

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EFFET DE CREUSEMENT DES ALVEOLES SUR LA PERFORMANCE DU DEVERSOIR EN TOUCHES DE PIANO - PKWEIR

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF EFFECT OF DIGGING CELL TO THE PERFORMANCE OF SPILLWAY -PKWEIR

A.NOUI. Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement LAHE.
Faculté des Sciences et de la technologie, Université de Biskra. Algérie

a.noui@univ-biskra.dz

A.OUAMANE. Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement
LAHE. *Faculté des Sciences et de la technologie, Université de Biskra.
Algérie.*

RÉSUMÉ : Les déversoirs non-rectilignes en touches de piano PKW jouent un rôle primordiale dans la protection des cours d'eaux contre le risque d'inondation, ainsi d'augmenter la capacité d'évacuation / de stockage des barrages (nouveaux ou existants). Deux types de PKW type (A) et type (B) sont inventés et développés dans le période de 2003-2006 par Ouamane & Lempérière (2006a). Une structure de forme géométrique différente de celle des déversoirs en labyrinthe classiques caractérisent ces deux types du PKW. Les alvéoles sont de forme rectangulaire, avec des radiers inclinés favorisant l'utilisation des porte-à-faux. La géométrie des alvéoles du PKW type A peut prendre trois configurations différentes, la première sans creusement des alvéoles (PKW A sans rehausses), la deuxième avec creusement symétrique des alvéoles amont et aval, tandis que la troisième configuration est caractérisée par le creusement de l'un des alvéoles amont ou aval. Le présent travail s'est intéressé à l'étude de l'effet de creusement des alvéoles sur la performance du PKW type A par voie expérimentale. Cette étude a montré que le creusement des alvéoles fait augmenter la capacité d'évacuation d'une manière significative en comparaison avec le PKW type A sans rehausses. Cette augmentation est régit par un ratio délimité entre la profondeur de creusement des alvéoles et la hauteur maximale du déversoir. Le rendement du PKW A avec rehausses symétriques est supérieur à celui du PKW type A avec rehausses en amont et supérieur à celui du PKW type A avec rehausses en aval.

MOTS CLÉS: barrage, déversoir, PKW, rehausses, capacité d'évacuation

ABSTRACT: Non-rectilinear spillways piano keys weirs (PKW) play a primordial role in the protection of river against the risk of flooding and increase the discharge capacity / storage dams (new or existing). Two types of PKW type (A) and type (B) are invented and developed in the period 2003-2006 by Ouamane & Lempérière (2006a). A different geometric shape structure from that of conventional labyrinth spillway characterizes these two types of PKW. The cells are rectangular, with sloping riffles promoting the use of door overhang. The geometry of cell of the PKW type A can take three different configurations, the first without digging of cells (PKW A without parapet walls), the second with symmetrical widening upstream and downstream alveoli, while the third configuration characterized by a widening of the one of the upstream or downstream cells.

The present work has focused on the study of effect of the cells widening on the performance of the PKW type A experimentally. This study showed that the widening of the cells increases the discharge capacity significantly in comparison with the PKW type A without parapet walls. This increase is governed by a ratio defined between the alveoli digging depth and maximum height of the spillway. The yield of PKW type A with symmetrical parapet walls is greater than that of PKW type A with upstream parapet walls and higher than that of PKW type A with downstream parapet walls.

KEYWORDS: dam, spillway, PKW, parapet walls, discharge capacity

NOTATIONS

a : largeur de l'alvéole amont (m)

b : largeur de l'alvéole aval (m)

B: longueur de la paroi latérale (m)

c: longueur du porte-à-faux amont (m)

C_w : coefficient de débit

d : longueur du porte-à-faux aval (m)

d'/P : rapport de la profondeur de creusement des alvéoles à la hauteur

d'_a : profondeur de creusement des alvéoles amont (m)

d'_v : profondeur de creusement des alvéoles aval (m)

h*/P: rapport de la charge totale à la hauteur maximale du déversoir

L : longueur développé du déversoir (m)

P: hauteur maximale du PKW (m)

Q : débit qui transite par le déversoir (m³/s)

W_t : largeur totale du déversoir (m)

INTRODUCTION

L'évacuateur de crues est considéré comme l'organe principal de la sécurité des barrages, la plupart des accidents des barrages sont dues à l'insuffisance de la capacité d'évacuation de cet organe. En raison que les déversoirs non rectilignes sont plus performants devant les déversoirs rectilignes, des études expérimentales détaillées ont été réalisées depuis 2003 sur le déversoir non rectiligne en touches de piano (PKW) au Laboratoire Aménagements Hydrauliques et Environnement à l'Université de Biskra. Ces études ont été considérées comme la base pour la conception du PKW (Barcouda et al.). Dans ce sens, deux modèles de conception du PKW ont été sélectionnés. Le premier (modèle A) se caractérise par des porte-à-faux en amont et en aval, le second (modèle B) se caractérise par des porte-à-faux en amont. Une autre configuration géométrique peut caractériser le modèle A par le creusement de ses alvéoles, ce qui s'appelle « les rehausses », qui peuvent prendre différents emplacements aux alvéoles, soit symétriques, soit en amont ou en aval. Nous expliquons dans ce contexte, les résultats théoriques et expérimentaux obtenus sur l'effet de creusement des alvéoles sur la performance du PKW type A.

