

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

GC. 0287

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

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

TITRE : ÉTUDE D'UNE UNITÉ  
SOLAIRE DE DESSALEMENT  
À CONDENSEUR EN MATIÈRE  
PLASTIQUE

DATE : MAI 1987

AUTEUR : Mama AMAR  
DIRECTEUR : Thomas AQUIN  
CO-DIRECTEUR :

PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur de conception.

ETUDE

D'UNE UNITE SOLAIRE

DE DESSELEMENT

A CONDENSEUR

EN MATIERE PLASTIQUE

Directeur  
Thomas AQUIN

Auteur : Mama AMAR Ing.  
Mai 1987 .

À mon père,  
À ma mère,  
À tous ceux qui me sont chers.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions M. Bédard du CERER pour la documentation qu'il a bien voulu mettre à notre disposition.

Nos remerciements vont également à toute l'équipe du projet de recherche sur le dessalement.

Enfin, très respectueusement et très sincèrement nous remercions notre Directeur de Projet M. Thomas TOUIN pour l'apport multiforme et sans limite dont il a fait preuve tout le long de l'élaboration de cette étude.

## SOMMAIRE

Notre projet vise essentiellement l'étude théorique et expérimentale d'une unité de dessalement d'eau de mer. Après une revue bibliographique général sur le dessalement, il sera introduite l'étude d'un prototype réalisé à partir de deux micro-climats : le premier destiné à l'évaporation de l'eau sera réalisé à l'aide d'une serre et le second destiné à la condensation sera réalisé à l'aide de feuilles en polyéthylène haute densité constituant l'échangeur de chaleur. En dernière analyse, nous aborderons l'étude d'une unité à grande échelle, qui servira à alimenter en eau potable une ville d'une population de cinq mille (5000) habitants.

# TABLE DES MATIERES

	<i>Pages</i>
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>PREMIERE PARTIE</u> : Etude bibliographique sur le dessalement .	2
<u>GENERALITES</u>	3
1. Les divers principes applicables pour pour la séparation des sels et de l'eau .	
2. Classification sommaires des procédés	4
3. Les besoins en eau au Sénégal	5
<u>CHAPITRE PREMIER</u> : L'eau salée	7
1.1 Composition des eaux salées	
1.2 Limite de salinité pour l'eau potable	8
1.3 Salinité maximale selon l'usage ...	9
<u>CHAPITRE II</u> : Différents procédés de dessalement	10
2.1 Congélation	
2.2 Electrodialyse	12
2.3 Echange d'ions	13
2.4 Osmose inverse	15
2.5 Distillation solaire	16
<u>DEUXIEME PARTIE</u> : Etude du prototype	19
<u>CHAPITRE III</u> : Etude structurale	20
III.1 Etude des matériaux	
III.2 Etude du système structural	23

## TABLE DES MATIERES (suite)

	Page
<u>TROISIEME PARTIE</u> : Conception d'une unité à grandes dimensions	29
<u>CHAPITRE IV</u> : Dimensionnement	33
1. Source de ceinture (dimensionnement)	39
2. Design de la colonne	40
3. Design de la fondation	43
4. Bassin	44
<u>CHAPITRE V</u> : Etude économique	45
1. Calcul de l'investissement initial	46
2. Le paiement annuel	
3. Maintenance et réparation	47
4. Assurance et taxe annuel	
5. Main d'œuvre annuelle	
6. Coût total fixe de l'eau dessalée	48
L' amortissement	
Conclusion quant à l'aspect économique	50
<u>RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION</u>	52

## ANNEXES

	Page
<u>ANNEXE I</u> : Consommation d'eau de différentes villes du Sénégal	54
<u>ANNEXE II</u> : Vitesse maximale instantanées du vent. Exploitation météorologiques	55
<u>ANNEXE III</u> : Données disponibles sur le Sénégal	57
<u>ANNEXE IV</u> : Variation de la radiation globale horizontale à Dakar	58
<u>ANNEXE V</u> : L' IPE 80	59
<u>ANNEXE VI</u> : Pressions extérieures sur la couverture	61
<u>ANNEXE VII</u> : Calculs	62
<u>ANNEXE VIII</u> Listing	64



## INTRODUCTION

La demande en eau pour les usages domestiques et industriels augmente sans cesse. Même si les ressources naturelles en eau semblent suffisantes au plan mondial, il y a de fortes distorsions dans l'équilibre des ressources et des besoins, en raison de la répartition variable dans le monde de la population, des industries et des terres agricoles. Les pays du tiers-monde tels que le Sénégal sont ainsi confrontés à des problèmes d'eau. Et cela s'ajoute une pollution alarmante et il est grand temps que nous autres futurs développeurs de la nation, nous penchions vers une amélioration de la qualité des eaux disponibles, d'où l'importance du dessalement.

Ce projet trouve toute son importance dans les régions arides sans grandes ressources en eaux douces superficielles ou souterraines. Entre autre, dans les régions tropicales qui caractérisent notre pays, n'est-il pas permis de se demander s'il ne vaut pas mieux de construire une usine de dessalement le long du littoral plutôt que de recourir à un captage très lointain d'eau souterraine ou superficielle, avec une adduction de grande longueur.

PREMIERE PARTIE

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

SUR LE

DESSALEMENT

## GENERALITES

Les fleuves, les rivières, les lacs, les étangs, les marais ont été peuplés de dieux, de déesses, d'êtres mythiques puissants : naïades, néréides roussalki, souvent favorables, quelquefois dangereux, la faveur ou la défaveur étant liées au respect des pactes passés entre l'homme et l'eau. Aujourd'hui, l'homme moderne, porté par sa civilisation technique et rationaliste, n'est certes pas enclin à diminuer l'importance matérielle attribuée à l'eau par ses ancêtres. Comblé par sa puissance d'action sur les choses terrestres, il a par contre perdu le respect un peu superstitieux qui lui était porté, tout au moins dans les pays économiquement développés, où, domestiquée et soumise, elle est largement à sa disposition en tout lieu et en tout temps.

### 1. Les divers principes applicables pour la séparation des sels et de l'eau pure

Dans la pratique, pour extraire l'eau douce de l'eau de mer, on sépare l'eau douce d'une quantité beaucoup plus grande d'eau de mer, dont la portion restante, plus concentrée qu'initialement, est rejetée à la mer. A titre illustratif, dans une installation de distillation par détente successive et sans recirculation

de la saumure, on retirera  $1 \text{ m}^3$  d'eau douce de  $9 \text{ m}^3$  d'eau de mer.

Dans les procédés de distillation on sépare de la vapeur d'eau qu'il faut ensuite condenser. Dans le procédé de congélation, on sépare des cristaux de glace revêtus d'une mince pellicule de saumure, qu'il faut enlever par lavage, et il reste à fondre ces cristaux pour obtenir de l'eau douce. Il existe un procédé dit ionique (electrodialyse, électro-absorption, ou bien procédé de l'échange d'ions) où l'eau douce est obtenue directement sous forme liquide. On peut faire appel à une extraction au moyen d'un solvant liquide ou à une filtration particulière dénommée osmose inverse.

## 2. Classification sommaire des divers procédés de dessalement

On pourrait classer les procédés en tenant compte de la forme, ou phase (vapeur, solide ou liquide) - sous laquelle l'eau douce est séparée. On préfère distinguer :

a) les procédés qui font intervenir un changement de phase (distillation, congélation, extraction par formation d'hydrates solides).

b) les procédés utilisant des membranes faites de feuilles de matière plastique (électrodialyse, osmose inverse, procédé osmo-ionique).

c) les procédés agissant sur les liaisons chimiques.

### 3. Les besoins en eau au Sénégal

Pour en venir à l'opportunité de considérer le dessalement comme moyen éventuel d'approvisionnement en eau potable des populations, des industries ou de l'agriculture, nous avons jugé nécessaire de prendre connaissance de la position de l'offre par rapport à la demande dans différentes villes du pays. Les données démographiques, en parallèle avec les statistiques de l'heure, nous permettent de nous prononcer sur les estimations et perspectives de l'an 2000. Par ailleurs, il est important de noter que la consommation ne cesse de croître par suite de l'augmentation de la population et de l'élévation du niveau de vie.

La consommation moyenne, toutes activités confondues, est de l'ordre de 60 litres/hbt/jour dans les pays en voie de développement tel que le nôtre, et dépasse parfois 500 litres/hbt/jour dans beaucoup de pays développés. Le manque de statistiques précises au niveau du pays conduit généralement à une difficulté à y évaluer les besoins en eau.

#### Quelques Estimations

Une étude du B.C.E.O.M estimait comme

suit les besoins domestiques journaliers dans les agglomérations d'outre-mer.

. besoins	2 à 3 litres
. cuisson des aliments	2 à 4 "
. propreté corporelle	20 "
. nettoyage maison WC	10 à 20 "
. lavage du linge	10 à 14 "

soit 40 à 60 litres par personne et par jour.

Le tableau annexe I indique les niveaux de consommation pour différentes villes du Sénégal.

# CHAPITRE PREMIER

## L'EAU SALEE

### 1.1 La composition des eaux salées

L'eau de mer est la plus abondante des eaux salées. On considère qu'elle contient à peu près tous les éléments connus, tout au moins pour certains, à l'état de traces, 49 des 92 corps simples existant à l'état naturel y ont été sûrement décelés.

