

ÉCOULEMENT SOUS LES VANNES DE FOND INCLINÉES OU A SECTEUR

RÉSULTATS TECHNIQUES ET EXPÉRIMENTAUX

Bruno GENTILINI

Professeur à l'Institut d'Hydraulique du Polytechnicum de Milan

Les observations sur l'écoulement par vanne de fond inclinée placée dans un canal rectangulaire à fond horizontal, sont peu nombreuses. Jusqu'à ces dernières années, on ne citait que les résultats de quelques déterminations de HORTON (1) fondés sur une expression quelque peu osée du coefficient de contraction, expression établie par KOCH et CARSTANJEN (2) en 1926. Ce n'est qu'en 1937, grâce à FAWER (3) que, pour la première fois, l'écoulement en question a fait l'objet d'une série systématique de déter-

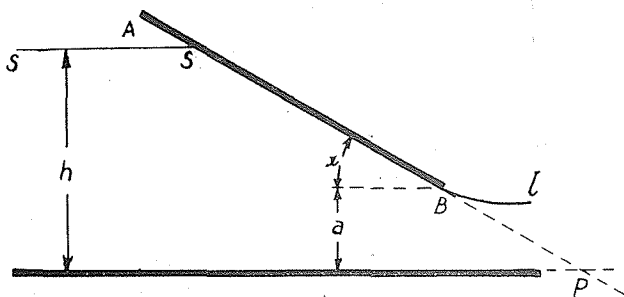


Fig. 1a

minations expérimentales. Quoique ces recherches aient été effectuées avec des orifices de dimensions très modestes (2 ou 3 cm.), elles présentent un intérêt tout particulier car les données enregistrées ont été mises en parallèle avec la solution obtenue par CISORTI (4) relativement au mouvement plan s'effectuant le long des parois polygonales de la fig. 1b. L'élaboration de ces données a démontré qu'il existe une correspondance satisfaisante entre les coefficients de débit tirés de la solution théorique et ceux qui ont été enregistrés expérimentalement.

En effet, la solution de CISORTI semble propre à représenter l'écoulement en question, comme on peut s'en rendre compte en observant que la surface libre $S-S$ du courant qui alimente l'orifice ne s'écarte presque pas de l'horizontale (sens du tracé $t-t$ de la paroi du récipient

de la fig. 1b) et que la vitesse de la veine sur le profil l est sensiblement constante.

En outre, si l'on tient compte des considérations de LEVI CIVITA (5) et de CISORTI (4) relativement à l'influence qu'exerce sur la valeur du coefficient de contraction la forme du récipient à proximité de l'orifice, il semble que ladite solution peut s'appliquer aussi, quant à l'évaluation du débit, à l'orifice de la vanne secteur (fig. 1c).

Il faut remarquer à ce sujet, que HORTON (1) en comparant quelques sommaires résultats expérimentaux relatifs à l'écoulement par vanne de fond (fig. 1a) avec certains autres résultats relatifs à la vanne secteur, n'a relevé que de bien modestes différences (de quelques unités à peine pour cent) entre les débits (à égalité de valeur de h , a et α) des deux orifices en question.

Nous avons eu, récemment, l'occasion d'examiner à nouveau, dans le Laboratoire d'hydraulique de l'Institut Polytechnique de Milan, l'écoulement libre par vannes de fond et à secteur. Les constatations qui en résultent ont prouvé que les deux types d'écoulement présentent de nombreux points d'analogie et que la solution théorique est propre à les représenter.

Nous avons relevé, également, quelques répartitions de la pression tant sur le parement de la vanne de fond que sur celui de la vanne à secteur.

