

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

D 1/71

1 esu

THESE DE FIN D'ETUDES

Département : Génie Civil

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

Proposée par M. Gésa De LAPRAY

Etudié par M. ABROUK MEKKI

1971

Promotion 1971

UNIVERSIT' D' ALGER

--ooOoo--

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

---oooOooo---

T H E S E D E F I N D ' E T U D E S

=====

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

Proposé par :

Monsieur, GESA DE LAPRAY

Etudié par:

Mr ABROUK MEKKI

PROMOTION 1971



AVANT PROPOS

Que tous les professeurs ayant contribué à ma formation trouvent ici, l'expression de ma profonde reconnaissance .

Je tiens plus particulièrement à exprimer mes plus vifs remerciements à Monsieur GEZA DE LAPRAY Professeur de Mécanique des Fluides et d'Amenagements Hydrauliques à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour avoir voulu diriger ce travail et ce avec beaucoup de patience et de dévouement, ainsi qu'à Monsieur AINOUCHE et BOUKHALFA respectivement Assistant et Aide Technique pour l'aide qu'ils m'ont apportée.

M. ABROUK

JUIN 1971

PLAN

I- Etude physique de la Houle

- Définition
- Analyse physique

II- Introduction à l'étude de la houle

- Définition des caractéristiques
- Formules mathématiques

IV - Confection des différents éléments.

- Bassin à houle
- Plaques orientables
- Volet rigide
- Vilebrequin réglable
- Bielles
- Plateaux en laiton
- Systèmes à cliquet
- Volant d'inertie
- Poulie

V - Etude de l'énergie apportée par la houle

- Objet de cette étude
- Etude de l'énergie
- Expression de la puissance

VI - Essais et résultats de nos expériences

- Essais effectués au laboratoire
- Résultats obtenus
- Calcul du rendement
- Courbes expérimentales donnant le rendement en fonction de la période
- Conclusion partielle .

VII - Conclusion Générale.

Formules Appliquées

$$c = \sqrt{\frac{g \cdot L}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi H}{L}} = 1,25 \sqrt{L \frac{\operatorname{th} 2\pi H}{L}} \quad (1)$$

$$L = c \times T \quad (2)$$

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g} \operatorname{coth} \frac{2\pi H}{L}} = 0,8 \sqrt{L \cdot \operatorname{coth} \frac{2\pi H}{L}} \quad (3)$$

$$2a = h \frac{\operatorname{ch} \frac{2\pi(H-y)}{L}}{\operatorname{sh} \frac{2\pi H}{L}} \quad (4)$$

$$2b = h \frac{\operatorname{sh} \frac{2\pi(H-y)}{L}}{\operatorname{sh} \frac{2\pi H}{L}} \quad (5)$$

$$E = \frac{\bar{\omega} h^2 \cdot L}{16} \quad (6)$$

$$P = \frac{E}{T} = \frac{b \cdot \bar{\omega} h^2 \cdot L}{16 \cdot T} \quad (7)$$

$$2 a_0 = h \cdot \coth \frac{2\pi H}{L} \quad (8)$$

$$2 a_H = \frac{h}{\sinh \frac{2\pi H}{L}} \quad (9)$$

$$U_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot a_0}{T} \quad (10)$$

$$U_H = \frac{2 \pi a_H}{T} \quad (11)$$

$$e = \frac{P_{roue}}{P_{houle}} \quad (12)$$

P u i s s a n c e d e l a h o u l e .

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

1°) Définition de la houle

La houle est un mouvement ondulatoire produit par l'action du vent à la surface de la mer.

2°) Analyse physique

Lors d'un coup de vent la mer se couvre de rides , puis l'intensité augmentant, la déformation de la surface s'accroît en formant des ondulations dans une direction déterminée (agitation à trois dimensions) Si le vent persiste , les vagues se forment et progressent dans la direction où souffle le vent , l'agitation tend à devenir un phénomène à deux dimensions en donnant une houle cylindrique .

Lorsque la houle cylindrique se propage par des profondeurs variables sa longueur d'onde , son amplitude et sa direction subissent des modifications, alors que sa période reste constante; c'est le phénomène de réfraction .

Si la propagation s'effectue vers une côte légèrement inclinée dont les lignes de niveau sont sensiblement parallèles aux crêtes de la houle on constate une diminution de la longueur d'onde et en général de l'amplitude .

C'est ainsi que la houle subit des concentrations au voisinage d'une pointe ou d'une île pouvant augmenter considérablement son amplitude, au contraire la propagation dans une baie provoque un épanouissement des crêtes avec une diminution de l'amplitude .

Quand la houle atteint une paroi verticale elle se réfléchit en formant un système d'ondes stationnaires appelé "Clapotis", l'amplitude des ondes est sensiblement le double de celle de la houle incidente, leur longueur d'onde et leur période restent celle de la houle incidente .

Si la houle aborde l'écran sous un certain angle, la réflexion s'effectue de la même façon que pour les ondes lumineuses la composition de la houle incidente et de la houle réfléchie donne aux abords de l'obstacle un phénomène stationnaire compliqué appelé "gaufrage".

En première approximation, la houle est un mouvement orbital les molécules liquides décrivent des trajectoires fermées, la houle en eau profonde est un phénomène ondulatoire qui s'effectue avec transport de masse à un instant donné les vitesses des points d'une même verticale ont toute la même direction et une intensité décroissante depuis la surface vers le fond par grande profondeur.

Notons qu'en profondeur finie les orbites sont des ellipses dont le grand axe diminue exponentiellement avec la distance à la surface libre, en même temps que leur aplatissement augmente, sur le fond les orbites sont réduites à des segments de droites.

Lorsque la houle atteint une crête inclinée la lambrure des lames augmente jusqu'au déferlement qui se traduit par un effondrement de la vague avec formation d'un bouillonnement sur la face antérieure.

Le déferlement des lames s'accompagne en effet d'une brutale libération d'énergie de la houle qui a d'importantes conséquences pour la tenue des ouvrages ou des rivages et pour des embarcations qui les franchissent.

Pour notre pays, l'exploitation de l'énergie de la houle ne pose aucun problème du côté géologique et géographique, c'est pour cela que les essais tentés dans notre Ecole Nationale Polytechnique sous la direction de Mr GESA DE LAPRAY s'inscrivent dans le cadre de recherche de la transformation de l'énergie de la houle en force motrice, ce qui serait très bénéfique pour l'Algérie qui dispose d'une longueur de côte de 1400 Km.

3

Introduction
à
L'étude de la houle

La mer est un milieu liquide toujours agité dont le mouvement est la résultante d'ondulations de diverses périodes et de courants généraux plus ou moins uniformes.

Les mouvements ondulatoires sont:

- La houle: dont la période varie de 0 à 20 secondes, et l'amplitude peut atteindre une dizaine de mètres
- Les seiches qui se produisent dans certains ports (comme le port d'Alger) avec une période variant d'une dizaine de secondes à quelques minutes et une amplitude de quelques décimètres.
- La marée dont la période variant de 12 heures à 18 heures environ et dont l'amplitude peut atteindre sur certaines côtes une quinzaine de mètres.
- Ces mouvements qui se traduisent par une oscillation périodique de plan d'eau entraînent des courants de période plus ou moins déphasés par rapport à la variation des hauteurs d'eau.
- Parmi tous ces mouvements ondulatoires nous nous sommes penchés sur l'exploitation de l'énergie de la houle cette énergie est celle apportée à la rive par le déferlement des vagues.
- L'idée de pouvoir exploiter une énergie qui nous est donnée par la nature et plus précisément par le mouvement oscillatoire de la mer a fait l'objet d'expérience en France dans l'estuaire de la Rance.
- Notons cependant que les essais établis en France et qui consistaient à exploiter l'énergie marée-motrice nécessitaient des conditions particulières, telles les conditions géographiques et géologiques. (fondations) une telle exploitation de la marée-motrice, exige:
 - Un marnage d' au moins 12 mètres
 - Une baie qui peut être barrée par un barrage maritime.
 - (Il est bien évident qu'un tel barrage ne peut pas être supporté par un fond de sable).

S'il est difficile de répondre à toutes ces exigences qui nécessiteraient des installations onéreuses, par contre la houle est omniprésente sur les côtes méditerranéennes .

L'Exploitation de l'énergie de la houle ne demande aucunes conditions géologiques et géographiques; les installations sont possibles sur n'importe qu'elle plage .

Notons que là où il n'y a pas de plages, on peut placer des îles flottantes et installer les volets actionnés par la houle et permettant de transformer l'énergie de cette dernière en force motrice .

Il est assez étonnant que tous les essais effectués dans différentes pays en vue de l'exploitation de cette inépuisable énergie ont été voués à l'échec .

Ceci est dû au fait que les appareils utilisaient des alternateurs, alors que l'instabilité des phénomènes mêmes contre-disent cette installation directe.

Il est dit que les trains d'ondes sont suivies de période calmes même si on considère une courte période de quelques minutes .

Il y a une fluctuation telle de l'énergie fournie par la houle de cette manière, serait affectée par des arrêts et ne permettrait pas l'utilisation rationnelle de l'électricité fournie par alternateurs actionnés par l'effet de la houle .

Les essais suivis à l'Ecole Nationale Polytechnique dès la première année ont pour but de transformer cette énergie s'écoulée de la houle en énergie potentielle accumulable (remplissage d'une retenue d'eau en haut de la falaise permettant le retour d'eau ainsi accumulée en passant par les turbines dans la mer évidemment).