Il y a une soixantaine d'années Vernadsky indiquait les concentrations ci-après en pourcentage de poids :

Oxygène -----	85,8	Fer -----	$1,5 \times 10^{-4}$
Hydrogène -----	10,67	Argent -----	$10^{-4}$
Chlore -----	2,07	Phosphore -----	$10^{-4}$
Sodium -----	1,14	Fluor -----	$3 \times 10^{-5}$
Magnésium -----	0,14	Iode -----	$3 \times 10^{-5}$
Soufre -----	0,09	Bre -----	$2 \times 10^{-5}$
Calcium -----	0,05	Cuivre -----	$2 \times 10^{-5}$
Potassium -----	0,04	Lithium -----	$6,8 \times 10^{-6}$
Carbone -----	0,0035	Or -----	$1,2 \times 10^{-6}$
Brome -----	0,002	Arsenic -----	$10^{-6}$
Uzote -----	0,016	Chromium -----	$10^{-6}$
Rubidium -----	0,0015	Zinc -----	$10^{-7}$
Silice -----	0,0003	Radium -----	$1,4 \times 10^{-12}$

Des analyses plus récentes donnent des valeurs légèrement différentes et mentionnent la présence de strontium, baryum, manganèse etc... D'une façon plus grossière, mais plus parlante du point de vue pratique qui nous intéresse, on peut dire que l'eau de mer est une solution d'électrolytes contenant 35 g de sels par kg, ces sels étant pour 85% formés de chlore et de sodium. La moyenne de nombreuses analyses portant sur des échantillons provenant de mers diverses conduit à adopter les valeurs indicatives suivantes en ce qui concerne les caractéristiques pondérales principales :

Chlorure de sodium .....	27, 213 g/kg
Chlorure de magnésium .....	3, 807 "
Sulfate de magnésium .....	1, 658 "
Sulfate de calcium .....	1, 260 "
Sulfate de potassium .....	0, 823 "
Carbonate de calcium .....	0, 123 "
Bromure de magnésium .....	0, 076 "

Les autres types d'eaux salées sont les eaux souterraines salées provenant soit de terrains gypseux ou salifères, soit de terrains composés de marnes et d'argiles.

### 1.2 Limite de salinité pour une eau potable



Whipple a expérimenté la perception du goût sur vingt personnes et a trouvé les seuils de gustation suivants:

- chlorure de sodium . . . . .	200 à 450	p.p.m
- chlorure de potassium . . . . .	350 à 600	"
- chlorure de calcium . . . . .	150 à 350	"
- chlorure de magnésium . . . . .	200 à 750	"
- sulfate de calcium . . . . .	250 à 900	"
- sulfate de magnésium . . . . .	400 à 600	"

Il est admis qu'une eau destinée à la boisson ne doit pas contenir plus de 250 p.p.m. de chlorures, ni plus de 250 p.p.m. de sulfates, et ne doit pas présenter une salinité de plus de 500 p.p.m (500 mg/l). Quand des eaux moins minéralisées ne sont pas disponibles on peut tolérer 1000 p.p.m. Les normes internationales O.M.S de 1965 limitent à 500 p.p.m la teneur d'une eau douce en sels dissous, si celle-ci est destinée aux usages domestiques. Elles tolèrent entre - autre jusqu'à 1500 p.p.m.

### 1.3 Salinité maximale à exiger, selon l'usage prévu, pour une eau déminéralisée.

Approximativement, on tolère les teneurs suivantes en sels:

- usages domestiques : jusqu'à 0,5 g/l
- certains besoins industriels : " 1 g/l ou au-delà parfois
- irrigations : " 1 g/l ou parfois au delà

## CHAPITRE II

### LES DIFFERENTS PROCÉDES

#### DE DESSALEMENT

À l'heure actuelle, il existe plusieurs procédés de dessalement. Les principaux seront présentés dans ce projet.

#### 2.1) La congélation

Le dessalement par congélation n'a pas encore donné lieu à des applications industrielles commercialisées. Il fait cependant l'objet d'études très actives, aussi bien en laboratoire qu'en stations-pilotes. L'attention a été attirée par la congélation en raison de la faiblesse relative de la chaleur latente de congélation comparée à celle de la vaporisation :

- congélation : 80 cal/g à 0°C ;
- vaporisation : 540 cal/g à 100°C .

#### Principe de base de la méthode

La température de congélation est presque indépendante de la pression. Elle est déterminée par la concentration saline, et varie de 0°C pour l'eau pure à environ -2°C, température de début de congélation de l'eau de mer. Le dessalement par congélation est basé sur le fait qu'une fraction d'une masse

donnée d'eau saline se dérobe à la congélation en s'enrichissant en sels, la partie congelée étant formée d'eau pure.

Le schéma suivant illustre une colonne de lavage de la glace.

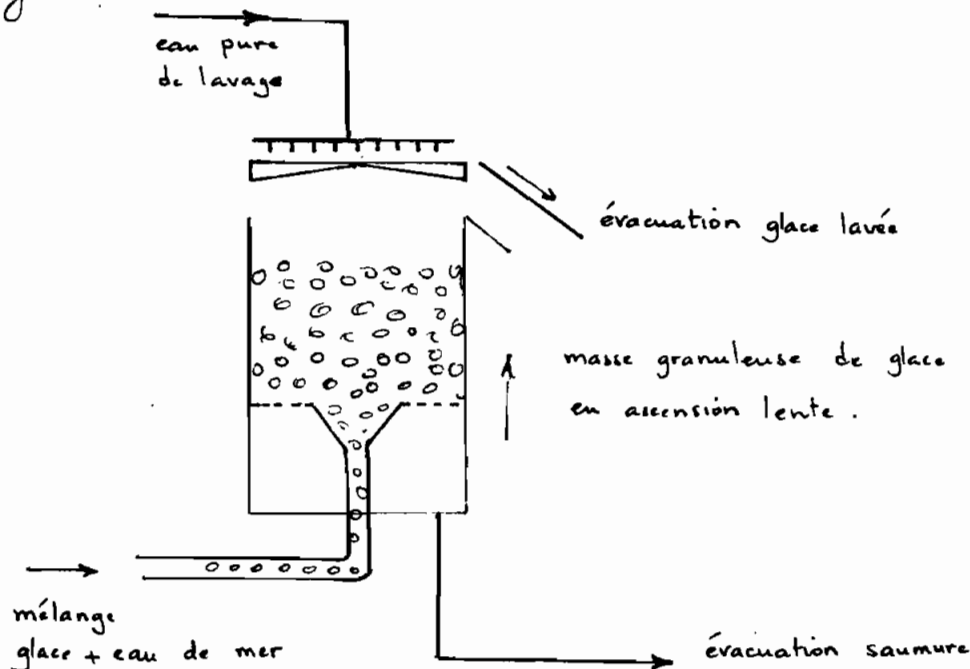


Fig 1 Lavage de la glace

Dans ce procédé dit de Carrier, on admet le mélange de cristaux et de saumure au bas d'une colonne recevant simultanément à sa partie supérieure de l'eau pure, dite de lavage, une purge située à la partie inférieure est susceptible d'évacuer l'ensemble du liquide admis de la colonne. Par différence de densité, comme la vitesse d'écoulement de haut en bas de l'eau de lavage et de la saumure purgée est suffisamment faible pour ne pas créer une force d'en-

trainement des cristaux vers le bas, les cristaux montent à contre-courant. Pendant leur trajet vers la partie supérieure, un racleur dirige les cristaux entièrement débarrassés de toute trace de saumure vers la chambre de fusion.

## 2.2) L'electrodialyse

Il est particulièrement intéressant pour le traitement des eaux saumâtres.

### Principe de ce procédé

C'est une combinaison de l'électrolyse et de la dialyse. Dans une cellule d'électrolyse à diaphragme, une membrane, imperméable et n'exerçant aucune action sélective sur les ions des sels dissous, sépare le compartiment anodique du compartiment cathodique et empêche le mélange des produits de l'électrolyse apparaissant aux électrodes. La dialyse elle, consiste en un transfert d'un soluté (sel) à travers une membrane imperméable au solvant (eau), sous l'influence d'une différence de concentration du soluté, qui passe du compartiment de plus forte concentration à celui de moins forte concentration. L'electrodialyse d'une solution saline, sous l'influence d'un champ électrique, consiste alors en une migration des ions de cette solution à travers des membranes artificielles, imperméa-

ble à l'eau, dites sélectives.

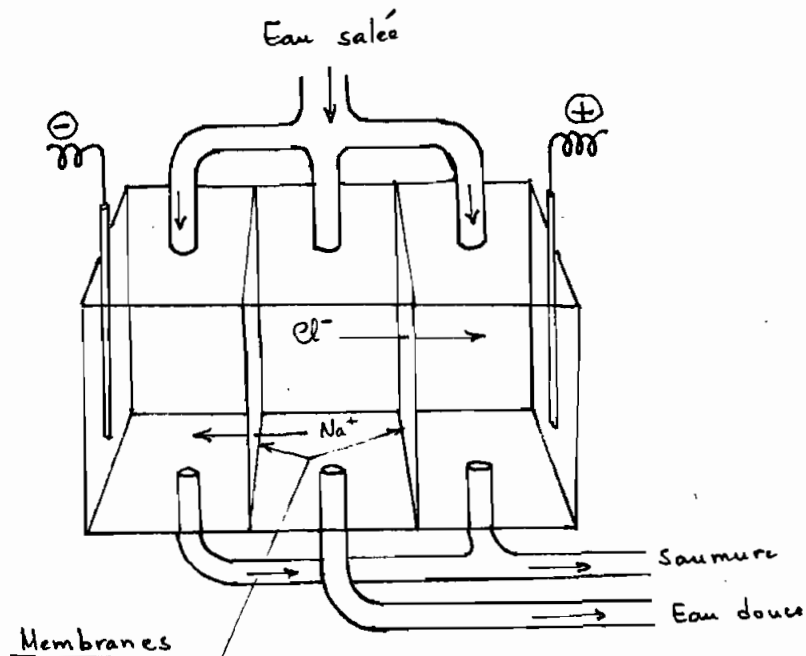


Fig 2 - Principe de l'électrodialyse

### 2.3) L'échange d'ions

Le phénomène d'échange d'ions se produit quand on met en contact une eau contenant plus ou moins de sels avec certaines substances insolubles ayant la propriété d'échanger certains de leurs ions avec les sels de l'eau.

L'échange d'ions obtenu au moyen de silico-aluminates naturels de sodium ou de potassium, dénommés zéolithes, est connu depuis longtemps et a reçu de nombreuses applications dès le début du siècle pour l'adoucissement de l'eau...

Les produits actuellement employés sont des produits insolubles dénommés échangeurs d'ions, qui sont constitués de résines synthétiques se trouvant sous la forme de grains d'environ 0,3 à 1,5 mm. Des charbons sulfonés ont aussi été employés, mais leur emploi a pratiquement disparu.

