

# LES DEVERSOIRS OBLICO-LATERAUX DEPRIMÉS A SEUIL DE FORME ELLIPTIQUE

Par

Mokhtar CHELIH

PhD, Chargé de Cours à l'Institut de Génie Civil, USTO (Oran)

## Résumé

Le présent article concerne l'étude de la capacité d'évacuation des déversoirs oblico-latéraux déprimés à seuil de forme elliptique. Le rapport des demi-axes de l'ellipse considérée est égal à 2.0.

Sur la base du traitement et de l'analyse des résultats expérimentaux de 180 essais menés par l'auteur, des relations sont établies pour déterminer les valeurs des coefficients de vide, de débit et de submersion, en tenant compte de l'effet d'échelle.

**Mots clés :** capacité d'évacuation - déversoir oblico-latéral déprimé - coefficient - vide - débit - submersion.

## 1 INTRODUCTION

Les déversoirs oblico-latéraux sont d'une grande importance en hydrotechnique et sont largement utilisés. De tels ouvrages sont généralement réalisés sur l'une des berges ou en même temps sur les deux berges des cours d'eau. Ils sont disposés obliquement, formant un angle  $\alpha$  avec l'axe et obturant une partie de la largeur de l'écoulement.

Ces ouvrages ont la particularité de dévier la quantité d'eau nécessaire sans perturbation de l'écoulement dans les cours d'eau.

Leurs entrées obliques dans les canaux de dérivation ont un double avantage. Elles favorisent l'épuration des eaux des prises d'une part, et, en augmentant les largeurs déversantes, elles améliorent la capacité d'évacuation du déversoir d'autre part.

Etant donné que le débit dans le cours d'eau d'aménée en aval de l'échancrure est inférieur à celui de l'amont, la conception de ces ouvrages nous oblige

à réaliser la section transversale du canal en aval de la prise d'eau inférieure à celle de l'amont. De cette manière, nous élevons le coefficient d'utilisation des terres, qui représente le rapport de la surface nette sur la surface brute de la terre irriguée.

## 2 ETAT DE LA QUESTION

Les premiers travaux de recherches consacrés aux déversoirs obliques sont supposés ceux de Boileau, publiés en 1854 dans le manuel intitulé «le traité de la mesure des eaux courantes». Il proposa d'utiliser la formule classique estimant le débit d'un déversoir droit moyennant un coefficient rectificatif intégrant l'influence de l'obliquité sur la capacité d'évacuation, pour trouver le débit évacué par un déversoir oblique.

Les valeurs de ce coefficient sont données en fonction de  $\alpha$  dans [5] par Boileau, sous forme de tableau.

En 1906-1907, Aichel, suite au traitement des résultats des essais qu'il a menés, élaborera une relation exprimant le coefficient de rectification en fonction de la charge  $H$  sur le déversoir et un coefficient  $\epsilon$  dépendant de  $\alpha$  et de la largeur du cours d'eau d'aménée  $B$ .

$$\epsilon = 1 - H/c \quad (i)$$

Connaissant le débit évacué par un déversoir droit, ce même auteur proposa en 1953 une seconde relation donnant directement la valeur du débit évacué par ce même déversoir oblique.

$$Q_{ol} = (1-250 H/p.1/\epsilon) Q_d$$

avec :

$$\begin{aligned} H/P < 0.62 \text{ et } \alpha > 30^\circ, \\ H/P < 0.46 \text{ et } \alpha < 30^\circ, \end{aligned} \quad (j)$$

où :

□  $p$  est la hauteur de pelle,

- $Q_{ol}$  est le débit du déversoir oblico-latéral,
- $Q_n$  est le débit du déversoir droit.

En 1934 V.C Istomina [5] a tenté d'expliquer l'emploi correct des méthodes de calcul de l'influence de l'obliquité sur la capacité d'évacuation proposées par Boileau et Aichel, en étudiant le cas de déversoirs à paroi mince et de profil Creager.

