

UNIVERSITÉ D'ALGER

14/77

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

1- GENERATEUR DE HOULE
Conception, Réalisation
et Expérimentation

Tome 1

Proposé par :

G. LAPRAY

Maître de Conférences

J. P. MULLER

Maître Assistant

Etudié par :

MECHKOUR Fatiha

SEMAOUI Salah

SIDI-MOUSSA Abderrahmane

PROMOTION JUIN 1977

UNIVERSITÉ D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية

— المكتبة —

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

1- GENERATEUR DE HOULE

Conception, Réalisation

et Expérimentation

Proposé par :

G. LAPRAY

Maitre de Conférences

J. P. MULLER

Maitre Assistant

Etudié par :

MECHKOUR Fatiha

SEMAOUI Salah

SIDI-MOUSSA Abderrahmane

PROMOTION JUIN 1977

Nous saisissons cette occasion pour adresser nos remerciements à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation, en particulier à Monsieur GESA LAPRAY, et Monsieur JEAN PIERRE MULLER pour l'aide et les conseils qu'ils n'ont cessé de nous prodiguer.

Notre reconnaissance va aussi à tous ceux qui nous ont aidé dans notre travail pour la réalisation de ce projet, particulièrement Madame DOUALANE Hamida, Mesdemoiselles SOUFI Hamida et BENDJABARA Saliha, Monsieur LOUALI Mokhtar, Monsieur KHETIB Mokhtar.

A Nos Parents, Frères et Soeurs ainsi que
tous nos Amis.

A mon Père, ma Mère, ma Soeur, mes Frères pour leur très
grande compréhension.

MECHKOUR FATIHA

Je dédie cette thèse à mon Père, ma Mère,
qui bien des fois au prix de nombreux sacrifices ont
tout fait pour me permettre de poursuivre mes études.

A mes Frères et Soeurs ainsi qu'à toute
ma famille.

A la Mémoire de mes Grands Parents, de
ma Soeur Malika et mon Cousin ELONG Mohammed.

SEMAOUI SALAH.

Je dédie cette thèse à ma Mère, mes grands frères
Mohamed et Sid Ahmed pour avoir tout fait pour que mes études
aboutissent.

- A mes Frères, Soeurs et Belles Soeurs ainsi qu'à toute
ma famille.

- A la Mémoire de mon Père et ma Soeur Djaouida.

SIDI MOUSSA ABDERRAHMANE

S O M M A I R E :

- INTRODUCTION
- THEORIE DE LA HOULE
 - a- Houle de STOCKES
 - b- Houle de GERSTNER
- ETUDE MECANIQUE DU GENERATEUR DE HOULE
- EXPERIMENTATION
- CONCLUSION

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

-o-o-o-o-

INTRODUCTION GENERALE

De tout temps l'homme s'est préoccupé de la production d'énergie. Au fil des siècles, les ressources énergétiques s'épuisant, elles ne répondèrent plus à un besoin accru d'énergie.

Aussi des sources d'énergie naturelles et inépuisables telles les marées, les seiches, les houles jusque là ignorées, deviennent à l'ordre du jour de la recherche au cours de ces dernières années.

Vu le faible marnage de la méditerranée, l'Algérie qui est pourvue de 1.400 Km de côtes, serait particulièrement intéressée par l'exploitation de l'énergie de la houle dans la mesure où celle-ci présenterait des facilités d'exploitation et un rendement appréciable. L'énergie de la houle représenterait en effet 250 fois l'énergie globale produite actuellement en Algérie, d'autre part; elle aurait le gros avantage de n'être pas polluante.

Malheureusement la houle de part son irrégularité ne peut être utilisée sous forme de force motrice continue, aussi est-il nécessaire de transformer en énergie potentielle accumulable, l'importante quantité d'énergie véhiculée par la mer.

Le but de notre étude est donc de reproduire la houle méditerranéenne sur modèle réduit, (soit dans un canal réalisé par nos prédécesseurs) et de récupérer son énergie avec le meilleur rendement possible.

Les études précédentes ont donné les résultats suivants :

1971 : Obtention d'un bon rendement pour une fréquence bien déterminée.

1974 : Obtention d'un rendement plus faible mais pour une grande gamme de fréquences.

Pour éliminer cette sélectivité et améliorer le rendement, nous avons été amené à modifier le système mécanique générateur de la houle, le système récepteur de l'énergie véhiculée par la houle, et le système destiné au stockage de l'énergie produite par la houle.

La description et le fonctionnement de ces divers systèmes seront étudiées suivant 3 parties bien définies.

Auparavant, il est nécessaire de donner une analyse mathématique de la houle et de définir ses caractéristiques physiques.

T H E O R I E D E L A H O U L E

-0-0-0-

ANALYSE MATHÉMATIQUE DE LA HOULE

Nous faisons remarquer au lecteur que notre but n'est pas de développer la théorie de la houle chose déjà faite par de grands savants tels que GERSTNER, STOKES, ... mais de rappeler les résultats fondamentaux de la théorie.

Auparavant, définissons le phénomène "houle" et ses caractéristiques :

Le vent balayant la surface de la mer, provoque la formation d'ondulations plus ou moins irréguliers appelées vagues ou lames. Ce phénomène tend à se régulariser et donne naissance à un mouvement caractérisé par une série d'ondulations cylindriques équidistantes, se propageant en surface avec une célérité constante " C " perpendiculaire aux crêtes. L'ensemble de ces ondulations est appelé "houle".

1° - CARACTERISTIQUES DE LA HOULE :

Celle-ci est caractérisée par :

a) - son amplitude ou hauteur de creux désignée par "h"; c'est la distance verticale entre le sommet des crêtes et le fond des creux.

b) - sa longueur d'onde "L" représentée par la distance entre deux crêtes ou creux consécutifs.

c) - sa période "T" qui est l'intervalle de temps qui s'écoule entre le passage de 2 creux ou 2 crêtes consécutifs en un même point.

d) - vitesse moyenne de propagation des crêtes ou célérité "C".

e) - sa cambrure "h" rapport entre l'amplitude et la longueur d'onde.

f) - la direction des lames qui est perpendiculaire aux crêtes dans le sens de la propagation.

On a trouvé des solutions mathématiques plus ou moins rigoureuses qui diffèrent essentiellement par le mouvement des particules fluides.

A - HOLLE DE GERSTNER EN PROFONDEUR INFINIE :

La première solution rigoureuse en profondeur infinie a été donnée par GERSTNER en 1802 d'après des considérations géométriques :

la surface libre de l'eau a un profil de trochoïde et les trajectoires des particules sont circulaires (fig.1). Leur diamètre diminue exponentiellement quand la profondeur augmente fig.(2). Le mouvement est rotationnel.

A chaque instant la position de la particule évoluant autour d'un point (X_0, Y_0) est donnée par :

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

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

(X_0, Y_0) position moyenne.

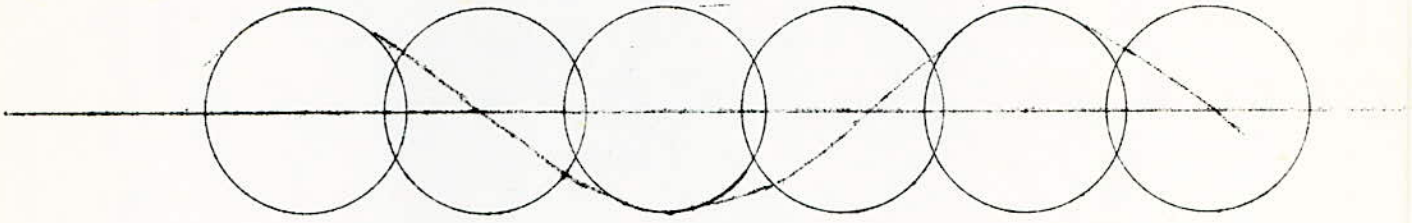


Figure 1

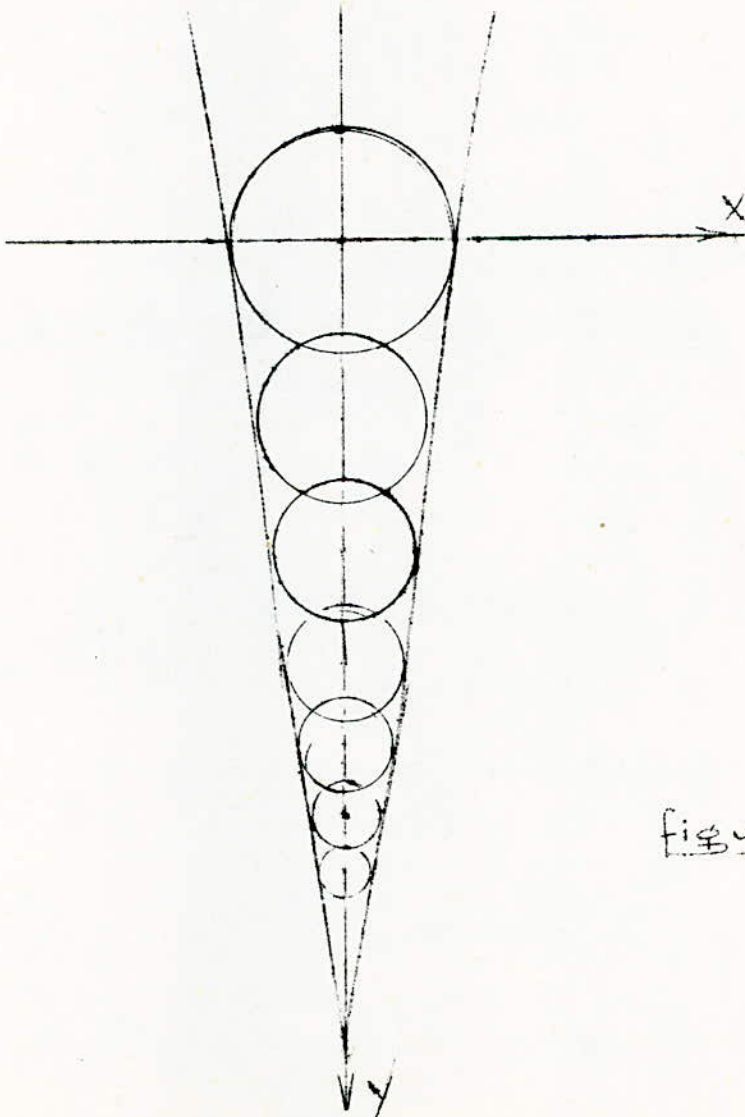


Figure 2

Y représentant la profondeur comptée à partir du niveau moyen, le rayon et le déphasage des orbites sont données respectivement par :

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

$$\varphi = \frac{2\pi}{L} X_0$$

On démontre que ce mouvement trochoïdal est mathématiquement possible et qu'il constitue une solution de la houle en profondeur infinie. Pour cela il suffit de démontrer qu'il satisfait aux conditions d'invariance des masses et de constance de pression à la surface libre.

Ces conditions exigent que la longueur d'onde et la période soient liées par la relation suivante :

$$T^2 = \frac{2\pi}{g} L \quad \text{gi accélération de la pesanteur}$$

ou encore

$$c = \frac{L}{T} = g \frac{L}{2\pi} = \sqrt{\frac{g}{2\pi} L}$$

Le niveau moyen, qui est à égale distance des niveaux extrêmes de la trochoïde, est surélevé d'une distance $\Delta = \frac{\pi h^2}{4L}$, par rapport au niveau de repos de l'eau (fig.3).

ETUDE DE L'ENERGIE :

L'énergie cinétique de la masse d'eau fixe comprise entre deux plans fixes distants de la longueur d'onde "L" reste toujours égale à l'énergie potentielle. La somme de ces deux énergies soit l'énergie totale véhiculée par période est :

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

La 2ème solution mathématique du problème de la houle fut donnée par STOKES. Il considère des houles irrotationnelles en profondeur infinie.

Dans ces houles, les trajectoires des particules ne sont pas fermées; il y a par conséquent un courant lié à la houle et portant dans la direction de propagation. Ce mouvement est un mouvement "d'entraînement" ou un "transport de masse" dans cette direction.

Ces solutions rigoureuses ont été obtenues dans l'hypothèse d'une mer infiniment profonde; et pratiquement dès que cette profondeur devient de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, la solution du problème est plus difficile; mais on y retrouve la même variété de solutions qu'en profondeur infinie.

B - HOULE IRROTATIONNELLE DE STOCKES :

a) - cas de la profondeur infinie. STOCKES a proposé une solution qui est moins exacte que celle de GERSTNER car, la surélévation du niveau moyen par rapport au niveau de repos est négligé.

Le m v t de la particule est entièrement décrit par les équations suivantes :

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

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

(X_0, Y_0) étant les coordonnées de repos de la particule

b) - cas de la profondeur finie. Soit H cette profondeur supposée constante, le mouvement est décrit par les équations :

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

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

(X_0, Y_0) étant la position de repos de la particule.

Les conditions de constance de la pression à la surface libre et d'invariance de la masse, se traduisent par les relations suivantes :

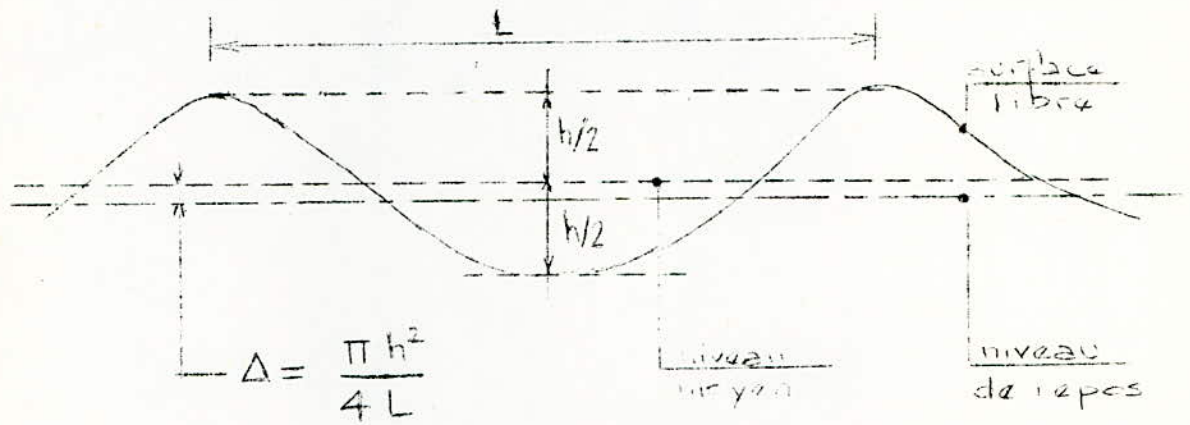


Figure 3

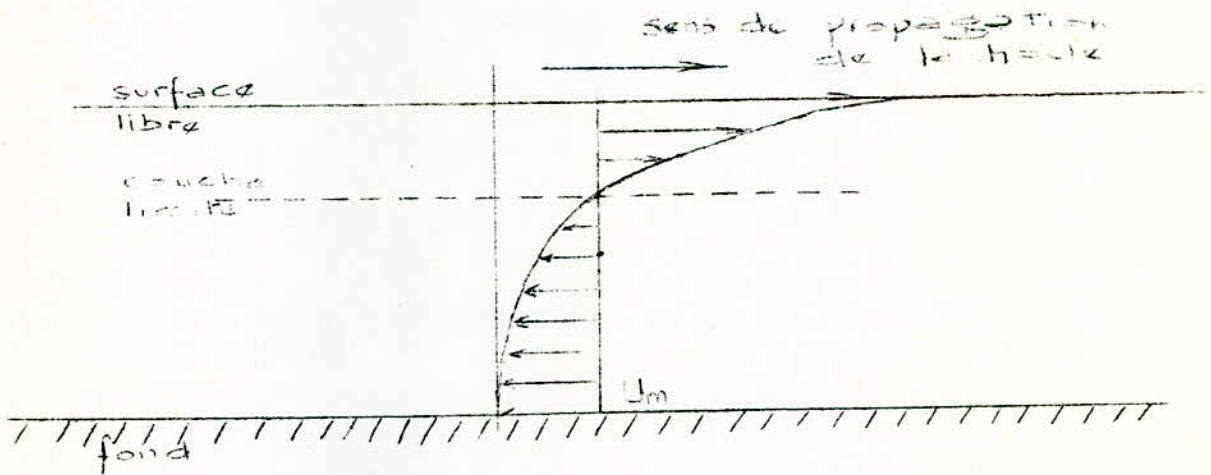


Figure 4 - Répartition des vitesses.

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

$$C^2 = \frac{L^2}{T^2} = \frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi H}{L}\right)$$

Le maximum de vitesse au fond est :

$$U_m = \frac{\pi}{T} \frac{h}{\operatorname{sh}\left(\frac{2\pi H}{L}\right)}$$

Le niveau moyen est surélevé par rapport au niveau de repos de :

$$\Delta = \frac{\pi h^2}{4L} \coth\left(\frac{2\pi H}{L}\right)$$

L'énergie transmise pendant une période (énergie composée des énergies cinétique et potentielle des particules) est égale à :

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

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

Ces houles sont accompagnées d'un mouvement d'entraînement. Dans un canal "fermé", le flux total devant être nul, la répartition des vitesses a l'allure donnée par la figure (4.)

La vitesse sur le fond est horizontale et parallèle au fond. Son maximum est :

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

La vérification expérimentale complète de ces théories n'a pas encore été faite, les observations de la mer sont très difficile en raison de la présence de plusieurs périodes de houle, insuffisamment précises pour amener une confirmation de l'une des théories et d'autre part, dans les expériences en modèles réduits, rien n'indique que les vagues étudiées soient strictement analogues à celles que l'on rencontre dans la mer. Pour notre étude, nous avons essayé de nous placer dans les conditions de houles qui se rapprochent le plus des houles méditerranéennes c'est-à-dire, des houles cylindriques, de cambrure ne dépassant pas 0,1.

ETUDE MECANIQUE

-0-0-0-0-

ETUDE DE L'ENSEMBLE GENERATEUR DE LA HOULE

I - CANAL DE LA HOULE (Fig 5) :

C'est un canal rectangulaire réalisé en plexiglas. Il a 10 m de long, 0,49 m de large et 0,40 m de profondeur. Il comporte en plus à ses extrémités deux plages dont l'inclinaison a été calculée de façon à diminuer le phénomène de reflexion de la houle et par suite d'éliminer le clapotis.

Un volet en plexiglas, entraîné par un système de bielle-manivelle, pivote autour de charnières fixées au fond du canal. Il provoque ainsi " la houle ".

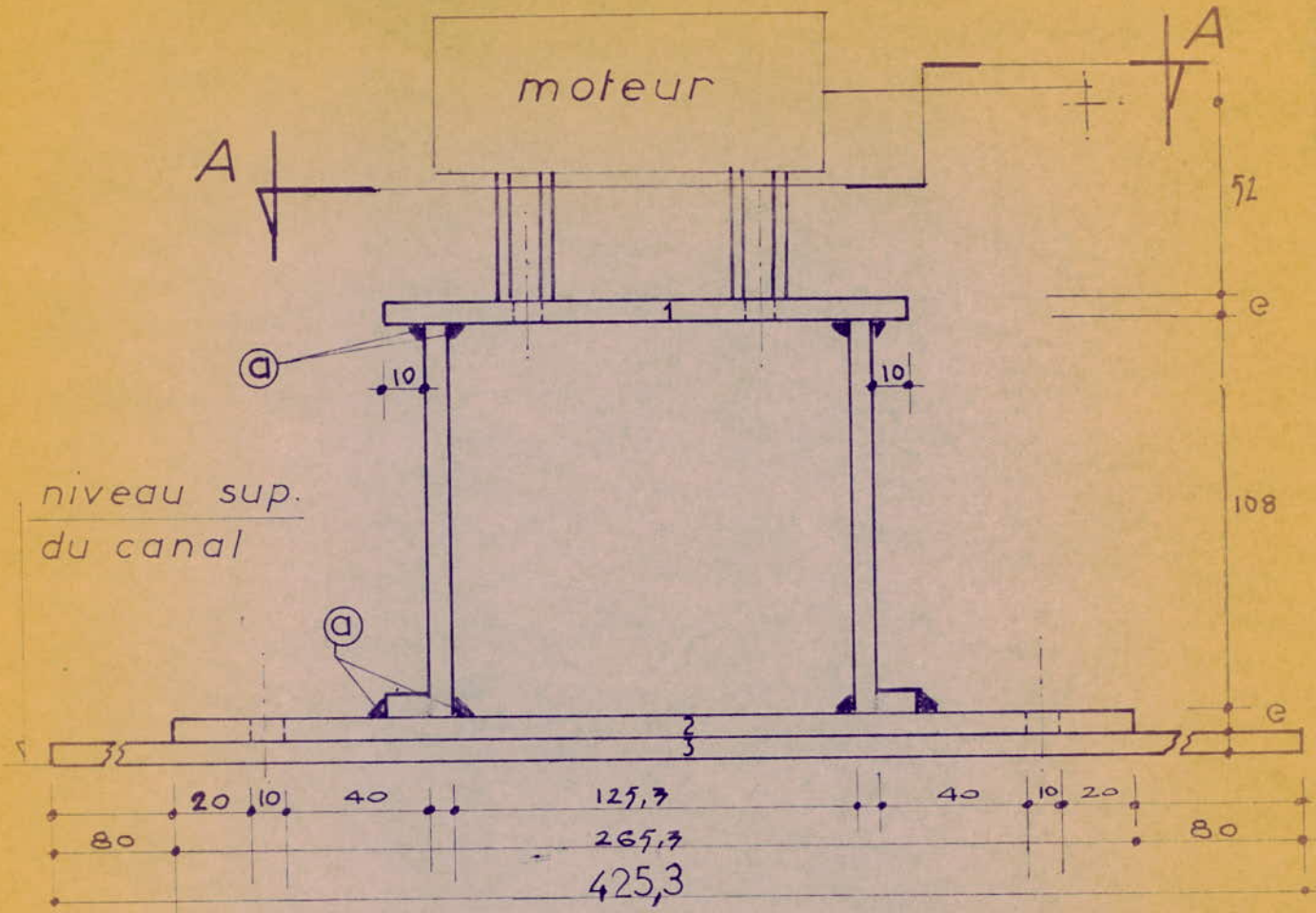
II - SYSTEME MOTEUR (fig. 6) :

Lors des expériences faites les années précédentes avec le moteur Moulinex; nous avons constaté que la houle provoquée était irrégulière.

En effet, il y avait un dédoublement de la crête des vagues. Ceci était dû aux jeux importants qui existaient sur l'axe du moteur. Deux solutions s'étaient présentées à nous pour remédier à cela :

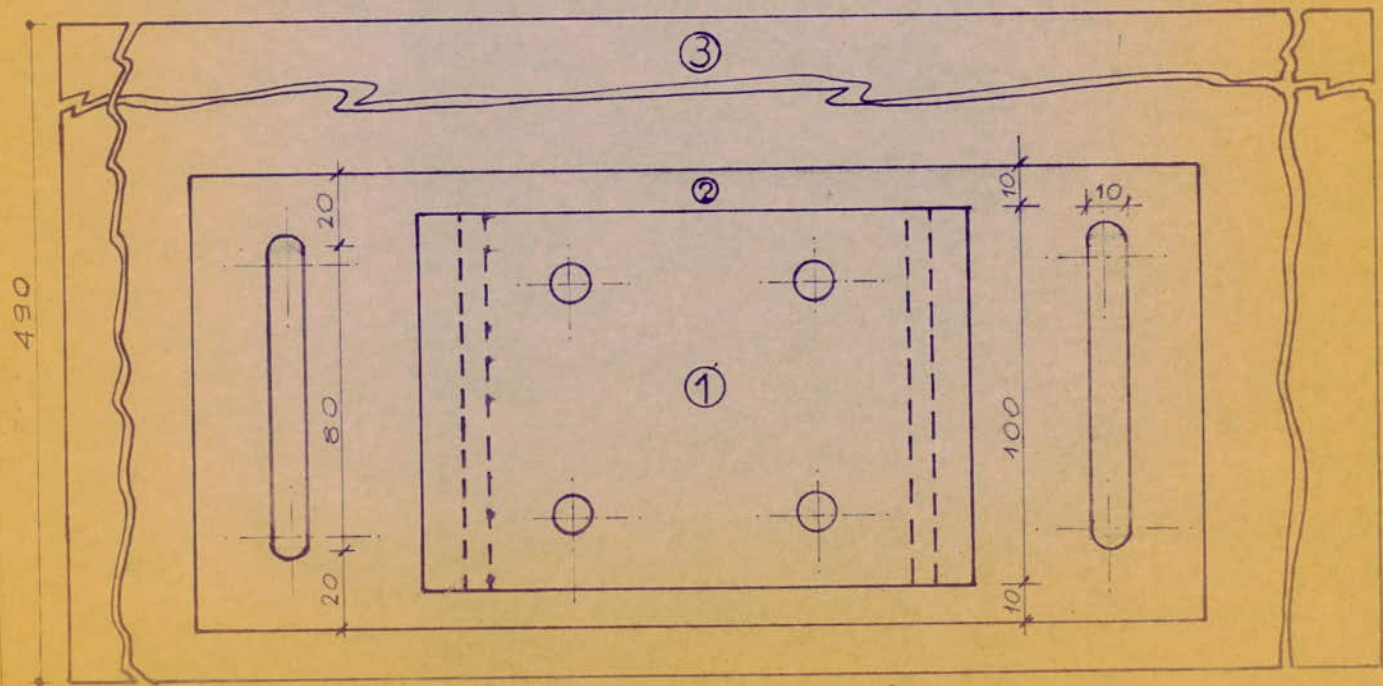
- soit mettre une roue d'inertie qui aura pour but d'uniformiser le mouvement de l'axe du moteur,
- soit changer le moteur.

6. SUPPORT MOTEUR



COUPE AA

ⓐ soudure
e = 3 mm



Cette dernière solution ayant été retenue, il fallait reviser entièrement le système mécanique existant à savoir, le moteur et la transmission bielle-manivelle.

Pour ce qui est du moteur, nous l'avons remplacé par un autre de puissance plus grande fonctionnant en courant continu. Un rhéostat branché sur le moteur permet d'avoir des vitesses sur l'arbre entre 40 et 136 tr/mn.

Pour avoir une plus grande gamme de vitesses, donc une plus grande variation de longueurs d'onde de la houle, nous avons introduit un système de démultiplication de vitesses avec transmission par courroie.

Ceci nous a amené à constituer un système de quatre poulies réalisées dans du plexiglas de 20 mm. L'une de ces quatre poulies remplacera la poulie métallique du moteur, qui s'avère trop petite.

Ce moteur repose sur le canal par l'intermédiaire d'un support métallique en forme de boîtier, pouvant coulisser sur une plaque. Pour pouvoir adapter facilement la courroie sur les poulies, aligner la poulie existant sur le moteur avec l'une des trois poulies de l'arbre de transmission, tendre la courroie, il est nécessaire de prévoir un système de réglage de l'ensemble moteur (c'est-à-dire, moteur plus support) :

- un déplacement transversal du système boîtier-moteur par rapport à la plaque fixée sur la canal, ceci dans le but d'aligner la poulie du moteur avec l'une des trois autres poulies.

- un déplacement longitudinal du moteur par rapport au canal. Le boîtier moteur étant fixé à la plaque métallique le supportant, on déplace celle-ci de façon à tendre ou détendre la courroie.

Pour permettre ces deux déplacements, nous avons prévu deux séries de deux rainures orthogonales : deux rainures perpendiculaires au canal faites dans le support en forme de boîtier et deux autres parallèles au canal réalisées dans la plaque métallique supportant l'ensemble boîtier-moteur.

III - SYSTEME BIELLE - MANIVELLE :

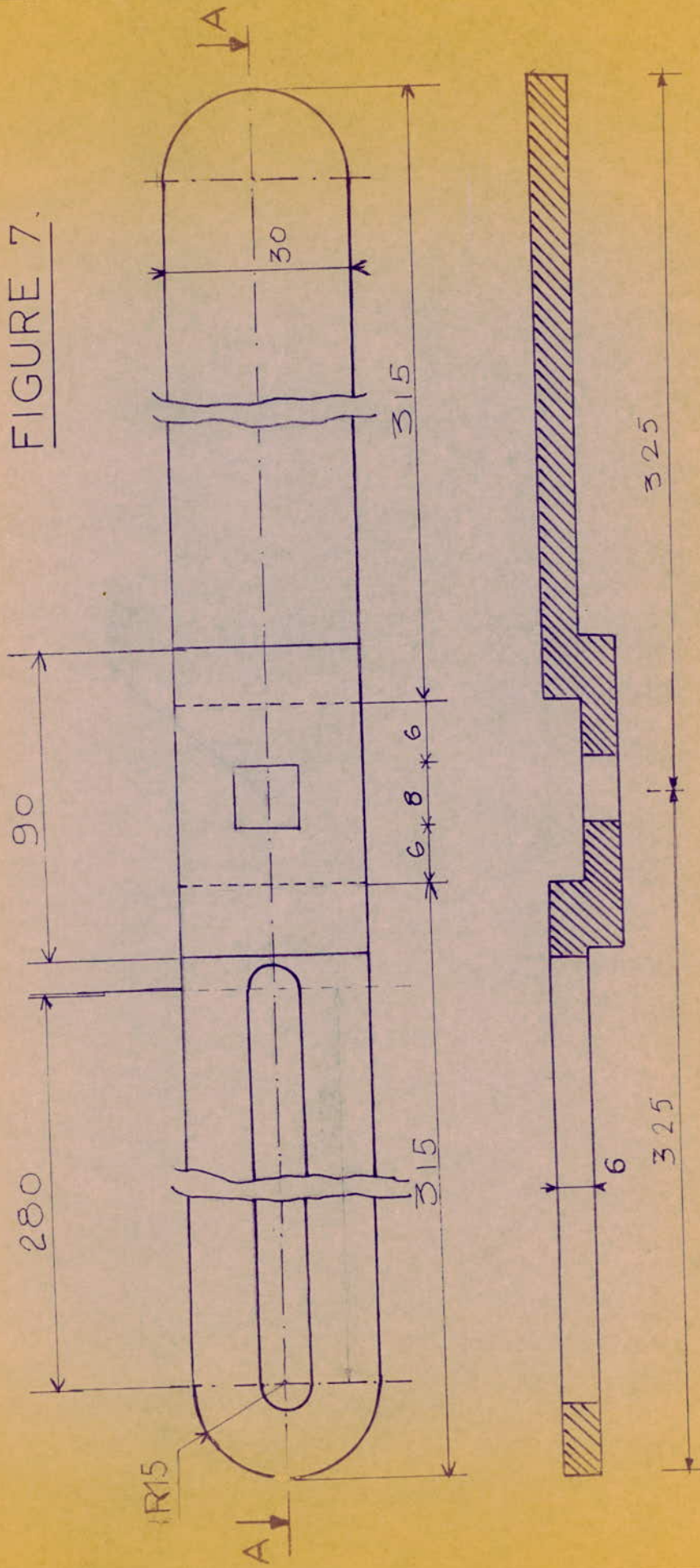
a) - Manivelle (fig. 7) :

Le mouvement de rotation de la manivelle se transmet par l'intermédiaire d'une bielle au volet rigide, en un mouvement oscillatoire. En fonction de l'amplitude de ce volet, nous aurons des amplitudes de houles, variables.

Dans le but d'obtenir un maximum de déplacement du volet (environ 30 degrés par rapport à la verticale soit le double de l'amplitude obtenue avec l'ancien système) nous avons dû doubler la longueur de la manivelle.

Pour que le volet oscille toujours autour d'un axe vertical médian, il est nécessaire d'augmenter le bras du volet afin que la fixation de la bielle sur le volet soit au même niveau que le centre de rotation de la manivelle (fig 8).

FIGURE 7.



COUPE AA

échelle : 1

manivelle d'entraînement
matière Inox

FIG. 8

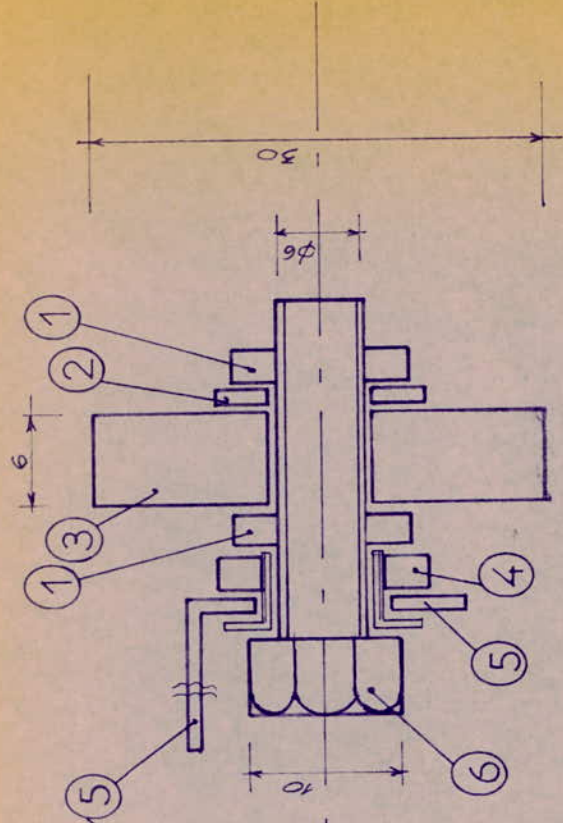
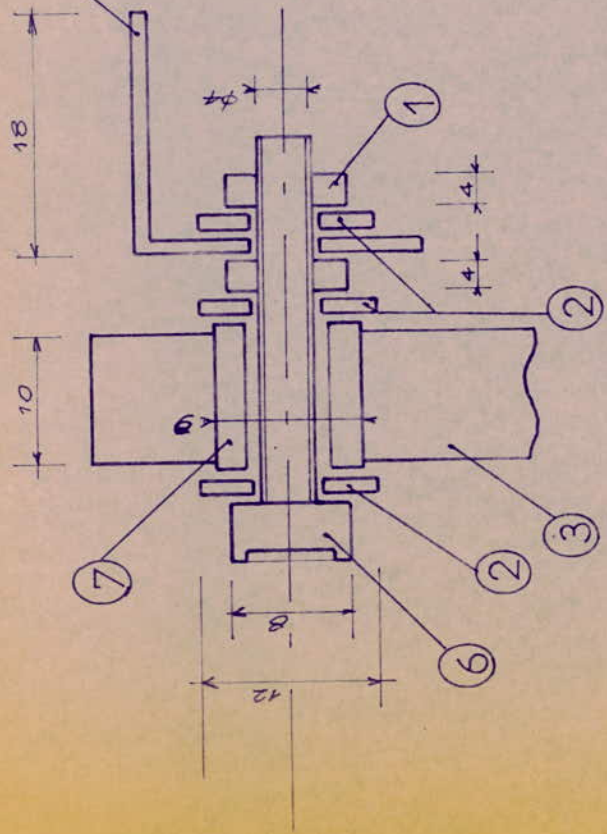


FIG. 10 86

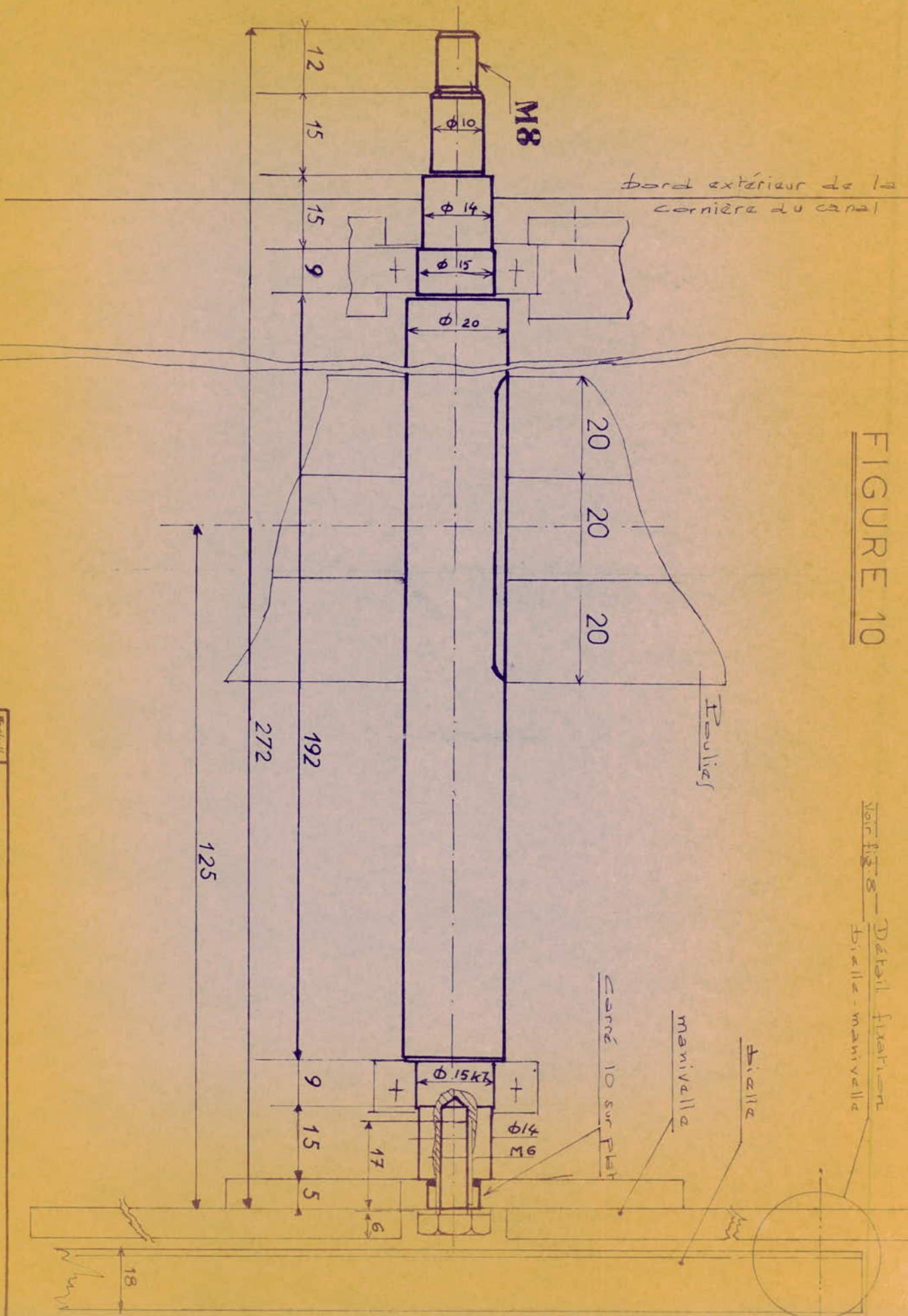


Légende:

- | | | | |
|---|--------------|---|-------------------|
| 1 | écrou | 5 | cornière J18.18.2 |
| 2 | rondelle | 6 | boulon |
| 3 | manivelle | 7 | tube |
| 4 | bague laiton | | |

FIGURE 10

voir fig 8 - Detail fixation
boulon - manivelle

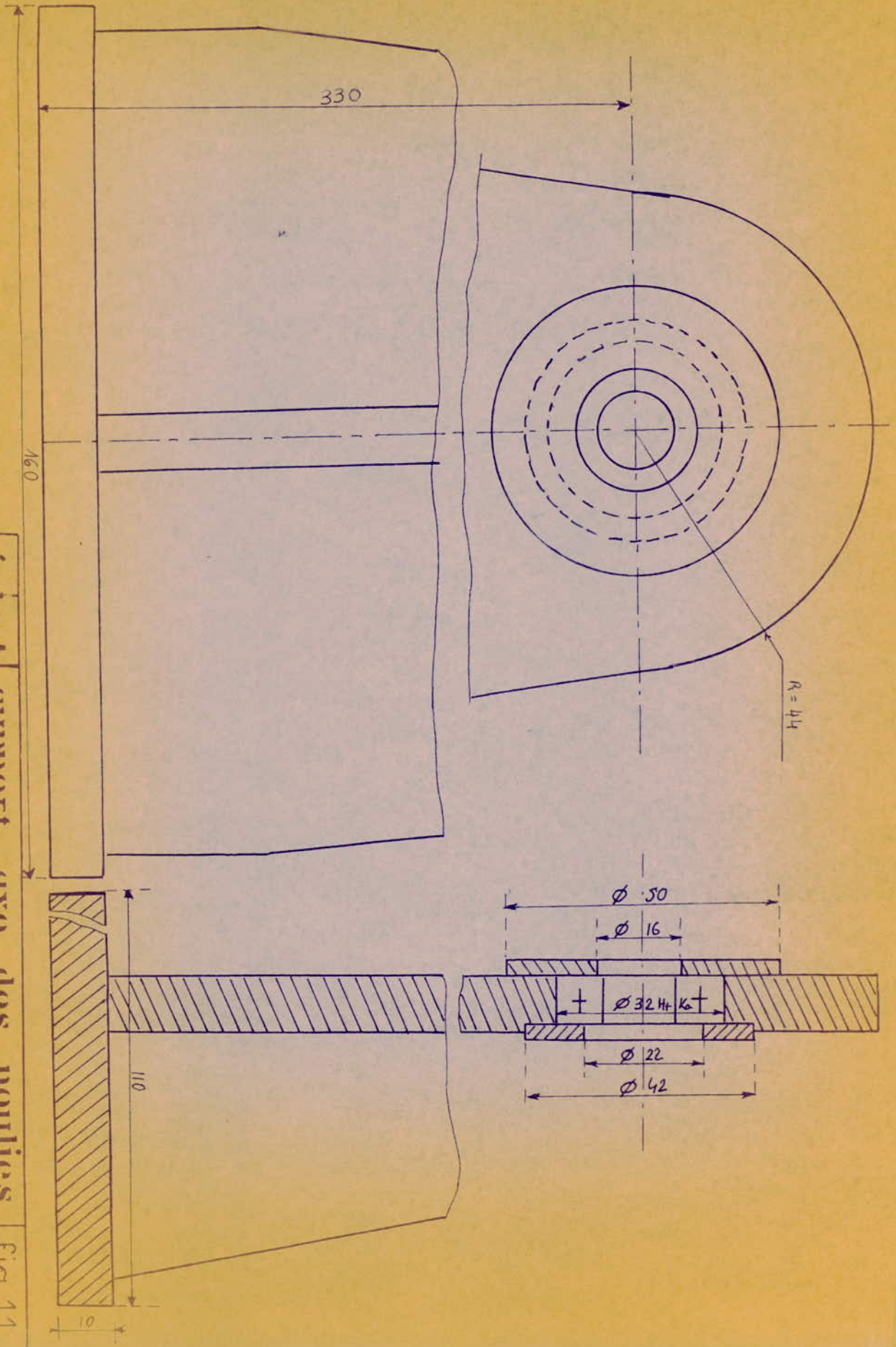


Échelle

ARBRE - POULIES.

