

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

7/71

3^{es}

THESE DE FIN D'ETUDES

Département Génie Civil

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

Contribution à la détermination
du seuil de Weber pour
les écoulements passant par les
orifices circulaires

PROMOTION 71

4.a

1971

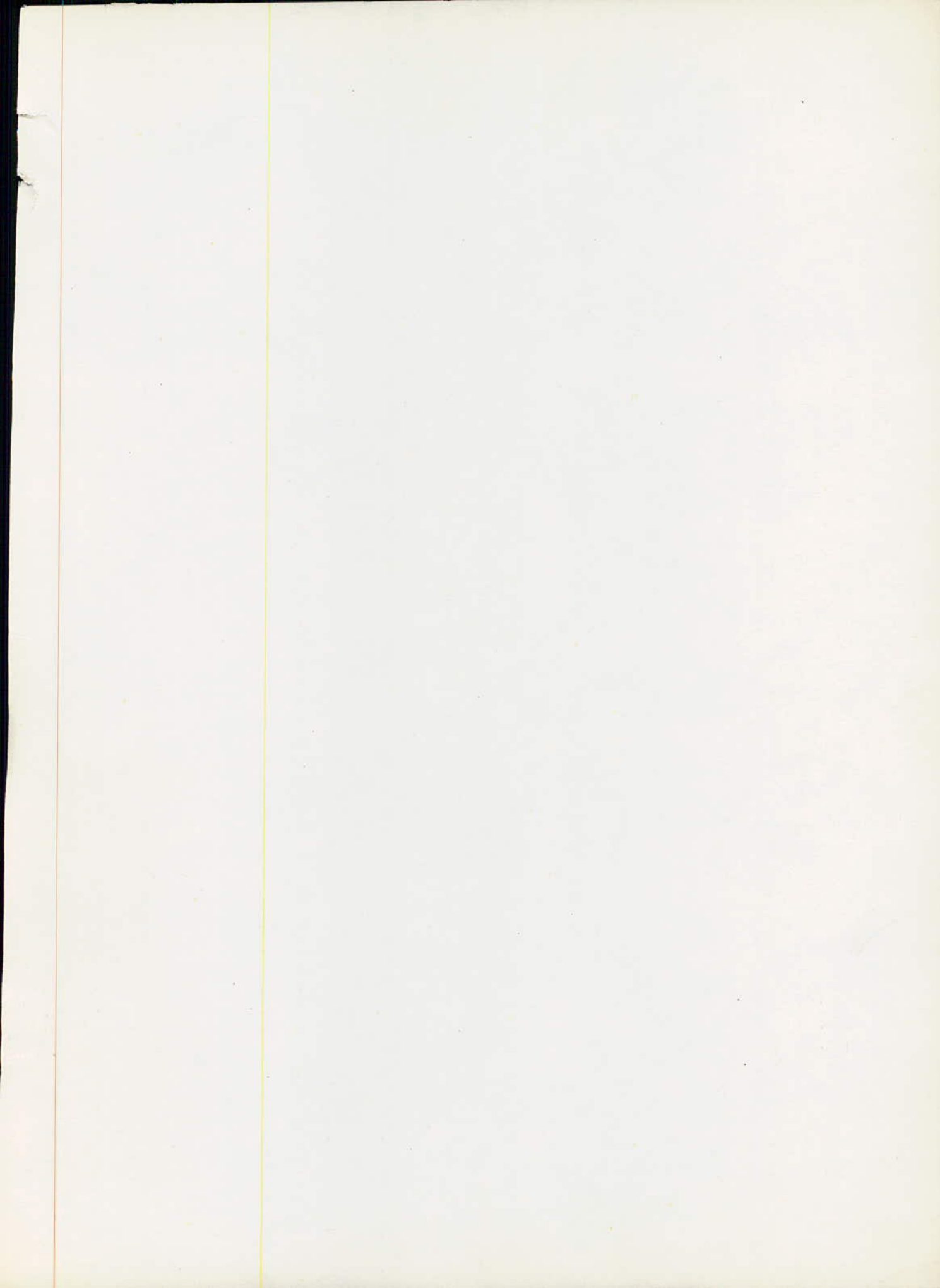
PROPOSÉ par.
M.G. LAPRAY

ETUDIÉ par.
M. MACHAKA.A

4.a

THESE DE FIN D'ETUDES

Contribution à la détermination
du seuil de Weber pour les
écoulements passant par les
orifices circulaires



REMERCIEMENT

au terme de ce travail ,je me souviendrai
toujours de l'aide bienveillante reçue
de toute part ;notamment par M.G. LAPRAY;
directeur de mon projet ,et tous les
professeurs.

toutes ces personnes ont bien voulu contri-
buer au developpement de mes connaissances
dans ce domaine et se dessaisir à mon
profit ,de leur bien remarquable documentation.

A eux tous va ma profonde gratitude

MACHAKA.A

HAM

INTRODUCTION

Le but de mon projet est l'étude expérimentale de l'écoulement à travers les orifices en minces parois (orifices latérales); et l'étude de tous les caractéristiques de cet écoulement, comme le débit, coefficient de vitesse, et coefficient de débit, etc...

Cette expérimentation est faite sous charge moyen, et petite; variant entre 25cm et 0,5cm.

D'ailleurs, c'est l'étude de l'écoulement à travers les orifices en mince paroi; du moment où cet écoulement se fait par un jet; au moment où ce jet disparaît; ensuite la nature de l'écoulement se transforme à un écoulement par déversoir circulaire; sous faible charge; (sans tenir de la vitesse d'approche, car dans ce cas là le débit le débit ne dépend que de la charge sur le seuil.)

En plus de ceci on va étudier la similitude et voir jusqu'à quelle limite les lois de similitude de REECH FROUDE restent en vigueur et du nombre de WEBER y correspondant, constituant le seuil en dessous duquel ces lois de similitude ne seront plus valables en raison de l'effet de la tension superficielle, comme il a été démontré dans l'étude précédente de M NASRI.

- les orifices en mince paroi (taillé en biseau) n'ayant pas de largeur dans le sens de l'écoulement, la perte de charge linéaire n'y intervient pas, et par voie de conséquence le seuil de REYNOLDS n'a pas de signification physique; ceci reste vrai tant que la charge n'atteint pas certaine limite.

puisque dans le cas d'écoulement à travers les orifices de petits diamètres et sous faible charge; l'écoulement serait influencé par la tension superficielle et de la viscosité; d'où les lois de similitude de REECH FROUDE ne seront plus valables.

SYMBOLES ET UNITES

Symboles

Unités

D - Diamètre d'un orifice	mm
A - Aire d'un orifice	m ²
A _c - Aire de la section contractée	m ²
C _c - Rapport de l'air de la section contractée à celle de l'orifice	sans dim.
h - Hauteur réelle du plan libre du liquide	m
V _t - Vitesse théorique du jet	m/sec.
V ₀ - Vitesse d'abaissement du niveau de l'eau dans le réservoir.	m/sec.
V ₁ - Vitesse de jet calculée par le trajectoire.	m/sec.
V ₂ - Vitesse du jet calculée par le théorème de quantité de mouvement.	m/sec.
V ₃ - Vitesse calculée d'après le débit et la section contractée.	m/sec.
g - Accélération de la pesanteur.	m/sec ²
q - Débit à travers de l'orifice.	m ³ /sec.
C _v - Coefficient de réduction de vitesse	sans dim.
m - Coefficient de débit	sans dim.
γ - Poids spécifique	Kg/m ³
ρ - Masse volumique	Kg sec ² m ⁻⁴
ν - Viscosité cinématique	m ² /sec.

SymbolesUnités

σ -	tension superficielle	Kg/m
F -	Force du jet mesurée	Kg
$\frac{F}{l}$ -	Force du jet calculée	
P -	Poids	Kg
L' -	Distance du point d'application du poids à l'axe de la balance	cm
L' -	Distance du point d'application de la force du jet à l'axe de la balance	cm
Re -	Nombre de Reynolds	sans dim.
We -	Nombre de Weber	sans dim.
Pa -	pression atmosphérique	Kg/m ²
Z -	La profondeur d'un point B au dessous de la surface libre du liquide dans le réservoir	m
ht -	hauteur théorique	m

FORMULES ET EQUATIONS UTILISEES

A) Formule de Torricelli ; Coefficient de contraction ; de vitesse ; de débit.

I - Orifice en mince paroi. On dit qu'un orifice est en mince paroi quand les filets liquides franchissent

l'orifice sans que leur direction soit influencée par la paroi de cet orifice.

C'est évidemment le cas pour les orifices taillés en biseau ; la veine liquide ne venant alors en contact qu'avec l'arrête du biseau. Mais l'expérience montre qu'il en est encore ainsi lorsque la paroi soit suffisamment faible par rapport à l'ouverture de l'orifice.

Dans ces orifices les filets quittent la paroi en lui restant tangente, sinon la composante de la vitesse normale à l'orifice aurait une loi de variation présentant une discontinuité sur le contour de l'ouverture. Sans l'influence de la pesanteur, tous les filets quittant l'orifice tendent cependant à redevenir horizontaux et le parallélisme des filets est quasi réalisé dans une section (A_c) que nous désignerons sous le nom de section contractée (Véna - Contracta Newton).

II - Coefficient de vitesse

Considérons un vase avec orifice de paroi verticale en mince paroi et supposons qu'un dispositif quelconque permette de maintenir constant le niveau du vase de façon à réaliser un mouvement permanent.

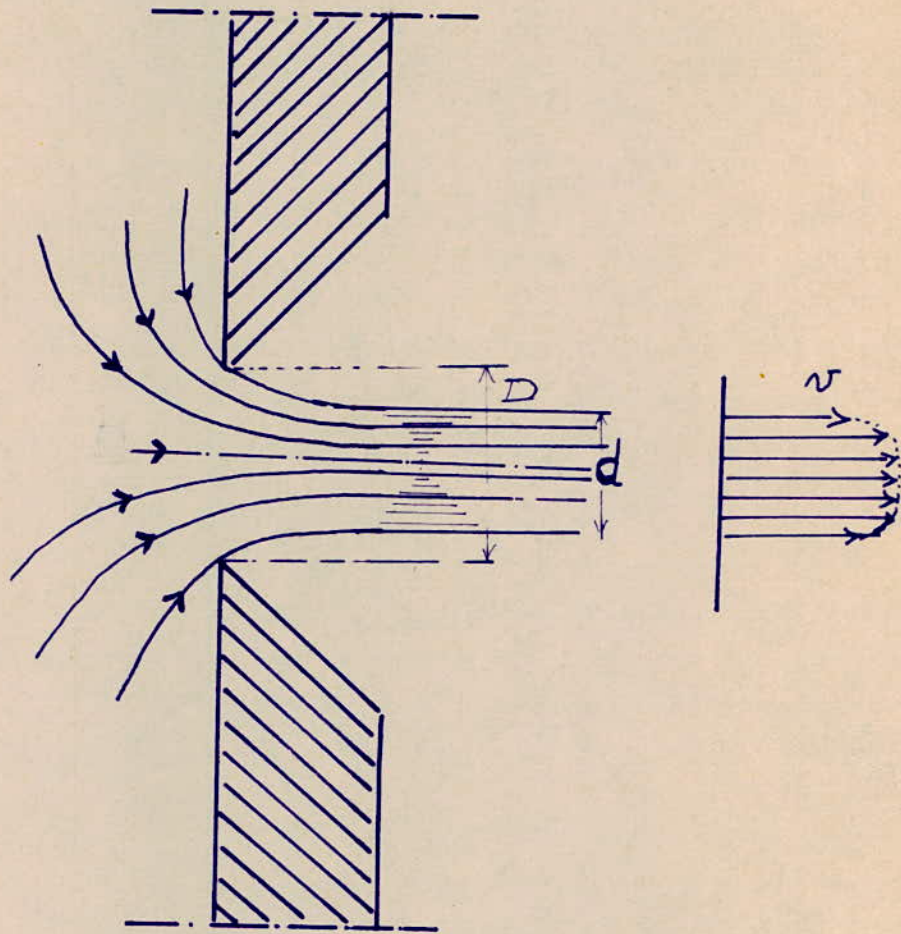


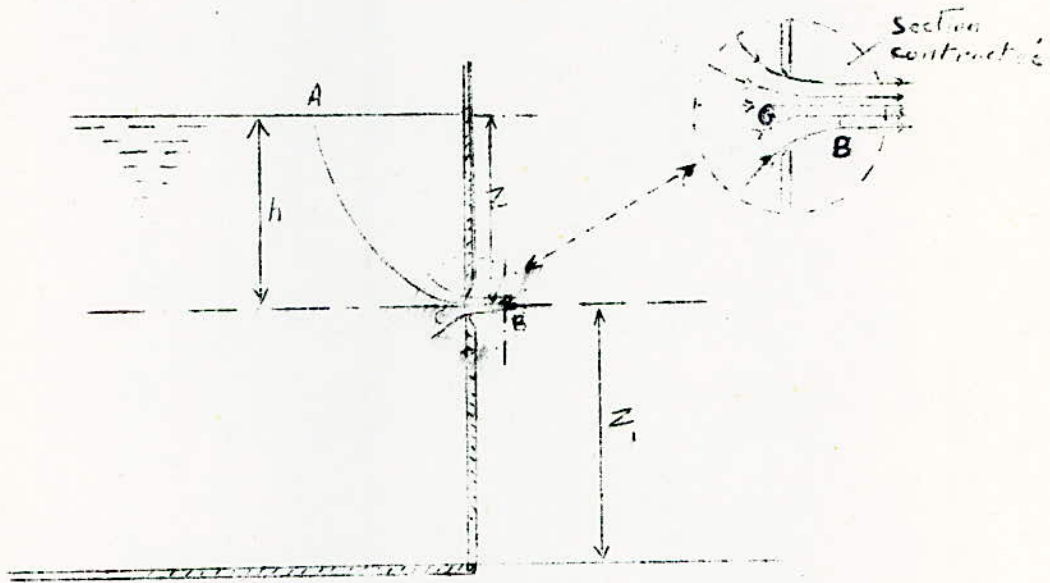
Fig. 1.

Orifice à section circulaire - en mince paroi,
taillé en biseau

Soit AB une ligne de courant partant de la section contractée en B et aboutissant en A comme l'exige l'équation de continuité.

Appliquons à AB l'équation de BERNOULLI sans le terme en $\frac{\partial v}{\partial t}$ puisque le mouvement est permanent.

$$Z_A + \frac{P_A}{\omega} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\omega} + \frac{V_B^2}{2g} + p.d.c$$



L'expérience montre qu'en général, les frottements sont négligeables, et que le terme de p.d.c ; peut être par suite être négligé.

D'autre part, si nous admettons que la section contractée est très petite, vis à vis de la section de la vase ; nous voyons d'après la règle de CASTELLI, que la vitesse V_A en V_0 peut être négligée, et on peut écrire aussi que la pression atmosphérique extérieure, règne en A et en B.

Donc :

$$P_A = P_B = P_a$$

et on aura finalement : $V_{tB} = V_{tI} = \sqrt{2g(Z_A - Z_B)}$ et en posant $Z = (Z_A - Z_B)$ = vitesse théorique calculée par la trajectoire $V_{tI} = \sqrt{2gZ}$

puisque les dimensions de l'orifice étant petite, dans le sens vertical, celle de la section contractée le sont aussi, on peut considérer Z comme constant, et négliger ses variations quand on se déplace à travers la section du jet.

; c.a.d. $Z = h$ et la vitesse théorique aura pour valeur

$$V_t = \sqrt{2g.h.} \quad (I-A)$$

3) Section contractée et vitesse dans la section contractée et coefficient de contraction.

Les particules liquides se dirigent en mouvement accéléré, vers l'orifice de l'espace environnant, suivent les trajectoires régulières diverses (voir fig-I) Le jet se décolle de la paroi à partir du bord de l'orifice après quoi il se contracte légèrement. Le jet prend une forme cylindrique, à une distance à peu près égale au diamètre de l'orifice. La contraction du jet résulte du changement progressif de trajectoires décrites par les particules liquides qui se meuvent vers l'orifice le long de la paroi.

Le degré de contraction du jet, peut être évalué à l'aide

du coefficient de contraction C_c , qui est égal au rapport des sections du jet dans la section contractée et de l'orifice.

$$C_c = \frac{\text{Section contractée}}{\text{Section de l'orifice}} = \frac{A_c}{A} \quad (2-A)$$

Ainsi l'analyse du diagramme des vitesses dans la section du jet nous montre qu'ils ne sont pas réguliers que dans la partie centrale de ces sections (dans le noyau du jet). La couche extérieure du liquide est quelque peu freinée, par suite de son frottement contre la paroi ; ainsi que le montrent les expériences, la vitesse dans le noyau du jet est pratiquement égale à la vitesse théorique V_t , c'est pourquoi le coefficient de vitesse C_v doit être considéré comme rapportée à la vitesse moyenne. Par suite la vitesse dans la section contractée est :

$$V = C_v \sqrt{2 gh} \quad (3-A)$$

d'où

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{2 gh}} \quad (3'-A)$$

Coefficient de débit

Le débit sortant à travers l'orifice est égal à celui qui traverse la section contractée, puisque le régime est permanent, le débit par suite est le même dans toute les sections du jet.

$$Q = A_c \cdot v$$

mais $A_c = C_c \cdot A$ et $v = C_v \sqrt{2gh}$

par suite $Q = C_c \cdot A \cdot C_v \cdot \sqrt{2gh}$

et en posant $m = C_c \cdot C_v$

alors $Q = m \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$

m est appelé par définition : le coefficient du débit

$$m = \frac{Q}{A \sqrt{2gh}} \quad (4-A)$$

B- Equation des quantités de mouvement

L'Equation des quantités de mouvement découle du second axiome de Newton.

Cette équation exprime l'équivalence existante entre :

- La résultante des forces agissant sur une portion de fluide en écoulement permanent occupant instantanément un domaine déterminé d'une part.
- Et la résultante des quantités de mouvement sortant et entrant dans ce même domaine, d'autre part.

Dans le cas d'un jet agissant sur une paroi perpendiculaire à la direction du jet,

$$F = \rho \cdot Q \cdot v \quad (I-B)$$

C- Nombre de Reynolds et de Weber

I) Reynolds - Le nombre de Reynolds caractérise la relation entre les forces dues à l'inertie et les

forces dues à la viscosité. Ce nombre joue un grand rôle dans la détermination des phénomènes d'écoulement, de résistance, etc...

$$R_e = \frac{C_v \cdot D \cdot \sqrt{2gh}}{\nu} \quad (I-C)$$

II - Wber Le nombre de Wber exprime la relation entre les forces dues à l'inertie et les forces dues à la tension superficielle.

