

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE

Conception d'un système capable
de capter l'énergie des vagues.

AUTEUR : MOR FALL
DIRECTEUR : M^r WARMOES
CO-DIRECTEUR : M^r DUVAL

DATE : MAI 1987

Génie : Mécanique

A mes parents Gora et

Aminta Ndiaye

et à Birane Fall

REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement M^{rs} Warmoes, directeur du projet, disponible à tout instant ainsi que M^r Iwal, co-directeur.

Je n'oublie pas l'aide précieuse que m'ont apportée M^{rs} Mar et Diack, professeurs du cours d'hydraulique à l'EPT.

Je ne terminerai sans remercier les personnels du CROST, du CERER, de l'ASECNA et du département géographique de l'Université Cheikh Anta Diop.

SOMMAIRE

Pour ce qui concerne les paramètres de la mer, à savoir la longueur d'onde, l'amplitude et la période, comme nous n'avons pas eu des mesures sur un site bien localisé sur la côte, valables sur le plan statistique (résultats non biaisés), nous avons donc utilisé les données de l'"OCEAN WAVE STATISTIC" au large de la côte. Et à l'aide d'abaques, nous avons pu trouver les paramètres sur la côte. Puis nous sommes passés à l'étape de génération de solutions. Une étude de ces solutions nous a montré que le système à plaque verticale était la meilleure face aux variations des caractéristiques de la houle. Ce système permet d'obtenir une puissance théorique de 530 W, une vitesse angulaire de 73,3 tpm dans une zone horizontale de 2,80 m de diamètre.

TABLE DES MATIERES

Sommaire

IV

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1

CHAPITRE II

THEORIE DES VAGUES

Introduction 3

Etude des vagues progressives 5

Etude des ondes stationnaires 7

CHAPITRE III

GENERALITES

Définition du problème 9

Génération de solutions 9

CHAPITRE IV

LE CAPTEUR DU TYPE CAISSON

Introduction 11

Forces agissant sur le caisson 11

Niveau de flottaison d du caisson 15

Calcul de la tension sur la corde 15

Calcul de la course du piston	20
Choix de la corde	21
Pression de refoulement du vérin	21
Paramètres de l'air dans le cylindre	23
Conclusion	24

CHAPITRE V

SYSTEME BALANCIER - BALANCIER

Description	25
Analyse du système	25

CHAPITRE VI

CAPTEUR BALANCIER - MANIVELLE

Introduction	27
Description	27
Le couple moteur	28
Calcul des positions extrêmes de la partie balancier	35
Analyse du système	36

CHAPITRE VII

TURBINE A PALES RADIALES

CHAPITRE VIII

SYSTEME A PLAQUE VERTICALE

Description	38
Calcul des forces et du couple moteur	38
Calcul de la vitesse	44
Calcul de l'accélération angulaire	48
Calcul de la puissance délivrée à la roue	50
Caractéristique de cette solution	52

CHAPITRE IX

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Références	55
------------	----

ANNEXE

CARACTERISTIQUE DE LA HOULE

Calcul de la période sur la côte	58
Calcul de l'amplitude des vagues sur la côte	58
Calcul de la longueur d'onde sur la côte	60
Calculs de vérification	63

TABLEAUX

tableau A ₁ : fréquence de la houle en fonction de la période $T(s)$ et de la hauteur des vagues (m) suivant 0°	65
tableau A ₂ : fréquence de la houle fonction de $T(s)$ et $H(m)$ suivant une direction de 30°	66

tableau A ₃ : Périodes moyennes \bar{T} fonction de H, direction 0°	67
tableau A ₄ : périodes moyennes \bar{T} fonction de H, direction 30°	68
tableau A ₅ : amplitudes moyennes \bar{H} fonction de la période T, direction 0°	69
tableau A ₆ : amplitudes moyennes \bar{H} fonction de la période, direction 30°	70
tableau A ₇ : calcul de l'amplitude moyenne \bar{H} (m)	71
tableau A ₈ : calcul de la période moyenne \bar{T} (s)	72

FIGURES

figure 1 : capteur du type caisson	73
figure 2 : système Balancier - balancier	74
figure 3 : système balancier - manivelle	75
figure 4 : système à plaque verticale	76
figure 5 : turbine à pales radiales	77

PLANS

plan 1 : collier	78
plan 2 : Poteau	79
plan 3 : plaque verticale	80
plan 4 : système à plaque verticale	81

BIBLIOGRAPHIE

82

INTRODUCTION

Depuis très longtemps, la côte ouest-africaine glisse dans l'océan Atlantique. Et les zones cotières comme Rufisque, Thiarye sur mer, Yoff, Saint Louis et Joal perdent régulièrement quelques mètres au profit de la mer. Certains restes à Thiarye témoignent aujourd'hui les ravages, au cours d'une nuit, exercés par la mer. Au Togo, depuis 1980, la mer a avancé d'au moins 135 mètres à l'intérieur du continent, la route qui borde le littoral a été abandonnée à deux reprises. Cette Afrique Occidentale, coincée entre le Sahara qui avance inexorablement de plusieurs mètres par année, et la mer génératrice des fleuves cités ci-dessus, est réellement menacée.

Par ailleurs les carburants fossiles sont loin d'être des sources d'énergie idéales. Non seulement les réserves sont exploitées à un rythme plus rapide que celui auquel la nature les a accumulées, mais encore leurs utilisations posent de nombreux problèmes : marées noires, pollution atmosphérique, pluies acides, etc. Quant à l'énergie nucléaire, outre les risques d'accident et d'irradiation qu'elle cause, pose aussi le problème crucial du stockage des déchets.

D'où donc, si d'autres sources d'énergie non polluante pouvaient se substituer au gaz naturel, au charbon,

au pétrole et au nucléaire, la qualité de l'air, de l'eau et donc de la vie s'en trouverait singulièrement améliorée.

La force des vagues déferlantes, si elle était maîtrisée, pourrait produire des quantités considérables d'énergie non polluante.

Notre objectif est de faire le design d'un système capable d'absorber et de restituer sous une autre forme l'énergie contenue dans la houle.

La méthodologie employée comprendra quatre principales étapes : l'établissement des données relatives au problème, la génération des solutions par la méthode du "brainstorming" d'Alex Osborn, le processus de décision et enfin les recommandations.

En conclusion, avant de parler du coût apparemment élevé des systèmes non polluants, il faudrait plutôt le rapporter au coût de la pollution des anciennes méthodes, et de la protection de ces systèmes envers l'érosion des côtes.

THEORIE DES VAGUES

Introduction:

C'est à LEONHARD EULER que nous devons la théorie sur les équations de mouvement des fluides non visqueux

Nous prenons comme hypothèses, un fluide de mouvement irrotationnel et une houle de faibles amplitudes

Alors les équations de mouvement d'EULER sont

$$(1) \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$(2) \quad \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

le mouvement est irrotationnel dans le plan $x-z$

$$\text{donc } \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial x}$$

$$(1) \rightarrow \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2/2)}{\partial x} + \frac{\partial(w^2/2)}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3)$$

$$(2) \rightarrow \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial(u^2/2)}{\partial z} + \frac{\partial(w^2/2)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (4)$$

On pose le potentiel de vitesse ϕ

$$\text{donc } u = -\frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \text{et } w = -\frac{\partial \phi}{\partial z}$$

la densité du fluide est uniforme

$$(3) \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} \left[-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (u^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} \right] = 0 \quad (5)$$

$$(4) \rightarrow \frac{\partial}{\partial z} \left[-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (u^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} \right] = -g \quad (6)$$

On intègre l'équation (5) suivant x et on obtient:

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (u^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} = c'(z, t) \quad (7)$$

puis l'équation (6) suivant z

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (u^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} + gz = c(x, t) \quad (8)$$

les équations (7) et (8) donnent

$$c'(z, t) = -gz + c(x, t)$$

donc c n'est pas une fonction de x du fait que
ni gz ni c' ne sont fonction de x

Il en résulte :

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (u^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} + gz = c(t) \quad (9)$$

Le déplacement de la surface de l'eau est donné par η

Si nous négligeons la pression et les vitesses, nous obtenons par linéarisation $\eta = \frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{c(t)}{g}$ [5]

Conformément à la définition de η , on aura une moyenne spatiale et temporelle nulle à $z=0$

$$\text{Donc } c(t) = 0$$

$$\text{il advient donc que } g\eta = \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{p}{\rho}$$

En conclusion

$$\frac{p}{\rho} = -gz + \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

Etude des vagues progressives:

Le déplacement de la surface de l'eau est donné

$$\text{par } \eta \text{ tel que } \eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) \quad (10)$$

$$\text{avec } k = \frac{2\pi}{L}$$

$$\text{et } \sigma = \frac{2\pi}{T}$$

le potentiel de vitesse associé est :

$$\phi = -\frac{H}{2} \frac{g}{\sigma} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(kx - \sigma t) \quad (11)$$

la vitesse horizontale

$$u = -\frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$u = \frac{H}{2} \frac{g}{\sigma} \frac{1}{k} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad (12)$$

et l'accélération correspondante

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{2} H \sigma^2 \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t) \quad (13)$$

la vitesse verticale

$$w = \frac{1}{2} H \sigma \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh kh} (\sin kx - \sigma t) \quad (14)$$

et l'accélération $\frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{2} H \sigma^2 \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t)$ (15)

En remplaçant, on trouve la pression $p(x, z, t)$ telle que

$$p = -\rho g z + \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad (15)$$

Etude des ondes stationnaires

L'importance de cette étude résulte de la création d'ondes d'amplitude deux fois plus importante que les ondes incidentes:

$$H_s = 2H$$

$$H_s = 4,44 \text{ m.}$$

le déplacement de la surface

$$\eta = \frac{H_s}{2} \cos kx \cos \sigma t \quad (17)$$

et le potentiel de vitesse

$$\phi = \frac{1}{2} H_s \frac{g}{\sigma} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cos kx \sin \sigma t \quad (18)$$

la vitesse horizontale

$$u = \frac{1}{2} H_s \frac{gk}{\sigma} \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \sin kx \sin \sigma t \quad (19)$$

l'accélération

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{2} H_s \sigma^2 \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \sin kx \cos \sigma t \quad (20)$$

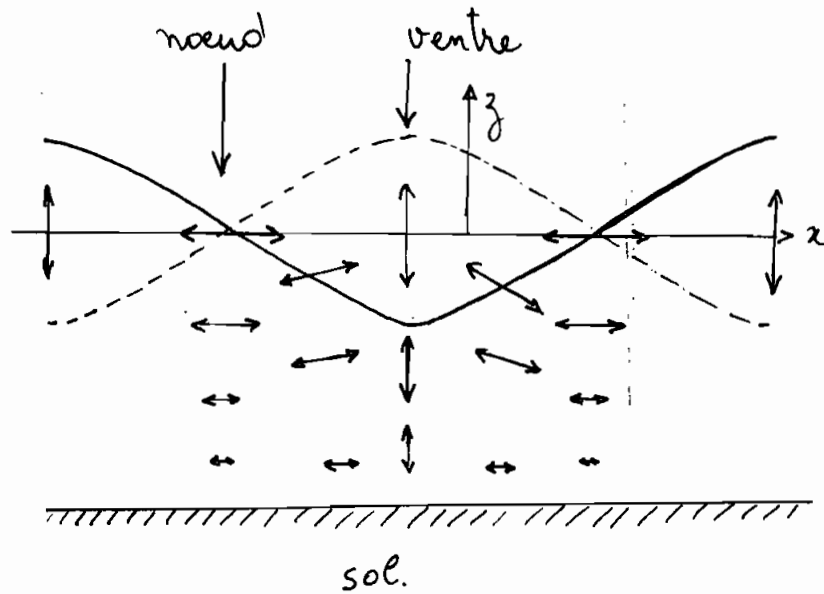
la vitesse verticale

$$w = -\frac{1}{2} H_s \sigma \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh kh} \cos kx \sin \sigma t \quad (21)$$

et

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{2} H_s \sigma^2 \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh kh} \cos kx \cos \sigma t \quad (22)$$

Une représentation de la distribution des vitesses des particules d'eau pour des ondes stationnaires données



et la pression correspondante est

$$(23) \quad p = -\rho g z + \rho g \frac{H_s}{2} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cos kx \cos \omega t$$

GENERALITES

Définition du problème

Il s'agit ici de définir l'objectif final: à savoir la production d'énergie. Mais du fait de l'irrégularité des phénomènes ondulatoires de la mer, la solution finale doit répondre à certains critères. Le plus fondamental étant la capacité de réponse du système face aux variations des paramètres.

D'autre part, vu le milieu très corrosif où se trouvera le système, nous avons à opter pour une solution qui résistera mieux à la corrosion.

Nous insistons aussi sur la facilité d'entretien de l'installation. Dans l'évaluation, il sera tenu aussi compte de la puissance susceptible d'être à la sortie du système.

Génération de solutions

1) Un caisson relié à une corde flexible monte et descend au gré des ondulations de la houle. La corde tire pendant la montée du caisson un piston, c'est la phase d'aspersion dans le cylindre, puis pendant l'autre demi-période de la vague elle relâche sa force de traction exercée sur le piston, c'est la phase de refoulement de l'air à une certaine pression. Si cette pression est assez élevée, on pourrait utiliser un moteur à air tel que la turbine Laval. La figure 1 donne le schéma de principe.

2) Perpendiculairement à la direction de propagation de la houle, nous pouvons y installer une turbine à pales radiales. Elle subira donc une impulsion à chaque passage de la vague (voir figure 5)

3) Nous pouvons penser à un mécanisme balancier - manivelle. Dans le cas des ondes stationnaires, le va et vient de l'eau est transmis à un balancier. Avec l'accomplissement de ce dernier à une manivelle, on obtiendra à la sortie le mouvement rotatif d'un arbre. (voir figure 3)

4) Un système ayant une plaque verticale effectue un tour complet grâce aux ondes stationnaires. Et avec un doigt, elle peut donner une impulsion à une roue horizontale deux fois par période. (voir figure 4)

5) Un mécanisme formé de deux balanciers et d'une manivelle donne une impulsion, à chaque demi-période de l'onde stationnaire, à un arbre de sortie par choc.
figure 2

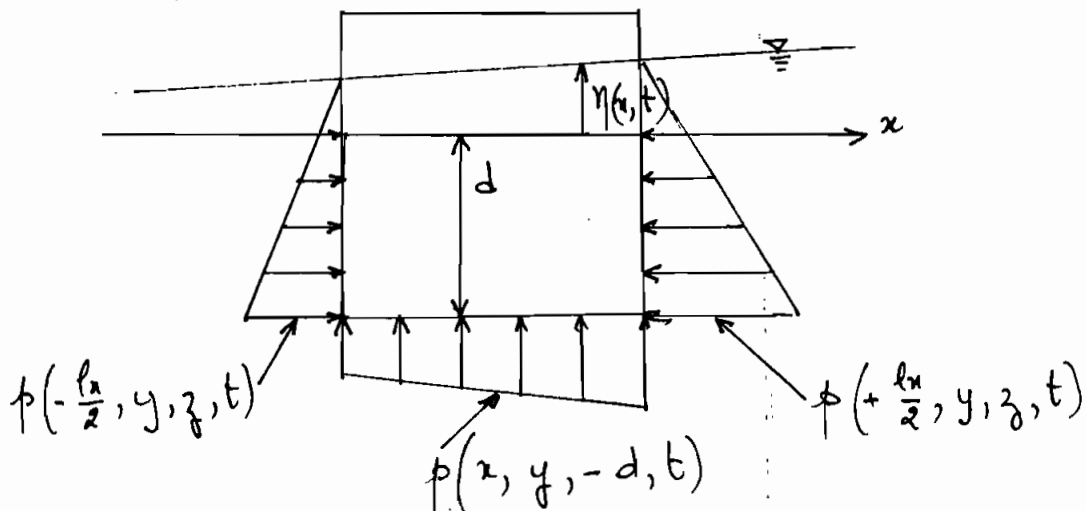
LE CAPTEUR DU TYPE CAISSON

Introduction:

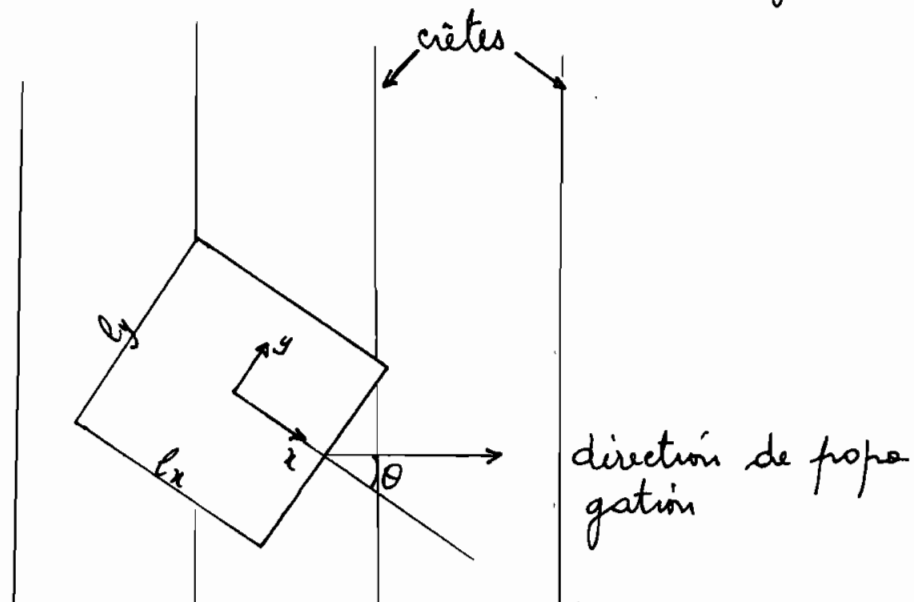
Lorsque la houle progresse à l'encontre d'un caisson flottant, ce dernier est soulevé et entraîné par la vague. Nous allons utiliser cette distance parcourue par le caisson pour générer une énergie de pression. Il faut reconnaître cependant l'existence d'une réflexion que peut créer le caisson et capable d'influencer la répartition des forces autour du caisson. Le phénomène très complexe n'est pas pris en considération dans l'évaluation des forces.

