

REPUBLIQUE DU SENEGAL



SAGESSE DEVOIR

GC.0643

Ecole Polytechnique de Thies

PROJET DE FIN D'ETUDES

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

EN GENIE CIVIL

TITRE: DESSALEMENT DE L'EAU DE MER AU MOYEN
DE L'ENERGIE SOLAIRE (PHASE II)

AUTEUR : Akoloh KOMLA

DIRECTEUR : Thomas AQUIN

CO-DIRECTEUR : Mamadou SARR

JUIN 89

A Mr. THOMAS AQUIN

à DADA FLORA AKOLOH

à mes parents

et à tous ceux qui luttent pour la paix .

REMERCIEMENTS

Ces remerciements iront particulièrement à l'endroit de Mr. THOMAS AQUIN , professeur à l'Ecole Polytechnique de Thiès , initiateur d'un tel projet de recherche et grand artisan de la promotion des recherches dans le domaine. J'aimerais saluer ici humblement ses suggestions et son apport sincère au niveau du projet . Je ne saurais oublier également :

- Mr. MAMADOU SARR , professeur à l'EPT
- Mr. Alioune LO , technicien à l'EPT
- Mr. Touba FALL , technicien à l' EPT
- Mr. AMOUSSOU-KOETETE et Mr. LENGU élèves ingénieurs à l'EPT

Qu'il me soit permis également de remercier humblement et sincèrement tous ceux qui , de près ou de loin , ont contribué d'une façon ou d'une autre à la réalisation des objectifs de ce projet .

SOMMAIRE

Ce document constitue le rapport du projet de fin d'études intitulé " Dessalement d'eau de mer au moyen de l'énergie solaire " . Il contient essentiellement :

- une brève introduction ,
- un exposé des différents procédés de dessalement de l'eau de mer ,
- l'historique du dessalement de l'eau de mer au moyen de l'énergie solaire ,
- un répertoire des différents types de distillateurs solaires déjà disponibles ,
- une étude théorique du prototype envisagé ,
- une étude du système structural ,
- les résultats des essais en laboratoire ,
- des commentaires sur ces résultats ,
- une analyse énergétique du rayonnement solaire parvenant au capteur ,
- une étude sur les performances des distillateurs solaires ,
- une étude économique du projet ,
- et enfin une conclusion générale suivie des recommandations .

Le projet se répartit en huit grandes parties dont le plan est exposé ci-dessus .

SIXIEME PARTIE

I) ETUDE ECONOMIQUE 45

 1) Amortissement sur 15 ans 48

 2) Amortissement sur 20 ans 49

II) CONCLUSION SUR L'ASPECT ECONONIQUE DU PROJET 50

SEPTIEME PARTIE

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 52

HUITIEME PARTIE

ANNEXES

I.a) TYPES DE DISTILLATEURS A GRAND BASSIN 54

I.b) SCHEMAS DES PROTOTYPES DES PHASES I et II .. 64

II) COURBE DU COUT VERSUS EPAISSEUR DU VERRE ... 69

III) TABLEAUX DES DONNEES SUR LE VENT AU SENEGAL
 DE 1951 A 1982 71

IV) DONNEES SUR LA RADIATION SOLAIRE AU SENEGAL 74

v) CONSOMMATION D' EAU AU SENEGAL 77

BIBLIOGRAPHIE 79

INTRODUCTION

Dès 1964 , l'OMS établissait déjà le tableau dramatique suivant quant à la situation de l'approvisionnement en eau potable à travers le monde : " Plus de 200 millions d'êtres humains manquent d'eau potable à travers le monde . Dans dix ans , ils seront plus de 300 millions."

De nos jours à l'aube de l'expiration de la "Décennie internationale de l'approvisionnement en eau potable et de son assainissement" décrétée par la conférence des nations unies sur l'eau (1980 - 1990) il est navrant de constater qu'en dépit de tous les efforts de l'assistance internationale , la situation est en voie de se détériorer plutôt que de s'améliorer . . .

Dans nombre des états du tiers-monde à l'instar du SENEGAL , au problème déjà dramatique de la rareté des sources d'eau potable , vient s'ajouter celui de la contamination par intrusions salines des nappes en exploitation .

C'est essentiellement dans le souci de venir en aide aux habitants des régions confrontées à ces problèmes alarmants que le présent projet est initié .

.....
: : P R E M I E R E P A R T I E : :
.....

LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT

L' eau de mer constitue une source abondante et intarissable d'eaux salées . Cependant sa composition entraîne souvent divers obstacles quant à son utilisation comme source d'approvisionnement en eau potable par les populations côtières .

Elle est composée de 35g de sels par kg ; ces sels étant pour 80% formés de chlore et de sodium . Or à partir d'un certain seuil de salinité , l'utilisation de cette eau devient prohibitive .

Les normes de l'OMS de 1965 limitent à 500 p.p.m la teneur d'une eau normalement destinée aux usages domestiques et tolèrent une augmentation jusqu'à 1500 p.p.m .

A titre d'exemple , on tolère les teneurs suivantes :

- Irrigation : jusqu'à 1g/L de sel
- Besoins industriels : 1g/l
- Usages domestiques : 0,5g/l

Les principales méthodes utilisées pour dessaler l'eau de mer sont :

- 1) La congélation
- 2) L'électrodialyse
- 3) L'échange d'ions
- 4) L'osmose inverse
- 5) La distillation solaire

1 - LA CONGELATION

L'eau de mer lorsqu'elle se solidifie sous l'influence du froid , perd la plus grande quantité des sels qu'elle contient . Les cristaux de glace donnent de l'eau pure .

Il a été constaté qu'il faut moins d'énergie pour congeler l'eau que pour la vaporiser . Cependant la congélation directe de l'eau de mer emploie un réfrigérant non miscible à l'eau dont la tension de vapeur est beaucoup plus élevée que celle de l'eau de mer avec laquelle elle est en contact direct .

2 - L'ELECTRODIALYSE

Ce procédé utilise dans un bain électrolytique des membranes semi-perméables (ou sélectives) laissant passer les ions dans un seul sens par l'effet de l'électrolyse et de la dialyse combinés . Il s'agit d'une migration des ions de la solution saline à travers les membranes artificielles , imperméables à l'eau .

3 - ECHANGE D'IONS

L'échange d'ions s'obtient par l'utilisation des éléments formant la classe des zéolites et a pour but d'adoucir l'eau salée .

De nos jours dans ce procédé , on utilise de plus en plus des éléments tels que les résines synthétiques sous forme de grains ou de charbons sulfonés .

4 - L'OSMOSE INVERSE

Elle est fondée sur le phénomène osmotique qui découle des propriétés sélectives de certaines membranes pouvant laisser passer l'eau pure à une pression supérieure à la pression osmotique tout en retenant la saumure .

L'énergie à fournir dans ce cas est faible en comparaison avec les autres procédés puisqu'il n'y a pas de changement de phase . Cependant le coût d'installation d'un tel projet reste onéreux.

5 - LA DISTILLATION SOLAIRE

Ce procédé se fonde essentiellement sur l'utilisation de cette source immense et gratuite qu'est l'énergie solaire . C'est un procédé attrayant surtout pour les pays en voies de développement là où une main-d'oeuvre spécialisée de même que les sources d'énergie conventionnelle ne sont pas disponibles à bon marché . L' exploitation des systèmes ne requiert aucune formation spéciale de la main-d'oeuvre .

Principe de fonctionnement

Les rayons solaires traversent la surface de la couverture (en verre ou en plastique) et réchauffent le fond du bassin peint en noir pour augmenter son absorbance . Suite à une augmentation de température , l'eau saumâtre se trouvant dans le bassin s'évapore et la vapeur vient se condenser sur la face inférieure de la couverture . L'eau découlant de cette condensation descend par gravité et est recueillie dans un canal en PVC . Ce canal sert également à supporter le bout inférieur de la couverture dans le cas où elle est en verre . Par ce procédé , on obtient de l'eau distillée . Pour l'usage domestique , il faut prévoir un ajout de sels nutritifs .

I) HISTORIQUE DU DESSALEMENT DE L'EAU DE MER AU MOYEN DE L'ENERGIE SOLAIRE

L'idée de la distillation de l'eau de mer ne date pas d'aujourd'hui . En effet , il y a des milliers d'années , les chinois , égyptiens , phéniciens , grecs et romains l'avaient exploitée pour obtenir du sel commercial .

Quant aux navigateurs ils l'utilisaient pour s'approvisionner en eau de consommation en haute mer .

La première référence sur l'utilisation de la distillation solaire pour l'obtention de l'eau potable provient de l'italien Mr. NICOLO GHEZZI en 1742 (réf. 1) .

Cependant , sur le plan industriel , le premier distillateur construit à grande échelle fut celui de LAS SALINAS dans le désert chilien par l'ingénieur suédois Mr CHARLES WILSON en 1872 (réf.1) .

Cette installation fonctionnait au moyen de l'énergie solaire et couvrait une superficie totale de 4760 m² de verre . La production d'eau était de 19 m³/j (soit 41/m²/j) . Elle fut opérationnelle jusqu'en 1908 soit 36 ans après sa construction . Elle ne fut abandonnée qu'après l'implantation du projet d'approvisionnement en eau potable par conduite à partir des Andes jusqu'à ANTOFAGASTA .

L'invention de Mr. CHAELES WILSON a failli lui coûter la vie lorsqu'il proposa de desservir par ce projet toute la population de la grande plaine chilienne . Plus d'une fois , des vendeurs d'eau potable se sont concertés pour l'assassiner . Cependant , sa seule conviction se tournait vers le bénéfice social que procurerait un tel projet en excluant toute spéculation financière .

En 1875 , MOUCHOT conçut un système à multi-usage permettant entre autre d'avoir de l'eau distillée , de l'alcool et de cuire les aliments par focalisation des rayons solaires sur un ballon de distillation solaire (réf. 1) .

Entre 1926 et 1930 quelques distillateurs solaires furent construits par :

RICHARD (MONACO) ; MAURIAN et BRAZIER (PARIS)

GINESTOUS (TUNISIE) ; SELTZER (ALGER)

LAPAROLA (BENGHAZI) ; VEYNBERG (URSS) (réf. 1).

Pour la période 1940-1970 , les principaux concepteurs sont répertoriés dans le tableau I .

Lors de la deuxième guerre mondiale , le Dr. MARIAS TELKES du M.I.T inventa de petites unités de distillateurs solaires (plus de 200000 unités utilisées sur des radeaux de survie en pleine mer) (réf. 1) .

En 1954 , l' « US OFFICE OF SALINE WATER » fut créée et avait pour mission de promouvoir des recherches sur le dessalement de l'eau de mer .

En AFRIQUE OCCIDENTALE et particulièrement au SENEGAL , les recherches furent amorcées par les travaux du Professeur MASSON de l'Université de DAKAR en 1956 avec l'assistance de la compagnie Radiosol . Mais les distillateurs de Mr. MASSON avaient un rendement faible (inférieur à 1%) .

A partir des résultats de Mr. MASSON , divers distillateurs furent construits au C.E.R.E.R avec une couverture en plastique ou en verre . Le dernier modèle expérimenté fut réalisé par Mr. BEDARD EN 1985 .

A l'Ecole Polytechnique de THIES , les recherches dans le présent domaine sont essentiellement conduites par le Professeur Mr. THOMAS AQUIN . Une première phase de ces recherches a permis d'avoir en 1987 un prototype déjà opérationnel en brousse . Le projet actuel en constitue la seconde phase .

TABLEAU I : MODELES DE DISTILLATEURS SOLAIRES
CONSTRUITS ENTRE 1940 ET 1970
 (réf. 1)

CONCEPTEURS	DATE
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT)	1942
NEW YORK UNIVERSTY (TELKES)	1942
VIRGIN ISLAND (ROUNDS LÖF)	48-49
UNIVERSITY OF CALIFORNIA (HOWE, TLEIMAT, et Al)	1952
UNIVRESITY OF WICONSIN (DANIEL , DUFFIE)	1952
BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE (BLOEMER, et AL)	1953
AUSTRALIE , CSIRO (MORSE , READ , et Al)	1953
ALGERIE (GOMELLIA , SAVORNIN , LEJEUNE)	1953
ITALIE (NEBBIA)	1953
CHYPRE (FRITZMAURICE)	54-59
KENYA (BLAKE , RAMSAY)	1954
CHILIE (HIRSCHMANN)	1955
URSS (BAUM , BRDLIK , et Al)	1956
FRANCE (TROMBE , FOEX , GOMELLA)	1956
SENEGAL (MASSON)	56-61
INDE (KHANNA, MATHUR, DATTA, GARG, AHMED, et Al)	1957
IRAN (DeJONG)	1957
GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY (GRUNE, et Al.)	58-62
ESPAGNE (BLANCO , FONTAN , BARASOAIN)	1958
FRANKLIN INSTITUTE (ERB)	58-61
MAROC (AMBROGGI)	1958
MACRACKEN	1959
EGYPTE (HAFEZ , SAKR)	1960
HUMMEL & RICHARD	1960
UNIVERSITY OF ARIZONA (HODGES)	1961
MCGILL UNIVERSITY (LAWAND , SELCUK, et Al.)	1961
THAILANDE (WANG)	1961

Suite du tableau I

JAPON (KOBAYASHI)	1961
TUNISIE	1962
LESLIE SALT COMPANY	1962
ECKSTROM	1963
GRECE (DELYANNIS)	1964
CAP - VERT (ECKSTROM)	1965
ETHIOPIE (HOBBS)	1965
ETATS - UNIS (JACKSON)	1965
HAY & HAROLD	1965
PAKISTAN	1967
DELANO & RESEMAN	1968

II) LES DIFFERENTS TYPES DE DISTILLATEURS SOLAIRES DEJA DISPONIBLES

Actuellement , il existe une grande variété de conception de distillateurs particulièrement affectée par le choix des matériaux et l'aspect structural .

Compte tenu des dimensions du bassin , on peut classer tout cet ensemble en trois grandes catégories :

- Des installations construites par des compagnies opérant dans le domaine et sur une grande échelle .
- Des constructions de moyenne échelle installées par des particuliers .
- Des constructions artisanales réalisées avec des matériaux locaux par des gens peu qualifiés en la matière .

Dans une situation donnée , chaque catégorie a son avantage économique particulier .

Du point de vue structural , on distingue huit différents types de distillateurs fonctionnant à grande et à moyenne échelle (voir fig. I) .

Actuellement vingt distillateurs dont le bassin a une superficie supérieure à 1000 ft² (92 m²) sont opérationnels dans le monde . Leur surface totale de bassin fait 284000 ft² (26385 m²) avec une production totale avoisinant 20000 gpd (76 m³/j) .

Le plus grand distillateur solaire fonctionnant actuellement se trouve sur l'île de PATMOS en GRECE (réf. 1) . La surface totale de son bassin est de 93000 ft² (8640 m²) avec une production de 6900 gpd (26 m³) d'eau distillée .

Le bassin utilisé dans le cadre de la phase I de ce projet était celui du type 2 . Le projet devait desservir un village de 5000 habitants dont la consommation est évaluée à 40 l/j/hbt . La production d'eau distillée fut évaluée à 4 l/m³/j . Après étude , un bassin rectangulaire de 231 m de long sur 225 m de large (S = 51975 m²) fut retenu (réf. 2)

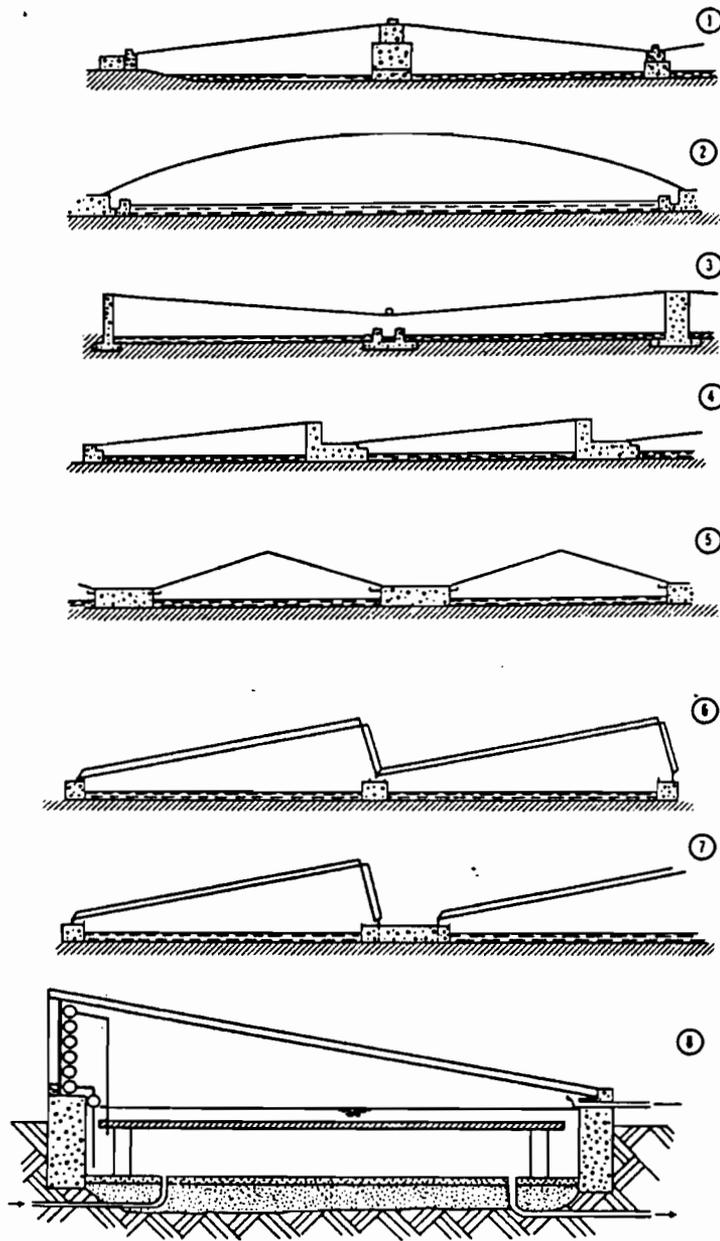
Pour le présent projet , on a jugé plus pratique d'utiliser un ensemble de petits bassins de 3,2 m sur 2 m (S = 6,4 m²) à monter en série tout en prévoyant des joints de dilatations de 2 cm entre deux bassins voisins . Dans le tableau II , on trouvera les caractéristiques de quelques distillateurs solaires à large bassin .

TABLEAU II : QUELQUES DISTILLATEURS SOLAIRES A LARGE BASSIN

PAYS	REGION	DATE DE CONSTRUCTION	SURFACE DU BASSIN(ft ²)	PRODUCTIVITE (gpd)
AUSTRALIE	MURESK I	DEC 1963	4000	220
	MURESK II	NOV 1966	4000	220
	COOPER PEDY	NOV 1966	34000	1680
	GRIFFITH	OCT 1967	4450	240
CAP-VERT	SANTA MARIA	1965	8000	560
CHILI	LAS SALINAS	1872	48000	3900
	QUILLAGUA	1968	1076	106
GRECE	SYMI	JUIL 1964	28920	2000
	PATMOS	JUIL 1967	93000	6900
	KIMOLOS	1968	27000	2000
	NISIROS	1969	22000	1600
INDE	BHAVNAGAR	OCT 1965	4060	220
MEXIQUE	NATIVIDAD	MARS 1969	1024	100
ESPAGNE	LAS MARINAS	MARS 1966	9350	680
TUNISIE	MAHDIA	1968	14000	1100
ETATS-UNIS	DEEP BASSIN	1961	2650	150
	CHURCH W.S	1963	1600	160
URSS	BAKHARDEN	AVRIL 1969	6450	430
WEST INDIES	Pt St VINCENT	"	18400	1300

(réf . 1)

Fig 1 - LES DIFFERENTS TYPES DE DISTILLATEURS SOLAIRES
FONCTIONNANT A GRANDE ET A MOYENNE ECHELLE



* TROISIEME PARTIE *

I) ETUDE THEORIQUE DU PROTOTYPE ENVISAGE

Cette partie concerne essentiellement l'étude des matériaux à utiliser dans la construction d'une part et d'autre part celle du système structural en entier .

