

UNIVERSITE D'ALGER

8/75

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

THESE DE FIN D'ETUDES

CONTRIBUTION A L'EXPLOITATION  
DE L'ENERGIE DE LA HOULE

(ELIMINATION DE LA SELECTIVITE)



Sujet proposé par :

M<sup>r</sup> G. De LAPPRAY

Etudié par :

HASSEN HARCHA Brahim

PROMOTION 74 - 75

الدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

— المكتبة —

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

UNIVERSITE D'ALGER  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

EXPLOITATION DE  
L'ENERGIE DE LA HOULE

SUJET PROPOSE PAR:

G. DE LAPPRAY

ETUDIE PAR:

HASSENI HARCHA Brahim

Année: 1974-1975

Tout d'abord je tiens à remercier Messieurs  
les professeurs Geza De Lappray, Emery et  
Arseniev ainsi que tous ceux qui ont parti-  
-cipé à ma formation en m'apportant leurs aides  
et leurs conseils.

Enfin, je dédie ce mémoire à tous mes parents  
et amis.

;;;

...../.....

## PLAN GENERAL

- I/ INTRODUCTION
- II/ THEORIE DE LA HOULE
  - II-1. HOULE DE GERSTNER
  - II-1. HOULE DE STOKES
    - a) Profondeur infinie
    - b) Profondeur finie
- III/ ADAPTATION DE LA HOULE DE STOKES AU MODELE
- IV/ MESURES EXPERIMENTALES
- V/ CONCLUSIONS

## 1/ INTRODUCTION

Le problème de l'énergie est à l'heure actuelle très capital, et tout ce qui peut aider à le résoudre doit être l'objet de nos recherches et de nos préoccupations, sans craindre le moins du monde qu'il y ait concurrence, qu'il y ait surabondance, et ceci même en prenant en considération le développement de l'énergie nucléaire. Par conséquent: tous ceux qui ouvrent pour mettre en jeu de nouvelles sources d'énergies appelées à compléter ou à suppléer les sources classiques, ceux-là auront bien travaillé pour le monde.

Ceci étant, nous considérons l'énergie naturelle et gratuite mise à la disposition de l'homme, à savoir l'énergie de la mer; et en particulier l'énergie de la houle.

La houle est une agitation très irrégulière de la surface de la mer. Il s'est avéré après plusieurs études faites par d'éminents chercheurs qu'il est impossible de transformer directement cette énergie en force motrice. Notre but à nous n'est pas de la transformer en force motrice mais en énergie potentielle accumalable.

Les caractéristiques de la houle sont les suivantes

-L'amplitude, hauteur ou creux, désignée par "h": c'est la distance verticale entre le sommet des crêtes et le fond des creux.

-La longueur d'onde "L": distance entre crêtes ou creux consécutifs.

La période "T", intervalle de temps qui s'écoule entre le passage de deux creux ou deux crêtes consécutives en un même point.

-Vitesse de propagation ou célérité "C": vitesse moyenne de propagation des crêtes.

-Cambrure: rapport "h/L" entre l'amplitude et la longueur d'onde.

-Direction des lames: perpendiculaires aux crêtes dans le sens de la propagation.

Pour l'étude mathématique, il faut distinguer le cas de la propagation en profondeur infinie et le cas de la profondeur finie.

Nous faisons remarquer au lecteur que notre but n'est pas de développer la théorie de la houle, chose déjà étudiée par de grands savants tels que GERSTNER, STOKES, MICHE, etc..., dont nous rappelons ici l'essentiel des solutions. Par contre notre but est de remédier à une certaine difficulté rencontrée dans l'étude faite par M<sup>r</sup> RAZKALLAH au cours de l'année 1973-1975. Cette difficulté qui est: la sélectivité du récepteur de houle.

Ce récepteur donnait pour une seule fréquence un assez bon rendement, et dès que l'on fait varier cette fréquence nous obtenons un rendement nul.

Pour cela, nous pensons qu'en changeant le récepteur qui était conçu par une plaque en un "récepteur-flo-  
-tteur" nous supprimons ainsi cette sélectivité.



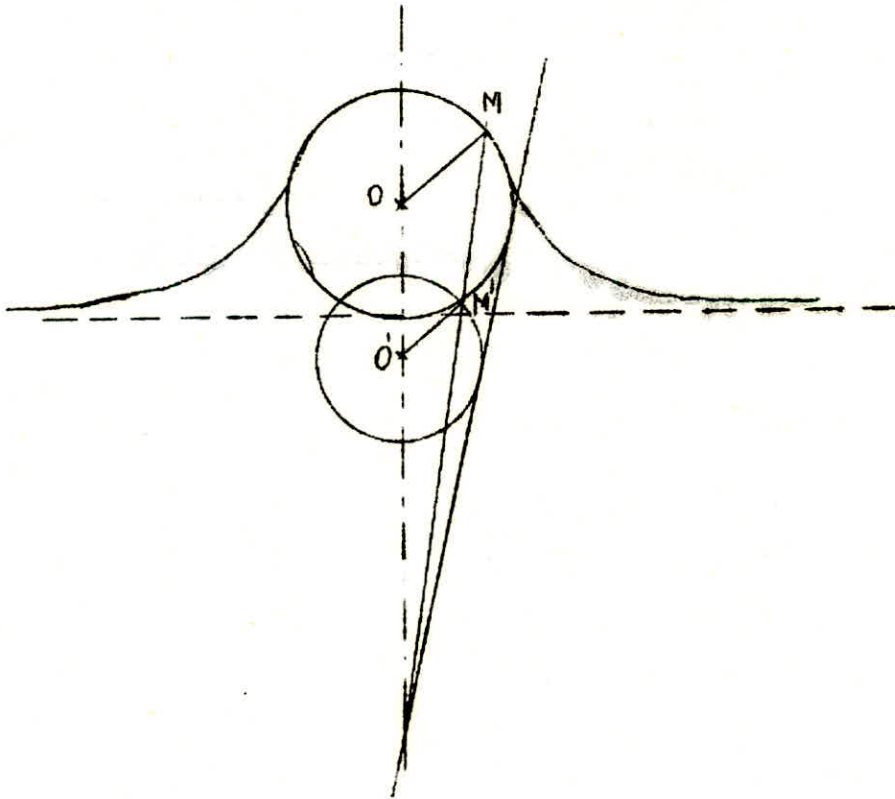
## II/ THEORIE DE LA HOULE

### II-1. Houle de Gerstner

La théorie a été établie par Gerstner en 1804

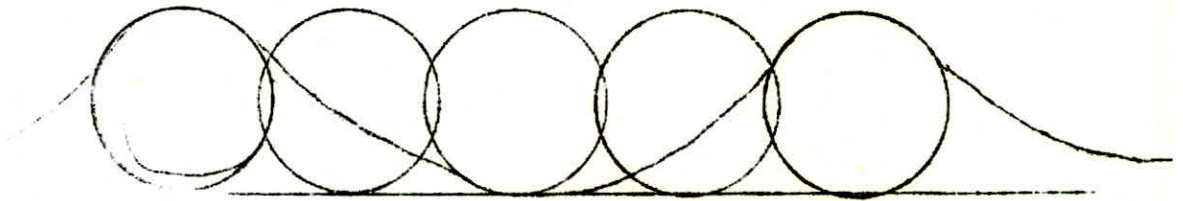
Nous la résumons en les lois suivantes:

- 1°) La houle est produite par un mouvement orbitaire des molécules liquides décrivant toutes un cercle d'un mouvement uniforme autour d'un centre fixe. Toutes les molécules dont les centres d'oscillations sont sur une même verticale occupent simultanément les mêmes positions angulaires sur leurs orbites.



2°) Une courbe de niveau de la houle est engendrée par un point mobile parcourant avec une vitesse angulaire constante une circonférence animée elle-même d'un mouvement de translation horizontale à vitesse constante.

Il en résulte que les molécules ayant leur centre d'oscillation sur une même horizontale présentent à chaque instant la forme d'une trochoïde.



3°) La particule évoluant autour d'un point(  $X_0, Y_0$  ) se trouve à l'instant  $t$  en:

$$X = X_0 - R \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$$

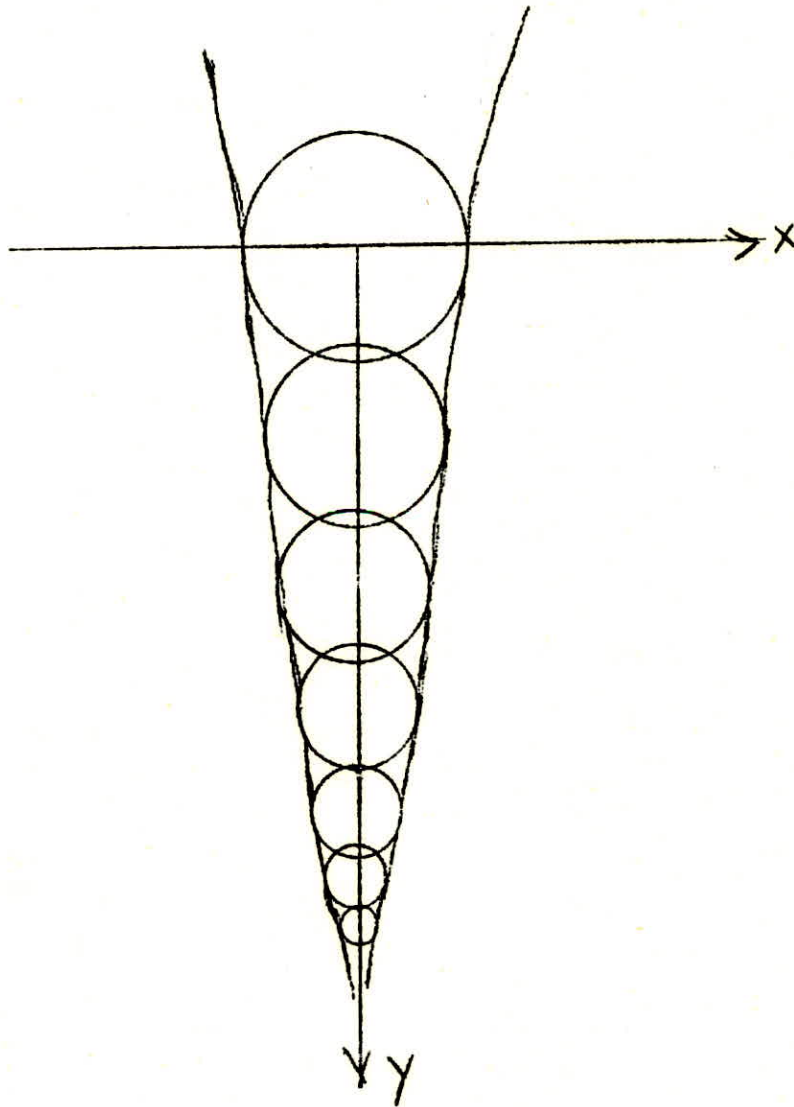
$$Y = Y_0 - R \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$$

4°) Le rayon  $R$  des orbites décroît en progression géométrique quand la profondeur décroît en raison arithmétique.

Si Y représente la profondeur, le rayon est donné par la relation:

$$R = \frac{L}{2\pi} \exp\left(-\frac{2\pi}{L} Y\right)$$

Le déphasage des orbites est :  $\varphi = \frac{2\pi X_0}{L}$



On peut démontrer que ce mouvement trochoïdale est mathématiquement possible et qu'il constitue une solution de la houle à profondeur infinie.

Pour cela, il suffit de prouver qu'il satisfait aux conditions d'invariance de masse et de constance de pression à la surface libre.

Ces conditions exigent que la longueur d'onde et la période satisfassent à la relation:

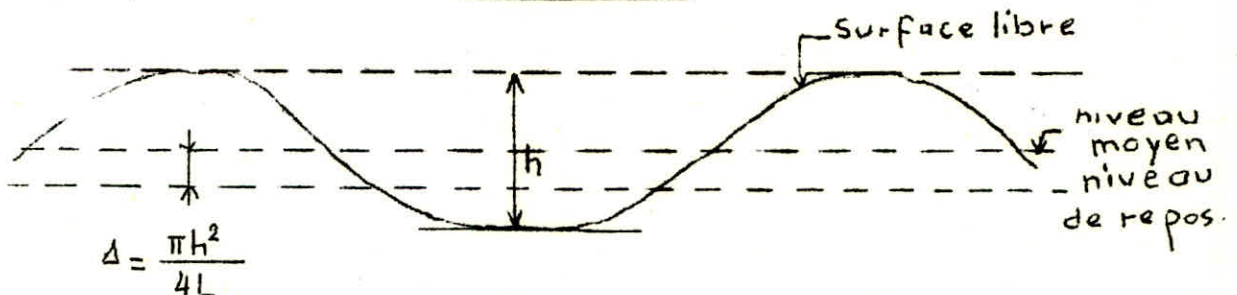
$$T^2 = \frac{2\pi L}{g}$$

$g$ : étant l'accélération de la pesanteur.

ou encore: 
$$C = \frac{L}{T} = g \frac{T}{2\pi} = \sqrt{g \frac{L}{2\pi}}$$

5°) Le niveau moyen, qui est à égale distance des niveaux extrêmes de la trochoïde, est situé au dessus du niveau de repos des molécules. La surélévation est:

$$\Delta = \frac{\pi h^2}{4L}$$



6°) L'énergie totale contenue dans une période T est:

$$E = \frac{\omega h^2 L}{8} \left( 1 - \frac{\pi^2 h^2}{2L^2} \right)$$

L'énergie transmise au cours d'une période, à travers un plan vertical est la moitié de l'énergie totale.

II-1. Houle de Stokes:

2.1. Profondeur infinie:

Le phénomène est représenté par les équations suivantes, dans lesquelles  $X_0$  et  $Y_0$  sont les coordonnées de repos de la molécule qui à l'instant t, a les coordonnées (X, Y):

$$X = X_0 - \frac{h}{2} \exp\left(-\frac{2\pi Y_0}{L}\right) \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{X_0}{L}\right)$$

$$Y_0 = Y_0 - \frac{h}{2} \exp\left(-\frac{2\pi Y_0}{L}\right) \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{X_0}{L}\right)$$

Cette solution est moins exacte que celle de GERSTNER; elle ne tient pas compte de la surélévation du niveau moyen par rapport au niveau de repos.

2.2. Profondeur finie:

La profondeur H du fond sous la surface libre est supposée constante. Le mouvement est décrit par les équations:

$$X = X_0 - \frac{h}{2} \frac{\operatorname{ch} \left| \frac{2\pi(H-Y_0)}{L} \right|}{\operatorname{sh} \frac{2\pi H}{L}} \cos 2\pi \left( t/T - X_0/L \right)$$

$$Y = Y_0 - \frac{h}{2} \frac{\operatorname{sh} \left| \frac{2\pi(H-Y_0)}{L} \right|}{\operatorname{sh} \frac{2\pi H}{L}} \sin 2\pi \left( t/T - X_0/L \right)$$

Les principaux résultats de la théorie de Stokes sont les suivants:

- 1) La condition de pression constante à la surface libre et la condition de continuité exigent que la période et la longueur d'onde soient reliées par la relation:

$$T^2 = \frac{2\pi L}{g} \operatorname{coth} \left( \frac{2\pi H}{L} \right)$$

ou :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \dots$$

$$C = \sqrt{\frac{gT}{2} \operatorname{th} \frac{2\pi H}{L}}$$

- 2) La vitesse sur le fond est horizontale, parallèle au fond; son maximum est:

$$U_m = \frac{\pi}{T} \frac{h}{\text{sh } 2\pi H/L}$$

- 3) la surélévation du niveau moyen au-dessus de la surface libre du fluide au repos est:

$$\Delta = \frac{\pi h^2}{4L} \coth \frac{2\pi H}{L}$$

- 4) L'énergie transmise au cours d'une période à travers un plan vertical a pour expression:

$$E_t = \frac{\bar{\omega} h^2 L}{16} \left( 1 + \frac{\frac{4\pi H}{L}}{\text{sh } \frac{4\pi H}{L}} \right)$$

Cette énergie se transmet à une vitesse dite "vitesse de groupe" égale, en profondeur infinie à la moitié de la vitesse de propagation des ondes.

Lorsque la profondeur diminue la vitesse de groupe devient égale à la vitesse de propagation.

Cette énergie transmise se compose:

- d'une part de l'énergie cinétique des particules en mouvement orbitaire.
- d'autre part de l'énergie potentielle des particules qui se trouvent changées d'altitudes par rapport au niveau initial.

Remarque: On néglige l'énergie capillaire due aux allongements de la surface libre sous l'effet des ondulations.



III/ ADAPTATION DE L'ENERGIE DE LA HOULE DE STOKES AU MODELEIII.1/Description du modèle du Laboratoire (voir fig.1)

Le modèle est constitué par:

-Un canal rectangulaire de 5,60m de long sur 0,38m de large. Ce canal est terminé par une plage à l'une de ces extrémités et à l'autre, une autre plage de même pente a été posée sur la paroi verticale pour éviter le phénomène de clapotis et le déversement de l'eau au-delà du canal.

