

ETUDE DU DEVERSOIR EN TOUCHES DE PIANO (TYPE A) FONCTIONNANT DANS DES CONDITIONS D'ÉCOULEMENTS LIBRE ET NOYÉ

FARIS BELAABED, AHMED OUAMANE

Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement-- Université de Biskra (Algérie)

faris.belaabed@yahoo.fr, a.ouamane@univ-biskra.dz

RESUME

Le déversoir en touches de piano (PK-Weir) est une solution qui permet d'améliorer l'efficacité et la sécurité des ouvrages hydrauliques tels que les barrages réservoirs et les seuils en rivières. De nombreuses études théoriques et expérimentales ont été menées par les différents chercheurs du domaine des ouvrages hydrauliques pour tenter de mieux comprendre son fonctionnement et de définir sa configuration géométrique optimale pour des conditions d'écoulement libre. Par contre, il n'y a que peu de travaux menés sur PK-Weir avec des conditions d'écoulement submergé.

Le présent travail consiste à étudier par voie expérimentale les deux types d'écoulement, à savoir, l'écoulement libre et noyé sur deux géométries de PK-Weir (type A et A1m). L'analyse des résultats a fait remarquer que dans les conditions d'écoulement libre, le modèle de PK-Weir de type A1m a été défini comme étant plus performant que le type A. Cependant, dans les conditions d'écoulement noyé, il a été constaté que la variation du niveau aval pouvait influencer l'écoulement en amont du PK-Weir, l'importance de cet effet varie en fonction de la géométrie du modèle.

MOTS CLES: Déversoir en touches de piano (PK-Weir), écoulement noyé, écoulement libre, modèle physique, barrages.

ABSTRACT

The Piano Key Weir (PK-Weir) is a solution that improves the efficiency and the safety of hydraulic structures such as the reservoir dams and the river weirs. Many theoretical and experimental studies have been carried out by various researchers in the field of hydraulic structures to try to better understand its operation and to define its optimal geometric configuration for the free flow conditions. On the other hand, there is not much work done on PK-Weir with submerged flow conditions.

The present work consists in studying experimentally the two types of flow, namely, the free flow and the submerged flow on two PK-Weir geometries (type A and A1m). The analysis of the results pointed out that under the free flow conditions, the PK-Weir type A1m model was defined as being more efficient than the type A. However, under submerged conditions, it was found that the variation of the downstream level could influence the flow upstream of the PK-Weir, the importance of this effect varies according to the geometry of the model.

KEYWORDS: Piano Key Weir (PK-Weir), submerged flow, free flow, physical model, Dams.

1 INTRODUCTION

Les études contemporaines dans le domaine de l'hydrologie ont fait remarquer un important accroissement de l'intensité des débits des crues maximales par rapport aux crues initialement prévues. Cet accroissement de l'importance des crues est dû à plusieurs facteurs, entre autres, le facteur humain, l'urbanisation des sols et l'effet du changement climatique. La conséquence de cette augmentation de débit des crues sur les barrages existants est la submersion du déversoir, qui agit directement sur la capacité d'évacuation de la crue. Le PK-Weir est connu par sa grande capacité

d'évacuation des crues dans des conditions d'écoulement libre, il s'adapte aussi aux conditions d'écoulement noyé. La figure (01) montre la submersion du PK-Weir du barrage Van Phong en Vietnam le 16 décembre 2016).

Les travaux initiaux réalisés sur le PK-Weir par Lempérière et Ouamane (2003, 2006), ont défini la forme standard du PK-Weir à partir de recherche et de développement sur modèles réduits, ceci a inspiré plusieurs Chercheurs à travers le monde de poursuivre ces travaux et à optimiser la conception du PK-Weir (Tableau 01).



Figure 01: Barrage Van Phong –Vietnam : a) avant inondation, b) Sous inondation 16 décembre 2016 (Ho Ta Khanh et al. 2017)

Tableau 01 : Résumé des travaux les plus importants menés sur PK-Weir

Laboratoire	Pays	Nombre de modèle	Références
Laboratory of Hydraulic Developments and Environment-Biskra University	Algérie	150	Ouamane&Lempérière (2003,2006);Ouamane (2011, 2017)
Ho Chi Minh City University of Technology (HCM)	Vietnam	5	Truong Chi Hien et al.(2006) HMC Internal reports
Water Resources Development & Management Department-Indian Institute of Technology Roorkee	Inde	28	Das Singhal (2010)
Laboratory of Hydraulic Constructions- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (LCH - EPFL)	Suisse	50	Leite Ribeiro et al. (2011) Leite Ribeiro et al. (2012b)
National Hydraulic and Environment Laboratory- Electricité de France (LNHE-EDF)	France	9	De Miranda (2011) ; Cicero &Delise (2013)
Utah Water Research Laboratory- Utah State University	USA	13	Anderson (2011)
Hydraulics in environmental and civil engineering- Liege University (HECE-ULg)	Belgique	52	Machiels (2012)
Department of Civil Engineering- Isfahan University of Technology	Iran	33	Kabiri-Samani&Javaheri (2012)