I.1 - LE BASSIN

Il est constitué par un ensemble de trois couches :

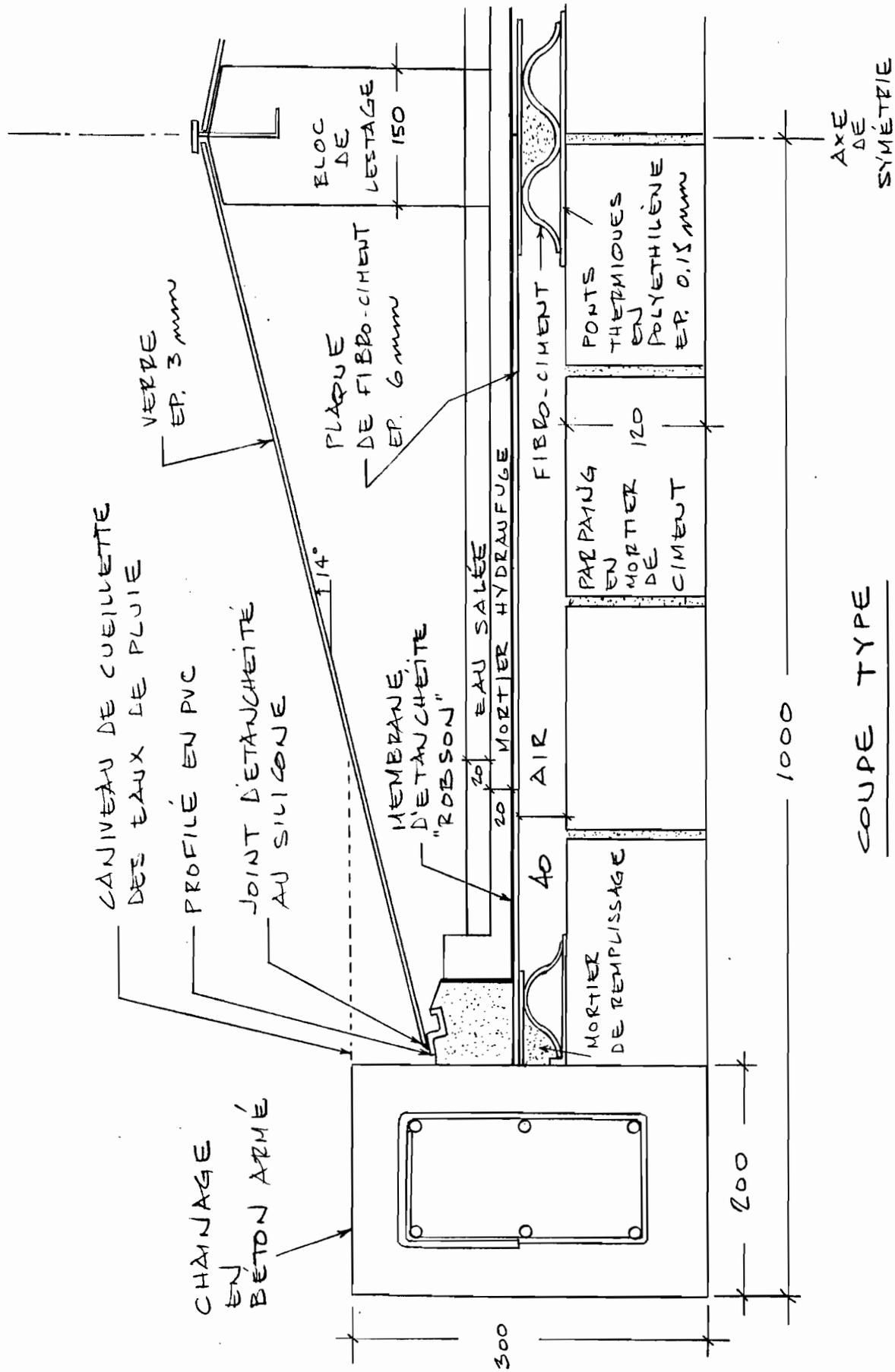
- La première en contact avec l'eau salée sera réalisée en mortier hydraufuge
- La seconde sera constituée d'une membrane d'étanchéité " ROBSON " et d'une plaque en fibro-ciment de 6 mm d'épaisseur .
- La troisième couche sera formée de briques de ciment de 120 X 200 x 400 mm³ avec une épaisseur de 20 cm .

Entre la deuxième et la troisième couche , une couche d'air a été prévue pour le stockage de l'énergie absorbée le fond du bassin .

Le plancher et ainsi réalisé sera solidaire à la poutre de ceinture .

I.2 - LA POUTRE DE CEINTURE

Elle a une hauteur de $h = 300$ mm et une largeur $b = 200$ mm .
Elle sera réalisée en béton armé .



DIMENSIONNEMENT DE LA POUTRE DE CEINTURE

.....

DESCENTE DES CHARGES

:: POIDS PROPRE

Poutre 1

$$0,2 \times 0,3 \times 1,6 \times 2,4 \times 9,8 = 2,26 \text{ KN}$$

Poutre 2

$$0,2 \times 0,3 \times 0,8 \times 2,4 \times 9,8 = 1,13 \text{ KN}$$

Dalle en parpaing

$$1,3 \times 0,8 \times 0,15 \times 2,4 \times 9,8 = 3,67 \text{ KN}$$

Bloc de lestage

$$(0,15 \times 0,2 \times 0,22 \times 2,4 \times 9,8 \times 6) / (2,6 \times 1,6) = 0,225 \text{ KN/m}^2$$

Verre et autres

$$0,01 \times 2,4 \times 9,8 = 0,235 \text{ KN/m}^2$$

Total du bloc de lestage + verre

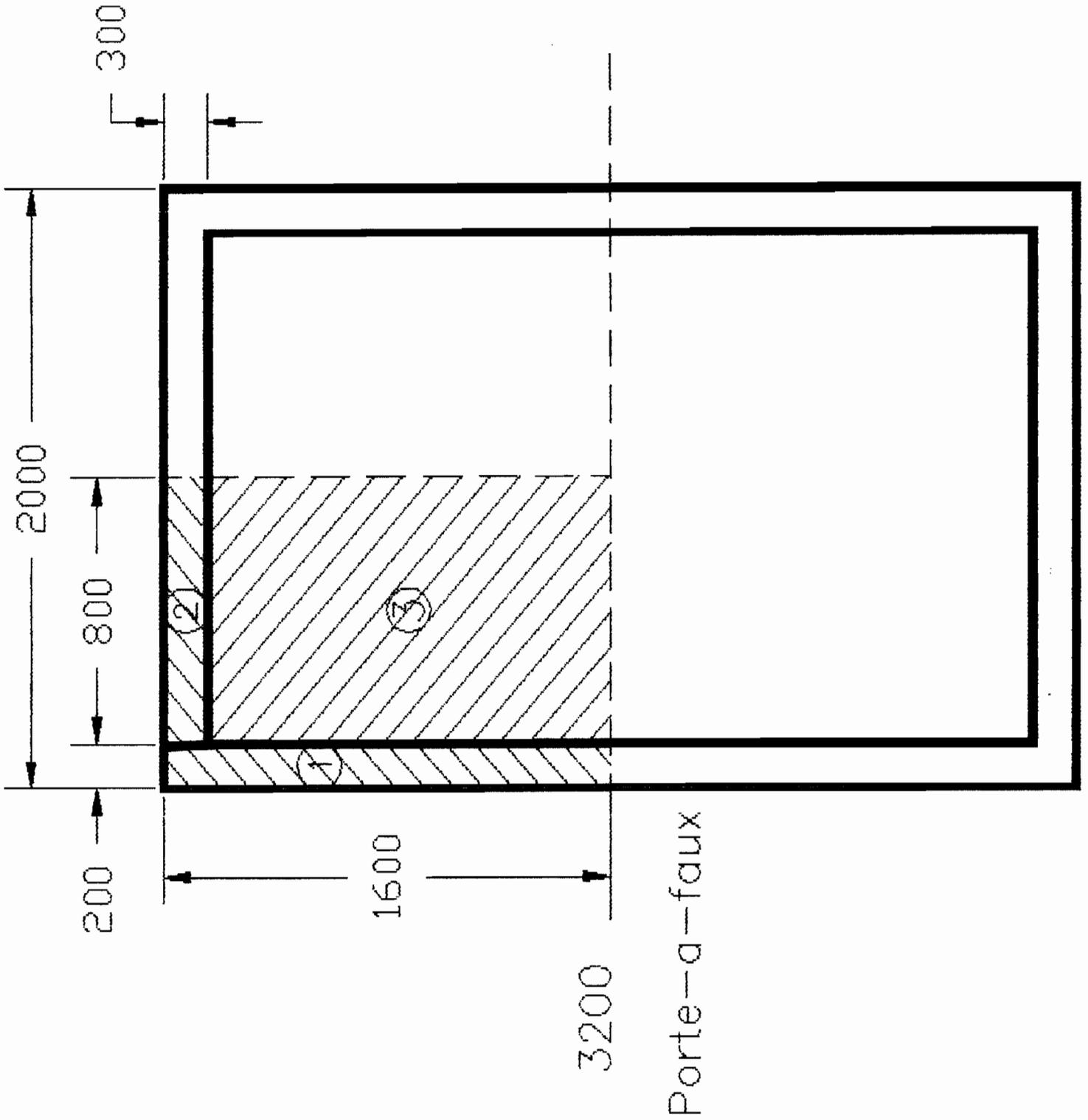
$$(0,225 + 0,235) \times 0,8 \times 1,3 = 0,48 \text{ KN}$$

:: SURCHAGES

Eau

$$0,05 \times 0,8 \times 1,3 \times 1 \times 9,8 = 0,510 \text{ KN}$$

DIMENSIONNEMENT DE LA POUTRE
DE CEINTURE EN FLEXION



CALCUL DU MOMENT PONDERE

$$M_f = 2,26 \times 1,25 \times 0,8 = 2,26 \text{ kN.m}$$

$$+ 1,13 \times 1,25 \times 1,45 = 2,05 \text{ kN.m}$$

$$+ 3,67 \times 1,25 \times 0,65 = 2,98 \text{ kN.m}$$

$$+ 0,48 \times 1,25 \times 0,65 = 0,39 \text{ kN.m}$$

$$+ 0,51 \times 1,5 \times 0,65 = 0,50 \text{ kN.m}$$

$$8,18 \text{ kN.m}$$

DETERMINATION DE L'ARMATURE DE FLEXION

CHOIX : barre N° 10 avec étier de 6 mm

$h = 300 \text{ mm}$; $b = 200 \text{ mm}$; $f_x = 400 \text{ MPa}$; $f_c = 25 \text{ MPa}$

$$d = 300 - 40 - 10/2 = 245 \text{ mm}$$

$$K_r = (8,18 \times 10^6) / (200 \times (245)^2) = 0,68$$

Pour les valeurs spécifiées de f_x et f_c on trouve dans les tables $\delta = 0,00206$

$$A_s = \delta b d = 0,00206 \times 200 \times 245 = 100,94 \text{ mm}^2$$

Choix : 2 # 10 soit $A_s = 157 \text{ mm}^2$

On mettra également 2#10 en haut .

DIMENSIONNEMENT DE LA POUTRE EN CISAILLEMENT

DESCENTE DES CHARGES

POUTRE 1

$$0,2 \times 0,3 \times 2,4 \times 9,81 \times 1,355 = 1,92 \text{ KN}$$

Poutre 2

$$0,2 \times 0,3 \times 0,8 \times 9,81 \times 2,4 = 1,13 \text{ KN}$$

Dalle

$$0,15 \times 0,8 \times 1,055 \times 2,4 \times 9,81 = 2,98 \text{ KN}$$

Bloc de lestage

$$0,46 \times 0,8 \times 1,055 = 0,39 \text{ KN}$$

$$6,42 \text{ KN}$$

SURCHARGE (EAU)

$$0,05 \times 0,8 \times 1,055 \times 1 \times 9,81 = 0,41 \text{ KN}$$

CALCUL DE L'EFFORT TRANCHANT PONDERE A LA DISTANCE d DE

L'APPUI

$$Vd = 1,25 \times 6,42 + 1,50 \times 0,41 = 8,64 \text{ KN}$$

$$\underline{Vd = 8,64 \text{ KN}}$$

VERIFICATION DE LA SECTION

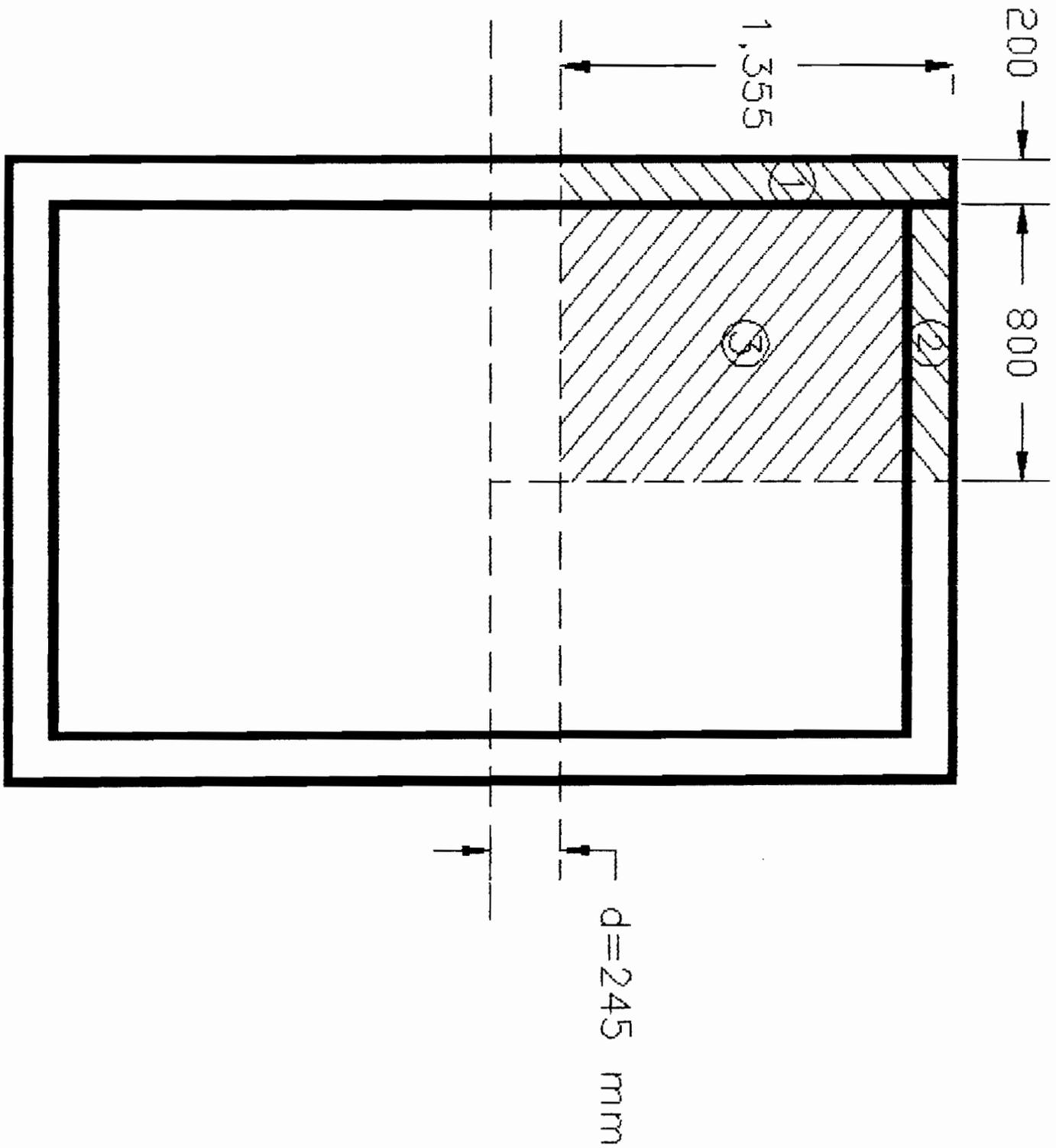
$$Vd = Vr < \xi_c (f_c)^{1/2} b \times d \quad ?$$

$$\text{EXPRESSION} = 0,6 \times (25)^{1/2} \times 200 \times 245 = 147 \text{ KN}$$

$$147 \text{ KN} \gg 8,64 \text{ KN} \quad \text{OK !}$$

La section est donc suffisante

DIMENSIONNEMENT DE LA POUTRE
DE CEINTURE EN CISAILEMENT



CALCUL DE L'ARMATURE DE CISAILLEMENT

$$V_c = 0,2 \times \sigma_c \times (f_c)^{1/2} \times b \times d$$
$$= 0,2 \times 0,6 \times 5 \times 200 \times 245 \times 10^{-3} = 29,4 \text{ kN}$$

On remarque que $V_d \ll V_c$ ie $8,64 \text{ kN} \ll 29,4 \text{ kN}$

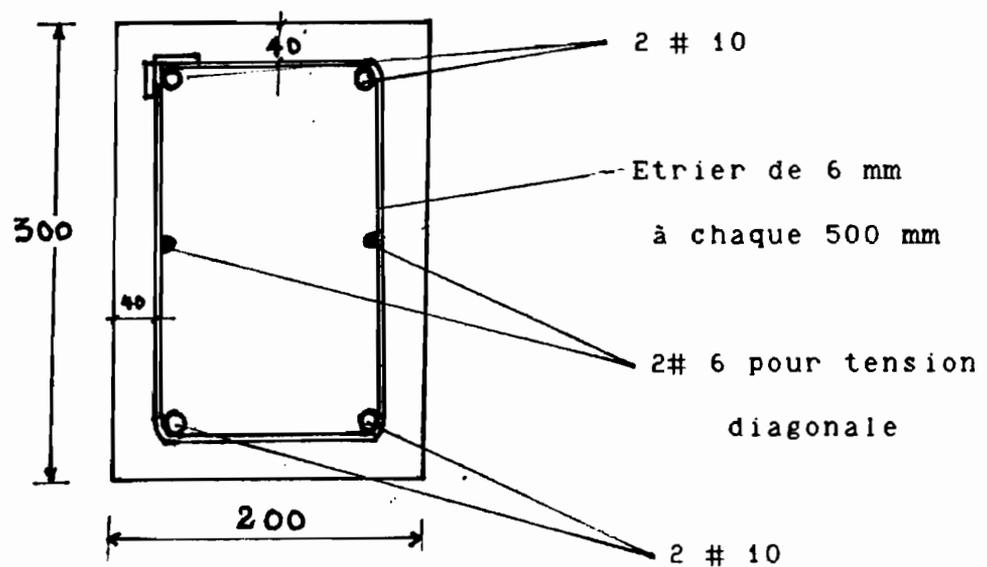
L'armature de cisaillement est non requise .

Néanmoins nous prendrons des étriers N°6 (minimum)

ESPACEMENT

Nous nous limiterons à un espacement de 500 mm

DESSIN DE LA SECTION



Pour assurer la stabilité de l'ensemble bassin - couverture , deux blocs de lestage sont prévus pour reprendre au sommet l'effort vertical agissant sur les plaques de verre .

Le canal destiné à recueillir l'eau distillée sera en PVC . Un dispositif similaire sera réalisé pour l'eau de pluie .

I 3 - LA COUVERTURE

Elle sera réalisée avec des plaques du verre ordinaire . Par souci économique nous avons opté pour une épaisseur de 3 mm (voir annexe 2) . Pour augmenter la rigidité des plaques , des renforts sous forme de raidisseur seront utilisés . La résistance d'un tel ensemble est testé en laboratoire et les résultats se trouvent dans la rubrique " essais de laboratoire " .

Le verre , fragile en masse , fait preuve d'une remarquable souplesse lorsqu'il est filé . Cette technique fut appliquée sous forme grossière bien avant notre ère par les égyptiens pour la décoration des vases ; mais ce n'est qu'au début du 18^e siècle que l'on pres- sentit son utilisation comme matériau textile et elle fut alors associée à la soie . Cependant , la naissance du verre textile industriel se situe au environ de 1930 . La plus importante applica- tion fut l'isolation des conducteurs électriques pour usage à hautes températures . Dans le cadre du projet actuel , il sera utilisé en tant que raidisseur dans le but d'augmenter la résistance en flexion des plaques de verre .

A partir des projets déjà installés , il a été constaté que l'utilisation d'une feuille plastique au lieu d'une vitre abaisse un peu les performances car le capteur fonctionne alors à une température modérée . La couverture en plastique a l'avantage d'être très économique et de limiter les phénomènes d'évaporation et de convection . Cependant , le polyéthylène fabriqué est souvent transparent aux rayons ultra - violets . Une forte condensation dès le matin se forme sur le film plastique et l'opacifie entièrement . Ceci n'empêche pas néanmoins le fonctionnement complète de l'appareil mais réduit considérablement ses performances . La couverture en vitre donne de meilleurs résultats . On constate une condensation qui n'opacifie pas trop le vitre . L'utilisation de deux vitres superposées est à exclure parce que la seconde vitre occasionne une perte de puissance à basse température et compense ainsi le gain qu'elle apporterait à haute température .

Pour analyser les phénomènes de transmission de chaleur , on utilise un certain nombre de thermocouples que l'on place sur les faces supérieures et inférieures du capteur .

II) ETUDE DU SYSTEME STRUCTURAL

Dans cette étude , l'action due au vent sera considérée comme étant la principale sollicitation à laquelle le prototype est soumis . En effet , nous pourrons négliger le poids propre de la couverture en verre de 3 mm . La valeur de ce poids propre est :

$$p = 2500 \times 0,003 \times 9,81 \times 10^{-3} = 0,07 \text{ KN/m}^2 .$$

En se référant au tableau des données sur le vent au SENEGAL de 1951 à 1982 (cf. annexe 3) , la valeur de la pression de référence $q = 0,37 \text{ KN/m}^2$ sera utilisée dans les calculs .

