

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

28/86

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Dece

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

SUJET

**Etude l'Ecoulement sous une
Vanne, Surmontant un Seuil
d'Eversant Type Creager**

Proposé par :

BOUACHE

Etudié par :

A. BENLAHRECH

Dirigé par :

BOUACHE

PROMOTION : JUIN 1986



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

«*»

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

«*»

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

«*»

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

SUJET

**Etude l'Ecoulement sous une
Vanne, Surmontant un Seuil
d'Eversant Type Creager**

Proposé par :

BOUACHE

Etudié par :

A. BENLAHRECH

Dirigé par :

BOUACHE

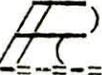
PROMOTION : JUIN 1986

 E D I C A C E S

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

- A la mémoire de mon grand-père et de mon oncle Saïd
- A ma mere
- A toute ma famille
- A mes amis

 E M E R C I E M E N T S

Je tiens à remercier vivement :

- Mes enseignants des cycles primaires, secondaires et supérieur.
- Tous ceux qui contribuent à la formation de ma génération.
- Toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse.
- Et en particulier Monsieur BOUACHE pour ses conseils et son aide précieuse

الموضوع: دراسة الجريان تحت بوابة مغمورة، فوق

سد بهدار من نوع كريفل.

الملخص: الدراسة التحريبية التي أجريت على نموذج

مصغر، ذو جافة سدّارة من نوع كريفل، ومن

فوقه بوابة. ذلك من أجل فحص سلوك الموجة

الساكنة من خلال الانفتاح القليل للبوابة.

Sujet: Etude de l'écoulement sous une vanne, surmontant un seuil déversant type Creager.

Résumé: L'étude expérimentale a été menée, sur un modèle réduit de seuil déversant type Creager, surmonté d'une vanne.

Dans le but d'examiner le comportement de la lame déversante pour des ouvertures faibles de la vanne.

Subject: Experimental study of flow under a gate layed out a Creager's threshold shed.

Abstract: Experiments have been made with a gate overcoming a Creager threshold shed to investigate the incident of the gate on the behaviour of flow the down ornament

1^{ère} Partie / - Etude théorique:

Introduction

Chapitre I : Seuil sans vanne.

- I.1.1- Déversoir à mince paroi
- I.1.2- Déversoir à seuil curviligne
- I.1.3- Déversoir parfait
- I.2.1- Recherche du profil-type barrage déversoir
- I.3.1- Influence de la courbure de la trajectoire
- I.3.2- L'effet de la force centrifuge
- I.4.1- Etude de la couche-limite
- I.4.2- Décollement de la couche-limite
- I.5.1- Méthode de Prasil

Chapitre II : Profil déversant surmonté d'une vanne

- II.1 - Généralité
- II.2 - RÔle des vannes
- II.3.1- Etude de l'écoulement
- II.3.2- Examen de l'écoulement pour une vanne
partiellement ouverte
- II.4. - Expression du débit



2^{ème} Partie / Etude expérimentale

- I- Description de l'installation
- II- Dimensionnement du modèle réduit
- III- Analyse dimensionnelle du phénomène
- IV- Programme expérimental
- V- Résultats expérimentaux
- VI- Interprétation de la méthode de Prasil
- VII- Interprétation des graphes
- VIII- Conclusion

I N T R O D U C T I O N

Dans la pratique, les seuils déversants réctilignes sont surmontés par des vannes permettant, en absence de crues, de maintenir le plan d'eau amont à une côte supérieure au niveau normal de la retenue.

Dans ce cas, le seuil est divisé en pertuis séparé par des piles qui servent de supports aux vannes.

Lorsque les vannes sont partiellement ouvertes, la courbure des filets liquides est très différenté de celle qui correspond à leur levée totale et l'écoulement est profondément modifié.

-L'écoulement sous la vanne étant à grande vitesse, donne naissance au phénomène de cavitation qui provoque des dégradations très nuisibles aux ouvrages de génie civil.

-La cavitation engendrée immédiatement en aval de la vanne par les défauts de surface des parois, et dans les rainures de la vanne dues à l'aplatissement du jet qui y pénètre,

Nous ont amené à établir une étude expérimentale sur l'écoulement sous une vanne plate en position d'ouverture faible, surmontant un seuil déversant type Creager. Les essais expérimentaux ont été réalisés sur un canal à pente fixe.

Nous avons examiné l'écoulement du point de vue stabilité de la lame déversante et l'emplacement optimum de la vanne sur le seuil.

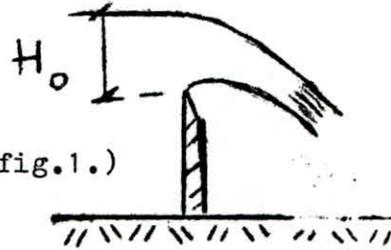
1^{ère} PARTIES (Etude théorique)
CHAPITRE .I. (seuil sans vanne)

I.1.1) Déversoir à mince paroi:

C'est un déversoir dont l'épaisseur de la crête est inférieure à la moitié ou même quelque fois au deux tièrs de la charge (H_0), et est employé pour mesurer les débits. Il peut être vertical où incliné.

H_0 : Charge de fonctionnement

(fig.1.)

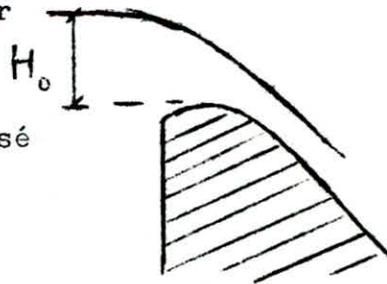


I.1.2) Déversoir à seuil curviligne:

Soit la figure (1), une nappe déversante par un déversoir à crête mince et à nappe libre; la partie inférieure de la nappe est donc à la pression atmosphérique. Remplaçons l'air situé sous la nappe par la maçonnerie d'un barrage (fig.2.).

Le déversoir ainsi réalisé est le déversoir curviligne, il assure l'écoulement de l'eau par dessus, on ramenant la nappe dans le bièf aval de manière à diminuer ses effets destructeurs.

En pratique cet ouvrage est utilisé pour l'évacuation de gros débits (évacuateur de crues).



(fig.2.)

I.1.3) Déversoir parfait:

De nombreuses expériences effectuées sur les déversoirs de ce type, ont montré que les qualités techniques d'un tel déversoir

seraient:

a-) Une pression de la lame sur le seuil très faible afin l'eau s'écoulant ne serait pas freinée par les forces de frottement.

(fig.3.)

b-) Le coefficient de débit serait aussi élevé que possible. Ce qui permet de

réduire la largeur de l'ouvrage, pour évacuer un débit donné sous une charge fixe. L'expression du coefficient de débit est:

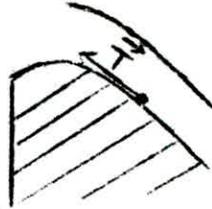
$$\mu = Q / (l \cdot H_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}) \quad (1)$$

l: Largeur du canal (m)

H₀ Hauteur de la lame d'eau ou charge de fonctionnement (m)

g: Accélération de la pesanteur 9,8 m/s²

c-) La pression exercée en tout point du parament aval, serait supérieure à la pression atmosphérique, Pour ne pas donner naissance à des dépressions qui risquent de décoller la lame, on produisant une cavitation, provoquant des vibrations dangereuses pour la stabilité du déversoir, et de la dégradation du béton. Ces trois conditions sont en quelque sorte contradictoires; en effet l'écoulement étant irrotationnel et conservatif; l'équation de Bernoulli montre que si en une zone déterminée existe une dépression, elle sera compensée par une augmentation de vitesse donc une amélioration du coefficient de débit.



I.2.) Recherche du profil-type barrage déversoir :

Plusieurs recherches ont été effectuées pour satisfaire aux trois qualités précédentes, et ont conduit :

a-) Scimimi a donné l'équation suivante du profil en se basant sur la configuration de la paroi inférieure de la lame déversante par dessus du déversoir à paroi mince. (fig.5.3)

$$\text{L'équation:} \quad (Y/H_0) = 0,50 (X/H_0)^{1,85} \quad (2)$$

b-) L'ingénieur Creager a préconisé un profil situé légèrement au dessus du profil-type de la nappe libre (fig.5.2).

Qui présente un coefficient de sécurité de 10 % par rapport à la charge H_0 .

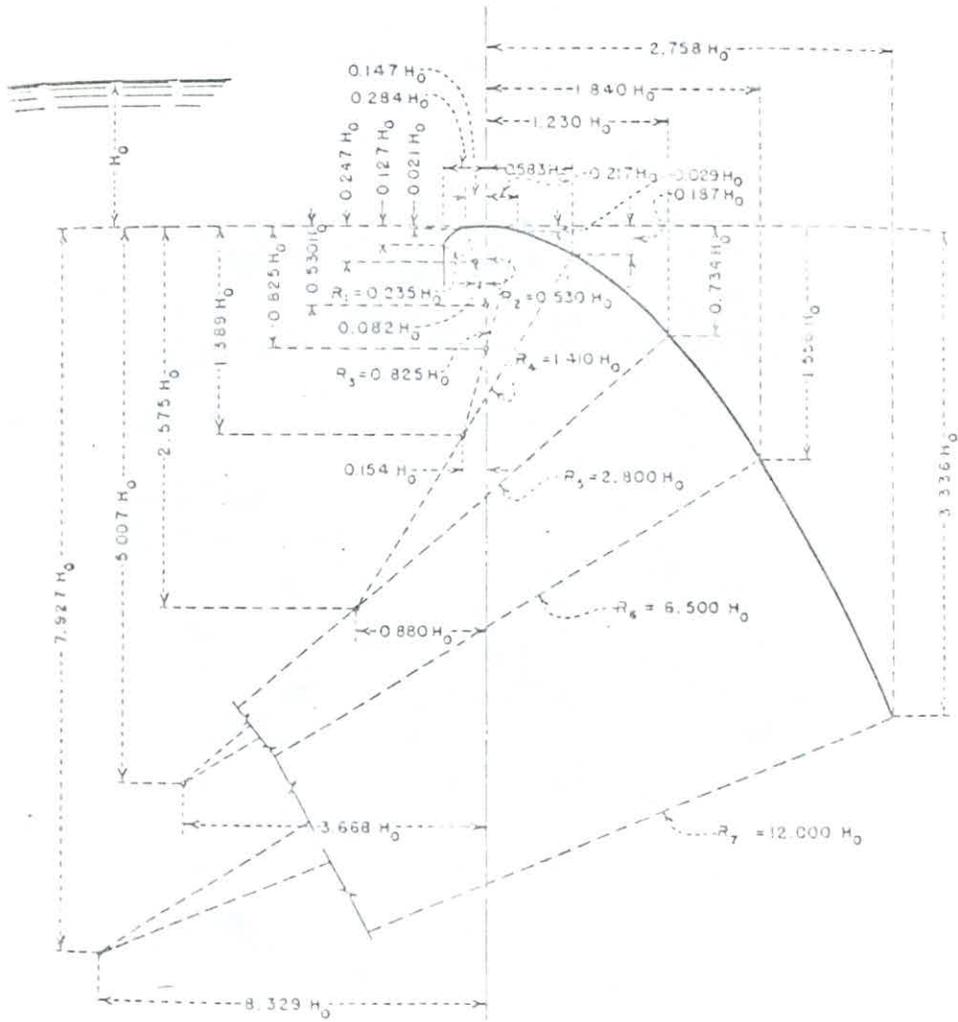
$$\text{Equation:} \quad (Y/H_0) = 0,47 (X/H_0)^{1,80} \quad (3)$$

$$\text{avec } (X/H_0) > 0,30$$

La forme du déversoir peut être aussi approchée par une suite d'arcs de cercles variables (fig.6).

Le coefficient de débit est de 0,49 à 0,495, pour la charge H_0 correspondant à l'équation du profil. Il varie suivant le tracé des parois latérales du coursier, en raison de la contraction à l'entrée et des frottement sur les bajoyers.

c-) Profil normal: D'après les essais établis par L'"U.S.BUREAU OF RECLAMATION" ont aboutit à des résultats précis et conc-rêts (fig.5.4) .



(fig.6.) forme d'une crête déversante définie par une succession de cercles.

L'equation du profil est:

$$Y_1 = - X_1^n / (K \cdot H_0^{n-1}) \quad (4)$$

Où K et n : des coefficients qui dépendent de la forme du profil en amont.

