

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 ET REALISATION D'UNE
 PIROGUE EN FERROCIMENT

(PHASE I)

GC.0276

DATE : JUIN 1986

AUTEUR : ISSA SECK
DIRECTEUR : M.MOUSTAPHA NDIAYE
CO-DIRECTEUR :

A ma grand-mère

Aïssatou Diop

qui n'a ménagé aucun effort
pour ma réussite.

Sommaire

Ce projet de fin d'études qui s'intitule "Conception et Réalisation d'une Pirogue en Ferrociment - Phase I", comprend huit chapitres et des annexes.

• Dans le premier chapitre introduisant ce rapport, les raisons du projet et ses objectifs y sont présentés.

• Le deuxième chapitre s'intéresse à la définition d'une forme de careène et à des dimensions pour la pirogue projetée.

• Les troisième et quatrième chapitres sont consacrés respectivement aux analyses de stabilité et de structures du modèle considéré.

• Le choix d'une épaisseur de 26 mm de ferrociment est le résultat du cinquième chapitre réservé au design.

• Le sixième chapitre a permis d'isoler des modèles jugés optimum ~~des~~ points de vue stabilité, sécurité, confort et économie.

• Et c'est l'avant dernier chapitre qui fera l'objet d'une comparaison qualitative et économique entre la filière de construction en ferrociment et les autres déjà connues.

• Ce n'est qu'après avoir conclu cette première étude et émis des recommandations que nous avons complété ce rapport par des annexes aux différents chapitres cités plus haut.

Remerciements

J'adresse mes plus sincères remerciements au professeur Moustapha Ndiaye directeur de ce projet pour les conseils et l'appui qu'il a bien voulu mettre à ma disposition.

Je remercie également tous ceux qui, de près ou de loin, ont apporté une contribution essentielle pour la réussite de ce travail. Je fais allusion aux personnels du CAMP, du CAPAS, de la DOPM et surtout du centre de calcul de l'E.P.T.

Je saisis l'occasion pour remercier le professeur Marlene Savard et le technicien Gervais Leclair qui ont suivi avec patience, toutes les étapes critiques de ce projet.

J'adresse par ailleurs, ma profonde gratitude à tous mes collègues de l'E.P.T pour leur encouragement et leur contribution.

Table des Matières

	Pages
Sommaire	i
Remerciements	ii
Table des matières	iii
Liste des annexes	v
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	ix
Liste des programmes	x
Liste des plans	xi
<u>I. Introduction</u>	001
<u>II. Architecture de la pirogue</u>	
II.1. Forme de la pirogue	007
II.2. Dimensions principales	009
II.2.1. Longueur sans éperons (L _{nc})	009
II.2.2. Largeur au fort (B)	010
II.2.3. Creux sur quille (D)	011
II.3. Equations de la coque	012
<u>III. stabilité de la pirogue</u>	
III.1. Théorie de la stabilité des navires	013

	Pages
II.2. Methode d'exécution des calculs de stabilité	015
II.2.1 Aires des couples et des lignes d'eau - Volume	017
II.2.2 Coordonnées du centre de carène	018
II.2.3 Rayons Métacentriques	018
II.3 Applications numériques.	019
III.4 Flottabilité de la pirogue	021
<u>IV. Analyse structurale</u>	
IV.1. Pirogue en eau calme	027
IV.2. Pirogue sur Houle	033
IV.2.1. Caractéristiques de la Houle considéré	033
IV.2.2. Calcul des efforts sur houle	035
IV.3. Efforts de flexion resultants	037
<u>V. Design de la coque</u>	
V.1. Le Ferrociment.	040
V.1.1 Généralités	040
V.1.2 Constituants du ferrociment	041
V.1.3 Procédé de mise en oeuvre	043
V.1.4 Caractéristiques mécaniques	044
V.2. Modèle Mathématique de design	045
V.3. Choix de l'épaisseur de la coque	049
V.4. Résistance à l'effort tranchant	053

	Pages
<u>VI. Optimisation du modèle</u>	
VI.1 Objectifs	054
VI.2 Hypothèses des calculs de carence	055
VI.3 Recherche de l'optimum	055
<u>VII. Etude comparative</u>	
VII.1. Comparaison des caractéristiques	060
VII.2. Comparaison économique	061
<u>VIII. Conclusion et Recommandations</u>	
VIII.1 Conclusion	063
VIII.2 Recommandations	065
• <u>Annexes</u>	067
• <u>Bibliographie</u>	126

Liste des Annexes

	Pages
A.1 : Résultats intermédiaires et compléments aux calculs de carène	067
A.2 : Résultats intermédiaires relatifs aux calculs de structure	081
A.3 : Résultats intermédiaires relatifs à la recherche des optimum	093
A.4 : Détails du calcul des coûts	101
A.5 : Programmes et Résultats	105

Liste des tableaux

Tableaux	Libellés	Pages
III. 1	Devis des poids	024
III. 2	Feuille de stabilité	025
V. 1	Dimensions de sable utilisé	043
V. 2	Caractéristiques des variantes essayées	052
VI. 1	Modèles retenus comme optimum	058
VII. 1	Comparaison des caractéristiques des différents types de pirogues	060
VII. 2	Comparaison économique des différents types de pirogues	062
A. 1. 1	Devis du poids du corps de l'embarcation	071
A. 1. 2	Résultats des calculs de carène	078
A. 1. 3	Calcul des centres de carène	079
A. 2. 1	Répartition longitudinale des poids	081
A. 2. 2	Résultats de l'analyse en eau calme	082
A. 2. 3	Géométrie du pont d'étanchéité	094
A. 3. 1	Modèles de longueur 15 m	094
A. 3. 2	Modèles de longueur 16 m	095
A. 3. 3	Modèles de longueur 17 m	096
A. 3. 4	Modèles de longueur 18 m	097

A.3.5	Modèles de longueur 19m	098
A.3.6	Modèles de longueur 20m	098
A.3.7	Détermination des optimum	100

Liste des Programmes

Fichiers	Titres	Pages
gaal0.f	Résolution d'un système d'équations 10 par 10	105
gaal3.f	Calcul des efforts sur houle	109
gaal4.f	Calcul de moment résistant pour le choix d'une épaisseur de ferrociment	112
gaal2.f	Calculs de cavène	115
coor.f	Sous-routine de calcul des ordonnées des points extrêmes d'un maître-couple	125
simps.f	Sous-routine d'intégration numé- rique par la méthode de Simpson	125

liste des figures

figures	Libellés	Pages
III. 1	Section d'un navire déséquilibré	014
III. 2	Différentes vues d'un navire	016
III. 3	Surface de flottaison d'un navire	018
III. 4	Courbes de carène I	022
III. 5	Courbes de carène II	023
IV. 1	Poutre de bois en eau calme	028
IV. 2	Diagramme des efforts tranchants resultants	038
IV. 3	Diagramme des moments fléchissants resultants	039
A. 1. 1	Longueur de flottaison vs profondeur de carène	090
A. 2. 0	Différents modes de chargements de la pirogue	083
A. 2. 1	Diagramme des poids et poussées par mètre	084
A. 2. 2	Diagramme des charges par mètre	085
A. 2. 3	Diagramme des efforts tranchants en eau calme	086
A. 2. 4	Diagramme des moments fléchissants en eau calme	087
A. 2. 5	Diagramme des poussées exercées par la houle	088
A. 2. 6	Diagramme des efforts tranchants sur houle	089
A. 2. 7	Diagramme des moments fléchissants sur houle	090
A. 2. 8	Section centrale de la coque	092

liste des Plans

Plans	Libellés	Pages
P.01	Plan des formes	
P.02	Plan des aménagements	

Ch I Introduction

La conception de pirogues en ferrociment comme celle des pirogues faites avec des matériaux autres que le bois (contre-plaque marine, fibre de verre, etc...) a été initiée par le Centre d'Assistance pour la Motorisation des Pirogues (CAMP) au Sénégal.

Le CAMP est un organisme gouvernemental sénégalais chargé de l'administration d'un programme de motorisation des pirogues et de mise au point de nouvelles méthodes pour soutenir l'industrie de pêche artisanale dans son ensemble. Il est actuellement assisté par le Centre d'Assistance de la Pêche Artisanale Sénégalaise (CAPAS) et par la Direction de l'Océanographie et des Pêches Maritimes (DOPM) pour la gestion d'un important projet d'amélioration de la pirogue traditionnelle.

Ce dit projet a été suscité depuis 1976 suite au constat effectué sur les effets causés par les facteurs suivants :

La détérioration de la forêt sénégalaise

En considérant le bois utilisé pour la fabrication des pirogues sénégalaises qui sont généralement le fromager, le caïcedrat, le tali et l'iroko, on perçoit facilement que la plus grande partie du patrimoine forestier sénégalais est en voie de disparition. Or, le Sénégal, pays sahélien, est actuellement confronté aux nombreuses difficultés engendrées par la désertification. Et pour limiter le sinistre, une grande politique de reconstitution des forêts et d'interdiction des coupes, est actuellement engagée par le gouvernement du Sénégal.

L'inadaptation de la pirogue artisanale aux nouvelles exigences de la production

Il y a 15 à 20 ans de cela, que le pêcheur artisanal n'a nullement éprouvé la nécessité de changement aussi bien de son engin que de ses moyens de pêche. D'un côté la production était assez aisée dû au fait que les zones de pêche étaient très proches et assez proliférantes. D'un autre côté, la demande était limitée à cause du manque d'infrastructures de conservation et d'évacuation de la capture à l'intérieur du pays. Afin de rester rentable, le

pêcheur devrait conjuguer sa production avec ses possibilités d'écoulement.

Mais actuellement, par le concours de circonstances économiques, sociales et biologiques, la pêche artisanale vit un autre aspect. Le poisson se fait rare, les zones de pêche s'éloignent de plus en plus et les frais de marée s'alourdissent d'avantage.

Le pêcheur, condamné donc à aller en haute mer avec une pirogue présentant des insuffisances telles que le manque d'étanchéité, de stabilité et de résistance mécanique toutes imputables à sa propre technologie de construction, constate sa sécurité compromise. Constatant aussi qu'une telle pirogue ne peut rester opérationnelle dans une mer de barre qu'avec un entretien constant par conséquent onéreux, les pêcheurs artisanaux n'ont pas attendu longtemps pour adopter la proposition visant à remplacer leur embarcation.

Cette proposition a émané du plan d'action de la pêche sénégalaise qui précise (19):

- Qu'il s'agit bien d'une amélioration de la pirogue existante et non de son remplacement par un autre type d'embarcation.

- Que la conception améliorée doit permettre de meilleures conditions de sécurité et de confort pour l'équipage.
- Qu'elle doit permettre de plus une autonomie d'au moins 21 jours.
- Que la capacité doit être augmentée jusqu'à 2 tonnes environ.
- Que l'aménagement intérieur doit prévoir des compartiments protégés pour l'utilisation de la glace à la conservation des poissons.
- Que la construction doit permettre l'installation éventuelle d'un moteur diesel fixe.

Les principaux points du grand projet d'amélioration de la pirogue traditionnelle sont donc ainsi libellés. Ce projet ouvert au monde entier, a connu la participation des plusieurs firmes nationales et étrangères et organismes internationaux:

- Dacar. Marine (1977)
Construction d'un Doris en contreplaqué marine.
- F.A.O * (1978)
Pirogue en résine de polyester avec fibres de verre.
- Peyrissac (1979)
Pirogue Yamaha en fibre de verre.

* Food and Agriculture Organization.

- CIDEPA* (1980)

Construction de 20 pirogues en ferrociment.

C'est alors dans ce cadre de contribution à l'amélioration des conditions du pêcheur artisanal que l'École Polytechnique a ouvert sous forme de projets de fin d'études, le projet intitulé 'Conception et réalisation d'une pirogue en ferrociment'

Ce présent document constitue la première phase qui se fixe comme objectif:

- Concevoir une pirogue monobloc destinée à la pêche avec ligne, ayant la forme traditionnelle mais plus compatible avec le confort du personnel et la stabilité; ceci par un choix judicieux de la forme de carène
- Assurer une autonomie de 24 jours pour augmenter la rentabilité de l'engin en lui accordant ainsi un plus long temps de pêche et des possibilités d'accès moins limitées.
- Améliorer la capacité par un bon choix des dimensions (longueur, largeur, profondeur)
- Assurer une plus grande sécurité par l'adoption d'un pont d'étanchéité augmentant ainsi la flottabilité de l'engin.

* Centre International pour le Développement de la Pêche et de l'Aquaculture de Paris.

- Assurer une bonne conservation à bord de la capture par l'installation de cales isothermes.
- Assurer une plus grande résistance mécanique et une parfaite étanchéité par le choix du ferrociment qui offre des principes de construction, d'entretien et de durabilité plus satisfaisants.

Nous spécifions que notre pirogue projetée ayant un poids estimé à plus de 2 tonnes, adoptera comme mode de stationnement, celui consistant à rester en flot en permanence derrière la barre. Elle ne sera remontée sur plage qu'exceptionnellement pour subir des entretiens (19).

Une deuxième phase devra faire l'objet d'expérimentations sur modèles réduits afin d'apporter les corrections nécessaires aux modèles qui seront proposés par ce document. Et une troisième et dernière phase devra finaliser l'étude ainsi entamée en s'intéressant à la mise en pratique des résultats des deux premières phases.



Ch. II Architecture de la pirogue

II.1 forme de la pirogue

Conformément aux spécifications des responsables du projet en l'occurrence le CAMP, le CAPAS et la DOPM, notre pirogue conservera l'architecture de la pirogue traditionnelle qui selon eux, est très bien adaptée à la pêche artisanale sur nos côtes. Notre embarcation en ferrociment sera donc composée essentiellement de deux parties :

- Une quille monobloc constitue le corps.
- deux éperons terminent l'avant et l'arrière du corps.

Restant attachés à notre souci majeur d'acceptabilité (de ne pas se heurter à l'adaptabilité du pêcheur), nous avons porté notre choix sur des maître-couples en forme d'ellipse, une ligne de quille parabolique et des bords supérieurs (livets) paraboliques. Le plan des formes (Plan n° P01) fait apparaître nettement le degré de conformisme souligné ci-haut.

Mais vu l'importance de la forme de la carène dans les questions de stabilité, de portance et de capacité, nous ne pourrions pas faire les critères de choix empruntés durant cette phase capitale.

Selon G.P. Weiblum (8) un architecte naval californien, l'hydrodynamique d'une forme est essentiellement liée à l'état de balancement des surfaces. Une courbe est dite lisse de surface si la dérivée première est continue et si elle présente un petit nombre de points d'inflexion. Notre objectif serait alors d'obtenir des courbes qui approchent le mieux la forme de la pirogue traditionnelle tout en essayant de rejoindre les critères de Weiblum. Il faut ajouter que l'ellipse et la parabole sont des formes recommandées par D.W. Taylor comme supports des surfaces de carène (8).

Notre jugement de l'esthétique de la pirogue a été parfois critère de maintien ou de rejet d'une forme de carène plutôt qu'une autre.

II.2 Dimensions principales.

II.2.1 Longueur sans éperons (L_{SE})

Cette dimension est fonction des possibilités d'aménagements de la pirogue et encore de son comportement en mer (3).

- Les possibilités d'aménagement ont exigé une longueur d'au moins 19,15 m (voir Plan P02).

2 x 1 m = 2 m → Caissons de flottabilité

2 x 2,5 m = 5 m → tente

2 x 2 m = 4 m → cales isothermes

1,25 m → moteur

0,20 m → soute à essence

0,40 m → Compartiment pour matériel de pêche

0,30 m → cale pour appât

4 x 1,5 m = 6 m → espace pour 10 pêcheurs

• Les mouvements de tangage et de pilonnement d'une embarcation naviguant parallèlement à la direction de propagation d'une houle de longueur d'onde λ , sont maximum lorsque (3)

$$0,8 < \frac{\lambda}{L_{SE}} < 0,2$$

Or considérant la longueur enregistrée comme moyenne en Atlantique Sud qui est $130 < \lambda < 140$ m (1),

on obtient pour une longueur $L_{SE} = 20$ m, $6,5 < \frac{\lambda}{L_{SE}} < 7,0$.

Ce qui semble acceptable.

II. 2.2 Largeur au fort (B)

Elle est aussi fonction des possibilités d'aménagements transversales mais surtout de la stabilité transversale de l'embarcation.

• la disposition de cinq (5) matelas sur la largeur de la tente exige $5 \times 1,30\text{m} = 6,50\text{m}$.

• l'architecte naval Chapelle (*) recommande le rapport B/L_{SE} situé entre 0,20 et 0,33

pour une pirogue de barre (4). Mais vu que le couple de redressement est fonction du moment d'inertie de la surface de flottaison qui est proportionnelle au cube de la largeur (3), la stabilité de la pirogue est maximisée avec une largeur au fort $B = 0,33 \times L_{SE}$

$$\Rightarrow B = 6,600\text{m}.$$

• Selon l'architecte naval Lindsay Lord (7), le rapport B/L_{SE} est fondamental en tant que facteur de contrôle de la performance de la coque. Il serait également une mesure de la puissance, du potentiel de portance, de la résistance à la marche, de la stabilité et d'autres qualités qui exigent un bon comportement en mer. Des bargues ayant un rapport de 0,2 se sont montrées insatisfaisantes comparées à d'autres plus larges jusqu'à un rapport de 0,4.

(*) H.I. Chapelle, comments on hull design of fishing boats, pp 460-467.

La résistance est plus élevée à toutes les vitesses, la portance faible avec une pauvre stabilité et le moment d'inertie longitudinal en excès.

Toutes ces caractéristiques-ci, montrent une amélioration proportionnelle avec des fonds d'avantage plus larges jusqu'au rapport de 0,4. auquel point la résistance due aux vagues cesse de décliner et commence à augmenter avec un rapport plus élevé. Cependant à partir de ces résultats obtenus par tests sur modèles réduits, Lindsay recommande la valeur de 0,35 comme optimum de design.

Par analyse donc de ces trois propositions, nous avons retenu le rapport $B/L_{SE} = 0,33$

$$\underline{B = 6,600 \text{ m}}$$

II. 2.3 Creux sur quille (D)

La recommandation de Chapelle (4) pour cette dimension est un rapport D/L_{SE} situé entre $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{12}$.

Mais une prudence notable doit être observée pour cette dimension car une augmentation du creux est défavorable à une bonne stabilité dû au fait qu'il élève la position du centre de gravité alors qu'une diminution du creux a une influence néfaste aussi sur la réserve

de stabilité lorsqu'on considère une profondeur de carène constante (3).

Un choix sécuritaire pourrait être un rapport $D/L_{SE} = 10$ tel que confirmé par le projet 'Doris de Dakar-Manne' qui aspire au même objectif qui est celui d'une amélioration de la pirogue traditionnelle sénégalaise.

$$D/L_{SE} = 0,10 \quad \Rightarrow \quad \underline{D = 2,000 \text{ m}}$$

II.3 Equations de la coque

Les bords supérieurs

$$z_1(x_0) = 0,1 + 0,45825 \cdot x_0^2 - 6,60494 \cdot x_0^4 + 82,17582 \cdot x_0^6 - 429,89418 \cdot x_0^8 + 771,60494 \cdot x_0^{10} \quad (-0,5 \leq x_0 \leq 0,5)$$

$$y_1(x_0) = 0,164 - 0,32824 \cdot x_0^2 - 8,41953 \cdot x_0^4 + 131,99074 \cdot x_0^6 - 780,42328 \cdot x_0^8 + 1477,07231 \cdot x_0^{10}$$

La ligne de quille

$$z_2(x_0) = 0,09658 \cdot x_0^2 + 0,32215 \cdot x_0^4 + 12,52315 \cdot x_0^6 - 57,87037 \cdot x_0^8 + 77,16049 \cdot x_0^{10} \quad (-0,62 \leq x_0 \leq 0,62)$$

Equation générale

$$z_3(x_0, y_0) = [z_2(x_0) - z_1(x_0)] \cdot [1 - (y_0/y_1(x_0))^2]^{0,5} + z_1(x_0)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -0,5 \leq x_0 \leq 0,5 \\ -y_1(x_0) \leq y_0 \leq y_1(x_0) \end{array} \right.$$

avec

$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 = x/L_{SE} \\ y_0 = y/L_{SE} \end{array} \right.$$

et

$$\left\{ \begin{array}{l} z_1(x_0) = \frac{z_1(x)}{L_{SE}} \\ z_2(x_0) = \frac{z_2(x)}{L_{SE}} \\ y_1(x_0) = \frac{y_1(x)}{L_{SE}} \\ z_3(x_0, y_0) = \frac{z_3(x, y)}{L_{SE}} \end{array} \right.$$

(x, y, z_1, z_2, y_1 et z_3 étant les variables en vraie grandeur)

Ch. III Stabilité de la pirogue

III.1 Théorie de la stabilité des navires

Un corps flottant dans un fluide statique est équilibré sous l'action de son poids \vec{P} et de la poussée d'Archimède \vec{R} situés sur la même verticale. Cet équilibre naturellement stable est perturbé par un petit déplacement qui peut être linéaire ou rotatif. Mais dû à l'existence d'une stabilité linéaire et d'une stabilité rotationnelle de ce corps, il se produit à chaque fois une résultante tenant à retourner le corps dans sa position initiale. Dans le cas de la stabilité rotationnelle qui semble plus critique, des méthodes ont été développées permettant ainsi de mesurer le couple stabilisateur M correspondant à un déplacement angulaire θ . En considérant la figure III.1 ci-dessous, on établit aisément que

$$M = P \cdot GZ = P \cdot MG \cdot \sin\theta = P \cdot (R-a) \cdot \sin\theta$$

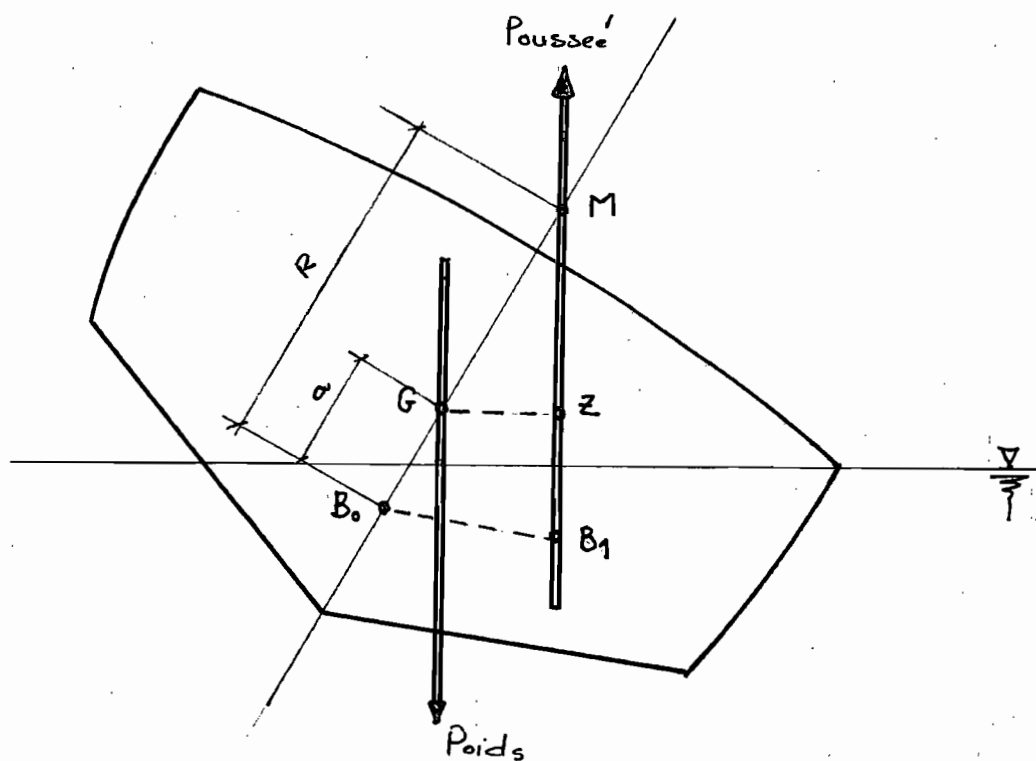
Si G est au dessous de M (c'est à dire $R-a > 0$), M tend effectivement à annuler θ et à redresser l'embarcation.

Si G est au dessus de M (c'est à dire $R-a < 0$),

M tend à augmenter θ . On le qualifie alors plus exactement de couple de chavirement.

Donc en résumé, on peut dire que la condition de stabilité se limite à :

- $R - a > 0$, ou encore
- le centre de gravité situé au dessous du métacentre relatif à la direction d'inclinaison.



-figure III.1 : Section d'un navire déséquilibré

- $P(R-a)$ est appelée module de stabilité initial relatif à une direction d'inclinaison.
- PR est le module de stabilité de forme; il ne dépend que des formes de l'embarcation
car $R = \frac{I}{V}$.
- $-Pa$ est le module de stabilité de poids; il dépend de la position relative de B_0 et G .

Remarquons immédiatement que les flottaisons larges donnent une excellente stabilité transversale (I grand).
Remarquons de même que les poids placés très bas donnent, par leur action sur la position de G une excellente stabilité.

III. 2 Méthode d'exécution des calculs de stabilité

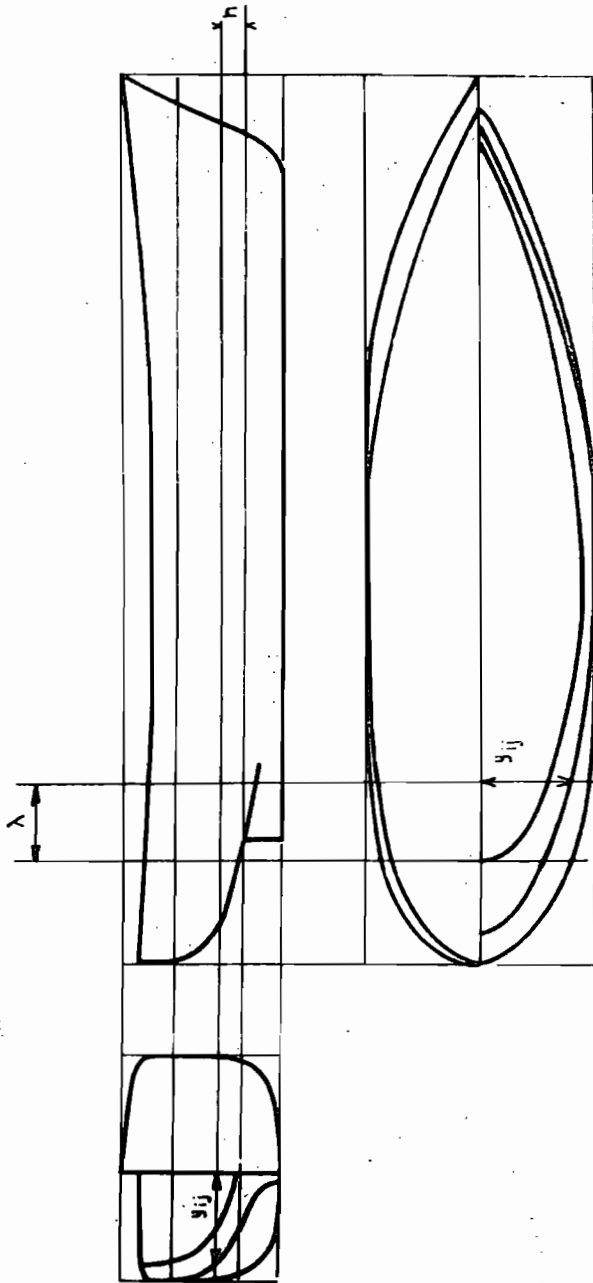
Dans ce paragraphe, les calculs seront faits en considérant seulement l'équilibre droit c'est à dire une position de la pirogue telle que le plan d'inclinaison transversal corresponde au plan de symétrie transversal (oyz).