Le traitement et l'analyse des résultats d'essais des auteurs évoqués et de ses propres essais conduisirent Istomina à illustrer graphiquement l'influence de l'obliquité sur la capacité d'évacuation des deux profils considérés avec  $\alpha = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  et  $90^\circ$ .

Comme Boileau, en 1962, A.C Gins et A.C Inozemtsev proposent d'employer la relation classique estimant le débit d'un déversoir droit en introduisant le coefficient de contraction.

$$\epsilon = 1 - K/L \quad (k)$$

avec :

$$K = n H (2 - \alpha/45^\circ)^{3/2}$$

où :

- $K$  qui est la largeur de la zone morte, dépend de l'angle  $\alpha$  et de la charge  $H$ ,
- $n$  est le coefficient tenant compte du profil du seuil du déversoir.

La valeur de ce coefficient, correspondant au déversoir parfaitement profilé tel que le déversoir Creager ou à seuil elliptique, peut être prise égale à 1,1.

### 3 EXPERIMENTATION

Les expériences ont été menées dans l'installation hydraulique décrite dans [3]. Pour des raisons techniques nous étions contraints de n'expérimenter que deux modèles réduits de hauteurs de pelles, de charges fondamentales et de rayons fictifs respectivement de  $p_1 = 15.0$  cm,  $H_d = 3.65$  cm,  $rf_1 = 1.60$  cm et  $p_2 = 23.5$  cm,  $H_d = 5.7$ cm,  $rf_2 = 2.50$  cm, avec " $H_d$ " charge de dimensionnement. Le rapport des demi-axes de l'ellipse du seuil du déversoir ( $a/b$ ) est égal à 2.0.

De plus, nous n'avons considéré que trois angles d'obliquité  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  et  $60^\circ$  correspondant respectivement aux angles de dérivation  $\theta = 60^\circ, 45^\circ$  et  $30^\circ$ , quatre largeurs déversantes relatives  $L/B = 0.35, 0.785$  et  $0.87$  et la largeur du canal principal prise constante et égale à 115 cm. Ce qui porte le nombre des variantes à dix-huit et pour chacune d'elles nous avons effectué dix essais. Ainsi, le nombre des essais réalisés est de 180. Le régime d'écoulement observé pendant toutes les expériences menées était fluvial. Nous avons employé, pour le prélèvement des mesures, les mêmes instruments que ceux utilisés et décrits dans [3].

### 4 ETU DE QUANTITATIVE

L'image de l'écoulement à travers un déversoir oblico-latéral est quasiment identique à celle obtenue sur un déversoir oblique. Il a été observé, en fonction de la variation de la charge, les mêmes régimes d'écoulement de la lame déversante que ceux constatés dans [7], pour le cas d'un déversoir droit à profil elliptique avec  $a/b = 2.0$ .

Les petites charges produisent des lames déversantes à surfaces lisses et transparentes. Elles appartiennent au régime laminaire. Avec l'augmentation de la charge, des stries apparaissent sur la surface de la lame et se déplacent continuellement le long de la largeur déversante. Cet état marque le régime de transition ; c'est un écoulement instable. En continuant à élever la charge, les stries oscillent et s'enchevêtrent. L'écoulement devient désordonné ; c'est le régime turbulent. Ce phénomène s'amplifie avec l'accroissement de la charge et demeure jusqu'à l'approche du décollement de la veine liquide de la surface de la crête du seuil du déversoir. Une fois le décollement atteint, le niveau de la surface d'eau au devant du déversoir s'élève brusquement, entraînant le gonflement de la lame déversante. Ce qui se traduit par une diminution considérable de la capacité d'évacuation de ce type de déversoir.

Lors de nos expériences, le décollement de la veine liquide est observé visuellement quand le rapport  $H/rl$  atteint la valeur de 4.1 à 5.0 sur les deux modèles réduits étudiés.

La zone morte s'est formée du côté de l'angle obtus (Figure 1) et a augmenté avec l'accroissement de la charge, comme pour le cas d'un déversoir oblique.