GEOMETRIE DU PKW TYPE A

Les figures suivantes montrent deux configurations géométriques du PKW type A (vue en profil) ; la figure 1 présente un déversoir PKW type A sans rehausses, tandis que la 2^{ème} figure montre l'existence de rehausses sur le même déversoir PKW. La figure 3 montre une vue en plan du PKW A construit en France.

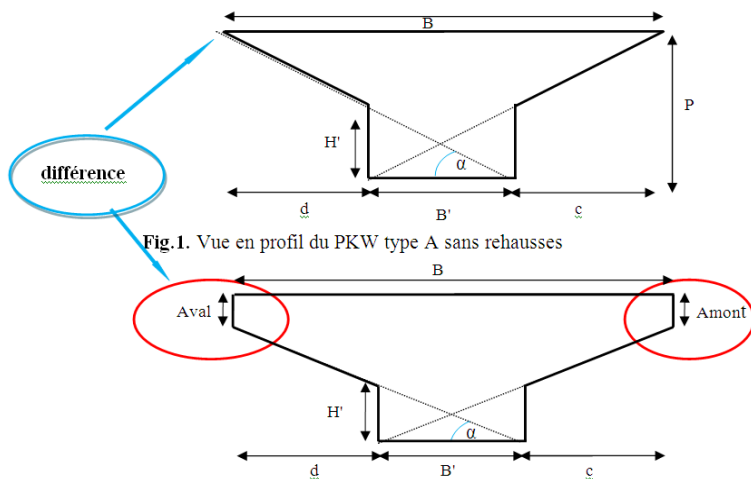


Fig.2. Vue en profil du PKW type A avec rehausses



Fig.3. PKW Type A avec rehausses (en service) construit en France

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour chaque expérimentation, le modèle de PKW est installé à la sortie du bassin de simulation. Après vérification de la bonne installation du modèle, une vérification des paramètres du débitmètre et des tableaux manométriques est nécessaire.

Une fois que tout le système d'expérimentation est vérifié, on fait amorcer la pompe pour remplir le bassin de simulation de retenue jusqu'au déversement le long de la crête du déversoir à expérimenter. Après désamorçage de la pompe et l'arrêt de l'écoulement sur la crête du déversoir, on opère à la détermination du niveau du seuil.

Après cette première étape, on fait fonctionner la première pompe à un débit d'environ 30 l/s par manipulation de la première vanne de réglage de débit. Une fois que l'écoulement est complètement stabilisé, on procède aux mesures de la profondeur d'eau à l'amont du déversoir testé, par le biais des lectures sur le tableau manométrique (indicateurs de niveau), le débit étant enregistré directement sur ordinateur (PC) par l'intermédiaire du logiciel COMMUWIN II.

Cette opération se répète chaque fois qu'on fait varier le débit jusqu'au débit maximum de l'ordre de 170 l/s. On obtient ainsi, une série de couple des valeurs (Q et h).

L'expérimentation des modèles réduits des déversoirs PKW s'effectue dans ce dispositif expérimental (Fig.4).