écl: 1 support fixe des poulies
matière plexiglas

Fig. 11



Sinon le volet oscille autour d'un axe incliné et nous obtiendrons une houle inclinée.

EN augmentant le bras du volet, on diminue l'amplitude de celui-ci.

Aussi, une méthode graphique nous a permis de déterminer les longueurs de manivelle et du manche, donnant au volet un déplacement angulaire de 30° .

La manivelle a été réalisée en acier inoxydable. Elle a été évidée par une rainure de 1 cm de façon à obtenir par églage une variation de l'amplitude du volet batteur.

La bielle vient se fixer sur la rainure de la manivelle au moyen d'un système de serrage permettant la libre rotation bielle-manivelle (fig. 7).

La manivelle a été de plus prolongée en son extrémité par une plaque en inox, servant à équilibrer le mouvement de l'ensemble bielle-manivelle (fig. 7).

b) - Bielle (Fig. 9) :

Elle a été réalisée en plexiglas de 1 cm d'épaisseur. Pour éviter les accoups dans le système bielle-manivelle, il était nécessaire de prévoir une longueur de bielle égale au moins à quatre fois celle de la manivelle. Nous avons adopté une longueur égale à 4,5 fois celle de la manivelle. Pour éviter le flambement, nous l'avons raidi sur toute la longueur par une plaque de même matière.

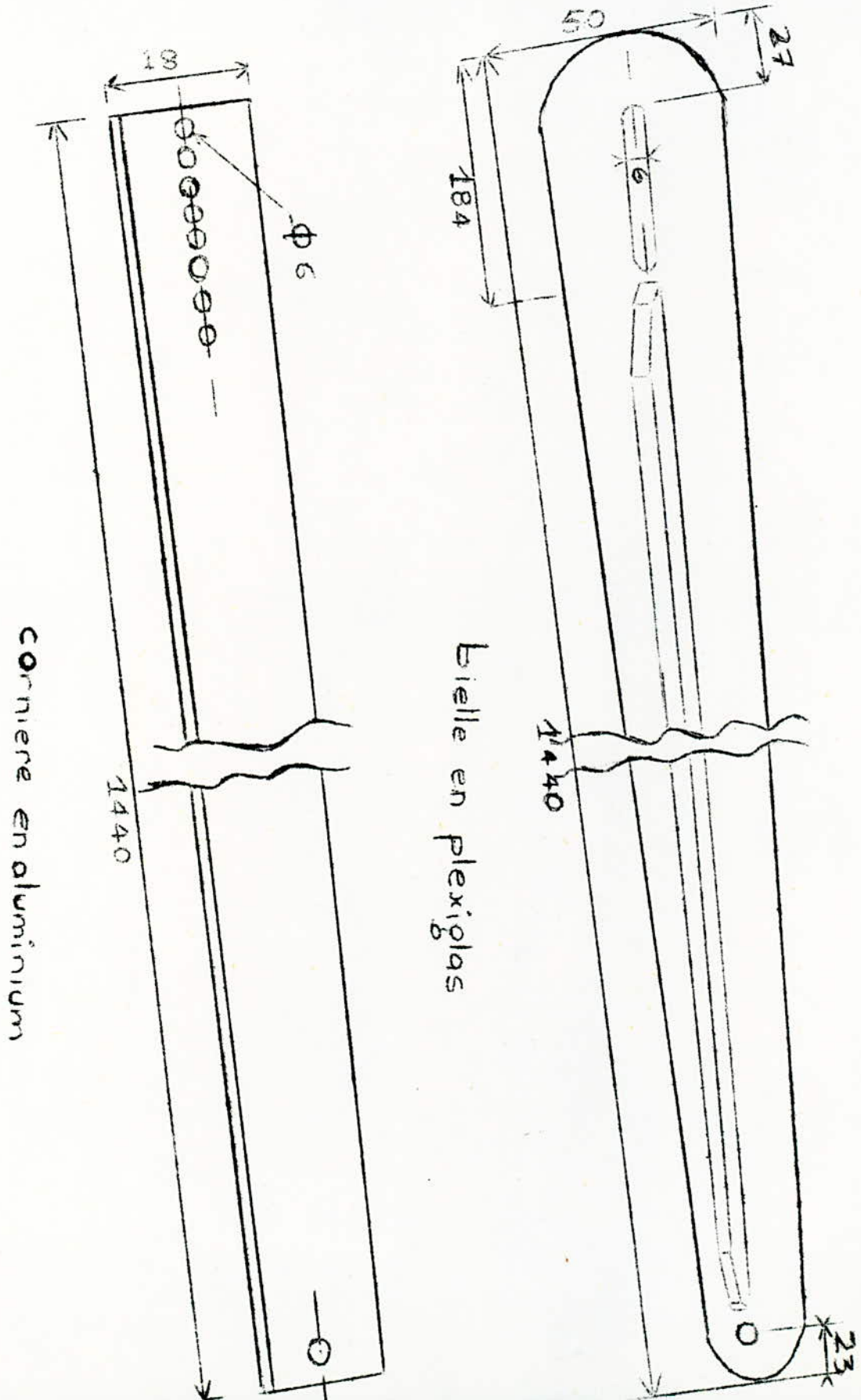


Figure 9

Une rainure a été faite à l'extrémité de la bielle reliée à la manivelle, car suivant les longueurs de manivelle avec lesquelles nous travaillerons, il sera nécessaire de régler la longueur de bielle afin que le volet batteur oscille toujours autour d'une position verticale.

Lors des essais, cette bielle en plexiglas s'étant avérée trop lourde, nous l'avons remplacée par une cornière en aluminium ayant les mêmes caractéristiques (longueur, réglage par une série de trous successifs, fig. 9).

Le détail de la fixation bielle volet permettant la libre rotation est donnée par la figure 8_b .

IV - SYSTEME DE POULIES EN PLEXIGLAS DE 20 mm :

a) - Poulie du moteur :

L'idée première était de fixer sur l'axe du moteur, un système de trois poulies avec trois autres sur l'arbre de transmission.

Ce qui nous aurait permis d'avoir une plus grande gamme de vitesses.
Malheureusement, l'axe du moteur est trop court et ne peut supporter le poids important des poulies et l'effet conjugué de la traction de la courroie.

Aussi, l'idée a été écartée, et nous avons adopté une seule poulie sur le moteur.

b) - Arbre supportant les poulies (fig. 10) :

Il a été réalisé en inox et usiné au département mécanique.

c) - Poulies :

Ces poulies ont été faites au tour dans du plexiglas de 20 mm. Le choix de cette matière est tout indiqué vu la faible densité du plexiglas par rapport au métal, et la grande facilité d'usinage.

Pour qu'il y ait rotation parfaite de l'ensemble des poulies, nous avons collé leur surface externe au chloroforme. De même pour qu'il n'y ait pas possibilité de rotation des poulies par rapport à l'axe les supportant, nous avons prévu une clavette métallique (fig. 10).

L'ensemble formé par les poulies et l'arbre de transmission repose sur un support en plexiglas, démontable, en forme de L, fixé lui-même au canal par l'intermédiaire d'une plaque en plexiglas épais (fig. 11).

Ce support est doté de deux roulements à billes pour éviter les frottements de l'axe sur le plexiglas.

V - CALCUL DES POULIES :

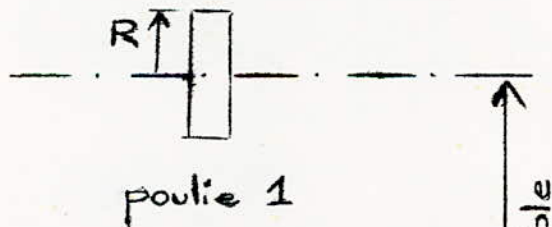
Nous avons une courroie trapezoïdale de longueur moyenne 1639 mm.

Sachant que les vitesses données par le moteur varient entre 40 et 136 tr/mn, le calcul des poulies a été fait de façon à avoir sur l'arbre des vitesses multipliées par 0,5; 1 et 1,5.

Nous aurons alors le système de poulies suivant :

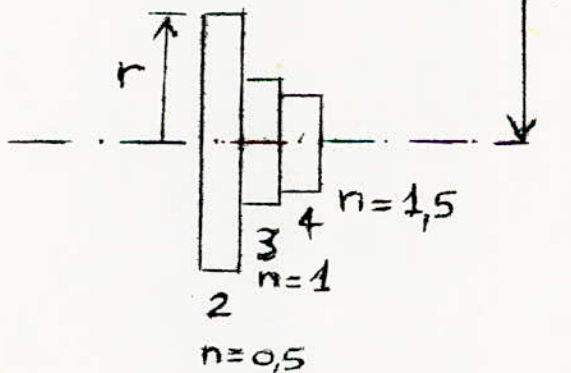
Vue de dessus

Moteur



vitesses \div (40-136) tr/mn

Arbre



vitesses \div n (40-136) tr/mn

Les vitesses permises sur l'arbre seront donc suivant le système de poulies considéré :

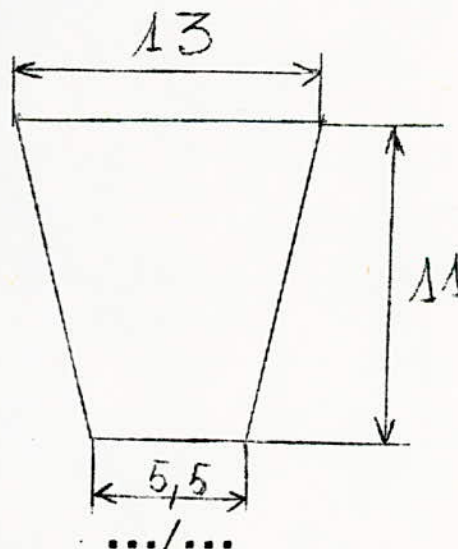
- * Poulies 1 - 2 : vitesses variant entre 20 et 68 tr/mn avec un rapport de démultiplication égal à 0,5.
- * Poulies 1 - 3 : vitesses variant entre 40 et 136 tr/mn avec un rapport de démultiplication égal à 1.
- * Poulies 1 - 4 : vitesses variant entre 60 et 204 tr/mn pour un rapport de démultiplication égal à 1,5.

En principe, le système de poulies 1-2 et 1-4 suffit à lui seul à décrire toute la gamme de vitesses voulue. Mais nous avons rajouté le système de poulies 1-4 pour faire travailler le moteur en régime nominal.

ETUDE THEORIQUE DES POULIES :

a) - Description des poulies :

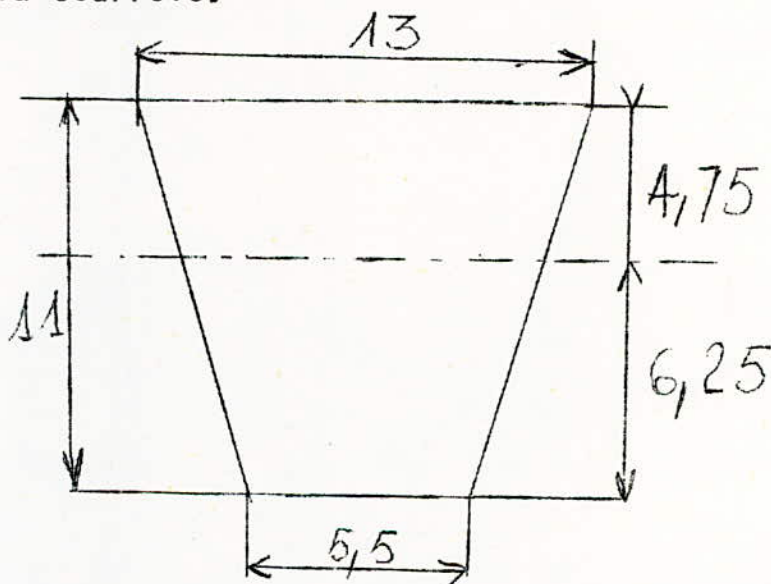
Nous avons une courroie trapezoïdale de section suivante :



Les poulies auront donc une gorge trapezoïdale dont les dimensions seront déterminées d'après les normes.

Nous adoptons pour la poulie 1, fixée sur le moteur un diamètre extérieur de 94 mm.

Pour pouvoir déterminer les dimensions des autres poulies, il est nécessaire de prendre le rayon moyen de poulie 1. Pour cela, considérons la position de la fibre neutre de la courroie.



Nous nous imposons une profondeur de gorge des poulies égale à 14 mm de façon à ce que la courroie ne repose pas sur le fond de la gorge (car la transmission du mouvement de la courroie à la poulie se fait par l'intermédiaire des parois latérales). Pour déterminer les rayons moyens des poulies, il suffit de considérer une coupe de la poulie 1, puis les rapports de démultiplication.

Les rayons moyens, extérieurs et intérieurs des poulies 2, 3, 4 se déduisent de la même manière à l'aide de simples considérations géométriques.

On aura respectivement :

$$\text{Poulie 2} \quad n = 0,5 \quad r \text{ moyen} = 42 \times \frac{1}{n} = \frac{42}{0,5} = 84,5$$

$$\begin{aligned} r \text{ extérieur} &= \text{rayon moyen} + 4,75 \\ &= 84,5 + 4,75 = 89,25 \end{aligned}$$

$$r \text{ intérieur} = r \text{ ext.} - 14 = 89,25 - 14 = 75,25$$

$$\text{Poulie 3} \quad n = 1$$

$$r \text{ moyen} = 42,25 \text{ cm}$$

$$r \text{ ext.} = 47 \text{ cm}$$

$$r \text{ int.} = 33 \text{ cm}$$

$$\text{Poulie 4} \quad n = 1,5$$

$$r \text{ moyen} = \frac{42,25}{1,5} = 28,17 \text{ cm}$$

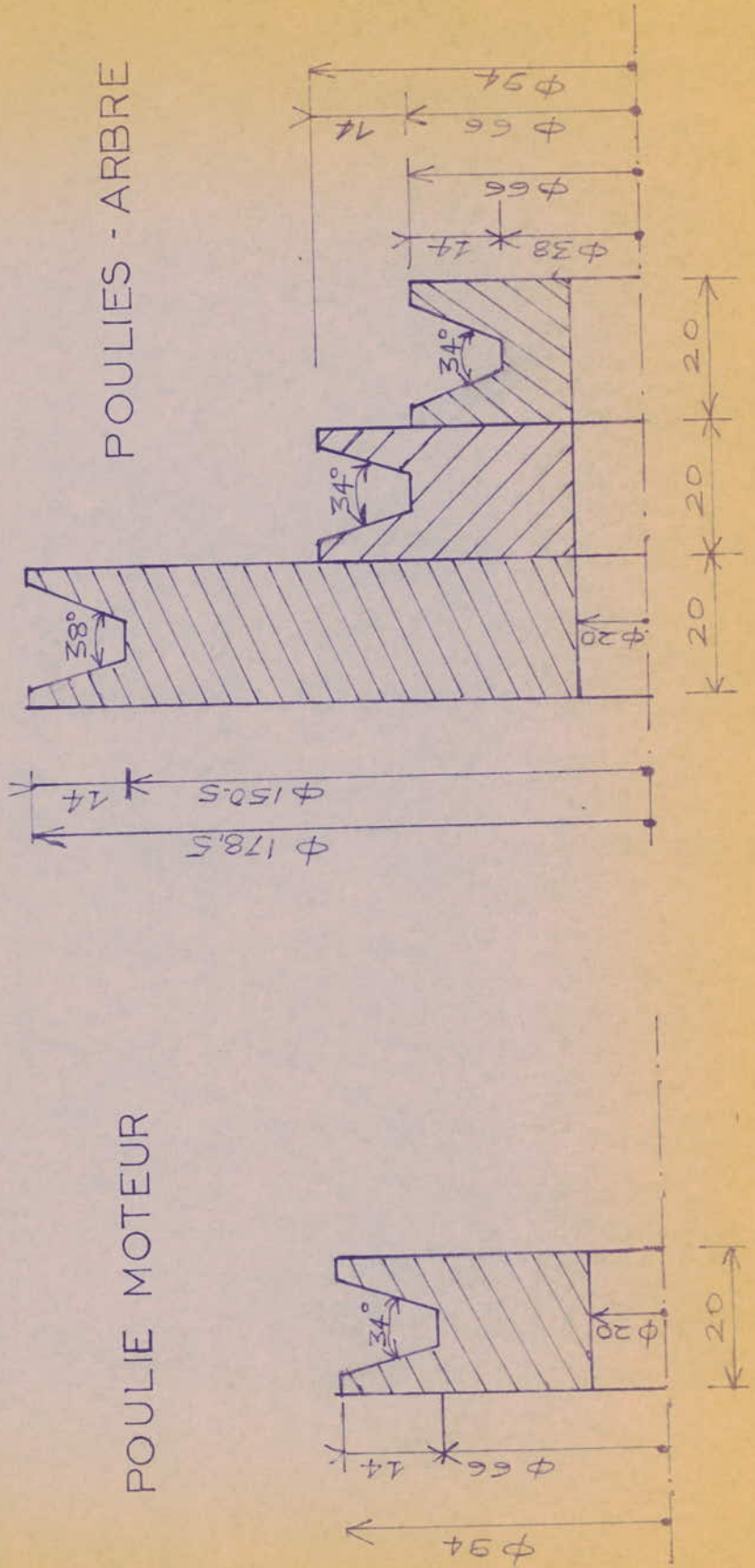
$$r \text{ ext.} = 33 \text{ cm}$$

$$r \text{ int.} = 19 \text{ cm}$$

L'inclinaison des parois latérales (à savoir l'angle α) est donnée par les normes :

FIGURE 12

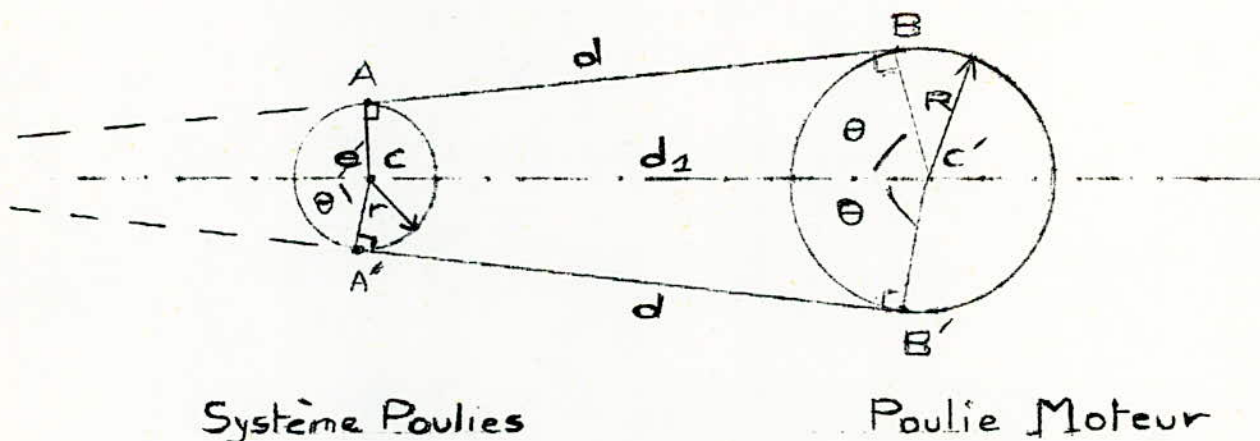
Echelle: 1



b) - Etude théorique :

Le but de ce calcul est de déterminer exactement la distance entre axes des poulies, le façon à prévoir la longueur des rainures permettant les déplacements transversal et longitudinal du moteur.

Les calculs seront faits avec les rayons moyens des poulies, et la longueur moyenne de la courroie. Pour cela considérons la figure suivante :



On veut trouver une relation de la forme $L = F(d_1, R, r, n)$.

On a d'après des considérations géométriques simples : la longueur de

courroie donnée par : $L = 2d + 2R(\pi - \theta) + 2\theta r$. (1)

$$\frac{OA}{OC} = \frac{OB}{OC'} = \frac{AB}{CC'} = \frac{d}{d_1} \quad (2)$$

$$\frac{OA}{OB} = \frac{OC}{OC'} = \frac{1}{n} \quad (3)$$

D'autre part :

$$\begin{cases} OA^2 + r^2 = OC^2 \\ OB^2 + R^2 = OC'^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} OA^2 = OC^2 - r^2 \\ OB^2 = OC'^2 - R^2 \end{cases} \quad \begin{matrix} (4) \\ (5) \end{matrix}$$

Les relations 2 et 4 impliquent :

$$OA^2 = \left[\frac{d}{d_1} OC \right]^2 = OC^2 - r^2$$

D'où :

$$OC^2 = \frac{r^2 d_1^2}{d_1^2 - d^2} \quad (6)$$

De même 2 et 5 impliquent :

$$OC'^2 = \frac{R^2 d_1^2}{d_1^2 - d^2} \quad (7)$$

De ces relations (6) et (7), nous exprimons la distance d_1 , soit :

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (OC' - OC)^2 = \sqrt{\frac{R^2 d_1^2}{d_1^2 - d^2}} - \sqrt{\frac{r^2 d_1^2}{d_1^2 - d^2}} \\ d_1 &= OC' - OC = \sqrt{\frac{R^2 d_1^2}{d_1^2 - d^2}} - \sqrt{\frac{r^2 d_1^2}{d_1^2 - d^2}} \end{aligned}$$

$$d_1 = d_1 \frac{(R - r)}{\sqrt{d_1^2 - d^2}}$$

$$\text{d'où } R - r = \sqrt{d_1^2 - d^2}$$

$$\text{ou bien } d^2 = d_1^2 - (R - r)^2 = d_1^2 - r^2 (n - 1)^2$$

$$d = \sqrt{d_1^2 - r^2 (n - 1)^2}$$

Remplaçons d par sa valeur dans la relation (1). On aura :

$$L = 2 \left[\sqrt{d_1^2 - r^2 (n-1)^2} + R (\pi - \theta) + \theta r \right] \quad (8)$$

On a par ailleurs :

$$\cos \theta = \frac{r}{OC} \quad \text{avec } OC = \frac{d_1}{n-1}$$

$$\text{Soit } \cos \theta = \frac{r (n-1)}{d_1} \quad (9)$$

$$\text{Ou } \theta = \arccos \frac{(n-1) r}{d_1}$$

On obtient finalement :

$$L = 2 \left[\sqrt{d_1^2 - r^2 (n-1)^2} + R \left[\pi - \arccos \frac{(n-1) r}{d_1} \right] + r \left[\arccos \frac{(n-1) r}{d_1} \right] \right] \quad (10)$$

Exploitation de la formule 10 :

R , n , L étant fixés, il s'agit de déterminer l'entraxe d_1 . Pour résoudre le problème, utilisons la méthode itérative. Soit on se fixe arbitrairement d_1 et par la méthode successive on essaie d'avoir la longueur de courroie qui se rapproche le plus de la réalité.

On doit considérer les 3 systèmes de poulies, 1-2, 1-3, 1-4.

1° Cas :

Considérons d'abord le système 1-3 à poulies identiques :

$$\begin{aligned}n &= 1 \\R &= r = 42,25 & d_1 &= ? \\L &= 1639\end{aligned}$$

La formule 1 donnant L, devient dans ce cas plus simple car : $\theta = \frac{\pi}{2}$; $r = R$

On aura :

$$\begin{aligned}L &= 2d + 2R (\pi - \theta) + 2 \theta r \\L &= 2d + 2R (\pi - \frac{\pi}{2}) + 2 \frac{\pi}{2} r\end{aligned}$$

$$\text{Soit : } d = \frac{L}{2} - \pi R$$

$$\text{A.N : } d = \frac{1639}{2} - 3,14 \cdot 42,25 = 687 \text{ mm.}$$

2° Cas :

$$\begin{aligned}n &= 0,5 \\R &= 42,25 & d_1 &= ? \\r &= 84,5 \\L &= 1639\end{aligned}$$

Nous supposons d_1 égal à 620.

On aura en application des relations 9 et 10.

$$\cos \theta = r \frac{(n-1)}{d_1} = \frac{84,5 \cdot 0,5}{620} = 0,068$$

$$\theta = 1,502.$$

D'où :

$$L = 2 \left[\sqrt{d_1^2 - r^2 (n-1)^2} + R (\pi - \theta) + \theta r \right]$$

$$L = 2 \left[\sqrt{620^2 - 84,5^2 \cdot 0,5^2} + 42,25 (3,14 - 1,50) + 1,5 \cdot 84,5 \right]$$

$$L = 1615 \text{ mm.}$$

Faisons $d_1 = 630$.

$$\theta = \arccos \frac{84,5 \cdot 0,5}{630} = 1,503.$$

$$L = 2 \left[\sqrt{630^2 - (84,5 \cdot 0,5)^2} + 42,25 (3,14 - 1,50) + 1,5 \cdot 84,5 \right]$$

$$L = 1635 \text{ mm.}$$

Finalement $d_1 = 632 \text{ mm}$ nous donne : $L = 1639 \text{ mm}$.

3° Cas :

$$n = 1,5$$

$$R = 42,25$$

$$r = 28,17$$

$$L = 1639$$

$$d_1 = ?$$

Prenons $d_1 = 700$

$$\theta = \arccos \frac{28,17 \cdot 0,5}{700} = 1,55$$

$$L = 2 \left[\sqrt{700^2 - (28,17 \cdot 0,5)^2} + 42,25 (3,14 - 1,55) + 1,55 \cdot 28,17 \right]$$

$$L = 1621 \text{ mm}$$

$$d_1 = 710 \quad \theta = \arccos \frac{28,17 \cdot 0,5}{710} = 1,550$$

$$L = 1641$$

$$d_1 = 709 \quad L = 1639,6 \text{ valeur adoptée.}$$

Nous avons finalement une distance entre axes variable $d_1 = 630; 687; 709$.

c) - Vérification de la condition de non-encombrement :

Nous faisons la vérification pour le système 1-2 uniquement, car il comporte la plus grande poulie.

On doit avoir :

$$d_1 > R_{\text{ext.}} + r_{\text{ext.}}$$

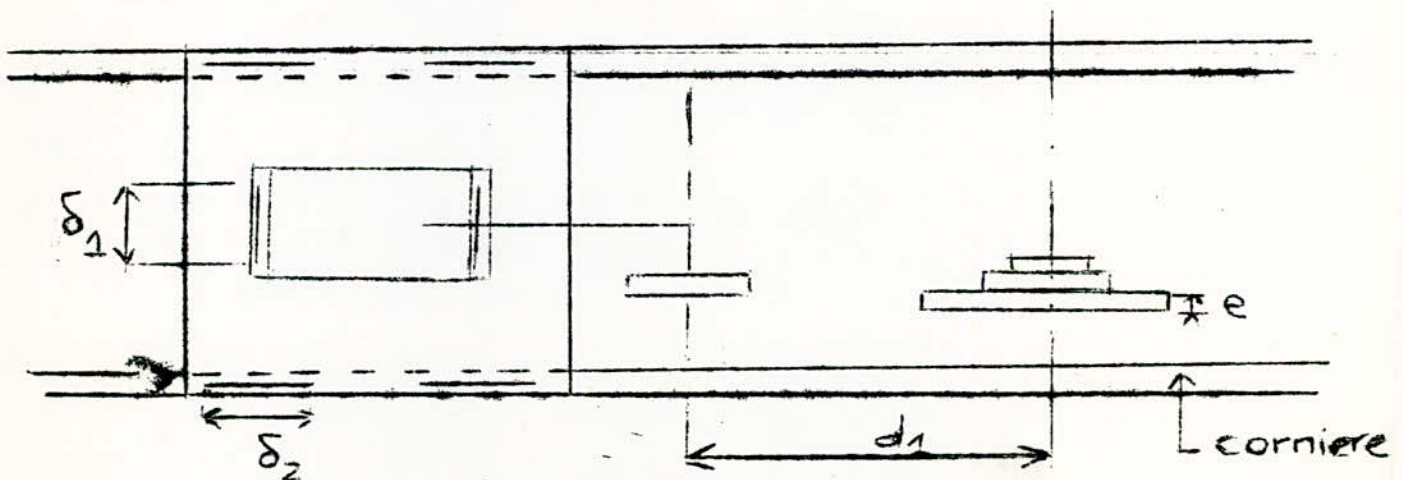
avec $R_{\text{ext.}} = 47$

$$r_{\text{ext.}} = 89,25$$

soit : $d_1 > 136,25$ vérifié.

d) - Détermination des longueurs des rainures :

Considérons une vue schématique de l'ensemble moteur et poulie.



La longueur de la rainure transversale δ_1 devra être supérieure à trois fois l'épaisseur des poulies.
On prendra δ_1 égal à 8 cm.

La longueur de la rainure longitudinal doit être supérieure à la différence des valeurs extrêmes de d_1 -

Soit : $d_1 = 709 - 630 = 79$ mm.

Ce qui donne pour δ_2 100 mm environ.

EXPERIMENTATION DU SYSTEME GENERATEUR DE HOULE

Nous nous proposons d'étudier les caractéristiques de la houle à savoir, longueur d'onde L , amplitude h , période T , et ceci pour diverses hauteurs d'eau.

Lors des expérimentations, nous avons constaté que pour les grandes hauteurs d'eau, nous avons un important débordement qui faussait l'expérience.

Aussi, il a été nécessaire d'apporter quelques modifications au canal à houle à savoir :

- surélévation des joues de la plage amont, et du niveau supérieur du canal. A l'aval du système générateur de houle, le problème de débordement ne se pose pas car la houle va être amortie par un système de quatre flotteurs.
- les entretoises en plexiglas fixées sur le dessus du canal et servant à assurer la verticalité des joues du canal, gênent le déplacement de l'axe supportant la deuxième paire de flotteurs. Aussi, nous les avons remplacées par une tige filtrée traversant de part en part le canal au droit de l'axe de la première paire de flotteurs fixes par rapport au canal.

a) - Mesures :

Pour mesurer les caractéristiques de la houle, nous avons étalonné le système générateur, c'est-à-dire que les mesures seront faites pour :

- une position du rhéostat donnée et par conséquent, une vitesse du moteur constante,

- pour une des 3 poulies de l'arbre, c'est-à-dire pour une fréquence de battements du volet bien déterminée,
- pour des longueurs de bielles et manivelle constantes soit pour une amplitude du volet bien définie,
- pour une profondeur d'eau constante.

La variation d'un de ces éléments modifie les caractéristiques de la houle.

* Mesure de la célérité " C " :

Nous mesurons le temps de passage t d'une crête entre deux repères fixes, distants de 4 m. La célérité est donnée par la formule : $C = \frac{d}{t} = \frac{4}{t}$ m/s

* Mesure de la période " T " :

Pour cela, nous mesurons le temps t mis par le volet pour faire dix battements. La période sera donc $T = \frac{t}{10}$ s

* Mesure de l'amplitude " h " :

On plonge un mètre métallique dans le canal à houle et on lit les hauteurs de la crête et du creux d'où on obtient par différence l'amplitude de la houle.

b) - Résultats expérimentaux :

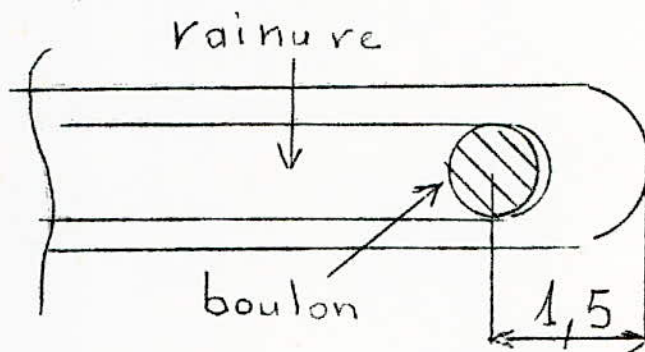
Les résultats sont groupés sous forme de tableaux. Nous donnons ici quelques explications pour les réglages :

Exemple : pour le premier tableau, nous avons :

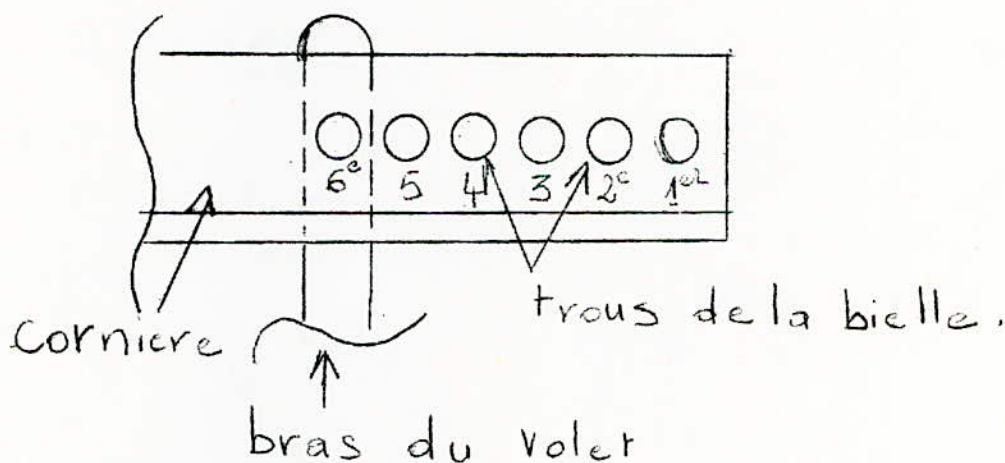
- Rh (rhéostat) : 200
- h (profondeur d'eau) : 25 cm.

- Les 3 poulies sur l'arbre seront numérotées 2, 3, et 4 de la plus grande à la plus petite. Au cours de l'expérience, nous avons utilisé la 2ème poulie que l'on indique sur le tableau par P 2ème.

- La fixation "bielle-manivelle" est variable au niveau de la manivelle, on mesure la distance entre l'extrémité de celle-ci et la fixation et on note : $M_a = 1,5$ cm.



