

UNIVERSITE D'ALGER

4/70

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

1000



PROJET DE FIN D'ETUDES

Département Génie Civil

Détermination du seuil de Weber pour les
Orifices circulaires à minces parois

PROMOTION 70

PROPOSE par.
M G LAPRAY

ETUDIÉ par.
M Hassan Soubra

0 0 1

P E R



40

42

[Redacted]

[Redacted]

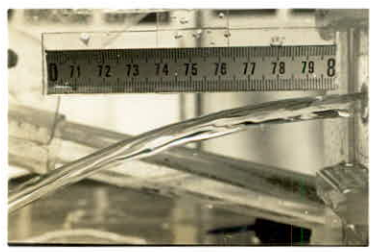


44

46

[Redacted]

0 0 1



48

50

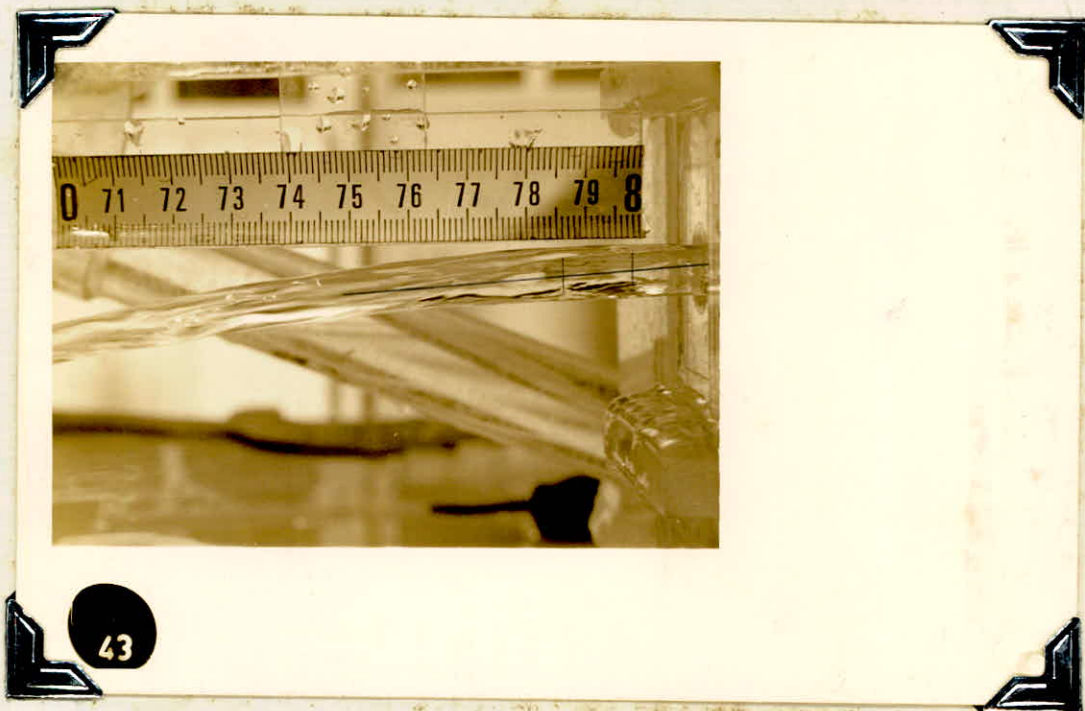
P E R

[Redacted]



52

54



المدرسة الوطنية للعلوم الهندية
المكتبة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

Remerciements

Je tiens à remercier
tous les Professeurs de
l'Ecole Nationale Poly-
technique qui ont contri-
bué à ma formation, en par-
ticulier Monsieur G. LAPRAY
Directeur de mon projet,
qui m'a suivi de près dans
cette étude et m'a prodigué
tous ses judicieux conseils.



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

Le but de mon projet est la détermination expérimentale des valeurs minimums des grandeurs physiques "charge, débit et diamètre" caractérisant le phénomène d'écoulement passant par les orifices circulaires, en mince paroi pour laquelle 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 ne sont plus valables en raison de l'effet de la tension superficielle comme il a été démontré dans l'étude de NASRI.

Les orifices en mince paroi n'ayant pas de longueur 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 dans le domaine de ces ouvrages.

La limite de validité qu'on cherche sera atteinte lorsque le phénomène, se produisant sur le modèle réduit, aura été sérieusement affecté par la tension superficielle et le nombre de Weber y correspondant sera appelé "seuil de Weber".

Symboles et unités

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 du 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.
$\bar{\omega}$ - Poids spécifique	Kg/m ³
ρ - Masse volumique	Kg sec ² m ⁻⁴
ν - viscosité cinématique	m ² /sec.

<u>Symboles</u>	<u>Unités</u>
σ - tension superficielle	Kg/m
F - Force du jet mesurée	Kg
F_1 - Force du jet calculée	
P - Poids	Kg
l - longueur ^{Distance} du point d'application du poids à l'axe de la balance	cm
l' - longueur ^{Distance} du point d'application de la force du jet à l'axe de la balance	cm
R_e - Nombre de Reynolds	sans dim.
W_e - Nombre de Weber	sans dim.
P_a - pression atmosphérique	Kg/m ²
Z - La profondeur d'un point B au dessous de la surface libre du liquide dans le réservoir	m
h_t - hauteur théorique	m
vitesse théorique	m/s

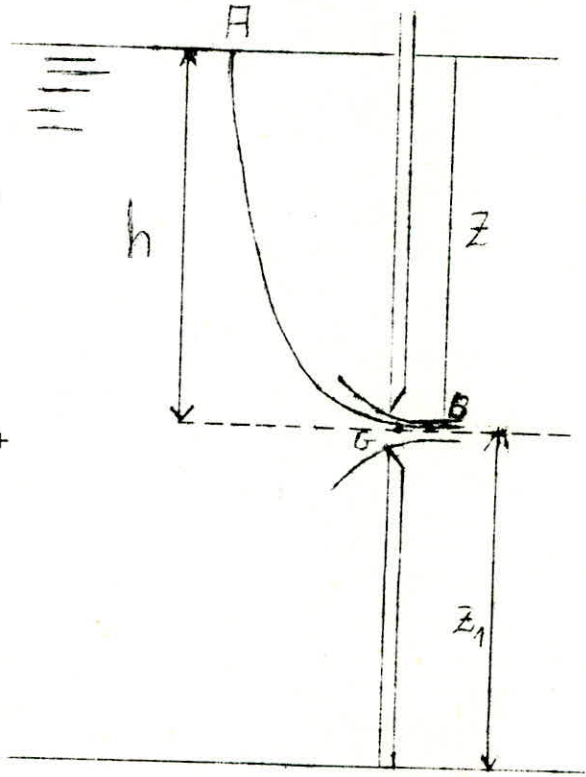
Formules et équations utilisées

A- Formule de Torricelli, Coefficient de Contraction, et de vitesse de débit.

1) Coefficient de vitesse

Le régime en question est permanent et l'on peut appliquer le théorème de Bernouilli au filet AB.

$$Z_0 + \frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2g} = Z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + \text{P.d.c.}$$



On a que :

- $P_0 = P_a = P_1$

- $\frac{V_0^2}{2g} = \text{négligeable.}$

- P. d. c négligeable.

- frottement interne et sur la paroi sont très peu important. donc on peut déduire que :

$V_{t_1} = \sqrt{2 g Z}$

On peut admettre que les côtes Z des différents filets sont très peu différentes et on peut l'égaliser à h d'où :

$$V_t = \sqrt{2 g h}$$

V_t est la vitesse théorique du liquide, en effet la vitesse dans la section contractée est :

$$V = C_v \sqrt{2 g h}$$

d'où :

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{2 g h}}$$

(1)

2) Coefficient de contraction

on pose :

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

3) Coefficient de débit

Le débit de l'orifice, égal à celui qui traverse la section contractée, puisque le régime est permanent le débit est le même dans toutes les sections du jet.

$$Q = A_c V$$

mais $A_c = C_c A$ et $V = C_v \sqrt{2 g h}$

donc : $Q = C_c A C_v \sqrt{2 g h}$

on pose $m = C_c C_v$ d'où :

$$m = \frac{Q}{A \sqrt{2 g h}} \quad (2)$$

B) Equation des quantités de mouvement.

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

Cette équation exprime l'équivalence existant 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.

d'où on peut écrire que :

$$F = \rho Q V \quad (3)$$

C. Nombres de Reynolds et de Weber.

<u>Reynolds</u>	$R_e = \frac{C_v D \sqrt{2 g h}}{\nu}$	(4)
<u>Weber</u>	$W_e = \frac{\rho V^2 D}{\sigma}$	(5)

D - Similitude.

Dans le cas d'ouvrages tels que deversoir, vannes, orifice.. les forces déterminant l'écoulement sont dûe à la pesanteur et à l'inertie, les forces dûes à la viscosité sont insignifiantes, elle n'interviennent même pas dans les formules relatives au phénomène.

Ainsi les essais sur modèle concernant cette catégorie d'ouvrages dit ouvrage courts doivent être exécutés suivant les lois de la similitude Reech-Froud.

Similitude Reech-Froud.

La force dûe 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 :

$$F = m \frac{V^2}{r}$$

dans les prototypes on aura donc : $F_1 = m_1 \frac{V_1^2}{r_1}$

au point homologue du modèle $F_2 = m_2 \frac{V_2^2}{r_2}$

$$\text{d'où : } \frac{F_2}{F_1} = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \frac{r_1}{r_2}$$

Posons : $F_2/F_1 = \lambda_{fi}$ rapport des forces d'inertie
 $m_2/m_1 = \lambda_m$ rapport des masses.

Il vient :
$$\lambda_{fi} = \frac{\lambda_m \lambda v^2}{\lambda} = \lambda \lambda_m \lambda t^{-2}$$
 (B-4)

mais le rapport des masses est égal au rapport des densités λ_p multiplié par le rapport des volumes λ^3 .

$$\lambda_m = \lambda_p \lambda^3$$
 (B-5)

En substituant λ_m dans l'expression de (B-4) on aura

$$\lambda_{fi} = \lambda_p \lambda^4 \lambda t^{-2}$$
 (B-6)

Pour le rapport des forces de pesanteur (de la forme $F = mg$) on trouverait d'une manière analogue l'expression suivante :

$$\lambda_{fp} = \lambda_p \lambda^3 \lambda g$$
 (B-7)

λg désignant l'échelle de l'accélération de la pesanteur comme il est pratiquement impossible de faire varier g on a $\lambda g = 1$ et l'opération (B-7) devient.

$$\boxed{\rho_f/\rho = \lambda \rho \lambda^3} \quad (\text{B-8})$$

Si donc l'écoulement considéré est tel que les forces dues à la viscosité puissent être négligés par rapport aux forces d'inertie et de pesanteur ces deux dernières catégories sont pratiquement seules à intervenir et la condition des similitudes des forces impose que les deux rapports ρ_f/ρ et ρ_f/ρ soit les mêmes.

$$\rho_f \lambda^4 \lambda t^{-2} = \lambda \rho \lambda^3 \Rightarrow \boxed{\frac{\lambda}{\lambda^2 t} = 1} \quad (\text{B-9})$$

$$\frac{\lambda^2}{\lambda t} = \lambda \Rightarrow \boxed{\lambda v = \frac{\lambda}{\lambda t} = \sqrt{\lambda}} \quad (\text{B-10})$$

Le rapport des vitesses est donc égale à la racine carrée du rapport des longueurs. Cette relation très importante est connue sous le nom de "loi de similitude de Reech-Froud".

L'Echelle de débit est donnée par :

$$\boxed{\lambda Q = \lambda^{5/2}} \quad (\text{B-11})$$

Exécution pratique

L'hydraulique est une science à la fois théorique et expérimentale.

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

Il suffit d'observer les conditions de similitude.

1) - but de l'exécution.

Il s'agit de fabriquer un modèle qui nous permettra de faire des essais sur plusieurs orifices à mince parois.

2) - Description du modèle.

La maquette qui est fabriquée en prexiglass est constituée par :

- a) un système de tranquillisation.
- b) tube trop plein à position variable
- c) un manomètre.
- d) une balance.

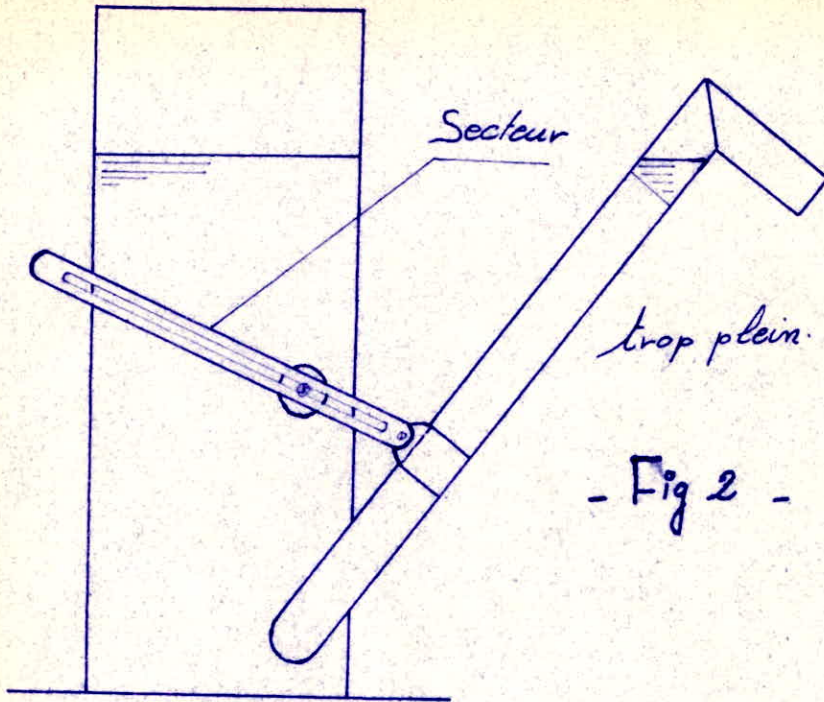
a) système de tranquillisation.

C'est un tube perforé, bouché de deux extrémités qui reçoit directement le débit, son rôle est de rendre la surface libre du liquide tranquille.

(voir fig. 1).

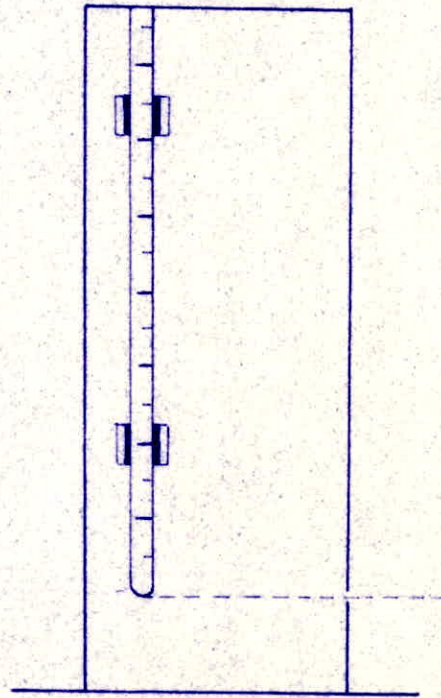
b) tube trop plein à position variable

Il nous permet de faire varier la charge h dans le bassin, il est fixé au bassin à l'aide d'un secteur. (fig 2).



- Fig 2 -

- Fig 3 -

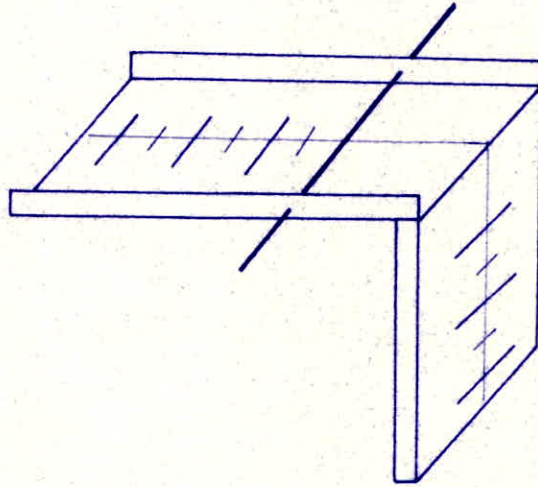
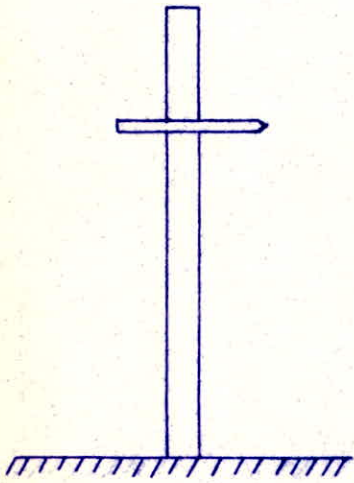


C. Manomètre (fig 3);

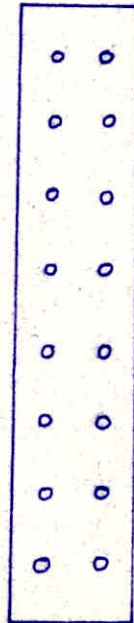
C'est un tube qui communique avec le bassin à partir du centre de gravité de l'orifice, à ce tube est accolé un mètre qui permet la lecture de h correspondant à une position donnée du tube variable.

D. Balance.

Formée de deux plaques collées perpendiculairement l'une à l'autre, sur l'une de ces deux plaques sont collées deux petites plaquettes sur le bord servant de support pour l'axe d'équilibre de cette balance (fig 4).



- Fig 4 -



- Fig 1 -

Essais et résultats

nos essais ont pour but, la détermination des différentes caractéristiques suivantes des orifices à mince parois :

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

et de 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 applicable sur les modèles réduits.

=o=o=o=o=o=o=o=o=o

A - Essais.

1 - Coéefficient de vitesse et de débit.

1-1- Coéefficient de vitesse.

En vertu de la formule (2) on a :

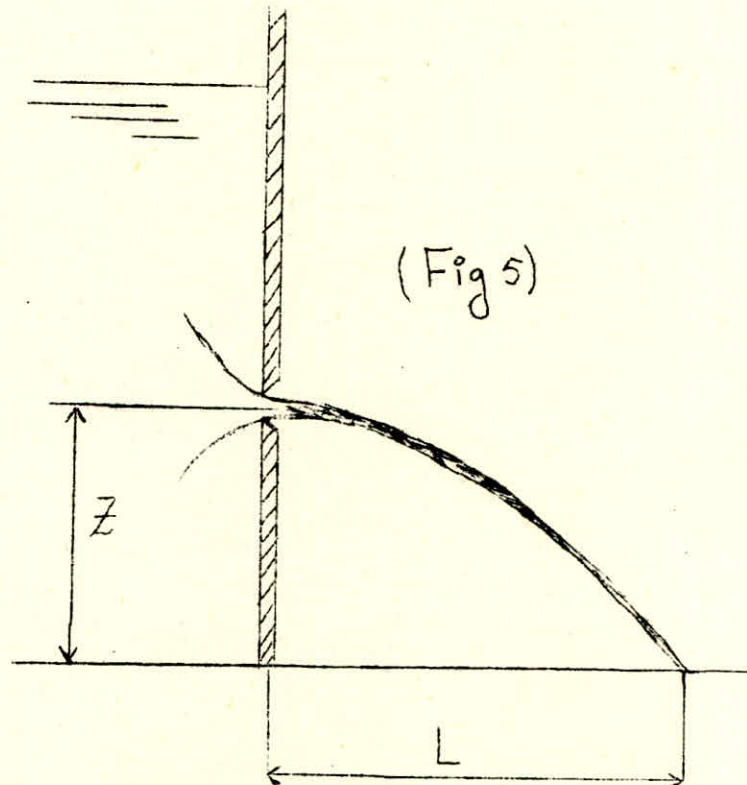
$$C_v = \frac{V}{\sqrt{2gh}}$$

donc pour calculer C_v il faut connaître h et V dans ce cas on pose h et on lui donne plusieurs valeurs et on calcule V par le procédé suivant :

Le jet d'eau prend la forme parabolique la (fig5) en sortant de l'orifice à l'air libre, on a que :

$$z = \frac{1}{2}gt^2 \quad t = \sqrt{2 \frac{z}{g}}$$
$$L = vt \quad v = \frac{L}{t}$$

donc il suffira de prendre la mesure de L pour chaque valeur de la charge h pour avoir la vitesse V .



1-2- Coefficient de débit.

d'après la formule (2) on a :

$$m = \frac{Q}{A \sqrt{2 g h}}$$

donc pour calculer le coefficient de débit m il faut connaître 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 .

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

donc il suffira de chronométrer un volume v pendant t seconde.

2- Calcul de We et Re .

d'après les formules 4 et 5 on peut calculer directement les nombres de Reynolds et Weber.

Pour l'eau on peut prendre approximativement entre 0 et 100°C

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

3 - Force de sujet.

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

a)- Par les essais.

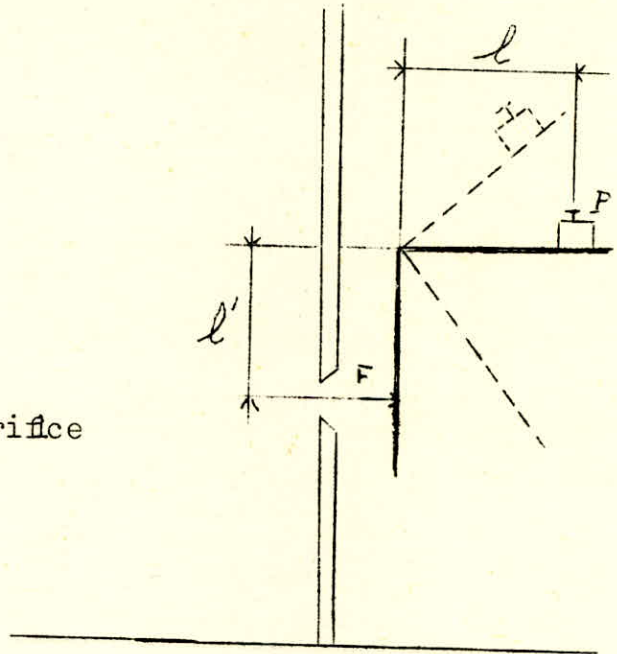
Le jet d'eau exerce sur la balance placée près de l'orifice une force F (fig 6).

Cette force F équilibrée par un poids P tel que :

$$P \cdot l = F \cdot l'$$

d'où:

$$F = \frac{P \cdot l}{l'}$$



(Fig 6)

b)- Par le calcul d'après th. de quantité de mouvement.

En effet : $F_1 = \rho Q v_3$

mais $v_3 = \frac{Q}{A_c}$

donc :

$$F_1 = \rho \frac{Q^2}{A_c}$$

Q: étant le débit déterminé.

A_c = section contractée qu'on doit trouver la valeur.

4 - Détermination du coefficient de contraction.

Pour cette détermination on procède de la manière suivante :

- on essaie de trouver le diamètre exacte de chaque orifice d'où on aura A.
- la photographie du jet à une distance de 20 cm et pour différent charge nous a permis à l'aide d'un réglet placé au dessus du jet et dans le plan de son axe, de déterminer le diamètre du jet d'où Ac.

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

Le coefficient de contraction sera :

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

Remarque :

des photos de différents jet seront jointes.

B - Résultats et calculs

Les résultats sont donnés par des tableaux et courbes au nombre de quatre.

- la première série de tableaux donne les résultats du calcul concernant la trajectoire et le théorème de quantité de mouvement; suivie des courbes $C_v = f(W)$ pour différents orifices.

- la deuxième série des tableaux donne les résultats de calcul de coefficient de contraction "méthode de photos"; suivie des courbes $C_c = f(R_e)$

la troisième série de tableaux concerne la construction des abaques de comparaison.

- la quatrième série c'est la détermination du seuil de Weber

1ère Série des tableaux

Remarque :

La hauteur du centre de gravité de tous les orifices au plan de référence est constant $Z = 0,105$ m.

$$\text{donc : } \frac{1}{2} g t^2 = Z \quad t = \sqrt{\frac{2 Z}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0,105}{9,8}}$$

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

La température de l'eau pendant les expériences est $\theta = 20^\circ$.

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

$$\rho = 1,02 \frac{\text{Kg sec}^2}{\text{m}^4}$$

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

Trajectoire

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

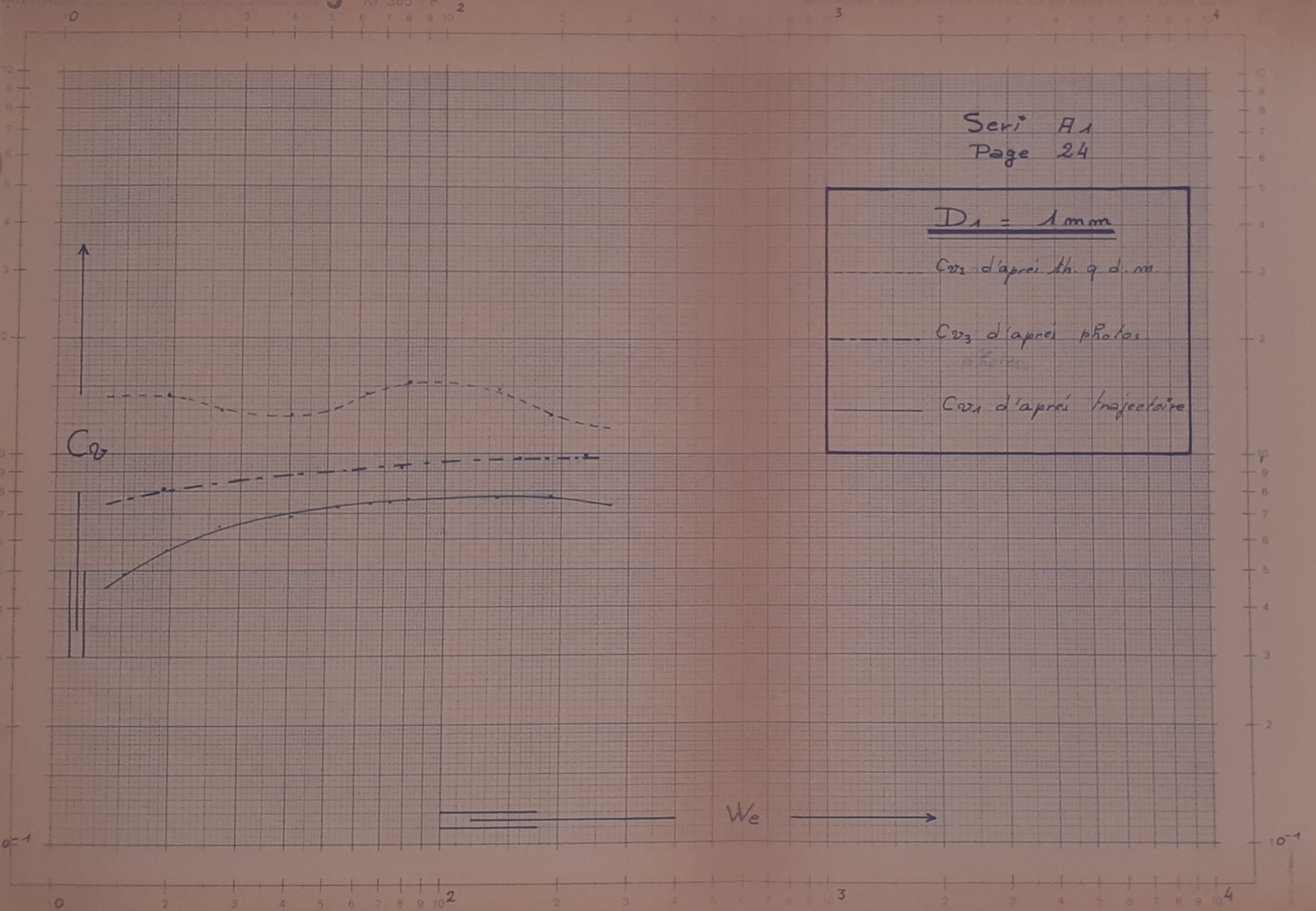
h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	ω	t	Q	C_{v1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	$\frac{\text{m}^3}{10^{-6}}$	sec	$\frac{\text{m}^3}{10^{-6}}$			10^3	10^2
1.00	4.42	0.472	3.234	93	33.4	2.782	0.731	0.801	3.234	2.685
0.70	3.7	0.419	2.865	95	41.0	2.32	0.775	0.799	2.865	1.875
0.50	3.13	0.351	2.42	79	40.4	1.959	0.7675	0.797	2.42	1.364
0.30	2.423	0.269	1.842	64	41	1.561	0.760	0.818	1.842	0.807
0.28	2.341	0.253	1.732	56	36.6	1.53	0.753	0.831	1.732	0.725
0.25	2.218	0.235	1.61	87	62.8	1.386	0.742	0.796	1.61	0.646
0.20	1.98	0.211	1.445	78	62.6	1.246	0.73	0.80	1.445	0.537
0.15	1.713	0.175	1.199	97.5	90.8	1.072	0.698	0.796	1.199	0.405
0.10	1.40	0.133	0.91	74	86.0	0.83	0.65	0.782	0.91	0.269
0.07	1.171	0.096	0.6575	68	97.7	0.697	0.562	0.7485	0.6575	0.1975
0.05	0.99	0.065	0.445	56	98.0	0.571	0.45	0.734	0.445	0.1345
0.03	0.765		Le jet se colle à l'orifice							

th. 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	l	l'	F	V_2	Q	C_{v2}	W
mm	m/sec	kg 10^{-3}	cm	cm	kg 10^{-3}	m/sec	m^3/sec 10^{-6}		10^2
1.00	4.42	1	10.2	6.45	1.58	5.16	2.782	1.17	2.685
0.70	3.7	1	7.17	6.45	1.11	4.66	2.34	1.25	1.875
0.50	3.13	1	5.8	6.5	0.892	4.47	1.959	1.429	1.364
0.30	2.423	1	3.85	6.5	0.48	3.721	1.561	1.535	0.807
0.28	2.341	1	2.8	6.5	0.431	2.76	1.53	1.178	0.725
0.25	2.218	1	2.75	6.55	0.42	2.97	1.386	1.342	0.646
0.20	1.98	1	2.15	6.6	0.3258	2.605	1.246	1.317	0.537
0.15	1.713	1	2.1	6.65	0.237	2.16	1.072	1.26	0.405
0.10	1.4	1	1.03	6.7	0.154	1.81	0.83	1.29	0.269
0.05	1.171	1	1.25	6.9	0.11	1.662	0.697	1.42	0.1975
0.05	0.99	1	0.65	7.95	0.075	1.41	0.571	1.412	0.1345
0.03	0.765	Le jet se colle à l'orifice							



Seri A1
Page 24

$D_1 = 1 \text{ mm}$
 C_{v2} d'après th. q d. m
 C_{v3} d'après photos
 C_{v1} d'après trajectoire

We →

Trajectoire

Orifice de diametre $D_2 = 1.5 \text{ mm}$

$A = 1.768 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

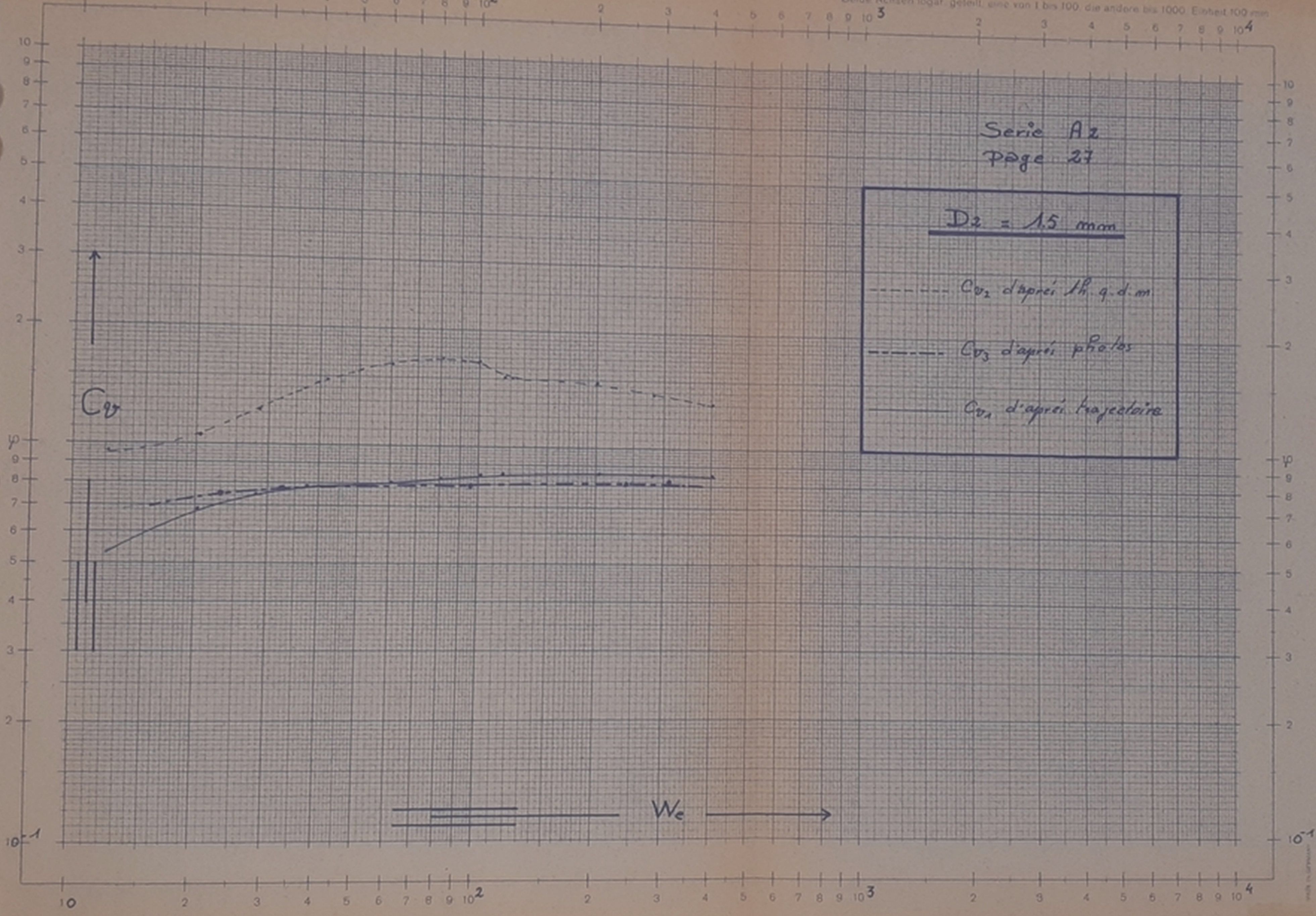
h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{D1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	$\frac{\text{m}^3}{10^{-6}}$	sec	$\frac{\text{m}^3}{10^{-6}}$			10^3	10^2
1.00	4.42	0.553	3.785	187.5	31.2	5.95	0.855	0.761	5.67	4.03
0.70	3.7	0.462	3.161	192	37.5	5.11	0.855	0.781	4.74	2.82
0.50	3.13	0.391	2.68	179	42.4	4.24	0.856	0.766	4.02	2.01
0.30	2.423	0.309	2.118	175	52.4	3.34	0.872	0.779	3.17	1.212
0.28	2.341	0.293	2.04	186	56.8	3.27	0.857	0.79	3.06	1.164
0.25	2.218	0.276	1.89	145	47.2	3.07	0.854	0.784	2.835	1.01
0.20	1.98	0.238	1.631	137	45.8	2.98	0.824	0.85	2.45	0.807
0.15	1.713	0.201	1.375	153	64.6	2.37	0.803	0.781	2.061	0.602
0.10	1.4	0.163	1.16	122.5	63.4	1.93	0.797	0.78	1.741	0.375
0.07	1.171	0.129	0.883	93.5	57.8	1.615	0.754	0.778	1.325	0.282
0.05	0.99	0.10	0.685	98	72.2	1.358	0.691	0.775	1.029	0.2021
0.03	0.765	0.059	0.404	64	63.3	1.011	0.528	0.748	0.66	0.1204

th. quantité de mouvement

Orifice de diamètre $D_2 = 1.5 \text{ mm}$

$A = 1.768 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	P	l	l'	F	V_2	Q	C_{v_2}	W
m	m/sec	kg	cm	cm	kg	m/sec	m ³ /sec		10 ²
		10 ⁻³			10 ⁻³		10 ⁻⁶		
1.00	4.42	2	11.2	6.4	3.5	5.77	5.95	1.305	4.03
0.70	3.7	2	8.5	6.4	2.66	5.1	5.11	1.38	2.82
0.50	3.13	2	6.5	6.4	2.03	4.6	4.24	1.49	2.01
0.30	2.423	1	7.925	6.4	1.24	3.64	3.34	1.5	1.212
0.28	2.341	1	7.5	6.4	1.172	3.51	3.27	1.5	1.164
0.25	2.218	1	7.35	6.4	1.149	3.66	3.07	1.651	1.01
0.20	1.98	1	6.45	6.45	0.91	3.28	2.98	1.655	0.807
0.15	1.713	1	4.35	6.5	0.672	2.78	2.37	1.620	0.602
0.10	1.4	1	2.55	6.6	0.5	2.54	1.93	1.815	0.375
0.07	1.171	1	1.6	6.7	0.39	2.362	1.615	1.239	0.282
0.05	0.99	1	1	6.95	0.275	1.04	1.358	1.05	0.2021
0.03	0.765	1	0.65	8.6	0.19	0.734	1.011	0.96	0.1204



Trajectoire

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

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	Q	t	Q	C_{D1}	m_1	R_1	W
mm	m/sec	mm	m/sec	m^3	sec	m^3/sec			10^3	10^2
				10^{-6}		10^{-6}				
1.00	4.42	0.537	3.68	362	34.7	10.42	0.832	0.75	8.85	5.37
0.70	3.7	0.472	3.234	215.5	24.2	8.88	0.874	0.764	6.46	3.76
0.50	3.13	0.413	2.828	204	26.7	7.640	0.904	0.776	5.66	2.69
0.30	2.423	0.339	2.254	188	30.8	6.11	0.933	0.801	4.51	1.625
0.28	2.341	0.316	2.162	133	22.3	5.96	0.924	0.81	4.33	1.508
0.25	2.218	0.298	2.04	186	33.2	5.6	0.92	0.804	4.08	1.352
0.20	1.98	0.263	1.8	161	32.4	4.98	0.908	0.800	3.6	1.08
0.15	1.713	0.222	1.520	156.5	36.1	4.34	0.884	0.805	3.07	0.835
0.1	1.4	0.175	1.21	175	49.2	3.558	0.858	0.809	2.578	0.618
0.07	1.171	0.138	0.938	182	60.8	2.99	0.80	0.811	1.875	0.382
0.05	0.99	0.11	0.753	139	54.1	2.68	0.76	0.826	1.501	0.2698
0.03	0.765	0.071	0.486	131	67.2	1.949	0.635	0.811	1.422	0.161

th. quantité de mouvement

Orif. de diamètre $D_3 = 2 \text{ mm}$

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

h	$\sqrt{2gR}$	P	l	l'	F	V_2	Q	C_{D2}	W
mm	m/sec	kg	cm	cm	kg	m/sec	m ³ /sec		10 ²
		10 ⁻³			10 ⁻³		10 ⁻⁶		
1.00	4.42	5	7.5	6.3	5.96	5.61	10.42	1.27	5.37
0.70	3.7	5	5.55	6.3	4.41	4.86	8.88	1.315	3.76
0.50	3.13	2	10.8	6.3	3.424	4.4	7.64	1.405	2.69
0.30	2.423	2	6.75	6.3	2.142	3.439	6.11	1.416	1.625
0.28	2.341	2	6.7	6.35	2.095	3.38	5.96	1.442	1.508
0.25	2.218	2	6.0	6.35	1.875	3.295	5.6	1.49	1.352
0.20	1.98	2	5	6.5	1.539	3.09	4.98	1.56	1.08
0.15	1.713	1	8.2	6.5	1.262	2.824	4.375	1.65	0.835
0.10	1.4	1	5.8	6.6	0.876	2.219	3.558	1.581	0.618
0.07	1.171	1	4.25	6.7	0.635	2.08	2.99	1.775	0.382
0.05	0.99	1	3.13	6.8	0.46	1.685	2.68	1.70	0.2698
0.03	0.765	1	1.7	7.45	0.31	1.148	1.949	1.5	0.161

Trajectoire

Orifice de diamètre $D_0 = 2.5 \text{ mm}$

$A = 4.91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

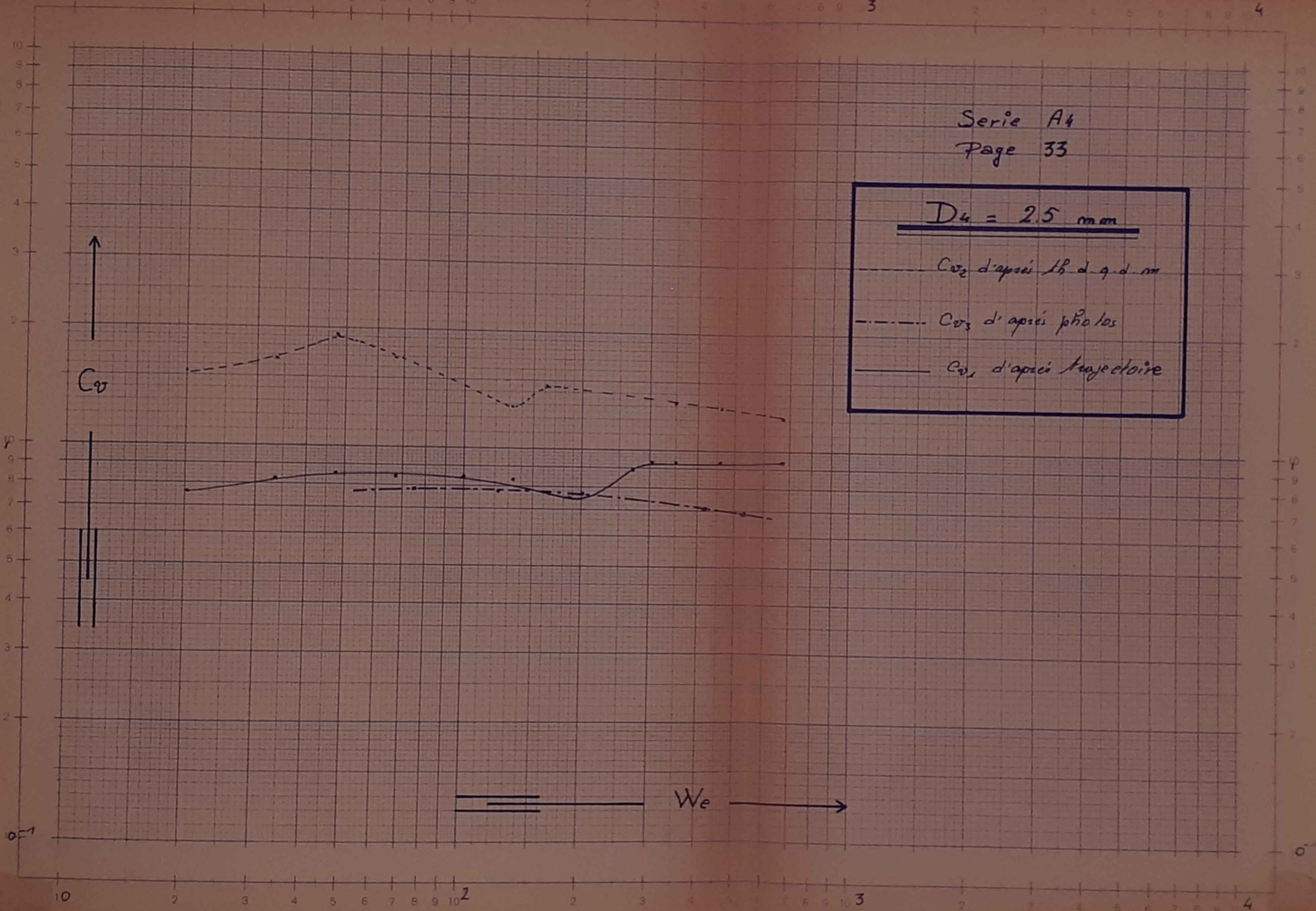
h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{v1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	m^3 10^{-6}	sec	m^3/sec 10^{-6}			10^4	10^2
1.00	4.42	0.604	4.14	447	30.5	14.7	0.935	0.676	1034	6.71
0.70	3.7	0.505	3.46	204	15.6	13.08	0.934	0.717	0.865	4.6
0.50	3.13	0.423	2.9	221	19.6	11.28	0.926	0.732	0.725	3.58
0.30	2.423	0.262	1.793	228	24.3	9.4	0.74	0.79	0.448	2.02
0.28	2.341	0.259	1.774	196	21.7	9.02	0.756	0.784	0.444	1.884
0.25	2.218	0.252	1.725	199.5	23.5	8.49	0.778	0.78	0.431	1.639
0.20	1.98	0.241	1.65	190	23.2	8.18	0.833	0.841	0.412	1.346
0.15	1.713	0.212	1.452	193.5	27.8	6.96	0.846	0.829	0.363	1.01
0.10	1.4	0.172	1.178	148	26.3	5.62	0.84	0.818	0.294	0.672
0.07	1.171	0.146	1	200	43.2	4.63	0.854	0.804	0.25	0.471
0.05	0.99	0.119	0.814	109	28.4	3.838	0.822	0.799	0.238	0.3365
0.03	0.765	0.085	0.582	115	40	2.875	0.76	0.771	0.1458	0.201

th. quantité de mouvement

Orifice de diamètre $D_h = 2.5 \text{ mm}$

$A = 4.91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	P	l	l'	F	V_2	Q	C_{v2}	W
m	m/sec	kg 10^{-3}	cm	cm	kg 10^{-3}	m/sec	m^3/sec 10^{-6}		10^2
1.00	4.42	5	10.4	6.35	8.07	5.39	14.7	1.22	6.71
0.70	3.7	5	8.2	6.35	6.36	4.77	13.08	1.29	4.6
0.50	3.13	5	6.2	6.35	4.81	4.18	11.28	1.338	3.58
0.30	2.423	2	11.2	6.5	3.45	3.6	9.4	1.48	2.02
0.28	2.341	2	10.5	6.5	3.23	3.51	9.02	1.49	1.884
0.25	2.218	2	9.1	6.5	2.8	3.24	8.49	1.462	1.639
0.20	1.98	2	6.9	6.5	2.34	2.54	8.18	1.282	1.346
0.15	1.713	2	5.9	6.4	1.844	2.5	6.96	1.46	1.01
0.10	1.4	2	4.5	6.6	1.364	2.378	5.62	1.695	0.672
0.07	1.171	1	7.2	6.7	1.075	2.279	4.63	1.945	0.471
0.05	0.99	1	4.4	6.8	0.77	1.655	3.838	1.67	0.3365
0.03	0.765	1	2.5	7.3	0.515	1.168	2.875	1.525	0.201



Serie A4
Page 33

$D_4 = 2.5 \text{ mm}$
 - - - Co_2 d'après lb d. g. d. m
 . . . Co_2 d'après photos
 — Co_2 d'après trajectoire

Co

We →

y

0.5

0.1

Trajectoire

Orifice de diamètre $D_5 = 3 \text{ mm}$

$A = 7.075 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gH}$	L	V_1	v	t	Q	C_{v1}	m_1	R_1	W
mm	mm/sec	mm	mm/sec	mm^3	sec	mm^3/sec			10^4	10^2
				10^{-6}		10^{-6}				
1.00	4.42	0.602	4.12	660	29.2	22.65	0.931	0.725	1.238	8.08
0.70	3.7	0.503	3.441	740	38.4	19.29	0.93	0.735	1.032	5.63
0.50	3.13	0.412	2.824	634	36.1	17.55	0.9025	0.791	0.877	4.03
0.30	2.423	0.32	2.183	329	24.3	13.52	0.904	0.786	0.656	2.425
0.28	2.341	0.312	2.142	204	15.6	13.08	0.914	0.788	0.643	2.26
0.25	2.218	0.299	2.047	245	19.8	12.39	0.924	0.79	0.615	2.015
0.20	1.98	0.270	1.85	237	21.2	11.18	0.934	0.788	0.555	1.579
0.15	1.713	0.231	1.581	204	21.6	9.44	0.922	0.777	0.4725	1.174
0.10	1.4	0.185	1.265	228	29.0	7.86	0.904	0.7935	0.38	0.81
0.07	1.171	0.149	1.02	190	29.5	6.55	0.87	0.788	0.306	0.566
0.05	0.99	0.122	0.846	207	37	5.5	0.845	0.783	0.2543	0.416
0.03	0.765	0.88	0.602	164	38.8	4.2	0.7875	0.775	0.1806	0.24

th. quantité de mm pour cm ent

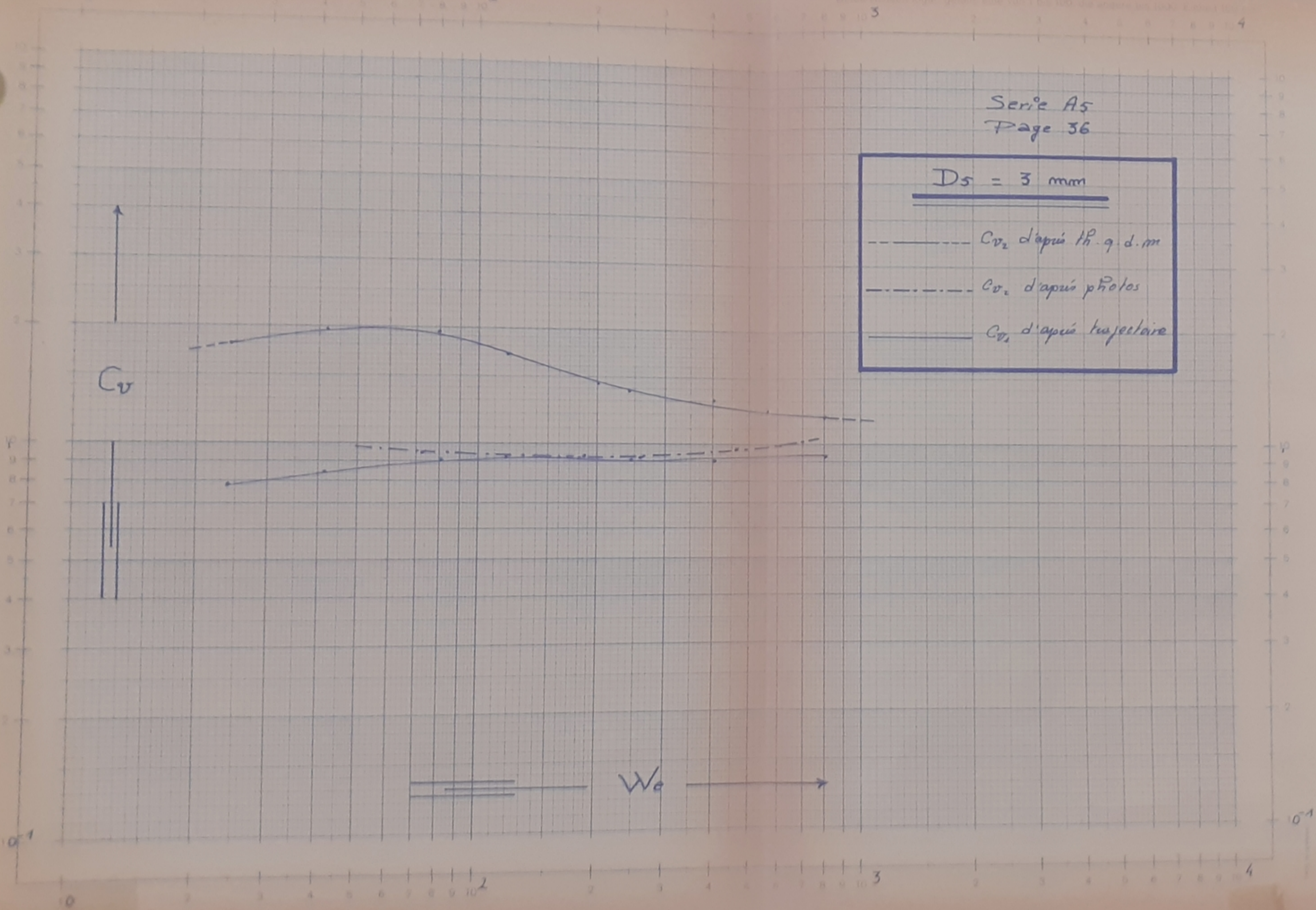
Orifice de diamètre $D_5 = 3 \text{ mm}$ $A = 7.075 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

h	$\sqrt{2gh}$	P	l	l'	F	V_2	Q	C_{v2}	W
mm	mm/sec	kg	cm	cm	kg	mm/sec	mm ³ /sec		10 ²
		10 ⁻³			10 ⁻³		10 ⁻⁶		
1.00	4.42	10	7.8	6.4	12.2	5.27	22.65	1.192	8.08
0.70	3.7	5	11.6	6.4	9.05	4.6	19.29	1.242	5.63
0.50	3.13	5	9.3	6.4	7.26	4.06	17.55	1.3	4.03
0.30	2.423	5	5.85	6.4	4.575	3.32	13.52	1.37	2.425
0.28	2.341	5	5.75	6.4	4.44	3.3	13.08	1.409	2.26
0.25	2.218	5	5.2	6.45	4.03	3.19	12.39	1.44	2.015
0.20	1.98	2	11.6	6.45	3.59	3.142	11.18	1.589	1.579
0.15	1.713	2	9.15	6.5	2.82	2.93	9.44	1.71	1.174
0.10	1.4	2	7.3	6.6	2.21	2.75	7.86	1.965	0.81
0.07	1.171	1	10.45	6.7	1.56	2.33	6.55	1.988	0.566
0.05	0.99	1	7.6	6.9	1.101	1.961	5.5	1.980	0.416
0.03	0.765	1	6.55	7.4	0.886	1.404	4.2	1.835	0.24

Serie A5
Page 36

$D_s = 3 \text{ mm}$

----- C_{v2} d'après th. q. d. m
----- C_{v2} d'après photos
----- C_{v1} d'après trajectoire



Trajectoire

Orifice de diamètre $D_0 = 4 \text{ mm}$

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

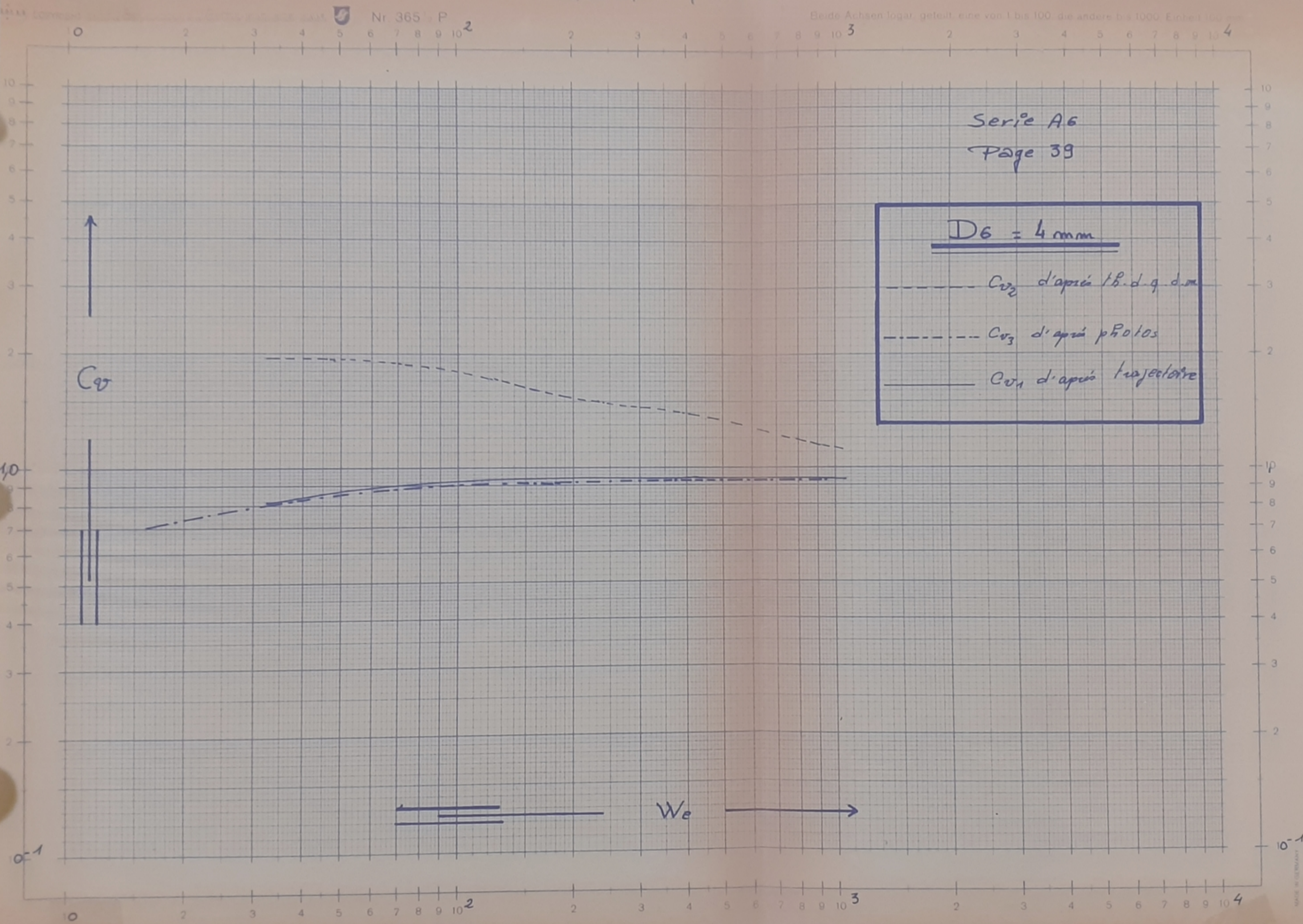
h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	v	t	Q	C_{v1}	m_1	R_1	W
m	m/sec	m	m/sec	$\frac{\text{m}^3}{10^{-6}}$	sec	$\frac{\text{m}^3}{10^{-6}}$			10^4	10^2
1.00	4.42	0.606	4.16	615	16.4	37.5	0.94	0.675	1.662	10.79
0.70	3.7	0.505	3.46	586	18.3	32.0	0.945	0.688	1.385	7.38
0.50	3.13	0.43	2.944	560	20.4	27.42	0.941	0.697	1.18	5.38
0.30	2.423	0.332	2.275	192	9	21.35	0.938	0.702	0.91	3.23
0.28	2.341	0.320	2.19	216	10.4	20.78	0.935	0.705	0.877	3.02
0.25	2.218	0.305	2.09	229	11.6	19.75	0.942	0.71	0.836	2.705
0.20	1.98	0.273	1.869	214	11.9	17.98	0.944	0.722	0.7475	2.158
0.15	1.713	0.238	1.63	218	14.0	15.58	0.952	0.723	0.652	1.61
0.10	1.4	0.188	1.295	227	17.6	12.82	0.925	0.728	0.515	1.078
0.07	1.171	0.155	1.061	224	20.4	10.99	0.906	0.745	0.424	0.753
0.05	0.99	0.130	0.89	213.5	23.2	9.19	0.895	0.737	0.356	0.544
0.03	0.765	0.0915	0.626	211	29.2	7.225	0.819	0.751	0.253	0.3218

th. 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	V_2	Q	Cv_2	W
mm	m/sec	kg	cm	cm	kg	m/sec	m^3/sec		10^2
		10^{-3}			10^{-3}		10^{-6}		
1.00	4.42	20	5.85	6.25	18.71	4.89	37.5	1.105	10.79
0.70	3.7	10	9.60	6.25	14.5	4.34	32	1.2	7.38
0.50	3.3	10	7.3	6.25	11.7	4.18	27.42	1.334	5.38
0.30	2.423	5	9.3	6.30	7.38	3.39	21.35	1.448	3.23
0.28	2.341	5	8.9	6.3	7.06	3.339	20.78	1.425	3.02
0.25	2.218	5	8.3	6.4	6.49	3.22	19.75	1.452	2.705
0.20	1.98	5	7.3	6.4	5.78	3.155	17.98	1.592	2.158
0.15	1.713	5	5.7	6.4	4.45	2.8	15.58	1.632	1.61
0.1	1.4	2	10.5	6.45	3.255	2.488	12.82	1.778	1.078
0.07	1.171	2	7.9	6.5	2.435	2.164	10.99	1.85	0.753
0.05	0.99	2	6	6.75	1.777	1.895	9.19	1.912	0.544
0.03	0.765	1	7.6	7.0	1.084	1.47	7.225	1.92	0.328



C_v

We

10^{-1}

10^{-1}

10

10

Trajectoire

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

$$A = 19.64 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

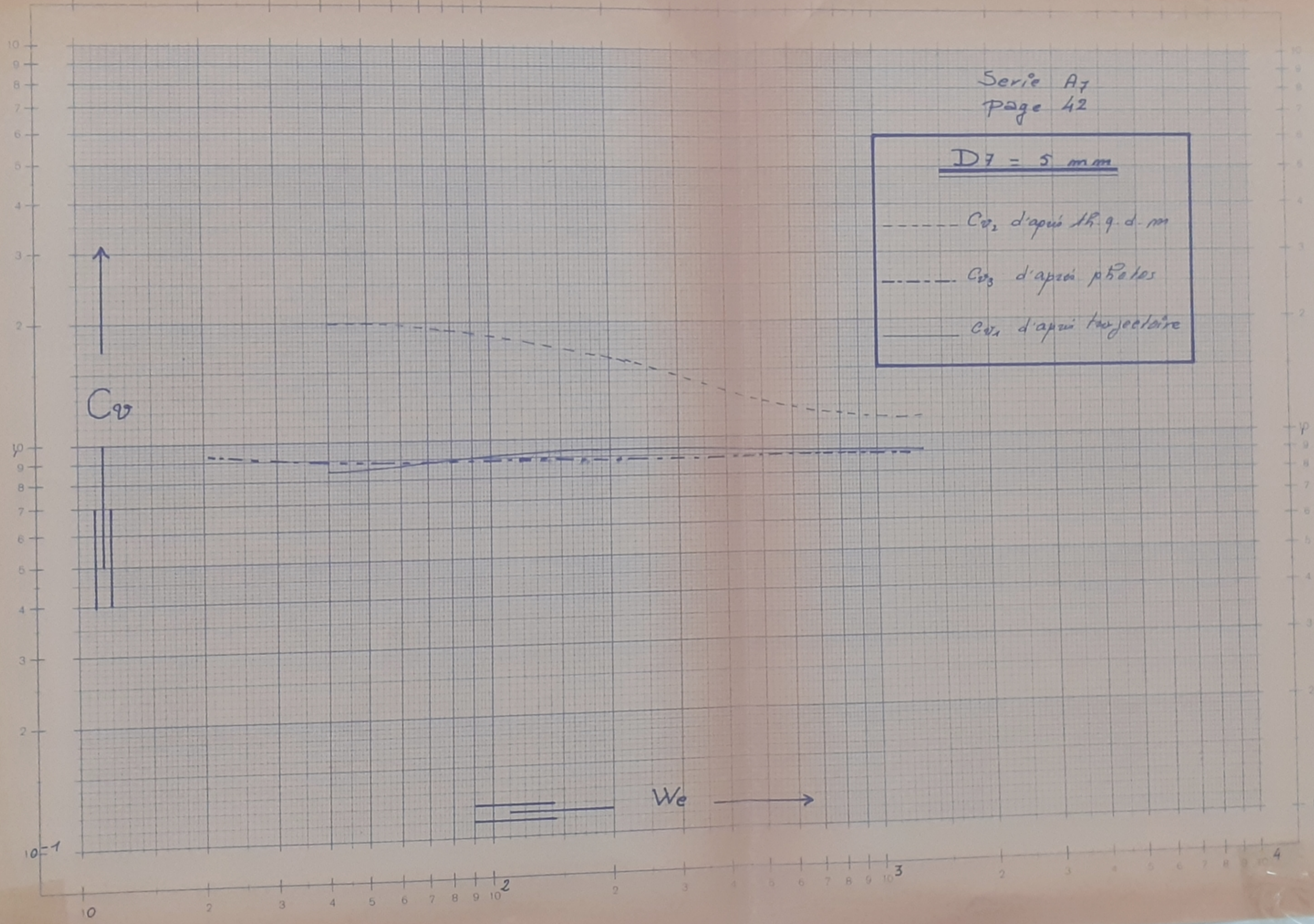
h	$\sqrt{2gR}$	L	V_1	v	t	Q	C_{v1}	m_1	R_1	W
mm	m/sec	mm	mm/sec	mm ³ 10 ⁻⁶	sec	mm ³ /sec 10 ⁻⁶			10 ⁴	10 ²
1.00	4.42	0.592	4.055	670	12.5	52.7	0.917	0.606	2.06	13.4
0.70	3.7	0.494	3.38	588	12.5	46.1	0.914	0.649	1.691	9.4
0.50	3.13	0.418	2.861	796	19.7	40.45	0.914	0.657	1.431	6.75
0.30	2.423	0.330	2.278	535	16.6	32.21	0.932	0.676	1.122	3.98
0.28	2.341	0.318	2.178	698	22.3	31.28	0.929	0.679	1.089	3.77
0.25	2.218	0.303	2.078	564	19.0	29.63	0.9375	0.682	1.039	3.16
0.20	1.98	0.272	1.86	493	18.1	27.22	0.94	0.70	0.93	2.684
0.15	1.713	0.233	1.595	206	9.2	22.4	0.932	0.664	0.7975	2.015
0.10	1.4	0.131	1.309	209	10.8	19.35	0.934	0.704	0.654	1.35
0.07	1.171	0.155	1.061	229.8	14.5	15.8	0.906	0.687	0.531	0.94
0.05	0.99	0.128	0.877	221	15.8	13.35	0.885	0.686	0.442	0.685
0.03	0.765	0.94	0.644	220	20.8	10.58	0.842	0.705	0.322	0.402

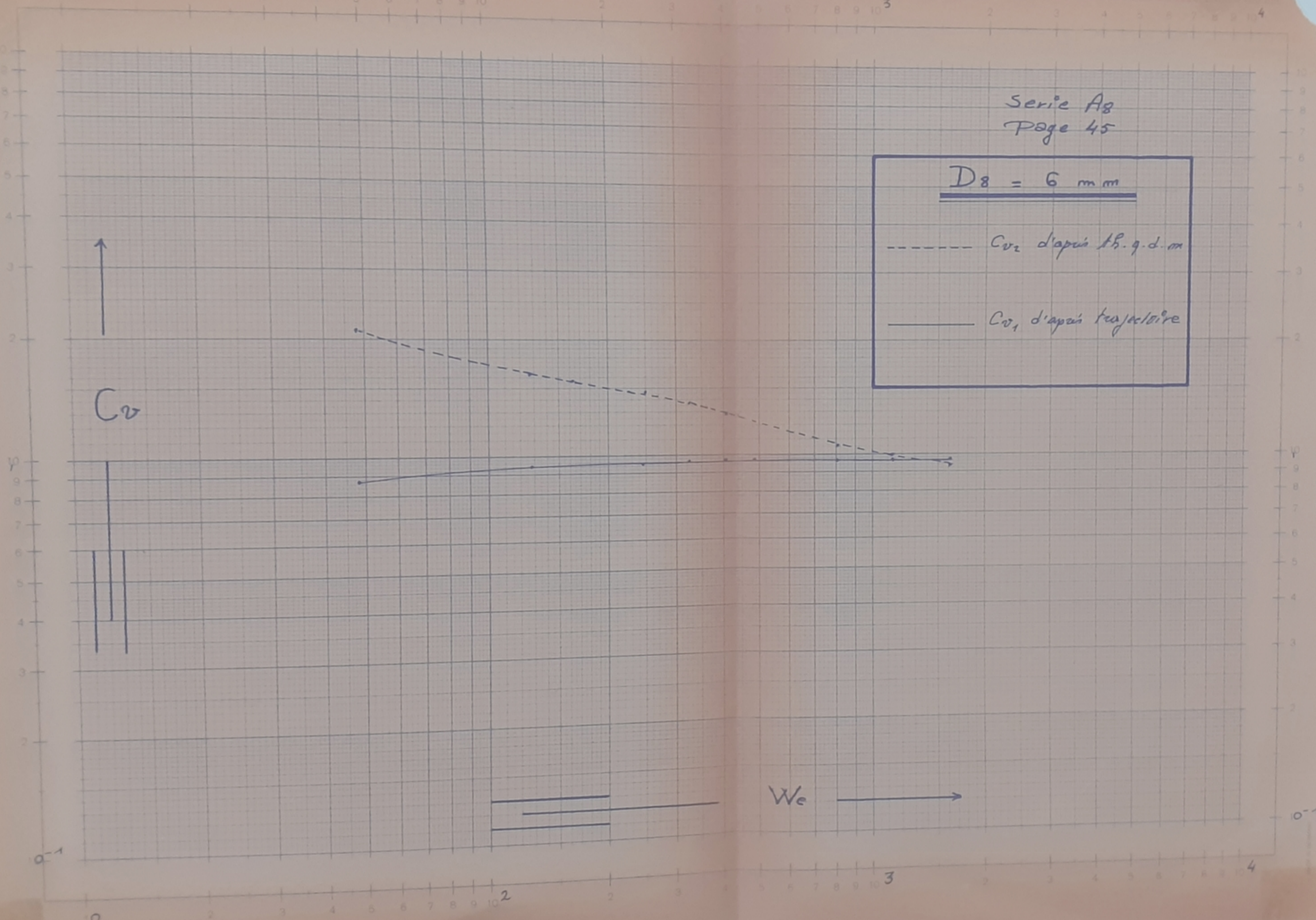
th. quantité de mouvement

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

$A = 19.64 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

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			
1.00	4.42	20	8.6	6.45	26.64	52.7	4.96	1.121	13.4
0.70	3.7	20	6.25	6.45	19.48	46.1	4.145	1.12	9.4
0.50	3.13	20	4.80	6.45	14.89	40.45	3.615	1.152	6.75
0.30	2.423	10	6.75	6.45	10.48	32.21	3.195	1.312	3.98
0.28	2.341	10	6.6	6.45	10.23	31.28	3.185	1.362	3.77
0.25	2.218	10	6.1	6.45	9.46	29.63	3.13	1.4	3.16
0.20	1.98	10	5.3	6.45	8.22	27.22	2.93	1.48	2.684
0.15	1.713	5	8.2	6.46	6.36	22.40	2.79	1.628	2.015
0.10	1.4	5	6.25	6.5	4.81	19.35	2.44	1.74	1.35
0.07	1.171	5	4.70	6.7	3.57	15.8	2.21	1.887	0.94
0.05	0.99	2	8.8	6.8	2.584	13.35	1.898	1.90	0.685
0.03	0.765	2	5.75	7.1	1.62	10.58	1.5	1.96	0.402



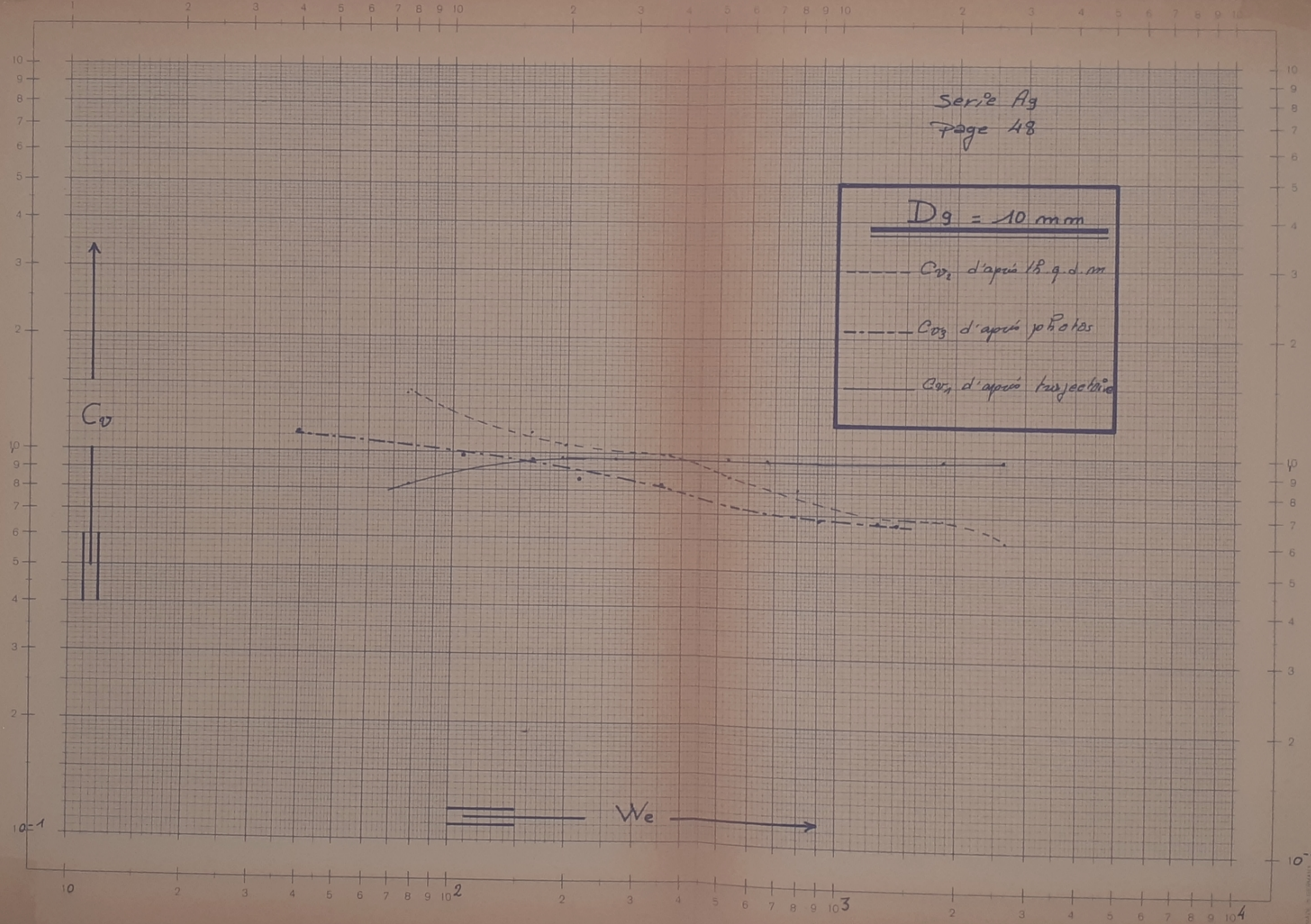


Trajectoire

Orifice de diamètre $D_0 = 10 \text{ mm}$

$$A = 25 \pi \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

h	$\sqrt{2gh}$	L	V_1	Q	t	Q	C_{v1}	m_1	R_1	W
mm	mm/sec	mm	mm/sec	mm ³ 10 ⁻⁶	sec	mm ³ /sec 10 ⁻⁶			10 ⁴	10 ³
1.00	4.42	0.63	4.31	1195	5.2	230	0.975	0.662	4.31	2.684
0.70	3.7	0.522	3.58	1250	6.4	195	0.967	0.67	3.58	1.88
0.50	3.13	0.436	2.99	1221	7.4	165	0.955	0.67	2.99	1.348
0.30	2.423	0.339	2.321	3500	27	130	0.956	0.682	2.321	0.807
0.25	2.218	0.3105	2.125	1595	13.3	120	0.96	0.689	2.125	0.674
0.20	1.98	0.282	1.93	1670	16	104.3	0.975	0.675	1.93	0.538
0.15	1.713	0.241	1.65	1325	14.5	90.7	0.9625	0.675	1.65	0.374
				692	7.7					
0.10	1.4	0.197	1.35	728	9.4	73	0.9625	0.663	1.35	0.269
				733	9.6					
0.074	1.205	0.171	1.171	528	7.8	64	0.972	0.675	1.171	0.1995
				740	10.9					
0.06	1.084	0.153	1.048	794	13.5	59	0.965	0.694	1.048	0.1615
				610	10.3					
0.025	0.701	0.084	0.575	212	5.3	37.9	0.82	0.688	0.575	0.076
				248	6.5					



Remarque :

Les mesures des forces effectuées avec l'appareillage adopté dans ce domaine, pour ces premiers essais ne donnent pas des résultats fidèles, en réalité, cette force subit des variations très importantes pour un même débit et pour une même charge caractérisant un écoulement passant par un même orifice.

Cette variation est dû probablement au fait que les particules d'eau percutant la parois disposées perpendiculairement au jet ne sont pas toutes déviées dans la direction tangentielle à cette parois, mais elles sont partiellement réfléchies dans toutes les directions par cette paroi même et par le fait que les particules réfléchies retombant sur le jet primitif agissant de manière à dénaturer les caractéristiques primitives de ce jet.

Pour cette raison nous ne sommes pas en mesure de tirer les conclusions des mesures effectuées en vue de la détermination des relations existant entre cette force d'une part et les caractéristiques du jet d'autre part par ce que les résultats obtenus peuvent différer dans un sens ou dans l'autre de plus ou moins 50 %, les résultats correspondant à la théorie et aux lois de la similitude de Reech-Froude.

Pour mieux déterminer ces relations qui existent certainement il sera indispensable d'avoir recours à des récepteurs autre qu'une paroi plane comme par exemple la mesure de la force agissant sur une aube fixe attaquée tangentiellement par le jet et prévoyant une telle disposition du jet sortant que celui-ci ne puissent pas influencer les caractéristiques du jet incident

2ème Série de tableaux

Ces tableaux contiennent les éléments nécessaires pour calculer :

- Le coefficient de contraction à différentes charges et pour tous les orifices.
- La vitesse réelle dans la section contractée d'où on déduit la charge et la poussée théoriques.

En effet :

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

$$F_1 = \rho Q V_c$$

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

Suivant les valeurs trouvées on trace les courbes correspondantes :

$$C_c = f(R)$$

La poussée et la charge théorique nous ont permis la construction des abaques de comparaison, entre les valeurs réelles et théoriques.

Diameter		section		h_{ep}	Q	A_c	C_c	V_c	F_1	$\sqrt{2gh}$	C_{D3}	h_{FR}	W	R		
mm		m^2		mm	m^3/s	m^2		m/s	kg	m/s		m	10^2	10^3		
Dt	Dv	At	Av		10^{-6}	10^{-6}			10^{-3}							
1	1.05	0.785	10^{-6}	0.8649	10^{-6}	0.784	2.485	0.640	0.656	3.89	0.98	3.91	0.994	0.756	2.2	4.11
						0.579	2.11	0.656	0.759	3.22	0.694	3.36	0.958	0.529	1.63	3.522
						0.305	1.51	0.675	0.77	2.239	0.344	2.44	0.916	0.25	0.787	2.56
						0.177	1.14	0.698	0.808	1.632	0.19	1.86	0.878	0.1361	0.5	1.955
						0.067	0.679	0.740	0.857	0.917	0.0635	1.146	0.81	0.0429	0.184	1.202
1.5	1.52	1.768	10^{-6}	1.812	10^{-6}	0.767	5.38	1.66	0.916	3.24	1.78	3.87	0.837	0.535	3.11	5.98
						0.585	4.63	1.682	0.93	2.75	1.28	3.385	0.812	0.386	2.4	5.15
						0.313	3.38	1.69	0.932	2	0.69	2.48	0.806	0.204	1.275	3.77
						0.221	2.83	1.71	0.943	1.656	0.478	2.081	0.795	0.149	0.906	3.165
						0.078	1.67	1.746	0.962	0.956	0.163	1.24	0.771	0.0467	0.322	1.885
						0.056	1.41	1.746	0.962	0.79	0.1138	1.05	0.752	0.0382	0.23	1.595

Diametre		Section		h^{exp}	Q	A_c	C_c	V_c	F_1	$\sqrt{2gP}$	C_{v3}	h_{TR}	W	FR		
mm		mm		mm	m/s	mm ²		m/s	kg	m/s		mm	10 ²	10 ³		
D _t	D _r	A _t	A _r		10 ⁻⁶	10 ⁻⁶			10 ⁻³							
3	3.05	7.075	10 ⁻⁶	7.30	10 ⁻⁶	0.806	22.4	5.88	0.710	3.81	8.7	3.87	0.985	0.74	6.1	11.8
						0.568	18.23	5.66	0.712	3.221	6	3.324	0.968	0.529	4.62	10.15
						0.323	138	5.7	0.724	2.42	3.4	2.518	0.904	0.298	2.644	7.68
						0.222	1.149	5.96	0.729	1.925	2.25	2.081	0.924	0.189	1.81	6.36
						0.088	7.2	5.8	0.777	1.241	0.91	1.31	0.949	0.0786	0.716	4
						0.749	33	9.07	0.661	3.635	12.24	3.87	0.939	0.66	8.6	16.2
4	4.175	4.77	10 ⁻⁶	13.71	10 ⁻⁶	0.555	28.6	9.38	0.683	3.05	8.9	3.33	0.932	0.475	6.26	13.94
						0.326	22.3	9.43	0.688	2.375	5.4	2.55	0.93	0.288	3.74	10.65
						0.19	17.3	10.18	0.74	1.404	2.48	1.95	0.72	0.1002	2.182	8.15
						0.086	11.9	10.18	0.74	1.17	1.42	1.3	0.9	0.0698	0.97	5.44
						0.024	6.5	10.18	0.74	0.639	0.424	0.687	0.927	0.0208	0.271	2.875
						0.015	5.2	13.7	1	0.3724	0.201	0.542	0.7	0.0073	0.169	2.265

Diameter		Section		h^{exp}	Q	A_c	C_c	V_c	F_1	$\sqrt{2gh}$	C_{D3}	P_{12}	W	R		
mm		m ²		m	m ³ /s	m ²		m/s	kg	m/s		m	10 ³	10 ³		
Dt	Dr	A _t	A _r		10 ⁻⁶	10 ⁻⁶			10 ⁻³							
5	4.9	19.64	10 ⁻⁶	18.85	10 ⁻⁶	0.638	44.8	14.28	0.756	3.14	1.44	3.538	0.887	0.503	8.4	17.3
						0.492	39.5	14.99	0.794	2.64	1.062	3.11	0.848	0.356	6.5	15.24
						0.188	25.2	15.22	0.807	1.72	0.426	1.92	0.895	0.1509	2.482	9.41
						0.07	15.75	15.25	0.8075	1.03	0.1659	1.17	0.88	0.054	0.921	5.73
						0.03	10.6	15.4	0.817	0.689	0.0745	0.766	0.9	0.024	0.396	3.76
						0.02	8.74	15.4	0.817	0.588	0.0506	0.626	0.906	0.0165	0.274	3.07
						0.54	170	84	1.04	2.02	3.5	3.26	0.62	0.208	1.44	33.2
10	10.14	25.71	10 ⁻⁶	80.75	10 ⁻⁶	0.48	160	81.5	1.01	1.96	3.2	3.065	0.64	0.196	1.274	31.6
						0.357	139	78.7	0.965	1.762	2.5	2.642	0.667	0.1582	0.912	26.84
						0.235	114	73.6	0.912	1.548	1.8	2.15	0.719	0.1219	0.625	21.8
						0.14	88	65.8	0.815	1.338	1.2	1.615	0.826	0.912	0.353	16.4
						0.08	66.9	62.5	0.775	1.07	0.730	1.253	0.853	0.0584	0.213	12.74
						0.04	47.5	54.2	0.671	0.878	0.425	0.886	0.99	0.0394	0.1064	6.90
						0.015	29.5	48.2	0.61	0.613	0.1842	0.542	1.13	0.0195	0.039	0.55

Page 54

C_c

0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65

$D = 1.5$

$D = 10$

$D = 1$

$D = 4$

$D = 5$

$D = 3$

Re

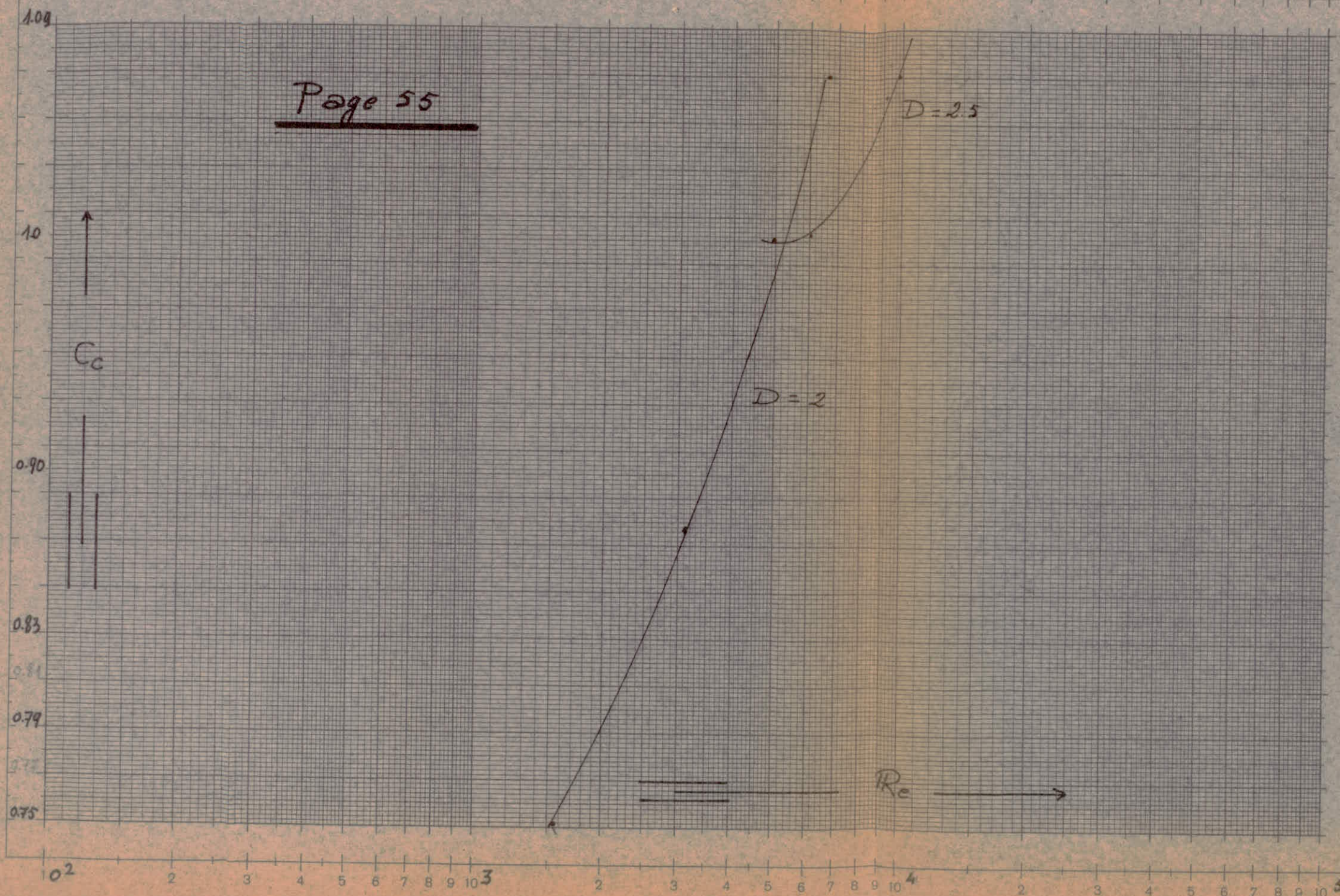
10^2

10^3

10^4

10^5

Page 55



3ème série de tableaux
abaques de comparaison

Ces tableaux contiennent les éléments nécessaires pour trouver les abaques de comparaison, ce sont les familles des courbes $\frac{h_{exp}}{h_{th}}$ et $\frac{F_{exp}}{F_{th}}$ en fonction de $\frac{h}{D}$ pour des débits constants.

en effet : $h_{th} = \frac{v^2}{2g}$ $F_{th} = f(Q) Vc.$

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

on trace :

1 - h_{exp} en fonction de Q et $\frac{h_{exp}}{D}$ en fonction de Q

h_{exp} et $\frac{h_{exp}}{D} = f(Q)$ série B1

2 - $h_{th}^{exp} = f(Q)$ série B2

3 - $h = f(F_{exp}^{th})$ série B3

Avec ces séries B₁, B₂, B₃ on tracera les familles des courbes

$\frac{h_{exp}}{h_{th}} = f\left(\frac{h}{D}\right)$ série C₁

$\frac{F_{exp}}{F_{th}} = f\left(\frac{h}{D}\right)$ série C₂

DE l'abaque (série B₁) on tire $\frac{h_{exp}}{D}$, pour un débit bien déterminé.

de l'abaque (série B₂) on tire h_{th} qui correspond au même débit. d'où on a $\frac{h_{exp}}{D}$ et le rapport $\frac{h_{exp}}{h_{th}}$.

nous permettant de tracer $\frac{h_{exp}}{h_{th}} = f\left(\frac{h}{D}\right)$

de la même manière on trace la famille de courbe $\frac{F_{exp}}{F_{th}} = f\left(\frac{h}{D}\right)$

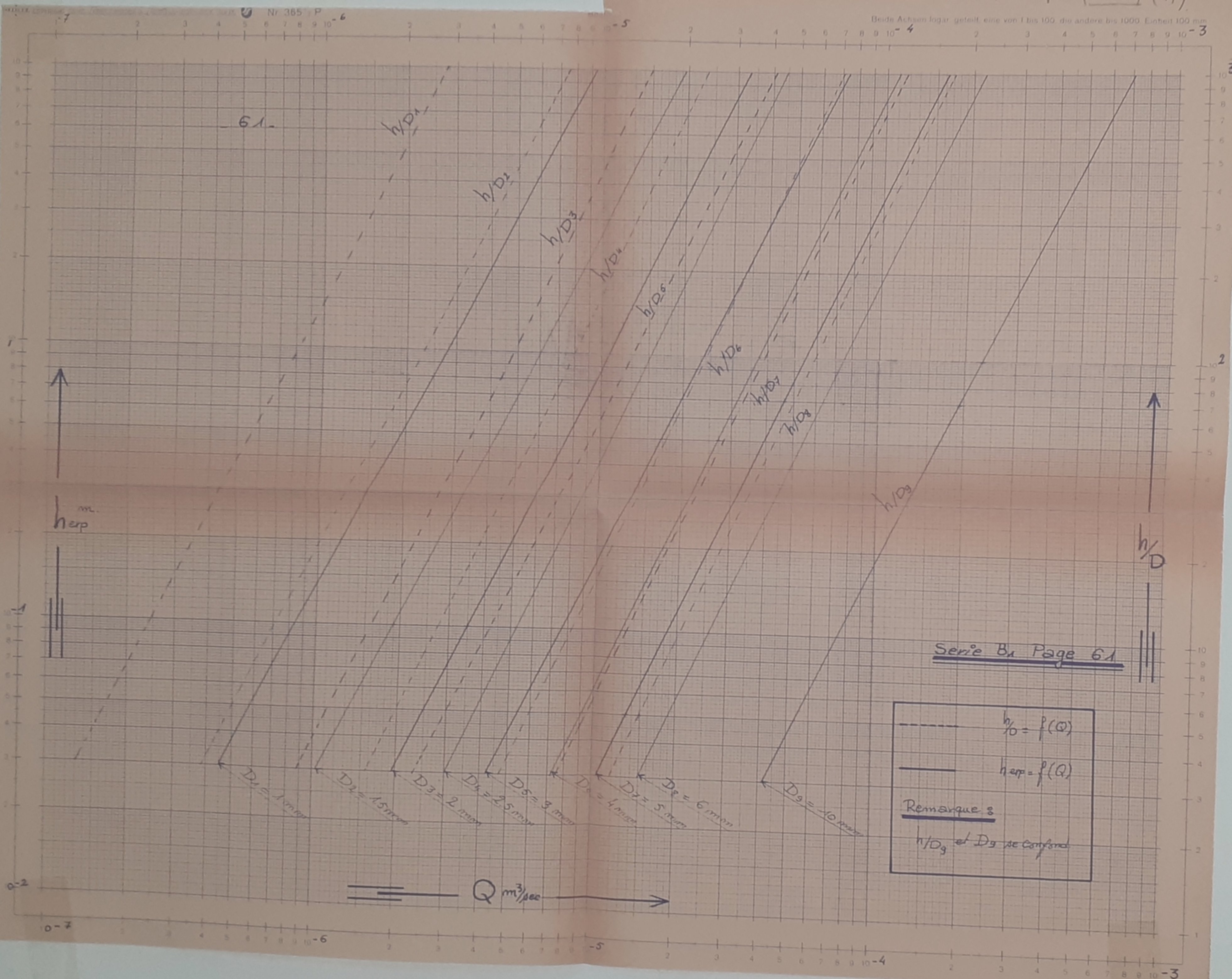
Les tableaux suivants sont précédés par les courbes correspondantes.

Φ	D	h_{exp}	h_{FR}	$\frac{h_{exp}}{R_{FR}}$	F_{exp}	F_{FR}	$\frac{F_{exp}}{F_{FR}}$	h/D
mm^3/sec	mm	mm	mm		kg	kg		
$2.16 \cdot 10^{-6}$	2	0.037	0.037	1	$3.68 \cdot 10^{-4}$	$1.86 \cdot 10^{-4}$	1.98	18.75
	1.5	0.1275	0.08	1.59	$6.2 \cdot 10^{-4}$	$2.7 \cdot 10^{-4}$	2.3	86
	1	0.602	0.56	1.076	$9.1 \cdot 10^{-5}$	$55 \cdot 10^{-5}$	1.65	$6.1 \cdot 10^2$
$2.6 \cdot 10^{-6}$	2	0.054	0.049	1.101	$5.05 \cdot 10^{-4}$	$2.575 \cdot 10^{-4}$	1.961	25
	1.5	0.185	0.118	1.568	$8.4 \cdot 10^{-4}$	$4.1 \cdot 10^{-4}$	2.1	$1.25 \cdot 10^2$
	1	0.86	0.84	1.024	$1.32 \cdot 10^{-4}$	$9.3 \cdot 10^{-5}$	1.59	$8.9 \cdot 10^2$
$2.8 \cdot 10^{-6}$	2	0.064	0.054	1.302	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$3.1 \cdot 10^{-4}$	1.966	4.6
	1.5	0.22	0.14	1.572	$9.8 \cdot 10^{-4}$	$4.75 \cdot 10^{-4}$	2.06	10.4
	1	1	1	1	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$1.34 \cdot 10^{-3}$	1.194	10^3
$3 \cdot 10^{-6}$	2.5	0.03	0.024	1.25	$5.34 \cdot 10^{-4}$	$2.16 \cdot 10^{-4}$	2.47	13
	2	0.083	0.06	1.215	$6.6 \cdot 10^{-4}$	$3.35 \cdot 10^{-4}$	1.97	37
	1	1.15	1.14	1.01	$1.9 \cdot 10^{-3}$	$1.55 \cdot 10^{-3}$	1.225	$1.15 \cdot 10^3$

Q	D	h_{exp}	h_{TR}	$\frac{h_{exp}}{h_{TR}}$	F_{exp}	F_{TR}	$\frac{F_{exp}}{F_{TR}}$	$\frac{h}{D}$
m^3/s	mm	m	m		m	m		
3.1 10^{-6}	2.5	0.032	0.0245	1.305	$5.6 \cdot 10^{-4}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$	2.15	8.4
	2	0.078	0.064	1.22	$6.9 \cdot 10^{-4}$	$3.53 \cdot 10^{-4}$	1.96	40
	1.5	0.265	0.17	1.56	$1.17 \cdot 10^{-3}$	$5.8 \cdot 10^{-4}$	2.019	$1.77 \cdot 10^2$
3.7 10^{-6}	2.5	0.047	0.034	1.381	$7.55 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-4}$	2.36	18.75
	2	0.114	0.083	1.373	$9.405 \cdot 10^{-4}$	$4.87 \cdot 10^{-4}$	1.935	57
	1.5	0.375	0.25	1.5	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$7.6 \cdot 10^{-5}$	2.76	$2.5 \cdot 10^2$
3.8 10^{-6}	3	0.0245	0.022	1.113	$6.7 \cdot 10^{-4}$	$2.55 \cdot 10^{-4}$	2.63	8
	2.5	0.05	0.035	1.43	$7.9 \cdot 10^{-4}$	$3.4 \cdot 10^{-4}$	2.32	20
	2	0.12	0.084	1.43	$6.8 \cdot 10^{-3}$	$3.69 \cdot 10^{-3}$	1.845	60
	1.5	0.4	0.26	1.54	$1.64 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-4}$	1.88	$2.6 \cdot 10^2$

Q	D	h _{erp}	h _{FR}	$\frac{h_{erp}}{h_{FR}}$	F _{erp}	F _{FR}	$\frac{F_{erp}}{F_{FR}}$	$\frac{h}{D}$
m ³ /s	mm	m	m		kg	kg		
3.9 10 ⁻⁶	3	0.026	0.023	1.13	7 · 10 ⁻⁴	2.7 · 10 ⁴	2.59	8.6
	2.5	0.053	0.037	1.43	8.6 · 10 ⁻⁴	3.75 · 10 ⁴	2.29	21
	2	0.125	0.088	1.42	1.04 · 10 ⁻³	4.9 · 10 ⁴	2.12	64
	1.5	0.42	0.275	1.53	1.7 · 10 ⁻³	9.4 · 10 ⁴	1.81	2.75 · 10 ²
4. · 10 ⁻⁶	3	0.0272	0.024	1.131	7.3 · 10 ⁻⁴	2.83 · 10 ⁴	2.28	9
	2.5	0.056	0.04	1.4	8.6 · 10 ⁻⁴	3.75 · 10 ⁴	2.29	22
	2	0.13	0.092	1.413	1.12 · 10 ⁻³	5.5 · 10 ⁴	2.22	66
	1	1.98	2.2	0.9	3.3 · 10 ⁻³	1.8 · 10 ³	1.832	2 · 10 ³
4.2 · 10 ⁻⁶	3	0.03	0.0265	1.131	7.8 · 10 ⁻⁴	3.2 · 10 ⁴	2.44	9.8
	2.5	0.062	0.043	1.441	9.3 · 10 ⁻⁴	4.2 · 10 ⁴	2.21	25
	2	0.145	0.1	1.45	1.16 · 10 ⁻³	6 · 10 ⁴	1.93	73
	1	2.18	2.45	0.89	3.6 · 10 ⁻³	3.2 · 10 ³	1.125	2.2 · 10 ³

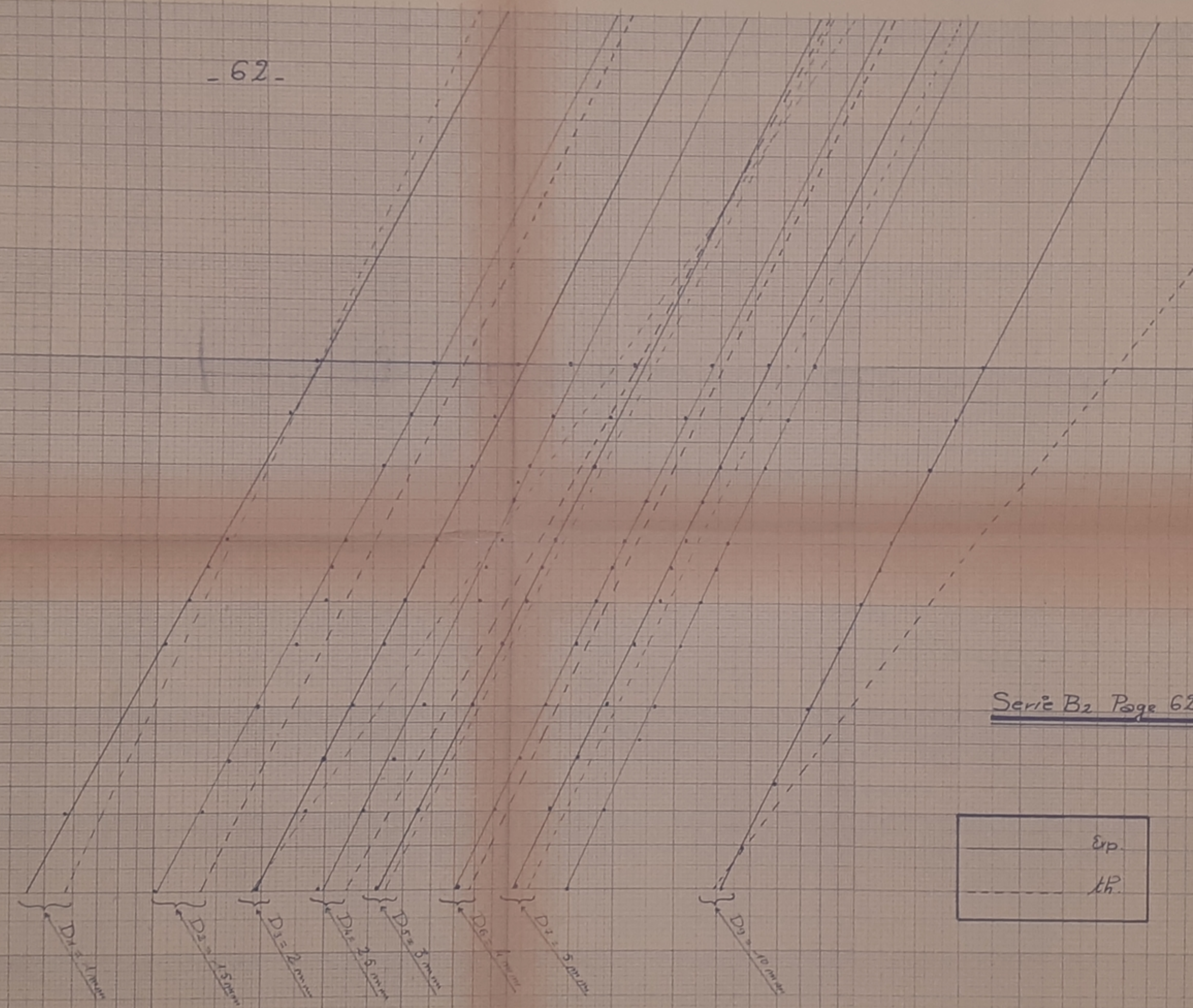
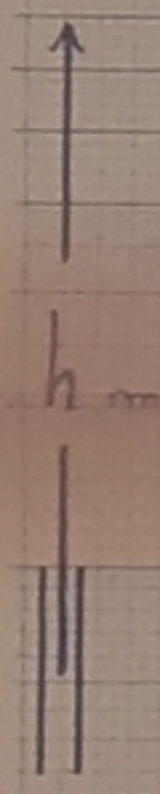
\varnothing	D	h_{erp}	P_{HTP}	$\frac{h_{erp}}{F_{HTP}}$	F_{erp}	F_{HTP}	$\frac{F_{erp}}{F_{HTP}}$	$\frac{h}{D}$
$m^3/10$	mm	m	m		kg	kg		
4.5 10^{-6}	3	0.0344	0.031	1.112	$8.74 \cdot 10^{-6}$	$3.55 \cdot 10^{-4}$	2.38	11.5
	2.5	0.072	0.049	1.469	$1.05 \cdot 10^{-3}$	$4.68 \cdot 10^{-4}$	2.24	28.8
	2	0.167	0.112	1.49	$1.32 \cdot 10^{-3}$	$6.8 \cdot 10^{-4}$	2	85
5.4 10^{-6}	3	0.05	0.044	1.138	$1.16 \cdot 10^{-3}$	$5.2 \cdot 10^{-4}$	2.23	16.5
	2.5	0.106	0.068	1.559	$1.42 \cdot 10^{-3}$	$6.6 \cdot 10^{-4}$	2.15	42
	2	0.244	0.145	1.681	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$9.4 \cdot 10^{-4}$	1.915	$1.24 \cdot 10^2$
	1.5	0.79	0.54	1.461	$2.85 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-2}$	1.581	$5.2 \cdot 10^2$
6.4 10^{-6}	3	0.07	0.062	1.13	$1.52 \cdot 10^{-3}$	$7.25 \cdot 10^{-4}$	2.09	23.4
	2.5	0.154	0.094	1.639	$1.88 \cdot 10^{-3}$	$9.19 \cdot 10^{-4}$	2.05	61
	2	0.34	0.186	1.829	$2.36 \cdot 10^{-3}$	$1.25 \cdot 10^{-3}$	1.89	$1.75 \cdot 10^2$
7 10^{-6}	3	0.084	0.074	1.135	$1.75 \cdot 10^{-3}$	$8.7 \cdot 10^{-4}$	2.005	28
	2.5	0.186	0.11	1.69	$2.38 \cdot 10^{-3}$	$1.08 \cdot 10^{-3}$	2.2	74
	2	0.41	0.21	1.95	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$1.46 \cdot 10^{-3}$	1.645	$2.1 \cdot 10^2$



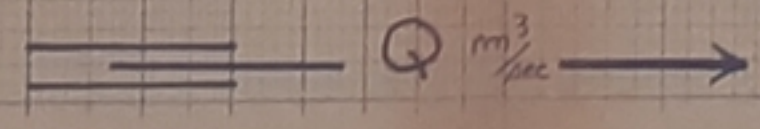
Beide Achsen logar. geteilt, eine von 1 bis 100, die andere bis 1000. Einheit 100 mm

Nr 385 P

- 62 -

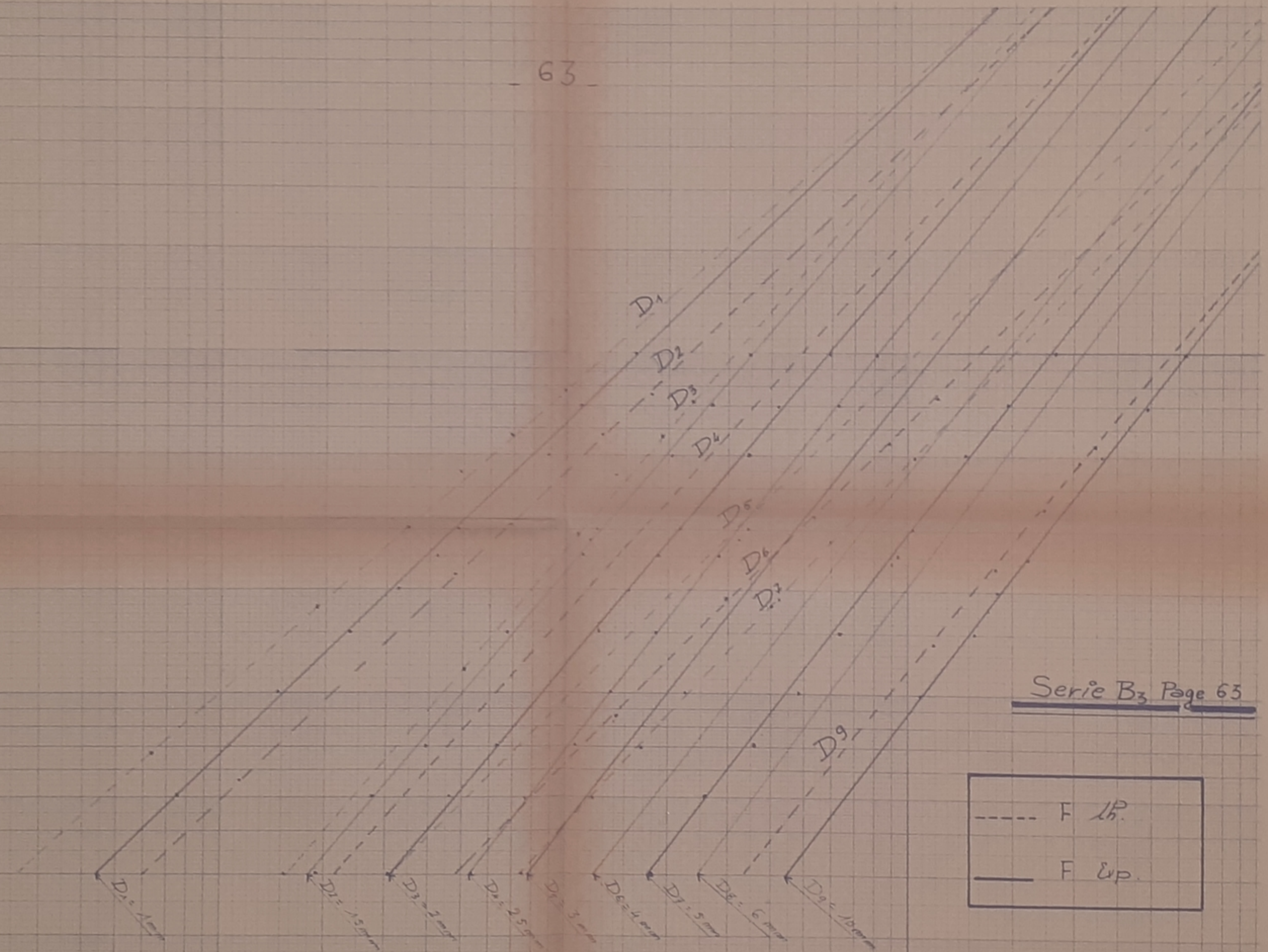


Serie B2 Page 62



0-5

D
h_{exp}



Serie B₃ Page 63

---	F l.p.
—	F u.p.

F kg

0-2

0-5

-4

-3

-2

-1

PB004101P/12sp60 (4)

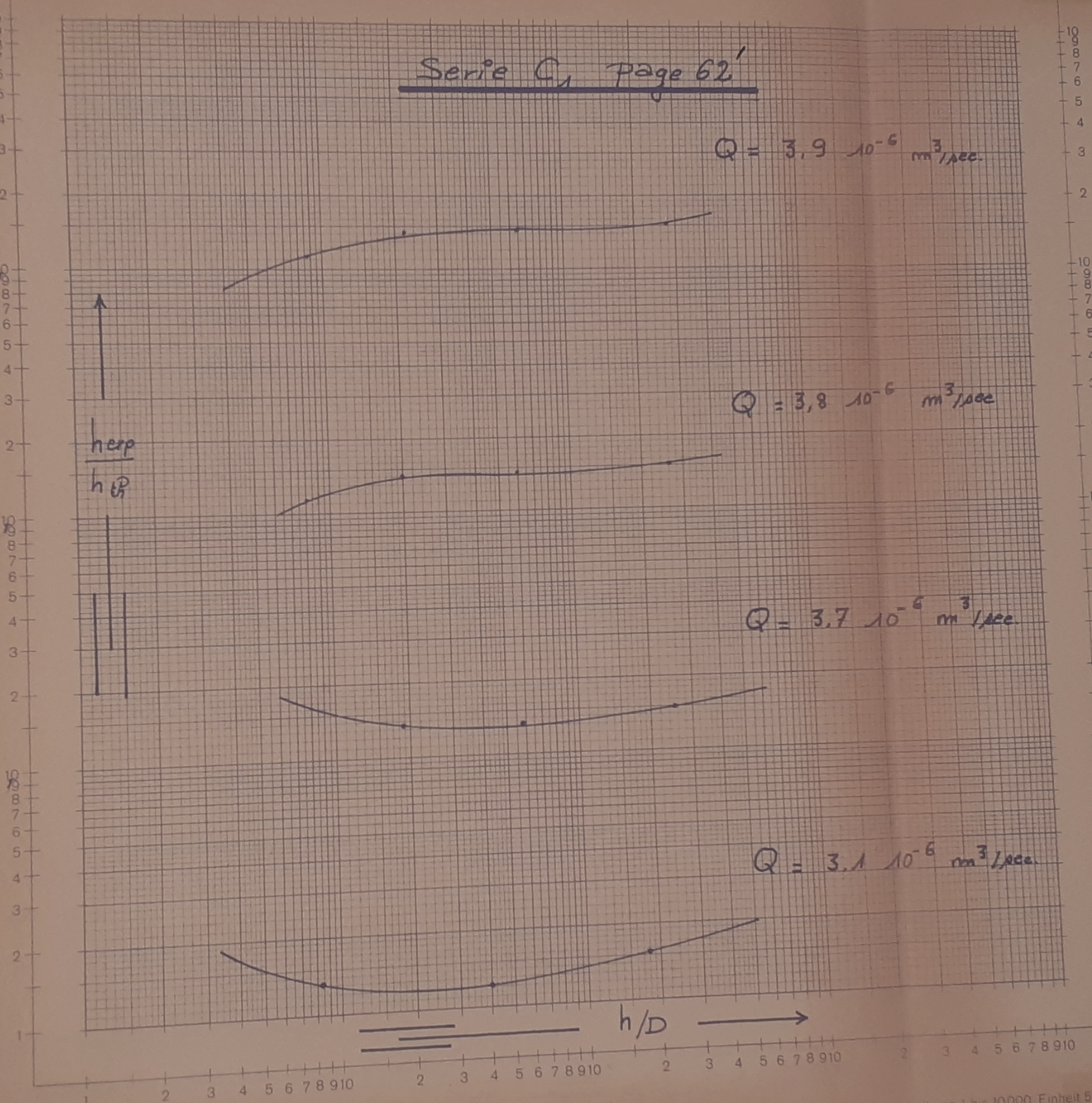
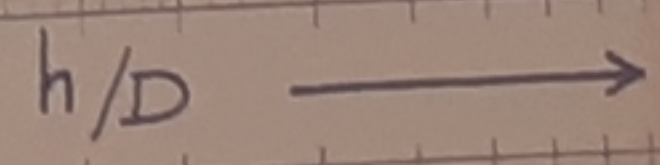
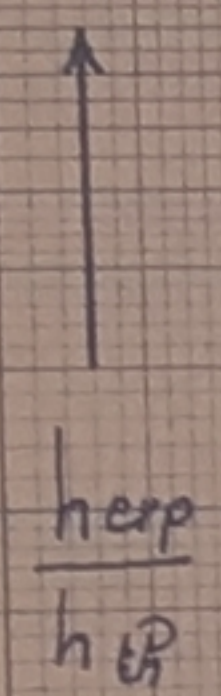
Serie C₁ page 62'

$Q = 3,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec.}$

$Q = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec.}$

$Q = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec.}$

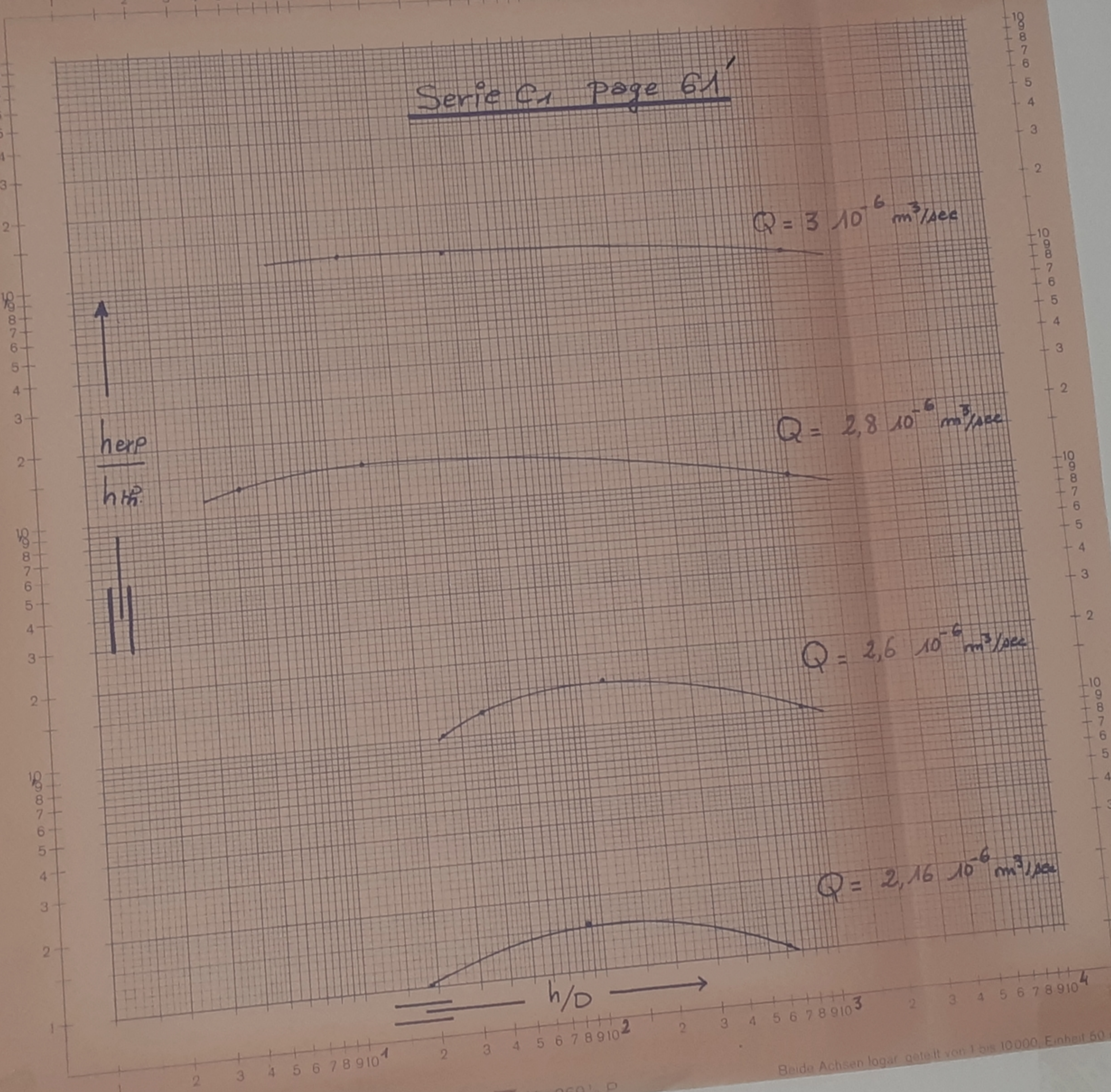
$Q = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec.}$



Beide Achsen logar. geteilt von 1 bis 10000. Einheit 50 mm

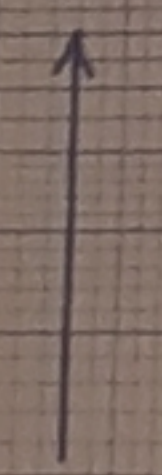
PB00470 AP 60 (5)

Serie C1 page 61'



Beide Achsen logar. geteilt von 1 bis 10000, Einheit 50 µm

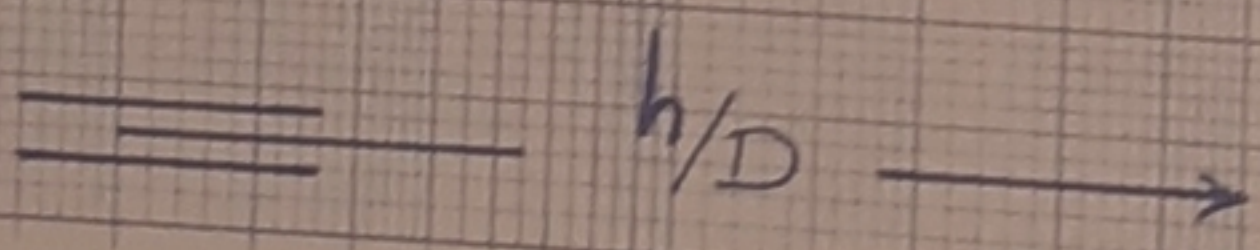
Serie C₁ page 63'



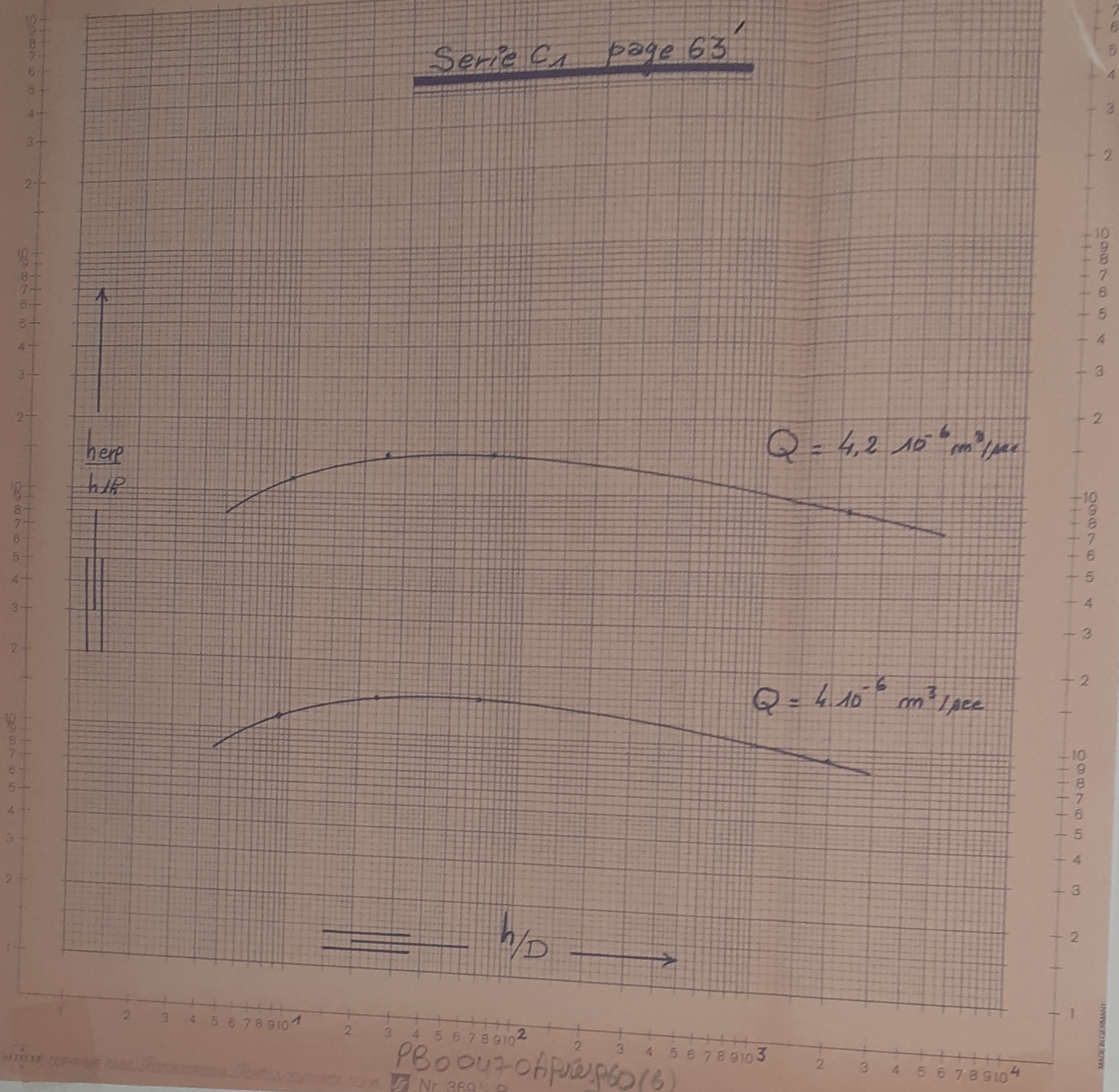
$\frac{h_{erp}}{h/rp}$

$Q = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

$Q = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$



h/D



PB00470 APNs P60 (7)

Serie C₁ Page 64

$Q = 7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

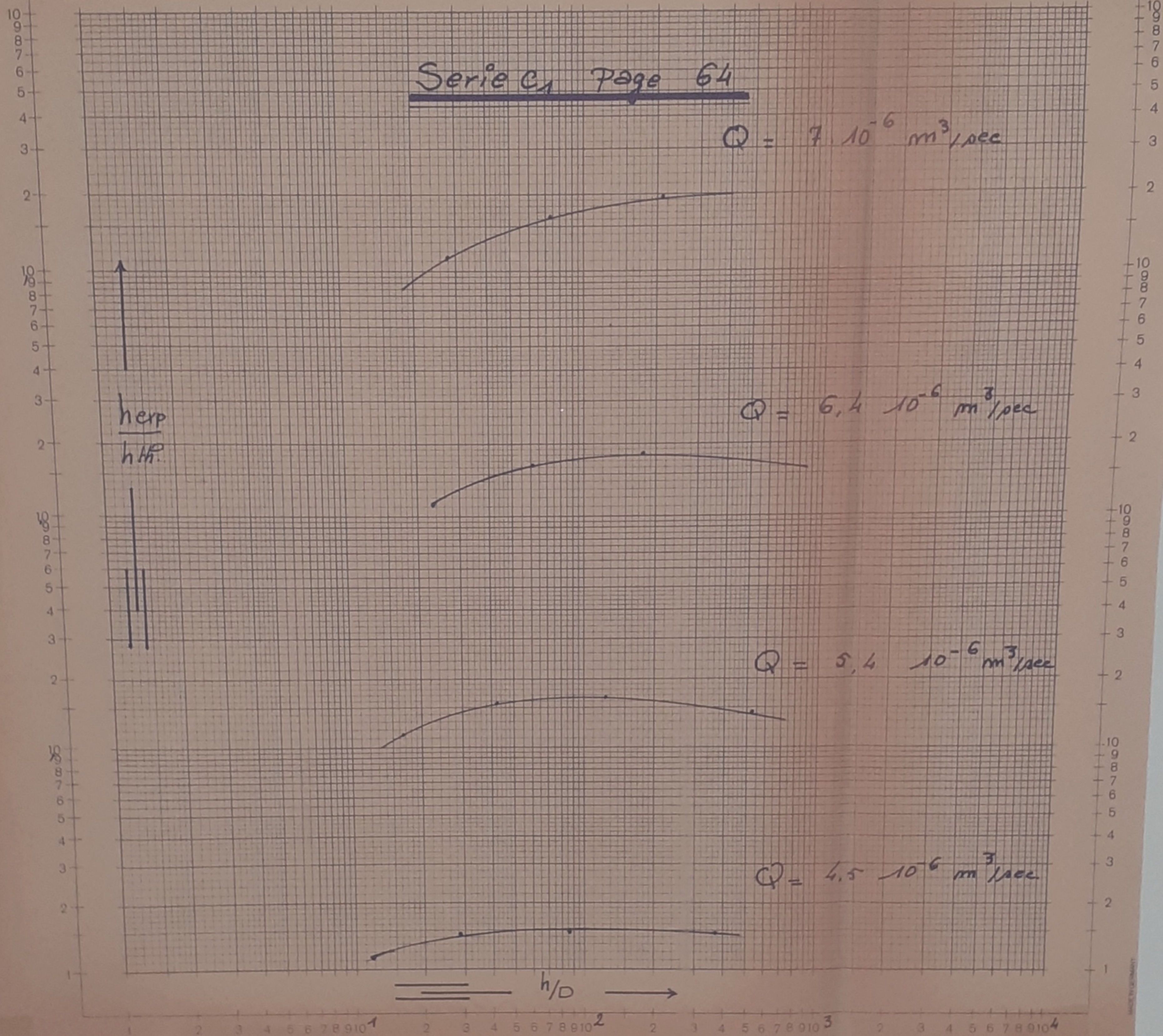
$Q = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

$Q = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

$Q = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

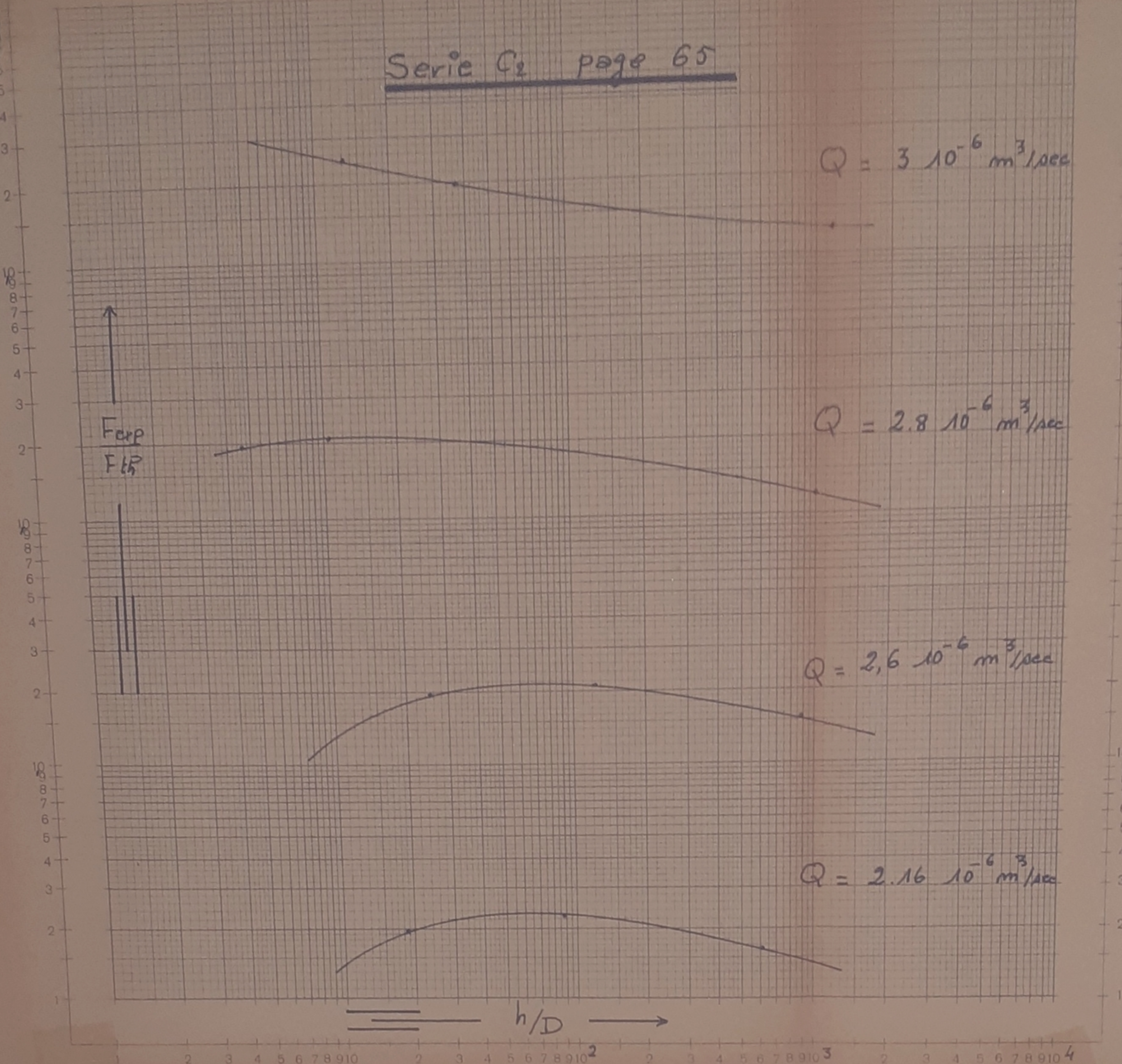
$\frac{h_{exp}}{h_{th}}$

h/D



PB00470A prin P60(8)

Serie C₂ page 65



PBO040HPresP60 (g)

