

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

6/86

وزارة التعليم والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

222

DEPARTEMENT GENIE HYDRAULIQUE

الدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة - الميكانيكية
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

SUJET

**ETUDE
DU
PARSHALL**

Proposé par :

Mr MOULOUDI

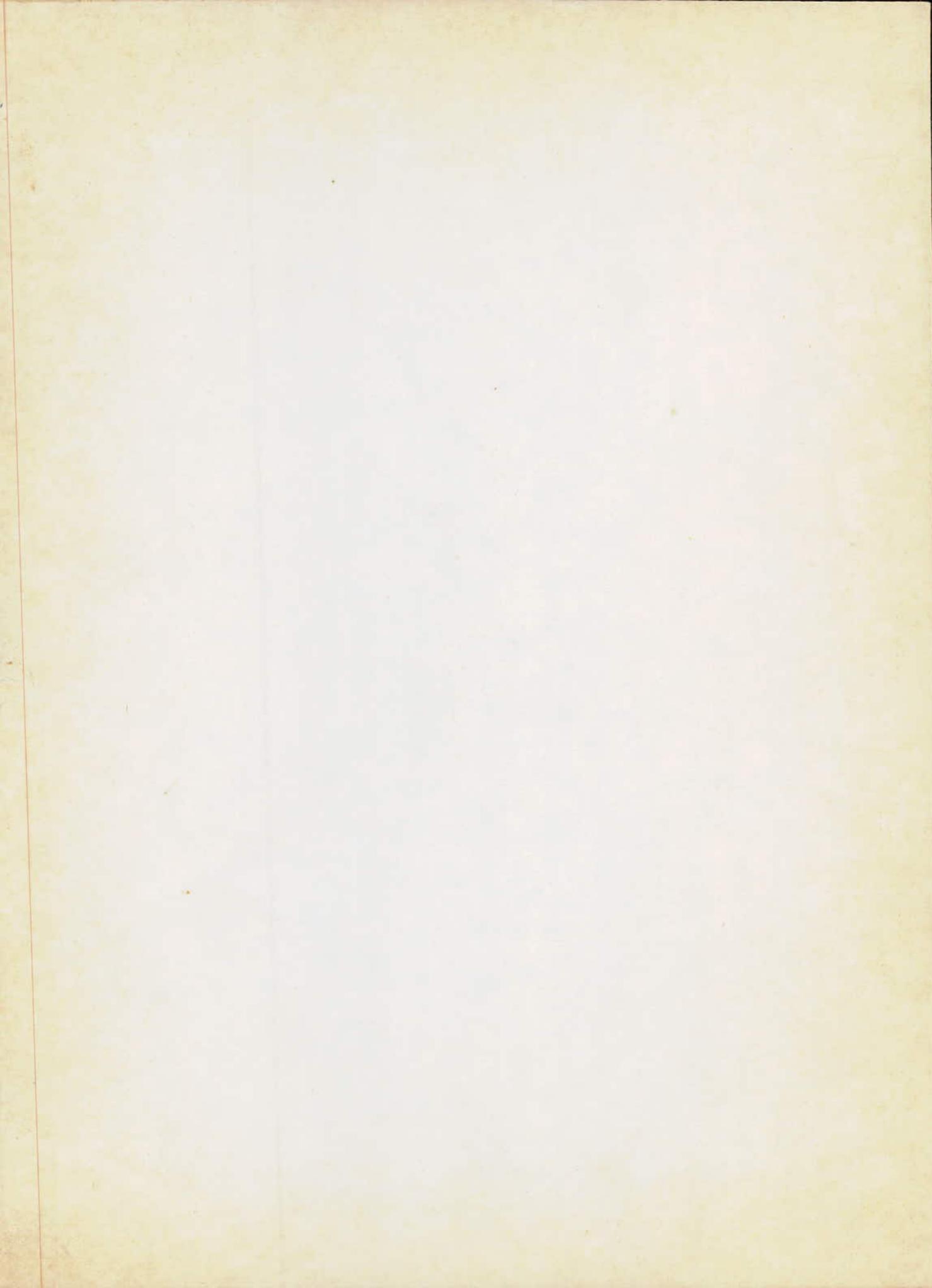
Etudié par :

BOUCHOUAREB A.
MERBAH B.

dirigé par :

Mr MOULOUDI

PROMOTION JANVIER 1986



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

«O»

وزارة التعليم والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

«O»

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

«O»

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

SUJET

**ETUDE
DU
PARSHALL**

Proposé par :

Mr MOULOUDI

Etudié par :

**BOUCHOUAREB A.
MERBAH B.**

dirigé par :

Mr MOULOUDI

PROMOTION JANVIER 1986

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

R E M E R C I E M E N T S
0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0

Ce travail n'aurait pu être mis en oeuvre sans l'intérêt bienveillant témoigné par le promoteur M.Y.MOULOUDI, maître assistant, a qui le mérite, et les remerciements sont inutiles à signaler .

On tient aussi à remercier cordialement le D^r.Ing , chef de département d'Hydraulique, et Professeur M.KETTAB.

Ainsi que le Professeur M.UTRYSKO, et les maîtres assistants M.BOUACHE.M ; M^{lle} ZERFA ; M.NAKIB.M.pour leur aide inestimable.

Que les Professeurs dont l'appui nous a été prodigué veuillent bien trouver ici, l'expression de notre entière gratitude .

Sans oublier les Dactylographes
M^{elle} SALIMA et M^{elle} LOUIZA .

- SOMMAIRE -

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

- I - INTRODUCTION
- II - DEBIT-METRES
 - Principe de mesure du débit
 - Déversoirs
 - Déversoir en mince paroi sans contraction latérale (Rectangulaire)
 - Déversoir en mince paroi avec contraction latérale
 - Déversoir triangulaire en mince paroi à contraction latérale
 - Déversoir en seuil épais à profil triangulaire
 - Seuil épais à profil Triangulaire " GRUMP "
 - CANAL VENTURI A FOND PLAT
 - CANAL DIEDRIQUE SANS SEUIL
 - CANAL DIEDRIQUE MENU D'UNSEUIL
 - SEUIL JAUGEUR
 - CONCLUSION
- III - LES CANAUX
 - III 1 - Ecoulement à surface libre
 - III 2 - Régime permanent et varié
 - III 3 - Energie spécifique et régime critique dans une section transversale.
 - III 4 - Caractéristique du réssaut
- IV - PARSHALL (HISTORIQUE)
 - IV 1 - Approche théorique sur le canal Venturi
 - IV 2 - Disposition pratique et formules usuelles
- V - Partie Expérimentale
 - V 1 - Régime dénoyé
 - Tableaux, Graphiques
 - Erreurs
 - Pertes de charge
 - V 2 - Régime noyé
 - Tbleaux, Graphiques
- VI - CONCLUSION
 - Bibliographie

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

Au cours de leur histoire, les hommes ont su concevoir, mettre au point et réaliser des systèmes et des dispositifs remarquablement efficaces pour fournir à une population, qui partout ne cessait d'augmenter l'eau nécessaire à ces besoins domestiques et Agricoles.

Les conditions physiques (topographiques hydrologiques et morphologiques) ont toujours obligé les hommes pour qu'il puissent s'établir et y produire assez de nourriture pour leur substance qu'ils se prémunissent contre les crues drainent et irriguent autrement dit mettent en place fassent fonctionner et entretienement de vastes reseaux très densés de levées de canaux de deversoirs de reservoirs et de dispositifs élévatoires. Du bon fonctionnement de tout ce système complexe dépendaient la survie de chaque paysan et de l'état lui même c'est ainsi que l'hydraulique et l'irrigation agricoles finirent par dominer tous les aspects de la vie rurale et urbaine.

L'importance respective des eaux de surface et des eaux souterraines illustré un p int crucial : la façon dont on conçoit l'eau de son utilisation, surtout en zone aride. Plus d'un comprend rarement toutes les conséquences qu'ont la rarete de l'eau et la nécessité de la conserve à long terme. pour lutter contre l'insuffisance et les aleas de l'approvisionnement.

Dans cette optique le contrôle exercé sur la consommation et l'emploi d'eau pour usages divers necessite l'établissement de courbes de débit des eaux; Les volumes d'eau sont mesurés à l'aide de débitmètres. l'objet de la présente étude est justement de déterminaires au laboratoire sur modele réduit les caractéristiques d'un débit-mètre venturi type parshall.

a) Notion des mesures des débits

Les mesures des débits présentent un intérêt pratique qu'il est inutile de souligner.

Les procédés de mesures des débits, parfois dit jaugeages sont nombreux mais ne sont pas applicables indifféremment dans tous les cas; suivant en effet, que l'écoulement est libre ou sous pression que le débit est faible ou important, suivant encore le degré de pression recherché, tel procédé doit choisir de préférence aux autres .

b) Rappel du principe de la mesure

Lorsqu'on d'un dispositif de mesure dans un canal de rejet où l'écoulement est à surface libre doit modifier la section de l'écoulement de façon à obtenir une évaluation ou une élévation du plan d'eau qui soit fonction du débit

La modification de la section de l'écoulement est telle que la relation entre la cote du plan d'eau et le dispositif soit binnivoque

c) Principaux types de dispositif

- Déversoir en mince paroi sans contraction latérale.
- Déversoir en mince paroi avec contraction latérale.
- Déversoir en mince paroi triangulaire
(30°, 45°, 60°, 90°)
- Seuil épais à profil triangulaire
- Eventuellement venturi à fond plat

* Détermination des critères qui permettent le choix d'un déversoir

Pour choisir le type et les dimensions du dispositif de mesure de débit, il convient de considérer les éléments suivants :

- 1 - Presence de matières décantables dans l'effluent,
- 2 - Presence de produits agressifs dans l'effluent
- 3 - Largeur maximum disponible du canal de rejet

DÉVERSOIR

Son principe consiste à mesurer la hauteur de la lame sur un déversoir triangulaire, rectangulaire, trapezoidal.

Le débit est une fonction univoque de la hauteur de lame. Ce type d'organe nécessite une chute de niveau plus importante que les appareils précédents bien que très précis en eau propre il est à éviter pour les mesures permanentes sous surveillance en eaux très chargées en raisons d'accumulation à l'amont.

Le déversoir est constitué par exemple par une tôle mince encastrée verticalement dans un massif en maçonnerie perpendiculaire à l'axe du courant.

La partie supérieure de la tôle biseautée de manière à former une arête vive doit être vigoureusement horizontale; un orifice d'aération percé dans chaque paroi permet la libre circulation de l'air sous nappe. Il est nécessaire que la longueur "L" du seuil soit égale, au moins à quatre fois la charge "h" laquelle ne doit descendre au dessous de 0,10m.

L'ouvrage doit être soustrait à toute action perturbatrice qui provoquerait des oscillations de la nappe dans ces conditions, il pourra être donné au coefficient m de la formule.

$$Q = m.l.h \sqrt{2gh} \quad (\text{BAZIN})$$

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{P+h} \right)^2 \right]$$

Si le déversoir était constitué par une échancrure de la tôle, les joues latérales sont verticales, biseautées. Il y'aurait alors une contraction latérale et la valeur de "m" sera calculée par la formule de HEGLY

$$m = \left\{ 0,45 - 0,03 \frac{L-1}{L} + \frac{0,0027}{h} \right\} \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{L} \right)^2 \left(\frac{h}{P+h} \right)^2 \right]$$

Le déversoir sans contraction est préférable car le mouvement de l'eau s'y effectue d'une manière plus régulière et plus stable.

Mesure.

l et P (profondeur) étant données.

pour "h" on mesure cette hauteur à chaque essai ; elle doit avoir lieu en amont du seuil à une distance égale à 5h. On préfère la hauteur "h" au niveau du seuil (Zéro).

On remplacera cette valeur dans la formule donnée plus haut pour le débit "Q" précision de cette mesure de l'ordre de 1% à 2% .

I - DEVERSOIR RECTANGULAIRE EN MINCE PAROI SANS CONTRACTION LATÉRALE

Pour un canal dont la lame d'eau est correctement aérée, le débit peut être calculé en fonction de la hauteur de charge à l'aide de la relation de KINDSVATER-KARTER (1959).

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \text{ ce } (B - 0,001) (h + 0,001)^{3/2}$$

Les cotes sont en mètres, les débits seront en m³/ seconde.

B : largeur du canal

h : hauteur de charge

g : accélération due à la pesanteur

p : hauteur de pelle

ce : coefficient de débit est par la formule:

$$\text{ce} = 0,602 + 0,075 \frac{h}{p}$$

Il est commandé, pour que la mesure soit variable, que la hauteur de pelle soit supérieure à 0,10m, que la hauteur de charge minimum h soit supérieure à 0,08m que le rapport $\frac{h}{p}$ soit inférieur à 2,5 .

II - DEVERSOIR RECTANGULAIRE EN MINCE PAROI AVEC CONTRACTION LATÉRALE

Le débit est en m³ / seconde en fonction des données suivantes mesurées en mètres:

ce: coefficient de débit

b : longueur de l'arête du déversoir

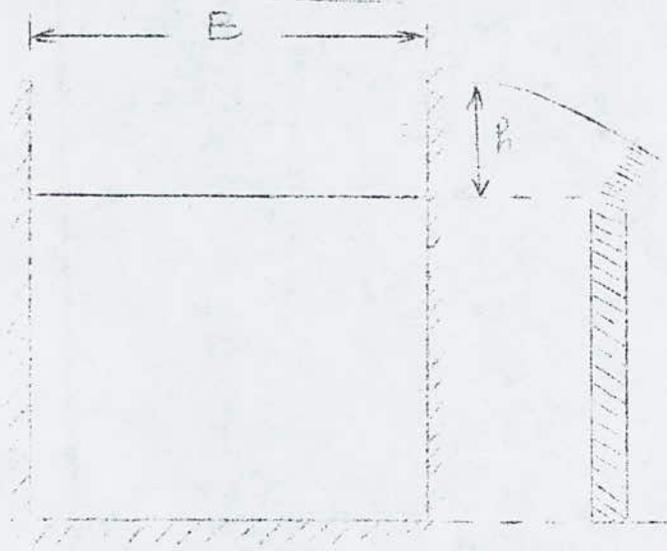
g : accélération due à la pesanteur

h : hauteur sur le déversoir

B : largeur du canal

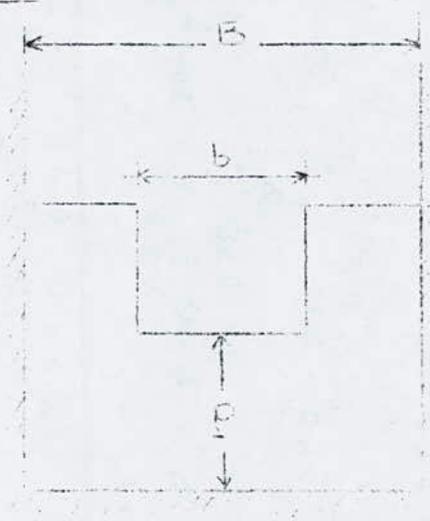
p : hauteur de pelle

DEVERSOIR RECTANGULAIRE EN MINCE PAROI, SANS CONTRACTION LATÉRALE.



B : étant la largeur du canal
 P : étant la hauteur du plan d'eau

DEVERSOIR RECTANGULAIRE EN MINCE PAROI A CONTRACTION LATÉRALE



B : la largeur du canal
 b : la largeur du déversoir
 P : la hauteur de pelle

$$Q = 2 \sqrt{2g} \text{ ce } (b - 0,001) (h + 0,001)^{3/2}$$

Avec :

$$\text{ce} = 0,598 + 0,064 \frac{h}{p} = 0,9$$

$$\text{ce} = 0,594 + 0,045 \frac{h}{p} \text{ pour } \frac{b}{B} = 0,8$$

$$\text{ce} = 0,594 + 0,030 \frac{h}{p} \text{ pour } \frac{b}{B} = 0,7$$

$$\text{ce} = 0,593 + 0,018 \frac{h}{p} \text{ pour } \frac{b}{B} = 0,6$$

$$\text{ce} = 0,591 + 0,0058 \frac{h}{p} \text{ pour } \frac{b}{B} = 0,4$$

$$\text{ce} = 0,588 + 0,0018 \frac{h}{p} \text{ pour } \frac{b}{B} = 0,2$$

$$\text{ce} = 0,587 + 0,0023 \frac{h}{p} \text{ pour } \frac{b}{B} = 0$$

Limites d'emploi de cette formule

$$h > 0,08 \text{ m}$$

$$b > 0,15 \text{ m}$$

$$p > 0,10 \text{ m}$$

$$\frac{h}{p} < 2,5$$

$$\frac{1}{2} (B - b) > 0,10 \text{ m}$$

III - DEVERSOIR TRIANGULAIRE EN MINCE PAROI A CONTRACTION LATÉRALE

Ils sont utilisées pour le calcul des faibles débits. la formule de cone (USA 1916) qui ne tien pas compte de la hauteur de pelle et de la largeur du canal repose toutefois sur une très large base expérimentale

$$Q = 0,3065 \text{ tg } \frac{\alpha}{2} h^{5/2} \sqrt{2g} + 0,0031 h^{5/2} 2g) (3,28) \frac{0,0195}{0,75 \text{ tg } \frac{\alpha}{2}}$$

dans laquelle :

h : charge sur la crête du déversoir

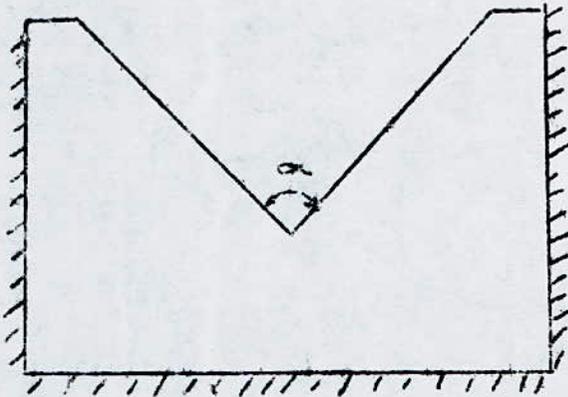
g : accélération due à la pesanteur

α : angle d'ouverture du déversoir

Les trois courbes de tarage suivantes résultent de l'application de cette formule avec des déversoirs dont les angles d'ouverture sont respectivement 30° 60° et 90°

Pour effectuer des calculs plus rapides il est possible d'utiliser la formule de COME simplifiée valable avec une bonne précision pour les déversoirs à 90° .

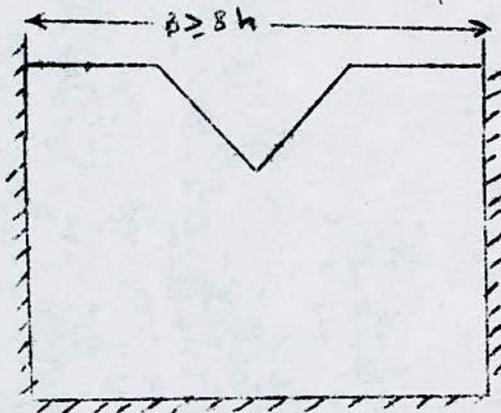
$$Q = 0.303 h - 0.02 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} h^{5/2}$$



On emploie également pour le calcul des faibles débits, le déversoir "THOMSON" (fig. ci-dessous).

Pour 90° le débit s'exprime par :

$$Q = 1.315 h^2 \sqrt{2gh}$$



Tous les appareils indiqués permettent donc de déterminer le débit véhiculé par un canal ouvert, par simple mesure limnimétrique de plan d'eau amont; Ils présentent cependant un grand nombre d'inconvénients, en plus des tolérances qu'ils doivent respecter et dont les plus importants sont les suivants

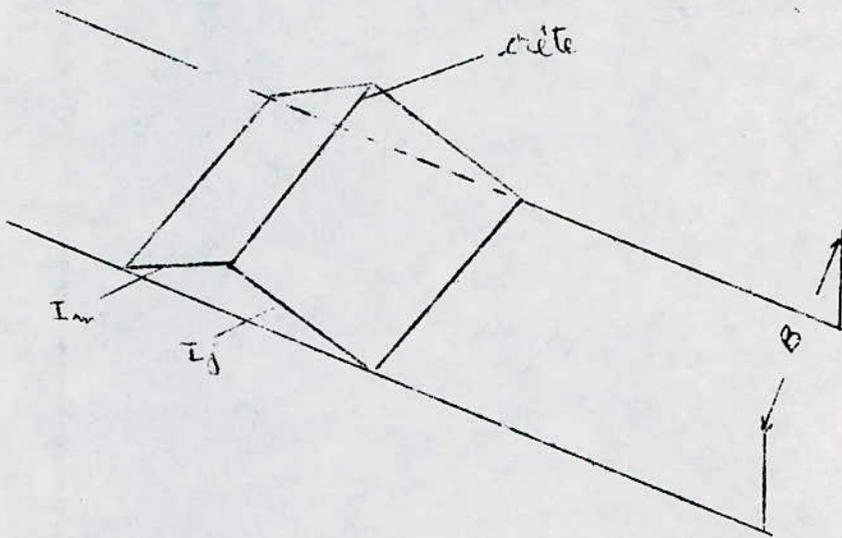
* La paroi verticale placée en travers de l'écoulement constitue un obstacle devant lequel des dépôts solides, parfois importants s'accumulent et faussent inévitablement la mesure limnimétrique, par conséquent celle du débit; le canal doit être nettoyé périodiquement.

* Le libre déversement de l'écoulement a pour conséquence la perte de la totalité de la charge, à l'aval de l'appareil, ce qui est **indésirable** pour l'irrigation des zones de faible pente

* l'utilisation d'une section rectangulaire a pour effet que la précision obtenue dans la détermination du débit n'est plus fonction de la précision obtenue dans la mesure du tirant d'eau "h"; en effet l'absence d'une similitude géométrique dans la section rectangulaire fait que cette précision dépend du rapport (B/h) ou (b/h) une bonne précision n'est obtenue que pour les forts débits.

Deversoir en seuil épais à profil triangulaire

Il s'agit d'un **deversoir** créant une contraction verticale de l'écoulement par une surélévation du fond du canal appelé " seuil épais " l'eau s'étend sur toute la largeur du canal et resté en contact avec le seuil sur une certaine longueur.



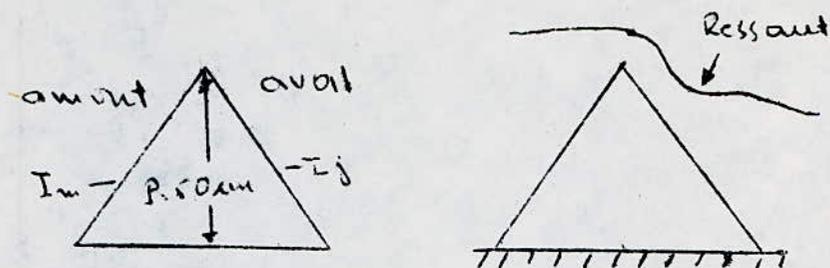
caracteristiques du canal situé à l'amont du dispositif

Si " B " est la largeur du canal sur une longueur d'au moins " $10 B$ "

- Le canal doit être rectiligne
- la section doit être rectangulaire et constante
- sa pente doit être inférieure à 2 ‰
- ses parois doivent être lisses

Caractéristique de l'appareil

Seuil épais à profil triangulaire type "BAZIN"



- hauteur de pelle cm on admet une tolérance de 2cm
- si I_m et I_j sont respectivement les pentes des parements amont et aval du seuil, le bon fonctionnement de l'appareil est conditionné par les quatre combinaisons suivantes :

| | |
|-------|-------|
| I_m | I/j |
| I/I | I/I |
| I/I | $I/2$ |
| I/I | $I/3$ |
| $I/2$ | $I/2$ |

la tolérance sur les pentes est 0,2%

Le débit passant par l'appareil est calculé par l'expression

$$Q = m B \sqrt{2g} h^{3/2} \quad \text{ou}$$

m = coefficient du débit

B = largeur du canal (et de l'arête)

h = hauteur du plan d'eau mesurée

à au moins $2,5 h$ à l'amont

la formule peut s'écrire aussi

$$Q = K B h^{3/2} \quad \text{ou}$$

$$K = m \sqrt{2g}$$

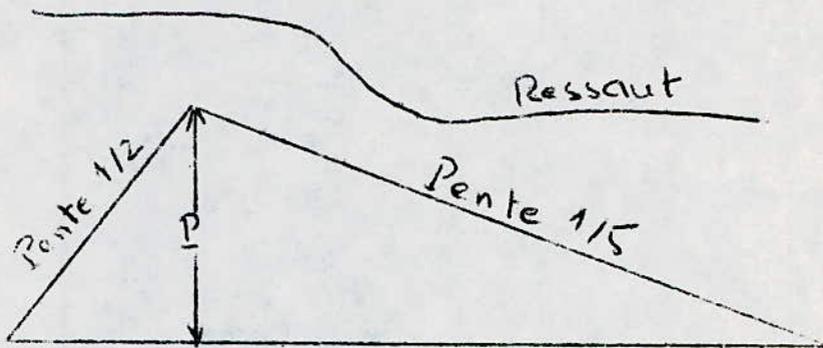
les valeurs de "K" sont dans le tableau suivant

| h (cm) | $I_m = I/I$ $I_j = I/I$ | $I_m = I/I$ $I_j = I/2$ | $I_m = I/2$ $I_j = 1/3$ | $I_m = I/2$ $I_j = I/2$ |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 6 | 0,0211 | 0,0211 | 0,0211 | 0,0211 |
| 9 | 0,0235 | 0,0210 | 0,0192 | 0,0213 |
| 12 | 0,0228 | 0,0208 | 0,0194 | 0,0211 |
| 15 | 0,0227 | 0,0208 | 0,0192 | 0,0212 |
| 18 | 0,0227 | 0,0209 | 0,0191 | 0,0212 |
| 21 | 0,0227 | 0,0211 | 0,0190 | 0,0211 |
| 24 | 0,0226 | 0,0212 | 0,0191 | 0,0213 |
| 27 | 0,0226 | 0,0213 | 0,0192 | 0,0213 |
| 30 | 0,0226 | 0,0213 | 0,0192 | 0,0213 |
| 36 | 0,0217 | 0,0213 | 0,0192 | 0,0213 |
| 45 | 0,0207 | 0,0212 | 0,0191 | 0,0213 |

Seuil épais à profil triangulaire " crump

Les résultats d'étalonnage de ce type de seuil, que nous donnons ici proviennent d'une publication de l'hydraulic RESEARCH STATION OF LINGFORD

La forme du seuil est représentée par la figure ci-dessous



Les limites d'utilisation de l'appareil sont :

- charge max h/p 3
- charge min : h 8 cm

La formule d'étalonnage obtenue est la suivante :

$$Q = c_e \cdot c_v \cdot g \cdot b \cdot h^{3/2} \quad \text{où :}$$

Q = débit

c_e = coefficient sous dimensions égal à 0,62

c_v = coefficient de vitesse fonction de b, B, h, p

b = largeur de la crête de deversoir

B = largeur du canal

g : accélération de l'opésanteur

h : hauteur du plan d'eau, mesurée entre 3 et 4 h max à l'amont de la crête

forme simplifiée de l'expression

$$Q = K b h^{3/2} \quad \text{où}$$

$$K = C_{\text{e}} C_{\text{v}} g$$

Les déversions en seuil épais à profil triangulaire permettent donc la mesure du débit passant par un canal rectangulaire par simple lecture limnimétrique du plan d'eau amont situé au dessus de la crête; ils permettent également d'opérer avec un minimum de perte de charge, par rapport aux déversoirs simples, grace à l'existence d'un ressaut qui relève le plan d'eau aval; mais le seuil constitué cependant un obstacle, devant lequel s'accumulent les dépôts solides.

ces appareils ne peuvent être utilisés que pour des canaux rectangulaires à paraments lisses et plats,

Ils proeshtent aussi l'inconvénient de n'avoir été établis que pour des seuils épais ayant une hauteur d'environ 50 cm, hauteur aui est en général trop grande pour être adaptée à des canaux déjà existants dans les usines.

Le débit donné par le seuil épais à profil triangulaire "type BAZIN " est fonction d'un coefficient "K" qui n'est valable que dans le cas où la lame d'eau déversante est odhérente au seuil; l'existence d'une poche de séparation entre la lame et le seuil est d'ailleurs difficile à détecter sur un écoulement d'eau troublé.

IV - CANAL VENTURE A FOND PLAT

La formule développée est :

$$Q = \frac{2}{3} g^{3/2} \cdot c_e \cdot c_v \cdot b \cdot h^{3/2}$$

Dans un système d'unités cohérent

- Q est le débit
- g l'accélérateur de la pesanteur
- c_e est un coefficient de débit qui dépend des pertes dues aux frottements et à la turbulence ; c_e = f (h, b, l)
- c_v est un coefficient de débit qui dépend de la vitesse dans le canal amont ; c_v = f (b, B)
- b est la largeur de la section contractée
- h est la charge mesurée entre 3 et 4h maxi en amont de la contraction.

Afin de simplifier le calcul des valeurs du débit permettant de tracer la courbe Q = f (h) nous écrivons la formule sous la forme :

$$Q = k c_e \cdot c_v \cdot b \cdot h^{3/2}$$

- Q débit en I/s
- k c_e = $\frac{2}{3} g^{3/2} \cdot$ = fonction de $\frac{l}{b}$ et $\frac{h}{l}$

Bien que les valeurs de c_e aient été déterminées pour les valeurs de l comprises entre 0,2 nous pensons que la valeur $\frac{l}{b} = 2$ qui est adoptée par certains fabricants de seuils préfabriqués est la plus utile.

Sur le graphique N°1 de la page 7 nous donnons néanmoins les valeurs de k c_e pour $\frac{l}{b}$ 0; 2; 3; 4; 5.

Lors du projet de calcul d'un seuil; on ne devra pas oublier que la longueur de la section contractée l doit être supérieure ou égale à 1,5h maxi sinon il peut se produire des pertes de charge plus grandes donc une surestimation du débit.

Canal diédrique sans seuil

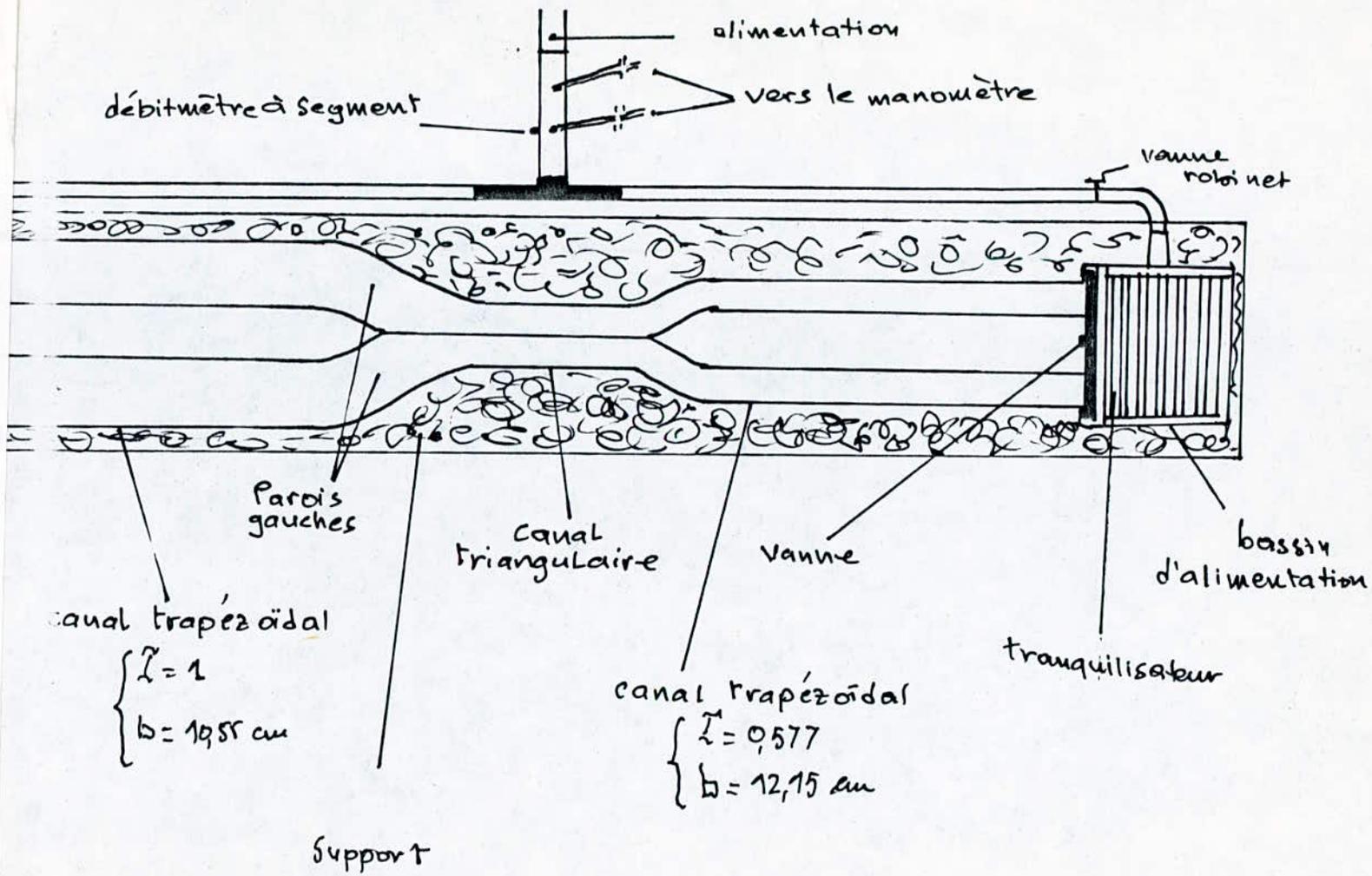
Le débit est déterminé par la mesure limnimétrique de la profondeur " h " à l'entrée de l'appareil .

Expression du débit

$$Q = \frac{\sqrt{g/2} \cdot L_2}{h_1^{5/2} \cdot b/B} h_1^{5/2}$$

L_2 , b/B , et h_1 sont entièrement déterminés puisqu'ils ne dépendent que caractéristiques géométriques de l'appareil .

Les essais effectués ont confirmé l'efficacité et la fiabilité du débitmètre pour une très large gamme de débits. De plus, sa géométrie et l'uniformité de son fond lui confèrent l'avantage d'évacuer les dépôts solides qui s'accumuleraient .



Débitmètre sous seuil

vue en plan

Canal diédrique muni d'un seuil :

L'expression du débit est :

$$Q = \mu \cdot \operatorname{tg} \varphi / 2 \cdot h^{5/2}$$

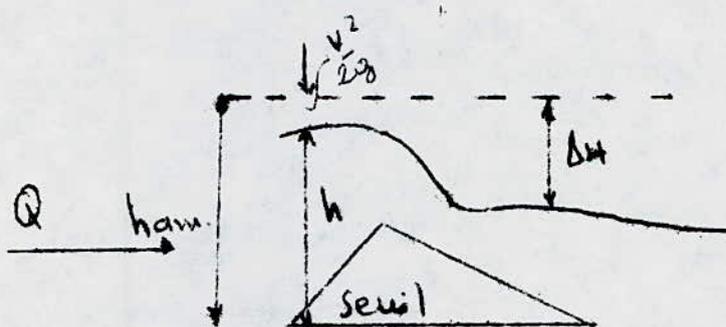
$$\text{où } \mu = \left(\frac{1 + \varepsilon}{0,91} \right)^{5/2}$$

avec ε qui dépend de
cette valeur de ε est tirée graphiquement

$$\text{avec } \varepsilon = \frac{A \cdot I}{h^2 \operatorname{tg} 1/2}$$

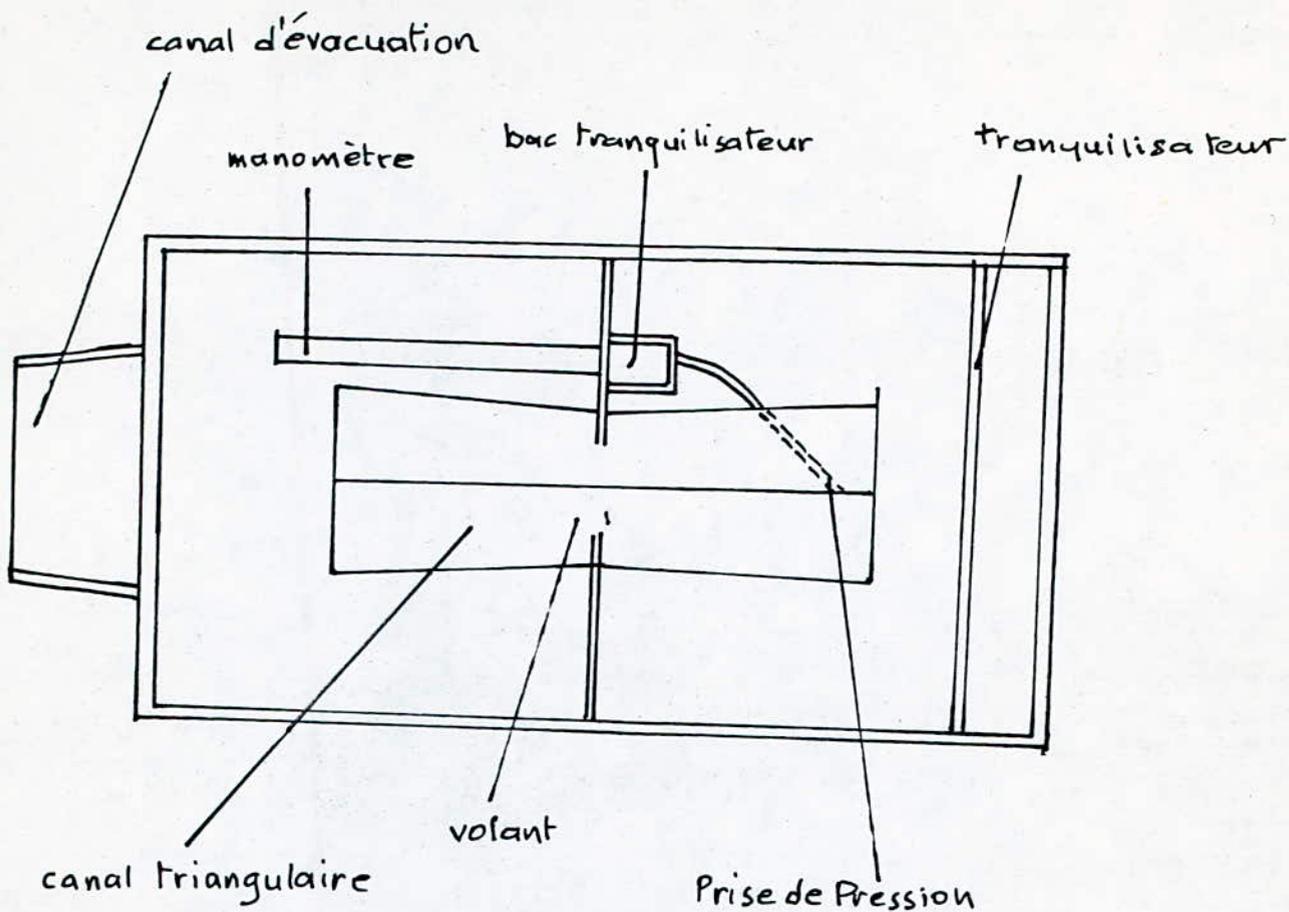
A section choisi de façon que la perte de charge entre celui-ci et l'entrée du canal triangulaire soit négligeable

h : hauteur du tirau d'eau située en amont de la section rétrécié.

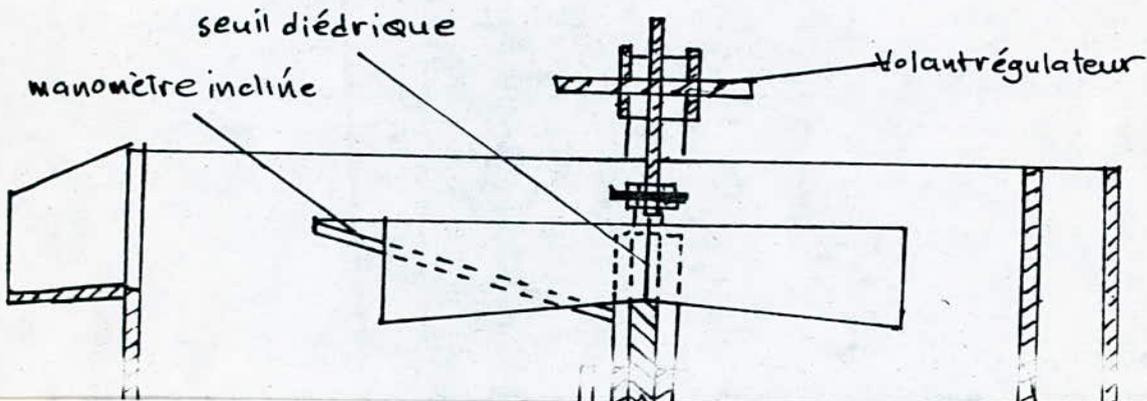


Le débit est mesuré par le limnimètre à la profondeur " h " de déversement à l'amont.

* Ce débit-mètre doit être muni d'un dispositif de surélévation du seuil, conditionnant le bon fonctionnement de l'appareil pour les valeurs élevées du débit; ceci constitue un inconvénient d'ordre pratique qui est supprimé dans le cas du débit-mètre diédrique sans seuil pour ce débit-mètre on récupère 94% de la charge initiale.



debitmètre à seuil : vue en plan



SEUIL JAUGEUR

Le seuil jaugeur convient parfaitement aux écoulements relativement larges et peu profondes à très faible perte de niveau.

Il est utilisé de préférence

- lorsque la pente de canal est faible ou elle n'existe pas il provoque une faible de perte de niveau entre l'amont et l'aval.

- puisqu'il ne provoque qu'une faible surélévation du niveau à l'amont par rapport à un écoulement libre.

- car il ne crée que peu ou pas de retention la mise en vitesse au droit de l'étranglement permet un autonétoyage de la plupart des matériaux

- parcequ'il ne nécessite pas d'aération de lame deversante.

La société générale de construction électriques et mécanique Alsthom-division Neypric est à même de fournir de seuils jaugeurs permettant de connaître les débits des canaux ou petits cours d'eau en fonction de la seule mesure du niveau amont.

La relation reliant le débit Q à l'épaisseur de la lame F est de la forme générale.

$$Q = m e \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

Avec :

- m; coefficient de débit ;
- l; largeur du canal ou du cours d'eau;
- g; accélération de la pesanteur.

La mesure de H s'effectue au moyen d'un appareillage de prise de pression



- seuil Neypric -

Les seuils peuvent être:

- en matière plastique
- métalliques
- en maçonnerie de béton à réaliser sur place à l'aide de gabarits métalliques.

CARACTERISTIQUES :

Canal amont $\leq 0,5 \%$

Longueur $c \geq 5$ l à 10 l

Profondeur $B = p + E \text{ max } = 2,8 p.$

à l'aval pas d'aménagement special; pourvu que la condition de perte de niveau soit respectée

soit ; $\Delta H \geq 0,4 E$

- variation du niveau : $H \text{ max } = 1,4 p$

- précision 1,5% si $c \geq 10$ l et 2,5 %

si $c \geq 5$ l

- fonction du débit : $Q = K H^{1,5}$

* La gamme de débits mesurables s'étend de 9 à 547 m³/h pour des appareils préfabriqués et de 75 à 7117 m³/h (par mètre de largeur) pour les appareils maçonnés

Conclusion

Nous venons donc de passer en revue, les différents types d'appareils utilisés pour la mesure du débit dans les canaux ouverts; ils présentent tous une loi " hauteur - débit " unique hauteur mesurée à l'amont de l'ouvrage considéré. Certains d'entre- eux occasionnent une plus faible perte de charge mais qui cependant au- dessus de la valeur désirée

l'expression du débit est en général complexe, suite à l'introduction de facteurs correctifs résultant parfois de phénomènes secondaires indésirables, tels la turbulence, l'apparition de zone d'eau morte que ces ouvrages occasionnent.

Ces appareils sont, pour la plupart, constitués d'une section rectangulaire ou une bonne précision n'est obtenue que pour les forts débits et sont de plus dotés de seuils devant lesquels les dépôts solides s'accumulent.

Les CANAUX

Les canaux de couverts mériteraient une étude spéciale beaucoup plus largement développée qu'elle l'est d'ordinaire .

Le problème du mouvement d'un liquide dans les canaux à ciel ouvert est en effet beaucoup plus complexe que celui de l'écoulement à l'intérieur des systèmes en charge.

Si dans une conduite la section occupée par le courant est parfaitement définie, en tous points, par les dimensions de l'ouvrage, inconnue a priori, et dont le calcul dans divers circonstances d'un mouvement varie devient parfois particulièrement délicat. Cette déformation de la surface libre peut d'ailleurs donner naissance à des phénomènes tels que le ressaut ou la chute brusque dont on ne trouve pas l'équivalent dans les conduites.

On appelle coud un conduit allongé dans lequel l'eau circule en présentant une surface libre (surface en contact avec l'atmosphère).

Un coud est découvert lorsque ses parois ne se rejoignent pas au dessus du liquide. Il en est ainsi pour les canaux artificiels construits au ras du sol et pour les cours d'eau naturels nous dirons qu'un canal est uniforme lorsque son lit est cylindrique et conserve même nature physique d'une section à l'autre. Dans ce cas, direction section transversale pente longitudinale et rugosité du lit gardent une même valeur le long de l'ouvrage toute modification subie par l'un des paramètres consiste et rend le coud non uniforme.

La plupart des canaux artificiels sont pratiquement uniformes au moins sur la majeure partie de leur tracé.

Il y'a eu trait essentiel dans ce domaine: c'est la déformabilité de la surface libre le tracé d'un canal de surface est étroitement lié à la topographie du terrain; sa longueur est ainsi généralement supérieure à celle de la charge assurant le même service.

Les problèmes posés par les canaux découverts sont extrêmement divers et il est difficile de les englober dans une formule unique, l'un des plus fréquents est le choix du tracé et de la section d'un canal destiné à conduire de la manière la plus économique,

COULEMENTS A SURFACE LIBRE

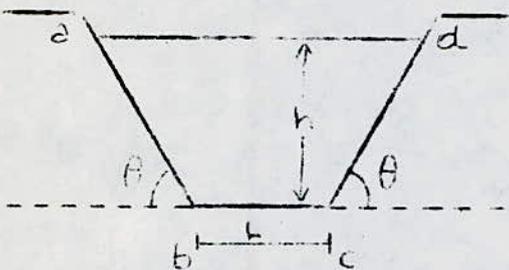
Ces écoulements présentent par définitions la particularité de comporter une surface libre en contact avec l'air, généralement soumise à la pression atmosphérique et dont la forme peut varier, ce qui implique une variation possible de la forme et des dimensions de la section transversale de la masse liquide .

Nous nous limiterons aux écoulements en régime permanent.

A/ Régime permanent et uniforme :

1/ Equations fondamentales

* Soit une conduite libre, en régime permanent; on prend le cas d'un canal trapézoïdal dont le profil est défini par la largeur au plafond " L " et l'inclinaison des parois latérales " " par hypothèse, la pente $I = tg$ du canal sur la figure (II) est constante ainsi que



" L " et " θ "

si un tel canal est alimenté à son origine par un débit " " constant

Figure la ligne d'eau s'établit parallèlement au fond et le tirant d'eau " h " est le même dans toutes les sections . Celles-ci ont donc une même aire " W " ainsi que la même vitesse $U = Q/W$ le mouvement se reproduit identiquement dans toutes les sections: c'est le REGIME PERMANENT ET UNIFORME

A/ Régime permanent et graduellement varié . Equation fondamentale:

Le régime est permanent et graduellement varié lorsque, le débit étant constant, la vitesse moyenne au lieu d'être la même de toutes les sections, comme dans le régime uniforme, varie d'une manière graduelle d'une section à une autre. La pente du fond et celle de la surface libre ne sont pas les mêmes mais elles diffèrent assez peu, et les vitesses des particules sont sensiblement parallèles au fond du lit, nous avons pour but d'établir l'équation générale de ce régime.

Considérons la figure

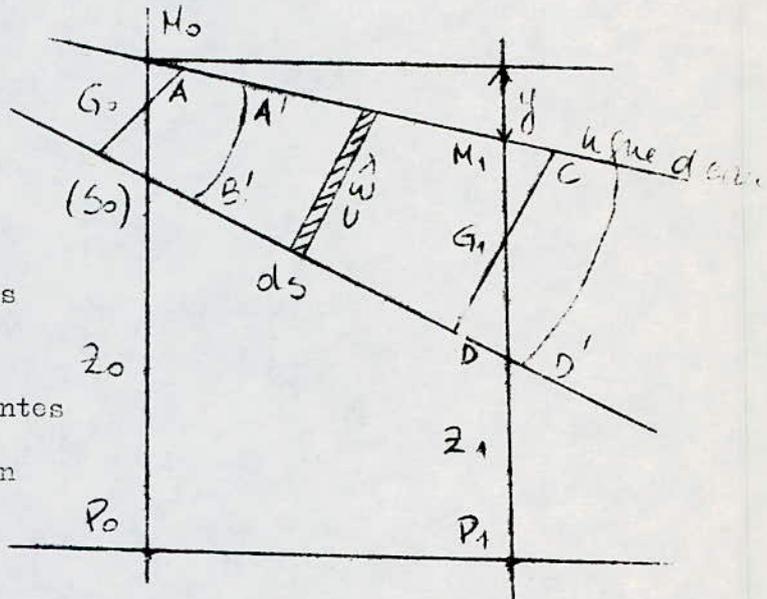
ou (S_0) et (S_1) sont les
oboeisses/origine
des deux sections AB et CD

α_1 et α_2 : coef d'inégalité des
vitesses les sections d'oboeisses
 (S_0) et (S_1)

W_0 et W_1 les sections correspondantes

λ : périmètre mouillé de la section
de surface W

et "b" extrait de : $\phi(u) = b u^2$



D'après le théorème de l'énergie cinétique à une tranche liquide ABCD qui pendant dt vient en A' B' C' D' que

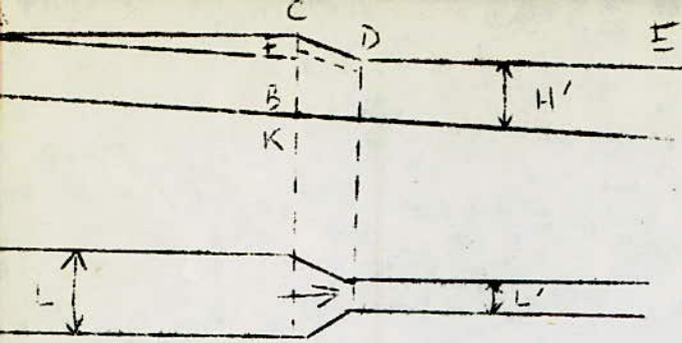
$$y = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{\alpha_1}{W^2} - \frac{\alpha_0}{W_0^2} \right) + Q^2 \int_{s_0}^{s_1} b \cdot \frac{\lambda}{W^3} \cdot ds \quad (1)$$

Cette équation définit la ligne d'eau correspondant au débit " Q ", puisqu'elle donne la dénivellation " y " de deux puits quelconques M_0 et M_1 de cette ligne

B / Application de la formule à rétrécissement de la section d'un canal
soit un canal rectangulaire : en vertu de l'équation $wu = w'u'$
(permanence du régime)

On a : $u' > u$ puisque $w' < w$: $H < H'$

H et H' : tirant d'eau correspondant au débit " Q " dans les deux tronçons.



Le profil de la ligne d'eau est (AC DE) la partie (DE) est // à la ligne de fond OS. Entre C et D, le retrecissement de la section provoque un gonflement des eaux d'ou résulte une surélévation du niveau égale à FC.

Enfin ce gonflement des eaux engendre un remous d'exhaussement dont la ligne (AC) se raccorde asymptotiquement avec la droite du régime uniforme pour calculer (FC) appliquons entre les sections C et D la formule ①

$$y = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2} \right) + Q^2 \int_{y_1}^{y_2} \frac{1}{W^3} dW$$

on prendra $1 = 0 \Rightarrow \alpha$

et b est : alors:

$$y = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2} \right) + b Q^2$$

On neglige le second terme qui provient de la résistance du canal qui est peu importante (CD très petit)

$$y = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{v_1^2} - \frac{1}{v_2^2} \right)$$

avec :

$$y = FC$$

$$W_1 = L' K'$$

$$W_0 = L (E' + Y)$$

Alors

$$y = \frac{Q^2}{2g} \left[\frac{1}{L'^2 H'^2} - \frac{1}{L^2 (H' + y)^2} \right]$$

on calcul y : connaissant : Q, L, L', E, H'

Energie spécifique et régime critique dans une section

transversale.

Deux notions jouent un rôle fondamental dans l'étude des écoulements variés en canal à surface libre : celle d'énergie spécifique et celle de régime critique . Ces deux derniers permettent en effet de classer les types de mouvements liquides, d'analyser leur mécanisme et de prédéterminer l'allure générale de la ligne d'eau et la ligne d'énergie.

Energie spécifique:

L'énergie spécifique dans une section mouillée de forme quelconque est la valeur moyenne de l'énergie des particules de cette section par unité de poids de liquide rapportée à l'axe horizontale passant par le point le plus bas de celle-ci . Cette énergie est donc la charge du liquide, que l'on réfère à un axe horizontal dont la cote varie d'une section à une autre.

Nous designons par la lettre E, l'énergie spécifique ou interne, comme la charge sera exprimée en hauteur de liquide; elle répond la relation suivante.

$$E = h \cos \theta + \frac{v^2}{2g}$$

Dans laquelle h est la profondeur maximum de la section mouillée θ l'angle du fond du canal avec l'horizontale. Si la pente du canal est faible on écrira parfaitement

$$E = h + \frac{v^2}{2g}$$

Profondeur critique régime critique -

Eléments critiques

La valeur h_c est la profondeur correspondant aux deux aspects suivants :

- a - le débit est maximum pour une énergie spécifique donnée
- b - l'énergie spécifique est minimum pour un débit donné .

Pour cette profondeur; on dit que l'on a le régime critique; la surface libre occupe le niveau critique, que l'on désignera par le symbole N_c . D'une manière générale, on appelle éléments critiques des **éléments** géométriques de la section

(r; s; p;) pour la profondeur h_c , ainsi que ceux qui en découlent directement (b; c; ...).

critique

Au régime la différentielle de l'énergie spécifique est nulle, puisque cette énergie est minimum. Différentiant donc l'équation 3, il vient donc :

$$dE = dh + d \frac{v^2}{2g} = 0$$

Ce qui montre qu'au voisinage du niveau critique la variation d'énergie cinétique égale en valeur absolue la variation de profondeur.

Pour une section de forme quelconque; on a un régime critique et E est minimum Q étant constant l'équation de l'énergie est donc :

$$E = h + \frac{Q^2}{S^3 2g}$$

donne immédiatement en remarquant que S est une fonction de h telle que

$$ds = l dh \quad (\text{fig. B})$$

$$\frac{\partial E}{\partial h} = 1 - \frac{2 Q^2}{2g S^3} \frac{\partial S}{\partial h} = 0$$

d'où l'on tire la relation fondamentale du régime critique pour une section quelconque :

$$\frac{\partial E}{\partial h} = 0 \Rightarrow 1 - \frac{2 Q^2}{2g S^3} \frac{\partial S}{\partial h} = 0$$

$$\Rightarrow 1 = \frac{Q^2}{g S^3} \frac{\partial S}{\partial h}$$

$$\Rightarrow 1 = \frac{Q^2}{g S^3} \frac{\partial S}{\partial h}$$

et comme $S = l h$

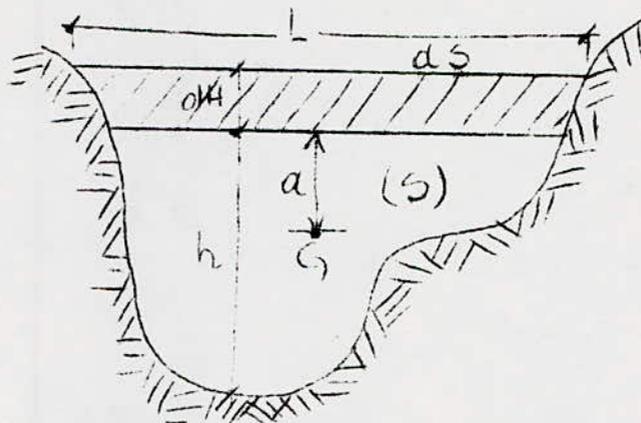
$$\frac{\partial S}{\partial h} = l \frac{\partial h}{\partial h} \frac{\partial S}{\partial h} = l$$

ce qui donne :

$$1 - \frac{Q^2}{g S^3} \cdot l \frac{\partial S}{\partial h} = 0 \Rightarrow \frac{Q^2}{g S^3} \cdot l = 1 \quad (4)$$

les valeurs s et l s'expriment ici en fonction de la profondeur critique h_c (élément critique) de telle sorte que l'expression (4) relie la profondeur critique au débit considéré.

Dans un canal de forme donnée la profondeur critique est donc entièrement déterminée à partir du débit; en d'autres termes, la profondeur critique n'y dépend que du débit.



si l'on introduit dans la relation (4) la profondeur moyenne; il vient :

$$h_m s^2 = \frac{v_c^2}{g} s^2 \quad \text{comme } Q = V.S \text{ et } s = l.h_m$$

ce qui donne la profondeur moyenne critique en fonction de la vitesse critique

$$h_{mc} = \frac{v_c^2}{g}$$

Cette dernière expression montre qu'au régime critique l'énergie cinétique égale à la moitié de la profondeur moyenne.

Dans ces conditions l'énergie spécifique critique prend d'après la formule suivante :

$$E_c = h_c + \frac{h_{mc}}{2}$$

Pour le cas général d'un canal de forme quelconque.

Enfin la profondeur moyenne critique h_{mc} s'obtiendrait aisément à partir de l'équation :

$$h_{mc}^3 = \frac{Q^2}{g l_c^2} \quad (5) \quad \text{qui n'est autre que}$$

$$\frac{h_{mc}^3}{l_c} = \frac{Q^2}{g} S^2 h_{mc} = \frac{Q^2}{g}$$

$$S^2 \cdot h_{mc} = \frac{V^2}{g^2} \quad \text{ce qu'on avait vu précédemment}$$

avec l_c largeur superficielle correspondant à la profondeur $h = h_c$
 (élément critique canal rectangulaire:

En canal rectangulaire de largeur L on a :

$$s = 1 \quad h = h_c$$

Les relations 3 et 4 donnent en y introduisant le débit unitaire (m^2/s)

$$h_c^3 = \frac{Q^2}{g} \quad \text{comme } Q = \frac{1}{1}$$

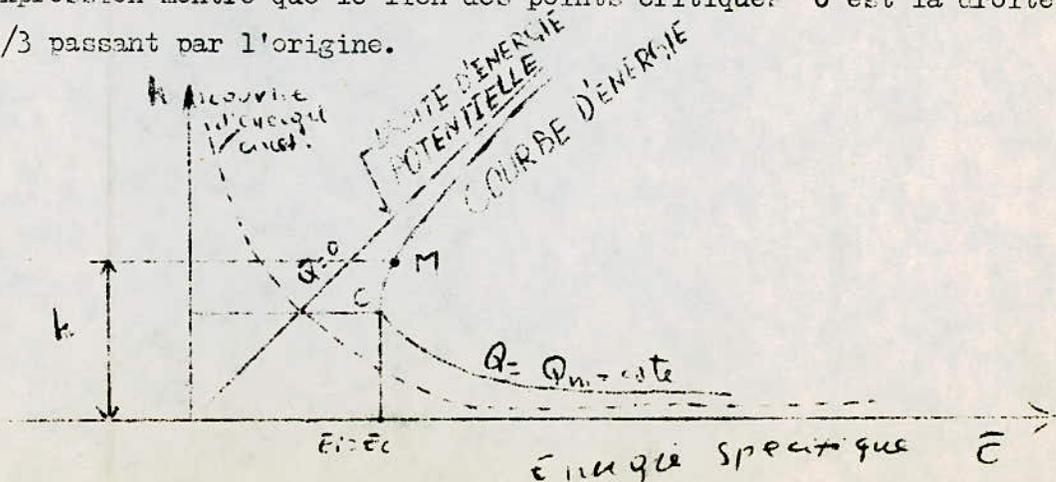
on notant $h_{mc} = h_c$ donc on aura :

$$h_{mc} = \frac{V_c^2}{g} \quad h_c = \frac{V_c^2}{g}$$

$$\text{et } E_c = h_c + \frac{h_{mc}}{2} = h_c + \frac{h_c}{2}$$

$$E_c = \frac{3h_c}{2}$$

Cette expression montre que le lien des points critiques G est la droite de pente $2/3$ passant par l'origine.

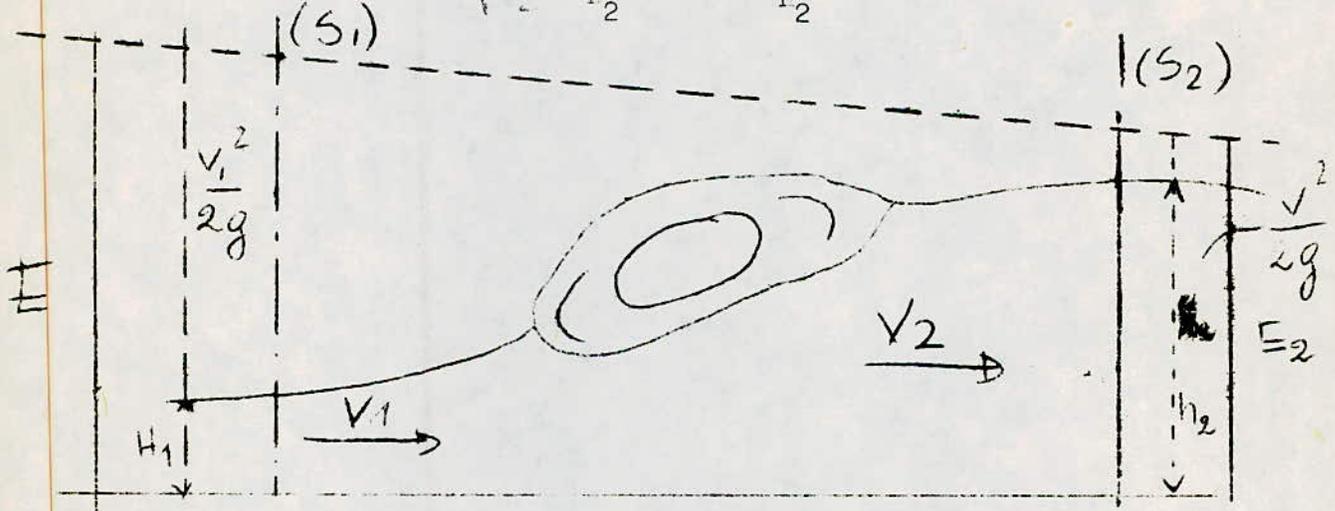


CARACTERISTIQUES DU RESSAUT

Le ressaut en canal rectangulaire de pente ^{nette} et de chottements négligeables est caractérisée par les équations (1) et (2) ^{ci-dessous}

$$V_1 = \sqrt{g h_1} \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{h_2}{h_1} \left(1 + \frac{h_2}{h_1}\right)} \quad (1)$$

$$V_2 = \sqrt{g h_2} \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{h_1}{h_2} \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right)} \quad (2)$$



Les nombres de Froude à l'aval et à l'amont :

$$E_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g h_1}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{h_2}{h_1} \left(1 + \frac{h_2}{h_1}\right)}$$

$$E_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g h_2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{h_1}{h_2} \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right)}$$

multiplions (3) par (4)

$$E_1 \cdot E_2 = \frac{h_1 + h_2}{2 \cdot \frac{h_1}{h_2} \cdot h_2}$$

Et d'après l'équation de continuité :

$$v_1 h_1 = v_2 h_2$$

$$F_1 \cdot v_1 \cdot \sqrt{gh_1} = F_2 \cdot v_2 \cdot \sqrt{gh_2}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{3/2} \quad (6)$$

de la formule (1) on tire h_2 / h_1 en fonction de F_1 :

$$\left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 + \frac{h_2^2}{h_1} - 2 F_1^2 = 0$$

On prendra la racine positive

$$\frac{h_2}{h_1} = -1 + \frac{1 + 8 F_1^2}{2}$$

Perte de charge due au ressaut

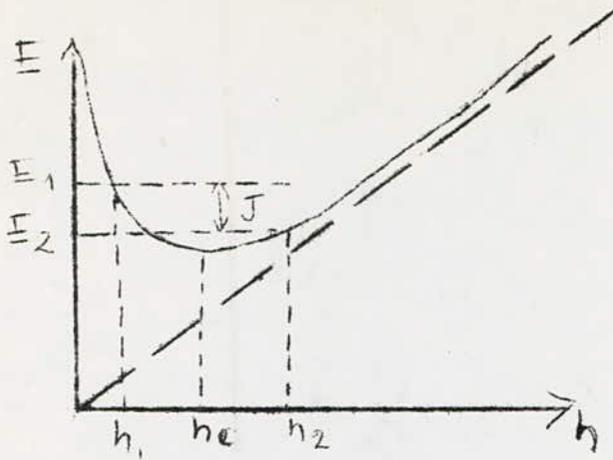
$$J = E_1 - E_2 = \left(Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

Z_1 et Z_2 (côtes des surfaces libres)

Pour un canal horizontal entre S_1 et S_2

$$J = E_1 - E_2$$

Ce qui montre que dans le cas général d'un canal horizontal et de section quelconque; la perte de charge due au ressaut sera mesurée sur la courbe (E) par la différence des ordonnées des points d'abscisses h_1 et h_2 .



Pour un canal de section horizontale :

$$J = \left(h_1 + \frac{q^2}{2gh_1^2} \right) - \left(h_2 + \frac{q^2}{2gh_2^2} \right)$$

$$J = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 h_2}$$

L'appareil de mesure de débit du tube ventois est d'un emploi depuis longtemps classique pour les conduites en charge, mais son extension aux canaux ne remonte guère qu'à une vingtaine d'années environ, c'est une invention relativement récente des ingénieurs coloniaux Anglo-Saxons, qui n'a au fond rien de commun avec le tube venturi si ce n'est qu'il sert également à la mesure des débits et qu'il rappelle par sa forme extérieure celle de ce dernier.

En principe le canal venturi consiste en un rétrécissement du canal, suivi d'un élargissement est au moyen duquel un écoulement tranquille est transformé localement turbulent l'essentielle dans le canal venturier au parohall l'est ce changement de régime d'écoulement qui produit à l'oval un ressaut.

En conséquence le parohall est appelé en Italie " MISURATORE A RISALTO " ce qui pourrait se traduire en français jangerurs à réssaut.

L'adoption de cet appareil de mesure est plus importante l'étranger qu'en Algeriejjusqu'à alors, on utilisait principalement le déversoir à bince parois, surtout lorsqu'on voulait relever des mesures continues du débit.

On, le déversoir présente le double inconvénient de créer une perte de charge notable, puisqu'il exige le déversement libre des nappes, et favorise l'ensablement à l'amont.

Le canal venturé n'a pas la haute précision du déversoir en mince paroi, en revanche il convient aux canaux d'irrigation, pour lesquels on ne dispose généralement que peu de perte de charge, et où l'envasement est souvent à craindre.

Ce qui fait que le déversoir en mince paroi, exige une modification de forme du canal sur une distance relativement importante.

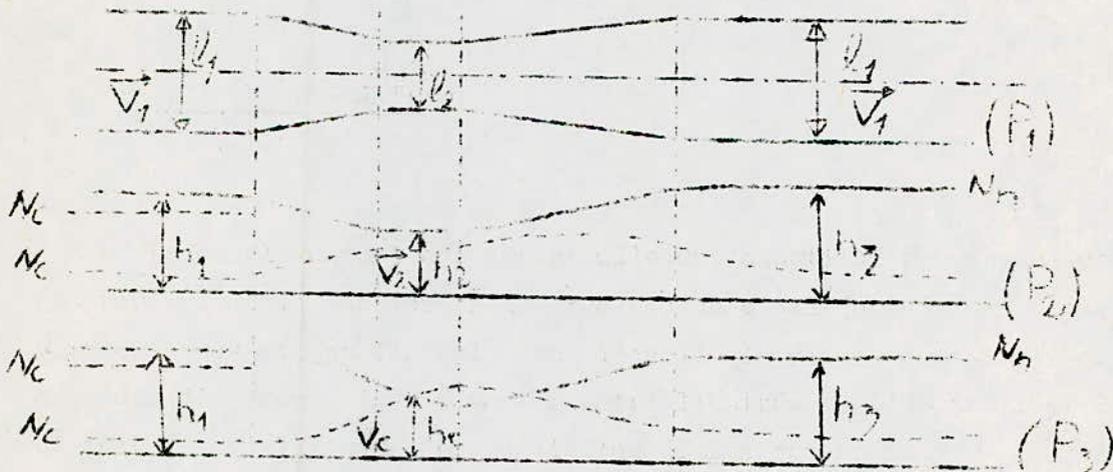
Le développement de ce débitmètre fut appliqué par l'Américain W.M
cone en 1918 sous le nom de Canal venturi, Amélioré et Vulgarisé en 1929
par l'Ingénieur Américain, auquel on a donné le nom de son inventeur.
Ce coups d'oeil rétrospectif sur l'histoire du développement de ce débitmètre
n'est par superflu pour la compréhension de l'énoncé du canal venturi ou
parohall.

CANAL VENTURI

Le canal venturi est essentiellement constitué par une réduction progressive de la section transversale d'un canal jusqu'à une section rétrécie souvent appelée col, dans laquelle la vitesse s'accroît ce qui crée une différence de profondeur entre l'entrée de l'appareil et le col et puis le col lui même est suivi d'un élargissement progressif permettant de retrouver la section initiale du canal.

La réduction de la section s'opère par une contraction graduelle des parois latérales (fig. P₁ P₂ P₃) parfois accompagnée d'une surélévation du radier (fig. P₄) ou même abaissement (fig. P₅) ; un élargissement progressif ramène ensuite la section à sa valeur primitive.

Nous étudierons le cas où la section droite est rectangulaire, mais l'appareil est conçu également avec d'autres formes, circulaire ou trapezoidale par exemple. La pente du canal sera supposée nulle ou presque.



canal-venturi ou parshall

- (P₁): vue en plan ;
- (P₂) profil longitudinal en écoulement noyé ;
- (P₃) profil longitudinal en écoulement dénoyé.

En une première analyse on considère que le radier est horizontal sur la faible longueur du dispositif.

Dans ces conditions on envisage deux aspects d'écoulement:

l'un noyé et l'autre dénoyé.

comme l'étude nous a cédé l'occasion de toucher ces deux types d'écoulement il est nécessaire de donner une explication sur ce thème qui n'est autre que:

les propriétés hydrauliques des écoulements dénoyés et noyés sont tout à fait différentes ; pour les premiers ces propriétés sont relativement simples le débit ne dépendant que des conditions à l'amont en raison de l'existence d'une section critique qui constitue une coupure hydraulique ; pour les seconds, par contre, le débit dépend simultanément des niveaux amont et aval.

La figure P2 montre un écoulement du type noyé pour lequel la section critique n'apparaît nulle part.

L'équation de Bernoulli appliquée entre l'entrée du convergent et la sortie du col s'écrit alors en négligeant le terme de perte de charge:

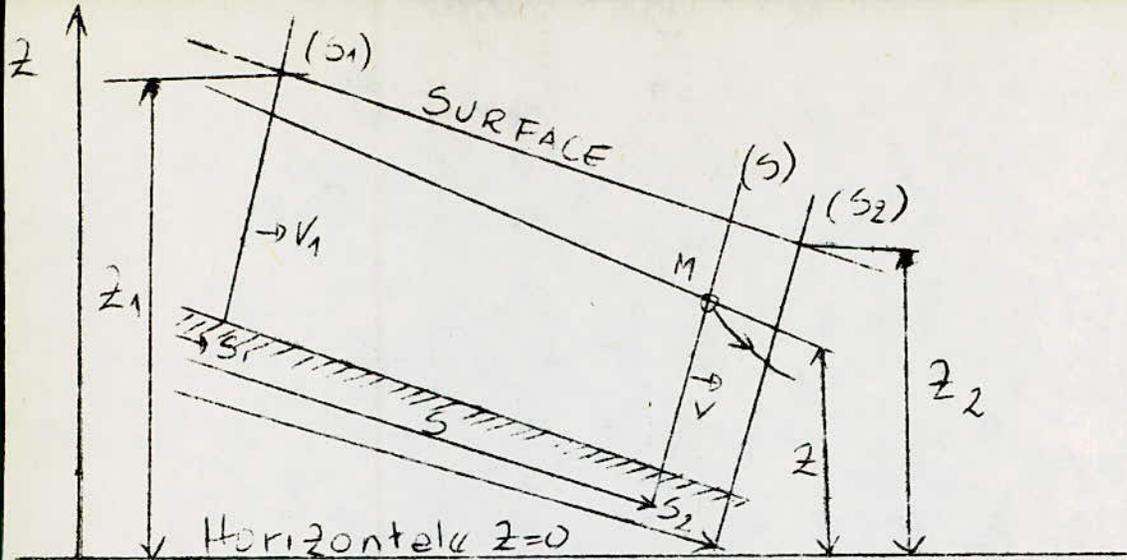
$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{avec } (\alpha_1 = \alpha_2 = 1)$$

où h_1 ; v_1 ; hauteur et profondeur à l'amont

et h_2 ; v_2 ; hauteur et profondeur au col.

mais il est indispensable d'insister sur les significations physiques, et de rappeler fréquemment les hypothèses simplificatrices de base c'est à dire qu'on doit présenter l'équation de Bernoulli dans sa forme générale.

Le théorème établi par Daniel Bernoulli, dans son hydrodynamique à Strasbourg en 1738 reste vraisemblablement le théorème le plus important.



(A) continuité du débit et équation de Bernoulli entre les sections
 (s_1) et (s_2)

N.B : les coefficient correctifs α_1 et α_2 différent d'ordinaire assez peu de l'unité. Aussi, dans la plus plupart des problèmes pratiques, conserve-t-on à l'énergie cinétique et à la quantité de mouvements par unité de temps de forme simple obtenue à partir de la vitesse moyenne, soit V^2 . D'ailleurs, la vitesse dans les canaux a rarement une valeur élevée, de telle sorte que le terme; est souvent petit vis à vis des autres termes de l'équation qui le contient. En conclusion conserve aux théorèmes fondamentaux la forme simple.

Et le plus utilisé en hydraulique, sa démonstration, est supposée connue, d'où la formule.

Bernouilli.

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{W} + Z = \text{cste}$$

Dans hydraulique pratique il est cependant plus commode de raisonner sur le courant total en faisant intervenir la vitesse moyenne V de ce courant au lieu des vitesse locales .

On écrit dans le but de l'équation sous la forme :

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{W} + Z =$$

Cette égalité valant pour une section mouillée quelconque (5) normale à direction générale de l'écoulement , p et z étant respectivement la pression et la cote en un point quelconque de la section considérée V; la vitesse moyenne dans cette section . On vérifiera aisément que la constante du second membre conserve la même valeur pour tous les points de la section si les hypothèses énoncées plus haut sont satisfaites; c'est à dire :

a/ si la somme $\frac{V^2}{2g} + P + z$ est constante dans la section ; ceci suppose que la pression y suit la loi hydrostatique ce qui est exact pour le régime uniforme et approché pour le régime graduellement varié mais inexact en général pour le régime brusque;

b/ si dans la section la vitesse est partout égale à la vitesse moyenne; bien qu'il n'en soit jamais ainsi en toute rigueur on peut pratiquement admettre cette hypothèse dans la plupart des cas usuels, quitte à effectuer le terme $V^2/2g$ d'un facteur correctif légèrement supérieur à l'unité; si l'on veut serrer la réalité, de plus près.

$\frac{V^2}{2g} + P + Z = Cte$, est donc applicable aux sections dans lesquelles le régime est uniforme ou graduellement varié; elle sera en défaut lorsque le mouvement y est brusquement varié.

* signification physique des termes de l'équation de Bernouilli -Energie ou charge d'un courant.

Les trois termes du premier membre de l'équation générale sont homogènes à une longueur. Chacun d'eux représente numériquement une forme particulière d'énergie de l'unité de poids du liquide. Ainsi dans le système des unités mécaniques pratiques (mètre et ~~Kg~~ Kilomètre)

Pour les canaux découverts il est généralement indiqué d'exprimer la charge en fonction de la cote Z de la surface libre pour laquelle P est nul :

$$H = \frac{V^2}{2g} + Z$$

H : énergie du Kg d'eau ou charge.

$\frac{V^2}{2g}$: énergie cinétique.

Z : énergie potentielle à la surface.

On peut aussi simplifier l'expression;

$$\frac{V^2}{2g} + P + Z = \text{cste}$$

si on y fait intervenir la pression et la cote du liquide à la surface libre sur celle-ci en effet la pression relative est identiquement nulle, ce que donne

$$\frac{V^2}{2g} + Z = \text{cste}$$

Z étant la cote de la surface libre V la vitesse moyenne dans la section correspondante. Entre deux sections transversale (S_1) et (S_2) cette équation devient:

$$\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Ce qui, le cas de notre thème en prenant à la place de $Z_1 = h_1$ et $Z_2 = h_2$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

si la largeur l_2 du col est petite devant celle de l_1 du canal, le terme $\frac{V_1^2}{2g}$ est négligeable devant les autres et l'équation précédente donne :

$$V_2 = \sqrt{2g (h_1 - h_2)}$$

d'où $Q = V_2 \cdot l_2 \cdot h_2$ remplaçant V_2 par sa valeur on aura donc ;

$$0 = 1_2 h_2 \sqrt{2g (h_1 - h_2)}$$

relation qui donne le débit à partir de la mesure simultanée de h_1 et de h_2 mais si l'on veut enregistrer le débit il faut évaluer mécaniquement l'expression $h_2 \sqrt{h_1 - h_2}$ ce qui est difficile. Le problème sera donc grandement simplifié si l'on fait apparaître le régime critique au col de l'appareil (fig . P₃); car l'écoulement étant alors dénoyé, le débit ne dépend plus que de h_1 .

Les hypothèses simplificatrices énoncées plus haut restant les mêmes, on peut en effet écrire dans ce cas.

$$h_1 = E_1 = E_c = \frac{3}{2} h_c = \frac{3}{2} h_2$$

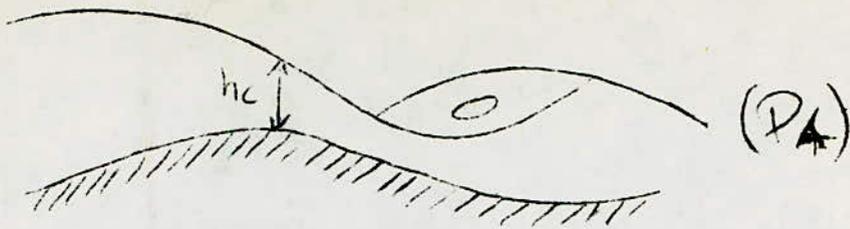
$$\text{d'où } h_2 = \frac{2}{3} h_1$$

portant h_2 dans l'équation (1) il vient, en définitive

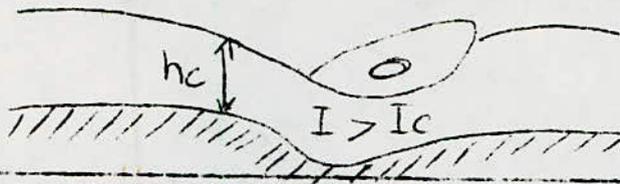
$$0 = 0,385 k l_2 \sqrt{2g} h_1^{3/2}$$

relation qui permet d'évaluer le débit d'un canal à l'aide d'un venturi à régime critique, ou venturi dénoyé à partir de la profondeur amont h_1 , k est un coefficient correctif légèrement inférieur à l'unité qui dépend du contour du venturi et, à un moindre degré de h_1

Pour éviter qu'un venturi donné soit dénoyé aux forts débits et noyé aux débits fractionnaires on réalise parfois un radier surélevé ou abaissé au niveau du col ce qui maintient un régime dénoyé pour une large gamme de débits



(P4)



(P5)

- Lorsque les vitesses d'approche ne sont plus négligeables devant les autres termes, le calcul précédent est un peu plus long mais on aboutit à une formule du débit analogue à celle du cas simplifié. Ces deux expressions concordent pratiquement; à moins de 2% près et le calcul suivant met cela en épreuve; dans un canal venturi dénoyé en tenant compte de l'influence de la vitesse dans le canal. La section de celui-ci est rectangulaire on aura: De la relation

$$Q = h_1 \cdot l_1 \cdot V_1 = h_2 \cdot l_2 \cdot V_2; \text{ on tira}$$

$$V_1 = V_2 \cdot h_2 \cdot l_2 / h_1 \cdot l_1$$

et comme on a d'après l'équation de Bernoulli;

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_1 - h_2 = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}; \text{ portant } V_1 \text{ dans l'équation il vient :}$$

$$h_1 - h_2 = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \cdot \frac{h_2^2 \cdot l_2^2}{h_1^2 \cdot l_1^2}$$

$$h_1 - h_2 = \frac{v_2^2}{2g} \left[1 - \frac{(l_2 h_2)^2}{(l_1 h_1)^2} \right]$$

$$h_1 - h_2 = \frac{v_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{l_2 h_2}{l_1 h_1} \right)^2 \right] \quad (2')$$

ce qui donne :

$$v_2 = \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{l_2 h_2}{l_1 h_1} \right)^2}}$$

d'où :

$$Q = l_2 h_2 v_2 = l_2 h_2 \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{l_2 h_2}{l_1 h_1} \right)^2}}$$

Portant $\frac{l_2}{l_1} = c$ $\frac{h_2}{h_1} = x$ pour simplifier

le calcul il vient ; en définitive :

$$Q = l_2 \sqrt{2g} h_1^{3/2} x \sqrt{\frac{1-x}{1-c^2 x^2}}$$

Cette relation exprime le débit en fonction de h_1 et de h_2 et vaut aussi bien en courant noyé qu'en courant dénoyé.

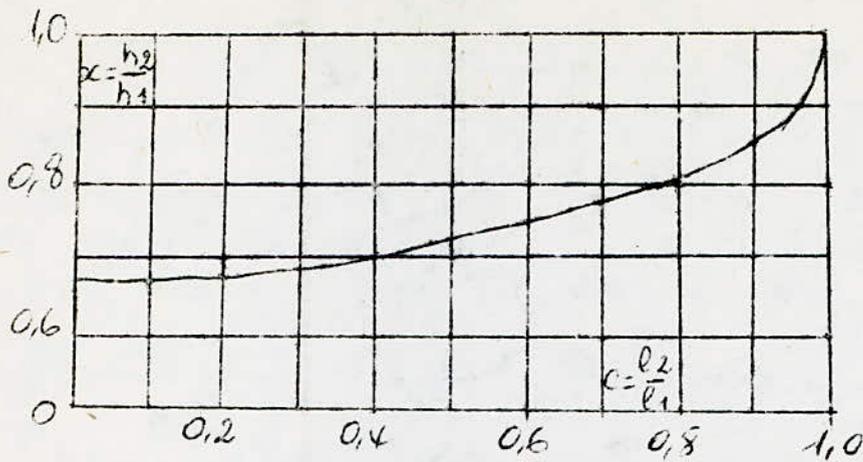


fig T

-canal venturi dénoyé. Etude de l'influence du rapport des largeur extrêmes du convergent sur la formule de tarage.

-supposons maintenant que le venturi soit dénoyé. La profondeur critique existe au col.

et l'on peut alors écrire d'après formule qu'on a cité dans le paragraphe du canal rectangulaire.

$$h_c = \frac{Vc^2}{g}$$

$$h_2 = h_c = \frac{Vc^2}{g}$$

Portant ceci dans (2')

$$h_1 - h_2 = \frac{l_2}{2} \left[1 - \left(\frac{l_2 h_2}{l_1 h_2} \right)^2 \right],$$

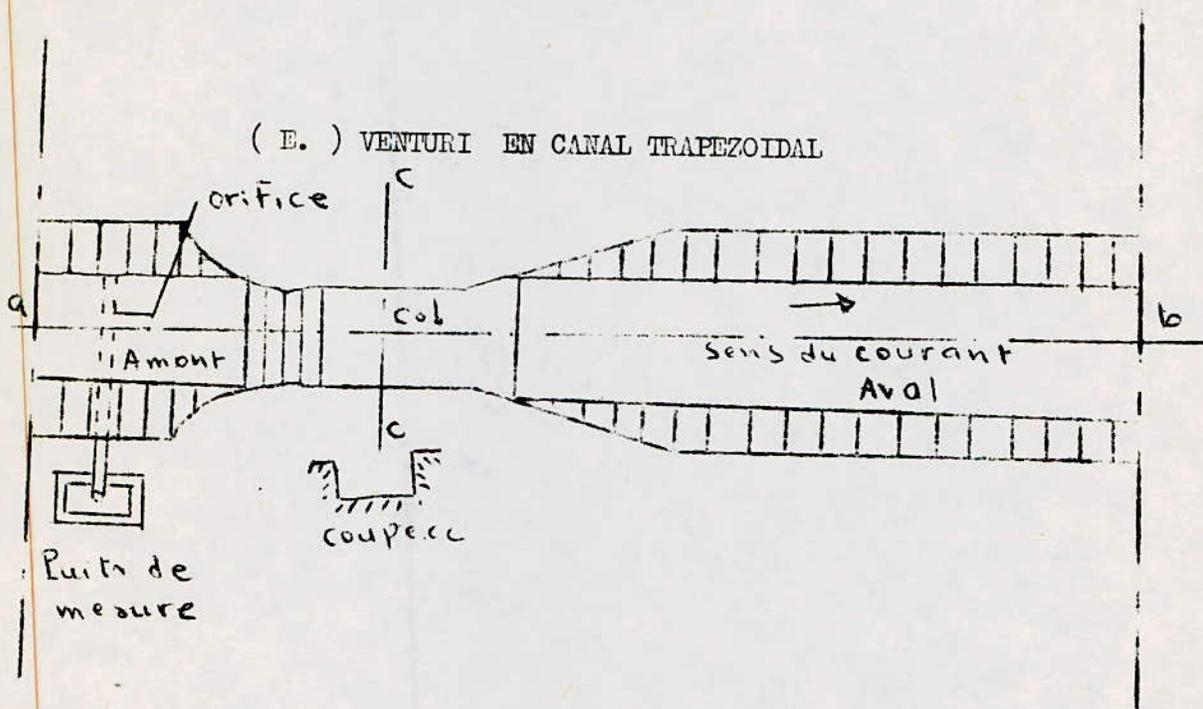
soit en introduisant les paramètres c et α

$$c^2 \alpha^3 - 3 \alpha + 2 = 0$$

relation seulement valable en courant dénoyé. Pour un venturi donné, c est connu et α rapport entre h_2 et h_1 , devient une constante de l'appareil ; on voit que les relations (2) et (3) ont la même forme pour la détermination de α , il faut résoudre l'équation du troisième ordre. On peut aussi procéder par la méthode d'intersection et cela entre

et la droite $\alpha = 1$ (2) (3). La plus petite des

Si la gamme de débit est étendue; il ya généralement intérêt à donner à la section du col une forme trapezoidale ; parfois même quasii -triangulaire. La (figure E.) donne un exemple de montage en canal trapezoidal



Dispositions pratique et formules usuelles

La formule du débit proposée par "Parshal " est la suivante
(unités métriques)

$$Q = 372 \cdot l_2 \cdot h_1^x \cdot 3,28^x$$

dans laquelle:

Q = est le débit (l/s)

l_2 = est la largeur du col (m)

h_1 = est la profondeur à l'amont (m)

x = est un exposant fonction de " l_2 " et donné par le tableau suivant.

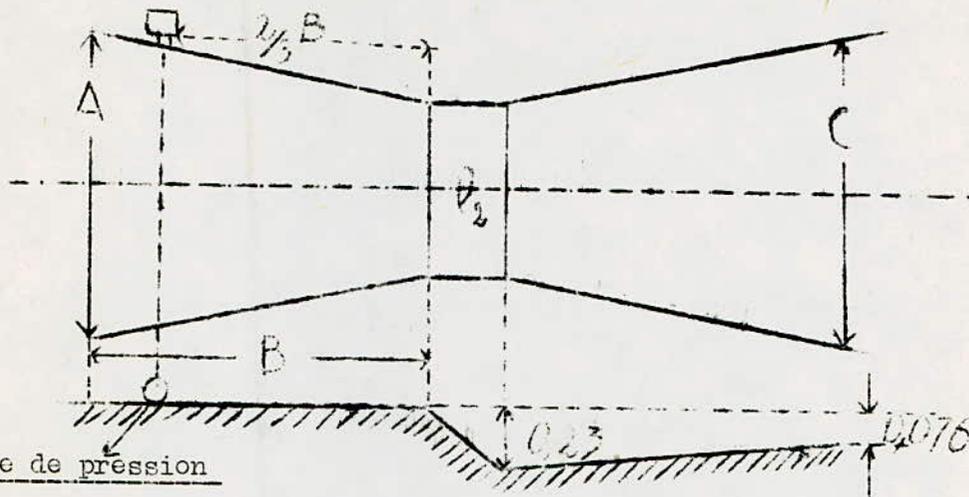
| Pour " l_2 " en m = | 0,2 | 0,6 | 0,8 | 1 | 2 | 2,6 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| x = | 1,506 | 1,548 | 1,560 | 1,569 | 1,598 | 1,609 |

La largeur au col " l_2 " est généralement comprise entre $l_1 / 3$ et $l_1 / 2$

La hauteur h_1 est mesurée aux $2/3$ de la distance entre le seuil d'entrée du convergent et l'entrée du col ;

La prise de pression doit être placée au niveau du radier

Puits de mesure



à/ Dimensions usuelles d'un parshall " vue en plan

b'/ Profondeur longitudinal du radier

Les rapports entre les dimensions principales du dispositif préconisé par " parshall" sont les suivants.

$$A = 1,196 l_2 + 0,479$$

$$B = 0,49 \cdot l_2 + 1,194 \quad \text{Dimensions en (m)}$$

$$C = l_2 + 0,305$$

La perte de charge provoquée par un canal venturi correspond à la surélévation du niveau amont après introduction de l'appareil dans le canal; elle est de l'ordre de $0,08 h_1$

Quand le ressaut est ondulé, c'est à dire quand la profondeur au col " h_2 " atteint la profondeur critique " h_c "; si le ressaut est franc c'est à dire si $h_2 = h_c$ la perte de charge peut atteindre $0,25 h_1$ et même plus.

Bien que le ressaut ondulé présente l'avantage d'entraîner une perte de charge plus faible il a l'inconvénient de nécessiter une grande longueur du col d'entraîner une instabilité de l'écoulement rendant les mesures imprécises de former des tourbillons. sur le radier avec risque de d'évasion.

d'après le professeur "DE MARCHI " la hauteur limite aval h_{31} au - delà de laquelle l'écoulement cesse d'être dénoyé second donné par

$$h_{31} = 1,116 h_c$$

et comme $h_c = \frac{2}{3} h_1$

alors : $h_{31} = 0,77 h_1$

la perte de charge serait alors :

$$j = h_1 - h_{31} = 0,23 h_1$$

En choisissant convenablement les dimensions des canturi on peut réduire " J " à moins de $0,20 h_1$

Deuxieme partie

conception du modèle réduit et étude expérimentale

Au cours de l'étude expérimentale, nous allons nous intéresser au débit-mètre type canal venturi " parshall " compte tenu des avantages qu'il présente.

Dans un premier temps, l'étude consistera d'une part à concevoir et à réaliser le débit-mètre parshall, et d'autre part à effectuer des essais visant à l'établir la loi " hauteur - débit expérimentale.

Le modèle réduit de l'appareil a été confectionné et expérimenté dans le laboratoire de L'E.N.P

I) Matériel utilisé

- Uncanal à échelle réduit de largeur " B " égale à 25 cm
- Une vane réglant l'écoulement dans la canal .
- Un débit-mètre type PARSEALL
- Un réservoir en ciment pourvu d'un déversoir triangulaire
- Un limnimètre à aiguilles parallèles coulissant de long du canal.
- Un limnimètre fixé sur le réservoir; ce limnimètre est aiguille parabolique.
- Un bras de levier actionnant les volets avec un angle variable

II a) Détermination de la loi hauteur-débit

- 1) Relever la hauteur du seuil du canal venturi (PARSEALL)
- 2) Après que l'eau ait atteint le niveau " zéro " relever la hauteur correspondante à ce niveau à l'aide du limnimètre fixe

Relever les hauteurs à l'amont

l'écoulement étant tranquille ; Après stagnation;

Relever les hauteurs à l'amont. l'écoulement étant tranquille

A chaque hauteur correspond un débit relevé sur le tableau d'étalonnage du déversoir triangulaire.

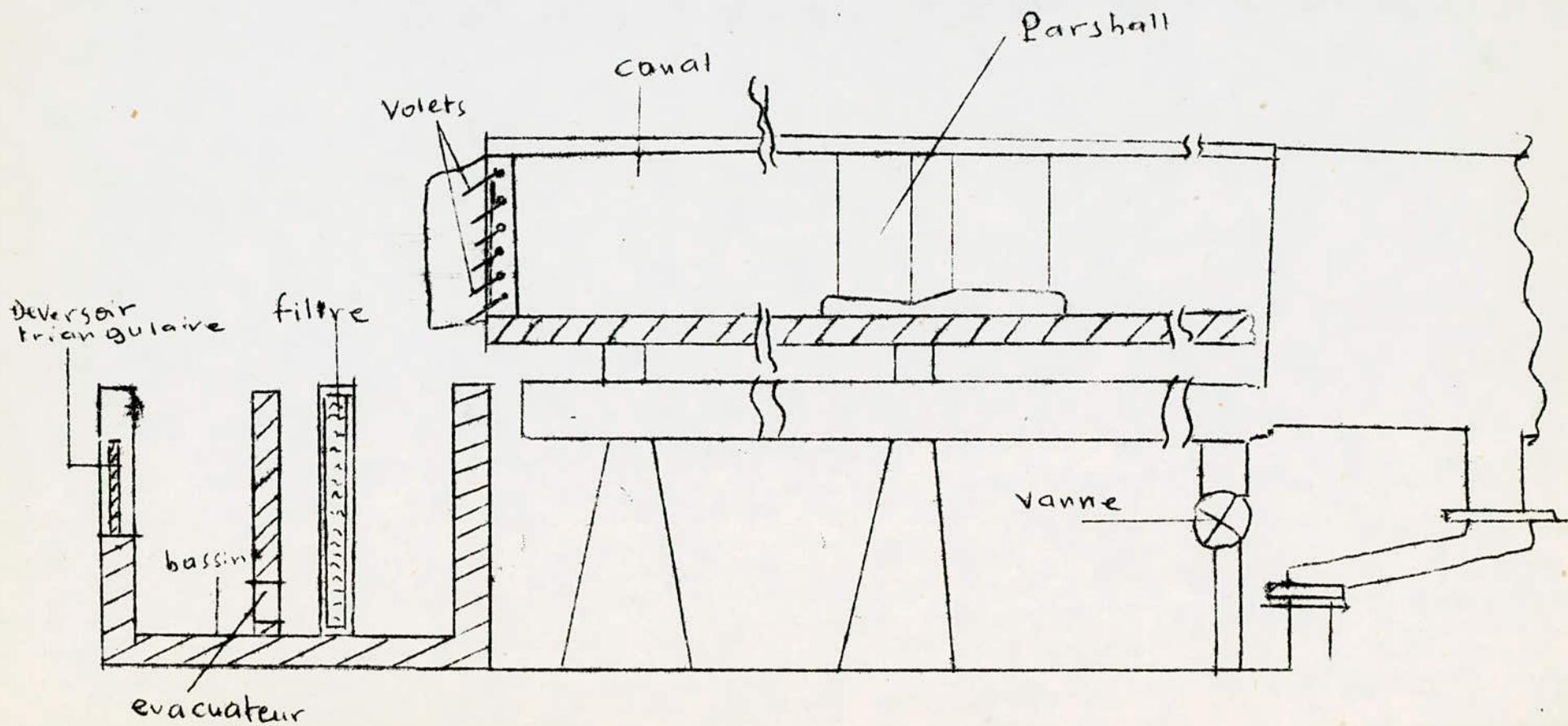
L'écoulement au niveau au aval étant négligeable.

l'écoulement précédemment tranquille se transforme en un écoulement tourmenté, ceci après son passage à travers le col du canal venturi; ce qui signifie, que l'écoulement est dénoyé.

Faire varier la hauteur d'eau en amont , ceci par le biais de la vanne qui règle le débit-; relever les hauteurs comme précédemment .

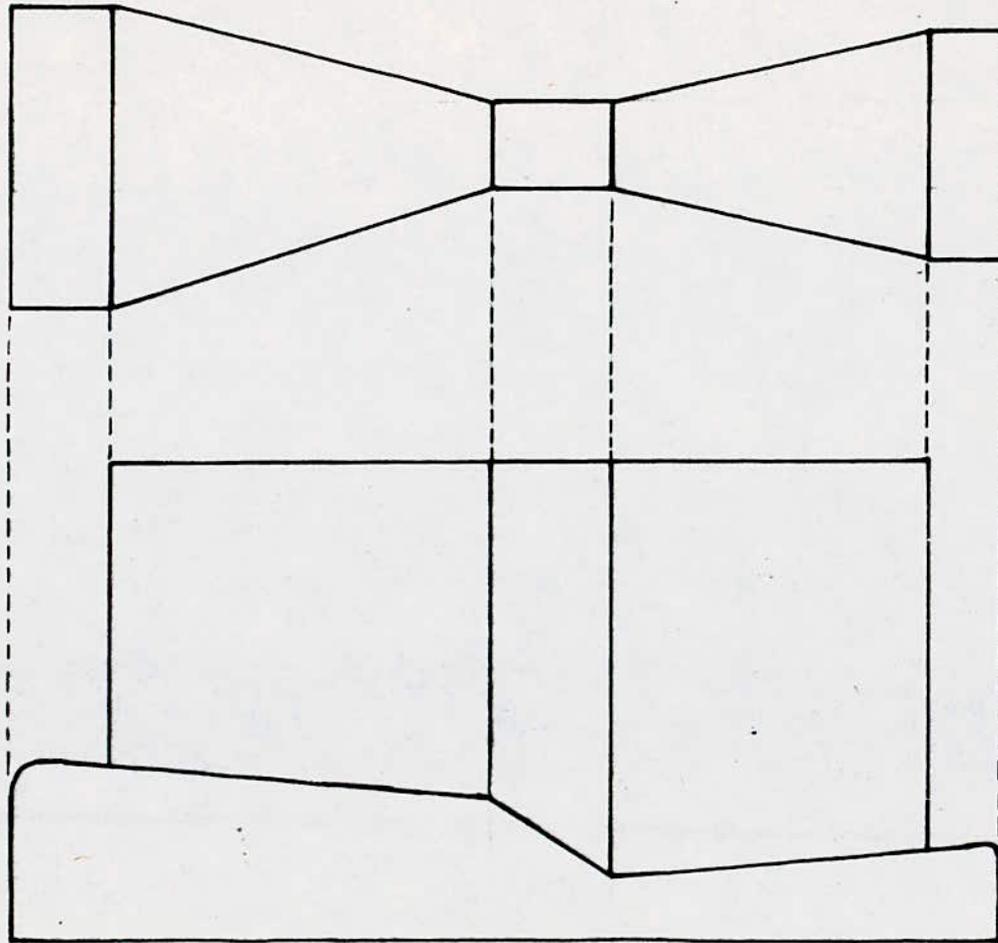
Le nombre de mesures étant de 15, par série d'expérience

2 séries d'expériences ont été faites, dans le cas où l'écoulement est dénoyé.

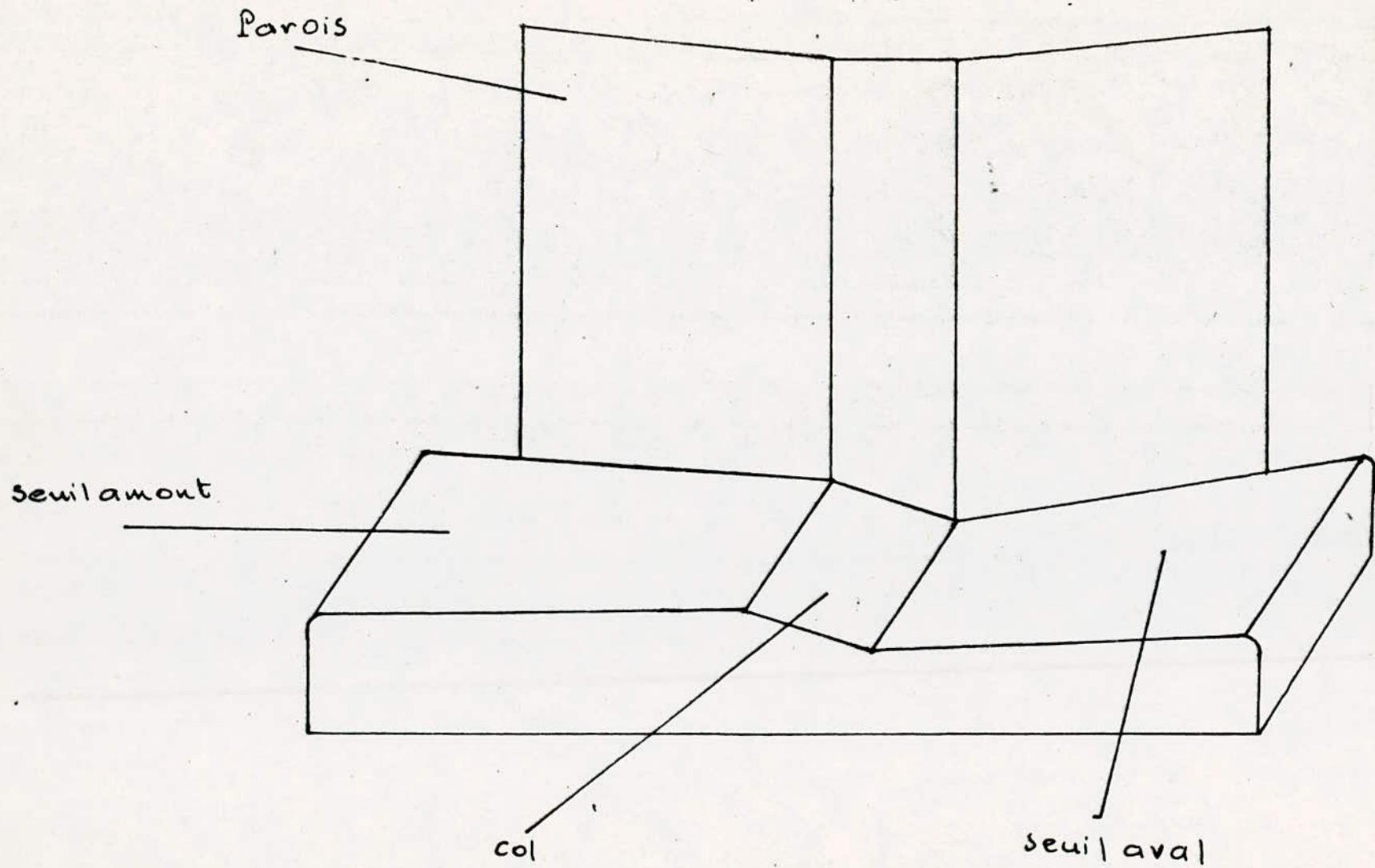


-53-

Dispositif (vue de dessus)



coupe longitudinale



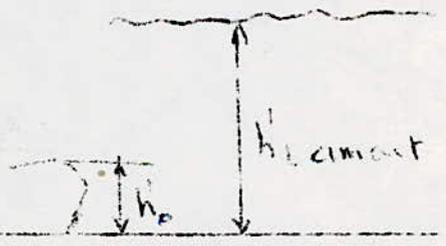
d

Dispositif en Perspective (coupe longitudinale)

1er essai Experimental

EN REGIME DENOYE

| N° | h_{sew} | h_{eau} |
|----|-----------|-----------|
| 1 | 20,58 | 21,82 |
| 2 | 22,45 | 23,98 |
| 3 | 24,37 | 25,94 |
| 4 | 26,19 | 27,82 |
| 5 | 27,00 | 29,398 |
| 6 | 27,69 | 30,35 |
| 7 | 28,46 | 31,39 |
| 8 | 29,18 | 34,33 |
| 9 | 29,58 | 33,05 |
| 10 | 30,19 | 33,37 |
| 11 | 30,47 | 33,33 |
| 12 | 30,69 | 34,27 |
| 13 | 31,13 | 34,72 |
| 14 | 31,30 | 35,52 |
| 15 | 31,70 | 35,96 |
| 16 | 31,75 | 36,34 |
| 17 | 31,97 | 36,70 |



$$\begin{cases} h_{eau} = h_{sew} - h_0 \\ h_{sew} = h_{eau} + h_0 \end{cases}$$

2ème Experience

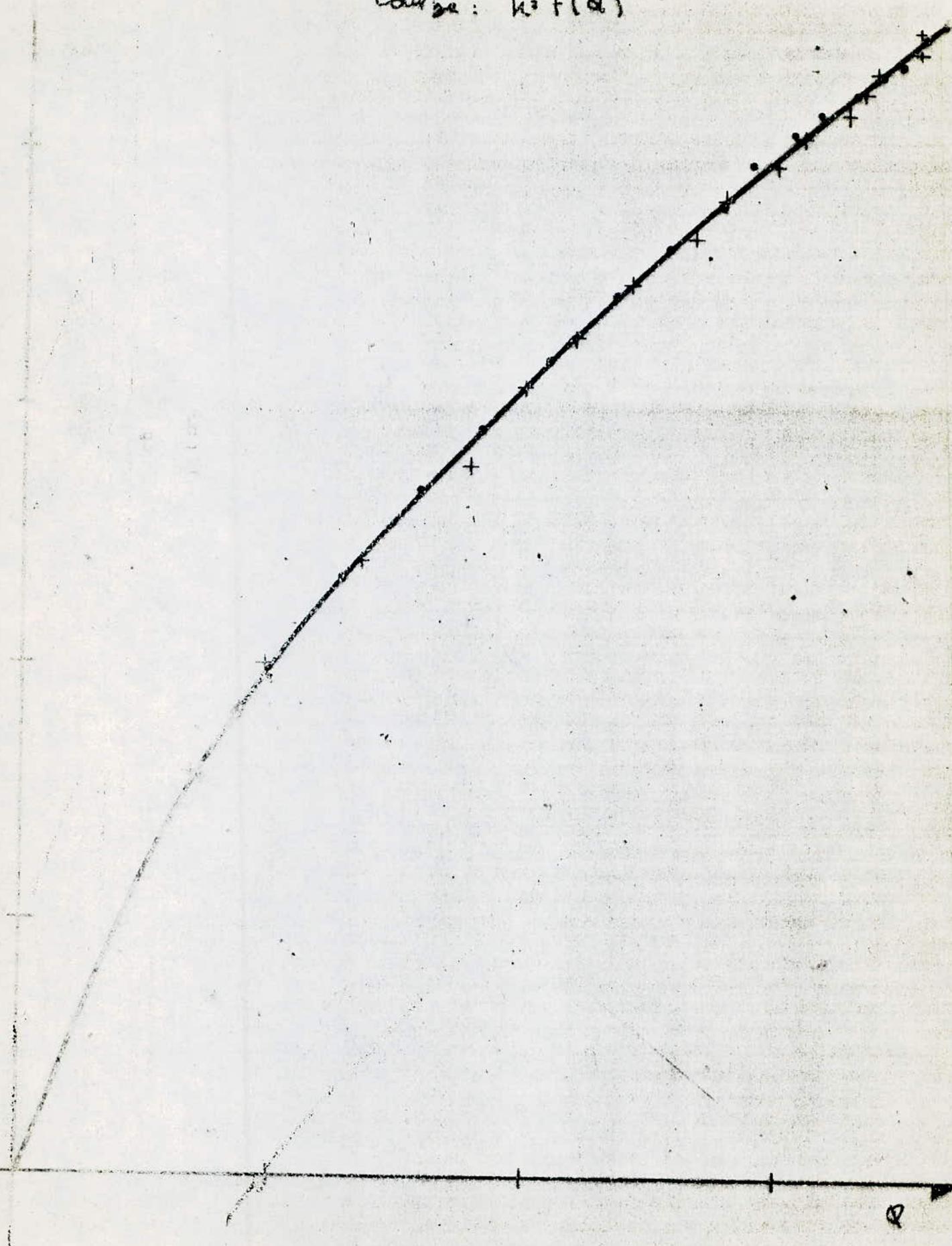
| N° | h_{sw} | h_{am} |
|----|----------|----------|
| 1 | 20,89 | 21,74 |
| 2 | 22,53 | 23,67 |
| 3 | 23,98 | 25,67 |
| 4 | 25,41 | 27,35 |
| 5 | 26,35 | 28,55 |
| 6 | 27,35 | 29,91 |
| 7 | 28,24 | 31,12 |
| 8 | 28,92 | 32,09 |
| 9 | 29,55 | 32,97 |
| 10 | 30,00 | 33,77 |
| 11 | 30,37 | 24,35 |
| 12 | 30,69 | 34,77 |
| 13 | 31,08 | 35,17 |
| 14 | 31,37 | 35,53 |
| 15 | 31,55 | 35,79 |
| 16 | 31,80 | 36,23 |
| 17 | 32,03 | 36,59 |

$$\left\{ \begin{array}{l} h_{am} = h_{sw} - h_0 \\ h_{der} = h_{sw} \cdot h_0 \end{array} \right.$$

$$h_0 = 13,91$$

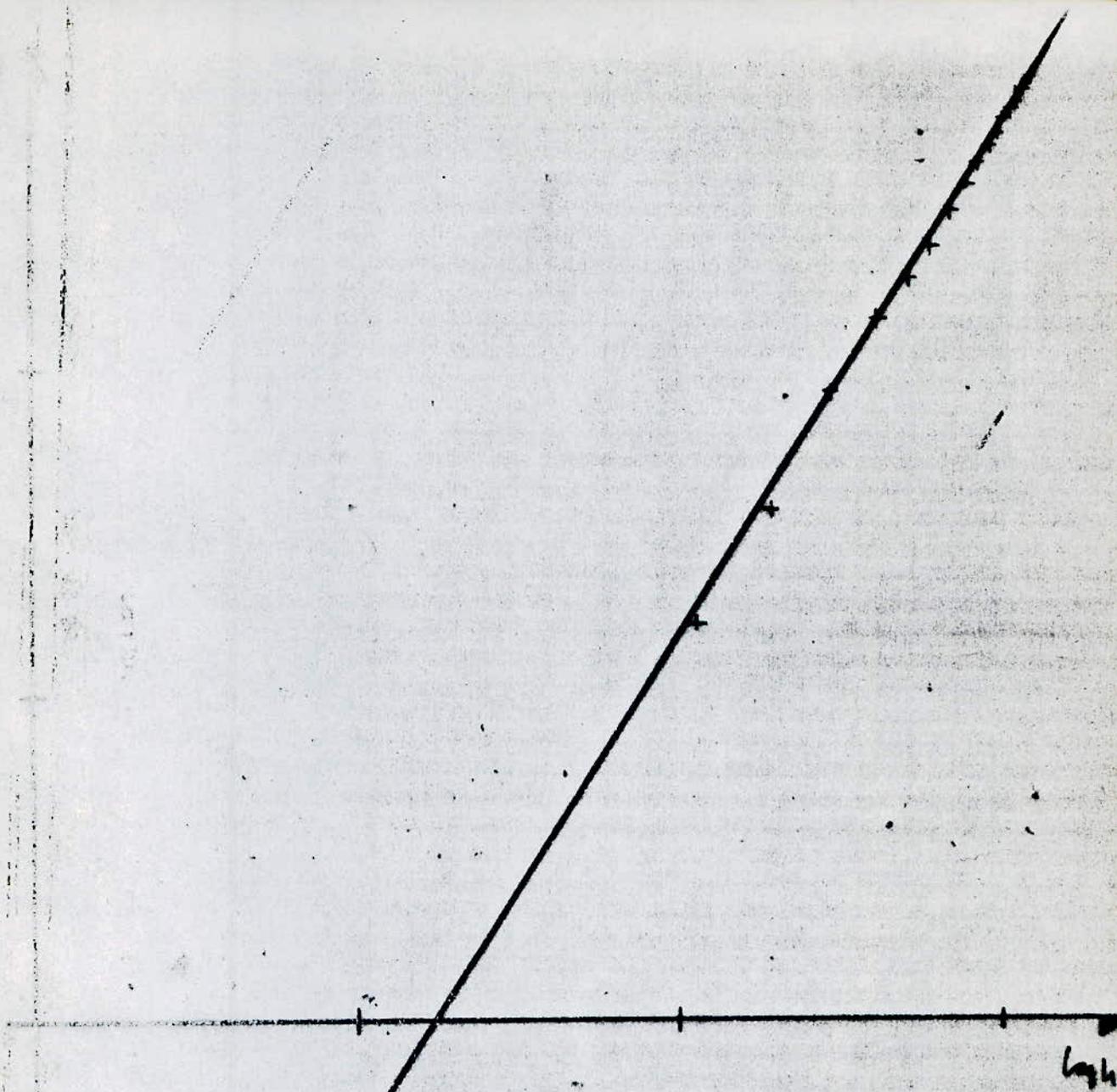
$$h_0 = 8,71$$

Curve: $k = f(\alpha)$



Transformation de "h" et "Q" en "log h" et "log Q"

| N° | h_{Dev} (Cm) | h_{1Am} (Cm) | Q (l/s) | Log h, | Log Q |
|----|----------------|----------------|---------|--------|-------|
| 1 | 11.87 | 7.91 | 3.359 | 2.068 | 1.212 |
| 2 | 13.74 | 10.07 | 4.846 | 2.31 | 1.578 |
| 3 | 15.66 | 12.07 | 6.706 | 2.491 | 1.903 |
| 4 | 17.48 | 13.91 | 8.818 | 2.633 | 2.177 |
| 5 | 18.29 | 15.48 | 9.887 | 2.740 | 2.291 |
| 6 | 18.98 | 16.44 | 10.858 | 2.800 | 2.385 |
| 7 | 19.75 | 17.48 | 11.99 | 2.861 | 2.484 |
| 8 | 20.47 | 18.42 | 13.105 | 2.913 | 2.573 |
| 9 | 20.87 | 19.14 | 13.778 | 2.952 | 2.623 |
| 10 | 21.48 | 19.82 | 14.786 | 2.987 | 2.694 |
| 11 | 21.76 | 20.36 | 15.282 | 3.014 | 2.727 |
| 12 | 22.25 | 20.86 | 16.165 | 3.038 | 2.783 |
| 13 | 22.42 | 21.21 | 16.466 | 3.054 | 2.801 |
| 14 | 22.59 | 21.64 | 16.763 | 3.074 | 2.819 |
| 15 | 22.99 | 22.05 | 17.531 | 3.093 | 2.864 |
| 16 | 23.04 | 22.43 | 17.622 | 3.110 | 2.869 |
| 17 | 23.26 | 22.79 | 18.052 | 3.126 | 2.893 |



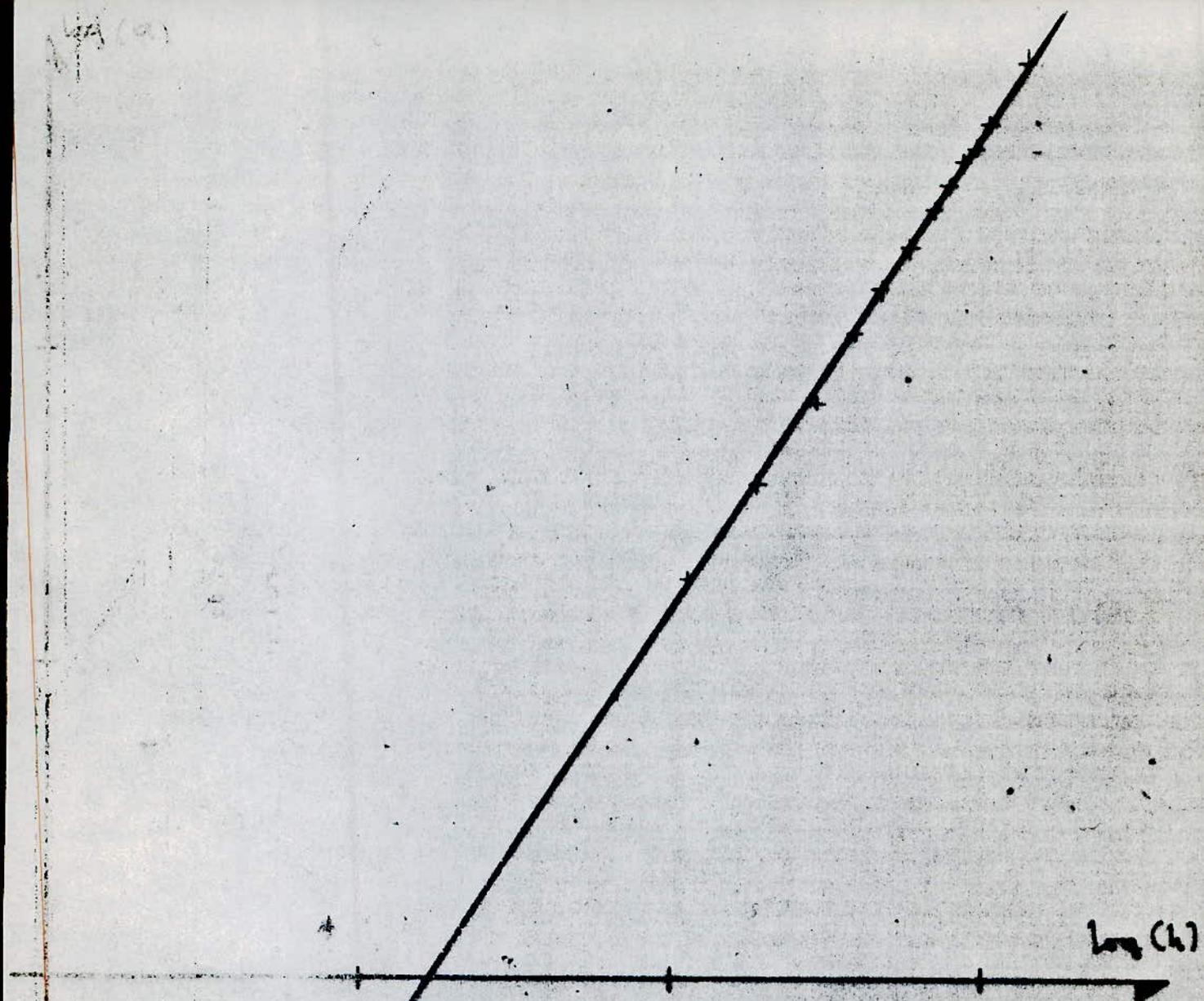
$$\text{Log}(\theta) = F(\text{Log}(h))$$

Exp. N^o II

Transformation de h et Q en $\log(h)$ et $\log(Q)$

| N° | h_{Dev} (Cm) | h, Am (Cm) | Q (l/s) | Log $h,$ | Log $Q.$ |
|----|----------------|--------------|-----------|----------|----------|
| 1 | 12 18 | 7 83 | 3.586 | 2.058 | 1.277- |
| 2 | 13 82 | 9 76 | 4.912 | 2.278 | 1.591- |
| 3 | 15 27 | 11 76 | 6.101 | 2.468 | 1.840- |
| 4 | 16 7 | 13 44 | 7 88 | 2.598 | 2.064- |
| 5 | 17 64 | 14 64 | 9.046 | 2 684 | 2 202- |
| 6 | 18 63 | 16 00 | 10.362 | 2 773 | 2 338- |
| 7 | 19 53 | 17.21 | 11 672 | 2.845 | 2 457- |
| 8 | 20 21 | 18.18 | 12.705 | 2 900 | 2.541- |
| 9 | 20.84 | 19 06 | 13.714 | 2 948 | 2.618- |
| 10 | 21 29 | 19 86 | 14.312 | 2.989 | 2.661- |
| 11 | 21 66 | 20 44 | 15.1 | 3.017 | 2.714- |
| 12 | 21 98 | 20 86 | 15.664 | 3 038 | 2 751- |
| 13 | 22 37 | 21 26 | 16.376 | 3.057 | 2 796- |
| 14 | 22 66 | 21 62 | 16.888 | 3.075 | 2.826- |
| 15 | 22 84 | 21 80 | 17 252 | 3 086 | 2.848 |
| 16 | 23 09 | 22.32 | 17.8 | 3.105 | 2.873 |
| 17 | 23.32 | 22.68 | 18.178 | 3 149 | 2.9 |

19 (a)



$$\log(u) = \log(h)$$

Tableaux comparatifs

Expérience I

Expérience II

| Q_1 mesuré | Q_1 Calculé | Q_2 mesuré | Q_2 Calculé |
|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 3,359 | 3,214 | 3,586 | 3,465 |
| 4,846 | 4,639 | 4,912 | 4,814 |
| 6,706 | 6,109 | 6,309 | 6,358 |
| 8,818 | 7,580 | 7,88 | 7,760 |
| 9,887 | 8,918 | 9,046 | 8,816 |
| 10,858 | 9,772 | 10,362 | 10,066 |
| 11,99 | 10,727 | 11,672 | 10,861 |
| 13,105 | 11,616 | 12,705 | 12,180 |
| 13,778 | 12,313 | 13,714 | 13,069 |
| 14,786 | 12,984 | 14,312 | 13,448 |
| 15,282 | 13,526 | 15,1 | 14,506 |
| 16,165 | 14,034 | 15,664 | 14,953 |
| 16,466 | 14,394 | 16,376 | 15,383 |
| 16,763 | 14,840 | 16,888 | 15,773 |
| 17,531 | 15,269 | 17,252 | 15,90 |
| 17,622 | 15,671 | 17,7 | 16,541 |
| 18,052 | 16,055 | 18,178 | 16,941 |

$$K_1 = 0,158$$

$$x_1 = 1,52$$

$$K_{12} = 0,155$$

$$x_2 = 1,492$$

C'est donc la variante (II) qui donne les résultats les plus rapprochés

$$K = 0,155 \text{ et } x = 1,492$$

Resulats des Experiences

Regime Dénoyé:

$$* Q_1 = K_1 h_1^{x_1}$$

$$* Q_2 = K_2 h_2^{x_2}$$

On calcule Q_1 et Q_2 avec les coefficients K_1 et x_1 pour Q_1 et K_2 et x_2 pour Q_2

A fin de pouvoir choisir la variante qui se rapproche le plus des valeurs des débits mesurés

La formule est donc

$$Q = 0,155 \cdot h^{1,492}$$

Dans l'écoulement dénoyé et de là unique " hauteur - débit " on est arrivé à tracer la courbe $h = f(Q)$

L'allure de cette courbe est une fonction racine de l'ordre de $Q = Kh^x$ comment déterminer les paramètres K et x ?

par la simple loi logarithmique $\log Q$, $\log h$

Q K : ce n'est autre que la distance entre l'origine et l'intersection de la droite logarithmique avec l'axe des ordonnées et " x " est la pente de cette droite

" K " est " x " sont donc relevées graphiquement de la courbe $\log(Q) = \log(h)$

$$Q = K \cdot h^x$$

Puisque " x " est un exposant fonction de l_2 , donné par le tableau mentionné dans la formule du débit proposée par parshall donc ;

$$Q = K \cdot h^{3/2} = F \cdot l_2 \cdot h^{3/2}$$

$$Q = [m^3/s]$$

$$l_2 = [m]$$

$$h^{3/2} = [m]^{3/2}$$

$$Q = F \cdot l_2 \cdot h^{3/2} \Rightarrow [m^3/s] = [m] \cdot [m^{3/2}] \cdot [F] = [m^{5/2}] \cdot [F]$$

$$F = \frac{[m^3/s]}{[m^{5/2}]} = \frac{m^{3-5/2}}{s} = \frac{m^{6-5}}{s} = \left[\frac{m}{s} \right]$$

et dans le dimensionnement de (F) est engendrée l'accélération de la pesanteur puisque le canal est à ciel ouvert et g a enorme dimensionnement (m/s) mais (f) est la racine de g donc dans la formule on prend la racine de g et la formule pratique est la suivante :

$$Q = 0,385 l_2 \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} ; h = \text{hauteur à l'amont.}$$

on multiplie cette expression par un coefficient correctif k

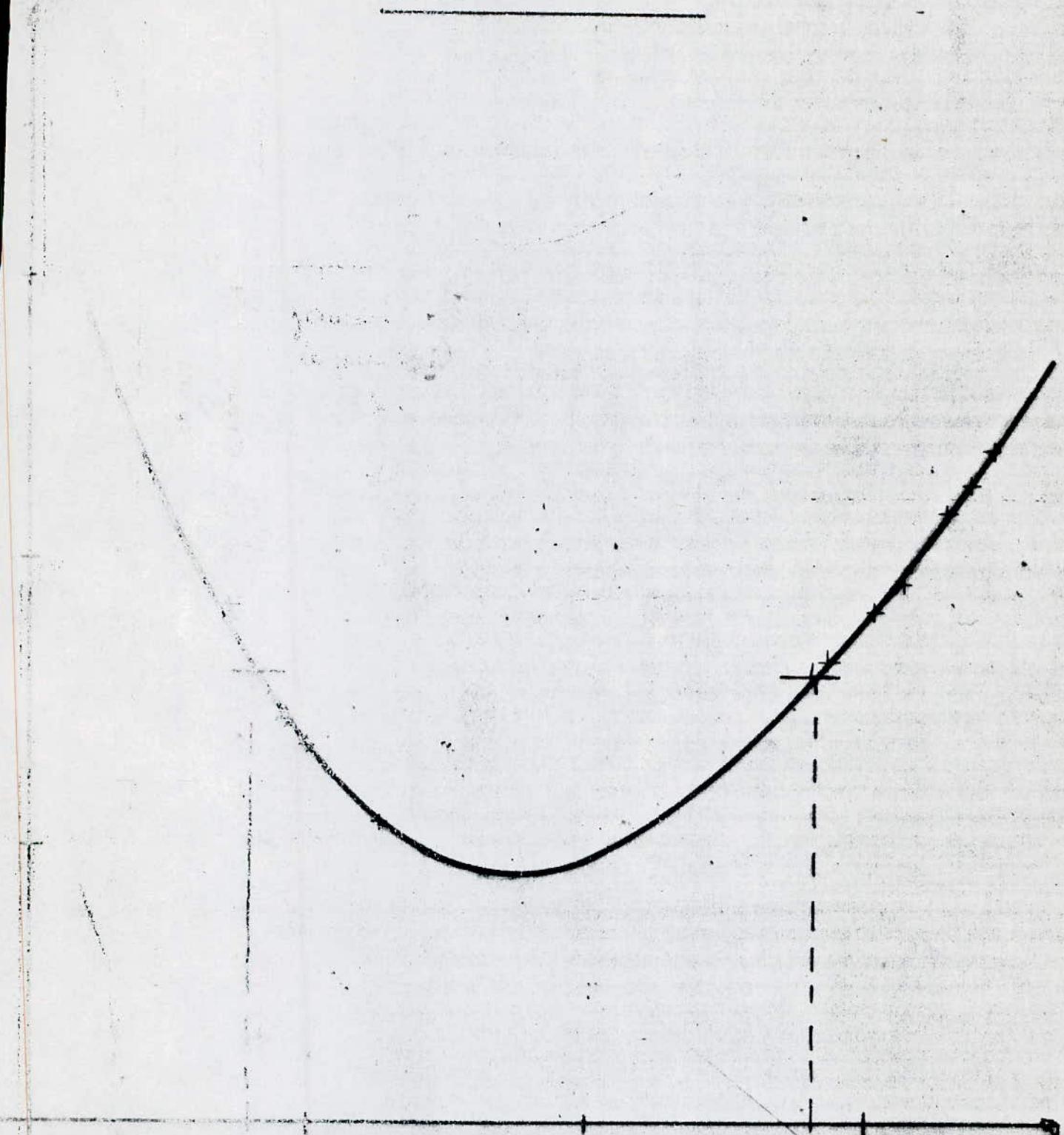
$$Q = 0,385 k l_2 \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

Tableau des erreurs

| Q mes | Q theo | ER R |
|--------|--------|---------|
| 3,586 | 2,9 | 12,2 % |
| 4,912 | 4,09 | 16,73 % |
| 6,302 | 5,329 | 15,426% |
| 7,88 | 6,511 | 17,37 % |
| 9,046 | 7,402 | 18,17 % |
| 10,362 | 8,457 | 18,38 % |
| 11,672 | 9,434 | 19,17 % |
| 12,705 | 10,243 | 19,37 % |
| 13,711 | 10,996 | 19,81 % |
| 14,312 | 11,695 | 18,28 % |
| 15,1 | 12,212 | 19,12 % |
| 15,664 | 12,59 | 19,62 % |
| 16,376 | 12,95 | 20,89 % |
| 10,888 | 13,284 | 21,33 % |
| 17,52 | 13,45 | 22,03 % |
| 17,7 | 13,935 | 21,47 % |

$$E = \left(\frac{Q_{mes} - Q_{theo}}{Q_{mes}} \right) \times 100$$

courbe en sac



gamme de débit pour lesquels }
le personnel donne des résultats }
satisfaisants

φ

RÉGIME DÉNOYÉ

CALCUL DE PERTE DE CHARGE

$$H_{am} - H_{av} = P_{dc}$$

$$H_{am} = H_{am} + \frac{V_{am}^2}{2g} \quad \text{et comme } \frac{V_{am}^2}{2g} \text{ est négligeable}$$

$$\text{Donc } H_{am} = h_{am}$$

$$H_{av} = h_{av} + \frac{V_{av}^2}{2g}$$

$$V_{av} = \frac{Q}{A_v}, \quad A_v = B \cdot h_{av}$$

A_v : étant la section à l'aval

B : largeur du canal

Application Numérique :

$$A_v = 0,25 \cdot 0,1886 = 0,04715 \text{ m}^2$$

$$h_{av} = 18,86 \text{ cm} = 0,1886 \text{ m}$$

$$Q = 11,226 \text{ l/s} = 0,011226 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{av} = \frac{Q}{A_v} = \frac{0,011226}{0,04715} = 0,2380911 \text{ m/s}$$

$$H_{av} = h_{av} + \frac{V_{av}^2}{2g} = 0,1886 + \frac{(0,2380911)^2}{19,62} = 0,1914892 \text{ m}$$

$$\Delta H_{em} = P_{dc} = H_{am} - H_{av} = 0,2045 - 0,1914892 =$$

$$\Delta H_{em}(\text{m}) = P_{dc} = 0,0130108 \text{ m}$$

$$\frac{H_{av}}{H_{am}} = \frac{0,1914892}{0,2045} = 0,9363775 \approx 0,9364$$

$$\frac{H_{av}}{H_{am}} = 93,64 \%$$

Pour un Débit $Q = 12,966 \text{ l/s} = 0,012966 \text{ m}^3/\text{s}$

$$B = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$h_{am} = 236,2 \text{ cm} = 0,2362 \text{ m}$$

$$h_{av} = 21,80 \text{ cm} = 0,2180 \text{ m}$$

$$H_{am} = h_{am} + \frac{V_{am}^2}{2g} \Rightarrow H_{am} = h_{am} \text{ avec } \frac{V_{am}^2}{2g} \text{ négligeable.}$$

$$A_v = 0,25 \cdot 0,2180 = 0,0545 \text{ m}^2$$

$$V_{av} = \frac{Q}{A_v} = \frac{0,012966}{0,0545} = 0,2379082 \text{ m/s}$$

$$H_{av} = h_{av} + \frac{V_{av}^2}{2g} = 0,218 + \frac{(0,2379082)^2}{19,62} = 0,2208848 \text{ m}$$

$$\Delta H_{em} = P_{dc} = H_{am} - H_{av} = 0,0153152 \text{ m}$$

$$\frac{H_{av}}{H_{am}} = \frac{0,2208848}{0,2362} = 0,93516 \approx 0,9352$$

$$\frac{H_{av}}{H_{am}} = 93,52\%$$

On constate que le rapport H_{av}/H_{am} prend une valeur de l'ordre de 0,93 à 0,94.

On peut dire alors que dans le canal Venturi, nous pouvons récupérer 93% de la charge initiale à l'aval de l'écoulement.

Ce tableau permet une rapide confrontation de la perte de charge, nécessitée par la mesure des débits de divers ordres de grandeurs; avec les appareils de mesure les plus courants

valeurs de la perte de charge minimum (H) exprimée en millimètres pour divers appareils de mesure

| Appareil de mesure | débits en litres par seconde | | | | | | Observations |
|-------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|------|--------|--------------|
| | 0,1 | 1 | 10 | 100 | 1000 | 10.000 | |
| Reversoir rectangulaire | 15 | 36 | 90 | 228 | 578 | 1465 | $h/l = 1/2$ |
| Parshall | 3 | 7,2 | 18 | 115 | 115 | 293 | |
| Anal. triangulaire | 1,6 | 3,6 | 8,2 | 41 | 41 | 92,4 | 90° |

"0" : $h/l =$ hauteur / largeur

"oo" : angle d'ouverture

Régime noyé

b) Détermination des hauteurs en amont et au niveau du col ; le débit étant constant

- 1) régler la vanne pour avoir un débit constant
- 2) prélever deux (02) hauteurs pour une première position du volet
- 3) prélever les deux hauteurs pour une autre position du volet

Répéter l'expérience 8 fois pour un même débit

Ces mesures sont bien sur relevées au moment où le stade de semi-modularité est atteint

le nombre de débits expérimentés étant de 8 fois

Experiences pour le régime

noyé

| ham. | hcol |
|-------|-------|
| 24,29 | 21,92 |
| 24,75 | 22,45 |
| 26,52 | 24,77 |
| 29,06 | 27,70 |
| 33,69 | 32,87 |

$$Q_1 = 13,168 \text{ l/l}$$

| haw. | hcol |
|-------|-------|
| 24,85 | 21,70 |
| 25,89 | 22,48 |
| 26,19 | 23,55 |
| 26,96 | 24,70 |
| 32,14 | 31,14 |

$$Q_2 = 14,9 \text{ l/l}$$

| ham | hcol |
|-------|-------|
| 25,3 | 20,7 |
| 26,98 | 23,85 |
| 28,87 | 26,38 |
| 32,05 | 30,49 |
| 37,84 | 36,55 |

$$Q_3 = 16,17 \text{ l/l}$$

| haw | hcol |
|-------|-------|
| 26,58 | 22,25 |
| 26,98 | 23,03 |
| 30,38 | 28,06 |
| 33,60 | 31,94 |
| 39,18 | 38,19 |

$$Q_4 = 17,27 \text{ l/l}$$

Experiences pour le régime

noyé

| h _{am.} | h _{col} |
|------------------|------------------|
| 26,48 | 21,08 |
| 28,51 | 24,71 |
| 31,17 | 28,49 |
| 33,59 | 31,35 |
| 38,74 | 37,1 |

Q₅ = 18,54 l/s

| h _{am.} | h _{col} |
|------------------|------------------|
| 27,70 | 23,15 |
| 30,48 | 27,30 |
| 33,24 | 30,68 |
| 37,09 | 35,11 |
| 38,97 | 37,23 |

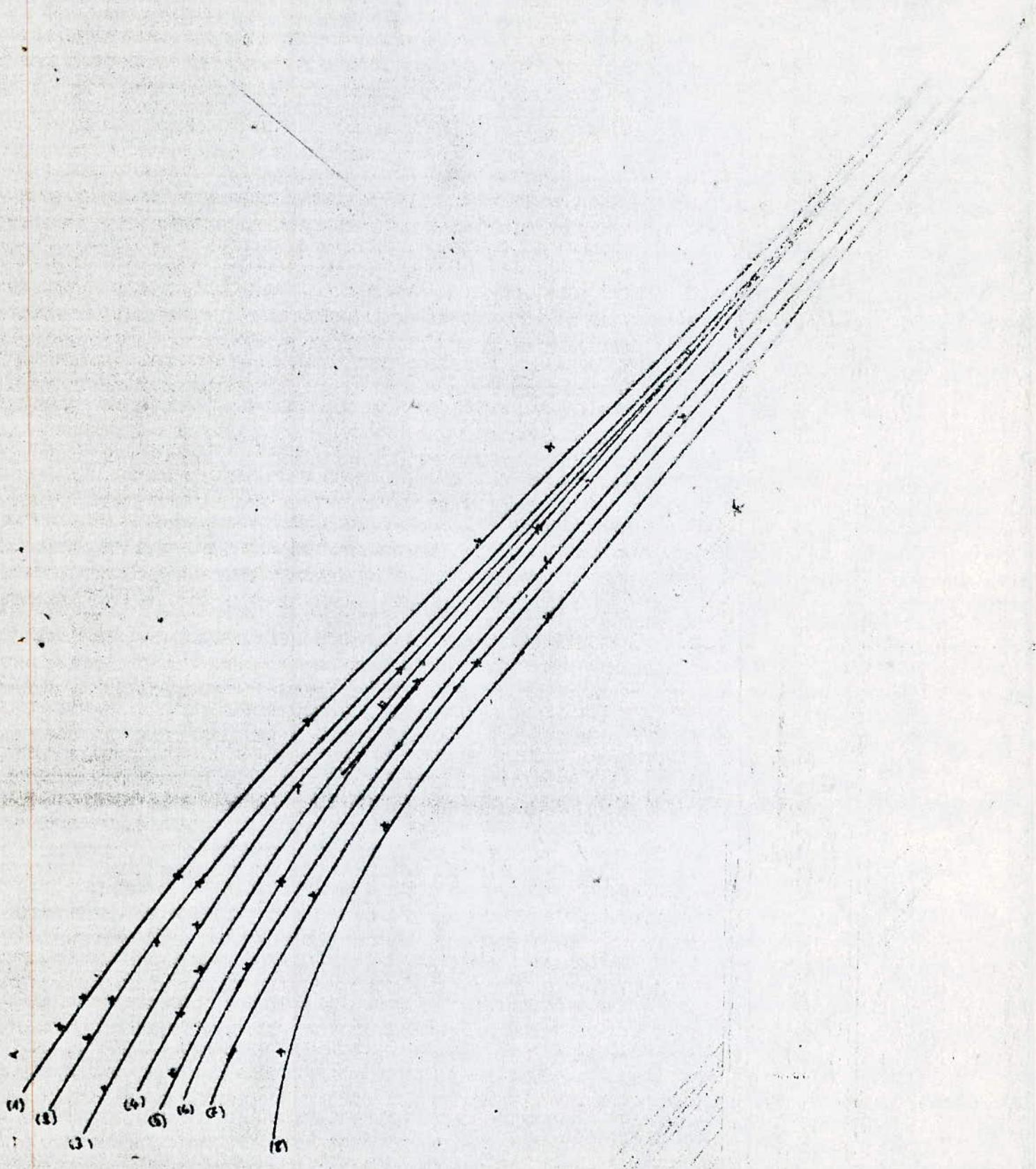
Q₆ = 19,34 l/s

| h _{am.} | h _{col.} |
|------------------|-------------------|
| 29,11 | 24,42 |
| 32,25 | 28,82 |
| 33,78 | 30,69 |
| 36,15 | 33,42 |
| 42,83 | 40,86 |

Q₇ = 21,515 l/s

| h _{am.} | h _{col} |
|------------------|------------------|
| 28,51 | 21,42 |
| 30,60 | 25,65 |
| 33,71 | 29,55 |
| 37,72 | 34,40 |
| 41,81 | 38,78 |

Q₈ = 23,11 l/s



Tableaux donnant les courbes

$h_2 = f(Q)$ et $h_1 = f(Q)$

| h_1 | Q | h_2 |
|--------|---|-------|
| 23,11 | | 24,50 |
| 21,515 | | 25,70 |
| 19,34 | | 26,40 |
| 18,54 | | 26,90 |
| 17,27 | | 27,50 |
| 16,17 | | 28,05 |
| 14,90 | | 28,50 |
| 13,17 | | 28,80 |

$h_1 = 30 \text{ cm}$

| h_2 | Q | h_1 |
|--------|---|-------|
| 23,11 | | 30,79 |
| 21,515 | | 30,20 |
| 19,34 | | 29,65 |
| 18,54 | | 29,31 |
| 17,27 | | 28,85 |
| 16,17 | | 28,45 |
| 14,90 | | 28,00 |
| 13,17 | | 27,55 |

$h_2 = 26 \text{ cm}$

Courbe donnant le débit

Pour "h₂" fixé



$$Q = f(h_1)$$

Pour ce régime (noyé), on a tracé la courbe $h_{am} = f(h_{col})$ avec les débits constants, ce qui fait qu'on a un réseau de courbes dont la limite supérieure tend approximativement vers un même point ce qui veut dire que pour tous ces débits on a atteint un même régime et vu, que notre but est de déterminer le débit pour le régime noyé on a fixé une première fois " h_1 " à une valeur constante, l'intersection de cette droite (h_1) avec le réseau de courbes nous donne plusieurs points qui projetés sur l'axe les valeurs de " h_2 " nous donne des valeurs de " h_e ". On refait la même opération on fixe " h_2 " l'intersection de cette droite avec le réseau de courbes nous donnera des points qui seront projetés sur l'axe des valeurs de " h " 1

Nous aurons donc deux (2) courbes

$$h_1 = f(Q) \text{ et } h_2 = f(Q)$$

la détermination du débit se fera graphiquement.

C O N C L U S I O N
-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-

Lors du régime dénoyé, la récupération du ressaut revet une importance vital, car ce dispositif n'est fonctionnel qu'au moment où, on arrive à la semi-modularité, la charge à l'amont est récupérée à environ 92% à l'aval. La prise d'eau pour l'irrigation se fera donc, quand le phénomène de semi-modularité est atteint et ce dans des conditions satisfaisantes.

Le bon déroulement des expériences nous a permis de tirer des résultats positifs, nous voulons dire, que les valeurs des coefficients déterminées cadrent parfaitement avec ceux proposés par PARSHALL aussi toute bonne mesure de débit ne relevera que de l'exactitude de la lecture de la hauteur relevée à l'amont; à signaler aussi que ce dispositif n'est pas très à l'aise pour les faibles et les forts débits.

Cet appareil étant constitué d'une section rectangulaire, ce qui ne donne pas, par conséquent, une bonne précision dans la détermination des débits fractionnaires; ils occasionnent en outre une perte de charge de l'ordre de 8% de la hauteur du plan d'eau amont, quand la profondeur au col atteint la valeur critique K ; le ressaut est alors ondulé. Cette propriété présente l'inconvénient de nécessiter une grande longueur de col, d'entraîner une instabilité de l'écoulement rendant les mesures imprécises et de former des tourbillons sur le radier, avec risques d'érosion. Quand le ressaut est franc, c-à-d quand la profondeur au col reste inférieure à la profondeur critique K , la perte de charge occasionnée par l'ouvrage peut atteindre les 25% de la hauteur du plan d'eau amont et même plus.

-- B I B L I O G R A P H I E --
-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

- M. CARLIER Hydraulique générale et appliquée (EYROLLES)
- E. CRAUSSE Hydraulique des canaux découverts (EYROLLES)
- B. ACHOUR Débitmètre à ressaut en canal diédrique avec
ou sans seuil (E.N.P)