- La fixation "bielle-volet" se fait dans le 6ème trou de la bielle, compté à partir de l'extrémité et on note : $T_b = 6^{\text{ème}}$.



- Nous avons aussi la puissance véhiculée par la houle qui est donnée par la formule suivante :

$$P = \frac{\omega b h^2 L}{16T} \left(1 + \frac{\frac{4\pi H}{L}}{\text{Sh} \frac{4\pi H}{L}} \right)$$

.../...

E X P E R I M E N T A T I O N

-o-o-o-o-

$H = 25 \text{ cm}$
$P : 2^{\text{ème}}$
$T_b : 6^{\text{ème}}$
$M_a = 1,5 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
200	2,8	1,43	1,31		9	
	2,8	1,43	1,32			
	2,8	1,43	1,31			
	2,8	1,43	1,32			
	2,8	1,43	1,30			
M O Y E N N E		1,43	1,31	1,873		0,048
220	3,0	1,33	1,15		10	
	2,9	1,38	1,15			
	3,0	1,33	1,16			
	2,9	1,38	1,14			
	3,0	1,33	1,16			
M O Y E N N E		1,35	1,152	1,555		0,064
240	3,2	1,25	1,05		11	
	3,0	1,33	1,03			
	3,0	1,33	1,04			
	2,9	1,38	1,05			
	3,2	1,25	1,05			
M O Y E N N E		1,308	1,044	1,365		0,0806

$H = 25 \text{ cm}$
$P : 2^{\text{ème}}$
$T_b : 6^{\text{ème}}$
$M_a = 7,5 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h (cm)	h/L
200	3,1	1,29	1,31		6	
	3,1	1,29	1,28			
	3,3	1,21	1,27			
	3,0	1,33	1,27			
	3,1	1,29	1,28			
M O Y E N N E		1,283	1,282	1,645		0,0364
220	3,0	1,33	1,14		7,5	
	3,1	1,29	1,10			
	3,0	1,33	1,10			
	3,0	1,33	1,10			
	3,0	1,33	1,10			
M O Y E N N E		1,324	1,108	1,467		0,0510
240	2,9	1,38	0,99		8,5	
	3,0	1,33	0,99			
	3,1	1,29	0,98			
	3,0	1,33	0,99			
	3,2	1,25	0,98			
M O Y E N N E		1,317	0,986	1,299		0,0654

$H = 25 \text{ cm}$
$P : 2^{\text{ème}}$
$T_b : 7^{\text{ème}}$
$M_a = 15 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
200	3,0	1,33	1,20		4,5	
	3,0	1,33	1,20			
	3,0	1,33	1,23			
	3,0	1,33	1,20			
	3,0	1,33	1,20			
M O Y E N N E		1,33	1,206	1,608		0,0280
220	2,7	1,48	1,03		6	
	2,7	1,48	1,04			
	2,6	1,54	1,04			
	2,9	1,38	1,04			
	2,8	1,43	1,03			
M O Y E N N E		1,462	1,036	1,515		0,0396
240	3,2	1,25	0,92		7,5	
	3,2	1,25	0,92			
	3,2	1,25	0,91			
	3,2	1,25	0,90			
	3,2	1,25	0,91			
M O Y E N N E		1,25	0,912	1,140		0,0658

$H = 25 \text{ cm}$
$P : 2^{\text{ème}}$
$T_b : 7^{\text{ème}}$
$M_a = 22,5 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
240	3,1	1,29	0,88		3,5	
	3,3	1,21	0,88			
	3,2	1,25	0,88			
	3,2	1,25	0,88			
	3,2	1,25	0,88			
MOYENNE		1,25	0,88	1,100		0,0318

H = 26 cm
P : 2 ^{ème}
T _b : 6 ^{ème}
M _a : 1,5 cm

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
200	2,9	1,38	1,30		9	
	2,9	1,38	1,29			
	2,9	1,38	1,30			
	3,0	1,33	1,35			
	3,0	1,33	1,35			
M O Y E N N E		1,360	1,318	1,800		0,0500
220	2,9	1,38	1,22		11,5	
	3,0	1,33	1,21			
	3,0	1,33	1,23			
	3,0	1,33	1,22			
	3,0	1,33	1,22			
M O Y E N N E		1,340	1,22	1,635		0,0703
240	2,9	1,38	1,10		11	
	2,9	1,38	1,10			
	3,0	1,33	1,10			
	2,9	1,38	1,10			
	2,9	1,38	1,10			
M O Y E N N E		1,37	1,10	1,507		0,0729

$H = 26 \text{ cm}$
$P : 2^{\text{ème}}$
$T_b : 6^{\text{ème}}$
$M_a = 7,5 \text{ cm}$

R_b	$t(s)$	$c(m/s)$	$T(s)$	$L(m)$	$h(cm)$	h/L
200	3,0	1,33	1,25		8	
	2,8	1,43	1,26			
	2,9	1,38	1,26			
	3,0	1,33	1,22			
	2,9	1,38	1,24			
MOYENNE		1,370	1,246	1,707		0,0469
220	3,0	1,33	1,12		9	
	3,0	1,33	1,12			
	3,0	1,33	1,12			
	3,0	1,33	1,12			
	3,0	1,33	1,12			
MOYENNE		1,33	1,12	1,493		0,0603
240	3,0	1,33	1,0		10	
	2,9	1,38	1,0			
	3,0	1,33	0,98			
	3,0	1,33	0,98			
	3,0	1,33	0,98			
MOYENNE		1,342	0,988	1,326		0,0754

$H = 26 \text{ cm}$
$P : 2^{\text{ème}}$
$T_b : 7^{\text{ème}}$
$M_a = 15 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
200	3,0	1,33	1,19		6	
	3,0	1,33	1,19			
	3,0	1,33	1,19			
	3,0	1,33	1,19			
	2,9	1,38	1,19			
M O Y E N N E		1,34	1,19	1,594		0,0377
220	3,2	1,25	1,05		6	
	2,9	1,38	1,05			
	3,0	1,33	1,05			
	2,9	1,38	1,05			
	3,0	1,33	1,05			
M O Y E N N E		1,334	1,05	1,400		0,0430
240	3,1	1,29	0,94		8	
	3,1	1,31	0,94			
	3,0	1,33	0,95			
	3,1	1,29	0,93			
	3,1	1,29	0,93			
M O Y E N N E		1,302	0,938	1,221		0,0655

$H = 26 \text{ cm}$
$P : 2^{\text{ème}}$
$T_b : 8^{\text{ème}}$
$M_a = 22,5 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	b/L
240	3,3	1,21	0,9		4	
	3,3	1,21	0,8			
	3,3	1,21	0,9			
	3,3	1,21	0,9			
	3,3	1,21	0,9			
MOYENNE		1,21	0,880	1,067		0,0374

H = 27 cm
P : 2 ^{ème}
T _b : 6 ^{ème}
M _a : 1,5 cm

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
200	2,9	1,38	1,33		9,5	
	2,8	1,43	1,32			
	2,8	1,43	1,31			
	2,8	1,43	1,31			
	2,8	1,43	1,33			
M O Y E N N E		1,420	1,32	1,874		0,0507
220	2,8	1,43	1,21		10	
	2,7	1,48	1,21			
	3,0	1,33	1,21			
	2,8	1,43	1,21			
	2,9	1,38	1,21			
M O Y E N N E		1,410	1,21	1,707		0,0586
240	2,8	1,43	1,11		10,5	
	2,8	1,43	1,10			
	2,9	1,38	1,12			
	2,9	1,38	1,13			
	3,0	1,33	1,12			
M O Y E N N E		1,390	1,116	1,551		0,0677

H = 27 cm
P : 2 ^{ème}
T _b : 6 ^{ème}
M _a = 7,5 cm

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
200	2,8	1,43	1,23		8,5	
	2,8	1,43	1,23			
	2,9	1,38	1,24			
	2,9	1,38	1,22			
	2,8	1,43	1,23			
MOYENNE		1,410	1,23	1,734		0,0490
220	2,9	1,38	1,12		9	
	2,8	1,43	1,12			
	2,9	1,38	1,12			
	2,9	1,38	1,12			
	2,9	1,38	1,12			
MOYENNE		1,390	1,12	1,556		0,0581
240	3,0	1,33	0,97		11	
	3,0	1,33	0,98			
	3,0	1,33	0,98			
	3,0	1,33	0,98			
	3,0	1,33	0,98			
MOYENNE		1,33	0,978	1,304		0,0844

H = 27 cm
P : 2 ^{ème}
T _b : 7 ^{ème}
M _a = 15 cm

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
200	2,8	1,43	1,18		5,5	
	2,8	1,43	1,16			
	2,9	1,38	1,16			
	2,8	1,43	1,18			
	2,7	1,48	1,16			
MOYENNE		1,430	1,168	1,670		0,0329
220	2,8	1,43	1,03		7	
	2,9	1,38	1,04			
	3,0	1,33	1,04			
	2,9	1,38	1,05			
	2,9	1,38	1,04			
MOYENNE		1,380	1,04	1,435		0,0488
240	3,2	1,25	0,94		8,5	
	3,1	1,29	0,94			
	3,2	1,25	0,94			
	3,0	1,33	0,94			
	3,2	1,25	0,94			
MOYENNE		1,275	0,94	1,198		0,0709

H = 27 cm
P : 2 ^{ème}
T _b : 7 ^{ème}
M _a = 22,5 cm

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
240	3,1	1,29	0,89		4,5	
	3,2	1,25	0,91			
	3,1	1,29	0,90			
	3,2	1,25	0,90			
	3,2	1,25	0,89			
M O Y E N N E		1,266	0,898	1,137		0,0396

$H = 26 \text{ cm}$
$P : 3^{\text{ème}}$
$T_b : 8^{\text{ème}}$
$M_a = 15 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
160	3,1	1,29	0,96		7,5	
	3,0	1,33	0,96			
	2,9	1,38	0,96			
	3,0	1,33	0,96			
	3,0	1,33	0,96			
M O Y E N N E		1,332	0,96	1,279		0,0587
180	3,3	1,21	0,84		9	
	3,2	1,25	0,84			
	3,1	1,29	0,85			
	3,2	1,25	0,84			
	3,2	1,25	0,85			
M O Y E N N E		1,25	0,844	1,055		0,0853
200	3,7	1,08	0,69		6	
	3,7	1,08	0,69			
	3,7	1,08	0,69			
	3,7	1,08	0,70			
	3,7	1,08	0,69			
M O Y E N N E		1,081	0,692	0,748		0,0804

$H = 26 \text{ cm}$
$P : 3^{\text{ème}}$
$T_b : 8^{\text{ème}}$
$M_a = 15 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
220	4,1	0,98	0,60		5,5	
	4,1	0,98	0,60			
	4,0	1,0	0,61			
	4,2	0,95	0,59			
	4,2	0,95	0,59			
M O Y E N N E		0,972	0,598	0,581		0,0946
240	4,2	0,95	0,57		4	
	4,4	0,91	0,57			
	4,4	0,91	0,57			
	4,3	0,95	0,57			
	4,2	0,95	0,57			
M O Y E N N E		0,934	0,57	0,0532		0,0751

$H = 26 \text{ cm}$
$P : 3^{\text{ème}}$
$T_b : 8^{\text{ème}}$
$M_a = 22,5 \text{ cm}$

Rh	t(s)	c(m/s)	T(s)	L(m)	h(cm)	h/L
200	3,9	1,03	0,64		7,5	
	3,9	1,03	0,62			
	3,9	1,03	0,62			
	3,9	1,03	0,63			
	3,9	1,03	0,62			
M O Y E N N E		1,03	0,626	0,644		0,116
220	4,5	0,88	0,54		7,5	
	4,2	0,95	0,55			
	4,2	0,95	0,53			
	4,4	0,99	0,53			
	4,4	0,99	0,54			
M O Y E N N E		0,932	0,538	0,501		0,149
240	4,9	0,82	0,48		4,5	
	4,9	0,82	0,50			
	4,8	0,83	0,50			
	4,8	0,83	0,48			
	4,8	0,83	0,48			
M O Y E N N E		0,826	0,488	0,402		0,111

H(m)	Tableau	Rh	L(m)	h(cm)	T(s)	P _t (w)
0,25	1	200	1,873	9	1,31	4,451
		220	1,555	10	1,15	4,869
		240	1,365	11	1,04	5,423
0,25	2	200	1,645	6	1,28	1,702
		220	1,478	7,5	1,12	2,620
		240	1,299	8,5	0,99	3,168
0,25	3	200	1,608	4,5	1,21	0,981
		220	1,515	6	1,04	1,869
		240	1,440	7,5	0,91	2,219
0,25	4	240	1,100	3,5	0,88	0,474
0,26	5	200	1,814	9	1,32	4,178
		220	1,635	10,5	1,22	5,341
		240	1,523	11	1,10	5,889
0,26	6	200	1,707	8	1,25	3,211
		220	1,493	9	1,12	3,765
		240	1,326	10	0,99	4,437

H(m)	Tableau	Rh	L(m)	h(cm)	T(s)	P_t (w)
0,26	7	200	1,593	6	1,19	1,725
		220	1,400	6	1,05	1,629
		240	1,213	8	0,94	2,628
0,26	8	240	1,073	4	0,89	0,530
0,27	9	200	1,873	9,5	1,32	4,80
		220	1,707	10	1,21	5,113
		240	1,551	10,5	1,12	5,328
0,27	10	200	1,733	8,5	1,23	3,711
		220	1,556	9	1,12	3,932
		240	1,304	11	0,98	5,209
0,27	11	200	1,670	5,5	1,17	1,552
		220	1,435	7	1,04	2,283
		240	1,198	8,5	0,94	2,865
0,27	12	240	1,137	4,5	0,90	0,777
0,27	13	180	1,055	9	0,844	3,021
"	"	200	0,745	6	0,69	1,004

H(m)	Tableau	Rh	L(m)	h(cm)	T(s)	P_t (w)
0,27	13	220	0,582	5,5	0,598	0,711
"	"	240	0,530	4	0,57	0,356
0,27	14	180	0,818	7	0,733	1,460
"	"	200	0,644	7,5	0,626	1,434
"	"	220	0,496	7,5	0,538	1,230
"	"	240	0,403	4,5	0,488	0,392

C O N C L U S I O N

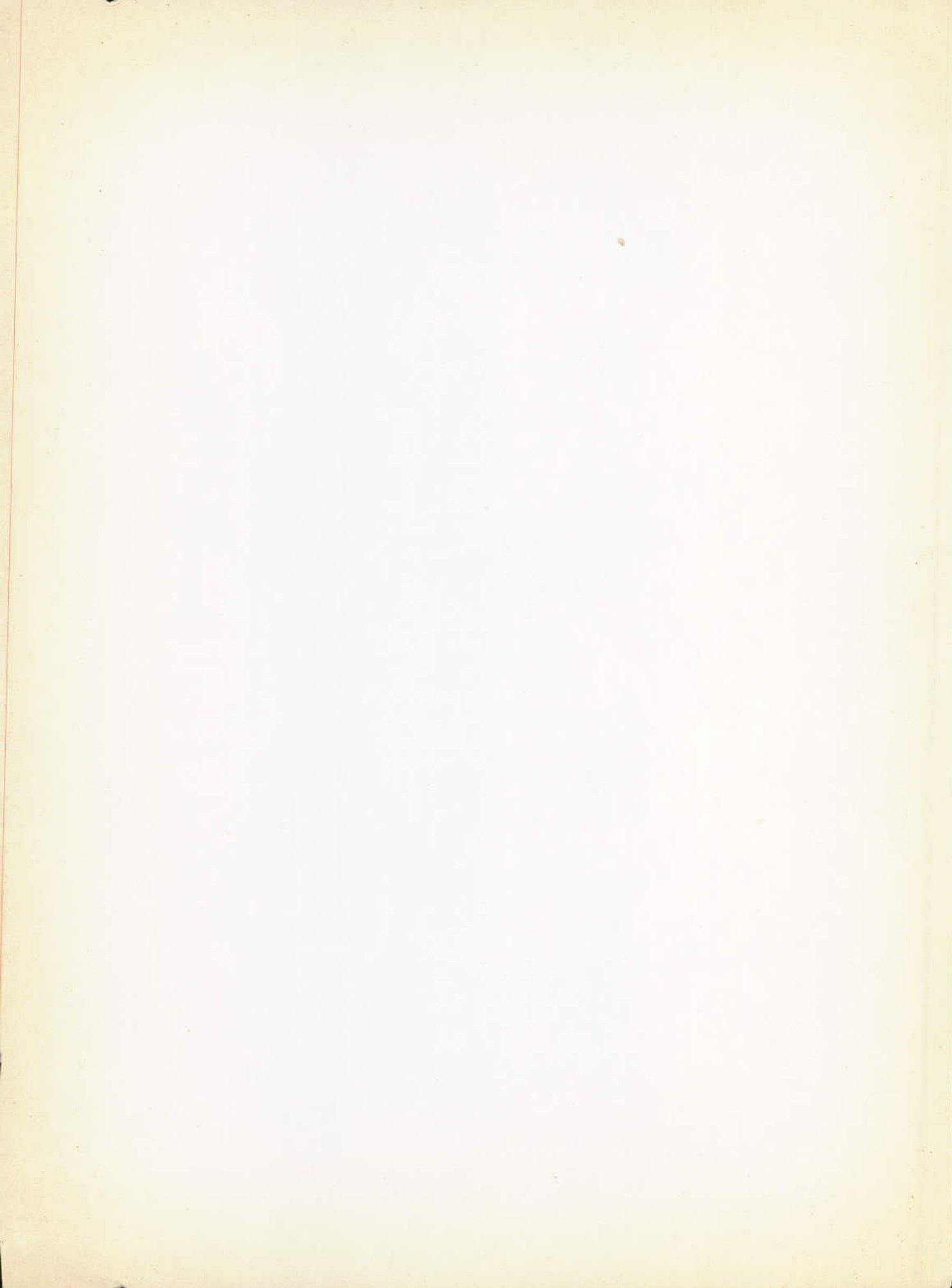
Le changement du système générateur de houle nous a permis d'éliminer la double crête d'axe au jeu qui existait au niveau de l'axe du précédent moteur.

Le système de poulies pour la démultiplication des vitesses nous donne une plus grande gamme de vitesses. La combinaison de ces différentes vitesses avec la variation de la longueur de la manivelle permet d'avoir une plus grande variété de houles.

En étalonnant le générateur de houle nous connaissons d'avance toutes les caractéristiques de celle-ci (y compris l'énergie qu'elle véhicule) pour une position bien déterminée des divers réglages. L'étalonnage serait d'autant plus fidèle si on branchait avant le rhéostat un stabilisateur de tension.

Avec le système précédent nous avions une puissance maximum véhiculée par la houle de 2,7 w (Thèse de Monsieur SERRI) le nouveau générateur nous fait passer du simple au double avec une puissance maximum de 5,89 w.

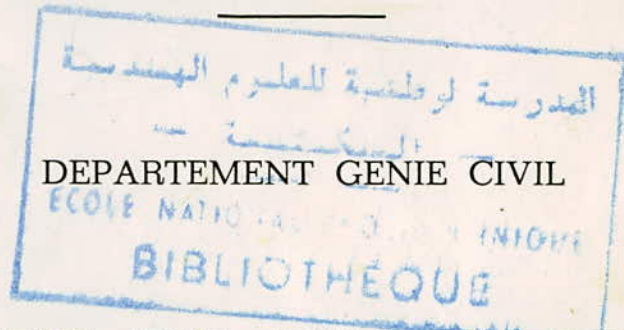
Ces résultats (puissances) seront utilisés ultérieurement pour le calcul des rendements du système récepteur de houle qui fera l'objet de notre seconde étude.



UNIVERSITÉ D'ALGER

14/77

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

**2 - RECEPTEUR DE L'ENERGIE
DE LA HOULE
Conception, Réalisation
et Expérimentation**

Tome 2.

Proposé par :

G. LAPRAY

Maitre de Conférences

J. P. MULLER

Maitre Assistant

Etudié par :

MECHKOUR Fatiha

SEMAOUI Salah

SIDI-MOUSSA Abderrahmane

PROMOTION JUIN 1977

UNIVERSITÉ D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
DEPARTEMENT GENIE CIVIL

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**2 - RECEPTEUR DE L'ENERGIE
DE LA HOULE**
**Conception, Réalisation
et Expérimentation**

Proposé par :

G. LAPRAY
Maitre de Conférences

J. P. MULLER
Maitre Assistant

Etudié par :

MECHKOUR Fatiha
SEMAOUI Salah
SIDI-MOUSSA Abderrahmane

PROMOTION JJIN 1977

Nous saisissons cette occasion pour adresser nos remerciements à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation, en particulier à Monsieur GESA LAPRAY, et Monsieur JEAN PIERRE MULLER pour l'aide et les conseils qu'ils n'ont cessé de nous prodiguer.

Notre reconnaissance va aussi à tous ceux qui nous ont aidé dans notre travail pour la réalisation de ce projet, particulièrement Madame DOUALANE Hamida, Mesdemoiselles SOUFI Hamida et BENDJABARA Saliha, Monsieur LOUALI Mokhtar, Monsieur KHETIB Mokhtar.

A Nos Parents, Frères et Soeurs ainsi que
tous nos Amis.

A mon Père, ma Mère, ma Soeur, mes Frères pour leur très
grande compréhension.

MECHKOUR FATIHA

Je dédie cette thèse à mon Père, ma Mère,
qui bien des fois au prix de nombreux sacrifices ont
tout fait pour me permettre de poursuivre mes études.

A mes Frères et Soeurs ainsi qu'à toute
ma famille.

A la Mémoire de mes Grands Parents, de
ma Soeur Malika et mon Cousin ELONG Mohammed.

SEMAOUI SALAH.

Je dédie cette thèse à ma Mère, mes grands frères
Mohamed et Sid Ahmed pour avoir tout fait pour que mes études
aboutissent.

- A mes Frères, Soeurs et Belles Soeurs ainsi qu'à toute
ma famille.

- A la Mémoire de mon Père et ma Soeur Djaouida.

SIDI MOUSSA ABDERRAHMANE

S O M M A I R E

Approche théorique du problème de l'Energie de la Houle

Etude théorique du système Recepteur

Etude Mécanique

Expérimentation

Conclusion Générale

A P P R O C H E T H E O R I Q U E

-0-0-0-

ETUDE GRAPHO-ANALYTIQUE DE LA VARIATION
DE LA POUSSÉE D'ARCHIMEDE EN FONCTION DE L'IMMERSION

Le problème est de rechercher une relation exprimant l'énergie transmise aux flotteurs par la houle en fonction de l'immersion et des dimensions des flotteurs.

Pour déterminer cette énergie, nous devons connaître le travail fourni qui n'est autre que le produit de la force (poussée d'Archimède agissant sur le flotteur) par son déplacement.

Nous remarquons que lorsque la force agissant sur le flotteur augmente, l'immersion augmente. Ceci nous a amenés à étudier la variation de la force en fonction de l'immersion. Pour cela, nous nous proposons d'étudier deux positions particulières du flotteur, celles où il occupe successivement la crête puis le creux de la vague, car considérer toutes les autres positions intermédiaires compliquerait davantage le problème.

Cette force dépend d'une part des caractéristiques de la trochoïde à savoir amplitude et longueur d'onde des dimensions (largeur, longueur ...) et de l'immersion du flotteur d'autre part.

Nous avons une relation de la forme :

$$F = f(L, h, \text{dimensions flotteur, immersion})$$

avec F = force agissant sur le flotteur

L = Longueur d'onde

h = amplitude.

Pour cette étude, nous avons été obligés de fixer certains paramètres à savoir le profil de la trochoïde, c'est-à-dire la longueur d'onde L et l'amplitude h qui nous donnent une cambrure maximum égale à $0,1A$, nous avons fixé également la largeur du flotteur qui est constante et égale à la largeur du canal.

On recherchera donc, une relation de la forme :
 $F = f(\text{longueur du flotteur, immersion}).$

Etant donné que la force est directement proportionnelle au volume immergé

$$F = \rho V = \rho A \cdot Lf =$$

et que la largeur du flotteur Lf est constante, on pourra remplacer la force F par la surface immergée A découpée dans l'eau par un flotteur en forme de parallélépipède rectangle de longueur variable.

Pour cela, nous allons dans un premier temps étudier la variation de cette surface en fonction des éléments cités plus haut, lorsque le flotteur est sur la crête puis lorsque il occupe le creux de la vague.

A - CAS OU LE FLOTTEUR SE TROUVE SUR LA CRETE

ETUDE GRAPHICO-ANALYTIQUE

II Variation de la surface de la calotte en fonction de la position de son centre de gravité rapporté au plan moyen (fig. 2 a)

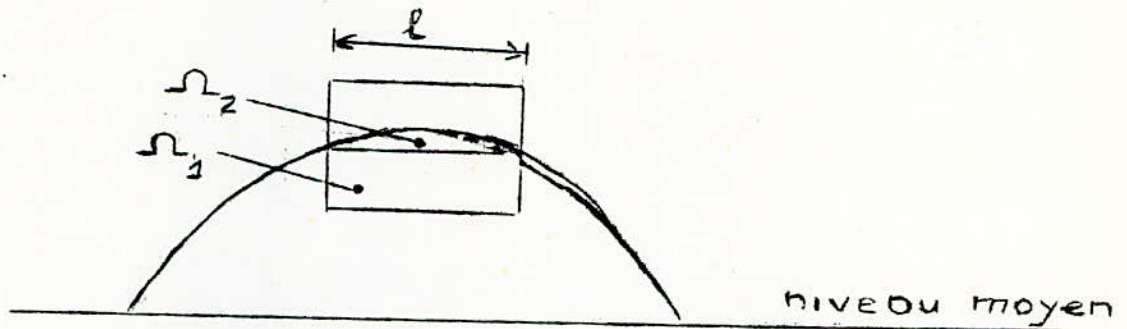
Nous rappelons que cette étude théorique est faite pour une cambrure $\frac{h}{L}$ standard égale à 0,1. Pour cela, nous avons pris arbitrairement : $h = 4 \text{ cm}$ et $L = 40 \text{ cm}$. (Fig 1)

Définition de la calotte :

Lorsque le flotteur est sur la crête, la section immergée ou carène peut être décomposée en deux parties :

- Ω_1 section rectangulaire
- Ω_2 section limitée par un segment de droite (égal à la longueur du flotteur) et l'arc supérieur de la trochoïde.

Cette section est appelée " Calotte " :



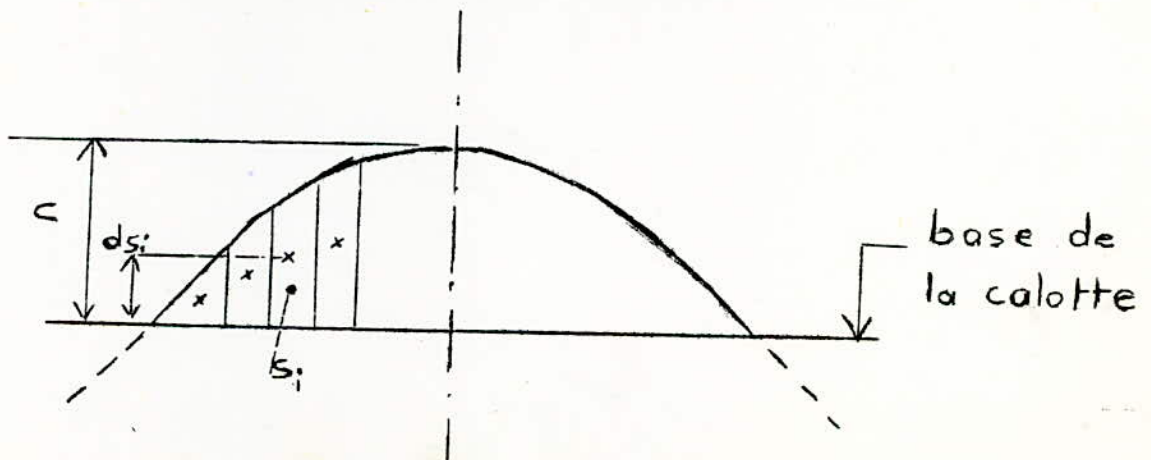
1° - Notations et symboles :

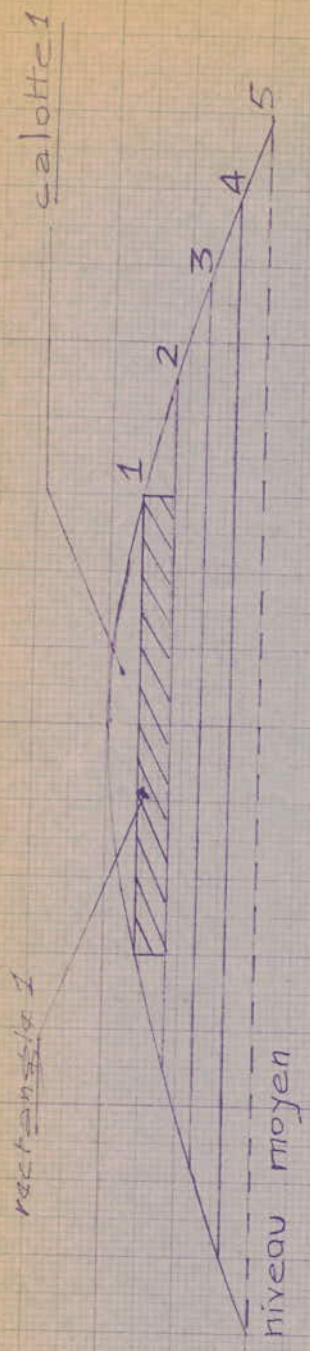
Les notations sont indiquées sur la figure 2c.
Nous nous proposons à l'aide d'une méthode grapho-analytique de décomposer la surface de la calotte en éléments simples assimilables à des rectangles, triangles et trapèzes.

Aussi, nous avons jugé utile d'adopter les indices suivants :

-  caractérisant les triangles
-  caractérisant les rectangles
-  caractérisant les trapèzes.

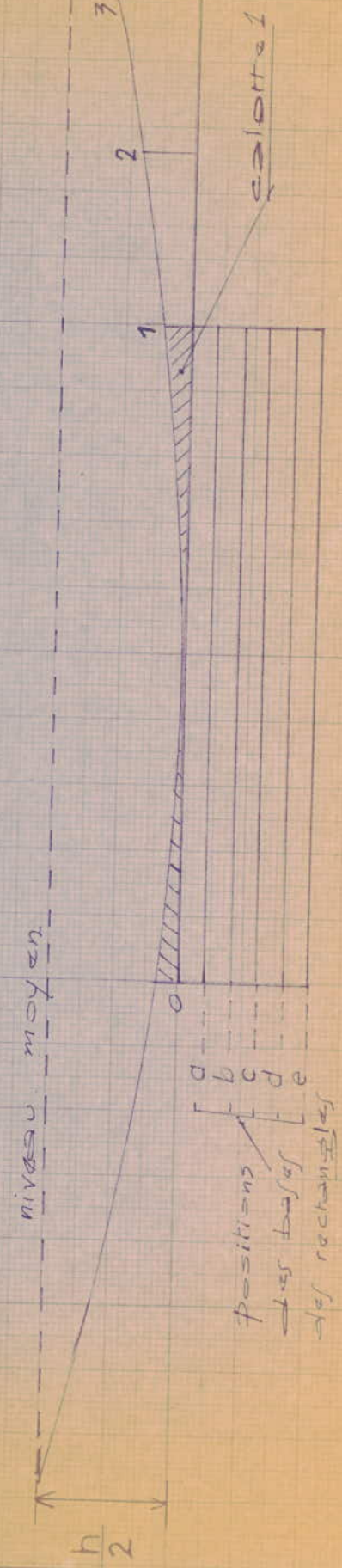
2° - Courbe $S_c = f(h_c)$ fig. 3a





CRÊTE

FIG. 2a



CREUX

FIG. 2b

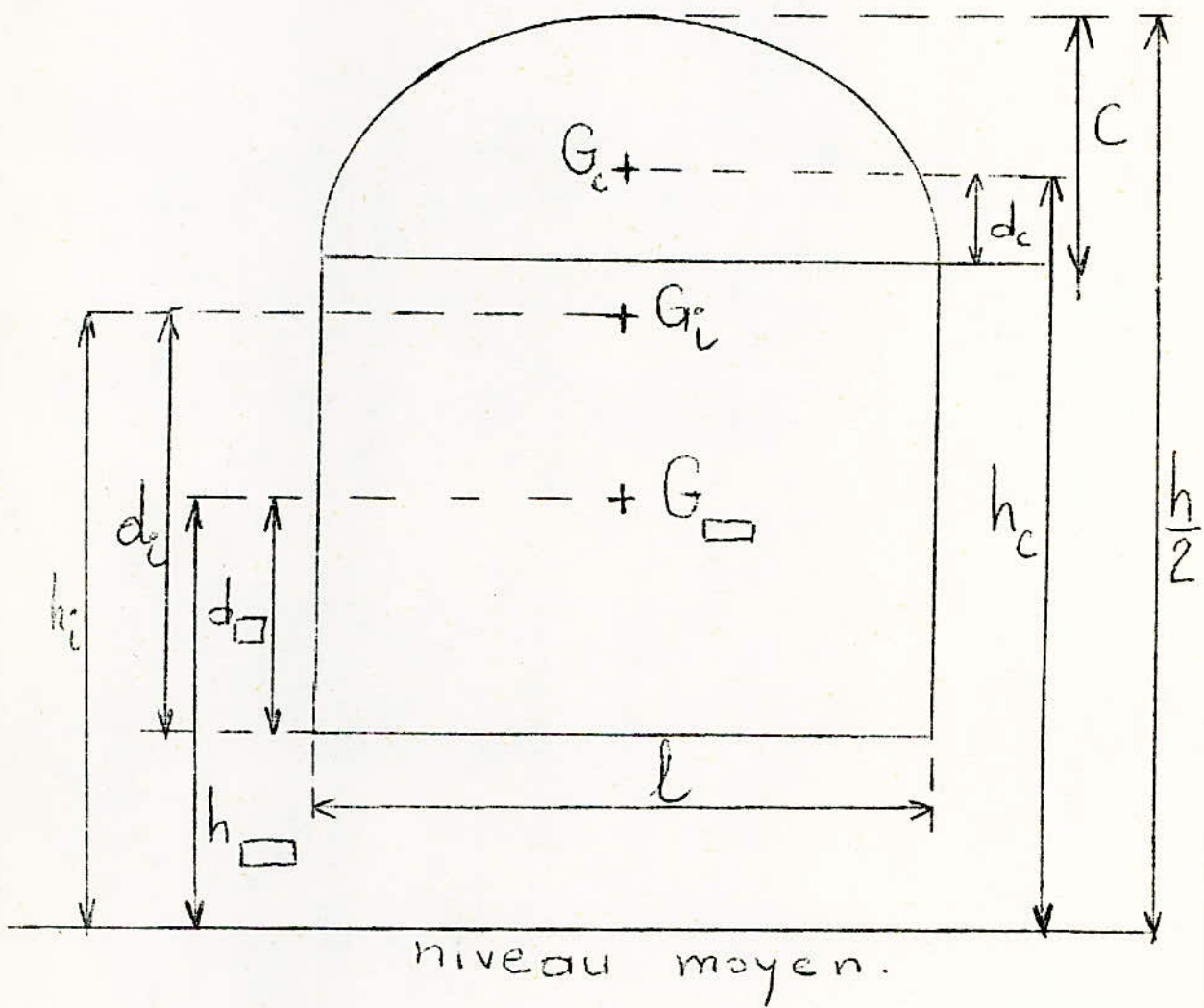


Fig 2c

La surface totale de la calotte est :

$$A.c = \sum s_i$$

s_i : étant la surface élémentaire. Le moment statique est donné par :

$$S^* = \sum s_i \times d_{s_i} \quad :$$

avec d_{s_i} : distance du centre de gravité de l'élément s_i par rapport à un axe passant par la base de la calotte.

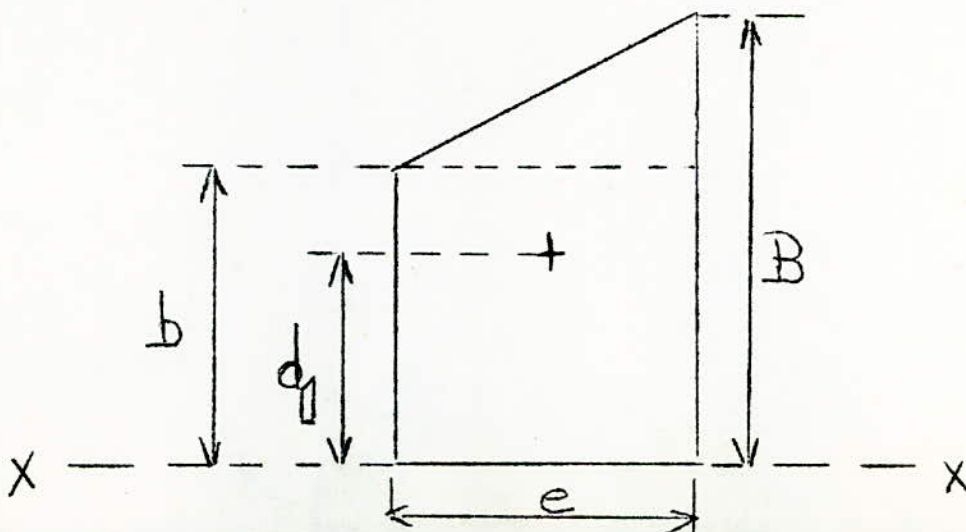
La position du centre de gravité de la calotte par rapport à sa base sera donc :

$$d_c = \frac{S^*}{A_c} = \frac{\sum s_i d_{s_i}}{\sum s_i}$$

Par conséquent, la position du centre de gravité de la calotte rapportée au plan moyen sera :

$$h_c = d_c + \frac{h}{2} - c \quad (\text{fig. 2 c})$$

Dans ce qui suit, nous aurons besoin de la position du centre de gravité du trapèze, pour cela nous avons jugé utile d'établir une formule simple donnant sa position par rapport à la base de la calotte. Nous avons en application de l'équation du moment statique par rapport à l'axe X-X.



$$s_{xx} = eb \frac{b}{2} + e \left(\frac{B-b}{2} \right) \left(b + \frac{B-b}{3} \right)$$

$$= \frac{e}{6} (b^2 + bB + B^2)$$

$$d = \frac{\frac{e}{6} (b^2 + bB + B^2)}{e \frac{B+b}{2}}$$

$$d = \frac{1}{3} \left(B + b - \frac{bB}{B+b} \right)$$

Les résultats de cette étude sont regroupés dans le tableau suivant

position calotte	1			2			3			4			5		
e_{cm}	1,5	1,5	1	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5	2,5	2				
b_{cm}	0,2	0,6	0,4	1	0,4	1,4	0,8	0,35	1,8	1,2	0,6				
B_{cm}	0,4	0,8	0,6	1,2	1	1,6	1,4	0,8	2	1,8	1,2				
A_{cm}^2	0,45	1,05	0,5	1,65	1,75	2,25	2,75	0,86	2,85	3,75	1,8				
d_{cm}	0,156	0,352	0,253	0,552	0,371	0,751	0,564	0,29	0,951	0,76	0,467				
$\sum A_{cm}^2$	0,9	3,1		6,8		11,72		16,80							
A_{cm}^2	0,4	0,8		1,2		1,6		2							
d_{cm}	0,2	0,4		0,6		0,8		1							
A_{cm}^2	0,2	0,56		0,52		0,298		0,90							
d_{cm}	0,067	0,133		0,133		0,116		0,2							
$\sum A_{cm}^2$	1,5	4,46		8,52		11,62		19,7							
$\sum s_{c}^*$	0,234	1,387		3,91		8,3		15							
d_c	0,156	0,311		0,459		0,743		0,761							
$h_{c_{cm}}$	1,756	1,511		1,259		1,114		0,761							

Pour donner une validité générale à cette étude, nous rendons les paramètres adimensionnels en posant :

$$A_c^+ = \frac{\text{Surface totale}}{L h}$$

$$h_c^+ = \frac{h_c}{h}$$

avec $h = 4 \text{ cm}$, $L = 40 \text{ cm}$.