Les groupes les plus généralement utilisés sont :

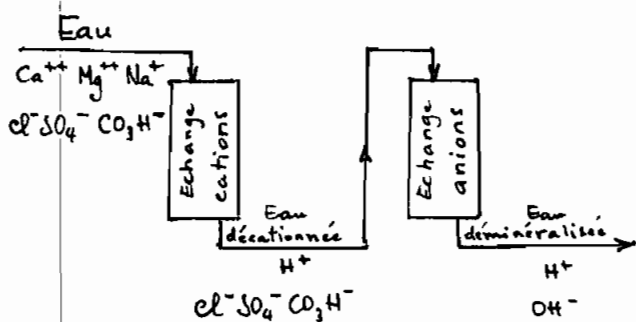
- pour les résines cationiques

Groupe sulfonique .....	$\text{SO}_3\text{H}$
- méthylène sulfonique .....	$\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$
- carboxylique .....	$\text{COOH}$
- phénolique .....	$\text{OH}$

- pour les résines anioniques

Groupe animé .....	$\text{R}-\text{NH}_3\text{OH}$
- ammonium quaternaire .....	$\text{R}_4-\text{NOH}$

Phase 1 : Déminéralisation



Phase 2 : Régénération

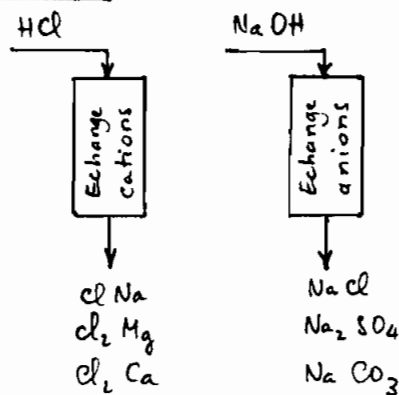


Fig 3 - Utilisation discontinue des résines

## 2.4) L'osmose inverse

Le phénomène d'osmose est connu depuis longtemps. Grâce à lui, les cellules vivantes, végétales ou animales, font passer des substances nutritives, de l'eau et des déchets à travers les membranes qui les enveloppent. Les membranes dites osmotiques sont perméables à l'eau pure, mais constituent des barrières infranchissables pour tous les corps dissous à l'état moléculaire ou les particules colloïdales; pour cette raison, on dit que ces membranes sont semi-perméables.

### Principe:

Dans une cuve divisée par une membrane semi-perméable en deux compartiments ouverts, si l'un des compartiments contient de l'eau pure et si l'autre contient une solution saline, on constate que l'eau pure traverse la membrane vers la solution saline et que la pression du côté de cette dernière augmente. Quand cette pression atteint une certaine valeur, appelée pression osmotique, le débit d'eau pure traversant la membrane s'annule.

Si l'on applique à la solution saline une pression supérieure à la pression osmotique - qui, pour l'eau de mer, est de 25 bars - de l'eau pure filtre en sens inverse à travers la membrane vers le

compartiment d'eau pure. On conçoit donc qu'une circulation continue d'eau saline sous une telle pression devant la membrane permette la production continue d'eau pure à travers cette dernière, avec rejet de saumure.

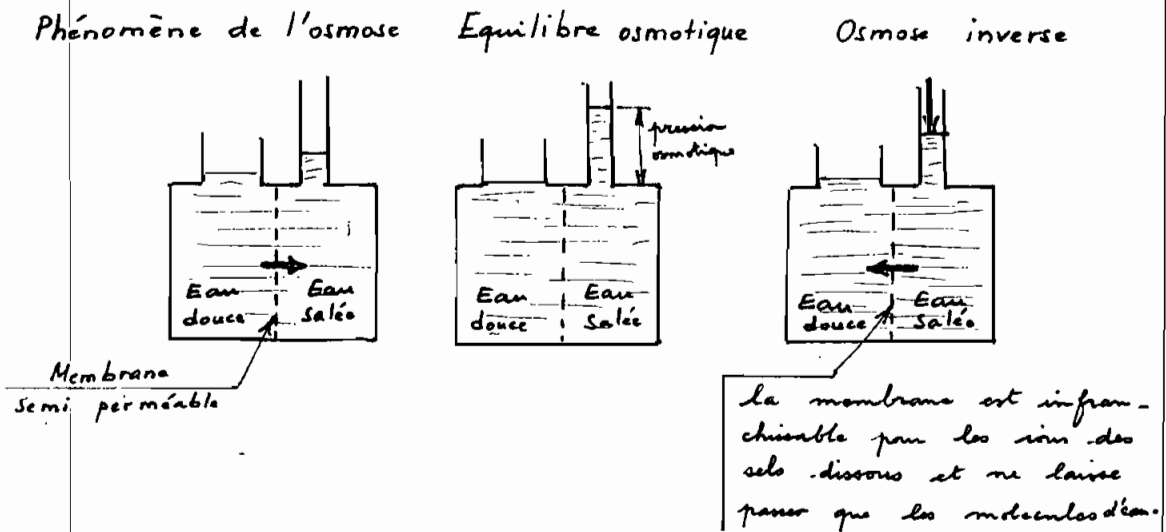


Fig 4 - Principe de l'osmose inverse

## 2.5) La distillation solaire

Dès la plus haute antiquité, on a utilisé la chaleur solaire pour faire cristalliser le sel par évaporation de l'eau de mer ou des saumures.

Il y a des milliers d'années les chinois utilisaient cette méthode. Plus tard ce furent les Egyptiens, les Phéniciens, les Grecs et les Romains. Le sel ainsi obtenu faisait l'objet d'un commerce intense.



### Distillateurs de petites dimensions

Ils sont appelés à répondre aux besoins en eau potable d'individus isolés ou de petits groupes humains et à des besoins spéciaux de faible importance unitaire (eau pour accumulateurs de voiture ou de station téléphonique, infirmerie et pharmacie de petits postes etc...). Ces besoins se limitent à 3 - 15 litres par personne et par jour. Les plus utilisées sont celles du type serre à cuve horizontale, encore appelés distillateurs à toit (roof type solar stills) ou boîtes chaudes (hot boxes)

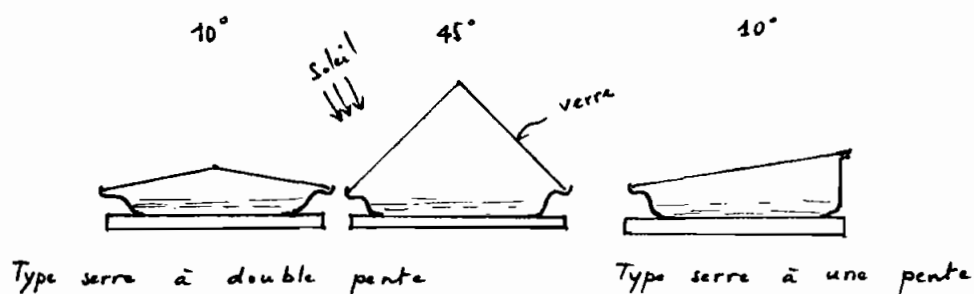


Fig 5                      — Petits distillateurs

### Distillateurs à grandes dimensions

Dans la conception d'un distillateur de grandes dimensions, on peut, soit extrapoler les dimensions d'un appareil de petites dimensions, soit chercher à construire un appareil dérivé mais différant dans certaines parties, soit encore faire appel à des dispositifs complètement différents avec emploi de l'énergie extérieure non solaire.

re comme énergie auxiliaire pour assurer des transferts de masse d'eau ou de vapeur, etc...

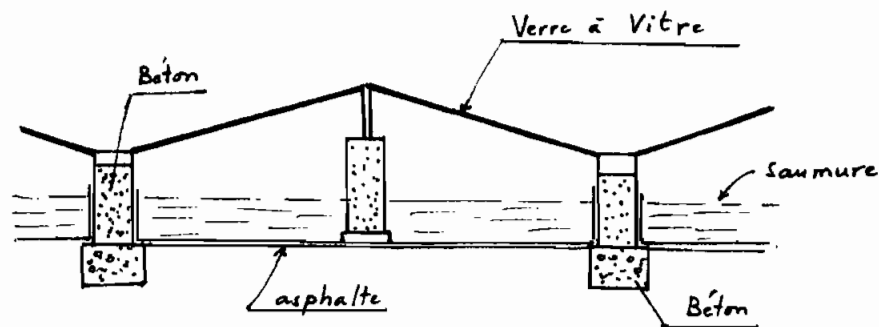


Fig 6 — Grands Distillateurs

Principe de fonctionnement des installations de distillation solaire.

Dans un châssis fermé et exposé au soleil, la face intérieure du vitrage incliné se garnit de gouttes d'eau provenant de la condensation — au contact de la paroi relativement froide — de la vapeur d'eau dégagée par l'eau salée enfermée dans le châssis. Les gouttes d'eau glissent ensuite jusqu'au bord inférieur du vitrage, et peuvent être recueillies dans une petite gouttière. On peut aussi ne pas utiliser des gouttières mais recueillir directement l'air humide à travers un échangeur, tel que c'est le cas pour notre étude.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE

DU

PROTOTYPE

# CHAPITRE III

## ETUDE STRUCTURALE

Pour cette partie, avant de procéder à l'étude du système structural, nous parlerons des matériaux utilisés.

### III.1) Etude des matériaux

#### La couverture

Elle sera réalisée en PVC rigide clair et le schéma suivant présente les caractéristiques mécaniques d'un échantillon de ce matériau.