Source :Leite Ribeiro et al.(2013)

Les travaux de recherche effectués dans le domaine des déversoirs en touches de piano fonctionnant dans les conditions noyées se rapportent essentiellement aux travaux de Belaabed et al. (2011, 2013, 2014, 2017), Tullis et al. (2012), Ho Ta Khanh et al. (2012, 2017), Cicero et al. (2013, 2016) et Belzner et al. (2017).

Les travaux expérimentaux et théoriques qui ont été menés

à l'Université de Biskra (Algérie) (Belaabed et Ouamane, 2011, 2013, 2014, 2017) ont eu pour objectif de déterminer l'effet de la noyade du PK-Weir sur sa performance. Ces travaux ont montré que la condition aval pouvait influencer l'écoulement en amont du PK-Weir. Cette influence est induite par une variation proportionnelle entre l'amont et l'aval et l'importance de cette variation varie avec le type de modèle de PK-Weir.

Dabling et al. (2012) ont montré que l'effet des conditions aval de PK-Weir type A apparaît quand $H_u/H_d \geq 0.48$. Ho Ta Khang, et al.(2012) ont montré, d'un point de vue hydraulique, que la différence entre le déversoir labyrinthe rectangulaire et les PK-Weirs de type A et D n'était pas très importante et que le PK-Weir de type D a seulement un léger avantage durant les fortes crues. Cicero et al. (2013, 2016) ont montré aussi que le type C était moins efficace que le type A, qui est moins efficace à son tour que le type B pour $H_u/H_d > 0,6$. Belzner et al. (2017) ont déterminé le

début de l'influence de la submersion H_u/H_d de deux modèles de déversoir (labyrinthe triangulaire et PK-Weir type A). Les résultats ont prouvé qu'ils ont la même influence de la submersion, qui commence à la valeur $H_u/H_d \approx 0.5$.

Le présent travail n'est qu'une continuité des travaux réalisés en 2017, il consiste en l'étude d'écoulement libre et submergé sur les PK-Weirs de type A1m et type A.

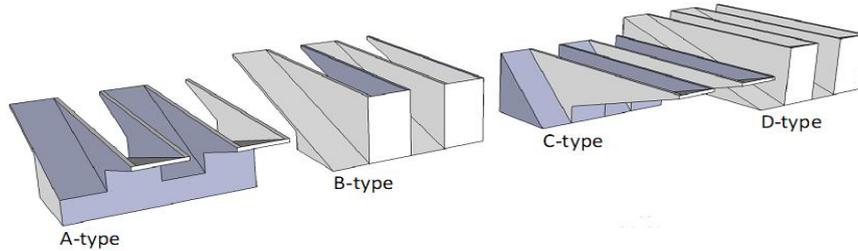


Figure 02: Différents types de déversoir PK-Weir (Epicum et al. 2017)

2 DESCRIPTION DES ESSAIS

Dans l'objectif de déterminer l'influence de la noyade sur l'écoulement en amont du déversoir non-rectiligne de type Piano Key Weir (PK-Weir), des essais sur le modèle réduit ont été réalisés au Laboratoire d'Aménagements Hydrauliques et Environnement (LAHE) de l'Université de Biskra. Ces essais ont été réalisés dans une station expérimentale qui représente un dispositif de simulation de retenue 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. La station

d'expérimentation est équipée d'une station de pompage regroupant deux pompes qui débitent 170 l/s, d'un bassin de simulation de retenue ayant une forme rectangulaire 5x4 m et de hauteur 1.5 m. Ce bassin est équipé d'un réseau de prise de pression permettant de déterminer les profondeurs d'eau aux différents endroits du bassin. Le débit qui transite par le dispositif expérimental est mesuré par un débitmètre à ultrason.

L'étude expérimentale a été réalisée sur deux modèles PK-Weir de configuration différente, les caractéristiques géométriques de ces modèles sont mentionnées dans le tableau 02.