Ces résultats nous ont permis, en ce qui con-

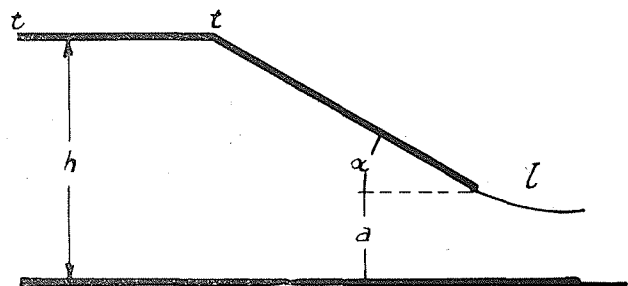


Fig. 1b

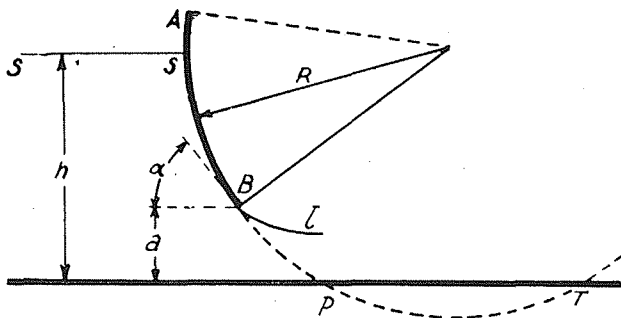


Fig. 1c

cerne la répartition de la pression, de poursuivre le parallèle entre théorie (CISOTTI) et expérience, parallèle qui avait été commencé par FAWER relativement aux coefficients de débit.

Ils permettent, en outre, de vérifier ce que valent les deux procédés préconisés par KULKA (7) relativement à la répartition sus-mentionnée et qui sont quelque peu arbitraires, encore que fréquemment cités dans les ouvrages techniques. Ils supposent que les trajectoires qui convergent vers l'orifice de la vanne de fond peuvent être remplacées par celles inhérentes à un puits placé (v. fig. 1a) au point de rencontre P du parement mouillé avec le fond du canal, c'est-à-dire remplacées par des droites passant par P, et que le mouvement du liquide en amont de l'orifice d'une vanne à secteur, peut, par contre, être assimilé à une partie de celui qui serait déterminé par un puits et par une source d'égal

débit disposés aux points d'intersection de la circonférence, à laquelle appartient le secteur avec le tracé du fond du canal (points P et T de la fig. 1c).

Pour l'interprétation des résultats expérimentaux que nous avons recueillis, relativement au débit des orifices en question nous avons pris, comme coefficient de débit, l'expression :

$$\mu = \frac{q}{l a \sqrt{2 g h}}$$

- q étant le débit,
- l la largeur du canal (et de l'orifice),
- a l'ouverture de l'orifice (hauteur du bord de la vanne sur le fond du canal),
- h la hauteur, sur le fond du canal, du courant d'alimentation,
- g l'accélération de gravité.

Pour définir l'ouverture de l'orifice de la vanne à secteur de rayon R , nous avons pris (v. fig. 1c) en même temps que la largeur l et la hauteur a , l'inclinaison α que le plan tangent à son bord forme avec l'horizontale. Les trois valeurs L , α et a suffisent également à définir l'orifice de la fig. 1a d'une vanne de fond inclinée formant un angle α , c'est-à-dire à définir l'orifice que l'on obtiendrait en partant de la fig. 1c et en augmentant indéfiniment le rayon R du secteur.

Si C indique le coefficient de contraction, la somme $Ca + q^2/2gl^2 C^2 a^2 = Hv$ représente l'énergie spécifique (par rapport au fond du canal) des particules liquides qui tra-

