

L'écoulement dans des canaux rectangulaires présentant une section rétrécie

Flow in rectangular channels with lateral constriction plates

PAR H.-R. VALLENTINE

MAÎTRE DE CONFÉRENCES DE GÉNIE CIVIL A LA NEW SOUTH WALES UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (Sydney, Australie)

SENIOR LECTURER IN CIVIL ENGINEERING NEW SOUTH WALES UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (Sydney, Australie)

Les caractéristiques de l'écoulement dans un canal rectangulaire muni d'écrans latéraux d'étranglement à arête vive, placés symétriquement et perpendiculairement à l'écoulement, sont étudiées dans un canal à faible pente. Le débit Q est en rapport avec la profondeur en amont y_1 , par l'équation $Q=Cby_1^{3/2}$, dans laquelle b est la largeur du passage et C un coefficient expérimental qui tient compte du coefficient d'étranglement et du nombre de Froude de l'écoulement non étranglé. Les valeurs de C sont établies pour des nombres de Froude jusqu'à 2,1 et pour un coefficient d'étranglement jusqu'à 95 %.

Les conditions dans lesquelles l'insertion des écrans d'étranglement entraîne une augmentation de la profondeur en amont sont étudiées et l'importance de cette augmentation est évaluée.

Characteristics of flow in a rectangular channel with sharp edged lateral constriction plates placed symmetrically, normal to the flow, are examined in a small tilting channel. The flow rate, Q , is related to the upstream depth y_1 , by means of a discharge equation $Q=Cby_1^{3/2}$, where b is the width of opening and C is an experimental coefficient which depends upon the constriction ratio and the Froude Number of the unconstricted flow. The values of C are established for Froude Numbers up to 2.1 and constriction ratios up to 95 %.

The conditions under which insertion of constriction plates produces an increase in upstream depth are investigated and the extent of the increase is evaluated.

NOTATIONS

B	: largeur du canal;	width of channel;
b	: largeur de l'ouverture;	width of opening;
C, C_d	: coefficients de débit;	coefficients of discharge;
E	: énergie spécifique [$y+(V^2/2g)$];	specific energy = $y+(V^2/2g)$;
ΔE	: perte de charge totale;	total loss of specific energy;
ΔE_c	: perte de charge au niveau de la contraction;	loss of specific energy during contraction;
ΔE_e	: perte de charge par élargissement brusque;	loss of specific energy during expansion;
F_0	: nombre de Froude de l'écoulement initial;	unconstricted flow Froude Number;
f_1, f_2, f_3	: symboles de fonctions;	function signs;
g	: accélération due à la pesanteur;	gravitational acceleration;
m	: coefficient de contraction;	contraction ratio;
Q	: débit total;	total discharge;
S_0	: pente du fond;	bed slope;

S_c	: pente du lit pour un écoulement en régime uniforme critique;	bed slope for uniform critical depth flow;
V_0	: vitesse moyenne dans l'écoulement uniforme initial;	mean unconfined uniform flow velocity;
V_1	: vitesse moyenne à la section 1;	mean velocity at section 1;
Y	: profondeur;	depth of flow;
Y_c	: profondeur critique.	critical depth.

1. Introduction

L'étude de l'écoulement à travers des rétrécissements latéraux dans les canaux s'apparente d'ordinaire à la détermination des caractéristiques des sections de jaugeage ou de l'écoulement sous les ponts. Aussi, les expériences entreprises à ce sujet ont-elles été généralement limitées aux conditions d'écoulement les plus couramment rencontrées sur le terrain. Les recherches les plus générales effectuées ces dernières années dans ce domaine ont été celles de Yarnell [1]; elles fournirent un grand nombre de données relatives à l'écoulement entre des piles de pont. D'autres recherches postérieures [2, 3] se limitèrent au cas des ponts où l'écoulement dans la section de contrôle était de type fluvial, les essais ayant lieu sur fond horizontal.

Pratiquement, on peut dire que toutes les formules établies jusqu'à présent, reliant le débit à la profondeur et aux caractéristiques du rétrécissement, font intervenir, comme profondeur, la profondeur moyenne dans la section « la plus contractée », ou au voisinage de celle-ci. Cette façon d'aborder la question peut en général se justifier dans les conditions couramment rencontrées sur le terrain; elle ne convient pas lorsqu'il s'agit de traiter dans le cas général le problème des écoulements à travers des sections rétrécies à parois verticales. Parfois, le jet débouchant de la fente prend plus ou moins l'aspect d'une nappe d'eau verticale, soumise à la pression atmosphérique sur une grande partie de sa hauteur; l'hypothèse d'une répartition hydrostatique des pressions à l'intérieur du jet ne peut pas se justifier.

A la New South Wales University of Technology, une étude du cas le plus général est actuellement en cours; quelques-uns des résultats déjà obtenus ont un intérêt théorique et pourraient être utilisés pratiquement par des ingénieurs s'intéressant à certains cas d'écoulement à travers une section rétrécie.

2. Considérations générales

Il est possible d'aborder l'étude des relations existant entre la profondeur, les caractéristiques

1. Introduction

Investigations of flow through lateral constrictions in channels have usually been associated with the determination of the characteristics of measuring flumes or bridge waterway areas. The experimental work has therefore been restricted largely to conditions of flow most likely to be met with in the field. The most general study in recent years was that of Yarnell [1] which provided a wealth of data on flow between bridge piers. Later comprehensive investigations [2, 3], were limited to cases relating to bridges in which the flow at the constricted section was subcritical, or tranquil, and the tests were conducted in a horizontal channel.