Tableau 02: Paramètres géométriques des deux modèles réduits testés

Model de déversoir	N [-]	W [cm]	W ₀ [cm]	W _i [cm]	B [cm]	B ₀ [cm]	B _i [cm]	B _b [cm]	W ₀ /W _i [-]	P ₀ =P _i [cm]
PK-Weir type A1m	4	100	13.50	11.3	53	12	12	24.5	1.20	20
PK-Weir type A	6	100	9	7.5	41	10.25	10.25	20.5	1.20	15

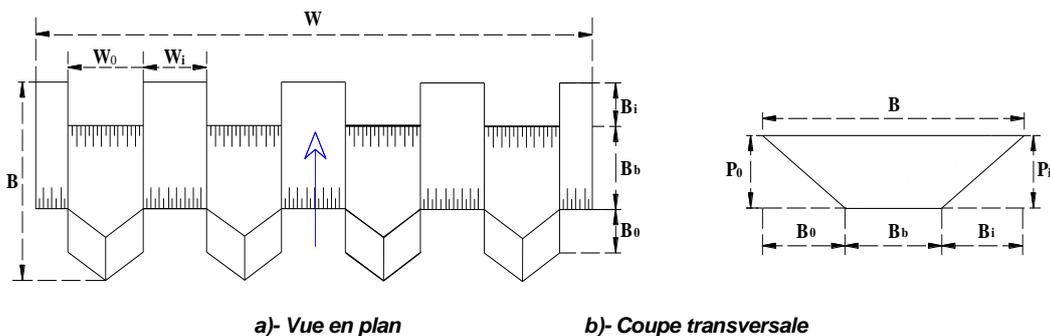


Figure 03: Configuration géométrique du modèle de PK-Weir type A1m

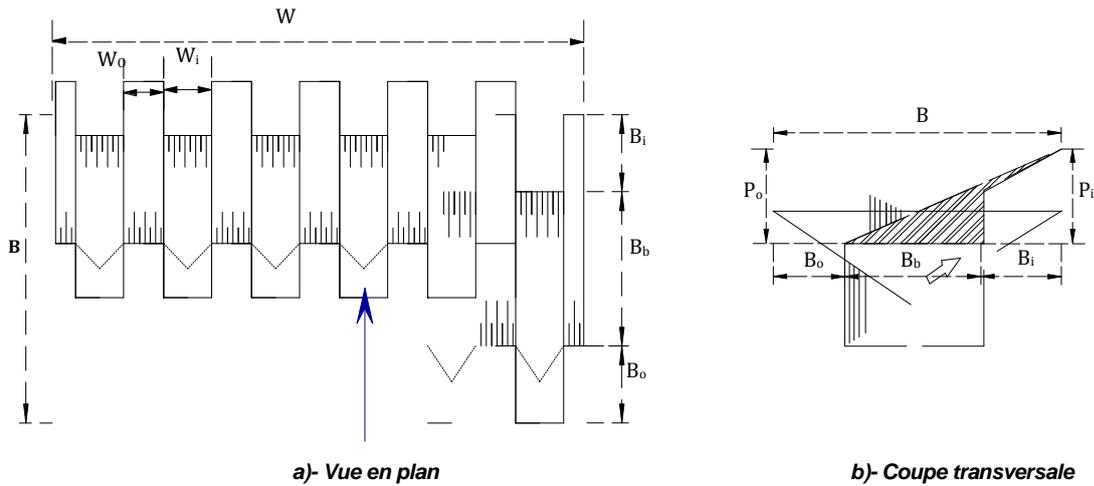


Figure 04: Configuration géométrique du modèle de PK-Weir type A

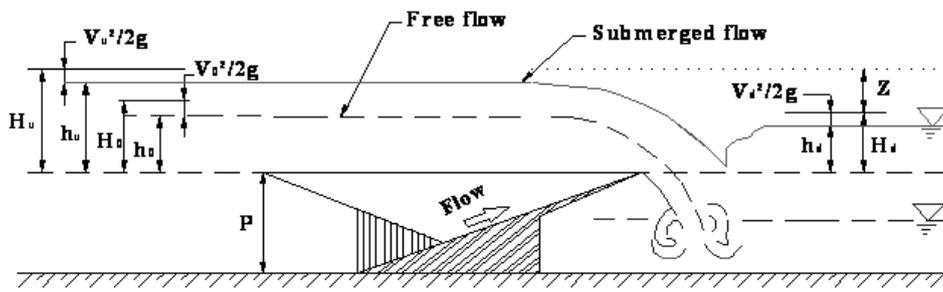


Figure 05: Paramètres hydrauliques de l'écoulement libre et noyé

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Cas de l'écoulement libre

La géométrie du déversoir en touche de piano (PK-Weir) peut avoir une incidence fondamentale sur sa performance, pour confirmer ceci, deux types de PK-Weir ont été comparés. Le premier modèle de type A1m et le second de

type A (Fig. 06).

- Le modèle A1m se caractérise par des porte-à-faux amont et aval continue jusqu'à la base.
- Le modèle A se caractérise par des porte-à-faux amont et aval suspendus sur le tiers supérieur de la hauteur du déversoir.



Figure 06: Model de PK-Weir : a) type A1m, b) type A

L'analyse des résultats obtenus est réalisée par le biais de deux paramètres fondamentaux de l'écoulement sur les déversoirs.

Le premier paramètre correspond au coefficient de débit et le second à la charge relative.

Le coefficient de débit peut être déterminé à partir de l'équation universelle qui exprime l'écoulement à surface libre sur le déversoir à écoulement libre.

$$C_w = \frac{Q}{W\sqrt{2gH}^{3/2}} \quad (1)$$

Ou :

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

C_w : Coefficient de débit du déversoir ;

- W : Largeur totale amont du déversoir (m) ;

- H : Charge totale amont (m)

- h : Charge piézométrique (m) ;

- v : Vitesse moyenne en amont (m/s) ;

- g : Accélération de la pesanteur (m/s^2).

La charge relative H/P est exprimée par le rapport entre la charge totale H amont et la hauteur du déversoir P .

La représentation graphique des résultats expérimentaux obtenus sur les deux modèles A et A1m montre une différence entre les deux courbes de coefficients de débit. Ainsi, le modèle A1m qui est caractérisé par des porte-à-faux amont et aval continues jusqu'à la base paraît être plus rentable que le modèle A. Cet avantage qui se justifie par un accroissement de la performance de l'ordre de 7% pour des charges relatives $0.2 < H_0/P < 0.7$, constaté pour un écoulement libre. (Fig. 07).

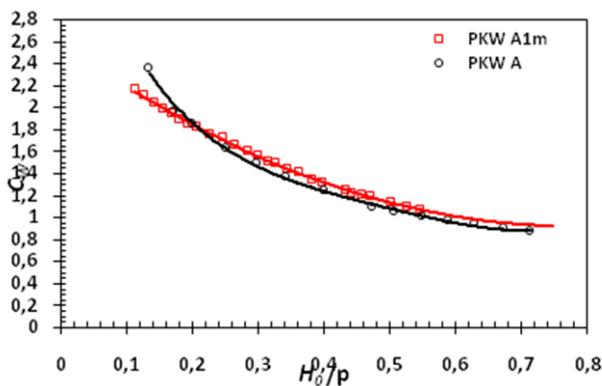


Figure 07: Coefficient de débit en fonction de type modèle PK-Weir (PK-Weir A et PK-Weir A1m)

3.2 Cas de l'écoulement noyé

3.2.1 Variation de la charge relative amont H_u/H_0 en fonction de la charge relative aval H_d/H_0

La seconde phase des essais a concerné le fonctionnement du PK-Weir dans des conditions d'écoulement noyé. La représentation graphique des résultats obtenus a fait apparaître que pour chacun des débits choisis, correspond une courbe adimensionnelle représentée par la charge relative amont (H_u/H_0) en fonction de la charge relative aval (H_d/H_0) comme le montre la figure 08. Ces courbes sont confondues et

représentent une seule courbe unique. Par conséquent, ces résultats indiquent que la variation de la charge relative aval est indépendante du débit qui transite sur le PK-Weir de type A. Ceci fait dire que l'effet de la noyade dépend essentiellement de la charge d'eau sur le déversoir. Ceci peut être aussi remarqué pour les résultats obtenus sur le modèle PK-Weir type A1m (Fig. 09).

Les représentations graphiques (08) et (09) montrent également que l'effet du niveau d'eau aval sur l'écoulement en amont de déversoir commence quand la charge relative H_d/H_0 devient supérieure à 0.6 pour le modèle A et supérieure à zéro pour le modèle A1m. Au-delà de ces valeurs, la profondeur d'eau aval augmente de manière proportionnelle avec la profondeur d'eau amont jusqu'à une valeur de la charge relative $H_d/H_0 = 2.6$ pour le modèle A et $H_d/H_0 = 4.6$ pour le modèle A1m. À partir de cette valeur, la charge aval, H_d égale celle de l'amont, H_u ($H_d = H_u$).

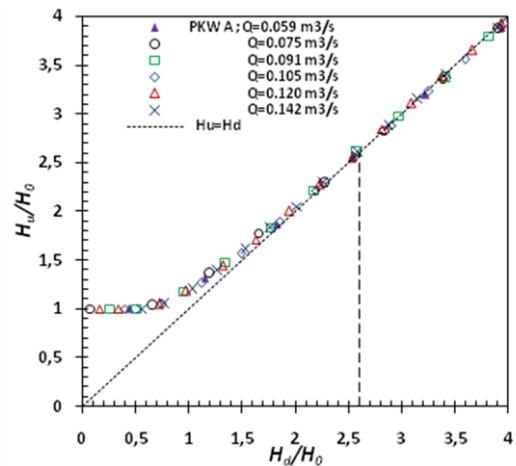


Figure 08: Variation du ratio H_u/H_0 en fonction de ratio H_d/H_0 (PK-Weir type A)