On aura alors le tableau ci-dessous donnant la variation de A_c^+ en fonction de h_c^+ (courbe 3α).

A_c^+	$9,375 \cdot 10^{-3}$	$2,788 \cdot 10^{-2}$	$5,325 \cdot 10^{-2}$	$7,263 \cdot 10^{-2}$	$1,231 \cdot 10^{-1}$
h_c^+	0,439	0,378	0,315	0,279	0,190

3°) - Courbe A_c en fonction de la longueur du flotteur l

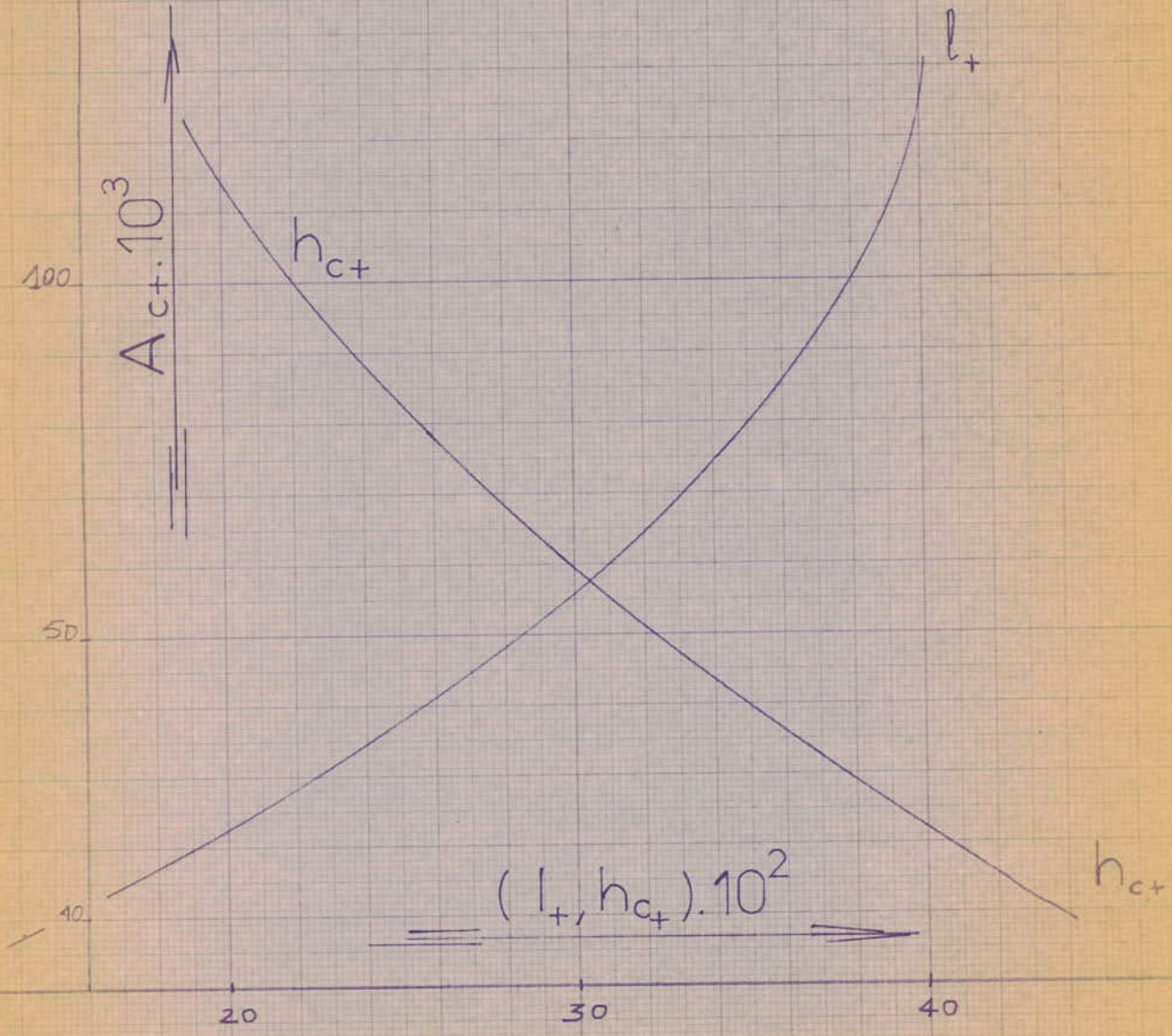
Pour étudier la variation de la surface de la calotte en fonction de la longueur du flotteur l , nous considérons la figure 2α : Nous pouvons lire directement sur le graphe la valeur de l correspondant à une surface donnée de la calotte. Nous obtenons le tableau de variation suivant :

A_c	1,5	4,46	8,52	11,62	19,7
A_c/Lh	$0,938 \cdot 10^{-3}$	$2,788 \cdot 10^{-2}$	$5,325 \cdot 10^{-2}$	$7,263 \cdot 10^{-2}$	$12,31 \cdot 10^{-2}$
l	6	9	11,6	13,6	16
l/L	0,15	0,225	0,290	0,34	0,40

$$\frac{S_c}{Lh} = S_{c+} \times 10^3$$

FIG. 3a

CRETE



Là aussi pour permettre une application générale des résultats obtenus, nous avons ramené la surface A_c au paramètre adimensionnel $A_c^* = \frac{A_c}{Lh}$ et la longueur du flotteur l au paramètre sans dimension $l^* = \frac{l}{L}$

Nous pouvons alors tracer la courbe $A_{c^*} = f(l^*)$ (Fig. 3 a)

VARIATION DE LA CARENE EN FONCTION DE LA POSITION DE SON CENTRE DE GRAVITE RAPPORIE AU PLAN MOYEN (Fig. 2 a)

Nous nous proposons d'étudier la variation de la surface totale immergée (c'est-à-dire calotte plus rectangle) en fonction de la position du centre de carène rapporté au niveau moyen soit h_i (fig. 2 c)

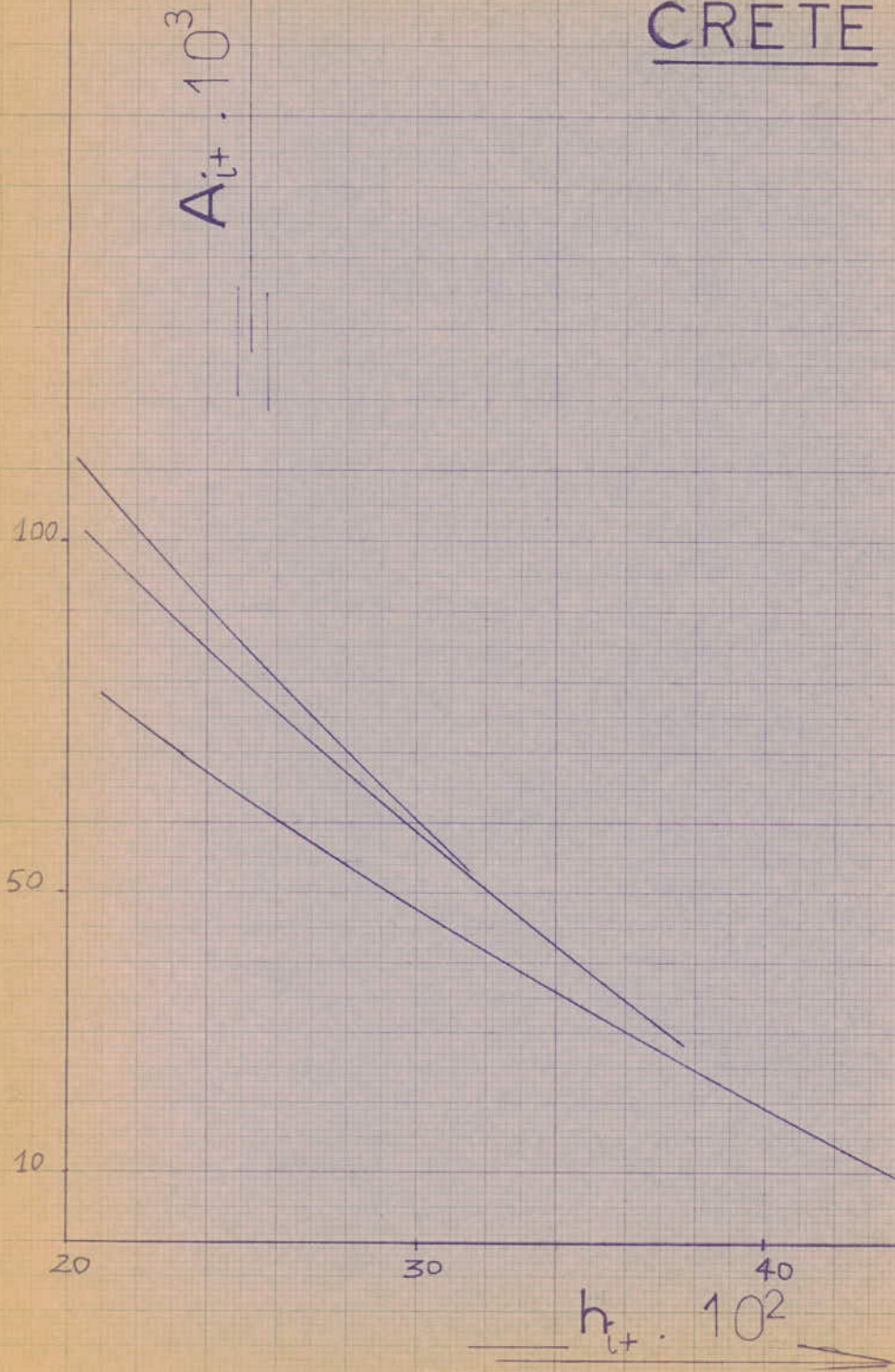
Pour cela, on considère une calotte ayant pour base la longueur du flotteur, puis on augmente progressivement l'immersion de ce dernier. La carène sera donc composée de la surface de la calotte qui reste constante et d'une surface rectangulaire variable.

En procédant de la même manière pour les autres calottes, nous obtenons les courbes adimensionnelles A_i en fonction de $\frac{h_i}{h}$ représentées sur la figure 4 a.

A titre indicatif nous donnons un exemple de calcul pour la position 1 de la calotte.

FIG. 4a

CRETE



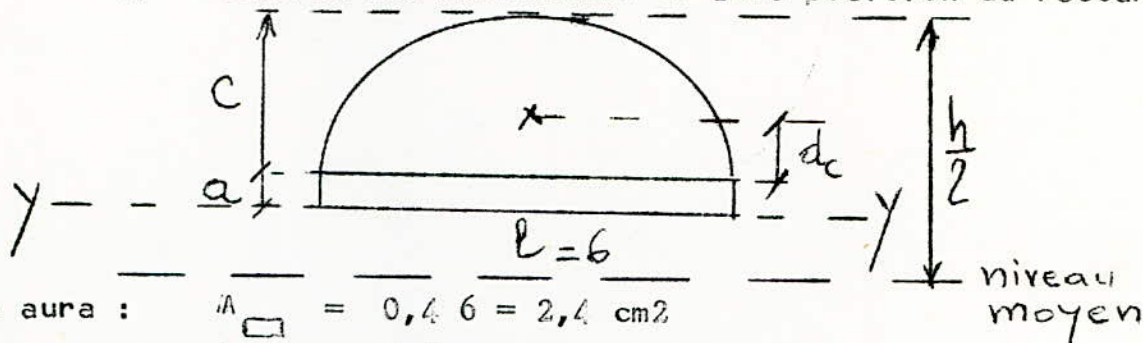
POSITION DE LA CALOTTE :

Ses caractéristiques sont :

$$\begin{aligned} A_c &= 1,5 \\ d_c &= 0,156 \quad l = 6 \\ h_c &= 1,756 \end{aligned}$$

On augmente progressivement la carène en prenant des surfaces de rectangles du type $l \times 0,4$; $l \times 0,8$; $l \times 1,2$; $l \times 1,6$; $l \times 2$.

a) - Considérons maintenant la 1ère position du rectangle :



On aura : $A_{\square} = 0,4 \cdot 6 = 2,4 \text{ cm}^2$

$d_{\square} = 0,2 \text{ cm}$

A totale immergée = $A_i = A_c + A_{\square} = 3,9 \text{ cm}^2$

$S_{yy}^* = A_c (d_c + a) + A_{\square} d_{\square}$

soit $S_{yy}^* = 1,5 (0,156 + 0,4) + 2,4 \cdot 0,2 = 1,314 \text{ cm}^3$

d'où la position du centre de carène rapporté à l'axe yy :

$d_i = \frac{S_{yy}^*}{A_i} = 0,337$

Par suite la position du centre de carène par rapport au plan moyen est :

$h_i = \frac{h}{2} - (c+a) + d_i = \frac{4}{2} - (0,4 + 0,4) + 0,337$

$h_i = 1,557 \text{ cm}$

b) - 2ème position du rectangle :

$$A_{\square} = 0,8 \times 6 = 4,8 \text{ cm}^2$$

$$d_{\square} = 0,4 \text{ cm}$$

$$A_i = A_c + A_{\square} = 4,8 + 1,5 = 6,3 \text{ cm}^2$$

$$S^* = 4,8 \cdot 0,4 + 1,5 (0,8 + 0,156) = 3,354 \text{ cm}^3$$

$$d_i = 0,523 \text{ cm}$$

$$h_i = \frac{4}{2} - (0,4 + 0,8) + 0,523 = 1,323 \text{ cm}$$

c) - 3ème position du rectangle :

$$A_{\square} = 1,2 \cdot 6 = 7,2$$

$$d_{\square} = 0,6$$

$$A_i = A_c + A_{\square} = 1,5 + 7,2 = 8,7 \text{ cm}^2$$

$$S^* = 7,2 \cdot 0,6 + 1,5 (1,2 + 0,156) = 6,354 \text{ cm}^3$$

$$d_i = 0,730$$

$$h_i = \frac{4}{2} - (0,4 + 1,2) + 0,730 = 1,13 \text{ cm}$$

d) - 4ème position du rectangle :

$$A_{\square} = 1,6 \times 6 = 9,6 \text{ cm}^2$$

$$d_{\square} = 0,8 \text{ cm}$$

$$A_i = 9,6 + 1,5 = 11,1 \text{ cm}^2$$

$$S^* = 10,31 \text{ cm}^3$$

$$d_i = 0,929 \text{ cm}$$

$$h_i = \frac{4}{2} - (0,4 + 1,6) + 0,929 = 0,929 \text{ cm}$$

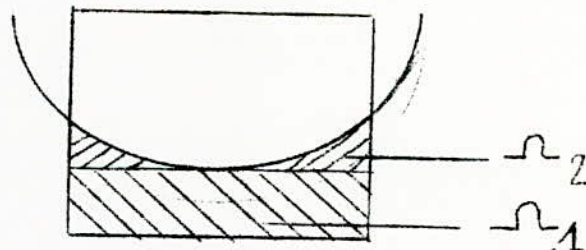
Nous procédons de la même manière pour les autres calottes les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous, ce qui nous permet de tracer les courbes adimensionnelles $A_{i+} = f(h_{i+})$ fig. 4.6

position du rectangle	1	2	3	4	5
$A_i +$	0,039 10	2,438 10	3,938 10	5,438 10	6,938 10
$h_i +$	0,439	0,389	0,331	0,283	0,232
$A_i +$		2,788 10	5,038 10	7,29 10	9,54 10
$h_i +$		0,378	0,321	0,268	0,217
$A_i +$			5,325 10	8,225 10	11,12 10
$h_i +$			0,315	0,257	0,203

B - Cas où le flotteur se trouve dans le creux :

1 - Variation de la surface de la calotte en fonction de la position de son centre de gravité par rapport au plan moyen fig. 2b

Nouvelle définition de la calotte :

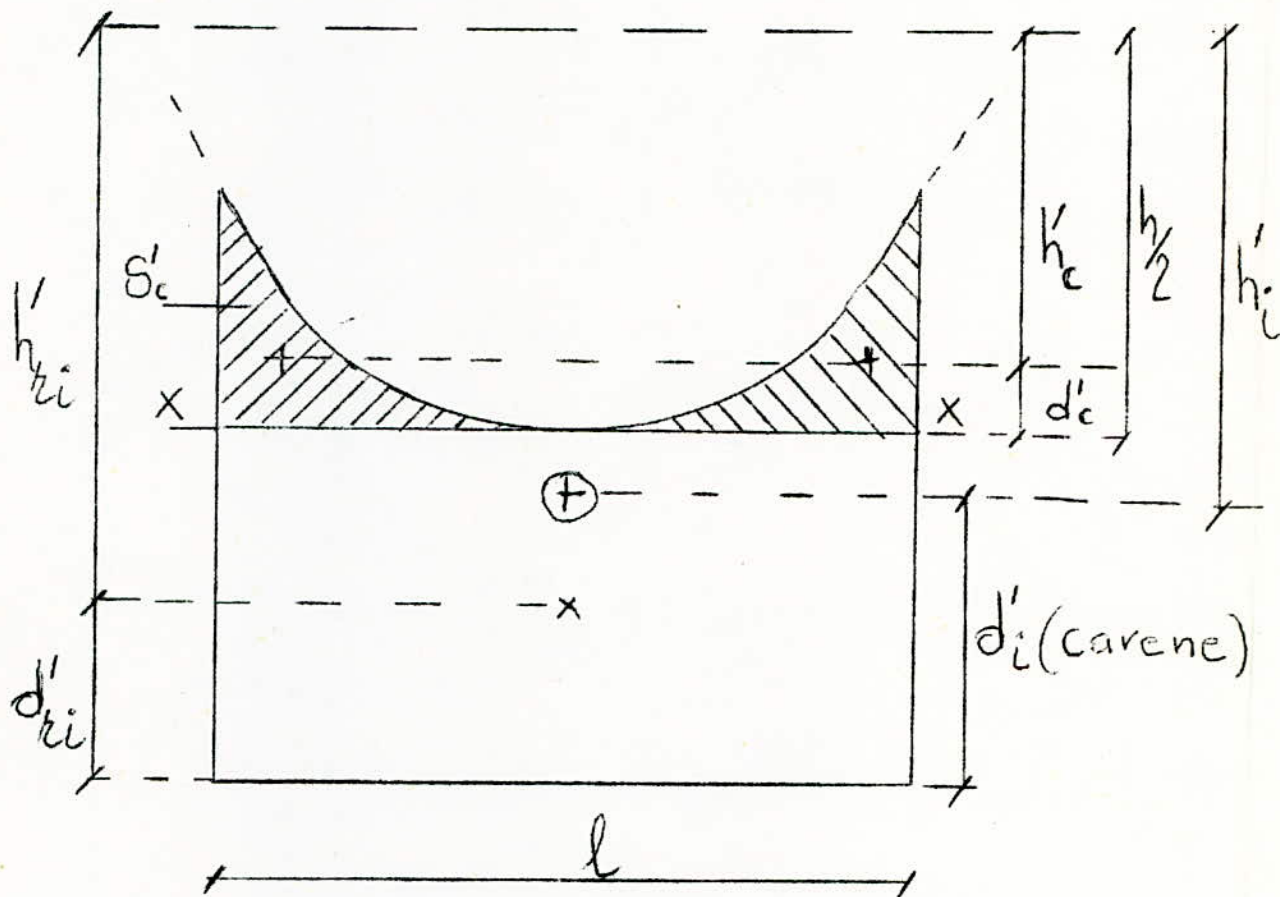


C'est la surface limitée en haut par un arc de trochoïde, en bas par la tangente à la courbe, et par les génératrices verticales du flotteur.

1°) - Notations et symboles :

Le méthode utilisée ici aussi est une méthode graphique basée sur la décomposition en éléments simples. Les symboles représentant ces surfaces élémentaires ont été donnés dans le cas A.

Les nouvelles notations sont données par la figure suivante :



A'_i : surface de la carène

h'_i : position du CDG de la carène par rapport au plan moyen

d'_i : CDG par rapport à $Y - Y$

A'_c : surface de la calotte

d'_c : position CDG de la calotte par rapport à un axe passant par sa base

2) - Courbe $A'_c = f(h'_c)$ - fig. 3b

La méthode de décomposition en éléments simples étant classiques nous ne donnons ici que les résultats finaux groupés sous forme de tableau :

position de Calotte	1		2		3		4		5		
e(cm)		2,6	2,6	2,2	2,6	2,2	1,2	2,6	2,2	1,2	1
b(cm)		0,4	0,4	0,8	0,4	0,8	1,2	0,4	0,8	1,2	1,2
B(cm)		0,8	0,8	1,2	0,8	1,2	1,6	0,8	1,2	1,6	2
c_{ij}		3,12	3,12	4,4	3,12	4,8	3,36	3,12	4,4	3,36	3,6
d_{ij}		0,311	0,311	0,507	0,311	0,507	0,705	0,311	0,507	0,705	0,904
S_{Δ}	1,6	1,6	1,6		1,6		1,6		1,6		
d_{Δ}	0,133	0,133	0,133		0,133		0,133		0,133		
A_{Δ}	1,6	4,72	9,12		12,48		16,08				
S_{i*}	0,213	1,184	3,413		5,781		9,034				
d'_c	0,133	0,251	0,374		0,463		0,562				
h'_c	1,867	1,749	1,626		1,537		1,438				
$A'_c +$	0,01	0,029	0,057		0,78		0,101				
$h'_c +$	0,467	0,437	0,487		0,384		0,360				

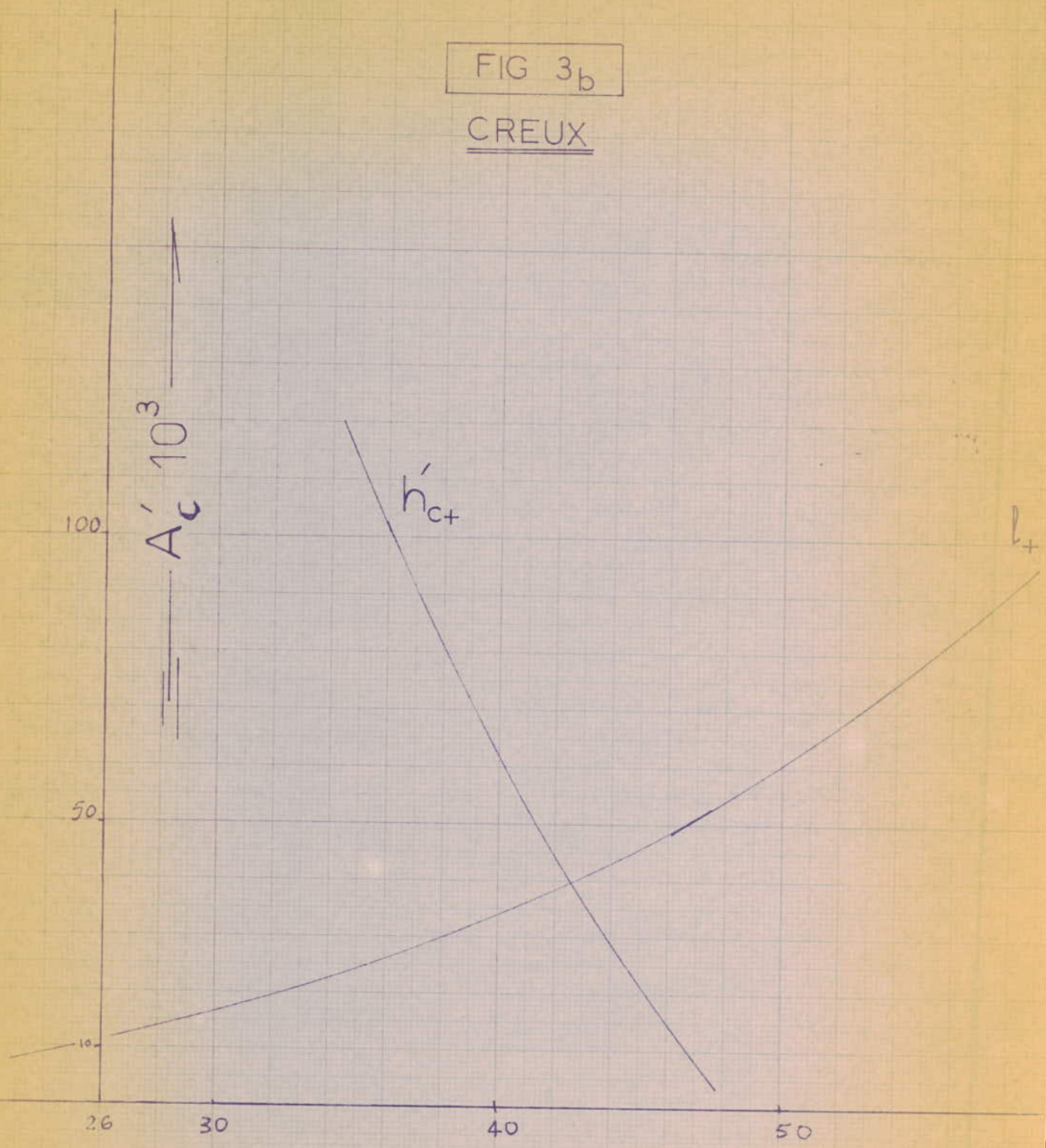
3) Courbe $A'_c +$ en fonction de $l +$ fig- 3b

nous lisons directement la variation de la surface de la calotte A'_c en fonction de la longueur du flotteur l les résultats donnés par le tableau suivant nous permettent de tracer la courbe $A'_c +$ en fonction de $l +$

A'_i	1,60	4,72	9,12	12,48	16,08
$A'_c +$	0,01	0,030	0,057	0,078	0,101
l	10	15,2	19,6	22,	24
$l +$	0,25	0,38	0,49	0,55	0,60

FIG 3_b

CREUX



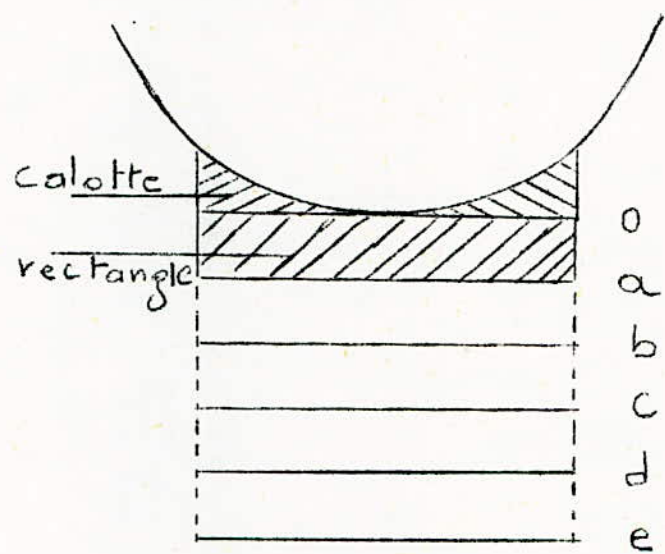
$h'_{c+}, l_+ \cdot 10^2$

II Variation de la carène en fonction de la position de son centre de gravité par rapport au plan moyen fig 2 b

On utilise là aussi le même procédé employé lorsque le flotteur se trouve sur la crête : c'est-à-dire que pour une valeur de la calotte, nous faisons varier progressivement l'immersion ce qui nous donne une augmentation progressive de la surface de la carène que nous nous proposons d'étudier.

Exemple : Schéma de calcul pour la calotte 1 (fig. 2_b).

Caractéristiques de la calotte 1



- $A'c = 1,6 \text{ cm}^2$
- $h'c = 1,867 \text{ cm}$
- $d'c = 0,133 \text{ cm}$
- $l = 10 \text{ cm}$

Position 0 du rectangle :

La surface de carène est égale à la surface de la calotte 1 car ici la surface du rectangle est nulle.

Donc on aura :

$$A'i = A'c = 1,6 \text{ cm}^2$$

$$d'i = d'c = 0,133 \text{ cm}$$

$$h'i = h'c = 1,867 \text{ cm}$$

Position a du rectangle :

$$A'_{\square} = 1, a = 10, 0,4 = 4 \text{ cm}^2$$

$$d'_{\square} = \frac{a}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ cm}$$

$$A'c = 1,6 \text{ cm}^2$$

$$d'c = (0,133 \text{ cm})$$

$$A'i = A'_{\square} + A'c = 4 + 1,6 = 5,6 \text{ cm}^2$$

$$S^* / \text{base du rectangle} = A' \frac{a}{2} + A'c (d'c + a)$$

$$= 4 \cdot 0,2 + 1,6 (0,133 + 0,4)$$

$$S^* / a-a = 1,653 \text{ cm}^2$$

D'où : $d'i = 0,2952$ position du CDG de la surface totale immergée (calotte plus rectangle a).

$$h'i = \frac{h}{2} + a - d'i = 2 + 0,4 - 0,2952$$

$h'i = 2,105$ cm position du CDG de la surface totale immergée rapportée au plan moyen.

Position b du rectangle :

$$A'_{\square} = 10, 0,8 = 8$$

$$d'_{\square} = 0,4$$

$$A'i = 8 + 1,6 = 9,6$$

$$S^* / \text{base du rectangle} = 1,6 (0,133 + 0,8) + 8 \cdot 0,4 = 4,693$$

$$d'i = 0,49$$

$$h'i = 2,8 - 0,49 = 2,31$$

Position c du rectangle :

$$A'_{\square} = 10 \cdot 1,2 = 12$$

$$d'_{\square} = 0,6$$

$$A'i = 12 + 1,6 = 13,6$$

$$S'* = 1,6 (0,133 + 1,2) + 12 \cdot 0,6 = 9,33$$

$$d'i = 0,69 \quad h'i = 3,2 - 0,69 = 2,51$$

Position d du rectangle :

$$A' \square = 10 \times 1,6 = 16$$

$$d' \square = 0,8$$

$$A'i = 16 + 1,6 = 17,6$$

$$S'* = 16 \cdot 0,8 + 1,6 \cdot 1,733 = 15,57$$

$$d'i = 0,89$$

$$h'i = 3,6 - 0,89 = 2,71$$

Position e du rectangle :

$$A' \square = 10 \times 2 = 20$$

$$d' \square = 1$$

$$A'i = 20 + 1,6 = 21,6$$

$$S'* = 20 \cdot 1 + 1,6 (0,133 + 2) = 23,41$$

$$d'i = 1,084$$

$$h'i = 4 - 1,084 = 2,91$$

Nous procédons de la même manière pour les autres calottes en faisant varier l'immersion. Nous obtenons finalement les résultats suivants, résultats qui nous permettent de tracer les courbes adimensionnelles. $A'i_{\pm} = f(h'i_{\pm})$ fig. 4b

Calotte 1 $L = 40$ cm

$h = 4$ cm

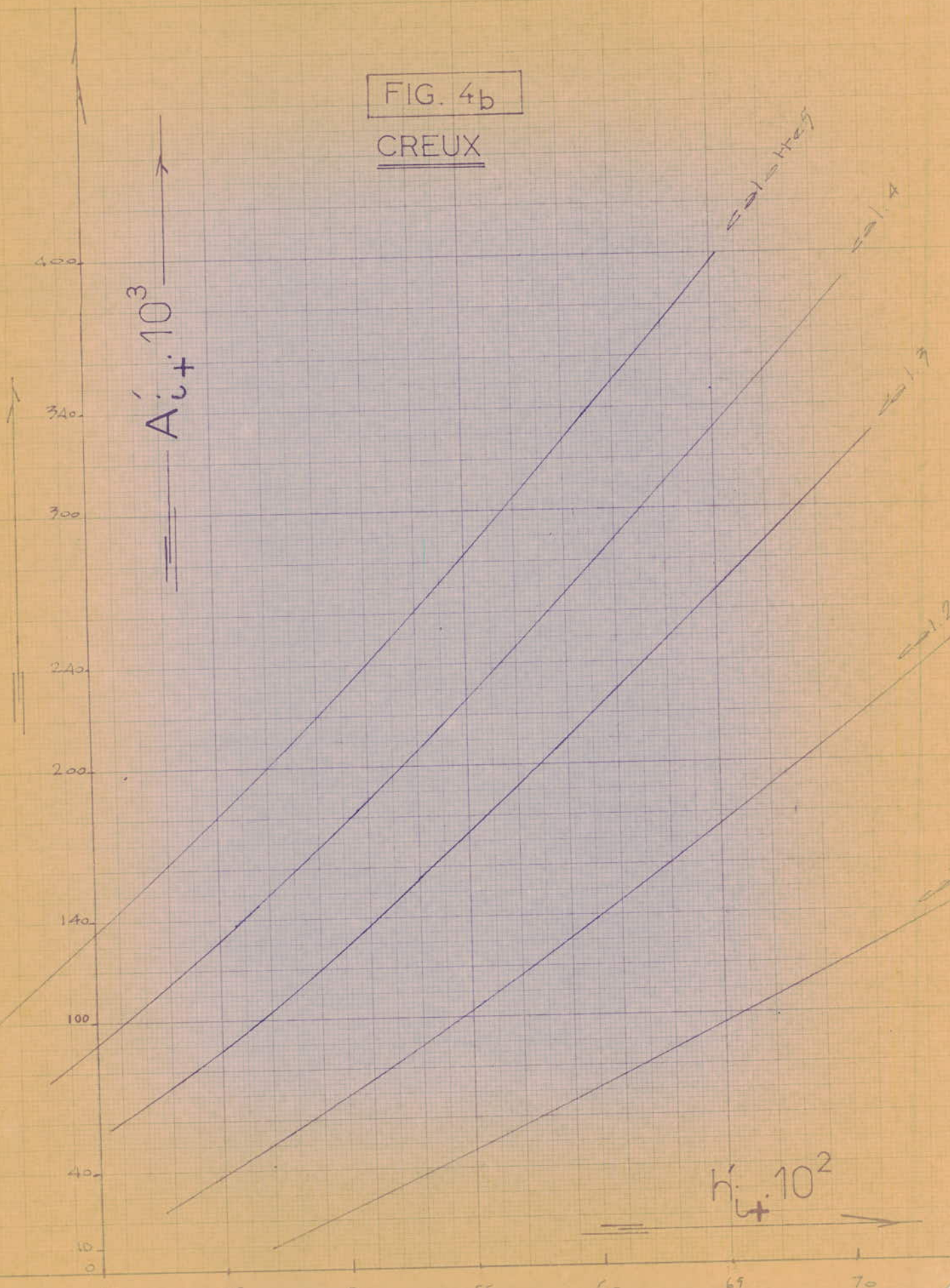
$l = 10$ cm

Positions du rectangle	0	a	b	c	d	e
$A'i$	1,6	5,6	9,6	13,6	17,6	21,6
$A'i / Lh$	0,01	0,035	0,06	0,085	0,110	0,135
$h'i$	1,867	2,105	2,31	2,51	2,17	2,91
$h'i/h$	0,4667	0,52625	0,5775	0,6275	0,6775	0,7275

.../...

FIG. 4b

CREUX



position du rectangle	0	a	b	c	d	e
A'_i	4,72	10,80	16,88	22,96	29,04	35,12
A'_i / Lh	0,0295	0,0675	0,1055	0,1435	0,1815	0,2195
h'_i	1,749	1,993	2,212	2,425	2,625	2,832
h'_i/h	0,437	0,498	0,553	0,605	0,656	0,707

Calotte 3 $l = 19,6$

position du rectangle	0	a	b	c	d	e
A'_i	9,12	16,96	24,8	32,64	40,48	48,32
A'_i/Lh	0,057	0,106	0,155	0,204	0,253	0,302
$n h'_i$	1,626	1,885	2,121	2,325	2,533	2,738
h'_i/h	0,407	0,4713	0,5303	0,5811	0,6332	0,6846

Sous Calotte 4

position du rectangle	0	a	b	c	d	e
A'_i	12,48	21,28	30,08	38,88	47,68	56,48
A'_i/Lh	0,078	0,133	0,188	0,243	0,298	0,353
h'_i	1,5368	1,811	2,038	2,258	2,467	2,675
h'_i/h	0,3842	0,453	0,5105	0,5647	0,61675	0,66875

sous Calotte 5

Position du rectangle	0	a	b	c	d	e
A'_i	16,08	25,68	35,28	44,88	54,48	64,08
A'_i/Lh	0,1005	0,1605	0,2205	0,2805	0,3405	0,4005
h'_i	1,4382	1,719	1,9586	2,1814	2,3962	2,606
h'_i/h	0,360	0,4298	0,4897	0,5454	0,5990	0,6515

Le but essentiel de notre étude est d'avoir une idée de la variation de l'énergie transmise au flotteur par la houle, en fonction de la largeur du flotteur l , et de l'immersion, donc de la force transmise.