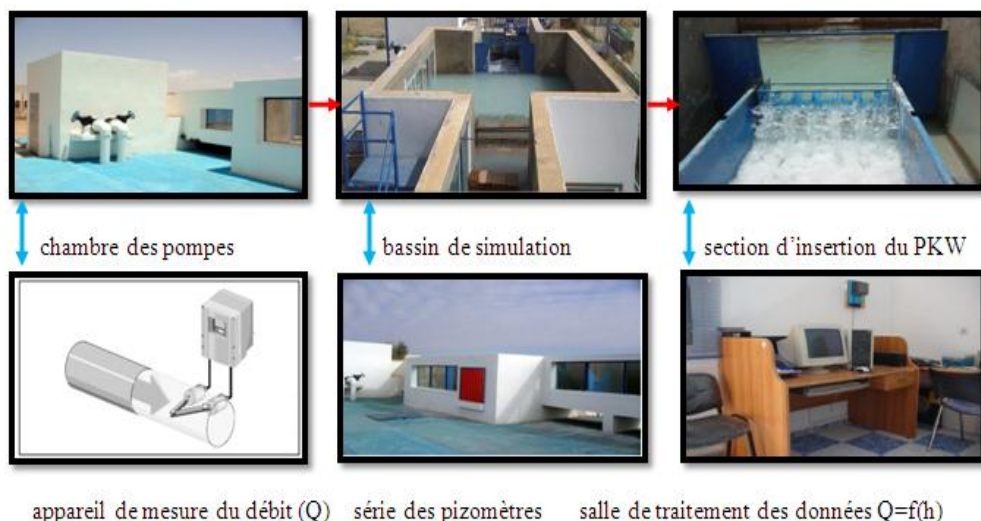


Fig.4.Schématisation du dispositif expérimental

RESULTATS ETDISCUSSIONS

On rappelle que l'équation universelle qui exprime le débit qui transite par un déversoir est :

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

Le coefficient de débit est déterminé en fonction du couple des valeurs mesurées, le débit (Q) et la hauteur de la lame déversante (h). Il est convenable de représenter le coefficient de débit en fonction des paramètres adimensionnels à cause du grand nombre des paramètres géométriques qui régissent l'écoulement sur le PKW type A.

L'analyse dimensionnelle appliquée à l'écoulement sur le PKW type A avec rehausses en utilisant le théorème π de Buckingham a permis de déterminer les paramètres adimensionnels (Tableau 1).

Tableau 1. Paramètres de Π obtenues par l'analyse dimensionnelle sur PKW A avec rehausses

Π	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7
paramètre	$Q / \sqrt{gb}^{5/2}$	h^*/b	L/b	W/b	P/b	a/b	d'/P

Par la combinaison de ces paramètres, on obtient :

$$C_w = f(h^*/P, L/W, W/P, a/b, d'/P) \quad (2)$$

L'effet des paramètres adimensionnels (h^*/P , L/W , W/P , a/b) sur le rendement du PKW type A sans rehausses a été étudié par Ouamane (2006). Donc afin de mieux comprendre l'effet du paramètre adimensionnel (d'/P) sur le rendement du PKW Type A avec rehausses, neuf (09) modèles ont été testés (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques géométriques des modèles expérimentés

Model	L (cm)	W _t (cm)	a (cm)	b (cm)	c=d (cm)	d'a (cm)	d'v (cm)	B (cm)	d'/P
A	600	100	9	7.5	10.25	0	0	41	0
A1	600	100	9	7.5	10.25	1	1	41	0.06
A2	600	100	9	7.5	10.25	2	2	41	0.13
A3	600	100	9	7.5	10.25	0	2	41	0.13
A4	600	100	9	7.5	10.25	2	0	41	0.13
A5	600	100	9	7.5	10.25	3	3	41	0.2
A6	600	100	9	7.5	10.25	4	4	41	0.27
A7	600	100	9	7.5	10.25	5	5	41	0.33
A8	600	100	9	7.5	10.25	6	6	41	0.4

IMPACT DE POSITIONNEMENT DE REHAUSSES SUR LE RENDEMENT DU PKW TYPE A

Afin d'explorer l'impact de l'endroit de creusement des alvéoles sur le rendement du déversoir PKW type A quatre modèles des même paramètres géométriques ont été expérimentés (Fig. 5).

- Modèle (A) sans rehausses ($d'=0$)

- Modèle (A2) avec rehausses symétriques ($d'=2\text{cm}$)
- Modèle (A3) avec rehausses en amont ($d'=2\text{cm}$)
- Modèle (A4) avec rehausses en aval ($d'=2\text{cm}$)

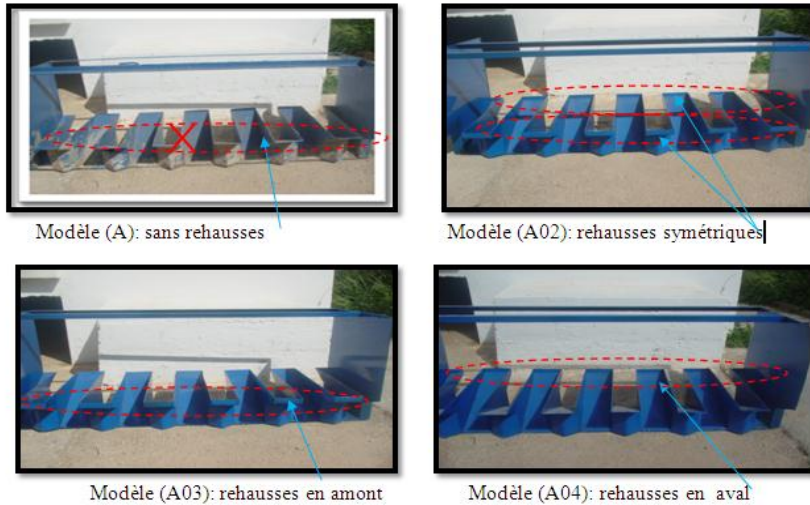


Fig.5. Modèles du PKW type A testés de différents positionnements de rehausses

La représentation graphique $Q=f(h^*)$ de la figure 6 montre que :