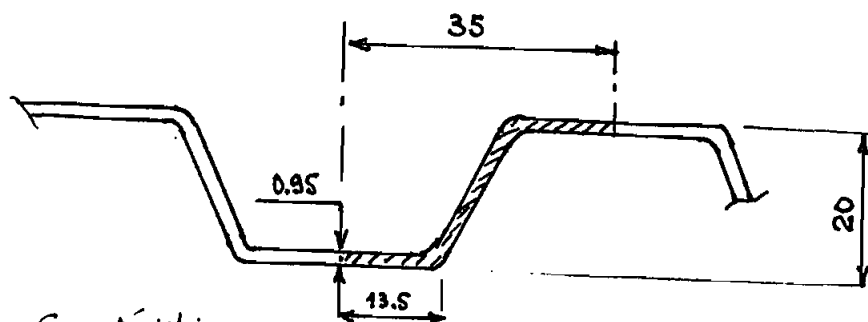


Fig 7 - Caractéristiques

Considérant la partie hachurée, nous avons :

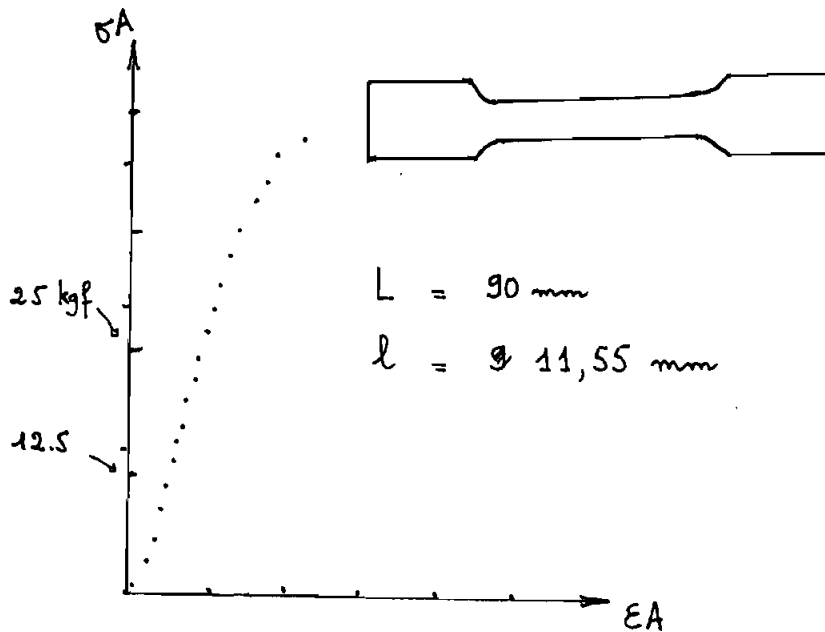
le moment d'inertie  $I = \sum Ad^2 + \sum I_0$ .

$$I = 2 \times 13.5 \times 0.95 \times 10^2 + \frac{1.06 \times 20^3}{12} = 3272 \text{ mm}^4.$$

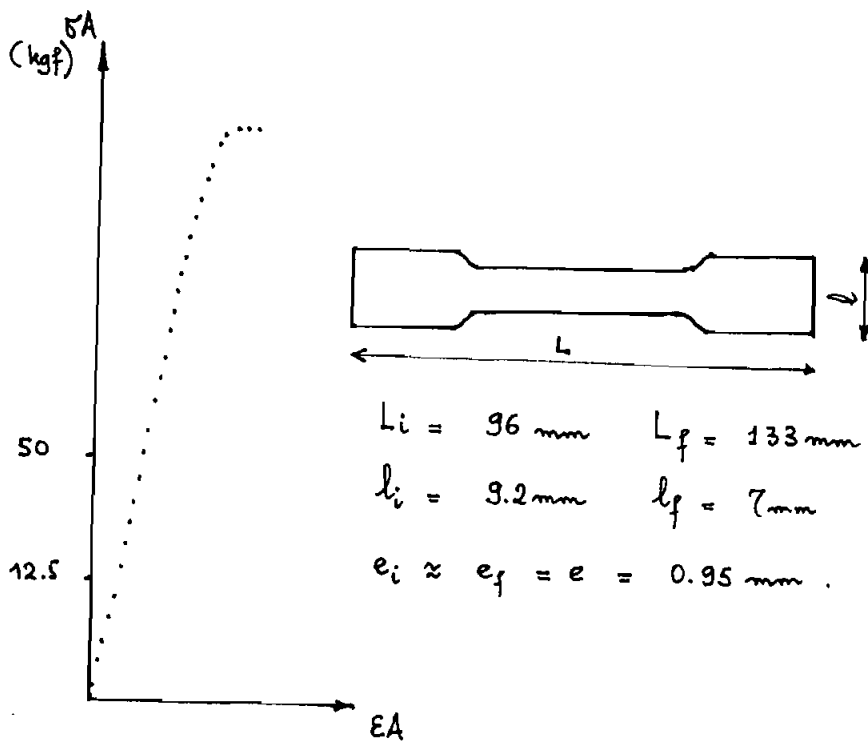
$$\text{D'où } S = \frac{3272}{10} = 327.2 \text{ mm}^3, \text{ soit } 327.2/0.035 = 9348 \text{ mm}^3/\text{m de largeur}.$$

Des expériences réalisées en laboratoire ont permis à confectionner des courbes contrainte-déformation pour différentes températures. Ces courbes permettent de déterminer les limites d'élasticité du matériau constituant la couverture.

(1) A 50°C



(2) A 27°C



(3) A 68°C

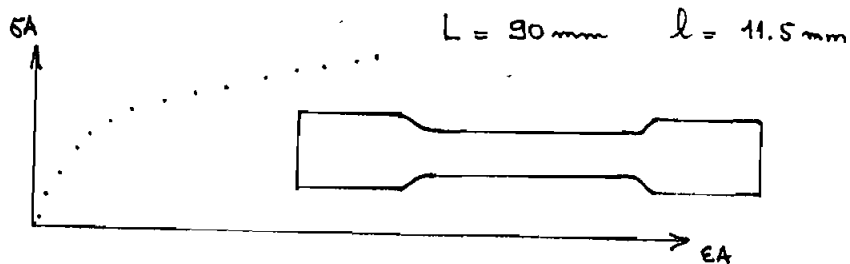


Fig 8 - Courbes Contraintes - Déformations

Nous constatons à juste titre, qu'à une température relativement élevée, les déformations sont plus grandes pour une même sollicitation. Compte tenu du fait que nous pouvons avoir jusqu'à une différence de  $10^{\circ}\text{C}$  entre la paroi intérieure et la paroi supérieure de la couverture, nous considérons une température de  $60^{\circ}\text{C}$  à l'intérieur de la serre soit une température de  $50^{\circ}\text{C}$  à l'extérieur. Ainsi la courbe (1) pourra être utilisée et nous permettra de déterminer la contrainte de rupture élastique  $\sigma_r$ .

$$\sigma_r = (12.5 \text{ kgf} \times 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \times 4) / (11.55 \times 0.95) \text{ mm}^2$$

$$\underline{\sigma_r = 44.7 \text{ MPa}}$$

Pour ce qui est du géobéton, son utilisation a été guidée par le souci de minimiser les coûts. Un projet de recherche sur ce matériau est en cours à l'école polytechnique de Chiès et les promoteurs de ce projet sont beaucoup plus habilités pour donner des résultats exhaustifs relatifs au géobéton.

### III.2. Etude du système structural

Pour faire cette étude, nous avons considéré la charge due au vent comme étant la principale sollicitation à laquelle est soumis le prototype. En effet le poids de la couverture dont l'épaisseur est seulement de 0,95 mm, peut être négligé.

En nous référant aux données sur le vent au Sénégal de 1951 à 1982 nous avons pris une pression de référence  $q = 0.37 \text{ KN/m}^2$ .

On a

$$P = C_f q C_g C_e$$

Notre terrain est du type exposition A: c'est à dire que nous avons un terrain ordinaire comportant des obstacles dispersés; donc  $C_e$  doit être  $\geq 1$  (Ref P149 CNBC)

$$C_e = (2/10)^{0.28} = (3/10)^{0.28} = 0.7 \Rightarrow C_e = 1.$$

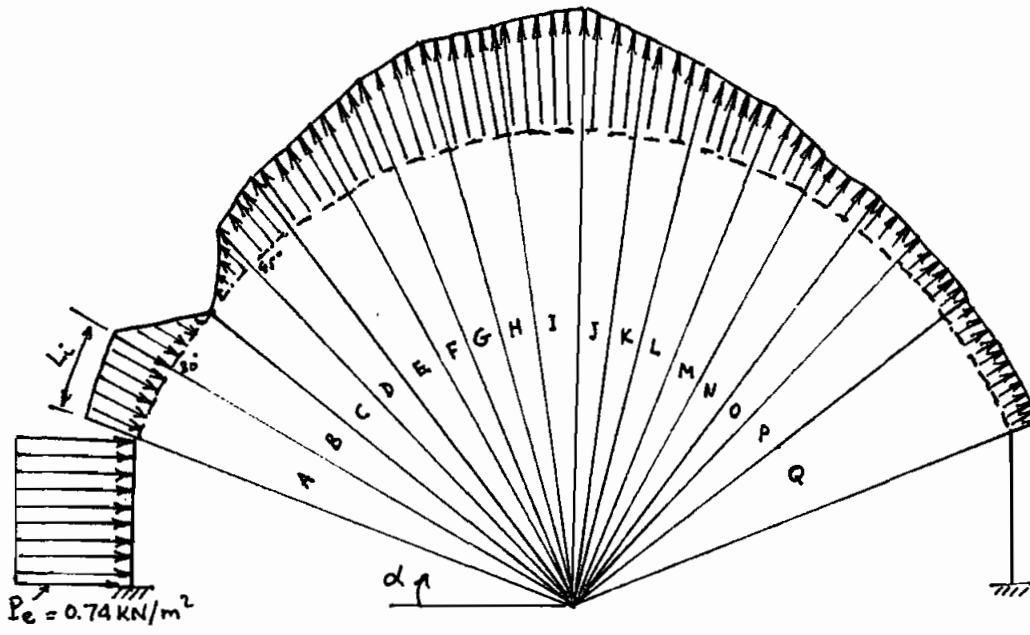
Nous avons un revêtement extérieur  $\Rightarrow C_g = 2.5$

$$\frac{h}{d} = \frac{7.8}{5.8} = 1.3 \approx 1.$$

$$d \sqrt{q C_e} = 5.8 \sqrt{0.37 \times 1} = 3.5 > 0.167 \quad (\text{Ref Fig B14 CNBC 80})$$

Ces calculs préliminaires nous ont donc permis d'exploiter le tableau B14 P 176 CNBC 80.