-UN générateur de houle constitué par une plaque rigide et que tournant d'un mouvement pendulaire, un moteur du type moulinex

-Un receptr de houle constitué par un flotteur (voir fig.2). Ce receptr est relié par une bielle à un système mécanique qui nous permet d'élever des masses à une certaine hauteur; et par consequent mesurer le rendement.

III.2/ Etude du receptr de houle

L'ancien système constitué par la plaque s'est avéré moins rentable pour les causes suivantes/

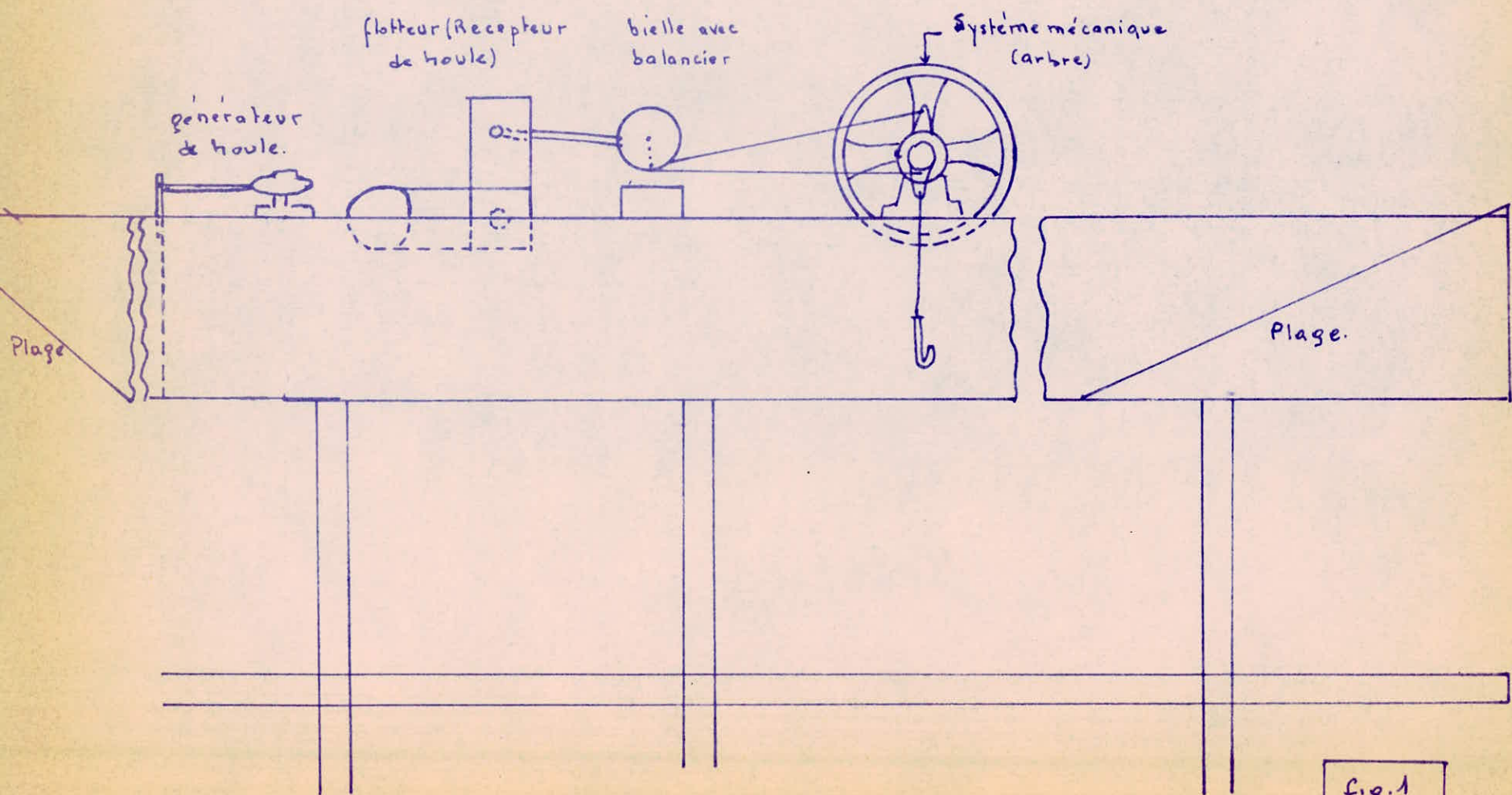
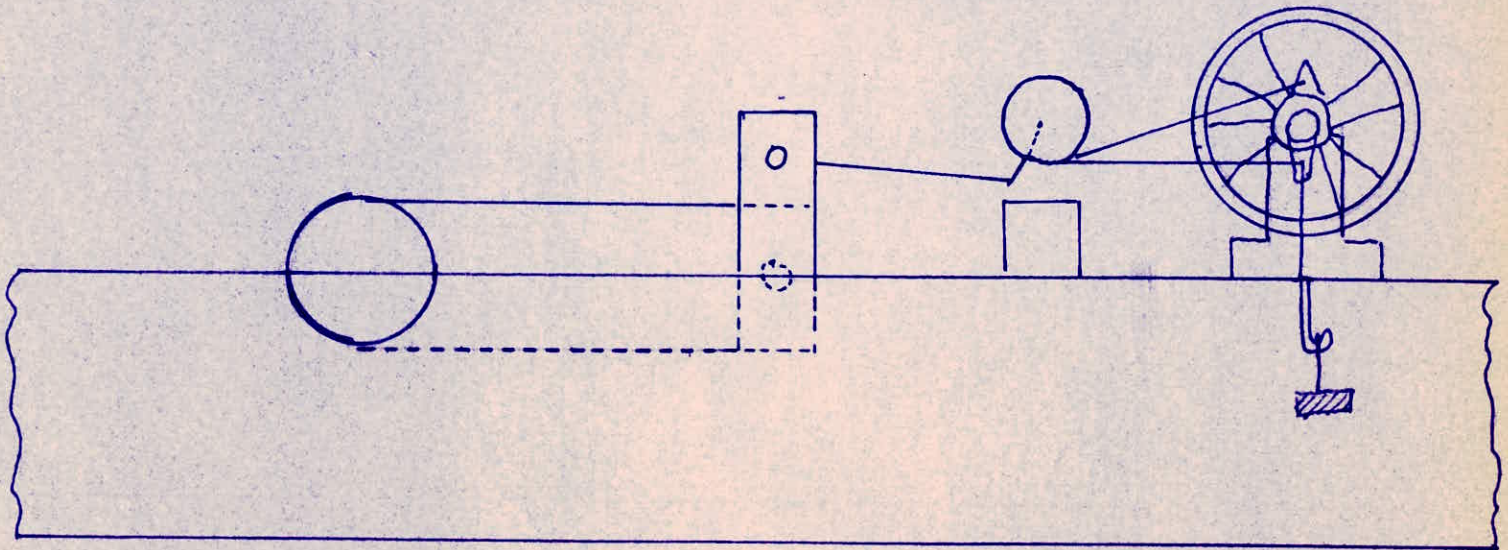
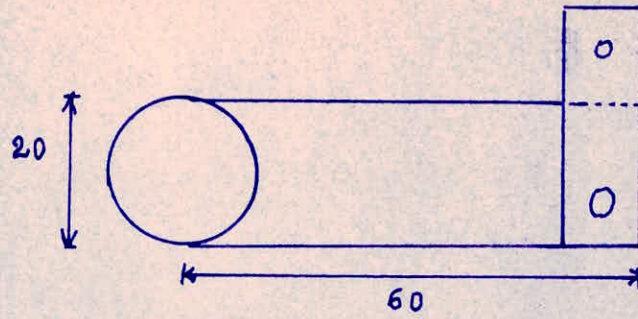
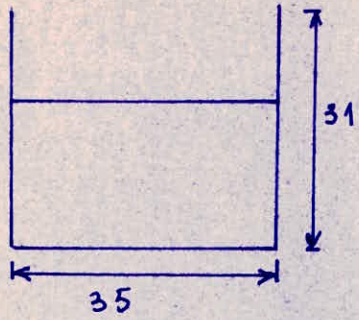


fig. 1

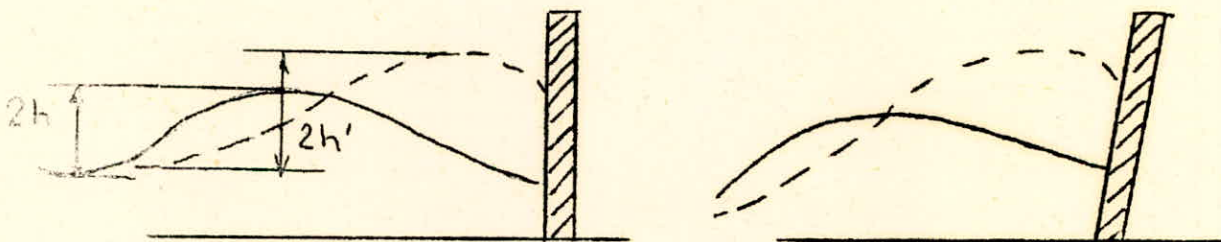


14

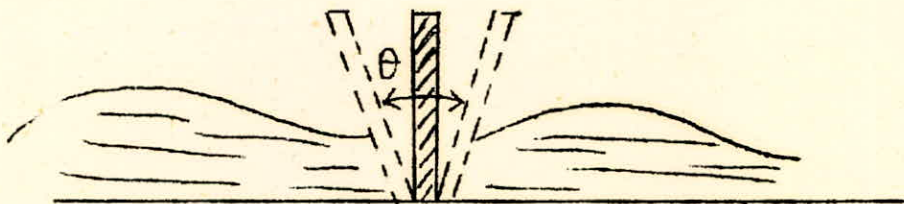
fig 2.

1°) La plaque constitue une paroi rigide—même si elle est inclinée—et un obstacle pour la propagation du train d'onde .

2°) Le phénomène de gifle qui s'accroît à fur et à mesure que l'on augmente la vitesse de propagation. par conséquent ce phénomène crée à la limite une houle réfléchie d'amplitude beaucoup plus grande que celle de la houle incidente.



3°) Quelque soit la vitesse de propagation, l'amplitude angulaire de la plaque reste constante pour une même position du balancier; elle dépend en particulier de l'amplitude angulaire de ce dernier et de la longueur de la bielle.



Pour cela, on ne peut pas dépasser une certaine fréquence qui donne un rendement maximum.

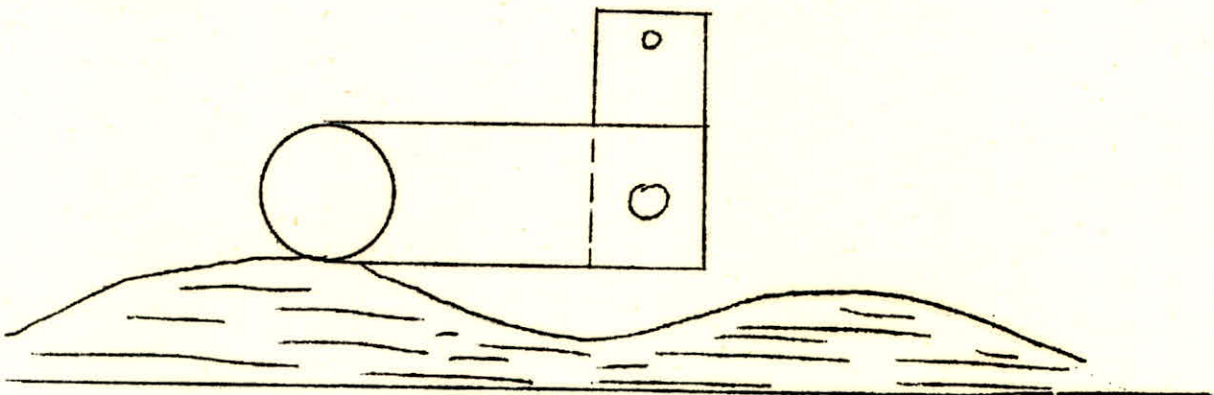
Une petite variation de cette dernière entraîne une vitesse de propagation très élevée et par conséquent une amplitude de la houle réfléchiée beaucoup plus grande que celle de la houle incidente.

Tout cela est dû à ce que le mouvement de la plaque et la propagation du train d'onde sont dans la même direction.

Nous dirons, d'après les causes énumérées ci-dessus, que le système par la plaque est très sélectif car il limite le domaine de variation de la fréquence de la houle.

Quant au nouveau système constitué par le flotteur, il remédie à tous ces inconvénients;

1°) La forme cylindrique annule l'effet de gifles et permet la continuation du train d'onde à l'aval.



2°) L'amplitude angulaire du flotteur par rapport à son axe varie suivant l'amplitude de la houle. Par conséquent, plus la vitesse de propagation est grande, plus l'amplitude du flotteur augmente et par suite le parcours de la bielle et du balancier. Ce qui avantage la puissance du système mécanique.

3°) Le système du flotteur se révèle très avantageux du fait qu'il supprime cette selectivité qui a été très gênante pour les études précédentes. D'autre-part le domaine de variation des fréquences se trouve très étendue ou même illimitée si les conditions du laboratoires le permettent.

Nous pouvons penser que ces avantages du flotteur sont dûs au fait que le mouvement de ce dernier a une direction perpendiculaire à celle de la propagation de la houle.

III.3/ Adaptation de la houle de Stokes:

La houle de Stokes présente sur celle de Gerstner l'avantage d'avoir un rotationnel nul.

D'autre part, la profondeur étant finie, l'orbite décrite par les molécules qui se déplacent n'est plus un cercle comme l'avait décrit Gerstner, mais une ellipse qui s'applatit de plus en plus vers le fond.

Par conséquent on obtient bien le phénomène décrit par les équations de Stokes pour les profondeurs finies. C'est à dire des ellipses qui ont pour:

<u>grand axe:</u>	$2a = h \frac{\operatorname{ch} \frac{2\pi(H-Y_0)}{L}}{\operatorname{sh} \frac{2\pi H}{L}}$
<u>petit axe:</u>	$2b = h \frac{\operatorname{sh} \frac{2\pi(H-Y_0)}{L}}{\operatorname{sh} \frac{2\pi H}{L}}$

Comme  $Y_0=0$ , ordonnée du centre des orbites des particules en mouvement, nous pouvons écrire:

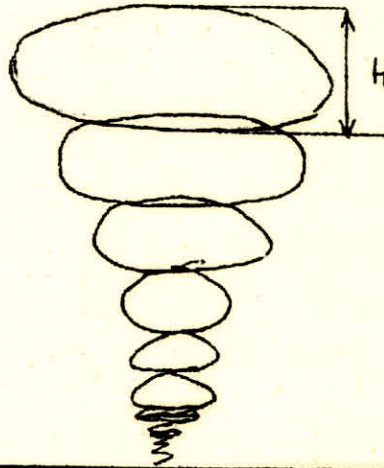
$$\operatorname{ch} \frac{2\pi(H-Y_0)}{L} = \operatorname{ch} \frac{\pi^2 H}{L}$$

$$\text{et } \text{sh} \frac{2\pi(H-Y_0)}{L} = \text{sh} \frac{2\pi H}{L}$$

Par conséquent les orbites auront pour axes:

$$2a = h \frac{\text{ch} \frac{2\pi H}{L}}{\text{sh} \frac{2\pi H}{L}} = h \coth \frac{2\pi H}{L}$$

$$2b = h \frac{\text{sh} \frac{2\pi H}{L}}{\text{sh} \frac{2\pi H}{L}} = h$$



D'autre part la relation entre la période et la longueur d'onde

$T^2 = \frac{2\pi H}{g} \coth \frac{2\pi H}{L}$  reste la même car elle ne dépend que de la profondeur d'eau.



De même l'énergie totale transmise est:

$$E_t = \frac{\bar{w} h^2 L}{16} \left( 1 + \frac{\frac{4 H}{L}}{\operatorname{sh} \frac{4 H}{L}} \right) \quad \text{par mètre linéaire.}$$

pour le cas général:

$$E_t = \frac{\bar{w} b h^2 L}{16} \left( 1 + \frac{\frac{4 H}{L}}{\operatorname{sh} \frac{4 H}{L}} \right)$$

$\bar{w}$  : poids volumique de l'eau =  $10^3 \text{ kg/m}^3$

b : largeur du canal = 0,38m

h : amplitude de la houle

L : longueur d'onde de la houle.

Dans nos calculs nous considérons seulement l'énergie cinétique des molécules en mouvement qui est :

$$E = \frac{\bar{w} b h^2 L}{16}$$

Cette énergie est emmagasinée dans une quantité d'eau constante de longueur L et de largeur b quelle que soit la hauteur H.

Le tout se passe comme si la houle "stockait" de l'énergie dans chaque volume d'eau qu'elle agite.