Le but est donc de trouver le moyen de renvoyer l'eau de la mer dans un récipient disposé à une côte la plus élevée possible même si cette hauteur a pour conséquence la diminution du volume d'eau accumulable, cela devient parfaitement évident si on considère que le prix du premier établissement d'une turbine actionnée par un débit faible mais une forte charge est dans tous les cas moins cher que celui d'une turbine actionnée par un fort débit et une faible charge remarque .

II ANALYSE MATHÉMATIQUE DE LA HOULE

1° - Définition des caractéristiques de la houle

- Avant d'aborder le problème de notre étude; il y a lieu de définir les caractéristiques de la houle. Celle-ci est caractérisée par :

- a) son amplitude ou hauteur du 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 deux crêtes consécutives en un même point .
- d) sa célérité " C " c'est la vitesse moyenne de propagation .
- e) sa cambrure " $\frac{h}{L}$ " rapport sans dimensions entre l'amplitude et la longueur d'onde

2° - Formules mathématiques

Les études théoriques de les houles consistent à décrire le phénomène au moyen de formules mathématiques .

$$C = \sqrt{\frac{g L}{2\pi} \tanh \frac{2\pi H}{L}} = 125 \sqrt{L \tanh \frac{2\pi H}{L}}$$

Remarque : ne pas confondre la célérité qui est la vitesse de propagation de l'onde (déformation du milieu liquide avec la vitesse des molécules).

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

$$T = 0,8 \sqrt{L \coth \frac{2\pi H}{L}}$$

La formule définissant l'amplitude n'est qu'empirique .

$$h = \frac{T}{3} h_0 \times 0,8 \frac{L - 1000}{1000}$$

"h₀" : amplitude de la houle à la limite de la zone de tempête

"L" distance en km; du lieu considéré comptée à partir de la même limite .

N.B. H : représente la profondeur d'eau

connaissant toutes les caractéristiques nous pouvons à ce moment calculer les axes des orbites circulaires de rayon "h" .

ces orbites elliptiques aplatis ont pour grand axe:

$$2a = h \frac{Ch \frac{2\pi(H-y)}{L}}{Sh \frac{2\pi H}{L}}$$

$$\frac{Sh \frac{2\pi H}{L}}$$

et pour petit

axe:

$$2b = h \frac{Sh \frac{2\pi(H-y)}{L}}{Sh \frac{2\pi H}{L}}$$

4- Etude de l'énergie apportée par la houle .

- Objet de l'étude

Le but principal de cette étude est de démontrer par un autre procédé que celui étudié l'année passée, si à partir de la houle, on peut obtenir une énergie potentielle que l'on peut convertir en force motrice ou bien directement en force motrice

- Etude de l'énergie

Le déplacement des lames est accompagné d'importantes dissipations ou libération d'énergie .

La houle cylindrique simple accumule une quantité totale d'énergie

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, et leur somme est définie par une formule simple :

7

- Confection des différents appareils

1°- Bassin à houle:

Nous avons utilisé le même bassin à houle réalisé il y a deux années; vu l'état dans lequel il était nous étions obligé de refaire toute l'étanchéité de manière à éviter toute fuite d'eau .

2°- Bloc Moteur :

Ce moteur électrique dont la vitesse est réglable à l'aide d'un rheostat branché en série, et solidaire à un volet rigide à l'aide d'une bielle engendre la houle .

3°- plaques orientables

ces plaques ont pour but d'éviter la réflexion des lames .

(voir fig. 1)

4°- Volet rigide

(voir fig. 2)

c'est une plaque en plexiglas disposée perpendiculairement au sens de propagation de la houle . Ce volet pivote autour d'une charnière au fond du bassin à houle .

5°- Le vibreur réglable : $\frac{N}{aJ}$

a) Appareil non selectif .

Le vibreur que nous avons confectionné fonctionne avec n'importe quelle fréquence et ceci a été constaté après plusieurs essais que nous avons effectués . Il est à souligner aussi que le rendement ne baisse pas brusquement comme ça été le cas des expériences de l'année passée.

L'effet de résonance diminue considérablement le rendement

(voir fig. 3)

b) Reglage de l'appareil :

Le réglage de l'excentricité du vibreur se fait par l'intermédiaire de plaques coulissantes les unes sur les autres, munies d'une graduation ce qui nous permet de lire facilement le réglage

(voir fig.4)