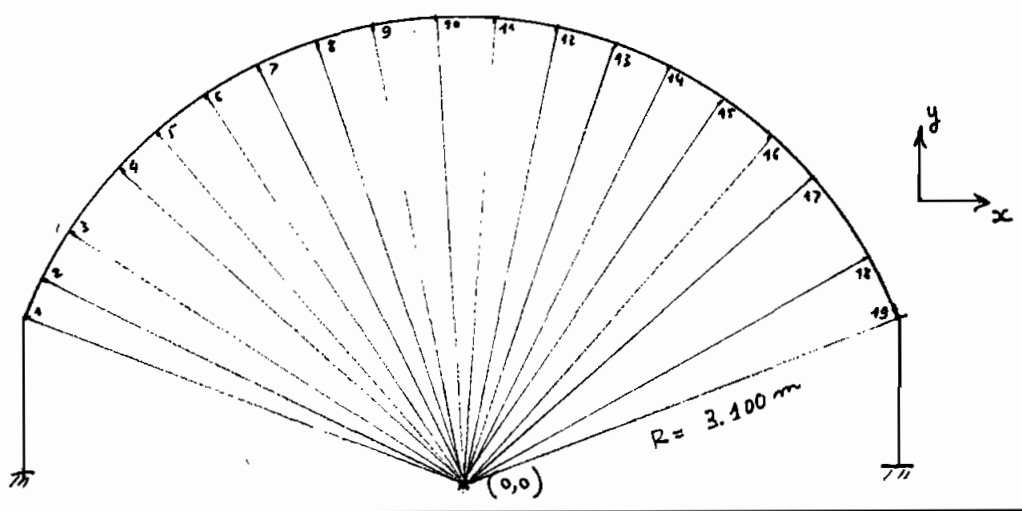
Fig 9 - Répartition des contraintes



Nous avons :  $P_e = 0.37 \times 2.5 \times 1 \times 0.8 = 0.74 \text{ KN/m}^2$ .

Par approximation, on peut trouver dans chaque zone la contrainte due au vent qui s'exerce (voir tableau 7 annexe VII et listing).

Fig 10 - Numérotation des membrures.





En considérant la membrane ① - ② du schéma (fig 10) page 24, nous voyons, en exploitant les résultats qu'elle se présente comme suit :

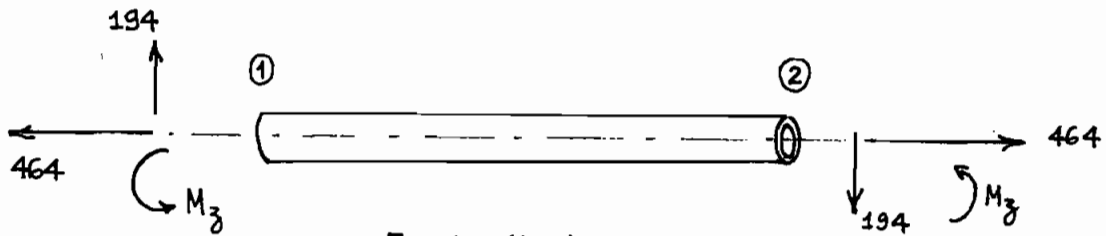


Fig 11 - Membrane

Nous pouvons alors connaître le comportement au niveau de chaque membrane (cf listing).