Forces agissant sur le caisson:

Soit un caisson cubique d'arête 1 m. La représentation des forces sur les facettes du caisson donne:



Si nous faisons la représentation dans le cas général



le déplacement de la surface de l'eau est η , telle que

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(k_x x + k_y y - \sigma t)$$

avec $k_x = k \cos \theta$

$$k_y = k \sin \theta$$

la pression dynamique

$$p = \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} (\cos k_x x + k_y y - \sigma t)$$

les forces dues à ce champ de pression contribueront

de manière dominante dans l'évaluation

$$F_x = \int_{-l_y/2}^{l_y/2} \int_{-l_x/2}^{l_x/2} p(-\frac{l_x}{2}, y, z, t) dy dz - \int_{-l_y/2}^{l_y/2} \int_{-l_x/2}^{l_x/2} p(+\frac{l_x}{2}, y, z, t) dy dz$$

$$F_x = \int_{-l_y/2}^{l_y/2} \int_{-d}^0 \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh(kh)} \left[\cos\left(-k_x \frac{l_x}{2} + k_y y - \omega t\right) - \cos\left(k_x \frac{l_x}{2} + k_y y - \omega t\right) \right] dy dz$$

$$F_x = \rho g \frac{H}{2 \cosh(kh)} \left[\int_{-l_y/2}^{l_y/2} \left[\cos\left(-k_x \frac{l_x}{2} + k_y y - \omega t\right) - \cos\left(k_x \frac{l_x}{2} + k_y y - \omega t\right) \right] dy \right. \\ \left. \times \int_{-d}^0 \cosh k(h+z) dz \right]$$

On force

$$F_{1x} = \int_{-l_y/2}^{l_y/2} \left[\cos\left(-k_x \frac{l_x}{2} + k_y y - \omega t\right) - \cos\left(k_x \frac{l_x}{2} + k_y y - \omega t\right) \right] dy$$

$$F_{1x} = \int_{-l_y/2}^{l_y/2} -2 \sin(k_y y - \omega t) \sin\left(-k_x \frac{l_x}{2}\right) dy$$

$$F_{1x} = 2 \sin k_x \frac{l_x}{2} \left[-\frac{1}{k_y} \cos(k_y y - \omega t) \right]_{-l_y/2}^{l_y/2}$$

$$F_{1x} = -\frac{2}{k_y} \sin \frac{k_x l_x}{2} \left[\cos\left(\frac{k_y l_y}{2} - \omega t\right) - \cos\left(-\frac{k_y l_y}{2} - \omega t\right) \right]$$

$$F_{1x} = -\frac{2}{k_y} \sin \frac{k_x l_x}{2} \left(-2 \sin \frac{-2\omega t}{2} \sin \frac{k_y l_y}{2} \right)$$

$$F_{1x} = -\frac{4}{k_y} \sin \frac{k_x l_x}{2} \sin \frac{k_y l_y}{2} \sin \omega t$$

$$F_{2x} = \int_{-d}^0 \cosh k(h+z) dz$$

$$F_{2x} = \frac{1}{k} \left[\sinh k(h+z) \right]_{-d}^0 = \frac{1}{k} (\sinh kh - \sinh k(h-d))$$

done

$$F_x = - \frac{4 \rho g (H/2)}{k_y} \frac{\sinh kh - \sinh k(h-d)}{k \cosh kh} \sin \frac{k_x l_x}{2} \sin \frac{k_y l_y}{2} \sin \omega t$$

de la même manière on trouve

$$F_y = - \frac{4 \rho g (H/2)}{k_x} \frac{\sinh kh - \sinh k(h-d)}{k \cosh kh} \sin \frac{k_x l_x}{2} \sin \frac{k_y l_y}{2} \sin \omega t$$

la force verticale $F_z = \int_{-\frac{l_x}{2}}^{\frac{l_x}{2}} \int_{-\frac{l_y}{2}}^{\frac{l_y}{2}} p(x, y, -d, t) dx dy$

$$F_z = \rho g \frac{H}{2} \int_{-\frac{l_x}{2}}^{\frac{l_x}{2}} \int_{-\frac{l_y}{2}}^{\frac{l_y}{2}} \frac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh} \cos(k_x x + k_y y - \omega t) dx dy$$

on pose

$$S = \int_{-\frac{l_x}{2}}^{\frac{l_x}{2}} \int_{-\frac{l_y}{2}}^{\frac{l_y}{2}} \cos(k_x x + k_y y - \omega t) dx dy$$

$$S = \int_{-\frac{l_x}{2}}^{\frac{l_x}{2}} \frac{1}{k_y} \left[\sin(k_x x + k_y y - \omega t) \right]_{-\frac{l_y}{2}}^{\frac{l_y}{2}} dx$$

$$S = -\frac{1}{k_y} \times \frac{1}{k_x} \times 2 \sin \frac{k_y l_y}{2} \sin \frac{k_x l_x}{2} \cos \omega t$$

done

$$F_z = -\rho g H \frac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh} \frac{\sin(k_y l_y/2)}{k_y} \frac{\sin(k_x l_x/2)}{k_x} \cos \omega t$$

Niveau de flottaison d du caisson :

$$l = l_x = l_y = l_z = 1 \text{ m}$$

épaisseur de la paroi 10 cm

bois dur type $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$

$$\text{alors la masse } M = \rho V = \rho [l^3 - (l - 2 \times 0,10)^3]$$

$$M = 800 \cdot [1^3 - (1 - 2 \times 0,1)^3]$$

$$M = 390 \text{ kg.}$$

Soit P_A la poussée d'Archimède au repos

$$P_A = \rho_{\text{eau}} d \cdot l_x \times l_y$$

$$\text{et } M = P_A \Rightarrow \rho_{\text{eau}} d l_x l_y = M$$

$$d = \frac{M}{\rho_{\text{eau}} l_x l_y}$$
$$d = \frac{390}{1041 \times 1 \times 1}$$

$$d = 0,38 \text{ m.}$$

d étant la distance entre le fond du caisson et le niveau de l'eau au repos.

Notons que le caisson s'orientera de telle façon que l'angle θ soit nul lorsque la vague exercera une pression sur lui. Dans ce cas $k_y = 0$

$$\text{et } \lim_{k_y \rightarrow 0} \frac{\sin k_y l_y / 2}{k_y} = \lim_{k_y \rightarrow 0} \frac{l_y}{2} \frac{\sin(k_y l_y / 2)}{(k_y l_y / 2)} = l_y / 2$$

$$k = k_x = \frac{2\pi}{L} = \frac{2\pi}{57,4} = 0,109.$$

D'autre part $F_y = 0$

$$\text{et } F_x = -4\rho g \frac{H}{2} \frac{\sinh k(h) - \sinh k(h-d)}{k \cosh kh} \sin kx l_x \left(\frac{l_y}{2}\right) \sin \sigma t$$

En remplaçant, on trouve

$$F_x = -4 \times 1041 \times 9,81 \times \frac{2,22}{2} \frac{\sinh(0,109 \times 4) - \sinh(0,109(4-0,38))}{0,109 \cosh(0,109 \times 4)}$$

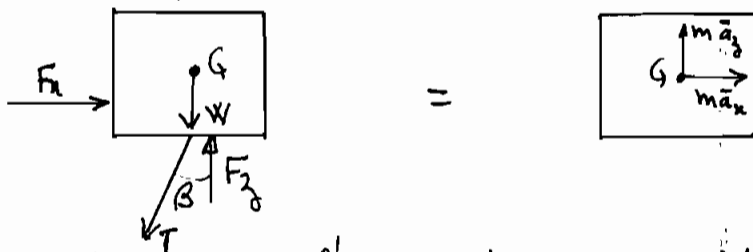
$$\times \sin\left(\frac{0,109 \times 1}{2}\right) \times \left(\frac{4}{2}\right) \sin \sigma t$$

$$F_x = -8,2 \sin \sigma t$$

$$\text{et } F_z = -1041 \times 9,81 \times 2,22 \frac{\cosh(0,109(4-0,38))}{\cosh(4 \times 0,109)} \times \frac{1}{2} \frac{\sin\left(\frac{0,109 \times 1}{2}\right) \cos \sigma t}{0,109}$$

$$F_z = -97,25 \cos \sigma t$$

Calcul de la tension sur la corde



Nous supposons que l'eau va imposer sa vitesse au caisson

En projetant suivant l'axe x et l'axe z on aura:

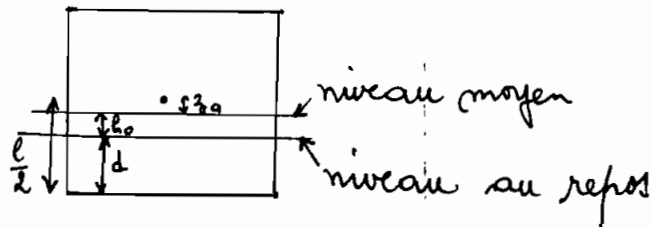
$$F_x - T \sin \beta = m \bar{a}_x$$

$$-W + F_z - T \cos \beta = m \bar{a}_z$$

$$\text{or } a_x = \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{H}{2} \sigma^2 \frac{\cosh k(h+z_0)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t)$$

$$\text{et } a_z = \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{H}{2} \sigma^2 \frac{\sinh k(h+z_0)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t)$$

Soit h_0 le niveau de surélévation moyen par rapport au niveau de l'eau



$$h_0 = \frac{\pi}{L} \left(\frac{H}{2} \right)^2 \operatorname{cth} \frac{2\pi h}{L} \quad [6]$$

$$h_0 = \frac{\pi}{57,4} \left(\frac{2,22}{2} \right)^2 \operatorname{cth} \frac{2\pi \times 4}{57,4}$$

$$h_0 = 0,028 \text{ m}$$

$$z_0 = \frac{l}{2} - (d + h_0)$$

$$z_0 = 0,5 - (0,38 + 0,028)$$

$$z_0 = 0,093 \text{ m.}$$

$$\text{donc } a_z = -\frac{2,22}{2} \left(\frac{2\pi}{0,5}\right)^2 \frac{\sinh 0,109(4+0,093)}{\sinh 0,109 \times 4} \cos(kx - \sigma t)$$

$$a_z = -0,62 \cos(kx - \sigma t)$$

et

$$a_x = 1,47 \sin(kx - \sigma t).$$

$$T \sin \beta = F_x - M a_x$$

$$M = 390 \text{ kg}$$

$$W = 390 \times 9,81 = 3826 \text{ N}$$

$$T \cos \beta = F_z - W - M a_z$$

$$\text{d'où } \beta = \text{tg}^{-1} \left[\frac{-8,2 \sin \sigma t - 390 \times 1,47 \sin(kx - \sigma t)}{-97,25 \cos \sigma t - 3826 + 390 \times 0,62 \cos(kx - \sigma t)} \right]$$

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left[\frac{-8,2 \sin \sigma t - 573,3 \sin(kx - \sigma t)}{-97,25 \cos \sigma t - 3826 + 242 \cos(kx - \sigma t)} \right]$$

$$\text{et } T = \frac{F_x - M a_x}{\sin \beta} = \frac{F_z - W - M a_z}{\cos \beta}$$

Si nous cherchons une relation simple de x en fonction du temps t , x étant le déplacement horizontal, BOUSSINESQ propose

$$x = x_0 + r \sin 2\pi \left(\frac{t - t_0}{T} - \frac{x_0}{L} \right) \quad [7]$$

$$\text{avec } r = \frac{H}{2} \frac{\cosh \frac{2\pi(k - z_0)}{L}}{\sinh \frac{2\pi k}{L}}$$

$$\text{posons } \begin{cases} x_0 = 0 \\ z_0 = 0 \quad \text{à } t_0 = 0 \end{cases}$$

$$\text{donc } r = \frac{H}{2} \frac{\cosh kh}{\sinh kh}$$

$$\text{et } x = \frac{H}{2} \frac{\cosh kh}{\sinh kh} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

En remplaçant on trouve

$$x = 2,68 \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

Lorsque le caisson est au creux de la vague, nous faisons de telle sorte que la tension T sur la corde soit nulle. Elle est maximale quand nous sommes au quart de la période, correspondant à une crête.

$$\text{à } t = \frac{T}{4}$$

$$x = 2,68 \sin\left(\frac{2\pi T}{T} \frac{T}{4}\right)$$

$$x = 2,68$$

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left[\frac{-8,2 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) - 573,3 \sin(0,109 \times 2,68 - \frac{\pi}{2})}{-97,25 \cos\frac{\pi}{2} - 3826 + 242 \cos(0,109 \times 2,68 - \frac{\pi}{2})} \right]$$

$$\beta = -0,14 \text{ rad}$$

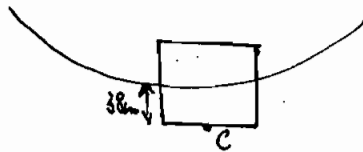
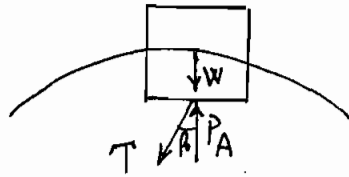
$$\text{et } T = \frac{-8,2 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) - 573,3 \sin(0,109 \times 2,68 - \frac{\pi}{2})}{\sin(-0,14)}$$

$$T = -3875 \text{ N}$$

Calcul de la course du piston

Il s'agit donc de trouver la distance entre les deux points extrêmes du caisson et d'y soustraire la partie absorbée par la corde grâce à son coefficient d'élasticité. Le point d'attache de la corde est à 38 cm du niveau de l'eau quand il n'y a aucune tension T

Soit le caisson sur une crête à $t = \frac{T}{4}$ et $T = 3875 \text{ N}$



Mais ne considérons ici, que le déplacement vertical du caisson : à l'équilibre $W + T \cos \beta = P_A$

$$P_A = \rho (1 \times 1 \times d) \rightarrow d = \frac{W + T \cos \beta}{\rho}$$

$$d = \frac{390 \times 9,81 + 3875 \cos -0,14}{1041}$$

$$d = 0,77 \text{ m.}$$

la distance parcourue par le point c :

$$C = 2,22\text{ m} + 0,38\text{ m} + (-0,77\text{ m})$$

$$C = 1,83\text{ m.}$$

Nous avons négligé le déplacement horizontal du caisson.

Choix de la corde

chambre long train qualité mixte B

NF G35-002-1968

4 à 6 % d'allongement à 75% de la force de rupture

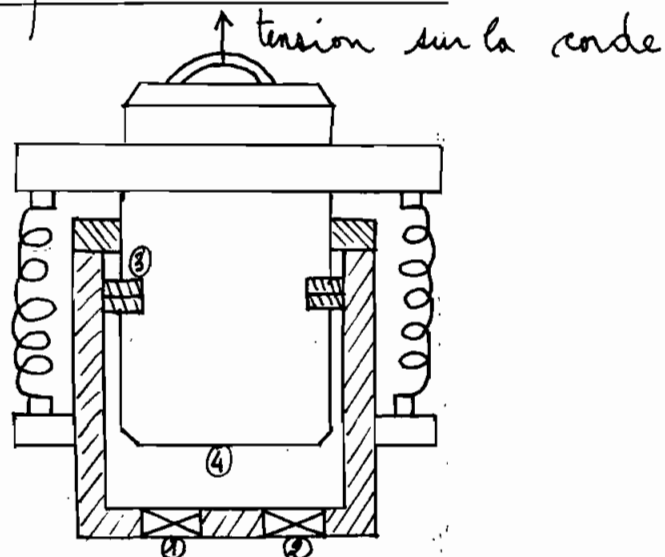
Ref 18 diamètre 20 mm

masse linéique 238 g/m

force minimale de rupture 2390 daN

Nous prenons une longueur de corde de 70 m.

Pression de refoulement du verin



- 1 : soupape d'admission
- 2 : soupape de refoulement
- 3 : joint d'étanchéité
- 4 : piston.

Nous avons pris une pente du sol de 0,04, le sinus d'une telle pente étant faible, le poids de la corde contribuera peu dans l'évaluation des forces sur le piston.

Comme le tuyau de protection rigide réduit considérablement l'effet de l'eau sur la corde, on peut dire que la tension sur le poignet du piston est égale à la tension $T = 3875 \text{ N}$ quand le caisson est au niveau d'une crête. voir figure

D'autre part, l'allongement de la corde : $\frac{5\% \times 3875}{23000} = 1\%$
 la longueur de la corde $70 \times 1,01 = 70,7 \text{ m}$.

Donc le caisson pourra monter sur une hauteur égale à : $1,83 \text{ m} - 0,7 \text{ m} = 1,13 \text{ m}$

Nous choisissons un piston de masse $m = 200 \text{ kg} \rightarrow P_p = 1962 \text{ N}$
 et 2 ressorts de raideur $k = 1 \text{ kN/m}$ chacun.

Paramètres de l'air dans le cylindre

Quand le piston est dans sa position haute, l'air est à la pression atmosphérique $P_0 = 0,9807 \text{ bar}$ et nous prenons une température moyenne de $20^\circ\text{C} = T_0$.
Le système est un compresseur pneumatique d'équation

$$p v^n = \text{cte avec } n = 1,3 \text{ à } 1,35.$$

Le cas le plus défavorable donnant $p v^{1,3} = \text{cte}$.

D'autre part, lorsque le caisson descend vers le creux de la vague, le piston, à cause de son poids et des forces de rappel du ressort, exerce une force sur l'air et à l'équilibre on a

$$p_0 v_0^{1,3} = p_1 v_1^{1,3}$$

$$2(kx) + P_p = p_1 S$$

x : élongation du ressort

P_p : poids du piston

$p_1 v_1$: condition de l'air à l'équilibre: pression, volume.

En négligeant les volumes morts du aux segments, on trouve pour un piston de diamètre 20 cm

$$v_0 = \frac{\pi d^2}{4} \times 1,13 = \frac{\pi \times 0,20^2}{4} \times 1,13 = 0,035 \text{ m}^3$$

$$V_1 = \alpha \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\alpha = \frac{(P_1 S - P_f)}{2k}$$

$$\text{et } p_0 \left(\frac{\pi d^2}{L} L \right)^{1,3} = p_1 \left[\frac{\pi d^2}{4} \frac{(P_1 S - P_f)}{2k} \right]^{1,3}$$

$$\text{donc } p_0 L^{1,3} = p_1 \left[\frac{(P_1 S - P_f)}{2k} \right]^{1,3}$$

$$\rightarrow p_0 (L \times 2k)^{1,3} = p_1 (P_1 S - P_f)^{1,3}$$

$$\rightarrow 98070 \times (1,13 \times 2 \times 1000)^{1,3} = p_1 \left(p_1 \times \frac{\pi \times 0,02^2}{4} - 1962 \right)^{1,3}$$

$$\rightarrow p_1 (0,031 p_1 - 1962)^{1,3} = 2248418435$$

On trouve par itération une pression $P_1 = 124108 \text{ Pa}$.

Conclusion

Cette solution présente plusieurs inconvénients. Le ressort est très lourd, la pression de sortie faible. Or nous n'avons pas tenu compte des pertes de charges. D'autre part à long terme l'élasticité de la corde va absorber une bonne partie de la course du piston. Ce système n'est pas donc praticable.

SYSTEME BALANCIER - BALANCIER

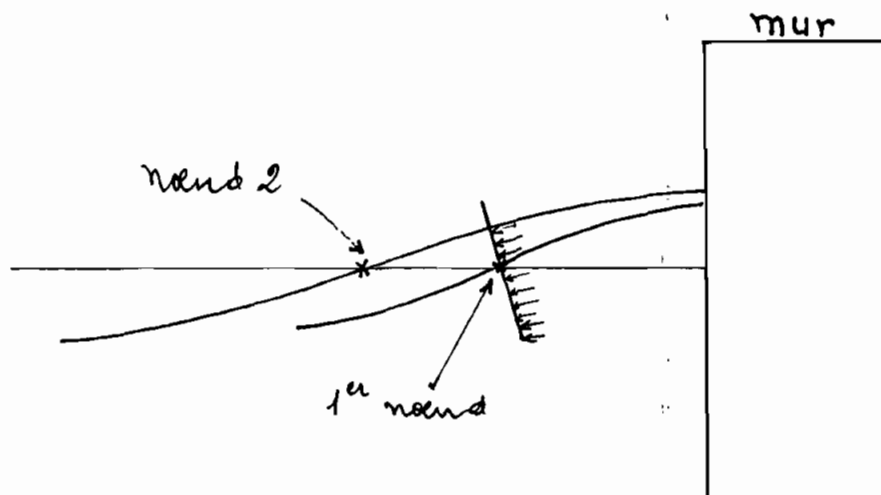
Description

Une plaque est placée au premier noerd à partir du mur créateur d'ondes stationnaires. Elle possède un axe de rotation suivant ce noerd. Le va et vient de l'eau actionne le mouvement aller et retour de la partie immergée. La figure 2 nous montre le schéma de fonctionnement. A l'instant 0 la plaque appuie sur la butée b_1 , au niveau du mur la vague est au creux du ventre. Dans la zone comprise entre C et D, la membrane $B_0 A_0$ effectue un mouvement de va et vient jusqu'à ce que le point B_0 atteigne D_2 , à cet instant A_0 atteint D. Lorsque B_0 devient B_1 , alors A_0 est en A_1 , et une impulsion est transmise à la sortie grâce à l'engrenage. Quand B_1 est en B_2 , alors A_1 est en A_2 , la plaque est bloquée par la butée b_2 . Le point A_2 peut alors décrire un arc de cercle centré en B_2 en attendant que toute l'eau passe sous le noerd. A ce moment l'eau commence à rebrousser chemin. Le point A_2 se dirige vers A_3 alors que B_2 va vers B_3 . Le point A_3 constitue un autre lieu d'impulsion.

Analyse du système

Le principale avantage de ce système résulte des deux impulsions données à la sortie en une période.

Par contre il possède un inconvénient majeur. Lorsque la longueur d'onde change, l'axe de rotation risque de ne plus se trouver sur un noeud. Il y aura donc des forces de pression de part et d'autre de cet axe, et leur moment seront de sens opposé, c'est le cas au noeud 2



Et le phénomène s'accroît d'avantage lorsque la longueur d'onde et l'amplitude changent dans un certain sens. D'autre part, à cause des butées, la plaque subira d'importants moments de flexion du fait qu'elle est bloquée alors que l'eau continue son écoulement.

CAPTEUR BALANCIER - MANIVELLE

Introduction:

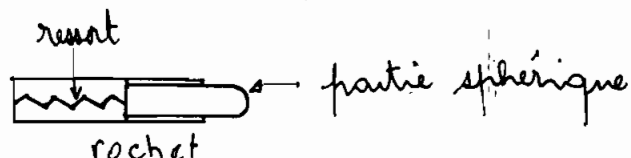
Nous savons que l'onde progressive qui rencontre un mur se réfléchit et donne une onde réfléchie. L'ensemble donne des ondes stationnaires dont les nœuds et les ventres sont des points fixes. Et la figure 6 nous montre le déplacement des particules d'eau de part et d'autre de ces 2 points. C'est ce va et vient de l'eau qui sera utilisée pour la partie balancier du mécanisme.

Description:

voir figure 2

Nous faisons immerger le dessous d'une plaque ayant un axe de rotation coïncidant avec un nœud.

D'autre part, il y a un risque de blocage aux états B_1 et B_2 . Pour résoudre ce problème, nous faisons intervenir la force de gravité des membrures d'où la masse importante en A , et un rochet, à l'état B_2 , de forme particulière :



lorsque la plaque arrive à son état de repos B_2 , les membres 3 et 2 sont alignés et exercent une force de pression sur la partie circulaire du rochet, comprimant son ressort intérieur. Il existera un instant t où la vague s'apprête à changer de sens (où l'onde change de direction de propagation). A ce moment, la force de traction sur les membres 3 et 2 est nulle et le ressort peut donc libérer son énergie en repoussant vers le haut la liaison 3-2. Il permet donc la création d'un angle de transmission différent de 180° , donc il supprime l'état de blocage.

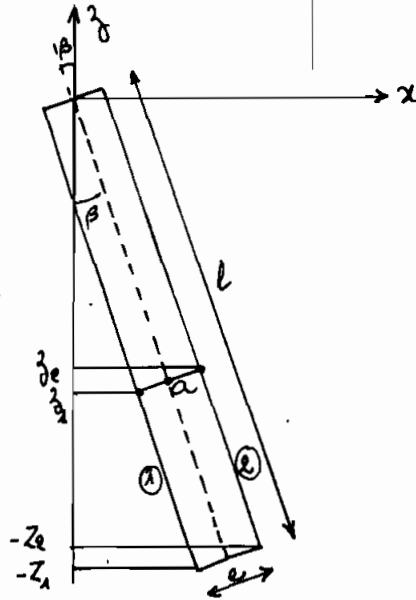
Le Couple moteur

La procédure adoptée est la suivante:

Nous allons calculer le moment en fonction du temps pour une position donnée de la plaque par son angle β .

D'autre part, au moment de l'installation, nous allons faire coïncider l'état de retour de la plaque à la position haute de la vague. Ceci permet de pouvoir contrôler le mécanisme à tout instant.

Représentons la poutre dans une position quelconque



on trouve les relations suivantes au point a (pour $\beta \neq 0$)

$$x_1 = \frac{l}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{e}{2 \cos \beta}$$

$$x_2 = -\frac{l}{4} + z_2 \operatorname{tg} \beta + \frac{e}{2 \cos \beta}$$

$$z_1 = l \cos \beta + \frac{e \sin \beta}{2}$$

$$z_2 = l \cos \beta - \frac{e \sin \beta}{2}$$

et $dF = p(x, z_1, t) \times l \times \frac{dz_1}{\cos \beta} - p(x, z_2, t) l \frac{dz_2}{\cos \beta}$

les bras de leviers

$$b_1 = \frac{z_1}{\cos \beta} - \frac{e}{2} \operatorname{tg} \beta$$

$$b_2 = \frac{z_2}{\cos \beta} + \frac{e}{2} \operatorname{tg} \beta$$

done

$$dM = \left[-\rho g z_1 + \rho g \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} \cosh k(h+z_1) \right] \frac{l dz_1}{\cos \beta} \left(\frac{z_1}{\cos \beta} - \frac{e}{2} \right)$$

$$- \left[-\rho g z_2 + \rho g \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} \cosh k(h+z_2) \right] \left(\frac{l dz_2}{\cos \beta} \left(\frac{z_2}{\cos \beta} + \frac{e}{2} \right) \right)$$

nous faisons

$$M'_1 = \int -\rho g z_1 + \frac{l dz_1}{\cos \beta} \left(\frac{z_1}{\cos \beta} - \frac{e}{2} \right)$$

$$M'_1 = -\rho g \frac{l}{\cos \beta} \int \left(\frac{z_1^2}{\cos \beta} - \frac{e}{2} z_1 \right) dz_1$$

$$M'_1 = -\rho g \frac{l}{\cos \beta} \left[\frac{z_1^3}{3 \cos \beta} - \frac{e}{4} z_1^2 \right]$$

$$M''_1 = \rho g \frac{l}{\cos \beta} \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} \int \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{e}{2 \cos \beta} \right) dz_1$$

$$\times \left(\frac{z_1}{\cos \beta} - \frac{e}{2} \tan \beta \right)$$

on pose

$$f'_1 = \int \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \left(\frac{z_1}{\cos \beta} - \frac{e}{2} \tan \beta \right) dz_1$$

$$u = \frac{z_1}{\cos \beta} - \frac{e}{2} \tan \beta \quad u' = \frac{1}{\cos \beta}$$

$$v' = \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{e}{2 \cos \beta} \right)$$

$$v = \int \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{e}{2 \cos \beta} \right) dz_1$$

$$m = \cosh k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \quad m' = -k \tan \beta \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{e}{2 \cos \beta} \right)$$

$$n' = \cosh k(h+z_1) \quad n = \frac{1}{k} \sinh k(h+z_1)$$

$$v = \frac{1}{k} \sinh k(h+z_1) \cos k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) + \int \sinh k(h+z_1) \operatorname{tg} \beta \sin k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) dz_1$$

$$f' = \sinh k(h+z_1) \quad f = \frac{1}{k} \cosh k(h+z_1)$$

$$g = \sin k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) \quad g' = k \operatorname{tg} \beta \cos k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right)$$

$$B = \operatorname{tg} \beta \left[\frac{1}{k} \cosh k(h+z_1) \sin k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) - \operatorname{tg} \beta \int \cosh k(h+z_1) \cos k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) dz_1 \right]$$

donc

$$v = \frac{1}{k} \sinh k(h+z_1) \cos k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) + \operatorname{tg} \beta \left[\frac{1}{k} \cosh k(h+z_1) \sin k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) - \operatorname{tg} \beta v \right]$$

$$v(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) = \frac{1}{k} \sinh k(h+z_1) \cos k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) + \frac{\operatorname{tg} \beta}{k} \cosh k(h+z_1) \sin k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right)$$

donc

$$f_1'' = \left(\frac{z_1}{\cos \beta} - \frac{c}{2} \operatorname{tg} \beta \right) \left[\frac{1}{k(1 + \operatorname{tg}^2 \beta)} \sinh k(h+z_1) \cos k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) + \frac{\operatorname{tg} \beta}{k(1 + \operatorname{tg}^2 \beta)} \cosh k(h+z_1) \sin k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) \right] - \frac{1}{\cos \beta} \int v dz_1$$

Maintenant faisons

$$s = \int \sinh k(h+z_1) \cos k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) dz_1$$

$$u = \sinh k(h+z_1) \quad u' = k \cosh k(h+z_1)$$

$$w' = \cos k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right) \quad w = \frac{1}{k \operatorname{tg} \beta} \sin k\left(\frac{L}{4} + z_1 \operatorname{tg} \beta - \frac{c}{2 \cos \beta}\right)$$

$$S = \frac{1}{k \tan \beta} \sinh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) - \frac{1}{\tan \beta} \int \cosh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) dz_1$$

$$u = \cosh k(h+z_1) \quad u' = k \sinh k(h+z_1)$$

$$O' = \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \quad O = -\frac{1}{k \tan \beta} \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right)$$

$$S_1 = -\frac{1}{\tan \beta} \left[-\frac{1}{k \tan \beta} \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) + \frac{1}{\tan \beta} \int \sinh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) dz_1 \right]$$

done

$$S = \frac{1}{k \tan \beta} \sinh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) - \frac{1}{\tan \beta} \left[-\frac{1}{k \tan \beta} \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] - \frac{1}{\tan \beta} S$$

$$S = \frac{1}{k \tan \beta \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \beta} \right)} \left[\sinh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] + \frac{1}{k \left(1 + \tan^2 \beta \right)} \left[\cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right]$$

Now for S_2

$$S_2 = \int \cosh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) dz_1$$

$$S_2 = \left[-\frac{1}{k \tan \beta} \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) + \frac{1}{k \tan \beta \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \beta} \right)} \right] \times \left[\sinh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) + \frac{1}{\tan \beta} \left[\cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right]$$

$$\begin{aligned}
 \int v dz_1 = & \left[\frac{1}{k^2 \tan \beta (1 + \tan^2 \beta)} \left[\sinh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right] \right] \\
 & + \frac{\tan \beta}{k} \left[\left[-\frac{1}{k \tan \beta} \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\frac{1}{k \tan \beta (1 + \frac{1}{\tan^2 \beta})} \left[\sinh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right] \right]
 \end{aligned}$$

Conclusion:

$$\begin{aligned}
 v_1'' = & \left(\frac{z_1}{\cos \beta} - \frac{c}{2} \tan \beta \right) \left[\frac{1}{k(1 + \tan^2 \beta)} \sinh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right. \\
 & \left. + \frac{\tan \beta}{k(1 + \tan^2 \beta)} \cosh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \\
 & - \frac{1}{\cos \beta} \left[\frac{1}{k^2 \tan \beta (1 + \frac{1}{\tan^2 \beta})} \left[\sinh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right] \right] \\
 & + \frac{\tan \beta}{k} \left[\left[-\frac{1}{k \tan \beta} \cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\frac{1}{k \tan \beta (1 + \frac{1}{\tan^2 \beta})} \left[\sinh k(h+z_1) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\cosh k(h+z_1) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_1 \tan \beta - \frac{c}{2 \cos \beta} \right) \right] \right] \right]
 \end{aligned}$$

$$M''_1 = \frac{l}{\cos \beta} \rho g \frac{H_3}{2} \frac{\cos \alpha t}{\cosh kh} \times b_1$$

et $M_1 = M'_1 + M''_1$

$$M_1 = -\rho g \frac{l}{\cos \beta} \left[\left[\frac{z_1^3}{2 \cos \beta} - \frac{e}{4} z_1 \frac{e}{\cos \beta} \right] - \frac{H_3}{2} \frac{\cos \alpha t}{\cosh kh} \times b_1 \right]_{-z_1}^0$$

avec $z_1 = l \cos \beta + \frac{e}{2} \sin \beta$

et l longueur de la plaque

e épaisseur

β angle entre la plaque et l'axe verticale passant par le noyau.

De la même manière que f''_1 , on trouve f''_2 tel que

$$f''_2 = \left(\frac{z_2}{\cos \beta} + \frac{e}{2} \sin \beta \right) \left[\frac{1}{k(1+\tan^2 \beta)} \sinh k(h+z_2) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_2 \tan \beta + \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \right. \\ \left. + \frac{\tan \beta}{k(1+\tan^2 \beta)} \cosh k(h+z_2) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_2 \tan \beta + \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \right] \\ - \frac{1}{\cos \beta} \left[\frac{1}{k \tan \beta \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \beta} \right)} \left[\sinh k(h+z_2) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_2 \tan \beta + \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\cosh k(h+z_2) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_2 \tan \beta + \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \right] \right] \\ + \frac{\tan \beta}{k} \left[\left[-\frac{1}{k \tan \beta} \cosh k(h+z_2) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_2 \tan \beta + \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\frac{1}{k \tan \beta \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \beta} \right)} \left[\sinh k(h+z_2) \sin k \left(\frac{L}{4} + z_2 \tan \beta + \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \right] \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{\tan \beta} \left[\cosh k(h+z_2) \cos k \left(\frac{L}{4} + z_2 \tan \beta + \frac{e}{2 \cos \beta} \right) \right] \right] \right] \right]$$

on trouvera aussi

$$-M_2 = +\rho g \frac{l}{\cos} \left[\frac{z_2^3}{3 \cos \beta} + \frac{e}{4} z_2^2 \frac{1}{\cos \beta} \right] - \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} \times l \left[\right]_{-Z_2}^0$$

avec $Z_2 = l \cos \beta - \frac{e}{2} \sin \beta$.

le couple total sur la plaque

$$M = M_1 - M_2 \quad \text{pour } \beta \neq 0$$

Et pour $\beta = 0$ on a $x_1 = -\frac{e}{2} = -0,005 \text{ m}$ et $x_2 = +\frac{e}{2} = 0,005 \text{ m}$

$$M = \int_{-l}^0 \rho g l \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} z \cosh k(h+z) (\cos kx_1 - \cos kx_2) dz$$

$$M = \rho g l \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} (\cos kx_1 - \cos kx_2) \int_{-l}^0 z \cosh k(h+z) dz$$

on pose

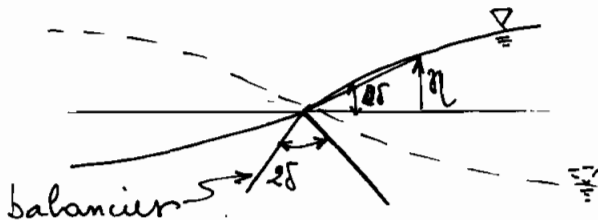
$$A = \rho g l \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} (\cos kx_1 - \cos kx_2)$$

$$\text{Donc } M = A \left[\left[\frac{1}{k} z \sinh k(h+z) \right]_{-l}^0 - \int_{-l}^0 \frac{1}{k} \sinh k(h+z) dz \right]$$

$$M = A \left[\frac{1}{k} \sinh k(h-l) - \frac{1}{k^2} [\cosh kh - \cosh k(h-l)] \right]$$

Calcul des positions extrêmes de la partie balancée

Si nous faisons correspondre l'angle dérivé par le balancier et l'angle dérivé par la surface de l'eau près du nœud, nous aurons la coïncidence dans le mouvement



Nous supprimons la surface de l'eau, entre le noeud et à une distance de 1 m, pouvant être approché par une droite dans le schéma précédent.

η est donné par la relation suivante

$$\eta = \frac{H_s}{2} \cos kx \cos \omega t$$

$$\left. \begin{array}{l} a/x = 1 \text{ m} \\ t = 0 \end{array} \right\}$$

$$\eta = \frac{2 \times 2,22}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{57,4} \times 1\right) \cos(0)$$

$$\eta = 2,21 \text{ m}$$

d'où $\delta = \tan^{-1}\left(\frac{\eta}{x}\right)$

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{2,21}{1}\right)$$

$$\delta = 65,5^\circ$$

Donc la partie balancier du mécanisme sera à balayer un angle de 131° à chaque demi-période.

Analyse du système

À cause de son axe de rotation horizontal, le système possède les mêmes défauts que le précédent: une seule impulsion par période, réponse inadéquate face aux variations de la longueur d'onde.

TURBINE A PALES RADIALES

Nous n'avons pas tellement insisté sur les mécanismes utilisant l'énergie des vagues progressives du fait que l'exploitation des ondes stationnaires donne des résultats plus importants du point de vue énergétique car dans ce dernier cas la hauteur de la vague entre crête et creux est deux fois la hauteur en ondes progressives.

D'autre part l'axe de la turbine étant horizontal (voir figure 5), cette solution présente les mêmes inconvénients cités précédemment pour ces genres de solutions.

LE SYSTEME A PLAQUE VERTICALE

Description

Une plaque verticale reposant sur un collier de forme particulière reçoit la pression de l'eau. Sur le collier, il existe une rainure qui orientera la plaque suivant un angle γ de telle sorte qu'au début de chaque aller et de chaque retour de la vague, la présentera à la vague un moine-couple non nul par rapport à la direction de propagation de l'onde. D'autre part, grâce à la rainure, le droit de la plaque n'engène la zone horizontale qu'à $\gamma = 90^\circ$ et $\gamma = 270^\circ$. C'est la zone horizontale qui va entraîner l'arbre de sortie.

voir les figures 4

Calcul des forces et du couple moteur

Caractéristiques de la plaque: bois en contre-plaqué (hêtre)

masse volumique $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$

épaisseur 40 mm largeur: 1 m hauteur 1 m.

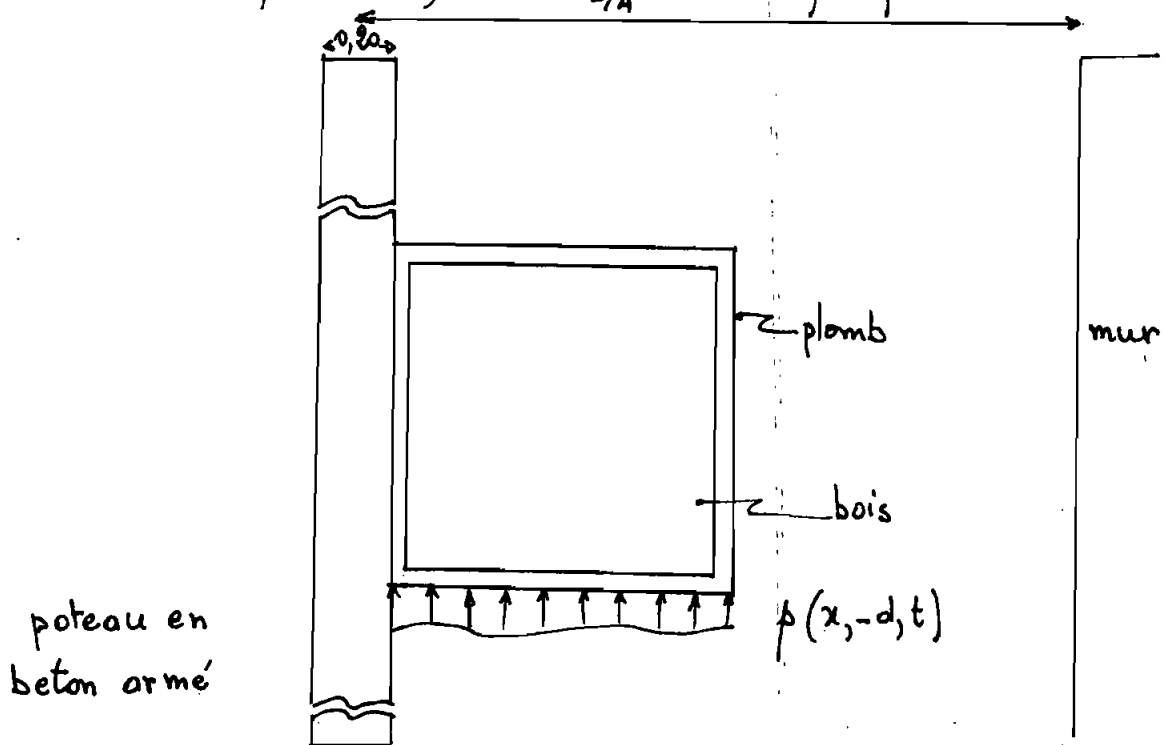
masse $m = 700 \times 40 \cdot 10^{-3} \times 1 \times 1 = 28 \text{ kg}$ soit 274,7 N.

crochet en acier $\rho_c = 7930 \text{ kg/m}^3$

épaisseur 40 mm largeur 50 mm hauteur 500 mm

$m' = 7930 \times (0,040 \times 0,050 \times 0,500) = 7,93 \text{ kg}$ soit 77,8 N.

Calculons la poussée d'Archimède sur la plaque



$$dF_z = p(x, -d, t) e \, dx$$

$$F_z = \int_{\frac{L}{4}-1,1}^{\frac{L}{4}-0,1} \left[\rho g d + \left(\frac{H_s}{2} \rho g \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} \cosh k(h-d) \right) \cos kx \right] e \, dx$$

$$F_z = e \rho g \left[dx + \frac{H_s}{2} \frac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh} \cos \omega t \frac{1}{k} \sin kx \right]_{\frac{L}{4}-1,1}^{\frac{L}{4}-0,1}$$

$$F_z = e \rho g \left[d(1) + \frac{H_s}{2} \frac{1}{k} \frac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh} \cos \omega t \left(\sin k \left(\frac{L}{4}-0,1 \right) - \sin k \left(\frac{L}{4}-1,1 \right) \right) \right]$$

$$F_z = 4 \cdot 10^3 \times 1041 \times 9,81 \left[1 + \frac{2 \times 2,22}{2} \times \frac{57,4}{2\pi} \frac{\cosh \frac{2\pi}{57,4} (4-1)}{\cosh \frac{2\pi}{57,4} \times 4} \cos \omega t \right]$$

$$F_z = 408,5 (1 + 0,14 \cos \omega t)$$

$$\frac{dF_z}{dt} = 0 \quad \text{pour } t = 0$$

donc $F_z \text{ max} = 408,5 (1 + 0,14)$

$$F_z \text{ max} = 465,5 \text{ N.}$$

La plaque en bois sera recouverte sur les bords par du plomb de masse m'' telle que

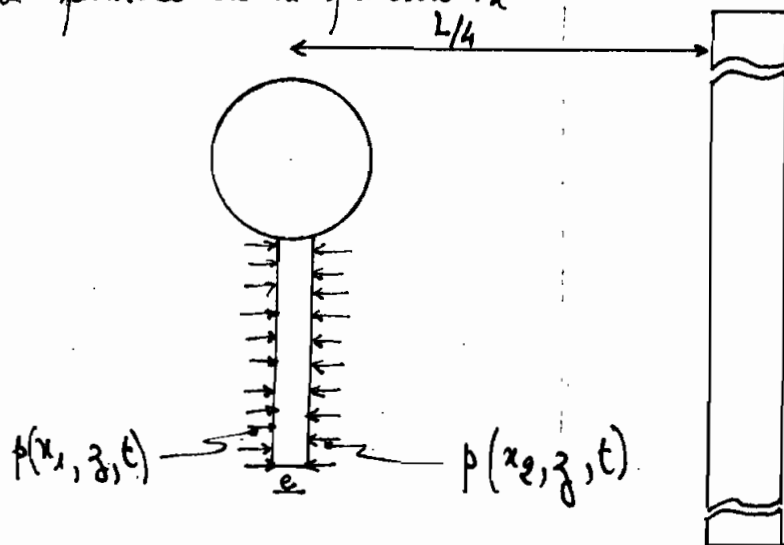
$$m'' = \frac{465,5 - (274,7 + 77,8)}{9,81} \times 1,2$$

$$m'' = 11,5 \text{ kg} \times 1,2$$

$$m'' = 13,8 \text{ kg}$$

1,2 étant un facteur de sécurité pour être sûr que la plaque reposera sur le collier.

Calculons la poussée de la pression F_x



$$dF = [p(x_1, z, t) - p(x_2, z, t)] \times l \, dz.$$

avec

$$x_1 = \frac{L}{4} + \frac{e}{2}$$

$$\text{et } x_2 = \frac{L}{4} - \frac{e}{2}$$

$$e = 4 \text{ cm.}$$

La position de la plaque, correspondant au moment où le doigt engène, est montrée dans la figure précédente et cet engènement se fait à $\gamma = 90^\circ$ et 270° pour respectivement $\frac{T}{4}$ et $\frac{3T}{4}$

$$F_x = \int_{-d}^0 \rho g \frac{H_s}{2} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} (\cos kx_1 - \cos kx_2) l dz \cos \sigma t$$

$$F_x = \rho g \frac{H_s}{2} l \frac{\cos kx_1 - \cos kx_2}{\cosh kh} \times \frac{1}{k} \left[\sinh k(h+z) \right]_{-d}^0 \cos \sigma t$$

$$F_x = \rho g \frac{H_s}{2} \frac{l}{k} (\cos kx_1 - \cos kx_2) \frac{\sinh kh - \sinh k(h-d)}{\cosh kh} \cos \sigma t$$

avec $\rho = 1041 \text{ kg/m}^3$
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 $H_s = 2H = 2 \times 2,22 \text{ m}$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

$$\sigma = \left(g k \tanh kh \right)^{1/2} = 0,442$$

$h = 4 \text{ m}$ profondeur de la mer (entre le mound et le sol)

$$F_x = 1041 \times 9,81 \times \frac{2 \times 2,22}{2} \times 1 \times \frac{57,4}{2\pi} \left(\cos \frac{2\pi}{57,4} \left(\frac{57,4}{4} + 0,020 \right) - \cos \frac{2\pi}{57,4} \left(\frac{57,4}{4} - 0,020 \right) \right) \times \frac{\sinh \left(\frac{2\pi}{57,4} \times 4 \right) - \sinh \frac{2\pi}{57,4} (4-1)}{\cosh \frac{2\pi}{57,4} \times 4} \cos \sigma t$$

$$F_x = -97,2 \text{ N} \cdot \cos \sigma t$$

$$\text{à } t = \frac{T}{4} \text{ et } \gamma = 90$$

$$F_x = -97,2 \cos(0,442 \times \frac{8,5}{4})$$

$$F_x = -57,4 \text{ N}$$

Calcul du couple moteur d'après le schéma précédent

$$dM = dF_x \times dy$$

$$M = \int_{-d}^0 \int_{0,1}^{h+0,1} l \rho g \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} (\cos ka_1 - \cos ka_2) \cosh k(h+z) dy dz$$

$$M = l \rho g \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} (\cos ka_1 - \cos ka_2) \times \int_{-d}^0 \cosh k(h+z) dz \times \int_{0,1}^{h+0,1} dy$$

$$M = l \rho g \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} (\cos ka_1 - \cos ka_2) \times \frac{1}{k} [\sinh k(h+z)]_{-d}^0 \times [y]_{0,1}^{h+0,1}$$

$$M = l^2 \rho g \frac{H_s}{2} \frac{\cos \omega t}{\cosh kh} (\cos ka_1 - \cos ka_2) \times \frac{1}{k} (\sinh kh - \sinh k(h-d))$$

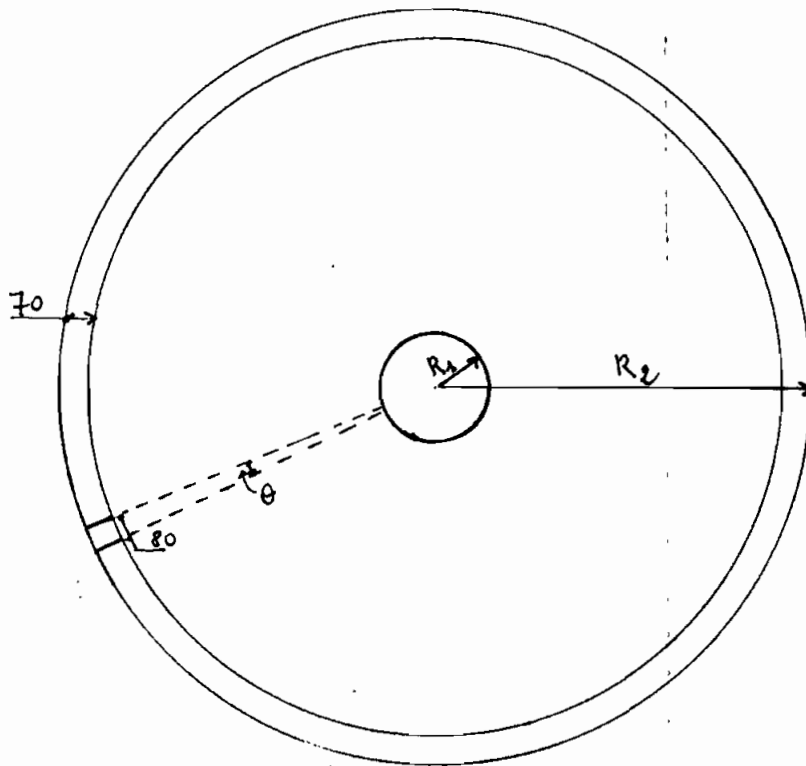
on trouve $M = -97,2 \text{ N.m} \cos \omega t$

et à $t = \frac{T}{4}$ et $\gamma = 90^\circ$

$$M = -57,4 \text{ N.m}$$

Conclusion: la force F_x est dirigée en sens contraire de l'axe des x et de norme $57,4 \text{ N}$ alors que le moment fait tourner la plaque dans le sens contraire des aiguilles

La roue horizontale sera fixée sur le poteau grâce à deux roulements à billes à contact oblique de 80×140



$$R_1 = 70 \text{ mm}$$

$$R_2 = 1010 \text{ mm}$$

dents de 20 mm d'épaisseur et espacées de 80 mm

nombre de dents : $z ?$ $\theta = \frac{80}{1010 - 70} = 0,085 \text{ rad soit } 4,88^\circ$

$$z = \frac{360}{4,88^\circ} = 73,8 \text{ on prendra } 73 \text{ dents.}$$

Calcul de la vitesse

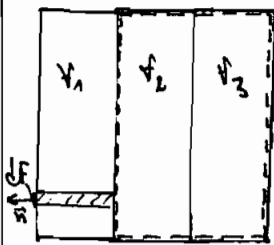
Soit le volume de contrôle constitué des particules en contact avec la plaque à l'instant où celle-ci est perpendiculaire à la direction de propagation des ondes.

L'équation de la quantité de mouvement donne

$$\Sigma \vec{P} = \frac{d(\Sigma \Delta m \vec{v})}{dt}$$

avec $\Sigma \vec{P}$ la somme vectorielle des forces agissant sur le volume de contrôle, à savoir la force que la plaque exerce d'une part et d'autre part la force du reste de l'eau sur ce même volume.

On pose $\vec{B} = \Sigma \Delta m \vec{v} = \int_V (\rho \Delta V) \vec{v}$ pour un continu



à l'instant t $V = V_1 + V_2$ le volume

à $t+dt$ $V = V_2 + V_3$

$\vec{v} dt$

la différence de quantité de mouvement en t et $t+dt$

$$d\vec{B} = [\vec{B}_2(t+dt) + \vec{B}_3(t+dt) - \vec{B}_1(t) - \vec{B}_2(t)]$$

le volume élémentaire $dV = |(\vec{v} dt) \cdot \vec{n} dF|$

$$dV = v dt dF$$

Supposons que pour dt très petit $V_2 \approx V$ (la plaque n'a presque pas bougé)

$$\vec{B}_3(t+dt) = \int_{V_3} \rho \vec{v} dV = \int_{F_3} (\rho \vec{v}) v dt dF$$

$$d\vec{B}_1 = + \int_{V_1} \rho \vec{v} dA = - \int_{F_1} (\rho \vec{v}) v dt dF$$

et comme la surface totale $F = F_1 + F_2$

$$\vec{B}_3 - \vec{B}_1 = \int_{F_3} \rho \vec{v} v dt dF + \int_{F_1} \rho \vec{v} v dt dF$$

$$\vec{B}_3(t+dt) - \vec{B}_1(t) = \int_F (\rho \vec{v}) v dt dF$$

D'autre part $\vec{B}_2(t+dt) - \vec{B}_2(t)$ est la variation de \vec{B}_2 dans l'intervalle dt donc

$$\vec{B}_2(t+dt) - \vec{B}_2(t) = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} dt = \int_{V_2} \frac{\partial}{\partial t} [\rho \vec{v} dV] dt$$

$$\text{Enfin } \sum \vec{P} = \int_{V_2=V} \frac{\partial}{\partial t} \rho \vec{v} dV + \int_F \rho \vec{v} v dF$$

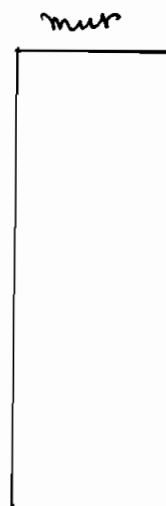
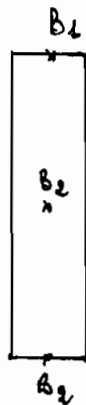
Conclusion

Nos diverses investigations nous ont montré que c'est une équation fort difficile à résoudre. Il est donc absolument nécessaire de faire un modèle réduit pour pouvoir trouver la vitesse de la plaque.

Nous nous proposons d'étudier la théorie exposée ^{par} HAROLD E. SAUNDERS dans son livre intitulé Hydrodynamics in ship design, volume n° 1, page 8.

Il dit : si un nombre de particules au voisinage d'un corps mobile sont choisies et leur vecteur vitesse représenté dans le référentiel fixé dans l'eau à un instant donné.

Alors il est possible de transformer réellement le mouvement non uniforme en un mouvement uniforme grâce au modèle formé de lignes de courant régulières, en changeant bases de référence du liquide vers la plaque. On superpose de manière graphique les vecteurs vitesses réelles des particules au vecteur vitesse ainsi trouvée de l'écoulement permanent. Cette dernière vitesse est égale à l'amplitude de la vitesse de la plaque et de sens opposé. Le résultat de la superposition donne la vitesse locale de la particule par rapport à la plaque.



fat 3 points sur la face inférieure de la plaque

$$B_1 \left(\frac{L}{4}; 0 \right) \quad B_2 \left(\frac{L}{4}; -0,5 \right) \quad B_3 \left(\frac{L}{4}; -1 \right)$$

Ces vitesses absolues de B_1 , B_2 et B_3 sont égales aux vitesses horizontales respectivement à $t = \frac{T}{4}$

$$u_x = \frac{1}{2} \frac{H_s}{2} \frac{gk}{\sigma} \frac{\cosh k(h+z_0)}{\sinh kh} \sin ka_x \sin \omega t$$

$$\sigma = (gk \tanh kh)^{1/2} = (9,81 \times 0,109 \tanh 0,109 \times 4)^{1/2} = 0,552$$

$$u_1 = \frac{2 \times 2,22}{2} \times \frac{9,81 \times 0,109}{0,652} \frac{\cosh 0,109(u=0)}{\sinh 0,109 \times 4} \sin\left(0,109 \times \frac{5724}{4}\right) \sin \sigma t$$

$$u_1 = 8,62 \text{ m/s} \quad \sigma t = 0,652 \times \frac{8,5}{4}$$

de la même façon on trouve

$$u_2 = 8,44 \text{ m/s}$$

$$u_3 = 8,29 \text{ m/s}$$

$$\text{soit un } \% = \frac{8,62 - 8,29}{8,29} \times 100 = 4\%$$

donc les particules du haut et du bas ont une différence de vitesse de moins de 4%.

D'après la théorie ci dessus, la vitesse des particules sur le référentiel fixé sur le corps mobile est la vitesse relative des particules par rapport au corps. Or si nous considérons la théorie de la couche limite de LUDWIG PRANDTL, les particules en contact avec une surface ont une vitesse nulle par rapport à cette surface. Donc les particules ont des vitesses absolues égales à la vitesse de la plaque.

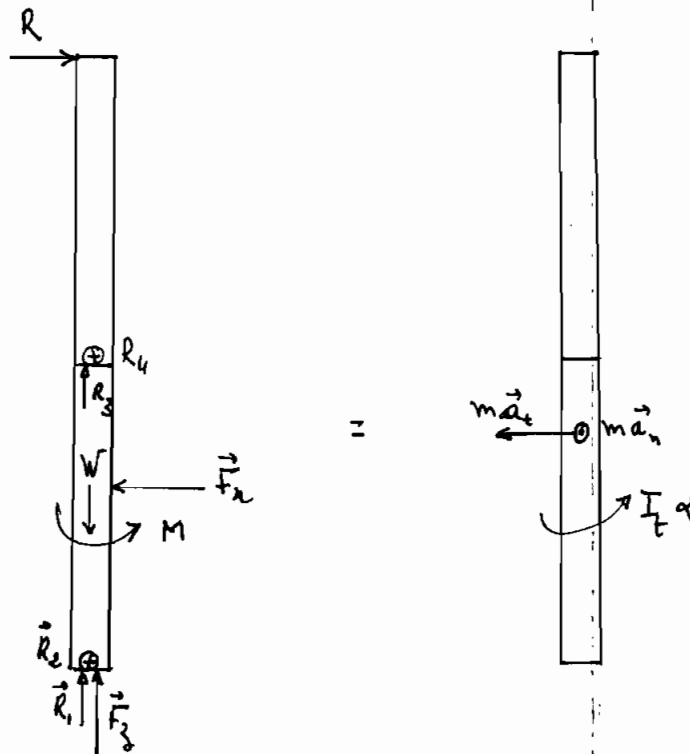
Puisque nous avons un faible pourcentage d'erreur entre les vitesses B_1 et en B_3 nous pouvons dire que la vitesse moyenne de la plaque sur le côté intérieur est de 8,44 m/s.

$$\text{Soit donc une vitesse angulaire } \omega = \frac{v}{R} = \frac{v}{0,1+1} = \frac{8,44}{1,1} = 7,67 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 73,3 \text{ tpm.}$$

Calcul de l'accélération angulaire

Pour plus de sécurité face aux intempéries, nous donnons au doigt une longueur de 1 m



R est la réaction de la rose horizontale sur le doigt

F_x la poussée de l'eau sur la plaque

M le moment développé par l'eau sur la plaque

R_i les réactions de la poutre sur la plaque

nous avons les relations suivantes

$$(11) \quad F_x - R = m_t a_t$$

$$(12) \quad -R(l, l) + M = I_T \alpha + m_t a_t l$$

$$(13) \quad a_t = l \alpha$$

l distance entre l'axe de rotation et le centre de gravité de l'ensemble plaque-doigt.

$$m_t = m + m' + m'' = 49,73 \text{ kg.}$$

Soit G, de coordonnées X et Y, centre de gravité de l'ensemble plaque et doigt

$$X = \frac{(m + m'') x_{G_1} + m' x_{G_2}}{m + m' + m''}$$

$$X = \frac{(28 + 13,8) \times 0,5 + 7,93 \times 0,025}{49,73}$$

$$X = 0,42 \text{ m}$$

$$Y = X + 0,1 = 0,52 \text{ m.}$$

$$Y = \frac{(28 + 13,8) \times 0,5 + 7,93 \times 1,5}{49,73}$$

$$Y = 0,65 \text{ m}$$

$$I_t = I_{\text{plaque}} + I_{\text{doigt}}$$

$$I_{\text{plaque}} = \frac{m + m''}{12} (l^2 + l'^2) + (m + m'') \left(\frac{l}{2} + 0,1 \right)^2$$

$$= (28 + 13,8) \left[\frac{1 + 0,04}{12} + (0,5 + 0,1)^2 \right]$$

$$I_{\text{plaque}} = 18,5 \text{ kg m}^2$$

$$I_{\text{doigt}} = \frac{m'}{12} (0,05^2 + 0,04^2) + m' (1 + 0,1 - 0,025)^2$$

$$I_{\text{doigt}} = 9,2 \text{ kg m}^2$$

$$I_t = 27,7 \text{ kg m}^2$$

d'après les équations (11) (12) et (13)

$$a_t = b\alpha \quad (14)$$

$$-R = m_t(b\alpha) - F_x \quad (15)$$

$$1,1(m_t b\alpha - F_x) + M = I_t \alpha + (m_t b\alpha) b \quad (16)$$

L'équation (16) donne l'accélération angulaire

$$M - 1,1F_x = (I_t + m_t b^2 - 1,1 m_t b) \alpha$$

d'où

$$\alpha = \frac{M - 1,1F_x}{I_t + m_t b^2 - 1,1 m_t b}$$

$$\alpha = \frac{-57,4 + 1,1 \times 57,4}{27,7 + 49,73 \times 0,52^2 - 49,73 \times 1,1 \times 0,9}$$

$$\alpha = 0,45 \text{ rad/s}^2$$

Calcul de la puissance délivrée à la roue

Lorsque le doigt engène avec les dents de la roue, il lui transmet durant cet instant les paramètres cinématiques de la plaque verticale.

Donc la roue horizontale à $t = \frac{T}{4}$ a une vitesse de rotation de 73,3 tpm et une accélération angulaire de $0,45 \text{ rad/s}^2$. La force développée par le doigt sur la roue est égale à R telle que d'après (11)

$$F_x - R = m_t a_t$$

$$R = F_x - m_t b \alpha$$

donc

$$R = -57,4 \text{ N} - 49,73 \times 0,52 \times 0,45$$

$$\text{d'où } R = -69,03 \text{ N}$$

$$\text{en valeur absolue } R = 69,0 \text{ N.}$$

$$\text{la puissance } P = R \omega$$

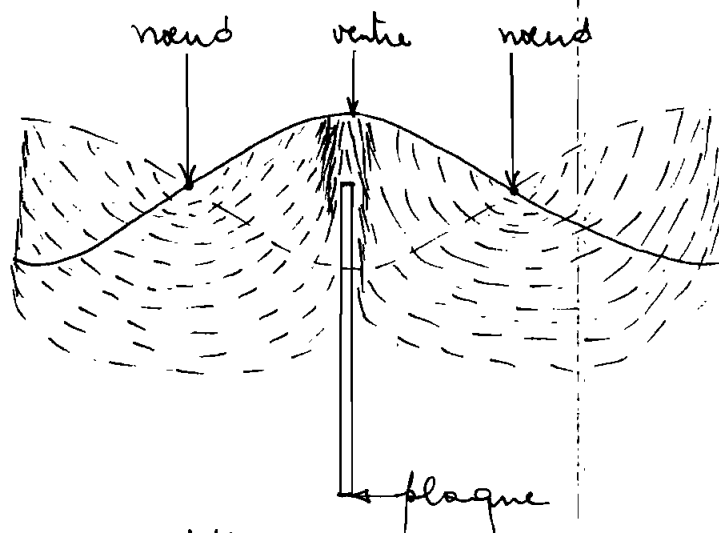
$$P = \frac{69,0 \times 73,3 \times 2\pi}{60}$$

$$P = 530 \text{ W}$$

Caractéristique de cette solution

Ce système présente un important avantage par rapport aux systèmes à axe de rotation horizontal. Quand la longueur d'onde change, la position du nœud ne sera plus en coïncidence avec notre axe, ou du moins la position du premier nœud. Mais le mouvement va et vient de l'eau continuera à exister. Si la plaque ne se trouve pas au niveau d'un ventre, elle sera submergée mais l'entraînement aura toujours lieu et le mouvement circulaire assuré. Par contre au niveau d'un ventre tous les systèmes à axe horizontal ou vertical sont fortement perturbés. Puisque dans ce cas les deux masses d'eau des demi-ventres vont avoir le même effet chacune sur une face

figure 5 : trajectoire des particules d'eau.

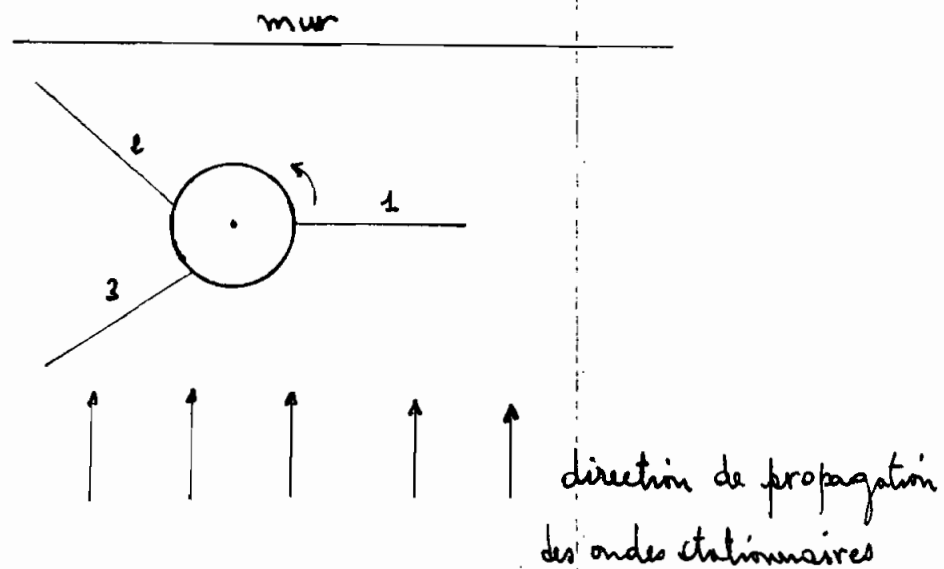


Par ailleurs ce système résiste mieux à la corrosion que le système à axe horizontal, parce que seul le doigt et les boulons qui les relient à la plaque sont corrodés ici.

Alors que dans les autres systèmes, l'axe risque de se corroder à coup sûr. Or il est plus économique de remplacer et de remonter une barre (Loigt) et les boulons qu'un arbre.

Par ailleurs ce système présente plusieurs avantages par rapport à une turbine à pales radiales et à axe de rotation verticale.

Par exemple, soit une turbine de ce type à 3 pales dans un instant quelconque, dans le cas des ondes stationnaires.



On voit que dans cet état, seule la pale 1 apporte un couple moteur alors que les deux autres donnent des couples résistants. Il y a donc une diminution de la puissance disponible. Si nous prenons des pales avec une courbure donnée, le problème se sera en bois et il se posera un problème de corrosion.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Rigoureusement, nous devons utiliser dans nos calculs de forces et de moments les coefficients de traînée et de portance. Du fait que nous ignorons l'influence de la plaque verticale et des poteaux sur les paramètres de la mer ~~elle~~ à savoir la pression et la vitesse des particules par pouvoir évaluer ces coefficients, il est permis de faire les calculs avec les valeurs idéales. Mais toutefois, il faudra réaliser le modèle pour trouver les facteurs de correction relatifs aux forces et aux moments. Les valeurs calculées ne sont que des approches théoriques.

D'autre part, il s'avère nécessaire de réaliser ce modèle si l'on veut trouver la vitesse réelle de la plaque et par là la puissance du système.

C'est qu'à cet instant qu'on pourra selon les résultats obtenus choisir l'équipement chargé d'utiliser cette énergie. Après cela, nous pourrions donc dimensionner le roue horizontale, qui sera le volant du système, en considérant le couple qu'elle reçoit du doigt et les vitesses de rotation maximale et minimale que le récepteur va lui imposer. Par exemple pour un alternateur, cet écart appelé coefficient d'inégalité de vitesse est de 1,3%.

REFERENCES

- [1] N.N. DJOUNKOVSKI ET P.K. BOJITCH dans la revue
page 108
- [2] N.N. DJOUNKOVSKI et P.K. BOJITCH dans la revue
page 203
- [3] idem à la page 58
- [4] idem à la page 58

ANNEXE

CARACTERISTIQUES DE LA HOULE

Les tableaux A_1 et A_2 correspondent à des données de l'"Ocean Wave Statistic" sur une période de huit ans ou une année statistique. Ils donnent, suivant la direction de propagation de la houle 0° ou 30° , la fréquence des observations fonction de la période T et de l'amplitude de la houle H au large des côtes sénégalaises.

A_3 et A_4 sont les résultats des périodes moyennes \bar{T} fonction de H et de la direction.

A_5 et A_6 sont les résultats des amplitudes moyennes \bar{H} fonction de la période T et de la direction.

Les tableaux A_7 et A_8 nous montrent l'amplitude moyenne $\bar{\bar{H}}$ et la période $\bar{\bar{T}}$ fonction seulement de la direction. D'après Bouquet de la Grye confirmé plus tard par A. GUILCHER et J.P. NICOLAS dans "houles et vagues" les houles arrivent sur la côte suivant la direction Nord-Ouest.

D. DEMOULIN précise dans "travaux de Demoulin" en 1967 que la direction est entre 10° et 30° .

Par interpolation linéaire nous allons chercher l'amplitude moyenne $\bar{\bar{H}}$ et la période moyenne $\bar{\bar{T}}$ suivant une direction moyenne de 20° .

$$\bar{\bar{T}} = 6,55 + (20 - 0) \frac{6,18 - 6,55}{(30 - 0)} = 6,30s$$

$$\bar{\bar{H}} = 1,37 + (20 - 0) \frac{(1,54 - 1,37)}{(30 - 0)} = 1,48m$$

Calcul de la période sur la cote

Nous supposons que le point d'installation du projet présente une pente $m = 0,04$ à $0,05$.

A. A. IVANOF propose

$$T_H = \bar{T} + b \bar{T} \left(1 - \frac{H}{H_\infty}\right) \quad [1]$$

avec T_H période sur la cote à la profondeur H

T_∞ période au large (de grande profondeur H_∞)

b coefficient numérique fonction de la pente m

$$\text{form } m = 0,04 \quad b = 0,35$$

$$\text{et } \frac{H}{H_\infty} \rightarrow 0$$

donc

$$T_H = \bar{T} + b \bar{T}$$

$$T_H = 6,301 + 0,35 \times 6,30$$

$$T_H = 8,51$$

Calcul de l'amplitude des vagues sur la cote

$H'_0 = \bar{H} = 1,48$ m amplitude des vagues au large

H_b hauteur des vagues avant le déferlement

Par itération nous allons trouver H_b

$$\text{Posons } H_b = 2,22 \text{ m} \rightarrow \frac{H_b}{g \bar{T}^2} = 0,0031$$

$$\text{la figure 7-5} \rightarrow H_b/H'_0 = 1,5 \rightarrow H'_0 = 1,48 \text{ m donc } H_b = 2,22$$

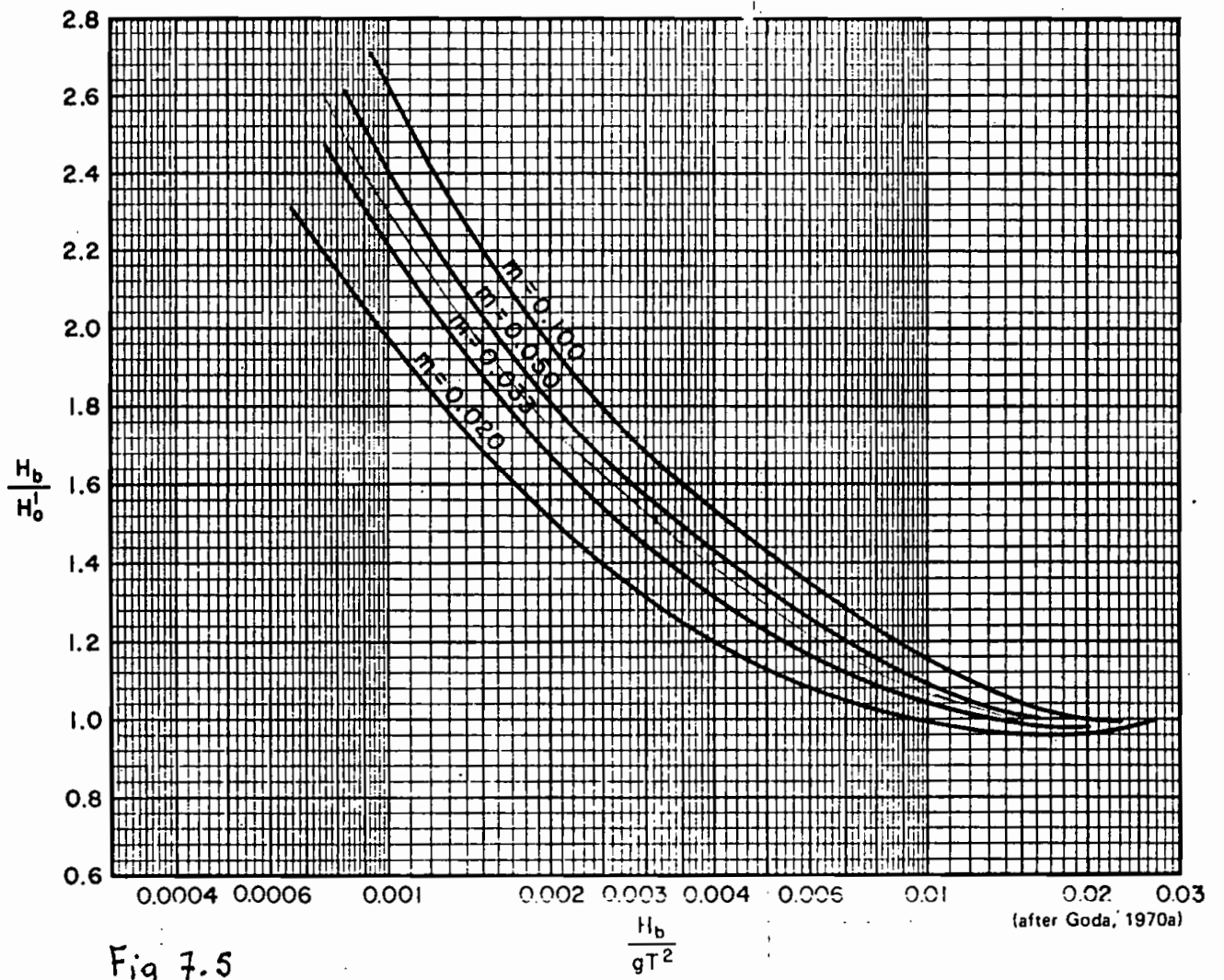


Fig 7.5

Calcul de la longueur d'onde sur la cote

l_0 longueur d'onde en profondeur infinie

$$l_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$l_0 = \frac{9,81 \times 8,5^2}{2\pi}$$

$$l_0 = 119,8 \text{ m}$$

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{4 \text{ m}}{9,81 \times 8,5^2} = 0,0056$$

la figure 7-8 donne $\frac{L_A}{l_0}$

L_A longueur d'onde à la profondeur d ($d=4 \text{ m}$).

$$\frac{L_A}{l_0} = 0,45 \rightarrow L_A = 50,76 \text{ m.}$$

soit L la longueur d'onde corrigée

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2,22}{9,81 \times 8,5^2} = 0,0031$$

la figure 7-70 $\rightarrow \frac{L}{L_A} = 1,13$

$$\rightarrow L = 57,4 \text{ m}$$

d est la profondeur du point d'installation du projet.

-61-

7-104

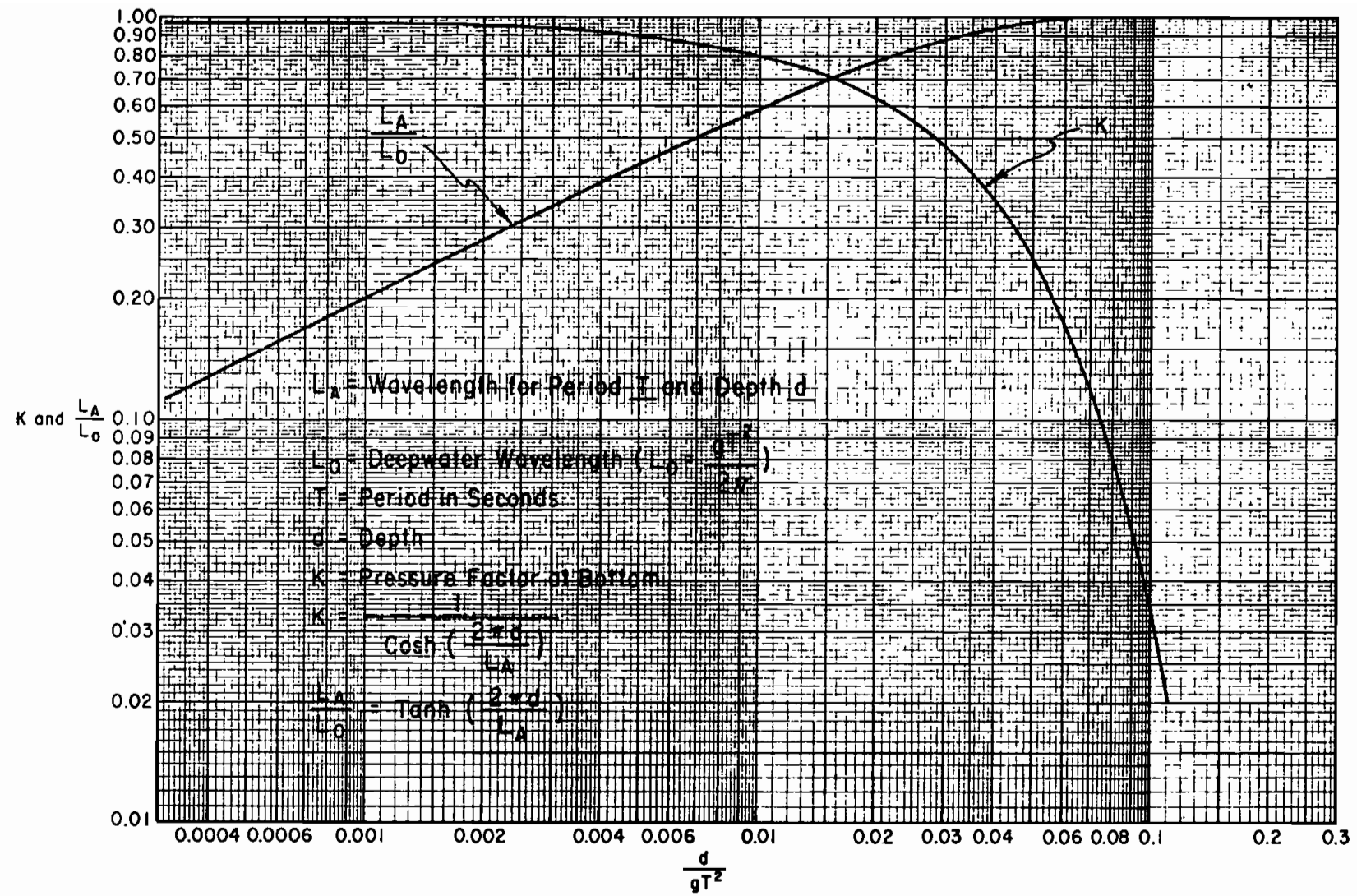


Figure 7-68. Relative wavelength and pressure factor versus d/gT^2 (Airy wave theory).

62

7-108

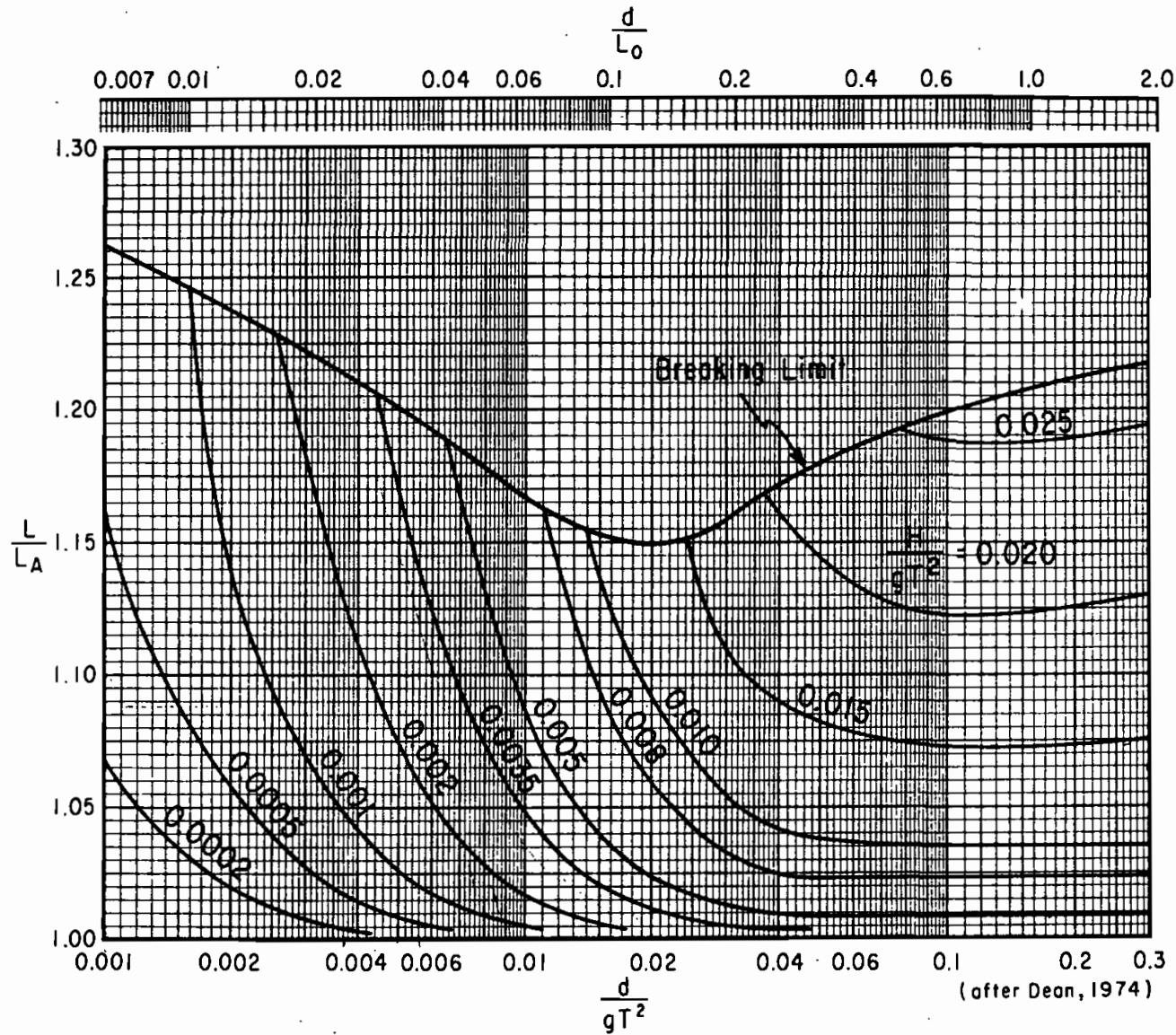


Figure 7-70. Wavelength correction factor for finite amplitude effects.

Calculs de vérification

* Vérifions l'assertion suivante : la vague déferle à la profondeur d_{cr} inférieure à d . Autrement dit, le vague ne déferlera qu'après avoir dépassé notre installation.
La profondeur critique de déferlement est donnée par

$$d_{cr} = \frac{L}{4\pi} \ln \left[\frac{1 + \frac{\pi H}{L}}{1 - \frac{\pi H}{L}} \right] \quad [2]$$

$$d_{cr} = \frac{57,4}{4\pi} \ln \left[\frac{1 + \pi \times 2,22/57,4}{1 - \pi \times 2,22/57,4} \right]$$

$$d_{cr} = 1,11 \text{ m} < d$$

Conclusion : s'il y a déferlement, il aura lieu après notre installation.

* Vérifions le pourcentage d'erreur sur la période T

$$T = 2 \sqrt{\frac{\pi L}{2g} \operatorname{cth} \frac{2\pi d}{L}} \quad [4]$$

$$T' = 2 \sqrt{\frac{\pi \times 57,4}{2 \times 9,81} \operatorname{cth} \frac{2\pi \times 4}{57,4}}$$

$$T' = 9,4 \text{ s}$$

$$\% \text{ d'erreur } \mathcal{E} = 100 \times \frac{9,4 - 8,5}{8,5}$$

$$\mathcal{E} = 10\%$$

* Nous utilisons dans nos calculs la théorie des ondes infiniment petites. Dans le cas des houles à amplitude finie, nous commettons une erreur donnée par la relation suivante

$$\varepsilon = 100 \times \left(\frac{H}{4d} \right)^2 \quad [3]$$

$$\varepsilon = 100 \times \left(\frac{2,22}{8} \right)^2$$

$$\varepsilon = 8\%$$

N. B. Pour le corps du projet nous avons posé

$$d = h = 4 \text{ m}$$

$$\bar{H} = H = 2,22 \text{ m}$$

$$\bar{T} = T = 8,5 \text{ s}$$

$$L = 57,4 \text{ m.}$$

Frequencia de la honda function de la periode T (en s) et de hauteur des vagues H (en m)

H(m)	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5	Total
0,25	460	24	3	2	2	1	0	0	0	0	1780
0,50	448	182	58	16	13	7	4	3	0	0	4513
1,00	2682	1451	255	52	39	7	6	1	0	0	4714
1,50	1264	2520	685	167	38	22	3	3	1	11	2417
2,00	299	115	725	201	49	20	3	1	3	1	1212
2,50	91	447	426	172	51	20	3	1	0	1	420
3,00	29	111	165	85	20	3	1	3	2	0	229
3,50	16	48	69	53	25	6	5	7	0	0	104
4,00	8	22	27	23	16	3	2	3	1	1	34
4,50	2	7	4	13	5	2	1	1	4	0	4
5,00	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	2
5,50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6269	5928	2413	727	252	89	29	20	27	145	

direction 0°

direction 30°

H(m)	T(s)										Total
4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5		
0,25	410	8	5	2	2	1		9	8	445	
0,50	1536	176	42	21	5	2	1	6	64	1953	
1,00	3819	1922	281	57	37	12	2	5	29	6179	
1,50	2669	3677	807	149	30	8	1			6743	
2,00	470	1937	1199	220	42	9	5			3883	
2,50	155	729	775	266	65	23	1			2005	
3,00	55	288	322	177	56	14	4	3		910	
3,50	28	116	111	110	27	9	1			408	
4,00	13	44	54	38	7	7	1			154	
4,50	11	11	21	21	11	2	1	1		94	
5,00	1	3	3							8	
5,50	2	6	5							14	
6,00	3	4	4	2	3					12	
6,50	1	1	1	2	2					6	
7,00										1	
7,50										2	
8,00										2	
8,50											
Total	8657	8934	3616	1064	287	88	37	8	20	107	

Fréquence de la houle fonction de la période T(s) et de la hauteur des vagues H(m)

Périodes \bar{T} moyennes fonction de l'amplitude, direction 0°.

H(m)		T(s)										moyennes \bar{T} (s)
		4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5	
0,25	p_i	0,87	0,04	-	-	-	-	-	-	0,03	0,04	5,90
	$p_i \cdot x_i$	3,90	0,29	-	-	-	-	-	-	0,66	0,93	
0,50	p_i	0,80	0,10	0,03							0,05	5,68
	$p_i \cdot x_i$	3,58	0,66	0,28							1,05	
1,00	p_i	0,59	0,32	0,06	0,01							5,49
	$p_i \cdot x_i$	2,67	2,09	0,48	0,12							
1,50	p_i	0,27	0,53	0,14	0,04	0,02						6,49
	$p_i \cdot x_i$	1,21	3,47	1,23	0,37	0,21						
2,00	p_i	0,12	0,05	0,30	0,08	0,02						8,1
	$p_i \cdot x_i$	0,56	0,31	2,55	0,87	0,25						
2,50	p_i	0,08	0,37	0,35	0,14	0,04	0,02					7,98
	$p_i \cdot x_i$	0,34	2,4	2,99	1,49	0,52	0,24					
3,00	p_i	0,07	0,26	0,39	0,20	0,05						8,43
	$p_i \cdot x_i$	0,31	1,72	3,34	2,12	0,69						
3,50	p_i	0,07	0,21	0,30	0,23	0,11	0,03	0,02	0,03			9,32
	$p_i \cdot x_i$	0,31	1,36	2,56	2,43	1,36	0,38	0,36	0,56			
4,00	p_i	0,08	0,21	0,26	0,22	0,15	0,03	-	0,03			9,31
	$p_i \cdot x_i$	0,35	1,37	2,21	2,32	1,92	0,42	-	0,53			
4,50	p_i	0,05	0,21	0,12	0,38	0,15	0,06	-	-	0,03		9,79
	$p_i \cdot x_i$	0,25	1,34	1	4	1,84	0,85	-	-	0,60		
5,00	p_i	-	-	0,5	0,25	0,25	-	-	-	-	-	9,99
	$p_i \cdot x_i$	-	-	4,25	1,62	3,12	-	-	-	-	-	

$$\bar{T}_{5,5m} = 8,5 \text{ s}$$

$$\bar{T}_{6,5m} = 0 \text{ s}$$

$$\bar{T}_i = 0 \text{ pour } i=7; \dots; 8,5m.$$

$$\bar{T}_{0m} = 10,5 \text{ s}$$

Périodes T moyennes fonction de l'amplitude, direction 30°

$H(m)$	$T(s)$										moyennes $T(s)$				
	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5					
0,25	0,92	0,92	0,02	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,47	0,46	5,28
0,50	0,84	0,09	0,09	0,02	0,02	0,18	0,07	0,07	0,02	0,03	0,03	0,03	0,74	0,74	5,44
1,00	0,62	0,32	0,045	0,045	0,39	0,29	0,13	0,13	0,04	0,04	0,04	0,04			5,24
1,50	0,31	0,55	0,12	0,12	0,55	0,22	0,02	0,02							6,17
2,00	0,12	0,50	0,32	0,05	0,32	0,62	0,05	0,05	0,07	0,14					7,14
2,50	0,08	0,36	0,36	0,39	0,36	0,29	0,13	0,13	0,03	0,17					7,91
3,00	0,06	0,32	0,34	0,19	0,32	0,19	0,06	0,06	0,02	0,02					8,35
3,50	0,07	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,02	0,02	0,02	0,16					8,67
4,00	0,02	0,27	0,33	0,23	0,27	0,04	0,04	0,04	0,04						8,56
4,50	0,12	0,28	0,22	0,22	0,22	0,12	0,02	0,02	0,02	0,12					8,70
5,00	0,12	0,12	0,38	0,38	0,12	0,19	0,38								9,09
5,50	-	0,14	0,43	0,36	0,14	0,07									9,36
6,00	-	0,25	0,33	0,17	0,25	-									9,32
6,50	-	0,62	0,83	0,17	0,62	-									12,87

$T_m = 8,51$; $T_{75m} = 6,51$; $T_{8m} = 5,55$

Amplitudes moyennes de la route # fonction de la période

direction 0°		T (s)									
H (m)		4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5
0,25	p ₁ p ₂	0,07 0,118	- -	- -	- -	- -	0,01 0,01	0,05 0,03	0,05 0,05	0,15 0,15	0,15 0,15
0,50		0,23 0,11	0,03 0,02	0,02 0,01	0,02 0,01	0,05 0,02	0,05 0,02	0,03 0,02	0,05 0,02	0,11 0,05	0,57 0,29
1,00		0,43 0,24	0,11 0,07	0,11 0,07	0,13 0,07	0,13 0,08	0,21 0,08	0,15 0,05	0,15 0,05	0,18 0,18	0,18 0,18
1,50		0,09 0,42	0,13 0,64	0,28 0,48	0,21 0,38	0,15 0,23	0,25 0,37	0,10 0,16	0,15 0,22	0,04 0,08	0,11 0,11
2,00		0,05 0,08	0,09 0,04	0,30 0,50	0,26 0,51	0,19 0,39	0,22 0,45	0,10 0,21	0,10 0,10	0,14 0,14	0,14 0,14
2,50		0,01 0,08	0,04 0,18	0,18 0,55	0,22 0,55	0,20 0,50	0,22 0,44	0,10 0,26	0,12 0,12	0,01 0,01	0,01 0,01
3,00		0,02 0,07	0,06 0,06	0,11 0,33	0,08 0,24	0,10 0,35	0,07 0,10	0,06 0,17	0,15 0,45	0,07 0,22	0,07 0,22
3,50		0,03 0,10	0,07 0,10	0,24 0,35	0,24 0,35	0,10 0,35	0,07 0,17	0,06 0,35	0,15 0,35	- -	- -
4,00		0,07 0,12	0,04 0,04	0,12 0,12	0,03 0,12	0,06 0,25	0,03 0,13	0,03 0,14	0,15 0,60	- -	0,07 0,02
4,50		0,02 0,02	0,02 0,02	0,02 0,02	0,02 0,02	0,02 0,02	0,02 0,02	0,02 0,02	0,02 0,02	0,04 0,17	0,02 0,02
5,00											
5,50											
H (m)											

As

direction 30°

H(m)	T (s)									
0,25	0,05	0,05	0,05	0,03	-	-	-	-	-	-
0,50	0,19	0,19	0,19	0,10	0,02	0,02	0,01	-	0,01	0,01
1,00	0,44	0,44	0,44	0,14	0,13	0,13	0,08	0,08	0,44	0,44
1,50	0,84	0,84	0,84	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,84	0,84
2,00	0,05	0,22	0,43	0,33	0,33	0,33	0,54	0,54	0,09	0,09
2,50	0,09	0,08	0,21	0,24	0,23	0,23	0,50	0,50	0,09	0,09
3,00	0,04	0,04	0,03	0,04	0,09	0,09	0,26	0,26	0,03	0,03
3,50	0,04	0,04	0,04	0,03	0,09	0,09	0,11	0,11	0,04	0,04
4,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,08	0,08	0,14	0,14	0,01	0,01
4,50	0,07	0,07	0,07	0,02	0,04	0,04	0,09	0,09	0,07	0,07
H(m)	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5

Amplitudes moyennes de la houle \bar{H} (m) fonction de la période T (s).

Calcul de l'amplitude moyenne \bar{H} (m)

direction 0°			
\bar{H}_i	frequence	p_i	$p_i \bar{H}_i$
0,93	6269	0,39	0,36
1,47	928	0,37	0,4
1,92	2419	0,15	0,29
2,20	787	0,05	0,11
2,24	252	0,02	0,04
1,97	89	-	0,00
2,25	29	-	-
2,76	20	-	-
0,89	27	-	-
0,69	145	0,01	0,01
	15965	0,99	1,36

direction 30°			
\bar{H}_i	frequence	p_i	$p_i \bar{H}_i$
1,07	8667	0,38	0,41
1,64	2934	0,39	0,64
2,08	3616	0,16	0,33
2,39	1061	0,05	0,12
2,42	287	0,01	0,02
2,70	88	-	-
1,85	37	-	-
2,20	8	-	-
1,01	20	-	-
0,63	101	-	-
	22819	0,99	1,52

l'amplitude moyenne \bar{H} devient
pour la direction 30°

$$\bar{H} = \frac{\sum \bar{H}_i p_i}{\sum p_i} = \frac{1,52}{0,99} = 1,54 \text{ m}$$

pour la direction 0°

$$\bar{H} = \frac{1,36}{0,99} = 1,37 \text{ m}$$

Calcul de la période moyenne $\bar{T}(s)$.

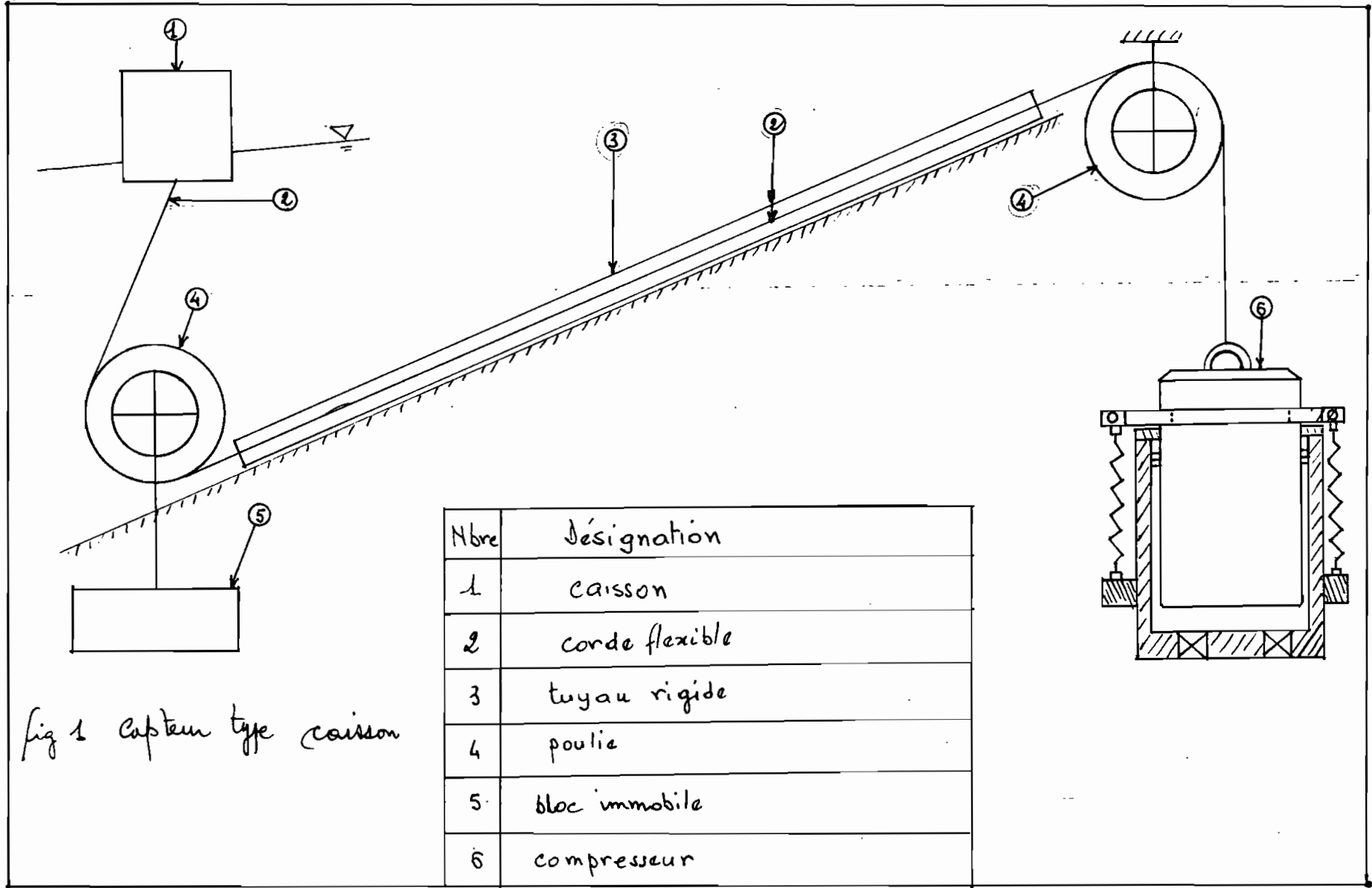
Direction 0°			
T_i	freq.	f_i	$f_i \cdot T_i$
5,90	530	0,03	0,20
5,68	1780	0,11	0,63
5,49	4513	0,28	1,55
6,49	4714	0,30	1,92
8,1	2417	0,15	1,23
7,98	1212	0,08	0,61
8,43	420	0,03	0,22
9,32	229	0,01	0,13
9,31	104	0,01	0,06
9,79	34	-	
9,99	4	-	
10,5	2	-	
	15959	1	6,55

Direction 30°			
T_i	freq.	f_i	$f_i \cdot T_i$
5,28	445	0,02	0,10
5,44	1953	0,08	0,46
5,24	5179	0,27	1,42
6,17	5743	0,30	1,82
7,14	3883	0,17	1,21
7,91	2005	0,09	0,69
8,35	910	0,04	0,33
8,67	408	0,02	0,15
8,56	154	0,01	0,06
8,7	94		
9,09	8	-	
9,36	14	-	
9,32	12	-	
12,84	6	-	
8,5	1	-	
6,5	4	-	
	22829	1	6,18

la période moyenne est :

pour 0° $\bar{T} = 6,55 \text{ s.}$

pour 30° $\bar{T} = 6,18 \text{ s.}$



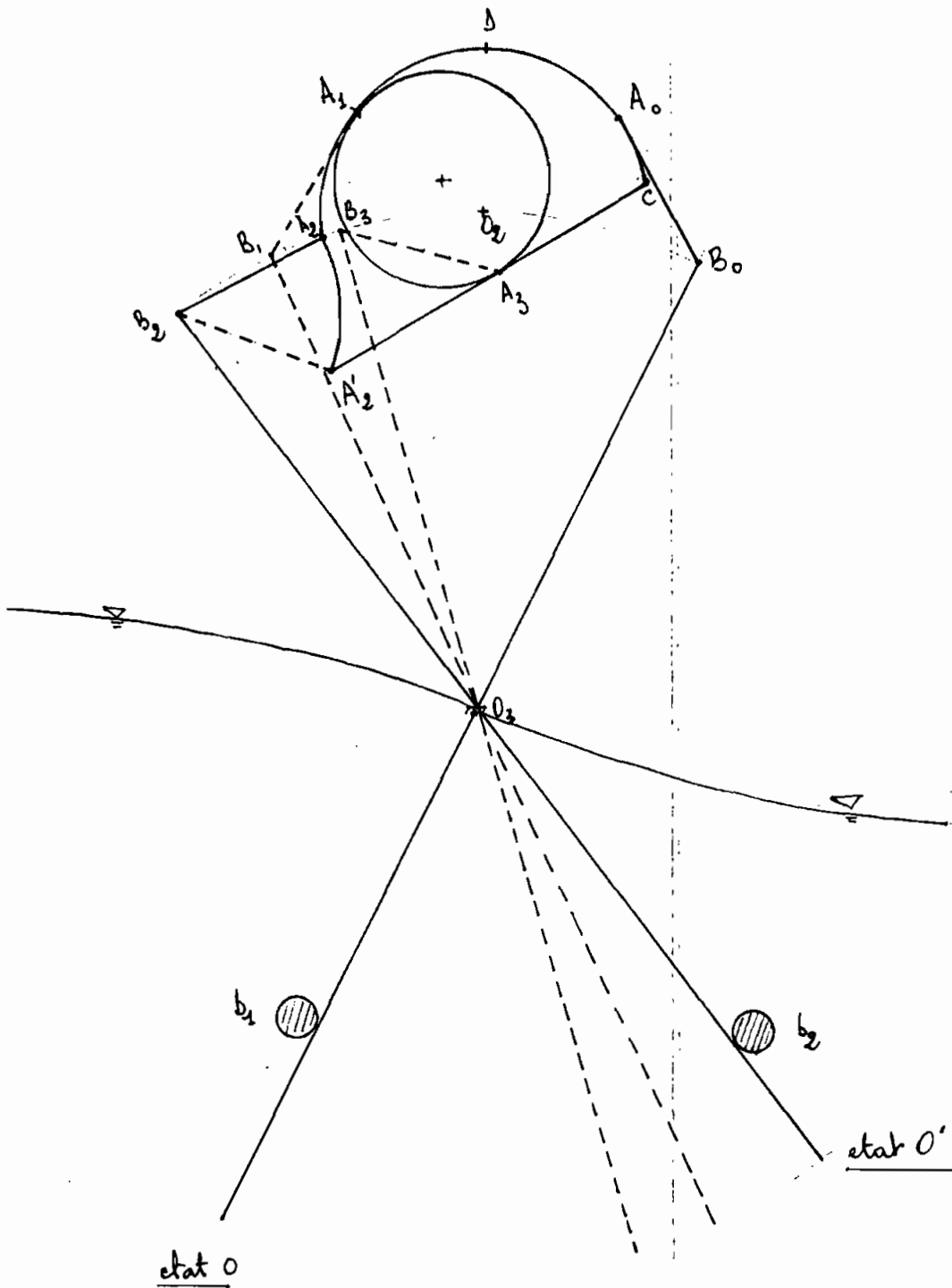


fig 2 : système balancier - balancier

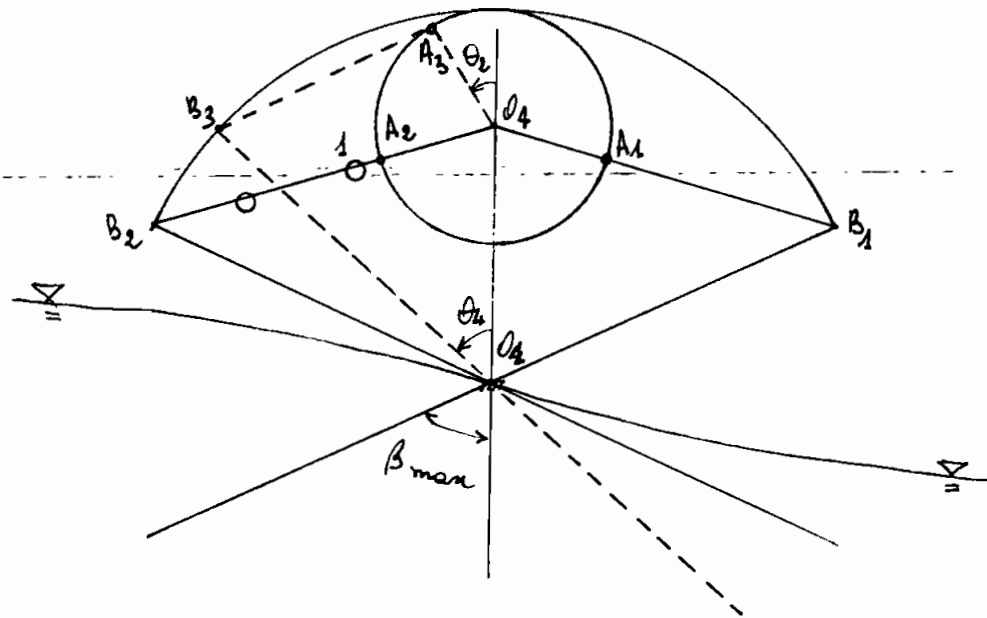
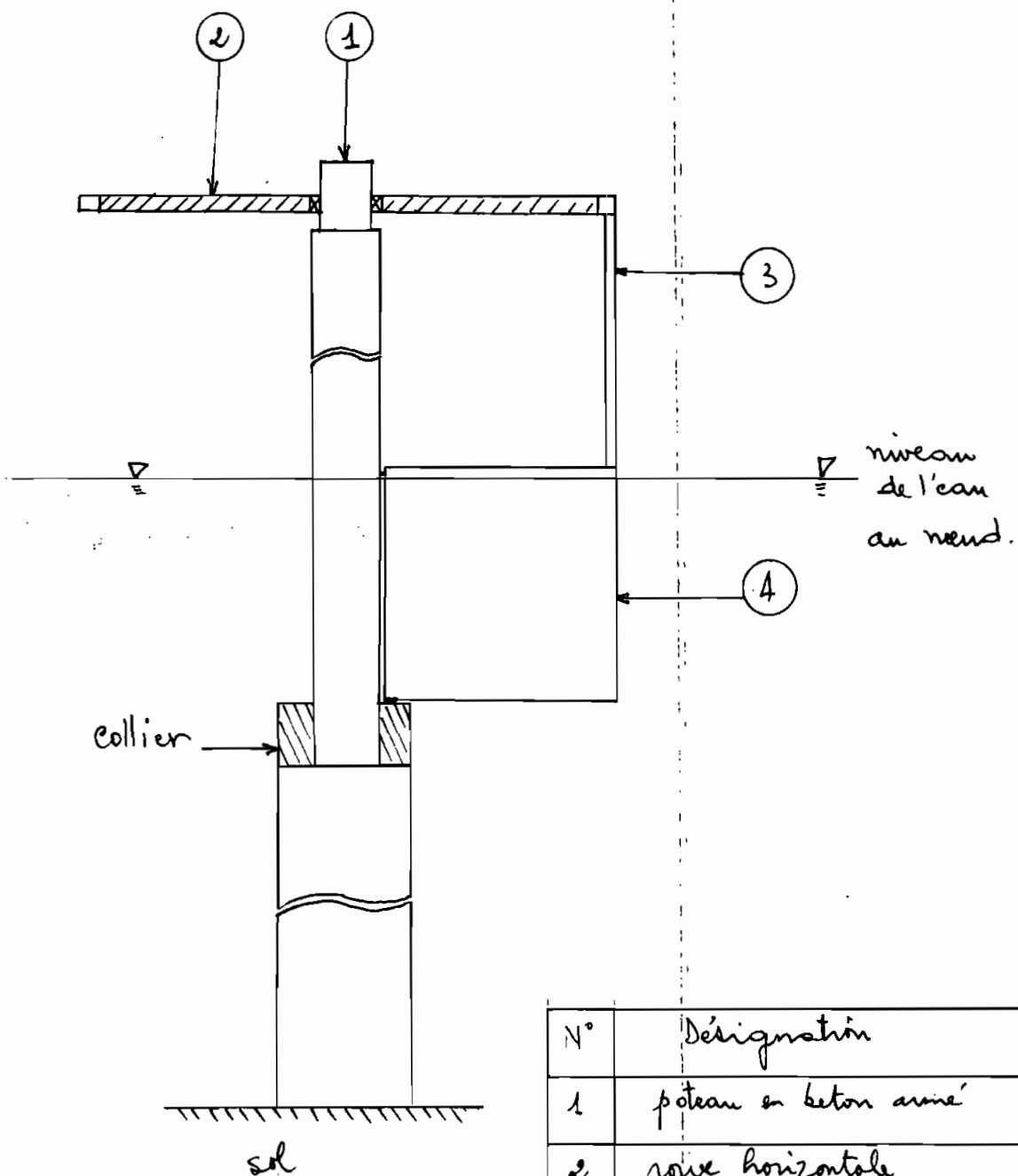


fig 3 : système balancier manivelle
avec le rochet 1

fig 4 : système à plaque verticale



N°	Désignation
1	poteau en béton armé
2	roue horizontale
3	doigt
4	plaque verticale

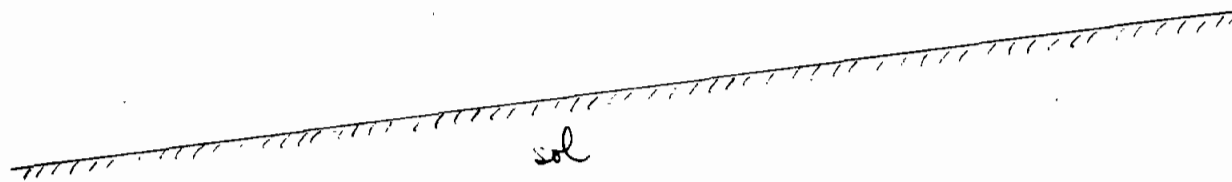
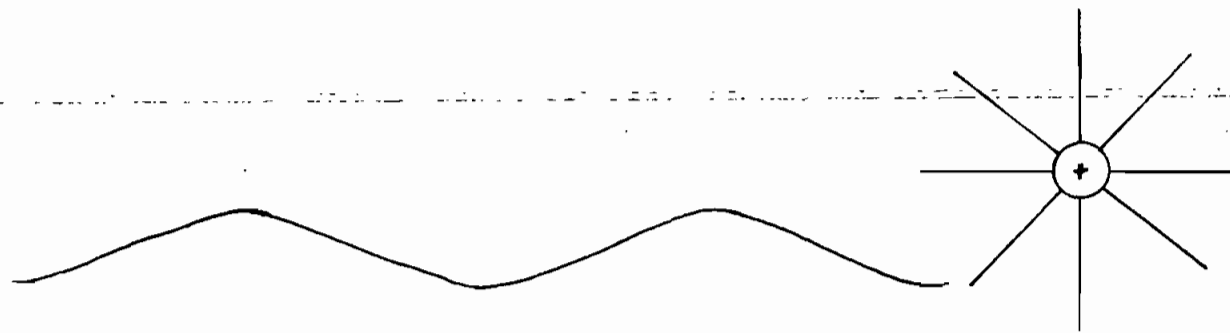
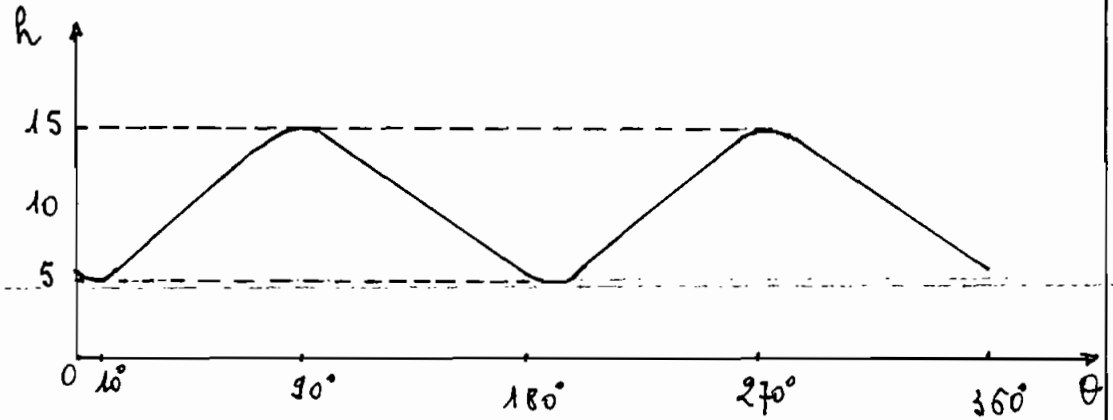
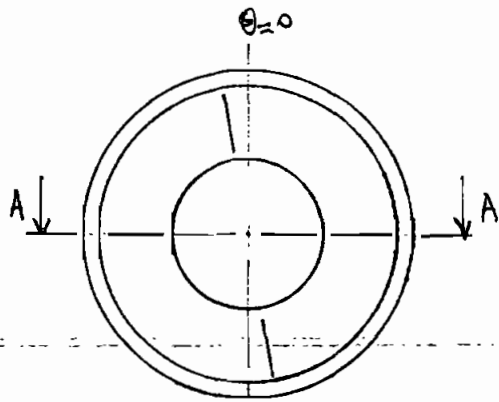
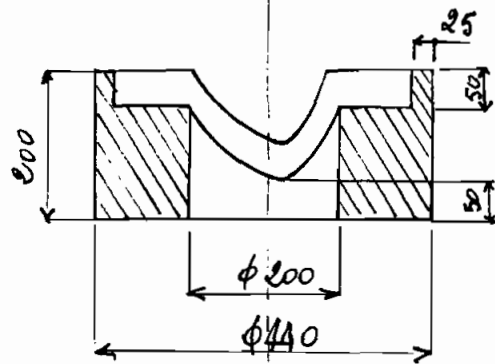


fig 5: turbine à axe horizontal avec des pales radiales



Programme de mouvement de la roue
sur le collier



Coupe AA

Ecole Polytechnique de Thies
Projet de fin d'études 86-87

COLLIER

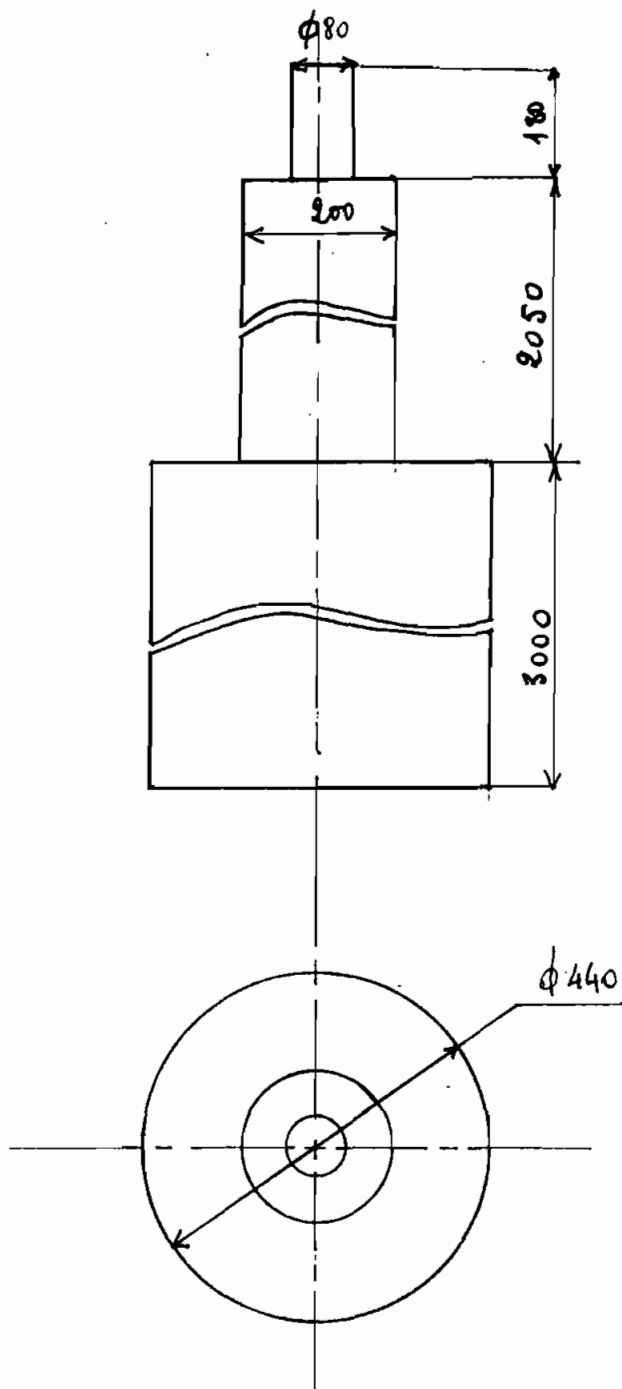
Plan 1

Date: 20-5-86

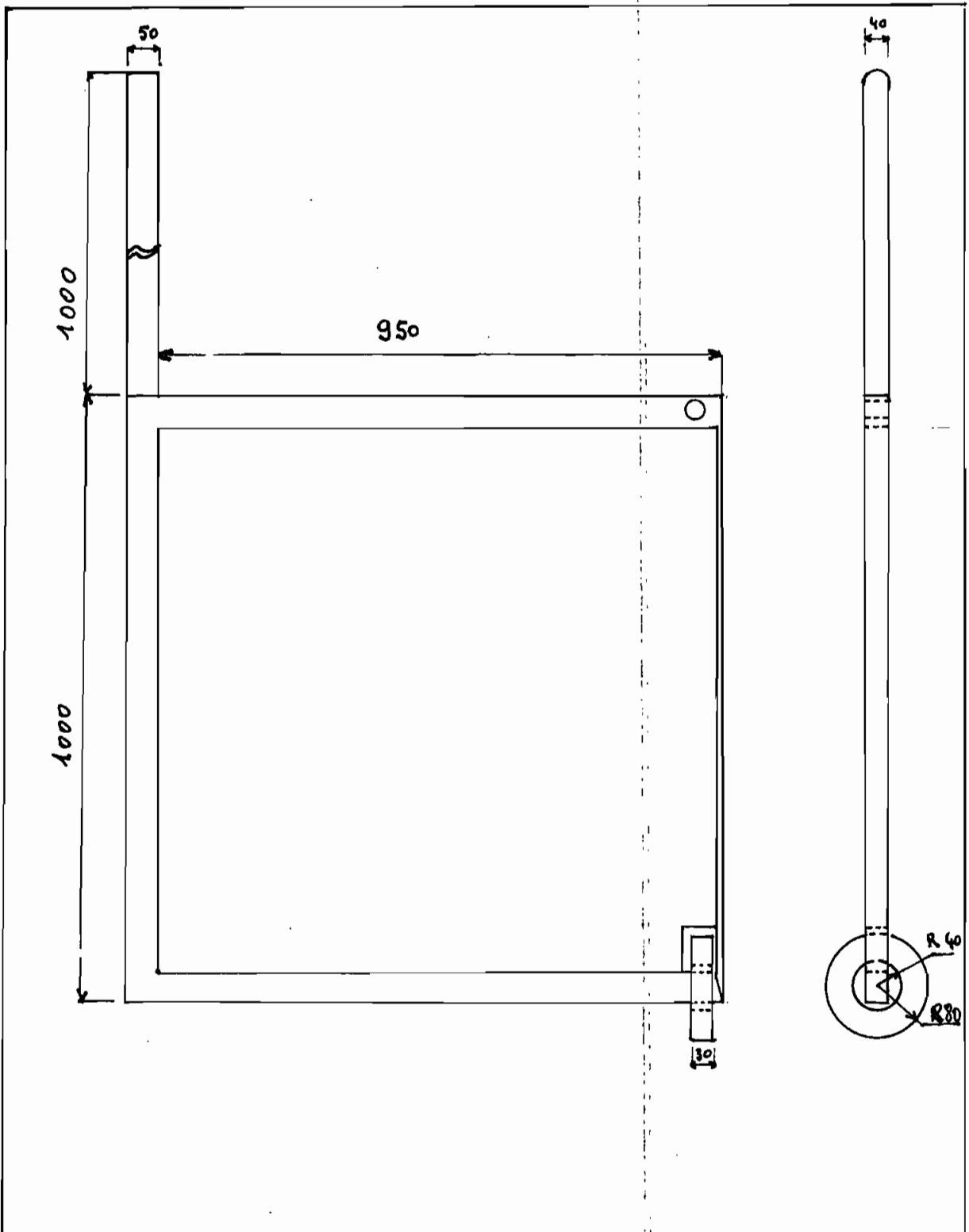
MOR FALL 516

ech: 1/10

roulement à bille à contact angulaire (charge axiale + radiale) $d_m = 80\text{mm}$



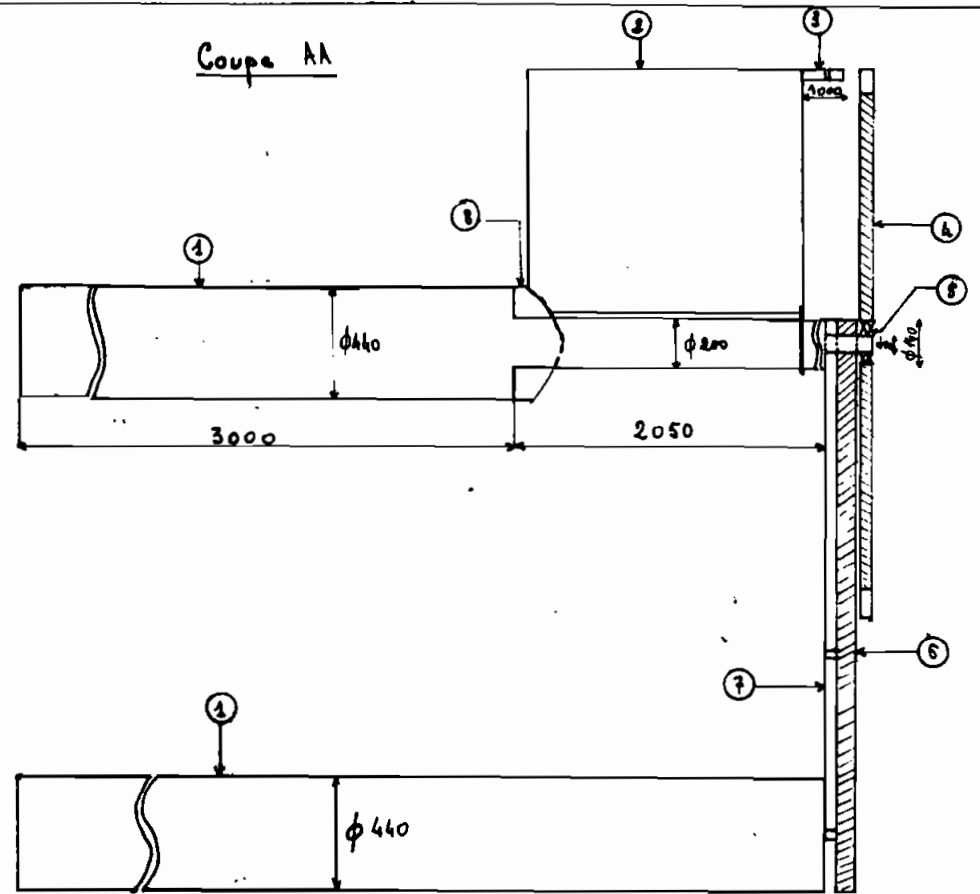
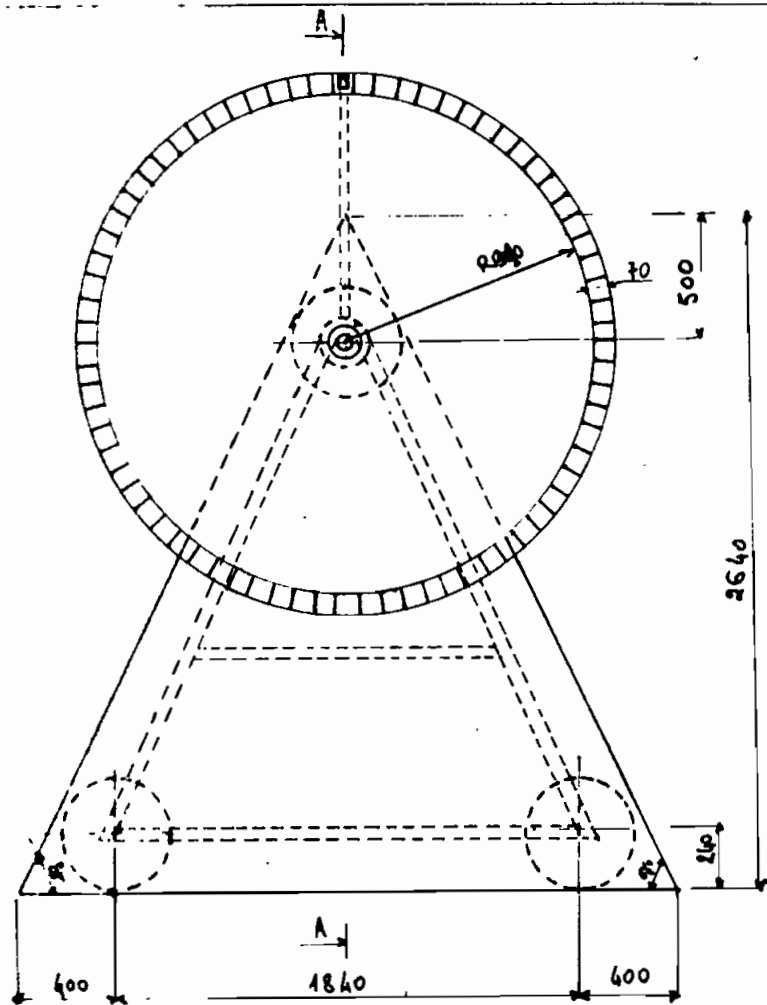
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES		Poteau
Projet de fin d'études 85-87		Plan 2
<u>MOR</u>	<u>FALL</u>	<u>M^{le} 516</u>
		Date : 20-5-87
		échelle: 1/10



ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES	PLAQUE VERTICALE
	Plan 2
MOR FALL 516	Date : 20-5-87
	ech : 1/10

BIBLIOGRAPHIE

- * L'air comprimé par JEAN LEFEVRE , tome II
- * Énergétique et Turbomachines par R. BIDAARD et J. BONNIN
- * Shore Protection Manual par Coastal Engineering Research Center (C.E.R.C) US ARMY CORPS OF ENGINEERS, volume II
- * la houle et son action sur les côtes et les ouvrages côtiers
- * Water wave Mechanics for Engineers and Scientists par Robert G. JEAN et Robert A. DALRYMPLE
- * Fluid dynamics par G. K. BATCHELOR
- * Hydro-dynamics in ship design by HAROLD E. SAUNDERS (T.S.N.A.A.M.E.) Vol I et Vol II.



8	collier	beton
7	armatures	Acier
6	plateau support	bois
5	2 roulements à bille 7816 B	

4	roue horizontale	Acier
3	doigt	Acier
4	plaque verticale	bois
1	2 poteaux	beton armé.
N°.	Designation	Matériaux
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIES Projet de fin d'études		SYSTEME A PLAQUE VERTICALE
MOR FALL M ^{le} 516		Ech 1/20 date 20-5-87
		Plan A