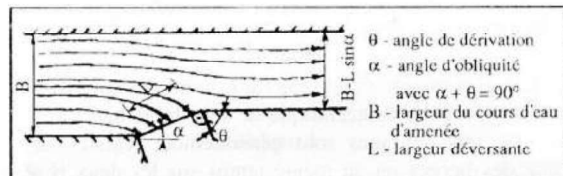


Figure 1 : Schéma de principe d'un déversoir oblico-latéral.

La forme de la ligne d'eau dans le canal principal le long du déversoir, pour toutes les variantes étudiées, est une courbe d'abaissement.

Nous remarquons que la submersion commence lorsque la surface libre dans le bief aval (canal de dérivation) devient plane, lisse et transparente. Le début de la submersion dépend très faiblement de la disposition du déversoir dans le plan (droit, latéral, oblique, oblico-latéral).

## 5 ETUDE QUALITATIVE

### 5.1 Coefficient de débit

Pour déterminer le coefficient de débit d'un déversoir oblico-latéral, nous procédons comme suit : à chaque essai nous mesurons le débit dévié et la charge correspondante, ensuite en utilisant la formule classique d'un déversoir droit dénoyé, nous calculons le coefficient de débit.

A l'aide des résultats obtenus nous traçons les courbes des relations  $m = f(H/rf)$ . Puis nous regroupons les courbes des différentes largeurs relatives  $L/B$  et de même angle de déviation  $\theta$  sur un même graphe, pour chaque modèle réduit.

Les courbes de  $m = f(H/rf)$  croissent, comme dans [3], avec l'accroissement de la charge relative  $H/rf$  jusqu'à ce que  $m$  atteigne une valeur maximale, puis elles décroissent, malgré la continuation de la croissance de  $H/rf$ .

Les résultats sont quantifiés avec une précision de  $\pm 2\%$ , sur les conditions limites  $1.5 < H/rf < 3.5$  et  $0^\circ < \theta < 90^\circ$ .

L'écart maximal entre les courbes extrêmes appartenant au même angle de déviation est obtenu à  $8\%$  dans la variation  $p = 15 \text{ cm}$  avec  $\alpha = 30^\circ$  et  $H/rf = 3.5$ . Ce qui explique une influence relativement faible de  $L/B$  sur  $m$ .

Nous n'illustrons dans le présent article que les courbes moyennes de chaque graphe dans les conditions limites  $1.5 < H/rf < 3.5$  et  $30^\circ < \alpha < 60^\circ$  avec une erreur de  $\pm 5.5\%$ .

Nous représentons sur la figure 2 les courbes moyennes d'un même angle de déviation des deux modèles réduits étudiés, afin d'apprécier l'effet d'échelle. Nous constatons que l'écart sur un même graphe ne dépasse pas  $1\%$ .

Tenant compte des conditions d'écoulement et, à la base de nos essais, nous avons estimé à  $2\%$  l'effet d'échelle en employant la relation proposée dans [7]. Cette même valeur a été trouvée auparavant par Rozanov [7] et Istomina [5]. De là, nous concluons que l'effet d'échelle ne dépend pas de la disposition du déversoir dans le plan.

En respectant les conditions aux limites entre lesquelles sont menées les essais, le coefficient de débit de chaque valeur de  $H/rf$  du prototype est égal à celui du modèle réduit correspondant majoré de  $2\%$ . Le coefficient de l'effet d'échelle sur  $m$  varie de  $1.01$  à  $1.03$ .