IV/ MESURES EXPERIMENTALES:

Ces mesures nous amènent à trouver le rendement maximum  
Ce dernier est le rapport de la puissance mécanique  
sur la puissance de la houle.

Si nous appelons  $P_h$ , la puissance de la houle et  $P_a$ ,  
la puissance mécanique nous avons le rendement:

$$\eta = \frac{P_a}{P_h}$$

$$P_a = mg \frac{l}{t}$$

m:masse marquée

g:acceleration de la pesanteur

l:hauteur d'élévation de la masse marquée = 0,25m

t:temps que met la masse m pour parcourir l

$$P_h = \frac{E}{T} = \frac{\bar{\omega} b h^2 L}{16T}$$

$\bar{\omega}$ : poids volumique de l'eau =  $10^3 \text{kg/m}^3$

b:largeur du canal = 0,38m

h:amplitude de la houle

L:longueur d'onde

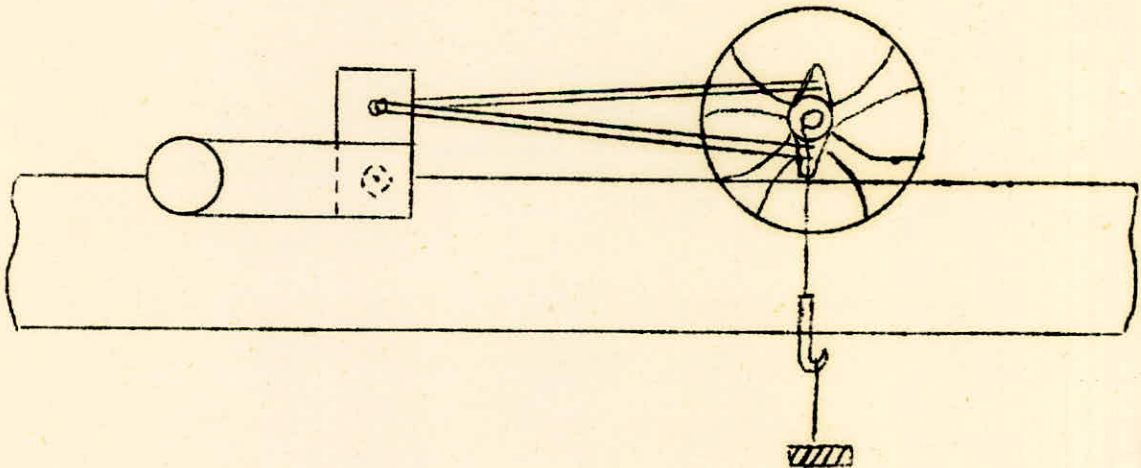
T:période des oscillations des molécules en mouvement/

Nous auront donc à mesurer:

- la période  $T$
- amplitude  $h$
- le temps  $t$

D'autre part nous étudierons le rendement pour toutes les positions du balancier par rapport à la bielle. Ceci sera pour les premières expérimentations.

Pour les secondes expérimentations nous pensons changer le système mécanique en supprimant le balancier et en reliant directement le flotteur à l'arbre à l'aide d'une bielle plus grande.



Courbe théorique de la variation de la longueur d'onde en fonction de la fréquence.

En connaissant la période T, la valeur de la longueur d'onde est obtenue par approximation successive par la formule:

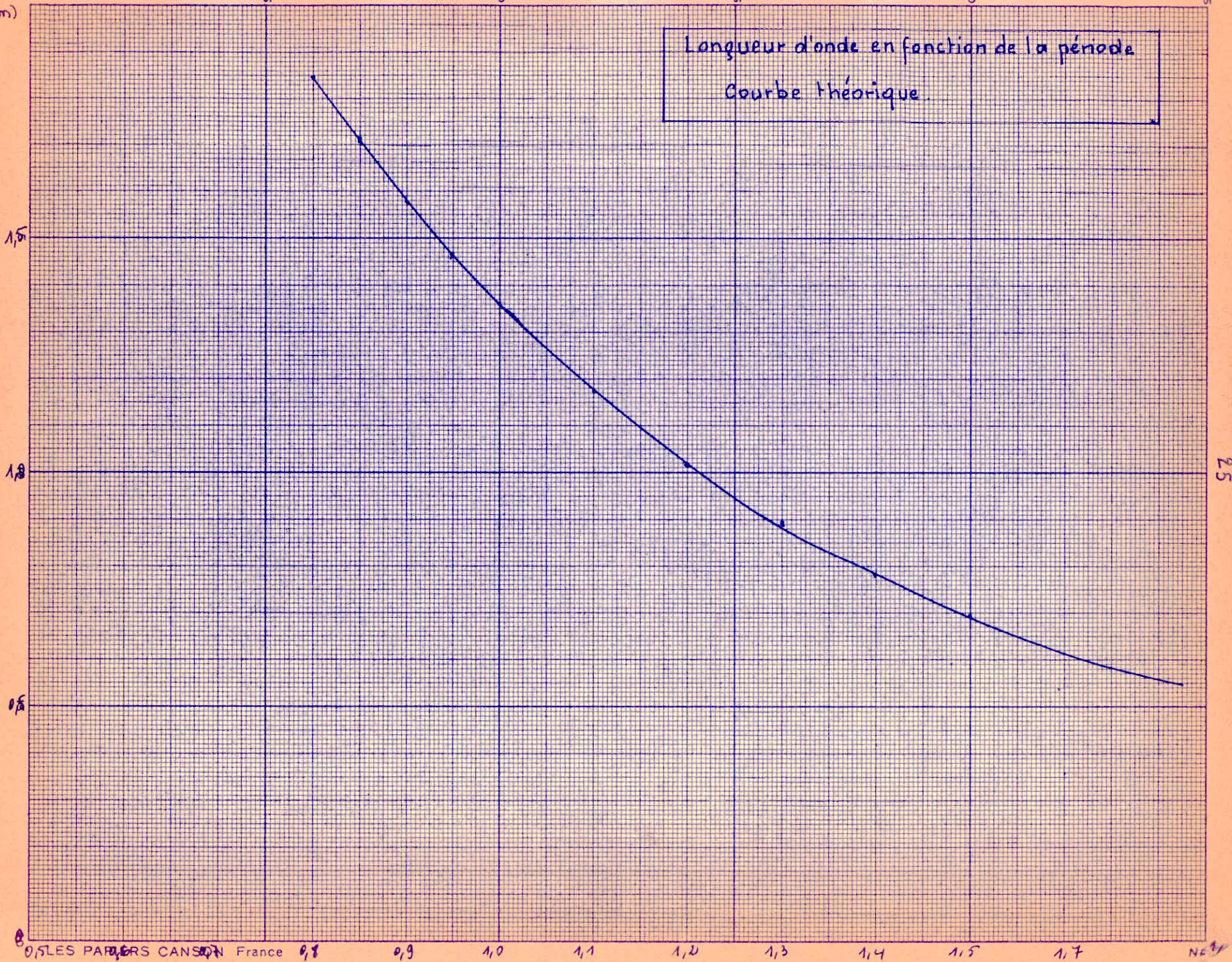
$$T^2 = \frac{2\pi L}{g} \operatorname{coth} \frac{2\pi H}{L} \quad \text{où } H \text{ représente la profondeur d'eau} = 0,29 \text{ m.}$$

T	T <sup>2</sup>	L	$\frac{2\pi L}{g}$	$\frac{2\pi H}{L}$	$\operatorname{coth} \frac{2\pi H}{L}$	T' <sup>2</sup>
1,25	1,563	1,70	1,090	1,072	1,271	1,385
		1,72	1,103	1,059	1,273	1,404
		1,75	1,122	1,041	1,285	1,442
		1,77	1,135	1,029	1,293	1,468
		1,80	1,154	1,012	1,301	1,501
		1,82	1,167	1,001	1,312	1,531
		1,90	1,218	0,959	1,344	2,554
		1,85	1,186	0,985	1,324	1,570
		1,84	1,180	0,990	1,320	1,557
		1,845	1,183	0,988	1,322	1,564
1,18	1,392	1,65	1,058	1,104	1,247	1,319
		1,71	1,094	1,066	1,269	1,388
		1,715	1,100	1,062	1,272	1,399
		1,712	1,098	1,064	1,270	1,394
1,11	1,232	1,60	1,026	1,139	1,228	1,260
		1,55	0,994	1,176	1,210	1,203
		1,57	1,007	1,161	1,217	1,226
		1,58	1,013	1,153	1,221	1,237
		1,575	1,010	1,157	1,219	1,231
1,053	1,109	1,40	0,898	1,302	1,160	1,042
		1,45	0,930	1,257	1,176	1,094
		1,47	0,942	1,240	1,183	1,114
		1,46	0,936	1,248	1,180	1,104
		1,465	0,939	1,244	1,181	1,109

courbe théorique de la variation de la longueur d'onde en fonction de la fréquence  
(suite)

Période T (s)	T <sup>2</sup>	L	$\frac{2\pi L}{\lambda}$	$\frac{2\pi H}{L}$	$\cos R \frac{2\pi H}{L}$	T <sup>2</sup>
1,0	1	1,30	0,833	1,402	1,129	0,940
		1,35	0,866	1,350	1,144	0,990
		1,36	0,872	1,340	1,147	1,000
0,910	0,828	1,20	0,769	1,518	1,101	0,847
		1,15	0,737	1,584	1,088	0,802
		1,17	0,750	1,557	1,093	0,820
		1,175	0,753	1,551	1,094	0,824
0,83	0,689	1,00	0,641	1,822	1,054	0,676
		1,05	0,673	1,735	1,064	0,716
		1,02	0,654	1,786	1,058	0,692
		1,01	0,648	1,804	1,056	0,684
		1,015	0,651	1,795	1,057	0,688
0,769	0,591	0,90	0,577	2,025	1,035	0,597
		0,85	0,545	2,144	1,028	0,560
		0,87	0,558	2,094	1,031	0,575
		0,88	0,564	2,071	1,032	0,582
		0,89	0,571	2,047	1,034	0,590
0,714	0,510	0,75	0,481	2,429	1,016	0,489
		0,77	0,494	2,366	1,018	0,503
		0,78	0,500	2,336	1,019	0,510
0,67	0,449	0,65	0,417	2,803	1,007	0,420
		0,70	0,449	2,603	1,011	0,453
		0,67	0,430	2,720	1,009	0,434
		0,68	0,436	2,680	1,009	0,440
		0,685	0,439	2,660	1,010	0,443
		0,69	0,442	2,641	1,010	0,446
		0,692	0,444	2,633	1,010	0,448

Longueur d'onde en fonction de la période  
Courbe théorique.



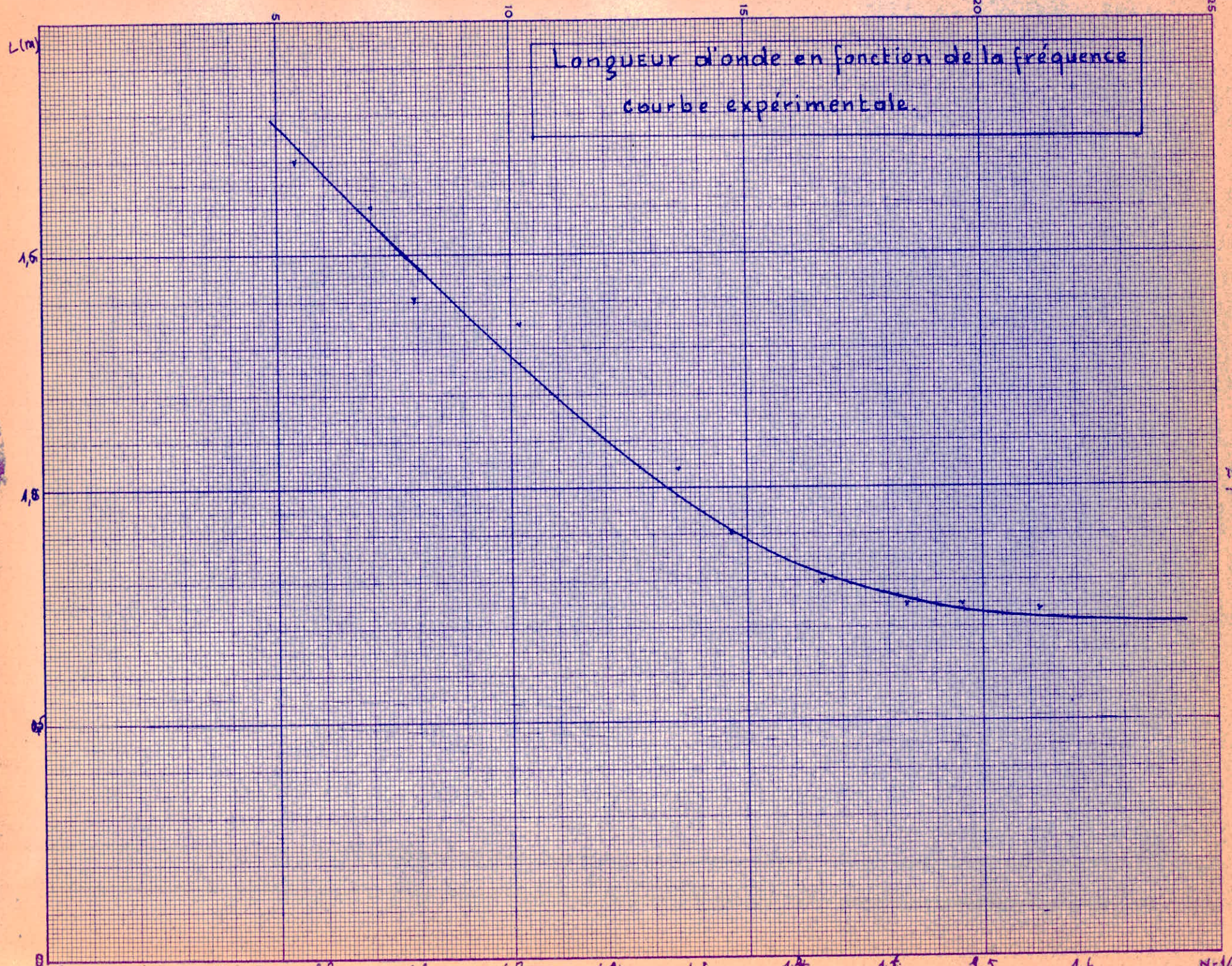
Courbe expérimentale de la variation de la longueur d'onde en fonction de la fréquence.

Période $T$ (s)	fréquence $N = 1/T$	Longueur d'onde $L$ (m)
1,3	0,77	1,70
1,175	0,85	1,60
1,115	0,897	1,40
0,99	1,01	1,35
0,93	1,075	1,10
0,85	1,176	1,04
0,81	1,235	0,90
0,75	1,333	0,80
0,705	1,418	0,75
0,675	1,481	0,75
0,64	1,563	0,74

Remarque:

ces mesures sont déduites d'une prise de photos de la longueur d'onde, au laboratoire.

Longueur d'onde en fonction de la fréquence  
courbe expérimentale.



