noyade sur l'écoulement des déversoirs en Labyrinthe	15
I.3-2 Déversoir en labyrinthe hausses fusibles	17
I-3-2-1 Définition	17
I.3.2.2 Principe de fonctionnement des hausses fusibles	18
I.3.2.3 Caractéristiques de débit des hausses fusibles	20
I.3.3 Déversoirs en touches de Piano (PK-Weir)	21
I.3.3.1 Définition	21
I.3.3.2 Configuration géométrique du PK-Weir	22
1)- PK-Weir Type A	23
2)- PK-Weir Type B	24
I.3-3-3 Théories de déversoir PK-Weir	24

I.3.3.4 Mode d'écoulement sur le PK-Weir	25
I.3.3.5 Performance hydraulique	26
I.3.3.5.1 Effets des principaux paramètres géométriques	26
➤ <i>Effet le Rapport d'aspect vertical, W/P.</i>	26
➤ <i>Effet de Longueur relative L/W</i>	28
➤ <i>Effet de largeur des alvéoles W_i et W_o</i>	28
➤ <i>Impact de la longueur des porte-à-faux</i>	29
I.3.3.5.2 Effets des paramètres secondaires	31
Impact des corps flottants	31
<i>L'effet des conditions d'approche amont sur la performance du PK-Weir</i>	32
I-5 Conclusion.....	36
Deuxième Partie	
Etude expérimentale	
CHAPITRE I : Description du dispositif et protocole expérimentaux	
II-1 Introduction.....	38
II-2 Description des modèles expérimentaux de PK-Weir.....	38
II-3 Description de l'organisation expérimentale	40
II-3-1 Description de la station d'expérimentation.....	41
II-3-2 Appareillage de mesure	42
1) Tubes piézométriques. 2) Détecteur de niveau à ultrason	
II-3-2-1 <i>Mesure de la profondeur d'eau</i>	42
II-3-2-1 Mesure de débit	44
II-3-3 Protocole expérimentale.....	45
CHAPITRE II : Résultats expérimentaux	
II-4 Interprétation et discussion des résultats expérimentaux	46
II-4-1. Etude de l'effet de l'implantation du PK-Weir par rapport au niveau du fond du canal	47
II-4-2 Impact de la présence de fosses sur la performance hydraulique du PK-Weir	48
II-4-3 Dissipation d'énergie	50
II-5 Conclusion	50

--	--

Liste des figures

Première Partie

Etude bibliographique

Figure I-01 : Déversoirs non rectiligne.....	04
Figure I.02 : Vue en perspective d'un déversoir labyrinthe.....	04
Figure I.03 : déversoir labyrinthe du barrage fontaine des gazelles(Algérie).....	05
Figure I.04 : Forme en plan du déversoir en labyrinthe (a) - triangulaire, (b) – trapézoïdale..... (c) – rectangulaire	05/06
Figure I. 05 : Définition des paramètres du déversoir en labyrinthe (Lux et al. 1984).....	06
Figure. I.06 : Déversoir en labyrinthe - Barrage de Mercer, U.S.A (Hinchliff,1985).....	07
Figure I .07 : Condition d'écoulement moyen du labyrinthe (Hinchliff1984).....	08
Figure I .08 : Condition de l'écoulement élevé du labyrinthe.....	08
Figure I.09 : Géométrie des déversoirs en labyrinthe étudiés par Hay et Taylor (1970).....	10
Figure I.10 : Courbes de performance, en fonction de la charge relative (Hay et Taylor, 1970).....	10
Figure I.11 : Courbes de performance en fonction des paramètres géométriques adimensionnels.....	11
Figure I-12 : Effet de la noyade sur la performance.....	12
Figure I.13 : Coefficients de débit en fonction de L/W et W/P (Hinchliff, 1984).....	13
<i>A- Triangulaire, B- Trapézoïdale</i>	
Figure I.14 : Disposition et détails du déversoir en labyrinthe (Tullis, 1995).....	14
Figure I.15 : Coefficient de la crête pour le déversoir rectiligne.....	15
Figure I.16 : Paramètres et nomenclature du déversoir à écoulement libre et noyé (Tullis,2006).....	16
Figure I.17 : Paramètres géométriques typiques pour les déversoirs en labyrinthe.....	17
Figure I.18 : Rapport sans dimensions décrivant l'influence de la noyade sur le niveau à l'amont du déversoir rectiligne (Tullis, 2006)	17
Figure I.19 : Schéma des hausses fusibles.....	18
Figure I. 20: Disposition des hausses fusibles	18
<i>B)- Déversoir en hausses fusible A)- Déversoir d'origine</i>	
Figure I-21: Hausse fusible fonctionne comme un barrage.....	19

Figure I.22: Hausse fusible fonctionne comme un déversoir.....	20
Figure I.23: Alimentation de la chambre de mise en pression.....	20
Figure I.24 : L'eau bascule la hausse.....	21
Figure I.25 : Courbe des coefficients de débit obtenu expérimentalement (Falvey, 1995).....	22
<i>Figure I.26 : déversoir en touche de Piano (PK -Weir)(Barrage Goulours).....</i>	<i>23</i>
<i>Figure I.27 : Schéma d'un élément du déversoir en clefs de Piano (PK-Weir).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure I.28: PK-Weir de type A.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure I.28 : PK-Weir de type B.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure I.29 Ecoulement en deux nappes déversantes sur un cycle de P.K-Weir (Ouamane, 2006b)....</i>	<i>27</i>
<i>Figure I.30 : Coefficient de débit en fonction du rapport de l'aspect vertical W/P.....</i>	<i>28</i>
<i>(Ouamane, 2006)</i>	
<i>Figure I.31 Effet de la hauteur de PK-Weir (Epicum et al 2013).....</i>	<i>28</i>
<i>Figure I.32: Coefficient de débit en fonction du ratio L/W (Ouamane, 2006).....</i>	<i>29</i>
<i>Figure I.33 : Coefficient de débit en fonction de la largeur des alvéoles (Ouamane, 2006).....</i>	<i>30</i>
<i>Figure I.34 : Rendement r en fonction de H/P pour L/W=5 et rapports a/b=2.00,1.60,1.25,0.80,...</i>	
<i>0.63 et 0.50 (a =Wi, b = Wo) (M.Leite Ribeiro, 2011)</i>	
<i>Figure I.35 : Coefficient de débit en fonction de la longueur des porte-à-faux (Ouamane, 2006).....</i>	<i>31</i>
<i>Figure I.36 : Effet de la longueur des porte-à-faux sur la performance. (Machielset al, 2013)....</i>	<i>31</i>
<i>Figure I.37. Fonctionnement du PK.Weir avec encombrement de l'entrée par des corps flottants....</i>	<i>32</i>
<i>Figure I.38. Coefficient de débit en fonction de la présence des corps flottants.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure I.39. Modèle A1m, sans socle (Gauche) et sur socle (Droite).....</i>	<i>33</i>
<i>Figure I.40. Coefficient de débit en fonction de la position du déversoir (PK-Weir A1m).....</i>	<i>33</i>
<i>Figure I.41. a) Socles à parement amont arrondi, b) Socles à parement amont incliné,.....</i>	<i>34</i>
<i>c) Socles à parement amont vertical.</i>	
<i>Figure I.42. Coefficients de débit en fonction de la forme amont du Socle.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure I.43. Modèle de PK-Weir type A avec des guideaux rectilignes.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure I.44. Coefficient de débit en fonction de la charge relative et l'angle d'inclinaison des.....</i>	<i>35</i>
<i>guideaux rectilignes</i>	
<i>Figure I.45. Schémas du déversoir en PK-Weir : a) Avec contraction latérale (Wt<Wc),.....</i>	<i>36</i>
<i>b) Sans contraction latérale (Wt = Wc)</i>	

Figure I.46. Comparaison du coefficient de débit pour un déversoir37
avec et sans contraction latérale

Deuxième Partie

Etude expérimentale

Figure II-01 : Schéma d'implantation standard du PK-Weir (M1).....38

Figure II-02 : PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeurs39
respectives 2cm et 4cm et en présence de marches d'escalier 2cm sur 2cm (M2)

Figure II-02 : PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeurs39
respectives 2cm et 4cm et en présence de marches d'escalier 2cm sur 3cm (M3)

Figure II-03 : PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeurs40
respectives 2cm et 4cm et en présence de marches d'escalier 1cm sur 1cm (M4)

Figure II-04 : Modèle de PK-Weir 40

Figure II-05 : Vue d'ensemble de la station d'expérimentation des modèles réduits 41

Figure II-06 : Schéma de la station d'expérimentation. (Vue en plan) 41

Figure II-07 : Vue d'ensemble du canal d'expérimentation.....42

Figure II-08 Tableaux manométriques de mesure des niveaux d'eau..... 43

Figure II-09: Capteur du niveau Prosonic FM30.....44

Figure. II-10 : Débitmètre à ultrason Flowmeter 93W2..... 45

Figure II-11 Débitmètre électromagnétique..... 45

Figure. II-12 : Implantation de PK-Weir au fond de canal (M2)47

Figure. II-13 : L'écoulement sur le PK-Weir : cas (M2) (A : faibles charges ; B : moyennes charges).....48

Figure. II-14 : Coefficient de débit en fonction d'implantation de PK-Weir..... 48

Figure. II-15 : Implantation de PK-Weir au fond de canal (M4).....49

Figure. II-16 : L'écoulement sur le PK-Weir : cas (M4) (A : faibles charges ; B : moyennes charges).....49

Figure. II-17 : Coefficient de débit en fonction d'implantation de PK-weir..... 49

Figure. II-18 : Perte de charge en fonction de la charge totale sur PK-Weir.....50

Introduction Générale

INTRODUCTION GENIRALE

Le déversoir est un organe intégré à un aménagement hydraulique pour faire passer les crues exceptionnelles en toute sécurité, il est utilisé aussi pour la mesure ou le contrôle de débit et de la profondeur d'eau. Etant donné que la capacité d'évacuation de déversoir est directement proportionnelle à la longueur de la crête, plusieurs types de déversoirs ont été développés dans le but d'augmenter la longueur du seuil déversant pour une largeur donnée.

Une alternative aux déversoirs libres standards, qui a connu un développement important ces dernières décennies, correspond aux déversoirs non rectilignes. Le but principal de la configuration non rectiligne est d'augmenter la longueur de déversement tout en limitant l'emprise de l'ouvrage. Les deux principaux déversoirs non rectiligne sont la configuration labyrinthe et le déversoir en touches de piano, souvent appelés PK-Weir (Piano Key Weir)

Le Déversoir en Touches de Piano (PK-Weir) représente une alternative efficace pour la plupart des nouveaux barrages et peut augmenter à faible coût la capacité d'évacuation et/ou le stockage de plusieurs barrages existants. Cette nouvelle forme de déversoir non rectiligne se caractérise par des éléments de forme rectangulaire en plan, des porte-à-faux amont et aval, qui permettent d'avoir une longueur transversale de la crête plus longue que la base d'appui et un radier incliné des alvéoles.

Le PK-Weir peut-être installé dans un cours d'eau dans un but de surélever le plan d'eau pour le stockage partiel ou de réguler le niveau d'eau.

Dans le cas où le PK-Weir est installé au fil de l'eau, il est intéressant de vérifier les conditions de son implantation à travers le cours d'eau et leurs impacts sur le rendement du PK-Weir. Pour ce faire, une investigation expérimentale doit être réalisée.

Pour atteindre cet objectif, le présent travail a été scindé en deux parties. La première concerne une étude bibliographique qui donne un état de connaissance sur les déversoirs non rectilignes et en particulier le déversoir en touches de piano. Une seconde partie qui s'intéresse à l'expérimentation de quatre variantes d'installation du PK-Weir de faible hauteur à travers l'écoulement dans un canal.

Première Partie

Etude bibliographique

Premier Partie

ETUDE BIBLOGRPHIQUE

Etat de connaissance sur les évacuateurs de crues non rectilignes

1-1 Introduction :

Les déversoirs sont réalisés à travers les cours d'eau artificiels ou naturels et dans les retenues ou la limitation d'un débit ou d'un niveau d'eau doit être assurée. Ils sont également utilisés en combinaison avec des organes mobiles, en particulier les vannes et les clapets installés sur leurs crêtes. Etant donné que la capacité d'évacuation de déversoir est directement proportionnelle à la longueur de crête, plusieurs types ont été développés dans le but d'augmenter la longueur de ce type d'ouvrage

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

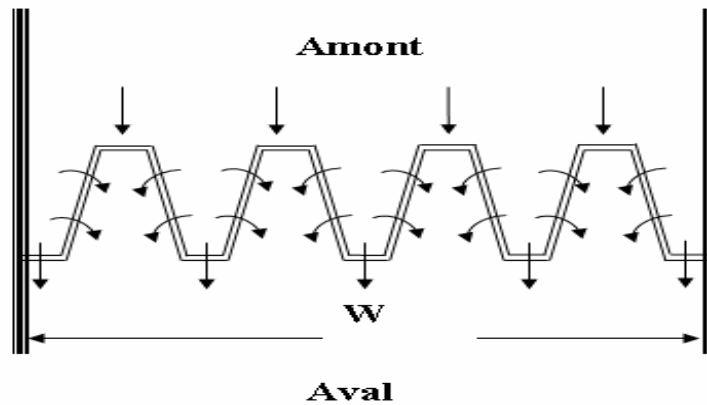
Les déversoirs rectilignes se distinguent par le type d'alignement de la crête qui est disposée sous forme d'une droite de longueur égale à la largeur de l'emprise du déversoir. Par contre, les déversoirs à crête non rectiligne sont caractérisés par un seuil déversant plus long que la largeur de l'emprise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

I-2 Généralités sur les évacuateurs de crue non rectiligne

Déversoir non rectilignes favorisent l'utilisation de ce type de déversoir lors de la conception de plusieurs nouveaux barrages.

Actuellement, à travers le monde plus de cents barrages ont été équipés par des déversoirs non rectilignes, leur fonctionnement a montré leur efficacité d'évacuation des crues par rapport aux autres types d'évacuateurs de crues.

Les déversoirs non rectilignes sont caractérisés par un axe de crête discontinu en plan, ce qui permet d'avoir une longueur de crête plus importante que la largeur de l'emprise du déversoir. L'objectif est d'augmenter le débit par unité de largeur du déversoir pour une charge de fonctionnement donnée



I.01 : Déversoirs non rectiligne

I.3 Différentes formes des déversoirs non rectilignes :

I.3.1 Déversoir en Labyrinthe :

Le déversoir en labyrinthe est caractérisé par une grande capacité d'évacuation de débit sous une charge relativement faible contrairement aux déversoirs rectilignes. Cet avantage inclut le faible coût d'exécution et de maintenance en comparaison avec les déversoirs rectilignes et une exploitation plus fiable comparée à celle des déversoirs vannés. Bien que le déversoir en labyrinthe ait une large application pour les barrages en terre, sa conception pour les barrages poids reste un inconvénient.

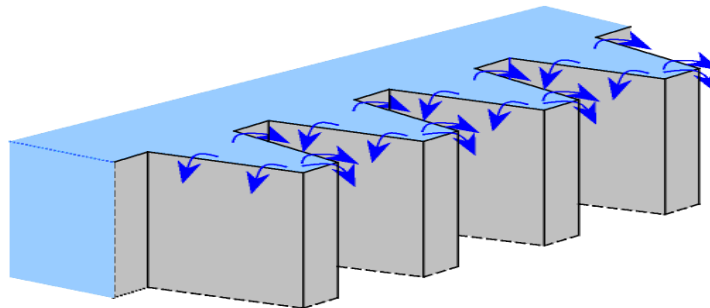


Figure I.02 : Vue en perspective d'un déversoir labyrinthe.

D'autre par le déversoir en labyrinthe est constitué d'une répétition de cycles ou modules de forme polygonale en plan (symétriques trapézoïdales, triangulaires, rectangulaires, curvilignes)

La conception de déversoir en labyrinthe se base essentiellement sur la modification de l'alignement de la crête de la forme rectiligne à la forme d'alignement non rectiligne sous forme de lignes discontinues

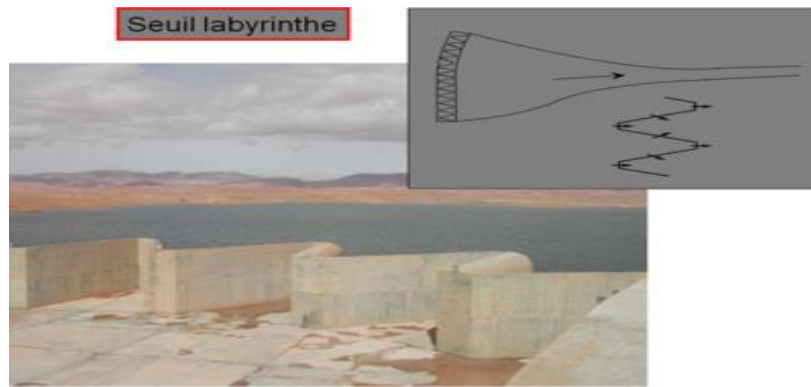


Figure 1.03 : déversoir labyrinthe du barrage fontaine des gazelles(Algérie)

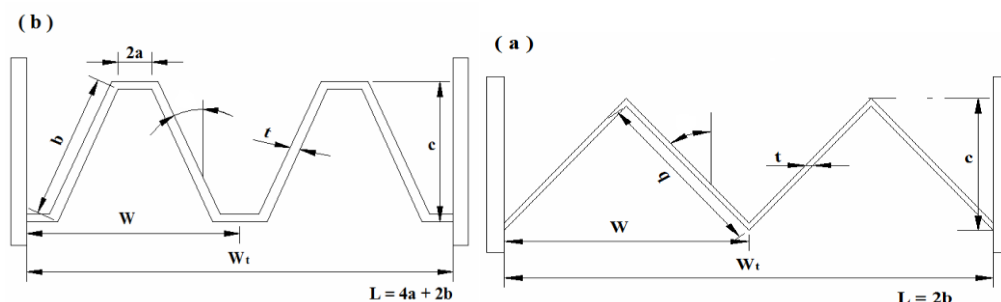
Ce type de déversoir représente une structure idéale pour faire passer des fortes crues à des charges comparativement faibles. Il est souvent utilisé lorsque la largeur de l'emprise est limitée dans les conditions de charge maximale réduite. Ce type de déversoir permet d'augmenter la longueur de la crête du déversoir. De ce fait, la capacité de débit en est augmentée

I.3-1-1 Géométrie du déversoir en labyrinthe :

Les seuils de déversoir en labyrinthes sont en général des murs verticaux assez minces en béton armé épousant en plan une forme polygonale régulière et symétrique, les alvéoles d'entrée et de sortie étant identiques (Lempérière. 2000).

Les variations des formes en plan du déversoir en labyrinthe sont possibles, les formes les plus répondues sont les formes symétriques trapézoïdales, triangulaires, rectangulaires, curvilignes ou la combinaison de deux de ces formes.