Practically all of the formulae so far developed, relating the discharge to depth of flow and constriction characteristics, contain as the reference depth, the mean depth of flow at or near the "most contracted" section. Such an approach, while generally adequate for conditions usually met with in the field, is not satisfactory for a general approach to the problem of flows through vertical slots in channels. In some such flows, the jet issues from the slot more or less as a vertical sheet of water, at atmospheric pressure for a large part of its depth, and the assumption of hydrostatic pressure distribution in the jet is not justifiable.

A study of the more general case is being made at the New South Wales University of Technology and some of the results to date are of theoretical interest and may be of practical value to engineers concerned with certain problems of slot flow.

2. General Considerations

The inter-relationship of depth, flow characteristics and boundary geometry can be investigated by consideration of the differences in specific energy content along the channel be-

de l'écoulement et les limites géométriques, en comparant les quantités d'énergie spécifique véhiculées le long du canal dans des écoulements de même débit mais comportant ou non un rétrécissement. On évite ainsi l'introduction précise de la perte de charge uniforme de l'écoulement non perturbé.

L'étude générale de la question soulève deux problèmes d'intérêt pratique :

- a) L'établissement d'une formule de débit;
- b) La détermination de la variation de la profondeur amont (effet de remous) causée par la présence du rétrécissement.

La figure 1 représente sous forme schématique

between unconfined and constricted flows of the same discharge. Such a procedure enables a detailed consideration of the uniform energy loss in the unconfined flow to be avoided.

Two related problems of practical interest in the general study are :

- (a) the establishment of a discharge equation; and
- (b) the determination of the change in upstream depth (the "backwater" effect) produced by the constriction.

Figure 1 shows diagrammatically the changes in depth and specific energy resulting from the

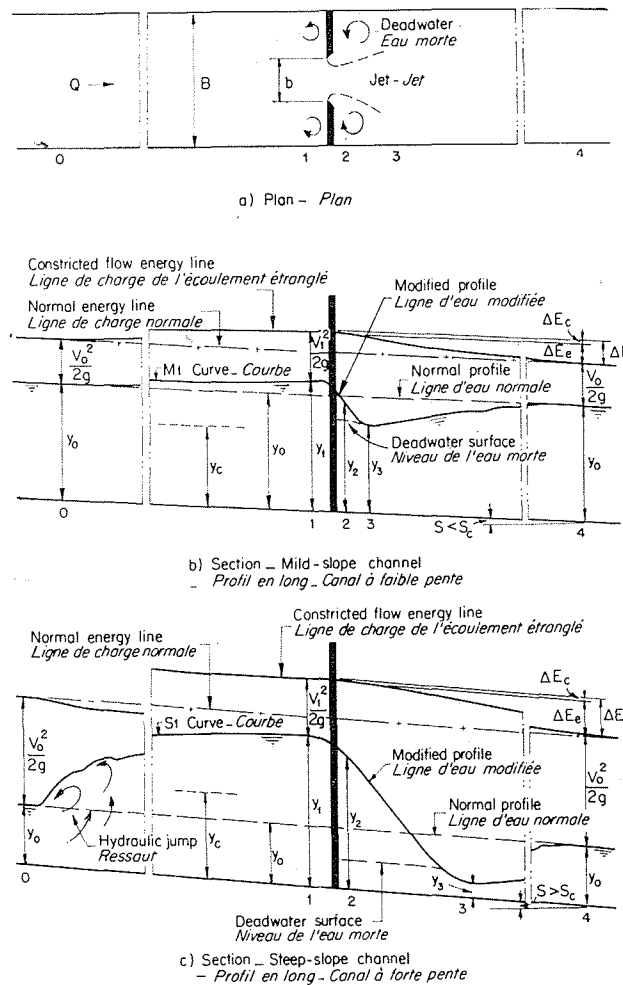


FIG. 1
Effet d'un rétrécissement latéral sur la ligne d'eau et les pertes de charge.
Effect of lateral constriction on profile and energy gradient.

les variations de profondeur et d'énergie spécifique causées par l'introduction dans un canal rectangulaire, perpendiculairement à l'écoulement, d'une plaque verticale à arête vive déterminant un rétrécissement. On peut s'expliquer

insertion of a knife-edged vertical slot constricting plate, normal to the flow, in a rectangular channel. The changes can be explained in general terms as follows. Sections 0 and 4 are to be considered as sufficiently distant from the

de la façon suivante, en termes généraux, les modifications survenues :

Les sections 0 et 4 peuvent être considérées comme assez éloignées du rétrécissement pour que l'écoulement y soit pratiquement uniforme. Comme la vitesse dans la section rétrécie dépasse celle dans la section 1 où la profondeur est maximum, il se produit une légère perte d'énergie spécifique ΔE_c due à ce que, dans la zone rétrécie, il y a augmentation des pertes par résistance superficielle. La grande vitesse, avec la turbulence qui en résulte dans l'expansion latérale et verticale du courant entre les sections 2 et 4, se traduit par une forte perte d'énergie spécifique par élargissement brusque ΔE_e . La perte totale d'énergie spécifique entre les sections 1 et 4 est de :