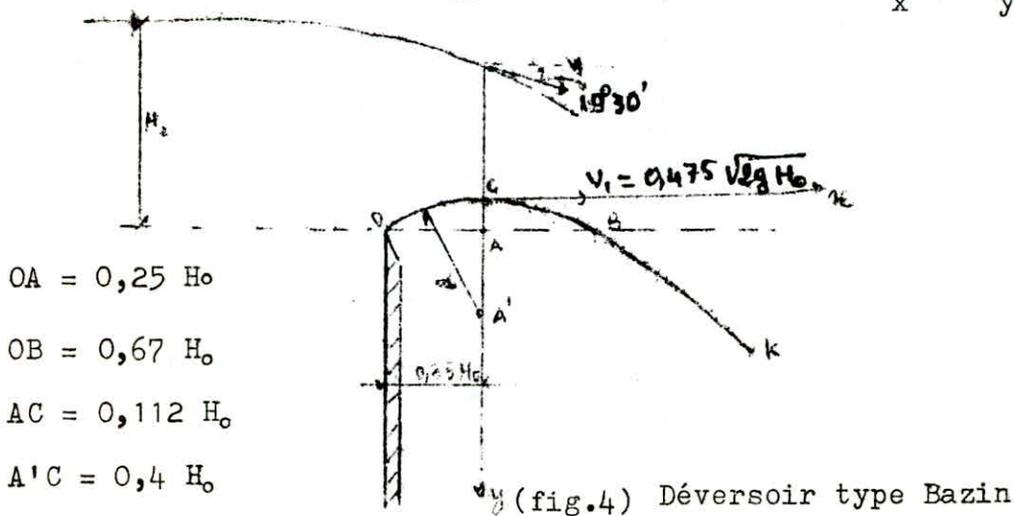
Les coordonnéés du profil sont données sur le tableau N° 1 en fonction de X/H_s et h_a/H_s .

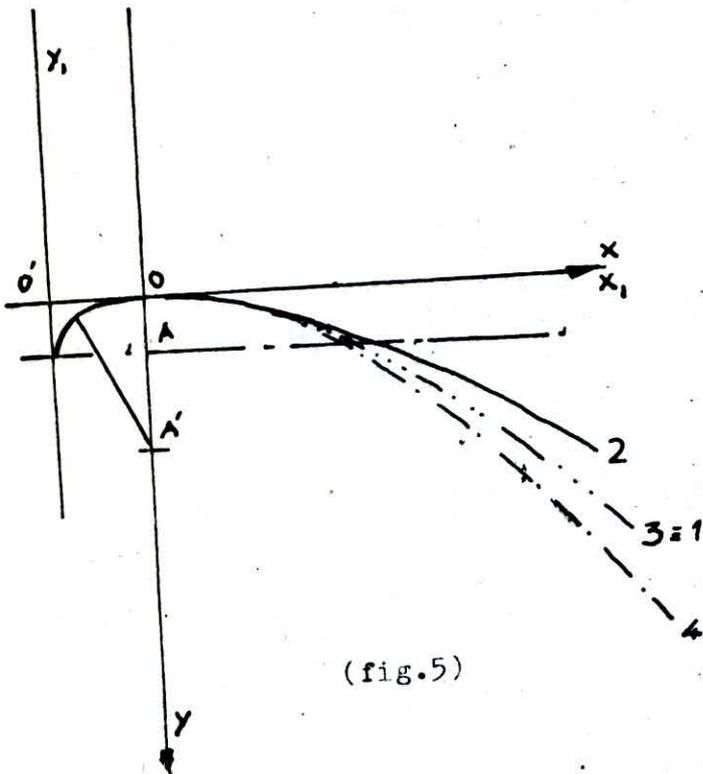
c-) Déversoir type BAZIN: Le profil de la nappe libre obtenu avec un déversoir vertical à crête mince sans contraction latérale (type Bazin), Varie très peu avec le rapport H/Z pour une gamme étendue des valeurs de la charge, (pratiquement pour $0,12 < H < 2,30$ m).

Les experiences de Bazin et Scimimi ont montré que les coordonnées du profil de la nappe ne dépendent que de H.

L'équation du profil (courbe CBK) pour $H = 1$ m est :

$$Y = 0,50 X^{1,85} \text{ P/r au axes } C_x \text{ et } C_y \quad (5)$$





(fig.5)

- 1 Profil type BAZIN
- 2 Profil type CREAGER (dans le système X O Y)
- 3 Profil type SCIMIMI (dans le système X O Y)
- 4 Profil type NORMAL (dans le système $X_1 O Y_1$)

COMPARAISON DES PROCÉDES

I.3.1) Influence de la courbure de la trajectoire :

a-) Gradient transversal des pressions :

Supposons que le mouvement permanent sous l'action des forces dérivant d'un potentiel U ; ($U = -g.z$). L'équation d'Euler s'écrit alors :

$$\left(\frac{1}{\rho} \right) \overrightarrow{\text{grad}} p = \overrightarrow{\text{grad}} U - \overrightarrow{y} \quad (6)$$

Projetons cette équation sur la normale principale \vec{n} à la trajectoire au point considéré, cette normale étant orientée positivement vers le centre de courbure principal au point considéré.

Il vient :

$$\left(\frac{1}{\rho} \right) \left(\frac{\partial p}{\partial n} \right) = \left(\frac{\partial U}{\partial n} \right) - \left(\frac{v^2}{R} \right) \quad (7)$$

Dans le cas où l'écoulement est régi uniquement par les forces de pesanteur ($U = -g.z$) Il vient :

$$\left(\frac{1}{\rho} \right) \left(\frac{\partial p}{\partial n} \right) = -g \left(\frac{\partial z}{\partial n} \right) - \left(\frac{v^2}{R} \right) \quad (8)$$

$$\left(\frac{\partial p^*}{\partial n} \right) = -\rho \left(\frac{v^2}{R} \right) \quad (9)$$

avec $p^* = p + \rho z$

Ce qui montre qu'au gradient de pression

$$\left(\frac{\partial p}{\partial n} \right) = 0$$

Résultant la loi hydrostatique s'ajoute, dans la direction normale à la courbe de trajectoire.

Soit : $-\rho \left(\frac{v^2}{R} \right)$

Comme ce gradient de pression est négatif cela signifie que la pression diminue quand on se rapproche du centre de courbure de la trajectoire et inversement.

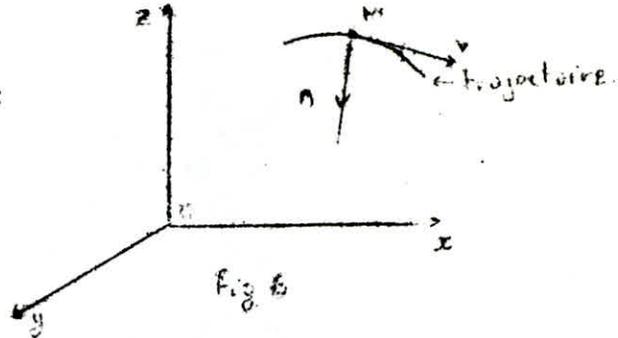
Si $R \longrightarrow \infty$ L'équation devient :

$$\partial p^* / \partial n = 0$$

où $p^* = c^{te}$ dans la direction de n

$p / \omega = c^{te}$ dans la direction de n

dans une direction normale aux trajectoires d'un écoulement parallèle où de courbure négligeable ($R = \infty$), la pression suit la loi hydrostatique.



b-) Gradient transversal des vitesses :

avec l'équation de Bernoulli

$$\left(\frac{p}{\omega} \right) + \left(\frac{V^2}{2 \cdot g} \right) = H \quad (10)$$

et dérivons-là dans le sens transversal, c'est-à-dire par rapport à la variable n normale à la trajectoire et comptée positivement vers le centre de courbure. Il vient :

$$\left(\frac{1}{\omega} \right) \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial n} \right) + \left(\frac{V}{g} \right) \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial n} \right) = \frac{\partial H}{\partial n}$$

en tenant compte de (9)

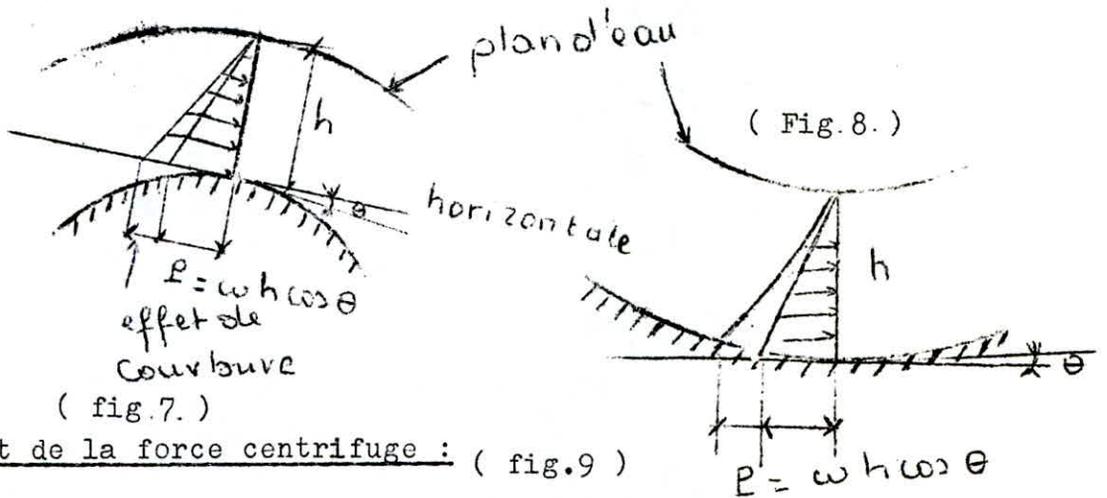
$$\left(\frac{1}{\omega} \right) \cdot \left(-\rho \cdot \frac{V^2}{R} \right) + \left(\frac{V}{g} \right) \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial n} \right) = \frac{\partial H}{\partial n}$$

$$V \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial n} \right) - \left(\frac{V^2}{R} \right) = g \cdot \frac{\partial H}{\partial n}$$

L'écoulement étant ~~irrotationnel~~ donc $H = c^{te}$
irrotationnel.

On obtient : $V \cdot (\partial V / \partial n) = (V^2 / R)$

$$(\partial V / \partial n) = (V / R) \quad (11)$$



1.3.2 L'effet de la force centrifuge : (fig.9)

Elle peut être très importante dans le cas des écoulements à forte vitesse, lorsque la courbure des filets fluides est très grande (rayon de courbure très faible).

La force centrifuge fait décroître la pression vers le centre de courbure des trajectoires, et la fait croître dans le sens contraire. Or, les fluides, ne peuvent être soumis à des dépressions trop fortes sans qu'intervienne la cavitation. Son effet se traduit par la formule suivante; qui découle de (9) on divise les deux membres par $\bar{\omega}$, Avec $\bar{\omega} = \rho \cdot g$.

On obtient: $(\partial((p/\bar{\omega}) + z) / \partial n) = V^2 / g \cdot R \quad (12)$

Dans le cas où la force centrifuge provoque une surpression,

aucun phénomène spécial n'est à redouter, en général. La surpression peut être importante et de force très élevée si la surface sur laquelle elle s'exerce est grande, où s'il s'agit d'un écoulement concave, à forte courbure.

Dans le cas d'une paroi convexe, en général, la dépression peut entraîner, d'abord des décollements de la lame d'eau, puis la cavitation si elle est trop élevée.

la courbure des parois convexes sur lesquelles l'eau coule, doit être étudiée très soigneusement et le rayon de courbure doit être d'autant plus grand que la vitesse est plus élevée.

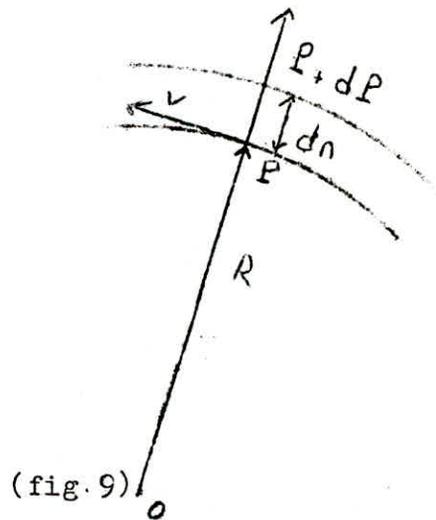
R: Rayon de courbure

V: Vitesse

P: Pression

dP: Variation de pression

O: Centre de courbure

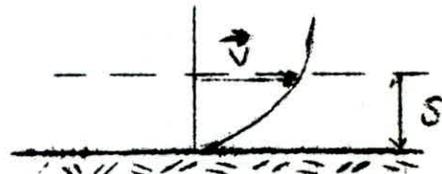


I.4.1) Etude de la couche limite:

Définition: C'est un domaine situé au voisinage immédiat de la paroi solide, dans une zone de faible épaisseur (S) où la vitesse varie très rapidement d'une valeur nulle au contact immédiat de la paroi, à une valeur finie (V). Dans ce domaine les forces de viscosité ne sont pas négligeables par rapport aux forces d'inertie et de turbulence.

En dehors de la couche limite, le gradient de vitesse est normal les forces de viscosité sont négligeables par rapport aux forces d'inertie et de turbulence.

(fig.10.)



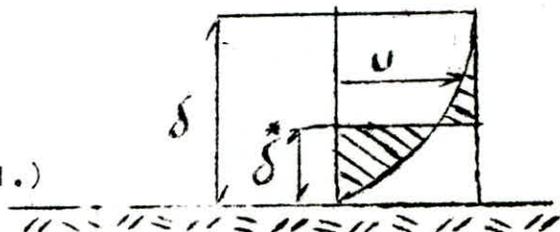
L'épaisseur de la couche-limite peut-être définie de diverses façons:

a-) Par la vitesse (V) à la distance S de la paroi qui diffère de moins de 1 % de la vitesse dans le corps de l'écoulement.

b-) Par l'expression épaisseur de déplacement où épaisseur de refoulement S^+

$$S^+ = \int_0^{\infty} (1 - U/V) dy - \int_0^S (1 - U/V) dy \quad (13)$$

(fig.11.)

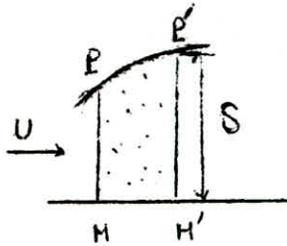


C-) Ou par la méthode proposée par Von Karman, qui est valable, aussi bien en régime laminaire qu'en régime turbulent.

$$t_o = \rho \cdot V^2 \cdot a \cdot \frac{dS}{dx} \quad (14) \text{ avec } a = (1 - f(z)) f(z) dz$$

$$\text{et } z = \frac{U}{V}$$

t_o : force de frottement.



(fig.12)

1.4.2) Décollement de la couche limite :

Considérons deux lames souples parfaitement lisses, infiniment minces. Juxtaposons-les côte à côte dans un courant liquide de vitesse uniforme V de manière que leur plan soit parallèle à V



Nous observons une couche limite qui prend naissance depuis l'origine amont (A) de la plaque.

si le nombre de Reynolds de l'écoulement est suffisamment grand, la transition se produit très tôt au voisinage du bord d'attaque et on peut admettre que la couche-limite turbulente recouvre pratiquement toute la plaque.

La resistance totale opposée par la plaque est:

$F = 2 \cdot t \cdot l \cdot b$ (15) F: La résistance totale de la plaque

avec $t = C_f \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$ (16) l: La longueur de la plaque

et b: La largeur de la plaque

$C_f = \frac{C}{R_x \left(\frac{n}{n+1}\right)}$ (17) t: Force de frottement par unité de surface

Cf Coefficient de frottement

$R_x = V_x / \nu$ (18) R: Nombre de Reynolds

ν : Coefficient de viscosité cinématique

V_x Vitesses à la distance x

C = 0,664 pour régime laminaire

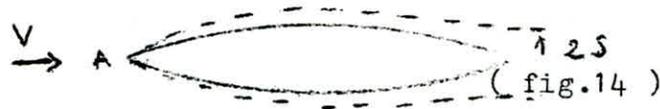
C = 0,052 " turb $R_e > 10^7$

C = 0,37 " turb $R_e > 10^7$

On constate que le coefficient de frottement C_f et la force de frottement unitaire t décroissent depuis le bord amont de la plaque jusqu'a son extrémité.

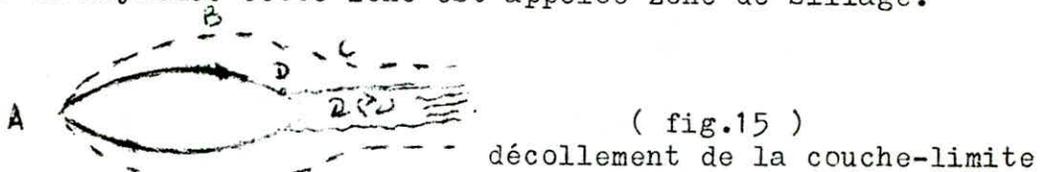
Si la longueur l est suffisamment grande C_f et t prennent une valeur moyenne constante et la résistance opposée par la plaque F ne dépend que des frottements.

b-) Supposons que nous donnions aux deux plaques un léger bombement. Nous observons que la couche limite subsiste sur toute la surface des plaques, elle reste adhérente aux deux plaques et la résistance qu'elle, opposent conserve la même valeur $F = 2.t.l.b$



c-) Si on accentue la courbure des plaques (fig.15):

On constate brusquement l'apparition, à l'aval des plaques, d'une zone où l'écoulement est très perturbé et où les vitesses, très variables dans le temps en direction et en grandeur, restent nulles en moyenne. Cette zone est appelée zone de sillage.

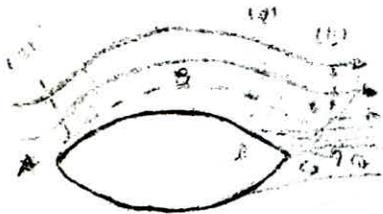


Simultanément la résistance F croît brusquement. Ceci s'explique en considérant un filet liquide ABC au contact de la couche-limite:

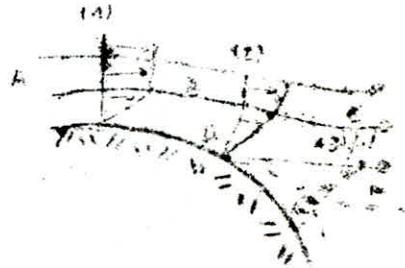
de A en B la pression décroît et la vitesse augmente, (théorème de Bernoulli) mais au-delà de B la pression augmente de nouveau et il en résulte une brusque diminution de vitesse, la courbe de répartition des vitesses dans la direction normale à la paroi se déforme et on arrive à un point D appelé point de décollement

au-delà duquel la vitesse le long de la paroi est en sens contraire de l'écoulement général.

Les points de décollement forment sur la surface de la paroi une ligne de décollement. À l'aval de cette ligne, les lignes de courant ne suivent plus la surface de la paroi et la couche-limite n'existe plus, il y a décollement de la couche limite et, simultanément, formation de sillage.



(fig.16.a)



(fig.16.b)

Une résistance supplémentaire s'ajoute à celle due à la simple action de frottement dans le domaine de la couche-limite et la formation du sillage.

En définitive, pour un obstacle quelconque immergé dans un courant, la résistance opposée par l'obstacle, comprend deux parties:

1-) La résistance de surface due au frottement dans la couche-limite et qui, par unité de surface, a pour expression la formule

(16).
$$t = c_f \cdot \rho \cdot v^2 / 2$$

2-) La résistance de forme due au décollement de la couche-limite et à la production du sillage.

Dans le dernier exemple cité, ces deux résistances interviennent et leur somme constitue la résistance totale opposés par l'obstacle au courant.

I.5.1) Méthode de Prasil :

Elle permet la construction graphique du réseau de ligne de courant et des équipotentielles, correspondant à un mouvement plan à potentiel des vitesses, à partir d'une ligne de courant le long de laquelle la répartition du potentiel est connue.

Supposons donc connue la ligne de courant $\psi = K$ et sur cette ligne, la position des points M_1, M_2, \dots, M_n correspondant à une série de valeurs du potentiel $\bar{\phi}$

$$\bar{\phi}_1, \bar{\phi}_2, \dots, \bar{\phi}_n$$

en progression arithmétique de raison a (fig.17)

a : est choisi suffisamment petit pour que, à l'échelle du dessin les points M_1, M_2, \dots, M_n soient suffisamment rapprochés.

(fig;17)



Par deux points consécutifs M_i et M_{i+1} , menons deux demi-droites inclinées à 45° sur les demi normales respectives en M_i et M_{i+1}

à la ligne $\psi = K$.

Soit P_i leur intersection. le triangle élémentaire $P_i M_i M_{i+1}$

est rectangle isocèle ; la hauteur issue de P_i se confond avec

La médiane et son pied $M_{i+0,5}$ est sensiblement le milieu du segment curviligne $M_i M_{i+1}$. Le potentiel en ce point $M_{i+0,5}$ a très sensiblement pour valeur $\bar{Q}_i + a/2$ et c'est également la valeur du potentiel en P_i puisque l'élément de droite $P_i M_{i+0,5}$ perpendiculaire à la ligne de courant $M_i M_{i+1}$ peut être assimilé à un élément de ligne équipotentielle.

Lorsqu'on passe de M_i à P_i la variation du potentiel est donc :

$$d\bar{Q} = a/2$$

Le passage de M_i à P_i est réalisé au moyen de deux déplacements élémentaires infiniment petits,

suisant une ligne de courant : $ds = M_i M_{i+0,5}$

suisant une équipotentielle : $dn = M_{i+0,5} P_i$

Ces deux déplacements sont sensiblement égaux ($ds = dn$)

puisque le triangle $M_i M_{i+0,5} P_i$ est isocèle.

de la relation $ds/n = d\bar{Q}/d\psi$ (17) on a $ds = dn$;

$$\text{par suite } d\bar{Q} = d\psi = a/2 \quad (18)$$

donc le point P_i appartient à la ligne de courant

$$\psi = K + a/2 \quad (19)$$

On peut ainsi tracer, par point, cette ligne de courant de côte

$$\psi = K + a/2$$

les éléments de perpendiculaires obtenus peuvent être assimilés à des éléments de lignes équipotentielles.

Apartir de la nouvelle ligne de courant $\psi = K + a/2$

et des points $M'_1, M'_2, \dots, M'_i, \dots, M'_n$ on obtient la ligne de courant

$\psi = K + a/2 + a/2 = K + a$ par une construction identique.

CHAPITRE II Profil déversant surmonté d'une vanne

II.1 Généralité: En pratique, très souvent la division du seuil par des piles peut être une solution imposée par l'installation de vanne, par exigence d'appuis pour le passage d'un pont, par la nécessité d'aération, afin d'éviter la vibration de la nappe déversée librement .

II.2 Rôle des vannes:

Les vannes permettent, en absence de crues, de maintenir le plan d'eau en amont du déversoir à la cote atteinte lors du passage des plus hautes eaux .

II.3.1 Etude de l'écoulement:

L'écoulement peut prendre des aspects différents selon les combinaisons des grandeurs qui le régissent et qui sont :

- 1- La cote du plan d'eau en amont (H_0)
- 2- La position de la vanne

+Vanne complètement ouverte (condition que nous venons d'examiné.)

+Vanne en position d'ouverture plus ou moins grande

II.3.2 Etude de l'écoulement pour vanne partiellement ouverte :

Nous allons examiner l'écoulement provoqué par une vanne en position d'ouverture très faible(fig.18).

Si la surface d'appui de la vanne est horizontale, la trajectoire du fluide, ~~est~~ soumise aux seules forces de gravité, représente une

parabole d'equation:

$$\begin{array}{l} \text{suivant OX} \quad X = V_0 \cdot t = t \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \\ \text{" OY} \quad Y = g \cdot t^2 / 2 \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow Y = X^2 / 4 \cdot H_0 \quad (20)$$

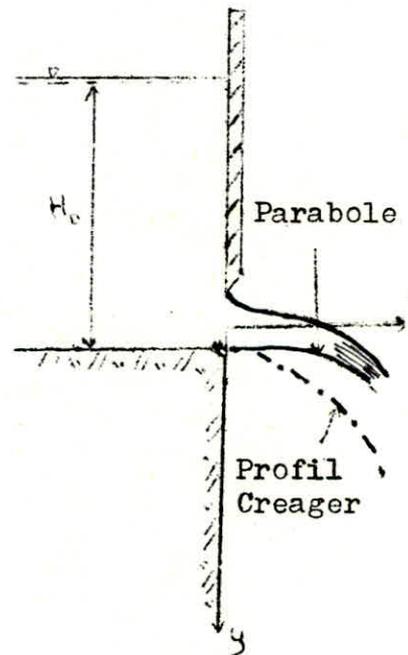
équation d'une parabole

Le rayon de courbure au sommet a pour valeur $2H_0$; il est beaucoup plus élevé que celui du profil Creager pour la même charge fondamentale.

Si on adopte ce type de profil (Creager), la lame décollera-franchement du profil, ou bien provoquera des dépressions plus ou moins importantes.

Ces phénomènes ne présentent pas ^{une} très grande importance si la hauteur du Barrage (de la vanne) est de quelque mètres. Il peut provoquer des phénomènes plus nuisibles si elle dépasse une dizaine de mètres.

Pour résoudre ce problème on doit choisir la localisation de la vanne, telle que, quand elle s'ouvrent, la nappe liquide, s'échappant à des vitesses élevées, ne provoque pas, le long du parament du déversoir, des régimes capables de donner origine de la



(fig .18)

cavitation où de produire le décollement. Le risque d'apparition de l'un ou de l'autre de ces phénomènes s'accroît avec le degré de dépression.

II.4 Expression du débit.:

L'écoulement sous une vanne peut être assimilé à l'écoulement par orifice rectangulaire. (Fig.19)

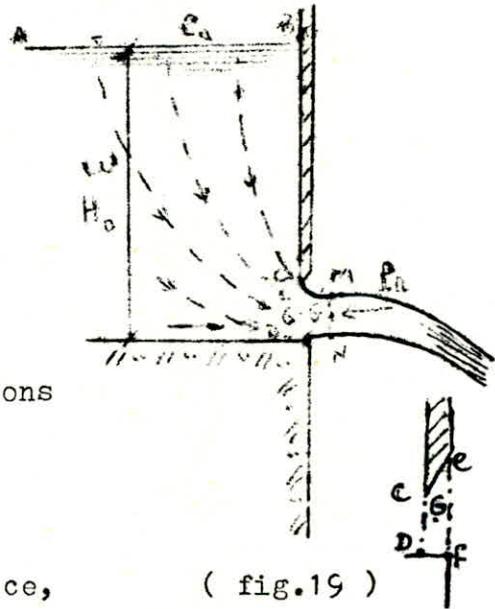
a-) Observation expérimentale

Avant d'ouvrir l'orifice, les pressions dans le réservoir contre la paroi de l'orifice, conformément à la loi de l'hydrostatique. Si on ouvre l'orifice,

contrairement à ce que suggère la direction des pressions statiques, les filets liquides ne peuvent sortir du vase suivant la direction normale à la paroi car la pression effectuée au point de sortie est égale à ρh (h représente la profondeur du point considéré), tandis qu'à l'extérieur elle est nulle, (pression atmosphérique).

Le filet liquide ne peut satisfaire à cette double condition qu'en se courbant, de manière que la courbure compense le gradient transversal des pressions suivant la loi

$$\frac{\partial P}{\partial n} = - \rho \cdot v^2 / R$$



(fig.19)

C'est bien ce que montre l'observation expérimentale: à leur sortie du réservoir les filets liquides sont convergents jusqu'à une section transversal MN.

En ce point toute les molécules ont des vitesses parallèles. L'aire S_c de la section MN est inférieure à l'air de l'orifice; la veine liquide a donc subit une contraction entre CD et MN. Remarquons que **dans** la section contracté, puisque les molécules ont des vitesses parallèles, elles n'exercent les unes sur les autres aucune action transversale et elles sont toutes en équilibre avec le milieu extérieur où règne la pression atmosphérique; donc dans toute la section contractée règne également la pression atmosphérique.

À l'aval de MN, la veine décrit une trajectoire parabolique comme le ferait un corps solide lancé avec une vitesse initiale.

- Formule de Torricelli :

Moyenant quelques hypothèses simples l'application du théorème de Bernoulli va permettre de déterminer la vitesse V de sortie du fluide, à partir de la quelle on pourra obtenir le débit.

-Supposons par exemple que le réservoir contienne un liquide qui s'écoule à l'air libre et que ses dimensions soit suffisamment grandes pour que, pendant un certain intervalle de temps Δt , on puisse négliger la variation du niveau de ^{la} surface libre et considérer le mouvement comme permanent (fig.19).

L'expérience montre qu'un tel écoulement présente les caractéristiques suivantes:

- tout le fluide participe au mouvement
- dans le réservoir l'écoulement est du type convergent
- a la sortie de l'orifice, le jet présente une partie contractée où les lignes de courant sont parallèles et pratiquement rectilignes. C'est dans cette région que nous pouvons facilement calculer V . En effet d'après un résultat connu, la pression P^* reste constante quand on se déplace normalement aux lignes de courant quand celles-ci sont rectilignes, sa valeur sera par exemple égale à celle qu'elle prend sur les bords du jet, au contact de l'air. Si G' est un point de section contractée, on a donc:

$$P'_{G'} = C^{te} \quad (21)$$

Par ailleurs on peut admettre que cet écoulement est à énergie constante car les particules partent pratiquement du repos. En mouvement permanent, la constante de Bernoulli est la même pour toutes les lignes de courant, pour tout les points du fluide.

$$Z + P_{ab}/\omega + V^2 / 2.g = Z' + P'_g / \omega + V_g^2 / 2.g$$

$$Z = h$$

$$P_{ab} = P_{atm} \text{ (pression atmosphérique)}$$

$$V = 0 \text{ (puisque le plan AB est l'origine du mouvement)}$$

$$Z'_g = 0 \quad P'_g = P_a \quad (\text{section contractée}), \quad V'_g$$

On obtient :

$$P_a / \omega - V^2 / 2.g = h + P_a / \omega$$

$$\implies V = \sqrt{2.g.h} \quad (22)$$

Le même résultat peut être obtenu également en utilisant l'analyse dimensionnelle.

Calcul du débit:

Le débit élémentaire dq à travers l'élément infiniment petit $d\omega$ de la section contractée comprenant le point G' sera :

$$dq = \sqrt{2.g.h'} d\omega \quad (23)$$

Le débit mesuré à travers la section contractée Ω' sera donc :

$$Q = \int_{\Omega'} \sqrt{2.g.h'} d\omega \quad (24)$$

Comme on ne peut pas mesurer directement et facilement l'aire Ω' de la section contractée, on rapporte Ω' à Ω qui est l'aire de l'orifice; on pose

$$\Omega' = m \Omega \quad (25)$$

Le coefficient $m < 1$ s'appelle le coefficient de contraction on a, en définitive

$$Q = \int_{m\Omega} \sqrt{2.g.h'} d\omega \quad (26)$$

Comme cette intégrale n'est pas toujours facile à résoudre on fait la double approximation éventuelle suivante :

- On admet que dans toute la section contractée la vitesse

moyenne et celle de la molécule qui passe au centre de gravité (il n'ya plus d'approximation si la paroi est horizontale)

- On admet ensuite que le plan horizontal passant par le centre de gravité de MN passe aussi par le centre de gravité de CD, de façon à pouvoir mesurer facilement la distance H de ce centre de gravité à la surface libre (il n'ya plus d'approximation si la paroi est verticale)

H: Sappelle la charge sur l'orifice.

La valeur approchée du débit est alors donnée par la formule usuelle suivante:

$$Q = m \cdot \Omega \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \quad (27)$$

Q: Débit en m³/s

m: Coefficient de débit = 0,70 pour une vanne vertical

Ω : La section de l'orifice $\Omega = l \cdot e$

l: La largeur du canal

e: Levée de la vanne

$$Q = 0,70 \cdot l \cdot e \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \quad (28)$$

On peut également utiliser la formule suivante pour une vanne verticale qui est plus précise.

$$Q = m \cdot l \cdot e \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0 / (1 + m \cdot e / H_0)} \quad (29)$$

2^{ème} P A R T I E S (Etude expérimentale)I) Description de l'installation:

Le modèle étudié est monté dans un canal de section rectangulaire (largeur = 0,25 m et la hauteur utile = 0,40 m). Ce canal se compose de 5 éléments de 2 m de longueur chacun, dont deux sont vitrés, ce qui permet d'observer ou de photographier l'écoulement. L'élément métallique amont comprend l'alimentation avec un dispositif tranquilisateur et un déversoir de trop plein, pour éviter les débordements.

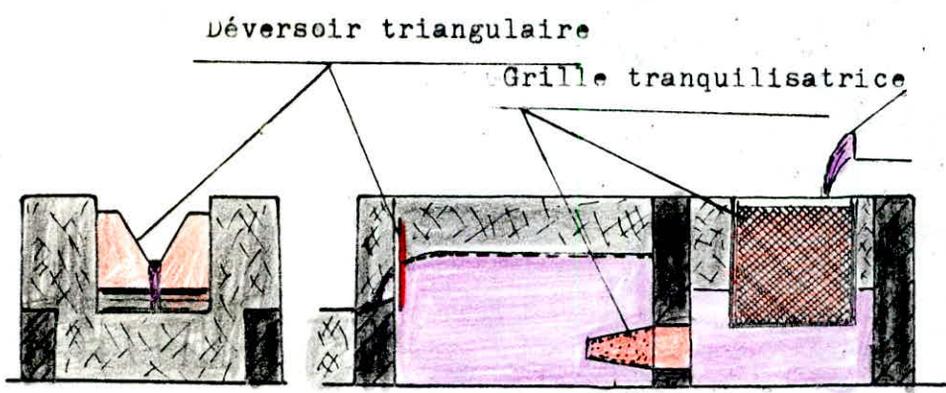
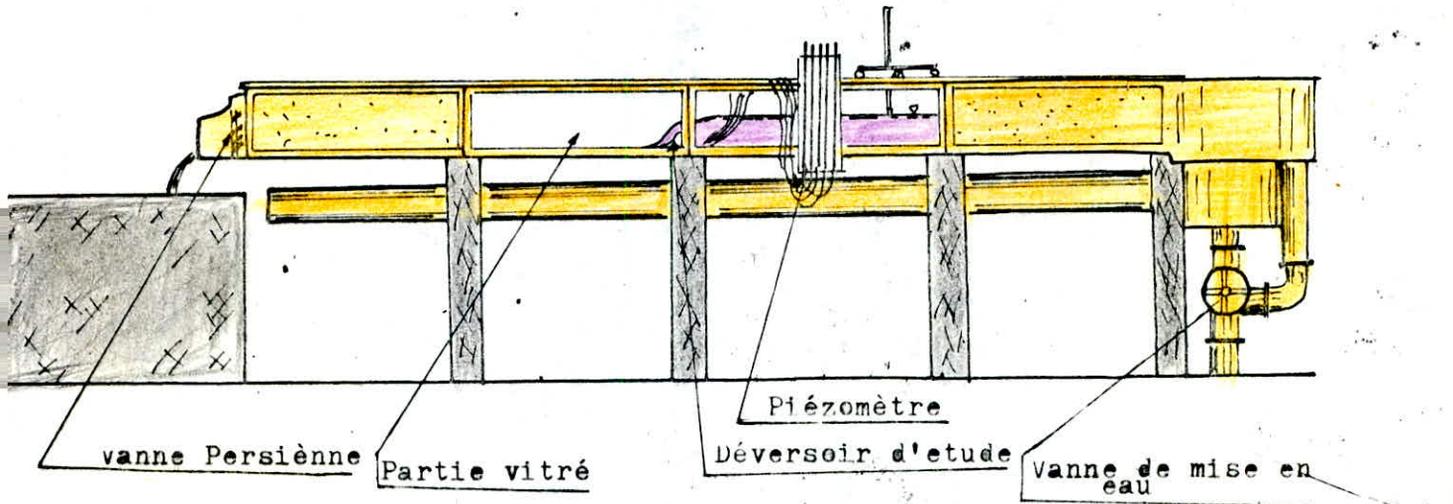
Sur l'élément métallique de l'extrémité aval est montée une vanne type persienne, permettant de régler le plan d'eau dans le canal à l'aval du dispositif.

A la partie supérieure utile du canal sont prévus deux rails de roulement pour le déplacement d'un chariot porte lunimètre à voyants.

Des rainures sont prévues pour la mise en place des déversoirs d'études. La mesure des débits est faite au moyen d'un déversoir de forme triangulaire, situé à l'aval du canal après le bac tranquilisant.

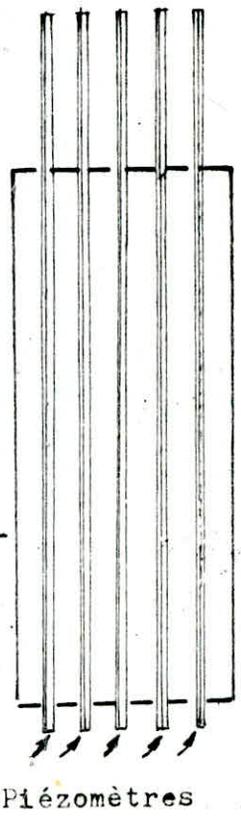
Un multimanomètre à tubes piézométriques, reliés par des tuyaux flexibles à des prises de pression disposées sur le parament aval du seuil, permet de relever la répartition de pression .

I N S T A L L A T I O N



Système d'étallonnage

(fig 21)



II) Dimensionnement du modél réduit :

Le déversoir est un profil Creager, correspondant à une charge de fonctionnement $H_0 = 0,15$ m .

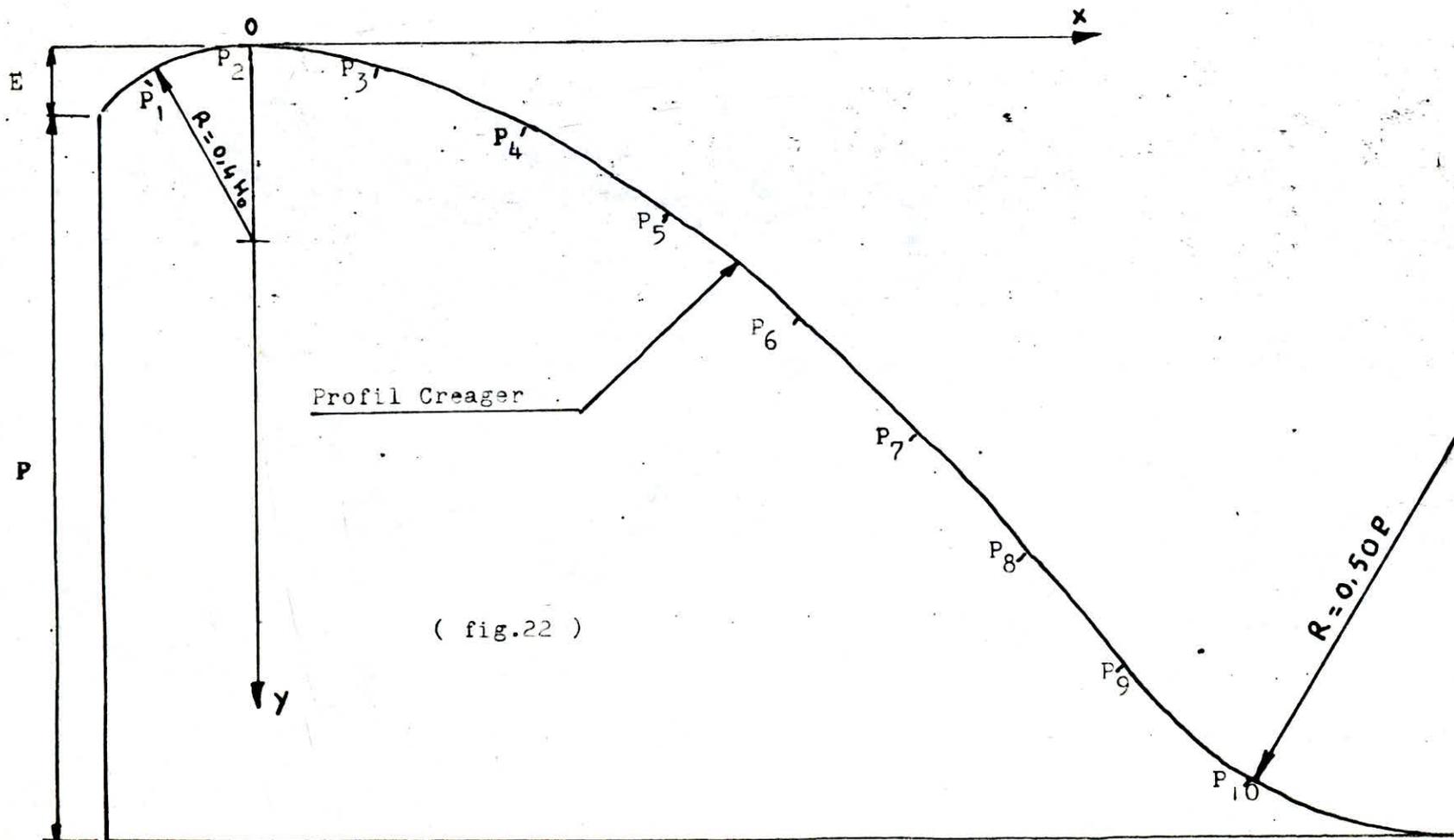
Le dimensionnement du profil est réalisé en utilisant l'équation de Creager (3)

$$Y / H_0 = 0,47 (X / H_0)^{1,8}$$

Le tableau suivant nous donne les valeurs de X et Y pour $H_0=0,15$

X en m	Y en m	X en m	Y en m
0,015	0,0010	0,225	0,1462
0,030	0,0037	0,240	0,1650
0,045	0,0081	0,255	0,1831
0,060	0,0135	0,270	0,2031
0,075	0,0202	0,285	0,2235
0,090	0,0280	0,300	0,2454
0,105	0,0370	0,315	0,2680
0,120	0,0471	0,330	0,2914
0,135	0,0585	0,345	0,3156
0,150	0,0705	0,360	0,3408
0,165	0,0837	0,375	0,3667
0,180	0,0978	0,390	0,3936
0,195	0,1129	0,405	0,4213
0,210	0,1292	0,420	0,4500

P R O F I L T Y P E



(fig.22)

II.1) Détermination de P + E

Connaissant la profondeur du canal $H = 0,40$ m et la hauteur de fonctionnement $H_0 = 0,15$ m donc la hauteur du profil devient:

$$P + E = H - H_0 = 0,40 - 0,15 = 0,25 \text{ m}$$

II.2) Rayon de courbure :

$$R_c = 0,5 P \quad \text{pour } P < 10 \text{ m}$$

$$\implies R_c = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125 \text{ m}$$

La vanne plate a une section ($0,25 \times 0,15$) (voir fig 22)

III) Analyse dimensionnelle du phénomène :

Nous désirons étudier un phénomène , formé par l'écoulement d'un liquide sous une vanne surmontant un seuil déversant type Creager.

Les grandeurs entrant dans la formation du phénomène:

Géométriques : e: Ouverture de la vanne

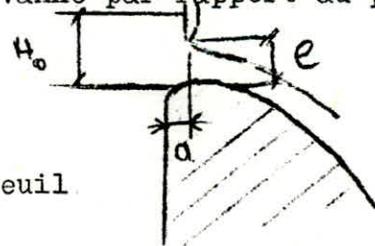
a: Emplacement de la vanne par rapport au par-
ament.

Hydrauliques : Q: Débit

H_0 La charge sur le seuil

Dynamiques : ρ : Masse volumique

g: accélération de la pesanteur



(fig 23)

ν : Les forces de viscosité n'interviennent pas, car l'ouvrage est court et à écoulement irrotationnel

$$\implies f(a, e, Q, H, \rho, g)$$

$$a \longrightarrow L$$

$$e \longrightarrow L$$

$$Q \longrightarrow L^3 T^{-1}$$

$$H \longrightarrow L$$

$$\rho \longrightarrow M L^{-3}$$

$$g \longrightarrow L T^{-2}$$

Variable à usage répété : Q, e, ρ ;

Le nombre de paramètre Π pouvant être formé par les $n = 6$ constitué avec $m = 3$ dimensions fondamentale est $n - m = 3$

donc on peut écrire $F(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3) = 0$

$$n = 6 \quad m = 3$$

$$\Pi_1 = Q^x e^y \rho^z H = (L^3 T^{-1})^x (L)^y (M L^{-3})^z L = M^0 L^0 T^0$$

$$L: 3x + y - 3z + 1 = 0$$

$$T: -x = 0$$

$$M: z = 0$$

$$\implies y = -1 \implies \Pi_1 = \frac{H}{e}$$

$$\Pi_2 = Q^x e^y \rho^z a \implies \Pi_2 = H/a$$

$$\Pi_3 = Q^x e^y \rho^z g \implies \Pi_3 = Q^{-2} e^5 g \quad (\text{n}^{\text{bre}} \text{ de Froude})$$

$$F = 1 / \Pi_3 = Q^2 / g e^5$$

$$F = (\Pi_1; \Pi_2; \Pi_3) = (H/e; H/a; F)$$

IV-) Programme expérimental:

La première série d'essais a été faite avec vanne complètement ouverte, dans la deuxième partie d'expérience, nous avons envisagé 3 cas distincts. En plaçant la vanne en 3 position choisies

1^{ère} position $a = 1 \text{ cm}$ $\xrightarrow{\text{correspond}}$ $0,066 H_0$

2^{ème} position $a = 4,5 \text{ cm}$ $\xrightarrow{\text{correspond}}$ Sur la crête

3^{ème} position $a = 7,5 \text{ cm}$ $\xrightarrow{\text{correspond}}$ $0,2 H_0$

dans chacun de ces cas nous avons étudié les écoulements relatifs à diverses charges amont et à plusieurs degrés d'ouverture de la vanne, de façon plus précise, en appelant (H_0) la côte du plan d'eau en amont et (e) celle de l'arrête inférieure de la vanne, comptées au dessus du profil déversoir.

Les expériences ont été faites pour les valeurs de H_0 et de e dont la correspondance est définie par le tableau suivant :

Remarque: Pour tous les essais nous avons opéré avec les mêmes valeurs de la charge, ceci dans le but de comparaison. TAB N° 3

H_0 (cm)	4,12	7,03	10,08	12,85	16,04
	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
e (cm)	....	4,00	4,00	4,00	4,00
	....	....	6,00	6,00	6,00

Pour chacun des 17 groupes de valeurs simultanées de e et H_0 , ainsi examinés, et pour les 3 positions différentes de la vanne, c'est à dire au total 51 cas étudiés nous avons déterminé :

- La forme de la surface libre
- La valeur du débit
- La répartition des pressions sur le parament aval
- La valeur du coefficient de débit

V. Résultats expérimentaux

TAE N°4

PRESSION SUR LE PARAMENT AVAL										h _d	Q	H _c	M
P ₁ /W	P ₂ /W	P ₃ /W	P ₄ /W	P ₅ /W	P ₆ /W	P ₇ /W	P ₈ /W	P ₉ /W	P ₁₀ /W				
C _m										C _m	l/s	C _m	
8,8	0,6	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,5	6,98	0,86	1,5	0,423
10,6	1,6	0,7	0,6	0,2	0,0	0,0	0,3	0,9	2,5	11,3	2,97	3,66	0,383
10,9	2,2	1,1	0,7	0,3	0,2	0,0	0,5	0,0	4,5	14,1	5,16	5,10	0,405
11,9	3,1	1,5	0,8	0,5	0,3	0,0	0,9	3,3	7,5	16,50	7,65	6,75	0,394
12,4	3,9	1,9	0,9	0,6	0,5	0,1	1,2	4,9	10,5	19,20	11,17	8,50	0,407
14,0	4,6	2,2	1,1	0,7	0,6	0,1	1,7	7,4	14,0	22,10	15,87	10,40	0,427
15,3	4,9	2,5	1,3	0,9	0,8	0,2	2,6	10,4	17,8	25,10	21,83	12,50	0,446
16,4	4,9	2,7	1,3	0,9	0,8	0,2	3,8	12,8	20,3	27,20	26,69	14,00	0,460

TAB N° 5

PRESSIONS SUR LE PARAMENT										h_d	Q	H_0	M
P_1/W	P_2/W	P_3/W	P_4/W	P_5/W	P_6/W	P_7/W	P_8/W	P_9/W	P_{10}/W				
cm										cm	l / s	cm	
Seuil avec vanne $e = 0,5$; $a = 1$ cm													
0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,6	7,12	0,933	4,12	0,831
0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,8	7,86	1,196	7,03	0,815
0,4	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0	0,0	0,1	0,2	1,0	8,32	1,388	10,08	0,780
0,5	-0,4	-0,2	-0,1	-0,1	0	0,1	0,1	0,2	1,3	8,71	1,545	12,85	0,778
0,7	-0,6	-0,3	-0,1	-0,3	0	0,1	0,1	0,2	1,7	9,05	1,705	16,04	0,769
$e = 2$ cm ; $a = 1$ cm													
2,0	0,9	0,6	0,2	0,2	0	0,1	0,1	0,7	2,1	10,52	2,471	4,12	0,550
2,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0	0,1	0,1	1,3	3,4	12,10	3,53	7,03	0,596
3,6	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0	0,1	0,1	1,6	4,4	13,11	4,308	10,08	0,610
4,7	-0,6	-0,6	-0,3	-0,1	0	0,1	0,3	1,9	5,5	13,81	4,908	12,85	0,618
5,9	-1,1	-1,1	-0,5	-0,3	-0,1	0,1	0,4	2,4	6,8	14,62	5,652	16,04	0,637
$e = 4$ cm ; $a = 1$ cm													
3,8	1,6	0,9	0,5	0,4	0,1	0,3	0,5	2,4	6,1	15,11	6,12	7,03	0,521
4,9	0,8	-0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,6	3,4	8,3	16,94	8,178	10,08	0,581
5,7	0,1	-0,8	-0,3	0	0	0,3	0,6	4,2	10,0	17,93	9,426	12,85	0,593
6,8	-0,7	-1,8	-0,9	-0,4	0	0,2	0,6	4,9	11,8	18,84	10,646	16,04	0,600
$e = 6$ cm ; $a = 1$ cm													
3,8	2,5	0,7	0,3	0,6	0,2	0,5	0,8	4,8	10,4	19,16	11,11	10,08	0,526
5,0	1,5	-0,6	-0,3	0,1	0,2	0,6	0,9	6,2	12,8	20,71	13,50	12,85	0,534
6,0	0,5	-1,7	-1,1	-0,2	0,1	0,5	1,1	7,6	15,2	21,50	14,82	16,04	0,557

TAB N° 6

PRESSION SUR LE PARAMENT										h_d	Q	H_0	M
P_1/W	P_2/W	P_3/W	P_4/W	P_5/W	P_6/W	P_7/W	P_8/W	P_9/W	P_{10}/W	cm	l/m^3	cm	
seuil avec vanne $e = 0,5$; $a = 4,5$ cm													
3,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,5	7,35	1,011	4,12	0,900
6,8	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	1,5	8,12	1,297	7,03	0,883
9,5	-0,3	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	1,3	8,70	1,54	10,08	0,876
12,2	-0,4	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,3	1,8	9,02	1,690	12,85	0,852
15,2	-0,7	-0,4	-0,2	-0,2	0,0	0,2	0,4	0,3	2,3	9,47	1,915	16,04	0,864
$e = 2$; $a = 4,5$ cm													
3,0	1,4	0,7	0,3	0,4	0,2	0,1	0,3	0,8	2,3	10,90	2,71	4,12	0,603
6,0	1,4	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	1,4	3,3	12,40	3,74	7,03	0,630
9,0	1,5	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	1,6	4,5	13,32	4,47	10,08	0,636
11,8	1,6	0,7	-0,4	-0,1	0,0	0,3	0,4	1,9	5,8	14,10	5,16	12,85	0,650
14,2	1,7	-1,2	-0,7	-0,3	0,0	0,3	0,4	2,3	6,9	14,90	5,93	16,04	0,668
$e = 4$; $a = 4,5$ cm													
4,8	2,5	0,9	0,4	0,4	0,2	0,3	0,4	2,4	5,9	15,30	6,34	7,03	0,540
7,6	2,8	0,1	0,0	0,4	0,2	0,4	0,6	3,2	7,9	17,06	8,316	10,08	0,591
9,9	3,0	-0,3	-0,3	0,0	0,1	0,4	0,6	3,9	9,6	18,20	9,770	12,85	0,615
12,3	3,7	-1,2	-1,0	-0,4	0,0	0,3	0,6	4,8	11,2	19,50	10,960	16,04	0,618
$e = 6$; $a = 4,5$ cm													
5,1	3,9	1,2	0,3	0,5	0,4	0,6	0,9	4,6	10,3	19,40	11,46	10,08	0,543
7,2	4,1	0,2	-0,4	0,2	0,2	0,6	1,0	5,9	12,5	20,90	13,81	12,85	0,580
9,5	4,3	-0,6	-1,2	-0,2	0,0	0,7	1,2	7,2	14,50	22,01	15,71	16,04	0,590

T A B N° 7

P R E S S I O N S U R L E P A R A M E N T A V A L										h_d	Q	H_0	M
P_1/W	P_2/W	P_3/W	P_4/W	P_5/W	P_6/W	P_7/W	P_8/W	P_9/W	P_{10}/W	cm	l/s	cm	
c m.													
seuil avec vanne $e = 0,5; a = 7,5$ cm													
3,8	3,7	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	7,58	1,092	4,12	0,97
6,9	6,7	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	8,39	1,416	7,08	0,96
9,9	9,6	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2	9,01	1,685	10,08	0,96
12,8	12,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	1,8	9,33	1,836	12,85	0,92
16,0	15,6	-0,3	-0,2	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	2,2	9,88	2,128	16,04	0,96
$e = 2$ cm ; $a = 7,5$ cm													
3,1	2,9	0,8	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,8	2,4	11,0	2,78	4,12	0,61
5,8	5,2	0,5	0,2	0,3	0,0	0,1	0,2	1,1	3,6	12,5	3,82	7,03	0,65
8,7	7,5	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	0,2	1,4	4,6	13,53	4,654	10,08	0,66
11,6	9,9	0,2	-0,2	-0,1	0,0	0,2	0,4	1,8	5,6	14,37	5,413	12,85	0,68
14,9	12,6	0,0	-0,7	-0,3	0,0	0,2	0,4	2,3	6,9	15,15	6,160	16,04	0,69
$e = 4$ cm ; $a = 7,5$ cm													
4,3	4,6	1,7	0,5	0,5	0,1	0,2	0,4	2,6	6,6	15,4	6,44	7,03	0,54
7,2	6,5	1,6	0,1	0,3	0,1	0,3	0,6	3,3	8,1	17,8	8,456	10,08	0,60
10,1	8,1	1,5	-0,2	0,0	0,0	0,4	0,6	3,8	9,7	18,35	10,10	12,85	0,63
12,9	10,0	1,3	-1,0	-0,4	0,0	0,4	0,6	4,6	11,4	19,4	11,46	16,04	0,64
$e = 6$ cm ; $a = 7,5$ cm													
5,0	5,9	2,5	0,6	0,6	-0,2	0,6	1,1	5,1	11,1	19,6	11,77	10,08	0,55
7,5	7,5	2,3	0,0	0,2	0,1	0,5	1,2	6,0	12,8	21,15	14,24	12,85	0,59
9,9	9,9	2,0	-1,2	-0,3	0,0	0,4	1,4	7,3	15,0	22,40	16,43	16,04	0,61

VI) Interprétation de la méthode de prasil :

Nous choisissons la directrice du parament aval du radier comme ligne de courant pour démarrer cette méthode graphique; en fait, on se réserve cette ligne de courant comme vérification finale du tracé; d'autre part on ne connaît pas la répartition du potentiel le long du radier.

Nous déterminons approximativement, la forme de la surface libre qui constituera la limite matérielle (ligne de courant)

à partir de la quelle sera effectué le tracé graphique du réseau (fig 24)

La normal en un point I de la paroi du barrage. Nous supposons, en première approximation, que la pression en I est égale a la pression atmosphérique. On en déduit la vitesse en ce point, soit V_i telle que :

$$V_i = \sqrt{2 g h_i}$$

Le débit q par unité de largeur du seuil étant comme, on en déduit l'épaisseur IJ_1 de la lame déversante en I

$$IJ_1 = q / V_i$$

En fait, la vitesse moyenne V_m dans la tranche d'épaisseur IJ_1 est vraisemblablement plus proche de celle qui correspondrait



(fig.24)

au point M_1 situé au milieu de IJ_1 , soit $V_2 = \sqrt{2 g h_2}$ d'où une nouvelle valeur de l'épaisseur $IJ_2 = q / V_2$ qui donnera, après deux ou trois tâtonnement, une épaisseur IJ plus probable.

Partant du tracé ainsi obtenu pour la surface libre, on appliquera la méthode de Prasil (fig 25).

En divisant le profil de la surface libre en petits tronçons $a_1 a_2$ dont la longueur sera inversement proportionnelle à la vitesse au point moyen du tronçon de façon à conserver



(fig.25)

un $\Delta \bar{\Phi}$ constant le long de la ligne de courant, puisque

$$\Delta \bar{\Phi} = V \cdot \Delta S$$

$$\Delta \bar{\Phi} = a_1 a_2 \cdot \sqrt{2 g h_1}$$

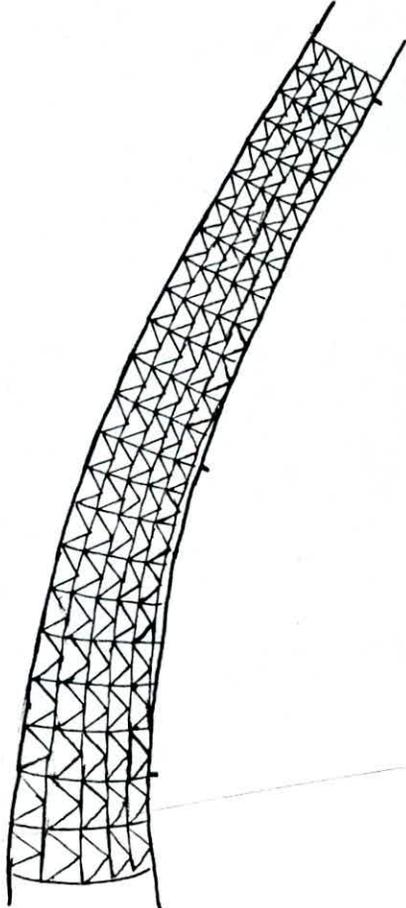
Le point suivant a_3 sera déterminé de façon que

$$a_2 a_3 \cdot \sqrt{2 g h_2} = a_1 a_2 \cdot \sqrt{2 g h_1} = \Delta \bar{\Phi}$$

pour cela on estimera d'abord h_2 , d'où on déduira $a_2 a_3$ ce qui permettra de mesurer la hauteur h_2 correspondante; cette valeur donnera une nouvelle longueur $a_2 a_3$ etc.....

6
5
4
3
2
1
0

Methode de Prasil



$H_0 = 3,66 \text{ cm}$

VII) Interprétation des graphes d'après les résultats expérimentaux

La figure 26a relative à l'expérience du seuil sans vanne, la figure 26b relative à l'expérience du seuil avec vanne à la position N° 1. Chacun de ces graphiques donne la répartition des pressions relevées sur le seuil déversant, pour les différentes variations de la charge (H_0) et des différents degrés d'ouvertures de la vanne.

Ces courbes de répartition sont obtenues, en portant sur la verticale passant par chaque point du parement aval, à partir de ce point et positivement vers le haut, une longueur égale à la pression en ce point, exprimées en hauteur d'eau.

Les figures 26c et 26d fournissent les mêmes renseignements dans le cas où la vanne occupe la position N° 2 (fig.26c) où N° 3 (fig.26d) .

Les conclusions que nous tirons des graphiques :

Cas du seuil sans vanne:

- D'après la figure 27a qui présente la variation de pression de chaque piezomètre nous permet de conclure que la pression croît avec la charge pour tous les piezomètres du parement aval.

- La dépression n'a pas eu lieu lors des expériences avec le seuil sans vanne, ceci n'est pas évident puisque la charge de dimensionnement n'a pas été atteinte. $H_{\max} = 0,14$ m donc notre

seuil fonctionne complètement en surpression.

Cas du seuil avec vanne:

- Dans le cas des faibles charges $H_0 = 4,12 ; 7,03 ;$ OU $10,08$ cm le minimum de pression est d'autant plus accentué que l'ouverture de la vanne est plus faible. Dans le cas des charges plus fortes $H_0 = 12,85 ;$ où $16,04$ cm ce minimum commence par décroître quand (e) augmente, puis croit avec (e).

- D'après la figure 27b ; 27c ; 27d ,on remarque que la dépression est très forte pour $e = 4$ et 6 cm quand $H_0 = 16,04$ cm .

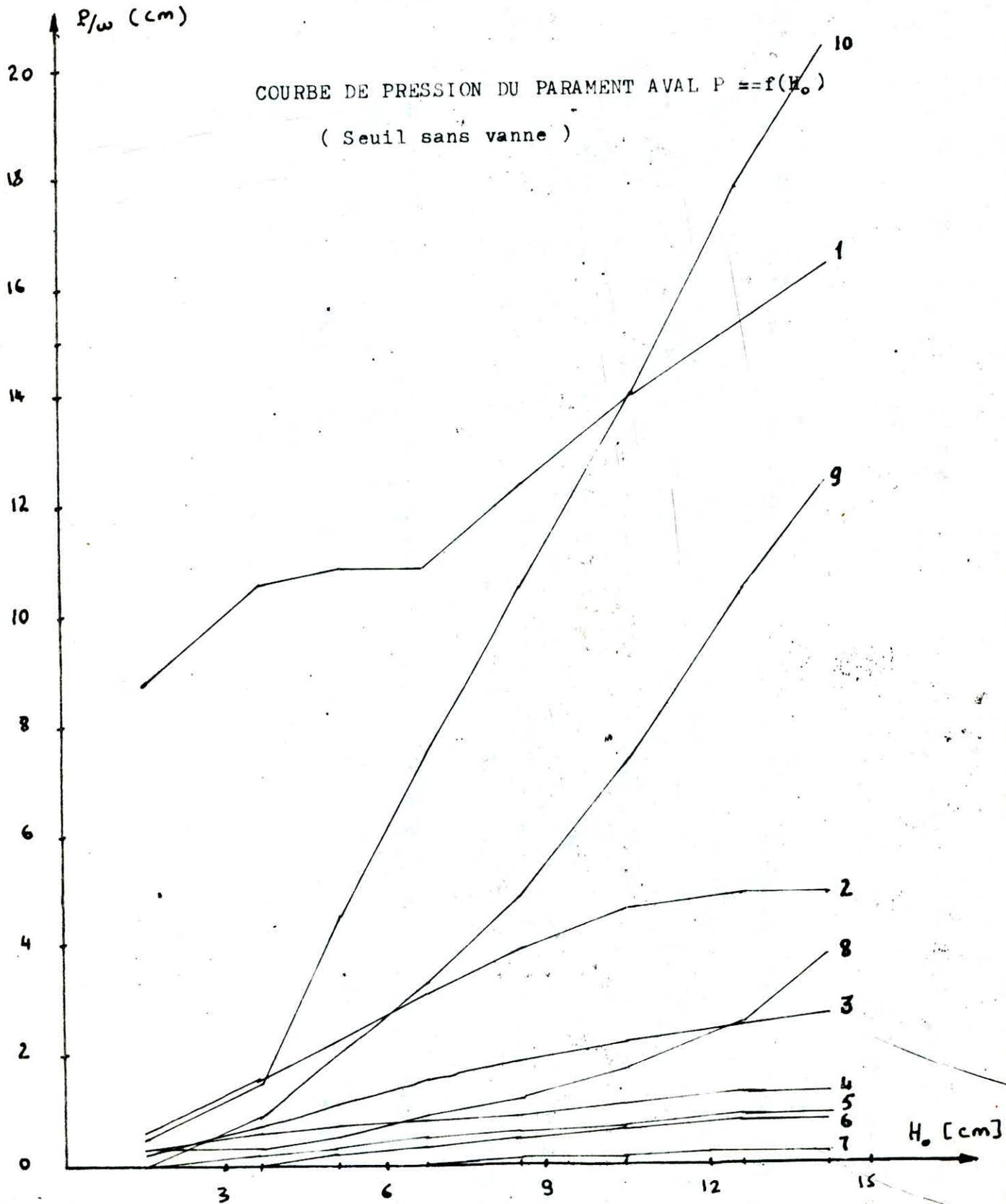
Les piézomètres qui subissent généralement la dépression sont:

Pour la position 12;3;4;5. (très importante)

Pour la position 23;4;5. (moins importante)

Pour la position 34;5 (faible)

La figure 28 donne pour les trois positions de la vanne sur le seuil, et pour les divers degrés d'ouverture (e) de la vanne; les courbes du débit en fonction de la charge H_0 du plan d'eau amont. Le débit expérimental à été déterminé par un déversoir triangulaire pré-étalonné, le procédé consiste à faire correspondre à chaque charge du déversoir d'étude une hauteur (h_d) du déversoir triangulaire avec laquelle on détermine notre débit ($Q = f(h_d)$) à l'aide du tableau N°8.



(fig. 27a)

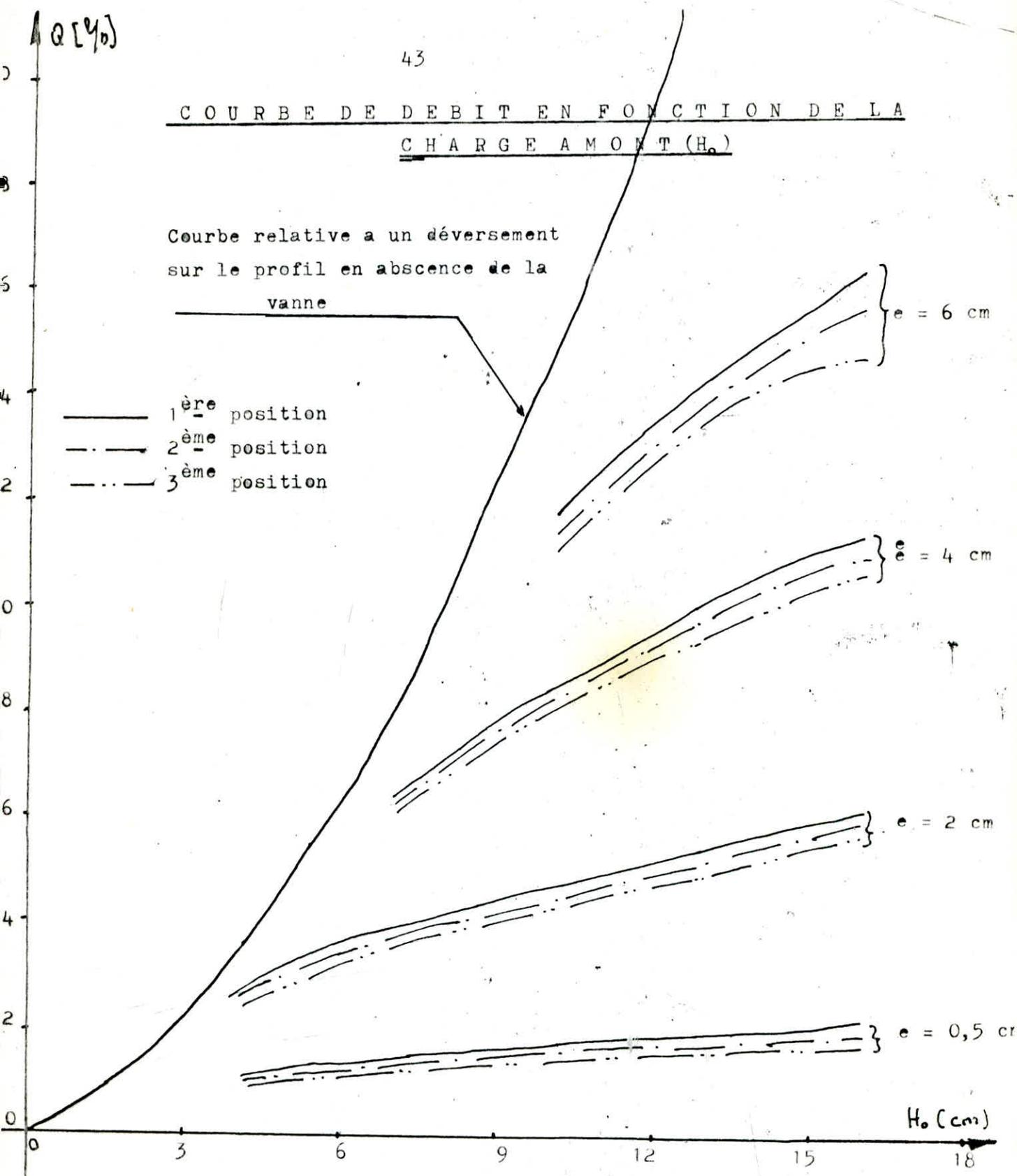
Q (%)

43

COURBE DE DEBIT EN FONCTION DE LA CHARGE AMONT (H_0)

Courbe relative a un déversement sur le profil en absence de la vanne

- 1^{ère} position
- - - 2^{ème} position
- · - · 3^{ème} position



(fig. 28)

Cas du seuil sans vanne:

- Le coefficient de débit varie de 0,38 à 0,46, ce qui ne correspond pas au profil Creager, qui se situe entre 0,48 et 0,495 pour fonctionner sous la charge de conception. Alors pour notre cas la charge de dimensionnement choisie ($H_0 = 15 \text{ cm}$) n'a pas été atteinte.
- La courbe $M = f(Q)$ croit presque linéairement.

Cas du seuil avec vanne:

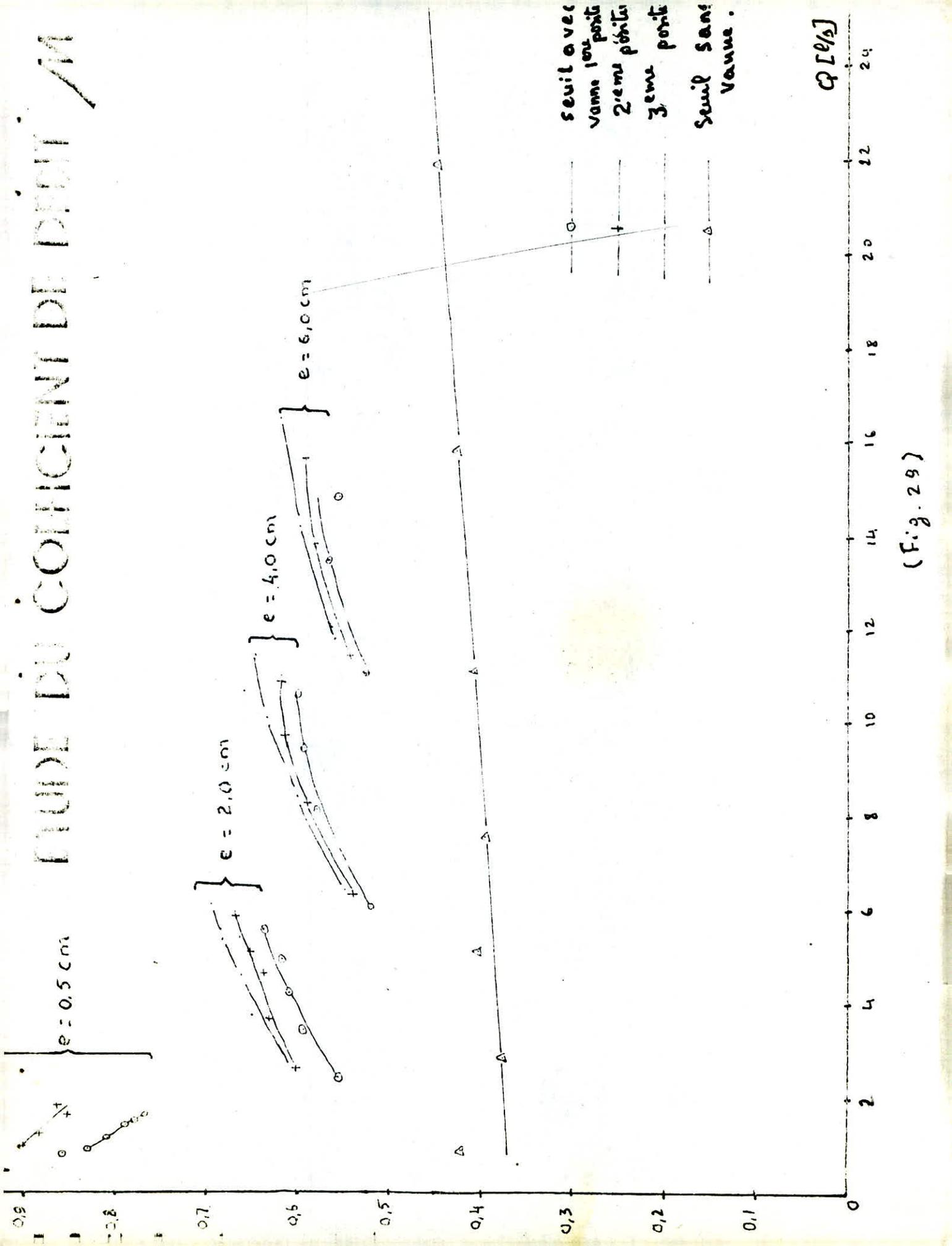
- En ce qui concerne l'écoulement sous la vanne on remarque que le coefficient de débit varie de 0,52 à 0,69 dans les trois positions et les trois degrés d'ouvertures ($e = 2 \text{ cm}$; $e = 4 \text{ cm}$; $e = 6 \text{ cm}$). Ce qui est normal compte tenu des normes connues.
- Aussi nous signalons que le coefficient (M) croit en fonction du débit et de la position de la vanne, Et il décroît avec l'augmentation de l'ouverture et du débit.

Lorsque la vanne est en position trois, à l'aval, le coefficient de débit atteint sa valeur maximale pour chacune des ouvertures.

Remarque:

Pour une petite ouverture de 0,5 cm le coefficient de débit atteint la valeur de 0,90 pour décroître très rapidement (dans un intervalle très réduit). Plus la position est en aval, plus qu'il est plus important pour décroître plus rapidement.

ETUDE DU COEFFICIENT DE DÉBIT



seuil avec
 vanne 1^{er} poste
 2^{ème} poste
 3^{ème} poste
 seuil sans
 vanne.

$C_d [l/s]$

24
12
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2

(Fig. 29)

C O N C L U S I O N

Notre étude de l'écoulement sous une vanne surmontant un seuil Creager-Ofitsérov, a été réalisée sur un modèle réduit. Les difficultés rencontrées lors de la réalisation de cette expérience étaient surtout d'ordre matériel. En effet, j'étais amené à plusieurs reprises à détériorer le profil pour le reprendre une nouvelle fois..Ceci, a bien sur, donné lieu à des différences qui m'ont engendré des résultats non attendus. Ce cas s'est présenté pour le coefficient de débit qui était de l'ordre de 0,38 à 0,46 coefficient ~~est~~ éloigné de ce-lui d'un profil Creager-Ofitsérov. Nous n'en tiendrons pas compte dans l'analyse des résultats et les conclusions.

L'étude devrait nous aider à déterminer la position optimale de la vanne afin d'assurer un écoulement ayant les caractéristiques Suivantes:

- Sans décollement de la lame
- Sans production de dépression sur le parament aval
- Et évitant le phénomène de cavitation

Afin d'éviter :

- Le phénomène de dégradation du site
- d'assurer la stabilité du barrage
- d'éviter l'érosion .

Il apparait lors de l'étude de tous les graphiques réalisés que pour un profil Creager-Ofitsérov, la position la plus favorable pour le choix de l'installation de la vanne sur le seuil se situe légèrement en aval, et approximativement à $0,2 H_0$ du point de profil tangent horizontal. Le coefficient de débit serait de l'ordre de 0,55 à 0,70.

En cette position, le phénomène de décollement est évité; la dépression est peu importante par rapport aux autres cas et relativement à la charge H_0 . En effet, les particules fluides de vitesse tangente au tablier de la vanne plaquent la lame sur le profil et lui impriment une bonne direction à la sortie.

Le modèle réduit impose par ses dimensions celle de la vanne et la charge maximale à prendre (Inférieure à 16 cm). Il aurait été possible de procéder à notre expérience sur un modèle réduit plus important avec une charge plus importante (au-delà de 60 cm) qui aurait permis :

- de procéder à l'étude pour plusieurs positions de la vanne
- d'observer le phénomène de décollement pour des ouvertures très faibles de la vannes
- d'étudier le cas pour l'installation de plusieurs vannes successives

-de se rapprocher de la réalité pour la simulation de plusieurs cas tels que : crues -seuil en différentes qualités de béton - blindage du béton - ouvertures très faibles par rapport aux dimensions de la vanne - etc

La simulation sur modèle réduit d'un tel écoulement est très délicate . L'installation d'essai ne peut être réalisée qu'à très grande échelle pour l'étude du phénomène pour des écoulements à grandes vitesses .

En conclusion ,il serait très intéressant pour notre école de disposer d'un canal réduit pour pouvoir procéder aux études d'écoulements plus complexes car jusqu'aujourd'hui les réalisations nationales sont faites sur des études étrangères ou standardisées ;et l'Ecole Polytechnique Nationale,à l'instar des autres écoles nationales est appelée à étudier les futurs sites ,à expertiser les sites actuels , et à participer entièrement à la résolution des problèmes posés par les infrastructures existantes .Le laboratoire en dotation à l'école ne paraît pas prêt pour répondre à ses aspirations .