.../

arbre d'entraînement
du vilebrequin

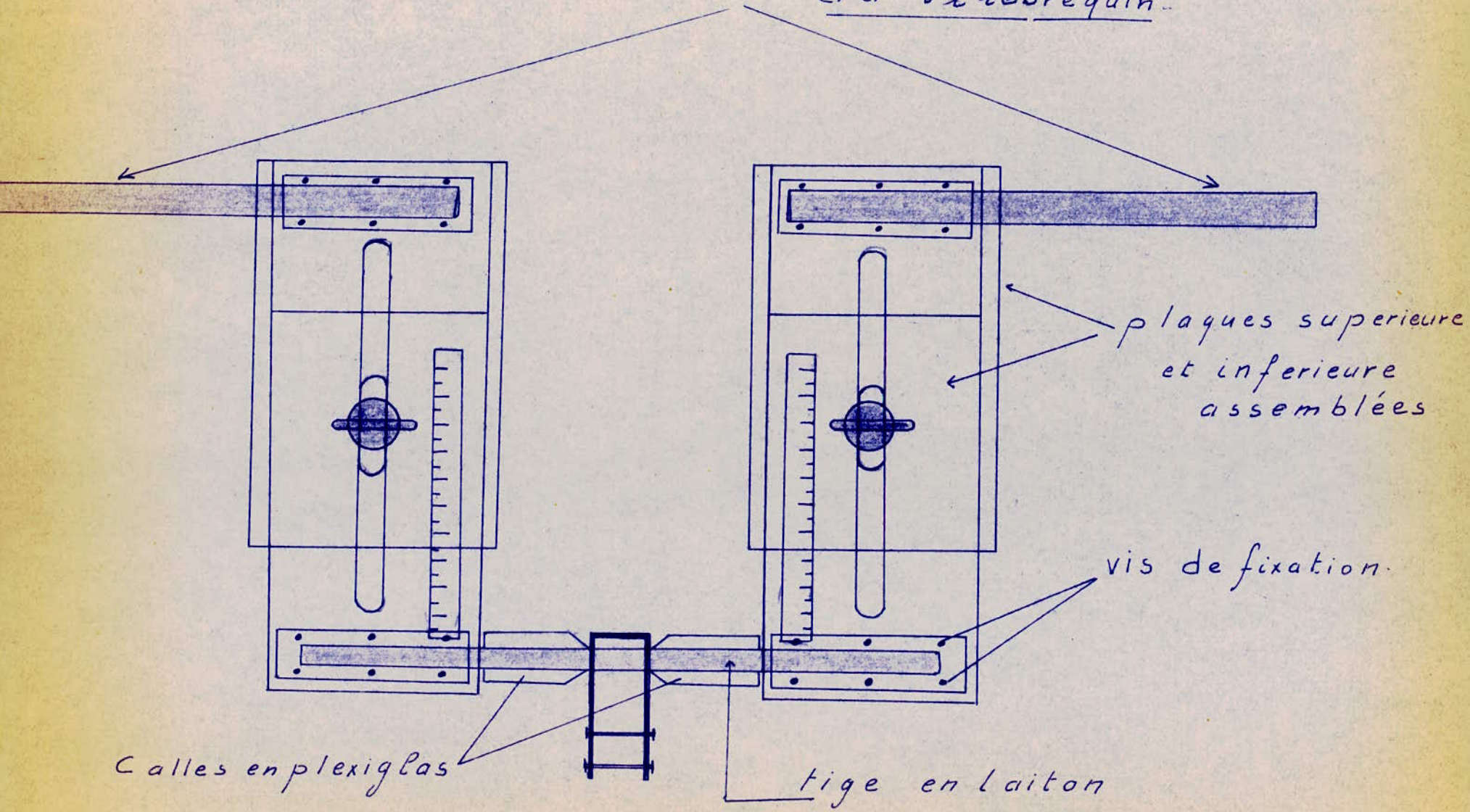


fig: 3

Vilebrequin · réglable ·

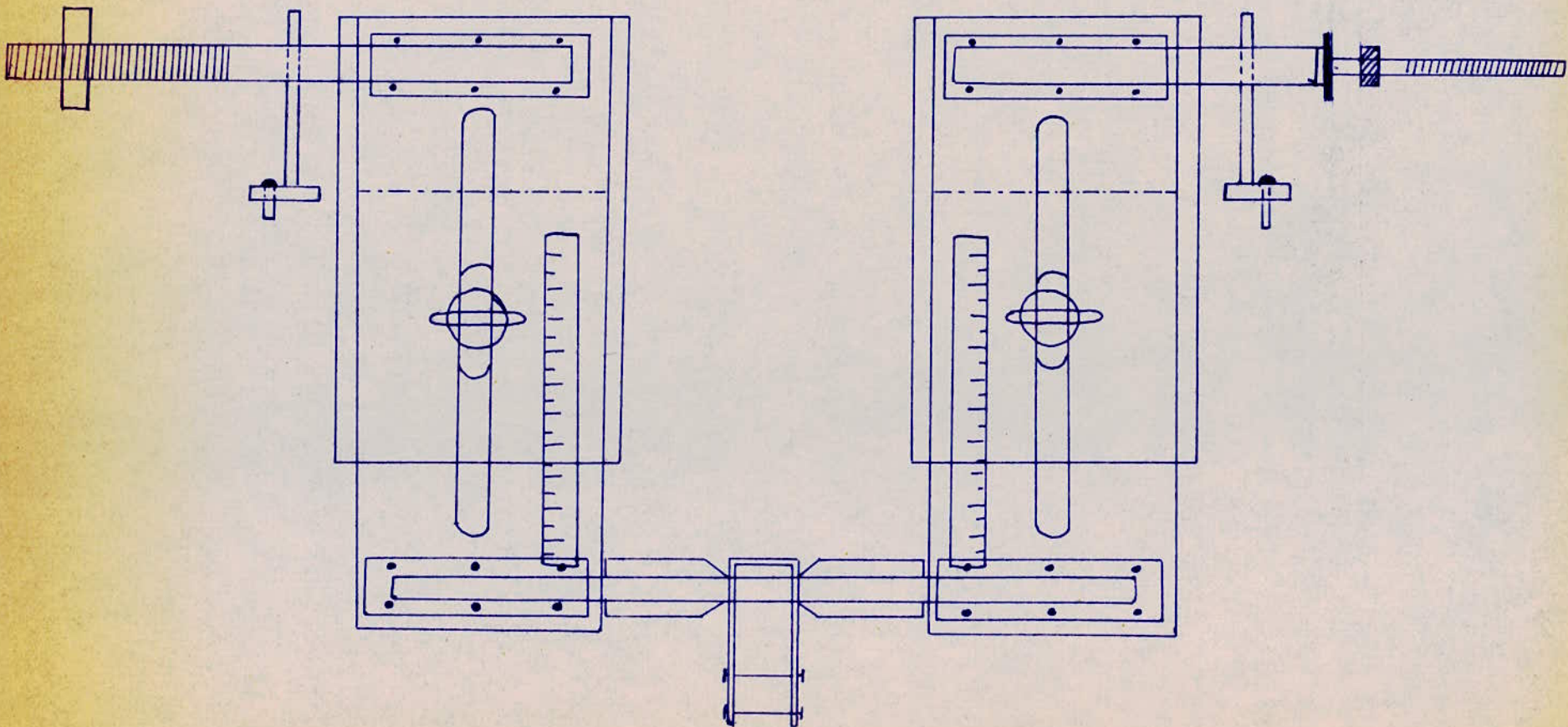
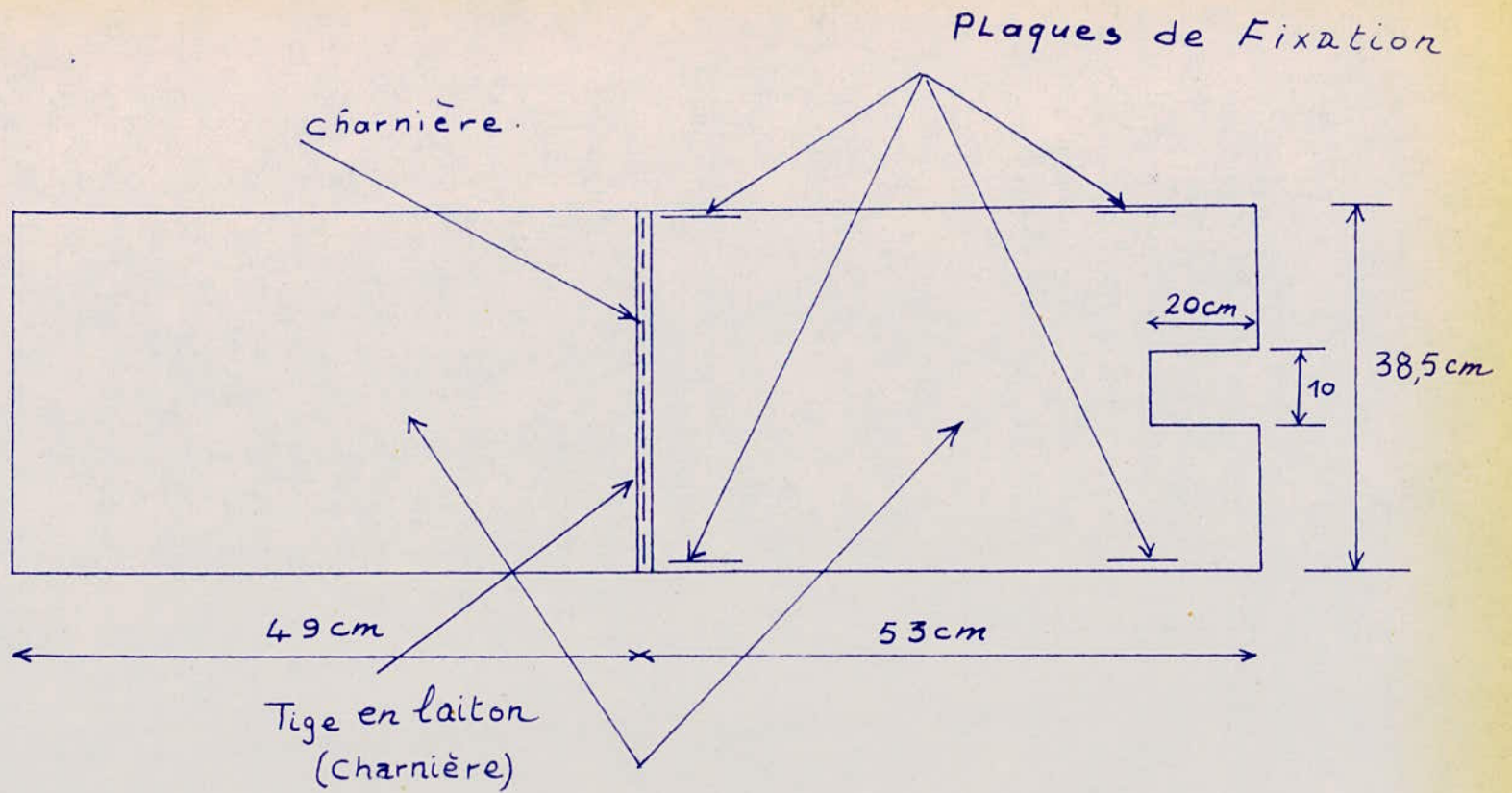
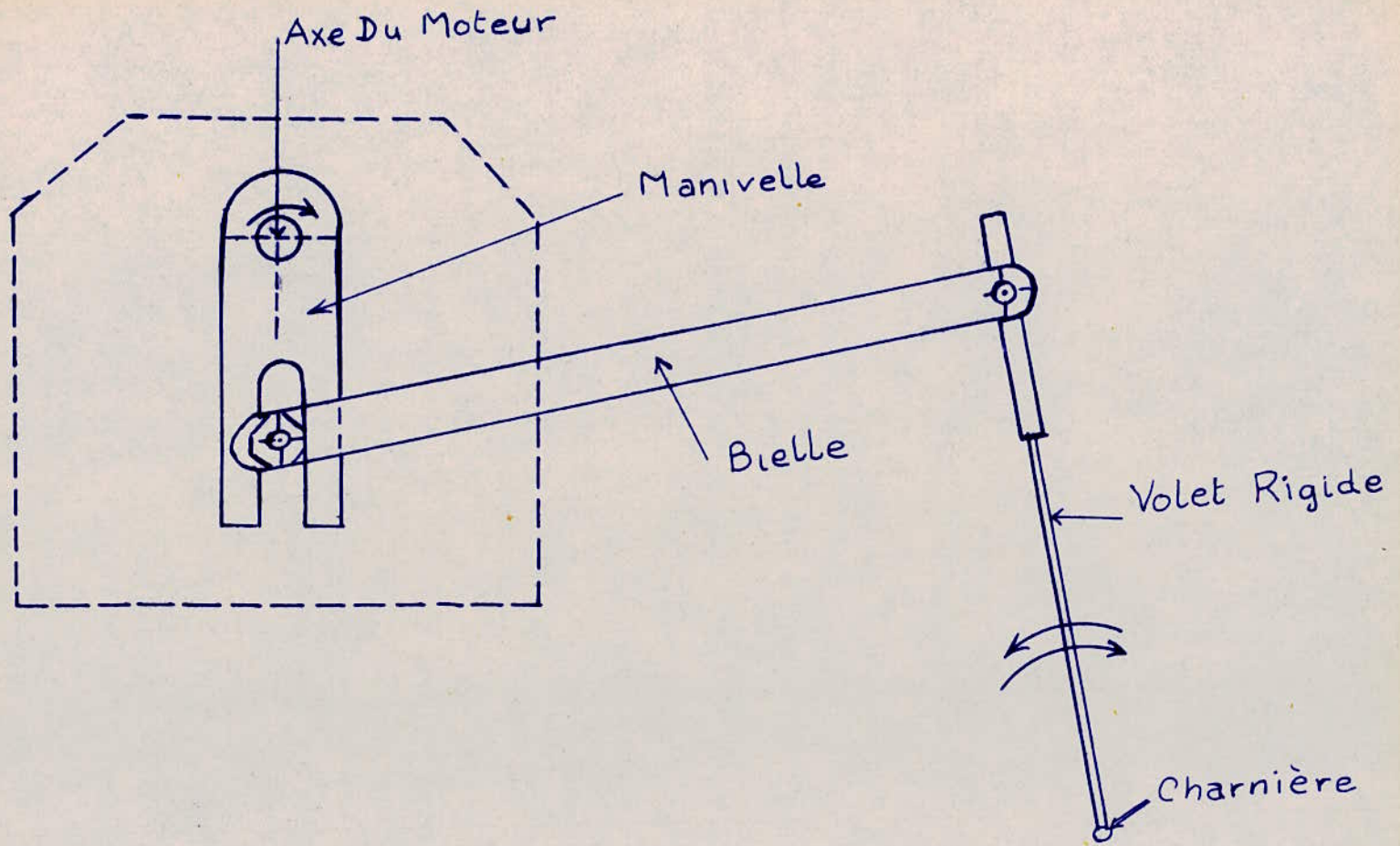


fig : 5



Plaques orientables

Fig : 1



MECANISME DU MOTEUR

fig : A 1

c) Fonctionnement du ville brequin :

Le mouvement alternatif du ville brequin est obtenu à partir de la houle; et ce mouvement est gendre par les vagues réalisées artificiellement à l'aide d'un volet rigide actionné par un moteur électrique . Parallelement à ce volet rigide, est placé un autre volet mais celui ci salidaire du ville brequin à l'aide d'une bielle qui prend la position horizontale lorsque le dispositif est arrêté .