Ce paramètre est important pour l'étude des petits jets et des gouttes etc...

$$W_e = \frac{\rho V^2 D}{\sigma} \quad (2-C)$$

Définition et division

Deux mouvements hydrauliques sont semblables lorsqu'ils font des trajectoires géométriquement semblables et quand il existe un rapport entre caractéristiques hydrauliques correspondantes en des points homologues de deux écoulements. C'est ainsi que doit exister un rapport constant entre pressions, un autre rapport constant entre les vitesses etc... en deux points homologues. Nous envisagerons deux grandes classes parmi les mouvements hydrauliques :

- a) Les écoulements comportant une surface libre. (orifice, canaux, déversoirs...).
- b) Les écoulements en charge (conduites, corps immergés, etc...).

Dans le cas d'ouvrages tels que, orifices, vannes, déversoirs etc Les forces déterminant l'écoulement sont dues à la pesanteur et à l'inertie, les forces dues à la viscosité sont insignifiantes, elles n'interviennent même pas dans les formules relatives au phénomène. Ainsi les essais sur modèle concernant cette catégorie d'ouvrages, dites ouvrages courtes doivent être exécutés suivant les lois de la similitude de

REECH-FROUDE.

LOIS DE SIMILITUDE

- a) - Similitude géométrique : C'est le rapport des dimensions linéaires homologues du modèle et du prototype :

$$\text{soit } \lambda = \frac{L_2 \text{ (modèle)}}{L_1 \text{ (prototype)}}$$

- b) - Similitude cinématique : La similitude cinématique exige que les vitesses et les accélérations soient dans un rapport défini et constant en tous les points correspondants des deux écoulements dans le modèle et dans le prototype.

- c) - Similitude ^{dynamique} ~~hydrodynamique~~ - Similitude de REECH-FROUDE :

Les mouvements du fluide dans le prototype et dans le modèle sont provoqués par des forces pour que les deux systèmes (modèle et prototype) soient dynamiquement semblables, il est donc nécessaire que les forces agissant en des points homologues du modèle et du prototype soient dans un rapport fixe et bien déterminé. Il en découle que l'existence d'une similitude dynamique stricte est conditionnée par l'identité des nombres FROUDE, REYNOLDS, MACH et WEBER, dans les points homologues du modèle et du prototype.

Du point de vue pratique la similitude dynamique présente sous 2 cas :

α) - Cas où les forces dues à la viscosité sont négligeables par rapport aux forces dues à l'inertie et à la pesanteur (Similitude de REECH-FROUDE)

β) - Cas où les forces dues à la pesanteur ^{sont négligeables} par rapport aux forces dues à l'inertie et à la viscosité (Similitude de REYNOLDS)

Ce qui nous intéresse dans cette étude c'est la similitude de REECH-FROUDE

D-I.- Similitude de REECH-FROUDE

La force due à l'inertie agissant sur la particule de masse m animée d'une vitesse v sur sa trajectoire dont le rayon de courbure est r , a pour expression :

$$F = m v^2 / r$$

Dans le prototype on aura donc : $F_I = m_I \frac{v_I^2}{r_I}$

au point homologue du modèle $F_2 = m_2 \frac{v_2^2}{r_2}$

$$\text{d'où } \frac{F_2}{F_I} = \frac{m_2}{m_I} \cdot \frac{v_2^2}{v_I^2} \cdot \frac{r_I}{r_2}$$

posons : $\frac{F_2}{F_I} = \lambda_i$ échelle des forces d'inertie

$$\frac{m_2}{m_I} = \lambda_m \text{ échelle des masses}$$

il vient :

$$\lambda \rho_i = \frac{\lambda_m \cdot \lambda_v^2}{\lambda} = \lambda_m \cdot \lambda \cdot \lambda_t^{-2} \quad (1-D)$$

mais le rapport des masses est égal au rapport des masses volumiques multiplié par le rapport des volumes L^3 soit :

$$\lambda_m = \lambda_\rho \cdot \lambda^3 \quad (2-D)$$

en substituant (2-D) en (1-D) on obtient :

$$\lambda \rho_i = \lambda_\rho \cdot \lambda^4 \cdot \lambda_t^{-2} \quad (3-D)$$

pour le rapport des forces de pesanteur (de la forme $F=mg$)

on trouverait d'une manière analogue l'expression suivante :

$$\lambda f_p = \lambda_\rho \cdot \lambda^3 \cdot \lambda_g \quad (4-D)$$

g désignant l'échelle de l'accélération de la pesanteur

comme il est pratiquement impossible de faire varier g on a :

$$\lambda_g = I$$

et l'équation (4-D) devient :

$$\lambda f_p = \lambda_\rho \cdot \lambda^3 \quad (5-D)$$

Si donc l'écoulement considéré est tel que les forces dues à la viscosité puissent être négligées par rapport aux forces dues à l'inertie et à la pesanteur, ces deux dernières catégories sont pratiquement seules à intervenir et la condition des similitudes des forces impose que les deux rapports λ_p et λ_{pf} soient les mêmes,

$$\lambda_p \cdot \lambda^4 \cdot \lambda_f^{-2} = \lambda_p \cdot \lambda^3$$

donc

$$\boxed{\frac{\lambda}{\lambda_f^2} = 1} \quad (6-D)$$

$$\text{ou } \frac{\lambda^2}{\lambda_f^2} = \lambda \Rightarrow$$

$$\boxed{\lambda_v = \frac{\lambda}{\lambda_f} = \sqrt{\lambda}} \quad (7-D)$$

Le rapport des vitesses est donc égal à la racine carrée du rapport des longueurs. Cette relation très importante est connue sous le nom de LOI DE SIMILITUDE DE REECH-FROUDE.

- Finalement en combinant les similitudes géométriques, cinématiques et dynamiques : on peut établir l'échelle de débit :

$$\boxed{\lambda_Q = \lambda^{5/2}} \quad (8-D)$$

Execution Pratique

Lhydraulique est une science à la fois théorique et expérimentale.

La théorie de la similitude nous permet d'exécuter des essais sur modèles et de rapporter les résultats obtenus sur les dispositifs réels.

I-But de l'exécution

Ils'agit de fabriquer un modèle qui nous permet de faire des essais sur différents orifices en minces parois, et sous charge qui peut être constant, comme il peut être variable .
 pour cela on a pensé à la construction d'un système d'alimentation (vase de Lamariotte) qui nous assure une alimentation continue et selon le besoin.

2-Description du modèle.

La maquette est fabriqué en plexiglass ,elle est constituée par:

- 1 a- un bassin muni d'un dispositif pour la fixation des orifices .Fig(2-A).
 - 2 b- le bassin est muni d'un système de mesure de charge .
 - 3 c- ce système de mesure est installé dans une chambre tranquillisateure des oscillations
-
- 4 a- 3 vases de Lamariotte (amélioré par M.G.LAPRAY) ces vases ont des dimensions différents. Fig.(I-B).
- chacun des vases est muni d'une échelle graduée; cette échelle est installée dans une chambre tranquillisateure Fig.(2-B).

C a-une balance .Fig.(I-C).

D a- un vernier coulissant sur une reglette graduée
Fig(2-A).

E a- système en bois pour la fixation de maquette.
Fig(I-D).

A:Le Bassin. Fig(2-A).

d'abord le bassin a une forme cubique ,muni d'un dispositif pour la fixation des diverses plaques dans lesquelles on a effectué les orifices de différents diamètres.

Le bassin est muni d'une échelle graduée qui nous permet de préciser la charge h. cette échelle est mise à l'intérieur d'une chambre tranquillisatrice ; en effet quand on ajoute de l'eau dans le bassin;il se produit des oscillations qui demandent un certain temps pour disparaître ;or ces oscillations gênent la détermination et la lecture des niveaux correspond aux différentes charges ;pour pour cela on a réalisé une chambre tranquillisatrice qui a pour rôle de diminuer l'influence des ces oscillations sur la lecture des mesures.

B: VASES de LAMARLOTTE.

il y a : un grand vase ,un moyen ,et un petit, de diamètres respectifs ; 19 cm, 14cm , 7cm.

ces trois vases sont différents en dimensions et en capacités , de façon à les utiliser dans différents cas.

- le grand vase est utiliser dans le cas des essais sur les grands orifices ;

et 1cm de l'échelle correspond à un débit de 290mm³ ou $290 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

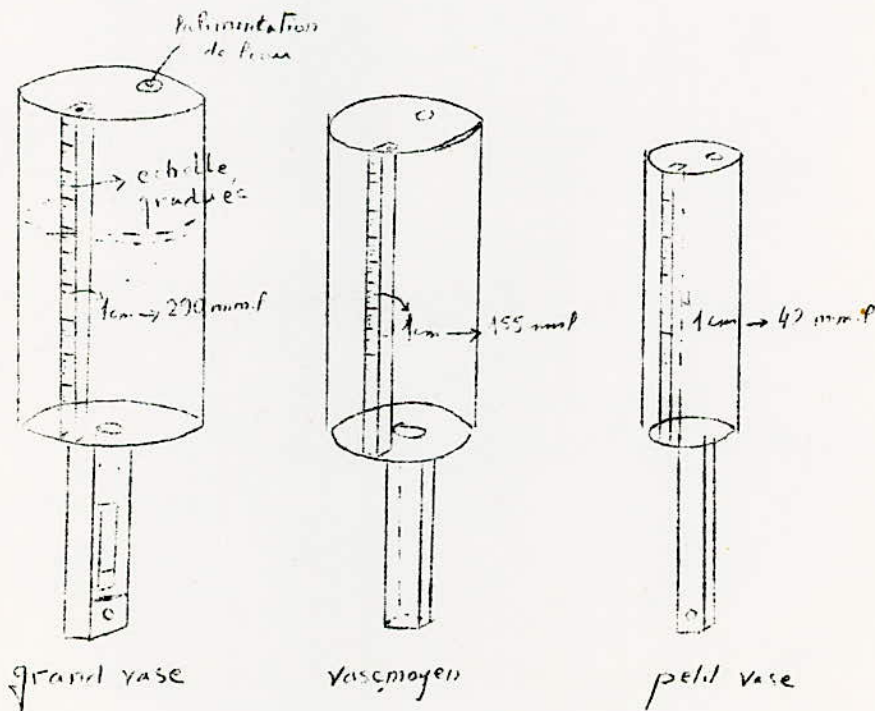
- le vase moyen est utiliser dans le cas des essais sur les orifices de diamètres respectifs:

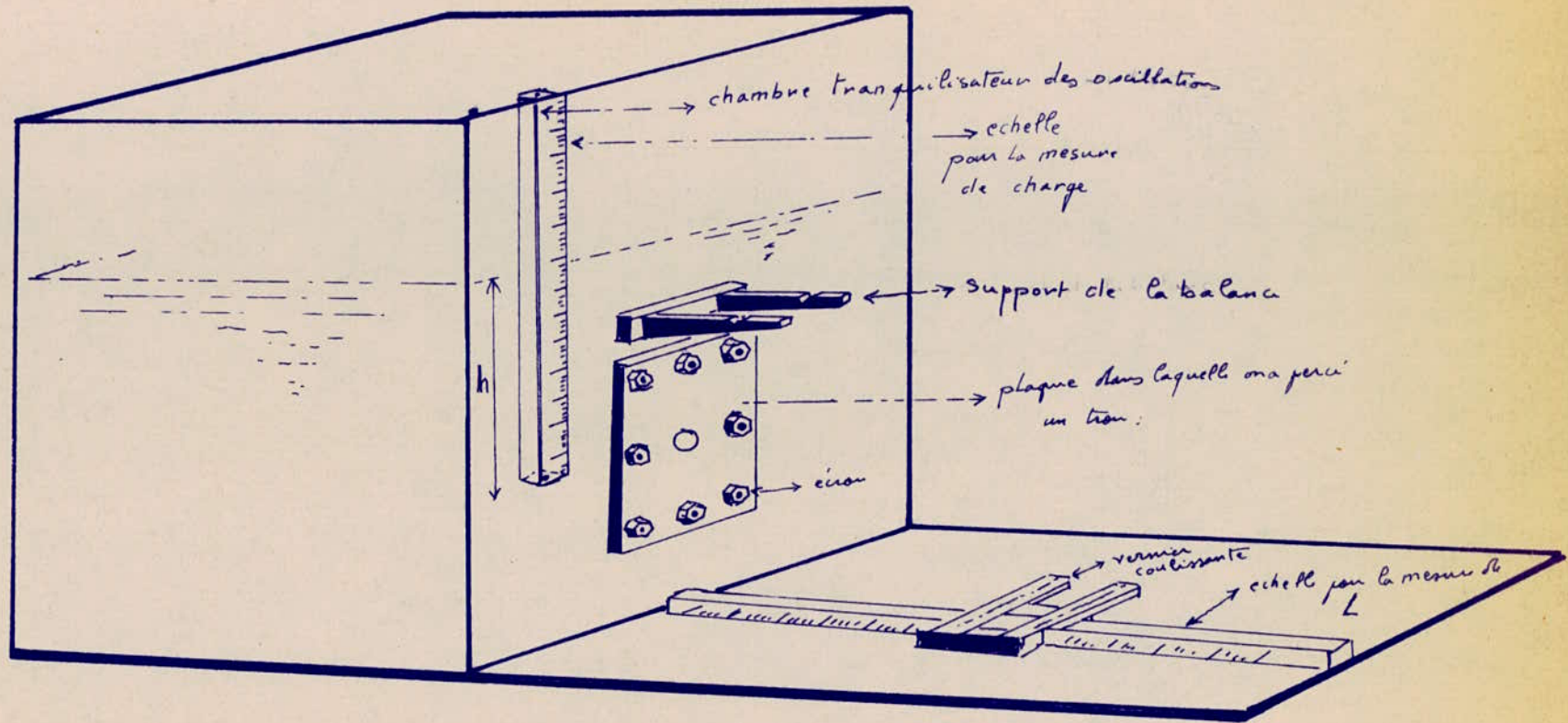
3; 2,5 ; 2; mm et 1cm de l'échelle correspond

à 155mm³; ou $155 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

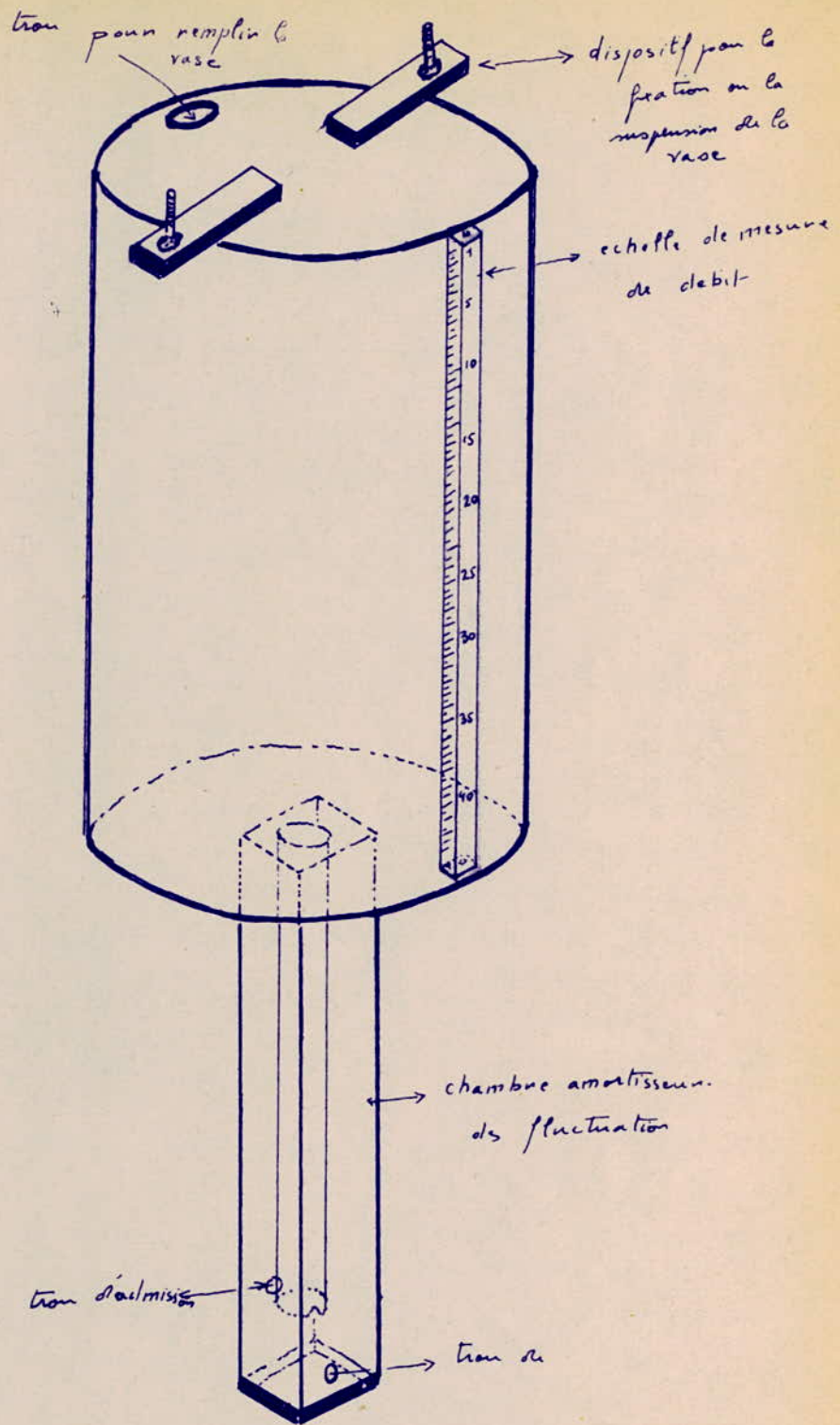
le petit vase , est utilisé pour les petits orifices de diamètres respectifs: 2; 1,5; 1; mm.

et 1cm de l'échelle correspond à 42mm³ ou $42 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$.