- Le modèle avec rehausses symétriques A2 et le modèle avec rehausses en amont A3 augmentent le débit d'une manière significative devant PKW type A sans rehausses et ceci dans toutes les phases de l'écoulement (un écart estimé à 8%).
- Le modèle avec rehausses symétriques A2 et le modèle avec rehausses en amont A3 ont presque le même taux d'évacuation sauf pour les fortes charges ($h^*>0.8$), avec un écart très faible de 2%, c'est-à-dire que la capacité d'évacuation du modèle avec rehausses symétriques est supérieure à la capacité d'évacuation du modèle avec rehausses en amont.
- Le modèle avec rehausses symétrique A2 et le modèle avec rehausses en amont A3 sont plus performants que le modèle avec

rehausses en aval A4, cette observation est justifiée par un écart de l'ordre de 3%.

- Le modèle avec rehausses en aval A4 augmente l'évacuation uniquement pour les fortes charges, tandis que pour les faibles charges, le rendement du PKW type A sans rehausses est supérieur à celui du PKW A4 avec rehausses en aval avec un écart estimé à 3%.

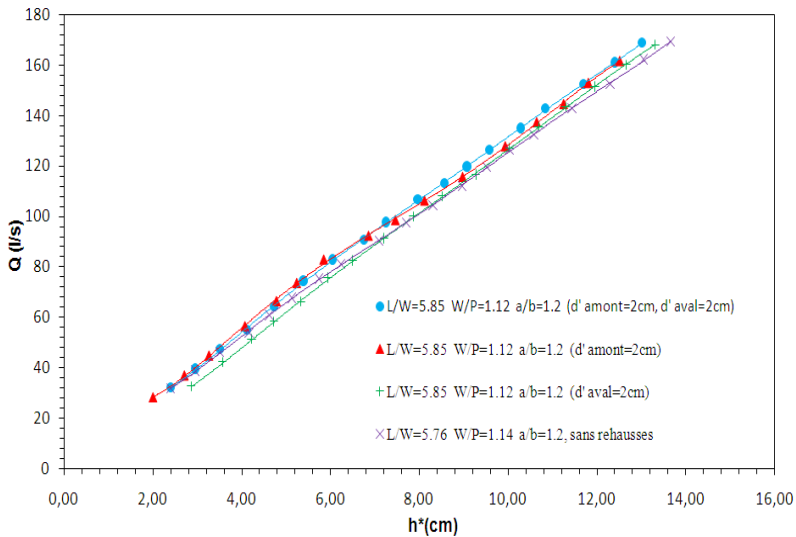


Fig. 6. Courbes de débit en fonction de positionnement de rehausses

Pour confirmer les résultats obtenus, on a tracé les courbes du coefficient du débit en fonction de la charge relative $C_w=f(h^*/P)$ (Fig.7).

La représentation graphique $C_w=f(h^*/P)$, montre que :

- La performance du modèle avec rehausses symétriques A2 et le modèle avec rehausses en amont A3 est d'environ 8% plus grande que celle du modèle A sans rehausses ($d'=0$) pour des charges relatives $h^*/P < 0,55$.
- La performance du modèle A sans rehausses est d'environ 5% plus grande que celle du modèle A4 avec rehausses en aval pour des charges relatives $h^*/P < 0,43$ et de même rendement pour des charges relatives $h^*/P > 0,43$.

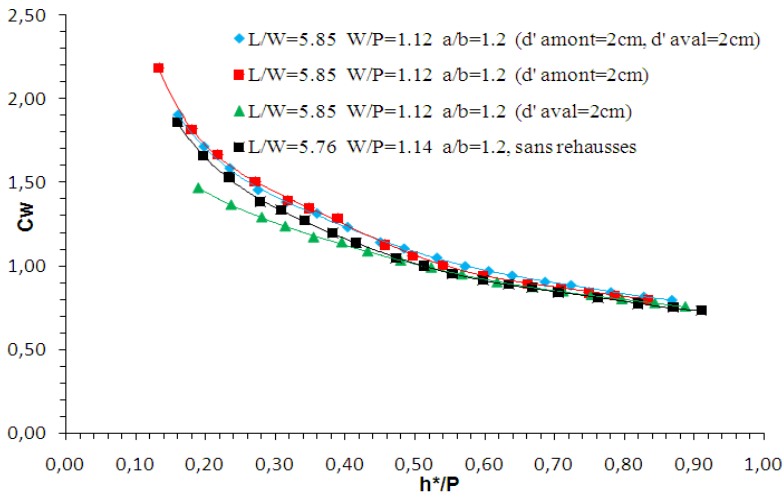


Fig.7. Coefficient de débit en fonction de l'endroit de positionnement de rehausses