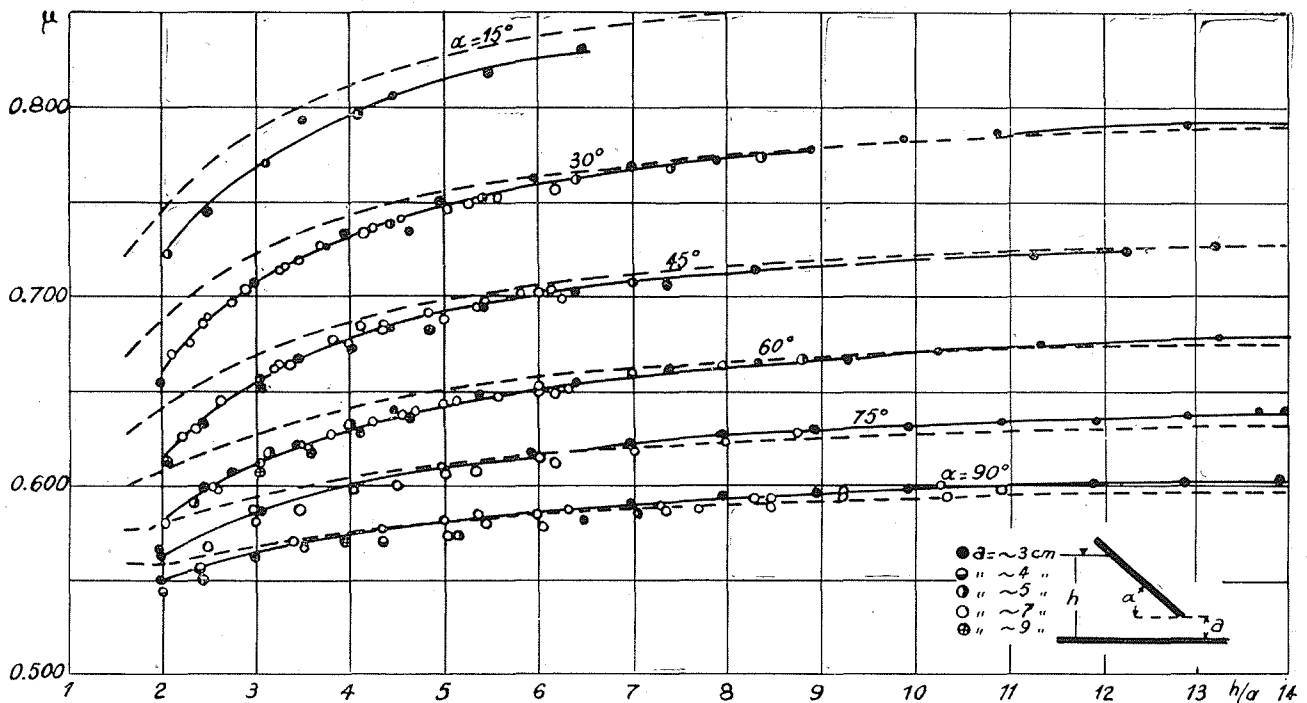


Fig. 2

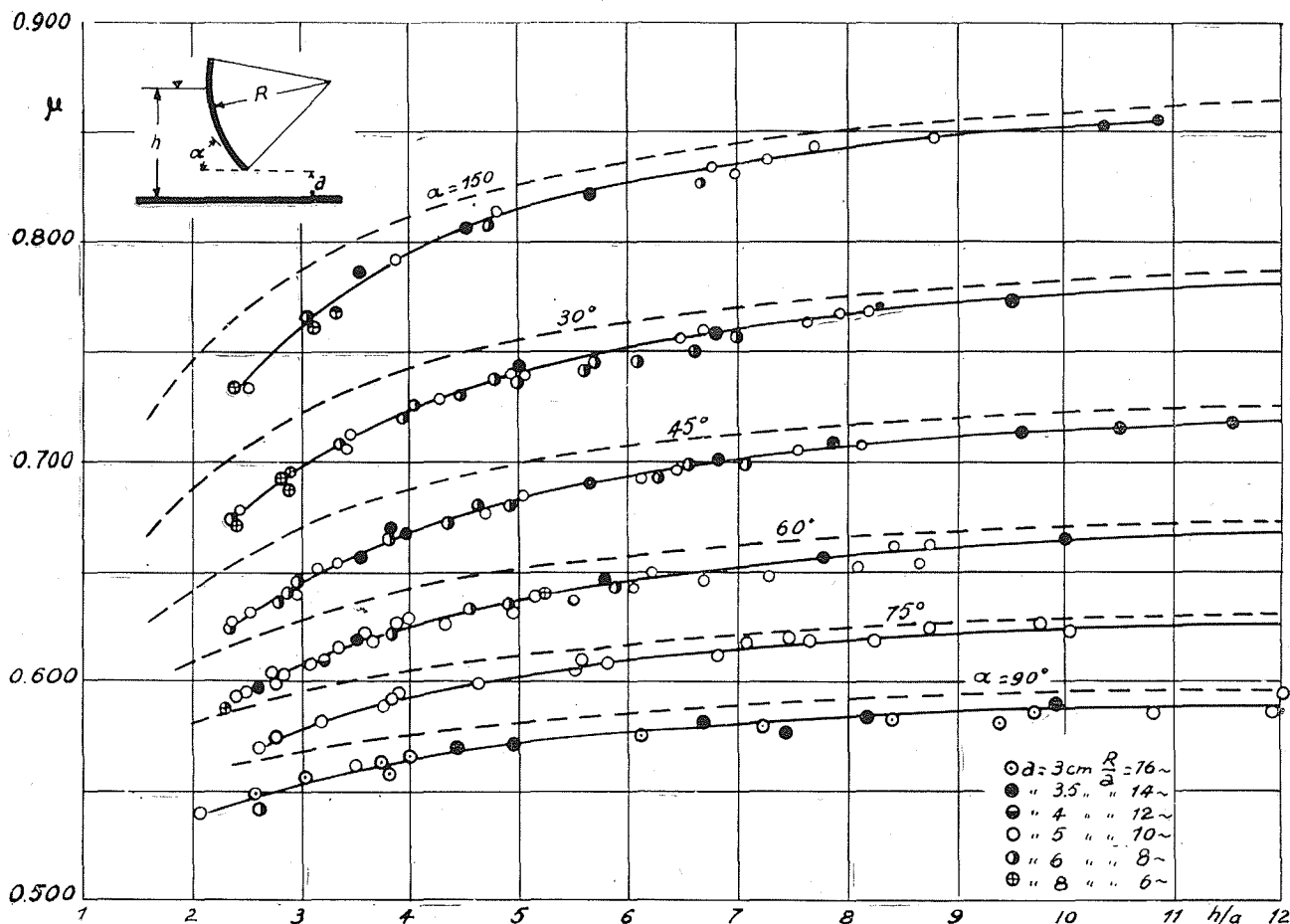


Fig. 3

versent la section contractée de la veine, et si l'écoulement ne comporte pas de pertes de charge — comme il y a lieu de le supposer — cette énergie doit être égale à celle

$$H_m = h + q^2 / 2 g l^2 h^2$$

que les particules possèdent en amont de l'orifice. L'égalité $H_v = H_m$ donne lieu, pour le coefficient de débit, à l'expression théorique ci-après :

$$\mu = C \left(\frac{1}{1 + \frac{Ca}{h}} \right)^{1/2}$$

La solution théorique de CISOTTI fournit C en fonction de h/a et de α . Le coefficient de débit μ est donc aussi une fonction de h/a et de α . C'est aux mêmes paramètres que nous nous sommes reportés dans l'élaboration des données expérimentales.

Ces expériences furent effectuées avec une vanne ordinaire de fond et une autre à secteur de rayon $R = 50$ cm en bois laqué de 16 cm de largeur, placées dans un canal à parois en verre et à fond horizontal également en bois laqué. Les inclinaisons α étaient les suivantes :

15°, 30°, 45°, 60°, 75°, et 90° et les différentes ouvertures « a » de 3 cm jusqu'à 9 cm.

La fig. 2 concerne les vannes de fond inclinées. Les valeurs expérimentales μ (environ 200) y sont représentées en fonction de h/a et de α . Outre les courbes interpolaires des résultats expérimentaux (une courbe pour chaque inclinaison α) la fig. 2 comporte, en pointillé, les courbes auxquelles donne lieu la précédente expression théorique de μ . On notera qu'il existe une remarquable concordance entre ces deux séries de valeurs.

Les coefficients de débit expérimentaux coïncident parfaitement pour $\frac{h}{a} = 6/9$ avec les coefficients théoriques, tandis qu'ils sont légèrement inférieurs pour les valeurs de h/a plus faibles : l'écart est plus sensible à mesure que diminue soit l'inclinaison α , soit le rapport h/a . De toute façon, cependant, l'écart maximum est de 5 % environ.