Cependant, la forme trapézoïdale symétrique est considérée comme la forme la plus avantageuse à cause des facilités de construction et de sa performance hydraulique.



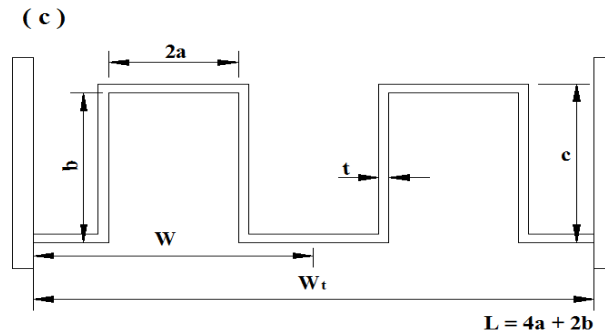


Figure I.04 : Forme en plan du déversoir en labyrinthe (a) - triangulaire, (b) - trapézoïdale (c) - rectangulaire

Pour un développement de la longueur donné, l'angle α varie de zéro pour une forme rectangulaire en plan à une valeur maximale pour une forme triangulaire.

- La longueur et la largeur par cycle sont souvent combinées pour donner l'accroissement de la longueur L/W .

- La géométrie verticale du déversoir en labyrinthe est généralement exprimée par le rapport de l'aspect vertical W/P . Souvent,

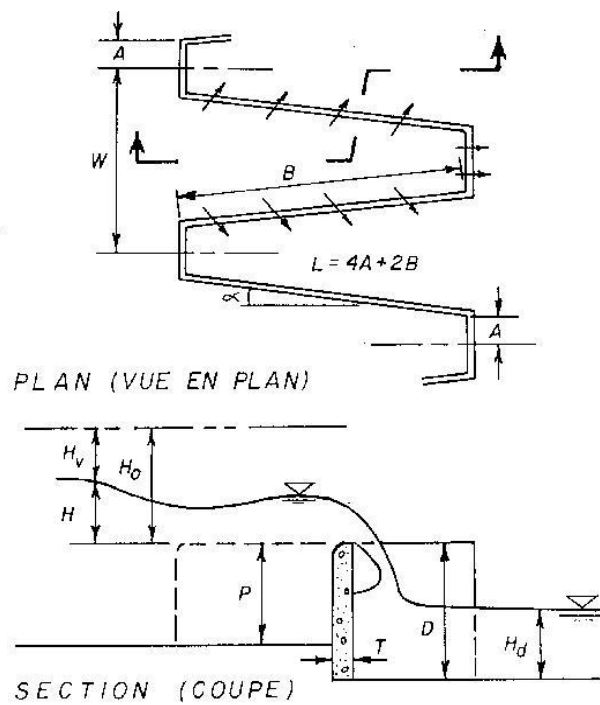


Figure I.05 : Définition des paramètres du déversoir en labyrinthe (Lux et al. 1984).

- α : Angle du mur ;
- A : Demi-longueur des parois frontales ;
- W : Largeur de cycle ;
- B : Longueur du latéral ;
- L : Longueur d'un cycle de crête ;
- P : Hauteur amont des parois ;
- T : Epaisseur du mur ;
- D : Hauteur aval des parois ;
- H_0 : Charge total de chute ;
- H_v : Charge cinétique d'approche en amont ;

I.3.1.2 Description de l'écoulement sur un déversoir en labyrinthe :

L'écoulement sur un déversoir en labyrinthe est compliquée et ne peut être expliqué qu'en termes de la charge locale présentée dans les alvéoles en amont, parce que le débit qui passe sur un déversoir augmente en fonction de la longueur de la crête et l'efficacité du déversoir n'est vérifiée que pour les faibles charges (Hay et Taylor, 1970). . Par exemple, un accroissement de trois fois doit permettre le passage d'un débit trois fois plus grand.

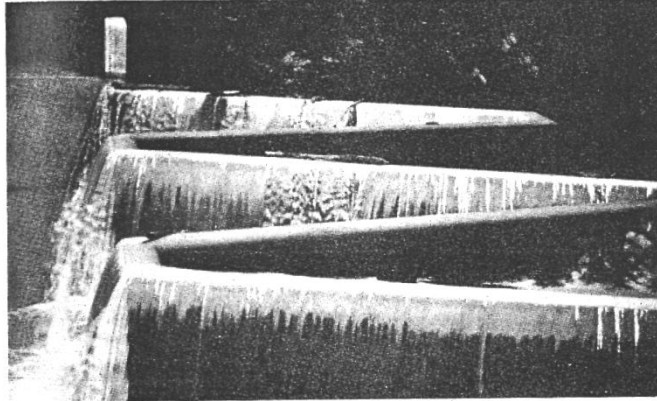


Figure. I.06 : Déversoir en labyrinthe - Barrage de Mercer, U.S.A (Hinchliff, 1985).

L'écoulement sur un déversoir en labyrinthe passe par quatre phases fondamentales successives. Ces phases sont complètement aérées, partiellement aéré, de transition, et déprimée.

a- Phase complètement aérée :

L'écoulement s'amorce sous de très faibles charges en amont dont l'eau tombe librement sur toute la longueur de la crête du labyrinthe cette phase se caractérise par un écoulement complètement aérée, l'écoulement se caractérise par une mince épaisseur de la lame déversant et une profondeur d'eau en aval qui n'affecte pas la capacité d'évacuation du déversoir.

b- Phase partiellement aérée :

Cette phase se caractérise par le début d'interférence de la lame déversant, il en résulte ainsi une réduction du coefficient du débit. Le début d'interférence de la nappe déversant engendre un écoulement déprimé au niveau de la partie amont de la crête du déversoir, ceci définit le début de la phase partiellement aérée. Une poche d'air stable est formée le long de chaque paroi latérale et la crête aval du labyrinthe.

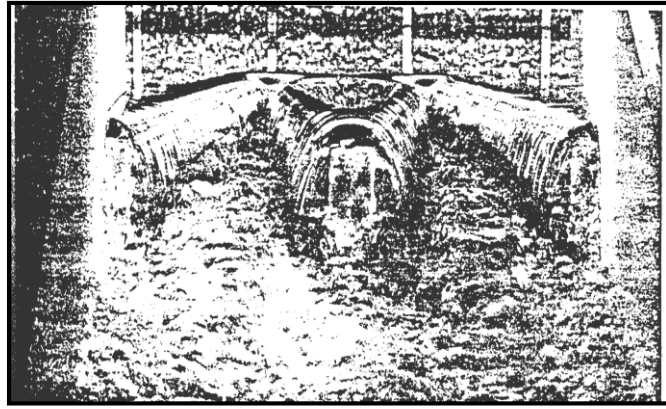


Figure I.07 : Condition d'écoulement moyen du labyrinthe (Hinchliff 1984).

c- Phase de transition

La phase de transition est caractérisée par une lame alternée entre l'entraînement intermittent de l'air et l'écoulement ferme. Visuellement, il est difficile de faire la différence entre les phases partiellement aérées et de transition, mais la zone de transition peut être identifiée facilement comme une discontinuité dans la courbe du coefficient du débit.

d- Phase déprimée

Cette dernière phase de l'écoulement aboutit finalement à la submersion complète du déversoir en labyrinthe, en limitant son efficacité. La submersion complète du labyrinthe se produit habituellement quand la profondeur d'eau sur la crête est plus grande que la hauteur du labyrinthe.

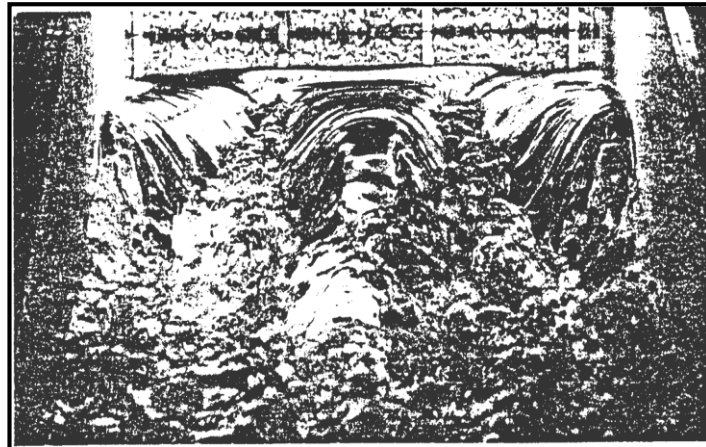


Figure I.08 : Condition de l'écoulement élevé du labyrinthe.

I.3.1.3 Effet des paramètres géométriques sur la performance :

La performance exprime le rendement du déversoir en labyrinthe par rapport au déversoir rectiligne. Elle peut être mieux présentée en termes du déversoir rectiligne défini comme le déversoir de référence occupant la même largeur du canal que le déversoir en labyrinthe.

La première analyse de la performance hydraulique d'un déversoir en labyrinthe est attribuée à Hay et Taylor (1970). Elle est considérée comme une base de conception des déversoirs en labyrinthe. La performance ou le rendement d'un déversoir en labyrinthe pour une géométrie donnée en plan peut être exprimé par :

$$q = Q_L/Q_N \dots\dots\dots (I-01)$$

Ou : Q_L , le débit qui transite sur un déversoir en labyrinthe de longueur de crête L , sous une charge H et Q_N , le débit qui passe sur un déversoir rectiligne de même largeur W que le déversoir en labyrinthe et sous la même charge H .

Le rendement Q_L/Q_N approche la grandeur de l'accroissement de la longueur L/W lorsque la charge H s'approche de zéro, pour des déversoirs en labyrinthe avec une largeur de cycle supérieure à $2,5P$. Réciproquement, la performance diminue quand la charge sur le déversoir augmente. Ceci montre que ce type de déversoir fonctionne efficacement à des faibles charges.

$$q = Q_L/Q_N \approx L/W \text{ quand } H \rightarrow 0 \dots\dots\dots (I-02)$$

L'objectif du déversoir en labyrinthe est l'accroissement du débit au-delà de celui du déversoir rectiligne, Ainsi, la performance correspond au rapport Q_L/Q_N . La performance du déversoir en labyrinthe Q_L/Q_N est dépendante des paramètres sans dimensions suivants : W/P , L/W , H/P , α et n . Ces paramètres dérivent directement de la géométrie du déversoir et de la charge d'exploitation, ils sont donc d'importance principale

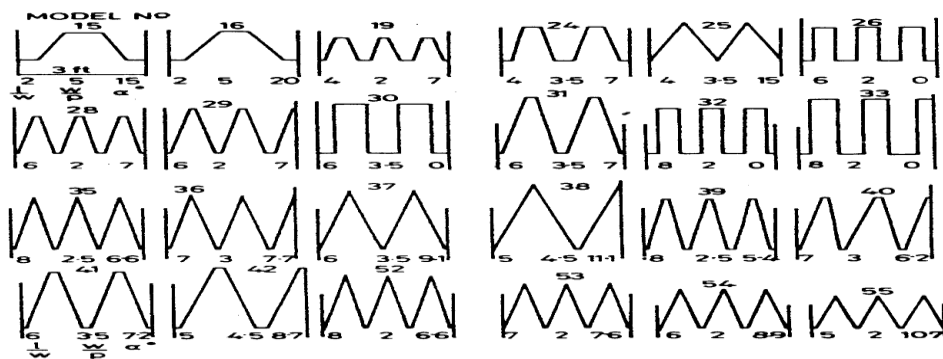


Figure I.09 : Géométrie des déversoirs en labyrinthe étudiés par Hay et Taylor (1970)

➤ Charge relative h/P

Généralement la performance de déversoir en labyrinthe est exprimée en fonction du rapport adimensionnel h/P , les résultats d'essai expérimentaux effectués par Hay et Taylor ont montré que pour les petites valeurs de h/P , le débit est faible et la vitesse de l'écoulement est négligeable. La charge est la même en chaque point le long de la crête, et elle est sensiblement égale à la charge dans le canal d'approche. Dans telles conditions, le débit par unité de longueur de la crête est le même le long du seuil de déversoir et peut être calculé par la formule de déversoir standard en employant la charge dans le canal d'approche. Ainsi, pour les petites valeurs de h/P la performance du déversoir en labyrinthe tend vers l'idéal

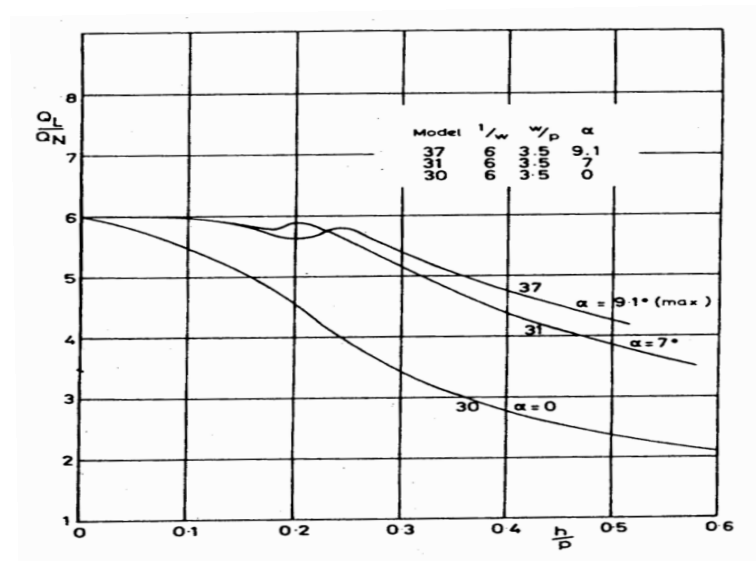


Figure I.10 : Courbes de performance, en fonction de la charge relative (Hay et Taylor, 1970)

➤ Accroissement de la longueur L/W

L'accroissement de la longueur du seuil d'un déversoir en labyrinthe augmente remarquablement le débit évacué, ceci n'est pas toujours vrai, pour les grande valeurs, il aboutit à une performance inférieure, en outre, le petit gain dans la performance obtenue quand $L/W > 8$ est peu probable qu'il justifie en pratique les dépenses structurelles supplémentaires impliquées. Cependant, l'étude des déversoirs dont d'accroissement de la longueur $L/W = 2$ a montré que ces derniers se sont comportés presque idéalement pour toute la gamme des valeurs de h/P .

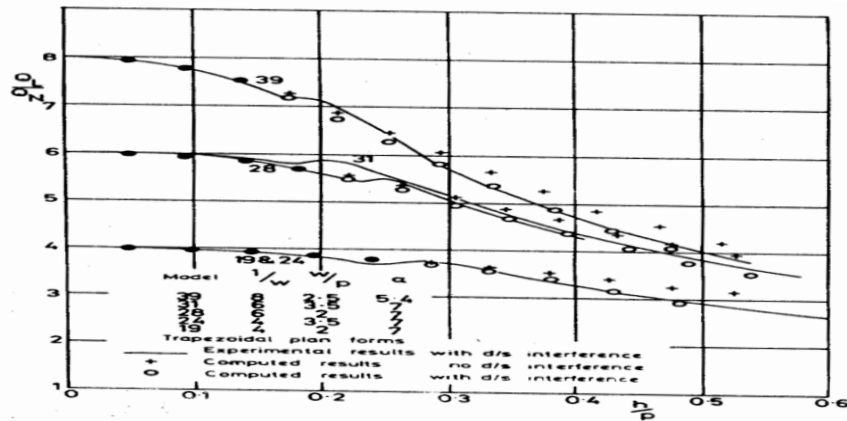


Figure 1.11 : Courbes de performance en fonction des paramètres géométriques adimensionnels

➤ Rapport d'aspect vertical W/P

La performance hydraulique du labyrinthe a été considérée par Hay et Taylor comme indépendante du rapport de l'aspect vertical W/P . Cependant, selon la littérature, ce paramètre est fortement significatif quand il est de faibles valeurs.

La variation de W/P varie réellement la taille des cycles de déversoir par rapport à la charge, ainsi, lorsque W/P diminue, la taille de cycle devient petite par rapport à la charge. Dans la limite lorsque W/P tend vers zéro, la forme en plan devient une ondulation infime en comparaison avec la charge, Ainsi, la performance approche celle d'un déversoir rectiligne

➤ Impact du nombre de cycles

Souvent le déversoir en labyrinthe est composé de plusieurs cycles de même configuration géométrique, ainsi il était important de vérifier l'effet du nombre de cycles sur la performance hydraulique. A cet effet, des modèles de déversoirs en labyrinthe identiques qui ne diffèrent que par le nombre de cycles ont été testés par Hay et Taylor, les résultats ont montré qu'aucun changement significatif de la performance n'a été détecté. Ceci montre que la performance de déversoir en labyrinthe est indépendante du nombre de cycles n .

➤ Impact de niveau d'eau aval h_d/P

Le déversoir en labyrinthe est considéré comme noyé quand la profondeur d'écoulement en aval du déversoir dépasse la hauteur de la crête, le degré de noyade est déterminé par le paramètre h_d/P , dans lequel h_d est la profondeur d'eau aval.

Selon l'étude effectuée par Hay (1970), la performance du déversoir en labyrinthe n'est affectée par le niveau d'eau aval que si ce dernier dépasse le niveau de la crête du déversoir.

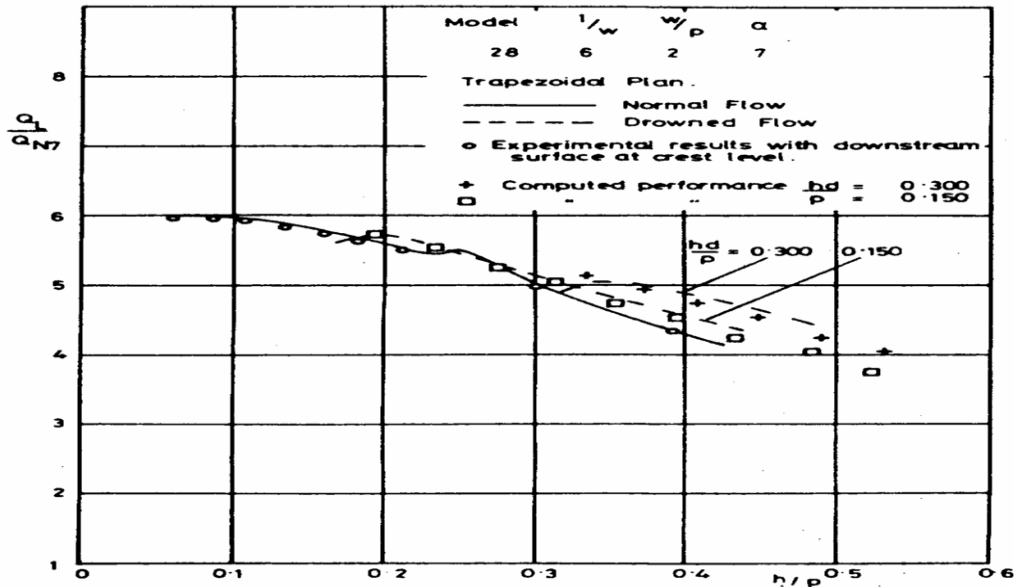


Figure I-12 : Effet de la noyade sur la performance

I.3.1.4 Analyse numérique du débit du déversoir en labyrinthe :

La plupart des travaux effectués sur les déversoirs en labyrinthe se sont intéressés particulièrement à l'évaluation de la capacité hydraulique qui est souvent exprimée par le coefficient de débit. La première analyse numérique de débit du déversoir en labyrinthe est attribuée à Lux et Hinchliff (1984), qui considèrent 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 l'expression de la fonction du débit correspond à la combinaison d'analyse dimensionnelle et expérimentale. Pour simplifier cette analyse, l'échelle des modèles et les vitesses ont été supposées être d'une grandeur suffisante et 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 .