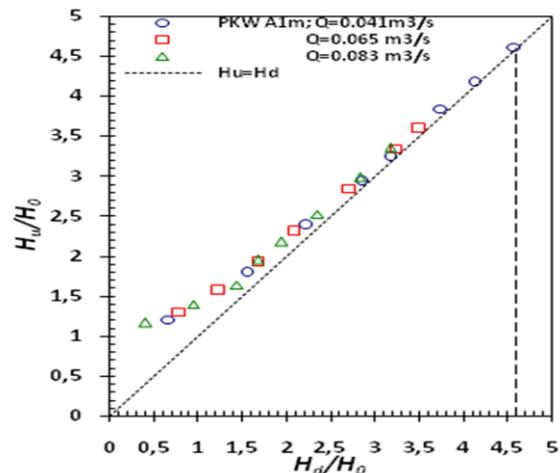


Figure 09: Variation du ratio H_u/H_0 en fonction de ratio H_d/H_0 (PK-Weir type A1m)

La représentation des équations de la courbe de délimitation par partie pour chaque déversoir fonctionnant dans des

conditions d'écoulement submergée sont données au-dessus :

-Déversoir PK-Weir type A :

$$\frac{H_u}{H_0} = 1 \quad 0 \leq \frac{H_d}{H_0} < 0.6 \quad (3)$$

$$\frac{H_u}{H_0} = 1.025 \cdot \left(\frac{H_d}{H_0}\right)^{0.98121} + 1.0454 \cdot e^{-1.79521 \cdot \left(\frac{H_d}{H_0}\right)} \quad 0.6 \leq \frac{H_d}{H_0} < 2.6 \quad (4)$$

$$H_u = H_d \quad \frac{H_d}{H_0} > 2.6 \quad (5)$$

-Déversoir PK-Weir type A1m :

$$\frac{H_u}{H_0} = 1 \quad 0 \leq \frac{H_d}{H_0} \quad (6)$$

$$\frac{H_u}{H_0} = 1.105 \cdot \left(\frac{H_d}{H_0}\right)^{0.93221} + 0.9899 \cdot e^{-1.210 \cdot \left(\frac{H_d}{H_0}\right)} \quad 0 < \frac{H_d}{H_0} \leq 4.6 \quad (7)$$

$$H_u = H_d \quad \frac{H_d}{H_0} > 4.6 \quad (8)$$

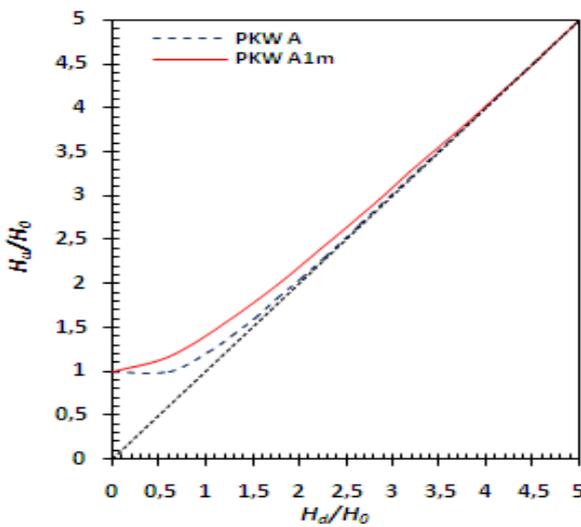


Figure 10: Comparaison entre le PK-Weir de type A et PK-Weir de type A1m fonctionnant dans des conditions noyées

La comparaison entre les modèles PK-Weir type A et type A1m qui fonctionnent dans des conditions d'écoulement noyé, représentée par la charge relative amont (H_u/H_0) en fonction de la charge relative aval (H_d/H_0) (fig.10), fait remarquer un décalage entre les deux courbes qui est en moyenne de l'ordre de 9% pour des charges relatives aval $H_d/H_0 < 4.6$. Au-delà de cette valeur, les deux courbes sont identiques et représentent une seule courbe unique. Ceci fait dire que pour des faibles valeurs de H_d/H_0 (i.e. $H_d/H_0 < 4.6$) l'effet de la noyade est plus important pour le PK-Weir type A1m que pour le type PK-Weir type A et pour les valeurs $H_d/H_0 > 4.6$ l'évolution de la charge amont

par rapport à la charge aval est la même pour les deux types de PK-Weir.