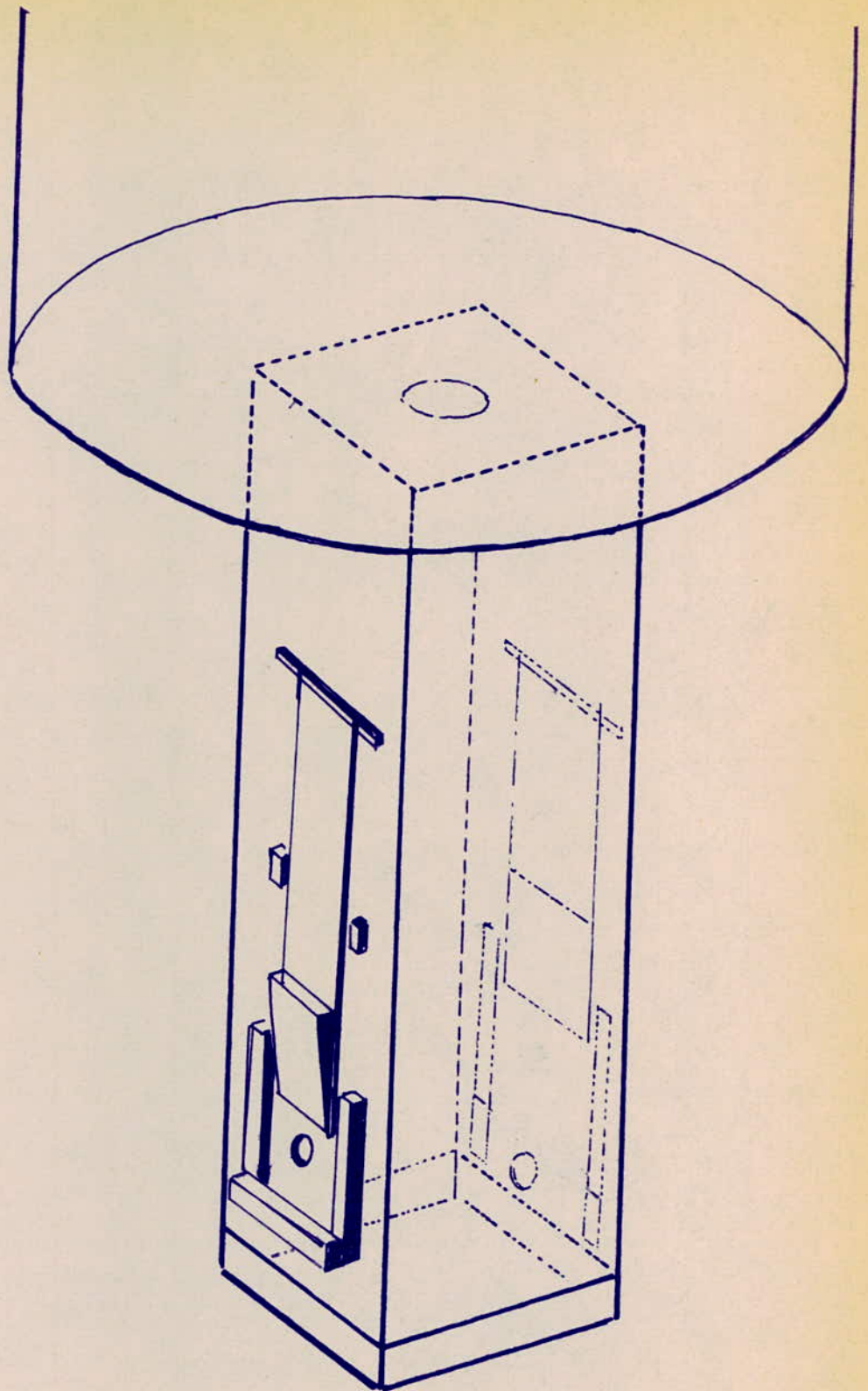




Le bassin · Fig. (2-A)

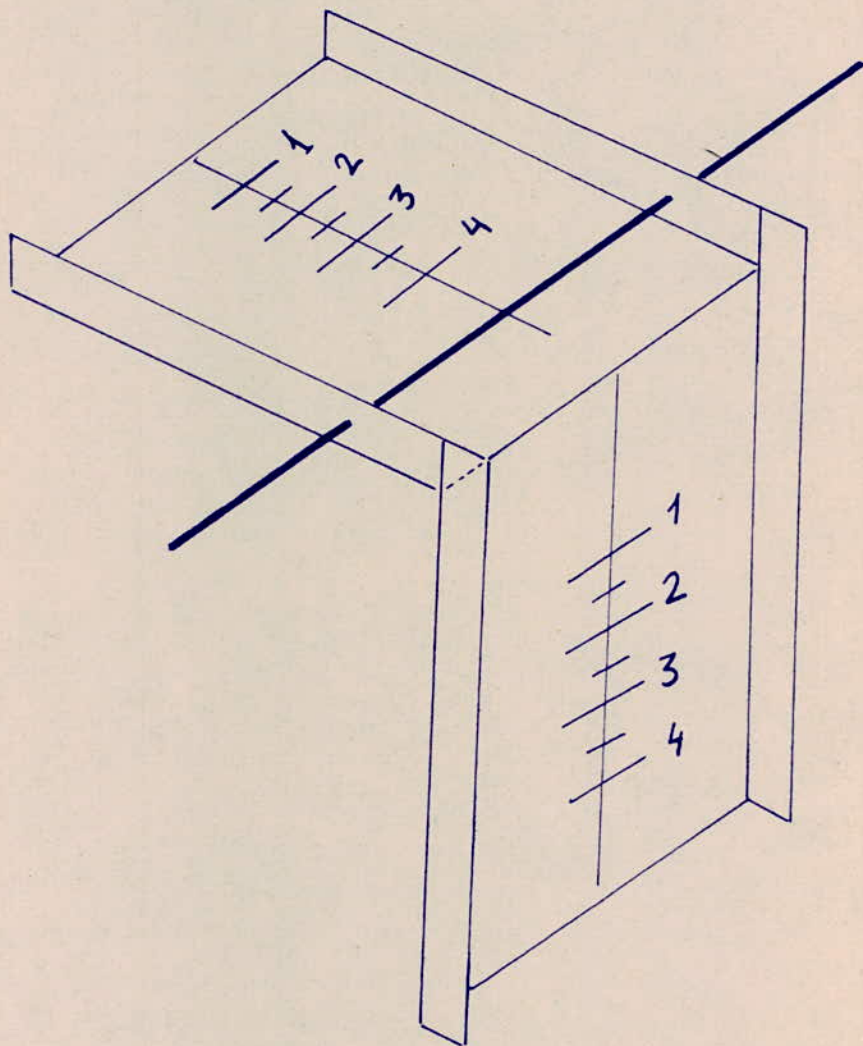


Vase de Lamariotte
 Fig (1-B)



chambre amortisseur des fluctuations

Fig (2-B)



- balance -
Fig. 1-C

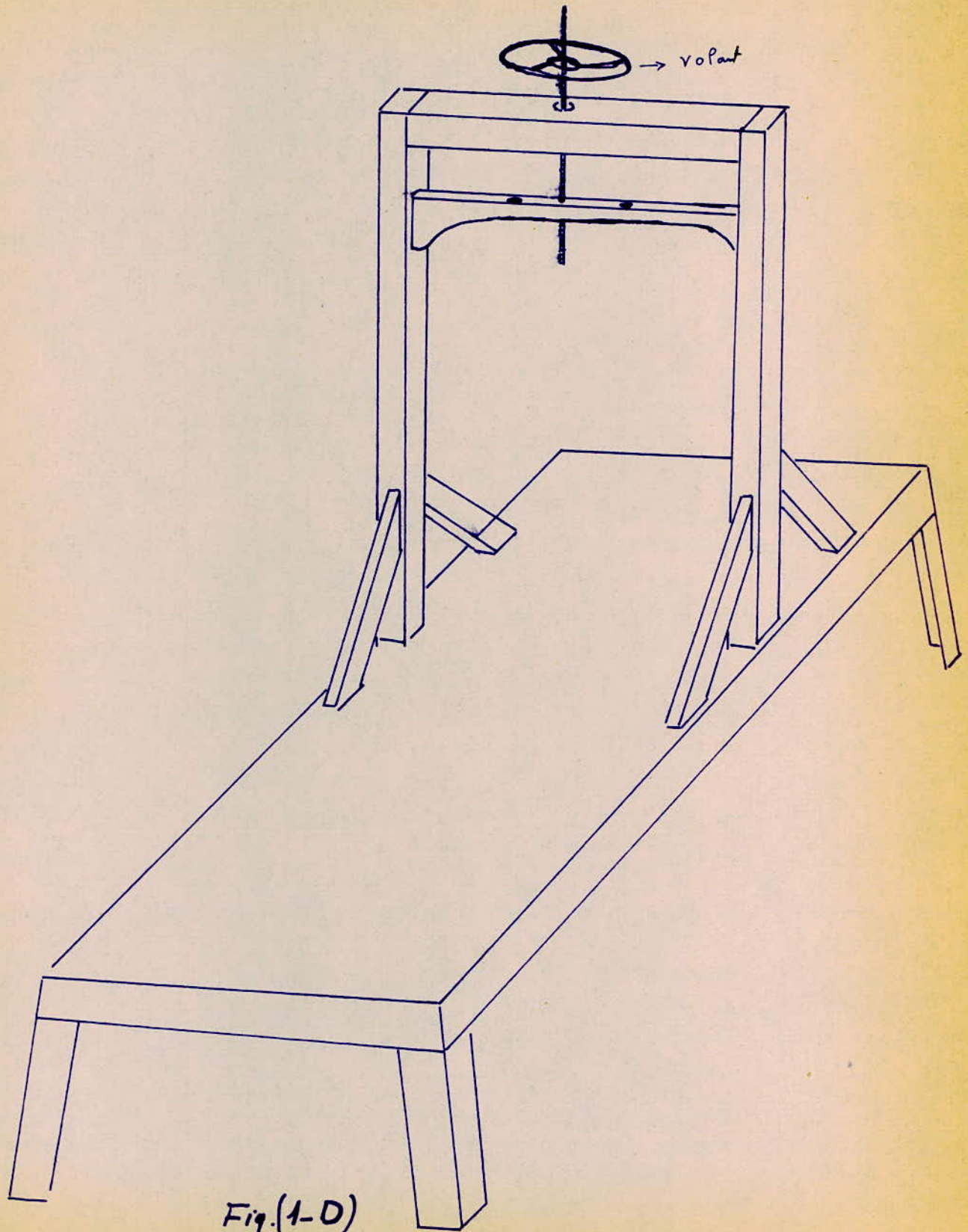
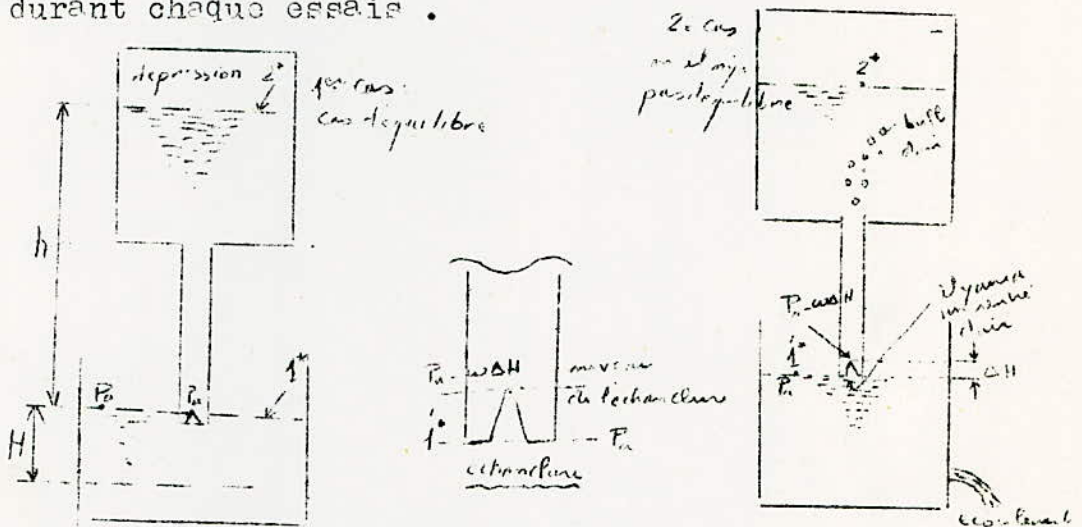


Fig. (1-D)

FONCTIONNEMENT DU VASE DE LAMARIOTTE.

Le tube de LAMARIOTTE a pour but d'assurer une alimentation continue d'eau pour le bassin de telle manière que la charge reste constante, et l'écoulement à travers les orifices reste permanent et uniforme, durant chaque essai.



-dans l'état d'équilibre, (cas où il n'y a pas d'écoulement), on a:

au plan I' et au niveau de l'échancrure règne P_a .

au point 2^* règne $(P_a - \omega h)$

Quand H diminue; on aura au niveau de l'échancrure une pression égale: $P_a - \omega \Delta H$; tandis qu'au niveau du plan d'eau I' règne P_a .

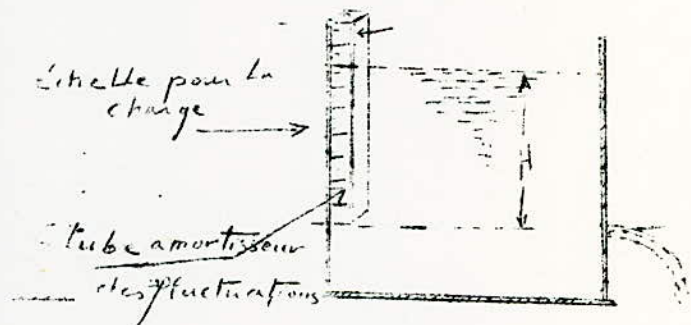
En d'autre terme le niveau externe descend, tandis qu'à l'échancrure il y a $P_a - \omega \Delta H$, et la pression externe reste constante; pour que l'équilibre soit rétabli de

nouveau, il y a un rentré de l'air dans la vase de LAMARIOTTE, par suite une augmentation de pression dans la vase et par suite l'eau s'écoule du vase de LAMARIOTTE pour remplacer la quantité qui vient s'écouler à travers l'orifice.

Or l'écoulement de l'eau du vase de LAMARIOTTE dans le bassin va créer des fluctuations variant de 5mm de part et d'autre du plan d'équilibre, ou en somme 12mm ; ceci gêne et perturbe la lecture de la charge .

pour éviter l'influence de ces fluctuations on a pensé au tube amortisseur des fluctuations.

Fig.(2-B). qui est muni de 2 trous ; l'un pour l'admission de l'air et l'autre pour le refoulement de l'eau.



ESSAIS ET RESULTATS

Les essais qu'on va faire, ont pour but la détermination.

Les différentes caractéristiques suivantes des orifices

à mince parois :

- Coefficient de vitesse
- Coefficient de débit
- Coefficient de contraction

en plus de ceci on doit trouver dans quelle mesure et suivant quelle loi, les résultats obtenus sur le modèle peuvent-ils être transposés dans l'écoulement naturel en vraie grandeur, et de trouver la limite inférieure des échelles applicables sur les modèles réduits.

I - Coefficient de vitesse et de débit

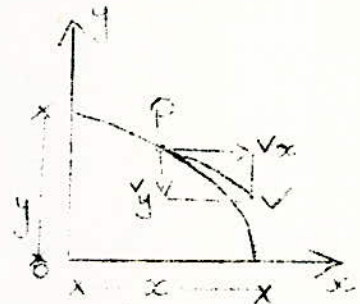
I-I . Cinématique du mouvement curviligne

Quand un point mobile parcourt une trajectoire courbe on dit qu'il a un mouvement curviligne. Nous allons étudier la cinématique de ce mouvement en supposant que la trajectoire du point matériel soit une courbe plane.

-or le jet en sortant de l'orifice prend une trajectoire parabolique, pour cela on peut définir la position d'un point P, quelconque du jet par les 2 coordonnées qui changent avec le temps.

$$x = f_1(t) \quad , \quad \text{et}$$

$$y = f_2(t)$$



-lorsque ces deux expressions sont données, le mouvement du point matériel dans son plan est complètement défini.

En effet comme on a dit au début, le mouvement du jet est parabolique, le vecteur vitesse est tangent à la trajectoire décrite.

soit \vec{V} le vecteur vitesse agissant au point P,

il peut être décomposé en deux composantes,

\vec{V}_x et \vec{V}_y , et par suite le point matériel semblerait se déplacer avec une vitesse horizontale uniforme V_x ; il semblerait aussi se déplacer comme un point matériel projeté verticalement vers le bas avec une accélération égale à g .

Les équations générales tirées sont:

$$- \quad X = V_x \cdot t + X_I \quad \text{or} \quad X_I = 0 \text{ (distance initiale)}$$

$$\text{on aura } X = V_x \cdot t$$

$$- \quad Y = \frac{1}{2}gt^2 + V_y \cdot t + Y_I \quad \text{or} \quad V_y \text{ et } Y_I \text{ sont nuls}$$

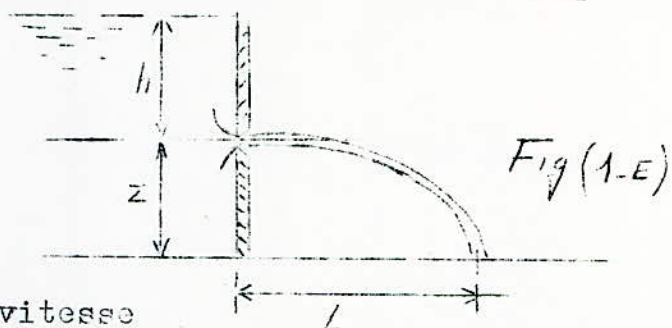
$$\text{on aura } Y = \frac{1}{2}gt^2$$

et si on écrit ces résultats selon les notations

choisis au début on aura :

$Z = \frac{1}{2}gt^2 \quad \longrightarrow \quad t = \sqrt{2 \frac{-Z}{g}}$	(I - E)
$L = V \cdot t \quad \longrightarrow \quad V = \frac{L}{t}$	

donc pour savoir la vitesse V il suffit de prendre la mesure de L pour chaque valeur de la charge



I-2 Coefficient de vitesse

En vertu de la formule $V = C_v \sqrt{2 gh}$

on tire $C_v = \frac{V}{\sqrt{2 gh}}$ (2-E)

ayant les valeurs de h et de V on arrivera facilement à déterminer C_v .

Dans ce cas on pose h ; et on lui donne plusieurs valeurs ; tandis que V est calculé d'après la formule (I-E).

I-3 Coefficient de débit : d'après la formule (4-A) on a

$$m = \frac{Q}{A \sqrt{2 gh}}$$

pour calculer le coefficient de débit m il faut savoir les valeurs de h , A , Q

h : c'est celle qu'on a posé pour le calcul de la vitesse.

A : c'est la section de l'orifice à étudier.

Q : c'est le rapport du volume d'eau v qui sort de l'orifice pendant une durée t , sur le temps t .

C'est par suite l'expression du débit unitaire.

$$Q = \frac{v}{t}$$

et pour calculer Q il nous suffit de chronométrer un volume v pendant t seconde.

2 - Calcul de R_e et W_e

Les nombres de wber et de Reynolds peuvent être calculés facilement d'après les deux formules :

$$R_e = \frac{C_v \cdot D \cdot \sqrt{2gh}}{\nu}$$

$$W_e = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot D}{\sigma}$$

La température de l'eau varie entre 0 et 100°C

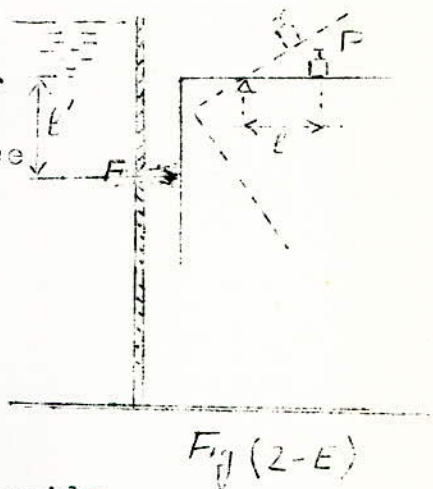
d'où

$$\sigma = (76 - 0,18t) \cdot 10^{-4} \cdot \text{Kg/m}$$

3 - Force du jet

On peut trouver la force exercée par le jet par deux méthodes.