Dans le souci de nous assurer de l'exactitude de

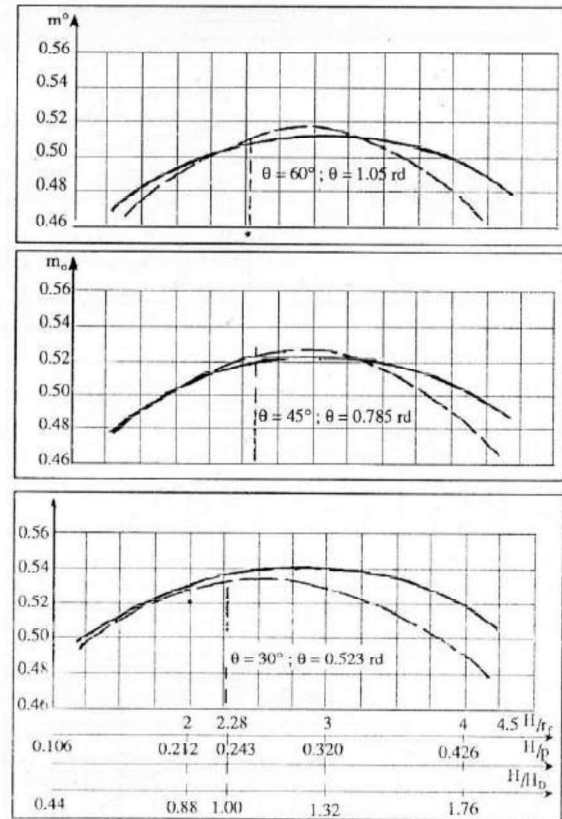


Figure 2: Courbes moyennes de  $m_0 = f(H/rf)$ .

— —  $p = 23.5 \text{ cm}$   
 — —  $p = 15.0 \text{ cm}$

nos mesures, nous avons comparé nos résultats avec ceux calculés par les méthodes de calcul établies par Boileau [5] et Aichel [1].

Il ressort de la figure 3, dans l'intervalle  $1.5 < H/rf < 3.5$  avec  $\theta = 30^\circ, 45^\circ$  et  $60^\circ$ , qu'il existe une bonne concordance qualitative entre les valeurs empiriques de  $m$  et celles calculées.

L'analyse de la variation de  $m = f(\theta)$  nous a montré que l'équation qui se prête le mieux à sa description est de la forme  $m = a + b\theta^c$ .

Les valeurs des coefficients  $a, b, c$  sont déterminées empiriquement avec une erreur de  $\pm 3\%$ . En pratique, pour chaque  $H/rf$  nous proposons la relation (1), pour calculer la valeur de  $a$  qui correspond au coefficient de débit du déversoir droit.

$$m = 0.437 + 0.0733 H/rf - 0.084 (H/rf)^2 \quad (1)$$

avec :  $1.5 < H/rf < 4.5$  ;  $\theta = 0^\circ$  et  $\alpha = 90^\circ$

Les valeurs des coefficients  $b, c$ , indépendamment de  $H/rf$  et de l'angle de déviation, sont respectivement de  $-0.056$  et  $0.9$ .

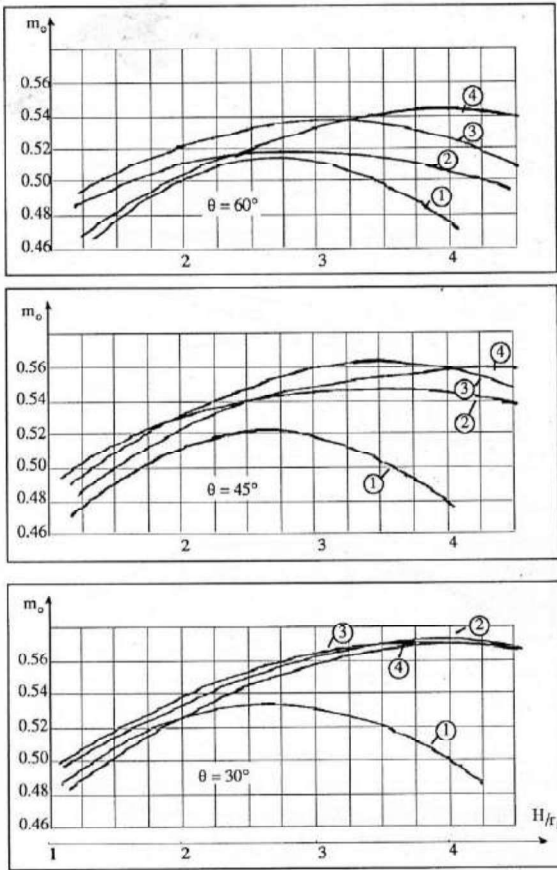


Figure 3 : Courbes comparatives de  $m_0 = f(H/r_f)$ .  
 1- Auteur, 2- Aichel (1953), 3- Aichel (1907), 4- Boileau.