Nous spécifions que dans toute la suite de ce chapitre, nous raisonnerons comme si toutes les intégrations utilisent la méthode de Simpson (Annexe: A1) avec des intervalles égaux.

lorsqu'il n'y aura pas d'ambiguïté, nous

abrégeons par $\frac{h}{3} \sum_{i=0}^n y_i$ l'expression

$$S_6 = \frac{h}{3} \cdot \left[y_0 + 4 \cdot \sum_{i=0}^{2n-1} y_{imp} + 2 \cdot \sum_{i=0}^{2n-1} y_{pair} + y_{2n} \right]$$



— figure III.2 : Différentes vues d'un navire

Nous considérons disponibles les équations nécessaires pour la détermination de la demi ouverture y_{ij} à un point se situant à l'abscisse $x = i \cdot d$ et à la hauteur sur oz $z = j \cdot h$

III.2.1 Arres des couples et des lignes d'eau - Volume de carène

Considérons une flottaison donnée $p_n = n \cdot h$.

On peut obtenir par intégration :

- demi-aire du couple i limité à la ligne d'eau n

$$\frac{1}{2} A_{in} = \frac{h_i}{3} \cdot \sum_{j=0}^{10} y_{ij} \quad \left(h_i = \frac{z_{ni} - z_{0i}}{10} \right)$$

- quart de l'aire de la ligne d'eau j

$$\frac{1}{4} S_j = \frac{d_j}{3} \sum_{i=0}^{10} y_{ij} \quad \left(d_j = \frac{L_{wlj}}{20} \right)$$

- L'intégration des courbes des aires des couples ou des aires des lignes d'eau, donne le volume de carène correspondant à cette flottaison.

$$S_j = 4 \cdot \frac{d_j}{3} \cdot \sum_{i=0}^{10} y_{ij}$$

$$* \quad \nabla_n = 2 \cdot \frac{d_j}{3} \cdot \sum_{i=0}^{10} A_{in}$$

$$\text{ou } \nabla_n = 4 \cdot \frac{h_i}{3} \cdot \sum_{j=0}^{10} S_j$$

Pour des raisons de précision, cette valeur a été souvent obtenue avec une autre méthode.

* formule utilisée dans le programme de l'Annexe A.V.

III.2.2 Coordonnées du centre de carène

- Avec l'existence de deux plans de symétrie (plans xoz et $yozy$), la position du centre de carène suivant les axes ox et oy coïncide avec le zéro ($x_{cc} = y_{cc} = 0$).

- hauteur du centre de carène.

Le moment statique du plan d'eau j par rapport à la OH (voir plan n° P01) est :

$$M_{OH}(s_j) = j \cdot \frac{\rho h}{10} \cdot s_j$$

$$z_{cc} = \frac{h_j}{3} \cdot \sum_{i=0}^{10} M_{OH}(A_i n) \quad \left(h_j = \frac{\rho h}{10} \right)$$

III.2.3 Rayons métacentriques.

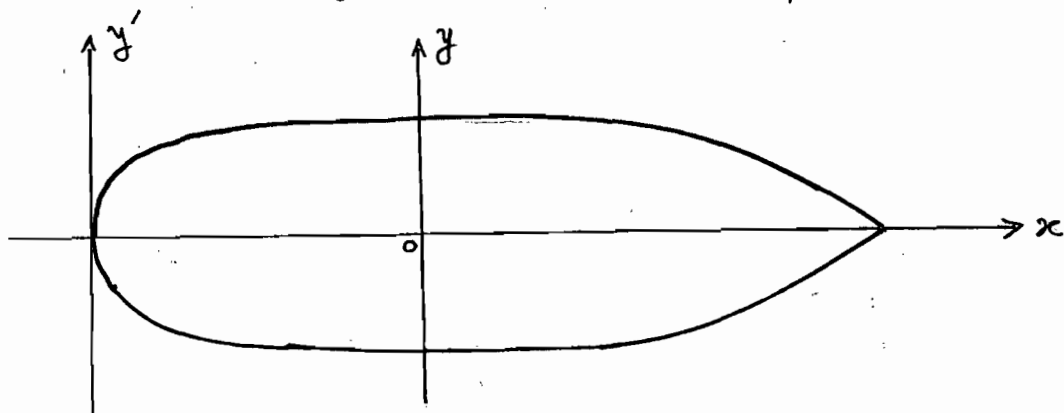


figure III.3 : Surface de flottaison d'un navire

- a/ Moment d'inertie transversal (par rapport à ox).

$$(dI_x)_j = \frac{1}{12} \cdot d \cdot y_{ij}^3$$

$$(I_{ox})_j = \frac{1}{12} \cdot \frac{d}{3} \cdot \sum_{i=0}^{20} y_{ij}^3 = \frac{d}{36} \cdot \sum_{i=0}^{20} y_{ij}^3$$

b/ Moment d'inertie longitudinal (par rapport à oy)

$$(d\bar{I}_y)_j = x^2 \cdot dA$$

$$= (id)^2 \cdot dy_{ij} = d^3 \cdot i^2 \cdot y_{ij}$$

$$(\bar{I}_{oy})_j = \bar{I}_{y'} - s_j \cdot d^2$$

$$\Rightarrow (\bar{I}_{oy})_j = \frac{d^3}{3} \cdot \sum_{i=0}^{20} i^2 \cdot y_{ij} - s_j \cdot \left(\frac{Lw_i}{2}\right)^2$$

c/ rayon métacentrique transversal

$$(R_x)_n = \frac{(\bar{I}_{ox})_n}{\nabla_n}$$

d/ rayon métacentrique longitudinal

$$(R_y)_n = \frac{(\bar{I}_{oy})_n}{\nabla_n}$$

III.3. Applications numériques.

A la base de cette méthode, le tableau A.1.2 a été mis au point. Mais afin de mieux utiliser ces résultats, les figures III.4 et III.5 ont été élaborées.

Le tableau III.2 consigne les différents points de la stabilité longitudinale et de la stabilité transversale.

Ces résultats traduisent une bonne stabilité de la pirogue aussi bien transversale que longitudinale.

$$(R_x - a > 0 \quad \text{et} \quad R_y - a > 0)$$

Mais il faut souligner que cette stabilité transversale, caractérisée par un bras de levier initial de redressement ($3,548\text{m} > R_x - a > 2,996\text{m}$) très important si on sait que la limite supérieure recommandée est de $3\text{m}^{(*)}$, signifie un certain inconfort. Elle traduit ainsi une période d'oscillation pour la pirogue, très faible c'est à dire une pirogue qui a des redressements brusques.

Pendant les moments unitaires ci-après sont également utilisés pour caractériser les positions d'équilibre de la pirogue.

- Moment nécessaire pour produire un gîte de 1 degré'

$$m_t \cong \Delta \cdot (R_x - a) \cdot \frac{\pi}{180} \cong \frac{\Delta \cdot (R_x - a)}{57}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} m_t (\text{léger}) = \frac{17300 \times 3,548}{57} = 1076,849 \text{ kgf} \cdot \text{m} \\ m_t (\text{en charge}) = \frac{31350 \times 2,996}{57} = 1647,800 \text{ kgf} \cdot \text{m} \end{cases}$$

- Moment nécessaire pour produire une différence de 1cm
c'est-à-dire une inclinaison longitudinale telle que

$$\tan \theta = \frac{1}{100 \cdot L_{wl}} \cong \theta$$

$$m_L = \frac{\Delta \cdot (R_y - a)}{100 \cdot L_{wl}}$$

(*) J. Chapon, Travaux Maritimes, tome I, Editions Eyrolles, pp 97.

$$\left\{ \begin{array}{l} m_L (\text{léger}) = \frac{17.200 \times 34,707}{100 \times 14,16} = 424,033 \text{ kgf. m} \\ m_L (\text{en charge}) = \frac{31.350 \times 28,866}{100 \times 15,68} = 577,136 \text{ kgf. m} \end{array} \right.$$

III.4 Flottabilité de la pirogue.

Une pirogue est dite insubmersible si elle ne coule pas même remplie d'eau. Elle doit être toujours en mesure de rester flottante.

Considérant les grands risques d'avarie des embarcations fréquentant des côtes comme les nôtres, l'insubmersibilité doit nécessairement compléter la conception de nos pirogues. C'est pour cette fin que le plan P02 a été conçu avec des compartiments entièrement étanches pour servir de réserve de flottabilité.

D'après le principe d'Archimède, lorsqu'une pirogue est immergée, elle reçoit une poussée verticale dirigée vers le haut qui est égale au poids du volume d'eau déplacé par les compartiments :

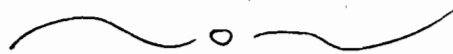
$$P_{\text{eau}} = 1,026 \times 41,495 = 42,574 \text{ tonnes}$$

Le poids de l'embarcation en charge étant :

$$P_{\text{pir}} = 31,350 \text{ tonnes}$$

La poussée résultante est $P_r = 42,574 - 31,350 = 11,224 \text{ tonnes} > 0$

La pirogue est donc bien insubmersible



- figure III. 4 Courbes de carène I

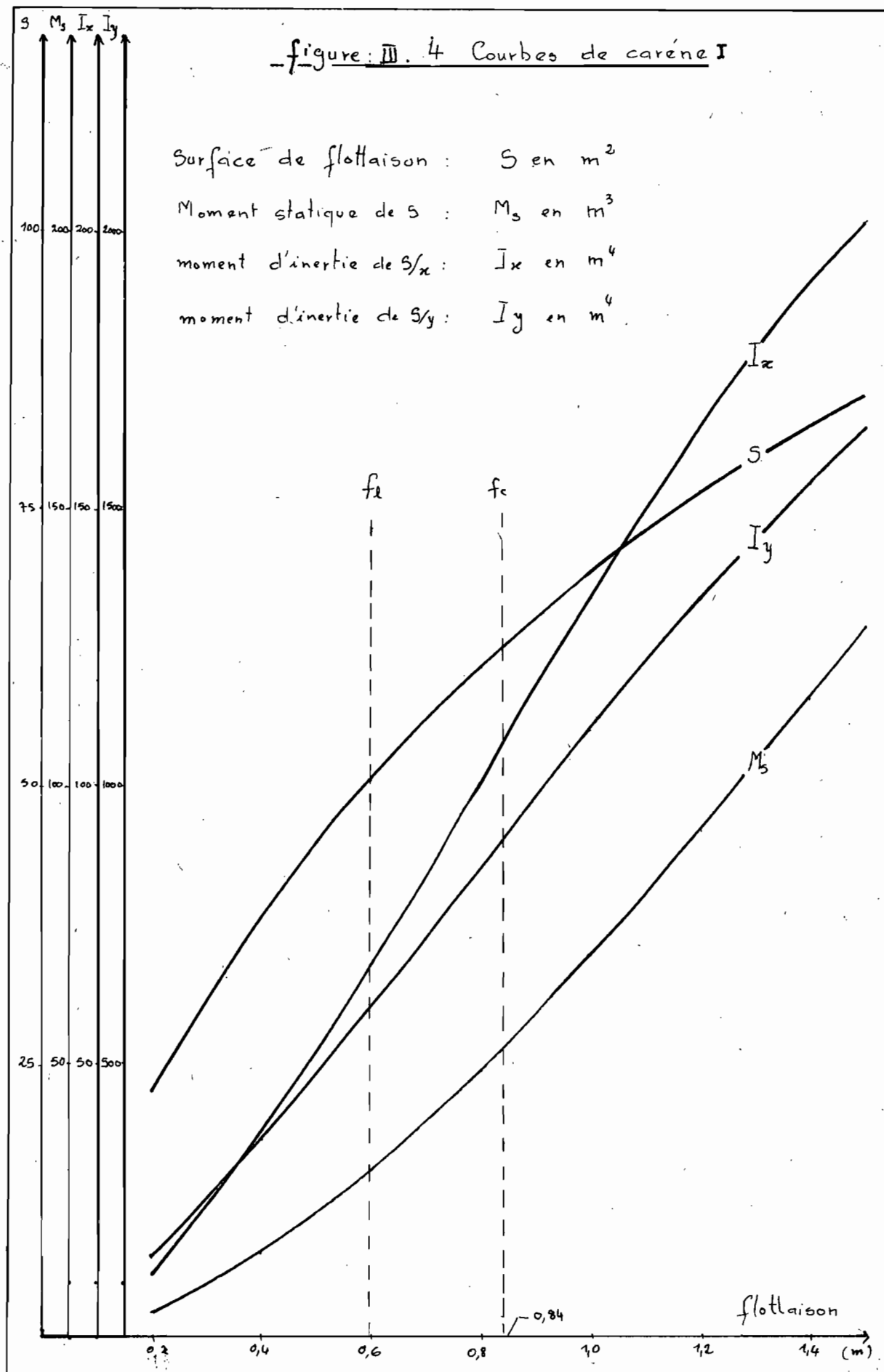


figure III.5 Courbes de Carène II

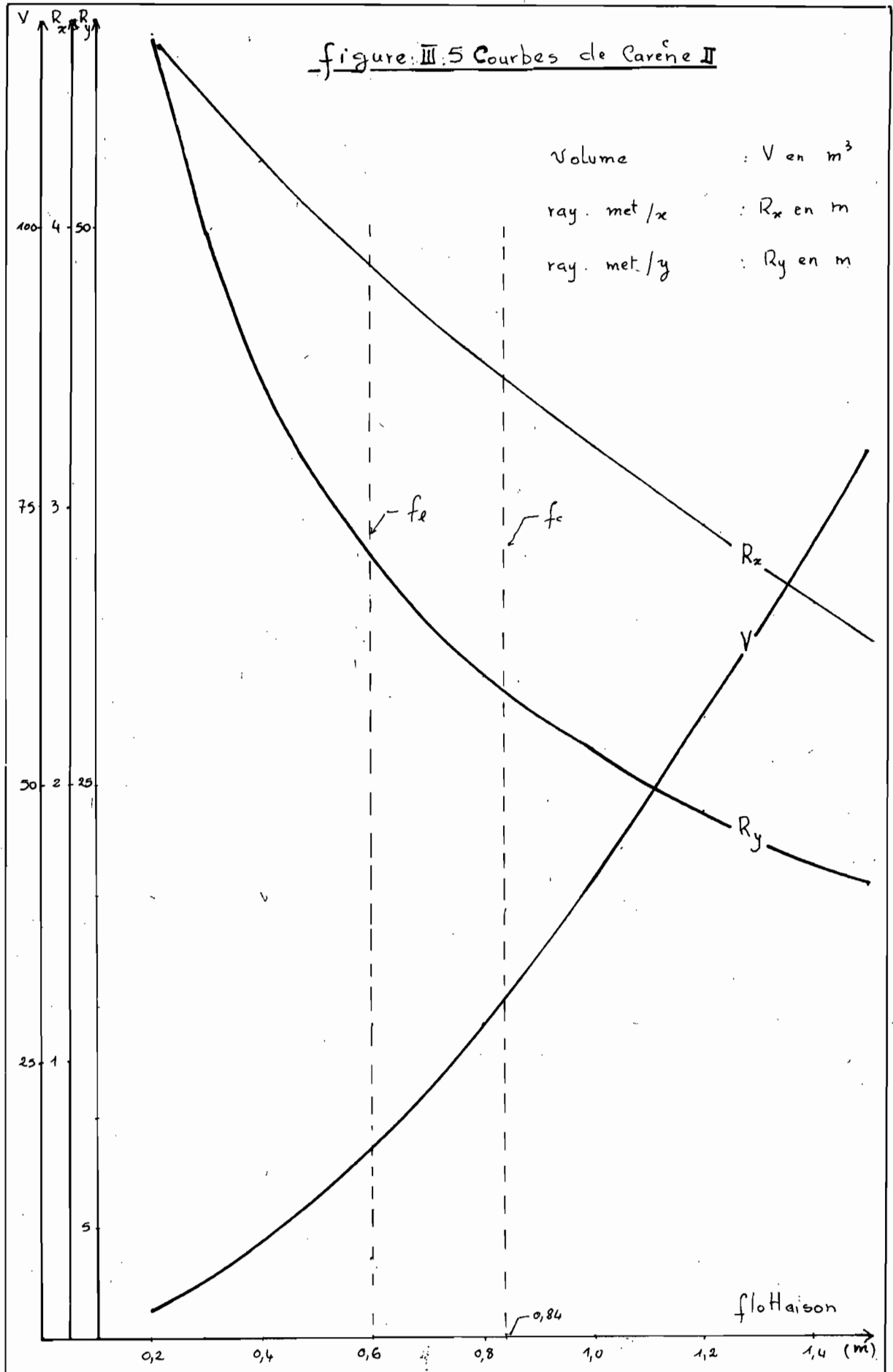


Tableau III.1* Devis des poids

Postes	Libellés	Pi (tonnes)	Zgi (m)
Poids morts		17,300	0,984
1	Corps de l'embarcation	8,810	1,022
2	deux éperons	0,380	2,684
3	cloisons verticales	1,830	0,583
4	autres cloisons	0,190	2,785
5	deux caisses isothermes	1,000	0,438
6	Moteur de propulsion	0,300	1,750
7	Tente	0,200	2,424
8	Soute à essence	0,170	0,543
9	Matériel de Navigation	1,100	0,500
10	Caisse pour Appat	0,050	0,551
11	Pout d'étanchéité	3,310	1,000
Surcharges		14,050	0,371
12	Capture (poissons)	6,000	0,438
13	Carburant	0,300	0,543
14	Matériel des pêcheurs	0,250	1,927
15	Appat	0,200	0,551
16	Matériel de cuisine, couchage et provisions	6,100	0,274
17	Équipage (personnes)	1,200	1,500

* Pour les calculs détaillés, se référer à l'Annexe A.1

Tableau III. 2 feuille de stabilité'

<u>Deplacements</u>	lége	en charge
<u>Caractéristiques</u> <u>principales</u> :		
Δ (t)	17,300	31,350
∇ (m ³)	16,860	30,560
D_{wl} (m)	0,590	0,840
A_w (m ²)	50,450	62,500
z_{cc} (m)	0,709	0,984
z_{cc} (m)	0,398	0,500
a (m)	0,311	0,484
<u>stabilité'</u> <u>longitudinale</u> :		
I_y (m ⁴)	610,239	900,000
$R_y = \frac{I_y}{\nabla}$ (m)	35,018	29,350
$R_y - a$ (m)	34,707	28,866
<u>stabilité'</u> <u>transversale</u> :		
I_x (m ⁴)	67,239	106,500
$R_x = \frac{I_x}{\nabla}$ (m)	3,869	3,480
$R_x - a$ (m)	3,548	2,996

Ch. IV Analyse Structurale

La structure de l'embarcation à analyser est constituée par tous les matériaux devant résister à l'ensemble des efforts générés par les charges susceptibles de solliciter la pirogue durant sa vie. Pour estimer ces efforts, plusieurs méthodes ont été développées dont celle des éléments finis et celle des coques qui étant plus précises, restent souvent plus onéreuses. Avec la méthode dite de la 'Poutre-Navire', développée par des ingénieurs navals, et qui est la plus utilisée actuellement, des résultats bien acceptables sont obtenus avec le minimum d'effort.

Dans le cas particulier de notre pirogue de pêche, les seuls efforts qui feront l'objet de cette analyse sont de deux types :

- Des efforts statiques, c'est à dire constants et lentement variables (pirogue en eau calme) et ne dépassant pas plusieurs milliers de cycles au cours de l'existence de la pirogue. On peut citer les poids et les réactions de l'eau, les forces d'inertie étant négligées (10).

- Des efforts cycliques dont l'amplitude varie périodiquement entre un maximum et un minimum (pirogue sur houle). Sont considérés ainsi tous les efforts atteignant plusieurs millions de cycles.

d'analyse de la répartition des efforts d'ensemble a révélé les sollicitations suivantes:

- la flexion longitudinale
- la flexion transversale
- la torsion d'axe longitudinale.

Ces deux derniers cas ne feront pas l'objet d'étude détaillée dans ce projet car considérés généralement très faibles devant le premier (10).

IV.1 Pirogue en eau calme

Il faut tout d'abord préciser que pour la pirogue en marche en eau calme, il y aurait lieu, en toute rigueur, de tenir compte des forces d'inertie, mais pratiquement, on peut admettre comme dans la plupart des cas, que les efforts diffèrent peu des efforts supportés par la pirogue immobile en eau calme (10). Nous nous limiterons à l'étude de la pirogue immobile.

Pour mieux illustrer la répartition longitudinale des efforts, nous considérons d'abord l'exemple

d'une poutre de bois, droite et homogène de section constante; flottant en eau calme.

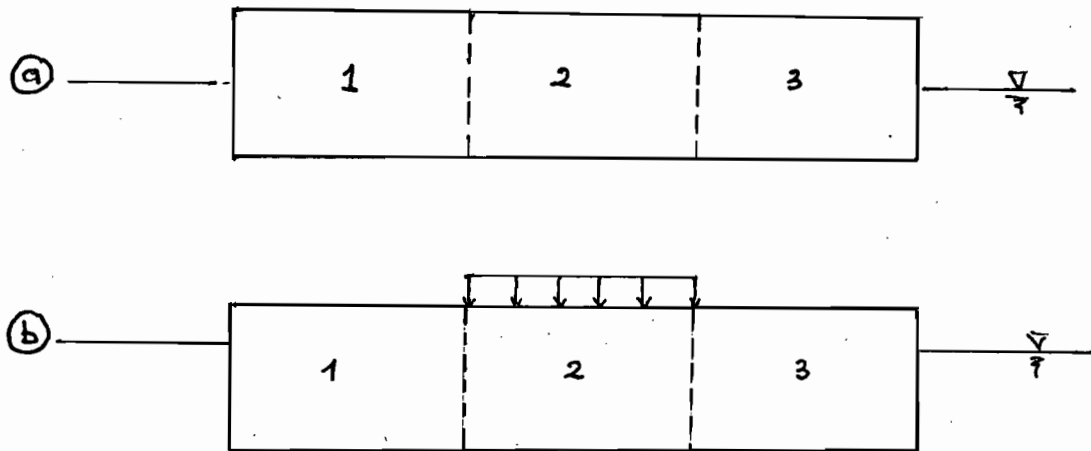


figure IV.1 : Poutre de bois en eau calme

Décomposons la poutre par la pensée en trois tranches.

Dans chaque tranche de la poutre non chargée, (fig. IV.1.a) le poids et la poussée s'équilibrent et l'ensemble de la poutre ne supporte aucun effort fléchissant réparti dans le plan longitudinal.

Dans le cas de la pirogue à section variable, l'ensemble des poids et l'ensemble des poussées s'équilibrent par le principe d'Archimède. Mais poids et poussées ne sont pas également répartis dans les différentes tranches. Ce qui occasionne une certaine répartition longitudinale

des efforts d'où la naissance de flexion longitudinale. Pour illustrer cela, continuons avec notre poutre de bois suivant la situation que montre la figure IV.1.b.

w (kg/m) : surcharge par unité de longueur

p (kg/m) : poids propre par unité de longueur

q_0 (kg/m) : poussée uniformément répartie sur toute la poutre.

d'équilibre de l'ensemble, résultat de l'application du principe d'Archimède, est exprimé par:

$$\frac{cw}{3} + p = q_0$$

Les poids et poussées sont répartis inégalement dans les tranches :

<u>tranche n°</u>	<u>poids</u>	<u>poussées</u>	<u>poids - poussées</u>
1	$p/3$	$w/3 + p/3$	$- w/3$
2	$p/3 + w/3$	$w/3 + p/3$	$+ 2w/3$
3	$p/3$	$w/3 + p/3$	$- w/3$

Cette répartition de la charge sur la poutre est à l'origine de la flexion longitudinale qui fera principalement l'objet de ce chapitre.

Pour revenir à notre pirogue, nous considérons une section courante placée à la longueur x .

Si $p(x)$ et $q_0(x)$ sont les poids et poussées par unité de longueur dans la section courante, l'effort de mise en charge d'une tranche dx est :

$$(p - q_0)dx$$

Le système des efforts internes sur cette section équivaut à :

- Un effort tranchant $T_0 = \int_0^x (p - q_0) dx$

- Un moment fléchissant $M_0 = - \int_0^x T_0(x) dx$

Pour notre cas particulier de la pirogue de pêche, la détermination de T_0 et M_0 est faite de la manière suivante.

o Comme le montre la figure A.2.0.a, nous avons décomposé la pirogue en 14 tranches suivant la longueur (de PPAR à PPAV).

o Nous considérons que le poids sur une tranche aussi bien que la poussée sur une tranche, est uniformément réparti sur celle-ci.

Nous avons tracé sur la figure A.2.1, la courbe

des poids (p) par unité de longueur, obtenue à partir de l'analyse des poids le long de la pirogue. Sur le même graphique, nous retrouverons la courbe des poussées (q_0) résultant du calcul des volumes de carène.

- Par différence des ordonnées, la courbe des charges ($p - q_0$) par unité de longueur est représentée sur la figure A.2.2
- Le tracé de la courbe des charges par mètre doit répondre aux conditions suivantes:
- Somme algébrique des aires rectangulaires du graphique nulle pour exprimer la condition d'équilibre entre déplacement et poids de la pirogue.
 - Somme algébrique des moments des aires rectangulaires par rapport à la PPAR nulle, condition qui exprime que le centre de poussée et le centre de gravité de la pirogue sont situés sur la même verticale.

Les deux conditions appliquées donnent: (voir A2)

$$- 9,64 + 9,64 = 0$$

$$\frac{0,92 (1,31 - 1,19)}{2 \times 9,64} = 0,043 \text{ m} = \Delta x$$

Cette différence se traduit dans la réalité par une variation d'assiette c'est à dire une inclinaison longitudinale.

$$\Delta z(\text{léger}) = \frac{0,043 \times 17300}{424,033} = 1,7 \text{ cm}$$

$$\Delta z(\text{en charge}) = \frac{0,043 \times 31350}{557,136} = 2,4 \text{ cm}$$

Ces variations d'assiette très faibles permettent d'analyser la pirogue comme droite c'est à dire avec assiette nulle.

- Par intégration graphique, de la courbe des charges par unité de longueur, nous avons obtenu la courbe des efforts tranchants (T_0) qui est représentée à la figure A.2.3.

- Par intégration graphique toujours, de la courbe des efforts tranchants, nous obtenons la courbe des moments fléchissants (M_0) que nous trouvons sur la figure A.2.4.

IV.2 Pirogue sur houle.

d'effet de flexion (e) contre lequel la structure de la pirogue doit résister, résulte de la somme algébrique (12) :

- de l'effet en eau calme (e_0) qui dépend de la répartition des poids et de la forme de la carène. Ce qui constitue l'objectif du paragraphe précédent.
- de l'effet (e_H) dû à la différence algébrique des pressions entre les situations respectives de la pirogue sur houle et en eau calme; cet effet ne dépendant plus de la répartition des poids mais des formes de la carène et la houle considérée. Son étude doit faire l'objet de ce paragraphe.

IV.2.1 Caractéristiques de la houle considérée

La houle formée en mer est irrégulière du fait, en particulier, de la variation de la direction et de la vitesse du vent. Pour faciliter l'étude sur son effet (e_H), on décide de placer la pirogue sur houle cylindrique dite conventionnelle à ondulations régulières de forme sinusoïdale qui est d'ailleurs très proche de la houle océanique trochoïdale (10).

Sa longueur d'onde est prise égale à la longueur de flottaison du déplacement considéré. (13)

Sa hauteur d'onde est supposée égale au $1/20$ de sa longueur d'onde (13)

$$\begin{cases} L_H = 15,68 \text{ m} \\ h_H = 0,784 \text{ m} \end{cases}$$

Nous supposons la pirogue portée par une houle longitudinale venant de l'arrière, de célérité égale à la vitesse de la pirogue, donc immobile par rapport à la houle.

Nous prendrons alors comme poussée de la houle (si forces d'inertie négligées) la poussée statique correspondant au volume que la surface de la houle découpe dans la carène.