3.2.2 Variation du rapport H_0/H_u en fonction de facteur de submersion S

Pour déterminer la variation du rapport H_0/H_u en fonction de facteur de submersion S , Cicero et al. (2013) ont développé l'équation (09) qui permet de déterminer le rapport de la charge relative de submersion amont (H_u/H_0) en fonction du facteur de submersion S et de la limite de submersion S_m .

3.2.3 Variation du rapport H_0/H_u en fonction de facteur de submersion S

Pour déterminer la variation du rapport H_0/H_u en fonction de facteur de submersion S , Cicero et al. (2013) ont développé l'équation (09) qui permet de déterminer le rapport de la charge relative de submersion amont (H_u/H_0) en fonction du facteur de submersion S et de la limite de submersion S_m .

$$\frac{H_0}{H_u} = \left[1 - 0.01 \cdot e^{\alpha(S - S_m)} \right]^{\beta} \quad (9)$$

Où : $S = H_d/H_u$ est le facteur de submersion, S_m la limite de submersion qui peut être définie, selon cette équation, par $H_0 < 0,99H_u$ pour $S > S_m$.

Pour la présente étude, deux équations sont proposées pour

le calcul du rapport H_0/H_u en fonction du facteur de submersion S et la limite de submersion S_m pour les deux modèles A et A1m, fonctionnant dans des conditions noyées.

$$\frac{H_0}{H_u} = \left[1 - 0.01 \cdot e^{3.388(S-0.04)} \right]^{3.3} \quad 0 < S < 0.959 \quad (10)$$

-Déversoir PK-Weir type A1m :

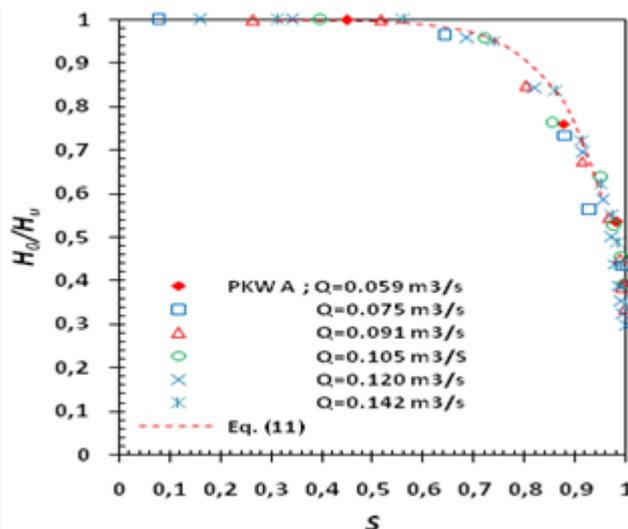
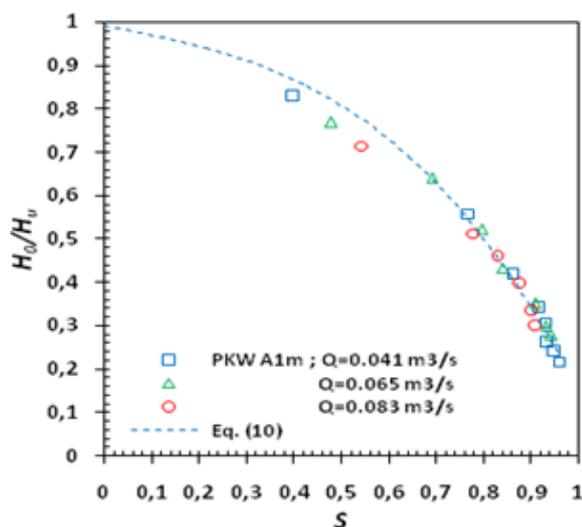


Figure 11: Comparaison Variation du rapport H_0/H_u en fonction de facteur de submersion S : a) PKW type A1m , b) PKW type A1

La figure (12) montre la comparaison entre la sensibilité à la submersion des deux modèles PK-Weir. On remarque que pour une valeur de S constante, le rapport H_0/H_u du PK-Weir de type A est plus grand que celui du type A1m, A titre indicatif, pour un facteur de submersion $S = 0.8$ le rapport H_0/H_u est égale à 0.92 pour le modèle de type A et 0.5 pour le type A1m, ceci implique que le type A est moins sensible à la submersion que le type A1m pour les valeurs $0 < S < 0.96$