Pour cela, nous avons tracé différentes courbes :

$$A_{c+}(l_+) ; A_{c+}(h_{c+}) ; A_{i+}(h_{i+})$$

qui nous permettent de déterminer :

- pour l_+ donné le travail maximum et la force correspondante.
- inversement on pourrait déterminer l optimum à partir d'une force donnée pour que le travail soit maximum. Ceci est valable pour la cambrure qui nous a permis de tracer les graphes à savoir $h_+ = 0,1$

1

PREMIER CAS / : Détermination du travail maximum pour l_+ donné :

Soit : l_+

La courbe A_{c+} en fonction de l_+ donne A_{c+} qui nous permet de déterminer la courbe $A_{i+} = f(h_{i+})$ correspondante. La force étant proportionnelle à la surface A_{i+} , nous assimilerons la force à la surface A_{i+} .

On choisit un $(A_{i+})_1$ auquel correspond sur le graphe $(h_{i+})_1$. Ceci pour la crête.

Considérons le creux :

Pour le même l_+ , on détermine A'_{c+} d'où la courbe A'_{i+} en fonction de h'_{i+} correspondante.

On prendra $(A'_{i+})_1 = (A_{i+})_1$ on a supposé ainsi que la force agissant sur le flotteur est constante tout au long de la course; d'où $(h'_{i+})_1$. La course étant égale à $(h_{i+})_1 + (h'_{i+})_1$, le travail W_{i+} adimensionnel sera égal à : $(A_{i+})_1 \left[(h_{i+})_1 + (h'_{i+})_1 \right]$

$$W_+ = A_{i+} (h_{i+} + h'_{i+})$$

$$W = F (h_i + h'_i)$$

Comme : $F = \bar{\omega} b A_i = \bar{\omega} b \cdot L h A_{i+}$

$$h_i = h_{i+} \cdot h$$

$$h'_i = h'_{i+} \cdot h$$

Alors : $W = \bar{\omega} b L h A_{i+} (h_{i+} + h'_{i+}) h$
 $= \bar{\omega} b h^2 L A_{i+} (h_{i+} + h'_{i+})$

$$W = \bar{\omega} b h^2 L W_+$$

On aura : $W_1 = \bar{\omega} b h^2 L W_{+1}$

Ainsi on pourra déterminer de la même manière, une série de W dont on prendra le maximum d'où la force correspondante donnant le meilleur rendement.

DEUXIEME CAS / : Détermination de l optimum pour une immersion constante h_i :

On choisit : $l -$

Considérons la crête : le graphe $A_{c+} (l_+)$ donne A_c , d'où la courbe $A_{i+} = f(h_{i+})$.

h_{i+} étant connu, on lit A_{i+} sur le graphe (c'est à dire F).

Considérons le creux :

Pour le même l , nous aurons A'_{c+} d'où la courbe $A_{i+} (h'_{i+})$ en prenant $A'_i = A_i$ nous déterminons sur cette courbe l'immersion h'_{i+} correspondante - D'où la travail $W_+ = A_{i+} (h_{i+} + h'_{i+})$.

En faisant varier l et en procédant de la même manière nous déterminons une série de W_+ dont on prend le maximum auquel correspond l optimum cherché.

Remarque :

Cette méthode pourrait être simplifiée si nous traçons les graphes W_+ en fonction de A_{j+} , pour diverses valeurs de l ceci par la méthode grapho-analytique déjà utilisée.

ETUDE THEORIQUE

-0-0-0-0-

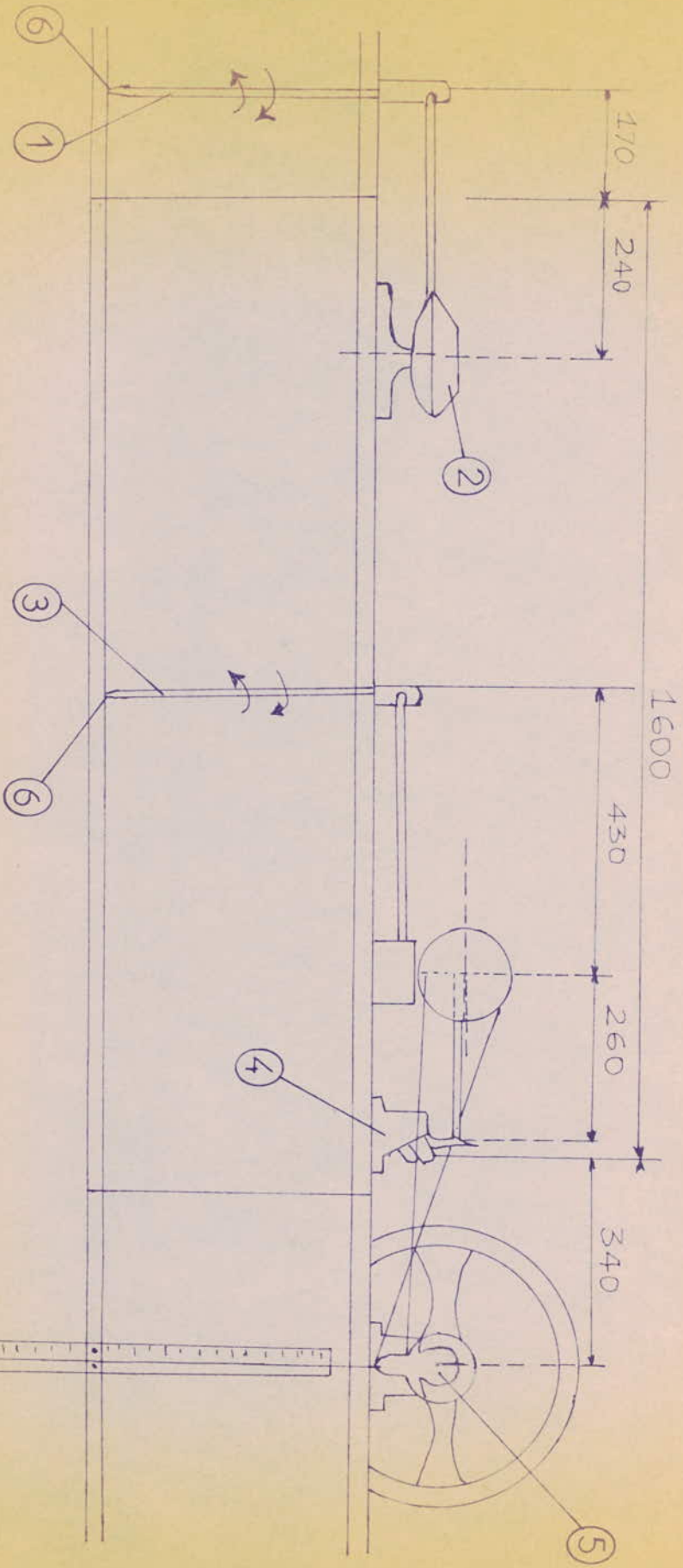
SYSTEME RECEPTEUR DE L'ENERGIE DE LA HOULE

I - DESCRIPTION DES SYSTEMES PRECEDENTS :

Avant de présenter le système de récupération de l'énergie de la houle, nous avons jugé utile de donner une description très sommaire des systèmes étudiés par nos prédécesseurs à l'E.N.Polytechnique, ceci afin de permettre au lecteur d'avoir une idée sur l'évolution et les causes qui nous ont mené au mécanisme adopté.

1° - Le premier système de récupération de l'énergie de la houle étudié en 1974 par Mr RAZKALLAH était constitué d'un volet rigide vertical oscillant autour d'un axe horizontal, normal à la direction de propagation des vagues, axe situé au fond du canal à houle. Le volet est actionné par le passage des vagues et a un mouvement oscillatoire autour d'une position verticale, ce mouvement est transmis à une pompe au moyen d'un système mécanique approprié (fig. 1a), la pompe remplissait un bassin. On avait ainsi, transformé l'énergie des vagues en une énergie potentielle accumulable.

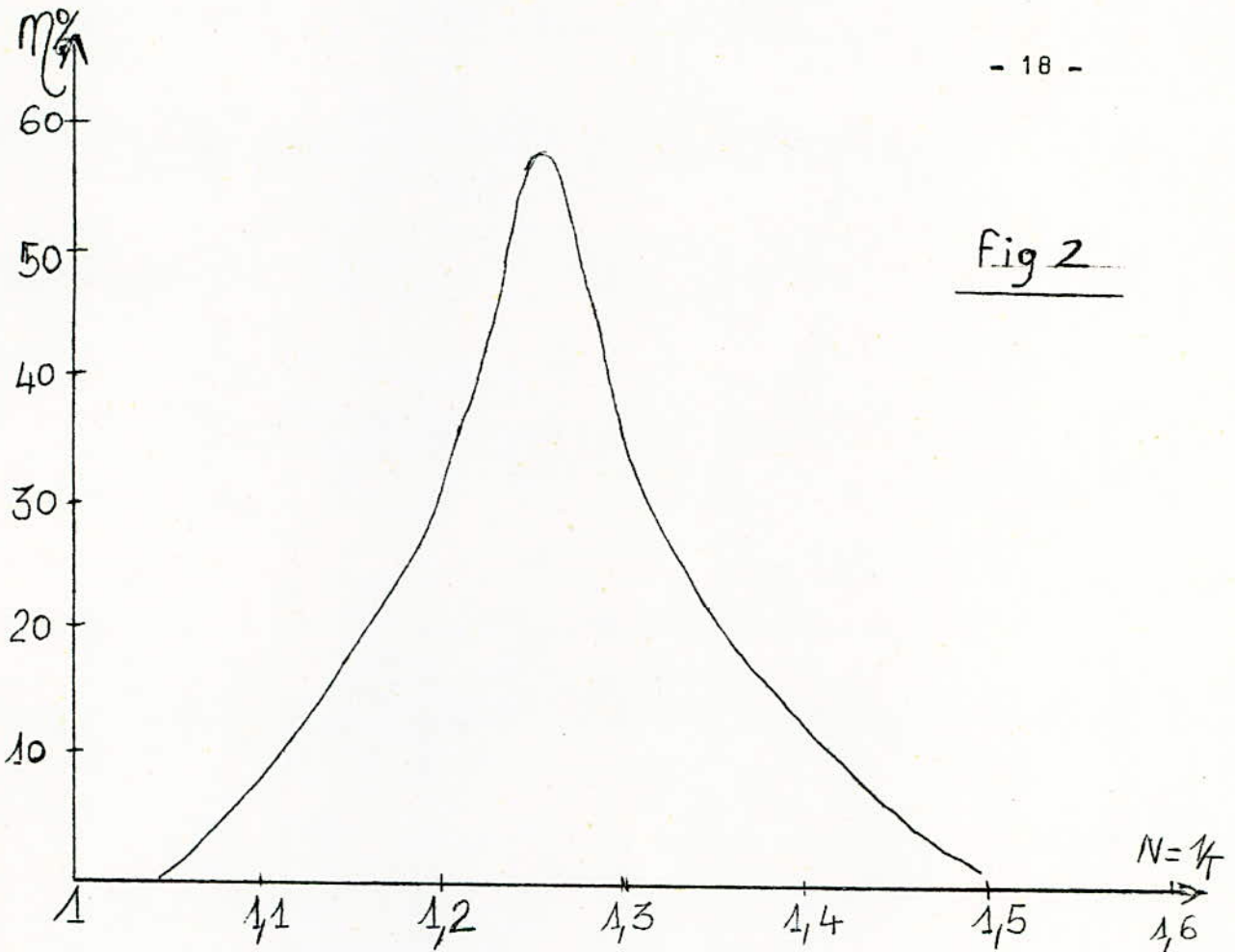
Avantages et inconvénients : Ce système avait un bon rendement pour une longueur d'onde bien définie, mais le rendement baisse dès que l'on s'écarte de cette longueur d'onde, comme on peut le constater sur la courbe donnant le rendement en fonction de la fréquence, courbe en pointe.



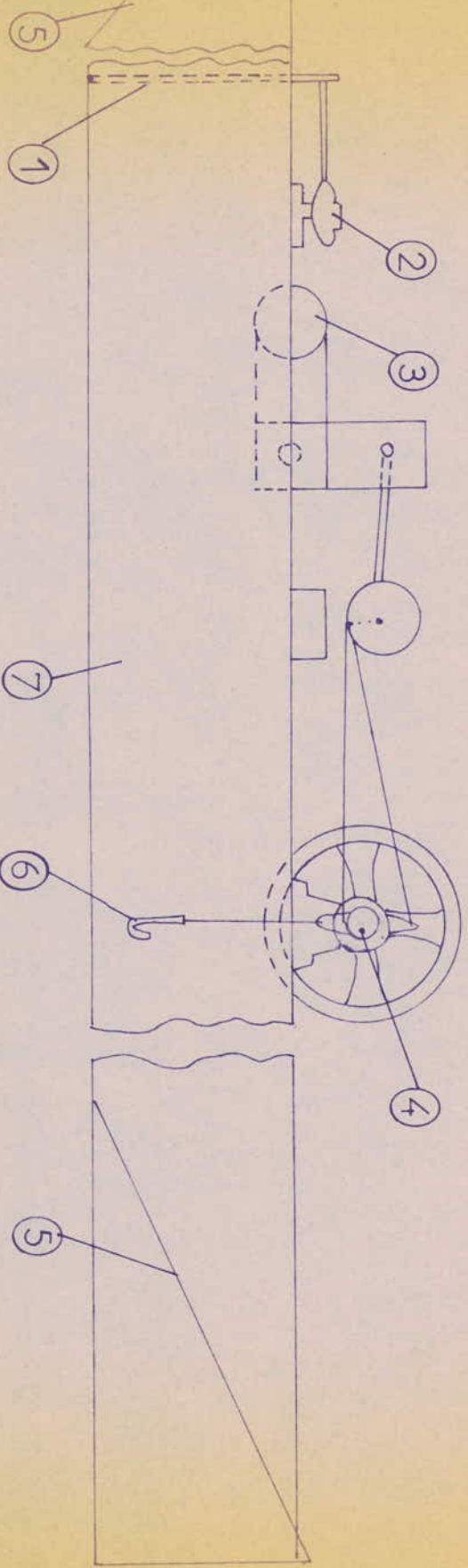
Légende:

- | | |
|---|------------------------|
| 1 | Volant générateur |
| 2 | motor |
| 3 | Volant récepteur |
| 4 | mechanisme hydraulique |
| 5 | arbre récepteur |
| 6 | charnière |

Fig. 1a



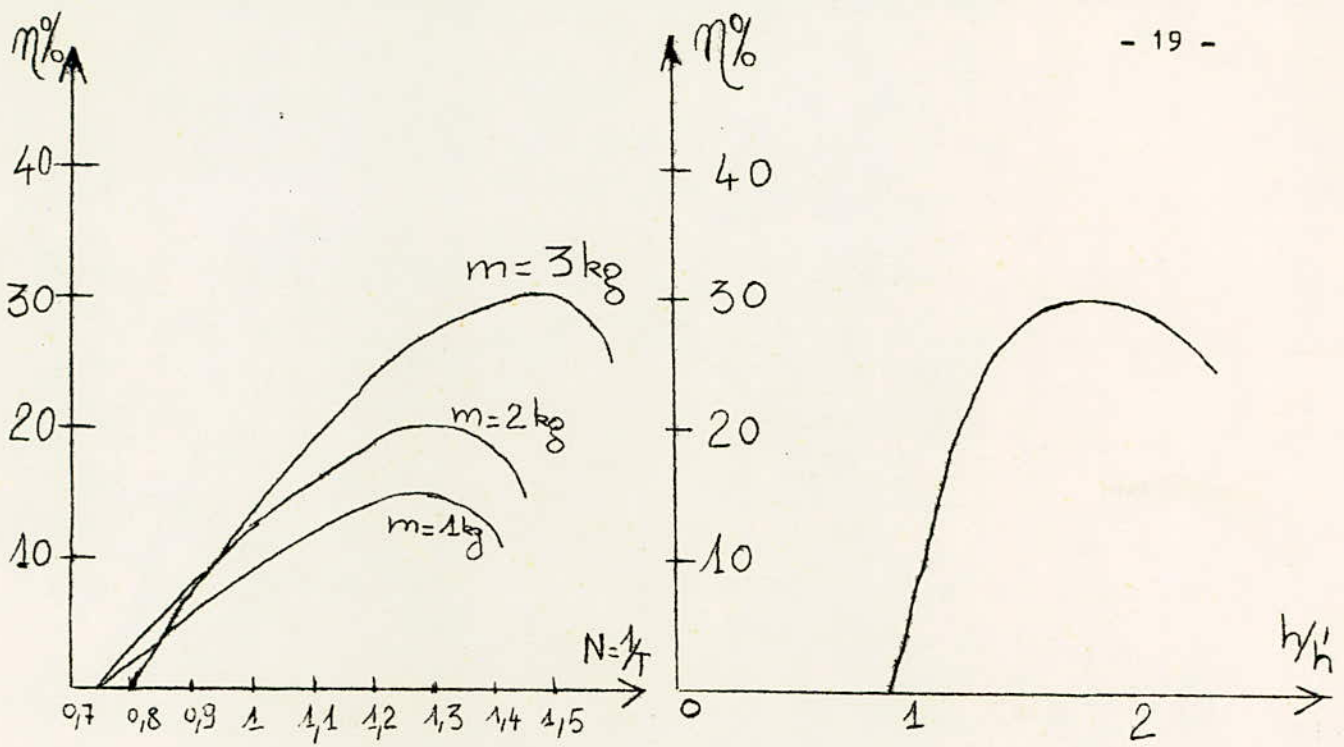
2° - Le second système étudié en 1975 par Hassein HARCHA avait pour but essentiel l'élimination de la sélectivité. Pour cela on a remplacé le récepteur qui était une plaque verticale par un flotteur cylindrique, la transmission du mouvement oscillatoire (de bas en haut) se faisait par un système mécanique semblable au précédent. (Fig 1b) Constatations : On a réussi à éliminer la sélectivité, mais le rendement a diminué presque de moitié (voir graphes fig.3).



Légende:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. volant générateur 2. moteur 3. flotteur (récepteur) 4. arbre récepteur | <ul style="list-style-type: none"> 5. poulie 6. crochets pour poignées métalliques 7. canal à huile |
|--|--|

Fig. 1b



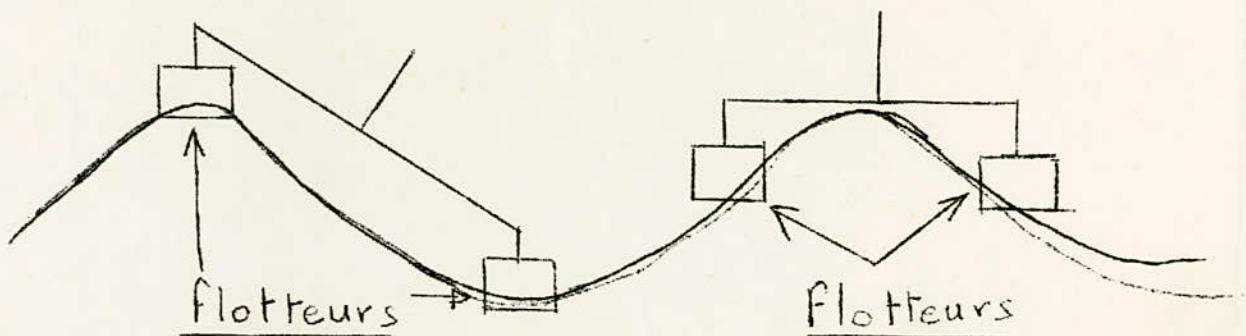
II - NOUVEAU SYSTEME RECEPTEUR DE L'ENERGIE DE LA HOULE :

Le but de notre étude est d'éliminer les inconvénients des systèmes précédents à savoir, la sélectivité et un faible rendement.

Pour augmenter le rendement, nous avons multiplié le nombre de flotteurs, pour éliminer la sélectivité nous avons conçu un système réglable pouvant s'adapter à différentes longueurs d'onde.

1° - Principe de fonctionnement :

a) Description schématique :



Le système est constitué de quatre flotteurs reliés 2 à 2 (2 couples de flotteurs) par des tiges et qui transmettent leur mouvement à un même arbre.

Les flotteurs sont réglés de façon à occuper les positions indiqués sur la figure 4 suivant la longueur d'onde que l'on a. Dans la réalité, en mer, on a constaté que la longueur d'onde était pratiquement la même à un endroit donné, le réglage se fera donc rarement.

b) Etude de la transmission du mouvement :

Nous voulons faire tourner un arbre de façon continue par un système à quatre temps. Sur l'arbre où l'on doit justement récupérer l'énergie, et que l'on appellera arbre récepteur, seront placées 4 roues libres entraînant l'arbre dans le même sens. Lorsque la vague passe au niveau d'un flotteur, celui-ci monte sous l'effet de la poussée d'Archimède et redescend sous l'effet de son poids propre. L'énergie de la houle sera transmise à l'arbre récepteur lors de la montée du flotteur. L'étude du système mécanique sera faite ultérieurement.

Considérons le flotteur a, lorsqu'il monte il donne un mouvement de rotation à l'axe des flotteurs, qui est transmis à la manivelle a₁ du flotteur, puis à la manivelle a₂ de la roue libre qui va entraîner l'arbre récepteur dans le sens indiqué sur la figure 5

Lors de la descente du flotteur a, on a le mouvement inverse, la roue libre tourne dans l'autre sens sans entraîner

RECEPTEUR de HOULE (2 temps de $T/4$)

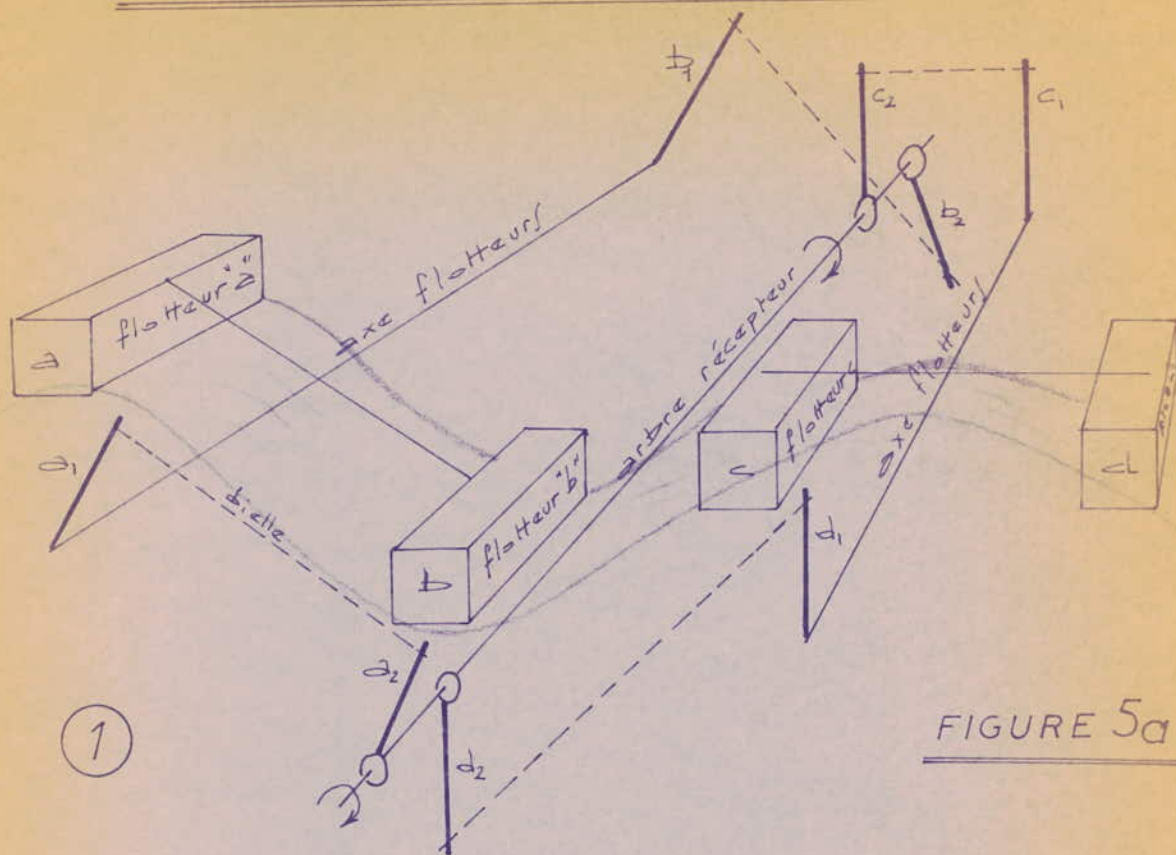


FIGURE 5a

sens de propagation de la houle

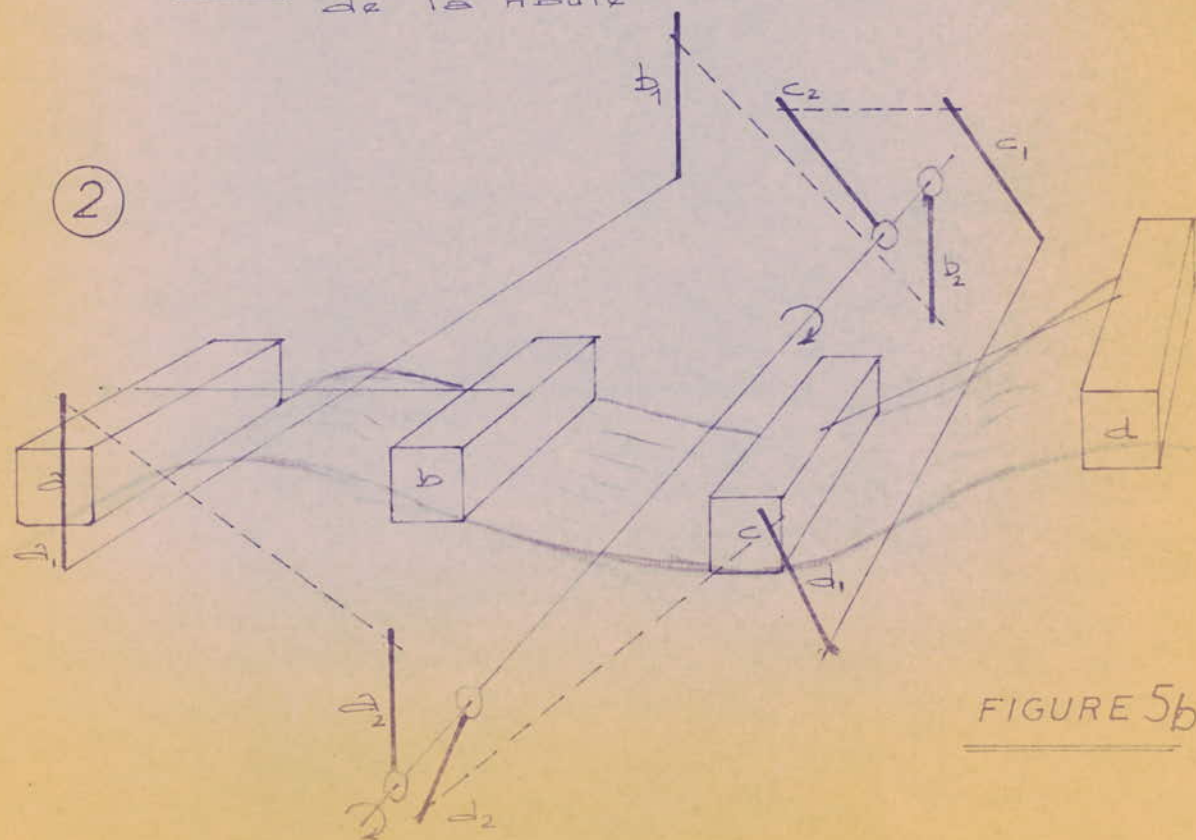


FIGURE 5b

l'arbre cette fois-ci, et ainsi de suite. Pendant ce temps, le flotteur b monte et va entraîner l'arbre; puis il descend sans l'entraîner.

On a ainsi un mouvement oscillatoire des flotteurs autour du niveau moyen de la vague, mouvement qui se traduit sur l'arbre par un système à deux temps discontinu.

En mettant deux flotteurs c et d, décalés de $\frac{1}{4}$ dans l'espace comme l'indique la figure 6 nous aurons un mouvement continu de l'arbre.

Considérons deux instants consécutifs t_1 et t_2 décalés d'un quart de période, si l'on étudie le mouvement des quatre flotteurs, on constate que de la position 1 à la position 2 (fig. 5), entre les instants t_1 et t_2 : le flotteur qui était sur la crête va descendre sans entraîner l'arbre.

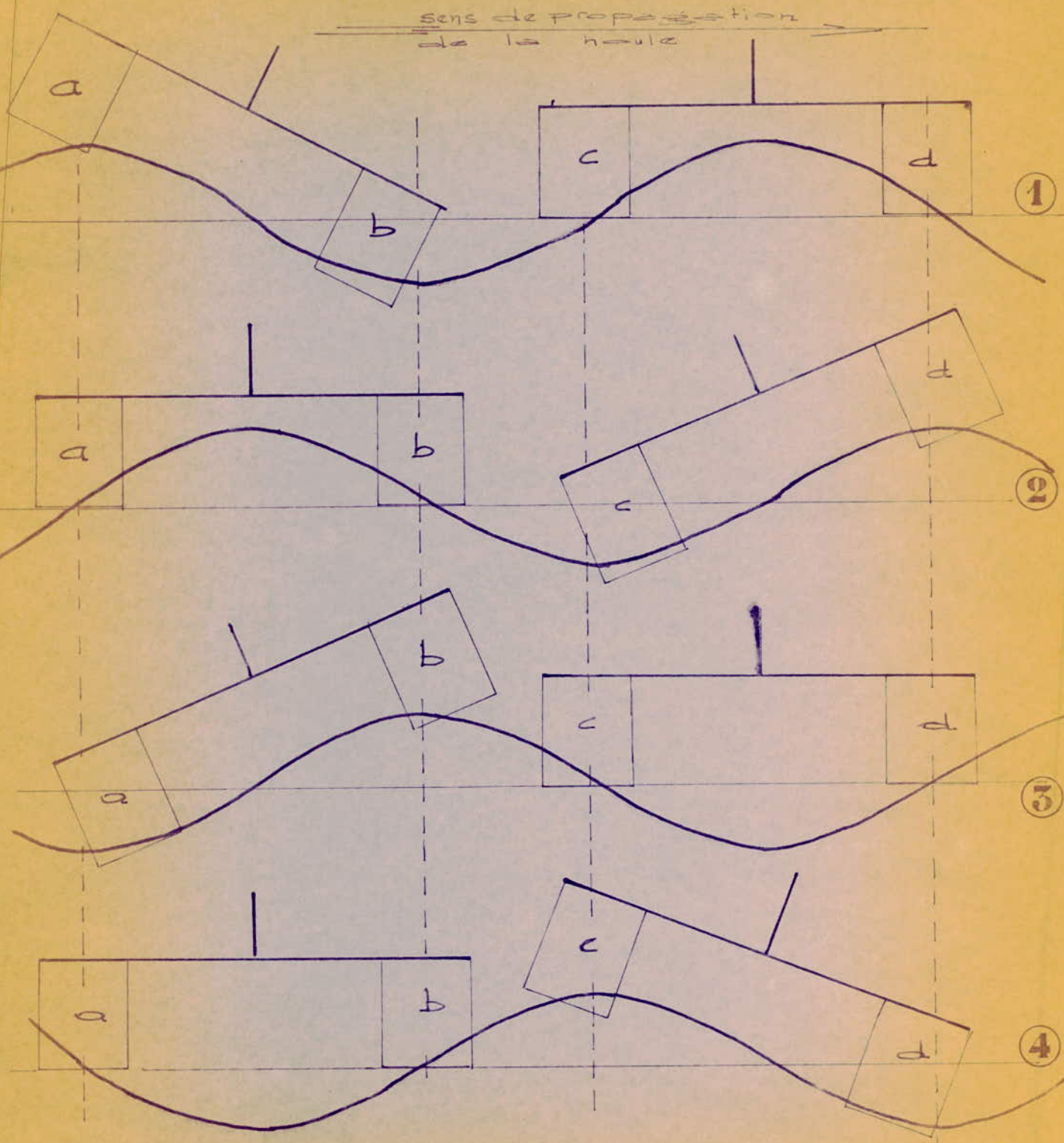
Pendant ce temps, le flotteur b qui se trouvait dans le creux de la vague va monter et entraîner l'arbre.

Parallèlement, le flotteur c qui se trouvait au niveau moyen de la surface libre de la vague, va monter donc entraîner l'arbre.

Tandis que le flotteur d descend sans l'entraîner.

Si nous considérons le quart de période suivant, nous constatons que l'on a toujours 2 flotteurs qui entraînent l'arbre.

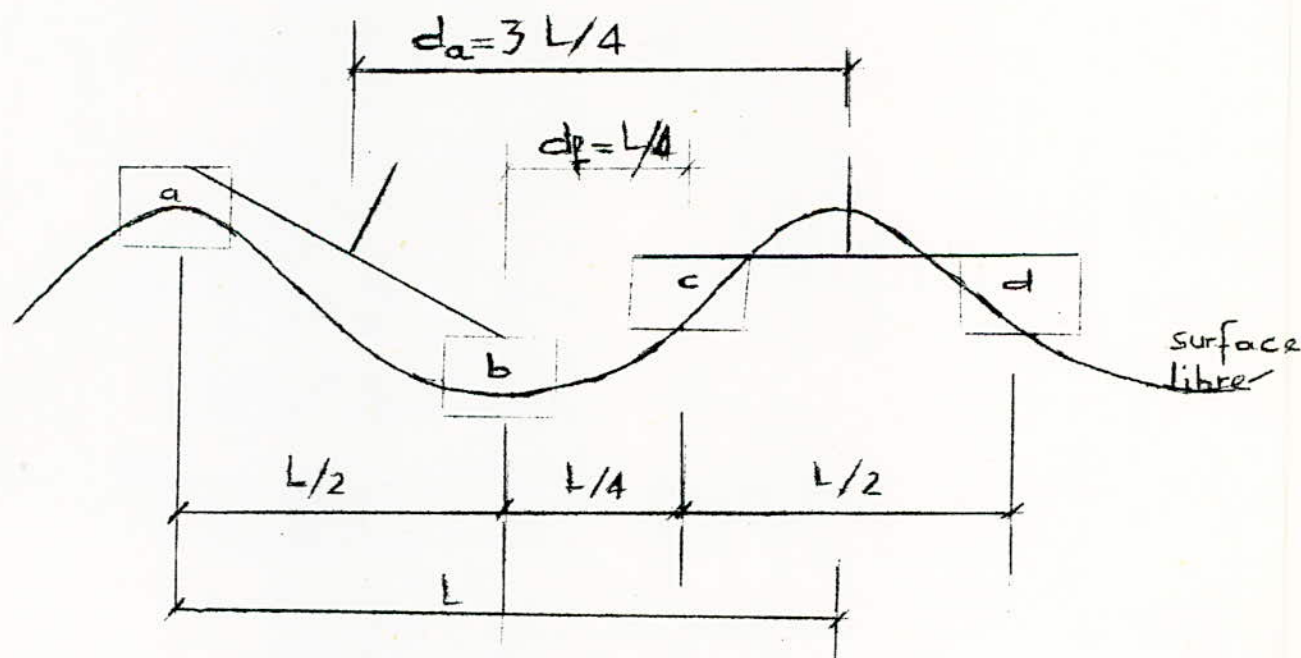
FIG:10 MOUVEMENTS des FLOTTEURS
durant 1 période T .



On a donc un entraînement continu de l'arbre.
L'étude de ces mouvements sera faite plus en détails par la suite.

Nous avons un système tout à fait analogue au moteur à quatre temps. Les cylindres étant ici les flotteurs.