La force exercée par le vent sur une parois est donnée par :

$$P = C_p \times C_g \times C_e \times q$$

C_e : coefficient d'exposition

Dans le cas présent , le terrain est du type d'exposition A ; c'est à dire un terrain ordinaire comportant des obstacles dispersés . Ainsi , on doit avoir C_e au moins égale à 1 (réf CNBC page 145)

$C_e = (Z / 10)^{0,28}$; Z étant la hauteur de l'ouvrage dans notre cas Z # 1,5 m et on a : $C_e = 0,6$. On prend donc $C_e = 1$.

C_g : coefficient de rafale

Ce coefficient est de 2 pour les bâtiment dans l'ensemble et de 2,5 pour les petits éléments plus revêtement . On prend donc $C_g = 2,5$.

C_p : coefficient de pression

En consultant la figure B6 (réf. 18) pour avoir $C_p \times C_g$ on a :

VALEURS DE $C_p \times C_g$

a) MUR AU VENT

b) MUR SOUS VENT

1,5

- 1,2

c) TOIT AU VENT

d) TOIT SOUS VENT

- 2,0

- 1,3

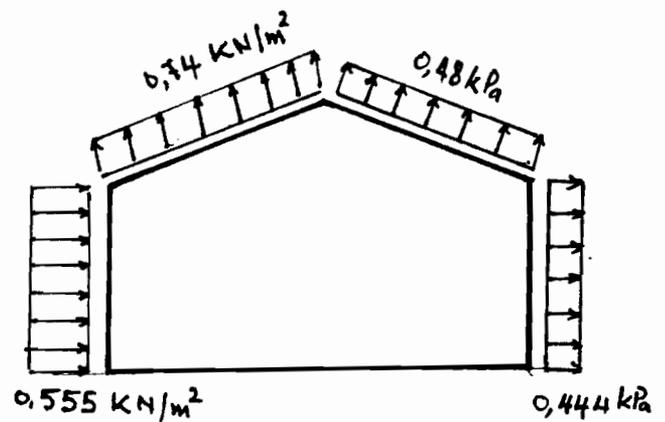
EXEMPLE DE CALCUL

Cas a : $P = 1,5 \times 1 \times 0,37 = 0,555 \text{ kN/m}^2$

RESULTATS

```

*****
* CAS      *      P ( kPa ) *
*****
*  a      *      0,555   *
*  b      *      - 0,444 *
*  c      *      - 0,74  *
*  d      *      - 0,481 *
*****
    
```



III) ESSAIS EN LABORATOIRE

Dans ce volet , divers essais étaient programmés . Cependant l'inexistence (au niveau du laboratoire de résistance des matériaux) de matériels adéquats nous a poussé à abandonner certains essais tels que les essais de chargement dynamique et les essais de fatigue .

Les différents essais qui ont été réalisés sont :

- essais de chargement statique (avec la presse TINUS OLSEN)
- essais de fluage sur plaque

III 1 - ESSAIS A LA PRESSE TINUS OLSEN

Au niveau de ces essais , on s'est préoccupé par l'obtention de deux types de résultats :

(a) Les résultats pouvant nous permettre de déterminer avec précision les caractéristiques physiques du type de verre qui sera utilisé sous diverses formes structurales .

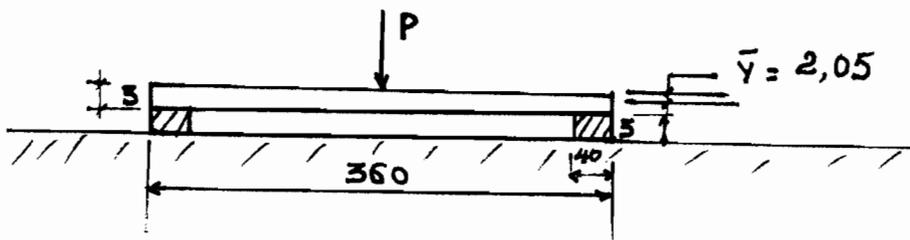
(b) Les résultats permettant de tester les propriétés collantes de la résine de polyester qui est utilisée pour l'assemblage des éléments .

Les essais sont réalisés sur trois types d'assemblage .

- Plaque témoin sans raidisseur
- Plaque avec raidisseur de 40 mm
- Plaque avec raidisseur en verre de 60 mm

**III 2 - DETERMINATION THEORIQUE DE LA CHARGE A LA
RUPTURE POUR CHAQUE CAS D'ASSEMBLAGE**

CAS 1 PLAQUE SANS RAIDISSEUR



CALCUL DU CENTRE DE GRAVITE

$$Y_g = \Sigma (a_i \times y_i) / A$$

$$A = 40 \times 3 \times 2 + 360 \times 3 = 1320 \text{ mm}^2$$

$$Y_g = (1,5 \times 360 \times 3 + 4,5 \times 40 \times 2) / 1320 = 2,05 \text{ mm}$$

La fibre la plus tendue se trouve à $y = 6 - 2,05 = 3,95 \text{ mm}$ du centre de gravité

$$I = (b \times h^3) / 12 + A \times d^2$$

$$I = [(40 \times 3^3) / 12 + 40 \times 3 \times 2,45^2] \times 2 + [(360 \times 3^3) / 12 + 360 \times 3 \times 0,55^2] = 2757 \text{ mm}^4$$

$$S = (I / y) = (2757 / 3,95) = 698 \text{ mm}^3$$

$$M = S \times \sigma$$

Prenons $\sigma_{moy} = 50 \text{ MPa}$ (réf : Aide mémoire de résistance des matériaux; PISSARENKO, et Al. Edition de MOSCOU 1979 , page 822)

On a :

$$M = 698 \times 50 = 34900 \text{ N.m}$$

VERIFICATION DU MOMENT DU POIDS PROPRE

Pour le verre , $\delta = 2500 \text{ kg/m}^3$ (réf Aide mémoire RDM PISSARENKO
page 823)

$$w = [0,003 (1 \times 0,360 + 2 \times 0,04 \times 1)] \times 2500 = 3,3 \text{ kg/m}$$

$$w_f = 3,3 \times 9,81 = 32,4 \text{ N/m}$$

$$M_f = (w_f \times l^2) / 8 = (32,4 \times 1^2) / 8 = 4,05 \text{ N.m}$$

$M_f \ll M$ donc négligeable .

$$M = (P \times L) / 4 \quad (\text{cas des charges concentrées})$$

$$\text{Soit } P = (4 \times M) / L$$

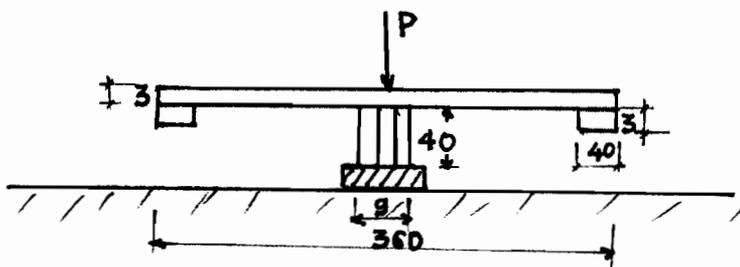
$$L = L_{c-c} = 980 \text{ mm} \quad . \text{ Donc } P = (4 \times 34900) / 980 = 142,45 \text{ N}$$

$$\underline{P = 142,45 \text{ N}}$$

Ce qui correspondrait à une masse

$m = P/g = 142,45 / 9,81 = 14,5 \text{ kg}$ à entreposer sur la plaque pour
obtenir sa rupture en flexion .

CAS 2 PLAQUE AVEC RAIDISSEUR DE 40 mm



CENTRE DE GRAVITE

$$A = 40 \times 3 \times 2 + 360 \times 3 + 9 \times 40 = 1680 \text{ mm}^2$$

$$Y_g = (23 \times 9 \times 40 + 2 \times 40 \times 4,5 + 360 \times 3 \times 1,5) / 1680 = 6,54 \text{ mm}$$

La fibre la plus tendue se trouve à $y = 43 - 6,54 = 36,46 \text{ mm}$ du
centre de gravité .

$$I = (40^3 \times 9) / 12 + 16,46^2 \times 40 \times 9 + 2(3^3 \times 40) / 12 +$$

$$+ 2(40 \times 3 \times 2,04^2) + (360 \times 3^3) / 12 + 360 \times 3 \times 5,04^2$$

$$I = 175 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$S = (175 \times 10^3) / 36,46 = 4800 \text{ mm}^3$$

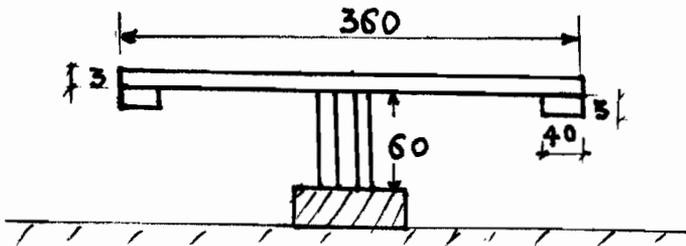
$$M = 4800 \times 50 = 24 \times 10^4$$

$$P = 4(24 \times 10^4) / 980 = 980 \text{ N}$$

$$\underline{P = 980 \text{ N}}$$

$$m = 980 / 9,81 \approx 100 \text{ kg} ; \quad \underline{m = 100 \text{ kg}}$$

CAS 3 PLAQUE AVEC RAIDISSEUR DE 60 mm



$$A = 40 \times 3 \times 2 + 360 \times 3 + 9 \times 60 = 1860 \text{ mm}$$

$$Y_g = (360 \times 1,5 \times 3 + 2 \times 3 \times 40 \times 4,5 + 33 \times 9 \times 60) / 1860$$

$$Y_g = 11 \text{ mm}$$

$$Y = 63 - 11 = 52 \text{ mm}$$

$$I = (60^3 \times 9) / 12 + 22^2 \times 60 \times 9 + (3^3 \times 40) / 12$$

$$+ 40 \times 3 \times 2 \times 6,5^2 + (360 \times 3^3) / 12 +$$

$$+ 360 \times 3 \times 9,5^2 = 531960 \text{ mm}^4$$

$$S = 531960 / 52 = 10230 \text{ mm}^3$$

$$M = 10230 \times 50 = 511500 \text{ N.m}$$

$$P = 4(511500) / 980 = 2088 \text{ N}$$

$$m = 2088 / 9,81 = 212,8 \text{ kg}$$

III 3 - VERIFICATION DE LA CONTRAINTE DE CISAILLEMENT

La contrainte de cisaillement est donnée par :

$$T = V \times Q / I \times b$$

Avec $Q = \Sigma a_i \times y_i = A \times Y_g$

PLAQUE RAIDIE AVEC VERRE DE 40 mm

$$A = 1680 \text{ mm}^2$$

$$Y_g = 6,54 \text{ mm}$$

$$Q = 1680 \times 6,54 = 10987,2 \text{ mm}^3$$

$$b = L = 980 \text{ mm}$$

$$V = P/2 = 980/2 = 490 \text{ N}$$

$$T = (490 \times 10987,2) / (175 \times 10^3 \times 980) = 31 \text{ kPa}$$

$$\underline{T = 31 \text{ kPa}}$$

La résine de polyester utilisée comme colle supporte largement un effort de cisaillement de l'ordre de 50 kPa . C'est une colle forte .