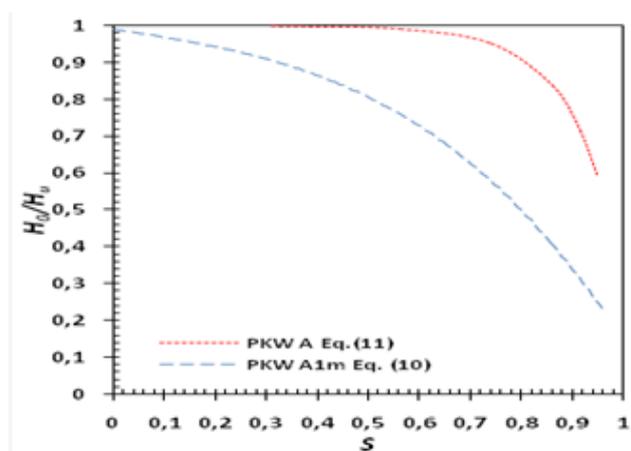


Figure 12: Sensibilité à la submersion de PK-Weir A1m et A

3.2.4 Variation de Z en fonction de la charge totale aval H_d

Selon la figure (13) relative à une comparaison entre les deux modèles A et A1m, exprimée par la différence entre la charge totale amont et la charge totale aval ($Z = H_u - H_d$) rapportée à la

charge totale aval H_d , on remarque une différence entre les deux courbes, d'environ 53% pour des valeurs de la charge totale aval dans l'intervalle $0.024 > H_d > 0.052$ et est d'environ

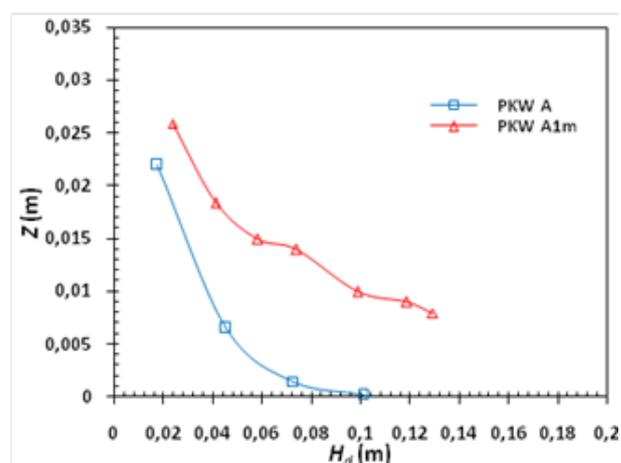


Figure 13: Variation de Z en fonction de la charge totale aval H_d

86% pour des valeurs $0.052 > H_d > 0.13$, ce qui indique que le PK-Weir de type A est moins sensible à la submersion que le type A1m.

4 CONCLUSION

Les essais expérimentaux effectués sur les modèles de PK-Weir type A1m et type A au sein du laboratoire à l'Université de Biskra nous permettent d'étudier le fonctionnement des déversoirs dans des conditions d'écoulement libre et noyé. Les résultats obtenus ont montré que ; Dans des conditions d'écoulement libre, le modèle type A1m se caractérise par un rendement supérieur à celui du modèle type A.

Dans le cas d'un écoulement noyé, les essais effectués sur les deux modèles de PK-Weir ont montré que les conditions aval peuvent influencer sur l'écoulement à l'amont du PK-Weir et par conséquent affecter la performance de ce type de déversoir. Cette influence a été démontrée qu'elle se caractérise par une variation proportionnelle entre l'amont et l'aval et ne dépend pas du débit qui transite sur le PK-Weir. Les résultats obtenus pour les deux PK-Weir de type A1m et de type A montrent que pour les faibles valeurs de H_d/H_0 (i.e. $H_d/H_0 < 4.6$) l'effet de la noyade est plus accentué pour le PK-Weir type A1m que pour le PK-Weir type A et pour les valeurs $H_d/H_0 > 4.6$ l'évolution de la charge amont par rapport à la charge aval est la même pour les deux types de PK-Weir. La sensibilité à la submersion des deux types de PK-Weir a été caractérisée par l'équation générale (9). Le PK-Weir de type A1m est jugé être plus sensible que le PK-Weir de type A, ainsi ce dernier est plus recommandé comme déversoir de régulation dans les cours d'eau.

NOTATION

B = Longueur amont-aval du PK-Weir (m)

B_0 = Longueur du porte-à-faux amont (m)

B_i = Longueur du porte-à-faux aval (m)

B_b = Longueur de base (m)

C_w = Coefficient de débit du déversoir testé

g = Accélération de la pesanteur (m/s^2)

H_u = Charge total amont (écoulement noyé) (m)

H_d = Charge total aval (m)

H_0 = Charge total amont (écoulement dénoyé) (m)

h = Charge piézométrique (écoulement dénoyé) (m)

N = Rapport de longueur développé du PK-Weir

P_i = Hauteur amont maximale du PK-Weir (m)

P_0 = Hauteur aval maximale du PK-Weir (m)

Q = Débit évacué (m^3/s)

S = Facteur de submersion

S_m = Limite de submersion

V = Vitesse moyenne en amont (m/s)

W = Largeur totale du PK-Weir (m)

W_i = Largeur de l'alvéole amont (m)

W_0 = Largeur de l'alvéole aval (m)

Z = la différence entre la charge totale amont et la charge totale aval ($Z = H_u - H_d$) (m)

REFERENCES

- [1] Belaabed, F., & Ouamane, A. (2011). "Contribution to the study of the Piano Key Weirs submerged by the downstream level". In S. Erpicum, F. Laugier, J. L. Boillat, M. Piroton, B. Reverchon, & A. J. Schleiss (Eds.), *Labyrinth and Piano Key Weir-PK-Weir*. Leiden: CRC Press, 89–95.
- [2] Belaabed, F., & Ouamane, A. (2013). "Submerged Flow Regimes of Piano Key Weir". In S. Erpicum, F. Laugier, M. Pfister, M. Piroton, G. M. Cicéro, & A. J. Schleiss (Eds.), *Labyrinth and Piano Key Weirs II*. Leiden: CRC Press, 85–92.
- [3] Belaabed, F., & Ouamane, A. (2014, August). "Effect of the Downstream Level on the Performance of the PK-Weir and Linear Weir". Paper presented at the meeting of 5th International Junior Researcher and Engineer Workshop, Spa, Belgium.
- [4] Belaabed, F., Athmani, B., Ouamane, A., & Laiadi, A. (2017). "Study of the influence of submerging on the upstream flow of Piano Key Weir (PKW)". In S. Erpicum, F. Laugier, M. Ho Ta Khanh, & M. Pfister (Eds.), *Labyrinth and Piano Key Weirs III*. Leiden: CRC Press, 83–90.
- [5] Belzner, F., Merkel, J., Gebhardt, M., & Thorenz, C. (2017). "Piano Key and Labyrinth Weirs at German waterways: Recent and future research of the BAW". In S. Erpicum, F. Laugier, M. Ho Ta Khanh, & M. Pfister (Eds.), *Labyrinth and Piano Key Weirs III*. Leiden: CRC Press, 167–174.
- [6] Cicero, G. M. & Delisle, J. R. (2013). "Discharge characteristics of Piano Key weirs under submerged flow". In S. Erpicum, F. Laugier, M. Pfister, M. Piroton, G. M. Cicéro, & A. J. Schleiss (Eds.), *Labyrinth and Piano Key Weirs II*. Leiden: CRC Press, 101–108.
- [7] Cicero, G. M., Vermeulen, J., & Laugier, F. (2016, June). "Influence of Some Geometrical Parameters on Piano Key Weir Discharge Efficiency". Paper presented at the meeting of 6th International Symposium on Hydraulic Structures Hydraulic Structures and Water System Management, Portland, Oregon, USA.
- [8] Dabling, M. R., & Tullis, B. P. (2012, May). "Piano Key Weir Submergence in Channel Applications". Paper presented at the meeting of International Workshop on Piano Key Weir for In-Stream Storage and Dam Safety (PKWISD-2012), New Delhi, India.
- [9] Erpicum, S., Archambeau, P., Dewals, B., & Piroton, M. (2017). "Hydraulics of Piano Key Weirs: A review". In S. Erpicum, F. Laugier, M. Ho Ta Khanh, & M. Pfister (Eds.), *Labyrinth and Piano Key Weirs III*. Leiden: CRC Press, 27–36.
- [10] Ho Ta Khanh, M. (2012, October). "Utilization of Piano Key Weirs for low barrages". Paper presented at the meeting of Hydro 2012 Bilbao, Spain.
- [11] Ho Ta Khanh, M., Tang Doc, T., & Nguyen Luong, A. (2017). "Research on Piano Key Weirs capacity for free and submerged flows". In S. Erpicum, F. Laugier, M. Ho Ta Khanh, & M. Pfister (Eds.), *Labyrinth and Piano Key Weirs III*. Leiden: CRC Press, 55–64.

- [12] LeiteRibeiro, M., Pfister, M., &Schleiss, A.J. (2013). "Overview of Piano Key weir prototypes and scientific model investigations". In S. Erpicum, F. Laugier, M. Pfister, M. Pirotton, G. M. Cicéro, & A. J. Schleiss (Eds.), *Labyrinth and Piano Key Weirs II* (pp. 273–281). Leiden: CRC Press, 273–281.
- [13] Ouamane, A. &Lempérière, F. 2003. "The piano keys weir: a new cost-effective solution for spillways". *Hydropower & Dams*. 10(5):144–149.
- [14] Ouamane, A. &Lempérière, F. 2006. "Nouvelle conception de déversoir pour l'accroissement de la capacité des retenues des barrages". in proceedings of Colloque international sur la protection et la préservation des ressources en eau. Bilda, Algérie.