Serie C₂ Page 66

$Q = 3,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

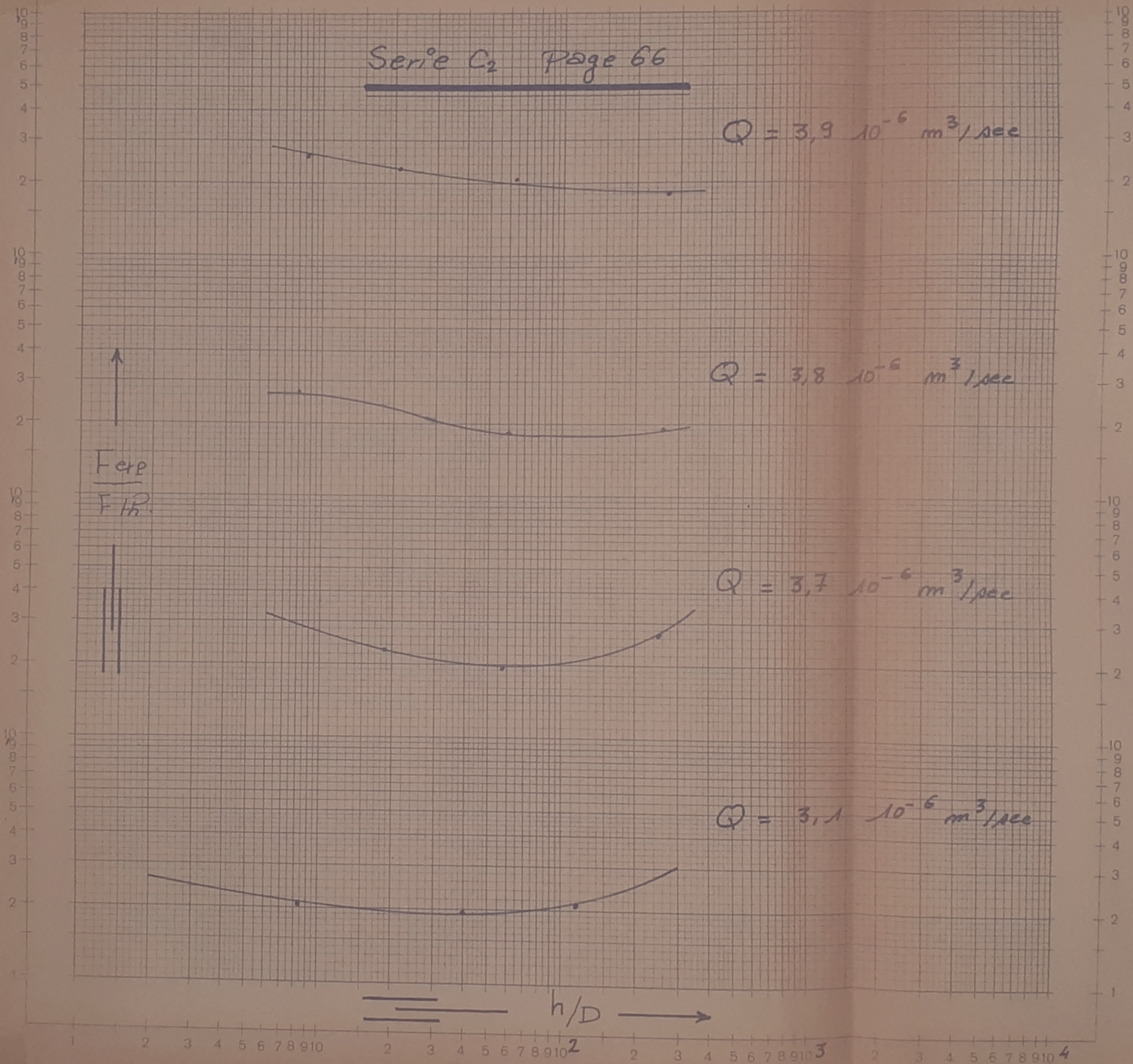
$Q = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

$Q = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

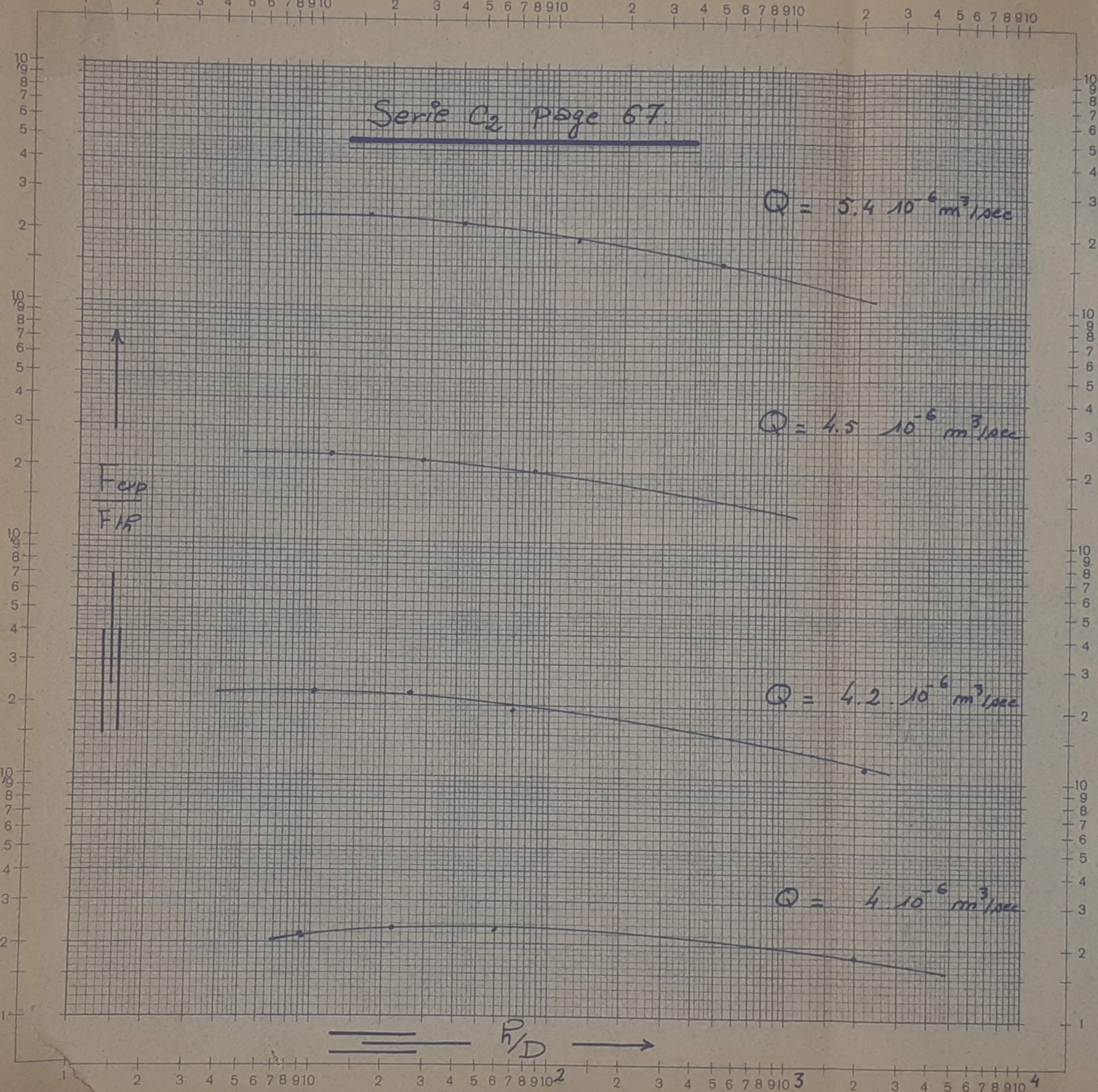
$Q = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$

$\frac{F_{exp}}{F_{th}}$

$h/D \rightarrow$



Serie C₂ page 67.



PB00 470 APres p60 (10)

4ème série de tableaux
détermination de Seuil de Weber

Pour cette détermination on procède de la manière suivante :

par exemple
On fixe/une valeur $\frac{h}{D} = 50$ pour les différents diamètres

on cherche les charges correspondantes, en fonction de ces charge
on détermine les coefficients de vitesse m . puis on cherche

$$\frac{Q_{exp}}{Q_s}$$

Q_s = débit de similitude

en effet :

pour notre détermination on considère le diamètre $D_1 = 300$ mm comme prototype.

h_1 la charge qui correspond à un débit Q_1 .

Soit à comparer le diamètre D_1 à un modèle réduit D_2 , h_2 la charge qui correspond à un débit Q_2 exp.

Pour que la similitude de Reech Froude soit respectée il faut avoir $\frac{D_2}{D_1} = \frac{h_2}{h_1} = \lambda$

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

Mais $Q_1 = m_1 A_1 \sqrt{2g h_1}$

Et $Q_s = \lambda^{5/2} m_1 A_1 \sqrt{2g h_1}$

$Q_{exp} = m_2 A_2 \sqrt{2g h_2}$

$$\text{donc } \frac{Q_{\text{exp}}}{C_s} = \frac{m_2 A_2 \sqrt{2 g h_2}}{m_1 A_1 \sqrt{2 g h_1} \lambda^{5/2}}$$

$$\text{mais } \frac{A_2}{A_1} = \lambda^2 \quad \text{et} \quad \frac{\sqrt{2 g h_2}}{\sqrt{2 g h_1}} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \lambda^{1/2}$$

$$\text{donc } \frac{Q_{\text{exp}}}{C_s} = \frac{m_2 \lambda^2 \cdot \lambda^{1/2}}{m_1 \lambda^{5/2}} = \frac{m_2}{m_1}$$

$$\boxed{\frac{Q_{\text{exp}}}{C_s} = \frac{m_2}{m_1}}$$

donc pour chercher $\frac{Q_{\text{exp}}}{C_s}$ 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 en fonction de la charge (manuel d'hydraulique générale page 357) puisqu'on n'a pas la possibilité de manipuler sur des orifices de diamètre 300 mm.

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

$$\frac{Q_{\text{exp}}}{C_s} = f(W)$$

de là on va chercher pour quelle limite de W on a $\frac{Q_{\text{exp}}}{C_s} = 1$ et où est-ce que la similitude est respectée.

Remarque : pour notre détermination de la similitude on prend comme prototype le diamètre $D = 300$ mm

Coefficients de debit d'orifices circulaires
avec contraction complete.

Extrait du "Manuelle d'Hydraulique"

h m	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	.633	627	621	615	610	605	0.600	0.595	0.592		
0.3	0.644	631	623	617	612	608	605	603	600	598	595	0.593	0.591
0.60	.632	621	614	610	607	604	601	600	599	599	597	596	595
0.90	.627	617	611	606	604	603	601	600	599	599	598	597	597
1.20	0.623	0.614	0.609	0.605	0.603	0.602	0.600	0.599	0.599	598	0.597	0.597	0.596
1.50	.621	.613	608	605	603	601	599	599	598	598	597	596	596
3.00	.611	.606	603	601	599	598	598	597	597	597	596	596	595
6.00	.601	.600	599	598	597	596	596	596	596	596	596	595	594
15.00	.596	.596	595	595	594	594	594	594	594	594	594	593	593

$$h/D = 50$$

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}	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	0.682	0.722	0.777	0.8235	0.809	0.778	0.734
$\frac{Q_{\text{exp}}}{Q_s}$	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	1.152	1.22	1.305	1.39	1.365	1.312	1.24
$V_{\text{m/s}}$	17.11	15.32	13.3	10.82	7.65	6.65	5.94	5.41	4.03	3.84	3.422	3.13	2.193	2.218	1.98	1.713	1.574	1.4	1.22	0.99
W_{10^5}	12.1	7.75	4.37	1.922	0.482	0.2735	0.1715	0.1208	0.047	0.0304	0.01612	0.01345	0.00485	0.00337	0.00215	0.00121	0.000851	0.000599	0.000306	0.000145

$$h/D = 30$$

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	0.5937	0.59474	0.596	0.5967	0.5978	0.599	0.6009	0.603	0.6067	0.6135	0.624	0.664	0.668	0.686	0.726	0.7884	0.800	0.8185	0.7737	
$\frac{Q_{\text{exp}}}{Q_s}$	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	1.158	1.228	1.33	1.35	1.38	1.305	
$V_{\text{m/s}}$	14.21	11.9	10.32	8.42	5.95	5.16	4.61	4.21	3.521	2.98	2.658	2.41	1.88	1.715	1.538	1.331	1.215	1.088	0.941	
W_{10^5}	8.45	4.66	2.64	1.17	0.292	0.165	0.1055	0.0732	0.036	0.0183	0.0116	0.00331	0.00291	0.00202	0.001296	0.00073	0.000597	0.000342	0.000283	

- 71 -

$$h/D = 20$$

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_{mm}	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
m	0.594	0.5959	0.596	0.5974	0.599	0.600	0.601	0.604	0.610	0.617	0.624	0.675	0.662	0.704	0.745	0.7855	0.799	0.8185	0.748	
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	1.185	1.256	1.325	1.345	1.379	1.261	
$V_{ml/s}$	10.82	9.71	8.42	6.87	4.76	4.21	3.76	3.422	2.875	2.423	2.15	1.98	1.538	1.4	1.252	1.088	0.99	0.887	0.766	
$W 10^5$	4.84	3.11	1.755	0.777	0.1865	0.1099	0.0699	0.0484	0.02736	0.0121	0.00763	0.00539	0.001942	0.001345	0.00086	0.000486	0.000337	0.000216	0.000142	

$$h/D = 10$$

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	0.02	0.015	0.01
m	0.595	0.596	0.5968	0.598	0.599	0.6025	0.6042	0.608	0.6164	0.627	0.637	0.645	0.6762	0.696	0.741	0.775				
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	1.17	1.248	1.302				
$V_{ml/s}$	7.65	6.87	5.94	4.76	3.422	2.98	2.658	2.423	2.03	1.715	1.538	1.4	1.088	0.99	0.887	0.766				
$W 10^5$	2.415	1.56	0.874	0.374	0.0965	0.0548	0.0348	0.0242	0.01187	0.00605	0.0039	0.00269	0.000973	0.000672	0.000432	0.000242				

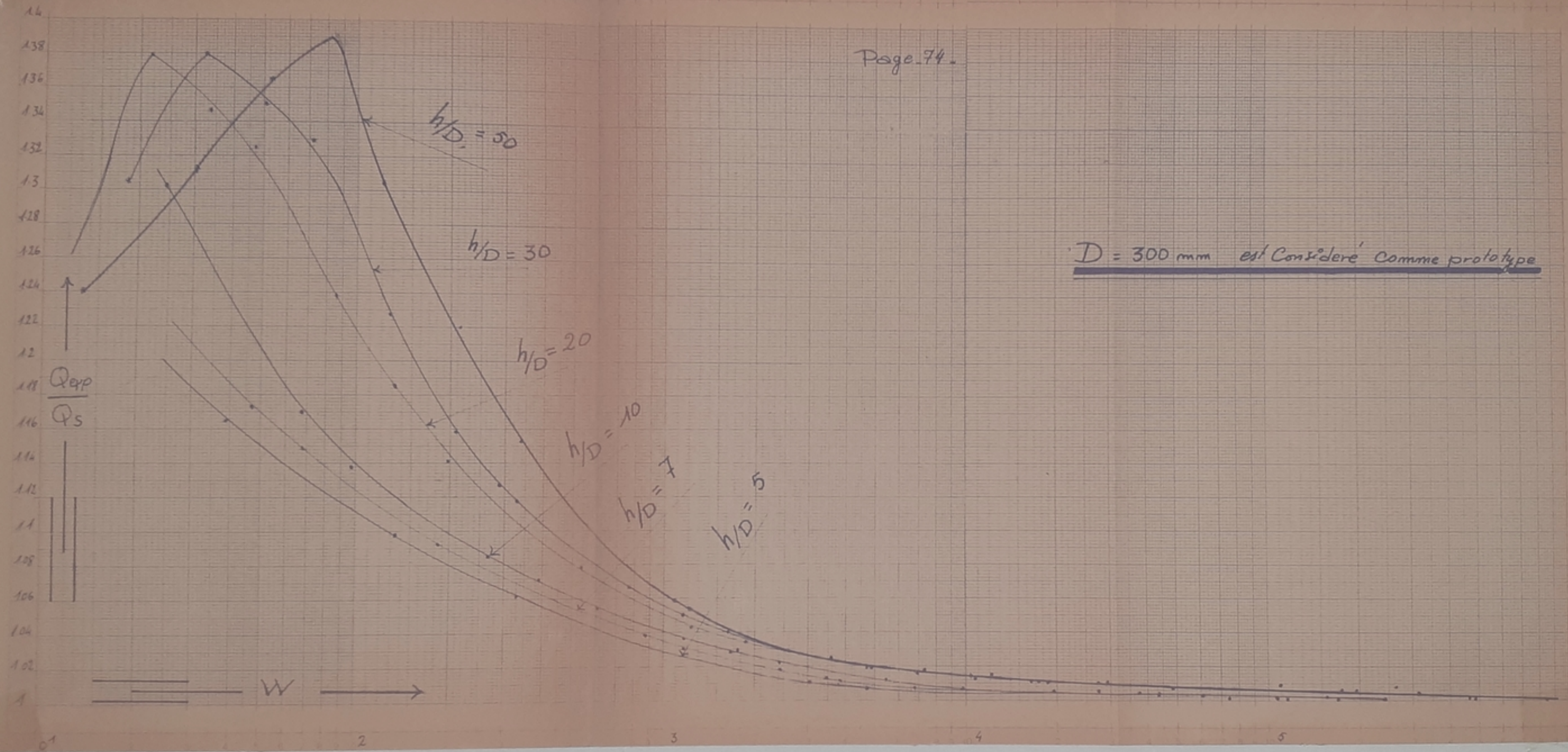
$$h/D = 7$$

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	0.5956	0.596	0.597	0.599	0.5996	0.603	0.6066	0.6123	0.619			0.673	0.683	0.698							
$\frac{Q_{exp}}{Q_s}$	1	1.001	1.003	1.006	1.007	1.011	1.019	1.028	1.039			1.092	1.148	1.173							
$V_{m/10}$	6.43	5.74	4.97	4.06	2.875	2.485	2.221	2.03	1.73			1.171	0.91	0.827							
W_{10^5}	1.71	1.085	0.61	0.2715	0.068	0.0382	0.0244	0.01695	0.00865			0.00188	0.000632	0.00047							

$$h/D = 5$$

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	
m	0.596	0.596	0.598	0.599	0.600	0.6015	0.609	0.615				0.654	0.693								
$\frac{Q_{exp}}{Q_s}$	1	1.001	1.004	1.005	1.007	1.011	1.021	1.032				1.098	1.164								
$V_{m/10}$	5.42	4.76	4.21	3.422	2.41	2.218	1.88	1.712				0.99	0.766								
W_{10^5}	1.13	0.745	0.437	0.193	0.0477	0.0303	0.0174	0.0121				0.001345	0.000484								

PBoo470Aprés [P 73]



$D = 300$ mm est considéré comme prototype

CONCLUSION

- 75 -

Le dépouillement des essais effectués sur la serie des orifices circulaires à diamètre décroissant permet de constater que la similitude de R.F. peut être considerée comme valable à partir d'un nombre de Weber égale à $1,6 \cdot 10^3$ avec une difference de 2% .

Au dessous de cette valeur la similitude de R.F. n'est plus valable.

Cette valeur du seuil de Weber est 50 fois plus grande que celle qui a été trouver par DANA et TADJ.

Le rapport entre W et R pour $V = 1$ m/s est :

$$\frac{W}{R} = \frac{K_w}{K_r} V$$

$$\left. \begin{array}{l} K_w = \frac{102}{7,43 \times 10^{-3}} \\ K_r = 10^6 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{K_w}{K_r} = 1,345 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{d'ou } \frac{W}{R} = 1,345 \cdot 10^{-2} \quad \text{pour } W = 1,6 \cdot 10^3 \quad R = 1,18 \cdot 10^5$$

En conclusion nous pourons enoncer que l' experimentation sur modele reduit, C'est des phénomènes d'ecoulement passant par des orifices circulaires à minces parois ne peut être faite à une echelle extremement reduite beaucoup plus petite que celle qui a été adopté dans la pratique jusqu'à present.

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

-
- Cour de M. G. LAPRAY

 - Manuel d'Hydraulique générale
par A. LENCASTRE
-