(Voir fig. 5)

- Bielles :

Nous avons confectionné deux bielles de 710 m/m , pour actionner la roue, et une bielle spéciale actionnant la pompe à essence .

ESSAIS ET RESULTAT

Vilebrequin · réglable · avec balanciers

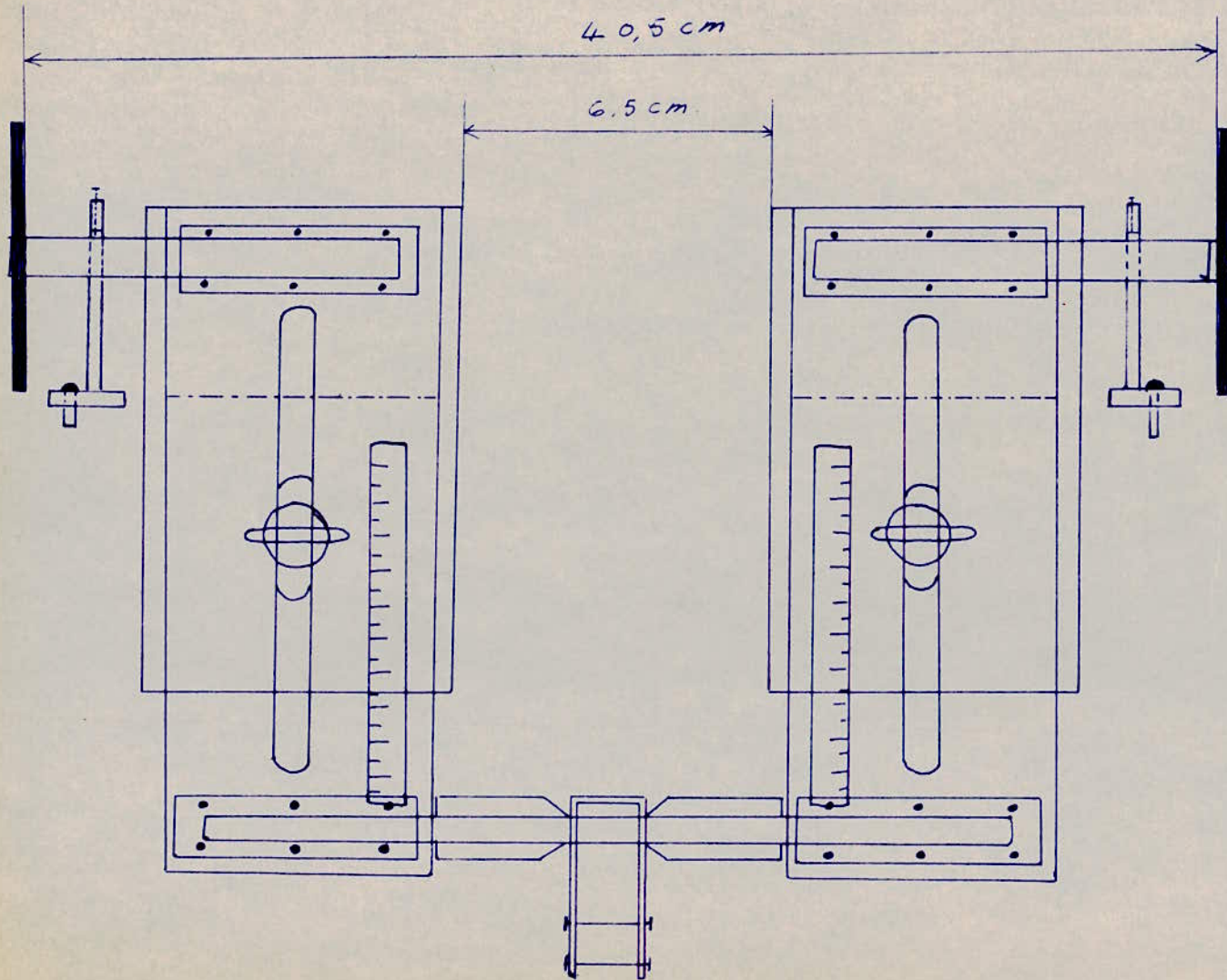


fig :B5

I

RESULTATS EXPERIMENTAUX1°- MECANISME RETENUE : POMPE A MEMBRANE ET ARBRE TOURNANT

Nous avons mis au point cette année deux dispositifs différents pour l'exploitation de l'énergie de la houle .

Notons que ces deux procédés de la transformation de l'énergie de la houle sont basés essentiellement sur l'exploitation directe du mouvement alternatif du vilebrequin engendré par le mouvement des vagues.

Ce vilebrequin ayant l'avantage de ne pas être selectif c'est à dire s'adapte à n'importe quelle fréquence des vagues a été conçu au départ dans le but de fonctionner en mouvement de rotation ce qui ferait alors tourner un volant d'inertie malheureusement cela n'a pas été le cas .

C'est pour cela que nous avons pensé actionner une pompe à membrane dans un premier stade qui nous fournirait de l'énergie potentielle (grandes retenues d'eau en haut d'une falaise) à partir de l'énergie de la houle, qui à son tour fera actionner des turbines.

Un volant qui transformera l'énergie de la houle en énergie mécanique .

Le mouvement de rotation de cette roue est obtenu à partir du mouvement alternatif du vilebrequin dont la longueur de la course pour différentes fréquences a été déterminée expérimentalement; et c'est pour cette raison que j'ai percé une série de trous dans les deux plateaux en laiton de manière à pouvoir ajuster les bielles solidaires du bras de la pompe à membrane et des cliquets des roues libres placés de chaque

.../

Côté de l'arbre .

Notons qu'au repos le volet rigide solidaire du velebrequin est règle de manière à avoir une position perpendiculaire par rapport au niveau d'eau .

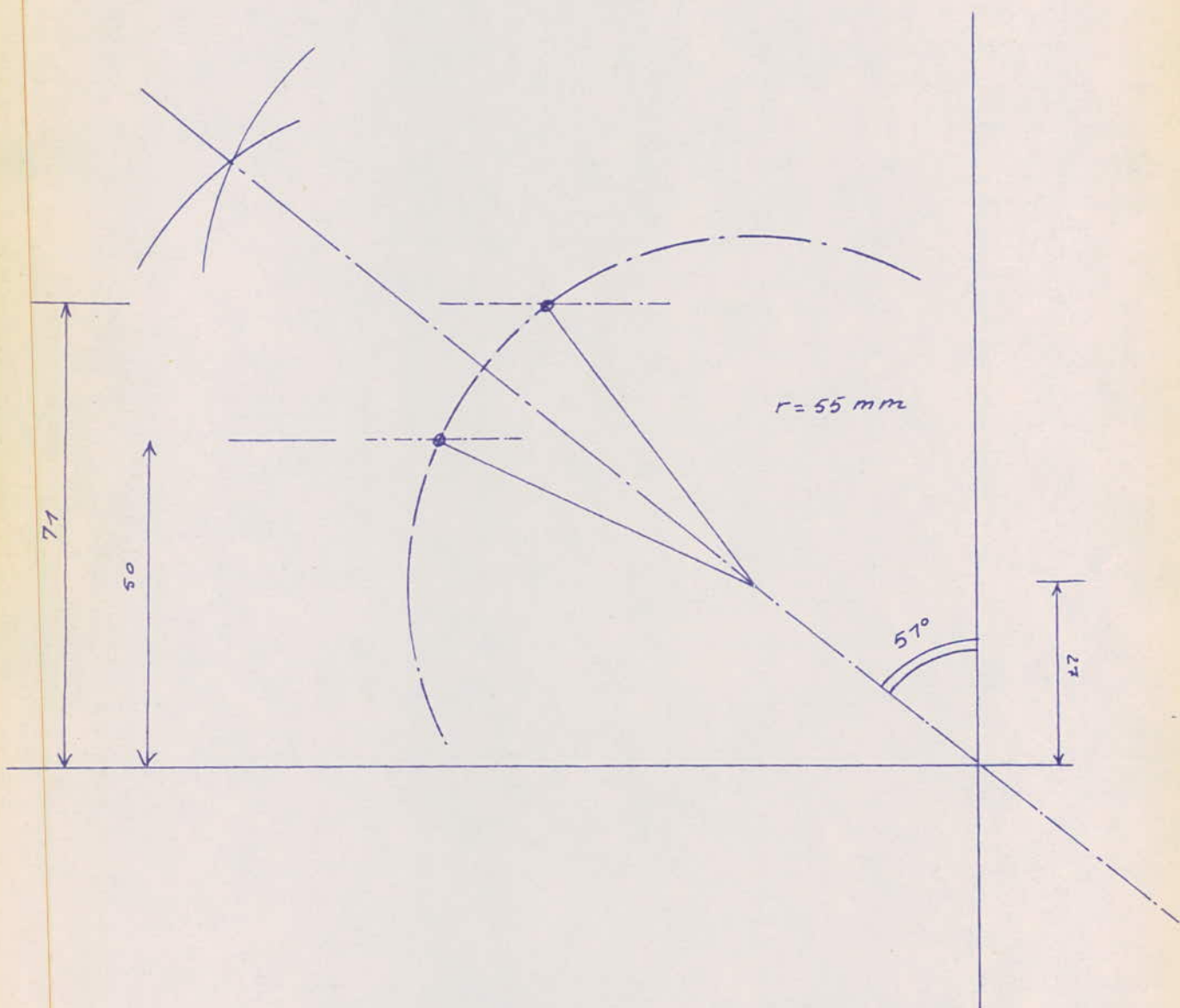
-La bielle reliant le bras de la pompe à membrane au plateau en laiton est parallèle au plan horizontal