Sous ces conditions de chargement, le maximum des moments fléchissants est atteint pour une section donnée, lorsque les caractéristiques de la houle s'approchent de celles définies ci-haut (11).

Mais vu que très généralement, pour une hauteur de houle donnée, le maximum maximum se produit au voisinage de la

Section milieu des navires, nous allons considérer les deux positions de houle suivantes par rapport à la pirogue :

1. La pirogue est portée sur deux crêtes successives placées à ses extrémités, donc creux au milieu ; ce qui crée une dépression au milieu et des surpressions aux extrémités.

(figure A. 2. 0. b)

2. La pirogue est portée sur une crête dans sa région milieu ; ce qui occasionne une surpression au milieu et des dépressions aux extrémités (figure A. 2. 0. c)

IV. 2. 2 Calcul des efforts sur houle .

A une section de la pirogue d'abscisse x_H , correspond l'ordonnée z_H (positive ou négative) de la houle rapportée à la ligne de flottaison en eau calme.

- La poussée par mètre de longueur exercée par la houle sur la pirogue, au droit de la section d'abscisse x_H , a pour expression :

$$q_H = \rho \cdot y_H \cdot z_H \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} q_{H1} = \rho \cdot y_H \cdot \cos(x_H) \cdot \frac{h_H}{2} \\ q_{H2} = -\rho \cdot y_H \cdot \cos(x_H) \cdot \frac{h_H}{2} \end{cases}$$

(avec $-\pi \leq x_H \leq \pi$)

Ces expressions sont représentées graphiquement à la figure A.2.5.

- d'effort de mise en charge de la tranche dx est $q_H dx$.

Alors le système des efforts s'exerçant dans une section d'abscisse x_H équivaut à :

- un effort tranchant $T_H = \int_0^{x_H} q_H dx$

- un moment fléchissant $M_H = - \int_0^{x_H} T_H dx$.

Le développement de ces expressions par comparaison avec le profil de houle sinusoïdale, a fourni les expressions suivantes tirées de (12)

$$\begin{cases} T_{H1} = \sigma \cdot y_H \cdot \frac{L_H \cdot h_H}{4\pi} \cdot \sin(x_H) \\ T_{H2} = -\sigma \cdot y_H \cdot \frac{L_H \cdot h_H}{4\pi} \cdot \sin(x_H) \end{cases} \quad (\text{fig: A.2.6})$$

$$\begin{cases} M_{H1} = \sigma \cdot y_H \cdot \frac{L_H^2 h_H}{8\pi^2} [1 + \cos(x_H)] \\ M_{H2} = -\sigma \cdot y_H \cdot \frac{L_H^2 h_H}{8\pi^2} [1 + \cos(x_H)] \end{cases} \quad (\text{fig: A.2.7})$$

Les résultats des primitives ont été corrigés pour les moments parce qu'il faut assurer des moments nuls aux extrémités (PPAR et PPAV) :

IV.3 Effet de flexion résultant (e)

Comme indiqué précédemment, l'effort de flexion (effort tranchant et moment fléchissant) déterminant pour le dimensionnement de la structure navale, est obtenu à partir de la superposition des cas "pirogue en eau calme" et "pirogue sur houle".

$$e = e_0 + e_H$$

$$\begin{cases} T_1 = T_0 + T_{H1} \\ T_2 = T_0 + T_{H2} \end{cases} \quad (\text{figure IV.3})$$

$$\begin{cases} M_1 = M_0 + M_{H1} \\ M_2 = M_0 + M_{H2} \end{cases} \quad (\text{fig IV.4})$$

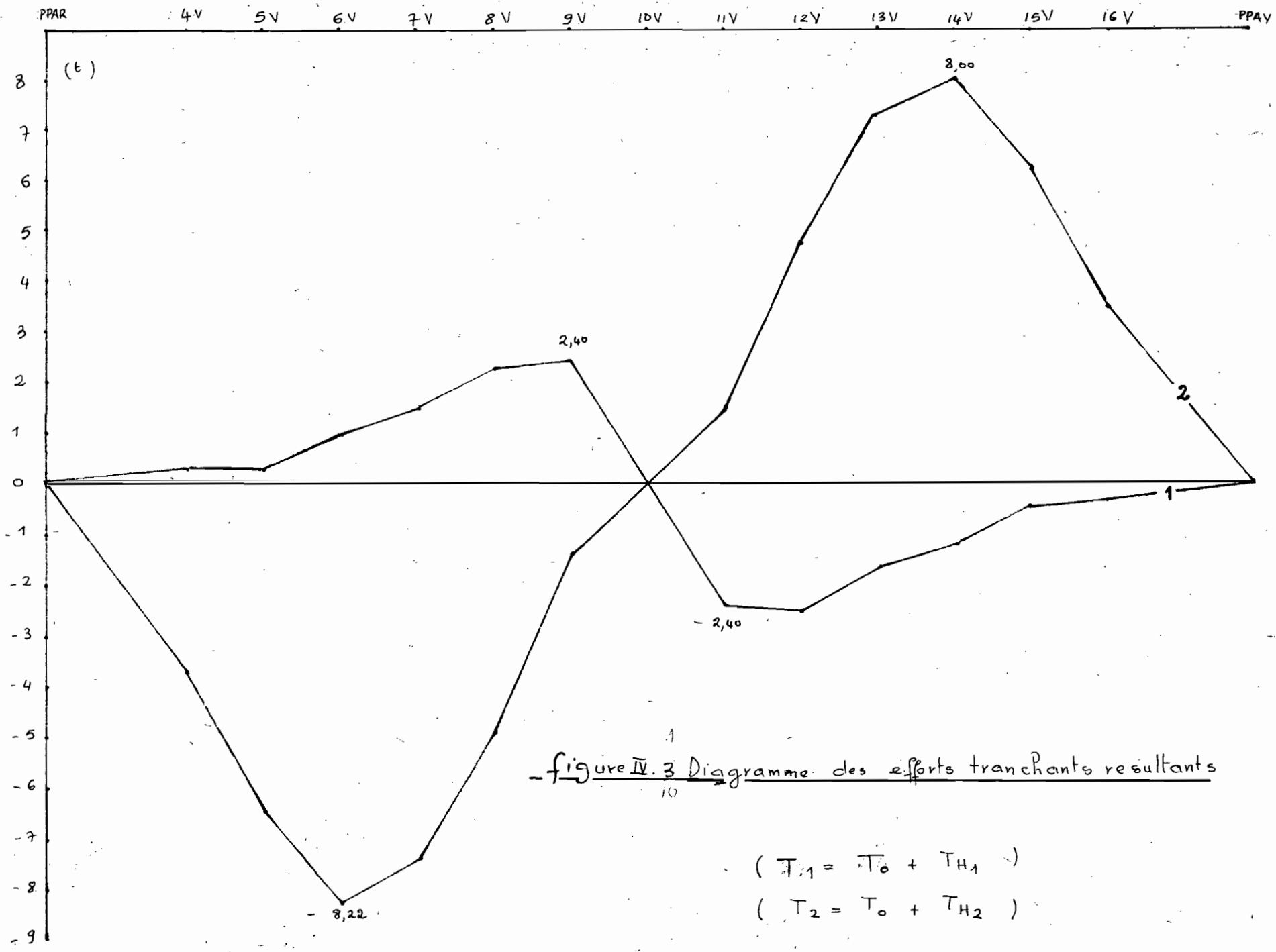
Applications numériques

$$|T_{1_{\max}}| = 2,40 \text{ tonnes} \quad \text{situé à la 9V}$$

$$|T_{2_{\max}}| = 8,22 \text{ tonnes} \quad \text{situé à la 6V}$$

$$|M_{1_{\max}}| = 4,17 \text{ t/m} \quad \text{situé à la 10V}$$

$$|M_{2_{\max}}| = 44,39 \text{ t/m} \quad \text{situé à la 10V}$$



- figure IV.3 Diagramme des efforts tranchants resultants

$$\begin{aligned}
 (T_1 &= T_0 + T_{H1}) \\
 (T_2 &= T_0 + T_{H2})
 \end{aligned}$$

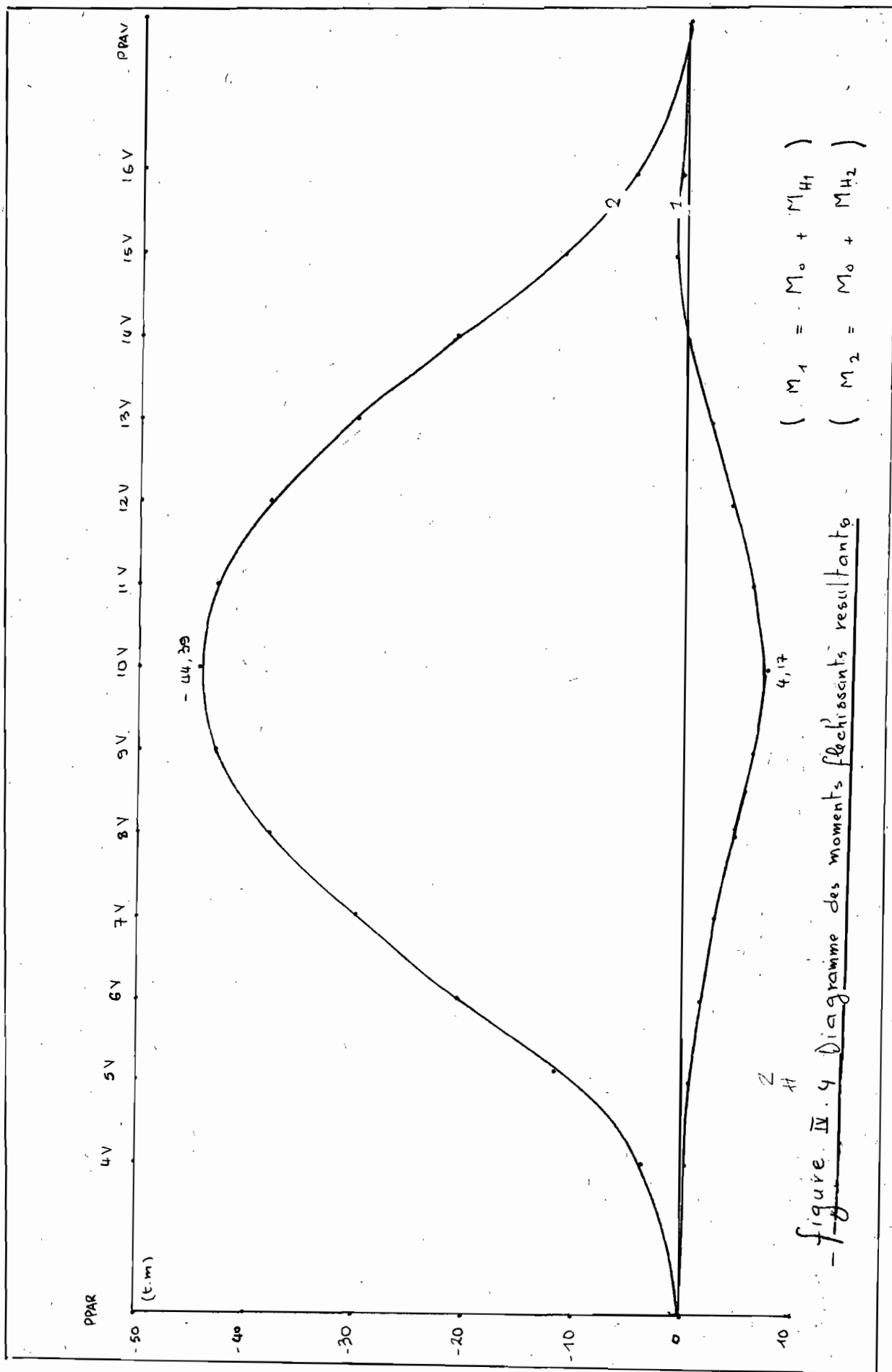


Figure IV.4 Diagramme des moments fléchissants résultants

Ch. V Design de la coque

V.1 Le ferrociment

V.1.1 Generalités

Le ferrociment est une forme de coque ou plaque mince en béton armé communément construit avec un mortier de ciment hydraulique de haute qualité qui enrobe une armature en mailles très serrées de fils de fer de faible diamètre. Il est renforcé le plus souvent par des tiges d'acier de haute résistance. De cette définition, il sort donc que le ferrociment, tout en étant du béton armé est aussi un matériau composite. Il possède des caractéristiques avantageuses qui en font un matériau structural très intéressant en construction navale. Il a fourni une grande résistance aussi bien en compression qu'en tension, une grande flexibilité et une bonne résistance à l'impact aussi. Sa densité massique élevée lui confère les propriétés d'absorber les bruits et les vibrations. Il est peu enclin à se fissurer et par conséquent imperméable. Il ne requiert presque pas de maintenance. Comparé aux autres matériaux utilisés en construction navale, il est le seul à bénéficier d'une

augmentation de résistance avec l'âge. Pour arrêter cette liste qui risque d'être longue, on peut noter que son application est très économique dans un pays en voie de développement car ne faisant intervenir que des matériaux facilement disponibles et un minimum de main d'œuvre est requis. L'ingénieur de l'équipement rural français Joseph Louis Lambot a eu le mérite d'inventer cette excellente technique en 1848. Mais il faut reconnaître que c'est l'architecte italien Pier Luigi Nervi qui fut le grand promoteur lorsqu'il reprit l'idée de Lambot en 1940 pour établir les caractéristiques préliminaires du ferrociment par tests. Depuis lors, plusieurs domaines ont connu l'avantage du ferrociment. On peut citer les constructions de vaisseaux de pêche, de silos, de réservoirs d'eau, d'éléments de toiture, de tuyaux et canalisations pour irrigation etc...

V.1.2 Constituants du ferrociment.

Comme principaux constituants du ferrociment on peut citer :

- le fer à béton qui est une ossature en acier avec des diamètres variant de 3mm à 9mm et un espacement de 50 à 100mm.

- le fil de fer maille assure principalement le renforcement avec des diamètres de 0,5mm à 1,5mm et des espacements de 10mm à 25mm. On rencontre différents types : fil de fer tressé à mailles hexagonales, treillis soudés à mailles rectangulaires, fil de fer tressé à mailles rectangulaires, fil de fer étiré et fil de fer tressé type Watson. Globalement ces armatures représentent 1 à 8% du volume de ferrociment.
- Comme en béton armé classique, le ciment joue le rôle de liant des différentes armatures mises en œuvre. Le ciment portland artificiel et le ciment de haut fourneau sont généralement utilisés. L'utilisation d'un ciment contenant moins de 8% d'alumine tricalcique ($3CaO, Al_2O_3$) est conseillée pour les ouvrages marins dans le souci d'augmenter la résistance à la corrosion.
- l'eau de gâchage doit être claire et sans matières organiques ni sels minéraux.
- les agrégats qui occupent 50 à 70% du volume du mortier sont du sable naturel sans matières organiques.

Tableau V.1: dimensions de sable qu'on utilise (18)

Tamis		% de passe
3/8 in	(9,50 mm)	100
N° 4	(4,75 mm)	95 à 100
N° 8	(2,36 mm)	80 à 100
N° 16	(1,18 mm)	50 à 85
N° 30	(600 μ m)	25 à 60
N° 50	(300 μ m)	10 à 30
N° 100	(150 μ m)	2 à 10

- Parfois, on peut adjoindre des adjuvants selon la performance qu'on veut obtenir. Dans le cas où l'ouvrage est exposé aux eaux marines des adjuvants tels que les pozzolanes, les réducteurs d'eau et les entraîneurs d'air sont utilisés.

V.1.3 Procédés de mise en oeuvre

A la différence des autres techniques de construction sophistiquées, sa mise en oeuvre demande un minimum de main d'oeuvre. Les armatures (grillages) sont placées sur le fer à béton qui épouse la forme de l'ouvrage. Elles sont attachées sur les deux faces intérieures et extérieures de l'ossature. Pour le bétonnage de la

coque, la technique du béton soufflé semble plus adéquate. Le sable et le ciment sont d'abord mélangés à sec puis soufflés dans un boyau à l'aide d'air comprimé. L'eau de mélange est ensuite introduite sous pression à l'intérieur du bec situé à l'extrémité du boyau et le béton est ainsi soufflé sur les armatures.

V. 1.4 Caractéristiques mécaniques.

Des comportements des pièces en ferrociment mis à l'épreuve sous des sollicitations courantes de traction, de compression et de flexion ont été étudiés par plusieurs chercheurs et les conclusions suivantes ont été retenues.

La rupture d'une pièce en ferrociment sous un effort de traction se différencie de celle du béton armé conventionnel par l'apparition d'un nombre important de petites fissures avant la rupture. Et ceci, grâce au fait que l'importance de la surface spécifique des armatures confère à ce matériau une rupture d'adhérence des armatures, avant l'écoulement des aciers ou l'écrasement du mortier (14)

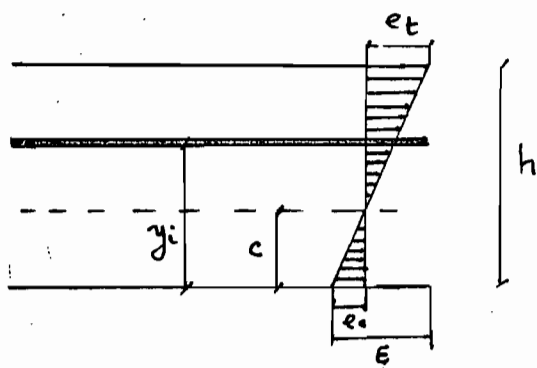
A la compression, le comportement est assez similaire à celui du béton armé conventionnel sauf qu'il existe un plus grand risque de

rupture par flambage des armatures (14).
 Le comportement à la flexion est caractérisé par une courbe moment - déformation qui peut être divisée en trois régions : une région élastique, une autre linéaire mais fissurée et une dernière non linéaire à grandes fissures (14).
 Et enfin, sous des charges de fatigues, il a été noté que la limite de fatigue du ferrociment dépend des propriétés de fatigue des armatures (18).

V.2 Modèle mathématique de design

La littérature disponible sur l'utilisation du ferrociment en construction navale, est principalement concentrée sur les techniques de constructions développées à partir d'expériences. Ce qui limite l'information sur les méthodes de design devant aider les architectes navals. Une première approche pour déterminer l'information nécessaire pour le design est de tester un nombre suffisant d'échantillons couvrant la gamme de combinaisons d'armatures désirées sous différentes conditions de chargement. Mais à défaut de ce type de données, John D. Smith et B. C. Research (17)

proposent un modèle mathématique qui selon l'expérience, est une bonne approximation de la réalité. Ce modèle considère les comportements de l'acier et du mortier linéaires. Toutes les forces et déformations sont calculées en fonction de la contrainte totale ($\epsilon = \epsilon_t + \epsilon_c$). Alors le rapport de l'épaisseur sur la contrainte totale est égal au rayon de courbure ($\frac{h}{\epsilon} = \rho$) et est proportionnel à la deflexion. Il est supposé que le mortier ne peut exercer qu'une force de compression. Shah (*) prévoit que le mortier en traction se fissure et le module d'élasticité en tension du ferrociment est donné par celui de l'acier seulement.



ϵ_t : déformation de la fibre tendue

ϵ_c : déformation de la fibre comprimée

c : hauteur de l'axe neutre sur la fibre comprimée

ϵ : déformation totale

* Shah, S.P., Ferro Cement as a new engineering material, college of engineering report n° 70-11, university of Illinois.

h : épaisseur de la pièce

y_i : hauteur d'une couche d'acier horizontale

n : nombre de couches d'acier horizontales

A tout point situé à une hauteur y sur la fibre comprimée, la déformation est donnée par:

$$\epsilon = (y - c) \cdot \frac{\epsilon}{h} \quad (\text{prendre l'élongation positive})$$

Pour réaliser l'équilibre de la section, la somme algébrique des forces dans les aciers et dans le mortier est nulle pour une flexion simple.

$$F_m + F_s = 0$$

a) Force et moment dans les aciers

La force dans la couche i de section A_i est

$$F_i = \sigma_i \cdot A_i$$

$$\text{or } \begin{cases} \sigma_i = \epsilon_i \cdot E_s \\ \epsilon_i = (y_i - c) / \rho \Rightarrow \sigma_i = \frac{y_i - c}{h} \cdot \epsilon \cdot E_s \\ \rho = \frac{h}{\epsilon} \end{cases}$$

Pe qui permet d'écrire :

$$F_i = \frac{(y_i - c)}{h} \cdot \epsilon \cdot A_i \cdot E_s$$

La force nette dans les aciers est

$$F_s = \frac{\epsilon \cdot E_s}{h} \cdot \left[\sum_{i=1}^n y_i \cdot A_i - c \cdot \sum_{i=1}^n A_i \right]$$

le moment statique des aciers par rapport à l'axe neutre est :

$$M_s = \varepsilon \cdot E_s \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - c)^2}{h} \cdot A_i$$

b/ Force et moment dans le mortier

Comme précisé plus haut, le mortier n'exerce qu'une force de compression qui est considérée linéaire avec la déformation.

La force à la fibre la plus comprimée est

$$F_c = - \frac{c}{h} \cdot \varepsilon \cdot E_m$$

L'intégration des forces dans le mortier comprimé donne

$$F_m = - \left(\frac{c}{h} \cdot \varepsilon \cdot E_m \right) \cdot \frac{c}{2}$$

Le moment statique du mortier est :

$$M_m = F_c \cdot \left(- \frac{2}{3} \cdot c \right)$$

$$M_m = \frac{1}{3} \cdot \frac{c^3 \cdot \varepsilon \cdot E_m}{h}$$

c/ Moment résistant de la section

La section résistera alors avec la somme algébrique des moments statiques par rapport à l'axe neutre des forces dans les aciers et le mortier.

$$M_r = M_s + M_m$$

d/ largeur maximale des fissures

lorsque des mailles carrées sont utilisées comme armatures, la largeur maximale des fissures d'une pièce sollicitée en flexion est estimée par la formule suivante obtenue par régression des résultats d'expériences (15).

$$W_{\max} = (1,194 \cdot f_s - 111) \cdot \frac{15,85}{E_s}$$

W_{\max} : largeur maximale des fissures (en mm)

f_s : contrainte dans la dernière couche d'aciers tendus (en MPa)

E_s : module d'élasticité de l'acier (en MPa)

V.3 Choix de l'épaisseur de la coque armatures

- Plusieurs couches de treillis à mailles carrées, faits de fils d'acier galvanisés et soudés, d'un diamètre de 2 mm, espacés horizontalement et verticalement de 12,5 mm.
- Une couche de barres d'acier crénelées d'un diamètre de 6 mm, placées horizontalement à une distance de 50 mm les unes des autres.

- Le module d'élasticité $E_s = 200.000 \text{ MPa}$.
- la limite élastique $f_y = 400 \text{ MPa}$.
- la déformation maximale admise $\epsilon_{su} = 0,2\%$

Mortier

- Une résistance à 28 jours $f'_m = 30 \text{ MPa}$
- L'enrobage de 2mm est satisfaisant (15)
- Module d'élasticité du mortier en compression est donné par une formule proposé par Mowat (*)

$$E_m = \frac{f'_m \cdot d}{\epsilon_{cu}}$$

Mowat utilise $d=4$ et comme déformation ultime du mortier à la compression $\epsilon_{cu} = 0,38\%$

Ce qui donne $E_m = 31.579 \text{ MPa}$.

Application numérique du modèle mathématique de design

Le choix de l'épaisseur de ferrociment c'est à dire celui du nombre de couches de treillis, va dépendre du moment résistant de la section de pirogue la plus sollicitée par un moment appliqué de $M_{app} = 44,39 \text{ t.m}$ ou $M_{app} = 435 \text{ kN.m}$ (moment d'arc ou négatif).

(*) Mowat, D.L., Flexural Testing of ferrocement planks, Thesis for M. Sc in Civil Engineering, University of Calgary, Canada, January 1970.

L'épaisseur e retenir doit respecter les spécifications suivantes une fois que son moment résistant est supérieur au moment appliqué ($M_r > M_{app}$).

- Le pourcentage des aciers doit se situer entre 3,7% et 4,39% pour assurer une bonne dispersion des fissures et une mise en place facile du mortier. (14).
- La largeur maximale des fissures doit rester inférieure à 0,05 mm pour les environnements corrosifs (20).
- Pour toute structure devant assurer une certaine étanchéité à l'eau, la surface spécifique totale des aciers ($S_s = S_{sp} + S_{st}$) doit être au moins égale à $0,08 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$ (20).

Pour appliquer le modèle mathématique ainsi exposé à notre structure, nous avons supposé une répartition uniforme des armatures sur toute la largeur de la section en forme d'ellipse. Ce qui ramène le nombre de couches d'acier horizontales à :

$$n = \frac{\text{circonférence de la section considérée}}{2 \times \text{espacement des barres d'acier}}$$

Tableau V.2 : Caractéristiques des variantes essayées

Caractéristiques	Variante #1	Variante #2
• Épaisseur (mm)	24	26
• nombre de couches de diamètre (1mm)	7	8
• nombre de couches de diamètre (6mm)	1	1
• section brute (mm ²)	198146	214576
• section des aciers (mm ²)	8512	9042
• Pourcentage des aciers (%)	4,30	4,21
• Surface spécifique des aciers (mm ² /mm ³)	0,091	0,094
• force dans les aciers (kN)	213,1	229,7
• force dans le mortier (kN)	- 214,5	- 229,3
• moment résistant (kN.m)	427,7	454,4
• hauteur de l'axe neutre (mm)	309	307
• déformation de la fibre comprimée (mm/mm)	0,00031	0,00031
• déformation de la fibre tendue (mm/mm)	0,00169	0,00169
• largeur maximale des fissures (mm)	0,02321	0,02324

Ce tableau ci-dessus montre avec évidence que la variante # 2 (épaisseur = 26 mm) est la plus économique répondant aux conditions requises. Par voie de conséquence, elle est retenue pour toutes les sections de la pirogue.

V. 4 Résistance à l'effort tranchant

Plusieurs études faites sur le ferrociment soumis à un effort de cisaillement n'ont pas abouti à des conclusions probantes (14). Atcheson et Alexander* ont trouvé que la contrainte nominale de cisaillement pourrait dépendre du nombre de barres d'armature qui entre en compte dans la section de rupture.

Cependant, pour mesurer la résistance au cisaillement d'une pièce en ferrociment, l'expression suivante donnant la contrainte nominale de cisaillement à la rupture du béton armé conventionnel est utilisée.

$$v_m = 0,34 \sqrt{f'_m} \quad (14)$$

• Pour $f'_m = 30 \text{ MPa}$ on a

$$v_m = 0,34 \cdot \sqrt{30} = 1,862 \text{ MPa}$$

• La contrainte appliquée à la section la plus sollicitée en cisaillement (SV) est :

$$V_{app} = \frac{T_{2max}}{A_{g(SV)}}$$

$$A_{g(SV)} = \frac{\pi}{2} [2880 \times 2140 - 2854 \times 2114] = 203958 \text{ mm}^2$$

$$T_{2max} = 8,22 \text{ tonnes} = 80638 \text{ N}$$

$$\Rightarrow V_{app} = \frac{80638}{203958} = 0,395 \text{ MPa}$$

$$V_{app} = 0,395 \text{ MPa} < v_m = 1,862 \text{ MPa}$$

On en conclue alors que la section résiste au cisaillement.

* Atcheson, M. and Alexander, D., Development of Fibrous Ferrociment, ACI SP61-5, Ferrociment Materials and Applications, pp 81-89

Ch. VI Optimisation du modèle

VI.1. Objectif.