Connaissant le principe de fonctionnement, nous allons adapter le système à la houle dans toute sa diversité et ses variations. Il est clair que si la longueur d'onde change, on devra modifier la position des flotteurs de façon à avoir toujours un mouvement à 4 temps (voir fig. 6).



a, b, c, d : flotteurs

Figure 6

Pour une longueur d'onde L , on doit avoir comme distance entre axes des flotteurs $d_a = \frac{3}{4} L$,

Comme distance entre deux flotteurs consécutifs non reliés (b et d) :

$$d_f = \frac{L}{4}$$

Comme distance entre flotteurs d'un même couple de flotteurs (a et b . ou bien c et d) :

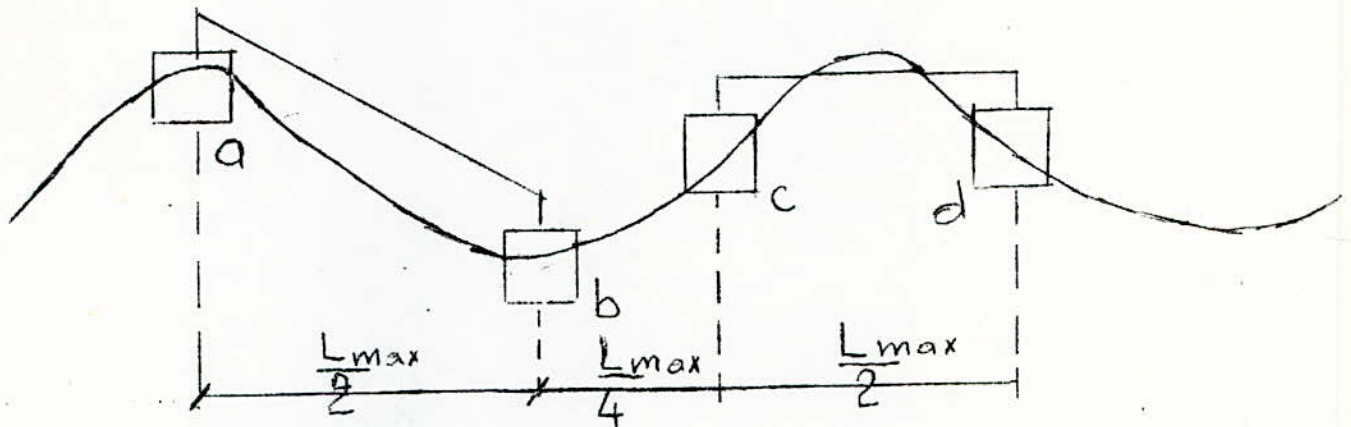
$$l_f = \frac{L}{2}$$

On doit avoir un système avec flotteurs réglables les uns par rapport aux autres, de plus la distance d_a entre axes des flotteurs doit être égale à $\frac{3}{4} L$ donc réglable en fonction de L . 4

2°) - Détermination de la longueur des barres supportant les flotteurs :

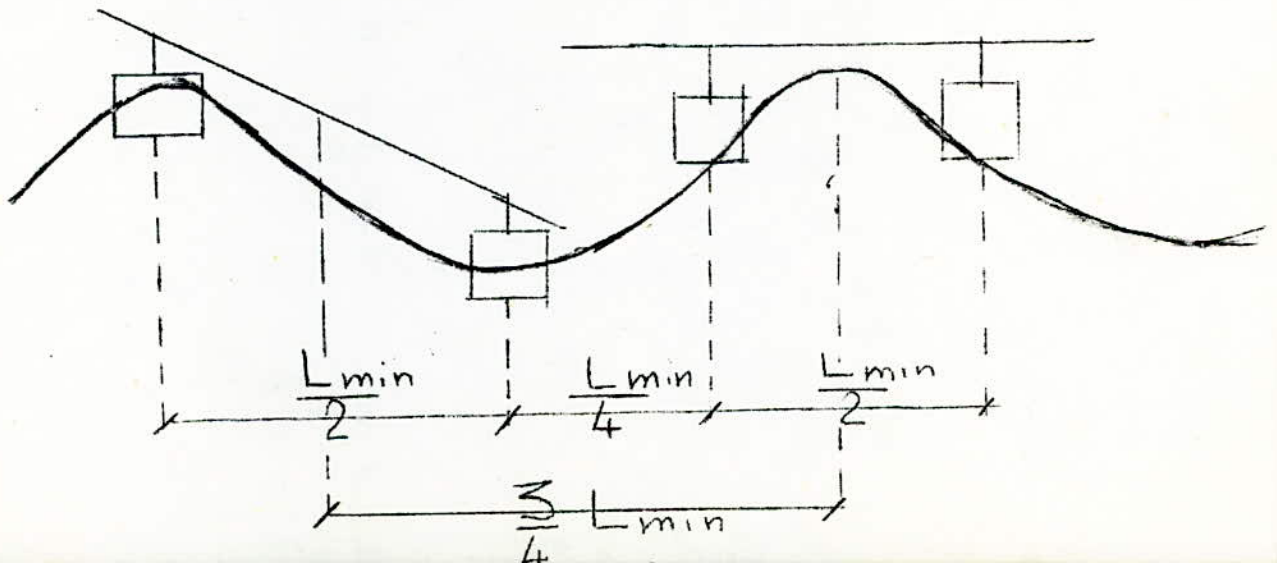
Ces longueurs de barres doivent être compatibles avec les longueurs d'ondes extrêmes données par le système générateur de houle.

a) - Pour cela considérons d'abord la longueur d'onde maximum obtenue soit $L_{\max} = 160$ cm, et pour cette longueur d'onde, la position des flotteurs :



Si nous considérons le couple de flotteurs (c, d), nous constatons que la longueur de barre minimum nécessaire doit être égale à $\frac{L_{max}}{2} + 2$ fois la demi-largeur du flotteur soit l'égal à 100 cm.

Considérons maintenant la longueur d'onde minimum et le cas limite où il y a contact entre fléaux:



Nous constatons dans ce cas que la distance entre axes des deux couples de flotteurs est égale à $\frac{3}{4} L$ min, égale aussi à la longueur de barre l .

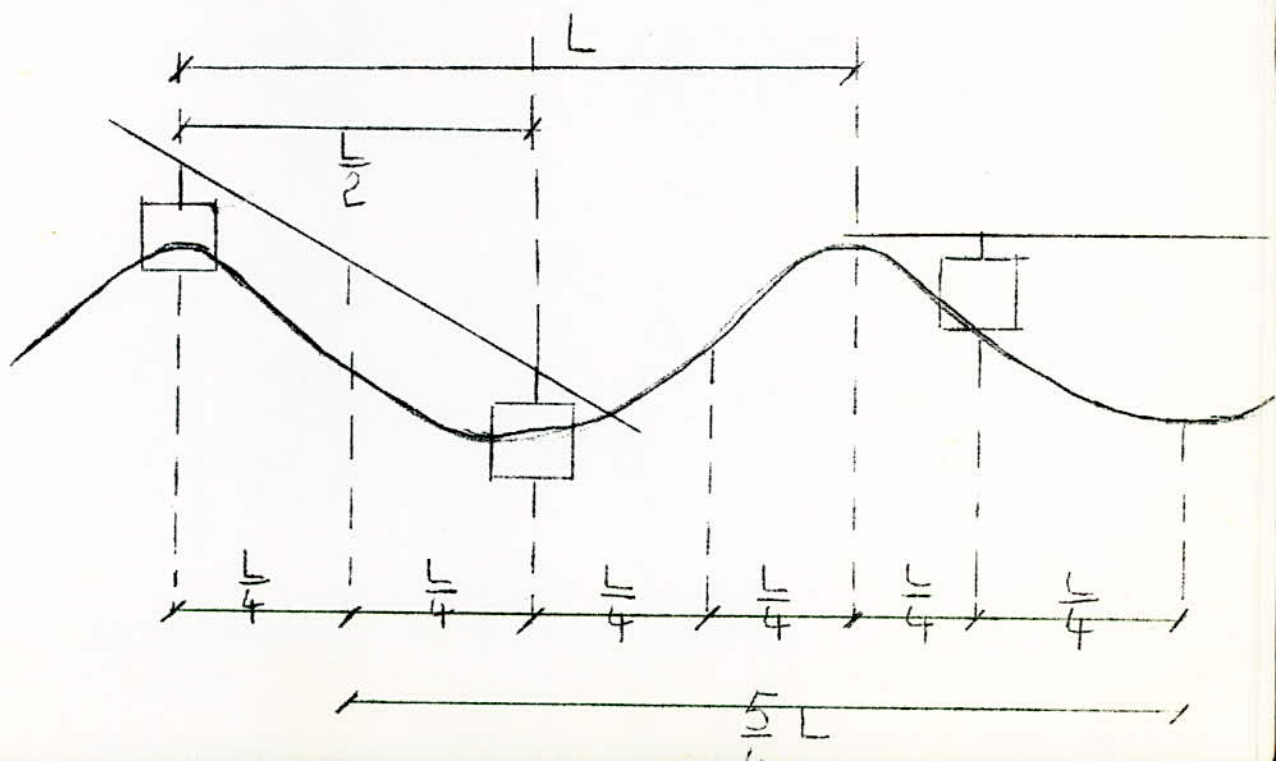
Nous aurons $\frac{3}{4} L \text{ min} = l = 100 \text{ cm}$.

La longueur d'onde minimum que l'on pourrait atteindre avec cette disposition des flotteurs et avec une longueur de barre l minimum, serait égale à $\frac{4}{3} 100$ soit 133 cm.

Or, la longueur d'onde minimum obtenue avec le générateur de houle est de 60 cm.

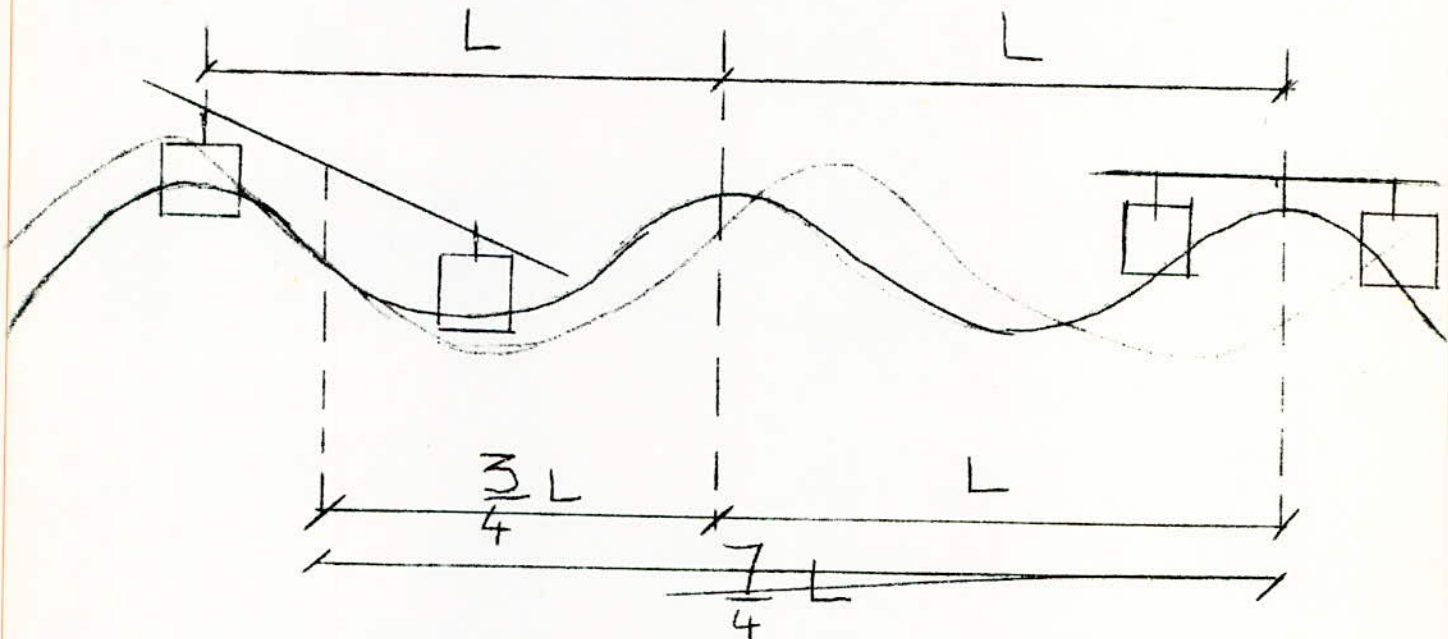
Aussi, il est nécessaire de changer la disposition du 2ème couple de flotteurs si l'on veut explorer toute la gamme de longueurs d'onde.

b) .- Pour avoir toujours le mouvement à quatre temps, nous décalerons le 2ème couple de flotteurs de $L/2$. Nous aurons la disposition suivante :



Si nous prenons toujours comme longueur de barres $l = 100$ cm, nous constatons que à la limite lorsqu'il y a contact entre fléaux $l = \frac{5}{4} \lambda$ min, soit cela se produit pour une longueur d'onde minimum égale $\frac{4}{5} l$ soit 80 cm.

Nous voyons que là encore, la longueur d'onde minimum limite reste supérieure à la longueur d'onde obtenue dans le canal. Décalons encore le 2ème couple de flotteurs de $\frac{L}{2}$



Nous voyons dans ce cas que la longueur d'onde minimum pour laquelle il y a contact est $L_{\min} = \frac{4}{7} l$ soit $L_{\min} = 57$ cm.

Avec cette disposition des flotteurs, les barres de 120 cm que nous avons conviennent car elles permettent d'atteindre des longueurs d'ondes variant entre 160 cm et $\frac{4}{7} \cdot 120 = 68$ cm.

Le deuxième couple de flotteurs étant décalé de L par rapport à sa position initiale, nous pouvons considérer cette dernière dans ce qui suit, car le mouvement du second couple des flotteurs reste le même (mouvement périodique).



III - ETUDE DE LA TRANSMISSION DES MOUVEMENTS DES FLOTTEURS

.. A L'ARBRE : . . .

Nous avons vu le principe de fonctionnement du système de récupération de l'énergie de la houle. Nous allons étudier maintenant plus en détail, le mécanisme de transmission du mouvement des flotteurs à l'arbre récepteur.

Nous disposons sur l'arbre 4 roues libres qui enclenchent toutes dans le même sens (c-à-d qui entraînent l'arbre quand on les fait tourner dans un sens, et ne l'entraînent pas quand on les fait tourner dans le sens contraire).

Considérons les flotteurs à un instant donné (fig 5). Nous allons voir maintenant comment disposer les bielles-manivelles pour transmettre le mouvement des flotteurs aux roues libres qui entraînent l'arbre récepteur.

Considérons la fig. 5 et examinons d'abord le mouvement des manivelles agissant sur les roues libres entre les instants t_1 et t_2 . La manivelle-roue libre " a2 " correspondant au flotteur " a " passe de la position  à la position  . Lors de la descente du flotteur " a " sous l'effet de son propre poids, l'arbre récepteur ne doit pas être entraîné par la roue libre Ra qui déclenche ("D"). Par contre " b " qui monte entre les positions 1 et 2, doit entraîner l'arbre.

Effectivement la manivelle-roue libre b2 passe de la position Q à la position Q et enclenche.

On peut pour ces deux instants t1 et t2 faire le même raisonnement pour les autres flotteurs soit :

De ① à ②, nous avons

Sens d'entraînement: ↻

Enclenchement: E

Declenchement: D

Flotteur "a": Roues libres ↻ D

"b": Q ↻ Q E

"c": ↻ D


"d": Q ↻ Q E


Nous pouvons ainsi examiner le mouvement des 4 roues libres pendant quatre quarts de période successifs . . . Les résultats sont regroupés dans le tableau (1) et sur la figure 9 donnant la position de manivelles-roues libres correspondants.

roues libres		R _a	R _b	R _c	R _d
Temps					
0	①				
I 4	②	D	E	D	E
I 2	③	D	E	E	D
3I 4	④	E	D	E	D
T	⑤	E	D	D	E

Tableau 1

La figure 9 a été faite en tenant compte de la convention européenne.

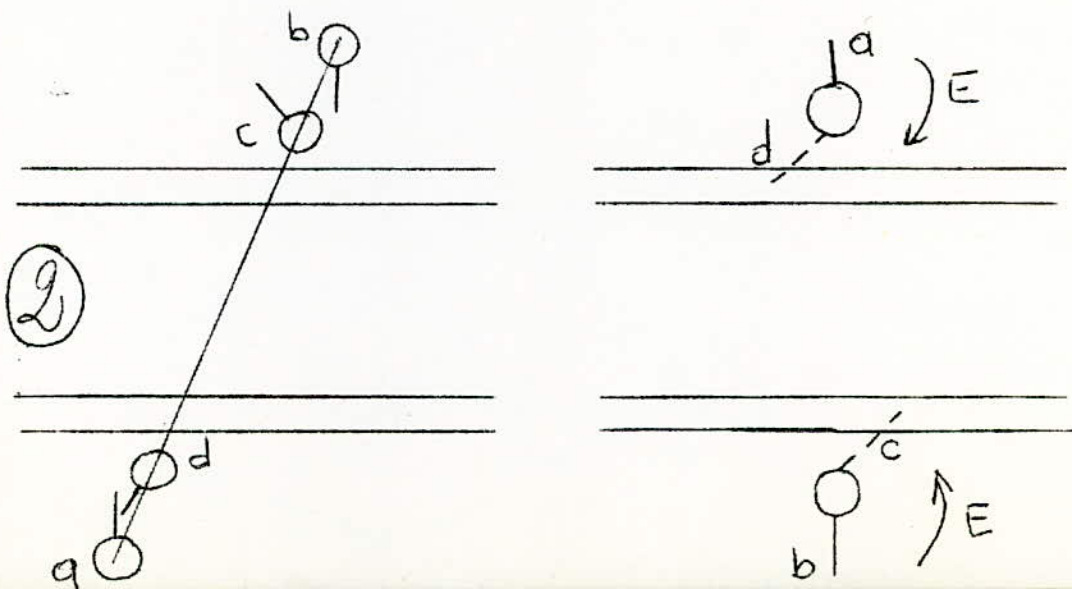
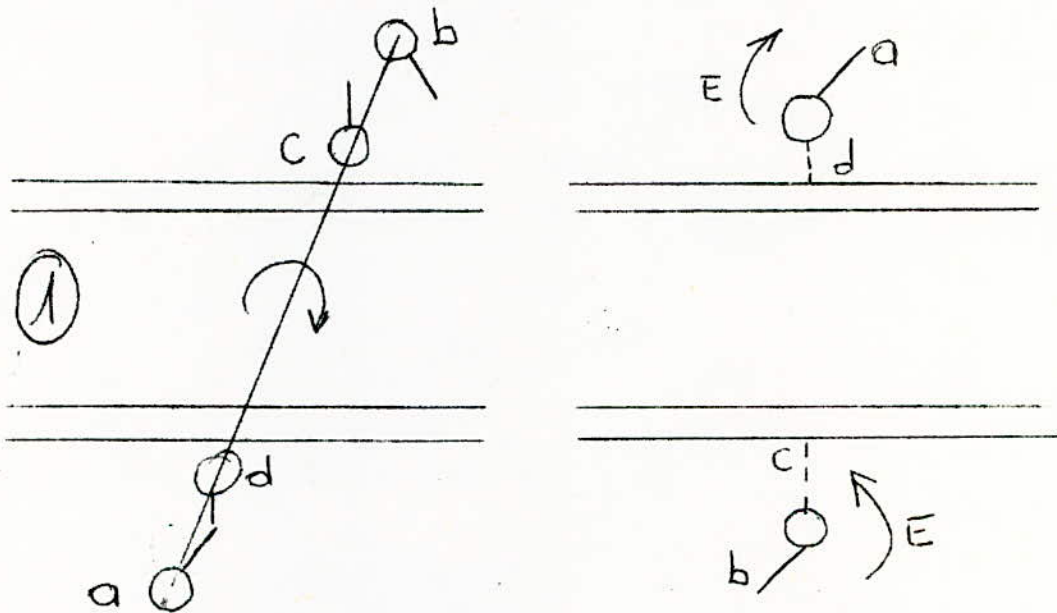
La roue libre est représentée par un cercle  ; la manivelle-roue libre avant par un trait plein, la manivelle-roue libre arrière par un trait interrompu.

Exemple :  roue libre couplée au flotteur " a ", la manivelle-roue libre étant vers le haut et en avant.

a et b caractérisent le premier couple de flotteurs
c et d caractérisent le deuxième couple de flotteurs

- ↻ sens de rotation de l'arbre
- E correspond à l'enclenchement de la roue libre.

Pour faciliter la compréhension de cette schématisation, nous décrivons 2 positions à titre d'exemple :



La représentation de gauche est une schématisation en perspective de l'arbre récepteur, des roues libres et de la position des manivelles; les doubles traits représentant le canal.

Pour faire la schématisation de droite, nous considérons la position (1) par exemple :

- nous nous plaçons face au canal nous voyons d'abord la roue libre " a ", la roue libre " d " venant derrière " a " aussi on convient de représenter de l'autre côté du canal une seule roue libre avec un trait plein représentant la manivelle-roue libre " a " (avant) et un trait interrompu représentant la manivelle-roue libre " d " (arrière).

- de même pour représenter les roues libres " c " et " b ", on se place du côté de ces roues libres et on représente de l'autre côté du canal ce que l'on voit.

La roue libre " b " est vue la première aussi la manivelle-roue libre est représentée en trait plein, par contre la roue libre " c " vient derrière aussi la manivelle-roue libre " c " est représentée en trait interrompu.

Nous remarquons ici que le sens d'enclenchement est inversé d'après cette vue conventionnelle alors que l'arbre tourne toujours dans le même sens.

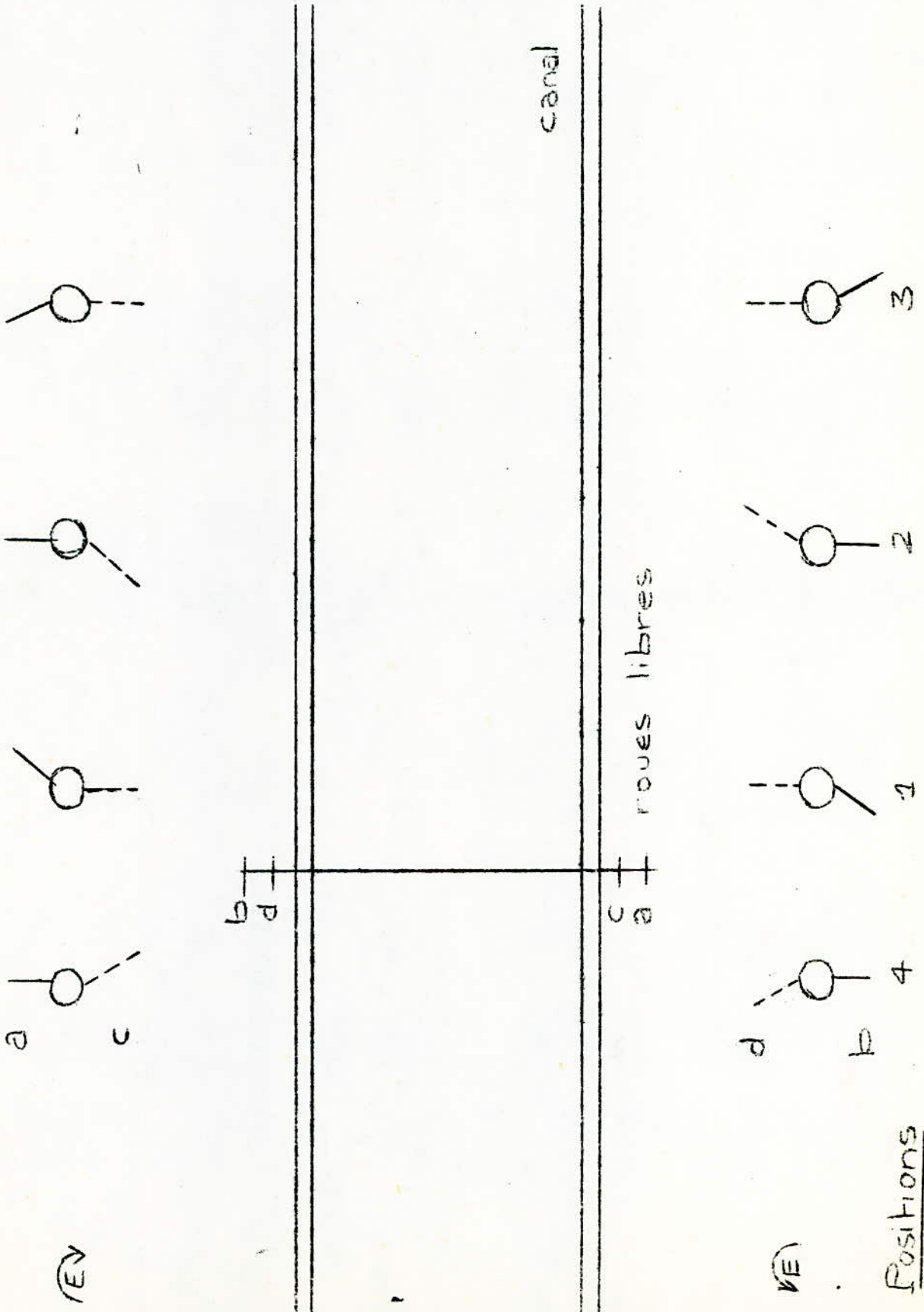
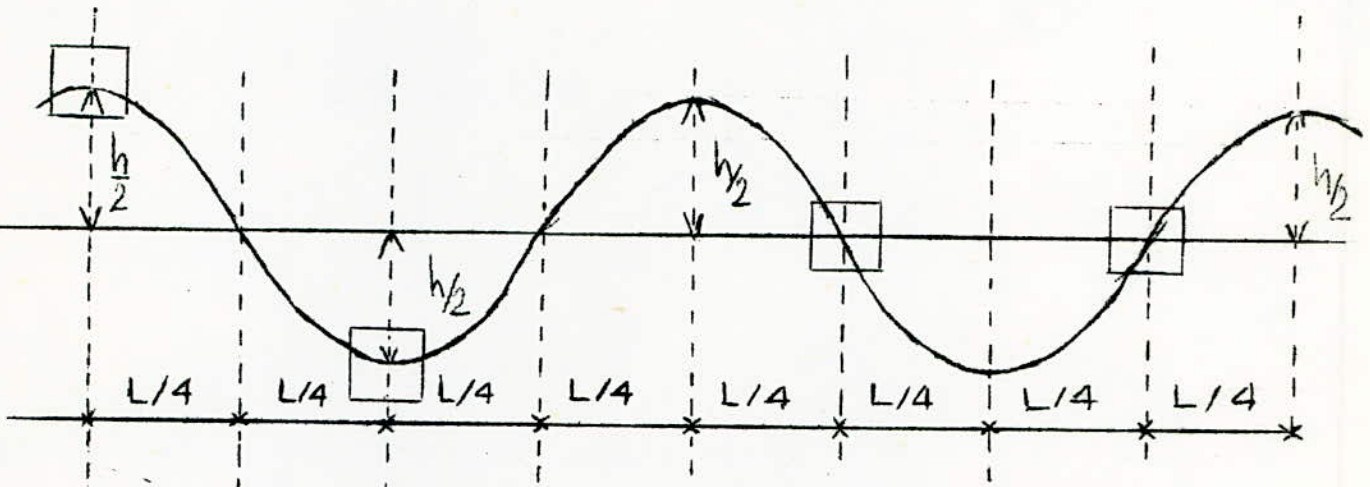


Figure 9

POSITION DES FLOTTEURS PAR RAPPORT A L'AXE

Dans un premier temps, on suppose que la houle garde les mêmes caractéristiques avant et après la mise en place des flotteurs.



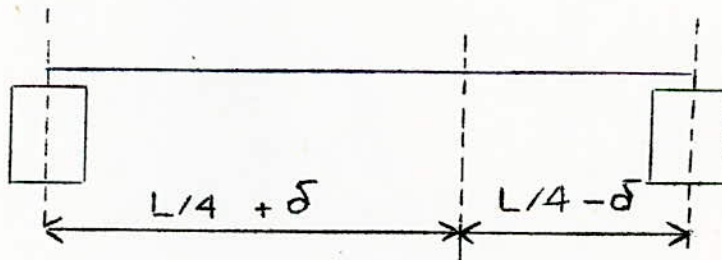
On doit alors placer les flotteurs symétriquement par rapport à l'axe qui les supporte; ils ont ainsi la même course verticale.

Ceci n'est pas exact, car en fait, chaque flotteur absorbe une partie de l'énergie de la vague et change ainsi sa longueur d'onde et son amplitude (Ce qui est vérifié expérimentalement). Le réglage des flotteurs devra être fait en conséquence afin d'éviter une trop grande immersion car chaque flotteur doit avoir comme course, l'amplitude de la houle à l'endroit où il est placé. Si nous laissons les flotteurs symétriques par rapport à l'axe, le premier flotteur suit l'amplitude de la houle incidente et aura une amplitude h_1 . Comme la houle diminue son amplitude à l'aval du premier flotteur et que le second flotteur est solidaire du premier par l'intermédiaire de l'axe, il aura de même

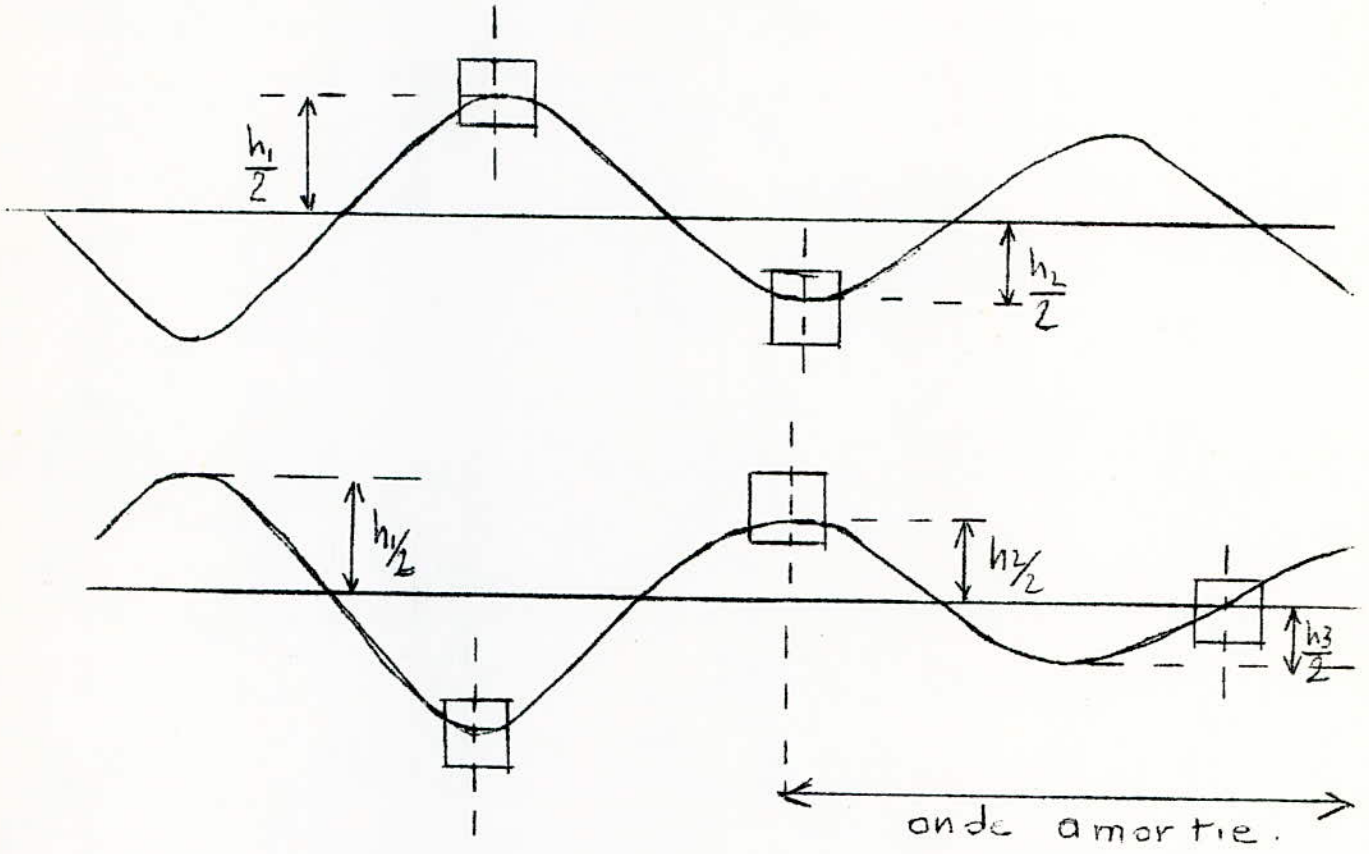
une amplitude h_1 alors que celle de la houle est plus petite. On observera le phénomène suivant : le deuxième flotteur va être immergé plus qu'il n'en faut. Pour avoir cette immersion supplémentaire, il faut une force supplémentaire qui ne peut provenir que du premier flotteur et qui correspond à une augmentation de la poussée d'Archimède agissant sur ce flotteur donc, augmentation de l'immersion. La course se trouve ainsi diminuée.

Pour éviter ce phénomène, nous devons adapter la course des flotteurs à l'amplitude de la houle, compte tenu de ces variations. Les flotteurs seront placés comme suit :

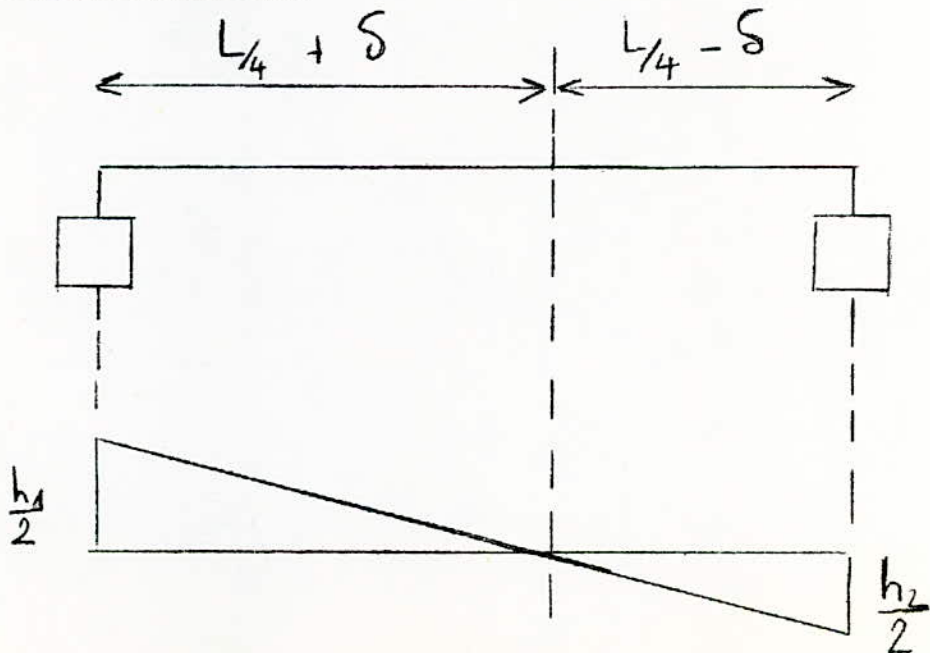
Au lieu d'être à $\frac{L}{4}$ de part et d'autre de l'axe, on mettra le premier à $\frac{L}{4} + \delta$ et le second à $\frac{L}{4} - \delta$ afin d'augmenter et de diminuer leur course respectivement.



δ sera fonction de L et de l'amplitude de la vague à l'amont et à l'aval du premier flotteur.



Calcul de δ



On a pour similitude des triangles

$$\frac{\frac{h_1}{2}}{\frac{L}{4} + \delta} = \frac{\frac{h_2}{2}}{\frac{L}{4} - \delta}$$

$$\frac{h_1}{\frac{L}{4} + \delta} = \frac{h_2}{\frac{L}{4} - \delta} = \frac{h_1 + h_2}{L/2}$$

$$\frac{L}{4} + \delta = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot \frac{L}{2}$$

$$\delta = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot \frac{L}{2} - \frac{L}{4}$$

$$\delta = \frac{L}{2} \frac{h_1}{h_1 + h_2} - \frac{L}{4} = \frac{L}{2} \frac{2h_1 - h_1 - h_2}{2(h_1 + h_2)}$$

$$\delta = \frac{L}{4} \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}$$

Il en sera de même pour le 3ème et le 4ème flotteurs. Ils seront placés disymétriquement par rapport à l'axe qui les supporte; le décalage calculé de la même façon par similitude des triangles en remplaçant h_1 par h_3 et h_2 par h_4

$$\delta' = \frac{L}{4} \frac{h_3 - h_4}{h_3 + h_4}$$

Ceci si la longueur d'onde n'a pas changé, sinon
il suffira de la remplacer par sa nouvelle valeur.

ETUDE MECANIQUE

-0-0-0-0-

ETUDE MECANIQUE DU SYSTEME

I - NOMENCLATURE :

Dans le but d'éviter toute ambiguïté dans les appellations des différentes parties du système mécanique, nous adoptons la nomenclature suivante : (fig 10).

Les flotteurs sont reliés entre eux par deux fléaux AB et BC solidaires de l'axe EF (noeud ν rigide).

Aux extrémités des fléaux viennent s'adapter les manivelles EG et FH, E et F étant des noeuds rigides réglables, G et H des rotules permettant la rotation des manivelles par rapport aux bielles GK et HJ. KL et JM sont des manivelles reliant respectivement les bielles GK et HJ aux roues libres L et M.

Ceci est valable aussi pour le 2ème couple de flotteurs (les lettres alphabétiques seront indicées).

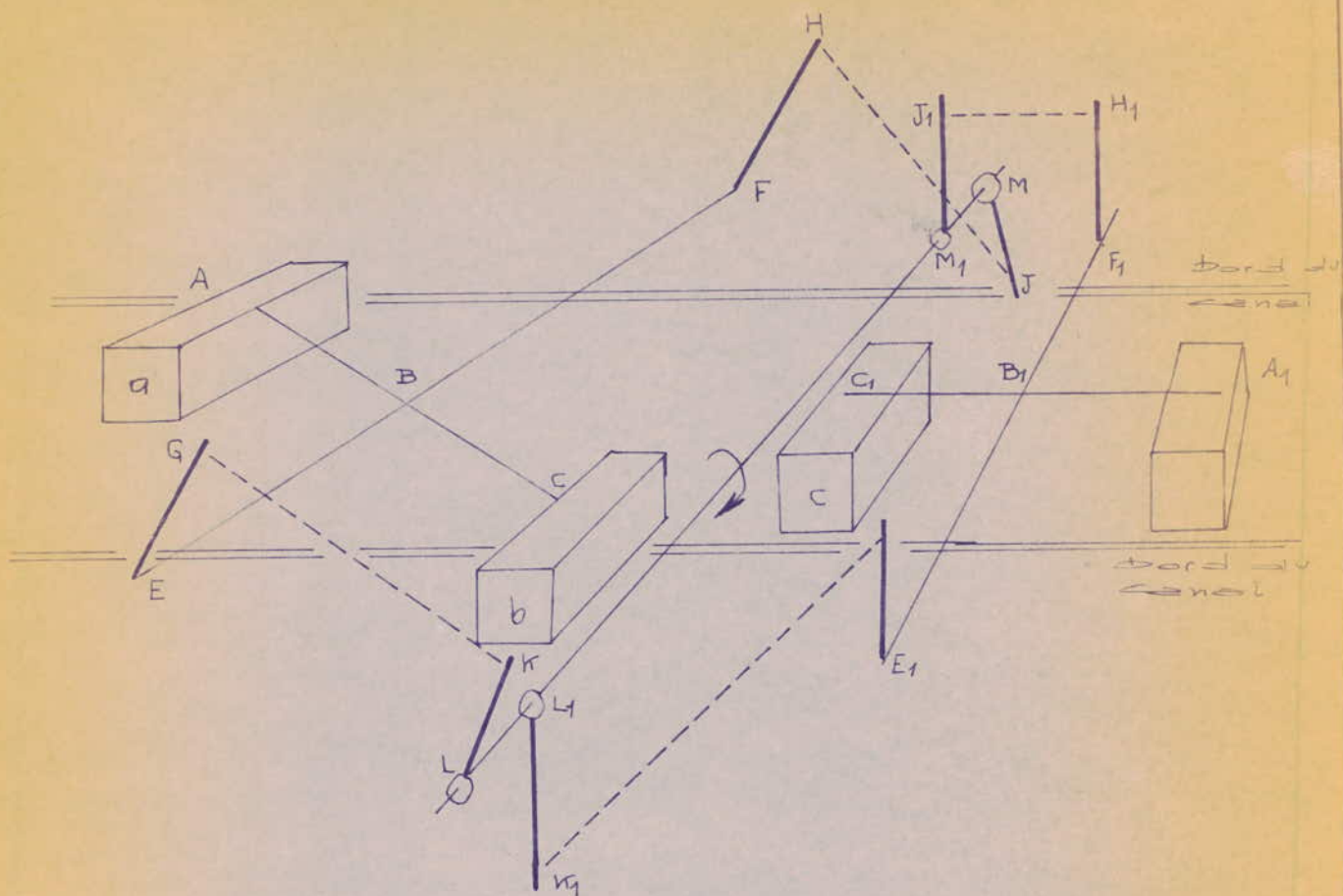
II - DESCRIPTION DES DIFFERENTS ELEMENTS CONSTITUANT LE SYSTEME MECANIQUE :

Vus les problèmes matériels, les difficultés d'usinage, et le temps limité dont nous disposons; nous avons décidé de simplifier au maximum le système mécanique (parfois au détriment du rendement), d'éviter le plus possible l'usinage et de faire un système entièrement démontable. Ce système doit permettre tous les réglages décrits dans la figure 11 .