1,7

N=1/6

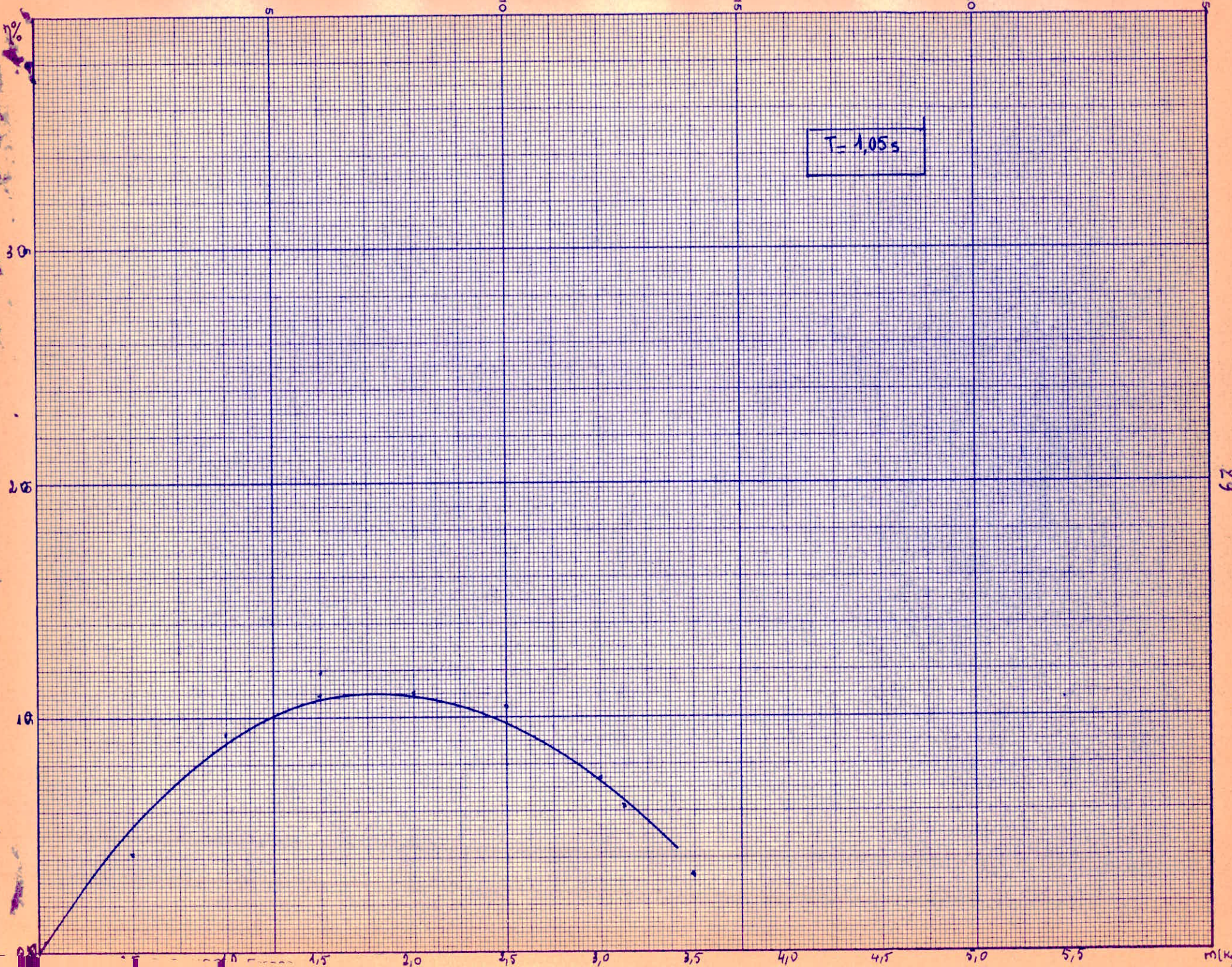


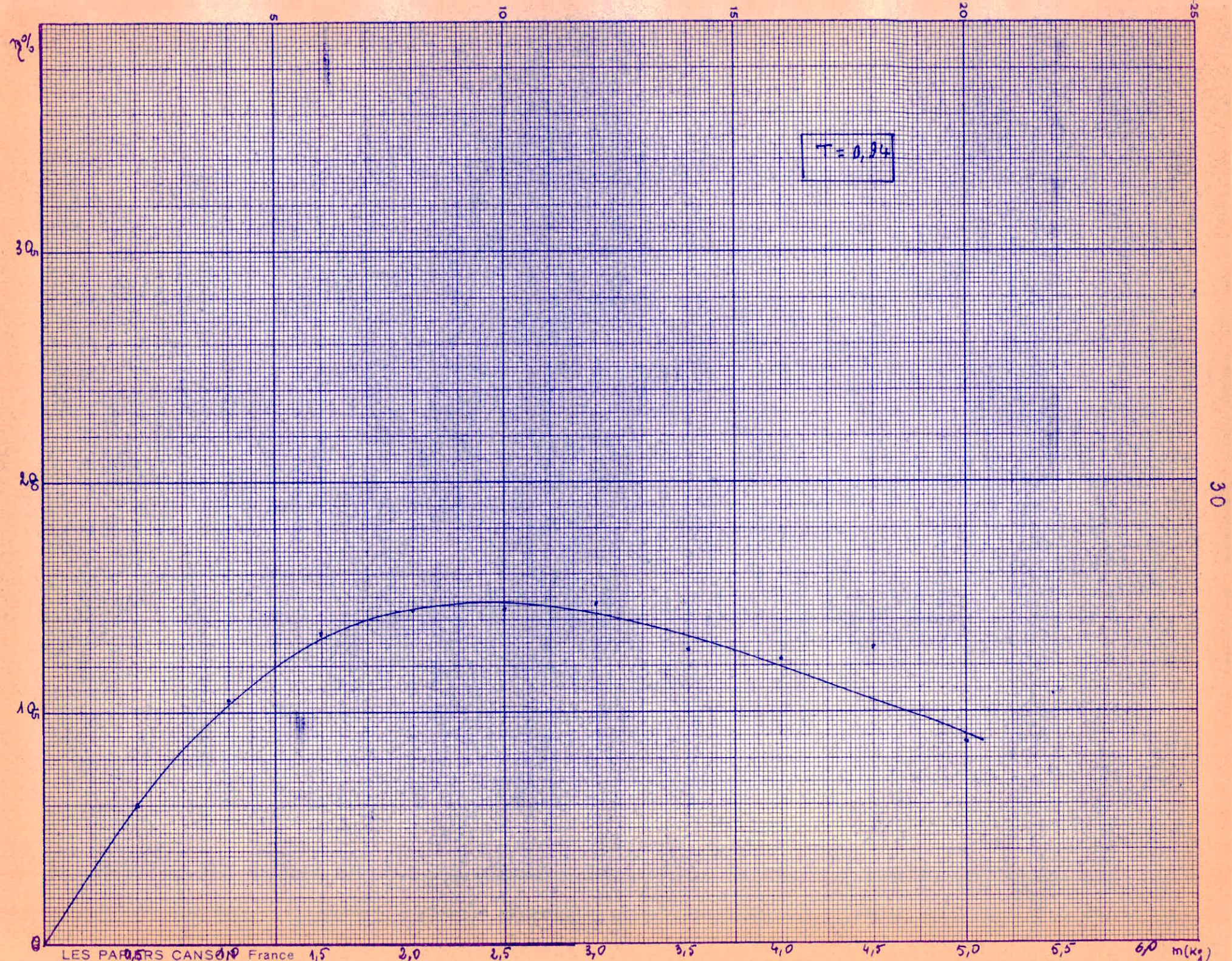
$d$  = distance entre l'axe du Balancier et la bielle = 3,5 cm

$H$  = Profondeur de l'eau = 29 cm

$l$  = Parcours de la masse.

Periode T(s)	Longueur d'onde L(m)	Amplitude h(m)	Puissance $P_h$ (N.m/s)	Masse m(kg)	temps t(s)	Puissance $P_a$ (N.m/s)	Rendement $\eta$
1,05	1,38	0,06	1,1012	0,5	26,4	0,0460	0,042
				0,75	25,8	0,0712	0,065
				1,0	22,5	0,1029	0,093
				1,25	27,6	0,1110	0,100
				1,50	30,6	0,1200	0,109
				1,75	34,4	0,1246	0,113
				2,0	40,6	0,1207	0,110
				2,25	44,5	0,1238	0,112
				2,5	53,4	0,1150	0,104
				2,75	65,9	0,1021	0,093
				3,0	89,8	0,0818	0,074
				3,25	116,8	0,0682	0,062
				3,50	236,2	0,0369	0,033
				0,94	1,17	0,06	1,0429
0,75	22,7	0,0808	0,079				
1,00	22,4	0,1094	0,105				
1,25	25,1	0,1225	0,117				
1,5	26,3	0,1397	0,134				
1,75	29,7	0,1442	0,138				
2,0	32,5	0,1506	0,144				
2,25	35,0	0,1573	0,151				
2,50	40,8	0,1501	0,144				
2,75	44,5	0,1513	0,145				
3,0	47,9	0,1534	0,147				
3,25	54,6	0,1459	0,134				
3,50	64,7	0,1325	0,127				
3,75	70,9	0,1296	0,124				
4,0	76,5	0,1281	0,123				
4,25	86,1	0,1210	0,116				
4,5	82,8	0,1331	0,128				
5,0	135,5	0,0904	0,088				





22

$d =$  distance entre l'axe du balancier et la bielle = 3,5 cm

$H =$  Profondeur de l'eau = 29 cm

$l =$  Parcours de la masse = 25 cm.

Période $T$ (s)	Longueur d'onde $L$ (m)	Amplitude $h$ (m)	Puissance $P_h$ (N.m/s)	Masse $m$ (kg)	temps $t$ (s)	Puissance $P_a$ (N.m/s)	Rendement $\eta$
0,85	0,985	0,07	1,3216	0,5	11,1	0,1104	0,084
				0,75	12,8	0,1436	0,109
				1,0	16,0	0,1531	0,116
				1,25	15,5	0,1976	0,150
				1,50	17,4	0,2112	0,160
				1,75	19,7	0,2278	0,165
				2,0	21,5	0,2279	0,172
				2,25	24,3	0,2268	0,172
				2,50	31,0	0,2276	0,150
				2,75	29,7	0,2268	0,172
				3,0	31,8	0,2311	0,175
				3,25	26,3	0,2193	0,166
				3,50	39,7	0,2160	0,166
				3,75	44,7	0,2057	0,156
				4,0	47,9	0,2046	0,155
				4,25	57,8	0,1807	0,137
				4,50	68,0	0,1621	0,123
4,75	77,2	0,1507	0,114				
5,0	79,9	0,1551	0,117				
0,835	0,985	0,08	1,7036	0,5	10,1	0,1213	0,071
				1,0	12,3	0,1992	0,147
				1,5	15,3	0,2402	0,141
				2,0	15,2	0,3224	0,189
				2,5	21,0	0,2917	0,171
				3,0	20,4	0,3603	0,211
				3,5	23,0	0,3728	0,219
				4,0	25,6	0,3830	0,225
				4,5	26,5	0,4160	0,244
				5,0	33,7	0,3640	0,214
				5,5	40,2	0,3352	0,197
6,0	49,9	0,2946	0,173				

$\eta\%$

$\tau = 0,05$

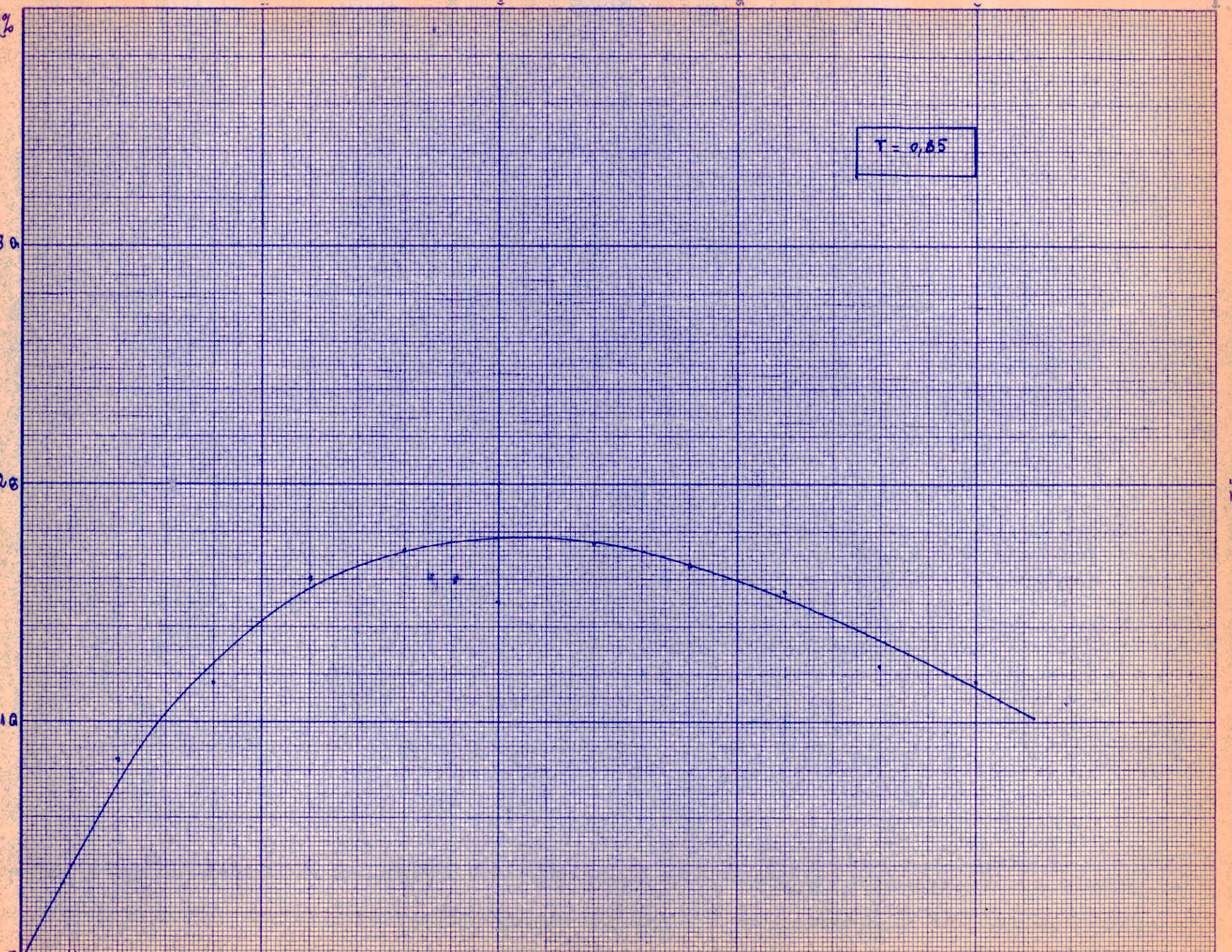
30

20

10

0

LES PAPIERS CANSON France 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 mK