$$\Delta E = \Delta E_e + \Delta E_c \quad (1)$$

Ce surplus d'énergie, que l'on observe dans la section 1 relativement à l'écoulement non rétréci, est dû à la diminution de l'ensemble des pertes de charge par unité de longueur en amont de la section 1. L'accroissement de profondeur de l'eau à l'approche de la section rétrécie est accompagné par une réduction correspondante de la vitesse, donc aussi des pertes de charge par frottement. La charge dépasse celle qui correspond à l'écoulement non rétréci, d'une quantité totale atteignant ΔE à la section 1. Dans le cas d'un canal en pente douce, le profil de la surface de l'eau en amont est une courbe M_1 [4]. Si le canal est à pente raide, le profil est une courbe S_1 succédant à un ressaut hydraulique à condition que la profondeur y_1 dépasse la profondeur correspondant à l'entretien du ressaut. Si l'on crée un ressaut artificiel et si la profondeur conjuguée dépasse y_1 , le ressaut sera chassé vers l'aval et créera un front d'onde stationnaire partant du bord du rétrécissement vers l'aval en forme de V. En amont de la partie rétrécie, l'écoulement sera entièrement torrentiel, comme dans un canal non rétréci (fig. 2).

L'eau traverse la partie rétrécie (fig. 1) et sort sous forme d'un jet dont la contraction la plus forte se situe un peu au-delà des arêtes de la section rétrécie. Selon la vitesse de l'écoulement, la pente du canal et la longueur de la partie rétrécie, ce jet peut être noyé entièrement ou partiellement dans la zone d'eau morte qui l'entoure au voisinage de la surface de la plaque; elle peut aussi être à peu près entièrement soustraite à tout effet latéral sur une grande distance et présenter à la sortie l'aspect d'une nappe verticale ayant une pente superficielle appréciable. La section transversale subit alors une forte altération entre les profils 2 et 3, for-

striction for flows at those sections to be substantially uniform. The velocity in the contracting section of the flow being higher than that at Section 1, the section of maximum depth, there is a slight loss of specific energy, ΔE_c , owing to increased surface resistance loss in the region of the contracting flow. The high velocity and subsequent turbulence in the lateral and vertical expansion of the flow between Sections 2 and 4 results in a considerable specific energy loss of expansion, ΔE_e . The total loss of specific energy between Sections 1 and 4 is :

$$\Delta E = \Delta E_e + \Delta E_c \quad (1)$$

This surplus energy at Section 1 over that for unstricted flow is provided by a decrease in the space rate of total energy loss upstream of Section 1. The increase in the depth of the water as it approaches the constriction is accompanied by a corresponding decrease in velocity and therefore in the surface resistance energy loss rate. The energy gradient rises above that of the unrestricted flow, the total rise at Section 1 being ΔE . In the case of a mild-slope channel, the upstream water surface profile is an M_1 curve [4]. In the case of a steep-slope

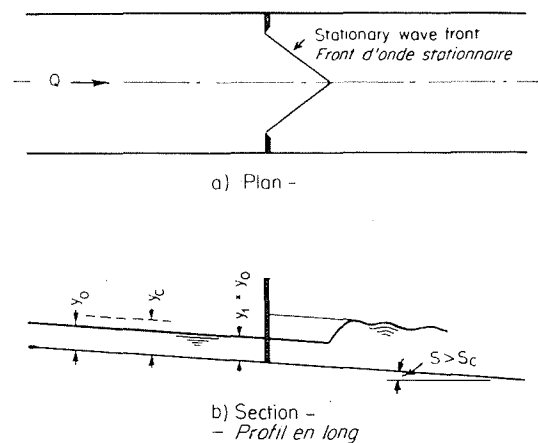


Fig. 2
Formation d'un front d'onde stationnaire
au rétrécissement.

Formation of stationary wave
front at the constriction.

channel, the profile is an S_1 curve, following a hydraulic jump, provided that the depth y_1 exceeds the sequent depth required to sustain the jump. If a jump is established artificially and its sequent depth exceeds y_1 , the jump will travel downstream to produce a stationary wave front, extending from the edges of the constriction downstream in the form of a V. The flow upstream from the constriction will be wholly supercritical as in the unstricted channel (fig. 2).

The flow through the constriction (fig. 1) issues as a jet which suffers its maximum late-

mant à la partie supérieure un bourrelet, lequel va en s'évasant à mesure que la nappe perd de sa hauteur. A la section 3, le jet s'évase latéralement et perd son individualité pour se fondre dans un écoulement à trois dimensions. C'est une des raisons pour lesquelles on ne saurait rapporter à la profondeur y_3 l'équation générale exprimant un débit. La profondeur amont maximum y_1 intervient alors comme profondeur de référence.

3. L'équation du débit

L'analyse physique de l'écoulement au voisinage du rétrécissement, basée sur un bilan énergétique, se complique du fait de la combinaison des contractions latérale et verticale de la nappe et aussi par le degré plus ou moins grand du noyage du jet. D'autre part, il n'est guère possible d'attaquer le problème par les quantités de mouvement, car nous ne possédons pas une notion exacte des forces extérieures entrant en jeu en aval de la partie rétrécie.

L'analyse dimensionnelle, dans l'hypothèse :

$$Q = f_1(y_0, y_1, B, b, g)$$

fournit la relation :

$$\frac{Q}{\sqrt{g} b y_1^{3/2}} = f_2\left(\frac{Q}{\sqrt{g} B y_0^{3/2}}, \frac{b}{B}, \frac{y_0}{B}\right)$$

En substituant :

$$F_0 = \frac{V_0}{\sqrt{g} y_0} \text{ à } \frac{Q}{\sqrt{g} B y_0^{3/2}} \text{ et } m = \frac{B-b}{B} \text{ à } \frac{b}{B}$$

on a :

$$Q = C b y_1^{3/2} \tag{2}$$

C désignant :

$$f_3\left(F_0, m, \frac{y_0}{B}\right) \tag{3}$$

On pourrait aussi écrire :

$$Q = C_d b \sqrt{2g} y_1^{3/2}$$

en introduisant un coefficient non dimensionnel de débit :

$$C_d = \frac{C}{\sqrt{2g}}$$

Le coefficient de débit se présente donc comme fonction du paramètre (F_0) caractérisant l'écoulement non rétréci, des caractéristiques géométriques de la partie rétrécie (m) et de l'écou-

ral contraction a short distance from the plate edges. Depending upon the flow rate, the channel slope and the extent of constriction, the jet may be completely or partially drowned by the "dead" water on each side, adjacent to the plate; or it may be almost completely free of side effects for a considerable distance, issuing initially as a vertical sheet, with appreciable surface slope. In the latter case, the cross section suffers considerable change in form between sections 2 and 3, developing a flange at the top surface which broadens as the surface height decreases. At section 3, this jet spreads laterally and loses its identity in a three-dimensional flow pattern. This is one reason for the depth y_3 being quite unsatisfactory as a reference depth for a general discharge equation. The maximum upstream depth y_1 is suitable as a reference depth.

3. The Discharge Equation

Physical analysis of the flow at the constriction by the energy approach is complicated by the occurrence of vertical as well as lateral contraction and by the variable extent of drowning of the jet. The momentum approach is restricted by lack of sufficiently reliable knowledge of boundary forces in the region downstream from the constriction.

Dimensional analysis, based upon the assumption that :

$$Q = f_1(y_0, y_1, B, b, g)$$

yields the relationship :

$$\frac{Q}{\sqrt{g} b y_1^{3/2}} = f_2\left(\frac{Q}{\sqrt{g} B y_0^{3/2}}, \frac{b}{B}, \frac{y_0}{B}\right)$$

Writing :

$$F_0 = \frac{V_0}{\sqrt{g} y_0} \text{ for } \frac{Q}{\sqrt{g} B y_0^{3/2}} \text{ and } m = \frac{B-b}{B} \text{ for } \frac{b}{B}$$

it follows that :

$$Q = C b y_1^{3/2} \tag{2}$$

where :

$$C = f_3\left(F_0, m, \frac{y_0}{B}\right) \tag{3}$$

Alternatively :

$$Q = C_d b \sqrt{2g} y_1^{3/2}$$

where

$$C_d = \frac{C}{\sqrt{2g}}$$

a non-dimensional discharge coefficient.

The discharge coefficient appears thus as a function of the unstricted flow parameter (F_0), the geometrical proportions of the constrict-

ment non rétréci (y_0/B). Il englobe les effets de la contraction latérale et verticale du jet, ainsi que la correction nécessaire pour tenir compte de la hauteur correspondant à la vitesse d'approche.

Dans le cas limite d'un rétrécissement nul, c'est-à-dire $m=0$, comme :

$$F_0 = \frac{V_0}{\sqrt{g y_0}}$$

il vient $y_1=y_0$ et $b=B$; donc :

$$Q = V_0 B y_0 = \sqrt{g} F_0 B y_0^{3/2} \quad (4)$$

$$C = \sqrt{g} F_0 \quad (5)$$

Le cas où m est très voisin de l'unité correspond à un écoulement à travers une fente étroite dans un canal très large. Pour un débit donné Q , la hauteur d'eau dans le remous y_1 dépassera de loin la profondeur y_0 de l'écoulement aval et s'en ressentira fort peu, quelle que soit la valeur de F_0 . Il s'ensuit, évidemment, qu'à mesure que m approche de l'unité, C tend à s'affranchir de F_0 .

4. L'équation de la courbe de remous

Pour trouver le rapport y_1/y_0 en fonction de C , on divisera l'équation (2) par l'équation (4); on trouvera :

$$\frac{y_1}{y_0} = \left(\frac{\sqrt{g} B F_0}{C b} \right)^{2/3} = \left[\frac{\sqrt{g} F_0}{C (1-m)} \right]^{2/3} \quad (6)$$

Dans le cas de canaux à forte pente raide ($F_0 > 1$), l'équation (6) ne s'appliquera que si y_1 dépasse la profondeur conjuguée du ressaut hydraulique pour les valeurs particulières y_0 et F_0 du canal non rétréci. L'équation du ressaut hydraulique, exprimée en fonction du nombre de Froude de l'écoulement non perturbé [4], donne la condition de stabilité du ressaut :

$$\frac{y_1}{y_0} \geq \frac{1}{2} (\sqrt{1+8 F_0^2} - 1) \quad (7)$$

5. Résultats des expériences

Les essais ont été effectués dans un canal à pente variable de 8 1/4 pouces (21cm) de largeur avec fond plat en verre. Les faces latérales étaient en bois lisse avec des glaces de deux pieds (60 cm) de longueur à la hauteur de la section examinée. En général, on cherchait à établir un régime uniforme dans le canal non rétréci et à observer la profondeur y_0 . On introduisait ensuite dans la section d'essai une

tion (m), and of the unstricted flow (y_0/B). The coefficient embodies the effects of lateral and vertical contraction of the jet and also the correction for the approach velocity head.

For the limiting case of zero contraction i.e. $m=0$, since :

$$F_0 = \frac{V_0}{\sqrt{g y_0}}$$

$y_1=y_0$, and $b=B$,

$$Q = V_0 B y_0 = \sqrt{g} F_0 B y_0^{3/2} \quad (4)$$

$$C = \sqrt{g} F_0 \quad (5)$$

The case of m very nearly equalling unity corresponds to flow through a narrow slot in a very wide channel. For a given flow rate Q , the backwater depth y_1 will greatly exceed the downstream flow depth y_0 and will be little affected by its magnitude, whatever the value of F_0 . Evidently, therefore as m approaches unity, C tends to become independant of F_0 .

4. The Backwater Equation

The backwater ratio, y_1/y_0 , expressed in terms of C , follows from the division of Eq. (2) by Eq. (4).

$$\frac{y_1}{y_0} = \left(\frac{\sqrt{g} B F_0}{C b} \right)^{2/3} = \left(\frac{\sqrt{g} F_0}{C (1-m)} \right)^{2/3} \quad (6)$$

For steep slope channels ($F_0 > 1$), Eq. 6 will apply only if y_1 exceeds the sequent depth of the hydraulic jump for the particular y_0 and F_0 values in the unstricted channel. From the hydraulic jump equation expressed in terms of the approach flow Froude Number [4], there results the jump stability condition :

$$\frac{y_1}{y_0} \geq \frac{1}{2} \left[(\sqrt{1+8 F_0^2} - 1) \right] \quad (7)$$

5. Experimental Results

Tests were undertaken in a tilting flume 8 1/4 in. wide with a plate glass bottom. The sides were of smooth timber except for two foot long glass windows at the test section. The general procedure was to establish a condition of uniform flow in the unstricted channel and to observe the depth (y_0). A 1/8 in. thick brass constricting plate with sharp vertical edges (See fig. 1 a) was then inserted at the test section

plaque rétrécissante en laiton de 1/8 pouce (3,2 mm) d'épaisseur à arêtes verticales vives (fig. 1 a) et on observait la profondeur axiale maximum y_1 , juste en amont du point où le courant commence à plonger vers l'ouverture de la plaque. On modifiait systématiquement le nombre de Froude F_0 de l'écoulement initial en réglant le débit, la pente et aussi, dans le cas de l'écoulement subcritique, le niveau aval du canal constitué par un volet déversant réglable.

Les essais portaient sur la gamme des valeurs suivantes :

Valeurs du rétrécissement $m = (B - b) / B \%$:
10, 20, 33 1/3, 50, 66 2/3, 80, 90, 95.

Nombres de Froude de l'écoulement initial :
 $F_0 = (V_0) / \sqrt{g y_0}$: 0 à 2,13.

Débits (en pieds cubes) :
0,025 à 0,079 (0,0007 à 0,0022 m³).

Profondeur maximum y_1 :
6 pouces (15 cm).

Dans le domaine exploré, le coefficient de débit C variait systématiquement avec m et F_0 ; toutefois, aucun effet du rapport y_0/B n'a été noté. La figure 3 représente trois courbes expé-

and the maximum centre-line depth (y_1) just upstream of the commencement of drawdown to the plate opening was observed. The unconfined flow Froude Number, F_0 , was varied by adjustment of the discharge, the channel fill and, for subcritical flow, the channel outlet control, which was a sharp crested weir of adjustable height.

The range of the tests was as follows :

Constriction ratios $m = (B - b) / B \%$:
10, 20, 33 1/3, 50, 66 2/3, 80, 90, 95.

Unconfined flow Froude Numbers :
 $F_0 = (V_0) / \sqrt{g y_0}$: 0 to 2.13.

Flow rates (cfs) :
0.025 to 0.079.

Maximum depth, y_1 :
6 inches.

Within the range of the tests, the discharge coefficient C was found to vary systematically with m and F_0 but no effect of the ratio y_0/B was detected. Three typical experimental curves ($m=10, 50$ and 90%) for C as a function of F_0 are shown in fig. 3. Instability of the flow at

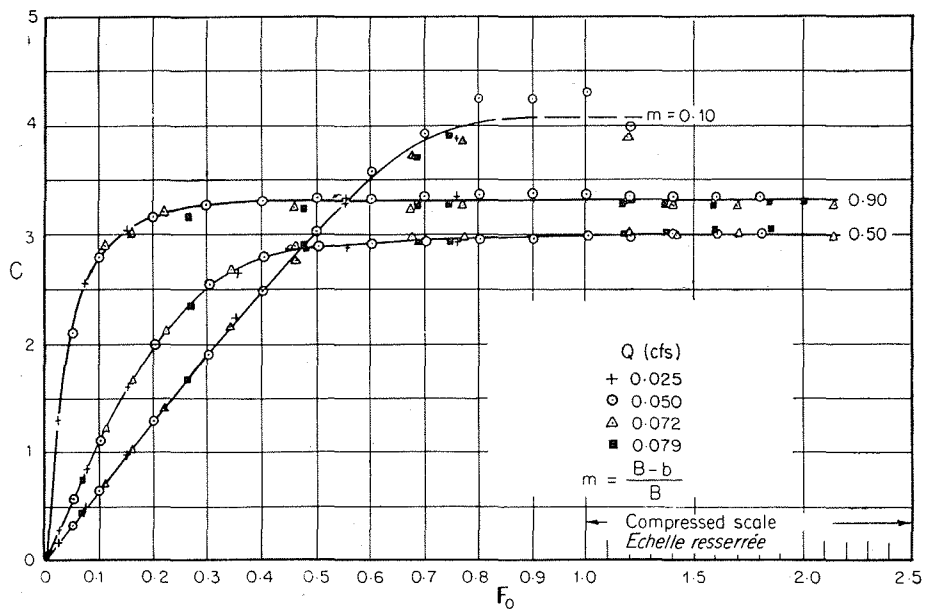


FIG. 3
Courbes expérimentales typiques donnant C en fonction de F_0 et de m .

Typical experimental curves showing C as a function of F_0 and m .

riméntales typiques ($m=10, 50$ et 90%) donnant C en fonction de F_0 . L'instabilité du courant aux nombres de Froude élevés, due au voisinage du ressaut hydraulique, créait une certaine dispersion des valeurs de la courbe $m=10 \%$. Les courbes correspondant à toutes les plaques rétrécissantes sont réunies sur la fi-

high Froude Numbers due to the proximity of the hydraulic jump produced some scatter in the $m=10 \%$ curve. The curves for all constriction plates are shown in fig. 4 (a), the experimental points having been omitted for the sake of clarity. For any particular value of m , C increases initially with F_0 , becoming sensibly

gure 4a, où les points expérimentaux ont été omis pour des raisons de clarté. Pour chacune des valeurs particulières de m , C commence par augmenter avec F_0 , devenant sensiblement constant au-delà d'une certaine valeur limite de F_0 , valeur mal définie nettement, qui décroît quand augmente m . Comme il a été indiqué ci-dessus, quand m est très voisin de l'unité, C devient pratiquement indépendant de F_0 . La variation des valeurs extrêmes de C en fonction de m est portée sur la figure 4b. La forme de la courbe traduit les influences antagonistes qu'exercent sur C , à mesure qu'augmente m , les accroissements des contractions latérale et ver-

constant beyond a limiting value of F_0 . This limiting value, which is not sharply defined, decreases with increase of m . As previously surmised, it appears that, with m very nearly equal to unity, C becomes practically independent of F_0 . The variation of the ultimate C values with m is plotted in fig. 4(b). The form of the curve reflects the opposing influences on C , with increase on m , of the increases in the lateral and vertical contraction and of the decrease in depth of water behind the constricting plate.

From fig. 4(c) the condition of the flow up-

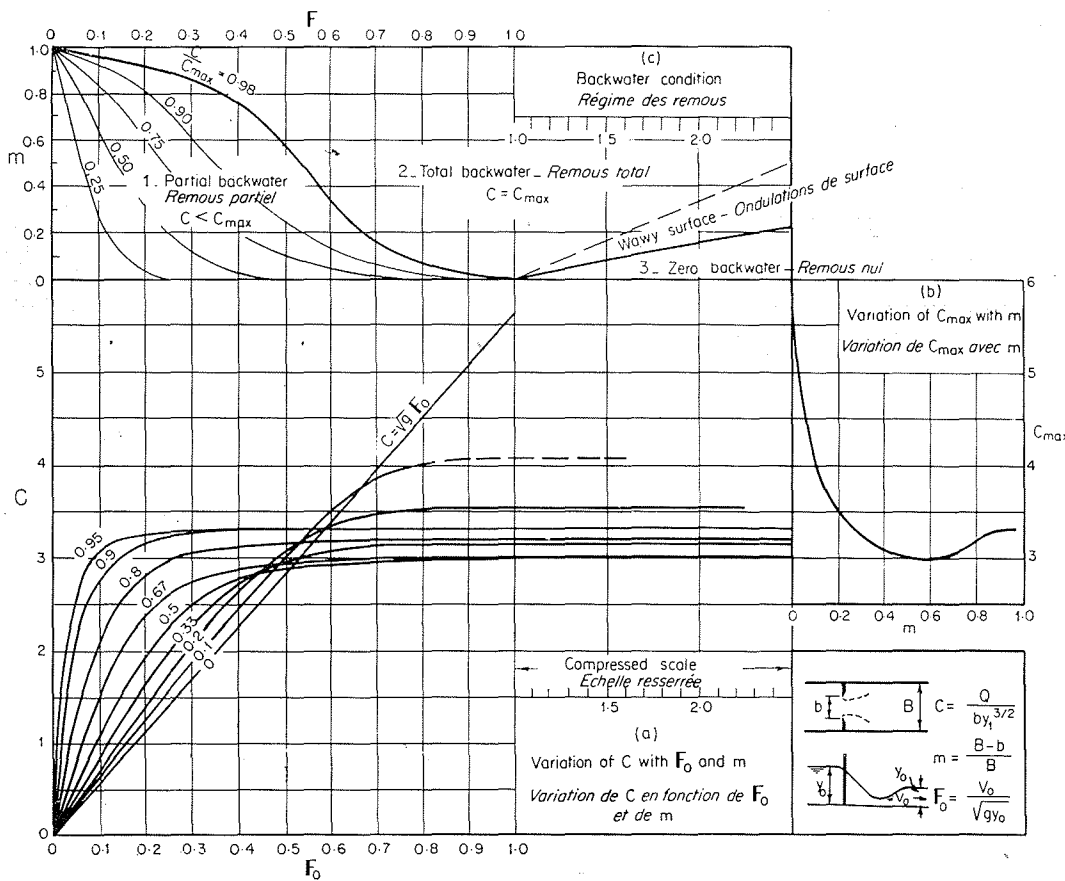


FIG. 4
 Variation de C avec F_0 et m .
 Variation of C with F_0 and m .

ticale et, d'autre part, la diminution de la profondeur de l'eau derrière la plaque rétrécissante.

A l'aide de la figure 4c, on pourra déterminer les conditions d'écoulement en amont de la section rétrécie pour différentes combinaisons de m et de F_0 . La région 1 correspond à un régime à remous « partiel », C étant inférieur à C_{max} ; comme limite supérieure, on a adopté arbitrairement celle pour laquelle $C=0,98 C_{max}$. La région 2 correspond à un régime à remous « établi », C étant égal à C_{max} . A la partie supérieure de cette zone, il apparaît immédiatement en

stream of the constriction can be determined for various combinations of m and F_0 . Region 1 corresponds to "partial" backwater conditions, that is, with C less than C_{max} , the upper limit being arbitrarily adopted as that for which $C=0.98 C_{max}$. Region 2 corresponds to "complete" backwater conditions, with C equal to C_{max} . In portion of this region, the effects of the hydraulic jump just upstream result in a wavy surface near the plate and consequent instability of the flow through the constriction. Region 3 corresponds to zero backwater, the flow up-

amont du ressaut, près de la plaque, des ondulations provoquant une instabilité de l'écoulement dans la section rétrécie. La région 3 correspond à un régime à remous nul; l'écoulement en amont de la plaque est uniforme et supercritique.

stream of the plate being uniform and supercritical.

The variation of the backwater ratio y_1/y_0 with F_0 and m is shown in fig. 5. To the right of the broken line, the values of the discharge coef-

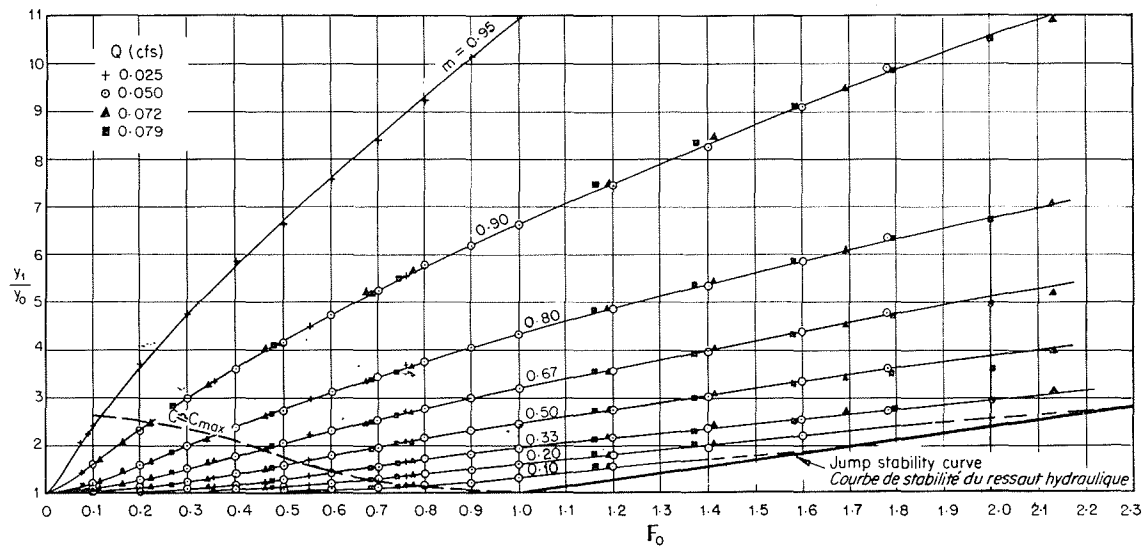
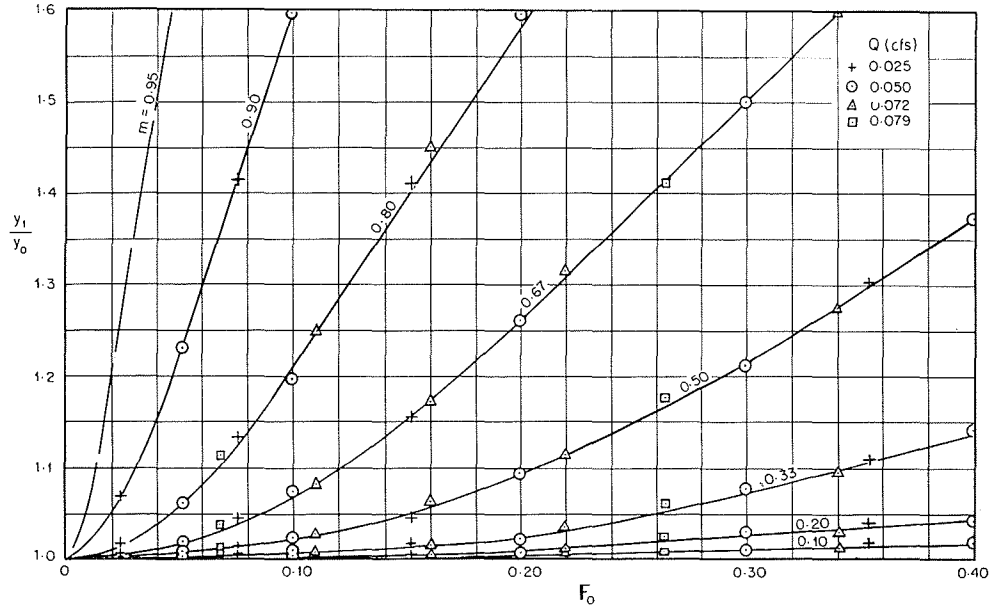


FIG. 5
Variation de y_1/y_0 avec F_0 et m .
Variation of y_1/y_0 with F_0 and m .

FIG. 6
Variation de y_1/y_0 avec F_0 et m pour les faibles valeurs de F_0 .
Variation of y_1/y_0 with F_0 and m for small values of F_0 .



La figure 5 montre la variation du rapport y_1/y_0 avec F_0 et m . A droite de la ligne brisée, les coefficients de débit correspondant aux courbes m respectives sont constants, c'est-à-dire on a $C=C_{max}$. Les courbes m inférieures s'adosent à la courbe en traits pleins (éq. 7) représentant le critérium de stabilité du ressaut hydraulique. La figure 6 représente à plus grande

coefficients for the respective m curves are constant, that is $C=C_{max}$. The lower m -curves terminate at the heavy line (Eq. 7) which represents the criterion for stability of the hydraulic jump. Figure 6 shows, to an enlarged scale, the y_1/y_0 v. F_0 relationship for values of F_0 less than 0.4.

In fig. 7, the curves of fig. 5 are partly unified

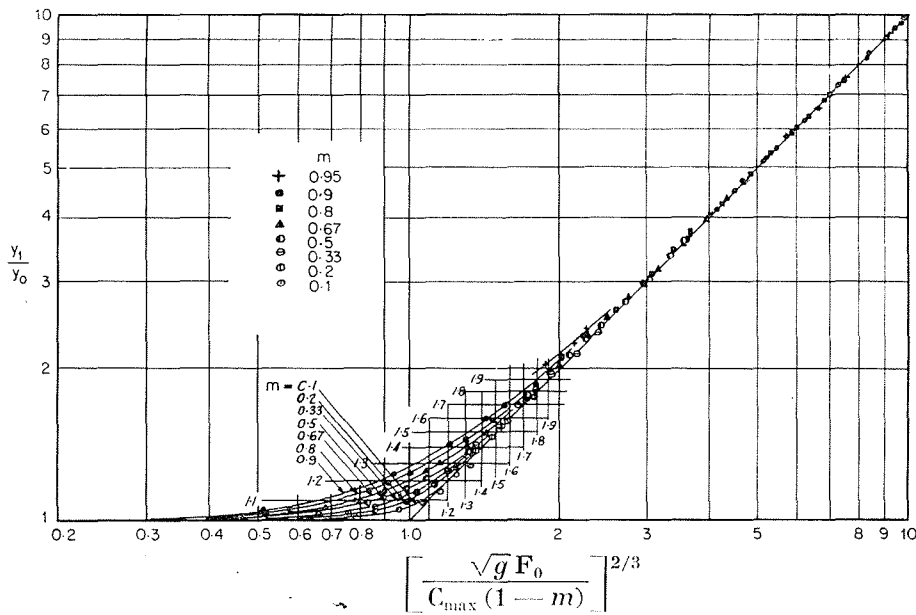


FIG. 7

échelle la relation entre y_1/y_0 et F_0 pour des $F_0 < 0,4$.

Sur la figure 7, les courbes de la figure 5 sont en partie réunies en un seul diagramme basé sur l'équation (4), les valeurs adoptées pour C étant des maxima correspondant aux différents coefficients de restriction, comme il est représenté sur la figure 4 b.

6. Conclusions

Le débit à travers une fente verticale à arête vive perpendiculaire à l'écoulement dans un canal rectangulaire peut être exprimé par $Q = Cb y_1^{3/2}$ où C est une fonction de m et de F_0 déterminée expérimentalement.

Q et les caractéristiques du canal (donc aussi F_0) étant connus, l'équation donnera la hauteur du remous y_1 . Connaissant y_1 et les caractéristiques du canal, on pourra déterminer Q d'après cette équation par approximations successives en partant d'une première estimation de F_0 à laquelle on superpose des corrections successives.

y_1 et y_0 étant connus, le diagramme des hauteurs conjuguées (fig. 5 et 6) donnera la valeur correspondante de F_0 d'où l'on déduira :

$$Q = B \sqrt{g} y_0^{3/2} F_0.$$

in a graph based upon Eq. 4, the values adopted for C being the maximum values for the respective constriction ratios, as shown in fig. 4 (b).

6. Conclusion

The discharge through a sharp edged vertical slot set normal to the flow in a smooth rectangular channel can be expressed as $Q = Cb y_1^{3/2}$ where C is a function of m and F_0 , determined experimentally.

If Q and the channel properties (and hence F_0) are known, this equation will yield the backwater depth y_1 . If y_1 and the channel properties are known, Q can be determined from the equation by means of successive approximations, following an initial estimate of, and subsequent corrections to, the value of F_0 .

If y_1 and y_0 are known, the graph of the backwater ratio (figs. 5 and 6) yields the corresponding value of F_0 , whence :

$$Q = B \sqrt{g} y_0^{3/2} F_0.$$

REFERENCES

1. YARNELL (D. L.) (1934) "Bridge Piers as Channel Obstructions." U. S. Dept. Agric., Tech. Bulletin No. 442.
2. KINDSVATER (C. E.) and CARTER (R. W.) (1955) "Tranquil Flow through Open Channel Constrictions." Trans. ASCE, Vol. 120, p. 955.
3. TRACY (J. T.) and CARTER (R. W.) (1955) "Backwater Effects of Open Channel Constrictions." Trans. ASCE, Vol. 120, p. 993.
4. BAKHMETEFF (B. A.) (1932) "Hydraulics of Open Channels." (McGraw-Hill).