INTERPRETATION DES RESULTATS

- L'écart très remarquable entre les quatre modèles est traduit par l'influence de la pente des radiers amont et aval.
- La diminution de la pente fait augmenter la capacité d'évacuation uniquement pour les modèles avec rehausses symétriques et les modèles avec rehausses en amont. Par contre la diminution de la pente fait diminuer la capacité d'évacuation pour le modèle avec rehausse en aval.
- Du point de vue hydraulique, le meilleur positionnement de rehausses sur le PKW type A est celui qui correspond d'une position symétrique de rehausses dans les alvéoles.
- Du point de vue stabilité de l'ouvrage, le positionnement symétrique de rehausses sur le PKW type A assure mieux sa stabilité en comparaison avec les autres positionnements (en amont ou en aval).
- Les modèles précédemment testés ont la même profondeur de rehausses (2cm) et le même ratio ($d'/P=0.13$). Donc il est nécessaire de vérifier la valeur optimale du ratio qui exprime la profondeur de rehausses sur la hauteur maximale du déversoir (d'/P) en utilisant différents modèles du PKW type A avec rehausses symétriques.

IMPACT DE LA VALEUR DU RATIO (d'/P) SUR LA PERFORMANCE DU PKW TYPE A

Pour vérifier l'impact du ratio (d'/P) sur la capacité d'évacuation du PKW type A, sept (07) modèles de PKW de même paramètres géométriques et de différent ratio (d'/P) ont été expérimentés, la hauteur maximale du déversoir (P) est considérée fixe pour tous les modèles ($P=15\text{cm}$). (Fig.8).

- Modèle (A) sans rehausses ($d'/P = 0$)
- Modèle (A1) [d' amont = d' aval = 1cm], ($d'/P = 0.067$)
- Modèle (A2) [d' amont = d' aval = 2cm], ($d'/P = 0.13$)
- Modèle (A5) [d' amont = d' aval = 3cm], ($d'/P = 0.2$)
- Modèle (A6) [d' amont = d' aval = 4cm], ($d'/P = 0.27$)
- Modèle (A7) [d' amont = d' aval = 5cm], ($d'/P = 0.33$)
- Modèle (A8) [d' amont = d' aval = 6cm], ($d'/P = 0.4$)

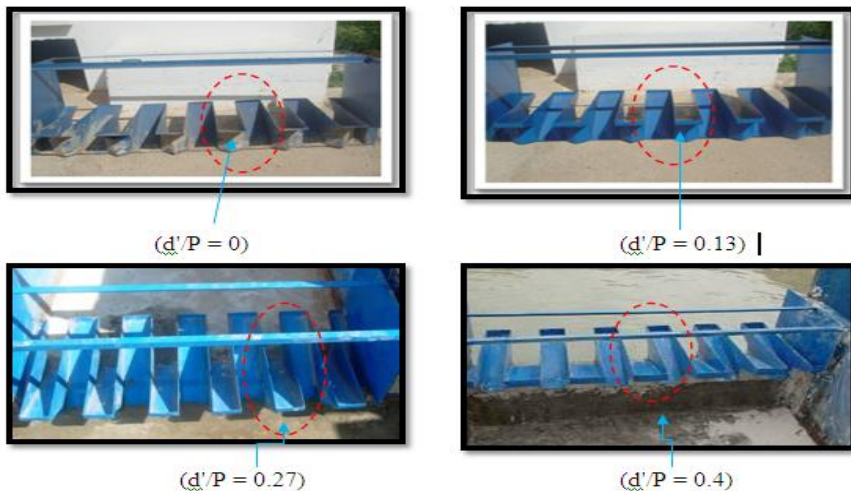


Fig.8. Quelques modèles du PKW type A avec différents profondeurs de rehausses symétriques testés

La représentation graphique des courbes de débit en fonction de la charge $Q = f(h^*)$ (Fig.9) montre que :

- Pour les faibles charges hydrauliques ($h^* < 0.6\text{cm}$) tous les courbes sont presque identiques, c'est-à-dire que l'effet du ratio (d'/P) n'apparaît pas dans cette phase d'écoulement.
- Pour les moyennes et grandes charges ($h^* > 0.6\text{cm}$), on distingue presque trois courbes différentes avec un écart d'évacuation très remarquable entre elles. La courbe supérieure qui correspond au modèle A6 ($d'/P=0.27$) caractérise par un grand taux d'évacuation d'environ 3% en comparaison avec la courbe médiane qui représente les modèles avec ratios ($d'/P=0.067$), ($d'/P=0.13$), ($d'/P=0.2$), ($d'/P=0.33$) et ($d'/P=0.4$), tandis que ces derniers modèles caractérisent par un taux d'évacuation de l'ordre de 5% devant la dernière courbe qui correspond au modèle A sans rehausses ($d'/P=0$).