- a) par les essais : Le jet exerce sur la balance placée près de l'orifice une force F . fig (2-E).



Cette force est appliquée à une distance l' par rapport au centre de gravité de la balance; cette force est équilibrée par un poids P placé à une distance l par rapport à ce même centre de gravité ; et pour que la balance soit en équilibre il faut que la somme des moments des forces appliquées soient nuls :

$$Pl = F.l'$$

d'où

$$F = \frac{P.l}{l'} \quad (3-E)$$

- b) par le calcul d'après le théorème de quantité de mouvement :

en effet $F_I = \rho \cdot Q \cdot V_3$

mais $V_3 = \frac{Q}{A_c}$

donc $F_I = \rho \frac{Q^2}{A_c}$ (4-E)

Q , étant le débit déterminé.

A_c = section contractée dont on doit la valeur.

4 - Détermination du coefficient de contraction.

pour la détermination du coefficient on procède de la manière suivante :

a) on détermine exactement le diamètre de chaque orifice, d'où on aura A

b) quant à A_c on la déterminera par la photographie ; ceci en prenant des photos pour le jet d'une distance de 20 cm et pour différentes charges.

Pour la précision des mesures, la lecture était faite à l'aide d'un microscope .

Et le coefficient de contraction sera:

$$C_c = \frac{A_c}{A}$$

CALCULS ET RESULTATS

les résultats de calculs sont données par 4 séries de tableaux et des graphiques .

La 1^o série : concerne les tableaux donnant les résultats du calcul à partir la trajectoire ; et le théorème de quantité de mouvement ; suivies des courbes $C_v = f(W)$. pour les différents orifices .

La 2^o série : concerne les tableaux des mesures de coefficient de contraction , par la méthode photographique (photo du jet); avec une série de graphique $C_c = f(R)$.

la 3^o série : tableaux de comparaison entre les différentes valeurs expérimentales et les différentes valeurs théoriques ; suivies par des abaques de comparaison .

la 4^o série : concernant l'étude du seuil de Weber .

=====

1° SERIE DES TABLEAUX.

dans ces tableaux on va mesurer la vitesse du jet de deux façon ; par la trajectoire , et après, par le théorème de quantité de mouvement .

pour ces mesures , on connait que la hauteur du centre de gravité de tous les orifices au plan de référence est constante : $Z=0,105$ m. par suite on a :

$$Z = 1/2gt^2 ; \Rightarrow t = \sqrt{2Z/g} = \sqrt{2 \cdot 0,105/9,8} = 0,146 \text{ sec}$$

$$t = 0,146 \text{ sec.}$$

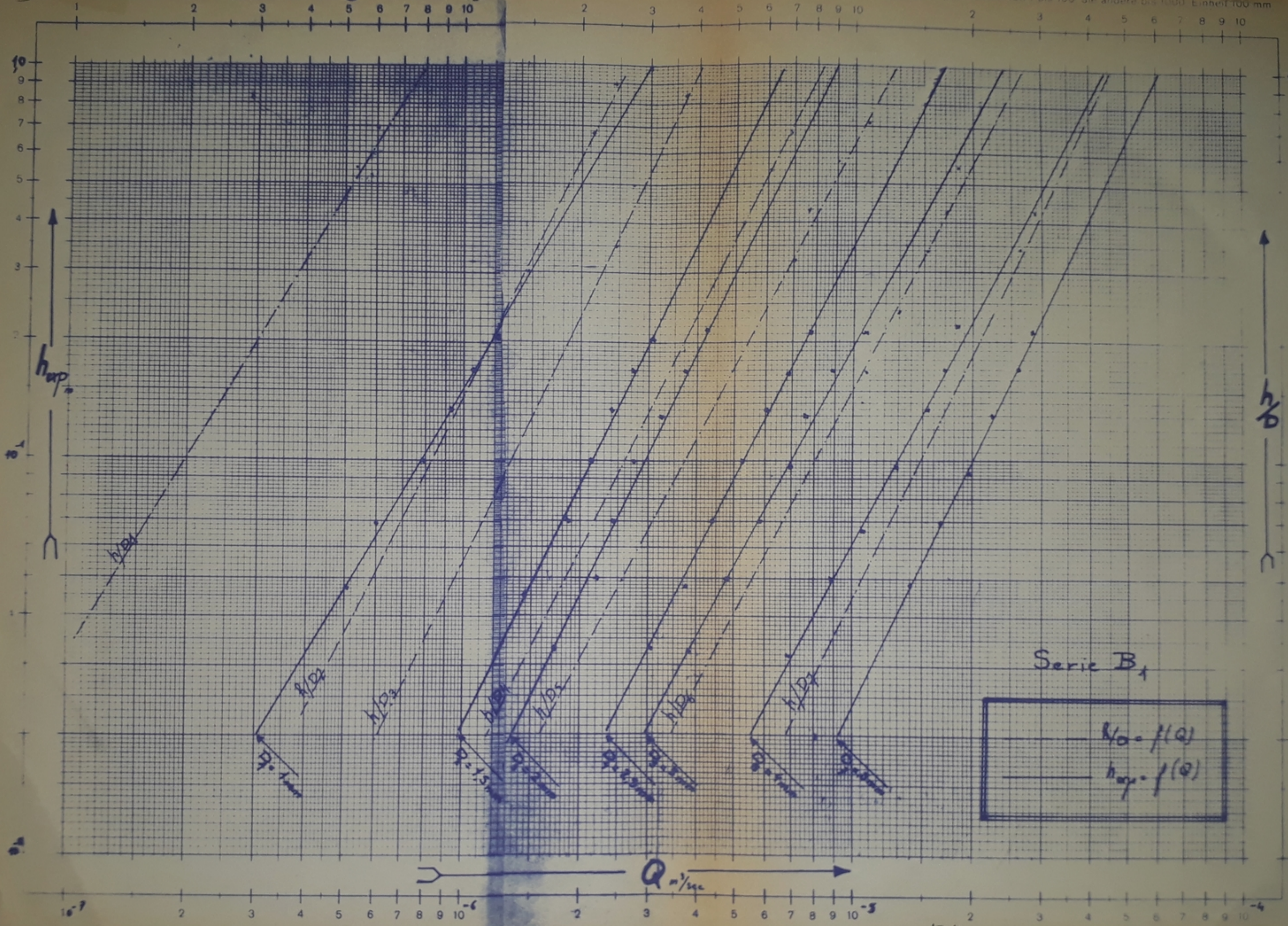
La température de l'eau pendant les essais est $\theta=20^\circ\text{c}$

d'où :

$$\sigma = 7,43 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$$

$$\rho = 102 \cdot \text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4$$

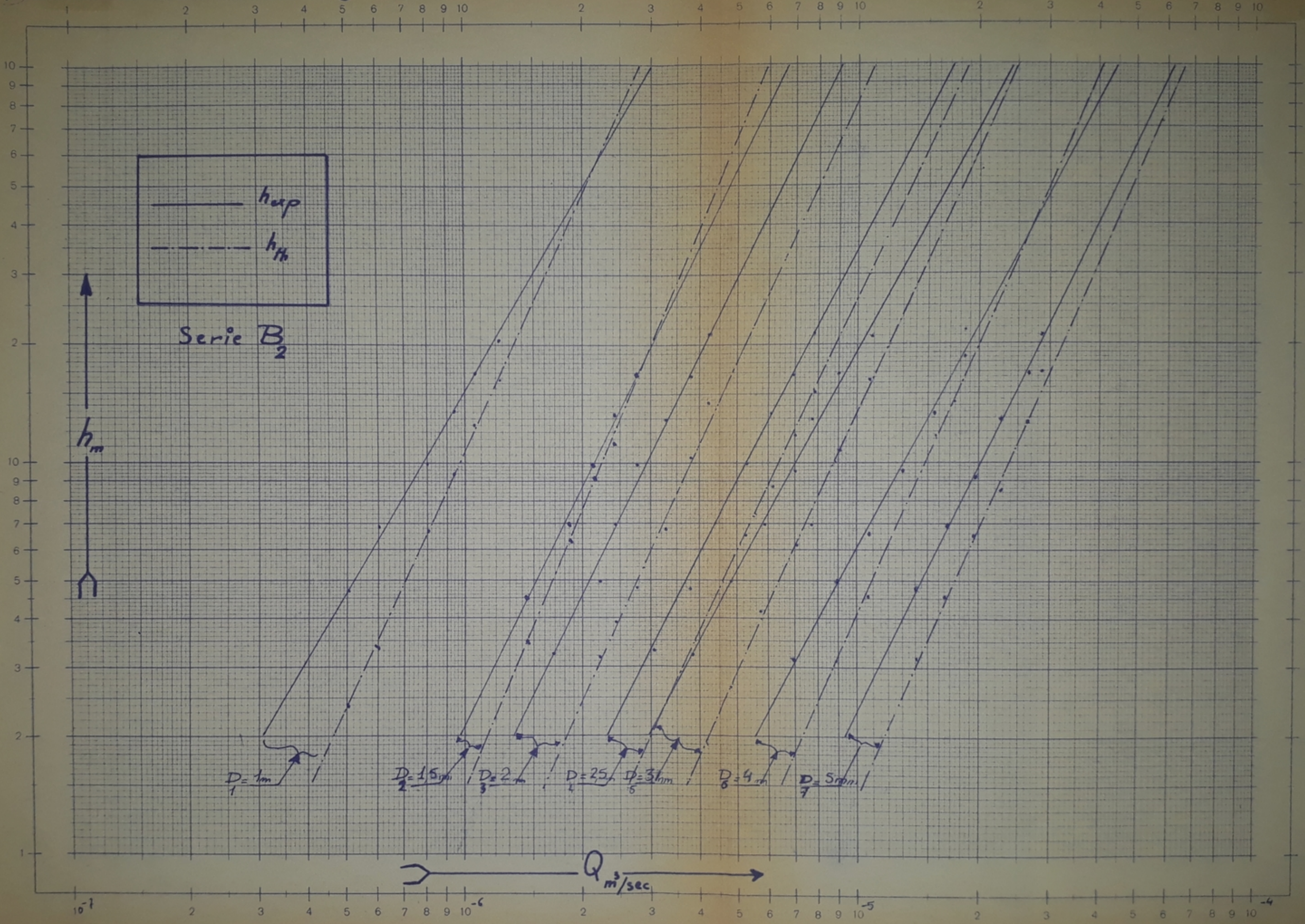
$$\nu = 10^{-6} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}$$



Serie B_x

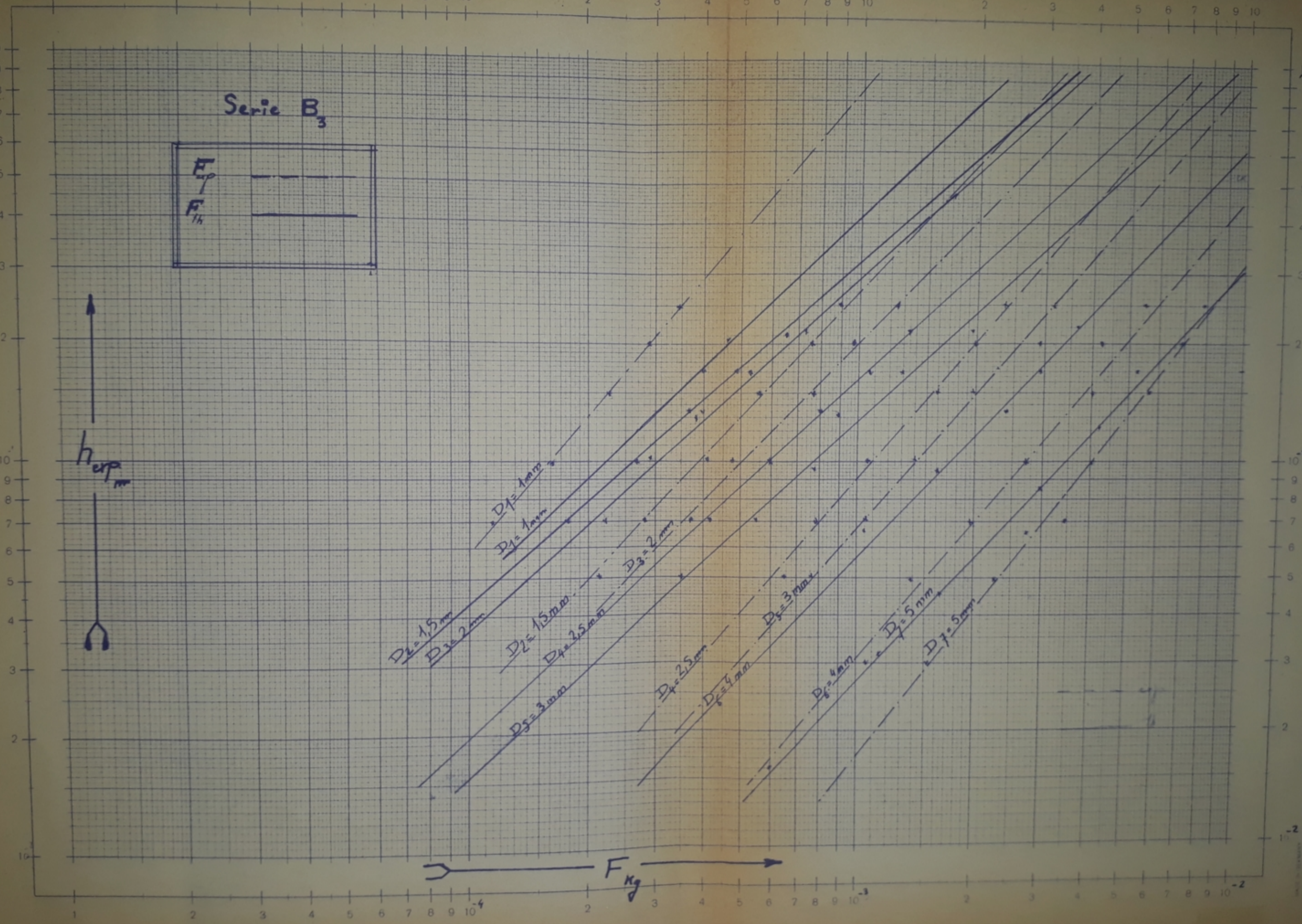
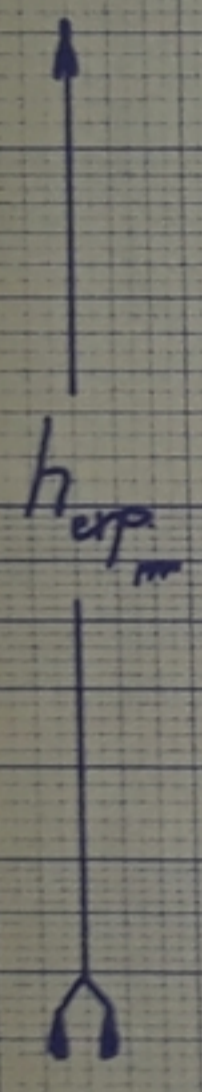
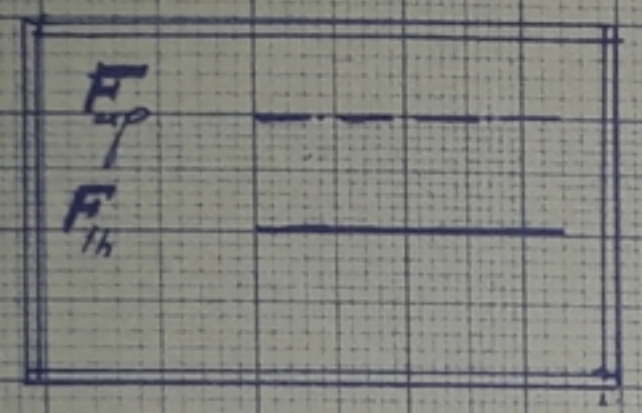
$h/D = f(Q)$
 $h_{max} = f(Q)$

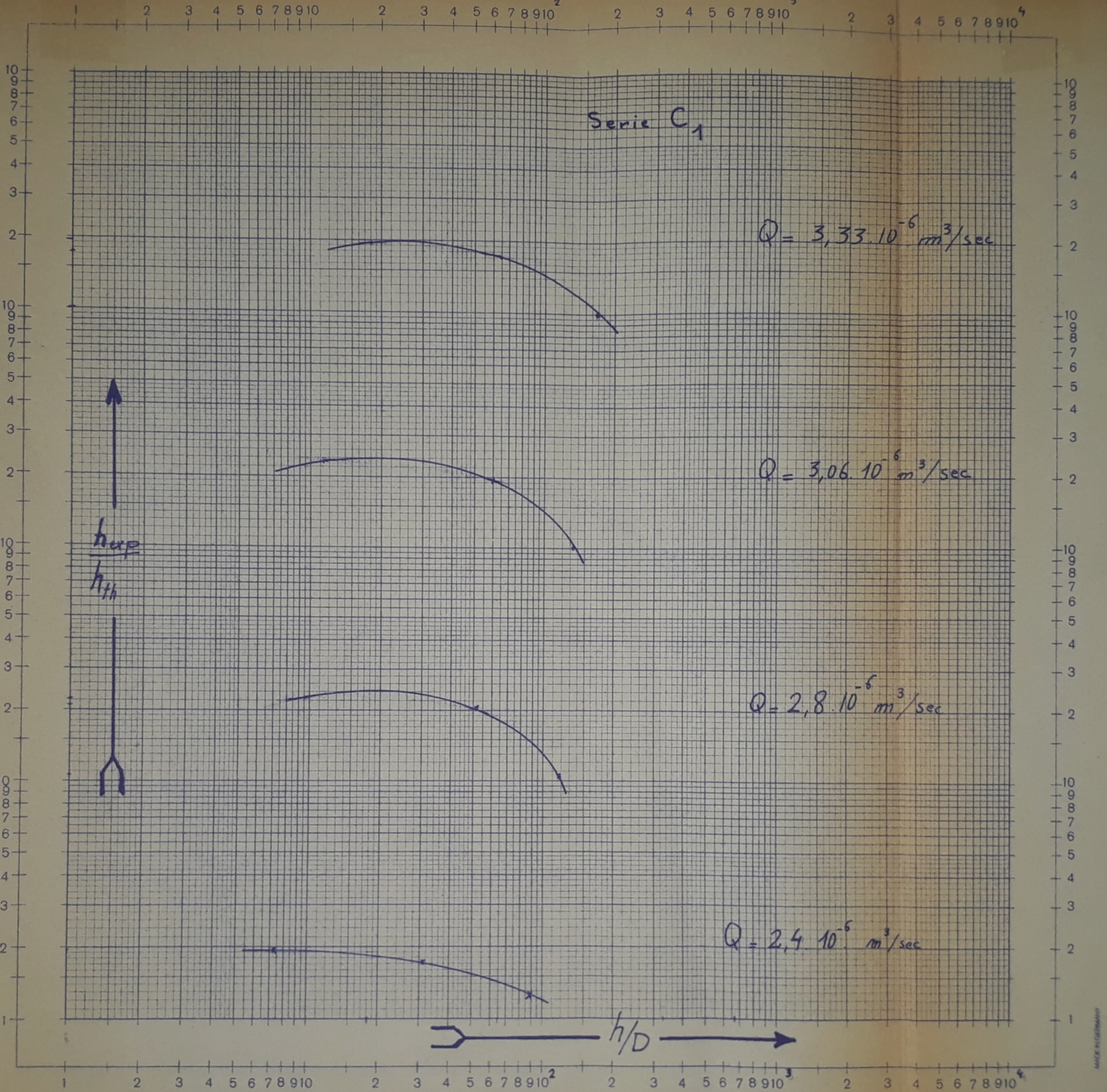
PB00771
 avant p. 36(1)