Les résultats du calcul de stabilité, tout en restant satisfaisant dans une certaine mesure, nous offrent de larges possibilités d'amélioration. En bénéficiant d'une stabilité trop forte comparée aux limites recommandées, le modèle étudié dans les chapitres précédents accuse un certain inconfort qu'il convient de corriger. Les dimensions du modèle étudié qui sont responsables de ce niveau de stabilité, ont été choisies parmi tant d'autres que notre étude n'a jusqu'à présent pas mises à l'épreuve. En effet, cette phase de l'étude cherche à sélectionner les combinaisons de dimensions (L, B, D) possibles et compatibles avec les niveaux de stabilité, de confort et d'économie optimum.

C'est ainsi que les longueurs couramment rencontrées pour la pêche à la ligne (15m, 16m, 17m, 18m, 19m et 20m) seront examinées avec différents rapports:

B/L_{SE} (de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{3}$) et D/L_{SE} (de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{6}$) qui sont recommandés par Chapelle.

VI.2 hypothèses des calculs de carène

Avec les quelques résultats sur le modèle étudié, nous avons pu estimer les paramètres suivants qui ont permis les calculs de carène (Programme gaal2.f):

- Une épaisseur de 25 mm a été jugé sécuritaire pour tous les modèles
- Le déplacement léger est estimé à 196% du poids du corps de l'embarcation (entre la ov et la 20V).
- La surcharge par personne est de l'ordre 1,405 tonnes.
- Le poids du ferrociment utilisé est estimé à 84% du déplacement léger.
- Pour le de déplacement léger, le centre de gravité est estimé à $z_{G0} \approx 35,65\% D$ et pour le déplacement en charge à $z_{Gc} = 49,20\% D$.
- équipages :

{	10 hommes	→ modèles de 19m et 20m
	9 hommes	→ modèles de 17m et 18m
	8 hommes	→ modèles de 15m et 16m

VI.3 Recherche de l'optimum

Pour chaque longueur considérée, la largeur relative (B/L_{SE}) a pris les valeurs: $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{5}$ lorsque la profondeur relative a connu les valeurs de $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{11}$ et $\frac{1}{12}$.

A l'aide du programme 'Gaal2.f', toutes les grandeurs de stabilité sont déterminées et compilées dans les tableaux A.3.i ($i=1, \dots, 6$) et ceci pour les 90 ($6_{(10)} \times 5_{(6)} \times 3_{(3)}$) modèles retenus.
(voir annexe III pour les résultats intermédiaires)

- col. 1 : numéro des modèles.
- col. 2 : D (en mètre)
- col. 3 : B (en mètre)
- col. 4 : volume de ferrociment estimé (en m^3)
- col. 5 : D_{wl} en léger (mètre)
- col. 6 : D_{wl} en charge (mètre)
- col. 7 : $(R_x - a)$ en léger (mètre)
- col. 8 : $(R_x - a)$ en charge (mètre)
- col. 9 : franc bord en charge (mètre)
- col. 10 : demi-hauteur de la houle considérée lors de l'analyse structurale (mètre)

Pour chacune des six longueurs considérées, un modèle devra être conservé comme l'optimum après être accepté par les trois tests suivants.

• Test n° 1

Un minimum de 1 mètre est requis pour le bras de levier initial de redressement ($R_x - a$) pour une pirogue (19).

Et comme indiqué plus haut, un maximum de

3 mètres est fixé pour éviter les phénomènes de résonance entre la période d'oscillation de la pirogue et celle de la houle.

Ainsi toute pirogue (modèle) possédant des bras de levier entre ces deux valeurs (4m et 3m), sera exceptée par ce premier test.

. Test n° 2

Pour des raisons de sécurité, nous décidons de rejeter toute pirogue dont le franc-bord en eau calme reste inférieur à la demi-hauteur de la houle considérée comme critique pour l'analyse. En d'autres termes, ce test exige pour chaque modèle devant subir le troisième test, une certaine valeur minimale pour le franc-bord.

. Test n° 3

Après les questions de stabilité et de sécurité, ce sont enfin celles de confort et de l'économie qui détermineront le modèle à retenir comme optimum pour une longueur donnée.

En ne considérant que la question économique, le modèle serait celui fait avec un minimum de volume de ferrociment. Mais aussi, si on ne s'intéresse qu'au confort, le meilleur serait évidemment celui possédant le plus faible bras de levier initial de redressement en charge.

Un choix optimal serait alors le modèle qui simultanément, s'écarte le moins du plus économique et du plus confortable.

Pour atteindre cela, nous avons évalué pour chaque modèle, la perte en matériau sur le plus économique que peut engendrer sa construction. De la même manière, la perte en confort sur le plus confortable a été évaluée pour chaque modèle aussi.

Ce n'est que par la suite que nous retenons comme optimum, le modèle révélant la plus faible différence entre les deux pourcentages ainsi calculés.

Tableau VII.1: Modèles retenus comme optimum

L_{SE} (m)	n°	D (m)	B (m)
15	A ₉	1,665	3,750
16	B ₉	1,776	4,000
17	C ₂	1,547	3,400
18	D ₂	1,638	3,600
19	E ₂	1,729	3,800
20	F ₃	2,000	4,000

Ch. VII Etude comparative

Ce chapitre a pour objectif de faire une comparaison d'abord entre les caractéristiques et qualités puis les coûts de production d'une pirogue traditionnelle et des pirogues dites améliorées. Ainsi on distingue cinq filières de construction qui sont :

- 1 - la filière traditionnelle
- 2 - la filière bois importé
- 3 - la filière contre-plaqué marine
- 4 - la filière fibres de verre
- 5 - la filière ferrociment

Pour faire une comparaison objective, nous avons considéré tout au long de cette étude, pour chaque filière de construction, une pirogue longue de 15 mètres munie de deux cales isothermes, incorporées ou pas suivant le cas. Chacune des pirogues des quatre dernières filières est dotée d'un pont d'étanchéité.

VII.1 Comparaison des caractéristiques

Tableau VII.1

Caractéristiques	1	2	3	4	5
longueur sans éperons (L _{RE})	15 m	15 m	15 m	15 m	15 m
largeur au fort (B)	2,20 m	3,00 m	3,00 m	3,00 m	3,750 m
creux sur quille (D)	1,390 m	1,900 m	1,900 m	1,900 m	1,665 m
Déplacement, léger	3,7 t	2,47 t	2,47 t	2,47 t	3,603 t
Déplacement en charge	3,7 t	6,47 t	6,47 t	6,47 t	20,073 t
profondeur de carène (léger)	0,350 m	0,44 m	0,44 m	0,44 m	0,580 m
profondeur de carène (charge)	0,590 m	0,68 m	0,68 m	0,68 m	1,082 m
(R _x - a) léger	0,061 m	0,785 m	0,785 m	0,785 m	1,532 m
(R _x - a) en charge	0,060 m	0,840 m	0,840 m	0,840 m	1,177 m
dépréciation annuelle	20 %	12,5 %	12,5 %	6,7 %	6,7 %
entretien annuel	20 %	5 %	10 %	2 %	2 %
durée de vie	5 ans	8 ans	8 ans	15 ans	15 ans
résistance mécanique	mauvaise	mauvaise	moyenne	bonne	bonne
Résistance aux parasites	mauvaise	mauvaise	bonne	très bonne	très bonne
extension	nulle	nulle	limitée	possible	possible
origine des matériaux de base	sénégal	importé	importé	importé	Sénégal

VII.2 Comparaison économique.

Il faut spécifier que les filières de construction d'amélioration ne peuvent prévaloir économiquement devant la filière traditionnelle que pour des critères ayant trait à la nature même de l'embarcation et aux exigences d'entretien et de durabilité.

Pour ce qui concerne l'évaluation des coûts, les matières importées sont supposées bénéficiaires d'une exonération de droits de douane et taxes si on considère qu'il s'agit d'un projet de développement.

Nous ne tenons pas non plus en considération, le coût des gabarits, des installations et les frais généraux de chantier.

Comme il s'agit encore d'une simple comparaison, nous avons pensé plus raisonnable de n'utiliser que des prix datant de 1983 qui sont actuellement les plus valables selon les archives car ils sont les plus récents à traduire la situation sur le marché.

Tableau VII.2 : Comparaison économique des différents types de pirogues

Filières de construction	Coût initial (FCFA)	Coût d'entretien annuel (FCFA)	Coût de fonctionnement annuel (FCFA)
Pirogue traditionnelle	1.443.824	288.764,8	557.529,6
Pirogue en bois importé	1.157.200	57.860	202.510
Pirogue en contre-plaqué	1.503.280	150.328	338.238
Pirogue en fibre de verre	1.382.478	27.650	120.275,6
Pirogue en ferrociment	1.390.850	27.817	121.004

Ch. VIII Conclusion et Recommandations

VIII.1 Conclusion :

De façon générale, le projet s'est entamé comme prévu et les objectifs de départ ont été atteints avec originalité. Le but principal se résume en une proposition d'améliorations qui, apportées à la pirogue, permettraient sans modifications profondes de sa définition ni des conditions socio-économiques, de concevoir une embarcation fiable et sûre sans en augmenter considérablement le coût. Pour ce faire, nous proposons une étude complémentaire sur quelques six modèles qui certes, présentent des avantages et des inconvénients mais satisfaisants tous aux conditions imposées. Notre conception a amené de gros avantages dont les plus importants sont :

- Une forme de carène plus conforme aux règles de l'architecture navale.
- Une stabilité très suffisante permettant ainsi plus de confort et de sécurité en mer.
- Une meilleure résistance mécanique offerte par le ferronnage justifiant une plus longue durée de vie (15ans) avec un minimum d'entretien (2% par ans).
- Un rayon d'action plus ample avec une autonomie de 21 jours et une capacité de chargement de 6 tonnes de poissons.

Le seul inconvénient significatif pourrait être son poids propre très élevé comparé à ceux des embarcations habituelles. Une masse importante engendrerait certainement un déjaugeage plus coûteux, des problèmes de stationnement et très sûrement de maintenance hors de l'eau. Mais en contrepartie, cette robustesse aura l'avantage d'écartier le type d'accidents considérés comme plus dangereux, c'est à dire un demi-tour suivi d'un renversement de la pirogue lors des traversées du ressac.

Considérant alors toutes ces qualités, nous pensons qu'aucune mesure ne peut manifestement être plus appropriée que le choix du ferro-ciment comme matériau de substitution. En effet, il permettra de briser le cercle infernal de dépendance, ou pour parler avec plus d'élégance, de favoriser le développement endogène à l'encontre des pirogues en fibre de verre qui sont de marque étrangère.

Bien sûr que tout transfert de technologie appelle inévitablement des changements culturels, mais une compensation pourrait naître avec la facilité extrême de mise en œuvre du ferro-ciment.

Nous terminons cette première phase qui nous amène à dire qu'au lendemain de nos recherches, la pêche artisanale au Sénégal pourra opérer le virage majeur de sa modernisation comme le souhaitent les autorités du pays. Nous pensons ^{que} cela est matière à légitime fierté, c'est aussi et surtout source d'emplois et de débouchés pour nos sociétés "Lébous".

VIII. 2 : Recommandations.

Dans la poursuite de l'objectif d'une amélioration de la pirogue nous considérons essentielle, la réalisation d'au moins deux autres phases avant de confier l'exécution d'un prototype à un quelconque chantier naval.

*Une deuxième phase pourra faire l'objet d'expériences aux laboratoires d'hydrodynamique et de résistance des matériaux.

- Après avoir déterminé, en fonction de son type, les caractéristiques de vitesse, de volume et de poids de la pirogue, les essais suivants au bassin des carènes, doivent être effectués sur des modèles réduits des six pirogues projetées.

- des essais d'inclinaison devront permettre de déterminer la position exacte du centre gravité et les angles de chavirement. Ainsi la vérification de la stabilité pourra être faite.

- des essais de remorquage permettront de mesurer la résistance à la marche par l'utilisation la similitude mécanique de Reech. Froude ($\frac{v}{\sqrt{g\ell}}$). Après avoir fait l'objet d'interprétations, les résultats de ces essais feront germer les corrections nécessaires afin de décider la forme définitive de la carène.

- des essais de comportement en mer pour diverses longueurs et diverses hauteurs de route (roulis au point fixe, roulis en marche, tangage et pilonnement).

- des essais d'autopropulsion doivent à leur tour permettre pour diverses vitesses, la vérification de la puissance prévue pour l'appareil propulsif.

des essais de giration doivent eux aussi vérifier pour diverses vitesses que le gouvernail prévu assurera à la pirogue les rayons de giration désirés.

et pour compléter, la conception de techniques d'amarrage de la pirogue derrière la barre devra être faite et testée.

- Au laboratoire de résistance des matériaux, les recherches suivantes devront être menées en vue de dégager des règles de bon design avec le ferro-ciment.

• Recherche du mélange optimal à utiliser

• détermination du comportement mécanique de diverses variantes de ferro-ciment sous les sollicitations habituelles (traction, compression, flexion, poinçonnement, résistance à l'impact et à la fatigue).

* C'est tenant compte des résultats préliminaires de la phase I et de ceux complémentaires de la phase II qu'une troisième phase s'intéressera particulièrement :

- à la révision des calculs de structure et à leur compléments.

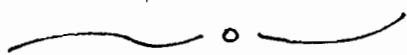
(encastrement des éperons, comportement du point d'étranchéité et des amarres).

- à l'étude des méthodes de constructions simples et économiques.

Le choix d'une méthode ne se heurtant pas à des difficultés de recyclage des constructeurs actuels est recommandé.

- et pour terminer, à la mise au point d'une technique

de mise de la pirogue hors de la ligne des marées,



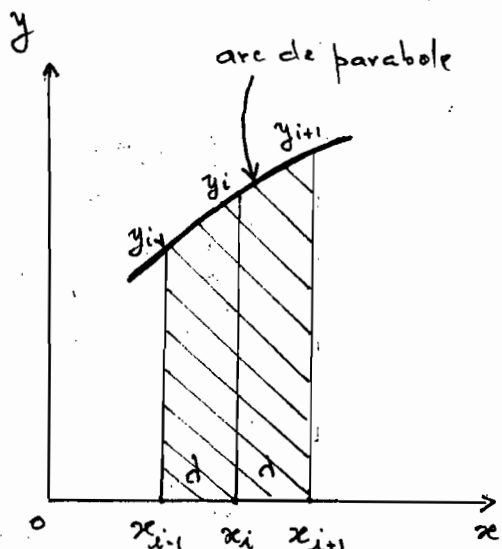
Annexe I :

Résultats intermédiaires et compléments
relatifs aux calculs de carene

A.1.1 Méthode d'intégration de Simpson

La plupart des calculs nécessaires pour la détermination des caractéristiques de stabilité se ramènent à des intégrations successives. Ces dernières pouvant être effectuées soit numériquement ou graphiquement. Mais comme la plupart des bureaux d'études, nous optons pour la méthode numérique avec l'aide de l'ordinateur. Parmi ces méthodes, on peut citer celle des trapèzes, celle des 5/8 et celle de Simpson qui a été utilisée durant tout ce projet.

Dans cette méthode de Simpson, on vise une meilleure approximation en remplaçant la courbe par la parabole définie par trois ordonnées successives aux abscisses x_{i-1} , x_i , x_{i+1} .



L'équation de cette parabole est de la forme:

$$y = a(x - x_i)^2 + b(x - x_i) + y_i$$

d'où l'aire

$$I = \frac{1}{3} a(x - x_i)^3 + \frac{1}{2} b(x - x_i)^2 + y_i(x - x_i)$$

$$[S]_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} = \frac{2}{3} a d^3 + 2 y_i d = d \left[\frac{2}{3} a d^2 + 2 y_i \right]$$

Écrivons que la parabole passe par les points

$$(x_{i-1}, y_{i-1}) \text{ et } (x_{i+1}, y_{i+1})$$

$$\begin{cases} y_{i+1} - y_i = a d^2 + b d \\ y_{i-1} - y_i = a d^2 - b d \end{cases} \Rightarrow a d^2 = \frac{1}{2} [(y_{i-1} + y_{i+1}) - 2y_i]$$

$$\Rightarrow [S]_{i-1}^{i+1} = \frac{d}{3} [y_{i-1} + y_{i+1} + 4y_i]$$

Si on divise l'intervalle d'intégration en $2n$ intervalles d'abscisses successifs x_0, x_1, \dots, x_{2n} ; on obtient en faisant successivement

$$i = 1, 3, 5, \dots, 2n-1$$

$$S = [y]_0^{2n} = [y]_0^2 + [y]_2^4 + \dots + [y]_{2n-2}^{2n}$$

$$S = \frac{d}{3} \left[y_0 + 4 \sum_{i=1}^{2n-1} y_{\text{impairs}} + 2 \sum_{i=1}^{2n-1} y_{\text{pairs}} + y_{2n} \right]$$

A.1.2 Devis des poids

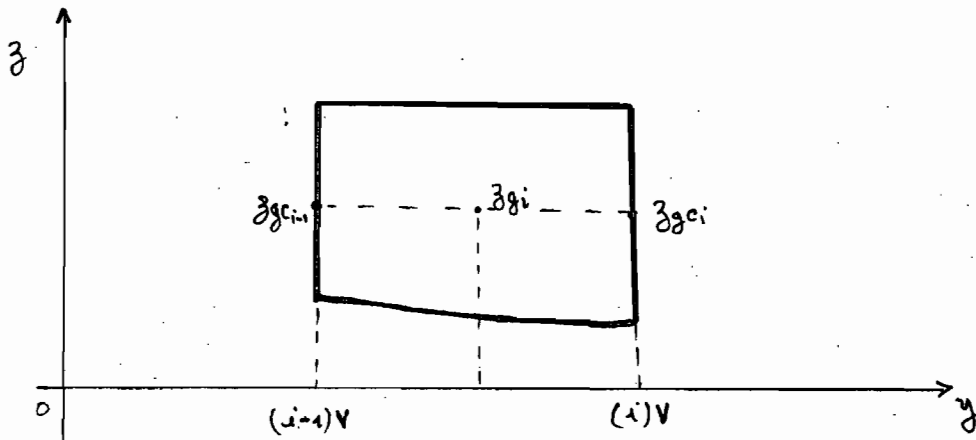
Nous précisons que certains poids et centres de gravité ont été obtenus par des approximations grossières mais de manière sécuritaire vis à vis de son influence sur la stabilité de l'embarcation.

Poste 1: Corps de l'embarcation

a/ Poids (P_1)

- P_1 = somme des différents tronçons définis sur le plan (P01)
- épaisseur de la coque considérée uniforme $e = 25 \text{ mm}$
- masse volume du ferrociment $\gamma = 2500 \text{ kg/m}^3$

Considérons un tronçon i entre les maîtres-couple e_{i-1} et e_i notés respectivement $(i-1)V$ et $(i)V$ sur PO1.



l_{i-1} : longueur de la demi-ellipse concave à $(i-1)V$

l_i : " " " " " $(i)V$

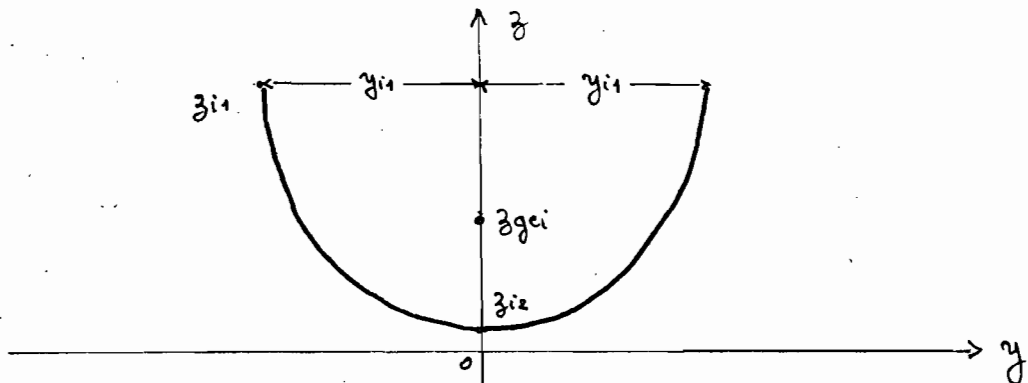
l_i : longueur entre les deux couples $(i-1)V$ et $(i)V$

$$P_{ii} = e \cdot \delta \cdot \frac{l_{i-1} + l_i}{2} \cdot l_i \quad (\text{Poids d'un tronçon } i)$$

$$P_1 = 2 \sum_{i=1}^{10} P_{ii} = 2 \cdot e \cdot \delta \cdot \sum_{i=1}^{10} \frac{l_{i-1} + l_i}{2} \cdot l_i$$

b/ Centre de gravité du corps de l'embarcation

• Centre de gravité d'un couple



$$A_{i1} = \frac{\pi (z_{i1} - z_{i2}) \cdot y_{i1}}{2}$$

$$A_{i2} = \frac{\pi}{2} \cdot (y_{i1} - 0,025) (z_{i1} - z_{i2} - 0,025)$$

$$z_{G1}^i = z_{i2} - \frac{4 \cdot (z_{i1} - z_{i2})}{3\pi}$$

$$z_{G2}^i = z_{i1} - \frac{4 \cdot (z_{i1} - z_{i2} - 0,025)}{3\pi}$$

$$z_{Gci} = \frac{z_{G1}^i \cdot A_{i1} - z_{G2}^i \cdot A_{i2}}{A_{i1} - A_{i2}}$$

- Centre de gravité d'un tronçon

$$z_{Gi} = \frac{z_{Gci-1} + z_{Gci}}{2}$$

- Centre de gravité des corps

$$z_{G1} = \frac{1}{P_1} \cdot \sum_{i=1}^{10} P_i z_{Gi}$$

c/ Application numérique.

Les calculs effectués à la base du tableau

A. 1.1 ont donné les résultats suivants.

$$P_1 = 8,810 \text{ tonnes.}$$

$$z_{G1} = 1,022 \text{ m}$$

Tableau A1.1 : Devis du poids du corps de l'embarcation

Couples	Tringons	ler (m)	Poi (t)	Zgei (m)	Zgi (m)
0V et 20V		2,994		2,519	
	1 et 20		0,525		2,260
1V = 19V		3,799		2,001	
	2 " 19		0,525		1,817
2V = 18V		5,508		1,633	
	3 " 18		0,519		1,482
3V = 17V		6,535		1,332	
	4 " 17		0,506		1,216
4V = 16V		7,137		1,100	
	5 " 16		0,488		1,021
5V = 15V		7,574		0,942	
	6 " 15		0,462		0,830
6V = 14V		7,928		0,819	
	7 " 14		0,444		0,780
7V = 13V		8,227		0,740	
	8 " 13		0,394		0,711
8V = 12V		8,360		0,682	
	9 " 12		0,312		0,663
9V = 11V		8,403		0,644	
	10 " 11		0,231		0,638
10V		8,418		0,632	

Poste 2 : Eperons (deux)

$$P_2 = 2 \cdot \left(2,4 \cdot \frac{0,4 + 0,16}{2} \cdot 0,025 \cdot 2,5 \right) + 4 \cdot \left(2,4 \cdot \frac{0,72 + 0,180}{2} \cdot 0,025 \cdot 2,5 \right)$$

$$\sum g_2 = \frac{2 \cdot 2,6 \cdot 110 + 67,295}{287}$$

$$P_2 = 0,380 \text{ tonnes}$$

$$\sum g_2 = 2,684 \text{ m.}$$

Poste 3 : Cloisons verticales

Cloisons	$\sum g$ (m)	masse (t)
située a ^c 1V	2,001	0,119
" entre 2V et 3V	0,872	0,012
" entre 3V et 4V	0,566	0,044
" a ^c 4V	0,526	0,100
" a ^c 6V	0,350	0,181
" a ^c 7V	0,310	0,212
" a ^c 9V	0,274	0,244
" a ^c 11V	0,274	0,244
" a ^c 13V	0,310	0,212
" a ^c 14V	0,350	0,181
" a ^c 16V	0,526	0,100
" entre 16V et 17V	0,577	0,044
" entre 18V et 19V	1,854	0,018
" a ^c 19V	2,001	0,119
Total	0,583	1,830

Poste 4 : autres cloisons.

$$P_4 = 2 \cdot (0,0194 + 0,0756) = 0,190 \text{ tonnes}$$

$$Z_{g4} = \frac{2 \cdot (0,0194 \times 3,040) + 2 \cdot (0,0756 \times 2,72)}{0,190} = 2,785 \text{ m}$$

Poste 5 : deux caisses isothermes.

$$P_5 = 500 \text{ kg pour chaque caisse (5)}$$

$$Z_{g5} = 0,438 \text{ m (estimé par calcul)}$$

Poste 6 : Moteur de propulsion

$$P_6 = 300 \text{ kg (donnée du CAPAS)}$$

$$Z_{g6} = 1,750 \text{ m (estimé par calcul)}$$

Poste 7 : tente

$$\cdot \text{fer } U_{30 \times 15} \rightarrow 1,74 \times 17,4 = 30,276 \text{ kg.}$$

$$\cdot \text{plat } 40 \times 6 \rightarrow 1,88 \times 45,1 = 84,788 \text{ kg.}$$

$$\cdot \text{bâche} \rightarrow 42 \times 2 = 84,000 \text{ kg.}$$

$$P_7 = 199,064 \text{ kg} \approx 0,200 \text{ tonnes.}$$

$$Z_{g7} = 2,424 \text{ m (estimé par calcul)}$$

Poste 8 : Soute à essence.

avec une tôle de 5mm on a obtenu

$$P_8 = 130 \text{ kg}$$

$$Z_{g8} = 0,543 \text{ m (estimé par calcul)}$$

Poste 9: Matériel de navigation

$$P_9 = 3,6 \% \text{ du déplacement estimé (3)}$$

$$P_9 = 0,036 \times 30,56 = 1,100 \text{ tonnes}$$

$$Z_{g9} = 0,500 \text{ m (estimé sans calcul)}$$

Poste 10: Caisse pour appât

$$P_{10} = 0,050 \text{ m (estimé par calcul)}$$

$$Z_{g10} = 0,551 \text{ m (" " ")}$$

Poste 11: Pont d'étanchéité

En se référant au plan P02, et se déplaçant de la gauche vers la droite, les hautes du Pont sont:

$$0,094 + 0,181 + 0,369 + 0,262 + 0,388 + 0,367 + 0,367 + 0,388 + 0,262 + 0,369 + 0,131 + 0,131 + 0,05 = 3,310 \text{ t}$$

$$P_{11} = 3,310 \text{ tonnes}$$

$$Z_{g11} = 1,000 \text{ m (le pont est situé à une hauteur de 1 m)}$$

Poste 12: Capture (Poissons)

$$P_{12} = 300 \text{ kg/j} \times 20 \text{ j} = 6000 \text{ kg}$$

$$Z_{g12} \equiv Z_{g5} = 0,438 \text{ m}$$

Poste 13: Carburant

$$P_{13} = \text{poids estimé} + 4 \% \text{ impompable} + 3 \% \text{ tolérance (3)}$$

$$P_{13} = 70 \text{ kg/h} \times 40 \text{ h} \times 1,07 = 300 \text{ kg}$$

$$Z_{g13} \equiv Z_{g8} = 0,543 \text{ m}$$

Poste 14 : Matériel des pêcheurs

$$P_{14} = 25 \text{ kg/pers} \times 10 \text{ pers} = 250 \text{ kg}.$$

$$Z_{g14} = 1,927 \text{ m (estimé par calcul)}$$

Poste 15 : Appât.

$$P_{15} = 10 \text{ kg/j} \times 20 \text{ j} = 200 \text{ kg}.$$

$$Z_{g15} \approx Z_{g10} = 0,551 \text{ m}$$

Poste 16 : Mat de cuisine, couchage et provisions.