Pour les valeurs de h/a supérieures à 6/9, les courbes expérimentales suivent de près les courbes théoriques et tendent même à légè-

ment les dépasser : ici, l'écart maximum, dans les limites expérimentales, ne dépasse pas 1 %.

Cette allure particulière des courbes des valeurs expérimentales par rapport aux valeurs théoriques peut s'expliquer si l'on tient compte, d'une part, que l'écoulement donne effectivement lieu à des pertes de charge et si l'on observe, d'autre part, le chemin suivi par les particules liquides qui convergent vers l'orifice. Ces particules, en effet, au lieu de suivre le parement de la vanne, comme le ferait un liquide parfait, convergent vers l'orifice en suivant une inclinaison plus faible que l'inclinaison α du parement. Il s'ensuit, que si les pertes de charge étaient nulles, les coefficients de débit expérimentaux devraient être plus forts que les coefficients théoriques. Mais en réalité les pertes de charge font diminuer le coefficient de débit et cette diminution est d'autant plus sensible que le rapport h/a est plus faible, parce qu'elles présentent, proportionnellement, une valeur d'autant plus élevée que le rapport en question est faible.

On conçoit donc aisément que, pour les charges qui sont faibles par rapport aux dimensions de l'orifice, la diminution du coefficient de débit causée par les pertes de charge est plus sensible que l'augmentation résultant de la moindre inclinaison des filets, tandis que, pour les valeurs élevées du rapport h/a , cette augmentation égale et dépasse même l'action déprimante des pertes de charge sur le coefficient de débit.

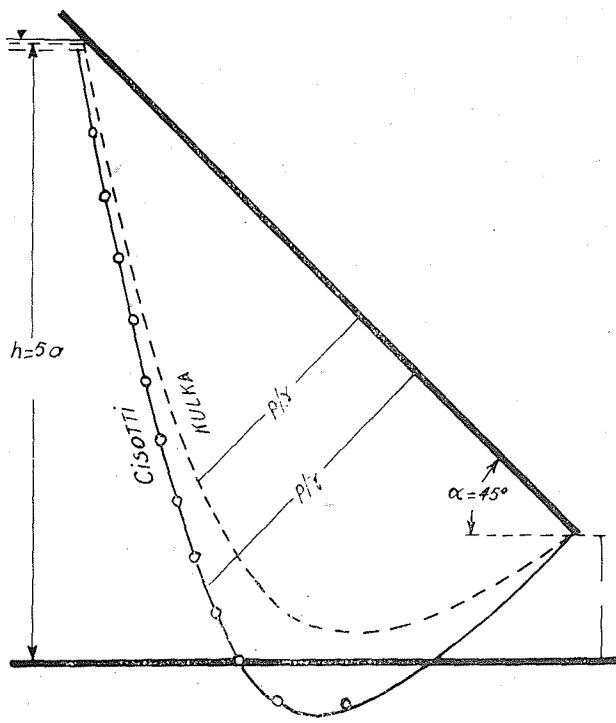


Fig. 4

Il y a lieu de faire remarquer, en outre, que les situations caractérisées par de faibles valeurs de la hauteur de courant h par rapport aux dimensions de l'orifice, sont des situations qui répondent moins que les autres aux hypothèses admises par la théorie.

La fig. 3 a pour objet les vannes secteur. Les valeurs expérimentales de μ (plus de 160) y sont représentées en fonction de h/a et de α .

On se rend compte, d'après cette figure, que les essais effectués ne révèlent pas une influence sensible du paramètre R/a sur la valeur de μ . En effet, à chaque couple de valeurs h/a et α correspond une valeur unique de μ pour quelque valeur que ce soit de R/a (variant, dans nos essais, d'environ 6 à environ 16).

En d'autres termes, l'expérience confirme les considérations théoriques déjà mentionnées de LEVI CIVITA et de CISOTTI, d'après lesquelles le coefficient de contraction, et par conséquent le coefficient de débit, d'un orifice pratiqué dans la paroi d'un récipient, est déterminé non seulement par la charge — mais principalement par la forme que le récipient présente aux abords de l'orifice.

Sur la figure 3 sont tracées, à côté des courbes des résultats expérimentaux (une courbe pour chacune des inclinaisons α), les courbes, en pointillé, auxquelles donne lieu la solution de CISOTTI, c'est-à-dire les courbes théoriques relatives à une valeur très élevée du rapport R/a .

L'examen des deux séries de courbes — théoriques et expérimentales — révèle que les coefficients de débit expérimentaux sont légèrement inférieurs aux coefficients théoriques, dans tout le champ des valeurs h/a répondant aux essais effectués. L'écart est plus sensible à mesure que diminue soit l'inclinaison α , soit le rapport h/a . L'écart maximum est d'environ 5 % (pour $h/a = \infty 2,5$) et se réduit rapidement dès que h/a s'accroît. Déjà, pour $h/a = \infty 5$, l'écart n'arrive plus à atteindre 3 %.

L'examen simultané de ce graphique et de celui de la fig. 2, relatif à l'écoulement par vanne ordinaire de fond, révèle une légère différence entre l'allure des deux séries de courbes expérimentales. En effet, tandis que les valeurs expérimentales relatives à la vanne secteur sont constamment inférieures aux courbes théoriques, celles relatives à la vanne de fond restent, comme il a déjà été noté, au-dessous des courbes théoriques pour les valeurs de h/a inférieures de $6/9$, et elles les dépassent, au contraire, encore que dans une très faible mesure, pour $h/a > 6/9$.