1°) - Fléaux : (AB et BC sur fig. 10)

Les fléaux ont pour rôle de transmettre le mouvement des flotteurs à l'axe supportant ces derniers.

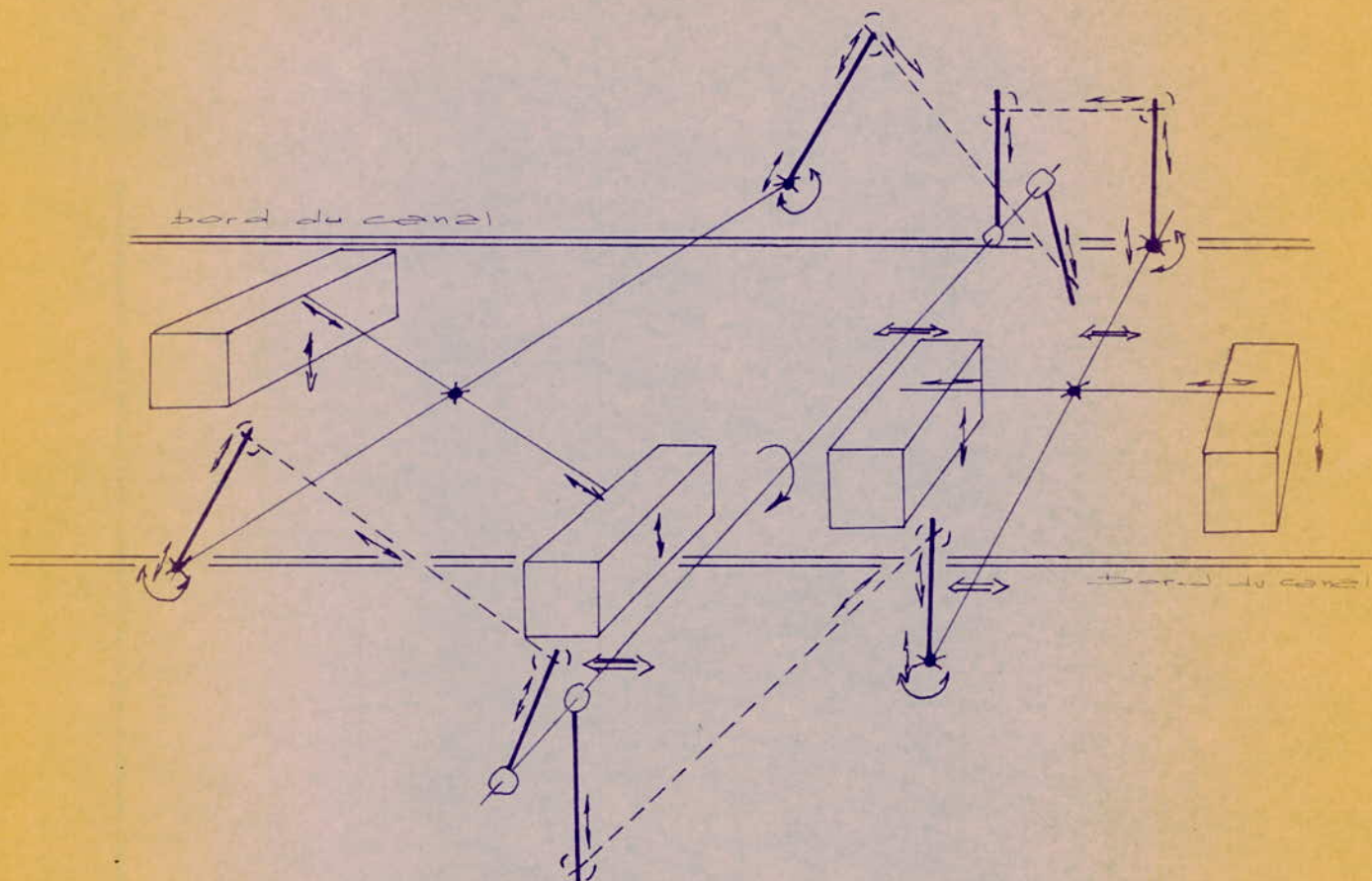
Fig.10 NOMENCLATURE



AB & BC	fléaux
EF	axe des flotteurs
EG FH	manivelles-flotteurs
GK & HJ	bielles
KL & JM	manivelles-roues libres.
L & M	roues libres
LM	arbre récepteur d'énergie

N.B.: la seconde paire de flotteurs est indiquée 1.

FIG.11 Réglages du générateur de houle



LEGENDE

- | | | | |
|--|-------------|--|---------------------|
| | Rotule | | Réglage de longueur |
| | Nœud rigide | | Réglage angulaire |
| | Roue libre | | Translation |

Ils sont réalisés à l'aide d'une tige en aluminium de diamètre 12,7 mm.

2°) - Axe des flotteurs (EF) :

Chaque couple de flotteurs est relié par les fléaux à un axe en aluminium appelé axe des flotteurs.

La liaison fléaux-axe est réalisée à l'aide d'une noix. Pour éviter toute rotation de la noix sur l'axe, nous avons molleté ce dernier au droit de la noix afin d'augmenter les frottements.

L'axe repose sur les bords du canal par l'intermédiaire de supports en plexiglas.

3°) - Supports de l'axe des flotteurs (plexiglas):

Pour pouvoir régler en fonction de L la distance entre couples de flotteurs, il faut que les supports des axes-flotteurs soient démontables et déplaçables.

Pour cela, nous avons prévu des trous de fixations sur les supports et sur les cornières (en bordure du canal), distants de 10 cm. Afin d'éviter d'importants frottements entre l'axe en aluminium et le plexiglas, nous avons prévu une bague en laiton entre les deux (fig. 12).

4°) - Manivelles flotteurs EG, FH en aluminium,
Ø 12,7 mm - fig.) :

La manivelle des flotteurs transmet l'oscillation de l'axe à la bielle correspondante. Elle doit avoir le même déplacement angulaire que les flotteurs, aussi il est

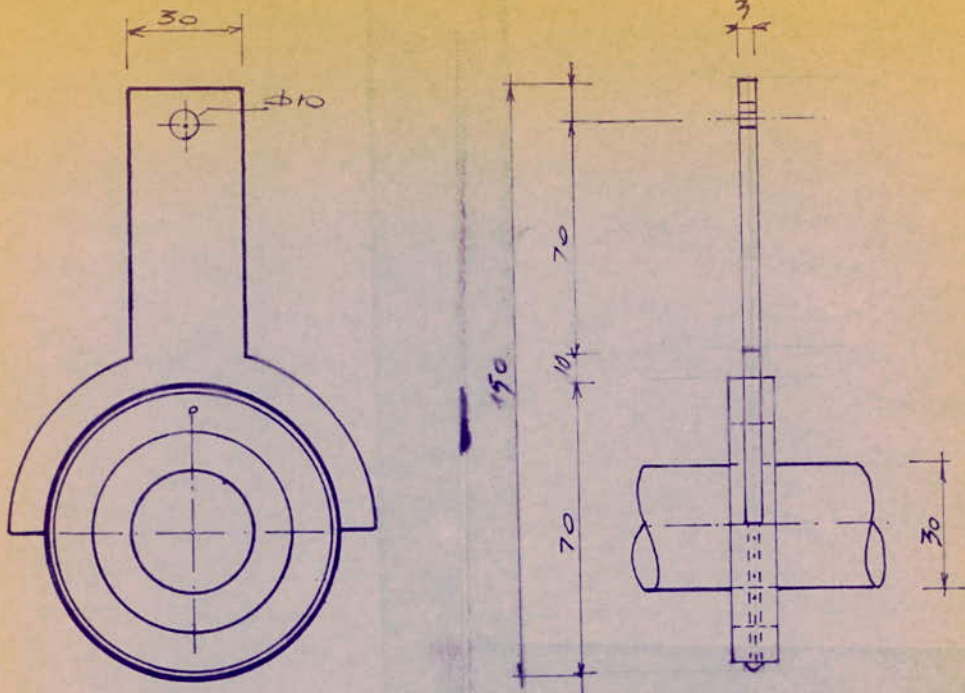


fig.14

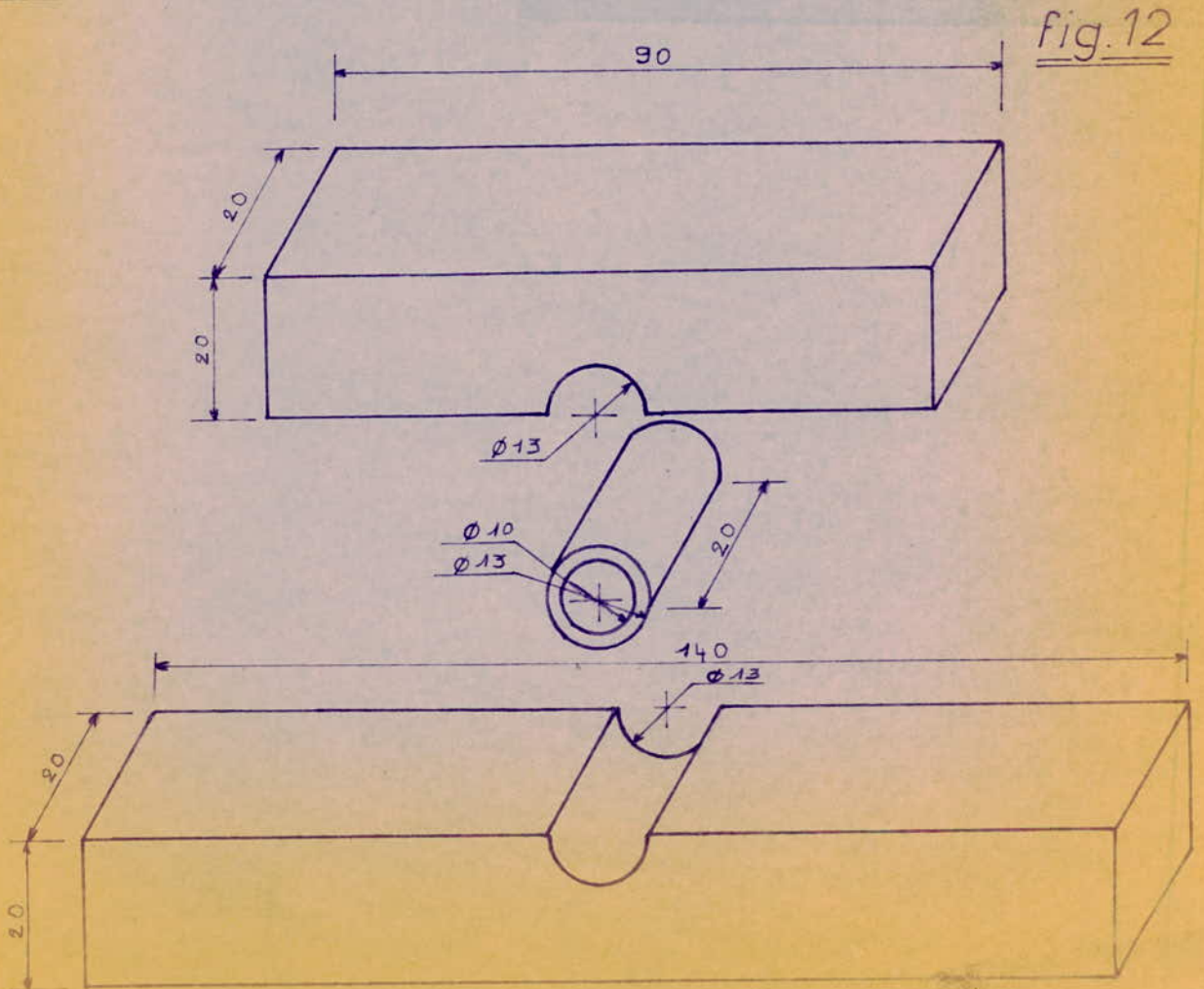


fig.12

nécessaire d'avoir en E un noeud rigide. En G, on doit avoir une rotule entre Bielle et manivelle, pour cela on prévoit un système comportant une demi-noix et un tube en fonte avec vis de serrage. Ce système permet la libre rotation dans un plan vertical (fig. 13 a).

5°) - Bielles GK - nJ (tubes en cuivre \varnothing 10 mm) :

Elles transmettent le mouvement des manivelles flotteurs aux manivelles roues-libres.

Le nombre de tiges en aluminium étant limité, nous avons utilisé des tubes en cuivre ayant les mêmes qualités mécaniques (légèreté, résistance).

6°) - Manivelles roues-libres KL - MJ :

Elles transmettent le mouvement des bielles roues-libres.

Elles sont réalisées dans de la tôle de 3 mm et soudées aux roues libres aux points L et M (fig. 14).

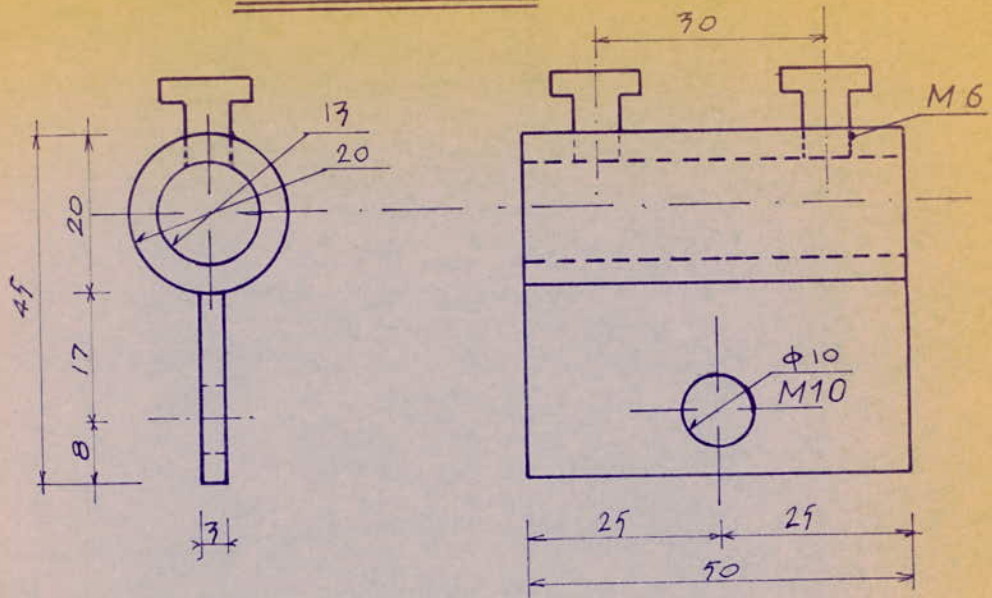
7°) - Roues libres :

Les roues-libres ont pour rôle de transmettre le mouvement de rotation des manivelles roues libres à l'arbre récepteur dans un seul sens, lors de la montée du flotteur correspondant.

8°) - Arbre récepteur :

Il reçoit l'énergie transmise par chaque flotteur. Il supporte les quatre roues libres ainsi qu'une poulie à

ROTULES



Echelle: 1
Matière: fer.

Fig. 13 a

Echelle: 1
Matière: plexiglas.

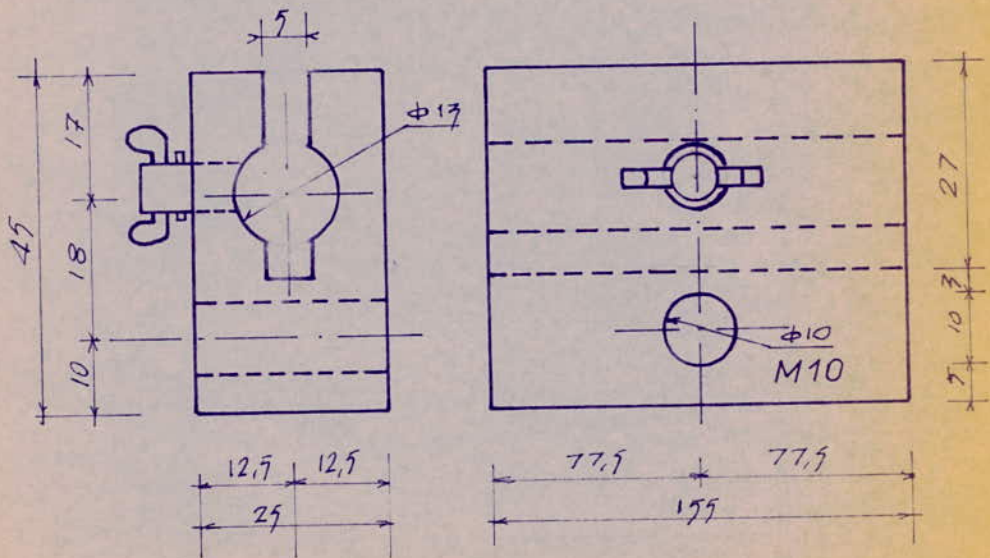


Fig. 13 b

son extrêmité. Cette poulie permet d'élever des poids marqués, afin de déterminer l'énergie récupérée par le système.

L'arbre récepteur repose sur les bords du canal par l'intermédiaire de supports identiques à ceux de l'axe des flotteurs.

FORME ET DIMENSIONS DES FLOTTEURS

Pour dimensionner les flotteurs, on doit tenir compte de la longueur d'onde obtenue dans le canal à houle et de la poussée d'Archimède qui agit sur le flotteur et qui est égale au poids de celui-ci augmenté de toutes les forces d'inertie du mécanisme de transmission du mouvement des flotteurs à l'arbre récepteur d'énergie; de façon qu'ils ne soient pas submergés auquel cas nous aurions une perte d'énergie et par suite une diminution du rendement du système.

D'autre part, nous devons adopter une forme fluïdodynamique qui évitera des pertes d'énergie par réflexion, par création de clapotis qui entraînent des perturbations dans le canal, d'où une houle irrégulière qui fausserait toute comparaison entre l'étude expérimentale et les calculs théoriques.

Vus les moyens limités dont nous disposons pour confectionner les flotteurs désirés, nous nous limitons aux formes les plus simples en tenant compte toutefois des exigences ci-dessus énumérées.

Dans un premier temps, nous avons confectionné des flotteurs parallélépipédiques à base inclinée pour éviter l'effet de gifle (voir fig. 15).

L'inclinaison de la base est calculée de façon que la base soit immergée dans la position de repos. Ceci pour que l'immersion soit minimum pour une même variation de la force :

Considérons les deux cas :

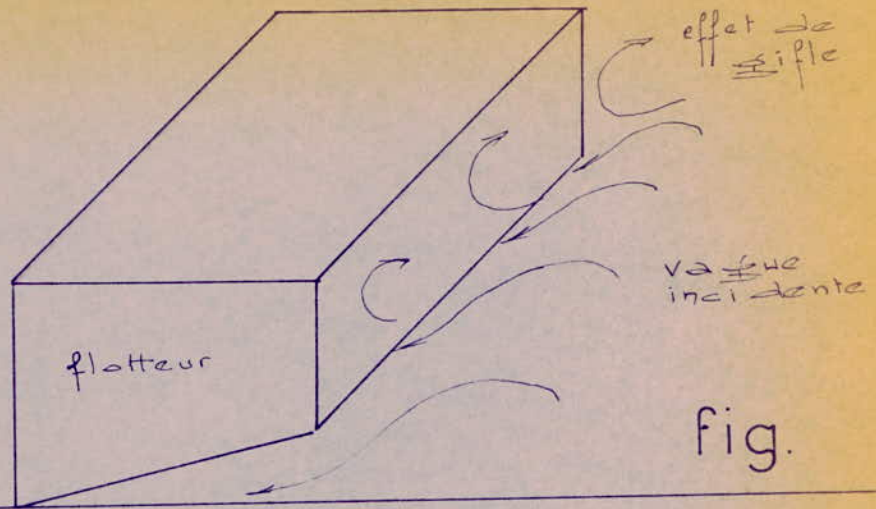


fig.

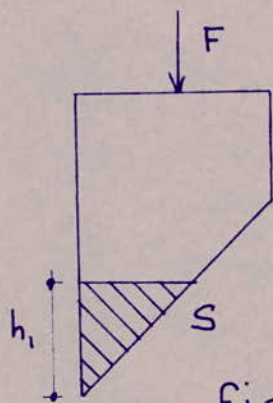


fig. a₁

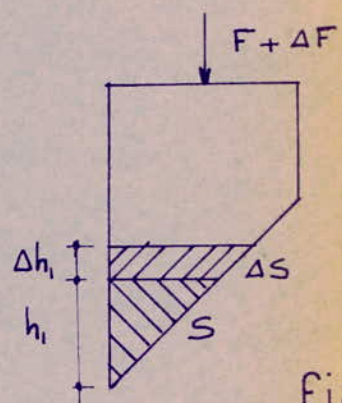


fig. b₁

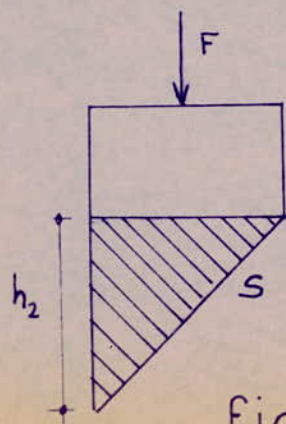


fig. a

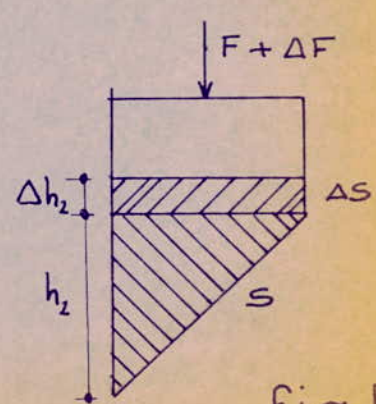


fig. b

Supposons que le 1er flotteur soit immergé dans sa partie inclinée (fig. 15a) pour une force F d'où la section immergée correspondante $S = \frac{F}{\rho b}$, b étant la dimension transversale du flotteur. Si on augmente la force agissante F de ΔF (fig. 15b), la section immergée sera $S + \Delta S = \frac{F + \Delta F}{\rho b}$

$$\Delta S = \Delta h_1 \cdot l_1$$

Supposons la base du 2^{ème} flotteur totalement immergée sous l'action de la même force F , la section immergée sera la même que dans le 1er cas $S = \frac{F}{\rho b}$ (fig. 15a).

Soit ΔF la force supplémentaire appliquée (fig. 15b) la section immergée est alors :

$$S + \Delta S = \frac{F + \Delta F}{\rho b} = \frac{l_1 h + l_1 \Delta h}{2}$$

$$\Delta S = l_1 \Delta h = l_1 \Delta h_1$$

Comme $l > l_1$ on a donc $\Delta h < \Delta h_1$. On voit donc que variation de l'immersion est plus faible dans le 2ème cas.

Ceci est une approche très grossière du problème qui serait en fait bien plus complexe et plus difficile à résoudre si on devait tenir compte de la propagation de la houle de l'inclinaison du flotteur durant sa course, de la variation de l'accélération donc de la force lors de la montée et de la descente des frottements variables dans le mécanisme de transmission, de la variation de la position des barres bielles manivelles, autres les inévitables perturbations dans la houle.

Après un premier essai, nous avons constaté qu'à partir d'une certaine amplitude, l'effet de gifle est très important. Nous avons prolongé la base du flotteur en pente plus prononcée ceci ayant pour double effet d'éliminer l'effet de gifle et d'augmenter la force de poussée, car nous avons une composante verticale supplémentaire (fig.16).

La dimension l a été prise à partir de la longueur d'onde moyenne de la houle obtenue le semestre dernier (car durant l'étude, le nouveau système générateur de houle n'était pas encore prêt) par Mr SERRI mourad.

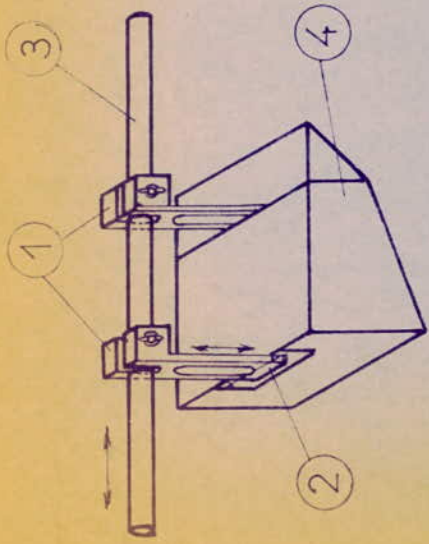
$$L_{\min} = 64 \text{ cm}$$

$$L_{\max} = 120 \text{ cm}$$

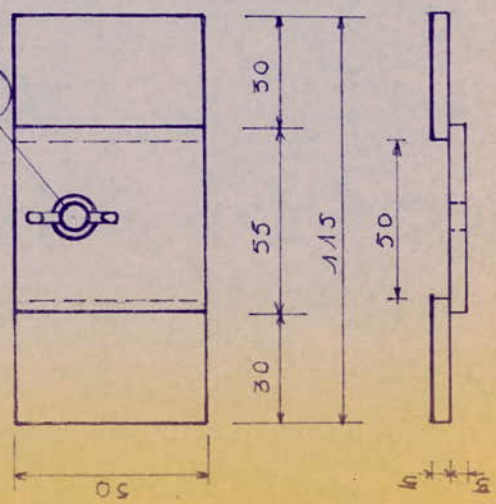
$$\text{Nous avons pris } l \approx \frac{L_{\text{moyenne}}}{5} = 20 \text{ cm}$$

Les flotteurs sont confectionnés à l'aide de plexi-glas de faible épaisseur (2 mm) pour réduire leur poids. Car si le poids est important, il faudrait une poussée d'Archimède plus grande pour vaincre son inertie, ainsi une partie de l'énergie serait absorbée par le flotteur au lieu d'être transmise à l'arbre récepteur, ce qui entraînerait une diminution du rendement.

D'autre part, à une plus grande poussée d'Archimède correspond une plus grande immersion, il faudra alors une paroi verticale du flotteur plus élevée pour éviter sa submersion, ce qui augmente encore son poids et par suite son immersion.



Détail 2



Légende:

- 1-2: réglage vertical & horiz!
- 3 fléau.
- 4. flotteur.
- 5. papillon + tige
- 6. rainure.

Echelle: 1/2

Détail 1

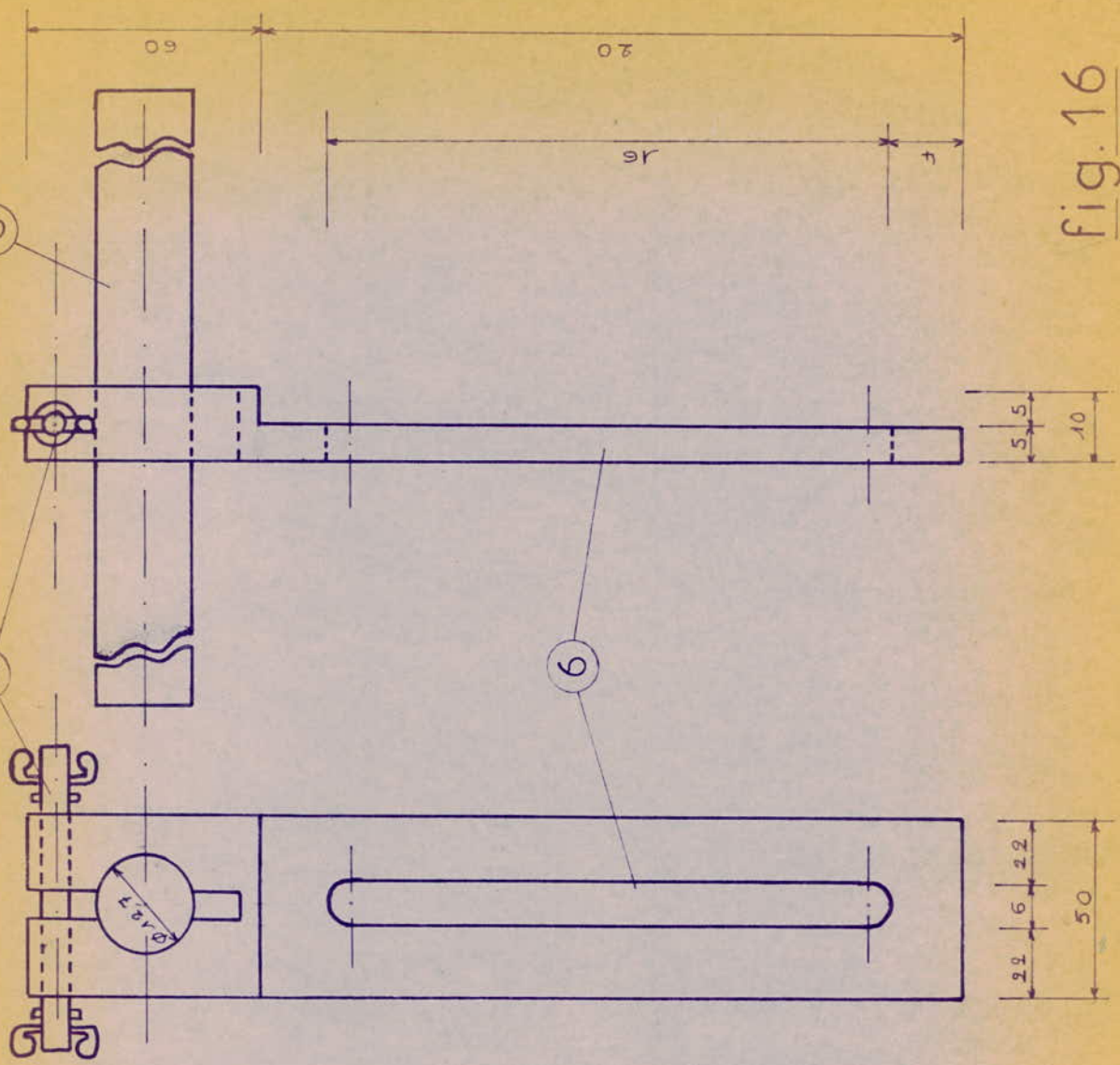


fig. 16

On voit donc tout l'intêret d'alléger les flotteurs en prenant une faible épaisseur des parois.

Réglage des flotteurs :

Comme nous l'avons vu, pour avoir un mouvement à quatre temps sur l'arbre récepteur, quelle que soit la longueur d'onde il est nécessaire de positionner les flotteurs en fonction de celle-ci, les flotteurs doivent être réglables sur les fléaux, horizontalement.

Lors de la variation du niveau de repos de l'eau dans le canal, il faut régler les flotteurs en conséquence pour qu'ils n'exercent pas d'effort sur l'axe si l'eau monte et qu'ils restent en contact avec l'eau si le niveau baisse. Les flotteurs seront positionnés de façon que leur immersion au repos corresponde approximativement à leur propre poids.

Pour cela, il est prévu un système de réglage dans les deux sens horizontal et vertical (voir fig. 16), réalisé en plexiglas.

MODIFICATIONS APORTEES AU SYSTEME RECEPTEUR

Après un premier essai du système récepteur de houle, nous avons constaté certains défauts dans les liaisons notamment que les noix ne pouvaient pas assurer une rigidité parfaite dès que l'on accroche des poids à la poulie et ceci malgré le molletage des tiges et un bon serrage des noix.

Par ailleurs, le serrage des bielles au niveau des rotules G et K par vis, n'est pas suffisant et risque à la longue de déformer par poinçonnement les tubes en cuivre.

Nous avons donc été amenés à étudier un autre procédé et à utiliser la soudure que nous voulions éviter.

1°) - Assemblage fléaux-axe flotteurs :

Pour rendre rigide le noeud fermé par l'intersection des deux barres, nous avons soudé une plaque en tôle noire au milieu de l'axe des flotteurs. Un support en plexiglas vissé sur cette plaque, permet l'adaptation des fléaux (fig.17).

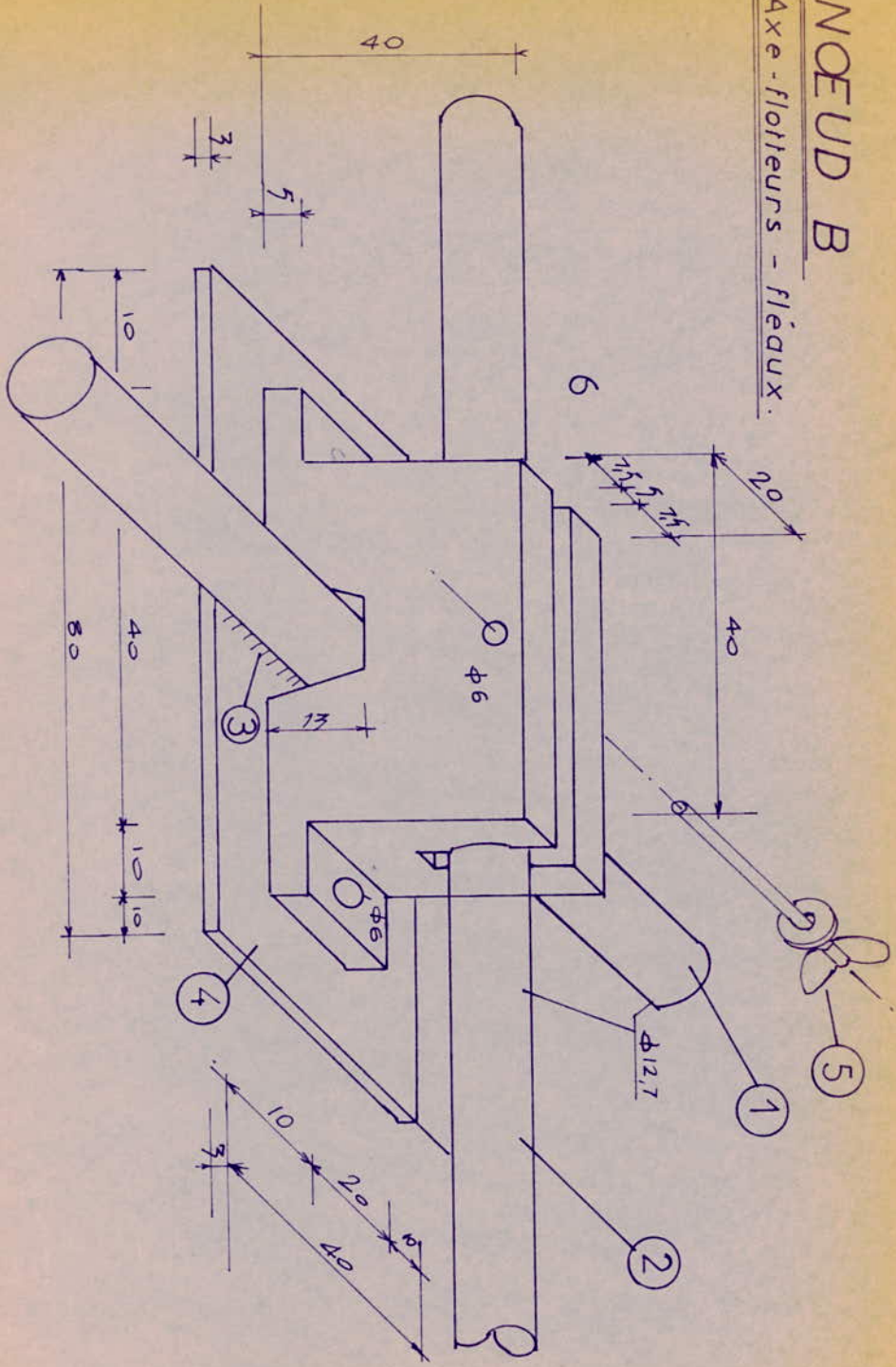
2°) - Assemblage axe flotteurs-manivelle
noeuds E et F :

Cet assemblage doit être rigide afin de transmettre intégralement le mouvement de l'axe à la manivelle et réglable.

Pour cela, nous avons prévu un système composé (fig. 18).

NOEUD B

Axe-flotteurs - fléaux.



LEGENDE:

- | | | | |
|---|----------------|---|-------------------|
| 1 | axe-flotteurs. | 4 | tôle |
| 2 | fléau (aluv) | 5 | vis de serrage. |
| 3 | soudure | 6 | élément en plexi. |

Fig. 17

a) - d'un disque en tôle soudé à l'extrémité de l'axe des flotteurs.

b) - d'un système en plexiglas composé lui-même :

- d'un disque avec rainure permettant par rotation le réglage de la position de la manivelle par rapport à la verticale,

- d'une pièce solidaire du disque avec système de serrage permettant de régler la longueur de la manivelle.

3°) - Assemblage bielle-manivelle :
(rotules G et K).

Le tube en tôle avec vis prévues pour serrer la bielle étant défectueux, nous l'avons remplacé par une pièce en plexiglas vissée à la 1 noix et permettant à l'aide d'un système approprié le réglage de la longueur de bielle (fig. 13b).

E X P E R I M E N T A T I O N

-0-0-0-0-

Le but de ces expériences est de déterminer l'énergie transmise aux flotteurs, énergie que l'on récupère sous forme d'énergie potentielle en faisant monter des poids.

Nous utilisons pour cette expérience, les résultats obtenus avec le système générateur de houle, c'est-à-dire que pour un étalonnage donné du système générateur, nous faisons des mesures de rendement.

Les expériences sont faites dans un premier temps avec un seul flotteur puis avec deux flotteurs couplés.

PREMIER CAS : Avec un seul flotteur :

Nous gardons certaines caractéristiques constantes à savoir :

- L'étalonnage du système générateur avec les caractéristiques de la houle incidente comme (L, h, T , puissance véhiculée à l'amont P_v).