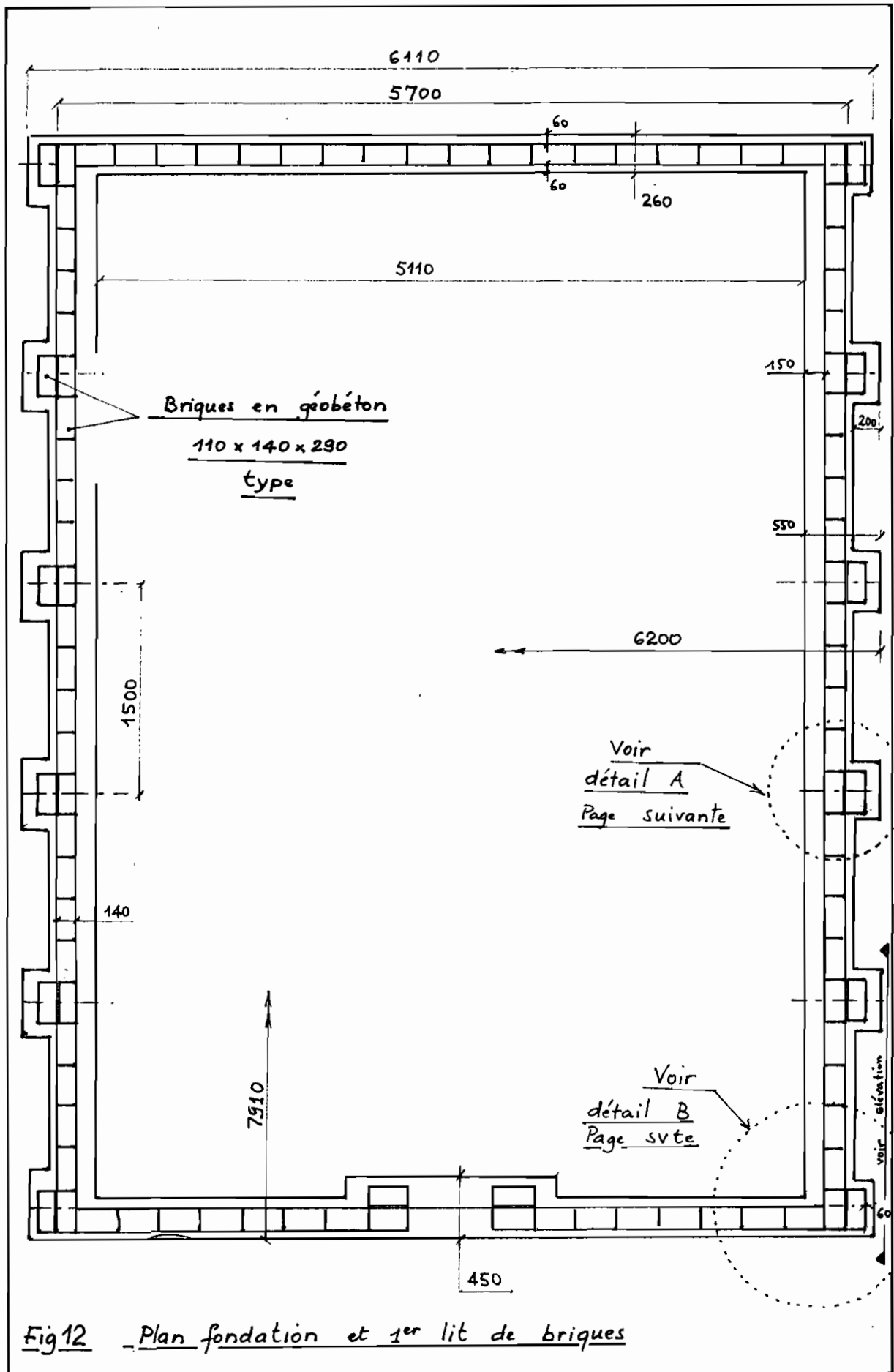


Fig 12 Plan fondation et 1<sup>er</sup> lit de briques

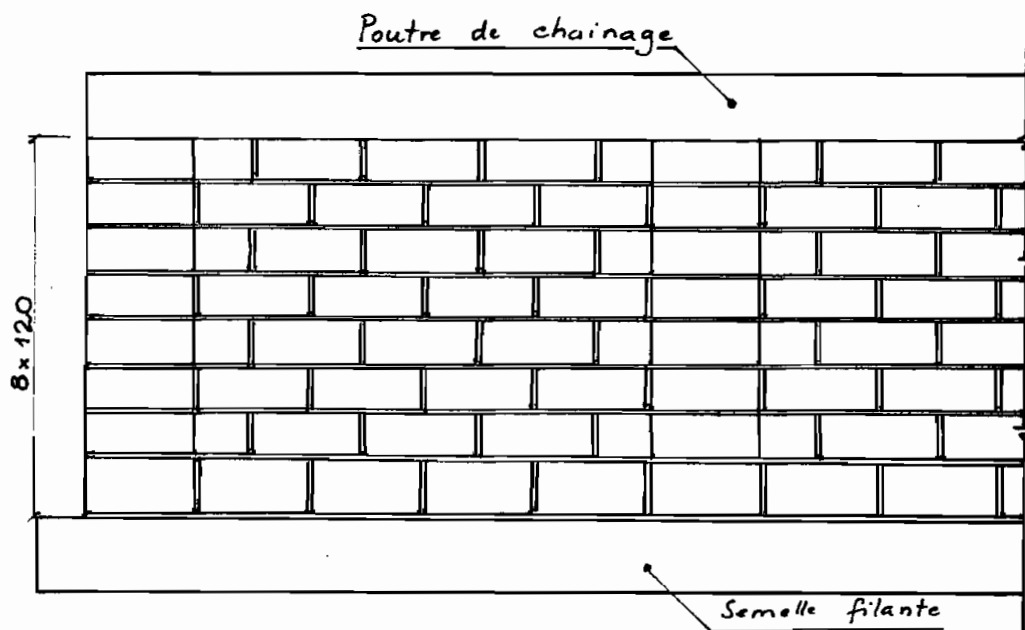


Fig 13 — Elevation

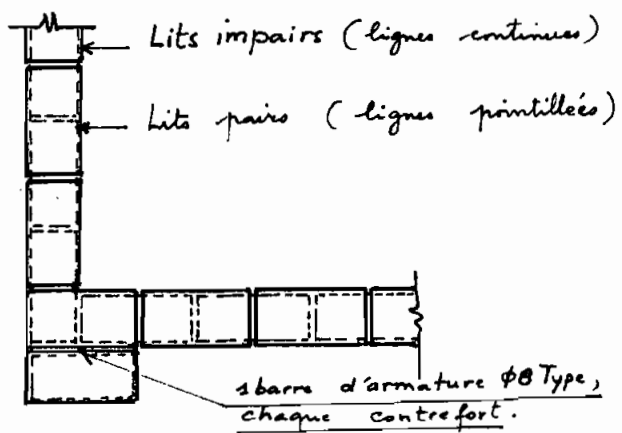


Fig 14 — Détail B  
Vue en plan

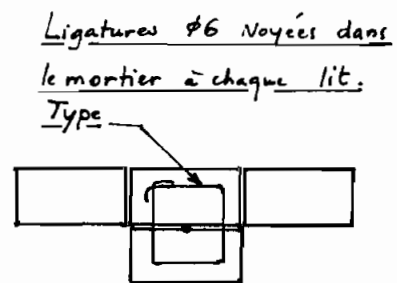
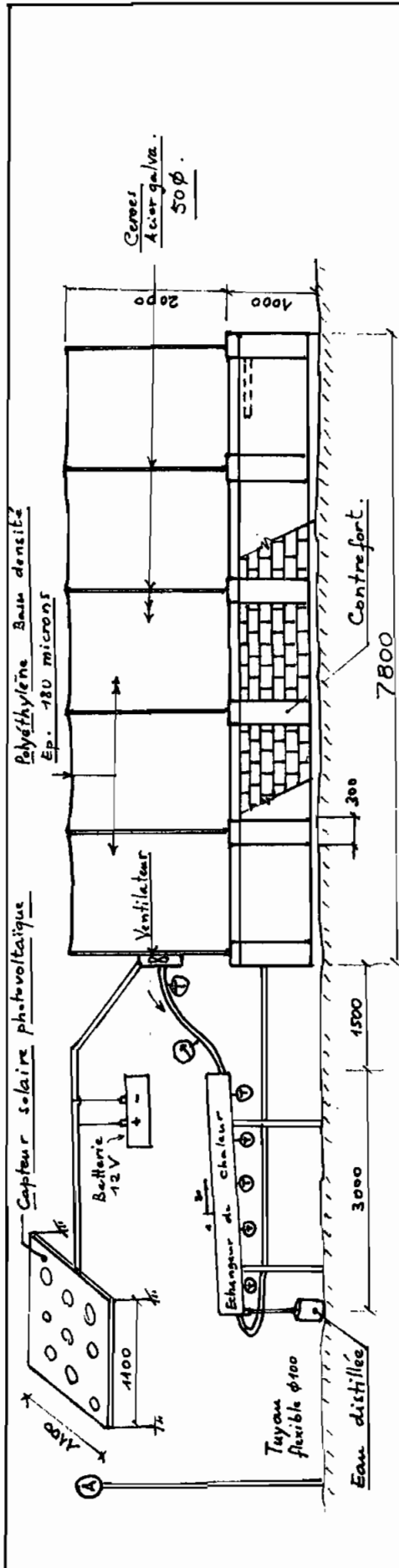
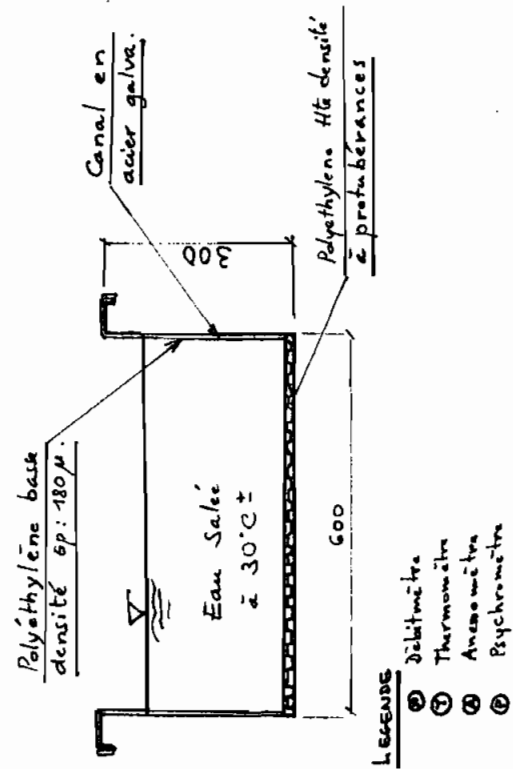


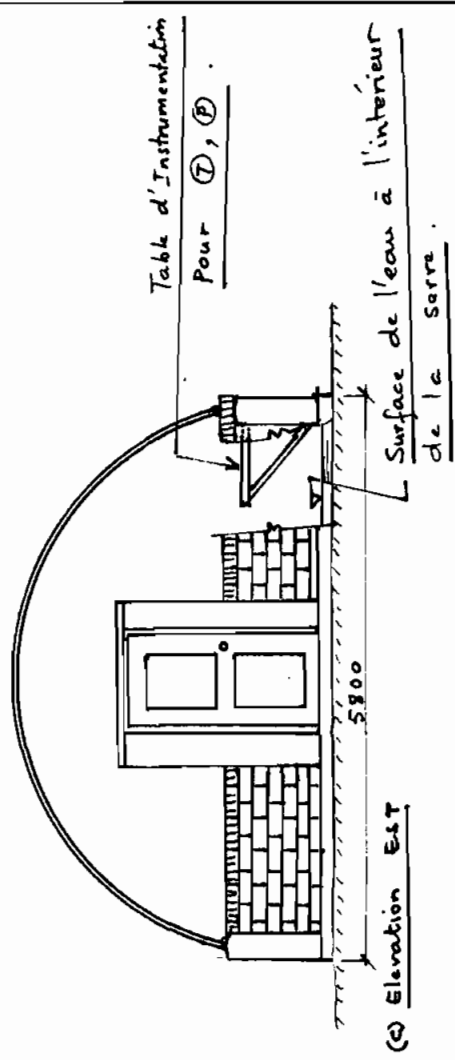
Fig 15 — Détail A  
Vue en plan.



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



(b) Coupe type Echangeur



(c) Elevation EST

(b) Coupe type Echangeur

Fig 16 Présentation du prototype

TROISIEME PARTIE

CONCEPTION

D'UNE UNITE

A GRANDES DIMENSIONS

Avant de parler des besoins en eau et de faire une estimation pour concevoir notre unité de dessalement, nous exposerons ici quelques uns des méfaits du gaspillage de l'eau par les usagers et les moyens de lutte contre le gaspillage. En effet, le manque de contrôle de ce dernier qui est souvent à la base des erreurs souvent grandioses sur l'estimation des besoins en eau. En effet, nombreuses sont les localités de la zone intertropicale où il n'est pas rare de voir des robinets de puisage, parfois de gros calibre, déborder de l'eau sans raison, simplement parce que les gens venus puiser de l'eau sont repartis en négligeant de fermer ces robinets. C'est l'un des plus grands maux dont souffrent certaines distributions d'eau des pays en voie de développement. Les agents de distribution n'ont pas de solution selon eux et pensent qu'ils ne peuvent pas faire le gendarme pour lutter contre ce gaspillage. Pourtant, dans une île de Polynésie, au cours d'une année de pénurie d'eau, des amendes étaient infligées aux habitants dans les cours ou jardins, desquels, un robinet de puisage était abandonné ouvert et

coulant donc en pure perte ; le résultat ne se fit pas attendre : les choses rentrèrent dans l'ordre.

Faut-il faire l'éducation de tous les habitants ? Difficile mais pas impossible. Il faudrait peut-être des années, la durée d'une génération. Une solution est de commencer principalement à l'école.

Une enquête effectuée en 1957 sur le réseau d'alimentation en eau d'une localité tropicale, a permis d'estimer que sur 40 000 robinets ou appareils de chasse, 2000 présentaient des fuites notables. Or une fuite notable de robinet ou d'appareil de chasse peut atteindre 0,25 à 1 litre/min, soit environ 0,5 à 1,5 m<sup>3</sup>/jour. Disons qu'elle peut facilement être de l'ordre du mètre-cube par jour. En revenant au cas de la localité envisagée plus haut, et pour être très modérés dans nos évaluations, admettons pour les fuites une moyenne de seulement 0,5 m<sup>3</sup>/j par robinet ou appareil. Il est donc vraisemblable que l'insuffisance d'entretien des seuls robinets et appareils des installations intérieures des usagers était responsable d'une perte globale de l'ordre de

1000 m<sup>3</sup>/j. Un tel phénomène n'est d'ailleurs pas particulier au cas mentionné ici : il existe dans le monde entier. Mais le plus curieux est que, dans les pays tropicaux, certains exploitants se refusent à admettre une telle réalité.

On a trop souvent tendance à ramener les problèmes de besoins à ceux des consommations purement urbaines que l'on estime de 125 à 250 l par habitant et par jour, soit 45 à 90 m<sup>3</sup> par habitant et par an, valeur sans commune mesure avec les milliers de mètres cubes par an dont a besoin des pays comme les États Unis. Il est évident qu'en certains lieux défavorisés par la pénurie d'eau, il s'agira, dans un premier temps de se procurer de l'eau dans des quantités juste suffisantes. De ce point de vue nous ferons l'étude de notre unité de dessalement en considérant que les besoins sont de 40 l/jour et par habitant.