Ainsi la relation à la forme suivante :

$$m = a - 0.056\theta^{0.9} \quad (2)$$

avec :  
 $\theta$  en radians.

Etablissons les relations de quelques rapports de  $H/r_f$  constants permettant de calculer  $m$  relatifs à l'angle de déviation choisi au préalable. Les valeurs correspondantes de  $a$  sont déterminées par la formule (1).

**Exemples**

$$\begin{aligned} H/r_f = 1.5 ; a = 0.536 ; m = 0.536 - 0.056\theta^{0.9} \\ H/r_f = 2.0 ; a = 0.555 ; m = 0.555 - 0.056\theta^{0.9} \quad (3) \\ H/r_f = 2.5 ; a = 0.565 ; m = 0.565 - 0.056\theta^{0.9} \end{aligned}$$

avec :  
 $0 \text{ rd} < \theta < 1.57 \text{ rd}$  et  $1.5 < H/r_f < 3.5$

Nous proposons les relations empiriques (4) à utiliser en pratique, dans les conditions d'écoulement où

sont menées nos expériences, pour déterminer le coefficient de débit des déversoirs oblico-latéraux à profil elliptique dans l'intervalle ci-dessous.

$$\begin{aligned} \blacklozenge \alpha = 30^\circ : \\ m = -0.97(H_1/H_2 - V_2^2/gh_2) + 1.41(H_1/H_2 - V_2^2/gh_2)^2, \\ \blacklozenge \alpha = 45^\circ : \\ m = -1.02(H_1/H_2 - V_2^2/gh_2) + 1.46(H_1/H_2 - V_2^2/gh_2)^2, \\ \blacklozenge \alpha = 60^\circ : \\ m = -1.14(H_1/H_2 - V_2^2/gh_2) + 1.59(H_1/H_2 - V_2^2/gh_2)^2, \end{aligned} \quad (4)$$

avec :  $0.57 < H_1/H_2 - V_2^2/gh_2 < 0.85$   
 et :  $0.05 < V_2^2/gh_2 = Fr^2 < 0.5$ ,

où :  
 $H_1, H_2$  - charges respectives en amont et en aval de l'échancrure sur l'axe du cours d'eau d'aménée.

$V_2/\sqrt{gh_2}$  - nombre de Froude en aval de l'échancrure dans le canal d'aménée.

**5.2 Coefficient de contraction**

Ce coefficient est estimé par le rapport du coefficient de débit d'un déversoir latéral ou oblico-latéral sur le coefficient de débit de ce même déversoir droit, dénoyé et possédant la même largeur déversante et la même charge.

Selon les résultats de nos essais, nous avons obtenu avec une précision de  $\pm 1.5\%$  les valeurs moyennes du coefficient de contraction, dans les limites considérées  $1.5 < H/r_f < 3.0$  et  $0.523 \text{ rd} < \theta < 1.57 \text{ rd}$ .

Nous donnons les résultats sous forme de tableau.

$\theta$ (rd)	0.000	0.523	0.785	1.047	1.570
$\epsilon$	1.00	0.95	0.93	0.91	0.87

**Tableau 1**

L'équation qui décrit le mieux l'allure de la courbe illustrant la variation de la relation  $\epsilon = f(\theta)$  est de la forme :  $\epsilon = 1 + a\theta$

Le traitement et l'analyse de nos résultats nous ont conduit à élaborer la relation empirique donnant les valeurs moyennes du coefficient.

$$\epsilon = 1 - 0.088\theta \quad (5)$$

Le coefficient  $a$  peut se calculer, pour un  $H/r_f$  donné, par l'expression empirique suivante :

$$a = 0.042 H/r_f \quad (6)$$

En employant l'équation proposée dans [4], nous avons établi, pour les différentes largeurs déversantes relatives étudiées, une relation théorique identique à (k) donnant les valeurs moyennes de  $\epsilon$ .

$$\epsilon = 1 - 0.095\theta \quad (7)$$

La comparaison des relations 5 et 7 donne une divergence maximale de 6.6% pour  $\theta = 1.57$  rd.