• eau de boisson $\rightarrow 10 \text{ pers} \times 21 \text{ j} \times 25 \text{ kg/j.pers} = 5250 \text{ kg}.$

• alimentation $\rightarrow 10 \text{ pers} \times 21 \text{ j} \times 3 \text{ kg/j.pers} = 630 \text{ kg}.$

• couchage $\rightarrow 16 \text{ kg} \times \text{pers} \times 10 \text{ pers} = 160 \text{ kg}.$

• matériel de cuisine $\rightarrow 38 \text{ kg/6 pers} \times 10 \text{ pers} = 63 \text{ kg}$

$$P_{16} = 6,100 \text{ tonnes}$$

$$Z_{g16} = 0,274 \text{ m (estimé par calcul)}$$

Poste 17 : Equipage. (personnes).

$$P_{17} = \text{nombre de pêcheurs} \times \text{poids d'un individu}$$

qui tient compte de
l'effet dynamique du
au déplacement sur le pont

$$P_{17} = 10 \times 12000 \text{ kg} = 12000 \text{ kg}.$$

$$Z_{g17} = 1,500 \text{ m (estimé sans calcul)}$$

A.1.3 Coefficients de carene

a/ Coefficient de remplissage parallélépipédique

Ce coefficient caractérise la " finesse " d'ensemble des formes de l'embarcation.

$$C_B = \frac{\nabla}{(L \cdot B \cdot D)_{wl}} = \frac{30,560}{15,68 \times 5,344 \times 0,84} = \underline{\underline{0,43}}$$

b/ Coefficient de remplissage du encêtre-couple

Ce coefficient caractérise la " finesse " des formes dans la section des maîtres-couple.

$$C_M = \frac{A_x}{(B \times D)_{wl}} = \frac{3,183}{5,344 \times 0,84} = \underline{\underline{0,70}}$$

c/ Coefficient prismatique longitudinal

Il caractérise la " finesse " des formes dans le sens longitudinal.

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{0,43}{0,70} = \underline{\underline{0,61}}$$

d/ Coefficient de remplissage à la flottaison

$$C_{wp} = \frac{A_w}{(L \cdot B)_{wl}} = \frac{62,5}{15,68 \times 5,344} = \underline{\underline{0,75}}$$

e/ Coefficient prismatique vertical

$$C_{vp} = \frac{\nabla}{A_w \cdot D_{wl}} = \frac{30,56}{62,5 \times 0,84} = \underline{\underline{0,58}}$$

f/ Coefficient globale de finesse

$$f = \frac{L_{wl}}{\sqrt[3]{\nabla}} = \frac{15,68}{\sqrt[3]{30,56}} = \underline{\underline{5,01}}$$

Tableau A.1.2 : Résultats des calculs de carène

flottaison (m)	surf. de fl (m ²)	M _s de fl (m ³)	Volume (m ³)	\bar{I}_x (m ⁴)	\bar{I}_y (m ⁴)	R _x (m)	R _y (m)
0,000	-	-	-	-	-	-	-
0,200	22,638	4,528	2,449	11,516	144,342	4,702	58,939
0,400	38,121	15,249	8,558	36,294	368,398	4,241	47,047
0,600	50,450	30,270	17,427	67,239	610,266	3,859	35,018
0,800	60,689	48,551	28,512	100,534	855,205	3,526	29,994
1,000	69,367	69,367	41,495	133,529	1099,873	3,218	26,506
1,200	76,619	91,943	56,080	164,219	1332,600	2,928	23,762
1,400	82,519	115,526	71,979	191,079	1542,711	2,655	21,433
1,600	87,112	139,380	88,870	212,983	1721,408	2,396	19,370
1,800	90,419	162,754	106,611	229,137	1859,325	2,149	17,440
2,000	92,146	185,146	124,826	238,899	1958,489	1,914	15,693

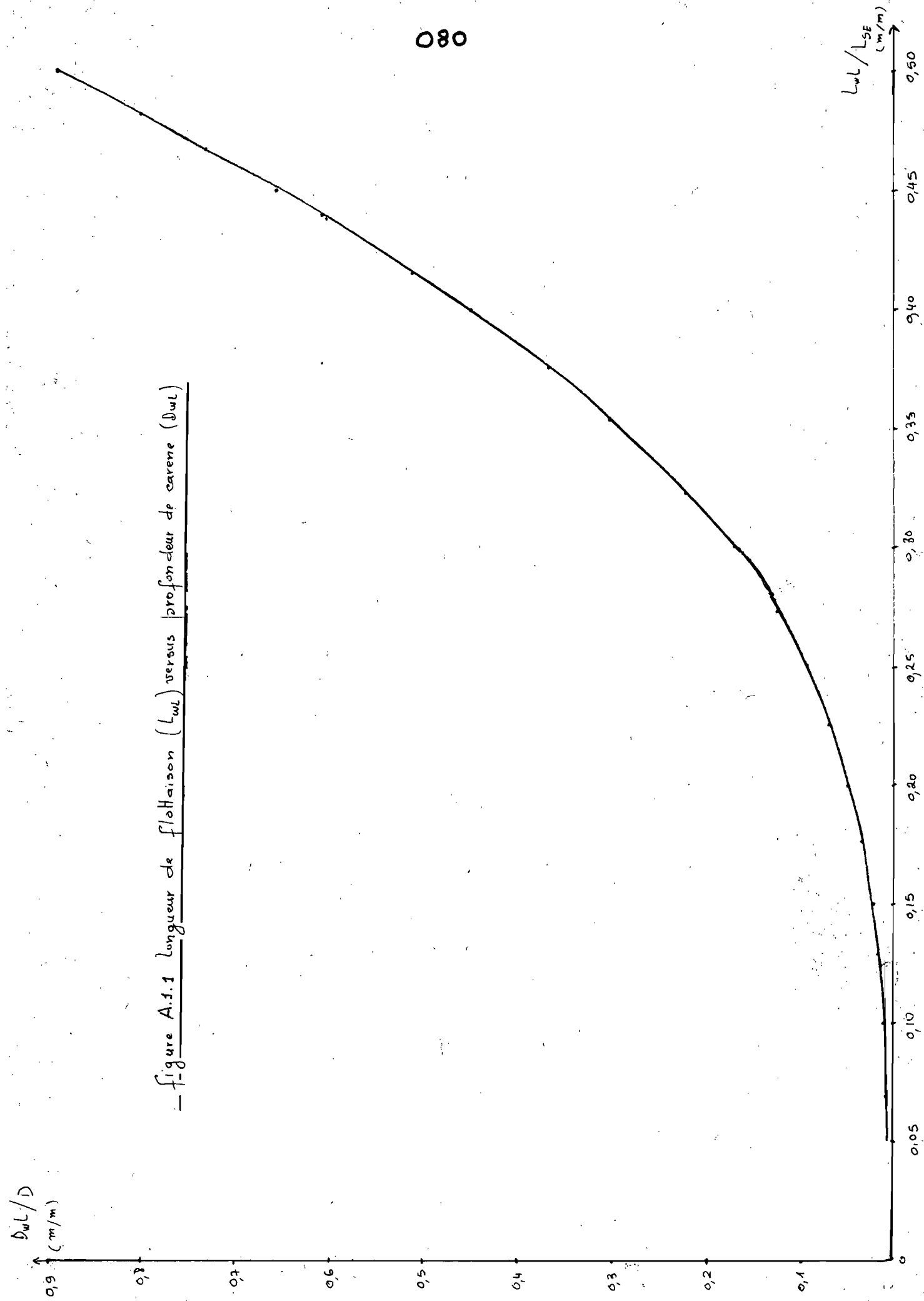
Tableau A.1.3 : Calcul des centres de carene

stations	coef. de Simpson C.S	dépl. léger		dépl. en charge	
		Nom. stat M_0 (m ³)	C.S x M_0 (m ³)	Nom. stat M_1 (m ³)	C.S x M_1 (m ³)
0	1	0,0	0,0	0,0	0,0
1	4	1,0	4,0	1,5	6,0
2	2	2,0	4,0	3,0	6,0
3	4	4,0	16,0	6,0	24,0
4	2	6,0	12,0	10,0	20,0
5	4	9,0	36,0	15,0	60,0
6	2	13,0	26,0	20,0	40,0
7	4	16,0	64,0	27,0	108,0
8	2	20,0	40,0	34,0	68,0
9	4	26,0	104,0	41,0	164,0
10	1	30,0	30,0	50,0	50,0
			336,0		546,0

$$\bar{Z}_{GC} \text{ (d. léger)} = \frac{1}{3} \times 0,590 \times \frac{336,0}{16,86} = \underline{\underline{0,398 \text{ m}}}$$

$$\bar{Z}_{GC} \text{ (d. en charge)} = \frac{1}{3} \times 0,840 \times \frac{546,0}{30,56} = \underline{\underline{0,500 \text{ m}}}$$

Figure A.1.1 Longueur de flottaison (L_{wl}) versus profondeur de carene (D_{wl})



Annexe II :

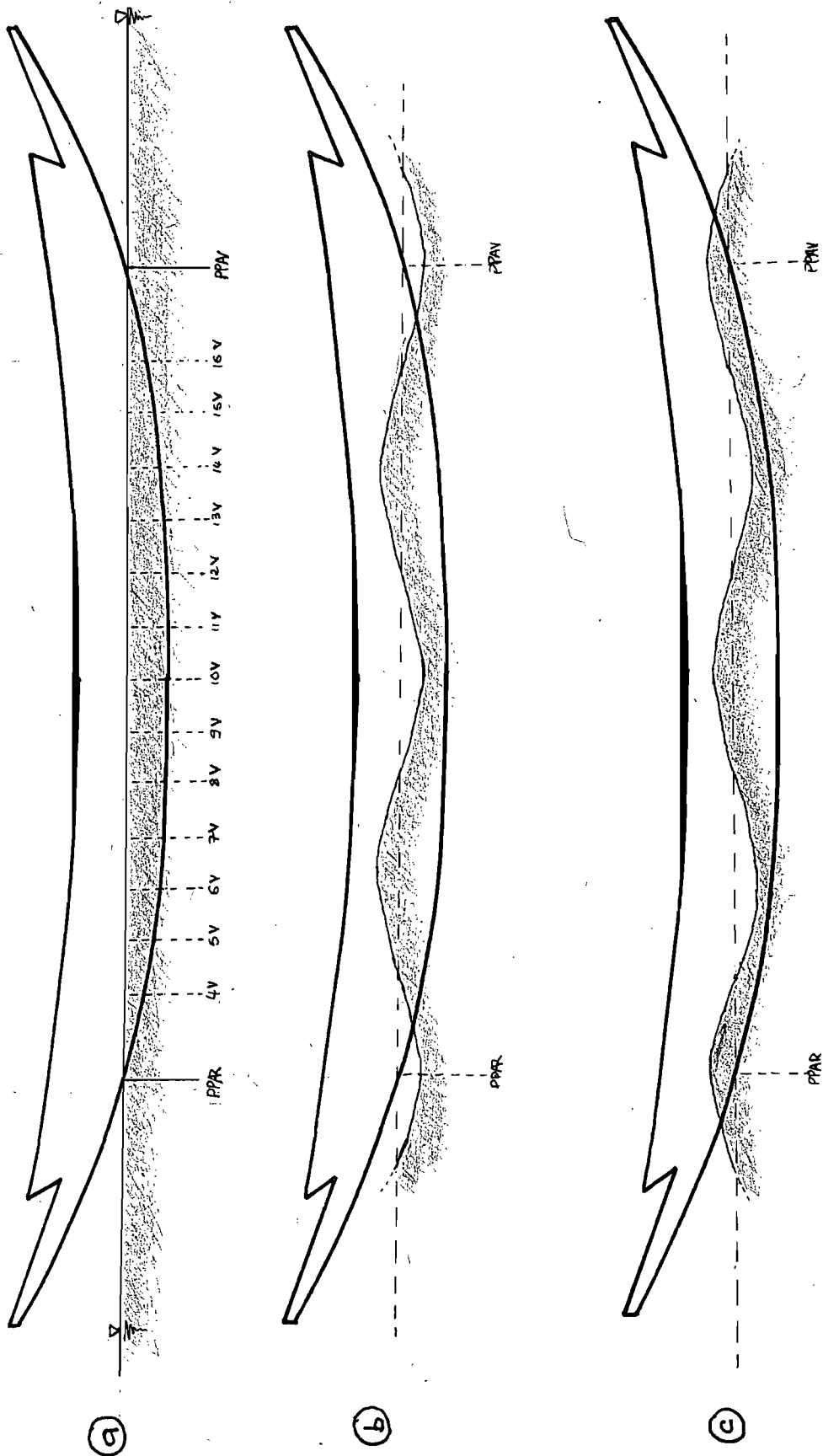
Résultats intermédiaires relatifs
aux calculs de structure :

Tableau A.2.1 : Répartition longitudinale des poids

Postes	PPAR-3V	3V-4V	4V-5V et 15V-16V	5V-6V et 16V-15V	6V-7V et 13V-14V	7V-8V et 12V-13V	8V-9V et 11V-12V	9V-10V et 10V-11V	16V-17V	17V-PPAV
1	0,937	0,444	0,462	0,488	0,506	0,519	0,525	0,525	0,444	0,937
2	0,19									0,19
3	0,131	0,094	0,050	0,0905	0,1965	0,106	0,122	0,122	0,094	0,138
4	0,095									0,095
5			0,250	0,250						
6	0,30									
7						0,220	0,040	0,040		
8		0,120								
9	0,084	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,084
10									0,050	
11	0,181	0,131			0,369	0,262	0,388	0,364	0,131	0,181
12			1,500	1,500						
13		0,300								
14									0,250	
15									0,200	
16						0,222	0,044	0,044		
17	0,093	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,093
Totaux	2,011	1,238	2,40	2,46	1,21	1,06	1,25	4,17	1,308	1,718

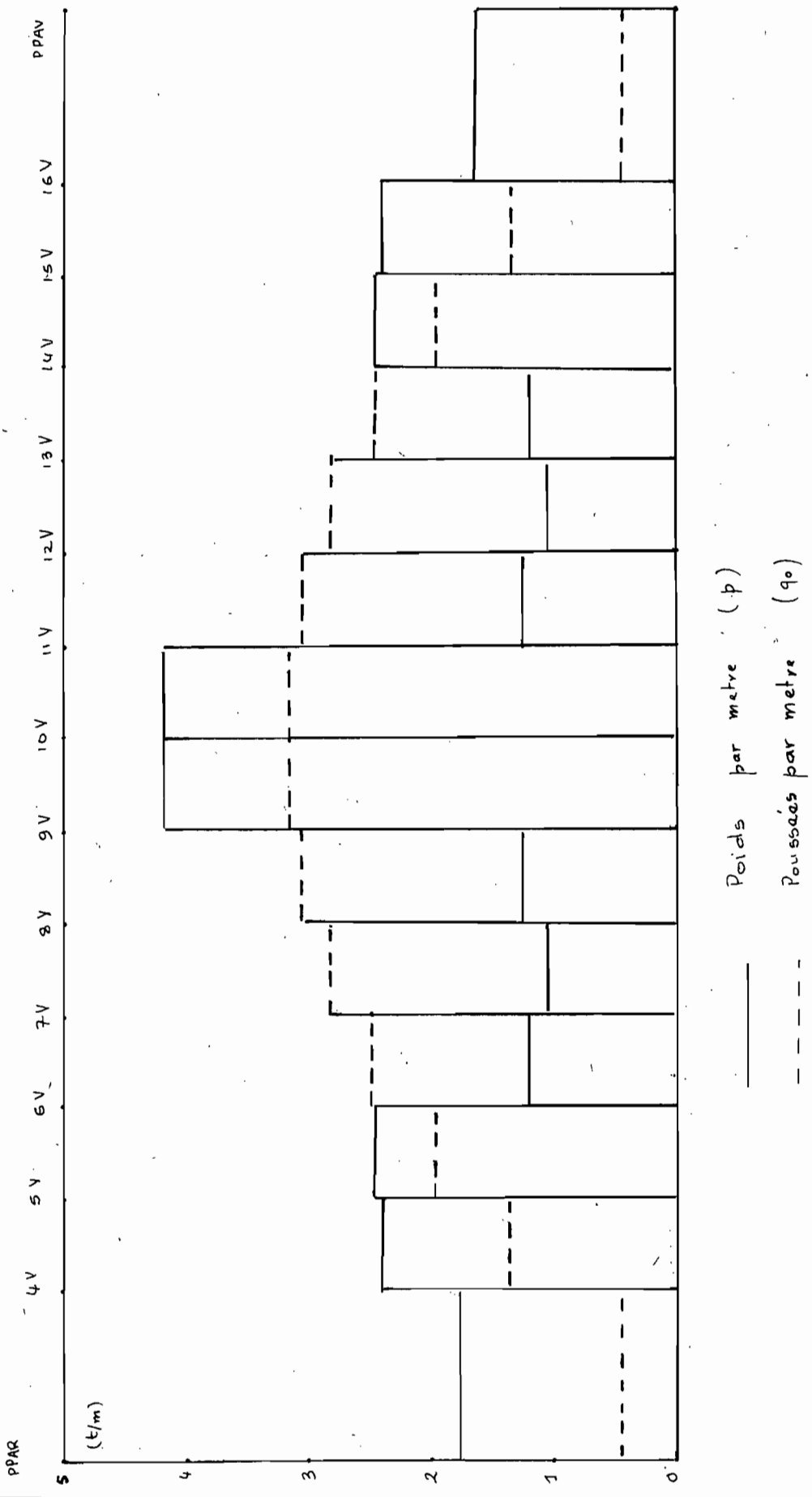
Tableau A.2.2 : Resultats de l'analyse en eau calme

couple	q _o (t/m)	p (t/m)	p = q _o (t/m)	T _o (t)	M _o (t.m)
PPAR				0,00	0,00
4V	0,450	1,76	1,31	- 2,41	- 2,22
5V	1,370	2,40	1,03	- 3,44	- 5,14
6V	1,980	2,46	0,48	- 3,92	- 8,82
7V	2,470	1,21	- 1,26	- 2,66	- 12,11
8V	2,820	1,06	- 1,76	- 0,90	- 13,89
9V	3,050	1,25	- 1,80	0,90	- 13,93
10V	3,160	4,17	- 1,01	- 0,11	- 13,55
11V	3,160	4,17	1,01	- 1,12	- 14,16
12V	3,050	1,25	- 1,80	0,68	- 14,36
13V	2,820	1,06	- 1,76	2,44	- 12,80
14V	2,470	1,21	- 1,26	3,70	- 9,73
15V	1,980	2,46	0,48	3,22	- 6,27
16V	1,370	2,40	1,03	2,19	- 3,57
PPAV	0,450	1,64	1,19	0,00	0,46



—figure A.2.0: Différents modes de chargement de la pirogue

Figure A.2.1 Diagramme des poids et poussées par mètre (p et q₀)



_____ Poids par metre (p)
 - - - - - Poussées par metre (q₀)

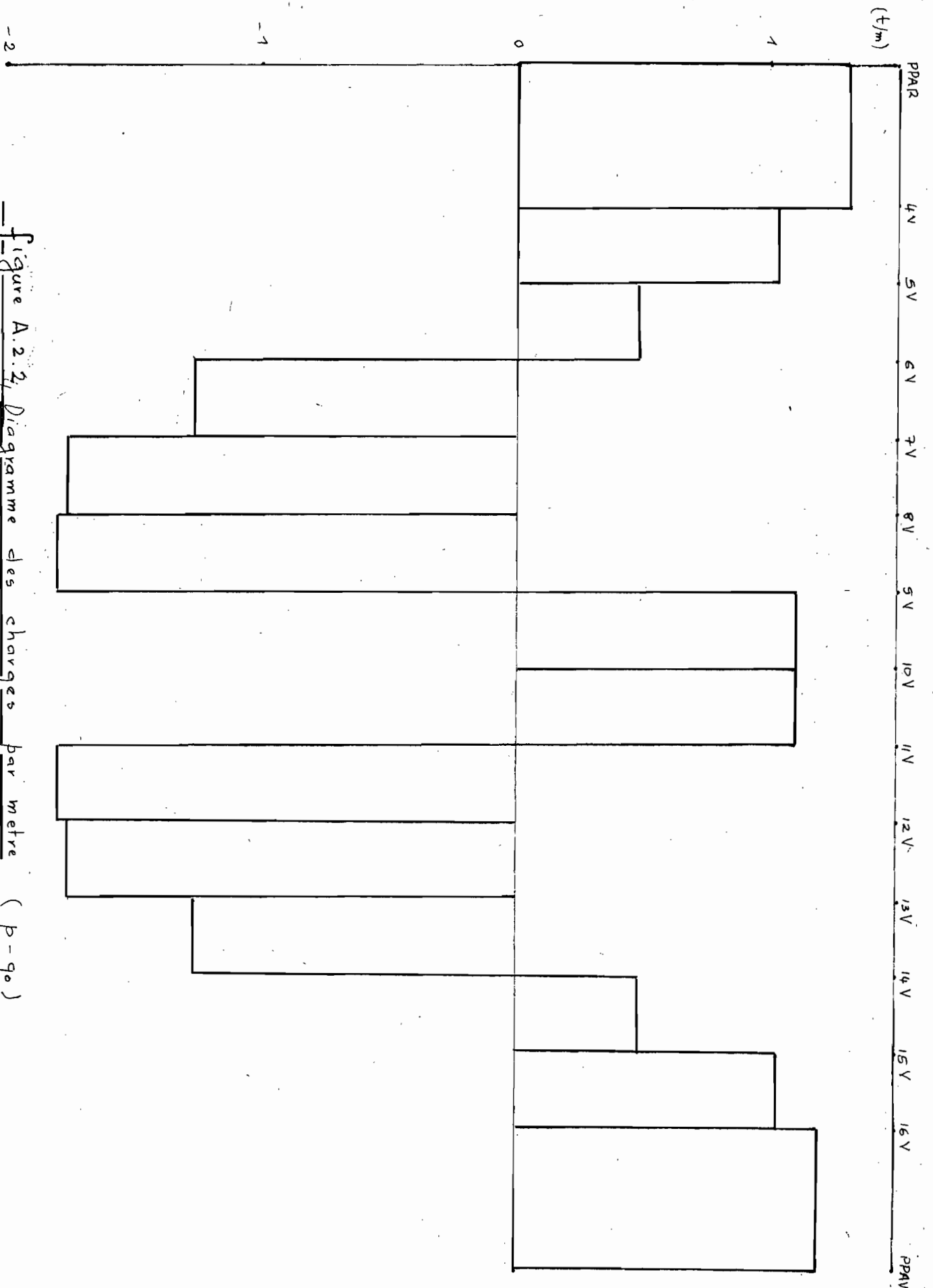


Figure A.2.2, Diagramme des charges par metre (p-90)

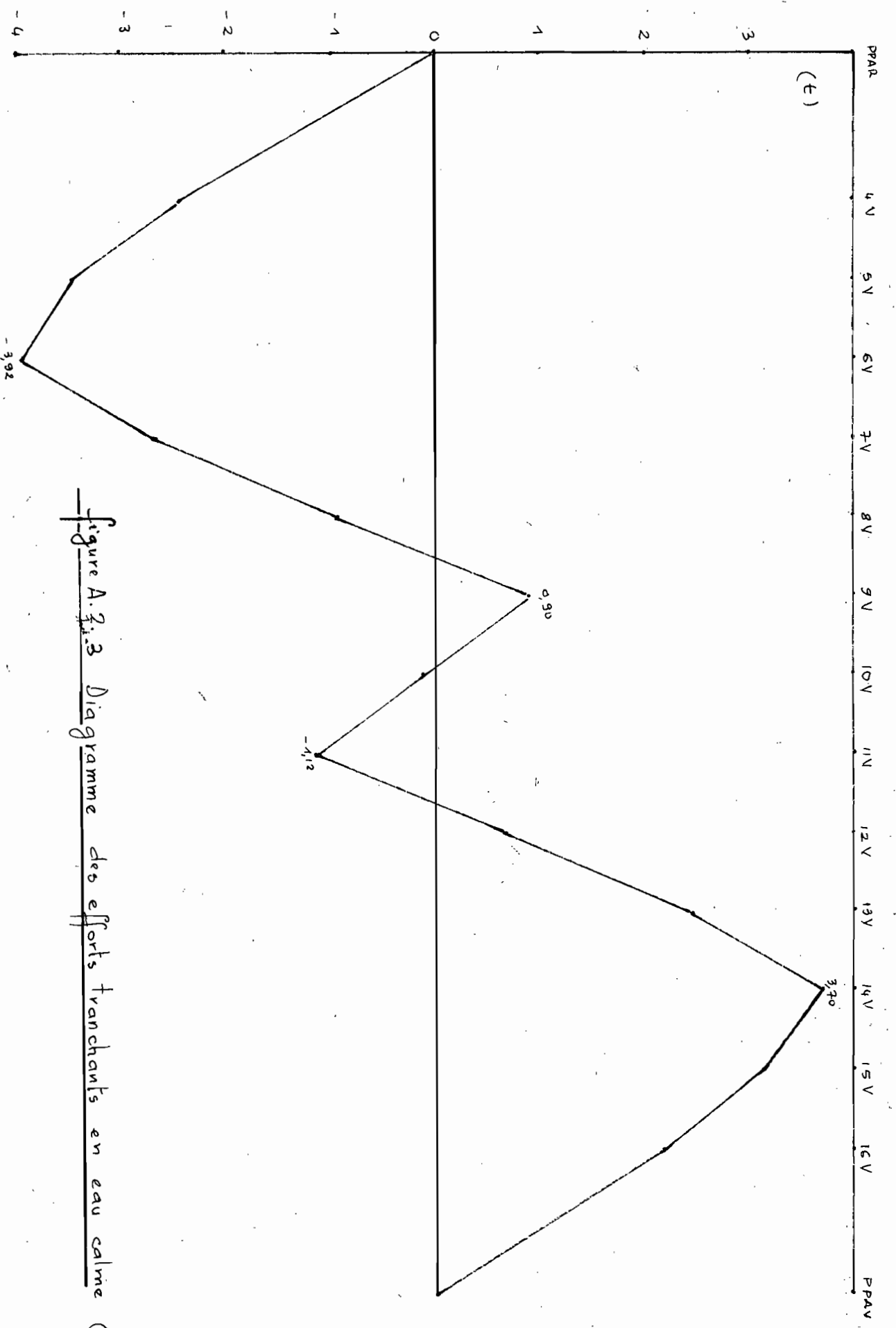


Figure A.3.3 Diagramme des efforts tranchants en eau calme (T₀)