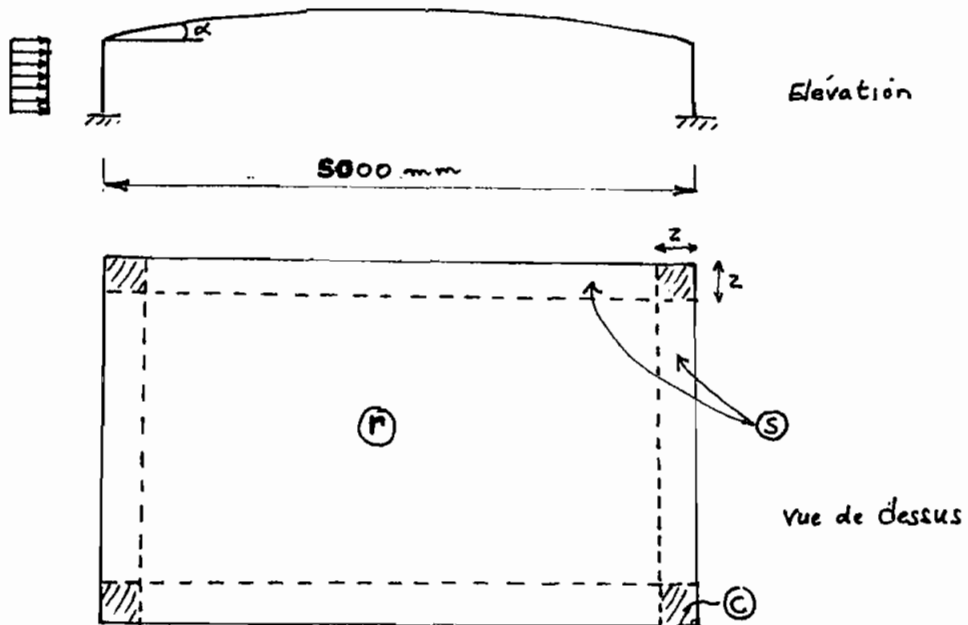
Soit une ville de 5000 habitants, on aura les besoins qui s'élèveront à  $40 \times 5000 = 200\,000$  l/jour. Pour une unité pouvant dessaler 4 l/m<sup>2</sup> et par jour, on a une surface requise  $S$  de  $200\,000 / 4$  soit  $S = 50\,000$  m<sup>2</sup>. Nous prenons une rectangle de 231 m de long et 225 m de large.



## CHAPITRE IV DIMENSIONNEMENT

La structure se présente comme suit :

Fig 17 - Présentation de la structure



Les normes donnent :

$$q_{cg} = -1,5 \quad \text{Zone F}$$

$$q_{cg} = -2,0 \quad \text{Zone C (coin du toit)}$$

$$q_{cg} = -2,0 \quad \text{Zone S}$$

$$q_{cg} = -1,5 \quad \text{Zone C (coin de l'avent)}$$

On a donc :

$$P_e = q_{cg} C_e C_p = q_{cg} (C_e C_p) = 0,37 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \times 1 \times (-1,5) = -0,555 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

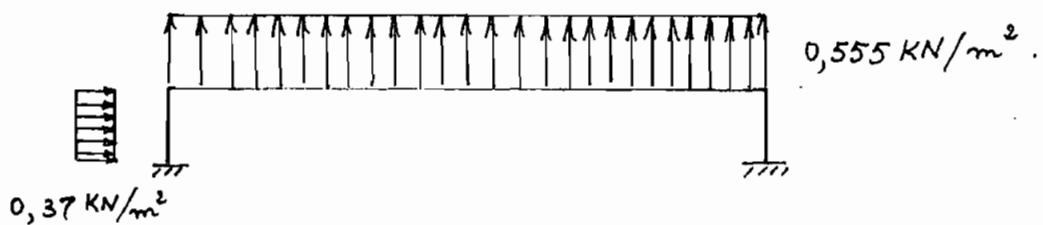


Fig 18 - Chargement

Pour le toit, nous utilisons des poutres IPE 80 reposant sur des colonnes en B.A espacées de 3,5 m. L'unité de dessalement comporte 45 compartiments de 5 m de large chacun. Cette division s'impose car elle permettra de ne pas bloquer le fonctionnement global du système lors d'une éventuelle défaillance au niveau d'un compartiment. Entre autre, cela permettra de faire des opérations d'entretien tout en permettant au reste de l'unité de fournir de l'eau distillée. La direction longue sera dans la direction Est - Ouest et un mur coupera la grande longueur en deux, passant ainsi par le milieu de tous les compartiments. Ceci a été adopté dans le souci de ne pas dépasser, pour des règles d'ordre pratique, la longueur limite pour un compartiment.

Vérifions si la contrainte de flexion qui s'exerce sur la toiture ne dépasse pas la limite élastique.

Calcul de  $\sigma_{flexion}$

$$\frac{w l^2}{12} = \frac{0,555 \times (2,5)^2}{12} = 0,286 \text{ KNm} = 286\,458 \text{ Nmm.}$$

$$\sigma_{fl} = \frac{286\,458}{S}$$

On avait, à la page 20, trouvé que

$$S = 9348 \text{ m}^3 / \text{m de largeur.}$$

Donc  $\sigma_p = \frac{286\,458}{9348} = 30,6 \text{ MPa}.$

On avait également trouvé que la contrainte de limite élastique  $\sigma_x = 44,7 \text{ MPa}$  (cf page 22)

On aura donc un facteur de sécurité de :

$$\frac{44,7}{30,6} = 1,5 \text{ ce qui est acceptable.}$$

Le toit aura une faible pente de 0,03% (pente double) dans la direction E-O, ce qui permettra un drainage longitudinal.

Le drainage transversal sera assuré par une pente de 2% dans la direction N-S.

Les deux schémas suivants illustre cette situation.

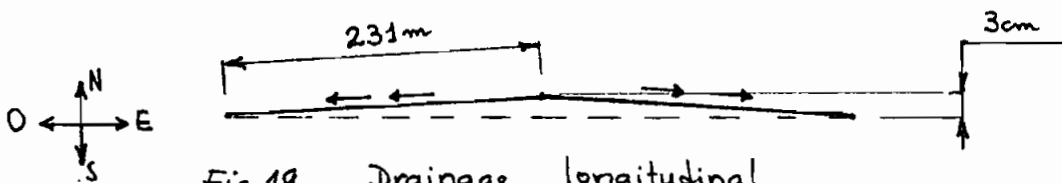


Fig 19 - Drainage longitudinal

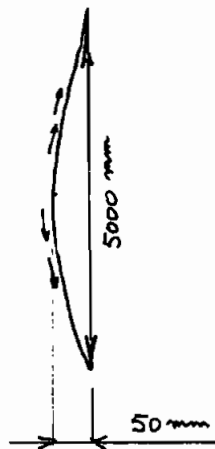


Fig 20 - Drainage transversal

L'unité se présente comme suit :

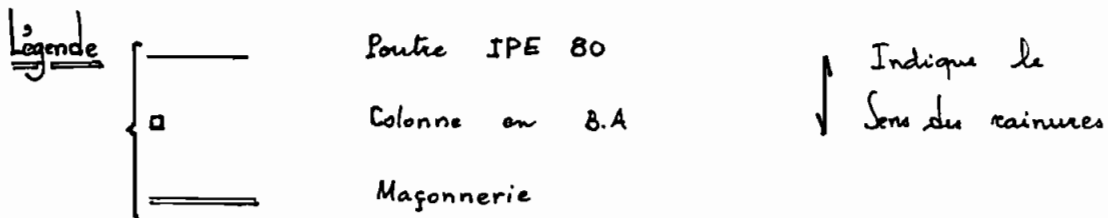
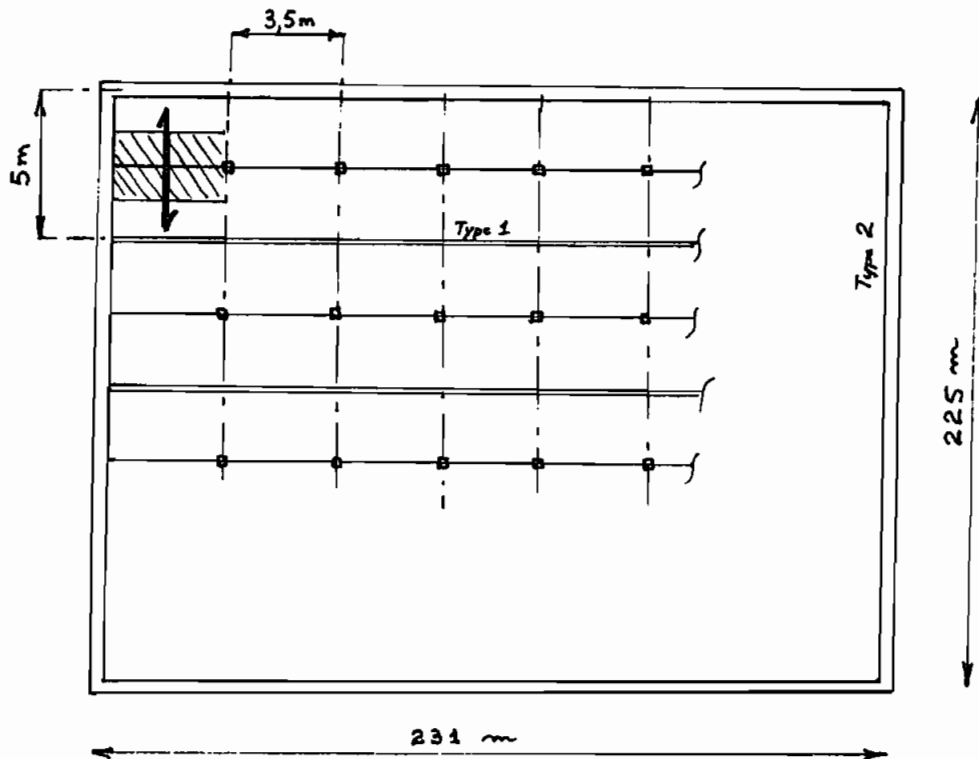


Fig 21 - Présentation Générale

### Vérification du déversement

On sait que le déversement peut être évité si l'aile en compression est supportée latéralement, c'est à dire si les supports latéraux sont suffisamment rigides et rapprochés pour vaincre la déformation latérale de la poutre.

Le coefficient  $\delta$  est défini par :

$$\delta = \gamma_0 + \frac{1}{2I_x} \left[ \gamma_2 \left( b_2 t_2 \gamma_2^2 + \frac{w \gamma_2^3}{4} + I_2 \right) - \gamma_1 \left( b_1 t_1 \gamma_1^2 + \frac{w \gamma_1^3}{4} + I_2 \right) \right]$$

Les paramètres de cette équation sont donnés à l'annexe V Page 59)

Mais les IPE 80 sont symétriquement doubles, d'où  $\gamma = 0$ .

Si on admet que, pour une charge uniforme, le coefficient d'uniformisation du moment,  $\omega$  est égal à 1,0, le moment ultime est donné par l'équation:

$$M_u = \frac{\kappa}{L} \left[ \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\kappa E}{L}\right)^2 I_y C_w} + \left(\frac{\gamma \kappa E I_y}{L}\right)^2 + \frac{\gamma \kappa E I_y}{L} \right]$$

où  $G = 77000 \text{ MPa}$  et  $E = 200000 \text{ MPa}$ .