LES PAPIERS CANSON

France

1,5

2,0

2,5

3,0

3,5

4,0

4,5

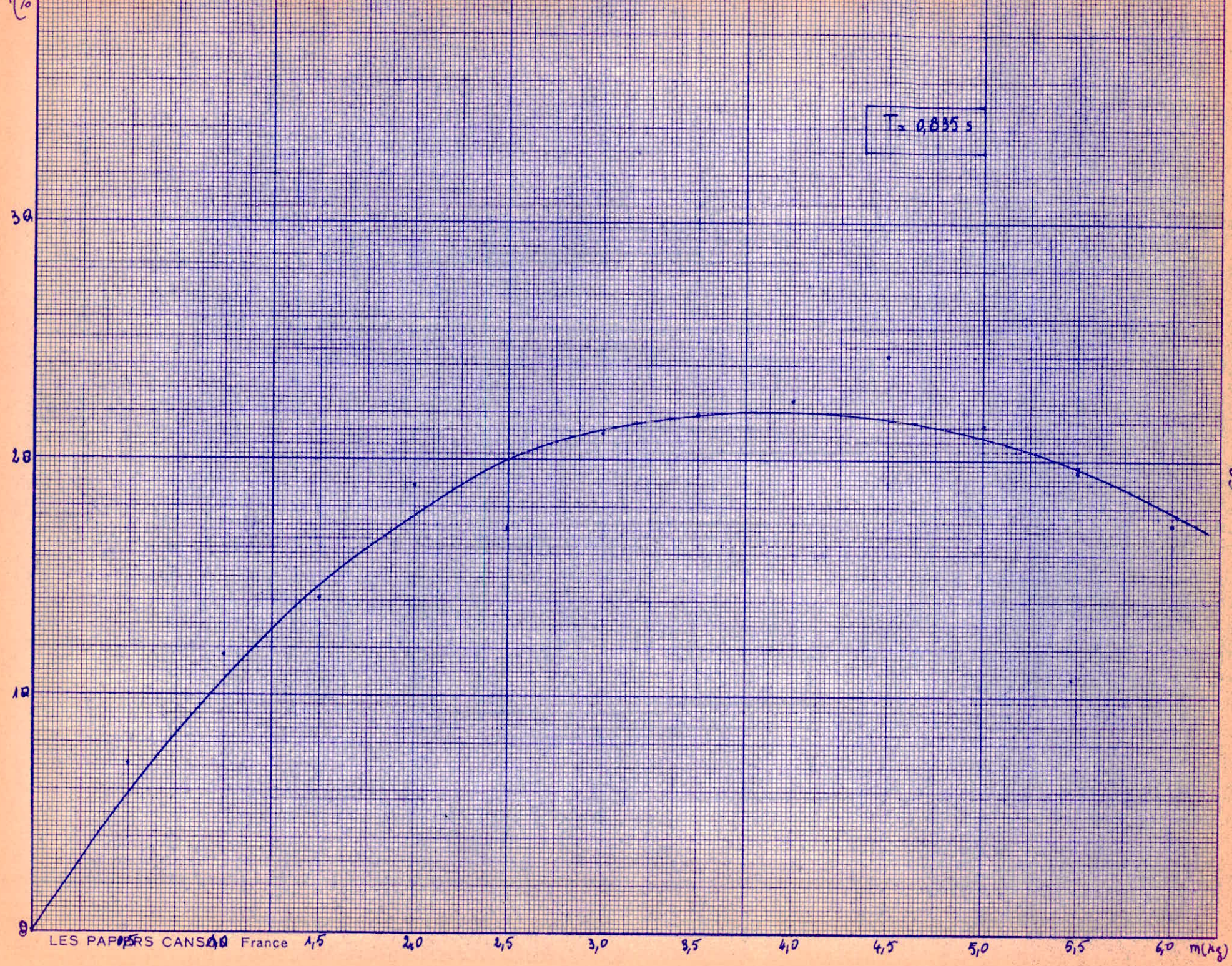
5,0

5,5

6,0

mK

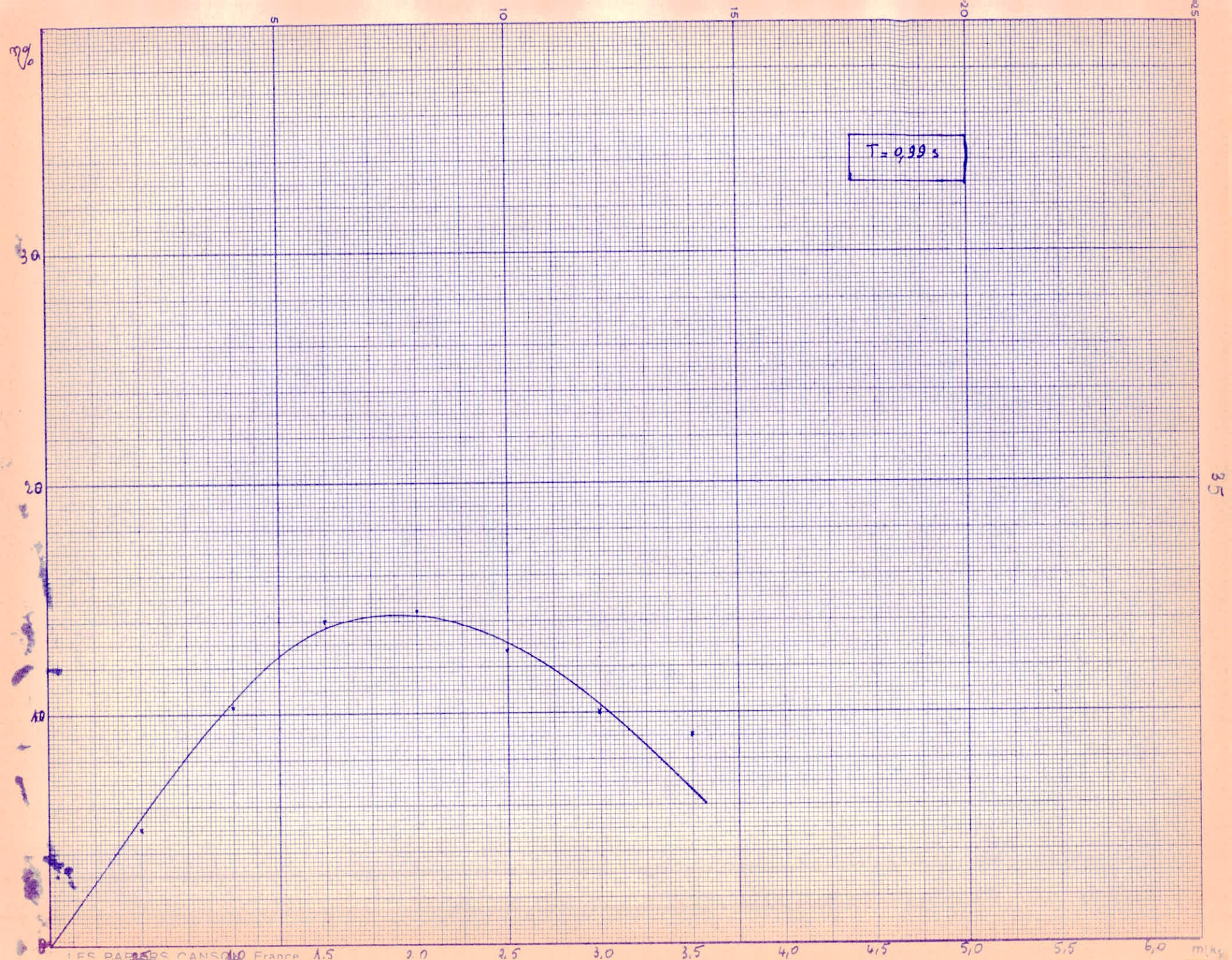
10



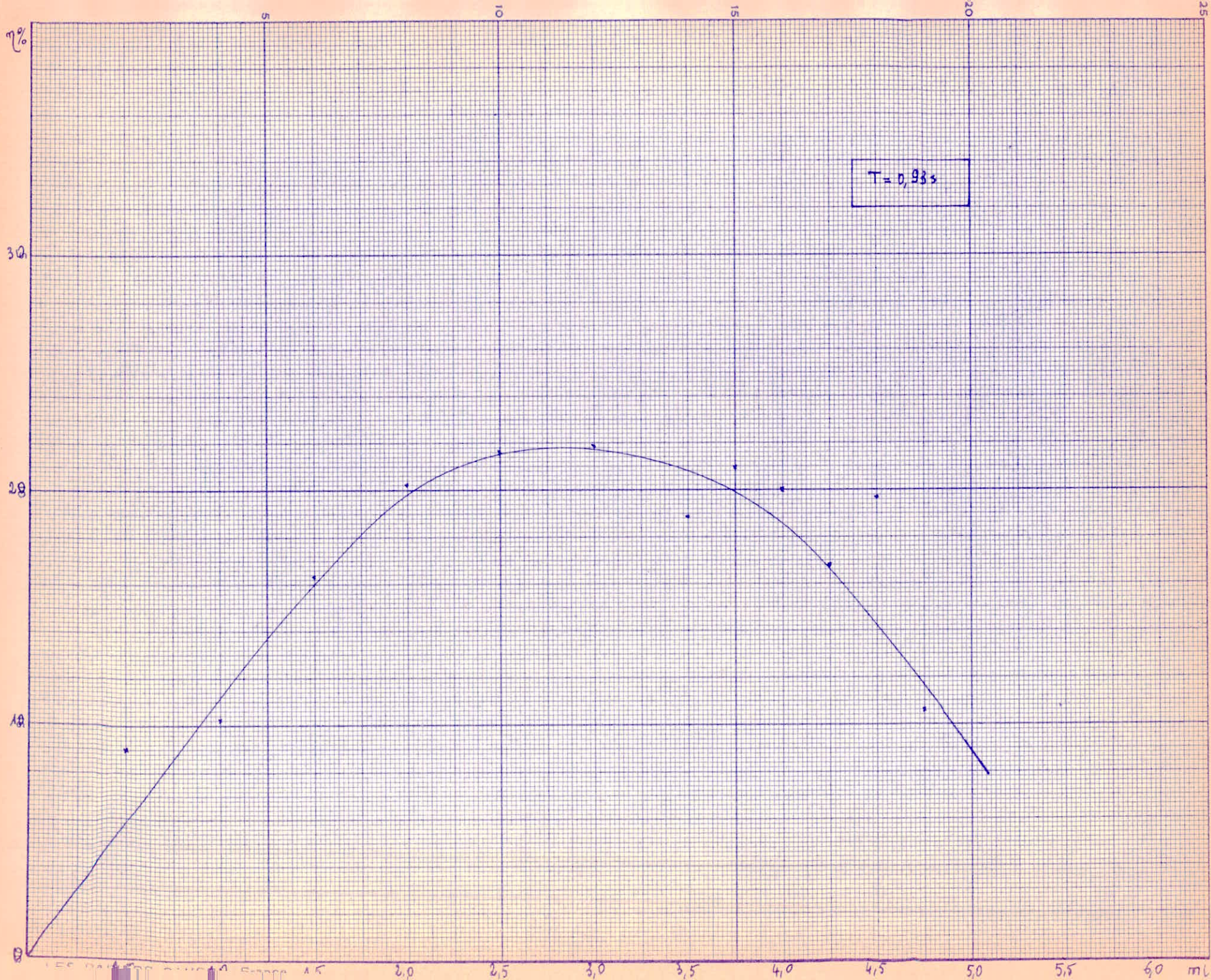
33

$$d = 5 \text{ cm}; H = 29 \text{ cm}; l = 25 \text{ cm}$$

Période T(s)	Longueur d'onde L(m)	Amplitude h(m)	Puissance Ph (N.m/s)	Masse m (kg)	Temps t(s)	Puissance Pa (N.m/s)	Rendement $\eta$
0,99	1,865	0,06	1,0707	0,5	23	0,0533	0,050
				0,75	24,3	0,0756	0,071
				1,0	26,2	0,1104	0,103
				1,25	24,9	0,1229	0,115
				1,5	24,5	0,1500	0,140
				1,75	29,7	0,1444	0,135
				2,0	31,8	0,1540	0,144
				2,25	37,3	0,1477	0,138
				2,5	45,0	0,1361	0,127
				2,75	50,5	0,1334	0,125
				3,0	60,2	0,1078	0,100
				3,25	73,7	0,0951	0,089
				3,50	87,6	0,0979	0,091
				0,93	0,99	0,07	1,2141
0,75	13,9	0,1322	0,109				
1,0	16,5	0,1485	0,122				
1,25	16,1	0,1902	0,157				
1,5	18,6	0,1976	0,163				
1,75	18,6	0,2305	0,190				
2,0	20,0	0,2470	0,202				
2,25	23,2	0,2376	0,196				
2,5	28,4	0,2622	0,216				
2,75	26,7	0,2523	0,208				
3,0	28,0	0,2625	0,216				
3,25	30,0	0,2654	0,219				
3,5	37,3	0,2299	0,189				
3,75	36,1	0,2545	0,210				
4,0	40,2	0,2438	0,200				
4,25	51,1	0,2037	0,168				
4,50	56,1	0,2392	0,197				
4,75	90,6	0,1284	0,106				
5,0	139,0	0,0881	0,073				

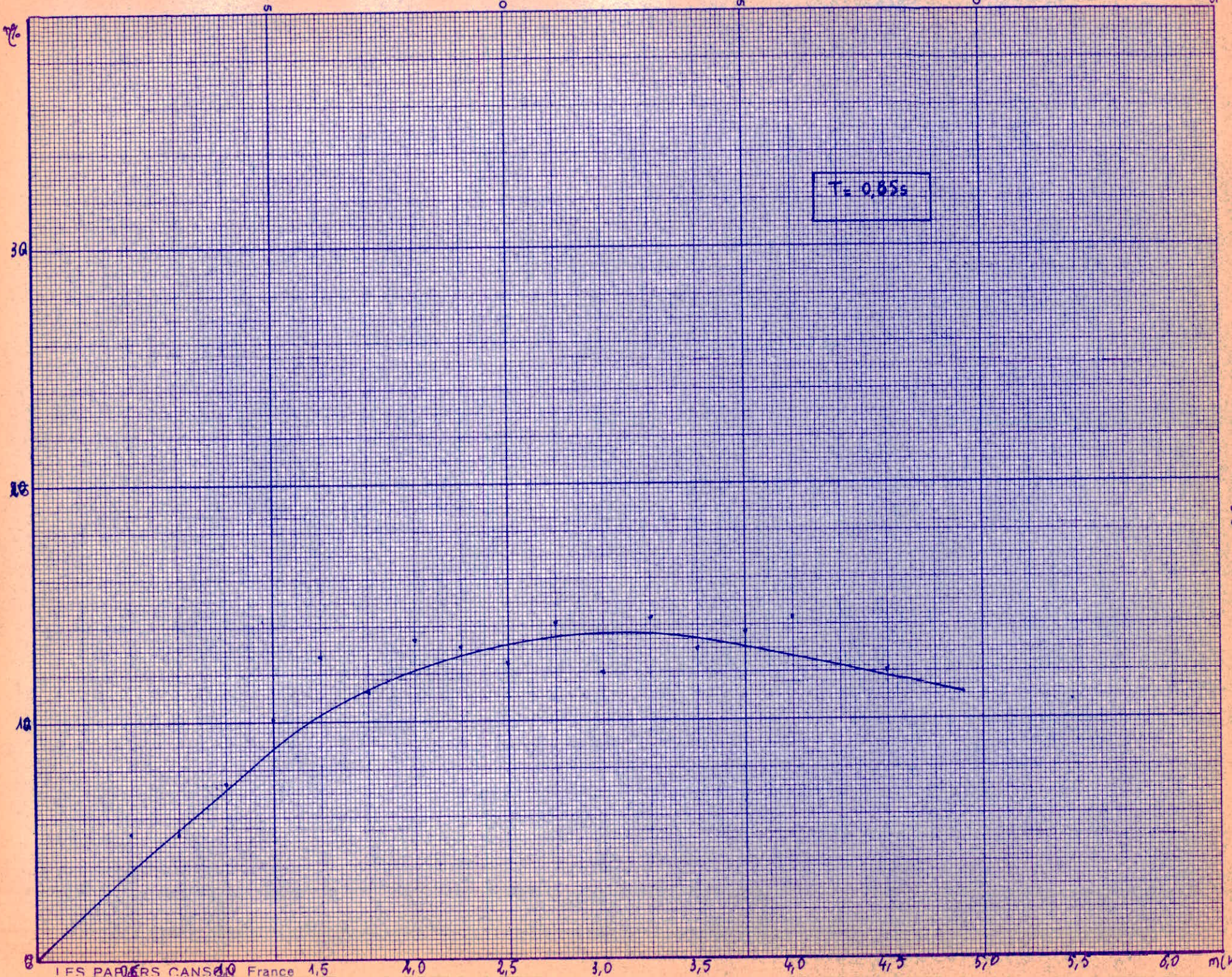


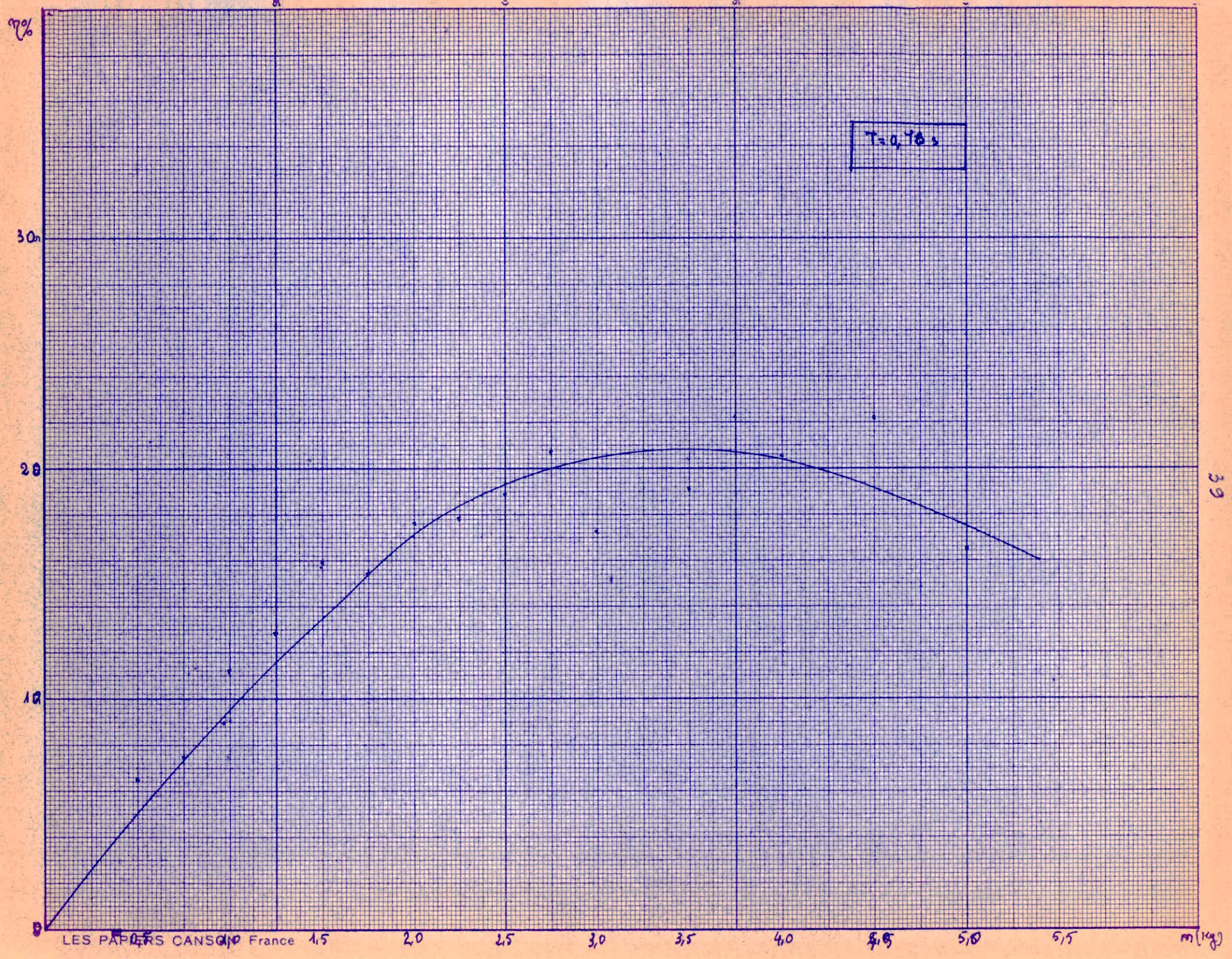




$d = 5 \text{ cm}; H = 29 \text{ cm}; l = 25 \text{ cm}$ 

Période T (s)	Long. d'onde L (m)	Amplitude h (m)	Puissance P <sub>n</sub> (N.m/s)	Masse m (kg)	temps t (s)	Puissance P <sub>a</sub> (N.m/s)	Rendement $\eta$
0,85	0,985	0,08	1,7262	0,5	13,5	0,0907	0,053
				0,75	20,0	0,0918	0,053
				1,0	19,2	0,1276	0,074
				1,25	17,6	0,1740	0,101
				1,5	16,8	0,2188	0,127
				1,75	22,2	0,1931	0,112
				2,0	21,2	0,2811	0,134
				2,25	24,4	0,2259	0,131
				2,50	28,5	0,2149	0,124
				2,75	27,7	0,2432	0,141
				3,0	35,5	0,2070	0,120
				3,25	32,2	0,2473	0,143
				3,5	31,3	0,2239	0,130
				3,75	38,7	0,2374	0,137
				4,0	39,6	0,2475	0,143
				4,5	53,2	0,2072	0,120
0,78	0,862	0,09	2,083	0,5	9	0,1361	0,065
				0,75	11,8	0,1557	0,075
				1,0	10,5	0,2833	0,112
				1,25	11,5	0,2663	0,128
				1,50	11,1	0,3311	0,159
				1,75	13,4	0,3200	0,154
				2,0	13,4	0,3660	0,176
				2,25	14,9	0,3700	0,178
				2,50	15,6	0,3926	0,189
				2,75	15,7	0,4294	0,207
				3,0	20,5	0,3585	0,172
				3,5	21,5	0,3958	0,191
				4,0	23,0	0,4261	0,205
				4,5	23,8	0,4632	0,222
				5,0	35,7	0,3431	0,165