PLAQUE RAIDIE AVEC DU VERRE DE 60 mm

$$A = 1860 \text{ mm}^2$$

$$Y_g = 11 \text{ mm}$$

$$I = 531960 \text{ mm}^3$$

$$Q = 1860 \times 11 = 20460 \text{ mm}^3$$

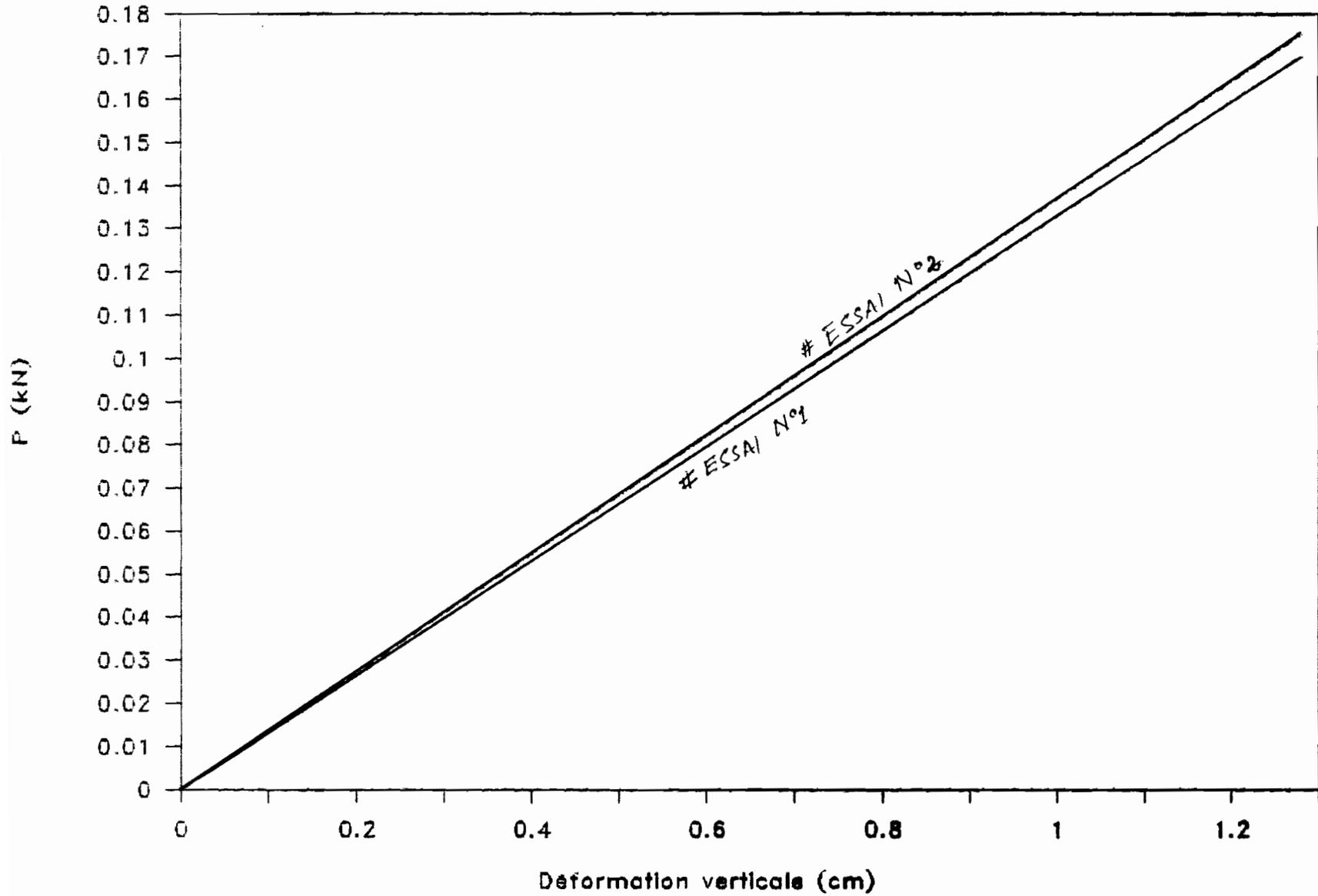
$$V = 2088/2 = 1044 \text{ mm}$$

* QUATRIEME PARTIE *

RESULTATS DES ESSAIS

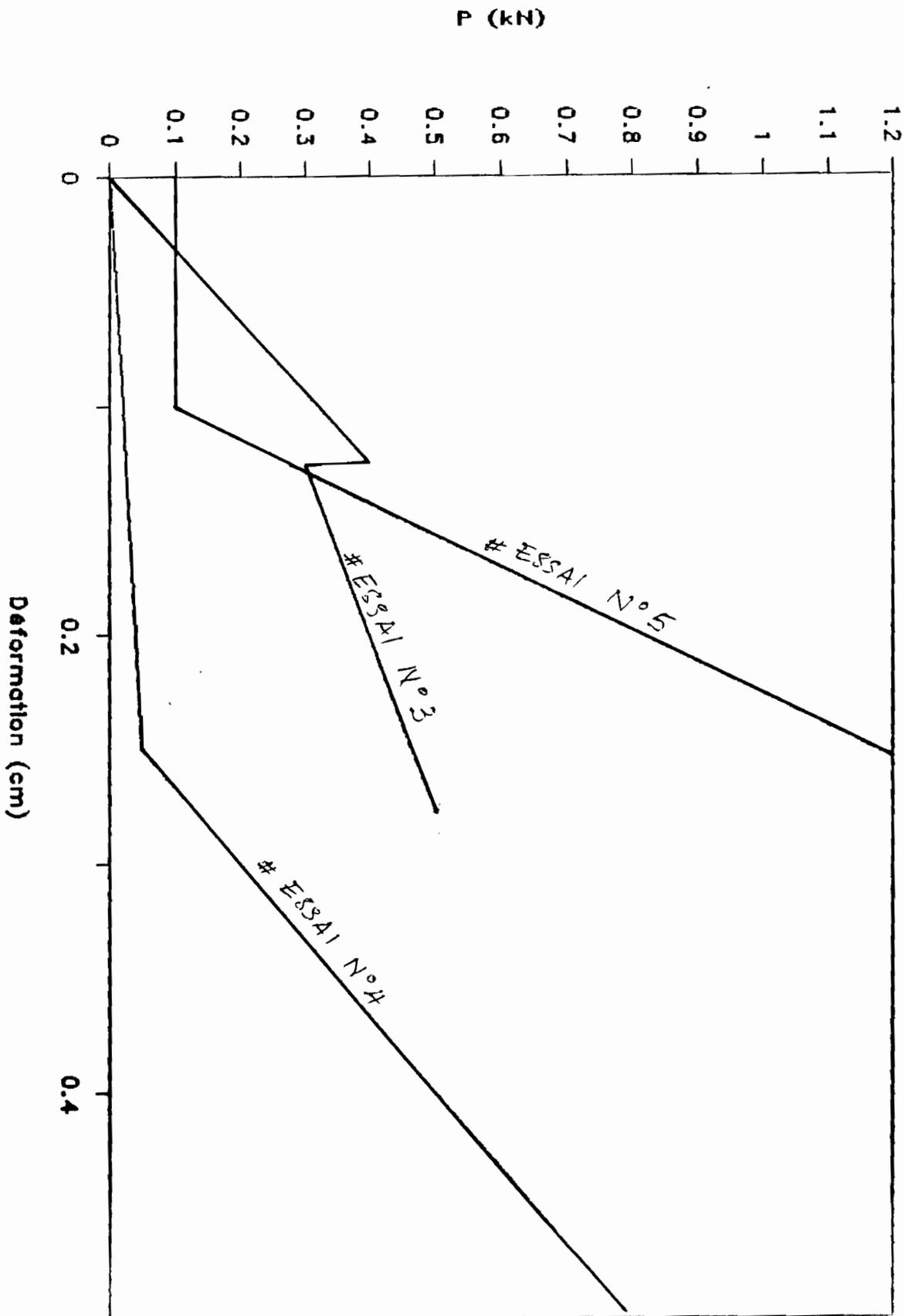
I a - COURBES DE LA CHARGE
A LA RUPTURE VERSUS
LE FLECHISSEMENT
VERTICAL

ESSAI SUR PLAQUE TEMOIN



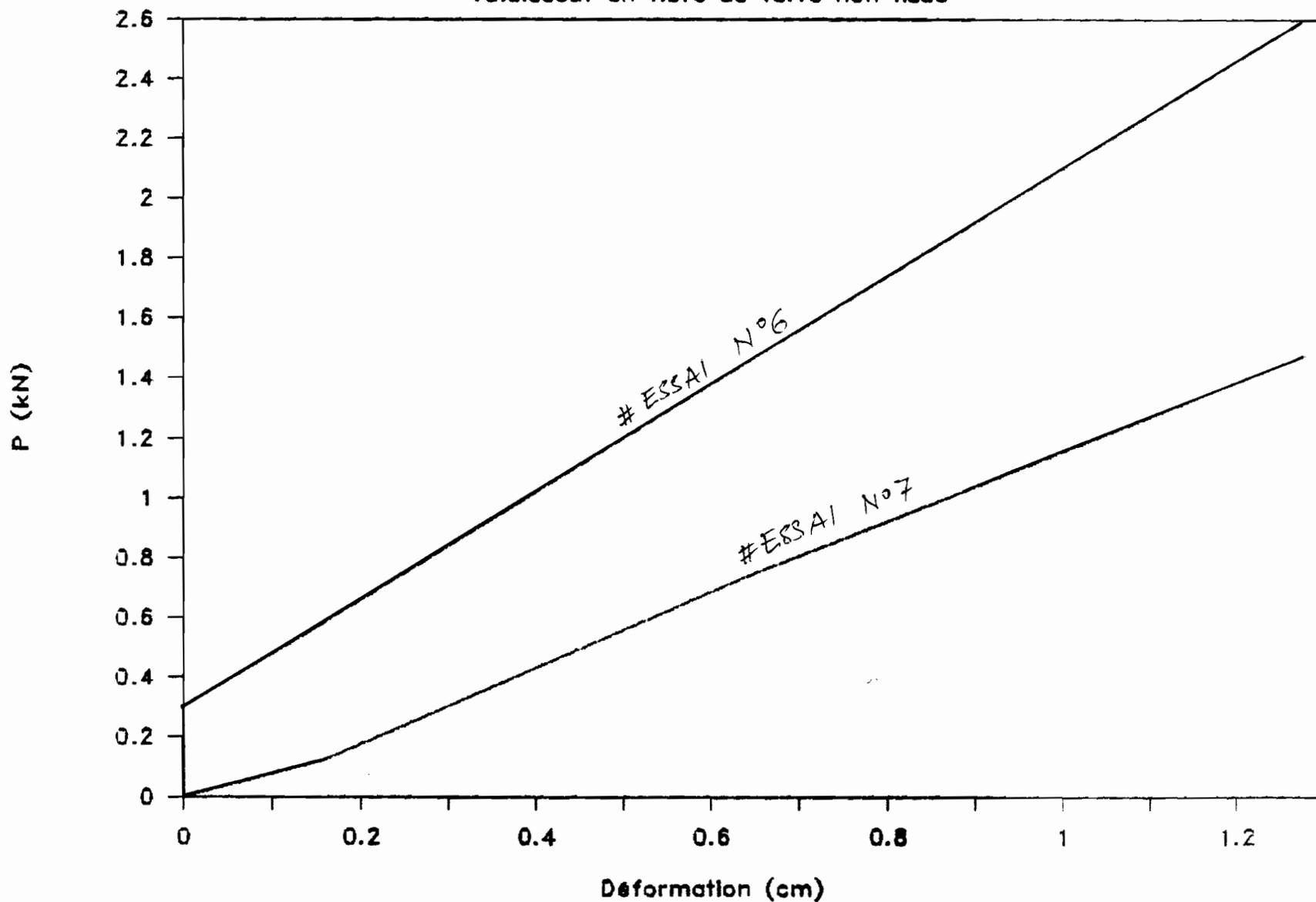
ESSAI SUR PLAQUE AVEC RAIDISSEUR

en verre



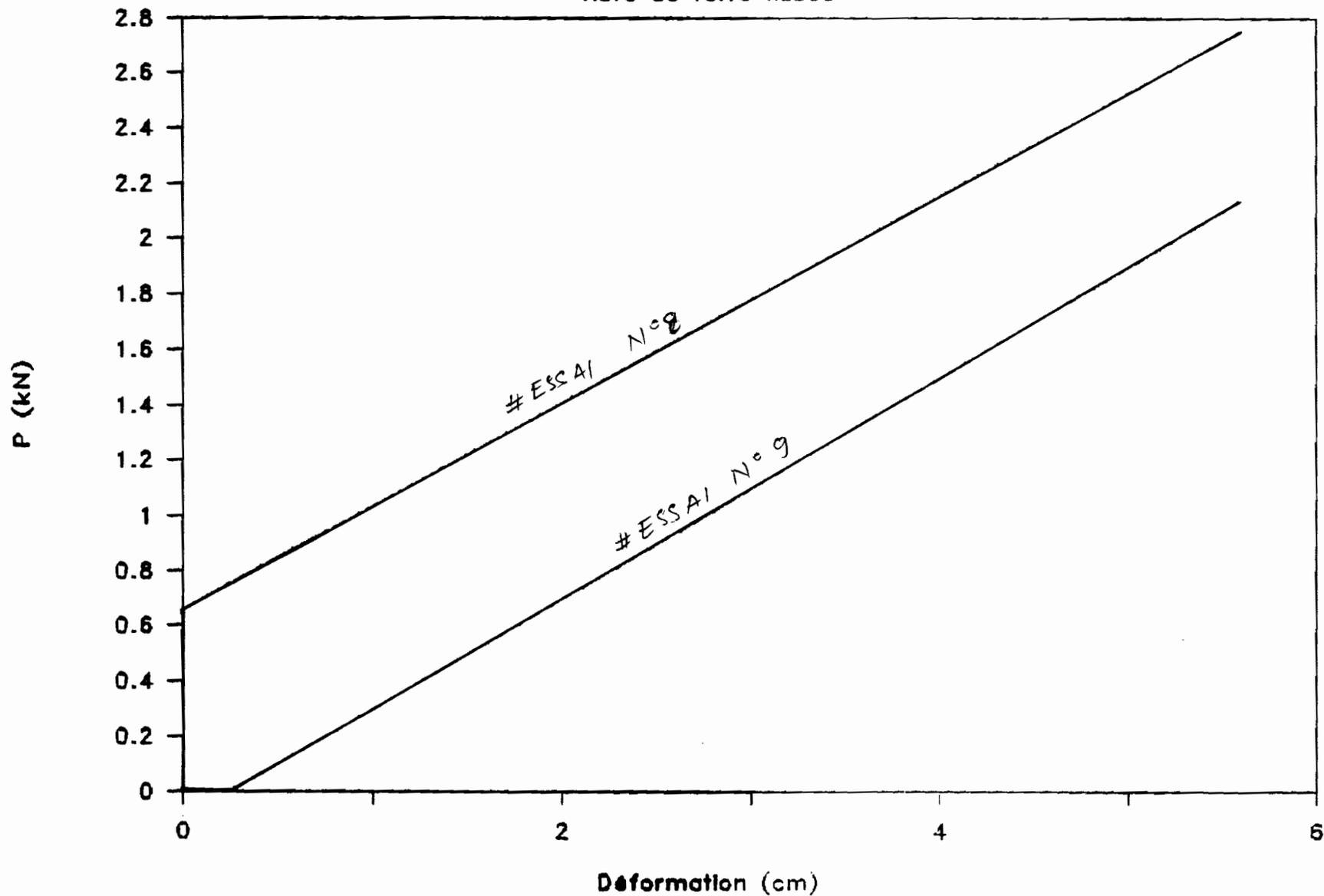
ESSAI AVEC PLAQUE DE VERRE AVEC

raidisseur en fibre de verre non fissé



ESSAI SUR PLAQUE DE VERRE RAIDIE AVEC

fibres de verre tissées



I b - RESULTATS TIRES DES COURBES

Essais sur plaque témoin

Essai	F_r (N)	δ_r (mm)
1	170	12,8
2	167	12,2

Essais sur plaque avec raidisseur en verre

Essai	F_r	δ_r
3*	500	2,75
4*	800	5
5**	1170	2,5

* raidisseur de 40 mm

** raidisseur de 60 mm

Essais sur plaque avec raidisseur en fibre de verre non tissée

Essai	F_r	δ_r
6	1450	6,4
7	1478	12,8

Essais sur plaque avec raidisseur en fibre de verre tissée

Essai	F_r	δ_r
8	2750	14
9	2096	13,75

II) COMMENTAIRES SUR LES ESSAIS

Théoriquement , la plaque chargée devrait se comporter comme une poutre soumise à l'effet d'une charge concentrée , appliquée à son centre de gravité . Dans un cas pareil , on obtient un diagramme d'effort tranchant (V) et de moment fléchissant (M_f) tel que montré ci dessous :

CHARGEMENT

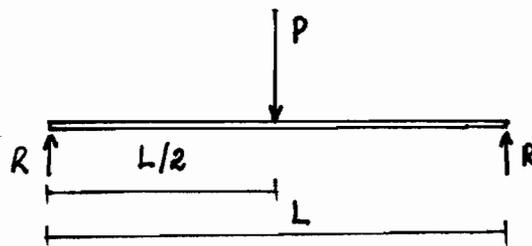


DIAGRAMME V

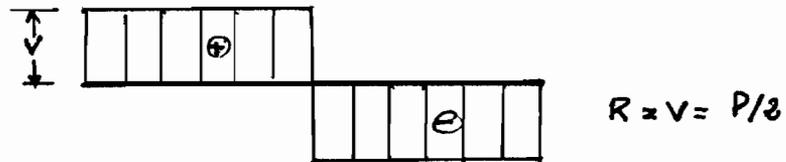
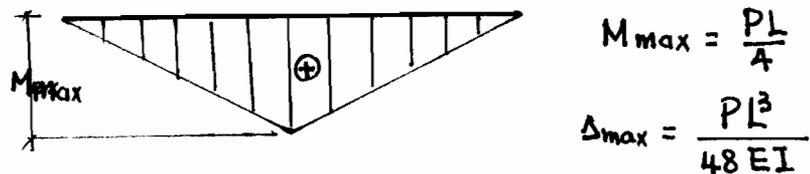


DIAGRAMME M



Sur ces diagrammes nous remarquons que l'effort sollicitant la plaque engendre un moment maximum au droit du point d'application de la force (dans notre cas centre de la poutre)

Ainsi , en considérant le matériau homogène , la rupture en flexion doit théoriquement se produire au point où le moment est maximal .

Sur cette base , on devrait s'attendre à une rupture se produisant au centre de la plaque lors de nos essais .

Au niveau des essais nous avons remarqué que seules les plaques témoins (plaques sans raidisseur , renforcées aux bouts par des lames de verre) ont donné des résultats vérifiant la théorie de rupture exposée tantôt . En effet , au niveau de ces plaques , la rupture a lieu juste au milieu c'est à dire au point d'application de la force P .

Dans le cas des plaques raidies avec le verre , on a obtenu une rupture prématurée du raidisseur . Cette rupture laisse intacte la plaque . Au niveau du raidisseur même , la rupture a lieu à son centre dans les trois cas testés . Ce qui vérifie notre prévision théorique .

Quant aux plaques raidies avec la fibre de verre , on a constaté une rupture qui , à partir du centre , se propageait vers les bords de la plaque .

Tous ces résultats nous prouvent très bien que si nous devons prendre des précautions contre la rupture des plaques , il faudrait un bon renfort au droit du point d'application supposé de l'effort de flexion (exemple : sollicitations dues aux coups de vent) .

Du point de vue résistance , les résultats obtenus montrent clairement que les plaques de verre raidies avec la fibre de verre sont plus résistantes .

Mais aussi on constate également que les plaques raidies avec le verre affichent une résistance supérieure à celle des plaques témoins

CONFRONTATION DES RESULTATS THEORIQUES AUX RESULTATS

OBTENUS

a) CHARGE A LA RUPTURE

TYPE DE PLAQUE		PLAQUES AVEC		PLAQUES AVEC	
		RAIDISSEUR			
		DE 40 mm		DE 60 mm	
EFFORTS	Plaque témoin Verre	Fibre de verre			
		Tissée	non Tissée		
P (N)	142,4	980	980	980	2088
Fr(N)	170	500	2096	1450	1170
	167	800	2750	1478	

A partir des résultats de ce tableau on remarque :

- (1) Les deux plaques témoins ont donné des valeurs de force à la rupture Fr supérieures à celle prévue théoriquement .
- (2) Les plaques raidies avec du verre résistent moins que la prévision théorique .
- (3) Les plaques raidies avec la fibre de verre résistent beaucoup plus que la prévision ; surtout lorsque les fibres sont tissées .

b) CONTRAINTE DE RUPTURE

A partir de la valeur de F_r , on peut estimer la contrainte à la rupture par :

$$\sigma_r = M/S = P \times L / 4S$$

Exemple de calcul: Plaque témoin

$$F_r = 170 \text{ N} \quad ; \quad S = 698 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_r = (170 \times 980) / (4 \times 698) = 59,67 \text{ MPa}$$

$$\underline{\sigma_r = 59,67 \text{ MPa}}$$

En faisant des calculs similaires pour les autres plaques on a :

TYPE DE PLAQUE	TEMOIN	Avec raidisseur en			
		VERRE		FIBRE DE VERRE	
		40 mm	60 mm	tissée	non tissée
σ_r (MPa)	59,67	25,52	28	74	107

REMARQUE

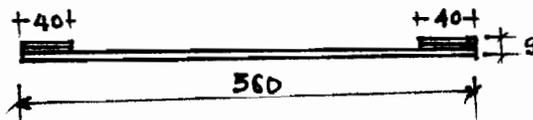
La contrainte à la rupture de la plaque témoin est supérieure à celle des plaques avec raidisseur. Ceci n'est nullement paradoxale si l'on se réfère à l'état des plaques après l'essai. Pour les plaques témoins, la rupture est totale alors qu'au niveau des plaques avec raidisseur la rupture est partielle. Seul, le raidisseur s'était brisé ; laissant intacte la plaque même.

Les résultats obtenus pour la plaque témoin et les plaques avec raidisseur en fibre de verre sont satisfaisants . Ils vérifient bien la contrainte théorique qui se situe entre 30 MPa et 90 MPa . Dans les calculs de prévision , on a utilisé une valeur moyenne de 50 MPa . Ce qui est bien représentative .

CHOIX DE L'ASSEMBLAGE A ADOPTER

Compte tenu du coût assez élevé de la fibre de verre , on évitera de renforcer les plaques avec un raidisseur en fibre de verre .

On optera pour des plaques renforcées en bout avec deux lamelles de $40 \times 3 \text{ mm}^2$. Une coupe transversale de l'ensemble donne :



CARACTERISQUES DE L'ASSEMBLAGE

$$Y_g = 2,318 \text{ mm}$$

$$A = 2640 \text{ mm}^2$$

$$I = 11,01 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$S = 11030 \times (9 - 2,318) = 1648 \text{ mm}^3$$

CHARGEMENT DE LA PLAQUE

a) Sous l'effet du poids propre du verre ($\delta = 2500 \text{ kg/m}^3$)

on a :

$$P_p = 2640 \times 10^{-6} \times 1 \times 2500 \times 9,81 = 64,7 \text{ kg/m}$$

$$M = (w \times l^2) / 8 = (64,7 \times 0,98^2) / 8 = 8 \text{ N.m}$$

$$\sigma = M/S = 8000/1648 = 4,85 \text{ MPa} \ll \sigma_{\text{moy}} = 50 \text{ MPa} .$$

La plaque résistera très bien à l'effet de son poids propre .

CALCUL DU FLECHISSEMENT

$$\gamma = (5 w x l^4) / (384 EI)$$

$$E = 71000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma = (5/384) x (0,0647 x 980^4) / (71000 x 11010) = 0,99 \text{ mm}$$

$$\gamma = 1 \text{ mm}$$

Ce fléchissement rapporté à la longueur donne 1/980 . Ce qui est très faible . On peut donc considérer l'ensemble comme rigide .

b) SOUS L'EFFET DU VENT

$$\text{Pression résultante de la gravité} = 64,7 / (0,72 x 1) = 90 \text{ Pa}$$

$$\text{Pression effective} = 740 - 90 = 650 \text{ Pa} .$$

$$\text{Ce qui donne un effort réparti de } 650 x 0,72 = 468 \text{ N/m} .$$

$$M = (468 x 0,98^2) / 8 = 56,2 \text{ N.m} = 56200 \text{ N.mm}$$

$$\sigma = 56200 / 1648 = 34,10 \text{ MPa}$$

$$\underline{\sigma = 34,10 \text{ MPa}}$$

On constate que $\sigma < \sigma_{\text{moy}}$

On obtient un coefficient de sécurité de :

$$F = \sigma_{\text{moy}} / \sigma = 50 / 34,1 = 1,47 \# 1,5$$

La réserve de résistance disponible sera donc suffisante pour résister efficacement à l'effet du vent .

* CINQUIEME PARTIE *

I) - ANALYSE ENERGETIQUE DU RAYONNEMENT SOLAIRE PARVENANT AU CAPTEUR

L'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire qu'elle reémet . Cette absorption et cette émission étant liées à la quantité de vapeur d'eau , de gaz carbonique et d'aérosols présente dans l'atmosphère .

Dans les conditions moyennes sous les tropiques , par temps clair , pour une température ambiante de 27° C (soit $T_a=300^\circ$ K) , on comptera qu'entre 10H et 14H le capteur reçoit du soleil un flux \dot{Q}_g # 900 Kcal/hm² et de l'atmosphère \dot{Q}_a # 294 Kcal/hm²

Le soleil émet dans les longueurs d'onde de l'ordre de 0,3 à 2 μ alors que l'atmosphère , étant donné sa température émet dans des longueurs d'ondes de l'ordre de 5 à 40 μ (réf 4) .

Le verre ordinaire est "sélectif" parce qu'il transmet des rayonnements d'ondes courtes (rayonnement direct et diffus) absorbe et émet des rayonnements d'ondes longues (corps à température ordinaire : atmosphère , tôle , autres vitres ...) de sorte qu'une vitre recevant du soleil un flux \dot{Q}_g réfléchit 0,08 \dot{Q}_g (8%) et transmet 0,92 \dot{Q}_g (\dot{Q}_g : flux parvenant du soleil) .

Un vitre de quelques mm d'épaisseur recevant un flux d'ondes longues \dot{Q}_{at} réfléchit 0,04 \dot{Q}_{at} et absorbe 0,96 \dot{Q}_{at}

(\dot{Q}_{at} : flux parvenant de l'atmosphère) .

Enfin , la vitre émet dans les ondes longues 96% de ce qu'émettrait le corps noir à la même température .

La productivité des distillateurs couverts avec du verre est également influencée par la pente de pose de la couverture par rapport à l'horizontal . Des études expérimentales ont permis de constater que pour la zone inter-tropicale un angle de pose compris entre 10° et 20° donnerait des résultats largement satisfaisants . Cependant , il ne faut pas perdre de vue que plus cet angle augmente , plus la longueur de la plaque de verre à utiliser s'accroît . Dans le cadre de ce projet , un angle de 15° a été retenu .

II) - PERFORMANCES DES DISTILLATEURS SOLAIRES

Le rendement d'un distillateur solaire est souvent approximé par la relation de BLOEMER, et al. (réf 1)

$$\delta = 100 C \times P / RS$$

δ : rendement en %

P : productivité du bassin ($m^3/m^2.j$)

RS : radiation solaire ($kj/m^2 .j$)

C : constante de conversion (C = 8,913 Btu/gal)

$$C = (8,913 \times 1,00551) / 3,7854 \# 2485 \text{ kj/m}^3 \quad \underline{C = 2485 \text{ kj/m}^3}$$

ESTIMATION DU RENDEMENT DE NOTRE DISTILLATEUR

EXEMPLE DE CALCUL

A partir de la formule de BLOEMER, avec une production moyenne estimée à $5 \text{ l/m}^2.j$ soit $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/m^2.j$ et une radiation solaire quotidienne moyenne de $4,9 \text{ kwh/m}^2/j$

(mois de Janvier : voir tableau annexe IV) on a :

$$RS = 4,9 \times 3,6 = 17,64 \text{ kj/m}^2/J$$

$$\text{soit } \delta = 100 \times 2485 \times 5 \cdot 10^{-3} / 17,64 = 70,44 \%$$

$$\delta = 70,44 \%$$

BLOEMER a démontré expérimentalement que le rendement d'un distillateur augmente avec l'élévation de la température de la vapeur .

D'autre part, GRUNE donna l'expression suivante pour le rendement .

Pour le collecteur (verre)

$$\delta_c = 100 RS_e / RS_0$$

RS_e : Radiation solaire emmagasinée au niveau du bassin

RS_0 : Radiation solaire arrivant au niveau de la couverture

Rendement interne

$$\delta_1 = LxH / (SR_e - IL)$$

δ_1 : rendement interne du bassin

LH : chaleur latente transférée à la couverture par la vapeur d'eau

IL : perte globale d'énergie

Productivité

La quantité d'eau produite est fonction de la température à la surface de la saumure et de la différence de température entre la surface de la saumure et la couverture . Cependant , nombre de facteurs affectent les température de la saumure et celle de la couverture . Parmi ces facteurs on distingue :

l'intensité de l'irradiation solaire , la conception du distillateur (forme), la vitesse du vent et la température de l'air ambiant .

Diverses formules empiriques ont été développées par des auteurs tels que GRUNE , LAWAND et BLOEMER . Cependant ces formules ne s'appliquent qu'aux cas expérimentaux étudiés . Il serait donc très hasardeux de les appliquer sans corrections préalables . Ce qui ne sera possible qu'avec la phase expérimentale de l'actuel projet .