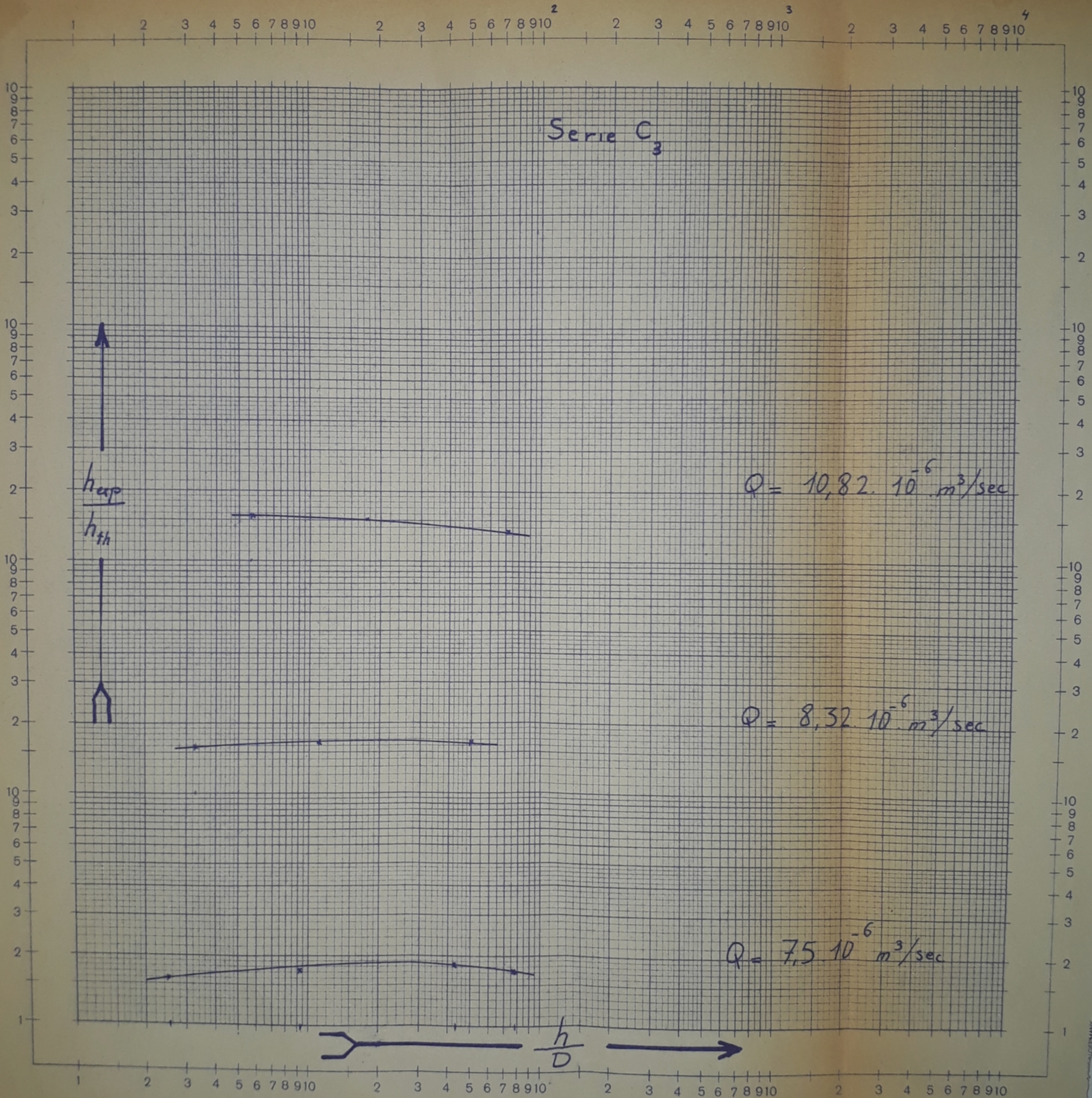
P B 00771 (want p. 30⁽²⁾)

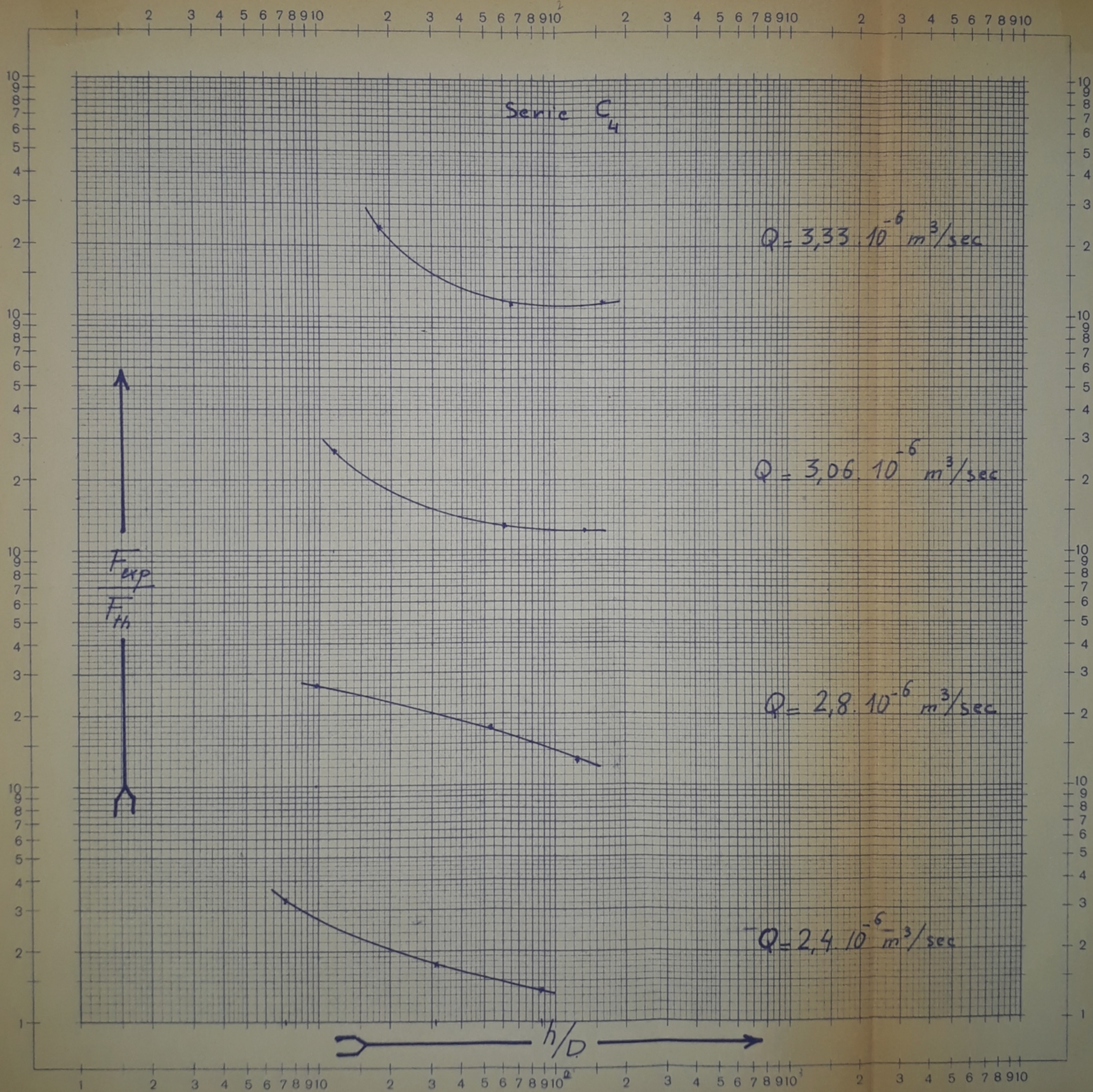
Serie B₃

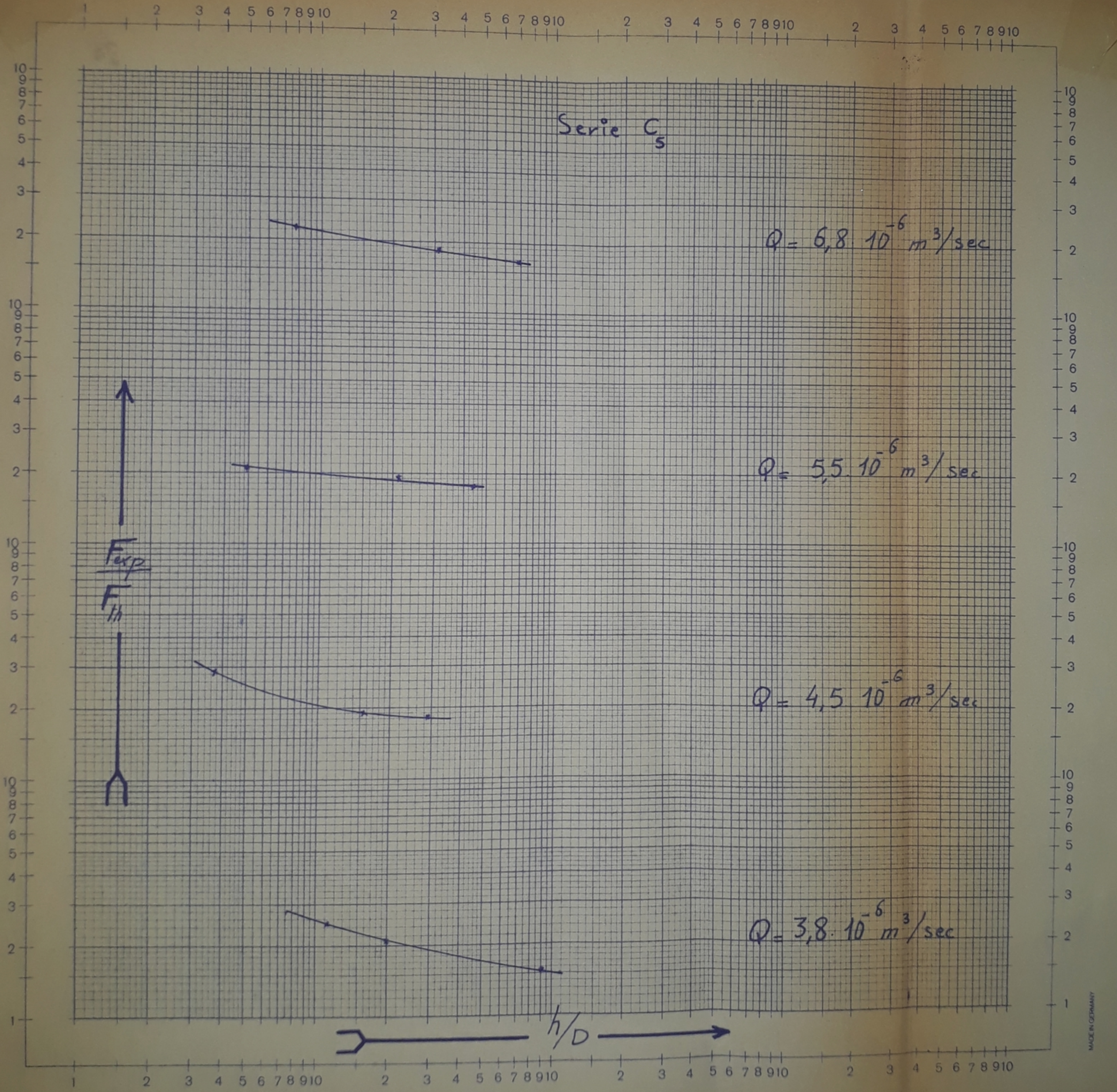


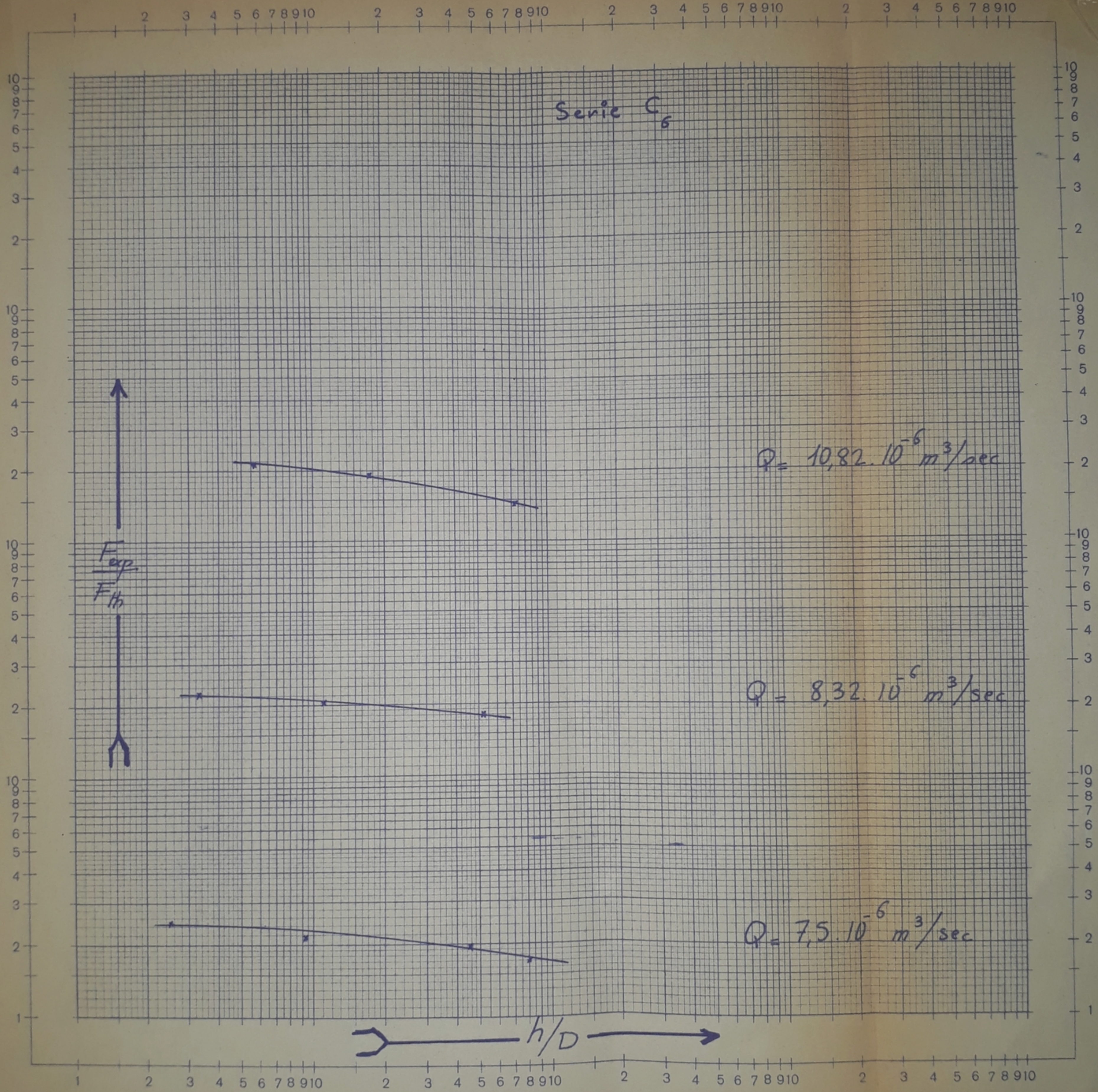


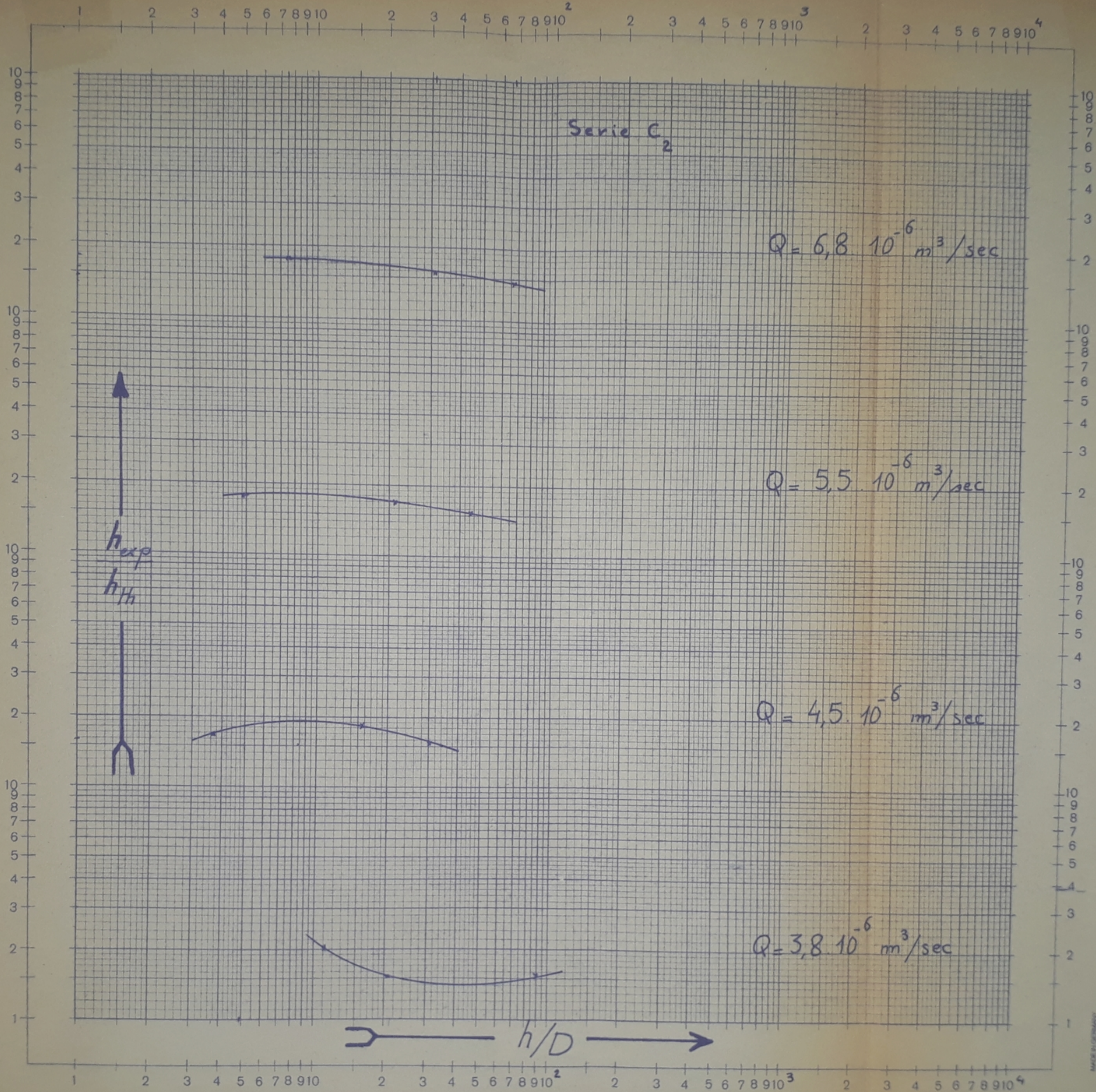
PB00771 wert p 364











Trajectoire

Orifice de diametre $D_1 = 1 \text{ mm}$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{v_1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	m^3	sec	m^3/sec			10^3	10^2
0,25	2,218	0,34	2,33	$\frac{10^{-6}}{484}$	370	$\frac{10^{-6}}{1,31}$	1,051	0,754	2,335	0,646
0,20	1,98	0,253	1,77	557	467	1,2	0,895	0,772	1,695	0,537
0,15	1,713	0,204	1,397	310	318	0,98	0,815	0,73	1,14	0,405
0,10	1,4	0,144	0,986	357	443	0,8	0,705	0,728	0,99	0,269
0,07	1,173	0,10	0,685	217	358,3	0,6	0,584	0,682	0,655	0,1975
0,05	0,99	0,067	0,459	1415	276	0,53	0,453	0,681	0,454	0,1343
0,03	0,765	Le jet	se colle			0,41		à l'origine		
0,02	0,625	Le jet	se colle			0,358		à l'origine		
0,01	0,442	Le jet	se colle			0,231		à l'origine		
0,005	0,313	Le jet	se colle			0,12		à l'origine		

debit mesuré par le petit vase de Lamariotte

Th. de quantité de mouvement.

Orifice de diamètre $D_1 = 1 \text{ mm}$ $A = \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

h	$\sqrt{2gh}$	P	ρ	ρ'	F	Q	V_2	C_{N_2}	W
m	m/sec	Kg	cm	cm	Kg	m ³ /sec	m/sec		10 ²
		10^{-3}			10^{-3}	10^{-6}			
0,25	2,218	0,5	5,2	7,8	0,344	131	2,57	1,16	0,646
0,20	1,98	0,5	4,7	7,9	0,298	12	2,433	1,23	0,537
0,15	1,713	0,2	8,9	7,9	0,223	0,98	2,23	1,30	0,405
0,10	1,4	0,2	6,5	8	0,163	0,8	2,0	1,43	0,269
0,07	1,173	0,2	4,7	8,25	0,114	0,6	1,86	1,583	0,1975
0,05	0,99	0,1	7,65	9	0,084	0,53	1,57	1,59	0,1345
0,03	0,765	Le jet se colle					0,41	à l'orifice	
0,02	0,625	Le jet se colle à					0,358	l'orifice	
0,01	0,442	Le jet se colle à					0,231	l'orifice	
0,005	0,313	Le jet se colle à					0,12	l'orifice	

debit mesuré par le petit vase de Lamariotte

Trajectoire

Orifice de diamètre $D_2 = 1,5 \text{ mm}$. $A = 1,768 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{N_1}	m_1	TR_1	W
m	m/sec	m	m/sec	m^3	Sec	m^3/sec			10^3	10^2
0,25	2,218	0,296	2,06	10^{-6}	177,4	10^{-6}	0,93	0,853	3,08	1,01
				592		3,33				
0,20	1,98	0,264	1,81	560	182	3,06	0,915	0,875	2,716	0,807
0,15	1,713	0,22	1,505	620	247	2,52	0,88	0,882	2,34	0,602
0,10	1,4	0,167	1,144	511	235	2,17	0,816	0,878	1,72	0,375
0,07	1,173	0,132	0,904	287	166	1,73	0,773	0,861	1,36	0,282
0,05	0,99	0,10	0,685	189	134,4	1,42	0,693	0,815	1,03	0,2021
0,03	0,765	0,063	0,432	256	229,5	1,12	0,566	0,827	0,651	0,1204
0,02	0,625	Le	jet	318 se colle	336	0,95	à l'orifice			
0,01	0,442	Le	jet	561 se colle	834	0,665	à l'orifice			
0,005	0,313	Le	jet	236 se colle	631	0,374	à l'orifice			

débit mesuré par le petit vase de Lamariotte

Th. de quantité de mouvement

Ori fice de diamètre $D_2 = 1,5 \text{ mm}$. $A = 1,768 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	P	l	l'	F	Q	V_2	C_{v_2}	W	
m	m/sec	Kg	cm	cm	Kg	m^3/sec	m/sec		10^2	
		10^{-3}			10^{-3}	10^{-6}				
0,25	2,218	1	6,9	7,8	0,885	3,33	2,6	1,17	1,01	
0,20	1,98	1	5,9	7,8	0,755	3,06	2,42	1,22	0,807	
0,15	1,713	1	4,4	8	0,55	2,52	2,14	1,25	0,602	
0,10	1,4	0,5	6,6	8	0,413	2,17	1,86	1,33	0,375	
0,07	1,173	0,5	5,7	8	0,284	1,73	1,61	1,45	0,282	
0,05	0,99	0,2	8,9	8,2	0,218	1,42	1,5	1,52	0,2021	
0,03	0,765	0,2	6	8,5	0,141	1,12	1,23	1,61	0,1204	
0,02	0,625	Le jet se colle				0,95	à l'orifice			
0,01	0,442	Le jet se colle				0,665	à l'orifice			
0,005	0,313	Le jet se colle					0,374	à l'orifice		

débit mesuré par le petit vase de Lamariotte

Trajectoire

Orifice de diamètre $D_3 = 2 \text{ mm}$ $A = \pi \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{N_1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	m^3	sec	m^3/sec			10^3	10^{+2}
				10^{-6}		10^{-6}				
0,25	2218	0,30	2,026	640	136	4,7	0,917	0,676	4,06	1352
0,20	198	0,252	1,726	341,6	85,4	4	0,872	0,644	3,46	1,08
0,15	1713	0,2125	1,473	582	163	3,58	0,85	0,656	2,94	0,835
0,10	1,4	0,166	1,139	492	180	2,73	0,813	0,62	2,28	0,618
0,07	1,173	0,134	0,917	417	293	2,49	0,782	0,675	1,832	0,382
0,05	0,99	0,103	0,705	372	167,5	2,21	0,711	0,711	1,41	0,2698
0,03	0,765	0,063	0,425	380	232	1,64	0,555	0,681	0,85	0,161
0,02	0,625	Le jet se colle				1,42	à l'orifice			
0,01	0,442	Le jet se colle				0,88	à l'orifice			
0,005	0,313	Le jet se colle				0,557	à l'orifice			

débit mesuré par le moyen vase de Lamariotte

Th. de quantité de mouvement.

Orifice de diamètre $D_3 = 2 \text{ mm}$

$$A = \pi \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

h	$\sqrt{2gh}$	P	l	l'	F	Q	V_2	C_{v2}	W	
m	m/sec	Kg	cm	cm	Kg	m^3/sec	m/sec		10^2	
		10^{-3}			10^{-3}	10^{-6}				
0,25	2,218	2	5	7,9	1,27	4,17	2,65	1,19	1,352	
0,20	1,98	1	7,7	7,9	0,965	4	2,362	1,195	1,08	
0,15	1,713	1	6,1	7,9	0,77	3,58	2,118	1,232	0,835	
0,10	1,4	0,5	7,8	7,97	0,487	2,73	1,75	1,25	0,618	
0,07	1,173	0,5	6,1	8	0,382	2,49	1,51	1,29	0,382	
0,05	0,99	0,5	5,0	8,3	0,295	2,21	1,31	1,33	0,2698	
0,03	0,765	0,2	8,9	8,5	0,21	1,64	1,26	1,65	0,161	
0,02	0,625	Le jet se colle					1,42	à l'orifice		
0,01	0,442	Le jet se colle					0,88	à l'orifice		
0,005	0,313	Le jet se colle					0,557	à l'orifice		

débit mesuré par le moyen vase de Lamariotte

Trajectoire

Orifice de diamètre $D_4 = 2,5 \text{ mm}$ $A = 4,91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{N_1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	m^3	Sec	m^3/sec			10^3	10^2
				10^{-6}		10^{-6}				
0,25	2,218	0,297	2,027	1124	135,4	8,32	0,918	0,766	5,09	1,639
0,20	1,98	0,235	1,61	722	96,3	7,5	0,814	0,77	4,03	1,346
0,15	1,713	0,226	1,55	294,4	44,5	6,65	0,905	0,78	3,88	1,01
0,10	1,4	0,1755	1,2	596	114	5,25	0,856	0,762	3,01	0,672
0,07	1,173	0,141	0,965	882	209	4,42	0,822	0,766	2,41	0,471
0,05	0,99	0,114	0,78	596	152,6	3,9	0,79	0,802	1,952	0,3365
0,03	0,765	0,074	0,506	605	203,4	2,89	0,661	0,77	1,25	0,201
0,02	0,625	0,033	0,226	445	185,7	2,4	0,367	0,78	0,573	0,137
0,01	0,442	Le jet		se	colle	1,79	à l'origine			
0,005	0,313	Le jet		se	colle	1,16	à l'origine			

débit mesuré par le moyen vase de Lamariotte

Th. de quantité de mouvement.

Orifice de diamètre $D_4 = 2,5 \text{ mm}$ $A = 4,91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	P	ρ	ρ'	F	Q	V_2	C_{v2}	W
m	m/sec	K_g	cm	cm	K_g	m^3/sec	m/sec		10^2
		10^{-3}			10^{-3}	10^{-6}			
0,25	2,218	2	9,2	7,9	2,317	8,32	2,73	1,23	1,639
0,20	1,98	2	7,9	7,9	2,0	7,5	2,62	1,32	1,346
0,15	1,713	2	6,45	7,9	1,625	6,65	2,40	1,4	1,01
0,10	1,4	2	4,3	8	1,07	5,251	2,02	1,441	0,672
0,07	1,173	1	6,35	8	0,796	4,42	1,765	1,51	0,471
0,05	0,99	1	5,3	8,1	0,656	3,9	1,65	1,67	0,3365
0,03	0,765	0,5	6,6	8,4	0,388	2,89	1,311	1,72	0,201
0,02	0,625	0,5	5	8,4	0,296	2,4	1,21	1,856	0,134
0,01	0,442	Le jet se colle à				1,79	Ponifieu		
0,005	0,313	Le jet se colle à				1,16	Ponifieu		

débit mesuré par le moyen vase de Lamariotte

Trajectoire

Orifice de diamètre $D_s = 3 \text{ mm}$

$A = 7,075 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{v_1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	m^3	sec	m^3/sec			10^3	10^2
				10^{-6}		10^{-6}				
0,25	2,218	0,303	2,075	1100	97,4	11,3	0,936	0,722	6,25	2,015
0,20	1,98	0,267	1,82	1160	109	10,62	0,92	0,756	5,46	1,579
0,15	1,713	0,2285	1,565	1465	189	7,8	0,914	0,640	4,7	1,174
0,10	1,4	0,184	1,26	929	129,9	7,15	0,901	0,723	3,784	0,81
0,07	1,173	0,1495	1,021	1305	223,2	5,85	0,884	0,705	3,11	0,566
0,05	0,99	0,12	0,822	969	205,2	4,72	0,831	0,675	2,48	0,416
0,03	0,765	0,084	0,575	927	254,3	3,64	0,752	0,673	1,73	0,24
0,02	0,625	0,05	0,342	812	247	2,83	0,547	0,64	1,02	0,161
0,01	0,442	Le jet se colle				2,02	à l'orifice			
0,005	0,313	Le jet se colle				1,74	à l'orifice			

débit mesuré par le moyen vase de Lamourotte

Th. de quantité de mouvement.

Orifice de diamètre $\frac{D}{5} = 3 \text{ mm}$

$A = 7,075 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	P	ρ	ρ'	F	Q	γ_2	C_{v_2}	W
m	m/sec	Kg	cm	cm	Kg	m ³ /sec	m/sec		10 ²
0,25	2218	$\frac{10^{-3}}{5}$	5,01	7,9	$\frac{10^{-3}}{3,17}$	$\frac{10^{-6}}{11,3}$	2,8	1,263	2,015
0,20	1,98	2	11,45	7,9	2,9	10,62	2,67	1,35	1,579
0,15	1,713	2	7,8	8	19,55	7,8	2,45	1,43	1,174
0,10	1,4	2	5,91	8	1,475	7,15	2,06	1,47	0,81
0,07	1,173	1	8,4	8,1	1,05	5,85	1,79	1,53	0,566
0,05	0,99	1	6,4	8,4	0,76	4,72	1,585	1,62	0,416
0,03	0,765	1	4,4	8,5	0,513	3,64	1,392	1,82	0,24
0,02	0,625	0,5	6,5	8,6	0,34	2,84	1,20	1,92	0,161
0,01	0,442	Le jet se colle à				2,02	l'orifice		
0,005	0,313	Le jet se colle à				1,74	l'orifice		

débit mesuré par le moyen vase de Lamariotte

Trajectoire

Orifice de diamètre $D_c = 4 \text{ mm}$

$$A = 4\pi \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{v1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	m^3	sec	m^3/sec			10^3	10^2
0,25	2,218	0,3175	2,17	10^{-6} 2622	131,25	10^{-6} 20	0,981	0,721	8,7	2,705
0,20	1,98	0,2775	1,9	1563	86,9	18	0,96	0,725	7,6	2,158
0,15	1,713	0,2315	1,585	1261	75,85	16,65	0,915	0,763	6,26	1,61
0,10	1,4	0,187	1,281	1315	97,7	13,5	0,914	0,767	5,11	1,078
0,07	1,173	0,158	1,08	870	80,3	10,82	0,92	0,735	4,31	0,753
0,05	0,99	0,1265	0,866	638	71,3	8,93	0,875	0,717	3,46	0,544
0,03	0,765	0,09	0,616	930	136,5	6,8	0,806	0,71	2,48	0,3218
0,02	0,625	0,062	0,424	742	127,7	5,82	0,678	0,74	1,695	0,2141
0,01	0,442	0,025	0,171	465	94,4	4,4	0,388	0,79	0,685	0,108
0,005	0,313	Le jet se colle				3,12	à l'origine			

debit mesuré par moyen et grand vase de Lamariotte

Th. de quantité de mouvement.

Orifice de diamètre $D_0 = 4 \text{ mm}$ $A = 4 \pi \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	P	l	l'	F	Q	V_2	C_{v_2}	W
m	m/sec	Kg	cm	cm	Kg	m ³ /sec	m/sec		10 ²
		10 ⁻³			10 ⁻³	10 ⁻⁶			
0,25	2,218	10	4,23	7,8	5,42	20	2,71	1,373	2,705
0,20	1,98	5	6,7	7,85	4,4	18	2,44	1,405	2,158
0,15	1,713	5	6,5	7,9	4,11	16,65	2,42	1,42	1,61
0,10	1,4	4	5,5	8	2,742	13,5	2,0	1,43	1,078
0,07	1,173	2	7,85	8	1,96	10,82	1,77	1,51	0,753
0,05	0,99	1	11,3	8,1	1,393	8,93	1,53	1,58	0,544
0,03	0,765	1	7,4	8,3	0,89	6,8	1,28	1,67	0,3218
0,02	0,625	0,5	11,4	8,4	0,677	5,82	1,14	1,82	0,2141
0,01	0,442	0,5	8,1	8,5	0,476	4,4	1,061	2,41	0,108
0,005	0,313	Le jet se colle				3,12	à l'orifice		

débit mesuré par moyen et grand vase de Lamariotte

Trajectoire

Orifice de diamètre $D_7 = 5 \text{ mm}$

$A = 1964 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{N_1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	m^3	sec	m^3/sec			10^3	10^2
0,25	2,218	0,3185	2,181	10^{-6} 3370	123,7	10^{-6} 30,4	0,985	0,7	10,9	3,16
0,20	1,98	0,2765	1,9	3330	122,5	27,2	0,96	0,697	9,5	2,684
0,15	1,713	0,2385	1,635	3120	131,6	23,8	0,942	0,686	8,08	2,015
0,10	1,4	0,1925	1,32	2776	136	20,4	0,941	0,741	6,6	1,35
0,07	1,173	0,156	1,067	1990	118,2	16,8	0,909	0,726	5,33	0,94
0,05	0,99	0,129	0,885	1392	96,9	14,4	0,895	0,47	4,42	0,684
0,03	0,765	0,0945	0,646	1250	113,9	11	0,845	0,73	3,24	0,402
0,02	0,625	0,081	0,555	1218	124,5	9,75	0,89	0,793	2,78	0,268
0,01	0,442	0,038	0,26	1592	231,4	6,9	0,588	0,795	1,3	0,135
0,005	0,313	Le jet se colle				5,39	à l'orifice			

débit mesuré par le grand vase de Lamariotte

Th. de quantité de mouvement.

Orifice de diamètre $D = 5 \text{ mm}$ $A = 1964 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

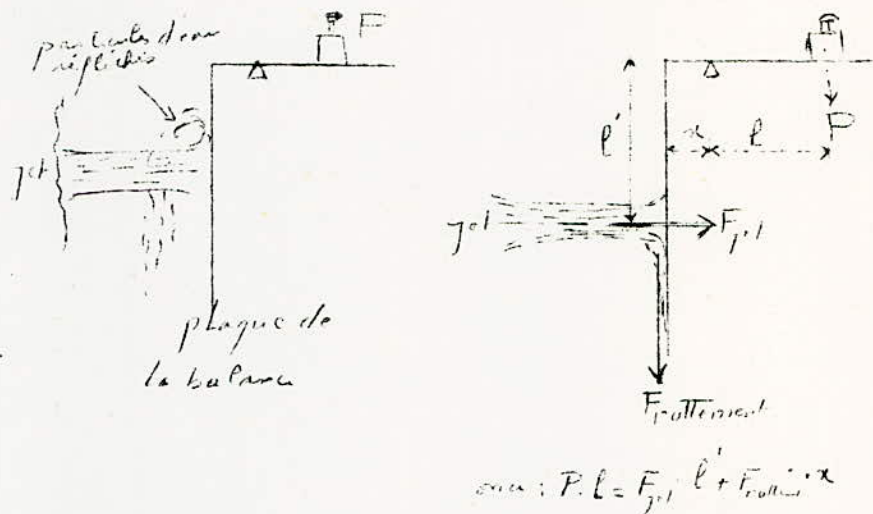
h	$\sqrt{2gh}$	P	l	l'	F	Q	V_2	C_{v_2}	W	
m	m/sec	K_g	cm	cm	K_g	m^3/sec	m/sec		10^2	
		10^{-3}			10^{-3}	10^{-6}				
0,25	2,218	10	6,25	7,9	7,9	30,4	2,525	1,14	3,16	
0,20	1,98	5	10,95	7,9	6,94	27,2	2,5	1,26	2,684	
0,15	1,713	5	9	7,9	5,65	23,8	2,32	1,353	2,015	
0,10	1,4	5	6,45	7,9	4,08	20,4	1,96	1,4	1,35	
0,07	1,173	2	11,65	7,9	2,95	16,8	1,72	1,465	0,94	
0,05	0,99	2	9	8,0	2,25	14,4	1,53	1,549	0,684	
0,03	0,765	2	6,5	8,4	1,53	11	1,36	1,78	0,402	
0,02	0,625	2	4,8	8,5	1,13	9,75	1,16	1,86	0,268	
0,01	0,442	1	5,9	8,6	0,69	6,9	0,98	2,218	0,135	
0,005	0,313	Le jet se colle				5,39	à l'origine			
debit mesuré par le grand vase de lamariotte										

Resultats des mesures .et calcul d'erreurs.

En realité , les mesures faites à partir de la methode de trajectoire , ou de celle de théoreme de quantité de mouvement , doivent nous emmener aux memes resultats.

par exemple les deux méthodes doivent nous donner des valeurs identiques pour la vitesse , c'est à dire $V_I = V_2$. mais on examinons les resultats des essais expérimentales on trouve que $V_I \neq V_2$ mais la valeur de V_I sera proche de V_2 pour les valeurs des charges supérieure à 15 cm; tandisque la différence entre V_I et V_2 sera énorme pour les petites charges .

De la même façon on peut dire la meme remarque pour les forces ; car les valeurs de forces doivent être aussi identiques en trajectoire qu'en quantité de mouvement , mais les essais nous ont donné aussi des valeurs des forces différentes . Cette différence provient du fait que le poid P qu'on met pour équilibrer la force du jet , équilibre une deuxième force en plus du force du jet réel; en effet quand le jet frappe la plaque de la balance ; les particules d'eau percutent la paroi disposé perpendiculairement au jet ne sont pas toutes déviées dans la direction tangentielle à cette paroi ; par le fait que les particules réfléchies retombant sur le jet primitif agissant de manière



à dénaturer les caractéristiques primitives de ce jet .

En plus une partie d'eau vient couler sur la plaque de la balance et cet écoulement va créer une force de frottement ; qui est due au poids d'eau coulant sur la plaque de la balance ; par suite le poids P qu'on va mettre sur la balance va équilibrer 2 forces : celle du jet réel , et la force due au frottement .

$$P = F(\text{jet}) + \text{frottement}$$

et c'est pour cela $F(q.d.m.) > F(\text{trajectoire})$.

$$\text{et; } V_2 > V_1(\text{trajectoire})$$

Et c'est ce qui était dit pour V , et F peuvent être pour C_v . et les graphiques $C_v = f(W)$. nous montrent clairement cette différence entre C_v et C_v ; et

on remarque que ces courbes se rapprochent quand la charge augmente, et s'éloignent dès que la charge sera petite.

CALCUL D'ERREUR pour n'importe quelle mesure; les erreurs absolues sur les différentes valeurs expérimentales sont:

$$\begin{aligned} L &\longrightarrow \Delta L \approx 1 \text{ mm} \\ N &\longrightarrow \Delta N \approx 0,5 \text{ mm} \\ t &\longrightarrow \Delta t \approx 1 \text{ sec} \\ h &\longrightarrow \Delta h \approx 0,5 \text{ mm} \\ l, l' &\longrightarrow \Delta l = \Delta l' \approx 0,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

et les erreurs relatives sur chaque grandeur pour l'essai par exemple seront les suivantes;

soit par exemple un calcul d'erreur pour un essai sur l'orifice de diamètre $D=5\text{mm}$ et sous charge de $0,10\text{m}$ par exemple. (voir tableau ci après)

Exemple d'un calcul d'erreurs pour un essai sur Torifika de diamètre: $D = 5 \text{ mm}$: et sans charge de 10 cm

grandeur	erreur absolue	erreur relative
$h = 100 \text{ mm}$	$\Delta h = 0,5 \text{ mm}$	$\frac{\Delta h}{h} = \frac{0,5}{100} \approx 0,005$
$L = 192,5 \text{ mm}$	$\Delta L = 1 \text{ mm}$	$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{192,5} \approx \text{ou } 1/200 = 0,0052$
$t = 136 \text{ sec}$	$\Delta t = 1 \text{ sec}$	$\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{136} \approx 0,0072$
$V = 2776 \text{ mm}^3$	$\Delta V = 7,5 \text{ mm}^3$	$\frac{\Delta V}{V} = \frac{7,5}{2776} = 2,72 \cdot 10^{-3}$
$l = 64,5 \text{ mm}$	$\Delta l = 1 \text{ mm}$	$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{64,5} = 0,0156$
$l' = 79 \text{ mm}$	$\Delta l' = 1 \text{ mm}$	$\frac{\Delta l'}{l'} = \frac{1}{79} = 0,01265$
$V = \frac{L}{t} = \frac{192,5}{136} = 1390 \text{ mm}^3/\text{sec}$	$\Delta V = \frac{L \cdot \Delta t + t \cdot \Delta L}{t^2} = 1,775 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1,775 \cdot 10^{-2}}{1320} = 1,34 \cdot 10^{-5}$ erreur négligeable
$C_v = \frac{v_i}{\sqrt{2gh}} = 0,941$	$\Delta C_v = \frac{\sqrt{2gh} \cdot \Delta v + \Delta \sqrt{2gh} \cdot v}{2gh} \approx \frac{31}{29 \cdot 10^6} \approx 1,6 \cdot 10^{-5}$	$\frac{\Delta C_v}{C_v} = \frac{1,6 \cdot 10^{-5}}{0,941} = 1,7 \cdot 10^{-5}$ erreur négligeable
$m = \frac{Q}{A\sqrt{2gh}} = 0,741$	$\Delta m = \frac{A \cdot \sqrt{2gh} \cdot \Delta Q + Q \cdot \Delta(A \cdot \sqrt{2gh})}{A^2 \cdot 2gh} \approx 0,39 \cdot 10^{-5}$	$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0,39 \cdot 10^{-5}}{0,741} = 0,53 \cdot 10^{-5}$ erreur négligeable
$F = \frac{P \cdot l}{l'} = 4,08 \text{ g}$	$\Delta F = \frac{P' \cdot \Delta(P \cdot l) + P \cdot l \cdot \Delta(P')}{l'^2} \approx \frac{1}{80} = 1,25 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\Delta F}{F} = \frac{1,25 \cdot 10^{-2}}{4,08} = 3,06 \cdot 10^{-3}$

Ce calcul peut se répéter pour les autres essais.

2° SERIE DES TABLEAUX

La deuxième serie des tableaux contient le calcul
nécessaire pour la détermination des valeurs suivantes:

-Du coefficient de contraction $C_c = \frac{A_c}{A}$

-de la vitesse réelle dans la section contractée;

$$V_c = \frac{Q}{A_c}$$

-de la force théorique exercée par le jet

$$F_I = Q \cdot V_c$$

-du coefficient de vitesse C_v .

$$C_v = \frac{V_c}{\sqrt{2gh}}$$

-charge théorique h_{th} (ou théorique).

$$h_{th} = \frac{V_c^2}{2g}$$

En plus ces tableaux sont suivies d'une serie
des courbes $C_c = f(R)$.

Diametra.		Section		h_{app}	Q	A_c	C_c	v_c	F_1	$\sqrt{2gh}$	C_{v_3}	h_H	W	R	
mm		m^2		m	$\frac{m^3}{sec}$	m^2	-	$\frac{m}{sec}$	Kg	$\frac{m}{sec}$	-	m	-	-	
D_f	D_r	A_f	A_r		10^{-6}	10^{-6}			10^{-3}				10^2	10^3	
1	0,99	$\frac{\pi}{4}$	$9,97 \cdot 10^{-6}$	0,209	1,22	0,678	0,81	1,8	0,472	2,019	0,894	0,165	0,445	1,82	
				0,17	1,068	0,682	0,84	1,565	0,413	1,821	0,86	0,125	0,336	1,6	
				0,135	0,926	0,683	0,885	1,355	0,379	1,623	0,835	0,094	0,26	1,35	
				0,10	0,8	0,695	0,905	1,15	0,361	1,4	0,822	0,0674	0,182	1,135	
				0,07	0,6	0,698	0,908	0,86	0,242	1,171	0,734	0,0378	0,103	0,855	
				0,047	0,502	0,713	0,925	0,544	0,167	0,95	0,572	0,0151	0,041	0,548	
				0,03		0,74				0,765	Le jet se colle à l'orifice				
				0,2							Le jet se colle à l'orifice				

Diamètre		Section		h_{up}	Q	A_c	C_c	V_c	F_1	$\sqrt{2gh}$	C_{v3}	h_{th}	W	R	
mm		mm ²		mm	m ³ /sec	m ²	-	m/sec	Kg	m/sec	-	m	-	-	
D_f	D_r	A_f	A_r		10 ⁻⁶	10 ⁻⁶			10 ⁻³				10 ²	10 ⁸	
1,5	1,51	1,768 · 10 ⁻⁶	1,79 · 10 ⁻⁶	0,205	3,097	1,503	0,84	2,01	0,635	2,02	0,995	0,206	0,855	3,019	
				0,17	2,72	1,52	0,849	1,79	0,498	1,82	0,985	0,163	0,665	2,71	
				0,135	2,44	1,622	0,906	1,484	0,364	1,62	0,92	0,112	0,458	2,25	
				0,10	2,17	1,65	0,921	1,33	0,2942	1,4	0,95	0,0905	0,37	1,91	
				0,07	1,88	1,72	0,96	1,095	0,1778	1,171	0,935	0,0612	0,25	1,655	
				0,045	14,45	1,74	0,97	0,826	0,1221	0,88	0,94	0,035	0,1425	1,245	
				0,03	1,12	1,753	0,978	0,64	0,072	0,765	0,84	0,02095	0,085	0,97	
				0,015											
									Le jet se colle à l'ouïe						

Diamètre		Section		h_{exp}	Q	A_c	C_c	V_c	F_i	$\sqrt{2gh}$	C_{v3}	h_{th}	W	R
mm		m^2		m	m^3/sec	m^2	-	m/sec	K_g	m/sec	-	m	-	-
D_t	D_r	A_t	A_r		10^{-6}	10^{-6}			10^3				10^2	10^3
2	2,05	$\pi \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	0,215	4,21	2,54	0,77	1,66	0,715	2,042	0,811	0,1405	0,775	3,41
				0,17	3,74	2,67	0,808	1,403	0,537	1,82	0,78	0,1015	0,56	2,9
				0,13	3,24	2,81	0,852	1,155	0,328	1,595	0,73	0,0684	0,377	2,38
				0,10	2,73	2,831	0,857	0,965	0,268	1,4	0,69	0,0475	0,261	2,02
				0,07	2,49	2,851	0,865	0,875	0,222	1,171	0,745	0,039	0,215	1,855
				0,05	2,21	2,892	0,875	0,765	0,173	0,99	0,772	0,0321	0,165	1,567
				0,033	1,725	2,93	0,98	0,585	0,103	0,804	0,73	0,0175	0,096	1,21
				0,02			le	jet	se	colle à l'origine				

Diametre		Section		h_{exp}	Q	A_c	C_c	V_c	F_1	$\sqrt{2gh}$	C_{v_3}	h_{th}	W	R
mm		m^2		m	$\frac{m^3}{sec}$	m^2	-	$\frac{m}{sec}$	Kg	$\frac{m}{sec}$	-	m	-	-
D_f	D_r	A_t	A_r		10^{-6}	10^{-6}			10^{-3}				10^2	10^3
2,5	2,491	$4,91 \cdot 10^{-6}$	$4,88 \cdot 10^{-6}$	0,215	7746	4,5	0,923	1,72	1,36	2,042	0,840	0,1505	1,02	4,29
				0,168	6,9	4,52	0,926	1,525	1,077	1,97	0,775	0,119	0,806	3,82
				0,135	6051	4,69	0,959	1,295	0,8	1,62	0,8	0,0865	0,577	3,24
				0,10	5,251	4,72	0,965	1,121	0,6	1,4	0,7	0,0643	0,433	2,45
				0,07	4,42	4,765	0,975	0,928	0,419	1,171	0,79	0,0438	0,3177	2,31
				0,048	3,78	4,79	0,977	0,79	0,305	0,97	0,815	0,0317	0,2129	1,97
				0,033	3,1	4,798	0,9773	0,51	0,161	0,804	0,64	0,0132	0,089	1,285
				0,017	2,03	4,84	0,989	0,42	0,08	0,577	0,725	0,009	0,06	1,045

Diamètre		Section		h_{exp}	Q	A_c	C_c	V_c	F_T	$\sqrt{2gh}$	C_{v3}	h_{th}	W	R
mm		m^2		mm	$\frac{m^3}{sec}$	mm^2	—	$\frac{m}{sec}$	Kg	$\frac{m}{sec}$	—	mm	—	—
D_f	D_r	A_f	A_r		10^{-6}	10^{-6}			10^{-3}				10^2	10^3
3	305	$7,075 \cdot 10^{-6}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	0,215	10,825	6,06	0,855	1,79	1,98	2,042	0,875	0,1635	1,34	5,65
				0,17	8,93	6,3	0,886	1,42	1,3	1,821	0,78	0,106	0,85	4,34
				0,132	7,45	6,4	0,9	1,165	0,885	1,61	0,725	0,0695	0,57	3,56
				0,096	7,0	6,42	0,904	1,09	0,777	1,37	0,795	0,0607	0,5	3,32
				0,07	5,85	6,43	0,906	0,91	0,545	1,17	0,777	0,0424	0,35	2,77
				0,05	4,72	6,5	0,915	0,725	0,35	0,99	0,734	0,0269	0,222	2,219
				0,033	3,81	6,7	0,943	0,568	0,22	0,805	0,705	0,0165	0,135	1,73
				0,01										

Le jet se colle à l'orifice

Diameter		Section		h_{exp}	Q	A_c	C_c	V_c	F_1	$\sqrt{2gh}$	C_{v3}	h_{th}	W	R
mm		m^2		mm	m^3/sec	m^2	-	m/sec	Kg	m/sec	-	mm	-	-
D_f	D_r	A_t	A_r		10^{-6}	10^{-6}			10^{-3}				10^2	10^3
4	4,1	$4\pi \cdot 10^{-6}$	$13,2 \cdot 10^{-6}$	0,22	18,8	9,9	0,75	1,9	3,65	2,07	0,917	0,185	2,03	7,8
				0,17	17,20	10,28	0,779	1,674	2,94	1,821	0,913	0,143	1,58	6,82
				0,135	15,6	10,38	0,786	1,505	2,4	1,623	0,924	0,116	1,272	6,15
				0,095	13	10,8	0,818	1,205	1,6	1,36	0,885	0,0745	0,821	4,84
				0,067	10,68	11,42	0,866	0,935	1,03	1,135	0,825	0,045	0,494	3,83
				0,05	8,93	11,5	0,871	0,777	0,707	0,99	0,785	0,031	0,341	3,19
				0,032	6,98	11,9	0,92	0,586	0,416	0,795	0,74	0,018	0,195	2,43
				0,01	4,4	12,64	0,956	0,348	0,156	0,442	0,79	0,0063	0,0682	1,365

Diamètre		Section		h_{arp}	Q	A_c	C_c	V_c	F_i	$\sqrt{2gh}$	C_{v_3}	h_{th}	W	R
mm		m^2		m	$\frac{m^3}{sec}$	m^2	-	$\frac{m}{sec}$	kg	$\frac{m}{sec}$	-	m	-	-
D_t	D_r	A_t	A_r		10^{-6}	10^{-6}			10^{-3}				10^2	10^3
5	5,08	10^{-5}	10^{-6}	0,214	28,1	15,42	0,76	9,182	5,22	2,044	0,889	0,17	2,33	9,25
				0,17	26,24	17,1	0,842	1,54	4,14	1821	0,845	0,121	1,65	7,82
				0,13	22,5	17,42	0,858	1,273	2,92	1,595	0,81	0,085	1,133	6,56
				0,095	19,8	17,62	0,867	1,122	2,27	1,36	0,827	0,0645	0,882	5,7
				0,07	16,8	17,8	0,876	0,945	1,62	1,17	0,80	0,0455	0,625	4,75
				0,049	14	17,9	0,882	0,785	1,121	0,936	0,835	0,0318	0,433	3,98
				0,025	10,375	18,6	0,915	0,56	0,593	0,7	0,8	0,016	0,22	2,84
				0,01	6,9	19,2	0,945	0,36	0,253	0,442	0,81	0,0062	0,091	1,82



3° SÉRIE DE TABLEAUXABACQUES DE COMPARAISON.

ces tableaux contiennent les éléments nécessaires pour trouver les abaques de comparaison, ce sont les familles $h_{\text{exp}}/h_{\text{th}}$ en fonction de h/d pour des débits constantes.

En effet : $h_{\text{th}} = v_c^2/2g$; $V_{\text{th}} = \rho Q v_c$

la construction des abaques de comparaison se fait de la manière suivante.

On trace:

- 1- h_{exp} en fonction de Q et h_{exp}/D , en fonction de Q
 h_{exp} et $h_{\text{exp}}/D = f(Q)$. Série B_1 .
- 2- h_{exp} ; et $h_{\text{th}} = f(Q)$. Série B_2
- 3- $h = f(V_{\text{exp}})$, et $h = f(V_{\text{th}})$. Série B_3

Avec ces séries B_1, B_2, B_3 ; on tracera les familles des courbes

$$h_{\text{exp}}/h_{\text{th}} = f(h/D) \quad \text{Série } C_1, C_2, C_3.$$

$$V_{\text{exp}}/V_{\text{th}} = f(h/D). \quad \text{Série } C_4, C_5, C_6.$$

De l'abaque (Série B_1) on tire h_{exp}/D , pour un débit bien déterminé.

De la même façon on tire de l'abaque (série B_2) les valeurs h_{exp} , et h_{th} , qui correspond au même débit. d'où on a h_{exp}/D , et le rapport $h_{\text{exp}}/h_{\text{th}}$.

nous permettant de tracer $h_{\text{exp}}/h_{\text{th}} = f(h/d)$.

De la même manière on trace la famille de courbe

$$V_{\text{exp}}/V_{\text{th}} = f(h/d).$$

Q	D	h_{exp}	h_{th}	h_{exp}/h_{th}	F_{exp}	F_{th}	F_{exp}/F_{th}	h/D
m^3/sec	mm	m	m		K_g	K_g		
10^{-6}					10^{-3}	10^{-3}		
2,4	2,5	0,018	0,0094	1,92	0,296	0,088	3,36	7,2
	2	0,0636	0,368	1,73	0,354	0,206	1,72	31,5
	1,5	0,1329	0,110	1,21	0,503	0,361	1,39	88,5
2,8	2,5	0,024	0,0108	2,22	0,38	0,144	2,64	9,6
	2	0,104	0,0504	2,07	0,50	0,283	1,76	52,1
	1,5	0,1774	0,172	1,03	0,656	0,53	1,24	118,2
3,06	2,5	0,028	0,0119	2,36	0,433	0,160	2,7	11,2
	2	0,12	0,0160	1,96	0,423	0,342	1,24	60
	1,5	0,20	0,20	1	0,755	0,624	1,21	133,2

Q	D	h_{exp}	h_{th}	h_{exp}/h_{th}	F_{exp}	F_{th}	F_{exp}/F_{th}	h/D
m^3/sec	mm	m	m		Kg	Kg		
10^{-6}					10^{-3}	10^{-3}		
3,33	2,5	0,038	0,0194	1,96	0,505	0,21	2,4	18
	2	0,129	0,0745	1,73	0,457	0,41	1,115	64,5
	1,5	0,25	0,25	1	0,885	0,75	1,18	166,5
3,8	3	0,033	0,0164	2,01	0,541	0,22	2,46	11
	2,5	0,049	0,0321	1,525	0,630	0,309	2,04	19,6
	2	0,176	0,1065	1,65	0,872	0,56	1,55	88
4,5	4	0,011	0,0065	1,69	0,49	0,166	2,95	3,75
	3	0,046	0,0244	1,88	0,61	0,32	1,905	15,33
	2,5	0,073	0,046	1,585	0,799	0,44	1,81	29,2

Q	D	h_{exp}	h_{th}	$\frac{h_{exp}}{h_{th}}$	F_{exp}	F_{th}	$\frac{F_{exp}}{F_{th}}$	h/D
m^3/sec	mm	m	m		Kg	Kg		
5,5	4	0,0194	0,011	1,76	0,6316	0,313	2,02	4,85
	3	0,0638	0,0376	1,7	0,954	0,4846	1,95	21,3
	2,5	0,11	0,0713	1,545	1,17	0,66	1,77	44
6,8	4	0,03	0,017	1,77	0,89	0,40	2,22	7,5
	3	0,0915	0,0575	1,59	1,361	0,737	1,85	30,5
	2,5	0,168	0,115	1,46	1,69	1,044	1,62	67,3
7,5	5	0,0126	0,0079	1,6	0,782	0,311	2,51	2,52
	4	0,037	0,0215	1,72	1,055	0,495	2,13	9,25
	3	0,134	0,071	1,89	1,734	0,89	1,95	44,6
	2,5	0,200	0,141	1,42	2,0	1,2	1,67	80

Q	D	h_{exp}	h_{th}	h_{exp}/h_{th}	F_{exp}	F_{th}	F_{exp}/F_{th}	h/D
m^3/sec	mm	m	m		K_g	K_g		
10^{-6}					10^{-3}	10^{-3}		
8,32	5	0,0165	0,0105	1,57	0,909	0,401	2,21	3,3
	4	0,044	0,027	1,63	1,378	0,680	2,03	11
	3	0,154	0,091	1,69	2,315	1,283	1,8	51,3
10,82	5	0,028	0,018	1,555	1,46	0,687	2,12	5,6
	4	0,07	0,0462	1,51	1,96	1,054	1,86	17,5
	3	0,215	0,1635	1,32	2,97	1,98	1,45	71,6

4° SÉRIE DES TABLEAUX.

l'écoulement par un orifice circulaire percé dans la paroi d'un réservoir à niveau constant, constitue en fait un phénomène d'écoulement dit à surface libre ;

La similitude exige donc le respect des lois de REECH-FROUDE. D'autres termes, deux écoulements par orifices en mince paroi seront semblables et leurs coefficients de contraction seront les mêmes, si ces deux écoulements ont même nombre de FROUDE.

Pour la détermination du seuil de WEBER on fixe le

diamètre $D_1 = 300 \text{ mm}$ comme le diamètre prototype; et on procède de la manière suivante :

- on fixe une valeur $h/D = 50$ par exemple ; pour les différents diamètres et on cherche les charges correspondantes, en fonction de ces charges on détermine les coefficients de débit m . puis on cherche Q_{exp}/Q_s .

Q_s = débit de similitude.

soit h_1 la charge correspond à un débit Q_1

soit $D_1 = 300 \text{ mm}$ le diamètre à comparer à un modèle réduit

- D_2 , h_2 la charge qui correspond à un débit expérimental Q_2

- pour que la similitude de Reech FROUDE soit respectée

il faut avoir $D_2/D_1 = h_2/h_1 = \lambda$

dans ce cas $Q_s = \lambda^{5/2} \cdot Q_1$.

mais $Q_1 = m_1 \cdot A_1 \cdot \sqrt{2gh_1}$

et $Q_s = \lambda^{5/2} \cdot m_1 \cdot A_1 \cdot \sqrt{2gh_1}$.

$Q_{\text{exp}} = m_2 \cdot A_2 \cdot \sqrt{2gh_2}$.

$$\text{donc } Q_{\text{exp}}/Q_s = \frac{m_2 A_2 \sqrt{2gh_2}}{m_I A_I \sqrt{2gh_I} \lambda^{5/2}}$$

$$\text{mais } A_2/A_I = \lambda^2 \quad \text{et} \quad \frac{\sqrt{2gh_2}}{\sqrt{2gh_I}} = \sqrt{\frac{h_2}{h_I}} = \lambda^{1/2}$$

$$\text{donc } Q_{\text{exp}}/Q_s = \frac{m_2 \cdot \lambda^2 \cdot \lambda^{1/2}}{m_I \cdot \lambda^{5/2}} = \frac{m_2}{m_I}$$

$$Q_{\text{exp}}/Q_s = \frac{m_2}{m_I}$$

donc pour chercher Q_{exp}/Q_s on divise la valeur de m de chaque orifice par la valeur du coefficient de débit qui correspond au prototype.

Remarque : on a complété notre série d'orifices par une série tiré du tableau qui donne les valeurs de m (coefficient de débit) en fonction de la charge ; puisqu'on n'a pas la possibilité de manipuler sur des orifices de diamètre 300 mm. (Manuel d'hydraulique générale)

D'après ces tableaux, qui sont faits pour des valeurs $h/D = 50, 30, 20, 10, 7, 5$, on trace les courbes

$$Q_{\text{exp}}/Q_s = f(W) .$$

et à partir de ces courbes on va chercher la limite de W pour laquelle $Q_{\text{exp}}/Q_s = 1$

=====

Coefficient de débit d'orifices Circulaires
avec contraction complète

h mm	Diamètre en mm												
	6	9	12	15	21	30	36	45	60	120	180	240	300
0,12			0,637	0,631	0,624	0,618	0,612	0,606					
0,15		0,643	0,633	0,627	0,621	0,615	0,610	0,605	0,600	0,595	0,592		
0,3	0,644	0,631	0,623	0,617	0,612	0,608	0,605	0,603	0,600	0,598	0,595	0,593	0,591
0,6	0,632	0,621	0,614	0,610	0,607	0,604	0,601	0,600	0,599	0,599	0,597	0,596	0,595
0,9	0,627	0,617	0,611	0,606	0,604	0,603	0,601	0,600	0,599	0,599	0,598	0,597	0,597
1,2	0,623	0,614	0,609	0,605	0,603	0,602	0,600	0,599	0,599	0,598	0,597	0,597	0,596
1,5	0,621	0,613	0,608	0,605	0,603	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,597	0,596	0,596
3,0	0,611	0,606	0,603	0,601	0,599	0,598	0,598	0,597	0,597	0,597	0,596	0,596	0,595
6,0	0,601	0,600	0,599	0,598	0,597	0,596	0,598	0,596	0,596	0,597	0,596	0,595	0,594
15,0	0,596	0,596	0,595	0,595	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,593	0,593

Extrait du Manuel de Mécanique des Fluides

$$h/D = 50$$

D_{mm}	300	240	180	120	60	45	36	30	21	15	12	10	6	5	4	3	2,5	2,0	1,5	1
h_m	15	12	9	6	3	2,25	1,8	1,5	1,05	0,75	0,6	0,5	0,3	0,25	0,2	0,15	0,125	0,1	0,075	0,05
m	0,593	0,5937	0,595	0,596	0,597	0,5984	0,5984	0,601	0,6035	0,608	0,614	0,624	0,662	0,7	0,725	0,740	0,773	0,8	0,85	0,88
$\frac{Q_{exp}}{Q_s}$	1	1,001	1,002	1,006	1,007	1,01	1,01	1,015	1,019	1,025	1,04	1,05	1,115	1,118	1,124	1,198	1,305	1,405	1,475	1,5
$V_{m/sec}$	17,11	15,32	13,3	10,82	7,65	6,65	5,94	5,41	4,03	3,84	3,422	3,13	2,423	2,122	1,939	1,713	1,551	1,4	1,22	0,910
$W/10$	12,1	7,75	4,34	1,922	0,482	0,335	0,171	0,1208	0,043	0,0304	0,0172	0,0134	0,0085	0,00316	0,002158	0,001724	0,000842	0,000618	0,000282	0,000134

$$h/D = 30$$

D_{mm}	300	240	180	120	60	45	36	30	21	15	12	10	6	5	4	3	2.5	2	1.5	1
h_{mm}	9	7.2	5.4	3.6	1.8	1.35	1.08	0.9	0.63	0.45	0.36	0.3	0.18	0.15	0.12	0.09	0.075	0.06	0.045	0.03
m	0.5231	0.5343	0.546	0.5567	0.5678	0.579	0.5901	0.603	0.6167	0.6315	0.6474	0.664	0.681	0.698	0.715	0.731	0.748	0.764	0.781	0.8
$\frac{Q_{exp}}{Q_s}$	1	1.001	1.008	1.009	1.01	1.011	1.014	1.018	1.025	1.034	1.05	1.118	1.126	1.16	1.289	1.20	1.265	1.17	1.135	1.135
$V_{mm/sec}$	1.124	1.119	1.032	0.942	0.855	0.766	0.671	0.574	0.482	0.398	0.315	0.241	0.188	0.143	0.103	0.0731	0.0515	0.038	0.028	0.020
$W.10^5$	8.55	4.66	2.64	1.79	0.922	0.465	0.1055	0.0332	0.035	0.0483	0.0416	0.0331	0.0231	0.0205	0.0187	0.0081	0.0069	0.0032	0.0020	0.0020

$$h/D = 20$$

D_{mm}	300	240	180	120	60	45	36	30	21	15	12	10	6	5	4	3	2,5	2	1,5	1
h_m	6	4,8	3,6	2,4	1,2	0,9	0,72	0,6	0,42	0,3	0,24	0,2	0,12	0,1	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
mm	0,594	0,5959	0,596	0,5974	0,599	0,600	0,601	0,604	0,610	0,617	0,632	0,675	0,799	0,741	0,754	0,76	0,808	0,81	0,827	
$\frac{Q_{exp}}{Q_s}$	1	1,004	1,006	1,009	1,011	1,012	1,016	1,019	1,029	1,042	1,066	1,078	1,14	1,249	1,269	1,162	1,35	1,48	1,39	
$V_{mm/sec}$	10,81	12,19	14,8	19,9	24,4	27,6	28,4	28,5	28,2	24,2	21,2	19,8	15,38	14	12,81	11,88	11,0	10,2	9,2	
W_{10}^{10}	4,8	3,1	1,55	0,33	0,185	0,109	0,55	0,44	0,175	0,121	0,103	0,055	0,027	0,007	0,0083	0,0041	0,0035	0,0021	0,0012	

$$h/D = 10$$

D mm	300	240	180	120	60	45	36	30	21	15	12	10	6	5	4	3	2.5	2	1.5	1
h mm	3	2.4	1.8	1.2	0.6	0.45	0.36	0.3	0.21	0.15	0.12	0.1	0.6	0.05	0.04	0.03	0.025	0.020	0.015	0.01
mm	0.595	0.596	0.5968	0.598	0.599	0.6025	0.6042	0.608	0.6164	0.627	0.637	0.645	0.6302	0.64	0.64	0.645	0.645	0.645	0.645	0.645
$\frac{Q_{exp}}{Q_s}$	1	1.002	1.003	1.004	1.006	1.012	1.013	1.021	1.036	1.054	1.071	1.085	1.137	1.245	1.205	1.131	1.3			
V m/sec	76	68	59	47	34	26	25	24	20	17	15	14	10	9	9	9	7			
W 10 ⁵	2.415	1.56	0.834	0.374	0.0965	0.0548	0.0348	0.0242	0.018	0.00605	0.0039	0.00267	0.000972	0.000684	0.000455	0.00024	0.00017			

$$h/D = 7$$

D_{mm}	300	240	180	120	60	45	36	30	21	15	12	10	6	5	4	3	2,5	2	1,5	1
h_{mm}	2,1	1,68	1,26	0,84	0,42	0,315	0,252	0,21	0,147	0,105	0,084	0,070	0,042	0,035	0,028	0,021	0,0175	0,014	0,0105	0,007
M	0,595	0,596	0,597	0,599	0,599	0,603	0,606	0,612	0,619					0,335	0,333	0,33				
$\frac{Q_{exp}}{Q_S}$	1	1,001	1,003	1,006	1,007	1,011	1,019	1,028	1,039					1,255	1,24	1,092				
$V_{m/sec}$	6,43	5,74	4,97	4,06	2,875	2,485	2,221	2,03	1,73					0,235	0,235	0,229				
W_{10^5}	171	108	191	512	998	0,0382	0,0224	0,019	0,0085					0,00402	0,00282	0,00168				

$h/D = 5$

D_{mm}	300	240	180	120	60	45	36	30	21	15	12	10	6	5	4	3	2,5	2	1,5	1
h_{mm}	1,5	1,2	0,9	0,6	0,3	0,25	0,18	0,15	0,105	0,075	0,06	0,05	0,03	0,025	0,02	0,015	0,0125	0,01	0,0075	0,005
l_{mm}	0,596	0,547	0,578	0,599	0,600	0,601	0,609	0,615							0,34					
$\frac{Q_{exp}}{Q_s}$	1	1,001	1,004	1,005	1,007	1,011	1,021	1,032							1,241					
$V_{m/sec}$	5,42	4,74	4,12	3,422	2,72	2,12	1,8	1,42							0,625					
W_{10}^5	1,12	0,945	0,733	0,595	0,473	0,3503	0,273	0,212							0,00268					

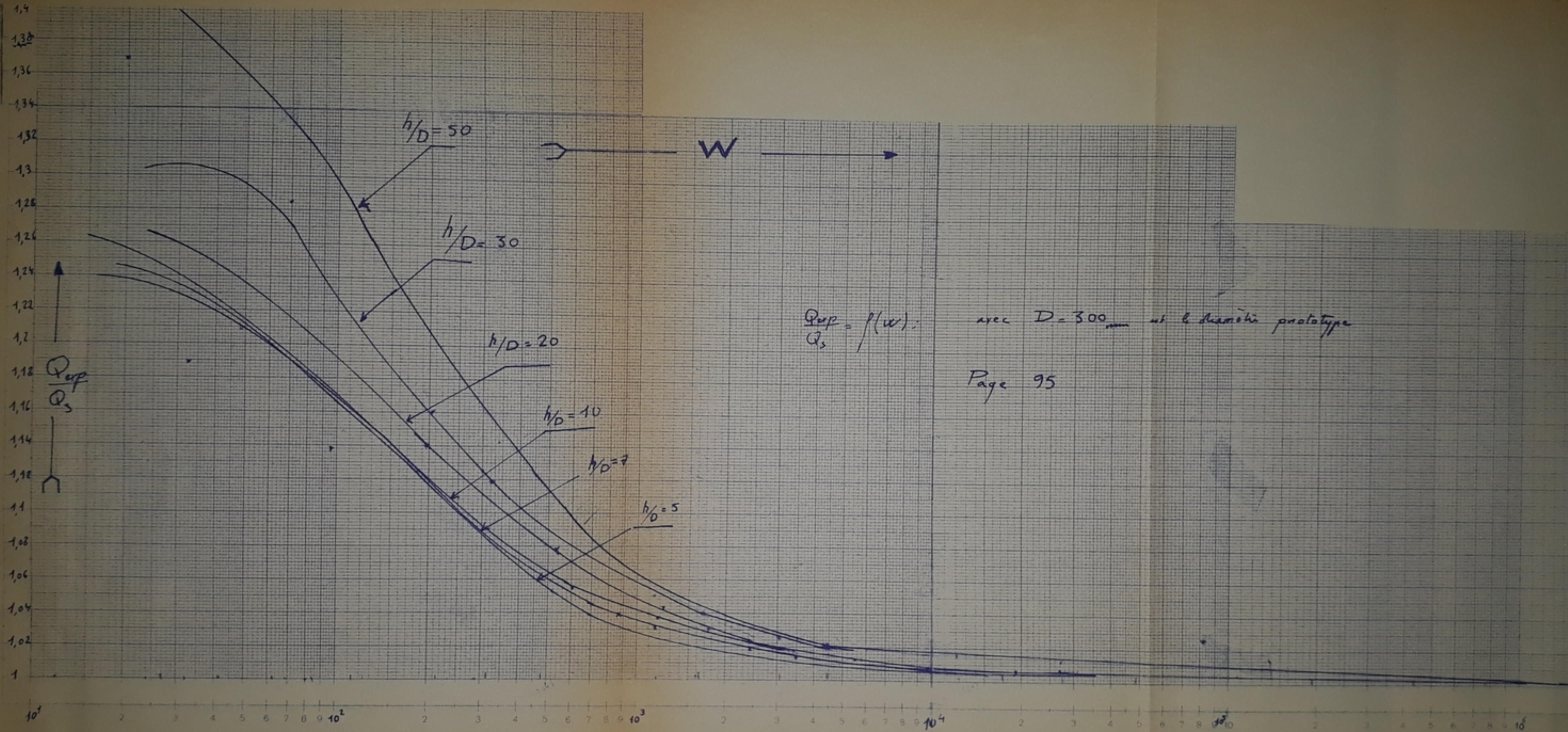
CONCLUSION.

l'étude de la série des courbes $Q_{exp}/Q_s=f(W)$
 nous montre que la limite du nombre de Weber
 en dessus duquel les lois de similitude de
 REECH FROUDE restent valables est:

$$W = 1,4 \cdot 10^3 ; \quad \text{avec une différence}$$

de 2,3 % ; (entre $h/D=50$, et $h/D=5$.) .

- en dessous de ce nombre de WEBER , les lois
 de similitude de REECH FROUDE ne seront plus
 valable.
-



$\frac{Q_p}{q} = f(w)$

avec $D = 300$ mm et le diamètre prototype

Page 95

AB 0077 + $w_{max} = 0.7$

BIBLIOGRAPHIE

- Cours de M G. LAPRAY.
- cours d'hydraulique de M:L.J.TISON.
- MANUEL d'hydraulique générale,
par M . A.LENGASTRE.