- La bielle placée du côté de la roue est dans le plan de tangence au deuxième plateau.

L'idée d'actionner une pompe me permettra dans la nature de déterminer à quelle hauteur maximum on pourrait stocker de l'énergie potentielle dans des retenues d'eau ;

(Voir résultats).

Determination de l'inclinaison
servant à l'emplacement de la pompe
à essence.



3) Calcul de la charge de la pompe

Appliquons l'équation de Bernoulli à notre système :
(Voir shema)

- conduite d'aspiration

Section (0 - 0 -, I - I).

$$\frac{P_0}{\bar{\omega}} + \frac{V_0^2}{2g} + H_0 = \frac{P_1}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + H_1 + \sum h_c^1$$

$V_0 = 0$

$H_0 = 0$

$$\frac{P_0}{\bar{\omega}} = \frac{P_1}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + H_1 + \sum h_c^1$$

Donc j'ecris que :

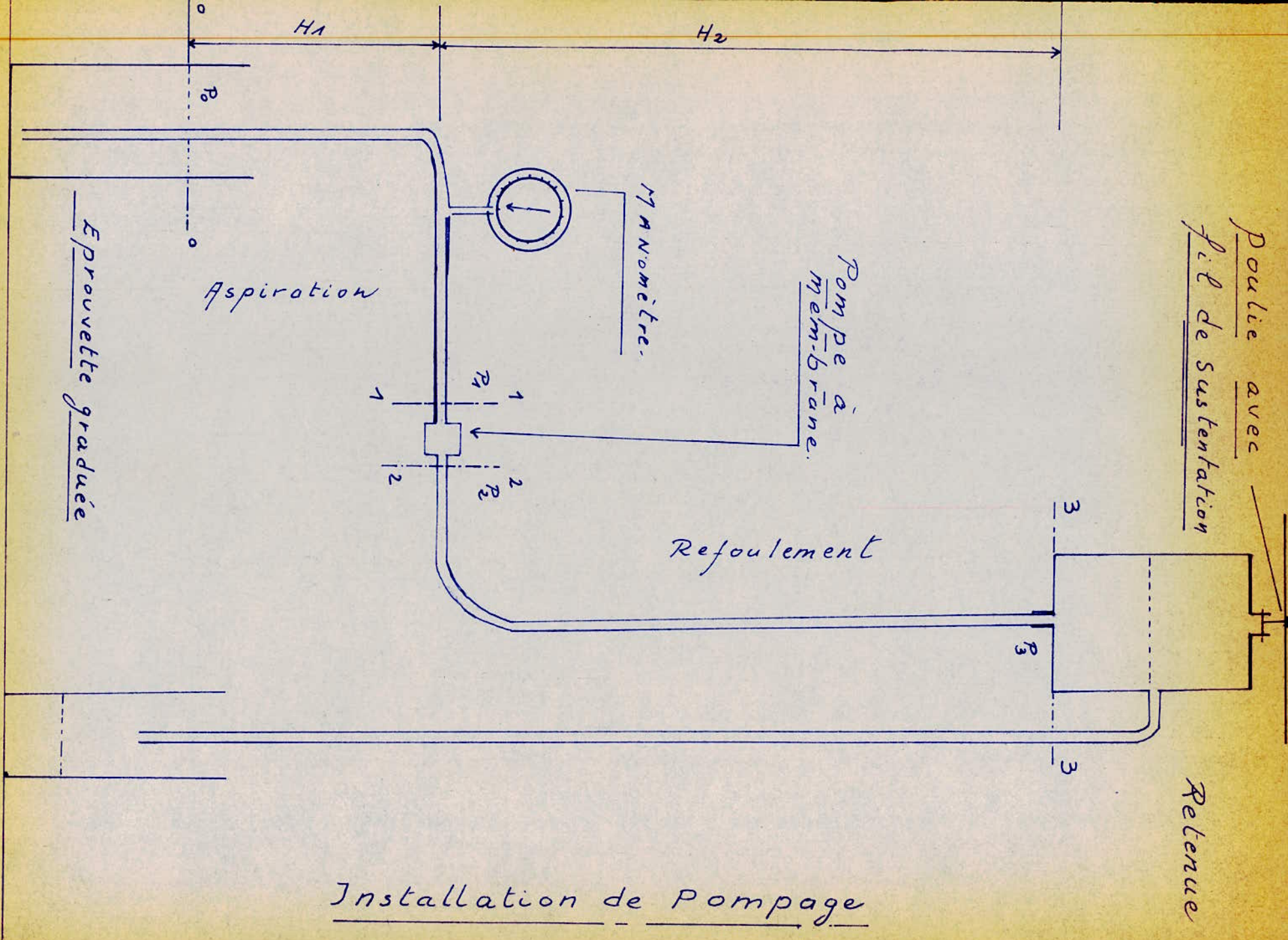
$$\frac{P_0 - P_1}{\bar{\omega}} = \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + H_1 + \sum h_c^1$$

-Conduite de refoulement

Section (2 - 2) 3 - 3)

En apliquant de même l'équation de Bernoulli dans cette section

$$\frac{P_2}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + 0 = \frac{P_3}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + H_3 + \sum h_c^3$$



Poulie avec fil de sustentation

Retenue

Pompe à membrane

MANOMÈTRE

Refoulement

Aspiration

Epruvette graduée

Installation de Pompage

b) Energie spécifique du fluide à l'entrée de la pompe

$$\frac{P_1}{\bar{\omega}} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_0}{\bar{\omega}} - H_1 - \sum h_0^1$$

c) Energie spécifique entre les sections

(II - 2 2)

Cette energie spécifique correspondant à la charge totale H_t de la pompe

$$H_t = \frac{P_2}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \left(\frac{P_1}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right)$$

d'où
$$H_t = \frac{P_3}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + H_2 + \sum h_2^3 - \left(\frac{P_0}{\bar{\omega}} - H_1 - \sum h_0^2 \right)$$

$$H_t = \frac{P_3 - P_0}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + H_2 + H_1 + \sum h_2^3 + \sum h_0^2$$

Soit
$$H_t = \frac{P_3 - P_0}{\bar{\omega}} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + \Delta H + \sum h_0^3$$

où $\frac{P_3 - P_0}{\bar{\omega}}$ est indiqué par le manomètre

$$\frac{\alpha_3 V_3^2}{2g}$$

hauteur capable

$$\Delta H$$

hauteur géométrique

$$\sum h_0^3$$

pertes de charges dues aux résistances dans la conduite .

d) Calcul de l'énergie hydraulique fournie par la pompe

$$[W_{hyd} = H_c \times Q_v]$$

Calcul de rendement de la pompe

soit e le rendement :

$$e = \frac{W_h \times \rho g}{\text{Puis. houle}}$$

$$e = \frac{H_c \cdot Q \cdot \rho g}{\frac{\bar{\omega} \cdot b \cdot h^2 c}{16}}$$

e) Détermination du régime de l'écoulement dans la conduite :

soit :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Re : Nombre de Reynolds

V : Vitesse dans la conduite

ν : Viscosité

Exprimons le nombre de Reynolds en fonction du débit

$$V = \frac{Q_v}{s} = \frac{Q_v}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

s : section de la conduite

D'où

$$Re = \frac{Q_v \cdot D}{\nu \frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4 \cdot Q_v}{\nu \pi D}$$

2)

Application numérique à nos essais

Je prends la valeur du débit maximum donne pour le point

$$T = 0,86 \text{ s}$$

$$\Delta H = 2 \text{ m}$$

soit un débit de :

$$Q_v = \frac{Q_q}{\bar{\omega}} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\Delta}{0,870 \cdot 10^3}$$

ou $\bar{\omega}$ indique le poids spécifique du gaz oil utilisés qui m'a été communiqué par la S O N A T R A C H .

Viscosité du gaz oil prise à + 20 °

$$\nu_{20^\circ} = 0,30 \text{ cm}^2 / \Delta \text{ ou centistokes}$$

Diamètre de la section de la conduite

$$d = 9 / 1000 \text{ m}$$

$$\text{d'où } Re = \frac{4 \cdot Q_v}{\nu \pi \cdot d}$$

$$Re = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,870 \cdot 10^3} \cdot 4$$

$$0,30 \cdot 10^{-4} \pi \cdot 9 \cdot 10^{-3}$$

$$Re = 4 \cdot \frac{46,0}{8,45} = 5,45$$

Ceci entraîne que $Re = 5,45 < 2300$

Donc on peut déduire que le régime d'écoulement est laminaire .

3° Calcul des pertes de charges.

On sait que les pertes de charges sont proportionnelles au debit: d'après la formule suivante :

$$\sum h_0^3 = K \cdot Q^m$$

Avec
$$K = \frac{128 \nu \cdot (\Delta H + \Delta H_e)}{\pi \cdot g \cdot d^4}$$

Vu que notre regime est laminaire cela entraine que

$$m=1$$

donc

$$\sum h_0^3 = \frac{128 \nu (\Delta H + \Delta H_e)}{\pi \cdot g \cdot d^4} \cdot Q^1$$

a° Application numerique:

$$\sum h_0^3 = \frac{128 \cdot 0.3 \cdot 10^{-4} (\Delta H + \Delta H_e) \cdot Q \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 10 \cdot 9^4 \cdot 10^{-12} \cdot 870}$$

$$\sum h_0^3 = 2.16 \cdot 10^{-2} \cdot Q \cdot (\Delta H')$$

Nous determinerons les pertes de charges pour chaque debit (voir les calculs effectués dans les tableaux)

4° Evaluation de la hauteur capable :

$$\frac{V_3^2}{2g} = \frac{(Q_0/A)^2}{2g}$$

Pour la valeur de Qv maximum on trouve que:

$$\frac{V_3^2}{2g} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot d^2 \cdot 870} = \underline{\underline{0.17 \cdot 10^{-3} m}}$$

Ce qui est largement negligable; on ne prendra pas en consideration ce terme dans le calcul des pertes de charges .

Donc la hauteur totale créée par la pompe sera calculée d'après la formule suivante

$$H_t = \frac{P_3 - P_0}{\bar{\omega}} + \Delta H + \sum P_0^3$$

Les valeurs numériques effectuées de la charge totale
sont résumés dans les tableaux suivants:

(voir tableaux)

$$\Delta H = 2 m$$

18

Periode en seconde T	Pession manometri- que $P_3 - P_2$ kg/cm^2	Hauteur piesometr- que $\frac{P_3 - P_2}{\rho} m$	Debit massique en g/s	$\sum h_o^3 m$ Somme des pertes de charges	H_c Hauteur creé par la pompe
1,1	0,45	0,51	3,56	0,023	2,54
0,95	0,47	0,54	4,16	0,027	2,57
0,9	0,59	0,68	7,15	0,046	2,73
0,86	0,66	0,71	10	0,065	2,78
0,8	0,67	0,72	10	0,065	2,79
0,75	0,68	0,78	7,15	0,046	2,83

$$\Delta H = 4 \text{ m.}$$

T_A	$P_3 - P_0$ kg/cm ²	$\frac{P_3 - P_0}{\bar{\omega}}$ m	Q g/A	$\sum H_0^3$ m	H_{EM}
I, I	0,68	0,78	2,85	0,30	4,32
0,95	0,69	0,79	5,80	0,67	4,69
0,9	0,8	0,92	7,45	0,80	4,82
0,86	0,8	0,92	8,35	0,91	4,92
0,8	0,92	0,92	0,62	0,67	4,69
0,75	0,8	0,92	6,11	0,66	4,67

$$\Delta H = 6 \text{ m}$$

T_p	$P_3 - P_0$	$P_3 - P_0$ $\bar{\omega}$	Q_q	$\sum h_i^3$	H_t
I, I ^o	0,72	0,83	1,665	0,25	7,07
0,95	0,76	0,87	2,78	0,42	7,29
0,9	0,78	0,89	5,0	0,75	7,65
0,86	0,9	1,03	8,31	1,21	8,24
0,8	0,9	1,03	5,55	0,84	7,87
0,75	0,8	0,84	4,54	0,68	7,53

$$\Delta H = 9m$$

T_d	$P_3 - P_0$	$\frac{P_3 - P_0}{\omega}$	Q_y	$\sum h_0^3$	H_c
I, I	0,86	0,99	2,0	0,13	II, 12
0,96	0,9	1,04	2,78	0,18	II, 2
0,9	0,9	1,04	5,45	0,57	II, 5I
0,86	0,92	1,06	7,35	1,82	I2, 88
0,8	1,0	1,15	5,56	1,20	I2, 35
0,75	0,9	1,04	3,85	0,83	II, 87

5° Calcul du rendement.

Le calcul du rendement, qui est défini comme le rapport de l'énergie rendu par l'appareil utilisé et l'énergie apportée par le déferlement des vagues; constitue le but principal de mon étude expérimentale.

Rendement de la pompe à membrane

Pour calculer le rendement de la pompe, j'ai procédé à plusieurs essais de pompage avec différentes périodes et à différentes charges géométriques; La charge géométrique que j'ai pu atteindre dans notre laboratoire d'hydraulique est de 9m.

Puissance de la houle

La puissance de la houle a pour expression : $P_h = \frac{E}{T}$

Ou:
$$E = \frac{b \cdot h^2 \cdot L \cdot \bar{\omega}}{16}$$

b/ désigne la largeur de la tranche parallépipédique considérée du liquide agité

L: largeur de la tranche parallépipédique de liquide agité; et qui est égale à la longueur d'onde

h: amplitude variant en fonction de la période de la houle.

pois spécifique fluide.

L'expression (I) exprime la quantité de l'énergie qui est véhiculée par la houle dans la direction de la cote pendant une période bien déterminée.

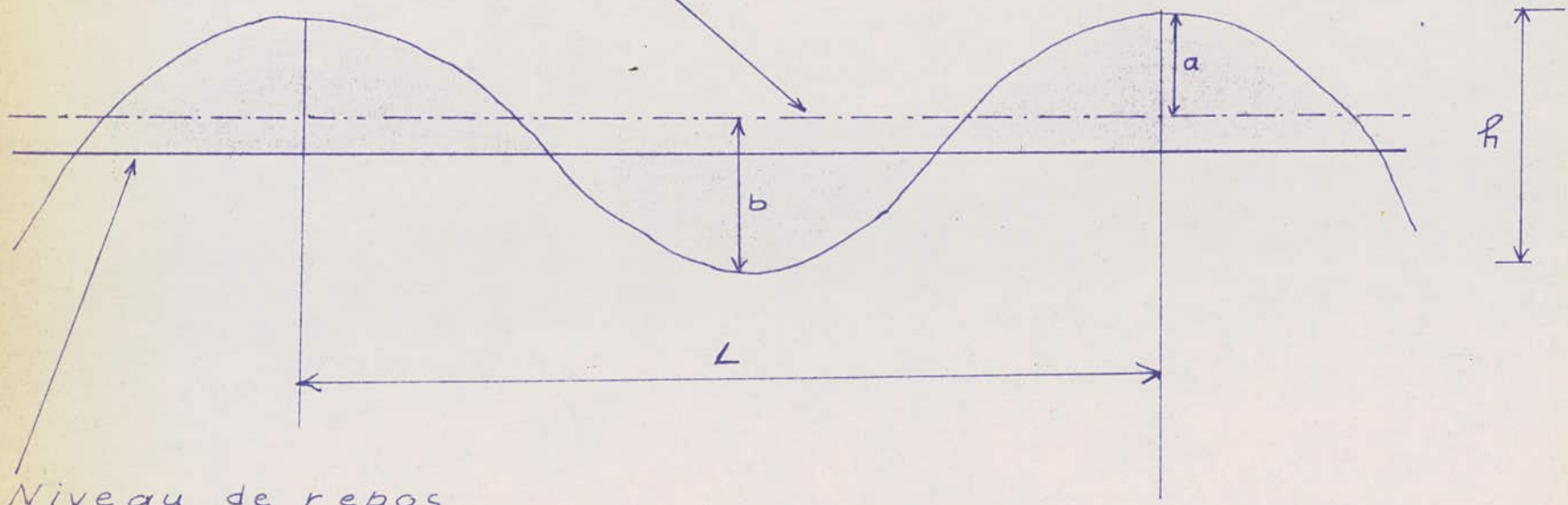
Pour avoir l'énergie de la houle il faut diviser l'énergie par la période.

Soit:

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

FORME LIMITE DE LA HOULE

Niveau moyen de la surelévation



$$\text{Comme } c = \frac{L}{T}$$

La formule donnant la puissance de la houle s'écrit :

$$P_h = \frac{b \cdot \bar{\omega} \cdot h^2 \cdot c}{76}$$

Des calculs ont été fait avec la formule rigoureuse de la célérité :

$$c = 1,25 \sqrt{L \left(h \frac{2\pi H}{L} \right)}$$

H = hauteur d'eau dans le bassin à houle.

H = 29 cm pour tous les essais.

Calcul de la puissance rendue par pompe à membrane.

La puissance rendue par la pompe a pour expression

$$P_r = H_t \cdot Q_v \cdot \rho \cdot g$$

Par consequent on peut determiner le rendement

$$e = \frac{P_r}{P_h} = \frac{H_t \cdot Q_v \cdot \rho \cdot g}{\frac{\bar{\omega} \cdot b \cdot h^2 \cdot c}{16}}$$

Tous les calculs effectués sont resumés dans les tableaux ci-joints.

§

T_A	Q	t_A	$Q_{g/A}$	P_r	P_H	e
1,1	50	25	2	22,2	79	28
0,95	50	18	2,78	31,4	108	29
0,9	50	19	5,45	63	121	52
0,86	50	6	7,35	93,5	130	72
0,8	50	9	5,56	69	146	47
0,75	50	13	3,85	46	158	29
			$H = 9m$			

Periode en seconde	Debit Q	Temps t	Debit unitaire g/s	Puissance rendue Pr gm/s	Puissance houle gm/s	Rendement $\frac{Pr^e}{Ph}$
1,1	50	14	3,56	9,07	79	11,4
0,95	50	8,75	5,7	14,5	108	13,5
0,9	50	7	7,15	19,50	121	16,1
0,86	50	5	10	27,8	130	21,3
0,8	50	5	10	27,9	146	19,2
0,75	50	7	7,15	20,6	158	13
			H= 2M			

T_A	φ	t_A	$\varphi g/A$	P_r	P_H	e
I, I	50	2I	2,2	15,8	79	20
0,95	50	10	4,8	35	108	32,5
0,9	50	6,7	7,5	57	121	47,5
0,86	50	6	8,31	68,5	130	53
0,8	50	9	5,55	43,6	146	30
0,75	50	11	4,54	34,4	158	22
			$H = 6m$			

Γ_A	φ	t_A	$Q_{g/A}$	P_r	P_H	e	
I, I	50	18	2,35	13,5	79	17,2	
0,95	50	8	5,8	27	108	25	
0,9	50	6,7	7,45	36	121	29	
0,86	50	6	8,35	41	130	31,6	
0,8	50	7	7,2	33,6	146	28	
0,75	50	9	6,11	28,5	158	18	
			$H = 14 \text{ m}$				

7)

INTERPRETATION DES COURBES DE RENDEMENTS OBTENUS

La présentation graphique des rendements en en fonction de la période et de la hauteur géométrique nous permet de constater que les rendements :

- croissent avec la charge
- se stabilisent autour d'une certaine période qui est la même pour les différentes charges

Les valeurs optimales pour chaque charge sont obtenues pour : $T = 0,86$, qui correspond à la position 182 du curseur du rehostat est pratiquement constant pour les faibles charges et sur toute la plage des périodes considérées.

Pour les fortes charges, ce n'est pas le cas, on constate que la plus grande partie de la plage n'est plus exploitée; ceci est dû à plusieurs facteurs.

ARBRE TOURNANT .1°) CALCUL DU RENDEMENT.

La puissance effective recueillie à l'arbre tournant est donnée par la formule ci-dessous:

$$P = p \cdot v$$

Où

p désigne la charge appliquée à notre arbre .

v désigne la vitesse de déplacement de la charge que nous avons placée sur un plateau relié par un fil à l'arbre .

On prends la vitesse comme rapport de la longueur déplacée sur le temps mis pour un déplacement correspondant .

SOIT:
$$v = \frac{l}{t} \begin{matrix} (m) \\ (s) \end{matrix}$$

Connaissant d'autre part la puissance de la houle on peut déterminer le rendement pour chaque cas de charge

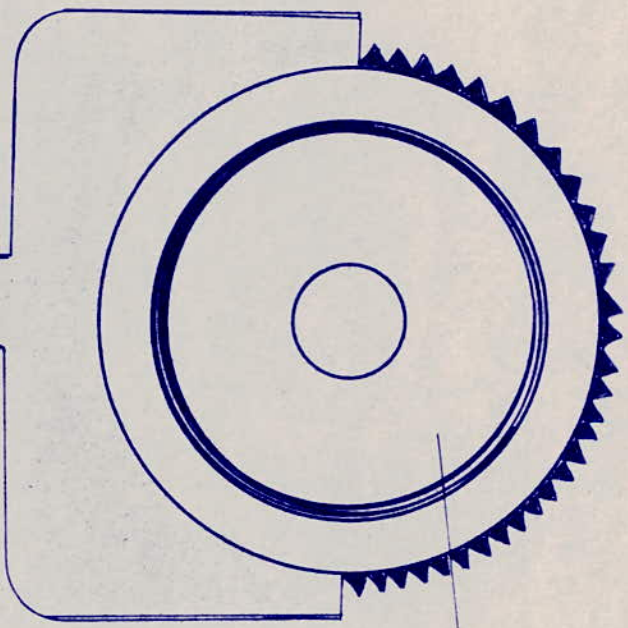
La formule donnant le rendement s'écrit alors:

$$e = \frac{\text{Puissance de la houle}}{\text{Puissance de l'arbre}}$$

essais

Les résultats des différents γ obtenus sont résumés dans les tableaux qui suivent juste après .

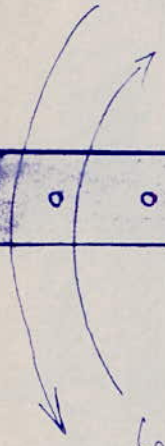
N.B Nous remarquons que le meilleur rendement est obtenu pour une charge de $p=3,165$ et pour période de $T = 0,86s$.



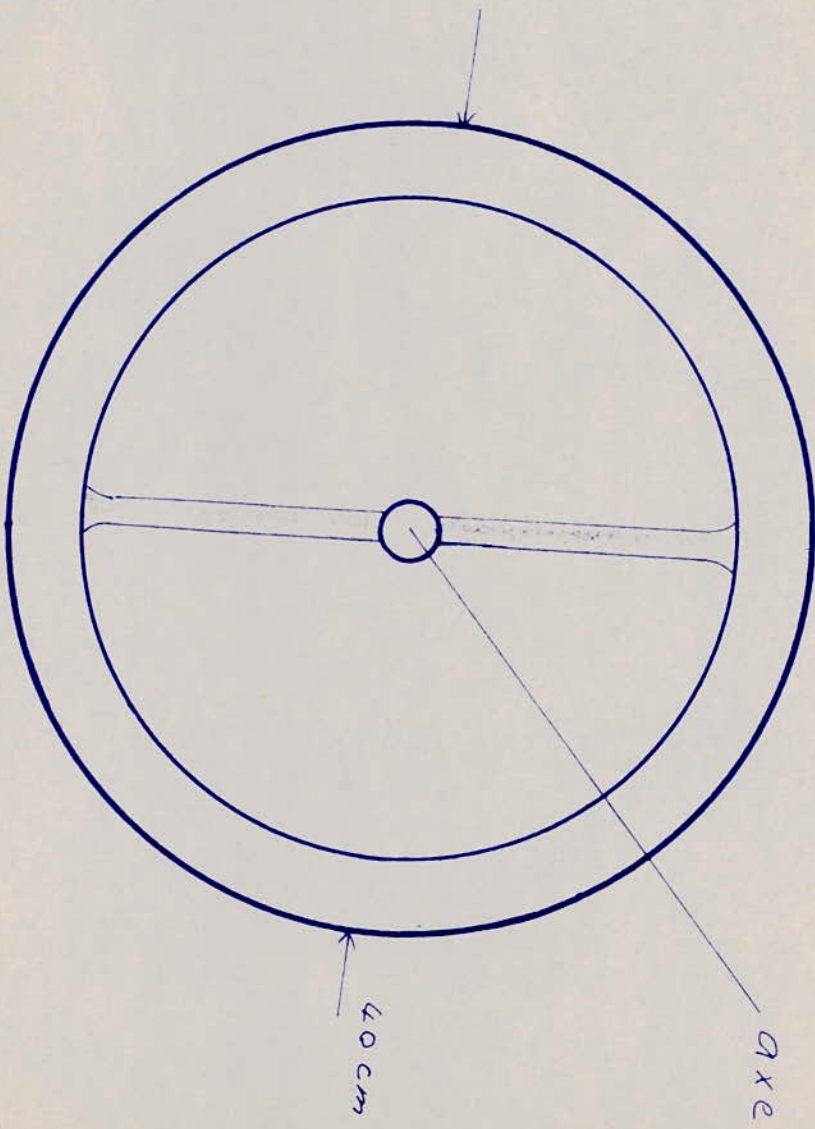
Roue
libre

Bras de Fixation
de la Bielle.

Sens du
mouvement
du cliquet



Volant d'Inertie



Charge Kg	Longueur déplacée en m	Vitesse $V=L/t$	Temps t en s	Puissance $Pr = p.v$	Ph Gm/s	Rendement $e = Pr / Ph$
0,665	0,30	$1,665 \cdot 10^0$	18	11,5	79	14,5
1,165	0,30	$0,88 \cdot 10^0$	34	10,3	79	13
1,665	0,30	$0,261 \cdot 10^0$	115	4,35	79	5,5
2,165	0,10	$0,182 \cdot 10^0$	55	$3,94 \frac{1}{2}$	79	35
2,665	0,10	$0,0905 \cdot 10^0$	110	2,40	79	3,15
3,165	Equilibre					
3,665						
4,165						
4,665						
5,165						

$$T = 0,95 A$$

Charge	Lm	t s	$V = \frac{L}{t} \text{ m/s}$	P=p.v	Ph	\bar{e}
0,665	0,30	8	$3,7 \cdot 10^{-2}$	25	I08	23,0
I, I65	0,30	11	$2,7 \cdot 10^{-2}$	37, 32,4	I08	30
I, 665	0,30	I9	0,0,23 2,	38,2	I08	35,4
2, I65	0,30	I5	0,02	42	I08	38,9
2, 665	0,30	I9	0,0I6	42	I08	39,I
3, I65	0,30	24	0,0I3	39,5	I08	36,6
3, 665	0,20	25	0,008	29,3	I08	27,I
4, I65	0,20	43	0,0046	I9,4	I08	I8
5, I65	E Q U I L I B R E					

$$T = 0,90 A$$

P_{ky}	l_m	t^*	$v = \frac{l}{t}$	$P = p \cdot v$	P_h	e
0,165	0,40	8	0,05	31,2	I2I	25,8
1,165	0,40	12	0,033	38,8	I2I	32
1,665	0,40	14	0,028	47,5	I2I	38,1
2,165	0,40	16	0,025	54,3	I2I	44,9
2,665	0,40	17,5	0,023	61	I2I	50,5
3,165	0,40	20	0,020	63,2	I2I	52
3,665	0,40	23,1	0,018	64,4	I2I	53,2
4,165	0,20	14 5	0,0142	59	I2I	48,6
4,665	0,20	20s	0,01	46,65	I2I	38,4
5,165	0,20	32	0,006	32,4	I2I	26,65

5,665

E q u i l i b r e

$$T = 0,86 \text{ s}$$

P_{kg}	l_m	t_A	$v = \frac{l}{t}$	$P = p \cdot v$	Ph	e
0,665	0,30	4s	$7,50 \cdot 10^{-2}$	50	130	38,4
1,165	0,30	5,4	$5,6 \cdot 10^{-2}$	65	130	50
1,665	0,30	6,7	$4,5 \cdot 10^{-2}$	75	130	57,6
2,165	0,30	8	$3,75 \cdot 10^{-2}$	81,5	130	62,7
2,665	0,30	9,50	$3,16 \cdot 10^{-2}$	84	130	51,5
3,165	0,30	11	$2,72 \cdot 10^{-2}$	86	130	66
3,665	0,30	14V	$2,1 \cdot 10^{-2}$	78	130	60
4,165	0,30	17	$1,7 \cdot 10^{-2}$	71,5	130	55
4,665	0,30	26	$1,15 \cdot 10^{-2}$	53,5	130	41
5,165	0,30	41	$0,73 \cdot 10^{-2}$	37,8	130	29,2

$$T = 0,8$$

P_{kg}	l_m	l_p	$V = \frac{l}{t}$	$P = p \cdot v$	P_h	e
0,165	0,40	7	$5,72 \cdot 10^{-2}$	38	I46	26,28
1,1655	0,40	8	$5,10 \cdot 10^{-2}$	53,4	I46	36,5
1,665	0,40	9	$4,45 \cdot 10^{-2}$	76	I46	52,47
2,165	0,40	11	$3,64 \cdot 10^{-2}$	79	I46	54
2,665	0,40	13	$3,08 \cdot 10^{-2}$	82,4	I46	55,5
3,165	0,40	20	0,02	63,4	I46	43,5
3,665	0,20	13	0,015	56,5	I46	36,8
4,165	0,10	19	0,01	43,9	I46	30,0
4,665	0,10	12	0,0083	38,8	I46	26,5
5,165	----- E Q U I L I B R E					

$$T = 0,75 \Delta$$

ρ	l_m	L_s	$v = \frac{l}{t}$	$P = p \cdot v$	P_h	e
0,165	0,50	11s	$4,55 \cdot 10^{-2}$	30,61	158	18,9
1,165	0,50	14	$3,5 \cdot 10^{-2}$	37,2	158	23,50
1,665	0,50	28	$1,69 \cdot 10^{-2}$	28,2	158	17,8
2,165	0,10	8	$1,25 \cdot 10^{-2}$	27,2	158	17,4
2,665	0,10	18	$0,55 \cdot 10^{-2}$	14,7	158	9,32
3,165	0,10	22	$0,45 \cdot 10^{-2}$	14,40	158	9,12
3,665	-----E U I L I B R E -----					

2° APPLICATION NUMERIQUE

$$T = 0,86 \text{ s}$$

$$p = 3,165 \text{ Kg}$$

$$l = 0,30 \text{ m}$$

$$t = 11 \text{ s}$$

$$\text{d'où } v = \frac{l}{t} = \frac{0,30}{11} = 2,72 \cdot 10^{-2}$$

$$P_h = 130 \cdot 10^{-3} \text{ Kgm/s}$$

$$P_r = p v = 3,165 \times 2,72 \cdot 10^{-2}$$

$$e = \frac{3,165 \times 2,72 \cdot 10^{-2}}{130 \cdot 10^{-3}} =$$

$$e = 66,0 \%$$

3° INTERPRETATION DES COURBES EXPERIMENTALES

Ces courbes donnant le rendement en fonction de la charge appliquée à l'arbre pour différentes périodes nous permettent de constater que nous avons la meilleure valeur de e pour une période de $T = 0,86$ soit pour la position I32 du curseur du rehostat .

4°

EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS PAR LES DEUX MECANISMES

Les calculs effectués en application des considérations exposées précédemment donnent pour la plus favorable houle expérimentalement déterminée une puissance de : $130 \cdot 10^3 \text{ Kg m/s}$

Pour le cas de l'Algérie, la puissance de la houle représentée en application des renseignements mis à notre disposition par les services de la météorologie de " DAR EL BEIDA " , soit pour :

$$h = 2,50 \text{ m}$$

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

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

une puissance de :

$$P = \frac{10^3 \times 2,5^2 \times 150}{16 \times 9} \times 1,4 \cdot 10^6$$

$$P = 9,12 \times 10^9 \text{ Kg m/s}$$

$$P = \frac{9,12 \times 10^9 \times 9,8}{10^3} = 89,4 \cdot 10^6 \text{ K w}$$

$$P = 89,4 \times 10^6 \text{ K w}$$

soit une énergie annuelle de

$$89,4 \cdot 10^6 \times 24 \times 365 = 7,83 \cdot 10^{11} \text{ Kw h}$$

Donc la puissance rendue exploitable par :

1°- Mecanisme hydraulique :

$$\frac{7,83 \cdot 10^{11} \times 72}{100} = 5,65 \cdot 10^{11} \text{ Kw h}$$

2°- Mecanisme à arbre tournant.

$$\frac{7,83 \cdot 10^{11} \times 66}{100} = 5,17 \cdot 10^{11} \text{ Kwh}$$

D'après le rapport d'activité de la S O N E L G A Z de l'année (1969) j'ai pu avoir en matière de production d'énergie hydraulique et thermique .

Energie thermique : 11,155 10^8 Kwh

Energie hydraulique : 3,615 $\times 10^8$ Kwh

En considerant l'énergie totale on aura :

$$(3,615 \cdot 10^8 + 11,155 \cdot 10^8) = 14,770 \cdot 10^8 \text{ Kwh}$$

On remarque que le rapport entre l'énergie de la houle exploitable sur les côtés Algériennes d'une part et l'énergie produite d'autre part est pour :

1°- MECANISME HYDRAULIQUE :

$$K = \frac{5,65 \times 10^{11}}{14,77 \cdot 10^8} = 383$$

2°- MECANISME A ARBRE TOURNANT :

$$K = \frac{5,17 \cdot 10^{11}}{14,77 \cdot 10^8} = 350$$

En considerant une augmentation annuelle des besoins en energie de 5% la houle pourra suffir jusqu'à n années

soit (100×5) % =

$$1,05^n = 383$$

$$n \log 1,05 = \log 383$$

$$\text{d'où } n = \frac{\log 383}{\log 1,05} = 118 \text{ années}$$

Dans les pays riverains des océans cette energie serait encore beaucoup plus élevée car l'amplitude moyenne de la houle des océans correspond à 4 ou 5 m

La longueur d'onde $L = 600$ m

et la période : $T = 20$ s

soit une energie de

$$P = \frac{\bar{w} h^2 L}{16 \times T} = \frac{10^3 \times 4,5^2 \times 600}{16 \times 20}$$

$$P = 3,8 \times 10^4 \text{ Kg m/s}$$

$$P = 372 \text{ Kw}$$

$$372 \times 24 \times 365 = 3,26 \times 10^6 \text{ Kwh}$$

D'où la puissance rendue
exploitable :

$$\frac{3,26 \times 10^6 \times 72}{100} = 2,35 \times 10^6 \text{ Kwh}$$

De toute façon ces installations que nous avons réalisées sur petit modèles au laboratoire d'hydraulique ne pourraient pas être construites en une place fixe sur les côtes, en raison du phénomène de la marée .

Mais cependant il n'est pas exclu qu'elles peuvent être montées sur des îles flottantes.

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

L'EXPLOITATION DE L'ENERGIE DE LA HOULE SERAIT
TRÈS BÉNÉFIQUE DANS CE SENS QU'ELLE CONSTITUE UNE RESSOURCE
INÉPUISABLE POUR LA MISE EN VALEURS DES PAYS RIVERAINS .

JE POURRAI AJOUTER QUE D'UNE MANIÈRE GÉNÉRALE LES
ESSAIS SUR MODÈLES NE REPRÉSENTENT GUÈRE QUE LE CENTIÈME
DES DÉPENSES OU LE CINQUIÈME DU DÉLAI DE LA CONSTRUCTION DES
OUVRAGES CORRESPONDANTS .

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

G. DE LAPRAY

- COURS D'HYDRAULIQUE MARITIME

- COURS D'HYDRAULIQUE GENERALE