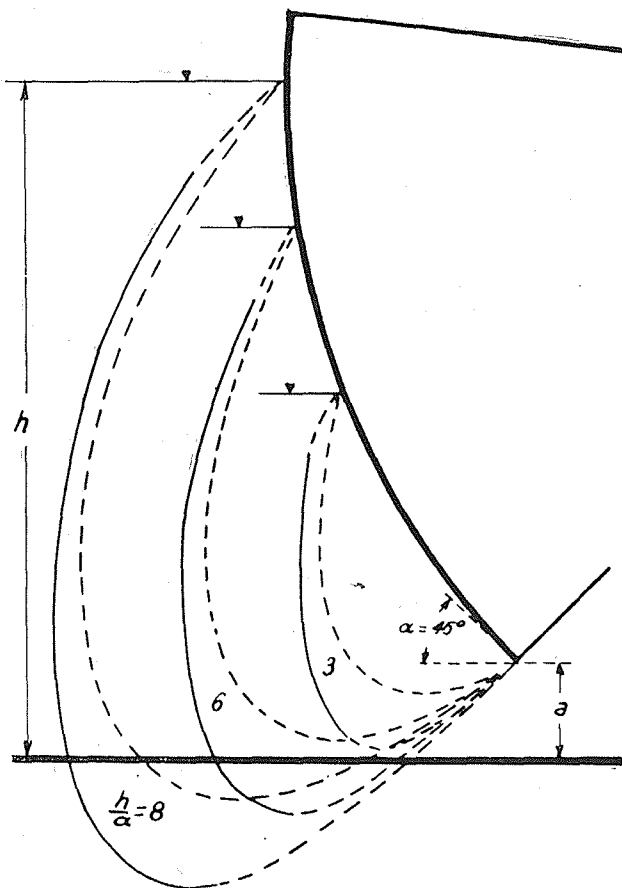


Fig. 5

On se rend facilement compte de ces particularités si l'on considère que la vanne secteur ne contraint pas les filets liquides convergeant vers l'orifice à prendre une inclinaison inférieure à celle du plan tangent au bord de l'orifice, comme cela arriverait si ledit plan était, matériellement, le parement de la vanne de fond. Il manque, en d'autres termes, la condition nécessaire pour que le coefficient de débit expérimental augmente par rapport à la valeur théorique, et il ne subsiste que l'action des pertes de charge, laquelle donne lieu à une diminution dudit coefficient par rapport au coefficient théorique.

De l'ensemble des éléments d'appréciation que nous venons d'exposer, il résulte avec évidence qu'il y a correspondance entre les déductions théoriques et les constatations expérimentales. Cette correspondance est complétée par l'examen

de la répartition de la pression telle qu'elle a été relevée sur les parements des deux vannes.

La fig. 4 représente, d'une part, au moyen de petits cercles, les pressions expérimentales (en colonne de liquide) ayant été enregistrées pour une ouverture $a = 1$ d'une vanne inclinée de 45° fonctionnant avec une hauteur de courant $h = 5$ et, d'autre part, le diagramme résultant des formules de CISOTTI (ligne continue). La même figure porte le diagramme auquel donne lieu le procédé de KULKA, sus-mentionné.

Cette figure montre clairement que la courbe théorique suit avec une exactitude remarquable, les résultats expérimentaux. Seul le dernier point, vers le bord de l'orifice, s'en écarte à peine, mais cet écart reste dans la limite de 5 % et doit être attribué aux frottements intérieurs du liquide, dont la solution théorique n'avait pas tenu compte.

Des conclusions tout autres, comme il fallait s'y attendre, doivent être tirées de la confrontation faite avec la courbe de KULKA. En effet, la pression expérimentale est, en tous les points de la vanne, de beaucoup supérieure à celle obtenue par la méthode KULKA, et l'écart est particulièrement important à proximité du bord de l'orifice.

A des constatations analogues conduit le parallèle entre la répartition des pressions enregistrées expérimentalement sur le parement de la vanne secteur et celle obtenue suivant le procédé de KULKA. On peut s'en rendre compte par la fig. 5 qui donne les trois répartitions expérimentales de la pression (lignes continues) et les trois répartitions obtenues par le procédé KULKA et relatives à l'inclinaison $\alpha = 45^\circ$ et aux valeurs 3,6 et 8 du rapport h/a .

BIBLIOGRAPHIE

- 1) HORTON, Discharge coefficients for tainter gates. — « Eng. N. Record » — 4 January 1934.
- 2) KOCH-CARSTANJEN — Bewegung des Wassers — Berlin 1926.
- 3) FAWER, Etude de quelques écoulements permanents à filets courbes — Lausanne — 1937.
- 4) CISOTTI - Vene fluenti «Rend. Circ. Mat. di Palermo» tomo xxv (1908).
- 5) LEVI CIVITA, Sulla contrazione delle vene liquide « Atti R. Ist. Veneto Scienze Lett. e Arti » 1905.
- 7) KULKA, Der Eisenwasserbau — I. Berlin — 1928.