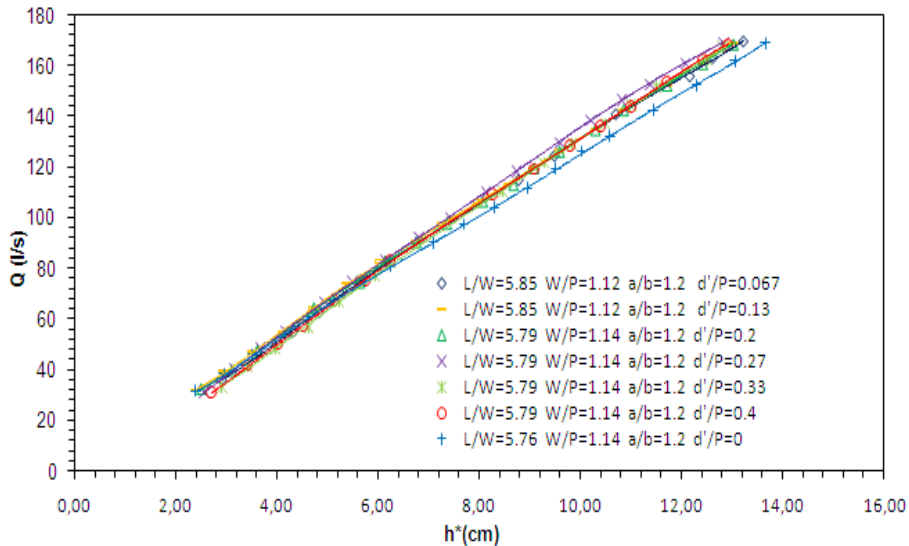


Fig. 9. Courbes de débit en fonction du ratio (d'/P)

Afin de confirmer le résultat obtenu, qu'il montre que le modèle A6 avec ($d'/P=0.27$) caractérise par un taux d'évacuation optimum devant les autres modèles, on va essayer d'étudier deux catégories des modèles séparément : les modèles avec ratio ($d'/P \leq 0.27$), et les modèles avec ratio ($d'/P \geq 0.27$) en traçant les courbes des coefficients du débit en fonction de la charge relative $C_w=f(h^*/P)$.

❖ Modèles avec ratio ($d'/P \leq 0.27$)

La représentation graphique $C_w=f(h^*/P)$ de cinq modèles avec ratios différents ($d'/P \leq 0.27$) (Fig.10), montre que:

- Pour les faibles charges relatives ($h^*/P < 0.3$), le modèle A2 ($d'/P=0.13$) caractérise par une capacité d'évacuation supérieure aux autres modèles A ($d'/P=0$), A1 ($d'/P= 0.067$) et A5 ($d'/P= 0.2$), A6 ($d'/P= 0.27$) avec un écart estimé à 2%.
- Pour les moyennes charges relatives ($0.3 < h^*/P < 0.6$), les quatre modèles A1 ($d'/P= 0.067$) et A2 ($d'/P=0.13$), A5 ($d'/P= 0.2$) et A6 ($d'/P= 0.27$) ont une capacité d'évacuation identique et supérieure au modèle A ($d'/P=0$) avec un écart de l'ordre de 3%.
- Pour les grandes charges relatives ($h^*/P > 0.6$), le modèle A6 ($d'/P=0.27$) caractérise par une capacité d'évacuation supérieur aux modèles A1 ($d'/P= 0.067$) et A2 ($d'/P=0.13$) et A5 ($d'/P= 0.2$) avec un écart de 2%, tandis que le modèle A ($d'/P=0$) caractérise par une faible capacité d'évacuation d'environ 5% devant tous les modèles.