Ce qui confirme la conclusion faite par Gins et Inozemtsev [4], selon laquelle les résultats avec une bonne précision sont obtenus pour  $\alpha > 45^\circ$ .

Par contre, il y a une bonne concordance entre nos valeurs empiriques de  $\epsilon$  et celles proposées par Boileau [5], dans tout l'intervalle  $0^\circ < \theta < 90^\circ$ .

Nous proposons d'utiliser en pratique la relation (5) pour estimer les valeurs moyennes de  $\epsilon$  des différents angles de déviation considérés dans nos essais.

### 5.3 Coefficient de submersion

Le coefficient de submersion est étudié de la même manière que dans [3]. Nous avons tracé les courbes de la relation  $K_s = f(hs/H)$  de toutes les variantes étudiées. Les résultats nous ont montré que le coefficient de submersion dépend étroitement de la charge, faiblement de l'angle de déviation et que l'influence de la largeur déversante relative est négligeable.

Nous recommandons d'utiliser en pratique les relations établies dans [3] pour trouver la valeur de  $K_s$  des angles de déviation étudiés.

### 5.4 Coefficient de vide

Le coefficient de vide  $\sigma$  est le rapport de la dépression maximale sur la charge correspondante pendant laquelle elle est obtenue. La courbe de la fonction  $\sigma = f(H/rf)$  a la même allure que celle de  $m = f(H/rf)$ .

Nous avons tracé avec une précision de  $\pm 25\%$  les courbes moyennes de  $\sigma = f(H/rf)$  des différentes largeurs relatives et de chaque angle de déviation.

L'influence de la largeur relative est insignifiante sur la valeur de  $\sigma$ . Cette valeur peut également être déterminée en fonction des charges relatives  $H/p$  et  $H/H_d$ , sachant que  $H_d/p = 0.24$  et  $H/H_d = 1.0$  correspondant à  $H_d/rf = 2.28$  sur l'axe des abscisses. Nous remarquons que dans [7] pour  $\sigma = 0.5$  la précision est de  $\pm 36\%$ . De ce fait, nous supposons nos résultats de  $\sigma$  admissibles. La variation du coefficient se fait selon une loi linéaire, en fonction de l'angle de déviation avec le rapport  $H/rf = Cte$ .

$$\sigma = b + a\theta \quad (8)$$

Les droites des différents rapports  $H/rf$  sont tracées avec une précision de  $\pm 25\%$  et sont obtenues parallèles avec un coefficient directeur  $a = -0.083$  et  $b$  variable selon la valeur de  $H/rf$ .

Il ressort de l'analyse des droites que l'influence sur la valeur de  $\sigma$  de  $L/B$  est insignifiante et celle de l'angle de déviation faible.

H/rf	2.0	2.5	3.0	3.5
b	0.35	0.60	0.89	1.14

Tableau 2

Nous proposons d'utiliser en pratique deux relations permettant de déterminer la valeur maximale de  $\sigma$  et la valeur correspondante de  $(H/rf)_{max}$  en fonction de  $\theta$ , dans les intervalles indiqués antérieurement.

$$\sigma = 2.6 - 1.41\theta \quad (9)$$

$$(H/rf)_{max} = 5.5 - 1.52\theta^{0.37}$$

L'emploi de la formule empirique proposée dans [7] nous a conduit à estimer l'effet d'échelle sur  $\sigma$ , selon les résultats de nos essais à  $\eta_\sigma = 1.22$  avec une précision de  $\pm 9\%$ .

### 5.5 Densité spectrale

Les pulsations de pressions  $\sigma/pg$  sont mesurées par des capteurs inductifs, sur certains points de la surface du seuil du déversoir. Le traitement et l'analyse des informations obtenues sur les pulsations de pressions, à l'aide de l'analyseur des spectres et de l'ordinateur, nous ont permis d'établir la relation donnant la variation des pulsations standards en fonction de l'angle de déviation pour les trois largeurs relatives étudiées.

$$\sigma/pgH = 0.095 - 0.03\theta \quad L/B = 0.52 \quad (10)$$

$$\sigma/pgH = 0.070 - 0.03\theta \quad L/B = 0.7 \text{ et } L/B = 0.87$$

avec :  $2.0 < H/rf < 3.3$  et  $0^\circ < \theta < 90^\circ$

Soulignons que les densités spectrales des pulsations de pressions sont des composantes de faibles fréquences. Les valeurs correspondantes du nombre de Stroukhal sont également faibles et ne dépassent pas "0.12". Ce nombre sans dimension est exprimé par la relation :

$$Sh = f.H^2/q$$

avec :

$f$  : fréquence en Hertz

$q$  : débit linéaire

$H$  : charge

## 6 CONCLUSION

Les déversoirs oblico-latéraux à crête elliptique se caractérisent par la supériorité de leur capacité d'évacuation sur celle des déversoirs parfaitement profilés et non-déprimés. Les valeurs de  $m$  peuvent être

estimées par les relations empiriques établies dans cet article, dans les conditions limites considérées.

Les valeurs des effets d'échelle sur  $m$  et  $\sigma$  ne dépendent pas de la disposition du déversoir dans le plan et nous proposons de prendre respectivement  $\eta_m = 1.02$  avec  $\pm 1\%$  et  $\eta_\sigma = 1.22$  avec  $\pm 9\%$ .

Nous recommandons l'emploi de la relation (5) pour calculer le coefficient de contraction et la relation (8) et le tableau 2 pour estimer la valeur du coefficient du vide. Pour une première approche, la valeur de la pulsation standard peut être déterminée par les relations (10).

Il reste à entreprendre une étude plus approfondie sur la variation de la pulsation de pressions sur la totalité de la surface du seuil du déversoir.

Il serait également intéressant de mener des investigations sur des déversoirs déprimés à profil elliptique avec d'autres valeurs de  $a/b$  et sur d'autres déversoirs déprimés, dans les mêmes conditions d'écoulement considérées dans nos expériences, afin de faire une étude comparative ③

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. Carlier : "Hydraulique générale et appliquée". Ed. Eyrolles, Paris, 1986.
- [2] M. Chelih : "Etude de la ligne de séparation dans les écoulements ramifiés à l'aide de l'analogie électrique". Revue construire, N°37, Alger, 1990.
- [3] M. Chelih : "Capacité d'évacuation d'un déversoir déprimé à crête de forme elliptique". Revue construire, N°41, Alger, 1991.
- [4] A.C Gins et A.C Inozemtsev : "Coefficient de débit d'un déversoir oblique". Recueil de travaux de l'institut de C/X d'Omsk, Vol XXI. Omsk, 1962.
- [5] V.C Istomina : "Les déversoirs obliques". Ed. Gostroizdat, Leningrad, 1934.
- [6] Recommandations : "Le calcul hydraulique des déversoirs obliques, latéraux, curvilignes et circulaires". VNIIG du nom de Védénéev, Leningrad, 1934.
- [7] N.P Rozanov : "Les déversoirs-barrages déprimés à crête elliptique". Ed. Stroizdat, Moscou, 1940.

# NUMERICAL MODELS IN GEOMECHANICS

## NUMOG 95

6 - 9 September 95, Davos, Switzerland

Abstracts by 30th November 94 to :

G.N. Pande

Tel : UK 792 295517

Fax : 792 295676

792 295517

S. Pietruszczak

Canada 905 525 9140

905 524 2121

COMPUTERS & GEOTECHNICS