FACE INFÉRIEURE DE LA VEINE LIQUIDE
(Valeur de Y/H_s)

(tab:1)

h_a/H_s $X/H_s \rightarrow$	$a/b = 0$ (Vertical)					
	0,002	0,020	0,060	0,100	0,140	0,010
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
02	0280	0265	0235	0200	0180	0,0272
04	0490	0460	0400	0340	0300	0473
06	0650	0605	0530	0447	0400	0625
08	0765	0720	0630	0540	0470	0740
0,10	0,0860	0,0810	0,0710	0,0602	0,0520	0832
12	0940	0880	0770	0655	0560	0907
14	1000	0940	0820	0686	0580	0967
16	1045	0980	0845	0716	0595	1009
18	1080	1010	0870	0730	0600	1041
0,20	0,1105	0,1030	0,0880	0,0740	0,0599	1063
22	1120	1040	0885	0742	0590	1076
24	1120	1050	0880	0740	0577	1090
26	1120	1045	0875	0720	0560	1078
28	1115	1040	0860	0700	0535	1073
0,30	0,1105	0,1020	0,0845	0,0673	0,0503	1058
32	1090	1005	0820	0642	0477	1043
34	1070	0980	0785	0604	0440	1020
36	1040	0950	0750	0570	0397	0990
38	1010	0910	0710	0524	0353	0954
0,40	0,0970	0,0870	0,0670	0,0480	0,0303	0914
42	0920	0820	0620	0430	0250	0864
44	0870	0775	0565	0370	0195	0817
46	0820	0715	0515	0315	0138	0762
48	0760	0660	0455	0253	0060	0704
0,50	0,070	0,060	0,039	0,018	-0,001	0644
54	056	046	025	004	017	0504
58	040	031	009	-0,013	034	0350
62	024	013	-0,009	031	052	0179
66	004	-0,006	028	050	071	0055
0,70	-0,016	-0,028	-0,049	-0,071	-0,091	-0,0225
74	038	049	072	093	114	-0,0441
78	062	072	095	116	137	0676
82	086	097	120	142	162	0971
86	112	122	146	168	188	1176
0,90	-0,138	-0,150	-0,173	-0,195	-0,216	1447
94	167	179	202	224	244	1737
98	198	208	231	254	274	2036
1,00	214	224	247	270	290	2196
10	300	310	330	352	372	3056
1,20	-0,393	-0,402	-0,422	-0,443	-0,463	3980
30	495	504	522	543	563	5000
40	606	614	632	650	670	6104
50	724	733	750	769	784	7290
60	850	860	874	895	904	8556

ÉTALONNAGE DU DEVERSOIR TRIANGULAIRE

Le débit est donné par la formule

$$Q = \frac{1}{3} \mu \frac{l}{h} \sqrt{2g} \left[\frac{4}{5} \left(h + \frac{V_0^2}{2g} \right)^{5/2} - 2h \left(\frac{V_0^2}{2g} \right)^{3/2} - \frac{4}{5} \left(\frac{V_0^2}{2g} \right)^{5/2} \right]$$

en négligeant la vitesse d'approche on obtient

$$Q = \frac{4}{15} \mu \rho h \sqrt{2gh}$$

étant donné que la mesure exacte de la largeur l de la nappe est très difficile, on introduit l'expression $l = 2h \operatorname{tg} \alpha$

d'où le débit

$$Q = \frac{8}{15} \mu \operatorname{tg} \alpha h^2 \sqrt{2gh}$$

V - Exemples : Tableau d'étalonnage d'un déversoir triangulaire (type SOGREAH normalisé) $2\alpha = 53^\circ 8'$ $p = 0,65m$ $L = 1,20m$
situé à l'extrémité du grand canal vitré.
étalonnage à 1% près.

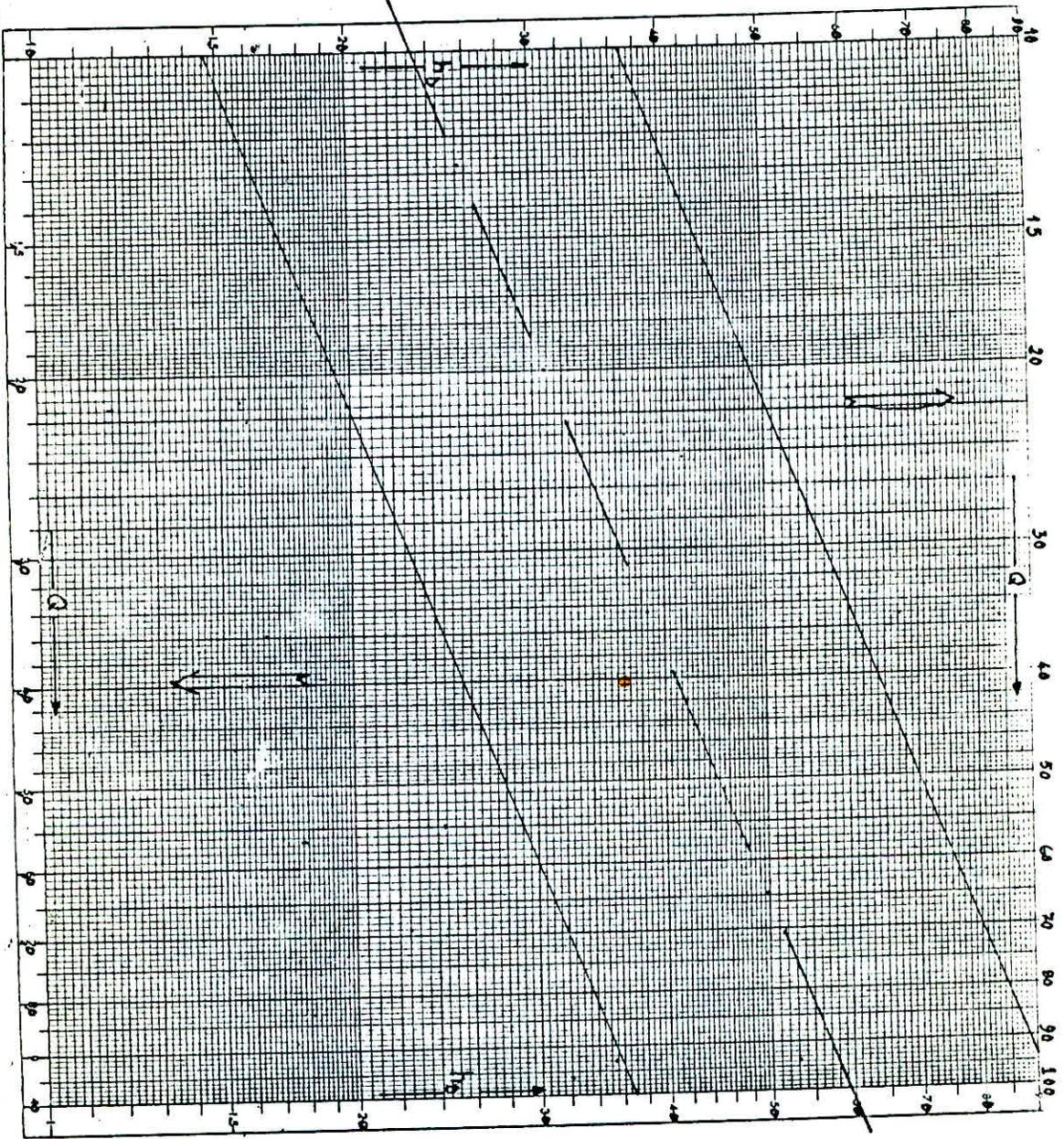
Tableau n°6

h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)
80	01,25	111	03,31	156	06,64	194	11,46
81	01,29	119	03,38	157	06,75	195	11,63
82	01,33	120	03,44	158	06,87	196	11,77
83	01,38	121	03,53	159	06,98	197	11,92
84	01,42	122	03,60	160	07,08	198	12,06
85	01,46	123	03,67	161	07,19	199	12,21
86	01,50	124	03,74	162	07,30	200	12,36
87	01,54	125	03,82	163	07,43	201	12,53
88	01,59	126	03,90	164	07,54	202	12,69
89	01,64	127	03,98	165	07,65	203	12,84
90	01,68	128	04,05	166	07,76	204	13,00
91	01,73	129	04,13	167	07,88	205	13,15
92	01,77	130	04,21	168	07,99	206	13,33
93	01,82	131	04,30	169	08,13	207	13,49
94	01,88	132	04,38	170	08,25	208	13,65
95	01,93	133	04,46	171	08,36	209	13,81
96	01,98	134	04,54	172	08,48	210	13,97
97	02,03	135	04,63	173	08,60	211	14,16
98	02,08	136	04,71	174	08,74	212	14,32
99	02,14	137	04,81	175	08,87	213	14,49
100	02,19	138	04,90	176	08,99	214	14,65
101	02,24	139	04,98	177	09,11	215	14,82
102	02,30	140	05,07	178	09,24	216	14,98
103	02,35	141	05,16	179	09,39	217	15,18
104	02,41	142	05,26	180	09,51	218	15,35
105	02,47	143	05,35	181	09,64	219	15,52
106	02,53	144	05,44	182	09,77	220	15,70
107	02,59	145	05,53	183	09,90	221	15,87
108	02,65	146	05,63	184	10,03	222	16,08
109	02,71	147	05,74	185	10,19	223	16,25
110	02,78	148	05,85	186	10,32	224	16,43
111	02,84	149	05,93	187	10,46	225	16,61
112	02,90	150	06,03	188	10,59	226	16,78
113	02,97	151	06,12	189	10,73	227	16,96
114	03,03	152	06,20	190	10,88	228	17,18
115	03,11	153	06,34	191	11,03	229	17,36
116	03,17	154	06,44	192	11,17	230	17,55
117	03,24	155	06,54	193	11,31	231	17,73

(Suite)

h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)	h (mm)	Q (l/s)
232	17,92	284	29,72	336	45,27	388	64,89
233	18,14	285	29,97	337	45,59	389	65,29
234	18,33	286	30,28	338	45,92	390	65,70
235	18,52	287	30,53	339	46,25	391	66,10
236	18,71	288	30,79	340	46,64	392	66,51
237	18,90	289	31,05	341	46,98	393	67,00
238	19,13	290	31,31	342	47,31	394	67,41
239	19,32	291	31,57	343	47,64	395	67,83
240	19,52	292	31,88	344	47,98	396	68,24
241	19,72	293	32,15	345	48,38	397	68,66
242	19,91	294	32,41	346	48,72	398	69,08
243	20,11	295	32,68	347	49,06	399	69,58
244	20,35	296	32,95	348	49,40	400	70,00
245	20,55	297	33,27	349	49,75	401	70,42
246	20,76	298	33,54	350	50,16	402	70,85
247	20,96	299	33,81	351	50,50	403	71,27
248	21,17	300	34,09	352	50,85	404	71,78
249	21,41	301	34,36	353	51,20	405	72,21
250	21,62	302	34,69	354	51,55	406	72,64
251	21,83	303	34,97	358	51,90	407	73,08
252	22,04	304	35,25	356	52,33	408	73,51
253	22,25	305	35,53	357	52,68	409	74,03
254	22,51	306	35,81	358	53,04	410	74,47
255	22,72	307	36,09	359	53,40	411	74,91
256	22,94	308	36,43	360	53,76	412	75,35
257	23,15	309	36,72	364	54,19	413	75,79
258	23,37	310	37,01	362	54,55	414	76,23
259	23,59	311	37,29	363	54,91	415	76,76
260	23,85	312	37,59	364	55,28	416	77,21
261	24,08	313	37,93	365	55,65	417	77,66
262	24,30	314	38,23	366	56,02	418	78,11
263	24,52	315	38,52	367	56,46	419	78,56
264	24,75	316	38,82	368	56,83	420	79,10
265	25,02	317	39,11	369	57,20	421	79,56
266	25,25	318	39,47	370	57,58	422	80,01
267	25,48	319	39,77	371	57,95	423	80,47
268	25,71	320	40,07	372	58,40	424	80,93
269	25,94	321	40,37	373	58,78	425	81,48
270	26,22	322	40,68	374	59,16	426	81,95
271	26,46	323	40,98	375	59,55	427	82,41
272	26,69	324	41,35	376	59,93	428	82,88
273	26,93	325	41,66	377	60,39	429	83,35
274	27,17	326	41,97	378	60,78	430	83,82
275	27,41	327	42,28	379	61,17	431	84,38
276	27,69	328	42,59	380	61,56	432	84,85
277	27,94	329	42,97	381	61,95	433	85,33
278	28,18	330	43,28	382	62,34	434	85,80
279	28,43	331	43,60	383	62,81	435	86,28
280	28,67	332	43,92	384	63,21	436	86,85
281	28,97	333	44,24	385	63,61	437	87,33
282	29,22	334	44,62	386	64,01	438	87,82
283	29,47	335	44,94	387	64,41	439	88,30

(COURBE D'ETALONNAGE)



21

B I B L I O G R A P H I E

- CARLIER R. (Hydraulique générale et appliquée)
Edition EYROLLES Année 1980
- COMOLET R. (Mécanique expérimentale des fluides) Tome I;II;III.
Edition MASSON Année 1979
- L. ESCANDE. (Compléments d'hydraulique) 2^{ème} partie
Edition DUNOD Année 1951
- LENCASTRE A. (Manuel d'hydraulique générale)
Edition EYROLLES Année 1979
- L. ESCANDE. La houille blanche N° spécial B-1959
Chap III Paragraphe II (Influence perturbatrice
des piles et des vannes.)
- B. GENTILINI. La houille blanche Mars Avril 1947
(Ecoulement sous les vannes de fond inclinées
ou à secteur)
- S. ALAM ET R. LONGUEMARE .
La houille blanche N° 3/4 1983
(Aménagement de Vieux-Pré
- A. LENCASTRE. La houille blanche N° 1-1985
(Etat des connaissances sur le dimensionnement
des évacuateurs de crue des barrages)
- J. DESTENAY ET J. BERNARD.
La houille blanche N° 2-3/ 1968
(Quelques exemples de dégradation des bétons par
cavitation dans des ouvrages hydrauliques)