- Pour une expérience, on prend les longueurs du fléau f_b constante et égale au $\frac{1}{4}$ de la longueur d'onde à l'amont soit :

$$f_b = \frac{L_{\text{amont}}}{4}$$

- La longueur de la manivelle-flotteur constante pour toute les expériences $M_b = 45 \text{ cm.}$

Pour cet état donné, nous nous proposons de faire : des mesures de puissance à savoir :

- puissance utile récupérée sur l'arbre P_u
- puissance absorbée par les flotteurs P_a

et des mesures de rendements.

Nous aurons trois sortes de rendements à déterminer :

- Le rendement global :

$$\eta = \frac{\text{Puissance utile sur l'arbre}}{\text{Puissance véhiculée}}$$

- Le rendement flotteur :

$$\eta_f = \frac{\text{Puissance absorbée par le flotteur}}{\text{Puissance véhiculée}}$$

- Le rendement du système mécanique :

$$\eta_s = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance absorbée par le flotteur}}$$

Mesure de puissances :

- Puissance utile récupérée sur l'arbre : P_u .

Des poids étant accrochés à une ficelle qui s'enroule autour de la poulie de l'arbre récepteur, nous déterminons leur vitesse de montée à chronométrant le temps mis par le poids pour parcourir une distance fixe égale à 0,81 m.

La vitesse sera donc $V = \frac{0,81}{t}$ m/s et la puissance utile, $P_u = mgV$

- Puissance absorbée par le flotteur : P_a

Nous avons une houle incidente de puissance comme P_v . Pour déterminer la puissance absorbée par le flotteur, nous déterminons les nouvelles caractéristiques de la houle à l'aval du flotteur à savoir mesures de célérité, amplitudes et longueur d'onde. Ces caractéristiques nous permettent de calculer la puissance véhiculée par l'onde amortie (puissance restante P_r) et pour suite, de calculer la puissance absorbée par le flotteur par différence.

$$P_a = P_v - P_r$$

DEUXIEME CAS : avec deux flotteurs a et b :

Là aussi nous faisons les expériences avec un étalonnage du système générateur de houle, en laissant constant les longueurs de manivelle-flotteur M_a et M_b , et en réglant la distance des fléaux f_a et f_b pour chaque longueur d'onde utilisée (cf page 34). Les expériences ont été faites par les amplitudes maximum obtenues dans le canal et pour une profondeur de 26 cm. Les résultats expérimentaux sont regroupés dans les tableaux ci-dessous.

T 5

1 seul flotteur.

L_{01} (m)	P_v (w)	Rh	Mb (cm)
1,635	5,344	220	45

\dot{m} (Kg)	V (m/s)	C (m/s)	T (s)	$L = CT$ m	h cm	P_u (w)	P_e (w)	η_s %	η_f %	η %
0,5	0,0397	1,429	1,17	1,672	10	0,1947	0,134	1,4	2,5	3,6
1	0,0364	1,351	1,17	1,581	9,5	0,3571	0,592	36	18	6,7
1,5	0,0323	1,429	1,16	1,657	9,5	0,4752	0,660	72	12,4	8,9
2	0,0295	1,429	1,15	1,643	8,2	0,5788	1,865	31	34,9	10,83
2,5	0,0264	1,429	1,15	1,643	8,5	0,6475	1,606	40,25	30,1	12,1
3	0,0245	1,50	1,15	1,725	8,8	0,7210	1,064	67,76	19,9	13,5
3,5	0,0226	1,429	1,15	1,643	8	0,776	2,032	38,17	38	14,5
4	0,0195	1,429	1,15	1,643	8,4	0,7652	1,694	45,16	31,7	14,3
4,5	0,0171	1,462	1,15	1,683	8	0,7549	1,921	39,3	35,9	14,1
5	0,0147	1,429	1,15	1,643	9	0,7210	1,153	62,5	21,6	13,5

1 seul flotteur.

$L_{\text{AVOIR}} \text{ (m)}$	Pv (w)	Rh	Mb (cm)
1,523	5,852	240	45

t_0 (s)	$V \cdot 10^{-3}$ (m/s)	C (m/s)	T (s)	L = CT (m)	h (cm)	Pu (w)	Pe (w)	m_s %	m_f %	m %
0,5	39	1,470	1,2	1,764	8,7	0,191	1,754	10,89	29,77	3,24
1	38,25	1,429	1,2	1,715	8,7	0,375	1,912	19,61	32,45	6,36
1,5	37,8	1,429	1,10	1,572	9,2	0,556	1,586	35,06	26,91	9,73
2	38	1,429	1,09	1,558	8,5	0,776	2,229	32,77	37,83	12,66
2,5	37,4	1,429	1,10	1,572	8,8	0,917	1,952	46,97	33,13	15,56
3	37,6	1,364	1,08	1,473	8,5	1,107	2,776	44,70	42,02	18,79
3,5	32,9	1,429	1,07	1,529	8,5	1,130	2,257	50,06	38,30	19,17
4	27,4	1,364	1,12	1,522	9	1,075	2,024	53,11	34,35	18,25
4,5	22,9	1,364	1,10	1,555	8,5	1,011	2,141	47,22	36,34	17,16
5	19,9	1,364	1,11	1,586	8,7	0,976	2,028	48,12	34,72	16,56
5,5	15,9	1,250	1,10	1,375	9	0,858	2,482	34,55	42,11	14,56

$$\frac{h}{L} = 72,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{h}{L} = 64,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{h}{L} = 49,6 \cdot 10^{-3}$$

1 flotteur

T_5

$\eta \times 100$

m

KG



$\frac{h}{L} = 0,049$

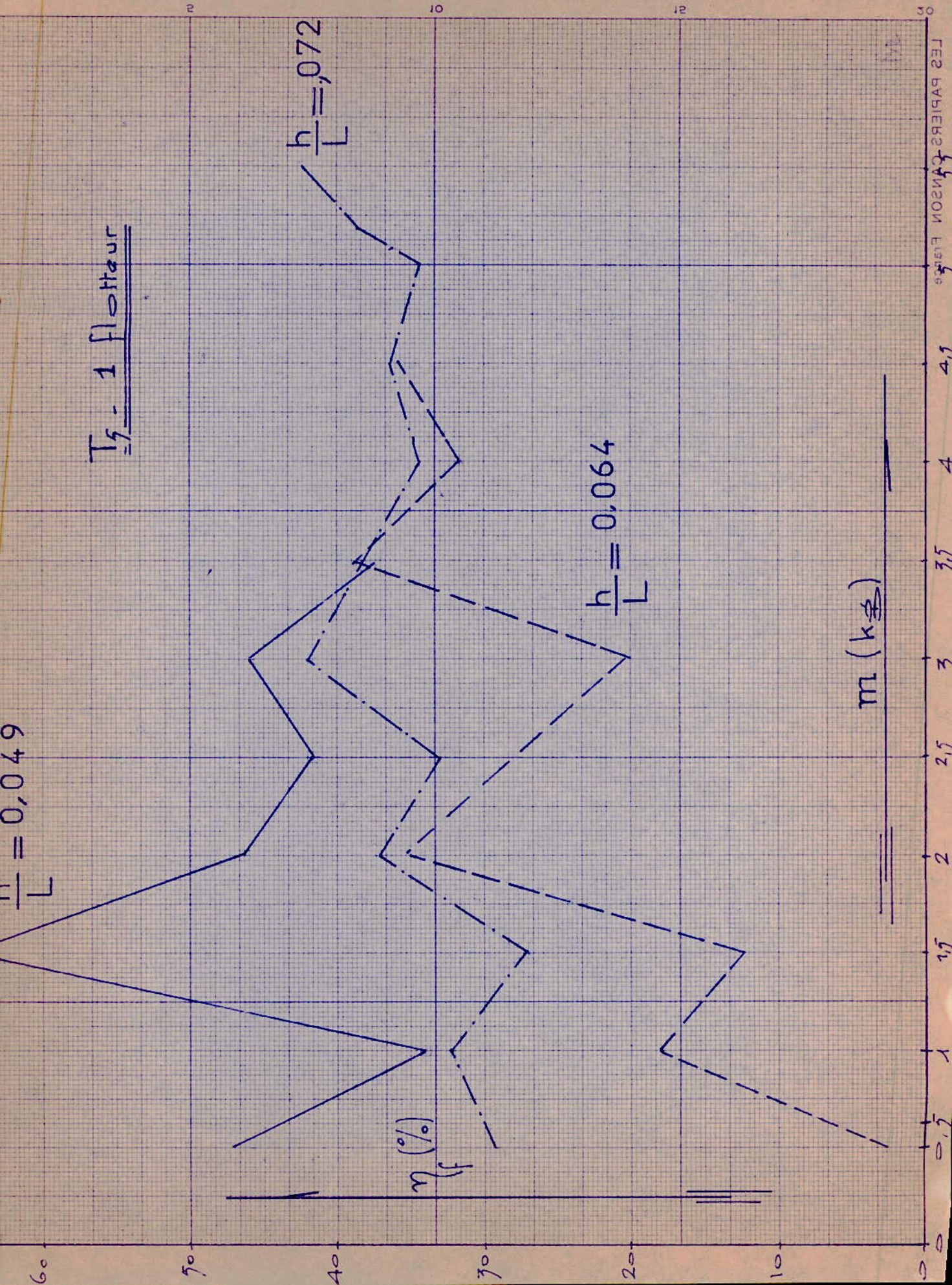
T_g - 1 floteur

$\frac{h}{L} = 0,072$

$\frac{h}{L} = 0,064$

η_f (%)

m (kg)



1 seul flotteur.

T₆

L amount	Pv	Rh	mb
1,707	3,212	200	45

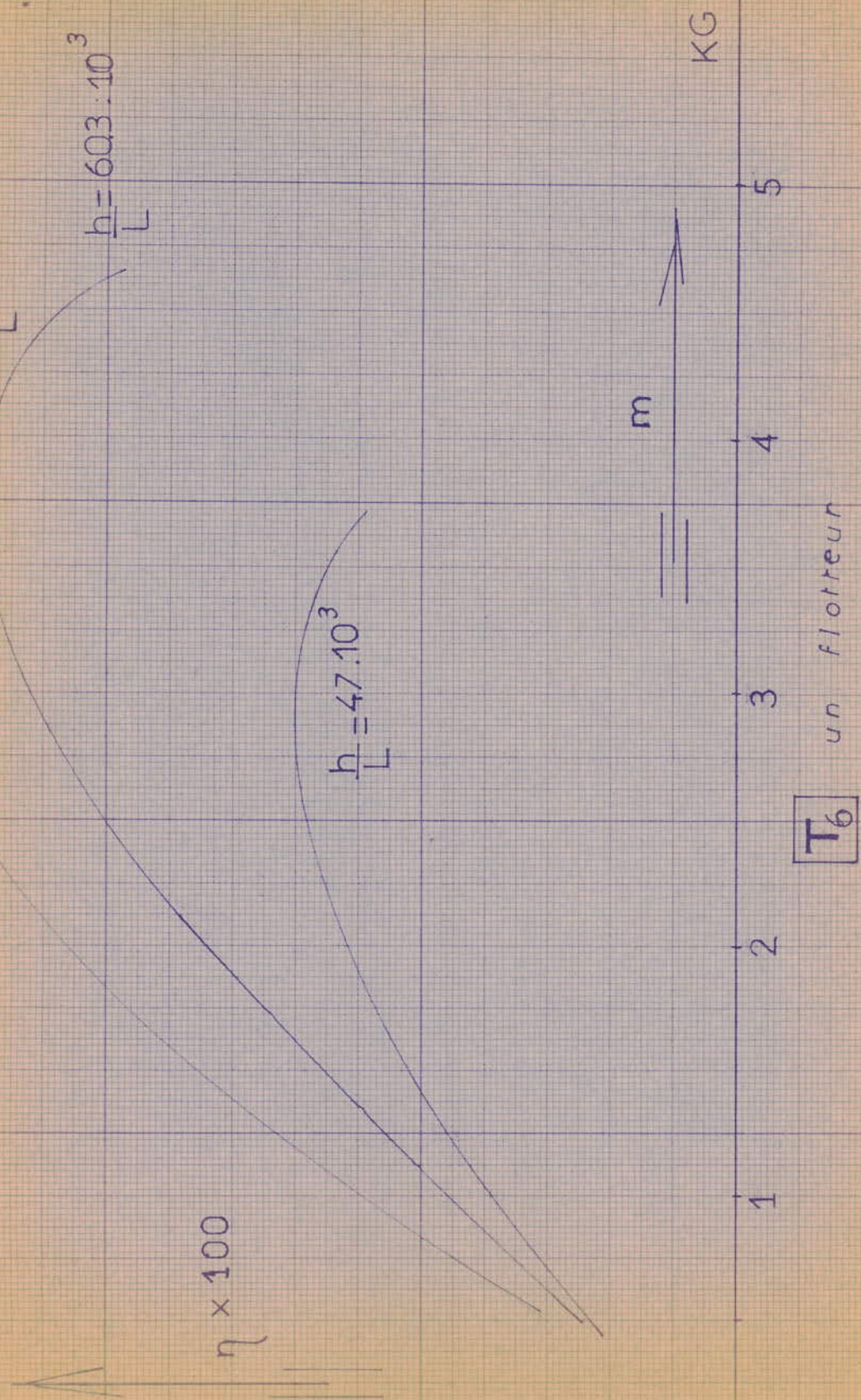
M (Kg)	V (m/s)	C (m/s)	T	L = CT	h	Pu	Pa	s %	f %	q %
0,5	25	1,406	1,24	1,743	7,5	0,123	0,285	42,16	8,87	3,83
1	25,5	1,429	1,18	1,686	7,3	0,250	0,428	58,41	13,33	7,78
1,5	23,2	1,425	1,20	1,715	7	0,241	0,635	52,70	19,77	10,62
2	20,6	1,425	1,18	1,686	7,2	0,404	0,503	80,32	15,66	12,58
2,5	17,7	1,425	1,18	1,686	7,2	0,434	0,503	86,30	8,50	13,51
3	15,4	1,50	1,19	1,785	6,5	0,453	0,816	53,55	26,34	14,10
3,5	12,3	1,425	1,19	1,701	6,8	0,422	0,787	53,62	24,50	13,14

1 seul flotteur.

T₆

L amount (m)	Pv (w)	Rh	Mb
1,326	4,440	240	45

N (kg)	V	C (m/s)	T (s)	$L = \frac{V}{m}$	h (cm)	Pu (w)	Pa (w)	s %	f %	%
0,5	57,8	1,212	1,05	1,272	7,5	0,284	2,224	12,77	50,09	6,40
1	50,3	1,184	1,04	1,232	7,5	0,493	2,305	21,38	51,91	11,10
1,5	45,3	1,154	1,03	1,189	8	0,725	2,111	34,34	47,55	10,33
2	44,6	1,20	1,04	1,248	8,5	0,875	1,645	53,19	37,05	19,71
2,5	45,8	1,304	1,00	1,304	8,5	1,123	1,342	83,68	30,22	25,30
3	40,1	1,25	1,01	1,263	8,5	1,180	1,512	78,04	34,05	26,58
3,5	34,8	1,224	1,02	1,248	8,5	1,195	1,590	75,15	35,81	26,91



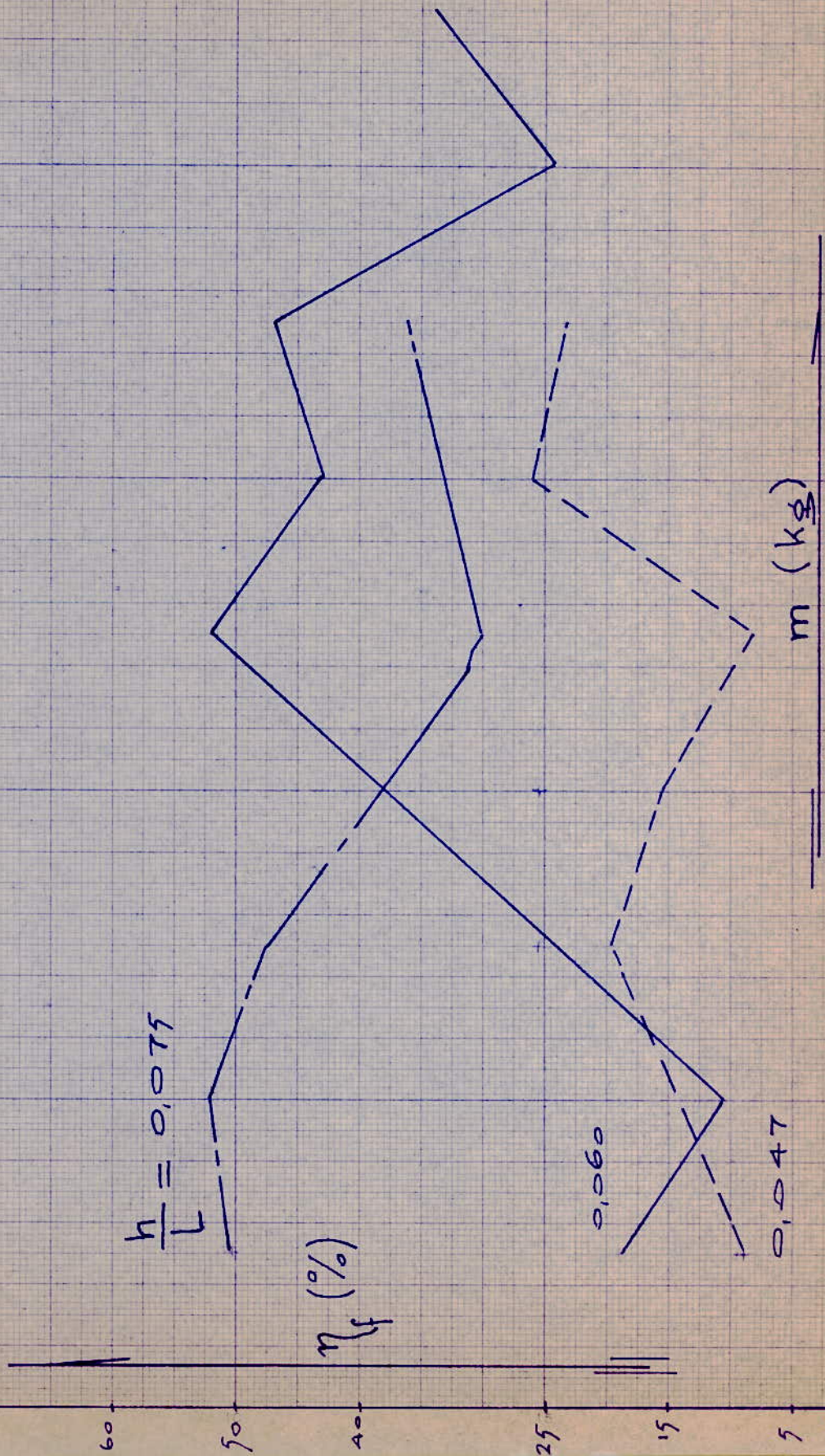
T_6

un flotteur

m

KG

T6 - 1 floteur



2 flotteurs

Lam (m)	Pv (w)	Rh	Ma (cm)	Hb (cm)
1,635	5,366	220	4,1	4,5

fa (c.i.)	fb (cm)	M (kg)	$V \cdot 10^{-3} C$ (m/s)	T (s)	L = CT (m)	h (cm)	Pu (v)	Pa (v)	ms %	mf %	m %
43	36,5	0,5	32,9	1,21	1,496	7,7	0,161	2,786	5,7	52,1	3
45	34	1	31,1	1,21	1,528	7,7	0,305	2,708	11,3	50,6	5,7
47	36	1,5	29,6	1,20	1,480	7	0,436	3,245	13,4	60,7	8,1
"	"	2	27,4	1,21	1,654	7	0,538	2,912	18,5	54,5	10
"	"	2,5	25,4	1,22	1,525	7	0,623	3,190	19,5	59,7	11,6
49	36,5	3	22,9	1,22	1,551	7	0,674	3,138	21,5	58,7	12,6
47	36	3,5	22,8	1,21	1,491	6,7	0,783	3,417	22,9	63,9	14,6
"	"	4	21,9	1,20	1,464	6,7	0,859	3,450	24,9	64,6	16
"	"	4,5	20,6	1,20	1,480	6,7	0,909	3,420	26,6	63,9	17
"	"	5	18,7	1,19	1,456	6,2	0,917	3,721	24,6	69,6	17,1
"	"	5,5	17,3	1,19	1,452	7,2	0,932	3,164	29,5	59,2	17,4

Lam(m)	Pv (w)	Rh	Me (cm)	Mb (cm)
1,523	5,892	2,0	4,1	4,5

T 5

2 flotteurs.

fe (cm)	fb (cm)	M (kg)	$V \cdot 10^3$ C	T	L = CT	h	Pu	Pa	η_s %	η_f %	η %
32,0	37	0,5	29,1	1,11	1,319	8	0,142	3,381	4,2	57,4	2,4
"	"	1	28	1,10	1,299	8,5	0,275	3,055	8,8	52,5	4,7
44	32,5	1,5	29,8	1,10	1,320	6,5	0,441	4,219	10,5	71,6	7,5
"	"	2	27,3	1,10	1,32	7,5	0,529	3,663	14,4	62,1	8,9
"	"	2,5	25,3	1,10	1,32	7	0,613	3,951	15,5	67,1	10,4
42	32	3	25,2	1,10	1,32	8	0,736	3,356	21,9	56,9	12,5
"	"	3,5	25	1,10	1,32	7	0,858	3,951	21,7	56,9	14,6
"	"	4	23,2	1,10	1,32	7	0,902	3,951	22,9	56,9	15,3
"	"	4,5	21	1,10	1,32	7	0,927	3,951	23,5	56,9	15,7
"	"	5	21,2	1,10	1,32	7	1,030	3,951	26,1	56,9	17,5
39	30,0	5,5	19,4	1,10	1,32	7	1,025	3,951	25,9	56,9	17,4

$$\frac{h}{L} = 72,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{h}{L} = 64,3 \cdot 10^{-3}$$

T5

2 flotteurs

$\eta \times 100$

m

(KG)

1 2 3 4 5

$\frac{h}{L}$ (%)

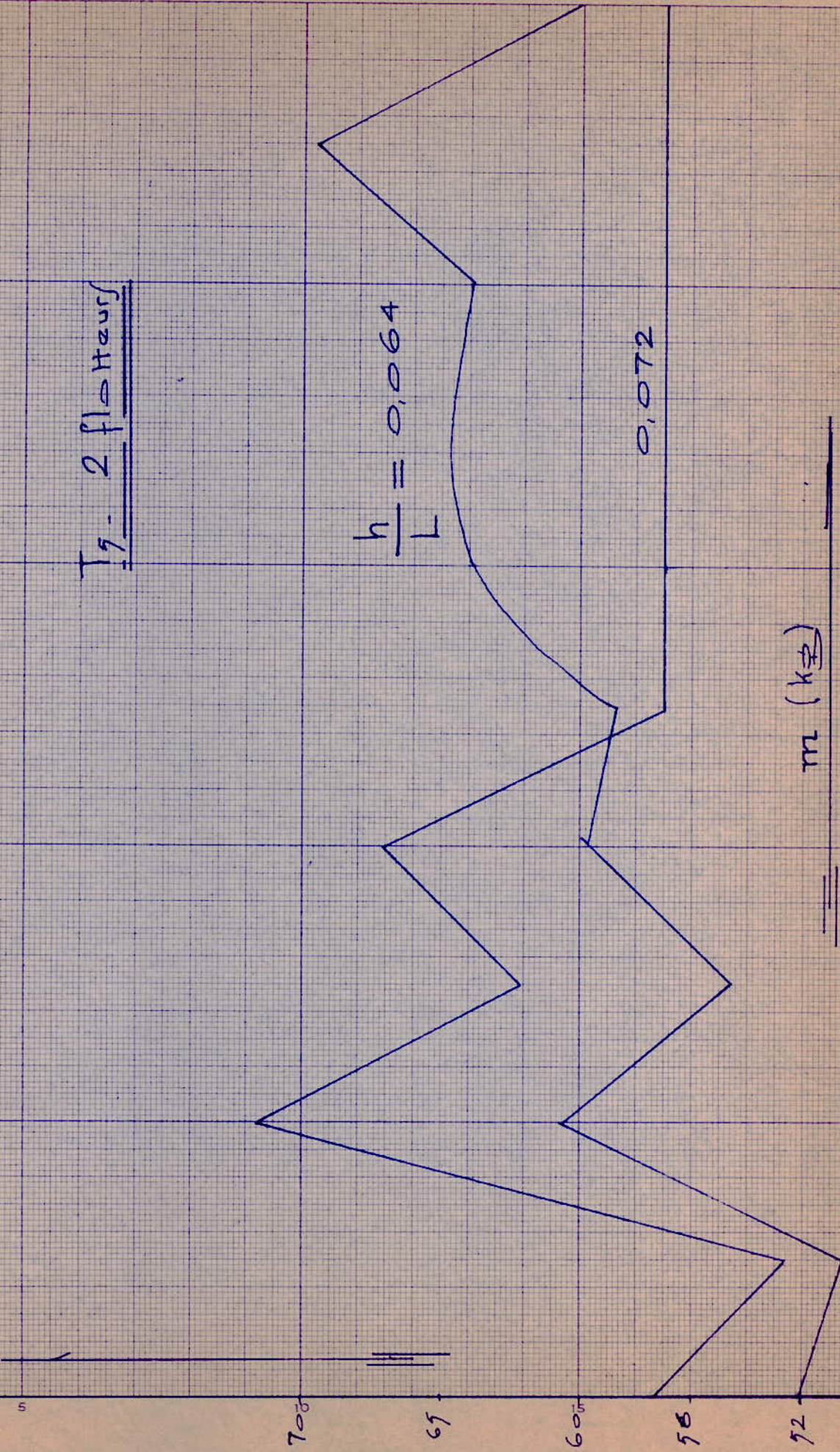


Fig. 2 fluchturf

$$\frac{h}{L} = 0,064$$

0,072

m (kg)

INTERPRETATION DES RESULTATS

Nous avons représenté la variation du rendement global en fonction de la masse et de la cambrure.

* Pour un flotteur, le rendement global $\eta = \frac{P_u}{P_v}$ est faible, de l'ordre de 29 %, alors que le rendement du flotteur est assez important et atteint 42 % (Tableau T5). La première série de courbes a une forme régulière, de plus elle est étalée, ce qui nous permet de voir que le problème de sélectivité a été éliminé.

Par contre, le tracé de quelques courbes représentant η en fonction de la masse et de la cambrure, puis η_s en fonction des mêmes variables, nous permet de voir une grande irrégularité dans les variations; nous avons des courbes en dents de scie mais présentant tout de même certaines similitudes comme on peut le constater.

Nous pensons que ceci est dû à l'apparition de certains phénomènes secondaires irréguliers engendrant de grandes pertes d'énergie, notamment l'effet de gifle, l'augmentation des frottements, et l'élasticité des barres de transmission.

De plus, la mesure de l'amplitude est très délicate et une petite variation de celle-ci a de grandes répercussions sur la valeur de la puissance (proportionnelle au carré de l'amplitude), et par suite sur le rendement qui est un rapport de puissances.

* Pour deux flotteurs, le rendement global η reste faible alors que le rendement η_f augmente jusqu'à 71,6 %.

Si nous partons de l'hypothèse que le pourcentage d'énergie absorbée par chaque flotteur reste le même étant donné la forme

et les dimensions identiques du flotteur, nous aurons le résultat suivant :

- le premier flotteur absorbe 42 % de l'énergie véhiculée par la houle E_v . Il reste 58 % de E_v dont 42 % seront absorbés par le 2ème flotteur soit $42 \% \times 58 \% = 24,36 \%$.

- Les deux flotteurs auront ainsi absorbé $42 + 24,36 \approx 66,36 \%$ de E_v .

Or, pour deux flotteurs, la valeur expérimentale de η_p obtenue est de $74,6\%$, de qui justifie notre hypothèse.

Ces considérations nous permettent d'affirmer qu'avec trois flotteurs, nous pourrions récupérer l'énergie suivante :

- le troisième flotteur reçoit $100 \% - 66,36 \% = 33,64 \%$ de l'énergie véhiculée par la houle.

- Il en absorbe 42 % soit $14,13 \%$.

Les Trois flotteurs absorberaient donc $66,36 + 14,13 \% = 80,49 \%$

De même pour le quatrième flotteur : $100\% - 80,49 \% = 19,51 \%$

- il en récupère 42 % soit $8,20 \%$.

D'où les 4 flotteurs absorbent à eux quatre $88,69 \%$ de l'énergie véhiculée par la houle, ce qui est déjà assez appréciable.

Par ailleurs, nous remarquons que le flotteur suivant absorbe moins d'énergie que le précédent :

le 1er absorbe 42 % de E_v

Le 2ème absorbe 24,36 % "

le 3ème absorbe 14,13 % "

le 4ème absorbe 8,20 % "

.../...

Etant données les dimensions de notre canal à houle, nous étions contraints de disposer les flotteurs les uns après les autres; ainsi les flotteurs, sauf le premier, reçoivent une houle amortie par les flotteurs précédents. Dans la réalité, vu l'espace disponible, on pourrait placer les flotteurs "en parallèle" au lieu de les mettre "en série" tel que nous l'avons fait dans le canal.

Ainsi, chaque flotteur recevra une houle non amortie, et absorbera 42 % de l'énergie véhiculée :

le 1er absorbe 42 % de E_v
 le 2ème absorbe 42 % de E_v au lieu de 25 %
 le 3ème absorbe 42 % de E_v au lieu de 14 %
 le 4ème absorbe 42 % de E_v au lieu de 8 %

(Ex étant l'énergie véhiculée par la houle sur la longueur d'un flotteur). Le rendement des trois derniers flotteurs se trouve augmenté sensiblement. Le rendement global, comme pour le cas où on a un seul flotteur, est faible, car il dépend à la fois des flotteurs et du système mécanique.

Les pertes dans le système mécanique de transmission sont importantes et peuvent atteindre 60 %. C'est pour cette raison que nous pensons que le système mécanique est à améliorer afin de :

- 1° - diminuer les frottements en disposant des roulements à billes et en changeant les rotules.
- 2° - remplacer les barres de transmission par d'autres plus rigides et aussi légères que possible (aluminium).
- 3° - modifier la forme des flotteurs en leur donnant une forme fluidodynamique ou tout au moins arrondie dont on pourrait déterminer expérimentalement la forme et les dimensions optimales pour éviter au maximum l'effet de gifle.

4° - le système des roues libres diminue le rendement. En effet, entre deux positions d'enclenchement nous avons un angle α égal à 8° aussi :

* Si le déplacement angulaire de la manivelle-roue libre est supérieur ou égal à l'angle α nous aurons enclenchement ; sinon, on peut ne pas avoir d'enclenchement et donc ne pas entraîner l'arbre d'où une diminution du rendement; le rendement au niveau de la roue libre diminue d'autant plus que le déplacement angulaire de la manivelle roue libre est faible et risque de s'annuler si le déplacement est inférieur à 8°.

Par ailleurs, le fait de coupler les flotteurs a plusieurs inconvénients :

- 1°) - réglage trop nombreux suivant chaque longueur d'onde.
- 2°) - gêne mutuelle des flotteurs couplés entre deux flotteurs se produit un phénomène de réflexion qui déforme la vague et crée un clapotis (d'où perte d'énergie).

Ces perturbations font qu'il est très difficile d'avoir un flotteur dans le creux quand l'autre est sur la crête.

COMPARAISON DE L'ENERGIE DE HOULE MEDITERRANEEENNE AVEC L'ENERGIE PRODUITE PAR SONELGAZ

Les caractéristiques de la houle méditerranéenne qui nous ont été communiqués par l'ENEMA sont les suivantes :

$$h = 2,5 \text{ m}$$

$$L = 150 \text{ m}$$

$$T = 9 \text{ s}$$

.../...

Ce qui nous permet de calculer la puissance véhiculée par la houle sur une bande de 1.400 Kms sur une longueur d'onde $L = 150$ m

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

$$= \frac{9800 \cdot 1400 \cdot 10^3 (2,5)^2 \cdot 150}{16 \cdot 9}$$

$$= 89,3 \cdot 10^9 \text{ W}$$

$$P_v = 89,3 \cdot 10^6 \text{ KW}$$

L'énergie produite annuellement par SONELGAZ est de $3 \cdot 10^9$ kWh.

Ce qui correspond à une puissance de :

$$P = \frac{3 \cdot 10^9}{365 \times 24} = 3,42 \cdot 10^5 \text{ KW}$$

Si nous disposons d'un système à 4 flotteurs " en série " qui absorbe 92 % de l'énergie véhiculée par la houle, on pourrait récupérer une puissance égale à :

$$P_v = 0,92 \cdot 89,3 \cdot 10^6 = 82,15 \cdot 10^6 \text{ KW}$$

Ce qui correspond à un rapport de puissance égal à :

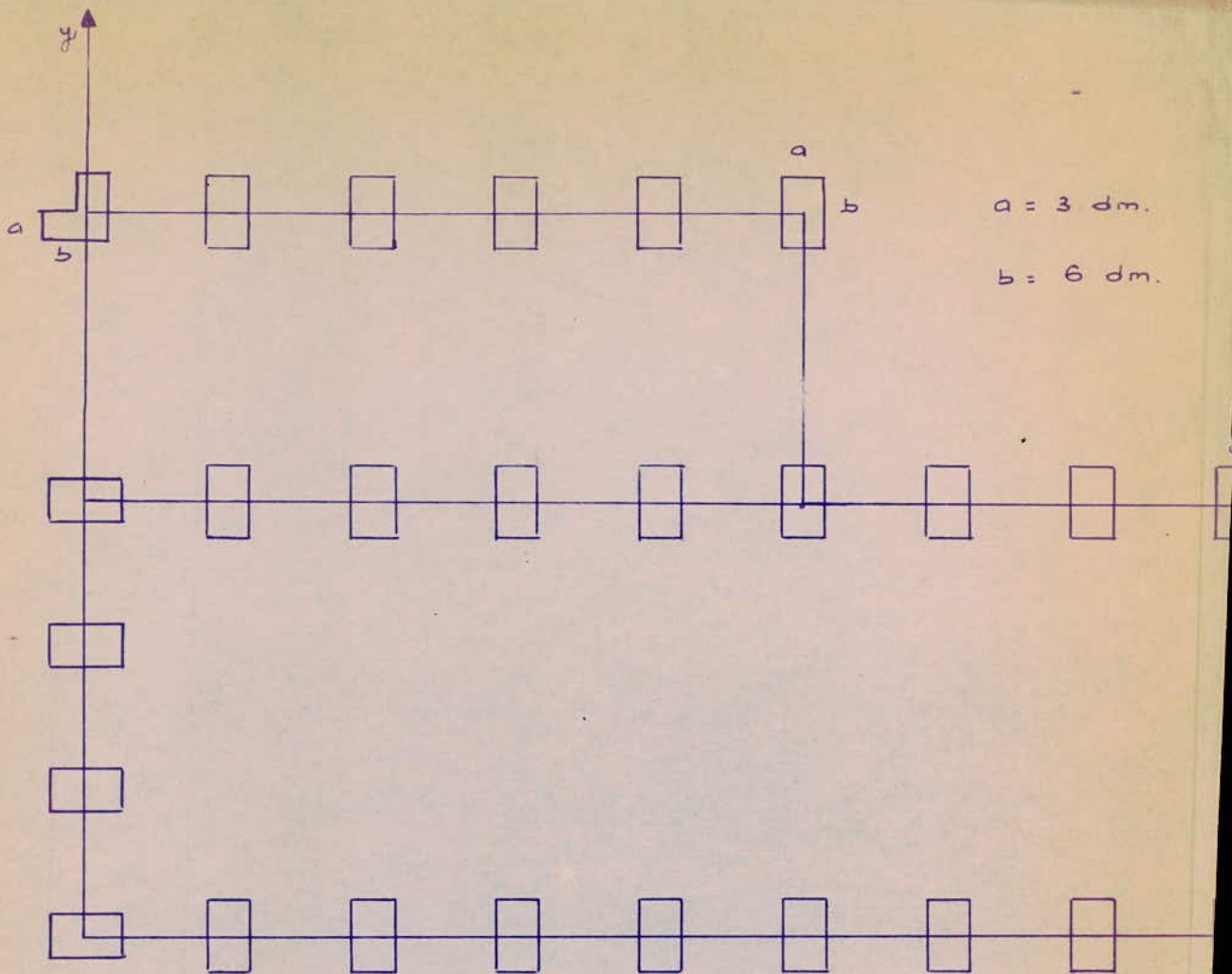
$$K = \frac{0,92 P_v}{P} = \frac{82,15 \cdot 10^6}{3,42 \cdot 10^5} = 240$$

C'est-à-dire que nous disposons sur une bande de 150 m tout au long de la côte algérienne de 240 fois l'énergie produite par SONELGAZ en Algérie. Si nous exploitons 1/100 de cette énergie, l'énergie produite actuellement passerait du simple au triple.

La mer a longtemps été ignorée, puis utilisée seulement comme moyen de communication et comme source d'alimentation alors qu'elle représente les 3/4 de la planète.

Le problème de l'énergie demeurant crucial, l'homme s'intéresse à la mer comme source d'énergie qui présente l'énorme avantage par rapport aux autres sources d'être inépuisable et surtout non polluante.

Certes les études dans ce nouveau domaine sont encore à l'état embryonnaire mais l'idée d'exploiter l'énergie de la houle devrait être à l'ordre du jour, Pour un pays comme l'Algérie qui dispose de 1400 Kms de côte. Les chiffres sont assez éloquentes pour le démontrer. Les calculs nous montrent que l'exploitation de 1/500 seulement de l'énergie disponible sur une bande de 150^m de large, le long des côtes algériennes permet d'économiser près de la moitié de l'énergie actuellement produite en Algérie; aussi nous souhaitons que l'étude entamée à l'école nationale polytechnique voilà 8 ans et que nous n'avons pu mener à terme faute de temps, soit poursuivie. Nous pensons que l'étude du système de transmission devrait être reprise par des spécialistes du génie mécanique, afin d'apporter les améliorations indiquées précédemment qui auront pour effet d'augmenter le rendement du système.



BLOC : 1

Determination du Centre de Torsion
du bloc.1: Portique:

