

NOUVELLE CONCEPTION DE DEVERSOIR POUR L'ACCROISSEMENT DE LA CAPACITE DES RETENUES DES BARRAGES

NEW CONCEPTION OF WEIR FOR THE INCREASE OF THE CAPACITY OF DAMS

Ahmed OUAMANE¹ & François LEMPERIERE²

¹ *Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement / Université Mohamed Khider (Biskra)*

² *Hydrocoop-France. ouamane_hyd@hotmail.com, ydrocoop_france@compuserve.com*

RESUME : Les barrages réservoirs sont souvent confrontés à deux problèmes fondamentaux, le premier se rapporte à la maîtrise des crues qui peuvent présenter des risques de submersion du barrage et le deuxième problème se rapporte à la perte de la capacité de stockage suite à l'envasement de la retenue. La maîtrise des crues est généralement assurée par l'équipement du barrage par un évacuateur de crues qui assure le passage des crues sans incident. Néanmoins, son coût représente une partie significative du coût global du barrage. La perte de stockage suite à l'envasement de la retenue du barrage peut être remédiée entre autres par la surélévation du seuil du déversoir qui permet d'avoir un espace supplémentaire de stockage. La recherche d'une forme optimale de déversoir qui possède un rendement élevé et un coût relativement faible, a conduit à la conception d'une nouvelle forme de déversoir non rectiligne. Cette nouvelle forme de déversoir baptisée Déversoir en Clefs de Piano (P.K.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. Les résultats des essais expérimentaux détaillés sur 23 modèles réduits physiques ont montré que deux solutions de P.K.Weir peuvent être retenues.

Mots clés : Barrage, évacuateur de crues, déversoir en touches de piano.

ABSTRACT : Dams reservoirs are often confronted with two fundamental problems, the first relates to the control of floods which can present a risk of submerging dam and second problem relates to the loss of storage capacity further silting reservoir. A control of floods is generally assured with spillways which assure the passage of floods without incident. Nevertheless, its cost represents a significant part of global cost of dam. A loss of storage further the silting of reservoir can be remedied by heightening a sill of

spillways which allows to have a supplementary space of stocking. A search for an optimal shape of weir which possesses a high performance and a low cost, led to conception of a new shape of no rectilinear weir. This new shape of weir baptized Piano Keys Weir (P.K.Weir) represent an effective alternative for most new dams and can increase in low cost the capacity of evacuation and/or the stocking of several existing dams. A results of tests detailed on 23 physical models showed that two P.K.Weirs solutions can be retained.

Keywords: Dam, spillway, piano keys weir.

INTRODUCTION

Les déversoirs à écoulement à surface libre sont plus simples et plus sûrs que les déversoirs vannés. Cependant, le faible débit spécifique de leurs formes traditionnelles exige de grandes profondeurs de la lame déversante, ainsi d'énormes pertes de stockage. On estime à 100 milliards de m³ d'eau perdus chaque année à travers le monde (Lempérière et al, 2003).

Une nouvelle forme de déversoir à écoulement libre (le Déversoir en Clefs de Piano ou P.K.Weir) multiplie le débit spécifique d'un déversoir standard par trois ou plus pour la même largeur du déversoir et sous la même charge.

Cette nouvelle forme de déversoir réduira considérablement le coût de la plupart des nouveaux barrages et peut augmenter à faible coût la sécurité, le stockage et/ou l'efficacité de prévention des crues de plusieurs barrages existants. Le P.K.Weir peut être employé pour des débits spécifiques de 5 à 100 m³/s/m. Il a été vérifié par trois laboratoires :

- Le Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement de l'université de Biskra.
- Le Laboratoire National d'Hydraulique de Châtou (EDF) France.
- Le Laboratoire d'Hydroplus France.

CONCEPTION DU P.K.WEIR

La plupart des déversoirs existant à écoulement libres ont une forme standardisée (Déversoir Creager) et sont placés sur des structures de barrage poids en béton ou latéralement pour les barrages en terre. Leur inconvénient est leur faible débit spécifique qui est de l'ordre de $2,2 H^{1.5}$ (H étant la hauteur de la lame déversante).

Par conséquent, la perte de stockage utile correspondant à la charge maximale peut être de 20 à 50 % en comparaison avec un déversoir vanné, c'est la raison pour laquelle les déversoirs vannés sont choisis pour les deux tiers des déversoirs de capacité d'évacuation supérieure à 1000 m³/s.

Il doit être ainsi très intéressant d'augmenter le débit spécifique autant que possible. En conséquence, quelques dizaines de déversoirs existants ont été conçus sous forme de ligne brisée appelés souvent déversoir en labyrinthe. Cette disposition permet d'avoir une longueur de crête de déversoir beaucoup plus longue que la largeur de l'emprise (souvent 4 fois). D'habitude, le déversoir en labyrinthe multiplie par deux ou trois le débit spécifique d'un déversoir Creager. Il exige un à deux mètres cube de béton armé pour augmenter le débit d'un mètre cube par seconde. Le déversoir en labyrinthe a été principalement adopté pour des débits spécifiques de l'ordre de 10 m³/s/m. Exceptionnellement le déversoir en labyrinthe du barrage Ute aux Etats-Unis a fait augmenter le débit spécifique de 30 m³/s/ml; cela a exigé par mètre linéaire 60 m³ de béton armé (Hinchliff et al.1984). Au-delà de son coût pour les grands débits spécifiques, l'inconvénient principal de cette solution de déversoir en labyrinthe est la disposition des parois verticalement et l'utilisation d'un radier horizontal, ce qui exige une section transversale importante. Ceci ne permet pas son emploi sur les barrages en béton à cause de leur section transversale qui est réduite. Il peut être ainsi adopté seulement pour les barrages en terres, il a été choisi pour un sur mille des grands barrages.

Une conception totalement différente a été élaborée en collaboration avec d'Hydrocoop-France dans le but de concevoir un déversoir qui:

- peut être placé sur des sections réduites de barrages poids existants ou nouveaux
- permet l'évacuation des débits spécifiques jusqu'à 100 m³/s/m
- multiplie au moins par trois le débit d'un déversoir Creager
- peut être structurellement simple et facile à construire avec les ressources locales de chaque pays.

Sur la base des essais préliminaires sur des modèles réduits physiques quelques formes ont été alors choisies qui sont basées sur :

- Une disposition rectangulaire quelque peu semblable aux formes de Clefs de Piano (Fig. 1, 2, 3 et 4), ce qui explique le nom de Déversoir en Clefs de Piano (P.K.Weir)

- Un radier incliné des alvéoles amont et aval.
- Une longueur de la base réduite grâce à l'utilisation des porte-à-faux (la longueur de la crête est égale trois fois la longueur de la base)

- Une largeur réduite des éléments grâce à la forme rectangulaire.

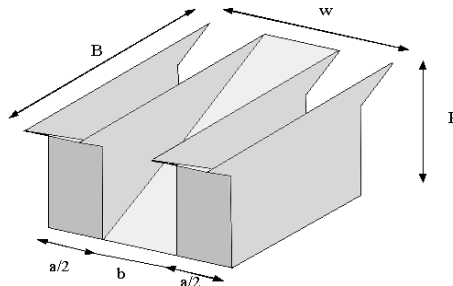


Fig. 1. Schéma d'un cycle de déversoir en clefs de Piano (P.K.Weir)

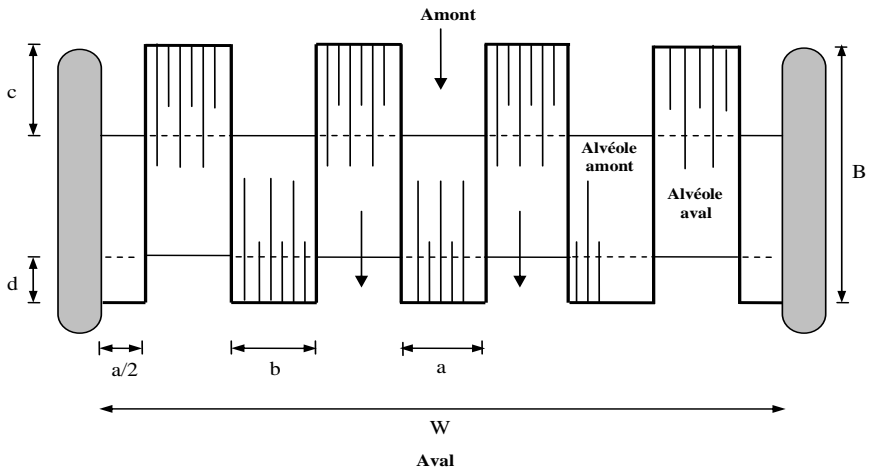


Fig. 2. Vue en plan du déversoir en clefs de Piano (P.K.Weir)

Pour vérifier le comportement et la performance de ce nouveau déversoir plusieurs essais détaillés sur des formes choisies ont été alors réalisés depuis l'année 2002 au Laboratoire d'Aménagements Hydrauliques et Environnement de l'Université de Biskra.

Ces essais ont été réalisés dans un modèle de base qui simule les conditions d'écoulement dans une retenue de barrage.

Les essais effectués sur une trentaine de modèles réduits de P.K.Weir ont donné une base pour optimiser l'accroissement de la capacité d'évacuation du P.K.Weir selon les rapports entre la longueur, la hauteur, la largeur et la forme des éléments, en particulier selon le rapport entre la longueur de la crête du P.K.Weir et sa largeur $N=L/W$.

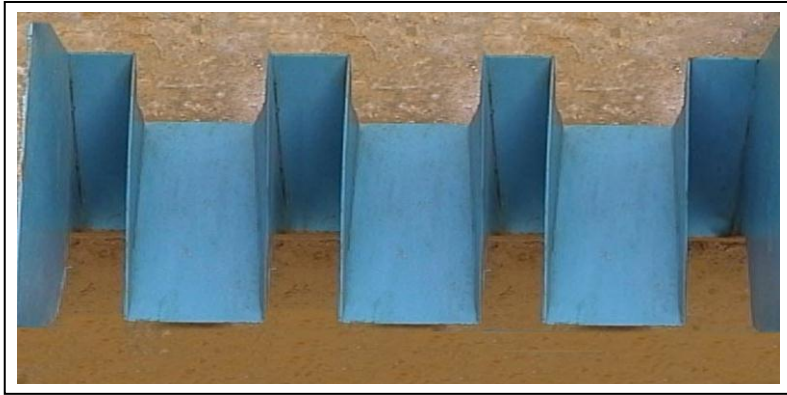


Fig. 3. Vue en plan du modèle réduit du P.K.Weir

L'impact de la longueur des porte-à-faux a été étudié selon trois configurations, la première avec des porte-à-faux amont plus longs que les porte-à-faux aval, la seconde configuration avec des porte-à-faux amont et aval identiques et la dernière configuration avec seulement des porte-à-faux amont.

Ces trois configurations ont été choisies pour des raisons de conception structurelle et de construction afin de déterminer les solutions les plus rentables.

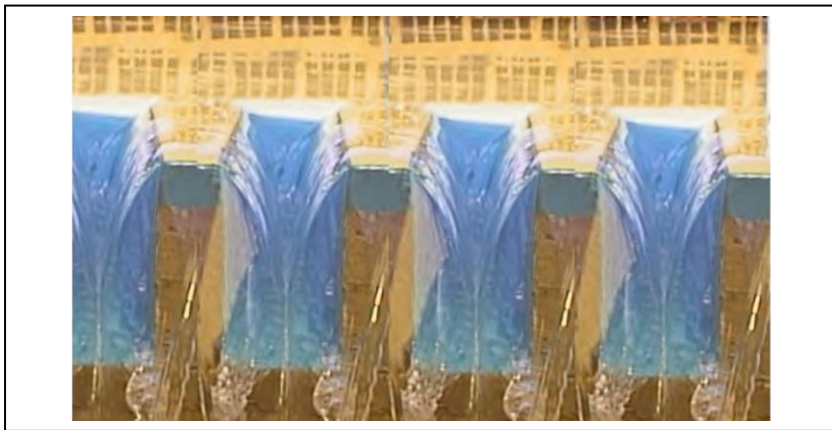


Fig. 4. Vue aval de l'écoulement sur le P.K.Weir

- L'augmentation de la longueur ou la hauteur de 10 % pour la même largeur d'éléments fait augmenter la performance du déversoir d'environ 5 %.
- La conception d'une meilleure forme hydraulique à la partie verticale sous les porte-à-faux amont (comme pour les piliers d'un déversoir vanné),

augmenteraient le rendement du P.K.Weir d'environ 10 % pour un faible coût supplémentaire (Fig. 5).