La combinaison d'analyse dimensionnelle et expérimentale a permis de représenter le débit en fonction des différents paramètres géométriques et d'écoulement sous la forme suivante :

$$Q = f(L, A, W, P, D, T, R, H_o, H_d, g) \dots \dots \dots (I.03)$$

Les formes en plan du labyrinthe peuvent être définies en utilisant seulement la longueur de la crête L , la largeur du cycle W , et la demi-longueur de la paroi frontale A .

Pour former les rapports adimensionnels, il y a deux variables indépendantes ; les deux contiennent les dimensions de longueur et/ou de temps, et les paramètres utilisés sont l'accélération de la pesanteur, g , et la charge totale, H_o .

En utilisant des techniques d'analyse dimensionnelle, l'équation (I.03), peut être exprimée par des paramètres adimensionnels :

$$\frac{Q}{WHo\sqrt{gHo}} = f\left[\frac{L}{W}, \frac{A}{W}, \frac{W}{P}, \frac{D}{P}, \frac{T}{P}, \frac{R}{P}, \frac{Ho}{P}, \frac{H_d}{P}\right] \dots\dots\dots(I.04)$$

Le rapport dépendant dans l'équation (I.04) peut être reconnu comme une forme du coefficient du débit. Donc, l'équation (I.04) peut être réécrite comme suit :

$$Q = CWHo\sqrt{gHo} \dots\dots\dots(I.05)$$

Ou

$$C = f\left[\frac{L}{W}, \frac{A}{W}, \frac{W}{P}, \frac{D}{P}, \frac{T}{P}, \frac{R}{P}, \frac{H_0}{P}, \frac{H_d}{P}\right] \dots\dots\dots(I.06)$$

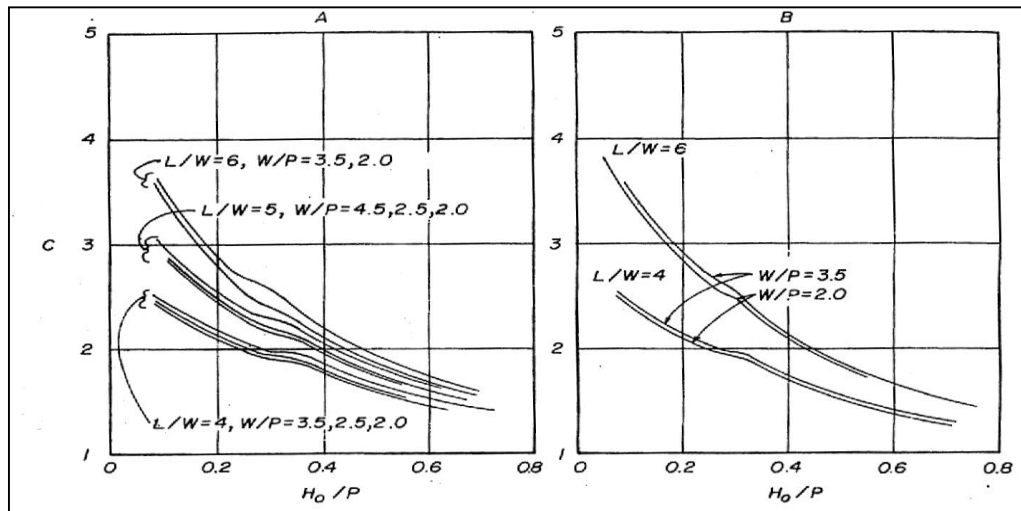


Figure I.13 : Coefficients de débit en fonction de L/W et W/P (Hinchliff, 1984)
A- Triangulaire, B- Trapézoïdale

La méthode proposée par Tullis pour la conception du déversoir en labyrinthe utilise l'équation de base développée pour les déversoirs rectilignes.

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H_t^{3/2} \dots\dots\dots(I.07)$$

Cd = coefficient de débit; g = accélération de pesanteur; L = longueur efficace du déversoir; Ht= la charge totale sur la crête. La charge totale considérée est égale à la profondeur d'eau mesurée au-dessus de la crête ajoutée à la charge cinétique de la vitesse d'approche de l'écoulement au point de mesure. Le coefficient de débit est dépendant de la hauteur du déversoir P, de l'épaisseur des parois, de la configuration de la crête, et de l'aération de la nappe. Pour un déversoir en labyrinthe, la longueur efficace utilisée dans l'équation (I.07) est définie dans la(Figure I.14).

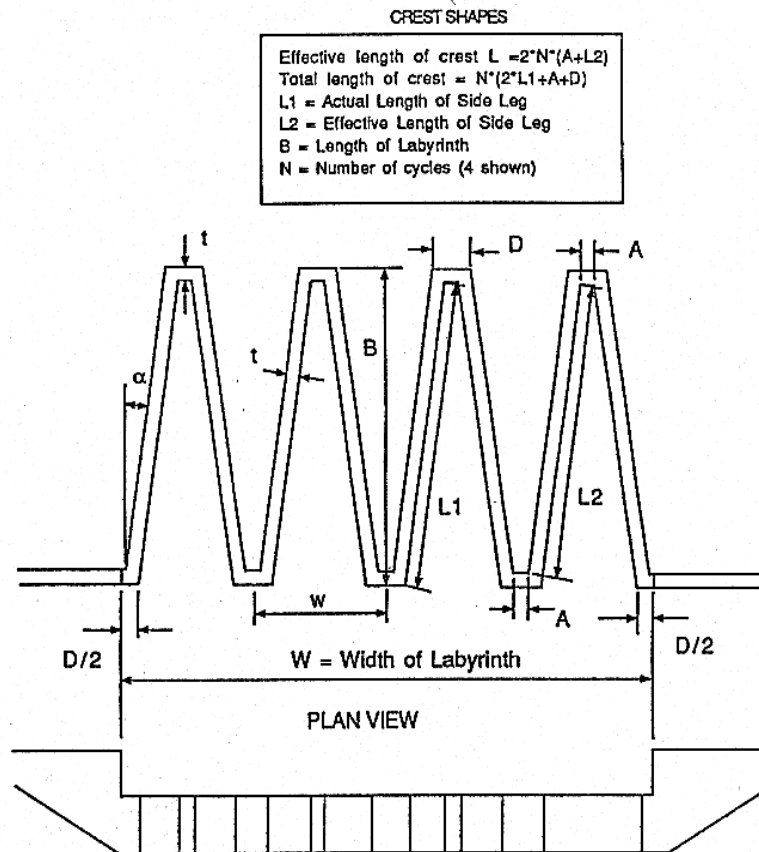


Figure I.14 : Disposition et détails du déversoir en labyrinthe (Tullis, 1995)

$$L = n (2L_1 + A + D) \dots \dots \dots (I.08)$$

n : Nombre de cycle ;

L_1 : Longueur d'une paroi latérale ;

A : Largeur de la paroi frontale aval ;

D : Largeur de la paroi frontale amont.

Pour déterminer la variation du coefficient de débit des déversoirs en labyrinthe, plusieurs modèles de déversoirs ont été testés pour des angles qui varient de 6° à 90° . La plus part des déversoirs avaient une hauteur de 152 mm et d'épaisseur 25.4 mm avec des formes de crête arrondies en quart de cercle et en demi-cercle.

Les différents résultats des travaux de recherche effectués dans le domaine des déversoirs en labyrinthe montrent que l'accroissement de coefficient de débit est plus intéressant lorsque la charge relative H/P est inférieure à 0,9. Par ce que quand la charge de fonctionnement augmente le coefficient de débit diminue et le déversoir en labyrinthe approche d'un déversoir rectiligne et le déversoir en labyrinthe peut encore fonctionner à des grandes charges mais l'avantage de la conception du labyrinthe continue à diminuer lorsque la charge continue à augmenter. La dernière décision sera basée sur le critère économique.

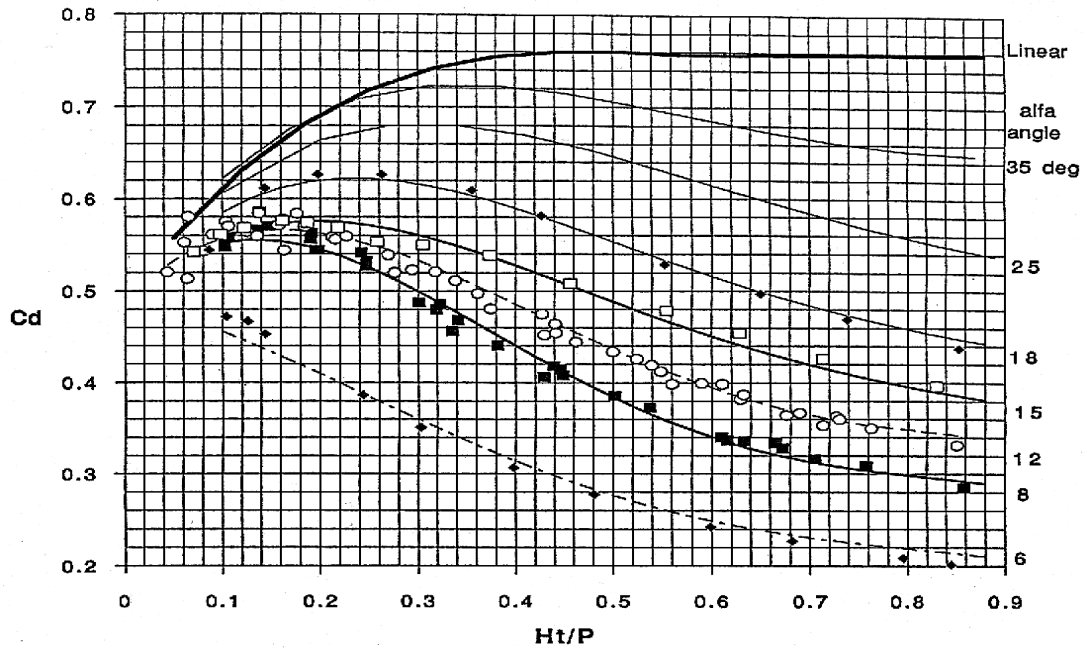


Figure I.15 : Coefficient de la crête pour le déversoir rectiligne

Pour déterminer le débit qui transite par un déversoir en labyrinthe, Tullis propose les équations (I.09) à (I.16) qui sont dépendante seulement du paramètre H_t/P .

Les équations sont valables pour une largeur de la paroi frontale comprise entre $t < A < 2t$; pour $H/P < 0.9$ et $t = P/6$; la forme de la crête est en quart de cercle (sur le côté amont); et le rayon de courbure de la crête $R = P/12$.

Tableau-(01) expressions du coefficient de débit pour un déversoir labyrinthe suivant l'angle α

$C_d = 0.49 - 0.24 (H_t/P) - 1.20 (H_t/P)^2 + 2.17 (H_t/P)^3 - 1.03 (H_t/P)^4;$	$\alpha = 6^\circ$	(I.09)
$C_d = 0.49 + 1.08 (H_t/P) - 5.27 (H_t/P)^2 + 6.79 (H_t/P)^3 - 2.83 (H_t/P)^4$	$\alpha = 8^\circ$	(I.10)
$C_d = 0.49 + 1.06 (H_t/P) - 4.43 (H_t/P)^2 + 5.18 (H_t/P)^3 - 1.97 (H_t/P)^4$	$\alpha = 12^\circ$	(I.11)
$C_d = 0.49 + 1.00 (H_t/P) - 3.57 (H_t/P)^2 + 3.82 (H_t/P)^3 - 1.38 (H_t/P)^4$	$\alpha = 15^\circ$	(I.12)
$C_d = 0.49 + 1.32 (H_t/P) - 4.13 (H_t/P)^2 + 4.24 (H_t/P)^3 - 1.50 (H_t/P)^4$	$\alpha = 18^\circ$	(I.13)
$C_d = 0.49 + 1.51 (H_t/P) - 3.83 (H_t/P)^2 + 3.40 (H_t/P)^3 - 1.05 (H_t/P)^4$	$\alpha = 25^\circ$	(I.14)
$C_d = 0.49 + 1.51 (H_t/P) - 3.83 (H_t/P)^2 + 3.40 (H_t/P)^3 - 1.05 (H_t/P)^4$	$\alpha = 35^\circ$	(I.15)
$C_d = 0.49 + 1.46 (H_t/P) - 2.56 (H_t/P)^2 + 1.44 (H_t/P)^3$	$H_t/P < 0.7$ et $\alpha = 90^\circ$	(I.16)

I.3.1.5 Effet de la noyade sur l'écoulement des déversoirs en Labyrinthe

Le déversoir en labyrinthe peut être affecté par la noyade si le niveau aval est proche de la hauteur du déversoir, ce qui est le cas quand le déversoir est utilisé comme régulateur de niveau dans les cours d'eau naturels. Le déversoir en labyrinthe est considéré comme noyé quand la profondeur d'écoulement en aval du déversoir dépasse la hauteur de la crête, le degré de noyade est déterminé par le paramètre H_d/P , dans lequel H_d est la charge d'eau total en aval dans les conditions d'écoulement noyé. Selon l'étude effectuée par Hay (1970), la performance du déversoir en labyrinthe n'est affectée par le niveau d'eau aval que si ce dernier dépasse le niveau de la crête du déversoir.

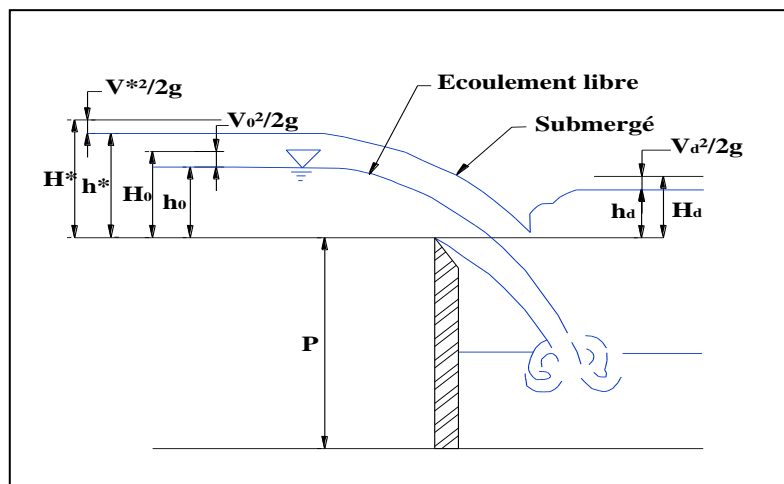


Figure I.16 : Paramètres et nomenclature du déversoir à écoulement libre et noyé (Tullis, 2006)

Pour déterminer l'effet de la noyade sur la performance d'un déversoir en labyrinthe, Tullis(2006) a expérimenté trois déversoirs en labyrinthe de géométrie différente et un déversoir rectiligne à crête mince, dans le but de procéder à une comparaison avec les travaux antérieurs. La géométrie du labyrinthe a été déterminée en variant l'angle (α) compris entre chaque mur latéral et la direction de l'écoulement, tout en gardant une largeur de cycle constante. Les déversoirs en labyrinthe testés avaient des angles de mur latéral de 7° , 8° et 20° , avec des longueurs de crête (L) respectivement, de 7.97 m, 7.03 m et 3.07m. Tous les autres paramètres géométriques des trois déversoirs testés ont été gardé constants.

Les essais ont été menés dans un canal rectangulaire de 1.22m de large et 0.91m de profondeur avec une longueur de 7.3m. La figure (I.17) montre un déversoir en labyrinthe à deux cycles similaires aux déversoirs expérimentés par Tullis. Le déversoir rectiligne à crête mince est de hauteur 0.32m, a été installé dans un canal rectangulaire ayant une largeur de 0.91 m et 0.61 m de profondeur et de longueur 7.3m de long.

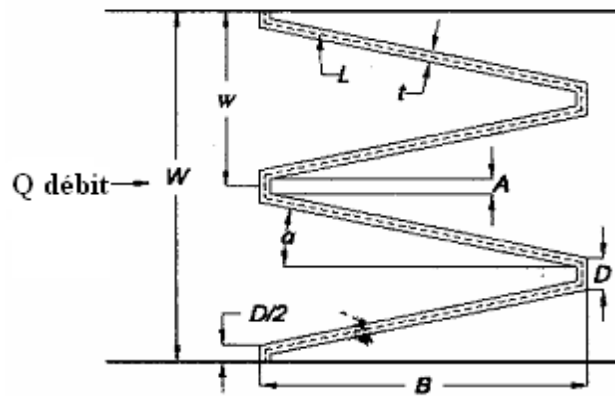


Figure I.17 : Paramètres géométriques typiques pour les déversoirs en labyrinthe.

Les résultats expérimentaux obtenus sur le déversoir rectiligne noyé ont montré ; quand le rapport adimensionnel H_d/H_o ou le niveau de noyade tend vers zéro, le niveau d'eau aval s'approche de niveau de crête de déversoir et la charge amont noyé approche la condition d'écoulement libre (c'est-à-dire, $H^*/H_o = 1$). Par contre, si le niveau de submersion H_d/H_o , augmente, la valeur de H^*/H_o s'approche asymptotiquement de la ligne angulaire 45° (Figure I.18), ainsi, la charge amont H^* sera égale à la charge aval H_d et le déversoir noyé ne fonctionnera plus comme un organe de contrôle.

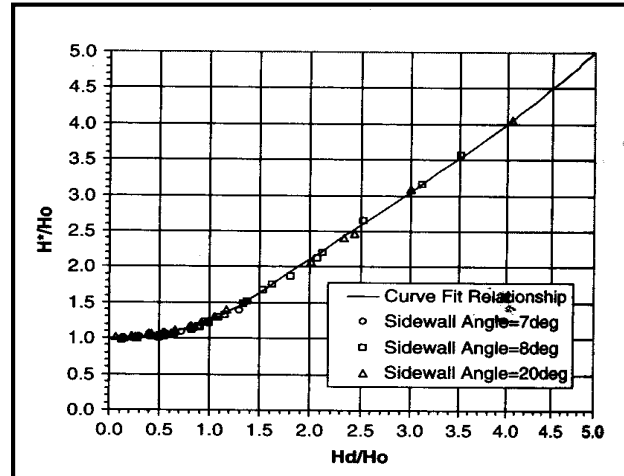


Figure. I.18 : Rapport sans dimensions décrivant l'influence de la noyade sur le niveau à l'amont du déversoir rectiligne (Tullis, 2006)

I.3-2 Déversoir en labyrinthe hausses fusibles

I-3-2-1 Définition

Le déversoir en labyrinthe fusible ou déversoir en hausses fusibles ont été inventés en 1989 par François Lempérière. 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.