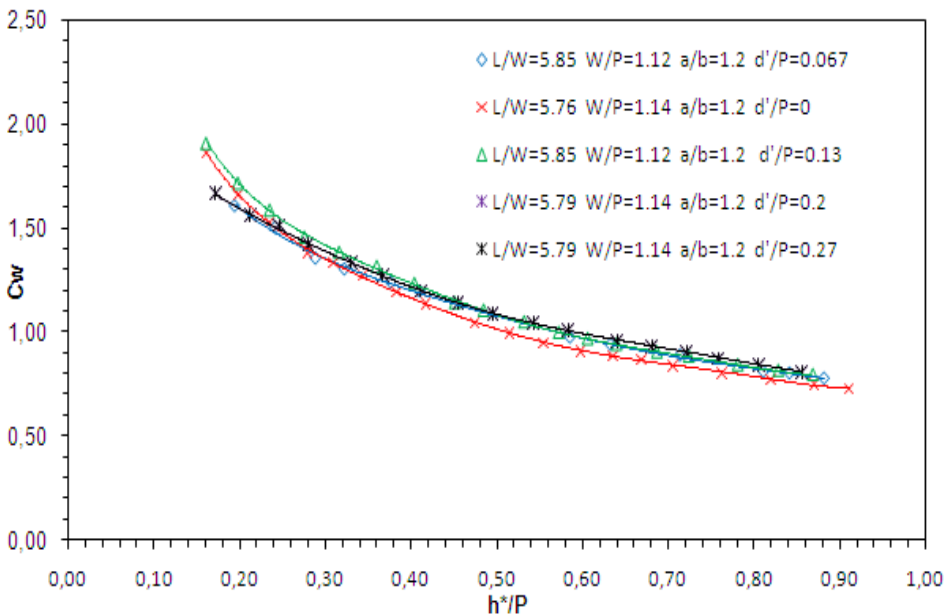


Fig.10. Coefficient de débit en fonction des modèles avec ratio ($d'/P \leq 0.27$)

❖ Modèles avec ratio ($d'/P \geq 0.27$)

La figure 11 illustre une représentation graphique $C_w = f(h^*/P)$ de quatre modèles de ratio ($d'/P \geq 0.27$). Cette représentation montre que:

- Pour les charges relatives ($h^*/P < 0.4$), le modèle A6 ($d'/P=0.27$) se caractérise par une capacité d'évacuation supérieure aux modèles A ($d'/P=0$), A7 ($d'/P= 0.33$) et A8 ($d'/P= 0.4$), avec un écart de 3%.
- Aux moyennes et fortes charges relatives ($h^*/P > 0.4$), le modèle A6 ($d'/P=0.27$) continue avec son grande performance d'évacuation devant les deux modèles A7 ($d'/P= 0.33$) et A8 ($d'/P= 0.4$), avec un écart estimé à 2%. Le modèle A ($d'/P=0$) donne une capacité d'évacuation de l'ordre de 3% inférieure aux deux modèles A7 ($d'/P= 0.33$) et A8 ($d'/P= 0.4$).

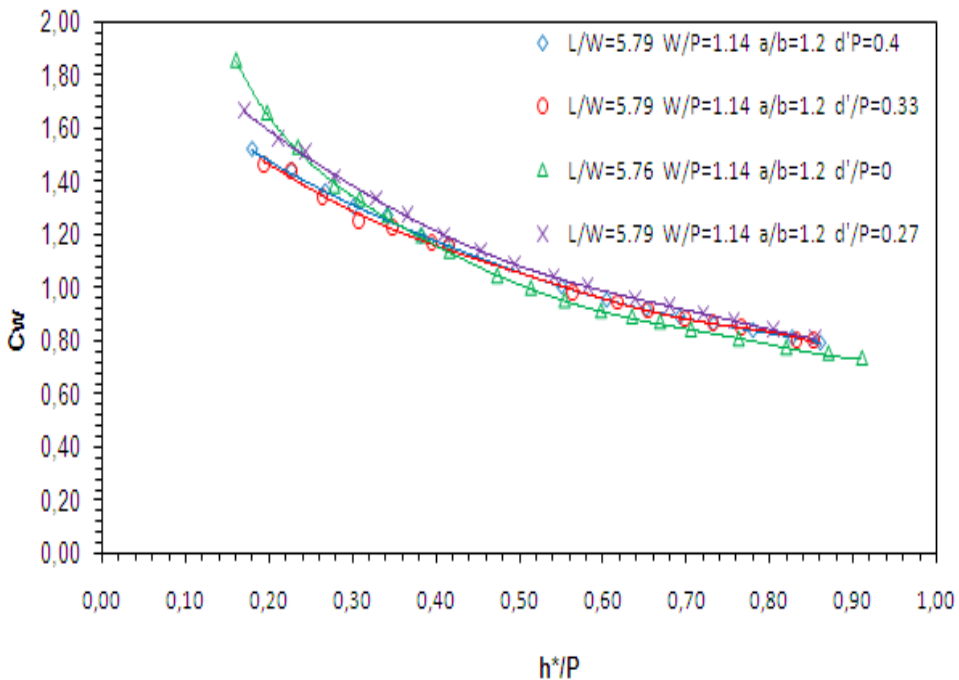


Fig.11. Coefficient de débit en fonction des modèles avec ratio ($d'/P \geq 0.27$)

❖ Interprétation des résultats

- L'écart très remarquable entre les six modèles avec rehausses symétriques et différents ratio est traduit par l'influence de la pente des radiers amont et aval.
- La diminution de la pente fait augmenter la capacité d'évacuation d'une manière significative jusqu'à une pente qui correspond au rapport adimensionnel ($d'/P = 0.27$).