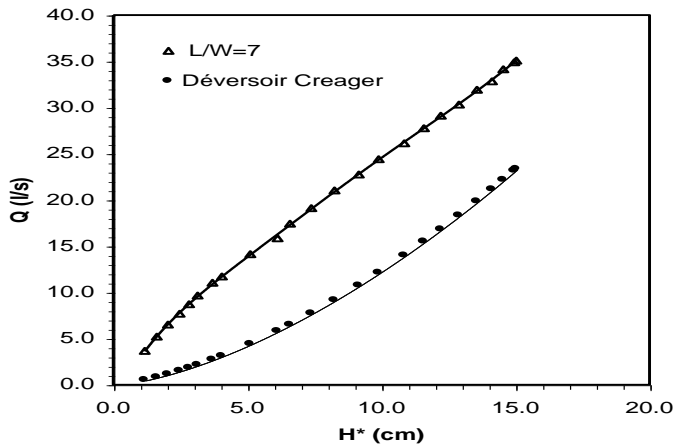


Fig. 5. Comparaison entre le débit évacué par le P.K.Weir et celui d'un déversoir rectiligne

- La modification de la partie inférieure du radier de l'alvéole aval ne réduit que faiblement la capacité d'évacuation du P.K.Weir. Cela peut favoriser les conditions de construction.

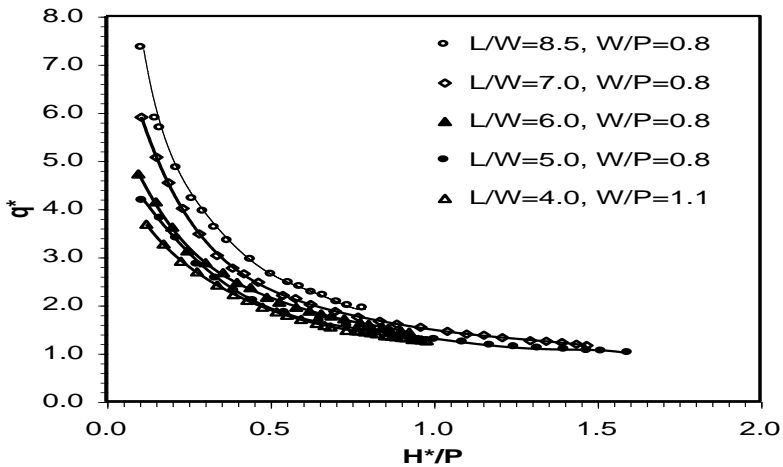


Fig. 6. Performance du P.K.Weir en fonction du ratio L/W

- L'effet des corps flottants peut réduire le débit d'environ 10 % quand la profondeur de la lame déversante est dans la gamme de 1 ou 2m (Comme pour les déversoirs Creager). Pour les profondeurs de la lame déversante

supérieures à 2m les corps flottants sont évacués systématiquement vers l'aval.

- L'écoulement est considérablement aéré par un P.K.Weir; le risque d'érosion à l'aval est ainsi très réduit aussi bien que le coût de la construction de nouveaux barrages ou de la maintenance des barrages existants.

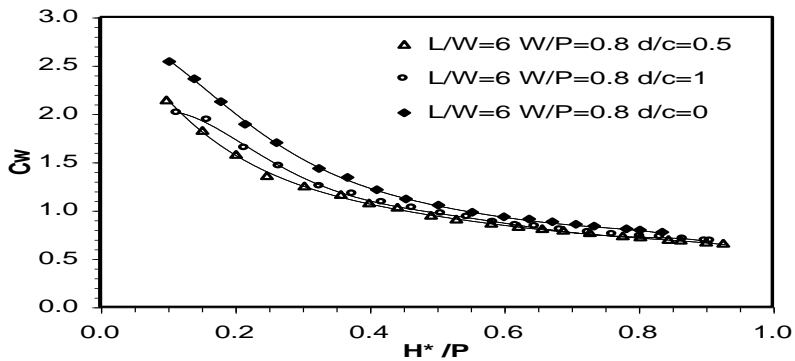


Fig. 7. Coefficient de débit du P.K.Weir en fonction de la longueur des porte-à-faux

Sur la base des résultats expérimentaux et pour des raisons de construction, deux types de section longitudinale simple ont été privilégiés.