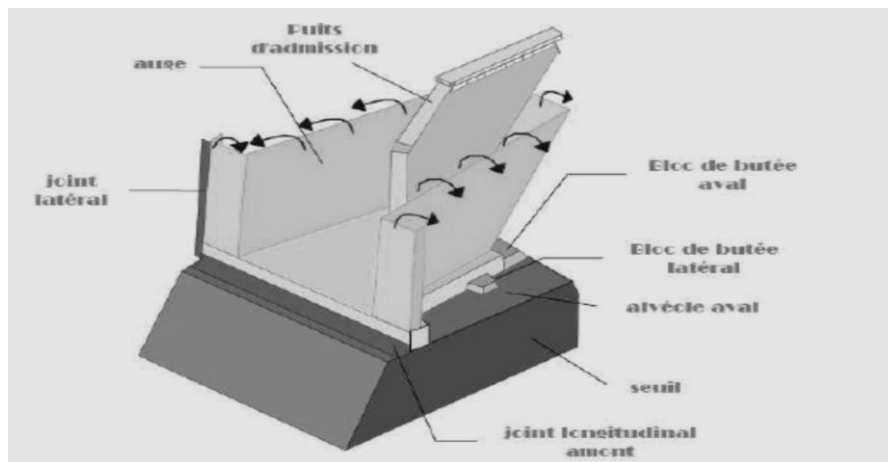
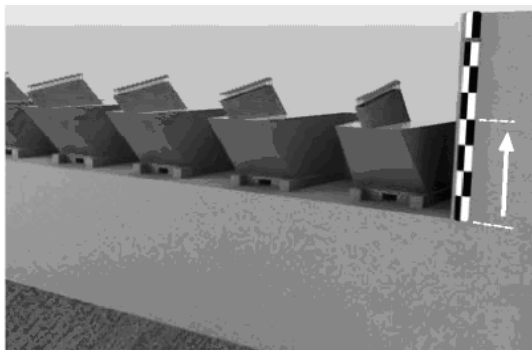


Figure I.19 : Schéma des hausses fusibles

Ce dispositif est composé par des éléments sous forme de vannes, chacune d'elles se compose de trois parties fondamentales, un godet fabriqué en métal ou en béton armé, une base et un puits d'admission qui est connectée à une chambre dans la base. (Figure I.19).

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.20. Les joints sont seulement attachés à une des deux hausses adjacentes (Degoutte 1992).



B)- Déversoir en hausses fusible



A)- Déversoir d'origine

Figure I. 20: Disposition des hausses fusibles

Les hausses fusibles peuvent augmenter la capacité de déversoir et le stockage de réservoir. 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.

I.3.2.2 Principe de fonctionnement des hausses fusibles :

Les hausses fusibles sont constituées par une série d'éléments indépendants, Le principe des hausses fusibles consiste à obstruer le seuil sur une hauteur de l'ordre de 1 à 3 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. Les éléments de rehausse fonctionnent comme un barrage, un déversoir, ou un fusible.

a) En condition normale, les hausses fusibles se comportent comme un rideau étanche permettant le stockage de l'eau jusqu'à leur crête. 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.

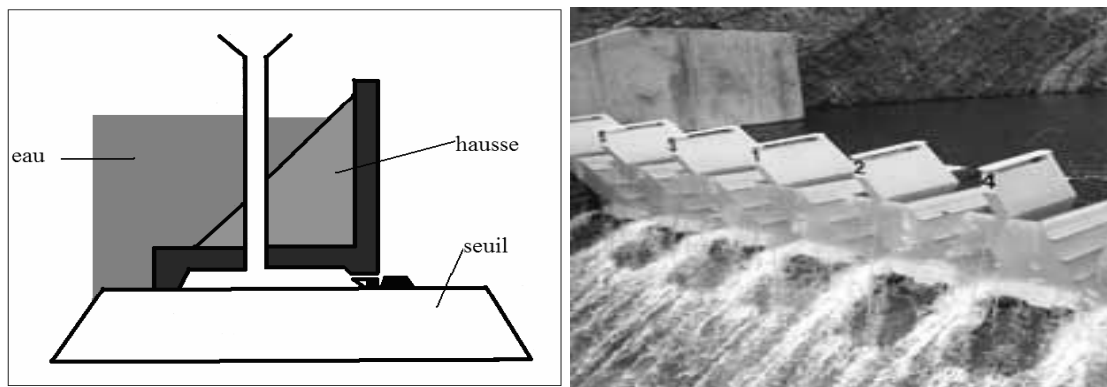


Figure I-21: Hausse fusible fonctionne comme un barrage

b) Lorsque le niveau de l'eau s'élève au-dessus de la cote du seuil des hausses, celle-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.

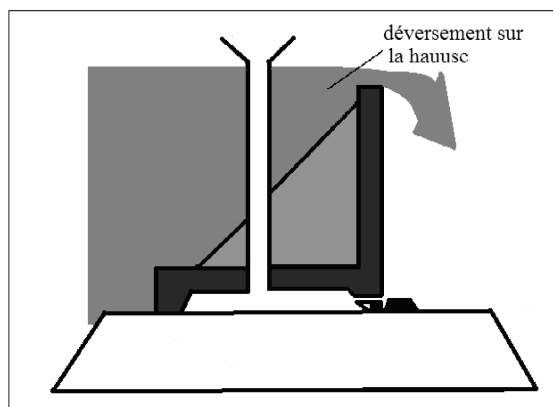


Figure I.22: Hausse fusible fonctionne comme un déversoir.

c) En cas de forte crue, au-delà d'une choisi, 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.

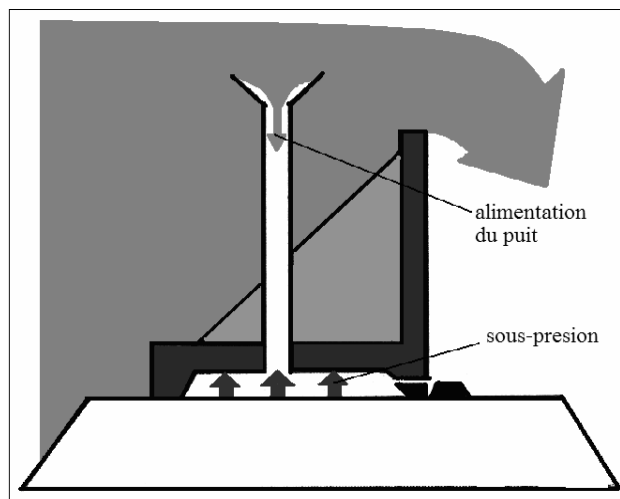


Figure I.23: Alimentation de la chambre de mise en pression.

d) 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.

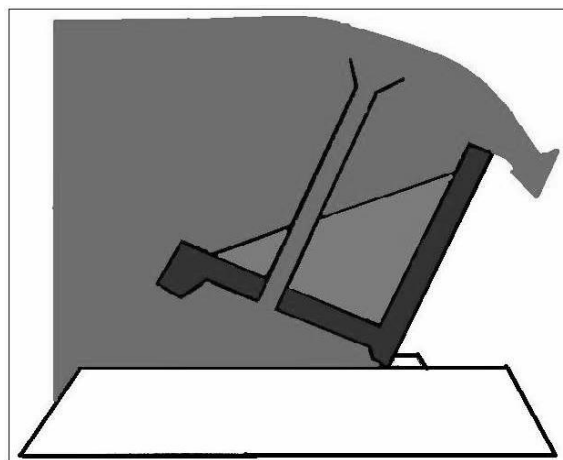


Figure I.24 : L'eau bascule la hausse.

Le fait que la hausse fusible soit simplement posée sur le seuil amène à s’interroger sur la stabilité du module sous l’effet d’actions de forces exceptionnelles (notamment glace et séisme). Le regroupement des puits dans une tour de prise constitue une façon intéressante d’accroître la précision de fonctionnement des hausses fusibles tout en réduisant l’impact des corps flottant sur le bon fonctionnement du système.

I.3.2.3 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 évaluées 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 (1960) comme :

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_c \sqrt{2g} h^{3/2} \dots\dots\dots(I.17)$$

Ou :

Q = débit; g = accélération de l'apesanteur Lc = 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, 1995).

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 :

$$C_d = C_1 \left(\frac{h}{H} C_2 \right)^{C_3} \dots\dots\dots(I.18)$$

Ou

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 superficiel qui devient négligeable quand la profondeur d’écoulement 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.

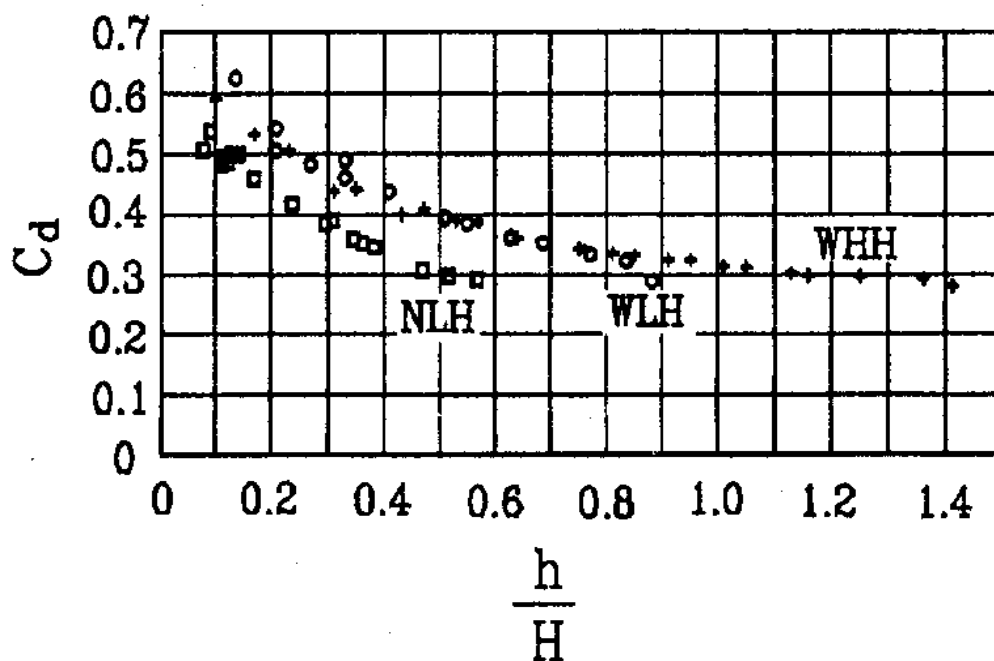


Figure I.25 : Courbe des coefficients de débit obtenu expérimentalement (Falvey, 1995)

I.3.3 Déversoirs en touches de Piano (PK-Weir)

I.3.3.1 Définition :

Le déversoir en touche de piano (PK-Weir) représente une solution efficace pour l'accroissement de la capacité de stockage et/ou la capacité d'évacuation des crues de la plupart des barrages existants. Il peut être une solution économique pour les évacuateurs de crues des nouveaux barrages. Il représente une nouvelle forme de déversoir non rectiligne il a été développé par Hydrocoop-France (F. Lempérière) et le Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement de l'Université de BISKRA (ALGERIE).

(A. Ouamane).(2003).

Ce nouveau type de déversoir a l'avantage d'être appliqué aux barrages en terre et sur des sections réduites de barrages poids existants ou nouveaux. Le PK-Weir permet l'évacuation des débits spécifiques jusqu'à 100 m³/s/m, en multipliant au moins par trois le débit d'un déversoir Creager, sa construction est simple et facile et peut être réalisé par des ressources locales de chaque pays. Le PK-Weir réduira considérablement le coût de la plupart des nouveaux barrages et permettra l'amélioration à la fois, de la capacité d'évacuation de l'évacuateur de crues et la capacité de stockage de la retenue des barrages existant.



Figure I.26 : déversoir en touche de Piano (PK -Weir)(Barrage Goulours)

I.3.3.2 Configuration géométrique du PK-Weir

Le déversoir en touche de piano tire son nom de sa géométrie particulière, alternance d'alvéoles amont et aval, rappelant la configuration d'un clavier de piano. Ces alvéoles sont de forme rectangulaire afin de simplifier la géométrie de l'ouvrage. Sur la base des essais préliminaires sur des modèles réduits physiques la forme géométrique du PK-Weir a été définie par :

La largeur total du déversoir (Wt), les hauteurs amont et aval (Po et Pi), les largeurs des alvéoles amont et aval (Wi et Wo), la largeur de cycle (Wu), les longueurs des porte-à-faux amont et aval (Bi et Bo), la largeur de la base (Bb), la longueur d'une paroi latérale ($B = Bi + Bo + Bb$), les pentes des alvéoles amont et aval (Si et So), l'épaisseur de la crête (t), le nombre de cycle (n) et la longueur totale du PK-Weir ($L = nB + n(Wi+Wo)$) (Figure I-27).

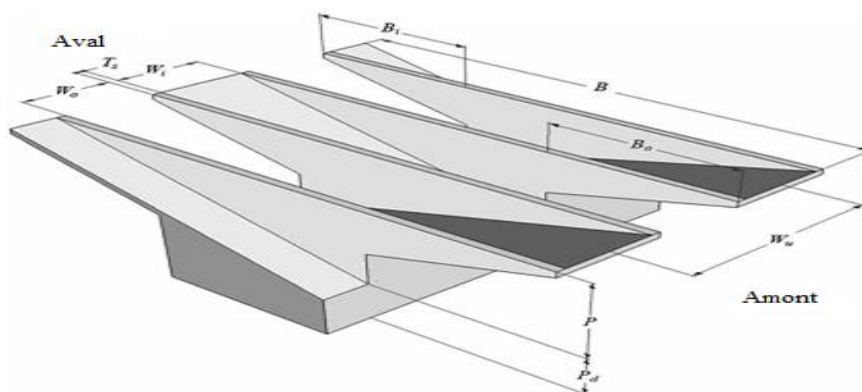


Figure I.27 : Schéma d'un élément du déversoir en clefs de Piano (PK-Weir)

La variation de la forme en plan du déversoir est possible, cependant, la forme la plus avantageuse de point de vue facilité de construction correspond à la forme symétrique rectangulaire en plan.

Selon le travail de Lempérière et Ouamane (2003), deux types de PK-Weir ont été définis, type A avec deux porte-à-faux en amont et en aval et le deuxième type B avec uniquement des porte-à-faux en amont, ceci 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.

1)- PK-Weir Type A :

Les porte-à-faux amont et aval sont identiques, ceci favorise l'utilisation des éléments préfabriqués en béton armé qui peuvent être utilisés pour des débits spécifiques jusqu'à $20 \text{ m}^3/\text{s/ml}$.

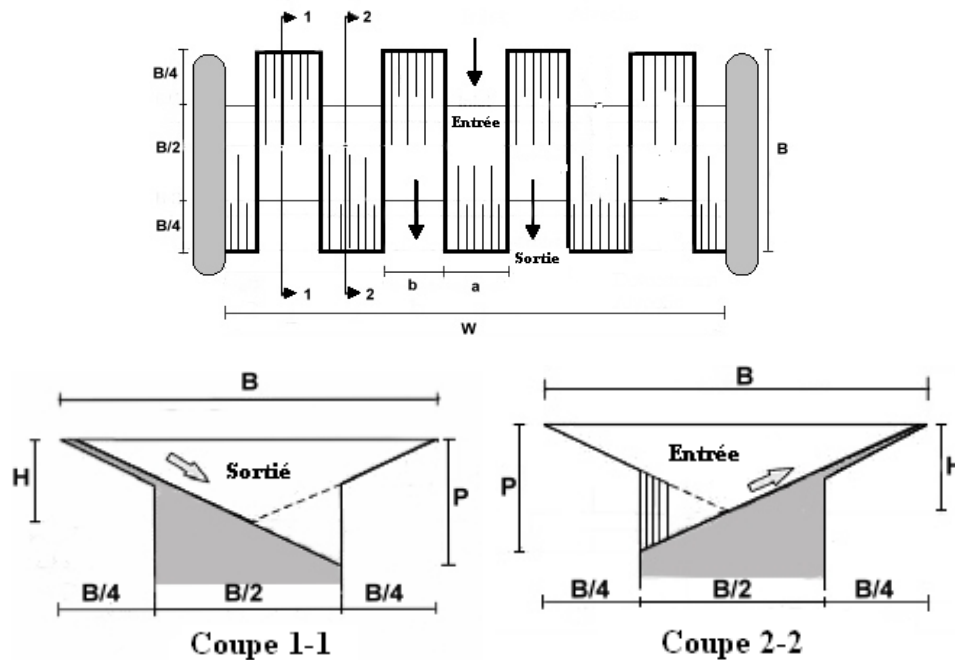


Figure I.28: PK-Weir de type A

Ce type de PK-Weir peut être une solution pour l'amélioration de la capacité des retenues et/ou la capacité d'évacuation de plusieurs déversoirs des barrages existants (Lempérière et al. 2003).

2)- PK-Weir Type B

Ce type de P.K Weir 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, 2006b). Les efforts structurelles sont moins importants pour les grands débits spécifiques. Cela pourrait ainsi être le choix le plus attrayant pour plusieurs barrages futurs.

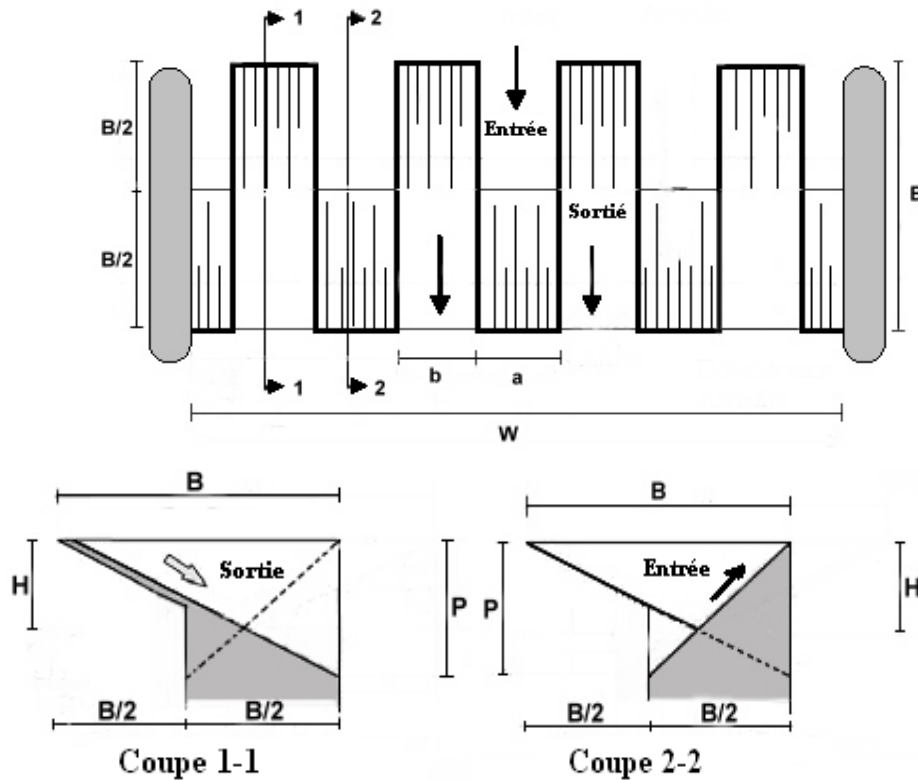


Figure I.28 : PK-Weir de type B

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 20m³/s/m. Le modèle B est probablement plus intéressant pour les grands débits spécifiques (Ouamane et al. 2006c).

I.3-3-3 Théories de déversoir PK-Weir

De manière générale, l'écoulement sur le déversoir en labyrinthe et le PK-Weir est complexe, il est considéré comme tridimensionnel et le débit déversé dépend de plusieurs paramètres. La solution la plus directe pour exprimer mathématiquement la fonction du débit, implique une combinaison d'analyse dimensionnelle et expérimentale.

Donc, Il existe différentes approches pour calculer la débitante d'un déversoir en labyrinthe et le PK-Weir, qui se basent sur la formule classique de débit

$$Q = C W_t \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (I-19)$$

Les critères de conception préliminaires ont été présentés par Ouamane et al (2003, 2006) qui s'appuie sur des essais systématiques de différentes configurations géométriques et l'analyse dimensionnelle. Le coefficient de débit (C_w) a été exprimé par une fonction qui dépend des paramètres adimensionnels.

$$C_w = f\left(\frac{L}{W_t}, \frac{W_u}{P}, \frac{W_i}{W_o}, \frac{B_o}{B_i}, \frac{H}{P}\right) \dots\dots\dots(I.20)$$

La formule qui a été proposée par Leite Ribeiro et al. (2009) se basent sur des résultats d'essais sur modèle de projets réels. Pour cette formule, le coefficient de débit (C) reste constant et proche du coefficient de débit d'un déversoir en paroi mince. Avec l'augmentation du niveau d'eau, une réduction continue de la longueur déversant efficace (L_{eff}) est prise en compte par un paramètre « n ». Les paramètres influent ce dernier ne sont pas encore définis quantitativement pour tous le cas.

$$\frac{L_{eff}}{W_t} = 1 + \frac{1}{\left(\frac{H}{W_t} + \frac{1}{\sqrt[n]{\frac{L_t}{W_t - 1}}}\right)^n} \dots\dots\dots(I.21)$$

Le manque d'une relation générale entre la capacité d'évacuation, la charge hydraulique et les caractéristiques géométrique du PK-Weir implique le recours systématique aux essais sur modèle physique pour des projets réels. Des essais ont été menés au laboratoire de Constructions Hydrauliques de l'Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL), afin de déterminer une relation générale entre la débitante, la charge hydraulique et la longueur déversant efficace pour des différentes géométries de PK-Weir (Leite Ribeiro et al. 2009).

I.3.3.4 Mode d'écoulement sur le PK-Weir

L'écoulement sur le PK-Weir est tout à fait différent de celui d'un déversoir en labyrinthe, il se caractérise par deux nappes déversant, la première sous forme d'un jet du fond qui s'écoule le long du radier incliné de l'alvéole aval et la deuxième 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 (Figure I.29)

(Ouamane, 2006b).



Figure I.29 Ecoulement en deux nappes déversantes sur un cycle de P.K-Weir (Ouamane, 2006b).

I.3.3.5 Performance hydraulique

Pour vérifier le comportement et la performance de ce nouveau type de déversoir, plusieurs essais détaillés sur des formes choisies ont été alors réalisés depuis l'année 2003 -2006 au Laboratoire d'Aménagements Hydrauliques et Environnement de l'Université de Biskra. Selon Ouamane en 2006, ont montré que :

La performance hydraulique du PK-Weir est en fonction des quatre paramètres adimensionnels suivants : h^*/P , W/P , L/W , et a/b . Ces paramètres dérivent directement de la géométrie du PK-Weir et de la charge d'exploitation, ils sont donc d'importance principale, et Le rendement du PK-Weir peut être aussi affecté par les paramètres d'importance secondaire résultant des détails de construction, comme la forme d'entrée sous les porte-à-faux, la pente du radier des alvéoles, la longueur des parois latérales...

Ces dernières années, des nombreuses études de recherche ont été publiées sur le PK-Weir. Ces études ont été focalisées sur le fonctionnement des différents paramètres géométriques est atteindre la forme optimale de déversoir PK-Weir. Dans ce chapitre, nous présentons quelques études ont été réalisé dans ce type de déversoir.

I.3.3.5.1 Effets des principaux paramètres géométriques

➤ Effet le Rapport d'aspect vertical, W/P .

Il y a deux indications pour le rapport d'aspect vertical qui représente la géométrie verticale, 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. Selon A. Ouamane(2006), le coefficient de débit est dépendant du paramètre W/P . Autrement dit, la capacité d'évacuation est dépendante de la hauteur du PK-Weir.

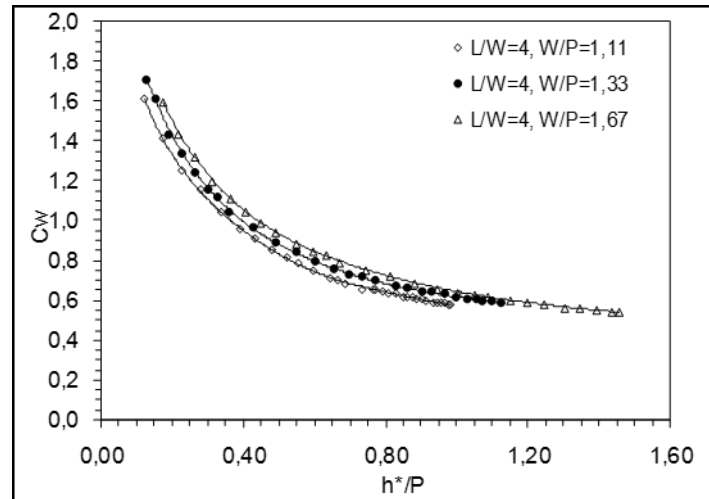


Figure I.30 : Coefficient de débit en fonction du rapport de l'aspect vertical W/P (Ouamane, 2006)

Le travail d'Ercicum et al (2013), réalisé sur sept modèles de PK-Weir de différents rapports d'aspect vertical P/W_u (0.33, 0.5, 0.67, 0.8, 1, 1.1, 1.33, 2) a montré que l'efficacité du PK-Weir augmente avec l'accroissement de la hauteur. Néanmoins, pour les grandes hauteurs ($P/W_u \geq 1.33$) ; l'efficacité reste constante quelle que soit l'augmentation de la hauteur de PK-Weir (Figure I.31). Les auteurs (Ercicum et al) ont recommandés que le rapport entre la largeur de cycle et la hauteur $P/W_u = 1.33$ représente la valeur optimale hydrauliquement.

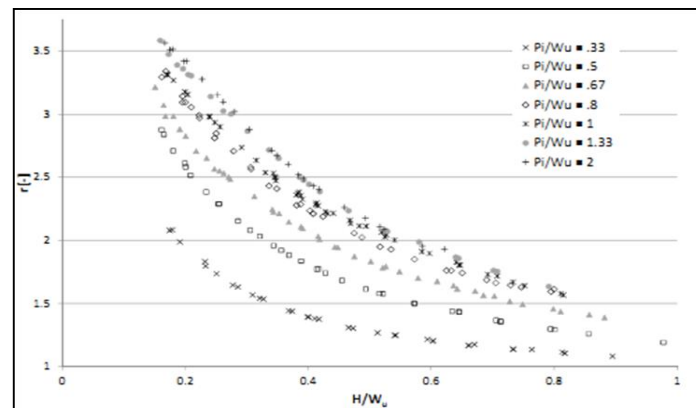


Figure I.31 Effet de la hauteur de PK-Weir (Ercicum et al 2013)

➤ Effet de 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. Le travail Ouamane, 2006 a montré que l'augmentation dans l'accroissement de la longueur du PK-Weir fait augmenter la capacité d'évacuation d'une manière significative, 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

$h^*/H < 0.4$. 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

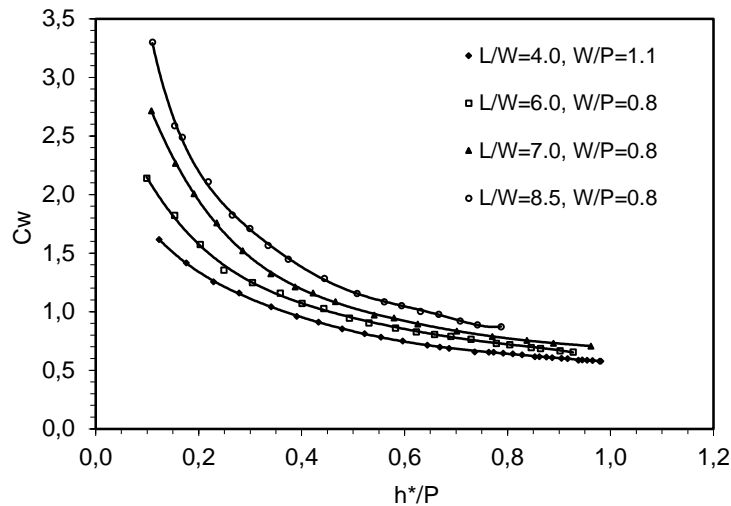


Figure I.32: Coefficient de débit en fonction du ratio L/W (Ouamane, 2006)

➤ Effet de largeur des alvéoles W_i et W_o

La forme rectangulaire des alvéoles amont et aval permet de distinguer trois configurations en plan, l'alvéole amont est supérieure à l'alvéole aval $W_i > W_o$, l'alvéole amont et l'alvéole aval ont la même largeur $W_i = W_o$ et l'alvéole amont est inférieure à l'alvéole aval $W_i < W_o$.

Pour déterminer l'influence du rapport des largeurs d'alvéoles W_i/W_o sur le coefficient de débit d'un PK Weir trois modèles avec le rapport des alvéoles amont et aval défient ($W_o/W_i = 0.67, 1.0$ et 1.5 .) ont été testés par Ouamane, 2006.

Les essais ont montré que l'arrangement le plus avantageux est celui où la largeur d'alvéole amont est supérieure à celle de l'alvéole aval.

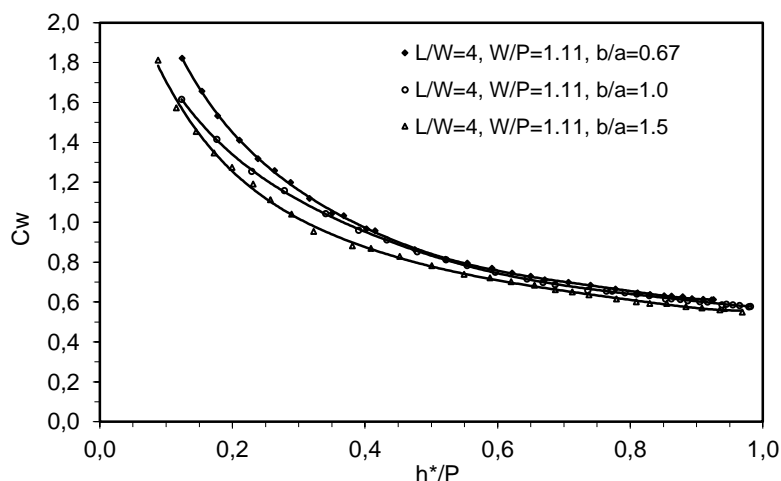


Figure I.33 : Coefficient de débit en fonction de la largeur des alvéoles (Ouamane, 2006)

Le travail réalisé par Leite Ribeiro al(2011), sur plusieurs modèles de PK-Weir avec le rapport des alvéoles amont et aval différent ($W_i/W_o = 2.00, 1.60, 1.25, 0.80, 0.63$ et 0.50 , montre que (Figure I.34) :

- L'efficacité maximale est obtenue avec le rapport $W_i/W_o \geq 0.8$;
- Pour $W_i/W_o < 0.8$ la réduction de l'alvéole d'entrée ne permet pas de profiter de la capacité accrue de l'alvéole de sortie.

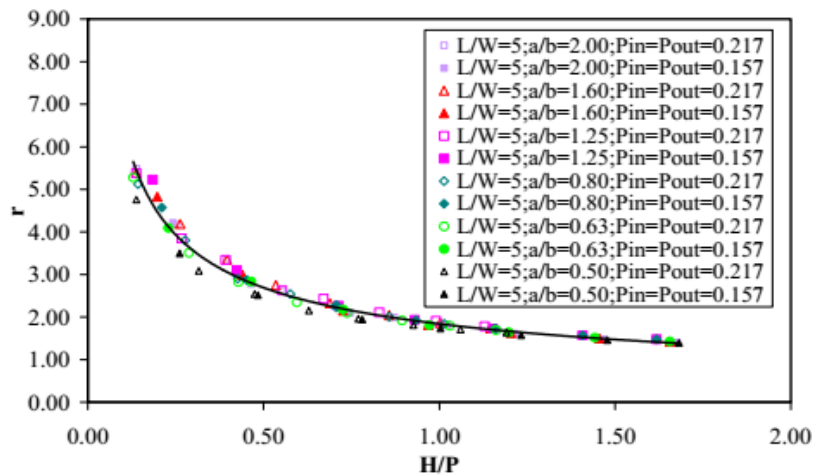


Figure I.34 : Rendement r en fonction de H/P pour $L/W=5$ et rapports $a/b=2.00, 1.60, 1.25, 0.80, 0.63$ et 0.50 ($a = W_i, b = W_o$) (M.Leite Ribeiro,2011)

➤ Impact de la longueur des porte-à-faux

L'impact de la longueur relative des porte-à-faux B_i/B_o , a été étudié selon trois configurations, la première avec des porte-à-faux amont plus longs que les porte-à-faux aval ($B_o=B/3, B_i=B/6, B_i/B_o=0.5$), la seconde configuration avec des porte-à-faux amont et aval identiques ($B_o=B_i=B/4, B_i/B_o = 1$) et la dernière configuration avec seulement des porte-à-faux amont ($B_o=B/2, B_i=0, B_i/B_o=0$). Les essais sur ces modèles ont montré que le modèle 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 du modèle avec porte-à-faux symétriques ($d/c=1$) est plus grand que celui du modèle avec des porte-à-faux non symétrique, A cet effet, le modèle sans porte-à-faux aval peut être une solution pour les grands débits spécifiques (Ouamane, 2006).

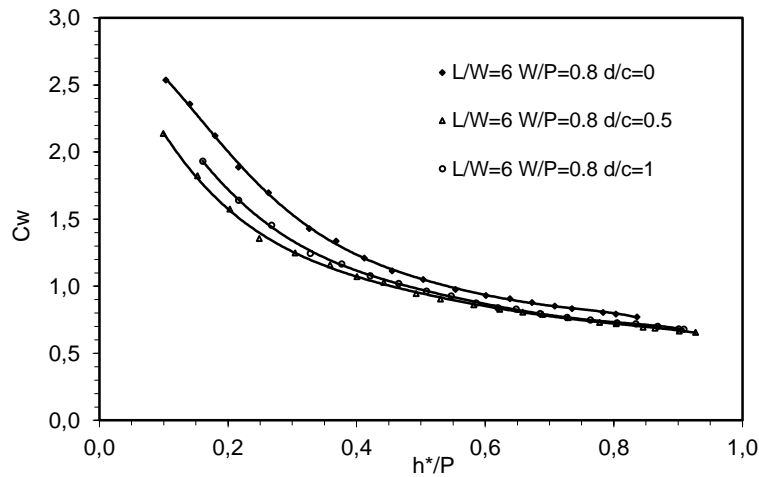


Figure 1.35 : Coefficient de débit en fonction de la longueur des porte-à-faux (Ouamane, 2006)

Cependant, les essais réalisés par Machielset al (2013) sur cinq modèles ont montré que :

- Quand la hauteur de déversoir est importante ($P/Wu = 1.33$), le PK-Weir caractérisé par des porte-à-faux non-symétrique ($Bo/Bi = 3$) donne le meilleur rendement comparé aux autres modèles testés.

- Quand la hauteur de déversoir est faible ($P/Wu = 0.5$), le meilleur rendement est atteint pour la disposition symétrique des porte-à-faux ($Bo/Bi = 1$).

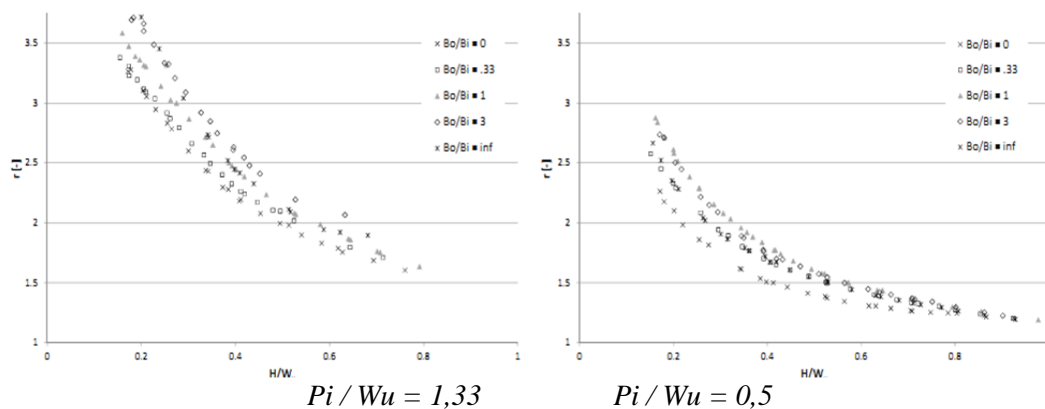


Figure 1.36 : Effet de la longueur des porte-à-faux sur la performance. (Machielset al, 2013)

I.3.3.5.2 Effets des paramètres secondaires

❖ Impact des corps flottants

Le bouchage du déversoir par des corps flottants peut avoir des conséquences graves sur la sécurité du barrage. Par conséquent, il est important de vérifier le fonctionnement du Pk-Weir dans ces conditions.

Les résultats obtenus pendant l'expérimentation indiquent que, pour la charge hydraulique inférieure à $P/3$, le déversoir fonctionne normalement. Comme la charge augmente les corps flottants sont entraînés dans les alvéoles et restent bloqués jusqu'à ce que la charge sur le seuil du déversoir atteigne une valeur moyenne de l'ordre de $0.4P$, à cet instant, les corps flottants commencent à être évacués systématiquement vers l'aval, ce qui permet au PK-Weir de retrouver sa capacité initiale (Figure I.38).



Figure I.37. Fonctionnement du PK-Weir avec encombrement de l'entrée par des corps flottants.

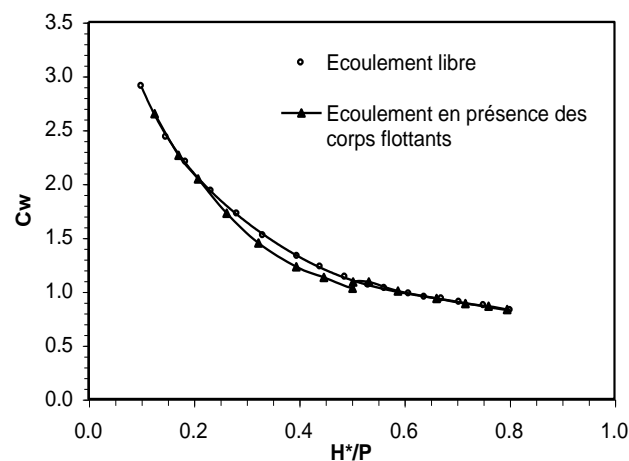


Figure I.38. Coefficient de débit en fonction de la présence des corps flottants.

L'effet des corps flottants peut réduire le débit d'environ 10 % quand la profondeur de la lame déversant est dans la gamme de 1 ou 2m (Comme pour les déversoirs Creager). Pour les profondeurs de la lame déversant supérieures à 2m les corps flottants sont évacués vers l'aval.

❖ *L'effet des conditions d'approche amont sur la performance du PK-Weir :*

Des travaux de recherche réalisés sur le PK-Weir s'intéressent à optimiser la forme géométrique du PK-Weir. D'autres travaux ont été développés par (F.Belaabed et S.Bouredji) dans le but de déterminer l'influence des conditions d'approche amont sur la performance du PK-Weir.

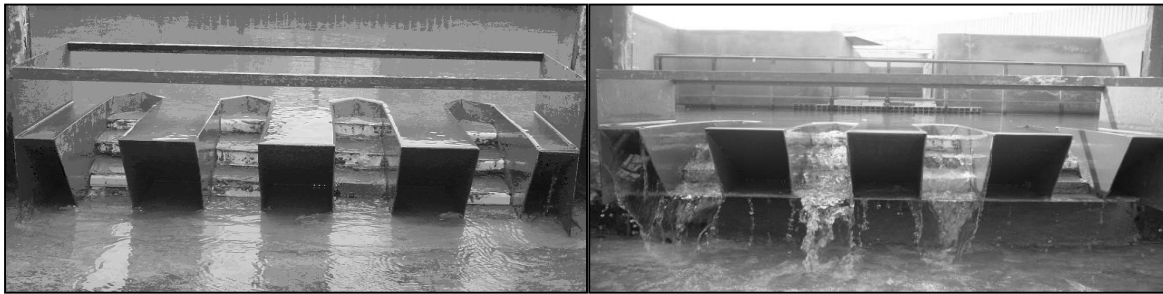


Figure I.39. Modèle A1m, sans socle (Gauche) et sur socle (Droite).

D'abord, l'emplacement du déversoir influence sur la capacité d'évacuation, dans cet égard deux cas ont été distingués. Le premier cas correspond à l'emplacement du déversoir sur le radier du canal expérimental pour simuler un déversoir dans une rivière ou fleuve et le second cas sur un socle en béton pour simuler un barrage en béton (Figure I.39).

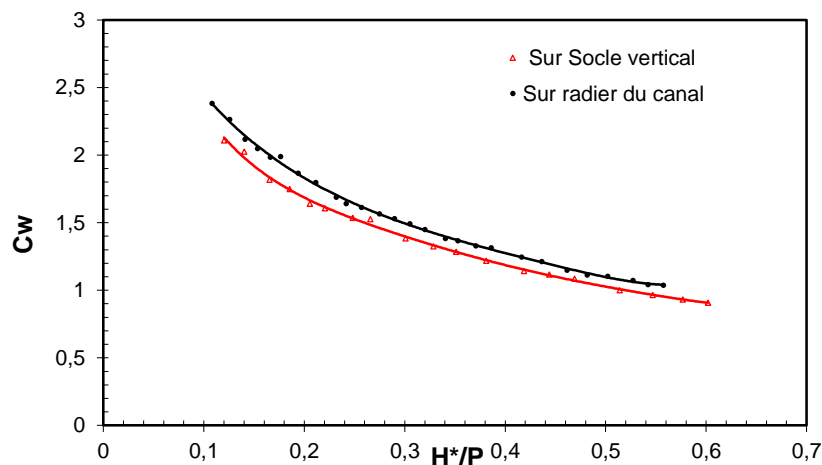


Figure I.40. Coefficient de débit en fonction de la position du déversoir (PK-Weir A1m).

Les résultats obtenus pour les deux conditions d'emplacement (Figure I.40), montre que l'emplacement du déversoir peut engendrer une influence sur l'écoulement qui se manifeste par une perte de performance pour le cas d'emplacement sur socle. Ceci peut être justifié par le fait que pour le cas sans socle les filets liquide du fond à l'amont du déversoir se dirigent directement vers les alvéoles amont, tandis que pour le cas avec socle les filets liquide du fond butent sur le socle avant de se diriger vers le haut pour pénétrer dans les alvéoles amont.

Ensuite l'étude, par les mêmes auteurs, de l'effet de la forme d'entrée. Ils ont constaté deux cas.

- Le premier cas, la forme d'entrée au pied du déversoir. La géométrie de l'entrée au-dessous du déversoir peut prendre plusieurs formes. Pour vérifier l'incidence de ce paramètre, trois configurations ont été testées (Figure I.41).

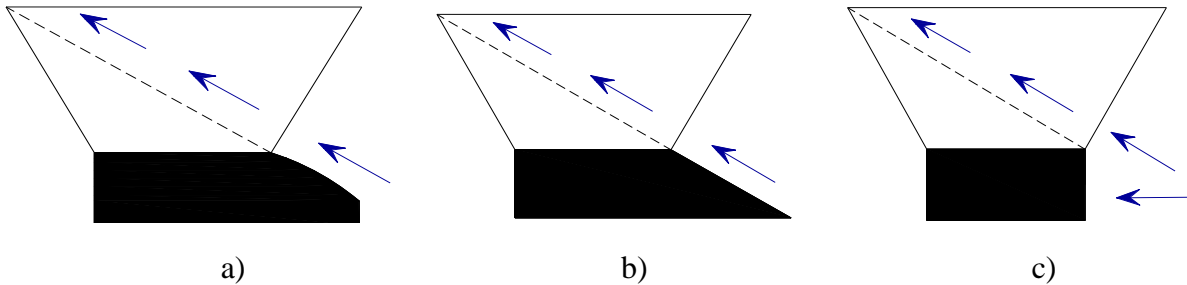


Figure I.41. a) Socles à parement amont arrondi, b) Socles à parement amont incliné, c) Socles à parement amont vertical.

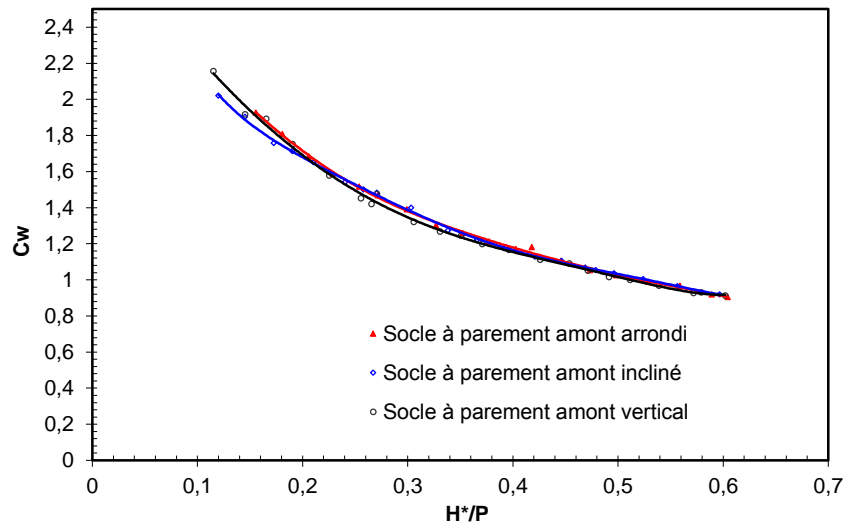


Figure I.42. Coefficients de débit en fonction de la forme amont du Socle.

Les résultats expérimentaux obtenus sur ces trois modèles montrent qu'un faible écart entre les courbes (Figure I.42). Donc on peut dire que La forme d'entrée au pied amont du déversoir n'influe que faiblement sur la performance du PK-Weir. Ainsi, de point de vue pratique il est donc recommandé d'utiliser une forme d'entrée vertical au pied amont du déversoir, puisque cette forme est plus économique est sa performance n'est réduite que faiblement.

- Le deuxième cas, l'effet de l'inclinaison des guideaux rectiligne. Des angles ont été testés sur modèles réduits dans le but de déterminer l'inclinaison optimale des guideaux (Figure I.43).

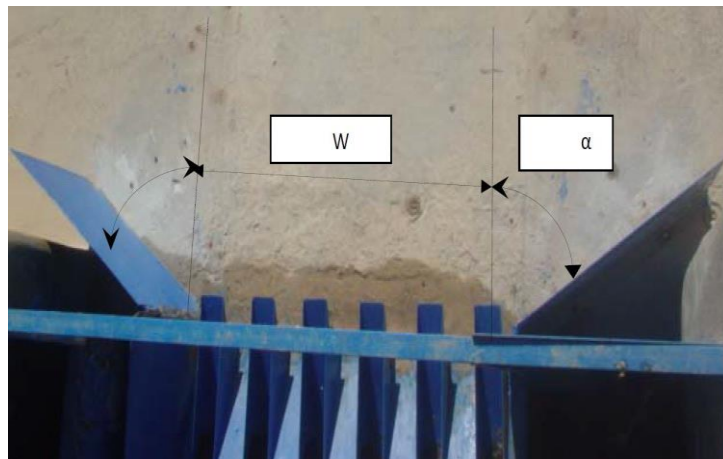


Figure I.43. Modèle de PK-Weir type A avec des guideaux rectilignes.

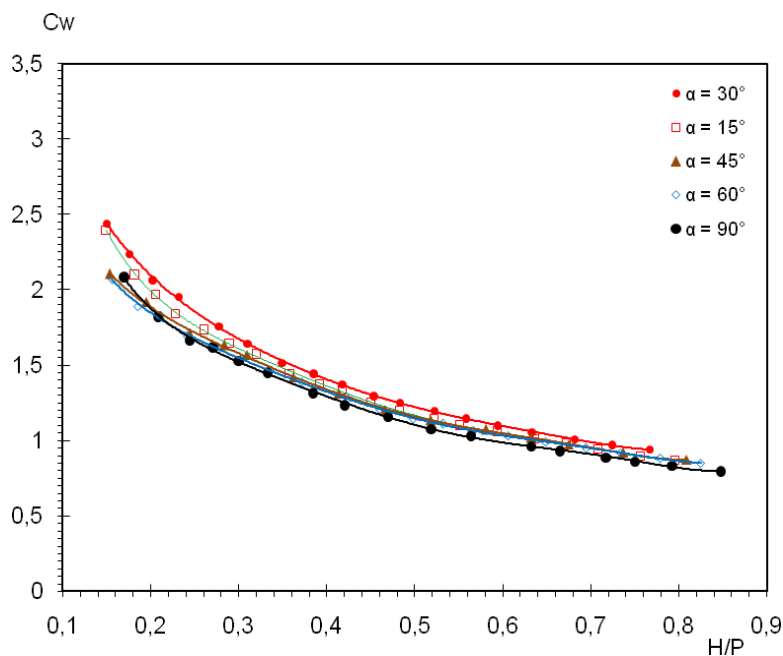


Figure I.44. Coefficient de débit en fonction de la charge relative et l'angle d'inclinaison des guideaux rectilignes.

Les essais ont été effectués sur le PK-Weir avec des guideaux rectilignes sous plusieurs angles d'inclinaison ($\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ et 90°) pour définir la disposition optimale des guideaux. Les courbes montre que l'optimum correspond à un angle d'inclinaison $\alpha=30^\circ$ (Figure I.44).

Enfin, l'étude de l'effet de contraction latérale, a quant à elle montré l'efficacité des déversoirs placé dans un canal (sans contraction latérale $W_t=W_c$) face au cas d'un retenue où la largeur du

canal d'amenée est plus vaste que la largeur de déversoir (avec contraction latérale $W_t < W_c$) (Figure I.45).

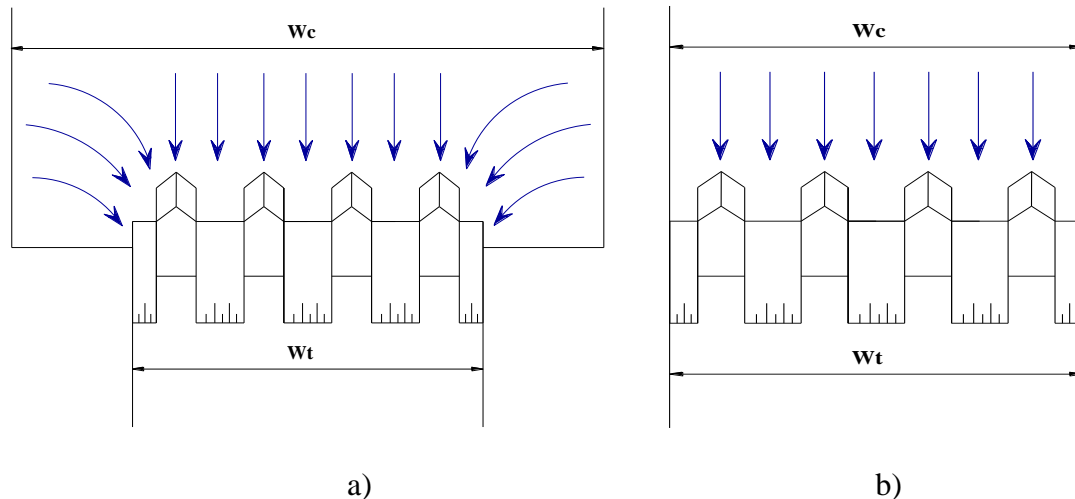


Figure I.45. Schémas du déversoir en PK-Weir : a) Avec contraction latérale ($W_t < W_c$),
b) Sans contraction latérale ($W_t = W_c$)

L'expérimentation réalisée sur ces deux types de disposition (avec contraction latérale et sans contraction latérale) a montré que la contraction latérale influe d'une manière significative sur le rendement hydraulique du PK Weir, d'une part un déversoir sans contraction latérale, les filets liquides sont parallèles et l'alimentation du déversoir se fait frontalement par rapport à l'axe longitudinal du déversoir et d'une autre part le déversoir avec contraction latérale, l'écoulement est frontal au centre et radial sur les côtés 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. Le graphique montre clairement l'effet de la contraction latérale sur le coefficient de débit qui exprime indirectement le rendement hydraulique du PK Weir (Figure I. 46).

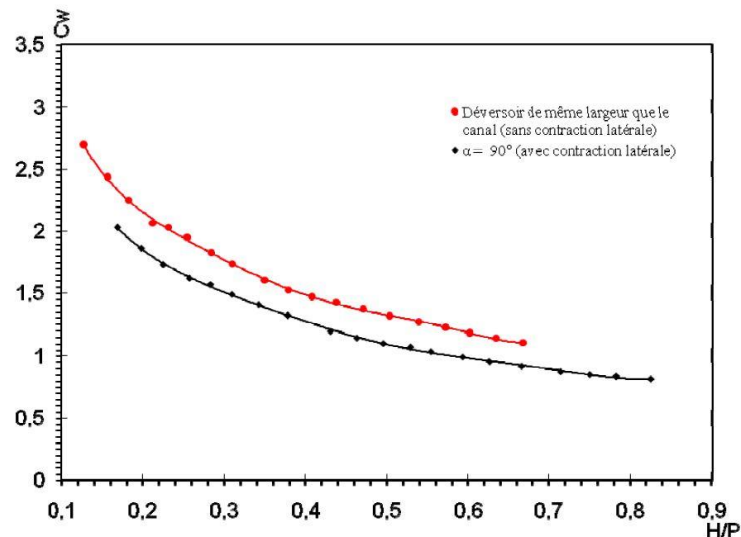


Figure I.46. Comparaison du coefficient de débit pour un déversoir avec et sans contraction latérale.

I-4 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 rectilignes 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. Ces avantages permettent que ces types de déversoir est la structure idéale pour faire passer de grand débit à une charge comparativement faible par rapport aux déversoirs rectilignes.

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. L'étude le plus détaillé sur la performance du déversoir en labyrinthe, a été réalisée par HAY et TAYLOR en 1970, Elle est considérée comme une base de conception des déversoirs en labyrinthe. Cette étude a montré que l'augmentation de la longueur de la crête fait accroître l'efficacité du déversoir, cette amélioration de la capacité d'évacuation est plus intéressant lorsque la charge relative H/P est inférieure à 0,9. Le coefficient de débit est une fonction des paramètres adimensionnelles $C = f[L/Wt, W/P, H/P, Hd/P]$.

En 2003, une nouvelle forme de déversoir baptisée PK-Weir quelque peut 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.

La configuration géométrique de ce type de déversoir se caractérise par une forme rectangulaire d'alternance des alvéoles d'entrée et de sortie, des radiers d'entrée et de sortie inclinés. Du fait de cette inclinaison, une partie des entrées et/ou des sorties peut être en porte-à-faux. Cette géométrie offre plus d'avantage tel que l'augmentation de la capacité de déversement et le faible coût de réalisation. Ces avantages permettent au PK-Weir d'être une solution adéquate pour la rénovation de plusieurs barrages.

Le PK-Weir 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. La première étude paramétrique de PK-Weir a été réalisée au Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement à l'Université de Biskra. Cette étude a montré que le rendement et le coefficient de débit sont en fonction de la charge hydraulique H et des paramètres géométriques normalisés et les conditions d'approche.

Deuxième Partie

Etude expérimentale

Deuxième Partie

Etude Expérimentale

II-1 INTRODUCTION

Souvent l'exploitation des cours d'eau naturels ou artificiel nécessite la construction d'un déversoir pour un but de stockage partiel, de la régulation de niveau ou les deux à la fois. L'objectif de cette étude expérimentale est vérifier le fonctionnement de PK-Weir installé au fil de l'eau en présence de fosses en amont et en aval du PK-Weir.

II-2 Description des modèles expérimentaux de PK-Weir

Cette étude expérimentale a été réalisée sur trois cas d'implantation de déversoir PK-Weir dans un canal par rapport le niveau de fond.

Première cas : PK-Weir implanté dans un canal à niveau égale le niveau de fond de canal (modèle référence)

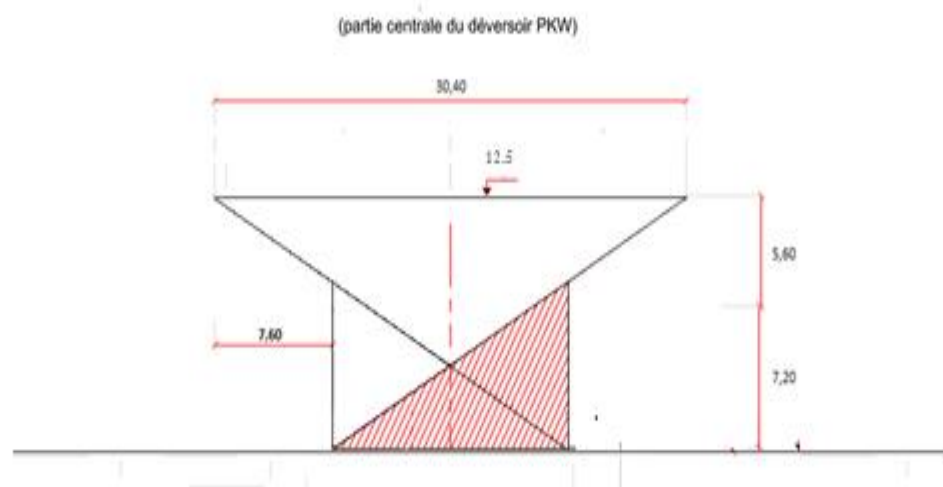


Figure II-01 : Schéma d'implantation standard du PK-Weir (M1).

- **Deuxième cas ;** PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeur respective 2cm et 4cm et en présence de marches.

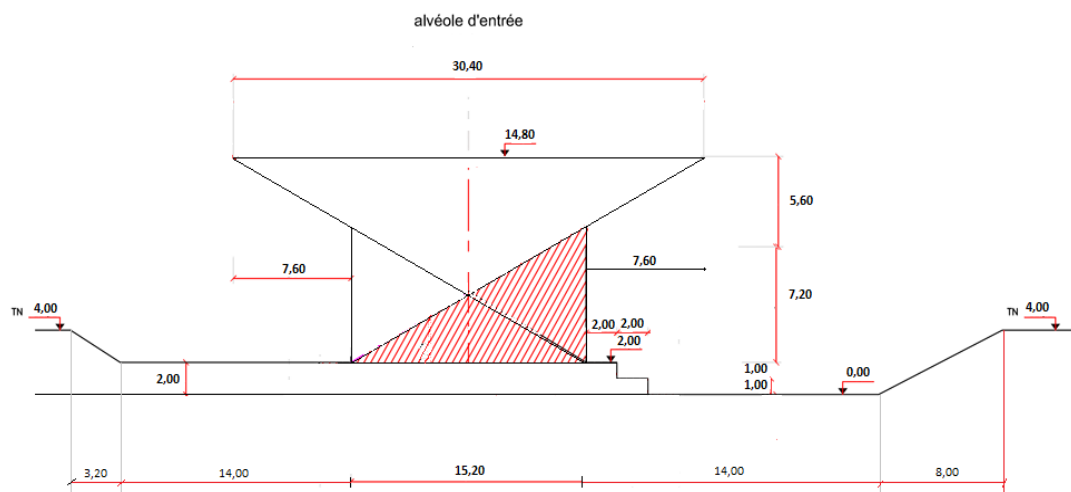


Figure II-02 : PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeurs respectives 2cm et 4cm et en présence de marches d'escalier 2cm sur 2cm (M2)

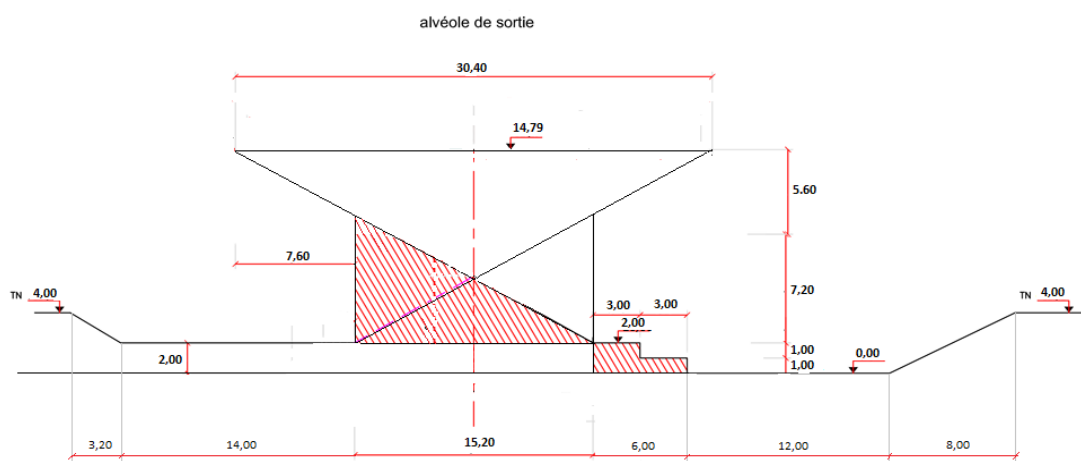


Figure II-03 : PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeurs respectives 2cm et 4cm et en présence de marches d'escalier 2cm sur 3cm (M3)

- **Troisième cas :** PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeur respective 2cm et 4cm et en présence de cinq marches d'escalier.

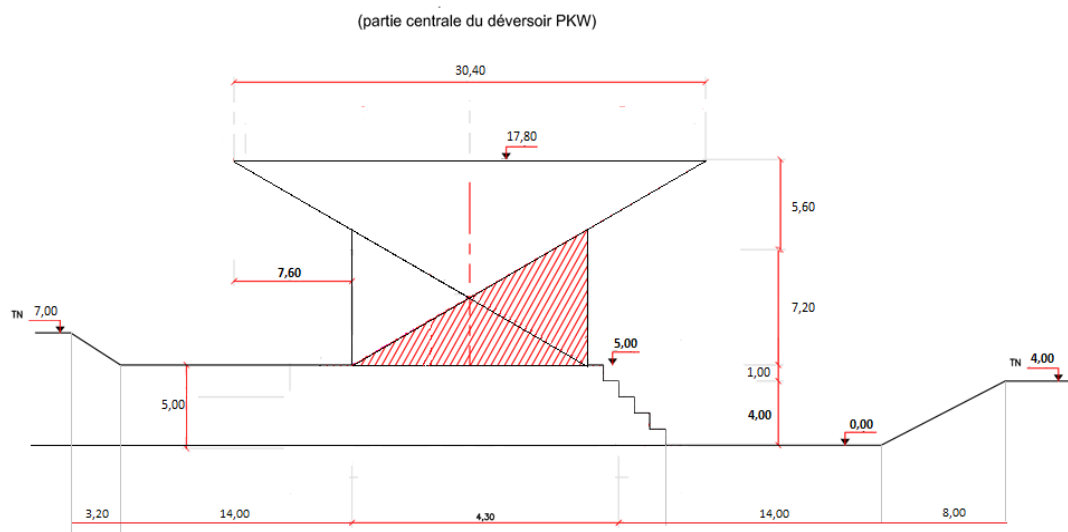


Figure II-04 : PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeurs respectives 2cm et 4cm et en présence de marches d’escalier 1cm sur 1cm (M4)

Cette étude expérimentale a été réalisée sur un modèle de PK –Weir type (A) se caractérise par un ratio $L/W=4.44$, un rapport d’aspect vertical $W_i/P= 1,18$, un ratio $W_i/W_o=1,8$ et le ratio $B_i/B_o =1$ dont les caractéristiques géométriques sont mentionnées dans le tableau (I-01)

Tableau (II-01) : Caractéristiques géométriques des modèles expérimentés

Modèles	L (cm)	W_t (cm)	W_i (cm)	P (cm)	n (cm)	W_i (cm)	W_o (cm)	B_o (cm)	B_i (cm)	B (cm)
A	456	102.5	15.2	12.8	6	6.8	8.4	7.6	7.6	30.4



Figure II-05 : Modèle de PK-Weir

I-3. Description de l'organisation expérimentale

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

Les essais expérimentaux ont été réalisés au Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement à l'Université de Biskra (Figure I-02).



Figure II-06 : Vue d'ensemble de la station d'expérimentation des modèles réduits

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

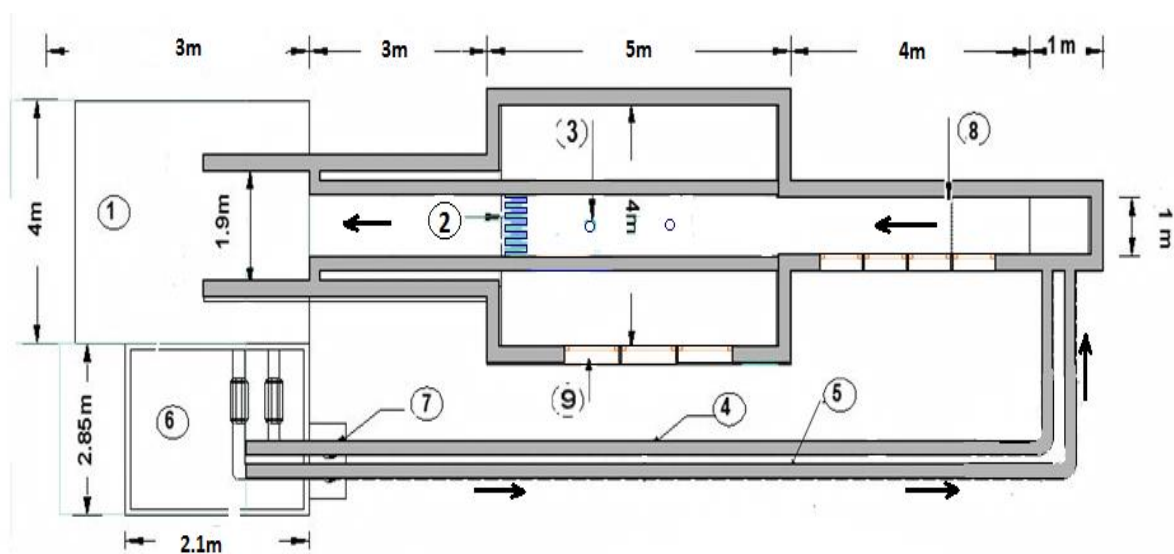


Figure II-07 : Schéma de la station d'expérimentation. (Vue en plan)

1- Réservoir d'eau

- 2- Section d'essai
- 3- Détecteur de niveau à ultrason
- 4- Débitmètre à ultrasons
- 5- Débitmètre électromagnétique
- 6- Salle de pompage
- 7- Vannes
- 8- Système de tranquillisation de l'écoulement
- 9- Vitres en verre

Les essais expérimentaux ont été réalisés dans un canal de même largeur que les modèles testés, c'est à dire dans des conditions sans contraction latérale. Le canal d'essai de section rectangulaire se caractérise par une largeur de 1,0 m, une longueur de 13m et une hauteur de 0.75m. Des vitres en verre sont insérées dans les parois latérales pour la visualisation de l'écoulement.

Le canal est alimenté par deux pompes qui débitent 170 l/s. Le système est équipé de deux vannes qui permettent d'effectuer des essais avec une large gamme de débit (de 30 l/s à 170 l/s). Le canal est équipé d'un réseau de prise de pression, et d'une vanne wagon de réglage du niveau d'eau dans le canal. Un système de tranquillisation de l'écoulement est installé à l'entrée du canal, équipé d'une grille métallique et d'un mur en briques (Figure I-04)

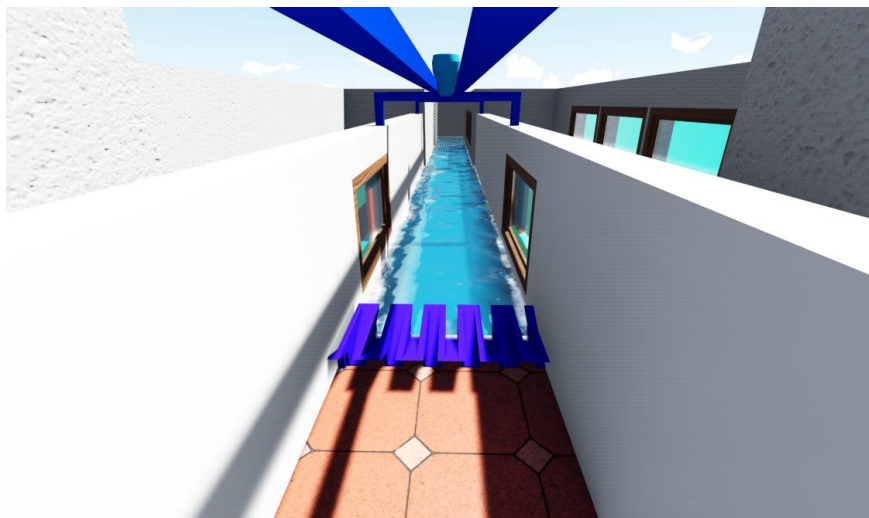


Figure II-08: Vue d'ensemble du canal d'expérimentation.

I-3-2 Appareillage de mesure

Généralement l'écoulement sur un déversoir est exprimé par le débit de transit (Q) et la charge sur le seuil (H), cette dernière correspond à la somme de la charge piézométrique et la charge cinétique. Le débit et la charge piézométrique peuvent être mesurés directement par l'appareillage de mesure disponible et la charge cinétique peut être déduite directement du débit et de la section de l'écoulement en amont.

I-3-2-1 Mesure de la profondeur d'eau

Les profondeurs d'eau sont mesurées par une série de détecteurs de niveau à ultrason et par une série de tubes piézométriques.

- **Tubes piézométriques.**

Les profondeurs d'eau qui expriment les charges piézométriques aux différents endroits du système sont déterminées par l'intermédiaire d'un réseau de prises de pression inséré au fond de canal et liés à des tableaux manométriques équipés de tubes transparents en plexiglas de faibles diamètres est des règles graduées permettant la lecture des différents niveaux d'eau aux différents endroits du système expérimental.



Figure II-09 Tableaux manométriques de mesure des niveaux d'eau

- **Détecteur de niveau à ultrason**

Pour déterminer la profondeur d'eau sur le déversoir on utilise un détecteur de niveau de type PROSONIC FMU30 placé dans le canal, se trouvant à une distance d'un mètre par rapport au seuil du déversoir, et raccordé à un PC par le biais de Commubox FXA 191. Un logiciel (Readwin 200) permet l'enregistrement et le traitement des données.



Figure II-10: Capteur du niveau Prosonic FM30

La mesure de niveau par ultrasons avec capteurs Prosonic FM30 permet une mesure continue, sans contact et sans entretien. Le capteur à ultrasons FMU30 dispose d'algorithmes logiciels éprouvés et tous les messages d'avertissement et d'alarme sont affichés sur l'afficheur 4 lignes en texte clair, ce qui garantit une solution rapide aux problèmes. Cela permet un diagnostic rapide et précis des erreurs.

I-3-2-2 Mesure des débits

Le débit qui transite par le modèle de déversoir doit être connu instantanément pour avoir des résultats fiables. A cet effet, les débits sont mesurés par un débitmètre à ultrason de type Flowmeter et par un Débitmètre électromagnétique, raccordé à un PC par le biais de Commubox FXA 191 et le logiciel (Readwin 200) qui permettent l'enregistrement et le traitement des données.

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.



Figure.II-11 : Débitmètre à ultrason Flowmeter 93W2

Le principe de débitmètre électromagnétique est : le liquide traversant le capteur qui correspond au conducteur. La tension induite, proportionnelle à la vitesse de passage est transmise à l'amplificateur par deux électrodes de mesure. Le débit volumique est calculé par le biais de la section de tube. Le champ magnétique est engendré par un courant continu alterné.



Figure.II-12 Débitmètre électromagnétique

I-3-3 Procédure Expérimentale :

La procédure expérimentale s'effectue 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 l'amorçage de la pompe et les mesures de débit et de la profondeur d'eau.

Avant d'entamer la procédure expérimentale, il est nécessaire de procéder à l'étanchéisation des joints entre les parois du modèle et vérifier l'horizontalité le long de la crête du modèle, ensuite on fait amorcer la pompe et laissant l'eau s'écouler dans le système expérimental jusqu'à déversement par-dessus le modèle, on fait arrêter la pompe. Quand l'eau s'arrête de s'écouler par-dessus la crête du déversoir on prend la lecture du niveau d'eau pour connaître le niveau du seuil. Après cette étape, on fait fonctionner la pompe à un débit donné par manipulation de la vanne de réglage du débit, après quelques minutes l'écoulement se stabilise et devient uniforme, ainsi on procède à la lecture des profondeurs d'eau et du débit.

I-4 Résultats et discussions

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

La charge totale sur le déversoir H correspond à la somme de la charge piézométrique h et la charge cinétique $v^2/2g$

$$H = h + \frac{V^2}{2g} \quad (\text{II-1})$$

Ou :

- H : Charge totale sur le seuil du déversoir (m) ;
- h : Charge piézométrique mesurée (m) ;
- V : Vitesse moyenne en amont de la section d'essai m/s .
- g : Accélération de la pesanteur m/s^{-2}

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

$$Q = C_w W_t H \sqrt{2gH} \quad (\text{II-2})$$

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

Ou :

- C_w : Coefficient de débit du déversoir testé ;
- W_t : Largeur totale du déversoir (m) ;

I-4-1. Etude de l'effet de l'implantation du PK-Weir par rapport au niveau du fond du canal

Le déversoir en PK-Weir joue 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'implantation dans un cours d'eau. Pour étudier le fonctionnement de ce déversoir dans des différents cas d'implantation dans un cours d'eau, trois cas ont été étudiés.

- PK-Weir implanté dans un canal à niveau égal au niveau de fond de canal (modèle référence).
- PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeur respective 2cm et 4cm et en présence de marches.
- PK-Weir implanté dans un canal avec fosses en amont et en aval de profondeur respective 2cm et 4cm et en présence de cinq marches d'escalier.



Figure.II-13 : Implantation de PK-Weir au fond de canal (M2)

Les essais effectués dans ces trois cas d'implantation ont fait remarquer que pour les faibles charges l'apparition de ressaut hydraulique en partie du bassin d'amortissement en aval de PK-Weir. Cette apparition de ressaut a provoqué une surélévation du plan d'eau en aval, ceci a conduit à une perturbation de l'écoulement à sortie des alvéoles aval. Pour les moyennes et grandes charges relatives le ressaut hydraulique disparaît et l'écoulement en aval de PK-Weir devient presque le même pour les trois cas d'implantation.



Figure.II-14 : L'écoulement sur le PK-Weir : cas (M2) (A : faibles charges ; B : moyennes charges)

I-4-2 Impact de la présence de fosses sur la performance hydraulique du PK-Weir

La vérification de l'impact de la présence de fosses en amont ou en aval du PK-Weir a fait l'objet d'étude, les résultats obtenus expérimentalement pour les quatre cas étudiés, PKW avec le même niveau du radier en amont et en aval et les trois cas de PKW avec fosses et marches d'escalier ont été représentés graphiquement pour montrer l'effet de l'implantation sur la performance du PK-Weir qui est exprimée par le coefficient de débit. Ainsi, le graphique II-14 montre que les différentes implantations donnent presque le même rendement sur toute la gamme des charges relatives. Cependant, on enregistre un faible accroissement du coefficient de débit pour le cas avec fosse profonde et cinq marches (M4).

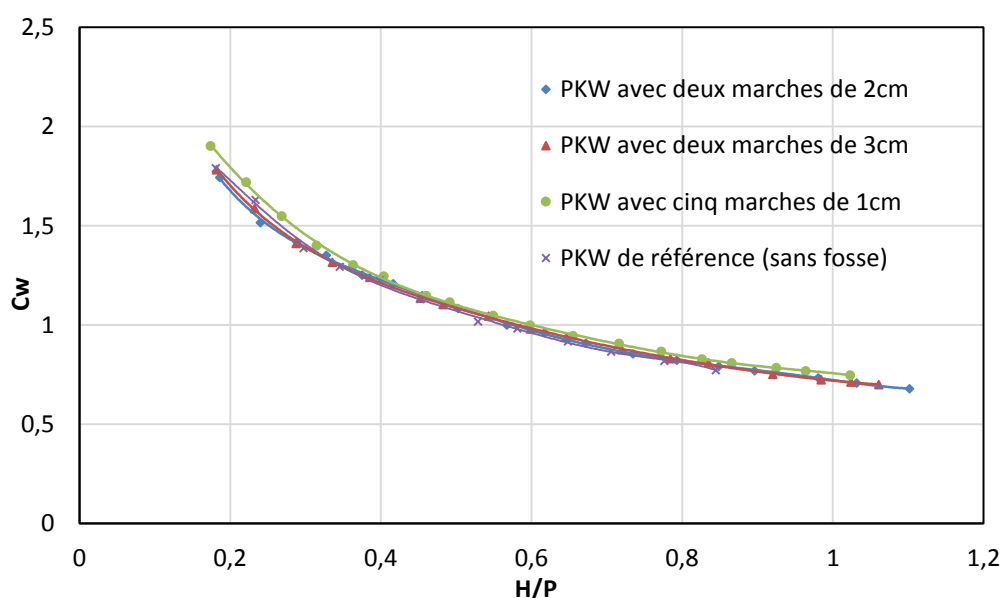


Figure. II-15: Coefficient de débit en fonction d'implantation de PK-Weir

On peut donc conclure que la présence de bassin de dissipation d'énergie n'affecte pas la performance hydraulique du PK-Weir et peut augmenter le rendement dans quelques cas. Cependant, le bassin peut avoir un impact positif sur la dissipation d'énergie.



Figure.II-16 : Implantation de PK-Weir au fond de canal (M4)

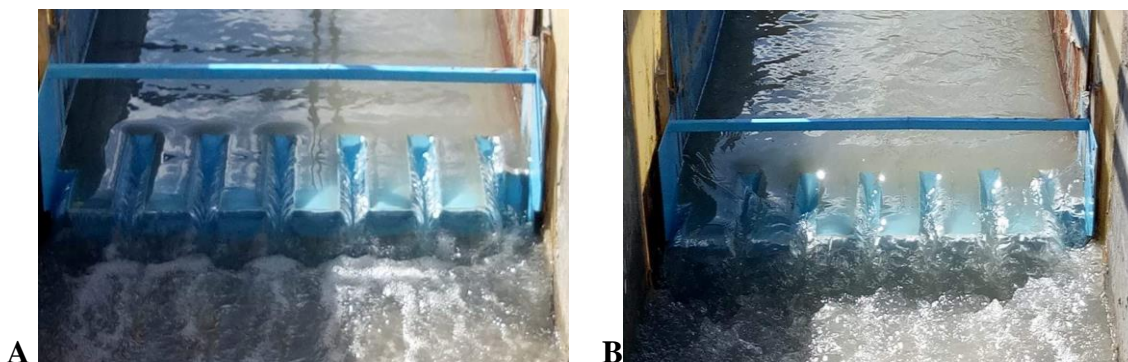


Figure.II-17 : L'écoulement sur le PK-Weir : cas (M4) (A : faibles charges ; B : moyennes charges)

La comparaison du modèle de référence (M1) avec le modèle M4 (avec fosse profonde), montre que le modèle (M4) se caractérise par un accroissement de débit de l'ordre de 5% par rapport au modèle standard (M1).

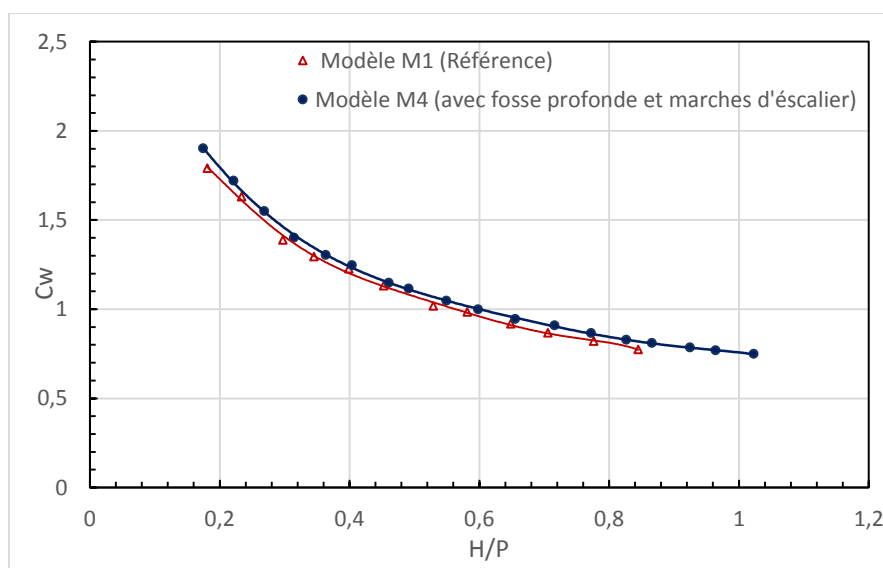


Figure.II-18 : Coefficient de débit en fonction d'implantation de PK-Weir

I-4-3 Dissipation d'énergie

Souvent l'évacuateur de crues se termine par un ouvrage de dissipation d'énergies telles que la cuillère de dissipation (Saut de Ski) ou une fosse de dissipation (Bassin d'amortissement).

Pour le cas de la présente étude, trois variantes de bassin de dissipation d'énergie ont été considérés.

Les essais réalisés sur ces deux variantes de profondeur de fosses différentes ont bien montré l'effet de la fosse sur la dissipation d'énergie. Il est à remarquer que la profondeur de la fosse n'est pas le seul critère sur lequel dépend le rendement d'une fosse de dissipation, En effet, il est souvent dit que la fosse la plus profonde est celle qui provoque plus de dissipation d'énergie. Ceci n'est pas toujours vrai, en

effet, selon les résultats obtenus, on remarque que la fosse la moins profonde ($p=4\text{cm}$) dissipe plus d'énergie que celle de profondeur plus grande ($p=7\text{cm}$).

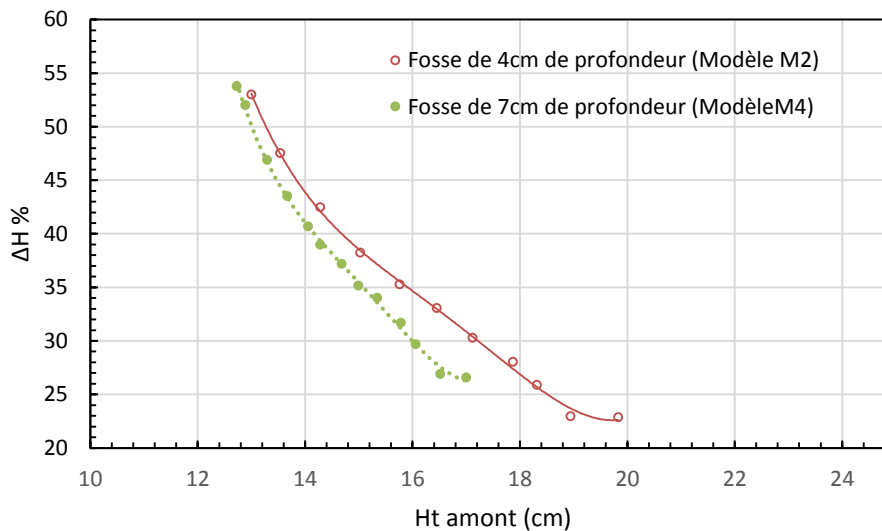


Figure.II-19 : Perte de charge en fonction de la charge totale sur PK-Weir

II-5 Conclusion

Ce travail basé sur l'expérimentation a été consacré à l'étude de l'effet implantation de PK-Weir dans un canal à niveau bas que celui du radier du canal, ceci simule le cas de la présence d'une fosse de dissipation à l'aval du PK-Weir. Trois cas d'implantation de déversoir PK-Weir ont été testés. Les résultats des essais obtenus ont montré une apparition de ressaut hydraulique dans la fosse de dissipation en aval de PK-Weir. Cette apparition de ressaut a provoqué une surélévation du plan d'eau en aval, ceci, a conduit à une perturbation de l'écoulement à la sortie des alvéoles aval. De point de vue performance hydraulique, il a été constaté que la présence d'une fosse en aval du PK-Weir n'a pas d'effet négatif sur le rendement hydraulique. La fosse peut avoir un intérêt important pour la dissipation de l'énergie en aval du PK-Weir.

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude a eu pour objectif d'apporter une contribution à la compréhension et du fonctionnement du déversoir en Touches de Piano de faible hauteur, c'est le cas souvent rencontré pour la surélévation du plan d'eau d'un cours d'eau ou pour réguler l'écoulement dans de divers objectifs.

L'objectif essentiel du présent travail est orienté donc vers la vérification du fonctionnement du déversoir en touches de piano de faible hauteur et l'effet des conditions aval sur la performance de ce type de déversoir. Ce travail est basé essentiellement sur l'expérimentation sur modèles réduits pour plusieurs cas d'implantations de PK-Weir.

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

La première partie 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 seconde partie du présent travail se rapporte à une étude expérimentale qui a comme objectif l'étude du PK-Weir installé à travers un court d'eau. Trois dispositions ont été considérées, avec un même niveau des radiers amont et aval (M1), avec la présence de fosses en amont et aval et des marches d'escalier à la sortie des alvéoles aval (M2, M3 et M4).

Les résultats des essais obtenus ont montré une apparition de ressaut hydraulique dans la fosse de dissipation en aval de PK-Weir. Cette apparition de ressaut a provoqué une surélévation du plan d'eau en aval, ceci, a conduit à une perturbation de l'écoulement à la sortie des alvéoles aval. De point de vue performance hydraulique, il a été constaté que la présence d'une fosse en aval du PK-Weir n'a pas d'effet négatif sur le rendement hydraulique. La fosse peut avoir un intérêt important pour la dissipation de l'énergie en aval du PK-Weir.

Ce travail ne représente qu'une étude préliminaire à la compréhension de fonctionnement du PK-Weir implanté au ras du sol d'un cours d'eau.

Liste de Notations

Symbole	Désignation	Unité
a	Largeur de l'alvéole amont	[m]
A	longueur de la paroi frontale de déversoir en labyrinthe	[m]
b	Largeur de l'alvéole aval	[m]
B	Longueur d'une paroi latérale	[m]
B _i	Longueur du porte-à-faux amont	[m]
B _o	Longueur du porte-à-faux aval	[m]
B _b	Longueur de base	[m]
C	Coefficient de débit	[-]
C _n	Coefficient de débit de déversoir	[-]
C _L	Coefficient de débit de déversoir en labyrinthe	[-]
C _w	Coefficient de débit du déversoir PK-Weir	[-]
D	Hauteur aval des parois de déversoir en labyrinthe	[m]
g	Accélération de la pesanteur	[m/s ²]
h*	Charge totale sur le déversoir	[m]
h ₁	Charge piézométrique amont	[m]
h ₂	Charge piézométrique aval	[m]
h _d	Charge piézométrique aval	[m]
H	La charge totale sur le déversoir	[m]
H _D	Charge de dimensionnement	[m]
H*	Charge totale en amont (condition d'écoulement noyé)	[m.c.e]
h _c	Charge cinétique	[m.c.e]
H _d	Charge total en aval (condition d'écoulement noyé)	[m.c.e]
H ₀	Charge total en amont (conditions d'écoulement libre)	[m.c.e]
H _e	Charge " effective " du déversoir	[m.c.e]
H _t	Charge total sur la crête	[m.c.e]
L	Longueur développée du déversoir (L=a+b+2B)	[m]
L _e	Longueur efficace	[m]
K	coefficient de noyade du déversoir	[-]
n	Le nombre de cycles	[m]
P	Hauteur maximale de déversoir	[m]
P _i	Hauteur amont de déversoir	[m]
P _o	Hauteur aval de déversoir	[m]
P _d	hauteur du barrage (socle) en dessous du PK – Weir	[m]
P _e	hauteur du déversoir de moyenne le long de la paroi latérale	[m]
Q	Débit évacué (m ³ /s)	[m ³ /s]
QL	Débit qui transite sur un déversoir en labyrinthe	[m ³ /s]
Q _n	Débit qui passe sur un déversoir rectiligne	[m ³ /s]
Q _{PK.Weir}	Débit mesuré	[m ³ /s]
q	Débit spécifique	[m ² /s]
S _i	Pente d'inclinaison de radie d'alvéole amont	[°]
S _o	Pente d'inclinaison de radie d'alvéole aval	[°]
T	Epaisseur des parois	[m]
v	Vitesse d'écoulement	[m/s]
W	Largeur d'un cycle du déversoir en labyrinthe	[m]
W _t	Largeur total du déversoir	[m]

Notations

W_i	Largeur de l'alvéole amont	[m]
W_o	Largeur de l'alvéole aval	[m]
W_u	Largeur de cycle de déversoir PK-Weir	[m]
W_c	Largeur de canal	[m]
W_e	largeur " effective" du déversoir	[m]
α	Angle des parois latérales	[°]

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson, R.M. & Tullis, B. (2011). Influence of Piano Key Weir geometry on AFSHAR A., 1998. The development of labyrinth spillway designs, Water Power & Dam Construction, pp. 36-39;
- Bureau of Reclamation, 1987. Design of small Dams, a Water Resources Technical Publication, Denver, Colorado;
- CARLIER M., 1980. Hydraulique générale et appliquée, Eyrolles, pp. 189-215 ;
- CAROL S., KATHLEEN L., 1982. A Site Specific Study of a Labyrinth Spillway, Proceeding of the conference Applying Research to Hydraulic Practice, Hydraulics Division of ASCE, pp. 86-95;
- 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 ;
- Bouredji, S. 2012. Mémoire Magister en Hydraulique, Contribution à l'étude de l'effet des conditions amont sur l'écoulement du déversoir en touche de piano (PK-Weir), Biskra.
- Ben Said, M. & Ouamane, A. 2011. Study of optimization of labyrinth weir. Intl Workshop on Labyrinth and piano key weirs PKW 2011, CRC press, London, 67-74.
- BELAABED Faris., 2011. Mémoire Magister en Hydraulique, Contribution à l'étude des déversoirs en touches de piano (PK-Weir) noyés par l'aval en labyrinthe, Biskra ;
- Belaabed, f. & Ouamane, a. 2011. Contribution to the study of the piano key weirs submerged by the downstream level. Intl workshop on labyrinth and piano key weirs pkw 2011, crc press, London, 89-98.
- LADREYT S., LABORIE V., 2005. Notice sur les déversoirs, Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF), France, pp 21-71 ;
- LUX III, F., HINCHLIFF, D.L. 1985 Design and Construction of Labyrinth Spillways, 15th Congress on Large Dams, ICOLD, Vol. IV, Q59, R 15, pp. 249-274, Lausanne;
- LEMPÉRIÈRE F., OUAMANE A., 2003. The Piano Keys Weir: a new cost-effective solution for spillways, The International Journal on Hydropower & Dams, Issue Four;
- LEMPERIERE F., GUO J., 2005. Low cost increase of dams storage and flood mitigation: The piano keys weir, International commission on irrigation and drainage, Nineteenth Congress Beijing;
- LEMPERIERE F., VIGNY J., 2005. International symposium on Dam safety. Analysis and low cost mitigation of the flood risk of Asian dams, Xian;
- LEMPERIERE F., VIGNY J., 2006. Economie et sécurité des déversoirs du Burkina faso. 1^{er} congrès national des barrages Burkina faso ;

- Leite Ribeiro, M. Boillat, J. L. & Schleiss, A. J. 2011. Experimental parametric study for hydraulic design of PKWs. Intl Workshop on Labyrinths and Piano Key Weirs PKW 2011, CRC Press. 183-190.
- Laiadi, A., Athmani, B., Belaabed, F. & Ouamane, A. (2017). The effect of the geometric shape of the alveoli on the performance of Piano Key Weirs. Labyrinth and Piano Key Weirs III- PKLW 2017 (pp. 93–100). Leiden: CRC Press.
- MAGALHAES A., 1985. Labyrinth-Weir Spillways. 15th Congress on Large Dams, ICOLD, Vol. IV, Q59, R 24, pp. 395-407, Lausanne;
- MAGALHAES A P., MELO J F., 1994. Hydraulic Model Study of Large Labyrinth Weir Spillway. Application of Useful Experimental Charts in its Design, 2nd International Conference on Hydraulic Modeling, BHR Group pp. 25-31, UK;
- Machiels, O., Piroton, M., Archambeau, P., Dewals, B. & Erpicum, S. 2013. Experimental parametric study and design of Piano Key weirs. J. Hydraulic Res. in press.
- NOUI A., 2007. Mémoire Magister en Hydraulique, Etude de l'optimisation de l'évacuateur de crues en touches de piano (PK.Weir), Biskra,
- OUAMANE A., LEMPERIERE F., 2006. Amélioration de la forme des déversoirs en labyrinthe pour l'évacuation des grands débits, Séminaire National sur les ressources en eaux et leurs utilisations, Centre Universitaire Khemis Meliana ;
- OUAMANE A., LEMPERIERE F., 2006. Nouvelle conception de déversoir pour l'accroissement de la capacité des retenues des barrages, Colloque International sur la protection et la préservation des ressources en eau, Blida ;
- 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.
- OUAMANE A., 2006. Hydraulic and Costs data for various Labyrinth Weirs, 22th Congress on Large Dams, ICOLD, Q84, Barcelona;
- OUAMANE A., LEMPÉRIÈRE F., 2007. Increase of the safety of existing dams - Rehabilitation of weir, Symposium: Dam Safety Management. Role of State, Private Companies and Public in Designing, Constructing and Operating of Large Dams» ICOLD 75th Annual Meeting Saint Petersburg, Russia;
- Pfister, M., Erpicum, S., Machiels, O. Schleiss, A.J., Piroton, M. 2012. Discussion Discharge coefficient for free and submerged flow over Piano Key weirs, Journal of Hydraulic Research 50(6), 642-643.
- TULLIS, J. P., AMANIAN, N. WALDRON, D. 1995. Design of Labyrinth Spillways, Journal of hydraulic engineering, Vol. 121, N° .3, pp 247-255;