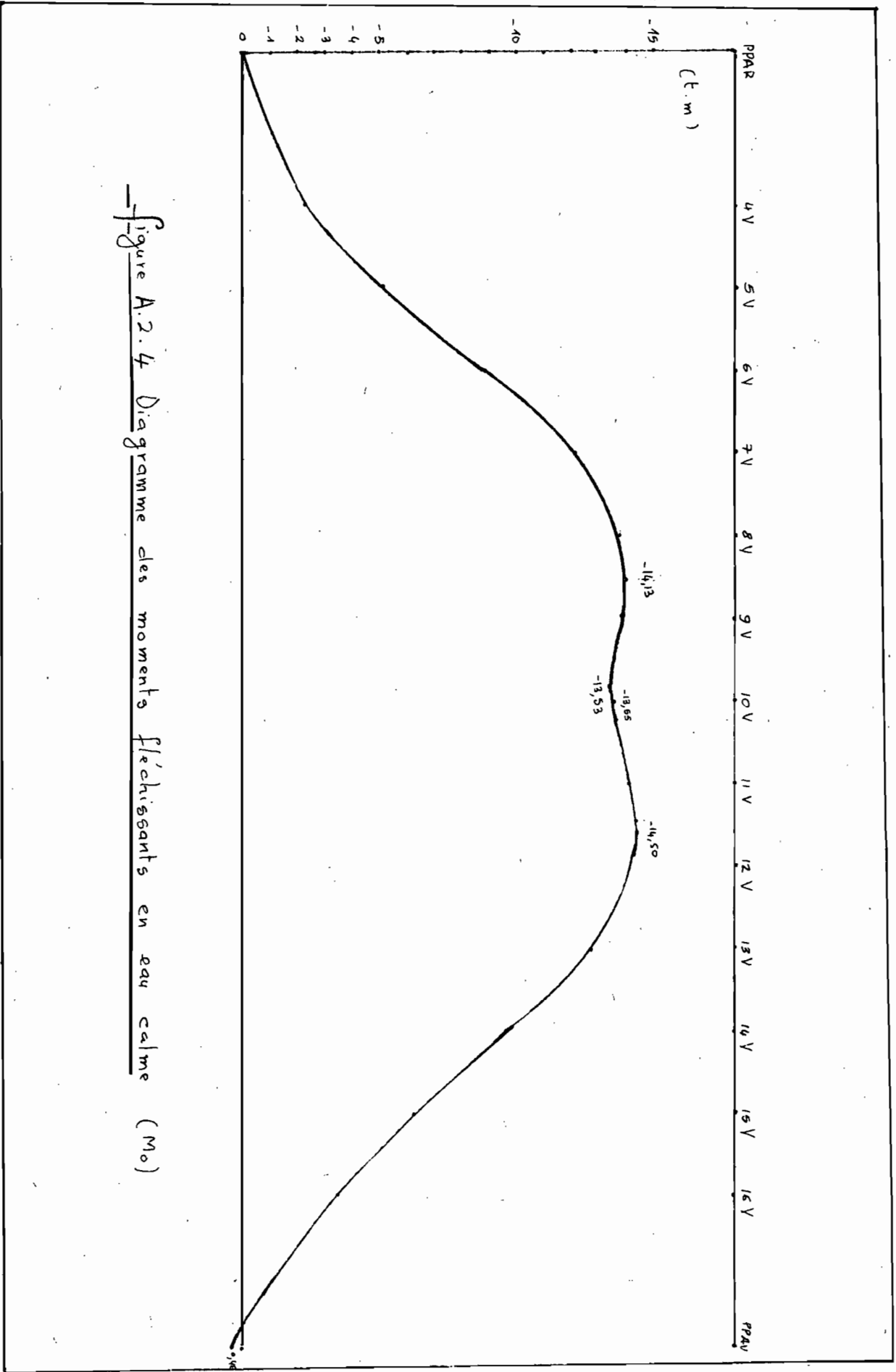


Figure A.2.4 Diagramme des moments fléchissants en eau calme (Mo)

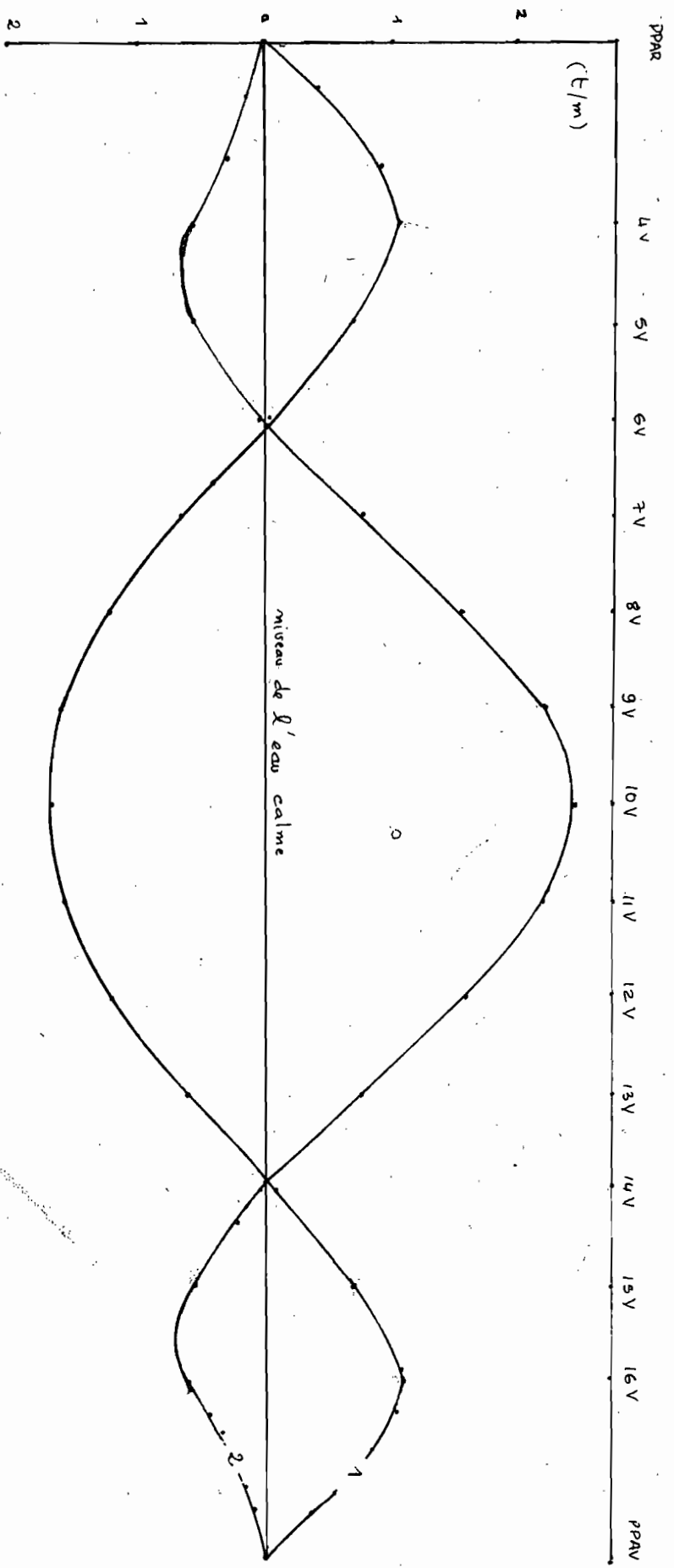


Figure A.2.5 Diagramme des hauteurs exercées par la houle (q_{H1} et q_{H2})

q_{H1} : creux de la vague sur le couple 10V
 q_{H2} : crête de la vague sur le couple 10V

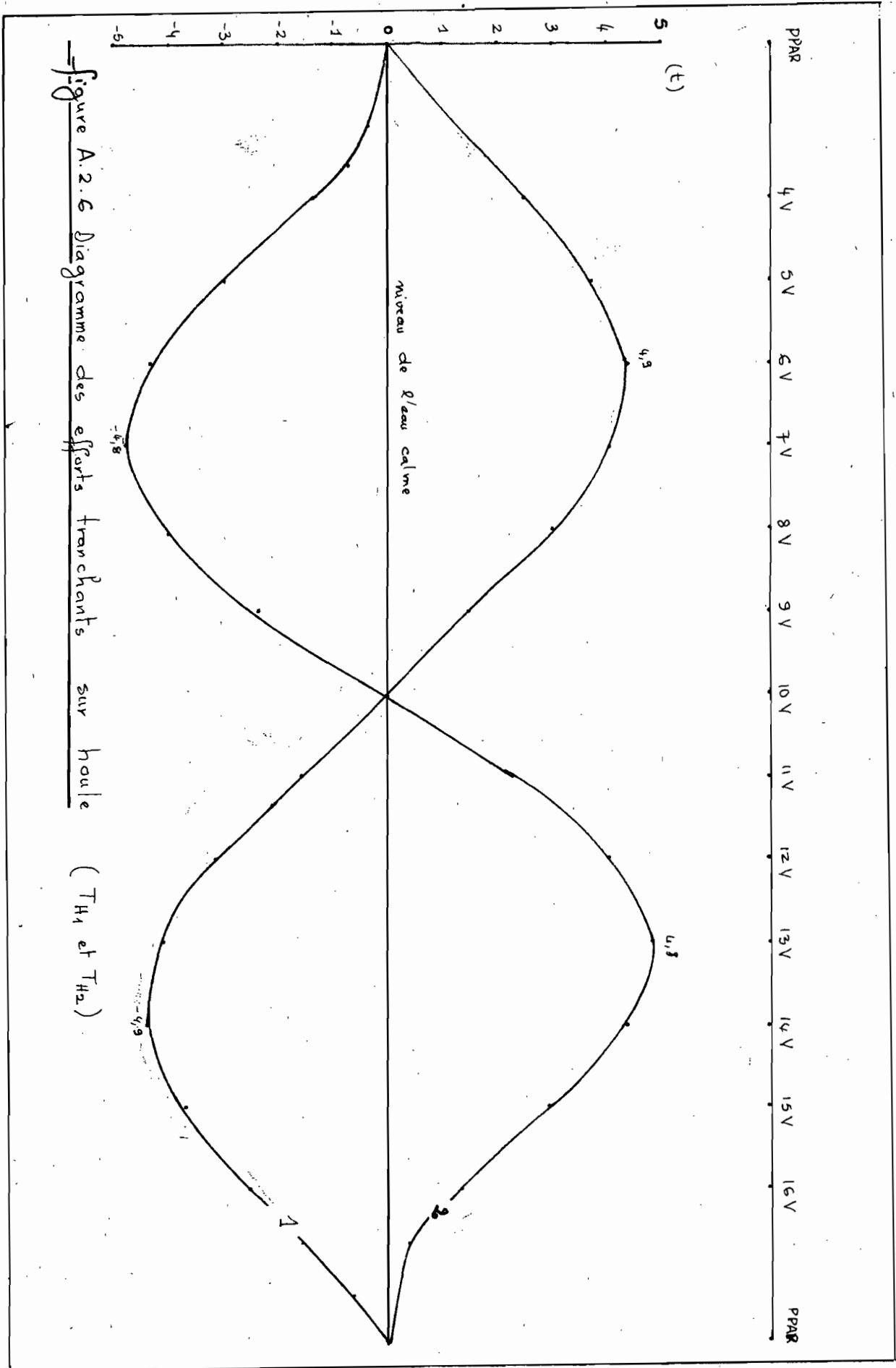


Figure A.2.6 Diagramme des efforts tranchants sur haute (TH1 et TH2)

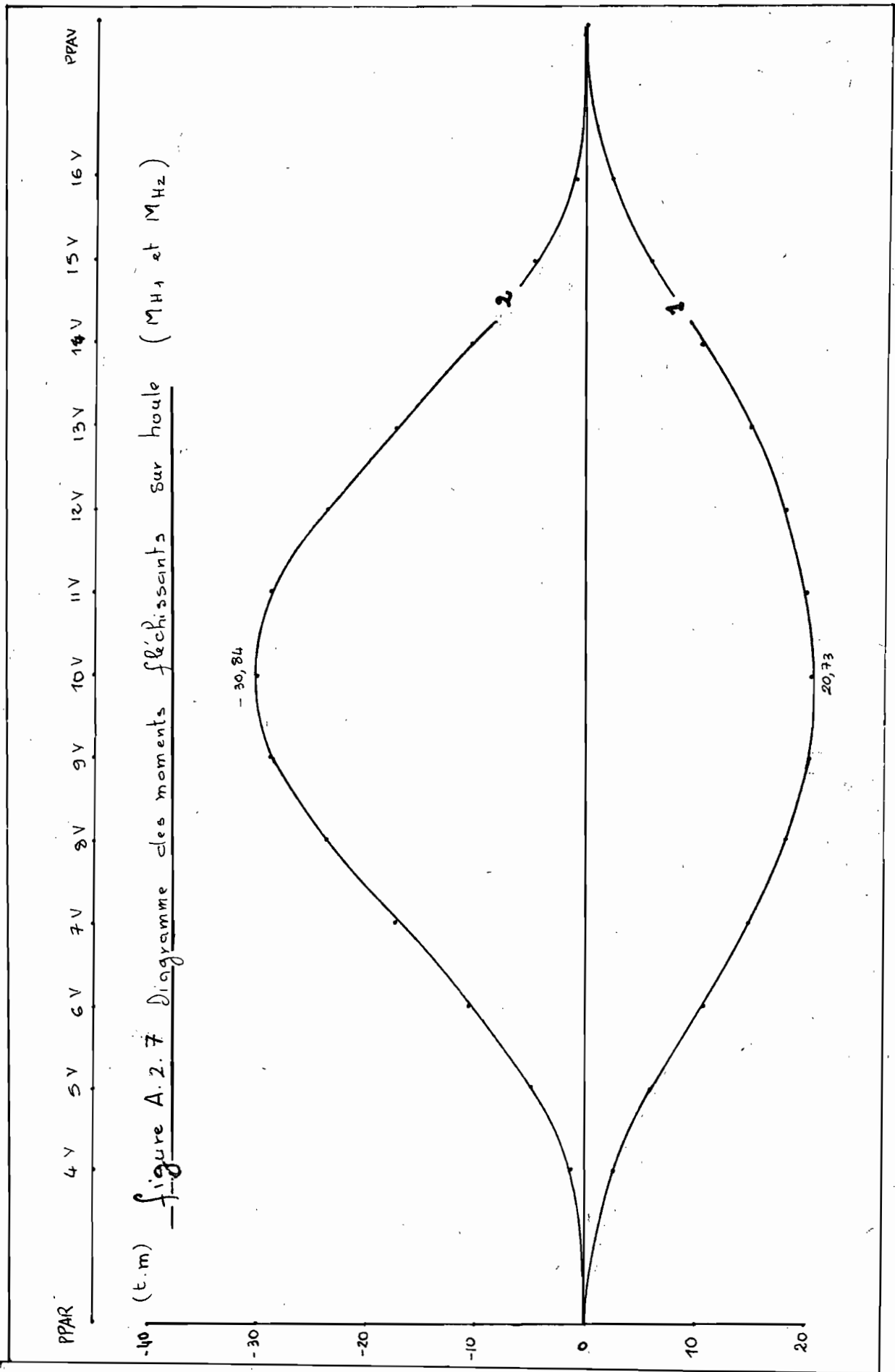
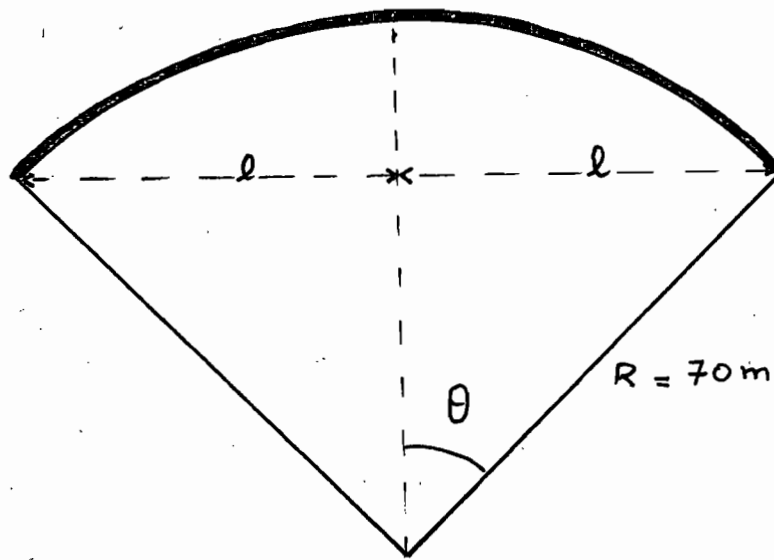
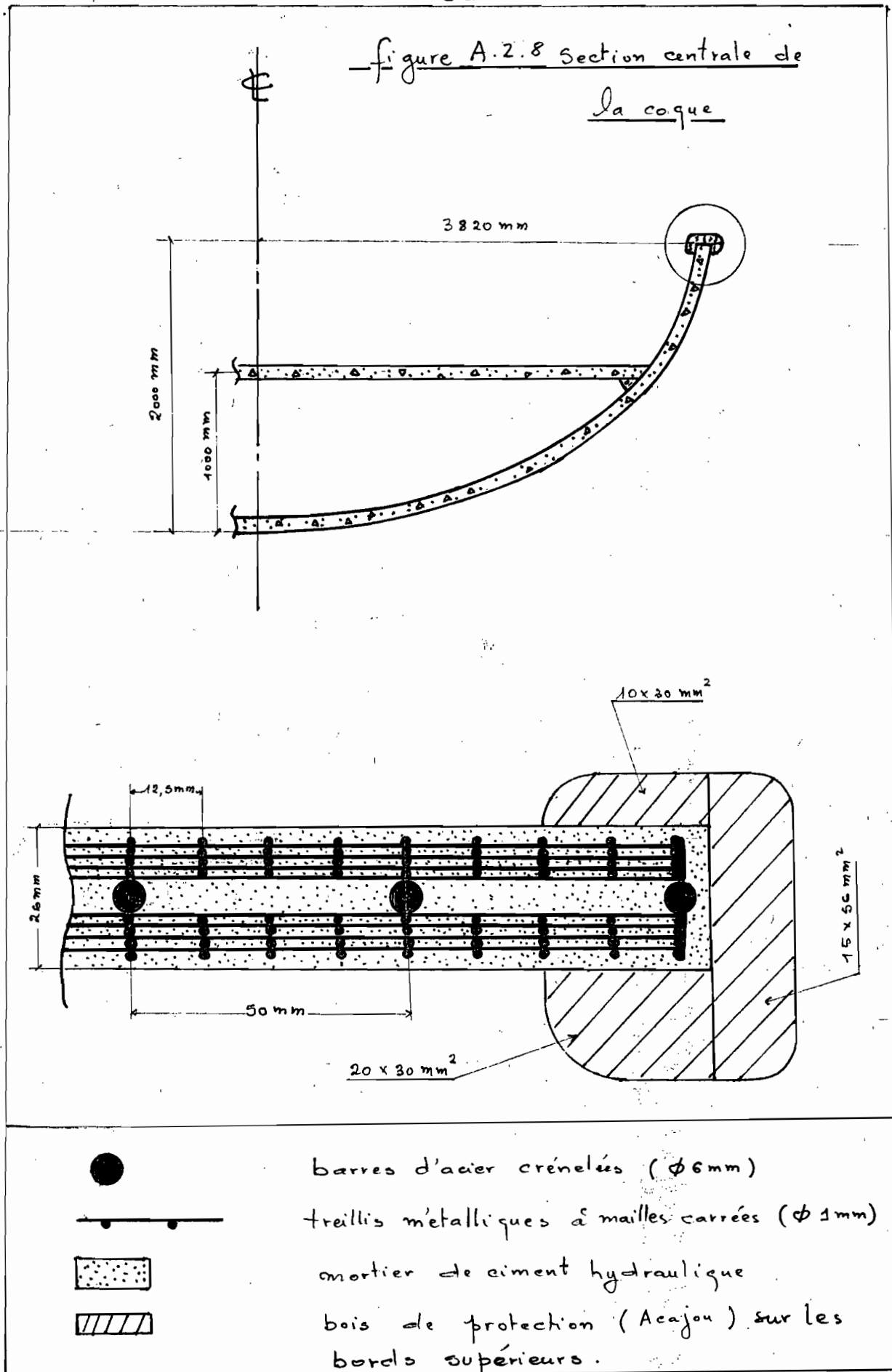


Tableau A.2.3: Géométrie du pont d'étanchéité



Couples	largeur [l] (m)	Angle au centre [θ] (degré)	pende latérale (%)
10V	2,84	2,32	2,0
9V et 11V	2,812	2,30	2,0
8V " 12V	2,725	2,23	1,9
7V " 13V	2,574	2,11	1,8
6V " 14V	2,347	1,92	1,7
5V " 15V	2,057	1,68	1,5
4V " 16V	1,733	1,42	1,2
3V " 17V	1,271	1,04	0,9
2V " 18V	0,512	0,42	0,3

figure A.2.8 Section centrale de
la coque



Annexe III :

Résultats intermédiaires relatifs
à la recherche des optimum.

Equations de coque.

• Pour tous les modèles, l'équation de la ligne de quille et celle l'équation générale restent les mêmes que celles mentionnés au paragraphe II.3.

$$y_1(x_0) = a_0 + a_2 \cdot x_0^2 + a_4 \cdot x_0^4 + a_6 \cdot x_0^6 + a_8 \cdot x_0^8 + a_{10} \cdot x_0^{10}$$

B/L _{SE}	a ₀	a ₂	a ₄	a ₆	a ₈	a ₁₀
1/3	0,164	-0,82824	-8,41953	131,99074	-780,42328	1477,07231
1/4	0,125	-0,58646	10,07347	-161,12269	849,86772	-1592,81305
1/5	0,100	-0,57329	8,32396	-104,97685	562,16931	-1047,17813

$$z_1(x_0) = b_0 + 0,45825 \cdot x_0^2 - 6,60494 \cdot x_0^4 + 82,17582 \cdot x_0^6 - 429,89418 \cdot x_0^8 + 771,60434 \cdot x_0^{10}$$

D/L _{SE}	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12
b ₀	0,125	0,111	0,100	0,091	0,084

(Pour $i = 1, 2, \dots, 15$)

L_{SE} = 15 m → modèles A_i

L_{SE} = 18 m → modèles D_i

L_{SE} = 16 m → modèles B_i

L_{SE} = 19 m → modèles E_i

L_{SE} = 17 m → modèles C_i

L_{SE} = 20 m → modèles F_i

tableau A.3.1 : modèles de longueur 15 mètres

col.	col.	col.	col.	col.	col.	col.	col.	col.	col.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A ₁	1,260	3,000	2,286	0,600	1,134	1,292	0,953	-	-
A ₂	1,365	3,000	2,393	0,650	1,150	1,114	0,924	-	-
A ₃	1,500	3,000	2,584	0,690	1,150	1,000	0,843	-	-
A ₄ *	1,260	3,750	2,564	0,560	0,960	2,035	1,588	0,300	0,357
A ₅ **	1,365	3,750	2,666	0,580	0,990	1,783	1,270	0,375	0,349
A ₆	1,665	3,000	2,710	0,708	1,206	0,899	0,767	-	-
A ₇ **	1,500	3,750	2,800	0,600	1,050	1,742	1,282	0,450	0,345
A ₈	1,875	3,000	2,937	0,780	1,270	0,758	0,571	-	-
A ₉ ***	1,665	3,750	2,968	0,500	1,082	1,532	1,177	0,583	0,337
A ₁₀	1,260	4,920	2,988	0,535	0,850	3,704	2,888	-	-
A ₁₁	1,365	4,920	3,084	0,546	0,890	3,463	2,699	-	-
A ₁₂ **	1,875	3,750	3,186	0,750	1,125	1,313	1,040	0,750	0,328
A ₁₃	1,500	4,920	3,210	0,600	0,900	3,100	2,527	-	-
A ₁₄ **	1,665	4,920	3,368	0,660	0,930	2,745	2,242	0,735	0,321
A ₁₅ **	1,875	4,920	3,575	0,750	0,985	2,378	1,902	0,890	0,315

* modèles conservés après le premier test

** " " " le deuxième test

*** " " " le troisième test

Tableau A.3.2 : modèles de longueur 16 mètres

col. 1	col. 2	col. 3	col. 4	col. 5	col. 6	col. 7	col. 8	col. 9	col. 10
B ₁ *	1,344	3,200	2,601	0,625	1,188	1,367	1,100	0,156	0,400
B ₂	1,456	3,200	2,723	0,654	1,102	1,216	0,988	-	-
B ₃	1,600	3,200	2,883	0,692	1,143	1,093	0,845	-	-
B ₄ **	1,344	4,000	2,918	0,582	0,952	2,267	1,696	0,392	0,371
B ₅ **	1,456	4,000	3,034	0,607	0,980	1,752	1,784	0,476	0,363
B ₆	1,776	3,200	3,083	0,739	1,192	0,964	0,793	-	-
B ₇ **	1,600	4,000	3,186	0,640	1,064	1,859	1,458	0,586	0,355
B ₈	2,000	3,200	3,342	0,800	1,192	0,854	0,751	-	-
B ₉ ***	1,776	4,000	3,377	0,710	1,057	1,633	1,310	0,719	0,349
B ₁₀	1,334	5,248	3,400	0,538	-	4,044	-	-	-
B ₁₁	1,456	5,248	3,509	0,582	-	3,694	-	-	-
B ₁₂ **	2,000	4,000	3,685	0,800	1,107	1,400	1,058	0,893	0,341
B ₁₃	1,600	5,248	3,652	0,640	-	3,308	-	-	-
B ₁₄ **	1,776	5,248	3,882	0,710	0,942	2,926	2,404	0,834	0,337
B ₁₅ **	2,000	5,248	4,068	0,800	0,973	2,537	2,068	1,027	0,326

* modèles conservés après le premier test

** " " " le deuxième test

*** " " " le troisième test

Tableau A. 3. 3 : modèles de longueur 17 mètres

col.	col.	col.	col.	col.	col.	col.	col.	col.	col.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C ₁ *	1,428	3,400	2,936	0,641	1,094	1,424	1,148	0,334	0,405
C ₂ ***	1,547	3,400	3,074	0,672	1,127	1,308	1,025	0,420	0,398
C ₃	1,700	3,400	3,255	0,711	1,168	1,174	0,892	-	-
C ₄ **	1,428	4,250	3,294	0,597	0,974	2,396	1,835	0,454	0,386
C ₅ **	1,547	4,250	3,425	0,619	1,009	2,218	1,717	0,538	0,382
C ₆	1,887	3,400	3,480	0,760	1,218	1,037	0,802	-	-
C ₇ **	1,700	4,250	3,597	0,680	1,038	1,974	1,583	0,662	0,374
C ₈	2,125	3,400	3,773	0,850	-	0,877	-	-	-
C ₉ **	1,887	4,250	3,812	0,755	1,080	1,735	1,376	0,807	0,365
C ₁₀	1,428	5,576	3,838	0,571	-	4,296	-	-	-
C ₁₁	1,547	5,576	3,901	0,619	-	3,924	-	-	-
C ₁₂ **	2,125	4,250	4,093	0,850	1,174	1,498	1,101	0,991	0,357
C ₁₃	1,700	5,576	4,123	0,680	-	3,513	-	-	-
C ₁₄	1,887	5,576	4,326	0,755	-	3,503	-	-	-
C ₁₅ **	2,125	5,576	4,592	0,850	0,995	2,896	2,272	1,130	0,345

* modèles conservés après le premier test

** " " " le deuxième test

*** " " " le troisième test

Tableau A.3.4 : modèles de longueur 18 mètres

col. 1	col. 2	col. 3	col. 4	col. 5	col. 6	col. 7	col. 8	col. 9	col. 10
D ₁ **	1,512	3,600	3,291	0,657	1,074	1,527	1,178	0,438	0,418
D ₂ ***	1,638	3,600	3,446	0,688	1,108	1,402	1,141	0,530	0,410
D ₃	1,800	3,600	3,649	0,720	1,149	1,262	0,988	-	-
D ₄ **	1,512	4,500	3,693	0,605	0,958	2,014	2,036	0,564	0,398
D ₅ **	1,638	4,500	3,840	0,655	0,989	2,347	1,903	0,640	0,394
D ₆	1,998	3,600	3,902	0,799	1,199	1,100	0,881	-	-
D ₇ **	1,800	4,500	4,033	0,720	1,024	2,091	1,584	0,776	0,387
D ₈	2,250	3,600	4,230	0,900	-	0,929	-	-	-
D ₉ **	1,998	4,500	4,274	0,799	1,067	1,838	1,428	0,831	0,380
D ₁₀	1,512	5,904	4,303	0,605	-	4,549	-	-	-
D ₁₁	1,638	5,904	4,441	0,655	-	4,155	-	-	-
D ₁₂ **	2,250	4,500	4,588	0,900	1,125	1,575	1,125	1,125	0,373
D ₁₃	1,800	5,904	4,622	0,720	-	3,721	-	-	-
D ₁₄	1,998	5,904	4,850	0,789	-	3,293	-	-	-
D ₁₅ ***	2,250	5,904	5,149	0,900	0,987	2,854	2,443	1,263	0,353

* modèles conservés après le premier test

** " " " le deuxième test

*** " " " le troisième test

tableau A.3.5 : modèles de longueur 19 mètres

col. 1	col. 2	col. 3	col. 4	col. 5	col. 6	col. 7	col. 8	col. 9	col. 10
E_1^{**}	1,596	3,800	3,667	0,672	1,096	1,598	1,262	0,500	0,435
E_2^{***}	1,729	3,800	3,840	0,706	1,130	1,495	1,069	0,099	0,423
E_3^{**}	1,900	3,800	4,066	0,760	1,174	1,332	1,059	0,726	0,420
E_4^{**}	1,596	4,750	4,114	0,638	0,980	2,722	2,189	0,616	0,418
E_5^{**}	1,729	4,750	4,278	0,692	1,009	2,478	2,016	0,720	0,410
E_6	2,109	3,800	4,347	0,844	1,225	1,161	0,900	/	/
E_7^{**}	1,900	4,750	4,493	0,760	1,045	2,206	1,769	0,865	0,405
E_8	2,375	3,800	4,713	0,950	1,290	0,980	0,659	/	/
E_9^{**}	2,109	4,750	4,762	0,844	1,090	1,939	1,492	1,019	0,397
E_{10}	1,596	6,232	4,794	0,638	-	4,730	/	/	/
E_{11}	1,729	6,232	4,948	0,692	-	4,386	/	/	/
E_{12}	2,375	4,750	5,112	0,950	1,147	1,663	0,733	-	-
E_{13}	1,900	6,232	5,150	0,760	-	3,927	/	/	/
E_{14}	2,109	6,232	5,404	0,844	-	3,475	/	/	/
E_{15}	2,375	6,232	5,737	0,950	-	3,013	/	/	/

* modèles conservés après le premier test
 ** " " " le deuxième test
 *** " " " le troisième test

tableau A.3.6 : modèles de longueur 20 mètres

col. 1	col. 2	col. 3	col. 4	col. 5	col. 6	col. 7	col. 8	col. 9	col. 10
F ₁ *	1,680	4,000	4,063	0,856	1,248	1,734	1,369	0,432	0,470
F ₂ **	1,820	4,000	4,255	0,728	1,117	1,585	1,273	0,743	0,440
F ₃ ***	2,000	4,000	4,505	0,800	1,160	1,403	1,108	0,840	0,432
F ₄ **	1,680	5,000	4,559	0,672	0,968	2,865	2,344	0,712	0,430
F ₅ **	1,820	5,000	4,740	0,728	0,998	2,608	2,126	0,822	0,424
F ₆ **	2,220	4,000	4,817	0,888	1,212	1,221	1,001	1,008	0,386
F ₇ **	2,000	5,000	4,978	0,800	1,036	2,324	1,851	0,964	0,418
F ₈	2,600	4,000	5,222	1,000	1,280	1,032	0,631	'	'
F ₉ **	2,220	5,000	5,276	0,888	1,082	2,042	1,581	1,138	0,400
F ₁₀	1,680	6,560	5,312	0,672	'	5,054	'	'	'
F ₁₁	1,820	6,560	5,482	0,728	'	4,616	'	'	'
F ₁₂ **	2,500	6,000	5,665	1,000	1,037	1,750	1,383	1,463	0,390
F ₁₃	2,000	6,560	5,707	0,800	'	4,134	'	'	'
F ₁₄	2,220	6,560	5,988	0,888	'	3,658	'	'	'
F ₁₅	2,500	6,860	6,356	1,000	'	3,172	'	'	'

* modèles conservés après le premier test
 ** " " " le deuxième test
 *** " " " le troisième test.