Type A : Les porte-à-faux amont et aval sont identiques (Fig. 8), ceci favorise l'utilisation des éléments préfabriqués en béton armé qui peuvent être utilisés pour des débits spécifiques jusqu'à 20 m³/s/ml. Ce type de P.K.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.

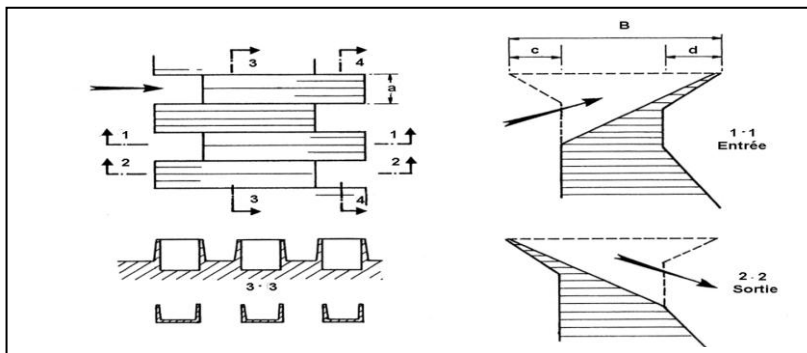


Fig. 8. P.K.Weir à porte-à-faux amont et aval identiques (Type A)

Type B : Ce type de P.K.Weir (Fig. 9) 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. Les efforts structurels sont moins importants pour les grands débits spécifiques. Cela pourrait ainsi être le choix le plus attirant pour plusieurs futurs barrages.

- Le modèle Type B qui se caractérise par des porte-à-faux uniquement en amont représente deux avantages et un inconvénient par rapport au P.K.Weir de type A.
- Le débit spécifique est plus grand que celui du modèle de type A pour la même longueur et la même hauteur.
- Les forces de la pression d'eau appliquées sur le porte-à-faux amont sont réduites par la présence d'eau sous les porte-à-faux amont.

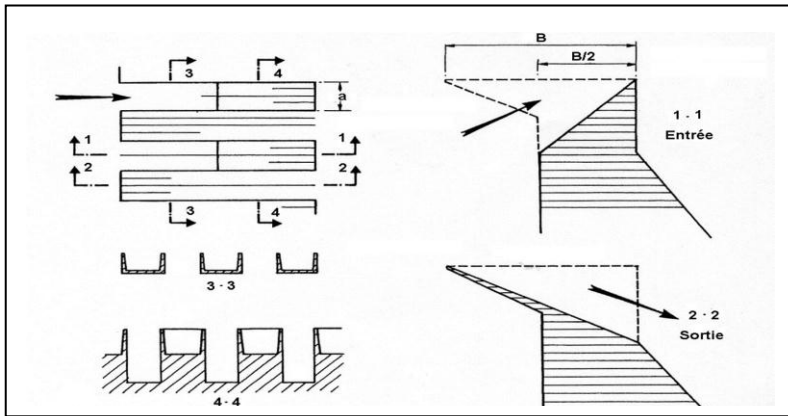


Fig. 9. P.K.Weir à porte-à-faux amont et aval identiques (Type B)

- Cependant, le modèle de type B ne favorise pas l'utilisation des éléments préfabriqués qui peuvent être financièrement avantageux pour des débits spécifiques inférieure à $20\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$. Le modèle B est probablement plus intéressant pour les grands débits spécifiques.

EXEMPLE D'APPLICATION

Pour mieux comprendre l'efficacité de ce type de déversoir deux exemples d'application sont exposés ci-dessus :

Un P.K.Weir de type A pour une hauteur de pelle $P= 6\text{m}$ avec une hauteur effective $p=4\text{m}$ ($p=2P/3$), pour lequel des éléments préfabriqués peuvent être employés facilement.

Un P.K.Weir de type B pour une hauteur de pelle $P=12\text{m}$ avec une hauteur effective $p=8\text{m}$ ($p=2P/3$). Les résultats obtenus sur modèles réduits ont été transférés au prototype par le biais des lois de la similitude.

Modèle Type A :

La longueur des éléments est de $B=12\text{m}$, la largeur d'un élément est $W=2 \times 2.40 = 4.80\text{m}$. Le ratio $N=L/W= 6$, $P = 6\text{m}$, $p=4\text{m}$, $L = 12\text{m}$ (Tableau 1)

Tableau 1. Caractéristiques du modèle type A

Charge d'eau sur le P.K.Weir (m)	0,50	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Débit Spécifique du P.K.Weir ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)	3,5	8,2	12,5	15,6	19,2	22,4	25,5	28,7	32	35,5
Débit Spécifique du déversoir Creager ($\text{m}^3/\text{s}/\text{ml}$)	0,8	2,2	3,9	6	8,8	11,4	14,5	17,7	21	24,5
Accroissement de débit spécifique (2-3) ($\text{m}^3/\text{s}/\text{ml}$)	2,7	6	8,6	9,6	10,4	11	11	11	11	11
Performance R du P.K.Weir (2/3)	4,4	3,7	3,2	2,6	2,2	2	1,8	1,6	1,5	1,4
Charge d'eau sur le déversoir Creager pour le même débit spécifique que la P.K.Weir (m)	1,4	2,4	3,2	3,7	4,2	4,07	5,1	5,6	6	6,3
Profondeur économisée (6-1) (m)	0,9	1,4	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,3

- La quantité exigée de béton armé est de l'ordre de $4\text{m}^3/\text{ml}$.
- L'accroissement de débit spécifique est d'environ $11 \text{ m}^3/\text{s}$ c'est-à-dire $1,4 p^{1.5}$
- Le gain de profondeur de la lame déversante est de $1,70\text{m}$, c'est-à-dire $0,42 p$.

Ce gain est réduit pour des profondeurs de lame déversante inférieures à 1m ($0,25p$) c'est-à-dire si cette solution est adoptée pour multiplier le débit de déversoir Creager par un coefficient R plus grand que 4 (pour $N = 6$).

Il est possible d'augmenter les valeurs de N et R en rétrécissant les éléments pour la même largeur et la même hauteur. Cependant l'augmentation du coût est proportionnelle à l'accroissement du ratio N et l'augmentation de gain de profondeur sera réduite progressivement. Il est donc recommandé d'employer des valeurs du ratio N inférieures à 10. Il est

aussi possible d'augmenter la largeur des éléments. Par exemple, si la largeur augmente de 4,80 à 8m, le ratio N devient égale à 4, les gains et les dépenses seront réduits d'environ 30% et la valeur maximale de R est limitée à 2,5.

Il est ainsi possible de choisir la largeur selon la valeur demandée de R, N étant plus grand que 1,5 R.

Pour une même largeur des alvéoles amont et aval, il est possible pour un même coût d'augmenter la largeur de l'entrée de 20 % et réduire en conséquence la largeur de sortie, le gain en charge est augmenté de 5 %.

Modèle Type B :

$P= 12m$, $p=8m$, $L = 24m$, $W = 2 \times 4,80 = 9,60m$, $N=6$ (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques du modèle type B

Charge d'eau sur le P.K.Weir (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Débit Spécifique du P.K.Weir ($m^3/s/m$)	11,5	27,4	39,9	50	59,4	68,5	77,6	88,5	98	108
Débit Spécifique du déversoir Creager ($m^3/s/m$)	2,2	6,2	11	17	25	32	41	50	59	69
Accroissement de débit spécifique (2-3) ($m^3/s/m$)	9,3	21,2	28,9	33	34,4	36,5	36,6	38,5	39	39
Performance R du P.K.Weir (2/3)	5,2	4,4	3,6	2,9	2,5	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6
Charge d'eau sur le déversoir Creager pour le même débit spécifique que la P.K.Weir (m)	3,1	5,4	7	8	9	9,9	10,8	11,7	12,6	13,4
Profondeur économisée (6-1) (m)	2,1	3,4	4	4	4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,4

La quantité exigée de béton armé est de l'ordre de $20 m^3/ml$ de déversoir.

L'augmentation de débit spécifique est de $38m^3/s$ c.à.d environ $1,7 p^{1.5}$

Le gain de profondeur de la lame déversante est de 3,8m c.à.d environ 0,45 p

Ces gains sont sérieusement réduits pour des profondeurs de la nappe inférieure à (0,2 p) c.à.d si cette solution est adoptée pour multiplier un débit de déversoir Creager par un coefficient R plus grand que 4,5 (pour N = 6.)

ACCROISSEMENT DE LA CAPACITE DES RETENUES DES BARRAGES

Si la profondeur de la nappe pour la crue de conception est H , il sera possible d'augmenter le niveau d'exploitation de $0,6 H$ en baissant le seuil de $0.9 H$ et plaçant le P.K.Weir dont la hauteur P sera $1,5 H$.

L'augmentation du niveau d'exploitation d'un mètre exigera par mètre de longueur de déversoir 2 à 3m^3 de béton armé et $1,5$ à 2m^3 de béton ordinaire pour la plupart des déversoirs.

Le rapport entre la surface de la retenue S (en m^2) et la longueur de déversoir L (en m) varie souvent entre 10.000 et 20.000 . L'utilisation de 2m^3 de béton armé permet de récupérer 10.000 à 20.000m^3 de stockage d'eau.

ACCROISSEMENT DE LA CAPACITE DES EVACUATEURS DE CRUES

Il est souvent demandé d'augmenter la capacité d'évacuation d'un évacuateur de crues à écoulement libre de $1,5$ ou 2 . Le P.K.Weir peut être une solution avantageuse. Par exemple si la charge de conception est H , baissant le seuil d'une hauteur égale à H et plaçant un P.K.Weir pour maintenir le même niveau d'exploitation ceci augmentera le débit d'environ 70% , exigeant ainsi pour chaque m^3/s de débit supplémentaire un volume de béton armé de 0.5m^3 et 0.35m^3 .

AUGMENTATION DU STOCKAGE ET DE LA SECURITE

Pour augmenter à la fois la capacité d'évacuation du déversoir et la capacité de stockage de la retenue. Il est possible d'adopter la solution du P.K.Weir pour augmenter le stockage de 30% de la profondeur de la nappe actuelle et augmenter la capacité d'évacuation de 50% .

APPLICATION DU P.K.WEIR POUR DES BARRAGES ALGERIENS

L'application du P.K.Weir pour les barrages Algériens permet une récupération d'un volume de stockage qui peut atteindre les $250 \cdot 10^6 \text{m}^3$, l'équivalent de cinq nouveaux barrages de capacité $50 \cdot 10^6 \text{m}^3$ chacun. L'application du P.K.Weir peut être réalisable pour la plupart des barrages en terre ou en béton, équipés d'un évacuateur de crues à écoulement à surface libre. La réalisation de ce type de déversoir pour l'accroissement de la capacité des réservoirs demande un faible coût d'aménagement. Quelques

applications ont été faite pour des barrages Algériens sont mentionnées dans le tableau 1 :

Tableau 1. Quelques exemples

Barrage	Charge d'eau initiale sur le déversoir m	Hauteur de la surélévation m	Charge d'eau sur le déversoir après la surélévation m	Volume de stockage récupéré 10^6 m^3	Coût total de l'aménagement D.A	Prix du m^3 récupéré D.A
Foum-El-Geuiss	2.1	1.3	0.8	0.7267	22.311.800	31.00
Ain Zada	9.2	4	5.2	44	206.948.500	5.00
Babar	2.5	1.4	1.1	10	174.774.400	17.5
Zit-Amba	5	2.5	2.5	22	31.362.120	1.50

Il est à remarquer que le coût du mètre cube récupéré augmente au fur et à mesure que le volume récupéré diminue, a cet effet, l'adoption du P.K.Weir pour l'accroissement de la capacité des retenues serai plus rentable pour les moyens et grand barrages.

CONCLUSION

Le P.K.Weir représente une alternative rentable de point des vues hydraulique et économique. Ce type de déversoir pourrait être une solution pour plusieurs barrages existants qui nécessite un accroissement de la capacité de la retenue ou l'accroissement de débit évacué par l'évacuateur de crues. Comme il pourrait être une solution pour réduire la largeur des évacuateurs de crues et/ou la hauteur des nouveaux barrages.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hinchliff, D. L., Houston, K. L., 1984. Hydraulic Design and Application of Labyrinth Spillways » Division of Research Engineering and Research Center, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- Lempérière, F., Ouamane, A., 2003. The piano keys weir: a new cost-effective solution for spillways" the international journal on Hydropower and Dams volume ten, issue Five.