On pourrait dans ce cas établir une formule similaire à celui de BAUM donnée par :

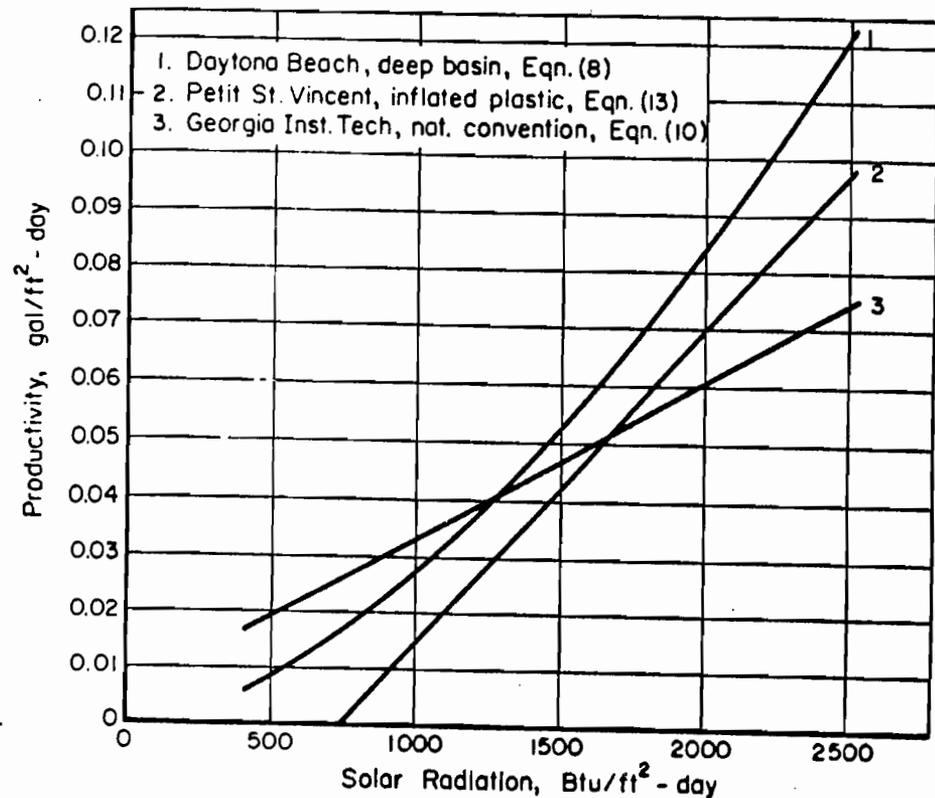
$$P = \delta \times RS / 600$$

P : productivité en kg/m².hr

δ : rendement du distillateur en %

RS : radiation solaire en kcal/m².hr

A titre d'exemple , l'abaque de la figure ci-dessous donne la productivité obtenue à partir de trois différents bassins .



{ réf. 1 Fig. 24
page 73 }

I) - ETUDE ECONOMIQUE

Dans cette étude , nous nous référerons à la méthode normalisée préconisée par l'OSW (Office of saline water) .

I.1 - METHODE NORMALISEE DE L'OSW POUR L'ESTIMATION DU PRIX DE REVIENT DE L'EAU DESSALEE

- a) Amortissement du matériel sur 15 à 20 ans .
- b) Taux d'intérêt de l'ordre de 10% (moindre dans le cas d'un prêt consenti par les pouvoirs publics)
- c) Rétribution de la main d'oeuvre 1500 FCFA /HOMME /JOUR .
- d) Charge annuel d'entretien 3% du capital initialement investi

Malgré l'existence de cette méthode l'estimation du prix de revient de l'eau dessalée demeure complexe et parsemée de controverses .

I.2 - CALCUL DE L'INVESTISSEMENT INITIAL

Cet investissement sera calculé pour 10 unités installées compte tenu du fait que le bois de coffrage sera utilisé dix fois avant d'être mis en rebut .

ACIER

$$\# 10 : 8 \times 3,2 + 8 \times 2 = 41,6 \text{ m}$$

$$\# 6 : 4 \times 3,2 = 12,8 \text{ m}$$

$$\text{Etrier de 6 mm } L = (3200/500 + 2000/500) \times (0,250 + 0,150) \times 2$$

$$L = 8,32 \text{ m}$$

$$\# 6 \quad L_T = 12,8 + 8,32 = 21,12 \text{ m}$$

COUT

Barres de 10 mm 2200 F pour 12 m

Barres de 6 mm 1000 F pour 12 m

Pour un distillateur on a : $41,6 \times 2200 / 12 + 21,12 \times 1000 / 12$
Soit $9387 \text{ F} \times 1,1 = 10330 \text{ FCFA}$ (L'augmentation de 10% tient
compte des pertes éventuelles) .

Pour 10 distillateurs installés on a 103300 FCFA .

BETON

Le prix du béton prêt à l'emploi est : 25000 F CFA / m³

$V = (0,3 \times 0,2) \times (3,2 + 1,6) \times 2 = 0,576 \text{ m}^3$

COUT

$25000 \times 10 \times 0,576 = 144000 \text{ FCFA}$

MORTIER

8000 F / UNITE soit 80000 F pour les dix unités .

FIBRO - CIMENT

9000 F / UNITE SOIT 90000 F pour les dix unités .

BRIQUES

NOMBRE : 48 à 150 FCFA l'unité soit 72000 F pour l'ensemble .

CANAL EN PVC

1000 F / m ; 6000 F / DISTILLATEUR soit 60000 F

pour les dix unités .

VERRE (épaisseur : 3 mm)

3000 f / m²

COÛT = 3000 x 10 x 3,2 x 1,9 = 182400 F

($l_p = 0,9 (\cos 15^\circ)^{-1} = 1,9 \text{ m}$)

A ce coût , il faut ajouter 10% pour les raidisseurs et 10% pour tenir compte des casses éventuelles .

Dans ce cas on a : 182400 x 1,2 = 218900 FCFA .

COÛT DE LA MAIN-D'OEUVRE

	1 unité	10 unités
Préparation site et terrassement	5000 F	50000 F
Travaux de coffrage	5000 F	50000 F
Pose des blocs	3000 F	30000 F
Pose Fibro - ciment	2500 F	25000 F
Pose du verre et fermeture	3000 F	30000 F
	<hr/>	<hr/>
	18500 F	185000 F

TABLEAU RECAPITULATIF

ELEMENTS	COÛT D'UNE UNITE	COÛT DE DIX UNITES
Bois de coffrage	15500 F	15500 F
Acier	10330 F	103300 F
Béton	14400 F	144000 F
Mortier	8000 F	80000 F
Ferro - ciment	9000 F	90000 F
Canal PVC	6000 F	60000 F
Verre	21890 F	218900 F
Main d'oeuvre	18500 F	185000 F
	<hr/>	<hr/>
	103620 F	896700 F

L'investissement initial est : $I = 896700 \text{ F}$.

1) - AMORTISSEMENT SUR 15 ANS

a) Amortissement annuel (AM) = $896700 / 15 = 59780 \text{ F}$

b) Intérêt annuel (taux 10%) $896700 \times 10 / 100 = 89670 \text{ F}$

Le remboursement du capital investi dans ce cas est :

$R = 59780 + 89670 = 149450 \text{ F / an}$

Cependant , l'OSW nous conseille d'utiliser la formule suivante :

AP : Paiement annuel .

$AP = I \times r \times [1 + 1 / ((1 + r/100)^n - 1)]$

$r = 10\%$; $n = 15$ soit :

$AP = 896700 \times 10/100 \times [1 + 1/((1 + 10/100)^{15} - 1)] = 117900$

AP = 117900 FCFA

c) Maintenance et réparations (MR)

Peuvent être assurées par les villageois sans rémunération .

Cependant , à titre illustratif nous prendrons 1% de I . Soit :

$MR = 896700 / 100 = 8970 \text{ F}$

d) Charges d'assurance et taxes (TA)

L'OSW préconise 1% DE I . Soit :

$TA = 8970 \text{ F}$

TOTAL DES DEPENSES ANNUELLES

Remboursement du capital	117900
Maintenance	8970
Assurance	8970

135840 F

VOLUME D'EAU DESSALEE PAR AN

La production de notre distillateur est estimée à 5 l/m²/j

Surface totale de verre = 3,2 x 2 x 10 = 64 m²

Production totale = 5 x 64 x 365 = 116800 l # 116,80 m³

Coût d'amortissement du m³ d' eau dessalée :

135840 / 116,80 = 1163 FCFA ; soit 1,2 FCFA le litre .

2 - AMORTISSEMENT SUR 20 ANS

Remboursement du capital investi

n = 20 ; r = 10%

AP = 769300 x 10 x [1 + 1 / ((1 + 10/100)²⁰ - 1)] = 105330 F

DEPENSE TOTALE

Remboursement	105330
Maintenance	8970
Assurance	8970
	<hr/>
	123270 F

Coût d'amortissement du m³ d'eau dessalée :

123270 / 116,80 = 1055 F ; soit 1,06 FCFA le litre .

II) - CONCLUSION SUR L'ASPECT ECONOMIQUE DU PROJET

Si l'on s'en tient uniquement aux chiffres découlant de cette analyse économique, on serait tenté de conclure que le projet est loin d'être rentable voire non concurrentiel par rapport aux projets où l'alimentation en eau potable est assurée par pompage.

Cependant, il serait judicieux de se demander si ces chiffres représentent réellement la situation qui prévaudrait sur le terrain.

Il ressort de notre analyse que le coût de revient du mètre cube d'eau dessalée dépend essentiellement de la taille de l'installation qui en retour est tributaire de l'investissement initial. En général, lorsque la taille de l'installation est grande, le prix de revient du mètre cube d'eau dessalée est

bas. Dans cette analyse, nous avons considéré 10 unités. Ce qui est loin d'être optimal. Dans le domaine des capteurs solaires en général, compte tenu du caractère diffus des rayons, le nombre de modules à installer (pour avoir une rentabilité acceptable) se compte par centaine.

Au niveau de la présente étude, on a pas tenu compte des modalités du site d'implantation. En effet, le projet devant être implanté sur la côte ou au bord d'un fleuve, on pourrait négliger le coût de certains matériaux tels que le sable et les granulats qu'on pourrait trouver sur place à un coût de revient très bas. De même certains travaux peuvent être faits par la population à laquelle le projet est destiné. Ainsi à partir de ces considérations, on réduirait énormément le coût de la main-d'oeuvre et du projet en général.

Et si le capital est négocié au niveau des pouvoirs publics , le remboursement annuel serait réduit d'une manière très significative (le taux d'intérêt pouvant être moindre) .

Enfin , l'on ne saurait nullement ignorer la raison d'être du projet . Il s'agit d'aider une population qui souffre dans la gestion de sa vie quotidienne . Lorsque le villageois doit faire 10 à 20 Kilomètres pour chercher 30 à 50 litres d'eau potable , on pourrait deviner aisément les conséquences économiques d'une telle situation . Il faut reconnaître que le coût de l'eau potable dans les régions côtières isolées est deux voire trois fois supérieur aux valeurs obtenues . Du moins des installations comme la notre ont le privilège d'être durable comparativement aux sources d'eau potable (puits) incertaines pendant la saison sèche dans le sahel .

En intégrant toutes ces remarques et en ajoutant d'autres frais qui n'ont pas été considérés dans notre étude , tels que le coût de remplissage et de vidange qui pourraient être effectués par les villageois , le coût de la tuyauterie , le coût d'un château d'eau pour l'entreposage de l'eau etc... , nous avons estimé le coût de l'eau distillée à moins de 1,5 FCFA le litre . Ce qui serait très compétitif .

* SEPTIEME PARTIE *

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Tel que cité précédemment , les études concernant le dessalement de l'eau de mer ou la distillation des eaux saumâtres sont à la fois complexes et controverses . Dans tous les cas , de tels projets ne pourraient concurrencer dans un avenir proche l'utilisation d'une source d'eau potable située à un endroit très proche du lieu d'emploi . Mais ils resteront les seuls secours dans les zones côtières soumises à la dure réalité de la pénurie d'eau potable .

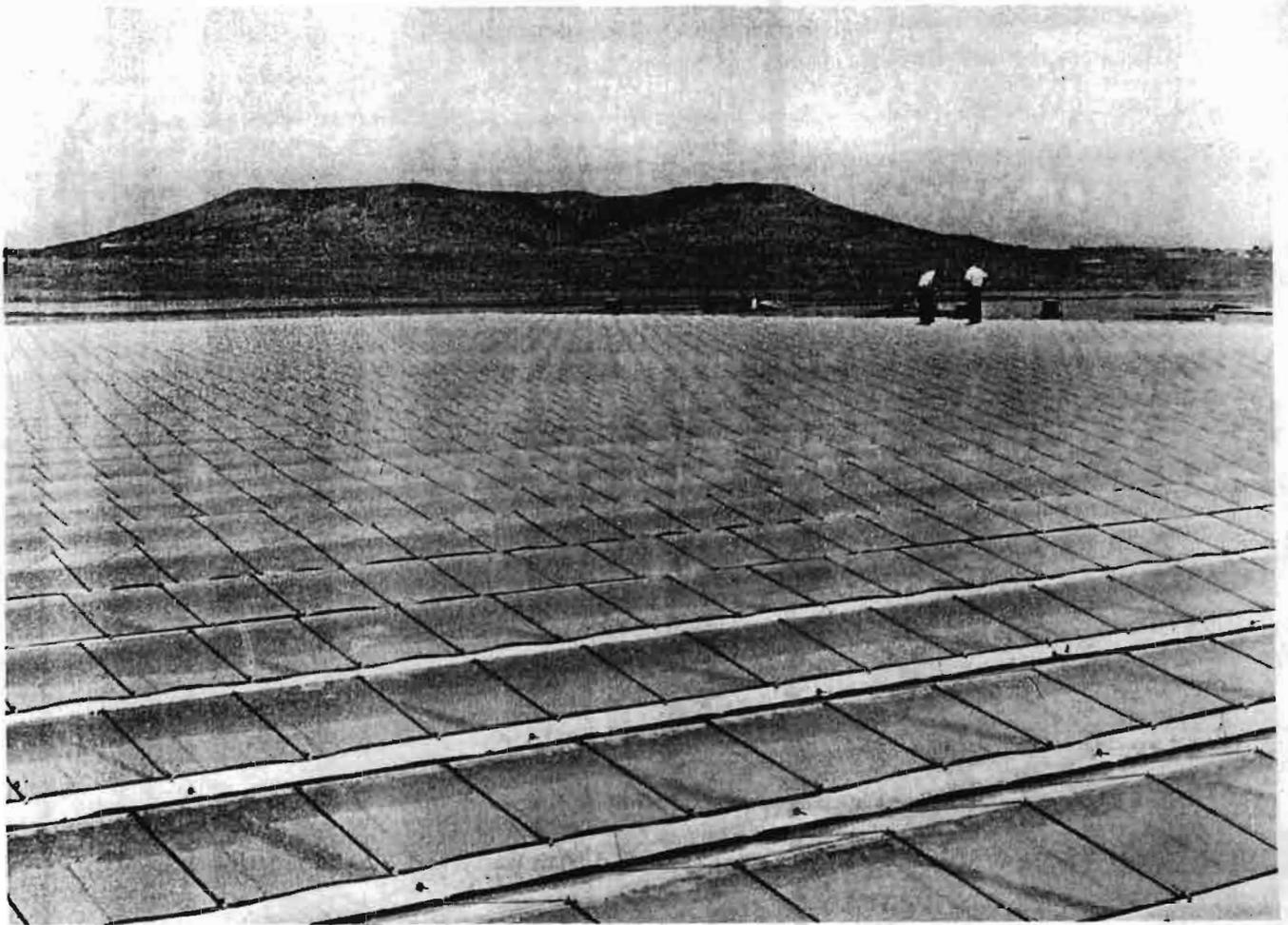
Les mers et les océans couvrent les 70 % de la surface de la terre et constituent actuellement une source d'eau inépuisable . Tôt ou tard , lorsque l'humanité épuisera les sources d'eau potable actuellement disponibles , elle sera obligée de se tourner vers l'utilisation de l'eau de mer pour sa survie . Nombreux sont les pays tel que l'ARABIE SAOUDITE qui ont saisi les enjeux d'une telle catastrophe qui pèse actuellement sur notre futur . De gigantesques projets ont déjà été construits ou le seront prochainement dans ces pays .

L'actuel projet , loin de se valoir exhaustif , n'est qu'une ébauche des recherches dans cet immense domaine constitué par l'exploitation des ressources renouvelables pour pallier à la crise découlant de l'insuffisance et de l'inadéquation des sources d'énergies conventionnelles .

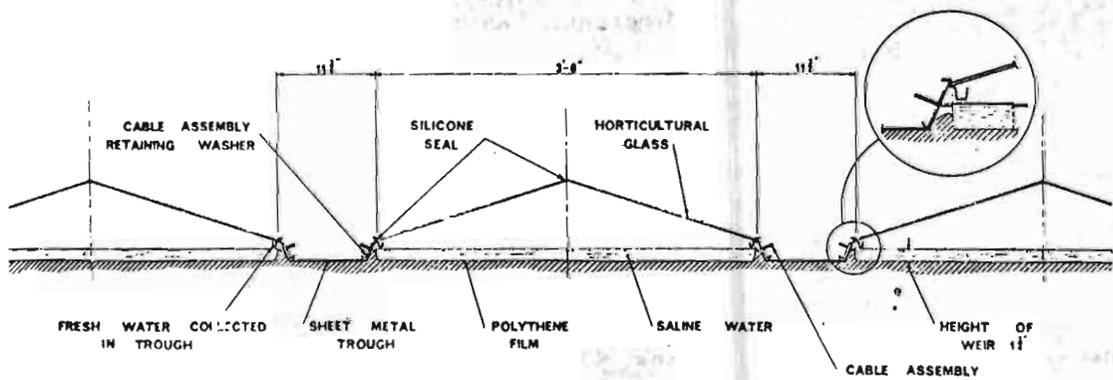
Pour la suite de ce projet , il s'agirait de se pencher sur la rentabilité des distillateurs à un versant . Pour assurer la rigidité de la couverture (verre) on pourrait armer le raidisseur des plaques . Une telle idée est présentement à l'étude au niveau du comité de recherche . La suite de ce projet permettra également de tirer des conclusions sur la durabilité de la résine de polyester vis à vis de l'effet des rayons ultra -violets . Les résultats de l'étude du fluage actuellement en cours sur les plaques de verre pourraient également être exploités dans une troisième phase de ce projet .

Le volet transfert d'énergie de l'actuel projet sera réalisé conjointement par l'ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES (SENEGAL) et l'UNIVERSITE DE NICE (FRANCE) dans les mois à venir .

* HUITIEME PARTIE *

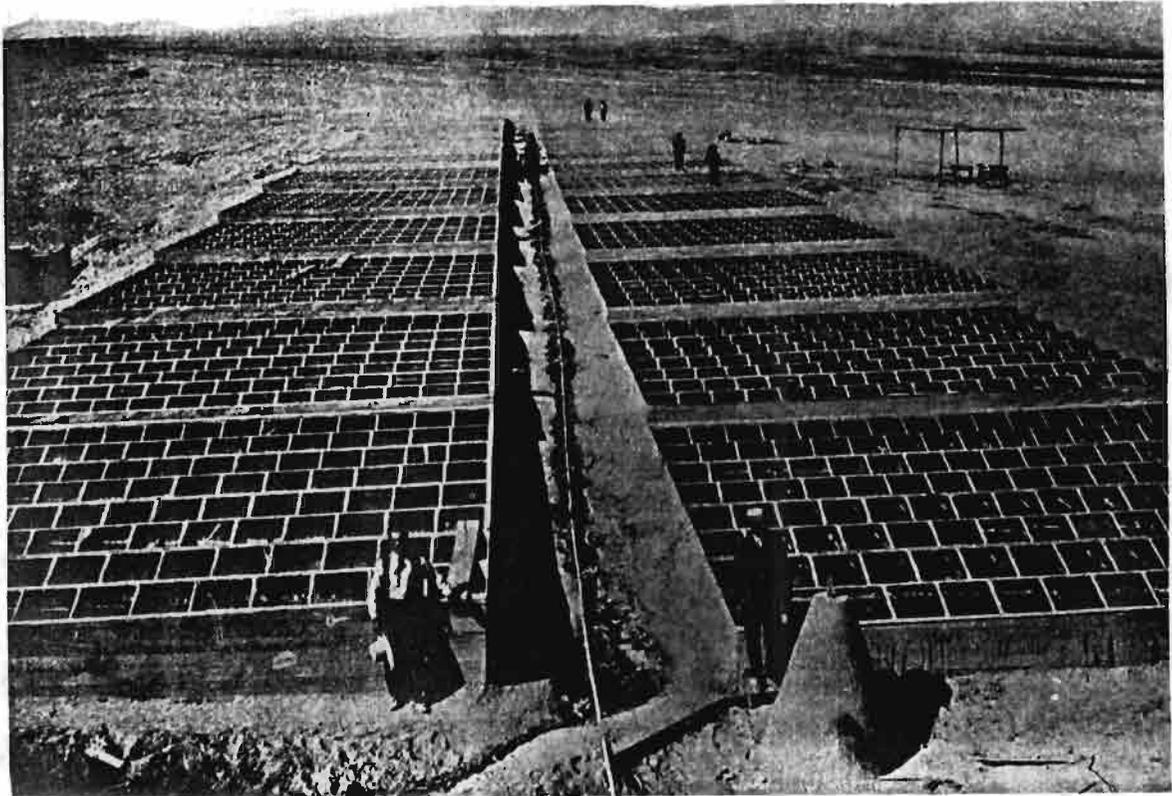


a. Coober Pedy Solar Still, Australia

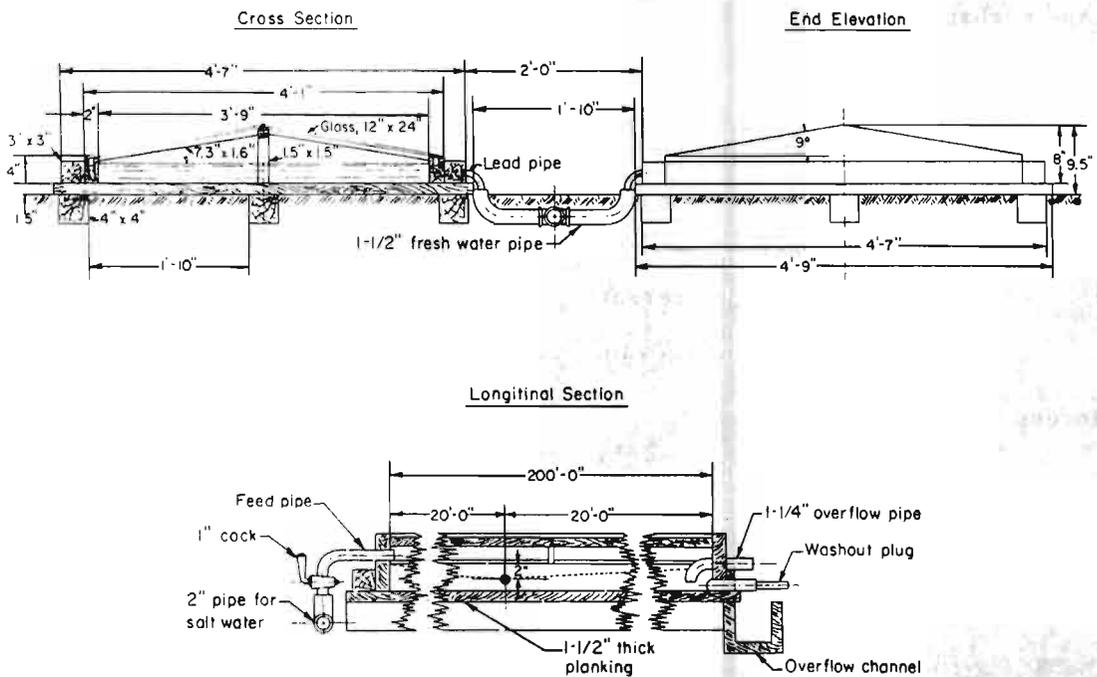


b. Mark III Design (Griffith, N.S.W., Australia, Ref. 350)

FIGURE 2. STILL AT COOBER PEDY, SOUTH AUSTRALIA

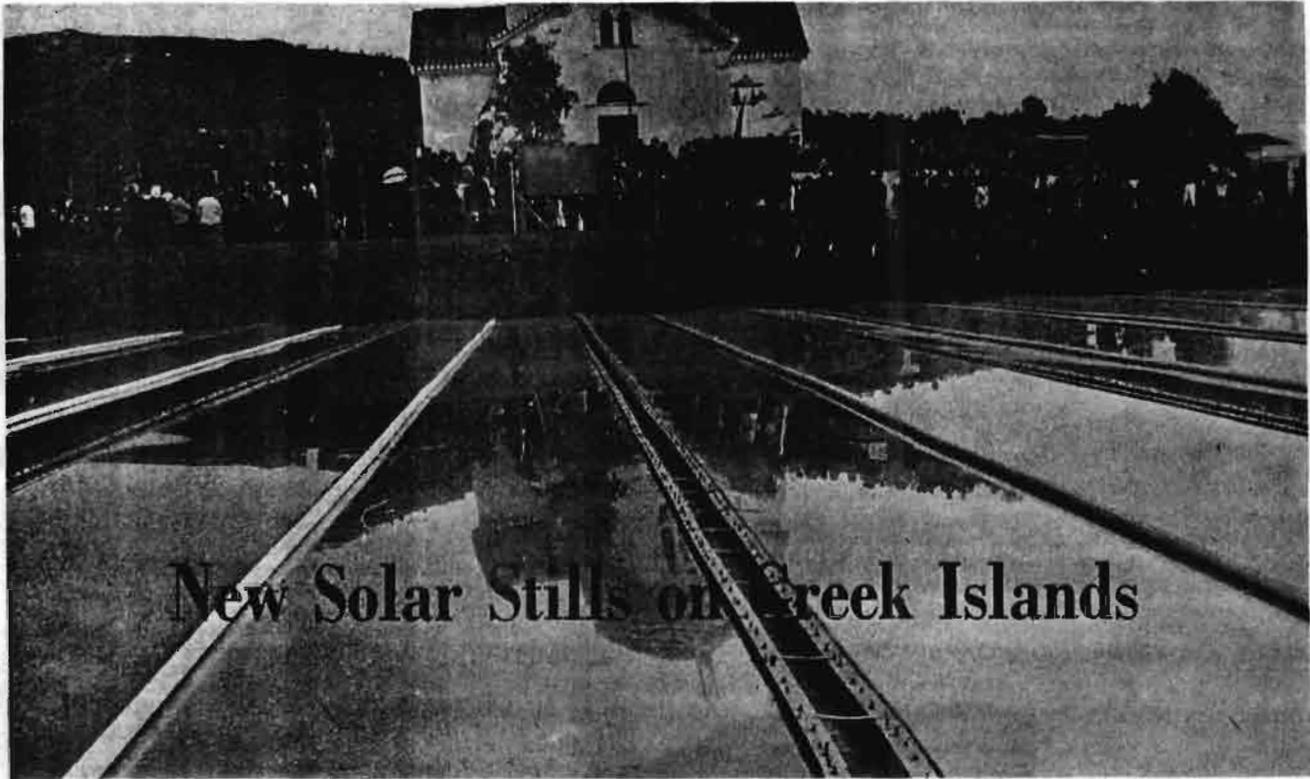


a. 1908 Photograph (Ref. 434)



b. 1872 Design of Carlos Wilson (Ref. 202)

FIGURE 3. STILL AT LAS SALINAS, CHILE

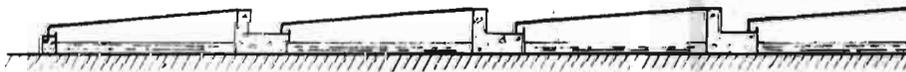


New Solar Stills on Greek Islands

a. Aegina I Still (Photo From Ref. 151)



b. Aegina I and Salamis



c. Aegina II

FIGURE 6. STILL ON THE ISLAND OF AEGINA, GREECE

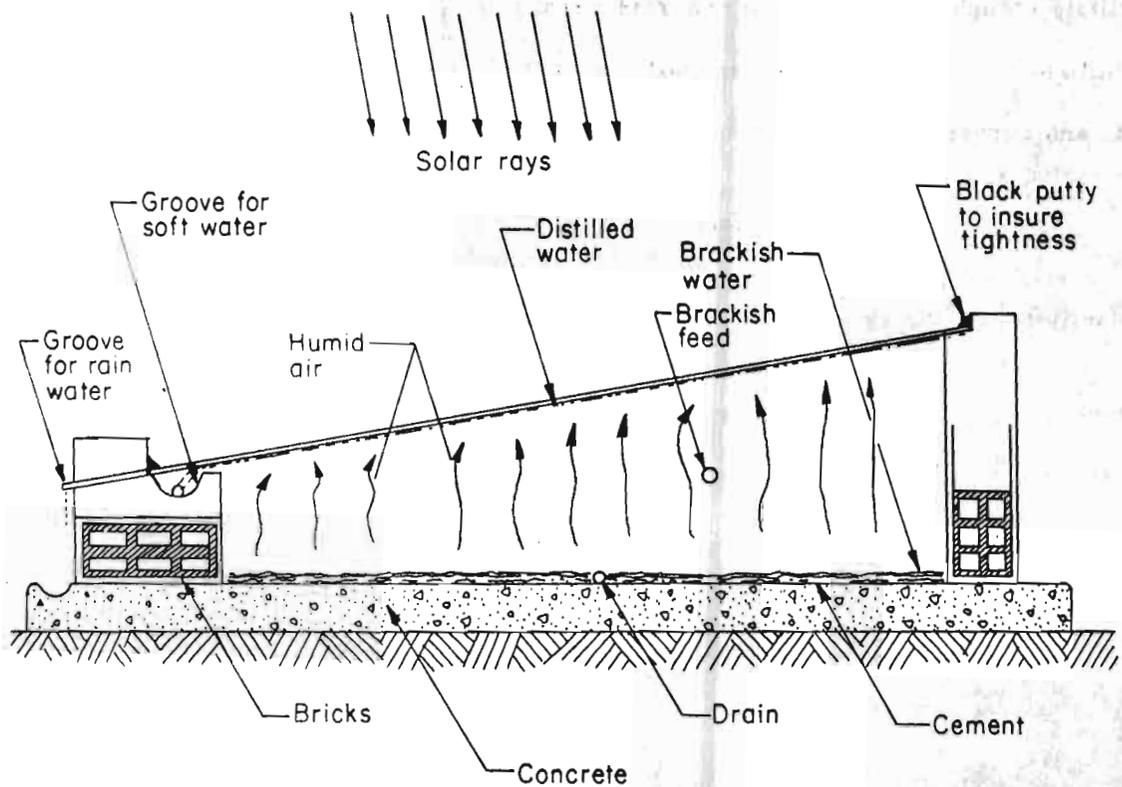


FIGURE 11. STILL AT CHAKMOU, TUNISIA

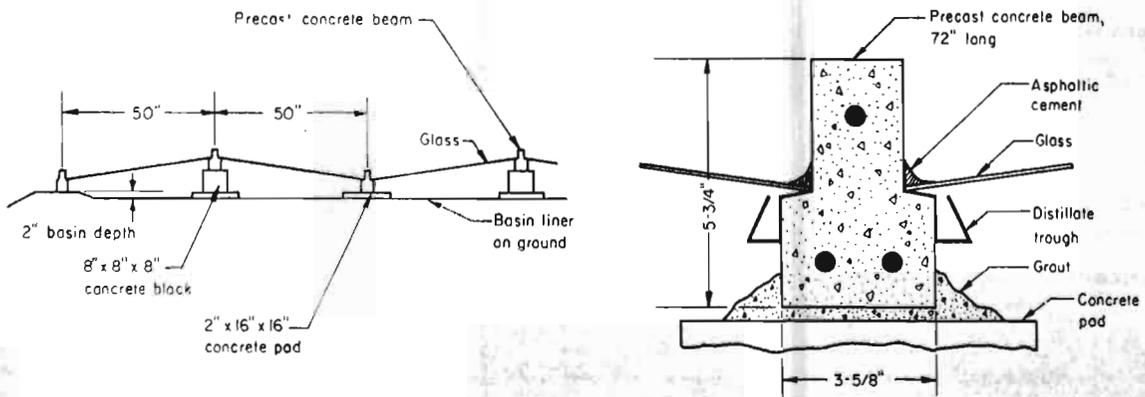


FIGURE 14. SECOND DEEP-BASIN STILL AT DAYTONA BEACH, FLORIDA

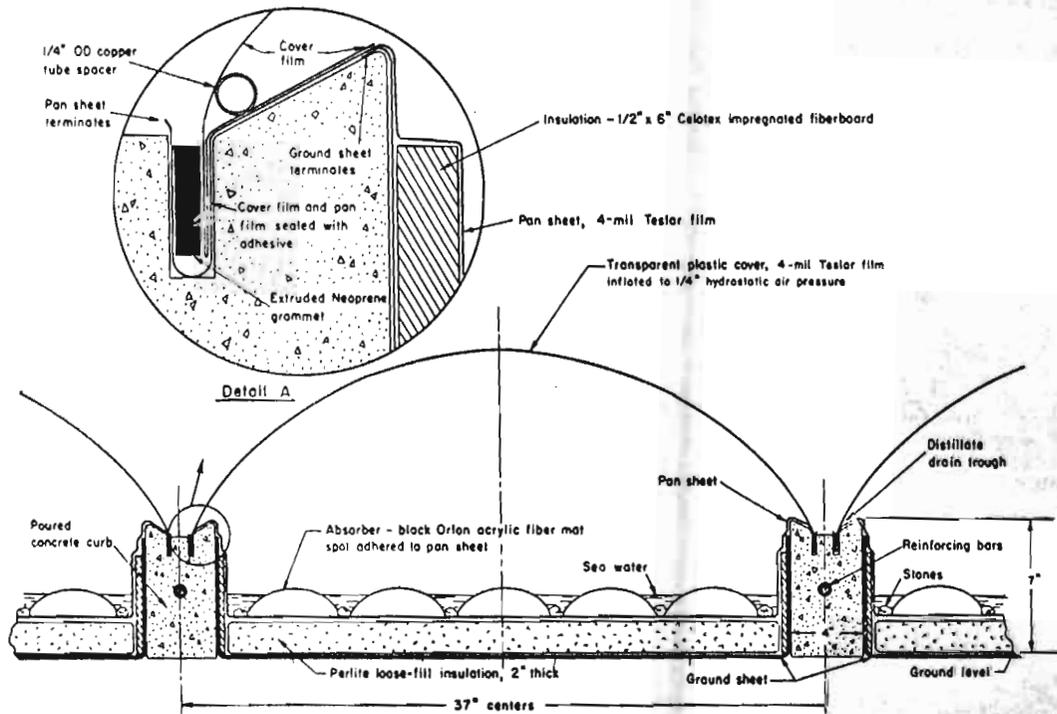
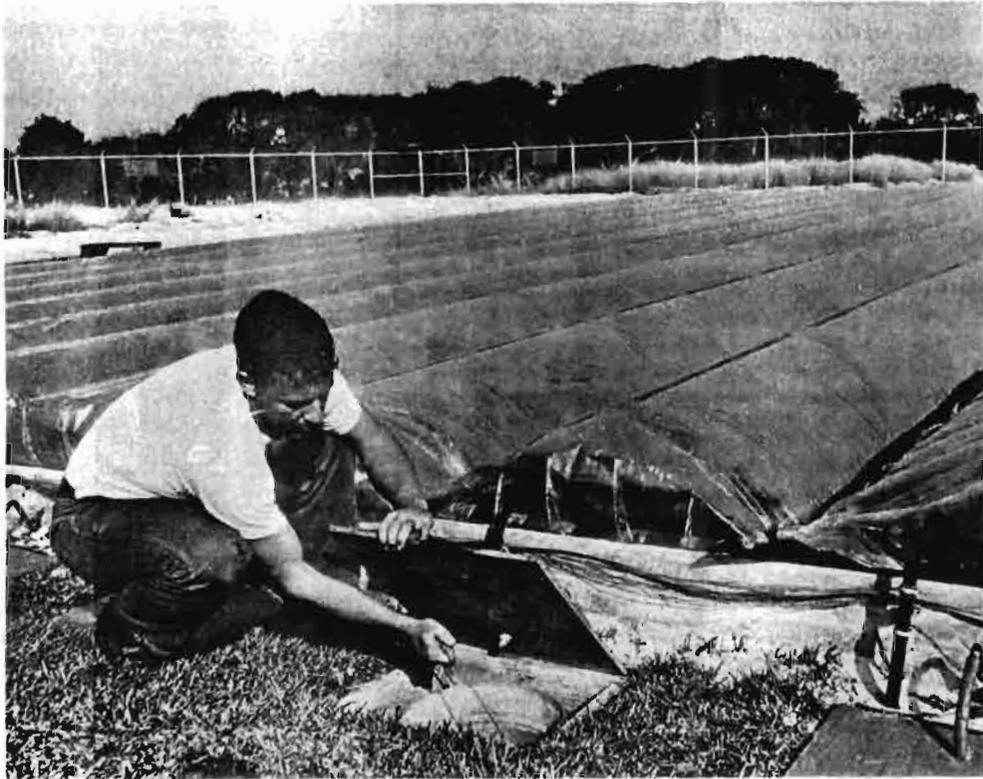
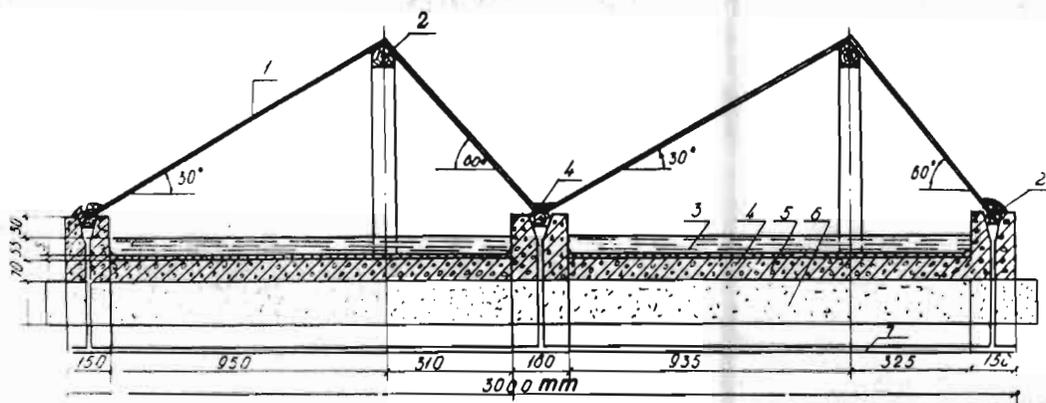
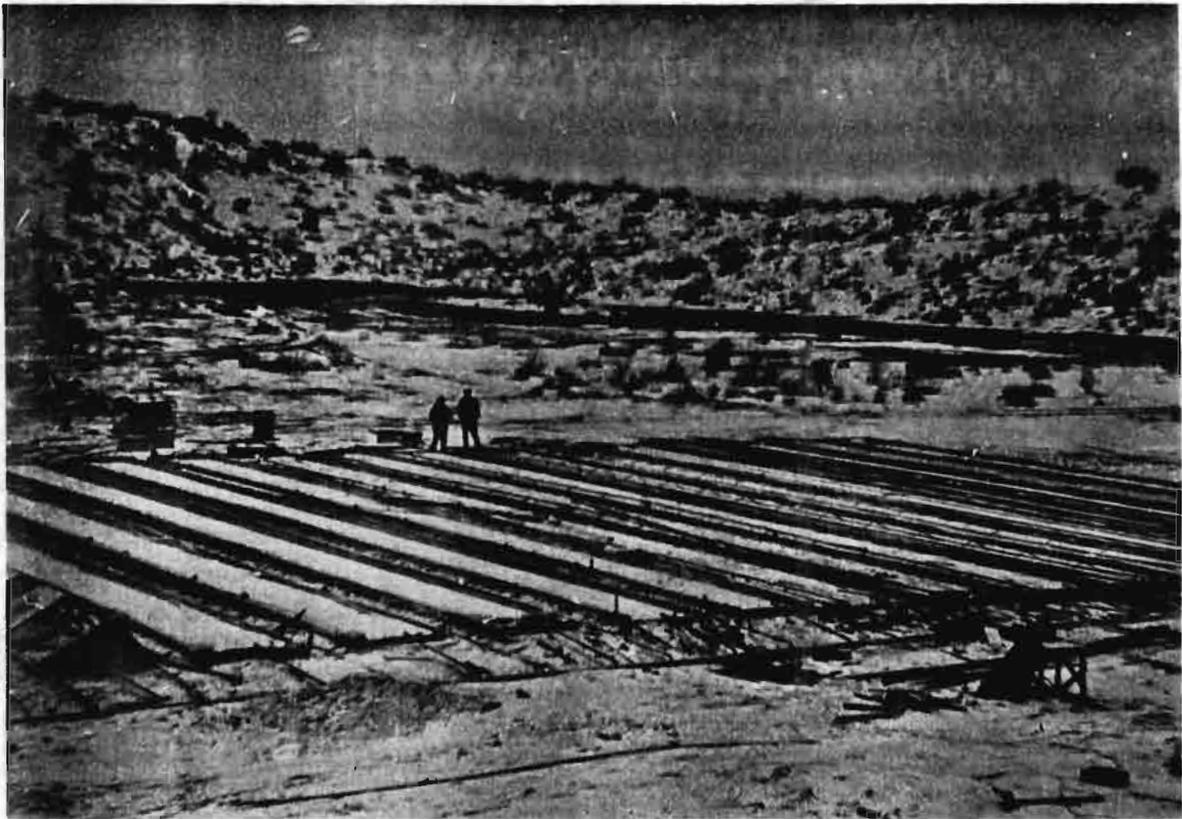


FIGURE 15. LARGE INFLATED, PLASTIC STILL AT DAYTONA BEACH, FLORIDA



- | | |
|------------------------------|--|
| 1. Glass, 3 mm | 6. Sand layer |
| 2. Light wooden beam | 7. Piped for condensate collection |
| 3. Salt water | 8. Water supply |
| 4. Waterproof mastic "TSZOL" | 9. Discharge of brine |
| 5. Reinforced concrete | 10. Reinforced concrete pillars (posts). |

FIGURE 17. STILL AT BAKHARDEN, TURKMENIA

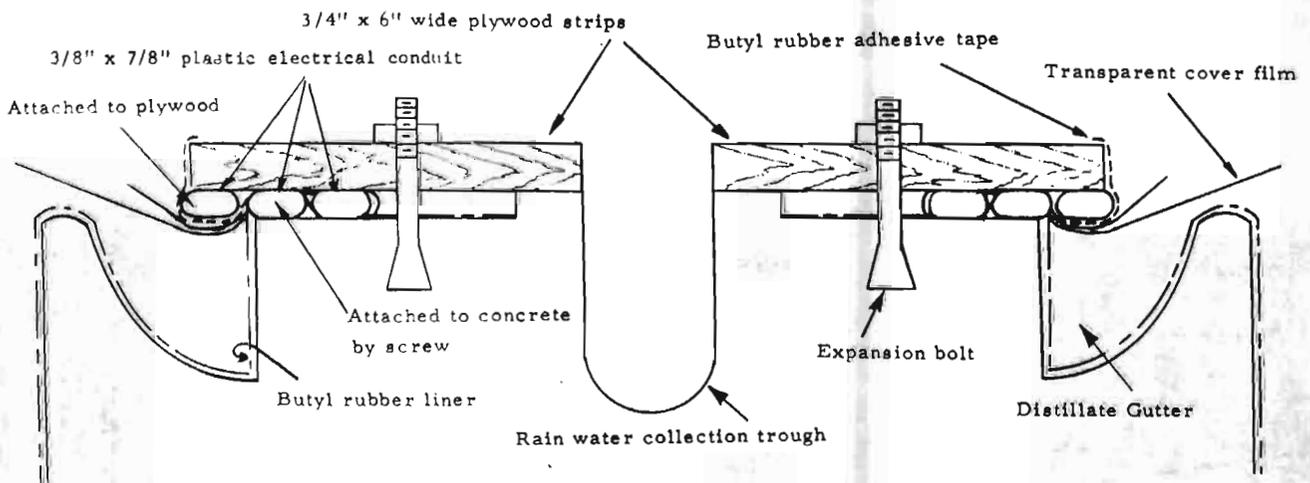
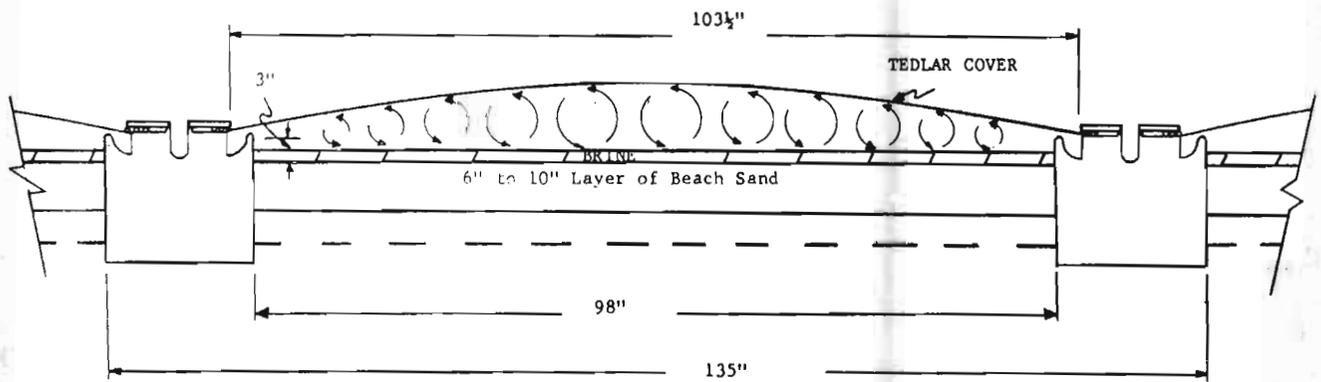
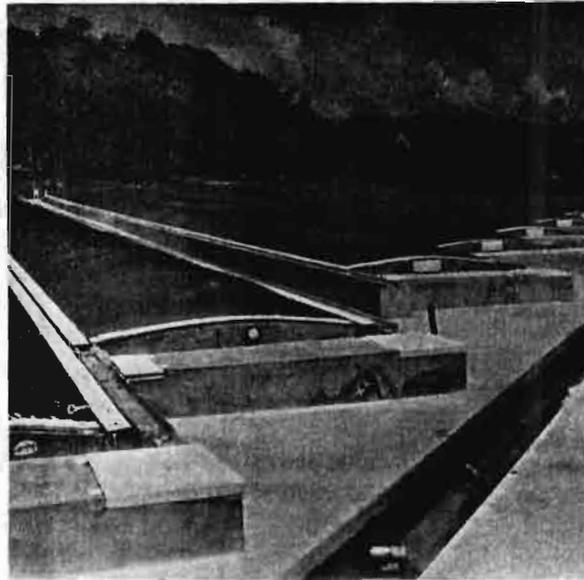


FIGURE 18. STILL ON PETIT ST. VINCENT ISLAND

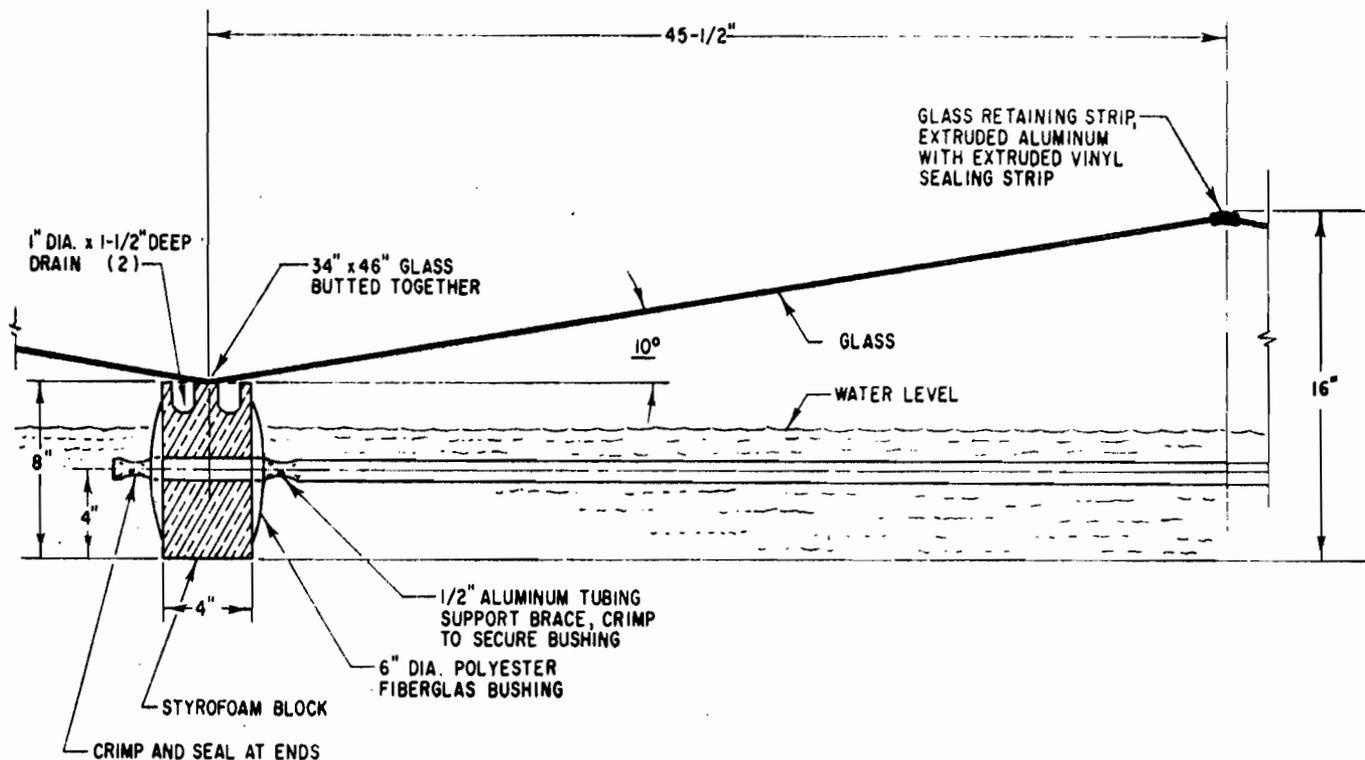
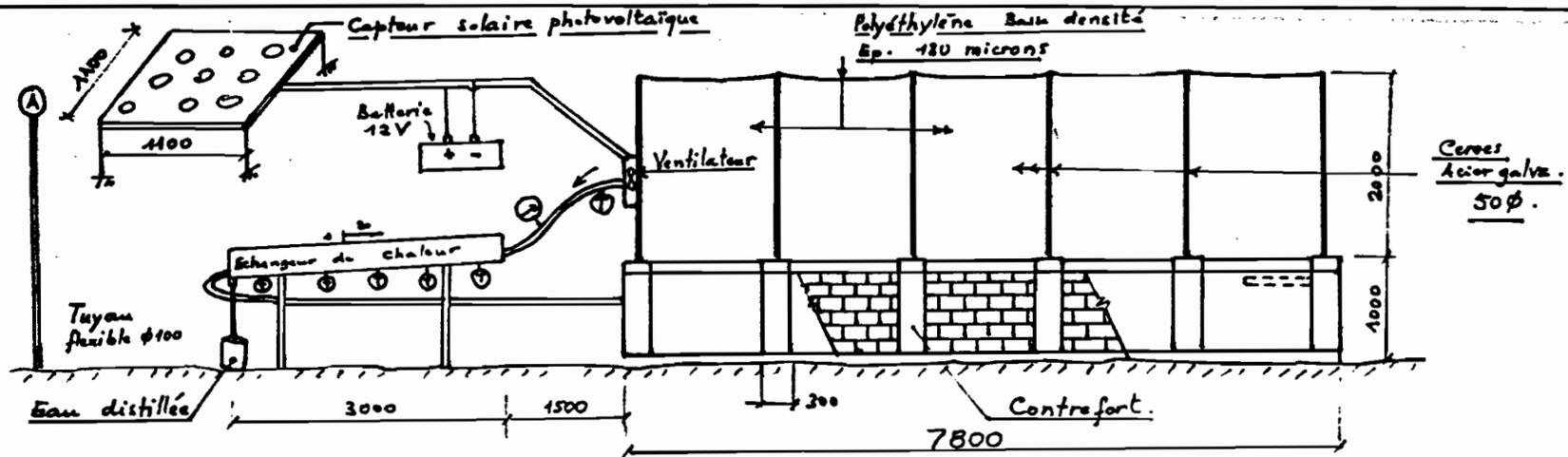


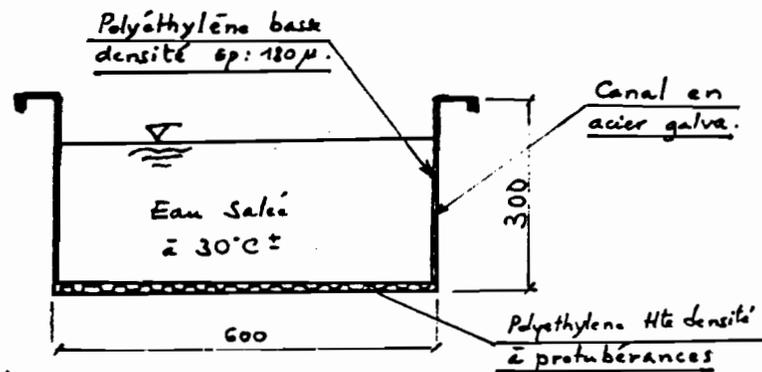
FIGURE 145. FLOATING-STILL DESIGN (LESLIE SALT CO., SAN FRANCISCO, CALIFORNIA)

Internal size:	(Each bay) 7.25 ft wide x 42.5 ft long; 308-ft ² evaporating area per bay.
Brine depth:	Depth of pond.
Cover:	Glass panes, 0.10 in. thick x 34 in. x 46 in., 10-degree slope.
Vapor seals:	Extruded-vinyl sealing strips.
Distillate troughs:	Grooves in styrofoam curbs.
Basin liner:	Bottom of pond.
Walls and curbs:	Floating styrofoam blocks with tubular aluminum tie rods.
Other features:	ABS plastic pipe for distillate, rainfall collection, designed to be built over existing salt-concentrating ponds, floating still design cheapest of several evaluated.
Productivity:	(Estimate only.) 0.07 gal/ft ² -day plus 17 in./yr rainfall collection.
Problems:	Still not actually built.
Dates:	Late 1962.
Reference:	Leslie Salt Co., 298.

I . b - SCHEMAS DES PROTOTYPES
DE LA PHASE I ET II



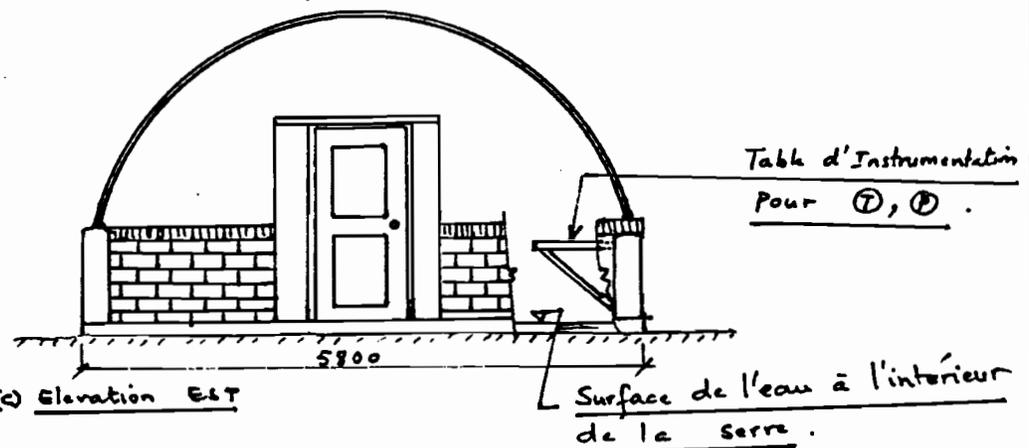
(a) Elevation SUD : Serre, génération de vapeur à 70°C



Lesure

- ① Débitmètre
- ② Thermomètre
- ③ Anémomètre
- ④ Psychromètre

(b) Coupe type Echangeur



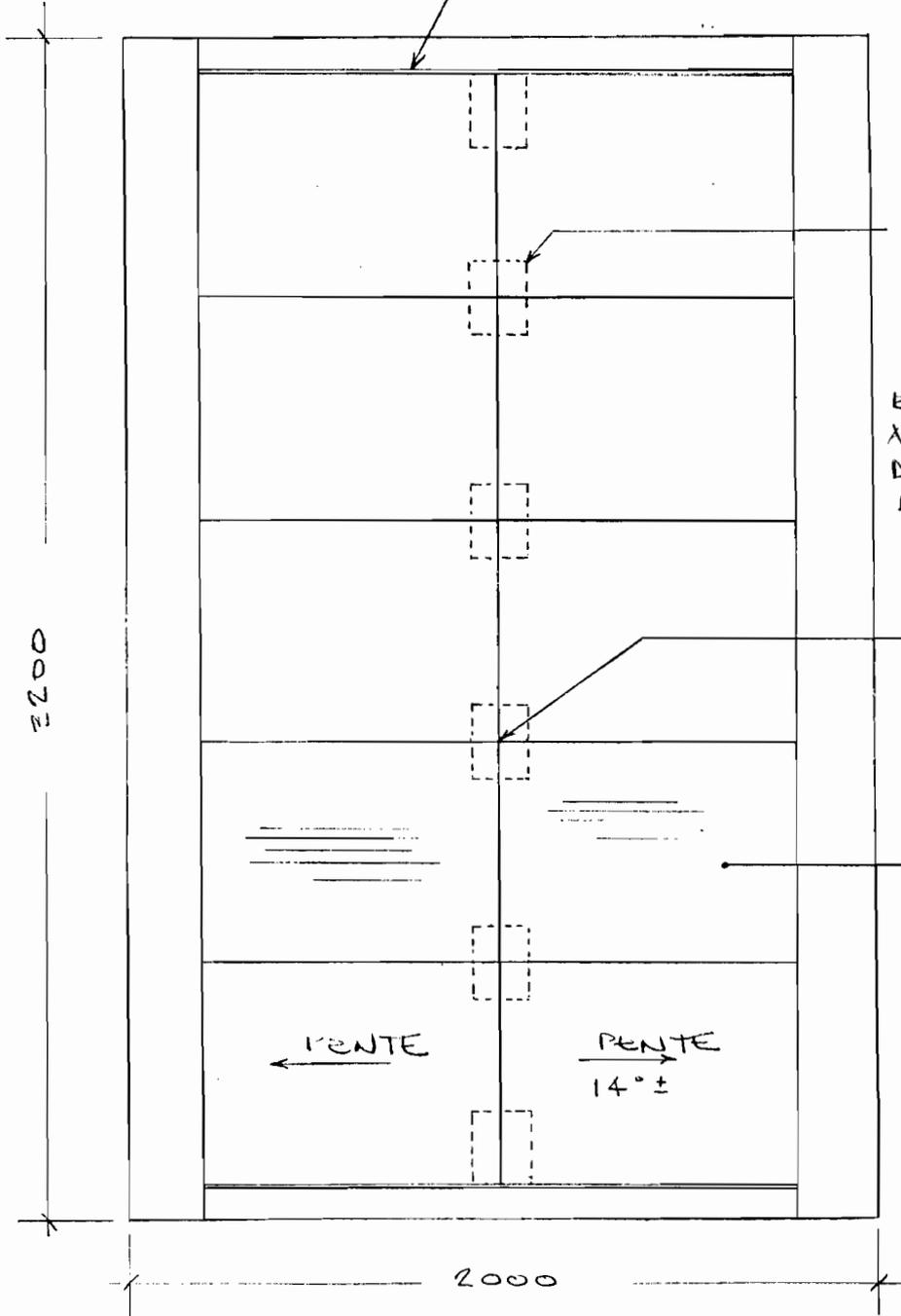
(c) Elevation Est

Fig 16 Présentation du prototype

66

CHAINAGE EN
BÉTON ARMÉ

FERMETURE DES EXTRÉMITÉS
EN FERRAILLAGE



BLOCS DE
LESTAGE
150x200x220±

ÉTANCHÉITÉ
ASSURÉE AU MOYEN
DE MASTIC À BASE
DE SILICONE.

FIXATIONS
DU VERRE

VERRE RENFORCÉ
800x600
EP. 3mm
SURFACE TOTALE
4,8 m²

← PENTE

PENTE
14°±

2000

2200

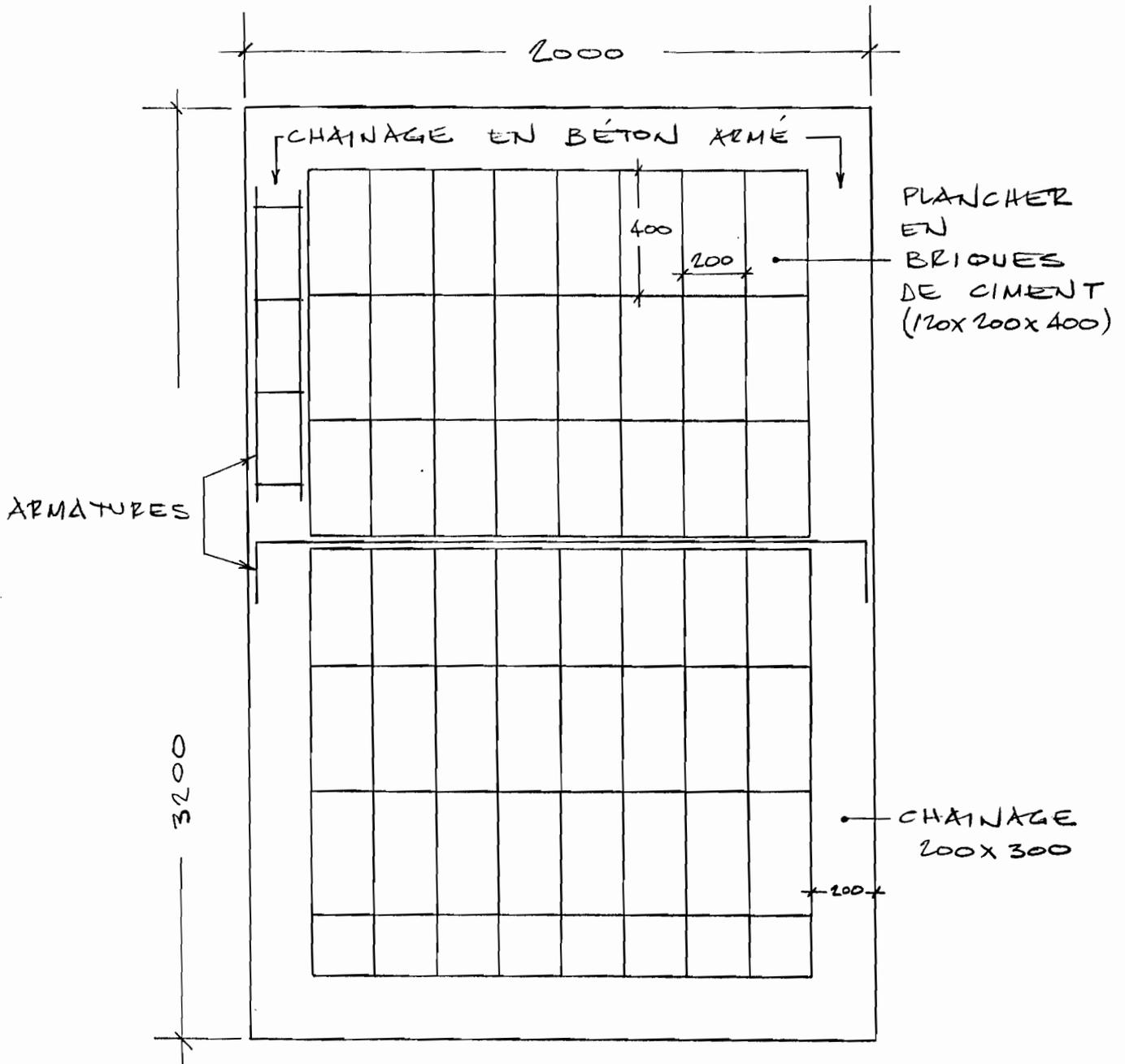
VUE EN PLAN - DISTILLATEUR

NOTE: PRODUCTION ANTICIPÉE = 20 LITRES/JOUR

DISTILLATION D'EAU DE MER
AU MOYEN D'ÉNERGIE SOLAIRE

PHASE II

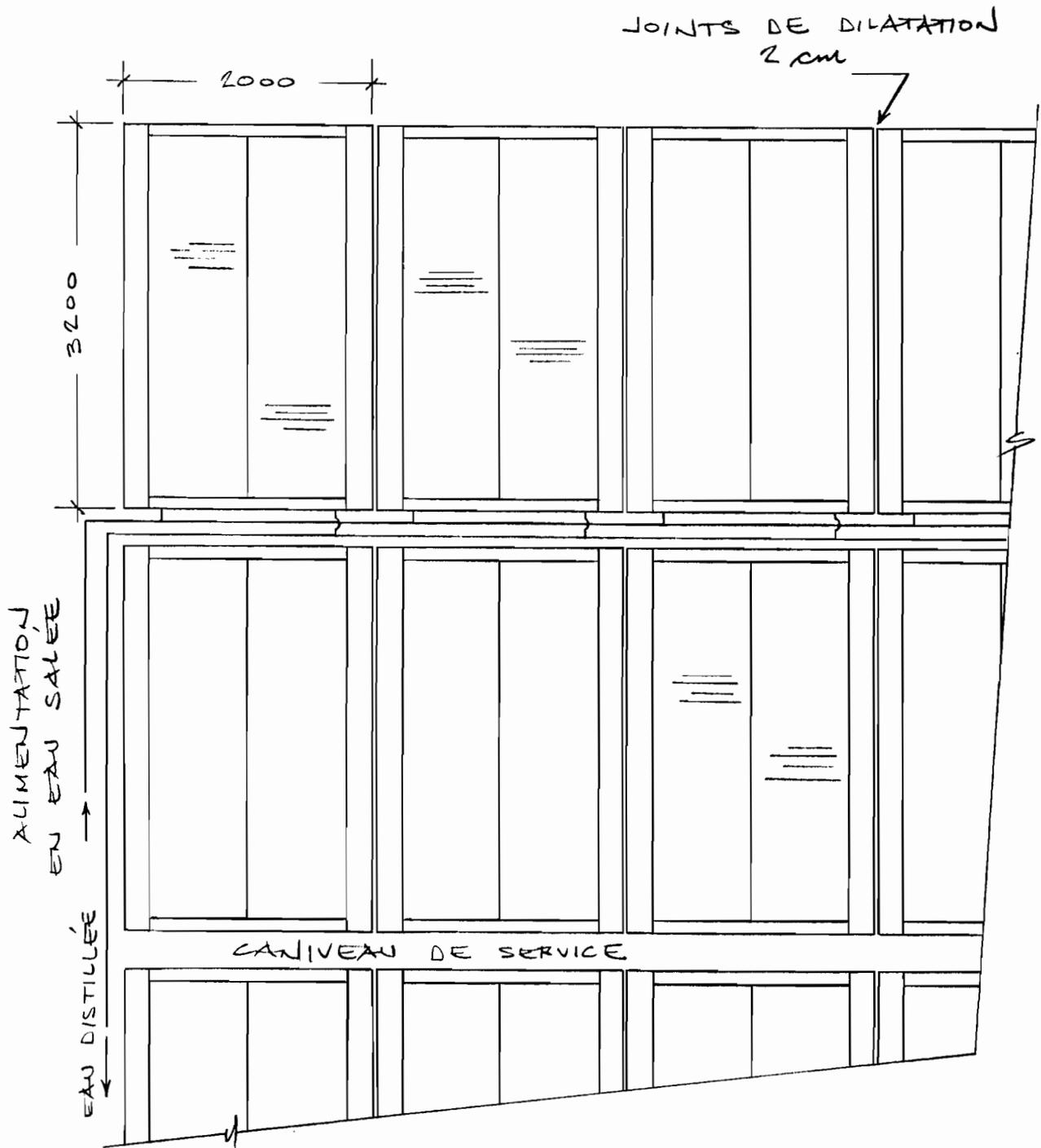
67



VUE EN PLAN DES FONDATIONS

PROTOTYPE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
DE THIÈS

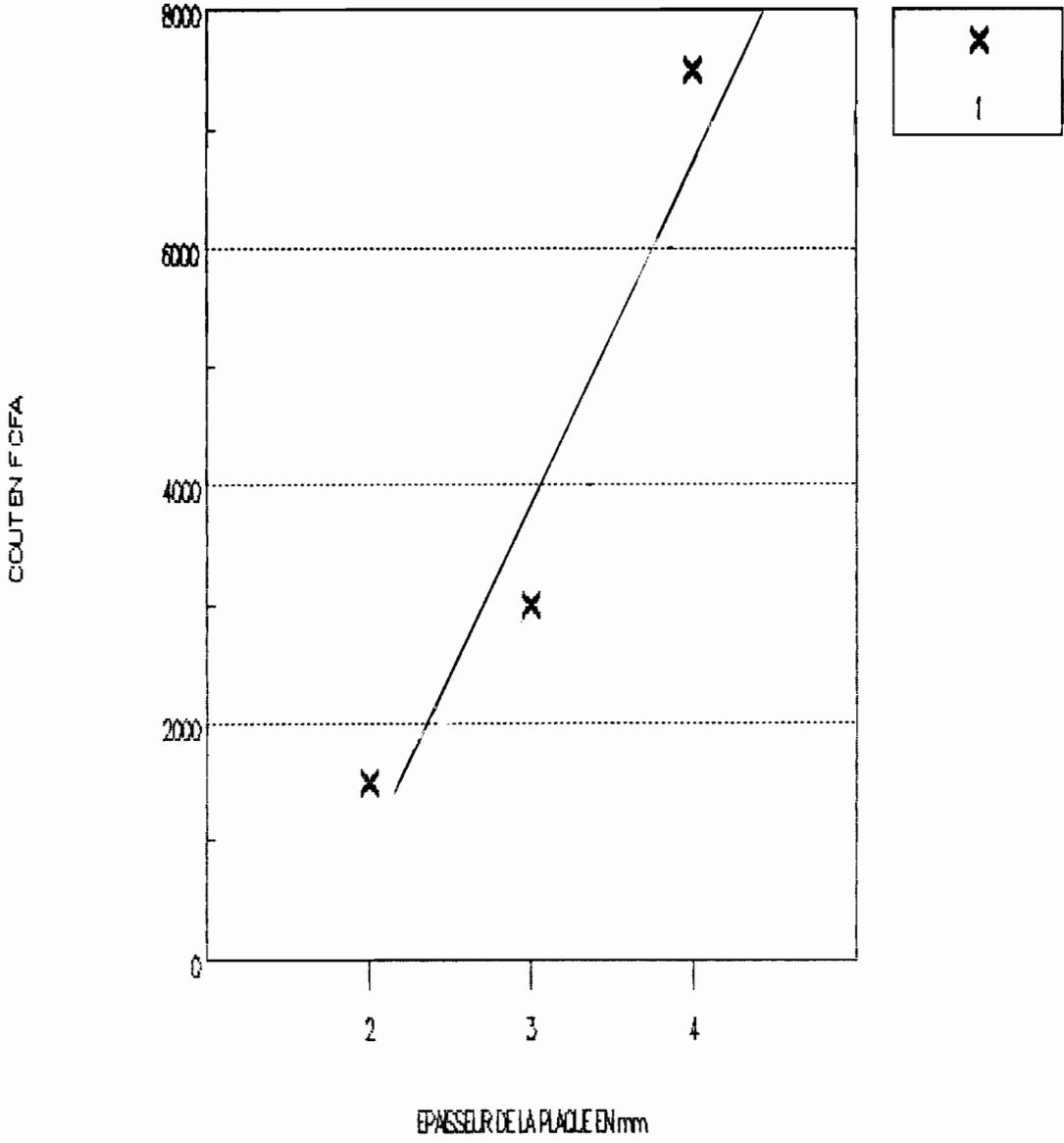
DISTILLATION D'EAU DE MER
AU MOYEN D'ÉNERGIE SOLAIRE PHASE II



PLAN. D'AMÉNAGEMENT DE DISTILLATEURS
MONTÉS EN SÉRIE

II - COURBE DU COUT EN
FONCTION DE L'EPAIS -
SEUR DE LA PLAQUE
DE VERRE

COURBE DU COUT VS EPAISSEUR



**I I I - TABLEAUX DES DONNEES
SUR LE VENT AU
SENEGAL DE 1951 A 1982**

Annexe III

Vitesse maximale instantanée du vent en m/s - exploitation météorologique												
année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1951	15	18	16	15	16	17	21	18	18	14	12	12
1952	16	12	14	14	14	24	20	18	21	23	16	16
1953	14	14	15	12	14	13	20	16	19	12	-	11
1954	15	13	16	13	12	16	14	20	17	16	13	16
1955	14	14	15	13	13	14	18	20	31	16	15	18
1956	20	19	21	20	16	17	26	23	23	15	18	22
1957	21	16	22	21	19	19	34	26	29	27	16	16
1958	13	12	14	14	13	15	20	25	23	25	16	13
1959	20	13	16	16	14	12	23	14	26	15	14	13
1960	16	16	15	20	13	12	21	23	23	24	12	15
1961	15	14	12	12	13	25	25	21	16	13	11	13
1962	11	12	14	14	12	20	31	40	30	29	18	24
1963	25	24	17	16	14	15	30	23	24	14	9	12
1964	9	11	10	10	8	11	19	13	16	13	9	13
1965	13	10	9	11	9	10	15	19	16	20	9	11
1966	10	10	10	9	10	16	9	29	17	12	11	12
1967	12	14	12	12	11	16	26	22	12	18	9	11
1968	11	9	9	10	11	12	18	13	21	19	11	9
1969	10	9	11	13	11	9	20	31	12	9	12	13
1970	14	10	12	11	11	15	12	26	20	12	11	13
1971	11	13	12	14	12	13	22	18	18	18	11	13
1972	12	12	12	11	12	21	8	19	16	14	9	10
1973	9	11	11	13	10	11	16	14	17	10	10	11
1974	12	13	13	13	11	10	13	17	18	21	12	15
1975	12	10	13	15	11	11	13	12	19	14	12	11
1976	13	12	13	12	14	13	16	17	17	16	10	12
1977	11	13	11	11	12	14	14	15	18	10	9	10
1978	11	11	10	10	10	12	14	15	14	15	11	13
1979	12	10	11	25	23	19	18	10	11	12	10	11
1980	11	13	14	12	12	10	10	19	21	12	11	13
1981	13	11	11	10	10	15	25	17	24	14	10	11
1982	12	10	13	12	11	9	17	15	18	13	12	14

(suite)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes mensuelles	6.3	6.3	6.8	6.5	5.9	5.1	4.7	4.4	4.1	4.4	5.1	6.0

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
Moyennes annuelles	5.7	5.8	6.5	5.5	5.3	5.8	6.8	6.5	6.0	5.9	6.4
	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	
	5.8	5.5	4.9	4.4	4.6	4.2	4.0	4.0	4.2	4.6	

Vitesses moyennes des vents.

Période 1950 - 1970 - Observations

IV - DONNEES SUR LA RADIATION
SOLAIRE AU SENEGAL

Annexe IV

Tambacounda	Investition globe Kw/ha	Donc d'in- vestition en Kw
Janvier	x 140,8	260,9
Février	x 144,4	243,5
Mars	x 187,7	305,9
Avril	190,2	287,8
Mai	189,0	294,2
Juin	172,2	260,2
Juillet	159,7	232,0
Août	153,2	223,1
Septembre	165,1	249,3
Octobre	165,9	280,8
Novembre	141,3	272,6
Décembre	132,4	253,5
Total	1 941,9 5,1/ha	3 161,8 8,66

x données 83

Ziguinchor	Investition globe (Kw/ha)	Donc d'in- vestition (Kw)
Janvier	x 109,5	263,6
Février	x 107,4	251,0
Mars	x 148,1	270,5
Avril	x 140,9	278,4
Mai	162,1	293,3
Juin	138,4	247,4
Juillet	119,6	188,4
Août	x 105,9	166,8
Septembre	144,8	202,5
Octobre	138,5	235,7
Novembre	124,9	255,1
Décembre	115,3	252,5
Total	1 552,4 4,3	2 905,2 7,96

x données 83

xx valeur estimée

Louga	Investition globe (Kw/ha)	Donc d'in- vestition (Kw)
Janvier	158,2	269,9
Février	151,3	223,7
Mars	184,7	269,7
Avril	186,0	278,8
Mai	205,4	295,8
Juin	190,5	264,1
Juillet	183,4	244,9
Août	185,2	251,4
Septembre	170,1	233,9
Octobre	169,4	251,8
Novembre	138,4	229,5
Décembre	135,4	218,8
Total	2 058,0 5,6	3 032,3 8,3

Tableau 4 - Données disponibles sur le Sénégal (Valeurs de 82 et 83)

* Valeurs moyennes de la période considérée.

— Variation de la radiation globale horaire (W/m^2)

à Dakar (valeurs moyennes sur 74-75-76-77-78-79-81)

De	Mois A	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
		5 ^h	6 ^h	1	1	1	2	5	6	6	3	1	0
6 ^h	7 ^h	18	38	60	86	101	94	84	77	57	41	22	13
7 ^h	8 ^h	150	227	257	300	303	268	240	241	220	221	173	132
8 ^h	9 ^h	344	459	493	531	521	478	409	418	406	432	375	311
9 ^h	10 ^h	518	650	688	730	702	651	550	556	568	616	555	481
10 ^h	11 ^h	649	790	827	867	838	775	644	674	664	751	684	604
11 ^h	12 ^h	713	864	901	939	900	834	696	751	721	817	744	673
12 ^h	13 ^h	719	860	909	942	902	838	711	755	725	819	741	671
13 ^h	14 ^h	649	798	833	872	834	759	665	702	678	755	681	608
14 ^h	15 ^h	537	660	696	738	705	639	553	583	579	621	564	486
15 ^h	16 ^h	364	469	498	539	521	481	415	436	414	439	388	325
16 ^h	17 ^h	178	251	275	311	308	290	258	247	245	232	185	156
17 ^h	18 ^h	16	28	40	58	70	65	59	51	41	27	29	22
18 ^h	19 ^h	1	1	1	3	7	9	9	6	1	0	0	1
Irradiation * au zénith moyenne Kwh/m ²		4.9	6.1	6.5	7.0	6.8	6.2	5.3	5.5	5.3	5.8		4.5

V) CONSOMMATION D'EAU
AU SENEGAL

Consommation d'eau de différentes villes du Sénégal

Villes	Population en 1976 (Hbts)	Population en l'an 2000 (Hbts)	Consommation mensuelle eau en 1984 (m ³ /j)	Consommation journalière en 2000 (m ³ /j)	Consommation unitaire globale (l/hab/j)
Dakar	798.792	2 240 000	127 000	315 000	144
Rufisque	70.000	200 000	3600	19000	52
Thiès	117.335	266 000	7400	23000	64
St. Louis	88.404	195000	6000	14000	65
Louga	52.100	101 595	3300	6000	69
Kaolack	106.899	320 000	6000	27000	57
Ziguinchor	72.777	160 000	2400	12 328	33
Tamba	34.700	90 480	934	6970	27
Diourbel	50.618	100 000	2200	6000	43
Tiouname	17.351	34 000	840	2400	48
Mbr. Joal	37.663	80 000	4000	5280	50

Dans ce tableau, l'estimation de la consommation pour l'an 2000 n'a pas tenu compte de l'élévation du niveau de vie.

* BIBLIOGRAPHIE *

- 1 - Batelle Memorial Institute Recherche Report January 30, 1970
S. G. TALBERT , J. A. EIBLING , G. O. G. LÖF ; 270 pages
- 2 - Rapport du projet de fin d'étude " ETUDE D'UNE UNITE SOLAIRE
DE DESSALEMENT A CONDENSEUR EN MATIERE PLASTIQUE "
E.I MAMA AMAR ; Mai 1987 EPT ; 70 pages
- 3 - Aide Mémoire de Résistance des Matériaux ;
PISSARENKO , et al. Edition de Moscou 1979 ; 878 pages
- 4 - "Energie solaire " J. LAMADIEU T. VERHAEGE
Ecole Inter-Etats d'ingénieurs de l'équipement rural
Mai 1978 ; 75 pages
- 5 - B.H. KHOSHAIN " 200 m³ / day solar sea water desalination
pilot plant " ARABIE SAOUDITE , Juillet
- 6 - G.N. TIWARI ET G.A.M. SELIM
" Double slope fibre reinforced plastic " Octobre 1984
- 7 - GEROFI, FENTON ET MANNIK "Solar driven case "
University of Sidney ; 1981
- 8 - CEA " Sun powered reverse Osmosis desination units "
- 9 - E.P. COLLIER ET J.F. FULTON
" Water desalination . Insland water branch ... " OTTAWA 1967
- 10 - GEROFI et FENTON
" A simple more accurate criterum for economic evaluation of
desalination projets " AUSTRALIE ; 25 Décembre 1983
- 11 - THOMAS ANTHONY LAWAND
" Engineering and economic evaluation of solar distillation
for small communities " QUEBEC ; MCGILL ; 1968

- 12 - J.R. VAILLANT
 " Les problèmes du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres " Edition Eyrolles ; 1970
- 13 - " Solar Energy in the 80s " ; COSTIS STAMBOLIS
 Heliotechnic Associates International , London
 14 - 15 January 1980 ; 235 pages
- 14 - DENIS HAYES
 " Rays of hope : the transition to a post-petroleum world "
 Edition W.W. NORTON , 1977
- 15 - GEORGES HOMES
 " Cours de physique interne des matériaux "
 Editeur Eyrolles ; 1972 ; 300 pages
- 16 - CYRIL GOMELLA
 " La soif du monde et le dessalement des eaux "
 Collection Henri Laugier ; Paris 1966
- 17 - S. G. TALBERT , et al.
 " distillation of saline water to office of saline water
 United States Departement of the interior " January 1970
- 18 - Comité associé du code national du bâtiment . Conseil national de recherches du CANADA . Supplément du code national du bâtiment " OTTAWA 1980
- 19 - R. OLIVIER
 " Distillateur solaire CERER en service au CNRA de BAMBEY "
 Collection Etudes Techniques du CNRA ; Juillet 1983

- 20 - TRIVARI et GRAG
" Studies on various designs of solar distillation systems "
NEW DELHI 15 Juin 1984
- 21 - A. BOLTO
" The development of saline desalination in AUSTRALIA "
CSIRO ; Juillet 1984
- 22 - J. R. VAILLANT
" Accroissement et gestion des ressources en eau "
Edition Eyrolles ; 1977
- 23 - ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
" Notes des cours de béton armé I et II "
- 24 - MEEKS , DOUGLAS , et al.
" Solar still performance under solar simulation " USA
- 25 - EZCHENBAOM
" Distillation multiples effets : technique couplage
photothermique " CADARACHE ; Septembre 1980
- 26 - MOHAMED MANSOUR
" Field test of different bassin . Waterproofing materials
for simple solar distiller " NRC ; CAIRE
- 27 - JOHN A. DUFFIE , et al.
" Solar engineering of thermal process "
John Willey & sons 1980 ; 761 pages
- 28 - Roger PEYTURAUX
" L'énergie solaire " << Que sais-je >> N° 1294
1968 ; 126 pages

29 - Karl W. BOER & John A. DUFFIE

" Advances in solar energy volume 2 " ASES; 1985; 487 pages

30 - JC McVEIGH

" Sun power " Second Edition Pergamon Press 1983

259 pages

31 - K. W. BOER , BARBARA H. GLENN

" Sun II " Pergamon Press May 1979 954 pages