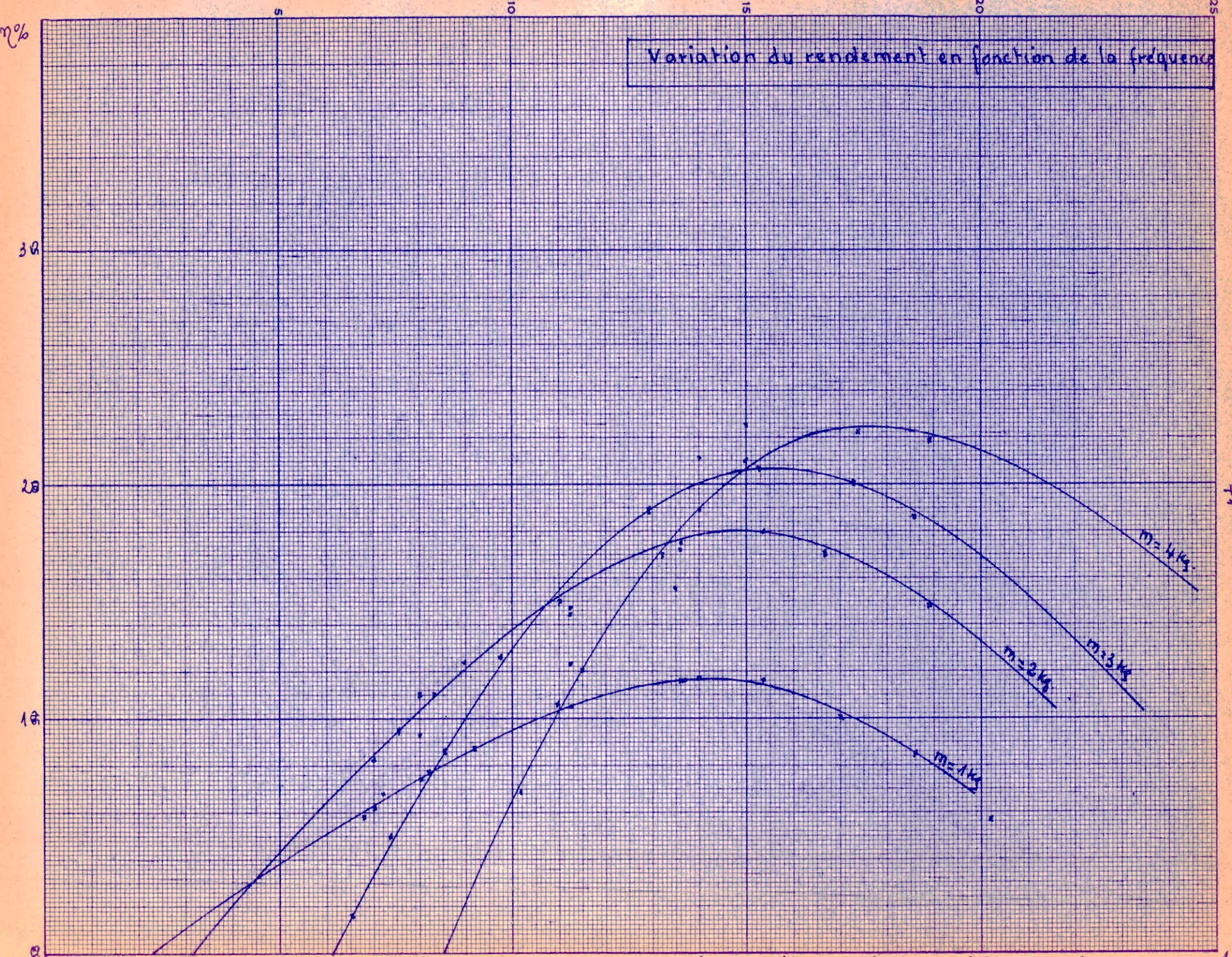




Courbes du rendement en fonction de la variation de fréquence  
( flotteur relié au vilebrequin )

masse m (kg)	Période T(s)	fréquence $N = \frac{1}{T}$	Amplitude h(m)	Long. d'onde L(m)	temps t(s)	Puissance $P_h$ (N.m/s)	Puissance $P_u$ (N.m/s)	Rendement $\eta$
1 kg.	1,18	0,847	0,02	1,575	—	0,1242	—	—
	1,19	0,840	0,03	1,582	151,9	0,2801	0,0161	0,058
	1,16	0,862	0,04	1,550	72,5	0,4976	0,0338	0,068
	1,10	0,909	0,05	1,496	40,2	0,7913	0,0609	0,077
	1,04	0,962	0,06	1,486	33,5	1,1978	0,1042	0,087
	0,95	1,053	0,07	1,189	16,2	1,4279	0,1514	0,106
	0,79	1,266	0,08	0,881	12,7	1,6614	0,1927	0,116
	0,74	1,351	0,09	0,800	12,0	2,0376	0,2038	0,100
	0,70	1,429	0,09	0,750	12,8	2,0205	0,1919	0,095
	0,66	1,515	0,10	0,730	16,7	2,5741	0,1467	0,057
2 kg.	1,18	0,847	0,02	1,575	—	0,1242	—	—
	1,14	0,877	0,04	1,520	103,8	0,4964	0,0472	0,095
	1,05	0,952	0,06	1,487	33,3	1,1862	0,1471	0,124
	0,95	1,052	0,07	1,189	22,9	1,4265	0,2140	0,150
	0,79	1,266	0,08	0,881	15,5	1,6614	0,3157	0,190
	0,75	1,333	0,09	0,800	13,9	2,0607	0,3524	0,171
	0,69	1,449	0,09	0,740	16,2	2,0461	0,3028	0,148
3 kg.	1,21	0,826	0,02	1,620	—	0,1246	—	—
	1,15	0,870	0,04	1,535	—	0,4973	—	—
	1,08	0,926	0,06	1,425	77,3	1,1057	0,0951	0,086
	1,01	0,990	0,065	1,300	46,1	1,2656	0,1595	0,126
	0,95	1,053	0,07	1,189	34,3	1,4279	0,2142	0,150
	0,87	1,149	0,085	1,030	25,2	1,5494	0,2913	0,188
	0,79	1,266	0,08	0,881	21,5	1,6614	0,3422	0,206
	0,73	1,370	0,09	0,790	18,0	2,0404	0,4081	0,200
	0,70	1,429	0,09	0,750	19,6	2,0205	0,3758	0,186
4 kg.	0,99	1,010	0,065	1,360	106,6	1,3508	0,0919	0,068
	0,93	1,075	0,070	1,149	57,5	1,4087	0,1705	0,121
	0,86	1,163	0,075	0,910	41,6	1,3856	0,2356	0,170
	0,80	1,250	0,08	0,895	28,0	1,6665	0,3500	0,210
	0,73	1,370	0,09	0,790	21,6	2,0404	0,4530	0,222
	0,69	1,449	0,09	0,749	21,9	2,0461	0,4481	0,219

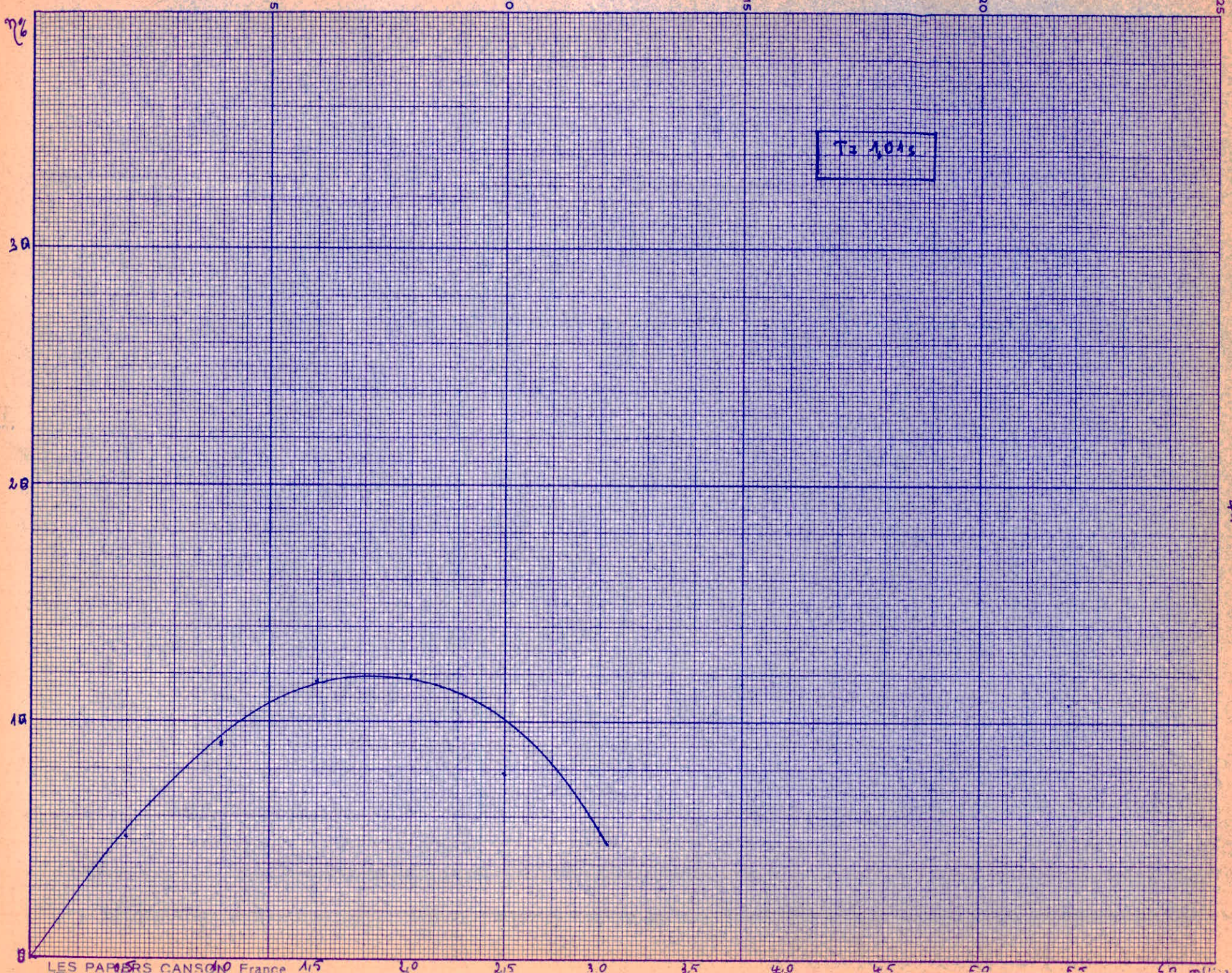
Variation du rendement en fonction de la fréquence

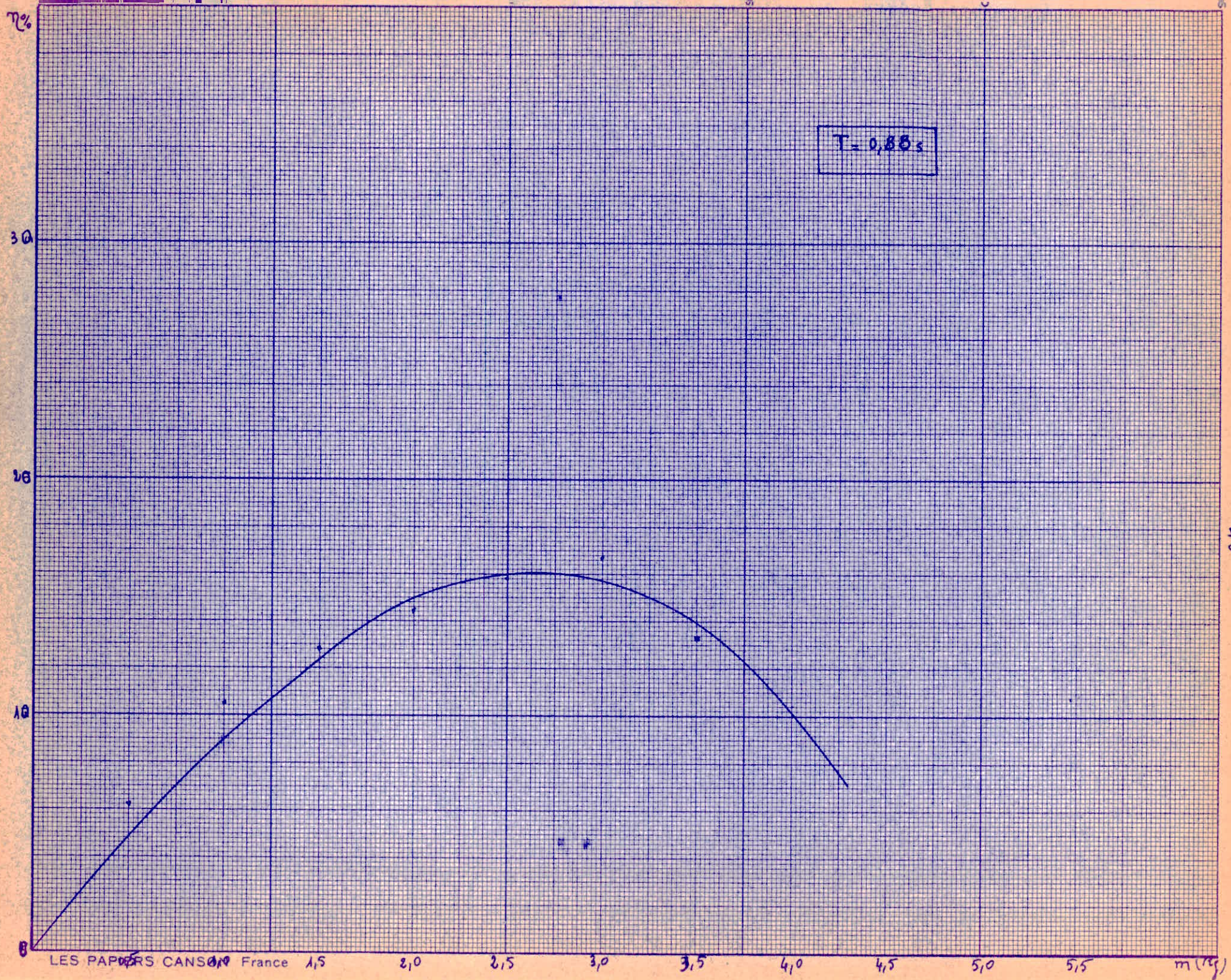


Période T (s)	Long. d'onde L (m)	Amplitude h (m)	Puissance $P_h$ (N.m/s)	Masse m (kg)	temps t (s)	Puissance $P_a$ (N.m/s)	Rendement $\eta$
1,01	1,30	0,06	1,0785	0,5	22,2	0,0552	0,051
				1,0	25,2	0,0972	0,090
				1,5	29,2	0,1259	0,117
				2,0	38,1	0,1286	0,119
				2,5	84,0	0,0729	0,068
0,88	1,045	0,07	1,3543	0,5	14,5	0,0845	0,062
				1,0	17,3	0,1416	0,105
				1,5	21,2	0,1735	0,128
				2,0	25,2	0,1944	0,144
				2,5	28,7	0,2134	0,158
				3,0	32,6	0,2255	0,167
0,87	1,025	0,07	1,3437	0,5	13,7	0,0894	0,067
				1,0	17,0	0,1441	0,107
				1,5	16,7	0,2201	0,164
				2,0	23,0	0,2130	0,159
				2,5	26,0	0,2356	0,175
				3,0	27,0	0,2722	0,203
				3,5	35,6	0,2409	0,179
				4,0	47,1	0,2081	0,155
				4,5	58,9	0,1872	0,139
0,79	0,88	0,08	1,6593	0,5	9	0,1361	0,082
				1,0	10,5	0,2333	0,141
				1,5	10,0	0,2675	0,221
				2,0	9,7	0,5052	0,304
				2,5	11,8	0,5191	0,313
				3,0	14,0	0,5250	0,316
				3,5	14,5	0,5914	0,356
				4,0	15,7	0,6242	0,376
				4,5	19,0	0,5803	0,350
				5,0	20,4	0,6005	0,362
5,5	26,2	0,5143	0,310				