Tableau A.3.7: Détermination des optimum

Modèles de 15m	A ₅	A ₇	A ₉ *	A ₁₂	A ₁₄	A ₁₅		
Perte en économie (%)	0	5	11	19	26	34		
Perte en confort (%)	22	24	13	0	115	83		
différence absolue (%)	22	19	2	19	89	49		
Modèles de 16m	B ₄	B ₅	B ₇	B ₉ *	B ₁₂	B ₁₄	B ₁₅	
Perte en économie (%)	0	4	9	16	24	31	39	
Perte en confort (%)	60	69	38	24	0	127	94	
différence absolue (%)	60	65	29	8	24	96	55	
Modèles de 17m	C ₂ *	C ₄	C ₅	C ₇	C ₉	C ₁₂	C ₁₅	
Perte en économie (%)	0	7	11	17	24	33	49	
Perte en confort (%)	0	79	67	54	34	7	122	
différence absolue (%)	0	72	56	37	10	26	73	
Modèles de 18m	D ₁	D ₂ *	D ₄	D ₅	D ₇	D ₉	D ₁₂	D ₁₅
Perte en économie (%)	0	4	12	17	22	30	39	56
Perte en confort (%)	5	1	110	69	41	27	0	117
différence absolue (%)	5	3	98	52	19	3	39	61
Modèles de 19m	E ₁	E ₂ *	E ₃	E ₄	E ₅	E ₇	E ₉	
Perte en économie (%)	0	5	11	12	17	22	30	
Perte en confort (%)	13	1	0	82	68	47	24	
différence absolue (%)	13	4	11	70	51	25	6	
Modèles de 20m	F ₂	F ₃ *	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₉	F ₁₂
Perte en économie (%)	0	6	7	11	13	17	24	33
Perte en confort (%)	27	11	134	112	0	85	58	38
différence absolue (%)	27	5	127	101	13	68	34	5

Annexe IV :

Détails du calcul des coûts

a/ Pirogue traditionnelle

bois acajou	$2,5 \text{ m}^3 \times 95.600$	=	239.000
bois samba	$2,5 \text{ m}^3 \times 72.000$	=	180.000
ferrage		=	20.000
divers		=	220.000
main d'œuvre	$408 \text{ h} \times 453$	=	184.824
2 caisses isothermes		=	600.000
* coût initial de la pirogue		=	1.443.824 FCFA
* coût d'entretien annuel			
	$0,20 \times 1.443.824$	=	288.764,8 FCFA
* coût de fonctionnement annuel			
	$(0,20 + 0,20) \times 1.443.824$	=	<u>557.529,6 FCFA</u>

b/ Pirogue en bois importé

bois acajou	$2,7 \text{ m}^3 \times 124.000$	=	334.800
contre-plaque	$40 \text{ m}^2 \times 2000$	=	80.000
colle	$10 \text{ kg} \times 1000$	=	10.000
Ferrage		=	20.000
polystyrène pour cales		=	60.000
Divers		=	290.000
main d'œuvre	$800 \text{ h} \times 453$	=	362.400

- * coût initial de la pirogue = 1.157.200 FCFA
- * coût d'entretien annuel
 $0,05 \times 1.157.200 = 57.860 \text{ FCFA}$
- * coût de fonctionnement annuel
 $(0,05 + 0,125) \times 1.157.200 = \underline{202.510 \text{ FCFA}}$

c/ Pirogue en contre-plaque marine

- . contre-plaqué (coque) $100 \text{ m}^2 \times 5900 = 590.000$
 - . contre-plaqué (aménagement) $40 \text{ m}^2 \times 2000 = 80.000$
 - . colle $10 \text{ kg} \times 1000 = 10.000$
 - . Ferrage = 20.000
 - . polystyrène pour cales = 60.000
 - . Divers = 380.000
 - . main d'oeuvre $800 \text{ h} \times 453 = 362.400$
- * coût initial de la pirogue = 1.503.280 FCFA
 - * coût d'entretien annuel
 $0,10 \times 1.503.280 = 150.328 \text{ FCFA}$
 - * coût de fonctionnement annuel
 $(0,10 + 0,125) \times 1.503.280 = \underline{338.238 \text{ FCFA}}$

d/ Pirogue en fibre de verre

- . Resine de polyester $800 \text{ kg} \times 474 = 379.200$
- . tissus de verre $400 \text{ kg} \times 980 = 392.000$
- . Gel coat $10 \text{ kg} \times 800 = 8.000$
- . acetone $20 \text{ kg} \times 150 = 3.000$
- . octoate de cobalt $10 \text{ kg} \times 421 = 4.210$

• P.M.E.C	10 kg	$\times 1032$	=	10.320
• Renforts acajou	1,15 m ³	$\times 95.520$	=	109.848
• contre-plaque	40 m ²	$\times 2000$	=	80.000
• polystyrène pour cales			=	60.000
• Divers			=	200.000
• main d'œuvre	300 h	$\times 453$	=	135.900

* Coût initial de la pirogue = 1.382.478 FCFA

* coût d'entretien annuel

$0,02 \times 1.382.478 = 27.650 \text{ FCFA}$

* Coût de fonctionnement annuel

$(0,02 + 0,067) \times 1.382.478 = \underline{120.275,6 \text{ FCFA}}$

e/ Pirogue en ferrociment

Pour obtenir un bon mortier, les proportions doivent être bien choisies pour donner une bonne consistance avec une meilleure résistance mécanique. C'est ainsi que les recommandations suivantes ont été dégagées expérimentalement.

- Un rapport eau/ciment = 0,4 (en poids)
- Un rapport ciment/sable = 0,5 (en poids)
- Un dosage de 500 kg de ciment par m³ de mortier a été jugé bon.

• Pourcentage des aciers	4,39 % (en volume)
• Masse volumique des aciers	7850 kg/m ³
• Masse volumique du sable	2780 kg/m ³
• Volume de ferrociment estimé	2,968 m ³

• Ciment	1,484 t x 32.322	=	47.966
• sable	0,267 m ³ x 1000	=	267
• Armature	1023 kg x 211,10	=	215.955
• bois acajou	0,0696 m ³ x 95600	=	6654
• colle	15 kg x 1000	=	15000
• polystène pour cales isothermes		=	100000
• Divers		=	400000
• Main d'œuvre	800 h x 453	=	362400

* coût initial de la pirogue	=	1.390.850 FCFA
* coût d'entretien annuel		
0,02 x 1 390 850	=	27 817 FCFA
* coût de fonctionnement annuel		
(0,02 + 0,067) x 1 390 850	=	<u>121 004 FCFA</u>

Annexe V :

Programmes et résultats

```

1 c-----
2 c PROGRAMME 'GAALO.F'
3 c-----
4 c   AUTEUR :   ISSA SECK
5 c
6 c   PROJET DE FIN D'ETUDES (ANNEES UNIVERS. 85-86)
7 c
8 c   CONCEPTION D'UNE PIROGUE EN FERROCIMENT
9 c
10 c   RESOLUTION D'UN SYSTEME D'EQUATIONS 10 PAR 10
11 c
12 c * ce programme permet le lissage des paraboles
13 c   - de la ligne de quille
14 c   - des bords superieurs
15 c * le fichier 'hypot' permet de lire les a(i,12)
16 c   representant la colonne des ordonnees obtenues
17 c   a partir d'un dessin d'architecture d'une pirogue
18 c   traditionnelle
19 c * les resultatats sont consignes dans le fichier 'resul'
20 c-----
21 c
22 c   implicit real*8 (a-h,o-z)
23 c   dimension a(11,12)
24 c
25 c   open ( unit = 5 ,file = 'hypot')
26 c   open ( unit = 6 ,file = 'resul')
27 c
28 c   rewind (5)
29 c   rewind (6)
30 c
31 c   INITIALISATION ET LECTURE DE DONNEES
32 c
33 c   read (5,*) I
34 c   kj = I + 1
35 c   do 500 i = 1, I
36 500 a(i,1) = 1.d0
37 c   a(1,2) = 0.d0
38 c   a(2,2) = .1d0
39 c   a(3,2) = .2d0
40 c   a(4,2) = .3d0
41 c   a(5,2) = .4d0
42 c   a(6,2) = .5d0
43 c   a(7,2) = -.1d0
44 c   a(8,2) = -.2d0
45 c   a(9,2) = -.3d0
46 c   a(10,2) = -.4d0
47 c   a(11,2) = -.5d0
48 c   do 510 i = 1, 11
49 c   do 520 n = 3, 11
50 520 a(i,n) = a(i,2)**(n-1)
51 510 continue
52 c   do 525 i = 1, I
53 525 read (5,*) a(i,12)
54 c
55 c   SELECTION DU PIVOT
56 c
57 c   do 600 i = 1, I
58 c   ip1 = i+1
59 c   temp = abs( a(i,i) )
60 c   k = 1
61 c   do 590 j = i, I
62 590 if ( abs( a(j,i) ) - temp ) 590,590,585
63 585 k=j
64 c   temp = abs( a(j,i) )
65 590 continue
66 c   if (k=i) 600,620,600

```

```

67 600 do 610 j = i, kj
68      temp = a(i,j)
69      a(i,j) = a(k,j)
70 610 a(k,j) = temp
71 c
72 c   ELIMINATION GUAUSSIENNE
73 c
74 620 if ( a(i,i) ) 640,690,640
75 640 temp = 1.d0/ a(i,i)
76      do 650 j = i, kj
77 650 a(i,j) = a(i,j)*temp
78      do 680 j = 1, l
79      if (i-j) 660,680,660
80 660 temp = a(j,i)
81      do 670 k = ipl, kj
82 670 a(j,k) = a(j,k) - temp * a(i,k)
83 680 continue
84 c
85 c   IMPRESSION DES RESULTATS
86 c
87      write (6,710)
88      do 700 i = 1, l
89      ii = i - 1
90      write (6,720) ii,a(i,kj)
91 700 continue
92      goto 740
93 690 write (6,730)
94      goto 740
95 c
96 c   FORMATS D'ECRITURE
97 c
98 710 format(/30x,' COEFFICIENTS ',//)
99 720 format(35x,'A',i2,' = ',f15.5)
100 730 format(4x,'MATRICE SINGULIERE')
101 c
102 740 close (unit = 5)
103      close (unit = 6)
104      stop
105      end

```

COEFFICIENTS

(de la parabole $z_1(x_0)$)

A 0 = .10000
 A 1 = 0.00000
 A 2 = .45825
 A 3 = 0.00000
 A 4 = -6.60494
 A 5 = 0.00000
 A 6 = 82.17593
 A 7 = 0.00000
 A 8 = -429.89418
 A 9 = 0.00000
 A10 = 771.60494

($L_{SE}/D = 10$)

COEFFICIENTS

(de la parabole $z_2(x_0)$)

A 0 = .00000
 A 1 = 0.00000
 A 2 = .09558
 A 3 = 0.00000
 A 4 = .32215
 A 5 = 0.00000
 A 6 = 12.52315
 A 7 = 0.00000
 A 8 = -57.87037
 A 9 = 0.00000
 A10 = 77.16049

(Pour tous les rapports L_{SE}/D
 et tous les rapports L_{SE}/B)

COEFFICIENTS

(de la parabole $y_1(x_0)$)

A 0 =	.16400
A 1 =	0.00000
A 2 =	-.32824
A 3 =	0.00000
A 4 =	-8.41953
A 5 =	0.00000
A 6 =	131.99074
A 7 =	0.00000
A 8 =	-780.42328
A 9 =	0.00000
A10 =	1477.07231

(Pour $L_{SE}/B = 3$)

COEFFICIENTS

(de la parabole $y_1(x_0)$)

A 0 =	.12500
A 1 =	0.00000
A 2 =	-.58646
A 3 =	0.00000
A 4 =	10.07347
A 5 =	0.00000
A 6 =	-151.12269
A 7 =	0.00000
A 8 =	849.86772
A 9 =	0.00000
A10 =	-1592.81305

(Pour $L_{SE}/B = 4$)

COEFFICIENTS

(de la parabole $y_1(x_0)$)

A 0 =	.10000
A 1 =	0.00000
A 2 =	-.57329
A 3 =	0.00000
A 4 =	8.32396
A 5 =	0.00000
A 6 =	-104.97685
A 7 =	0.00000
A 8 =	562.16931
A 9 =	0.00000
A10 =	-1047.17813

(Pour $L_{SE}/B = 5$)

```

1 c-----
2 c PROGRAMME 'GAAL3.F'
3 c-----
4 c
5 c AUTEUR : ISSA SECK
6 c
7 c PROJET DE FIN D'ETUDES ( ANNEE UNIVERS. 85-86 )
8 c
9 c CONCEPTION D'UNE PIROGUE EN FERROCIMENT
10 c
11 c CALCUL DES EFFORTS SUR HOULE
12 c
13 c * le programme donne pour chaque abscisse ( x en metres )
14 c - la largeur de carene ( wl en m )
15 c - l'effort de mise en charge ( qh en tonnes )
16 c - l'effort tranchant ( th en tonnes )
17 c - le moment flechissant ( mh en tonnes.metres )
18 c * le fichier 'hypot' permet de lire
19 c - les abscisses ( xh en radians )
20 c - le coeff. de la parabole Z1 ( b0 )
21 c - les coeff. de la parabole Y1 ( a0,a2,...,a10)
22 c - la longueur sans eperons ( xl en metres )
23 c - la longueur de flottaison( xlf en metres)
24 c - la profondeur de carene (dw en metres)
25 c * les resultats sont consignes dans le fichier 'resul'
26 c
27 c CAS 1: creux de la houle sur la section 10V
28 c CAS 2: crete de la houle sur la section 10V
29 c-----
30 c
31 implicit real*(a-h,o-z)
32 dimension xh(9)
33 c
34 open (unit = 5, file = 'hypot' )
35 open (unit = 6, file = 'resul' )
36 c
37 rewind ( 5 )
38 rewind ( 6 )
39 c
40 c LECTURES DES DONNEES
41 c
42 do 100 i = 1 , 8
43 read ( 5 , * ) xh (i)
44 100 continue
45 read ( 5 , * ) b0,a0,a2,a4,a6,a8,a10,xl,xlf,dw
46 c
47 do 200 j = 1, 2
48 write ( 6 , 400 ) j
49 write ( 6 , 500 )
50 c
51 c PROFIL DE LA HOULE
52 c
53 do 200 i = 1, 8
54 x = xh ( i )
55 xx = - cos ( x )
56 tx = - sin ( x )
57 xm = 1.d0 + cos ( x )
58 if (j.eq.1) goto 110
59 xx = -xx
60 tx = -tx
61 xm = -xm
62 c
63 c LARGEUR DE LA CARENE A LA SURFACE DE LA HOULE
64 c

```

```

65 110 x = 2.4935d0 * (xh(i) / x1)
66 call coor(b0,a0,a2,a4,a6,a8,a10,x,x1,x2,y1,x1)
67 z = dw + xx * ( xlf / 40.d0 )
68 wl = 2 * y1 * (1-((z-x1)/(x2-x1))**2)**.5d0
69 c
70 c CALCUL DES EFFORTS ET IMPRESSION
71 c
72 qh = .02565d0 * sx * wl * xlf
73 th = 4.08232d-3 * tx * wl * xlf**2
74 hm = 6.49722d-4 * xm * wl * xlf**3
75 c
76 x = 2.4955d0 * xh(i)
77 write (6,600) x,wl,qh,th,hm
78 200 continue
79 c
80 c FORMATS D'ECRITURE
81 c
82 400 format(//,40x,'CAS',i2,///)
83 500 format( 10x,'Xh (m)',11x,'WL (m)',11x,'Qh (tonnes)',6x,
84 )'Th (tonnes)',6x,'Mh (tonnes.metres)',//)
85 600 format( 8x,f8.5,8x,f8.5,8x,f8.5,8x,f8.5,8x,f11.5)
86 close(unit = 5)
87 close(unit = 6)
88 stop
89 end

```


CAS 1

Xh (m)	WL (m)	Qh (tonnes)	Th (tonnes)	Mh (tonnes.metres)
.00000	4.13761	-1.66411	.00000	20.72741
.99997	4.20304	-1.55652	-1.64554	20.22124
1.99997	4.34433	-1.21553	-3.13227	18.45152
2.99994	4.43976	-.64348	-4.15674	15.12794
3.99991	4.38545	.05653	-4.39937	10.63247
4.99991	4.14708	.69951	-3.77863	6.03104
5.99988	3.72481	1.10900	-2.51343	2.42314
7.83984	2.04845	.82387	-.00001	0.00000

CAS 2

Xh (m)	WL (m)	Qh (tonnes)	Th (tonnes)	Mh (tonnes.metres)
.00000	6.05707	2.43610	.00000	-30.34296
.99997	5.96008	2.20721	2.33344	-28.67452
1.99997	5.65057	1.58101	4.07407	-23.99950
2.99994	5.10282	.73958	4.77753	-17.38724
3.99991	4.32695	-.05577	4.34068	-10.49063
4.99991	3.35036	-.56512	3.05269	-4.87238
5.99988	2.07291	-.61718	1.39876	-1.34851
7.83984	.00000	.00000	.00000	.00000

Pirogue :

}	L _{oe}	= 20 m
	B	= 6,600 m
	D	= 2,000 m

```

1 c-----
2 c PROGRAMME. 'GAAL4.F'
3 c-----
4 c AUTEUR : ISSA SECK
5 c
6 c PROJETS DE FIN D'ETUDES ( ANNEE UNIVERS. 85-86 )
7 c
8 c CONCEPTION D'UNE PIROGUE EN FERROCIMENT
9 c
10 c CALCUL DE MOMENT RESISTANT POUR LE CHOIX D'UNE EPAISSEUR
11 c
12 c *Le fichier 'hypot' permet de lire dans l'ordre :
13 c - l'ordonne du bord sup. suivant ox (Z1 en mm)
14 c - l'ordonne de la ligne de quille (Z2 en mm)
15 c - l'ordonne du bord sup. suivant oy (Y1 en mm)
16 c - nombre de couches de faible diametre ( n1 )
17 c - nombre de couches de gros diametre ( n6 )
18 c - diametre des petites barres ( d1 en mm )
19 c - diametre des grosses barres ( d6 en mm )
20 c - espacement des petites barres ( s1 en mm )
21 c - espacement des grosses barres ( s6 en mm )
22 c - enrobage ( en en mm )
23 c
24 c la position de l'axe neutre ( c en mm ) sur la fibre comprimée,
25 c est entrée par tâtonnement jusqu'à ce que la force dans les
26 c aciers équilibre celle dans le mortier
27 c
28 c * les résultats sont consignés dans le fichier 'resul'
29 c-----
30 c
31 implicit real*8 (a-h,o-x)
32 dimension nk(2),asc(2),d(2)
33 c
34 open ( unit = 5 ,file ='hypot')
35 open ( unit = 6 ,file ='resul')
36 rewind (5)
37 rewind (6)
38 c
39 read (5,*) x1,x2,y1,n1,n6,d1,d6,s1,s6,en,c
40 h = x1 - x2
41 cir = ( 3.14159d0 / 4.d0 ) * ( 1.5d0*(h+y1) - (h*y1)**.5)
42 nb1 = 1 + (cir- 5) / s1
43 nb6 = 1 + (cir- 5) / s6
44 c
45 c CARACTERISTIQUES DE LA VARIANTE
46 c
47 ne = 2*n1*d1 + n6*d6 + 2*en
48 ag = 1.57079d0* ( h * y1 - (h-ne) * (y1-ne))
49 as6= .785389d0 * d6**2
50 as1= .785398d0 * d1**2
51 p1 = 3.14159d0 * d1
52 p6 = 3.14159d0 * d6
53 as = 2.d0 * ( n1 * nb1 * as1 + n6 * nb6 * as6 )
54 ro = ( as / ag ) * 100.d0
55 ss = 2.d0 * ( n1 * nb1 * p1 + n6 * nb6 * p6 ) / ag
56 c
57 c CALCUL DU MOMENT RESISTANT DE LA VARIANTE
58 c
59 fs = 0.d0
60 sms= 0.d0
61 nk (1) = nb1 - 1
62 nk (2) = nb6 - 1
63 asc (1) = n1 * as1
64 asc (2) = n6 * as6
65 e = .002d0
66 c

```

```

67 c force et moment dans l'acier
68 c
69 do 100 k = 1 , 2
70 m = nk (k)
71 d (k) = y1 / m
72 do 100 i = 0 , m
73 y = i * d (k)
74 x = -h * ( 1.d0 - ( y/y1 )**2 )**0.5 + x1
75 e1 = ( e / h ) * ( x-x2-c)
76 fi = 2.d5 * asc (k) * e1 * 1.d-3
77 smi = fi * (x-x2-c) * 1.d-3
78 fs = fs + 2.d0 * fi
79 et = e1
80 100 sms = sms + 2.d0 * smi
81 c
82 c epaisseur equivalente de la section du mortier comprime
83 c
84 b2 = ( ag / h ) - ne
85 b1 = b2 - ( b2-ne ) * c / h
86 b = ( b1 + b2 ) / 2
87 c
88 c force et moment dans le mortier
89 c
90 fm = - e * 31579.d0 * ( c**2 / 4.d3 ) * b * 2.d-3
91 smm = fm * (-2 * c * 1.d-3 ) / 3
92 ec = e - et
93 c
94 c moment resistant
95 c
96 smr = sms + smm
97 et = e1
98 ec = e - et
99 c
100 c LARGEUR MAXIMALE DES FISSURES
101 c
102 wm = (1.194d0*2.d5*et - 111.d0)*15.85d0/2.d5
103 c
104 c IMPRESSION DES RESULTATS
105 c
106 write ( 6 , 500 ) ne
107 write ( 6 , 510 ) n1,d1,n6,d6
108 write ( 6 , 520 ) ag
109 write ( 6 , 530 ) as
110 write ( 6 , 540 ) ro
111 write ( 6 , 550 ) ss
112 write ( 6 , 560 ) fs
113 write ( 6 , 570 ) fm
114 write ( 6 , 580 ) smr
115 write ( 6 , 590 ) c
116 write ( 6 , 600 ) ec
117 write ( 6 , 610 ) et
118 write ( 6 , 620 ) wm
119 c
120 c FORMATS D'ECRITURE
121 c
122 500 format(' VARIANTE ( ',i2,'mm )',//)
123 510 format(' ARMATURES :',i2,' couches de diam. (',f4.1,'mm )',/,13x,
124 )i2,' couches de diam. (',f4.1,'mm )')
125 520 format(' section brute :',f8,' mm2')
126 530 format(' section des aciers :',f9,' mm2')
127 540 format(' pourcentage des aciers :',f8.2,' %')
128 550 format(' surface specifique des aciers :',f9.3,' mm2/mm3')
129 560 format(' force dans les aciers :',f9.1,' KN')
130 570 format(' force dans le mortier :',f9.1,' KN')
131 580 format(' moment resistant :',f9.1,' KN.m ')
132 590 format(' hauteur de l'axe neutre :',f7,' mm')

```

```

133 600 format(' deformation de la fibre comprimée:',f9.5,'mm/mm')
134 610 format(' deformation de la fibre tendue   :',f9.5,' mm/mm')
135 620 format(' largeur maximale des fissures   :',f9.5,' mm')
136 c
137 close ( unit = 5 )
138 close ( unit = 6 )
139 stop
140 end

```

Résultats

VARIANTE (24mm)

```

ARMATURES : 7 couches de diam. ( 1.0mm )
            1 couches de diam. ( 6.0mm )
section brute           : 198146. mm2
section des aciers     : 8512. mm2
pourcentage des aciers : 4.30 %
surface spécifique des aciers : .091 mm2/mm3
force dans les aciers  : 213.1 KN
force dans le mortier  : -214.5 KN
moment résistant      : 427.7 KN.m
hauteur de l'axe neutre : 309. mm
déformation de la fibre comprimée: .00031mm/mm
déformation de la fibre tendue : .00169 mm/mm
largeur maximale des fissures : .02321 mm

```

VARIANTE (26mm)

```

ARMATURES : 8 couches de diam. ( 1.0mm )
            1 couches de diam. ( 6.0mm )
section brute           : 214576. mm2
section des aciers     : 9041. mm2
pourcentage des aciers : 4.21 %
surface spécifique des aciers : .094 mm2/mm3
force dans les aciers  : 229.7 KN
force dans le mortier  : -229.3 KN
moment résistant      : 454.4 KN.m
hauteur de l'axe neutre : 307. mm
déformation de la fibre comprimée: .00031mm/mm
déformation de la fibre tendue : .00169 mm/mm
largeur maximale des fissures : .02324 mm

```

```

1 c -----
2 c PROGRAMME 'GAAL2.F'
3 c -----
4 c
5 c AUTEUR : ISSA SECK
6 c
7 c PROJET DE FIN D'ETUDES ( ANNEE UNIVERS. 85-86 )
8 c
9 c CONCEPTION D'UNE PIROGUE EN FERROCIMENT
10 c
11 c CALCULS DE CARENE
12 c
13 c *le programme donne pour chaque flottaison jH :
14 c
15 c -la surface de flottaison ( s en m2 )
16 c -le moment d'inertie longitudinal ( xmi en m4 )
17 c -le moment d'inertie transversal ( ymi en m4 )
18 c -le volume de carene correspondant ( v en m3 )
19 c -le centre de gravite de la carene ( xcc en m )
20 c -le rayon metacentrique longitudinal ( rml en m )
21 c -le rayon metacentrique transversal ( rmt en m )
22 c * les longueurs de flottaison addimentionnelles sont obtenues
23 c avec la figure A.1.1
24 c
25 c * le fichier 'hypot' permet de lire les donnees suivantes
26 c - le coefficient ( b0 ) de la parabole Z1
27 c - les coefficients de la parabole Y1 ( a0,a2, ... ,a10 )
28 c - le nombre de longueurs de pirogue a traiter simultanement nl
29 c - pour chaque pirogue
30 c .la longueur sans eperons ( xl(i) en metres )
31 c .le nombre de pecheurs de l'equipage ( neq(i) )
32 c *les resultats sont consignes dans le fichier 'resul'
33 c *la dimension des tableaux xl(i),ds(i) et neq(i) doivent
34 c rester superieure ou egale au nombre nl
35 c -----
36 c
37 c implicit real*8(a-h,o-s)
38 c dimension sj(11),xlj(11),y(11),xm(21),ym(21),s(11),ymi(11),
39 c )sm(11),xmi(11),or(21),xl(6),cl(11),xl1(11),ds(6),neq(6)
40 c
41 c open(unit = 5, file = 'hypot' )
42 c open(unit = 6, file = 'resul' )
43 c
44 c rewind ( 5 )
45 c rewind ( 6 )
46 c
47 c INITIALISATION , LECTURE DE DONNEES ET ECRITURE
48 c
49 c xl1 (2) = .254d0
50 c xl1 (3) = .314d0
51 c xl1 (4) = .354d0
52 c xl1 (5) = .386d0
53 c xl1 (6) = .414d0
54 c xl1 (7) = .438d0
55 c xl1 (8) = .460d0
56 c xl1 (9) = .482d0
57 c xl1 (10)= .500d0
58 c xl1 (11)= .500d0
59 c
60 c read (5,*) b0,a0,a2,a4,a6,a8,a10
61 c read (5,*) nl
62 c do 90 i = 1 , nl
63 c read (5,*) xl(i) , neq(i)
64 90 ds (i) = 1.405d0 * neq(i)
65 c do 230 i = 1 , nl
66 c w = 2 * a0 * xl (i)

```

```

67      p = b0 * x1 (1)
68      write (6,870) x1(1)
69      write (6,880) w
70      write (6,890) p
71      write (6,900)
72      write (6,905)
73      do 100 jj = 1, 10
74      j = jj + 1
75      xj (j) = xj (jj) + .1d0 * b0 * x1 (1)
76      xlj (j) = x11 (j) * x1 (1)
77      write (6,910) jj , xj (j), xlj(j)
78 100  continue
79 c
80 c   SURFACE DE FLOTT. - CALCUL DES 3 MOMENTS
81 c
82      write (6,920)
83      write (6,925)
84      n = 21
85      do 200 j = 1, 11
86      if ( j.eq.1) goto 200
87      jj= j - 1
88      pas = xlj (j) / 10.d0
89      z = jj * .1d0 * b0 * x1 (1)
90 c
91 c   calculs preliminaires
92 c
93      do 210 ii = 0, 10
94      i = ii + 1
95      x = ( ii * pas ) / x1 (1)
96      call coor (b0,a0,a2,a4,a6,a8,a10,x,x1,x2,y1,x1(1))
97      y(i) = 2 * y1 * (1-((x-x1)/(x2-x1))**2)**.5d0
98 210  continue
99      do 250 i = 1 , 11
100     or (i) = y (12-i)
101     if (i.eq.11) goto 250
102     or (22-i) = or (i)
103 250  continue
104     do 260 i = 1, 21
105     xm (i) = or(i)**3
106     ym (i) = or(i)*((i-1))**2
107 260  continue
108 c
109 c   surface de flottaison
110 c
111     call simp (n ,pas ,or,result)
112     s (j) = result
113 c
114 c   moment statique de la surf. de flott. J / OH
115 c
116     sm (j) = z * s (j)
117 c
118 c   moment d'inertie longitudinal
119 c
120     call simp (n, pas, xm, result)
121     xmi (j) = result / 12.d0
122 c
123 c   moment d'inertie transversal
124 c
125     call simp (n, pas, ym, result)
126     ymi (j) = result * (pas**2) - s (j) * ( xlj(j) )**2
127 c
128     write (6,930) jj, s(j), sm(j), xmi(j), ymi(j)
129 200  continue
130 c
131 c   VOLUME - RAYONS METAC - CENTRE DE GRAVITE

```

```

133 pas = .1d0 * b0 * x1 (1)
134 write (6,940)
135 write (6,945)
136 do 220 j = 11, 5, -1
137 jj = j -1
138 c
139 c volume de carene
140 c
141 n = 11
142 f = jj * pas
143 pas1 = x1j (j) / 10.d0
144 do 300 ii = 0, 10
145 i = ii + 1
146 x = ( ii * pas1 ) / x1 (1)
147 call coor (b0,a0,a2,a4,a6,a8,a10,x,x1,x2,y1,x1(1))
148 pas2 = ( f-x2 ) / 10.d0
149 do 310 m1 = 0 , 10
150 m = m1 + 1
151 x = m1 * pas2
152 310 y (m) = 2 * y1 * (1-((x-x1)/(x2-x1))**2)**.5
153 call simp (n , pas2 , y , result )
154 300 s (i) = result
155 call simp (n , pas1 , s , result )
156 v = 2.d0 * result
157 c
158 c rayon metacentrique transversal
159 c
160 rmt = xmi (j) / v
161 c
162 c rayon metacentrique longitudinal
163 c
164 rml = ymi (j) / v
165 c
166 c centre de gravite de la carene
167 c
168 n = j
169 call simp (n , pas , sm , result)
170 smj = result
171 xcc = smj / v
172 c
173 write (6,950) jj, v, rmt, rml, xcc
174 220 continue
175 c
176 c calcul des déplacements
177 c
178 suc = 0.d0
179 pas = x1 (1) / 20.d0
180 do 225 m1 = 0 , 10
181 m = m1 + 1
182 x = (m1 * pas) / x1 (1)
183 call coor (b0,a0,a2,a4,a6,a8,a10,x,x1,x2,y1,x1(1))
184 cl (m) = 1.5708d0*(1.5d0*(y1+x1-x2)-(y1*(x1-x2))**.5d0)
185 225 continue
186 do 228 m = 2 , 11
187 suc = suc + (cl (m-1) + cl (m))*pas*.5d0
188 228 continue
189 surf = 2.d0 * suc
190 dl = ( surf * .0625d0 ) / .5092d0
191 dc = dl + ds (1)
192 vl = dl / 1.026d0
193 vc = dc / 1.026d0
194 vfc= (.84d0*dl)/2.5d0
195 xl = .3545d0 * p
196 xc = .4920d0 * p
197 write (6,955) surf

```

```

198 write (6,960) dl
199 write (6,965) dc
200 write (6,970) vl
201 write (6,975) vc
202 write (6,980) vfc
203 write (6,985) xl
204 write (6,990) xc
205 230 continue
206 c
207 c FORMATS D'ECRITURE
208 c
209 870 format(//,' LONGUEUR      =',f7.3,' metres')
210 880 format('  LARGEUR      =', f7.3,' metres')
211 890 format('  PROFONDEUR   =',f7.3,' metres')
212 900 format(//20x,' FLOTTAISON',20x,' TIRANT D"EAU',15x,' LONG. FLOT./2')
213 905 format(55x,'(m)',23x,'(m)',/)
214 910 format(23x,i2,' H',21x,f10.3,15x,f10.3)
215 920 format(//10x,' FLOTTAISON',8x,' SURFA. FLOT.',8x,' MOM. STAT.',8x,
216 )'MOM. D"Ix',9x,' MOM. D"ly')
217 925 format(32x,'(m2)',13x,'(m3)',14x,'(m4)',14x,'(m4)',/)
218 930 format(13x,i2,' H',7x,f10.3,10x,f10.3,7x,f10.4,12x,f10.4)
219 940 format(//10x,' FLOTTAISON',10x,' VOLUME',8x,' RAY. MET. x',10x
220 ),' RAY. MET. y',14x,' Zcc')
221 945 format(31x,'(m3)',12x,'(m)',15x,'(m)',19x,'(m)',/)
222 950 format(13x,i2,' H',10x,f10.3,5x,f10.4,8x,f10.4,11x,f10.3)
223 955 format(//,' SURFACE DE LA COQUE      =',f9.3,' m2')
224 960 format('  DEPLACEMENT LEGE          =',f9.3,' tonnes')
225 965 format('  DEPLACEMENT A PLEINE CHARGE=',f9.3,' tonnes')
226 970 format('  VOLUME DE CARENE LEGE      =',f9.3,' m3')
227 975 format('  VOLUME DE CARENE A PLEINE CHARGE =',f9.3,' m3')
228 980 format('  VOLUME DE FERRO-CIMENT      =',f9.3,' m3')
229 985 format('  CENTRE DE GRAVITE AU DEPLAC. LEGE=',f9.3,' m')
230 990 format('  CENTRE DE GRAVITE A PLEINE CHARGE=',f9.3,' m')
231 c
232 close (unit = 5)
233 close (unit = 6)
234 stop
235 end

```


LONGUEUR = 15.000 metres
 LARGEUR = 3.750 metres
 PROFONDEUR = 1.665 metres

Modele Ag

FLOTTAISON	TIRANT D'EAU (m)	LONG. FLOT. /2 (m)
1 H	.166	3.810
2 H	.333	4.710
3 H	.499	5.310
4 H	.666	5.790
5 H	.832	6.210
6 H	.999	6.570
7 H	1.165	6.900
8 H	1.332	7.230
9 H	1.498	7.500
10 H	1.665	7.500

FLOTTAISON	SURFA. FLOT. (m2)	MOM. STAT. (m3)	MOM. D ² I _x (m4)	MOM. D ² I _y (m4)
1 H	9.915	1.651	1.6273	37.6244
2 H	16.643	5.542	5.1152	95.0117
3 H	21.935	10.957	9.4416	155.3361
4 H	26.293	17.511	14.0527	215.6553
5 H	29.971	24.951	18.5854	275.7415
6 H	33.092	33.059	22.7823	335.0466
7 H	35.751	41.668	26.4541	394.0419
8 H	37.971	50.578	29.4540	451.4098
9 H	39.589	59.325	31.6597	496.4698
10 H	40.498	67.429	32.9785	520.9513

FLOTTAISON	VOLUME (m3)	RAY. MET. x (m)	RAY. MET. y (m)	Z _{cc} (m)
10 H	39.444	.8361	13.2074	1.175
9 H	33.374	.9486	14.8762	.981
8 H	27.694	1.0636	16.3001	.961
7 H	22.326	1.1849	17.6495	.756
6 H	17.316	1.3157	19.3489	.735
5 H	12.743	1.4585	21.6392	.529
4 H	8.691	1.6169	24.8134	.505

SURFACE DE LA COQUE = 71.967 m2
 DEPLACEMENT LEGE = 8.833 tonnes
 DEPLACEMENT A PLEINE CHARGE = 20.073 tonnes
 VOLUME DE CARENE LEGE = 8.609 m3
 VOLUME DE CARENE A PLEINE CHARGE = 19.565 m3
 VOLUME DE FERRO-CIMENT = 2.968 m3
 CENTRE DE GRAVITE AU DEPLAC. LEGE = .590 m
 CENTRE DE GRAVITE A PLEINE CHARGE = .819 m

LONGUEUR = 16.000 metres
 LARGEUR = 4.000 metres
 PROFONDEUR = 1.776 metres

Modèle Bg

FLOTTAISON	TIRANT D'EAU (m)	LONG. FLOT. /2 (m)
1 H	.178	4.064
2 H	.355	5.024
3 H	.533	5.664
4 H	.710	6.176
5 H	.888	6.624
6 H	1.066	7.008
7 H	1.243	7.360
8 H	1.421	7.712
9 H	1.598	8.000
10 H	1.776	8.000

FLOTTAISON	SURFA. FLOT. (m2)	MOM. STAT. (m3)	MOM. D°Ix (m4)	MOM. D°Iy (m4)
1 H	11.281	2.003	2.1066	48.7063
2 H	18.936	6.726	6.6219	122.9962
3 H	24.957	13.297	12.2225	201.0885
4 H	29.916	21.252	18.1917	279.1740
5 H	34.100	30.281	24.0595	356.9579
6 H	37.652	40.121	29.4926	433.7307
7 H	40.677	50.570	34.2458	510.1024
8 H	43.203	61.383	38.1293	584.3673
9 H	45.044	71.998	40.9847	642.6992
10 H	46.078	81.834	42.6919	674.3913

FLOTTAISON	VOLUME (m3)	RAY. MET. x (m)	RAY. MET. y (m)	Zcc (m)
10 H	47.870	.8918	14.0879	1.253
9 H	40.503	1.0119	15.8679	1.046
8 H	33.610	1.1345	17.3868	1.025
7 H	27.095	1.2639	18.8261	.806
6 H	21.015	1.4034	20.6389	.784
5 H	15.465	1.5557	23.0818	.564
4 H	10.548	1.7247	26.4676	.538

SURFACE DE LA COQUE = 81.882 m2
 DEPLACEMENT LEGE = 10.050 tonnes
 DEPLACEMENT A PLEINE CHARGE = 21.290 tonnes
 VOLUME DE CARENE LEGE = 9.796 m3
 VOLUME DE CARENE A PLEINE CHARGE = 20.751 m3
 VOLUME DE FERRO-CIMENT = 3.377 m3
 CENTRE DE GRAVITE AU DEPLAC. LEGE = .630 m
 CENTRE DE GRAVITE A PLEINE CHARGE = .874 m

LONGUEUR = 17.000 metres
 LARGEUR = 3.400 metres
 PROFONDEUR = 1.547 metres

Modele C₂

FLOTTAISON	TIRANT D'EAU (m)	LONG. FLOT. /2 (m)
1 H	.155	4.318
2 H	.309	5.338
3 H	.464	6.018
4 H	.619	6.562
5 H	.774	7.038
6 H	.928	7.446
7 H	1.083	7.820
8 H	1.238	8.194
9 H	1.392	8.500
10 H	1.547	8.500

FLOTTAISON	SURFA. FLOT. (m ²)	MOM. STAT. (m ³)	MOM. D ² I _x (m ⁴)	MOM. D ² I _y (m ⁴)
1 H	9.528	1.474	1.2513	41.7318
2 H	16.066	4.971	3.9413	107.1577
3 H	21.260	9.867	7.2997	177.5586
4 H	25.582	15.830	10.9078	249.4031
5 H	29.259	22.632	14.4838	321.9353
6 H	32.403	30.077	17.8244	394.1443
7 H	35.110	38.021	20.7769	466.9240
8 H	37.440	46.335	23.2236	541.2817
9 H	39.317	54.741	25.0721	610.5923
10 H	40.524	62.691	26.2630	656.5605

FLOTTAISON	VOLUME (m ³)	RAY. MET. x (m)	RAY. MET. y (m)	Z _{cc} (m)
10 H	35.204	.7460	18.6500	1.119
9 H	29.855	.8398	20.4517	.928
8 H	24.722	.9394	21.8949	.910
7 H	19.867	1.0458	23.5023	.716
6 H	15.372	1.1595	25.6406	.696
5 H	11.292	1.2826	28.5093	.500
4 H	7.689	1.4186	32.4364	.477

SURFACE DE LA COQUE = 74.538 m²
 DEPLACEMENT LEGE = 9.149 tonnes
 DEPLACEMENT A PLEINE CHARGE = 21.794 tonnes
 VOLUME DE CARENE LEGE = 8.917 m³
 VOLUME DE CARENE A PLEINE CHARGE = 21.242 m³
 VOLUME DE FERRO-CIMENT = 3.074 m³
 CENTRE DE GRAVITE AU DEPLAC. LEGE = .548 m
 CENTRE DE GRAVITE A PLEINE CHARGE = .761 m

LONGUEUR = 18.000 metres
 LARGEUR = 3.600 metres
 PROFONDEUR = 1.638 metres

Modelo D₂

FLOTTAISON	TIRANT D'EAU (m)	LONG. FLOT. /2 (m)
1 H	.164	4.572
2 H	.328	5.652
3 H	.491	6.372
4 H	.655	6.948
5 H	.819	7.452
6 H	.983	7.884
7 H	1.147	8.280
8 H	1.310	8.676
9 H	1.474	9.000
10 H	1.638	9.000

FLOTTAISON	SURFA. FLOT. (m ²)	MOM. STAT. (m ³)	MOM. D ^o I _x (m ⁴)	MOM. D ^o I _y (m ⁴)
1 H	10.682	1.750	1.5727	52.4520
2 H	18.012	5.901	4.9537	134.6846
3 H	23.835	11.713	9.1749	223.1702
4 H	28.680	18.791	13.7099	313.4702
5 H	32.802	26.865	18.2045	404.6345
6 H	36.327	35.702	22.4032	495.3927
7 H	39.362	45.133	26.1141	586.8681
8 H	41.974	55.002	29.1893	680.3270
9 H	44.079	64.981	31.5127	767.4422
10 H	45.432	74.418	33.0095	825.2187

FLOTTAISON	VOLUME (m ³)	RAY. MET. x (m)	RAY. MET. y (m)	Zcc (m)
10 H	41.789	.7899	19.7471	1.185
9 H	35.440	.8892	21.6547	.982
8 H	29.346	.9947	23.1828	.963
7 H	23.583	1.1073	24.8848	.758
6 H	18.247	1.2278	27.1489	.737
5 H	13.405	1.3581	30.1863	.530
4 H	9.127	1.5021	34.3445	.505

SURFACE DE LA COQUE = 83.565 m²
 DEPLACEMENT LEGE = 10.257 tonnes
 DEPLACEMENT A PLEINE CHARGE = 22.902 tonnes
 VOLUME DE CARENE LEGE = 9.997 m³
 VOLUME DE CARENE A PLEINE CHARGE = 22.322 m³
 VOLUME DE FERRO-CIMENT = 3.446 m³
 CENTRE DE GRAVITE AU DEPLAC. LEGE = .581 m
 CENTRE DE GRAVITE A PLEINE CHARGE = .806 m

LONGUEUR = 19.000 metres
 LARGEUR = 3.800 metres
 PROFONDEUR = 1.729 metres

Modele E2

FLOTTAISON	TIRANT D'EAU (m)	LONG. FLOT. /2 (m)
1 H	.173	4.826
2 H	.346	5.966
3 H	.519	6.726
4 H	.692	7.334
5 H	.864	7.866
6 H	1.037	8.322
7 H	1.210	8.740
8 H	1.383	9.158
9 H	1.556	9.500
10 H	1.729	9.500

FLOTTAISON	SURFA. FLOT. (m2)	MOM. STAT. (m3)	MOM. D ² I _x (m4)	MOM. D ² I _y (m4)
1 H	11.902	2.058	1.9525	65.1158
2 H	20.069	6.940	6.1497	167.2023
3 H	26.557	13.775	11.3901	277.0515
4 H	31.955	22.100	17.0199	389.1532
5 H	36.548	31.596	22.5997	502.3279
6 H	40.476	41.990	27.8121	614.9984
7 H	43.857	53.081	32.4190	728.5593
8 H	46.767	64.688	36.2366	844.5825
9 H	49.112	76.424	39.1210	952.7304
10 H	50.620	87.523	40.9792	1024.4563

FLOTTAISON	VOLUME (m3)	RAY. MET. x (m)	RAY. MET. y (m)	Z _{cc} (m)
10 H	49.148	.8338	20.8441	1.251
9 H	41.681	.9386	22.8578	1.037
8 H	34.514	1.0499	24.4707	1.017
7 H	27.736	1.1688	26.2672	.800
6 H	21.461	1.2960	28.6572	.778
5 H	15.765	1.4335	31.8633	.559
4 H	10.735	1.5855	36.2525	.533

SURFACE DE LA COQUE = 93.108 m2
 DEPLACEMENT LEGE = 11.428 tonnes
 DEPLACEMENT A PLEINE CHARGE = 25.478 tonnes
 VOLUME DE CARENE LEGE = 11.139 m3
 VOLUME DE CARENE A PLEINE CHARGE = 24.833 m3
 VOLUME DE FERRO-CIMENT = 3.840 m3
 CENTRE DE GRAVITE AU DEPLAC. LEGE = .613 m
 CENTRE DE GRAVITE A PLEINE CHARGE = .851 m

LONGUEUR = 20.000 metres
 LARGEUR = 4.000 metres
 PROFONDEUR = 2.000 metres

Modele F₃

FLOTTAISON	TIRANT D'EAU (m)	LONG. FLOT. /2 (m)
1 H	.200	5.080
2 H	.400	6.280
3 H	.600	7.080
4 H	.800	7.720
5 H	1.000	8.280
6 H	1.200	8.760
7 H	1.400	9.200
8 H	1.600	9.640
9 H	1.800	10.000
10 H	2.000	10.000

FLOTTAISON	SURFA. FLOT. (m ²)	MOM. STAT. (m ³)	MOM. D ² I _x (m ⁴)	MOM. D ² I _y (m ⁴)
1 H	13.507	2.701	2.4706	85.3265
2 H	22.706	9.082	7.7378	217.6918
3 H	29.974	17.985	14.2820	358.4622
4 H	35.975	28.780	21.2864	499.4794
5 H	41.084	41.084	28.2066	641.9423
6 H	45.464	54.557	34.6501	784.9373
7 H	49.228	68.919	40.3249	928.8287
8 H	52.469	83.950	45.0049	1076.4974
9 H	55.073	99.132	48.4984	1214.8950
10 H	56.583	113.166	50.6725	1293.3448

FLOTTAISON	VOLUME (m ³)	RAY. MET. x (m)	RAY. MET. y (m)	Z _{cc} (m)
10 H	64.368	.7872	20.0930	1.435
9 H	54.703	.8866	22.2088	1.188
8 H	45.343	.9925	23.7411	1.164
7 H	36.487	1.1052	25.4567	.915
6 H	28.264	1.2259	27.7715	.890
5 H	20.783	1.3572	30.8884	.640
4 H	14.175	1.5017	35.2366	.610

SURFACE DE LA COQUE = 109.238 m²
 DEPLACEMENT LEGE = 13.408 tonnes
 DEPLACEMENT A PLEINE CHARGE = 27.458 tonnes
 VOLUME DE CARENE LEGE = 13.068 m³
 VOLUME DE CARENE A PLEINE CHARGE = 26.762 m³
 VOLUME DE FERRO-CIMENT = 4.505 m³
 CENTRE DE GRAVITE AU DEPLAC. LEGE = .709 m
 CENTRE DE GRAVITE A PLEINE CHARGE = .984 m

```

1 c-----
2 c  SOUS-ROUTINE 'SIMPS.F'
3 c-----
4   subroutine simp (n , pas, ord, result)
5 c-----
6 c
7 c  SOUS-ROUTINE D'INTEGRATION NUMERIQUE
8 c  PAR LA METHODE DE SIMPSON
9 c
10 c    n : nombre de statons
11 c    pas : distance entre 2 stations consecutives
12 c    ord : vecteur des ordonnees de station
13 c    result : surface ou volume du corps
14 c
15 c-----
16 c
17   implicit real*8(a-h,o-z)
18   dimension ord(n)
19   pi = 0.d0
20   pa = ord(2)
21   do 1 i = 3 , n-1 , 2
22     pi = pi + ord(i)
23     if(i.eq.n-1) goto 2
24 1   pa = pa + ord(i+1)
25 2   result = (pas/3.d0)*(ord(1)+4.d0*pa+2.d0*pi+ord(n))
26   return
27   end

```

```

1 c-----
2 c  SOUS-ROUTINE 'COOR.F'
3 c-----
4   subroutine coor (b0,a0,a2,a4,a6,a8,a10,x,x1,x2,y1,xl)
5 c-----
6 c
7 c  SOUS ROUTINE DE CALCULE DES ORDONNEES DES POINTS
8 c  EXTREMES D'UN MAITRE-COUPLE
9 c
10 c    x1 : bord superieur dans le plan oxz
11 c    x2 : ligne de quille dans le plan oxz
12 c    y1 : bord superieur dans le plan oxy
13 c
14 c-----
15 c
16   implicit real*8 (a-h,o-z)
17 c
18   xa=b0+.45825d0*x**2-6.60494d0*x**4+82.17593d0*x**6
19   xa=xa-429.89418d0*x**8+771.60494d0*x**10
20   xb=.09558d0*x**2+.32215d0*x**4+12.52315d0*x**6
21   xb=xb-57.87037d0*x**8+77.16094d0*x**10
22   ya=a0+a2*x**2+a4*x**4+a6*x**6+a8*x**8+a10*x**10
23   x1 = x1 * xa
24   x2 = x1 * xb
25   y1 = x1 * ya
26   return
27   end

```

Bibliographie

1. R. Servieres , Théorie du Navire , Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées , CN.10
2. R. Frances , Statique du Navire , Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées , CN.20
3. M. Pascal , Conception du Navire de Surface , Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées CN.32
4. FEROCEM International COLTD. Canada , Etude pour l'Amélioration des Pirogues au Sénégal.
5. Abdoulaye Sy , Perspectives et Problèmes liés au Remplacement de la Pirogue , Ecole des Agents Techniques de l'Océanographie et des Pêches Maritimes .
6. Ibrahima Faye , Expérimentation des Pirogues en Fibre de Verre , Ecole des Agents Techniques de l'Océanographie et des Pêches Maritimes.
7. Lindsay Lord , Naval Architecture of Planing Hulls , Cornell Maritime Press , inc .
8. Harold D.E Saunders , Hydrodynamics in Ship Design Volume II , The Society of Naval Architects and Marine Engineers .

9. John P. Comstock, Principles of Naval Architecture, The society of Naval Architects and Marine Engineers.
10. E.T.A. Inisan, Charpente du Navire, Fascicule 2, Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs des Etudes et Techniques de l'Armement.
11. E.T.A. Inisan, Charpente du Navire, Fascicule 4, Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs des Etudes et Techniques de l'Armement.
12. E.T.A. Inisan, Charpente du Navire, Annexe 1 au Fascicule 4, Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs des Etudes et Techniques de l'Armement.
13. E.T.A. Inisan, Charpente du Navire, Annexe 2 au Fascicule 4, Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs des Etudes et Techniques de l'Armement.
14. M. Moustapha Ndiaye, Etude de Toiture en Ferrociment, Memoire de Maîtrise Es sciences Appliquées, Ecole Polytechnique de Montréal
15. ACI Committee 549, State-of-The-Art Report of Ferrocement, Report No. ACI 549R-82.
16. Luc Lachance et André Picard, Calcul, Propriétés et Utilisation du Ferrociment.

17. British Columbia Research Council Vancouver,
Ferrocement for Fishing Vessel.
Construction III, Project Report No. 55.
18. D. Chabi, Le Ferrociment et ses Applications
Bulletin de Liaison du C.I.E.N, No 56, Avril 84
19. D.O.P.M., Perspectives d'Amélioration de
la Pirogue Sénégalaise.
20. Chengi kuo, Computer Methods for ship
surface Design, Longman Group Limited.