Il ressort de ces résultats que :

- Le meilleur ratio entre le creusement des alvéoles et la hauteur maximale du déversoir correspond à la valeur ($d'/P = 0.27$).
- Le creusement des alvéoles du PKW A fait augmenter la capacité d'évacuation jusqu'à la valeur adimensionnelle ($d'/P=27$), au-delà de cette valeur la capacité d'évacuation du PKW A sera diminuée.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude théorique a montré que le coefficient de débit du PKW type A avec rehausses peut être lié aux paramètres adimensionnels suivants :

$$C_w = f(h^*/P, L/W, W/P, a/b, d'/P) \quad (3)$$

L'étude expérimental de l'endroit de positionnement de rehausses (endroit de creusement des alvéoles en amont ou en aval ou creusement symétrique) sur le PKW type A a montré que :

- La diminution de la pente fait augmenter la capacité d'évacuation uniquement pour les modèles du PKW type A avec rehausses symétriques et les modèles du PKW type A avec rehausses en amont. Par contre la diminution de la pente fait diminuer la capacité d'évacuation pour le modèle du PKW type A avec rehausses en aval.
- Du point de vue hydraulique, le meilleur positionnement de rehausses est celui qui correspond d'une position symétrique sur le PKW type A.
- Du point de vue stabilité de l'ouvrage, le positionnement symétrique de rehausses sur le PKW A assure mieux sa stabilité en comparaison avec le positionnement de rehausses en amont ou en aval.

Les résultats des essais expérimentaux sur six modèles du PKW type A avec différents rehausses et un autre modèle du PKW type A sans rehausse sont montré que :

- La diminution de la pente fait augmenter la capacité d'évacuation d'une manière significative jusqu'à une pente qui correspond au rapport adimensionnel ($d'/P = 0.27$).
- Le creusement des alvéoles fait augmenter la capacité d'évacuation du modèle réduit du PKW A d'une manière significative jusqu'à une profondeur de (4 cm), à condition que la hauteur maximale du déversoir doit être fixe (15cm);
- Le meilleur ratio (d'/P) entre la profondeur de creusement des alvéoles (d') et la hauteur maximale du déversoir (P) est celui qui correspond à la valeur ($d'/P=0.27$) ;
- Il n'est pas recommandé de dépasser le ratio ($d'/P=0.27$), parce que la performance du PKW type A sera diminué notamment pour les faibles et moyennes charges relatives en comparaison avec le PKW A sans rehausses.

Cette étude est considérée comme une contribution d'exploration de l'effet de creusement des alvéoles sur la performance du PKW type A.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barcouda M., Cazaillet O., Cochet P., Jones B., Lacroix S., Laugier F& Odeyer C., 2006.*Cost effective increase in storage and safety of most dams using fuse gates or P. K. Weirs*. In proceedings of 22ème congrès des grands barrages, CIGB/ICOLD.Barcelona.
- Le Doucen O., Leite Ribeiro M., Boillat L., Schleiss A & Laugier F., 2009.*Etude paramétrique de la capacité des PK-Weirs*. In proceedings of Modèles physiques hydrauliques - outils indispensables du XXIe siècle.SHF. Lyon.
- Lempérière F& Ouamane A., 2003.*The piano keys weir: a new cost-effective solution for spillways*. International Journal of Hydropower and Dams 10 (5), 144-149p.
- Machiels O., Erpicum S., Dewals B., Archambeau P & Piroton M., 2013.*Parapet wall effect on Piano Key Weirs efficiency*. Journal of Irrigation & Drainage Engineering 139 (6), 506-511p.

- Noui A & Ouamane A., 2011.*Study of optimization of the Piano Key Weir. Labyrinth and piano key weirs-PKW*, CRC press, London. 175-182p.
- Ouamane A & Lempérière F., 2006a.*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 & Lempérière F., 2006b.*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., 2006 *Hydraulic and Costs data for various Labyrinth Weirs*. 22th Congress on Large Dams, ICOLD. Q84. Barcelona.

&&&&&