Période T(s)	Longueur d'onde L(m)	Amplitude h(m)	Puissance P <sub>n</sub> (N.m/s)	Masse m(kg)	temps t(s)	Puissance P <sub>a</sub> (N.m/s)	Rendement η
0,70	0,752	0,05	2,0253	0,5	9,3	0,1317	0,065
				1,0	10,9	0,2402	0,119
				1,5	12,3	0,2988	0,148
				2,0	13,5	0,3630	0,179
				2,5	16,5	0,3712	0,183
				3,0	20,5	0,3585	0,177
				3,5	25,5	0,3363	0,166
				4,0	27,8	0,3525	0,174
				4,5	34,6	0,3186	0,157
				5,0	41,0	0,2988	0,148
				5,5	55,5	0,2428	0,120







2%

T = 0,87

30

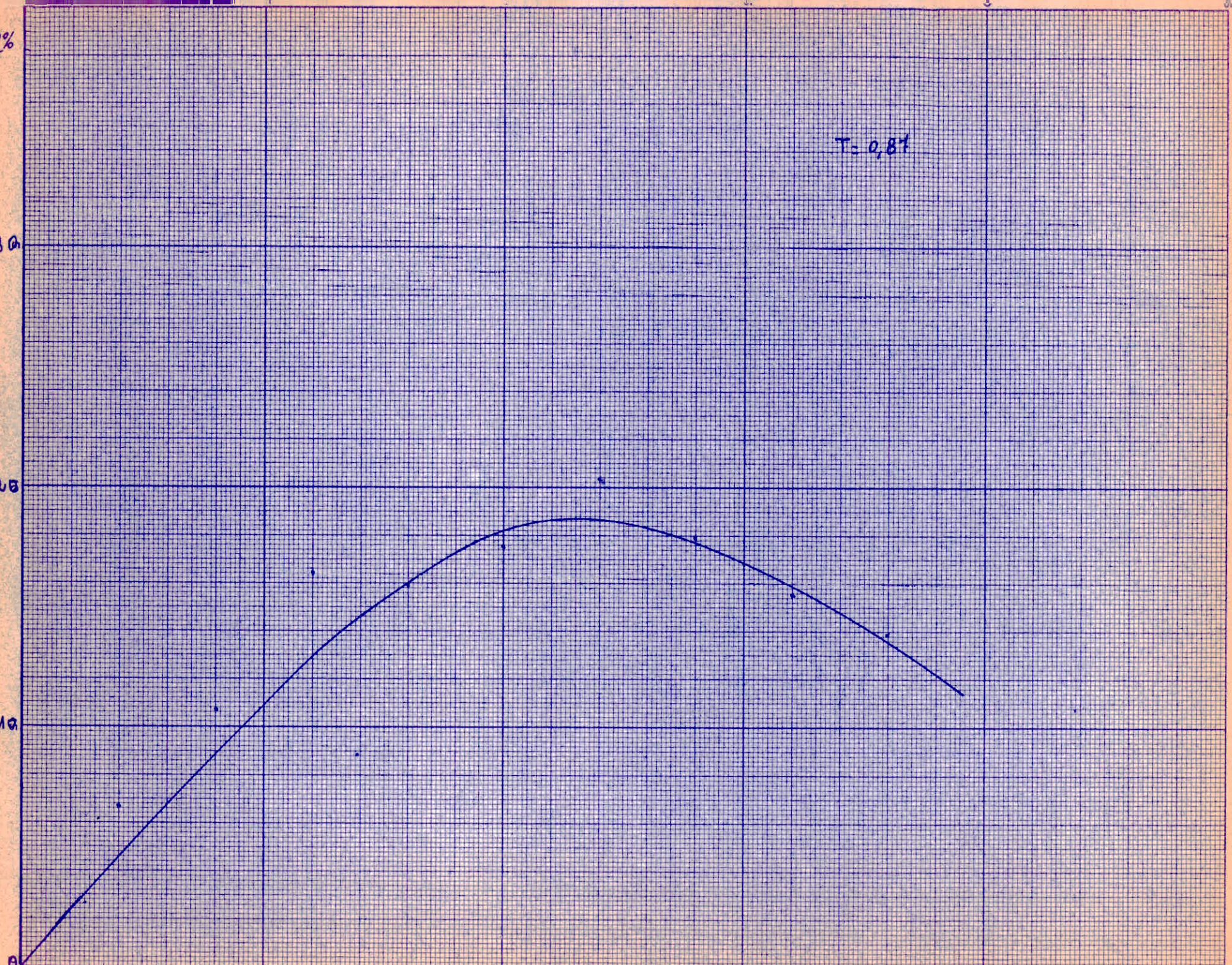
20

10

0

LES PAPIERS CANSON France 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 m(kg)

46



7%

T = 0,79 s

30

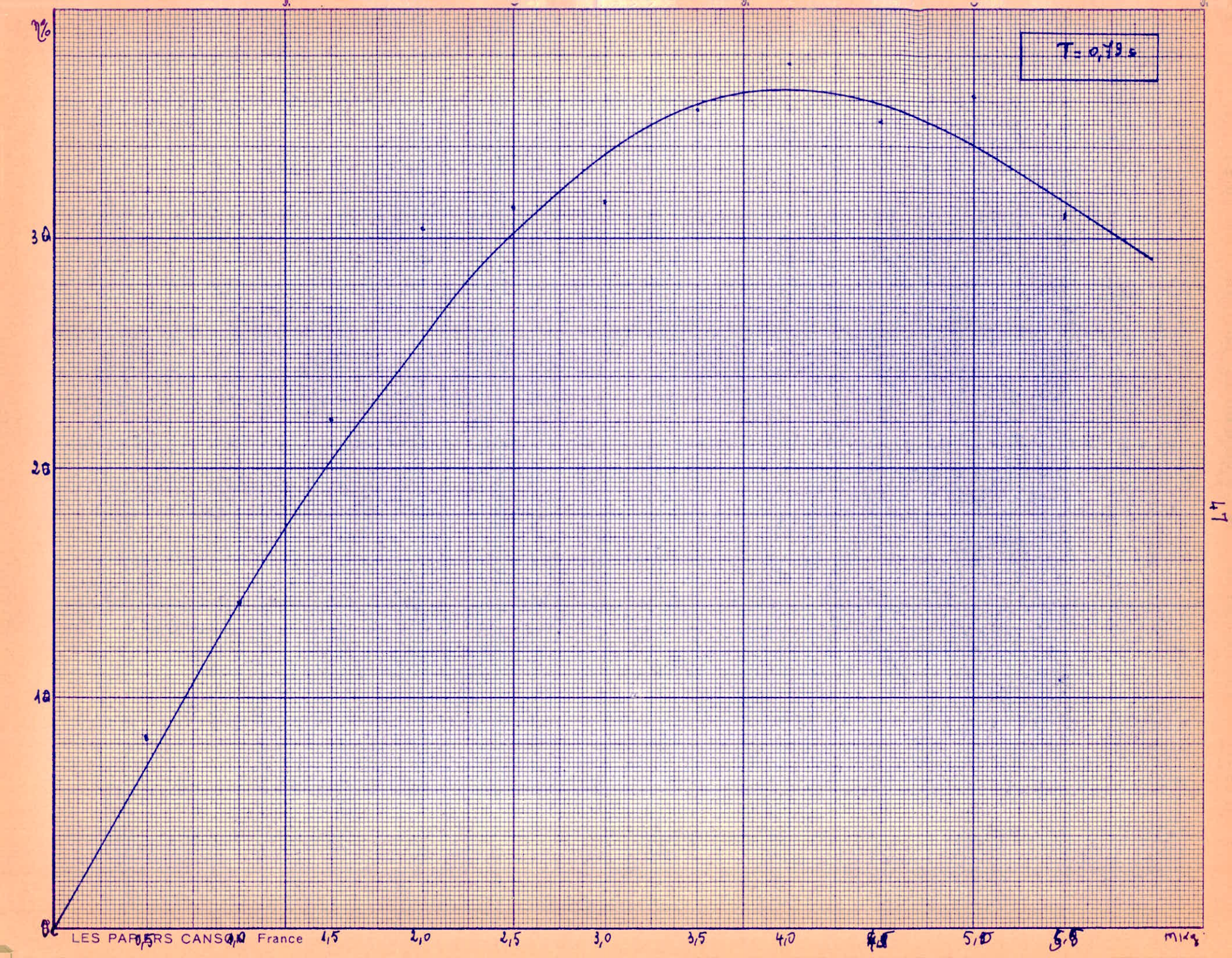
20

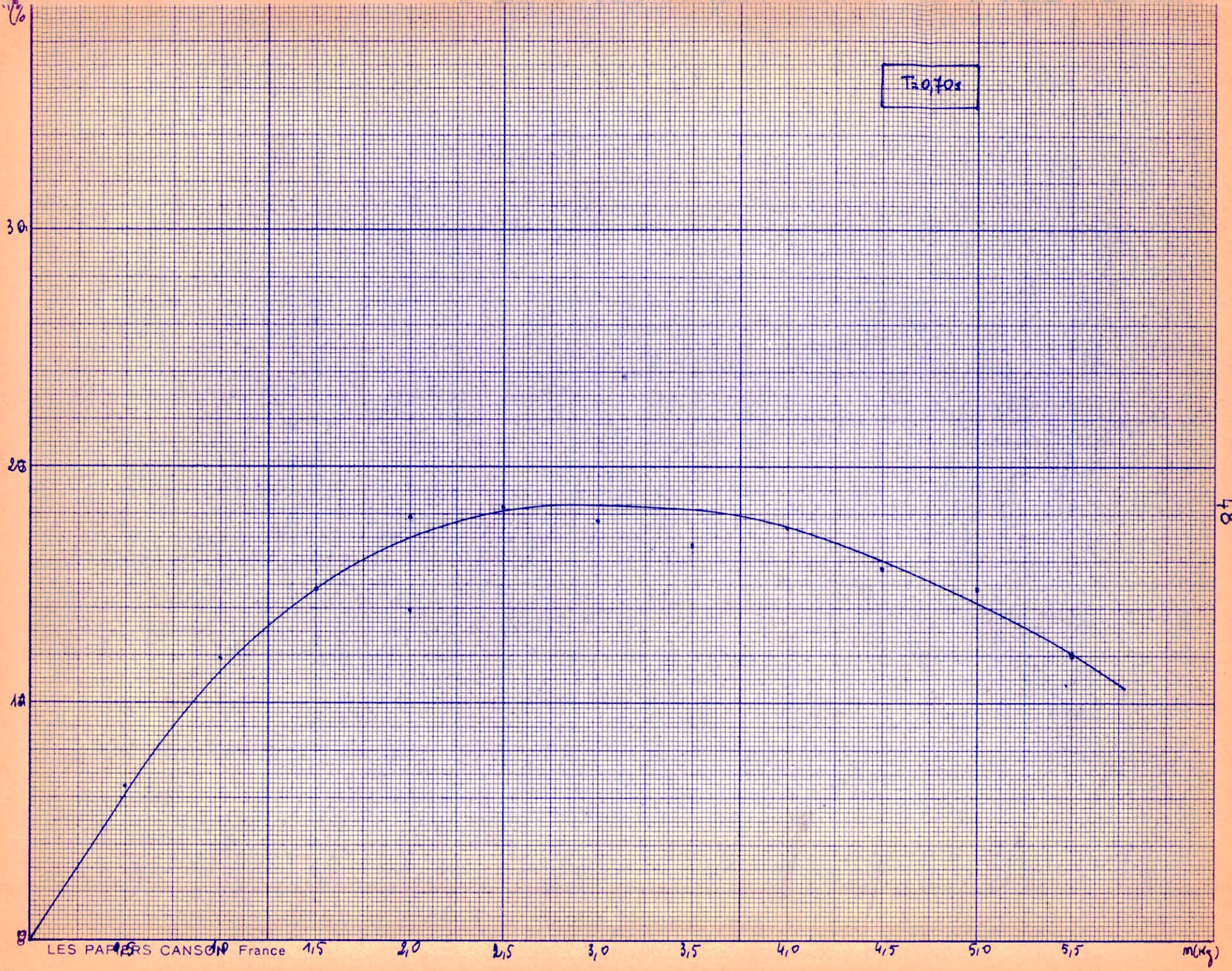
10

0

LES PAFRS CANS 0,0 France 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 mkg

L7





$T_2O_7O_3$

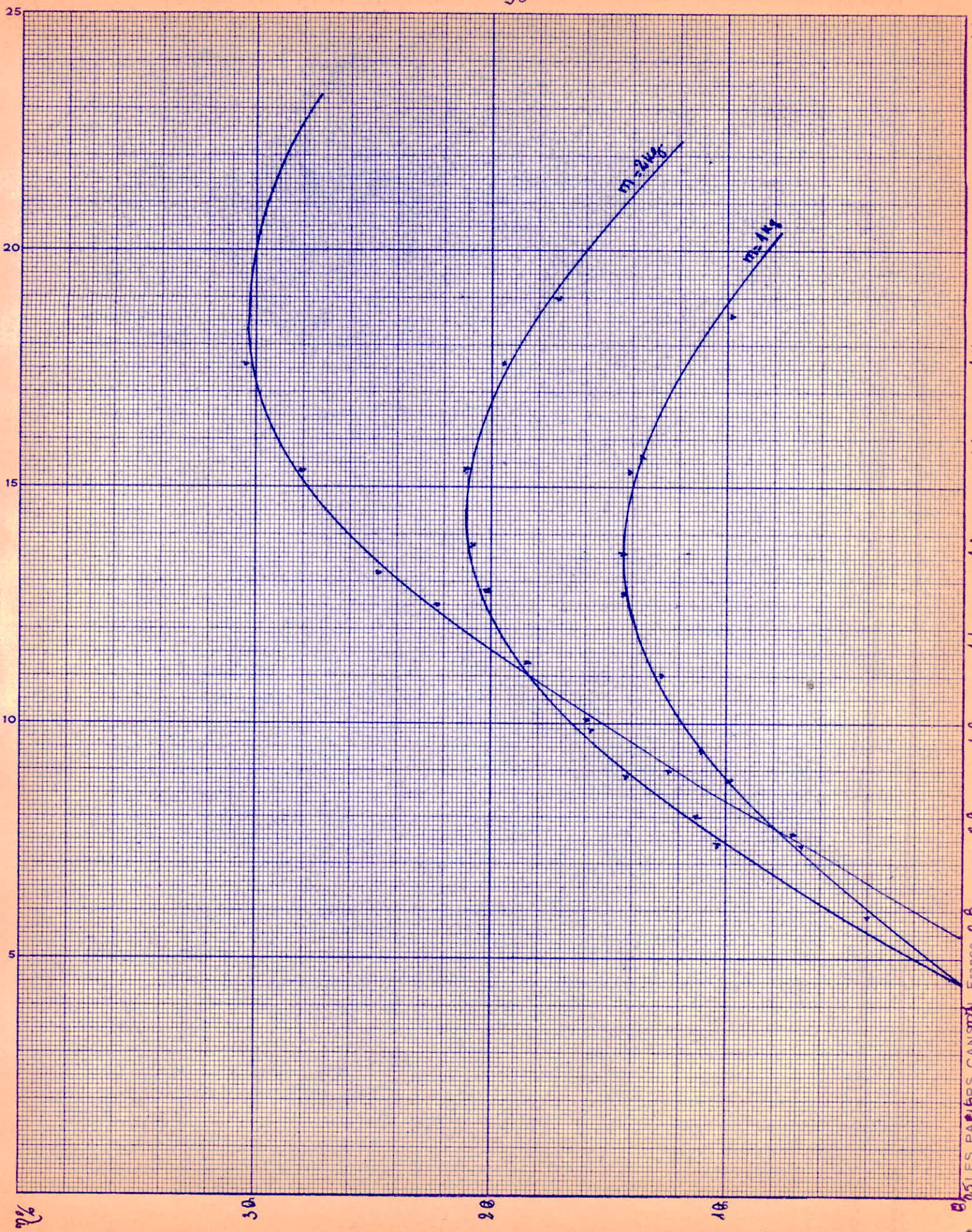
LES PAFERS CANSON France

84

$m(kg)$

Courbe du rendement en fonction de la variation de fréquence  
(flotteur relié directement à l'arbre)

Masse m(kg)	Période T(s)	fréquence N = 1/T	Amplitude	Long. d'onde L(m)	Puissance P <sub>m</sub> (N.m/s)	temps t(s)	Puissance P <sub>a</sub> (N.m/s)	Rendement $\eta$
2 kg.	1,11	0,9	0,04	1,475	0,4949	88,4	0,0554	0,113
	1,15	0,87	0,04	1,535	0,4970	95,7	0,0572	0,103
	1,065	0,94	0,05	1,40	0,7649	45,0	0,1089	0,142
	1,01	0,99	0,06	1,265	1,0494	30,0	0,1633	0,156
	0,94	1,064	0,07	1,170	1,4196	18,6	0,2626	0,185
	0,88	1,136	0,08	1,045	1,7688	13,7	0,3572	0,202
	0,84	1,19	0,09	0,97	2,1770	10,8	0,4528	0,208
	0,785	1,274	0,095	0,97	2,3280	10,0	0,4889	0,210
	0,725	1,379	0,095	0,78	2,26	11,1	0,4407	0,195
	0,69	1,45	0,09	0,75	2,0492	13,9	0,3525	0,172
3 kg.	1,2	0,833	0,04	1,615	0,5012	—	—	—
	1,14	0,877	0,045	1,515	0,4949	—	—	—
	1,05	0,953	0,05	1,38	0,4016	147,6	0,0498	0,124
	0,995	1,005	0,06	1,275	1,0737	38,7	0,1900	0,177
	0,89	1,124	0,075	1,067	1,5696	21,0	0,3500	0,223
	0,86	1,163	0,085	1,01	1,9749	15,0	0,4898	0,248
	0,79	1,266	0,09	0,88	2,1001	12,5	0,5901	0,281
	0,725	1,379	0,09	0,78	2,0283	11,9	0,6166	0,304
	1 kg.	1,35	0,741	0,02	1,795	0,1238	—	—
1,19		0,84	0,03	1,595	0,2807	—	—	—
1,13		0,885	0,04	1,505	0,2790	116,7	0,0201	0,072
1,03		0,971	0,05	1,340	0,7571	30,8	0,0795	0,105
0,95		1,052	0,055	1,190	0,8814	21,9	0,1120	0,127
0,88		1,136	0,06	1,049	0,9985	17,2	0,1428	0,143
0,85		1,18	0,07	0,98	1,3188	12,9	0,1899	0,144
0,78		1,282	0,08	0,86	1,6428	11,0	0,2234	0,136
0,70		1,429	0,09	0,755	2,0340	12,2	0,2013	0,099



Rendement en fonction de la fréquence  
courbe tirée de la thèse de Fin d'étude de M<sup>r</sup> Rozkallah (13/4)  
et montrant la selectivité du receptrur

60

50

40

30

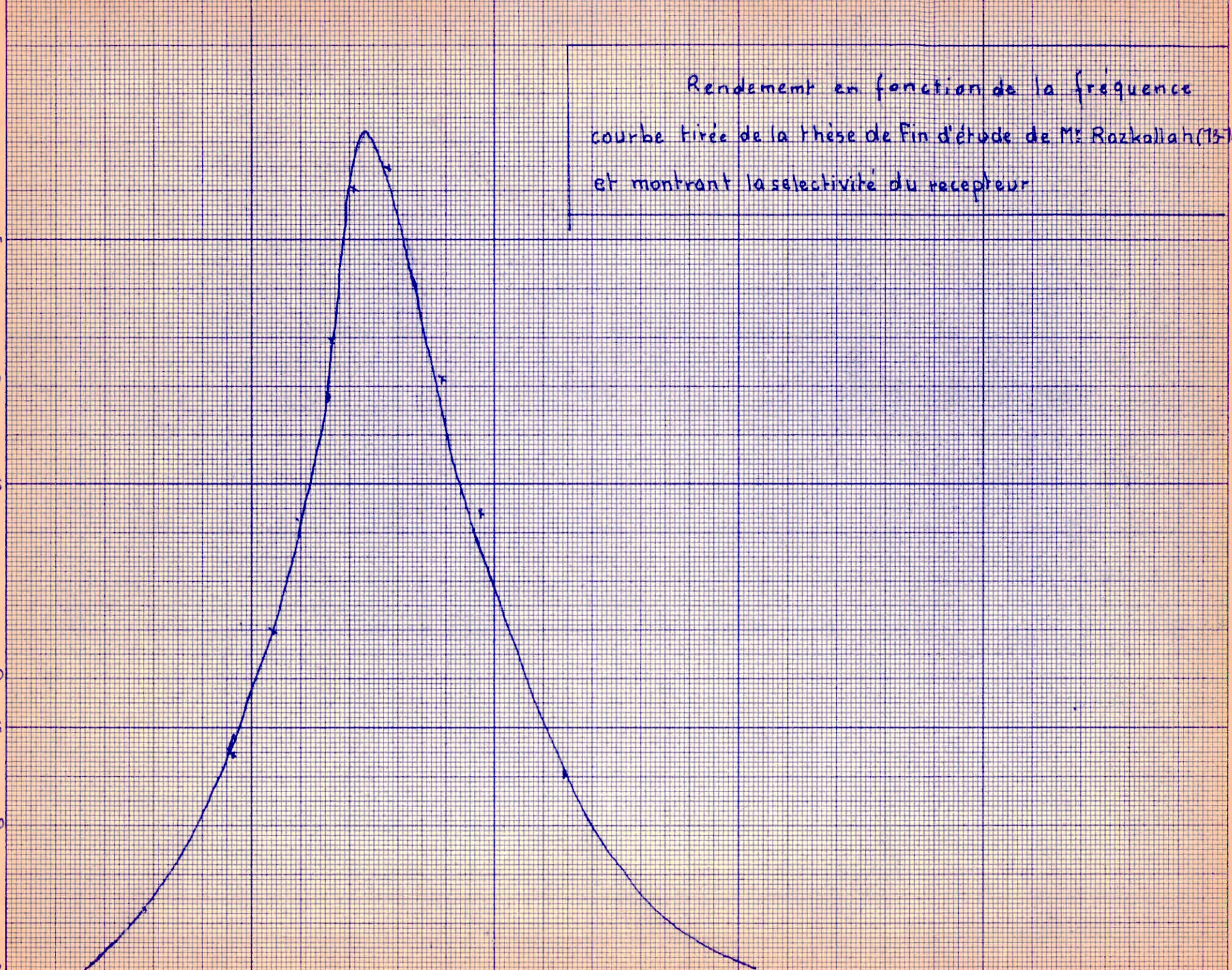
20

10

0

1 LES PAPIERS CANSON France 1,2 1,3 1,4 1,5 1,6 1,7 N = 1/4

51





Pour la vérification des calculs précédents nous pouvons tracer la courbe de variation du rendement de la houle en fonction du rapport de l'amplitude "h" de la houle incidente et l'amplitude "h'" de la houle continue.

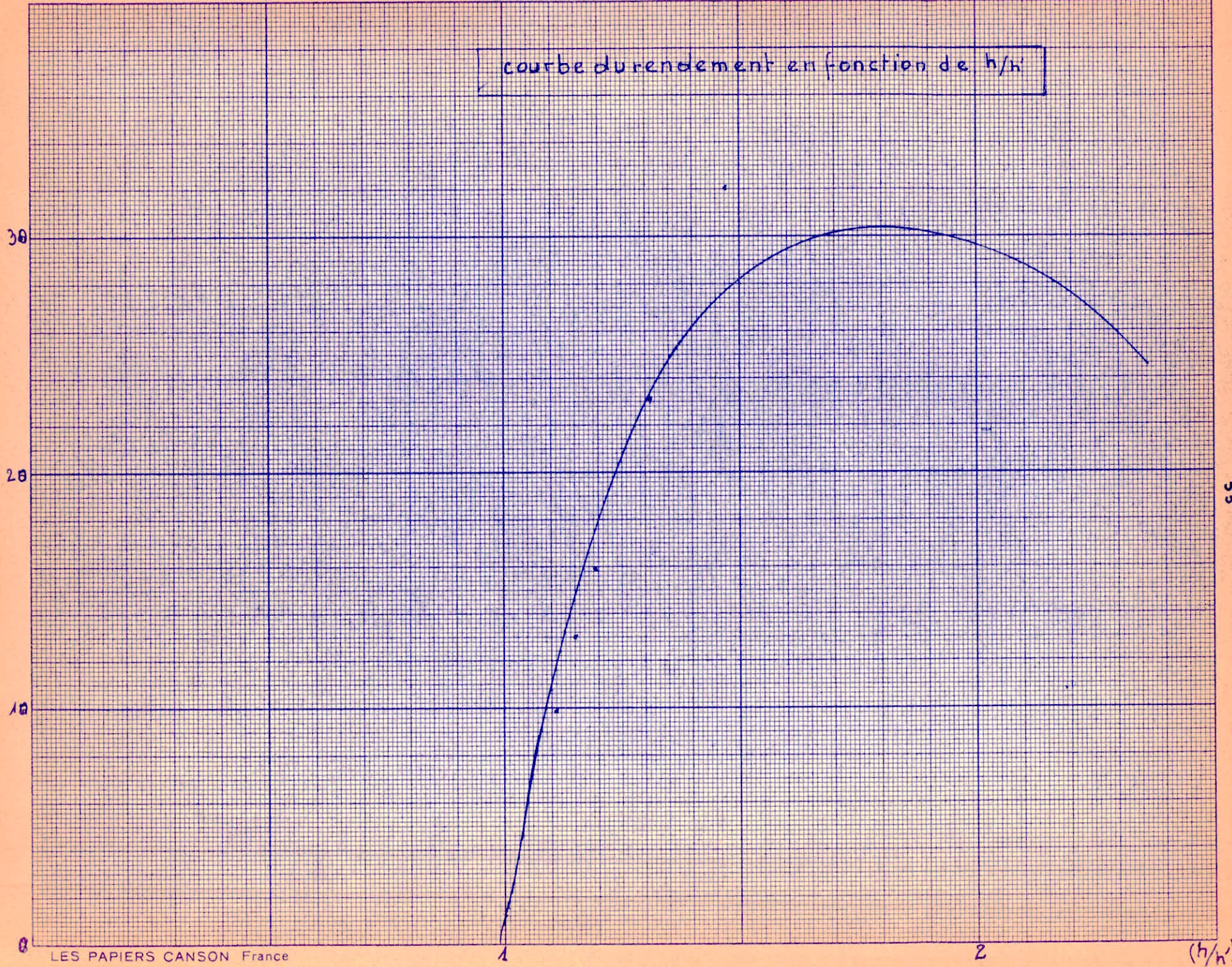
Le rendement  $\eta$  est donné par la formule:

$$\eta = \frac{\left( \frac{h^2}{h'^2} - 1 \right)}{\frac{h^2}{h'^2}}$$

h	h'	$\frac{h^2}{h'^2}$	$\frac{h^2}{h'^2} - 1$	$\eta\%$
0,06	0,057	1,11	0,11	9,9
0,06	0,056	1,15	0,15	13,0
0,07	0,064	1,18	0,18	15,9
0,08	0,070	1,31	0,31	23,6
0,085	0,07	1,47	0,47	32,0
0,09	0,08	1,27	0,27	21,3

Cette courbe nous permet d'affirmer que nous pouvons récupérer encore l'énergie de la houle continue. Si nous plaçons un deuxième flotteur dans la partie de la houle continue nous pouvons récupérer environ 32%. Ce qui donnerait un rendement de  $\approx 64\%$  et un mouvement équilibré au système.

courbe de rendement en fonction de  $h/h_i$



V/ CONCLUSION:

-Par comparaison aux courbes obtenues par Razkallah (1973-1974), nous constatons que la sélectivité, problème primordial, a été totalement éliminée; bien que le rendement que nous obtenons est faible par rapport à celui obtenu par la plaque. (voir courbes de la page )

-Cependant, nous pouvons encore améliorer le rendement en utilisant l'énergie de la houle continue, en plaçant un autre flotteur déplaçable par rapport au premier suivant la variation de la longueur d'onde.

-D'autre part le rendement faible que nous obtenons est dû par le fait que l'on n'utilise pas la totalité de la profondeur de l'eau mais seulement la partie qui donne le mouvement au flotteur.

-Par analogie au moteur à combustion, nous pouvons dire que notre système constitue lui-même un moteur à un cylindre; et par conséquent nous obtiendrons un mouvement équilibré si nous ajoutons plusieurs flotteurs; et ainsi nous obtiendrons un rendement meilleur.

-En ce qui concerne la réalisation pratique du modèle, nous pouvons constituer une "île flottante", vu le changement fréquent du niveau de la mer dû au phénomène de marée.

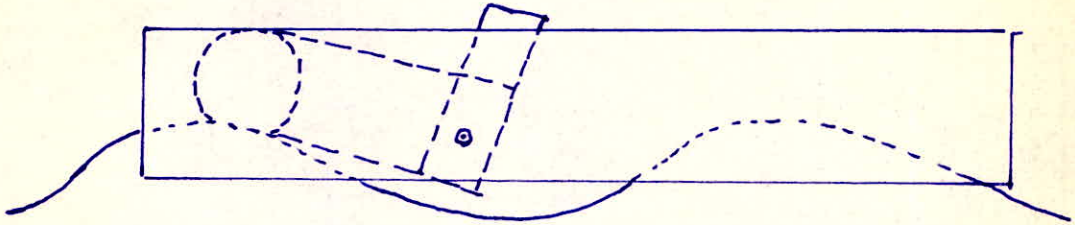
Cette "île flottante" sera constituée de plusieurs flotteurs parallèles et soudés entre eux pour constituer une plate-forme. Cette dernière donnera un niveau moyen de la mer au système "flotteurs-recepteurs" de houle. (voir fig.3)

-Enfin, pour terminer, je suggère à celui qui poursuivra cette étude de refaire une révision complète du système mécanique pour éliminer les pertes :

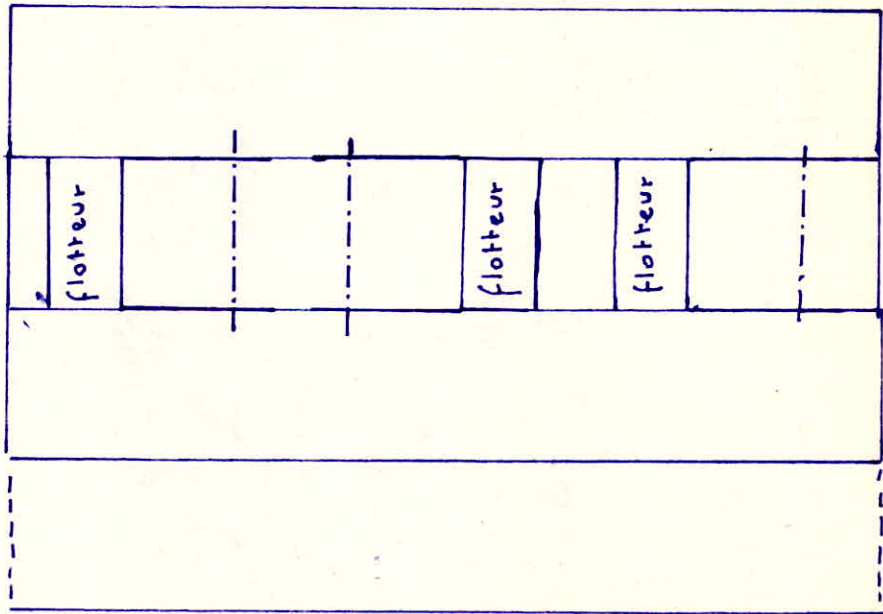
- + Pertes dues au jeu dans les axes
- + Pertes dues au frottement dans les roues libres.
- + Pertes dues à l'élasticité du système mécanique.

-Enfin je souhaite que cette étude sera réalisable dans un proche avenir et ainsi le problème de l'énergie sera pour une grande partie résolu.

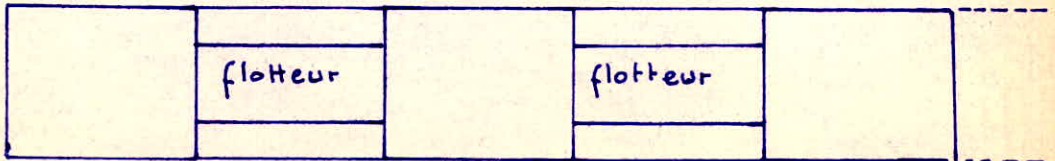
fig.3



vue de profil



vue de dessus



vue de face.