Nous avons déjà énuméré deux hypothèses: moment fléchissant constant et section avec symétrie double. A cela il faut ajouter que les conditions de retenue aux points de support latéral doivent être des conditions d'appuis simples en flexion et en torsion. On supposera également que le point d'application des charges est situé au centre de torsion de la section.

Avec ces hypothèses on a:

$$M_u = \frac{\kappa}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\kappa E}{L}\right)^2 I_y C_w}$$

ou la version simplifiée:

$$M_u = \frac{S_x}{\omega} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

Pour notre cas

$$\bar{\sigma}_1 = \frac{140000}{Ld/A_f} = \frac{140000 b e}{Ld} = \frac{140000 \times 46 \times 5.2}{3500 \times 80}$$

$$\bar{\sigma}_1 = 119.6 \text{ MPa .}$$

$$\bar{\sigma}_2 = \frac{1700000}{(L/r_e)^2} \quad \text{avec} \quad r_e = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}} = \sqrt{\frac{46^2}{12}} = 13.279$$

$$\bar{\sigma}_2 = 24.47 \text{ MPa .}$$

$$M_u = \frac{20000}{1} \sqrt{119.6^2 + 24.47^2} \Rightarrow 2.44 \text{ KNm}$$

La charge que la poutre peut supporter est  $w_f$ .

$$w_f \leq \frac{8\phi M_u}{L^2} = \frac{8 \times 0.9 \times 2.44}{(3.5)^2} = 1.43 \text{ KN/m}$$

Le moment  $M_p = Z_x F_y = 23.2 \times 10^3 \times 230 \sim 5.336 \text{ KNm}$ .

$$\Rightarrow \frac{2}{3} M_p = \frac{2}{3} (5.336) = 3.557 \text{ KNm .}$$

$$M_u < \frac{2}{3} M_p \leadsto M_r = \phi M_u = 0.9 \times 2.44 = 2.196 \text{ KNm .}$$

$$M_f = \frac{w_f L^2}{8} = \frac{0.55 \times 3.5 \times 3.5^2}{8} = 2.11 \text{ KNm} < M_r \quad \underline{\text{OK.}}$$

Le moment auquel est soumis effectivement les poutres IPE 80 est inférieur au moment  $M_x$ . Cela nous permet de conclure que le design est acceptable. Nous avons un déversement élastique car  $M_u < \frac{2}{3} M_p$ .

## 1. Dimensionnement de la poutre de ceinture

Comme nous le remarquons sur le schéma de la page 36, nous avons un mur dit de type 1 et un mur dit de type 2. Ces murs sont de même épaisseur mais la différence dans l'appellation réside dans le fait qu'ils sont chargés différemment.

a) Évaluation du poids propre de la poutre à partir du critère de fléchissement.

$$h = \frac{1}{16} \text{ Portée} = \frac{1}{16} \times 5000 \approx 320 \text{ mm.}$$

$$b = h/2 = 320/2 \approx 160 \text{ mm.}$$

$$\text{Poids propre} = 0.32 \times 0.16 \times 24 = 1.3 \text{ KN/m.}$$

b) Choix de  $f$

$$f_b = \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = 0.0271.$$

c) Détermination des dimensions "b" et "d"

$$M_c = b d^2 K_u \quad \text{avec} \quad K_u = \phi f_y \left( 1 - \frac{0.59 f_y f_y}{f'_c} \right)$$

Faisons un design économique.

$$f = 0.375 f_b = 0.0102 \Rightarrow K_u = 3.318 \text{ MPa.}$$

$$\text{Faisons } b = 0.5d \quad M_c = 0.5d^3 K_u$$

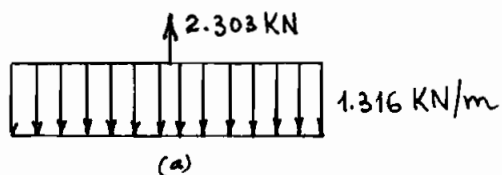
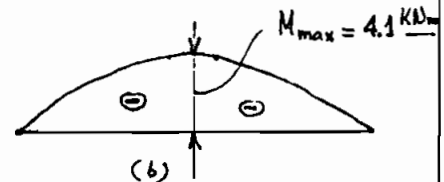


Fig 22



$$d = \sqrt[3]{\frac{M_c}{0.5 K_u}} = 135.2 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm.}$$

$b = 0.5d = 75 \text{ mm}$ , or pour des raisons d'ordre pratique le mur aura une épaisseur minimum de  $150 \text{ mm}$  (c'est à dire l'épaisseur des briques dont nous disposons). Donc  $b = 150 \text{ mm}$ .

d) Calcul de l'acier d'armature

$f = A_s / bd \Rightarrow A_s = fbd = 114.75 \text{ mm}^2$ . On a besoin de 2 barres  $\phi 10$ . Malheureusement les dimensions de notre poutre ne nous le permettent pas. Nous savons combien il est bon d'éviter l'utilisation d'une barre unique. Cependant, pour ce cas précis, nous sommes contraints de le faire. Nous utiliserons donc une seule barre de diamètre  $15 \text{ mm}$ .

Profondeur totale =  $d + \frac{1}{2} \phi_{\text{acier}} + \phi_{\text{étrier}} + \text{Protection} = 210 \text{ mm}$

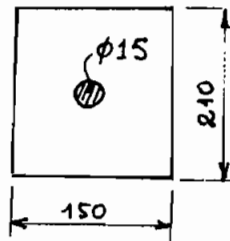


Fig 23 - Poutre

2. Design de la colonne

Il s'agit surtout dans cette partie de déterminer la quantité d'acier qu'il nous faut pour assurer la traction due au vent qui s'élève à  $9.712 \text{ KN/colonne}$ .

Pour IPE 80, le moment d'inertie  $I_x$  est égal à  $80.1 \text{ cm}^4$ , soit  $80.1 \times 10^4 \text{ mm}^4$ .



$$\text{Poutres : } \frac{0.5 E_c I_g}{l_u} = \frac{0.5 \times 5000 \sqrt{30} \times 80.1 \times 10^4}{(3500 - 150)} = 3.274 \times 10^6$$

$$\text{Colonne : } \frac{E_c I_g}{l_u} = \frac{5000 \sqrt{30} \times 150^4}{12(1000 - 80)} = 1.256 \times 10^9$$

$$\text{Colonne exterieur } \left. \begin{aligned} \varphi_A &= \frac{1.256 \times 10^9}{3.274 \times 10^6} = 384 \\ \varphi_B &= 0 \end{aligned} \right\} \rightarrow K = 2$$

$$\text{Colonne interieure } \left. \begin{aligned} \varphi_A &= \frac{1.256 \times 10^9}{2 \times 3.274 \times 10^6} = 192 \\ \varphi_B &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{K l_u}{r} > \frac{2 \times (1000 - 80)}{0.3 \times 150} = 40.89$$

40.89 > 22 : donc nous avons une colonne élançée.

### Calcul du facteur de majoration

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_d} = \frac{0.4 \times 5000 \sqrt{30} \times 150^4 / 12}{1 + \beta_d} = \frac{4.62 \times 10^{11}}{1 + \beta_d}$$

La charge  $P_u = 9.712 \text{ KN}$ .

Pour les colonnes intérieures

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{2} = \frac{4.62 \times 10^{11}}{2} = 2.31 \times 10^{11}$$

$$\text{Le poids critique } P_c = \frac{\pi^2 EI}{(K l_u)^2} = \frac{\pi^2 \times 2.31 \times 10^{11}}{(2 \times 925)^2}$$

$$P_c = 666 \text{ KN}$$

Le facteur de majoration  $\delta$  individuel est défini par :

$$\delta_{ind} = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \sum P_c}} = \frac{1}{1 - \frac{9.712}{0.7 \times 666}} = 1.02$$

Pour les colonnes extérieures, il n'est pas besoin de faire le calcul. En effet, quand  $K$  augmente, la charge critique  $P_c$  diminue ce qui entraîne une augmentation du facteur de majoration.

$$\delta_{colledif} = \frac{1}{1 - \frac{2 \times 9.712}{0.7 \times 2 \times 666}} = 1.02$$

#### Détermination de l'armature

$$\frac{P_u}{A_g} = \frac{9.712 \times 10^3}{(150)^2} = 0.43 \quad M_u = 0$$

Nous voyons d'après les diagrammes d'interaction des colonnes que le pourcentage d'acier requis demeure relativement faible. Nous opterons pour une colonne de  $150 \times 150$  avec une barre de diamètre 8 mm.

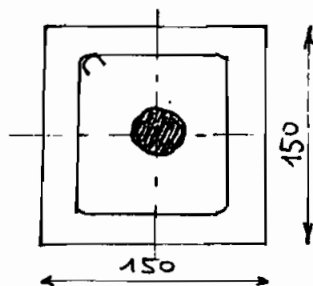


Fig 24 - Colonne

### 3. Design de la fondation

Les charges mortes pondérées s'exerçant vers le bas comporte le poids propre du mur et celui des IPE.

Le calcul nous donne une charge pondérée de  $7 \text{ KN/m}$ . Notre dimensionnement s'est donc fait avec les paramètres suivants :

- Charges mortes :  $7 \text{ KN/m}$ .

- Sol :  $210 \text{ KN/m}^2$  à  $1.25 \text{ m}$

- $f'_c = 20 \text{ MPa}$

- $f_y = 400 \text{ MPa}$

En estimant l'épaisseur de la semelle à  $0.15 \text{ m}$  et en considérant des poids unitaires de  $24 \text{ KN/m}^3$  et  $16 \text{ KN/m}^3$  pour le béton et pour le sol de fondation respectivement, nous aurons une largeur de semelle requise de  $b$  définie par :

$$b = 7 \text{ KNm}^{-1} / 189 \text{ KNm}^{-2} = 0.037 \text{ m} = 37 \text{ mm}.$$

Mais notre mur a déjà  $150 \text{ mm}$  de large; compte tenu de cette considération pratique on peut prendre  $b = 400 \text{ mm}$ .

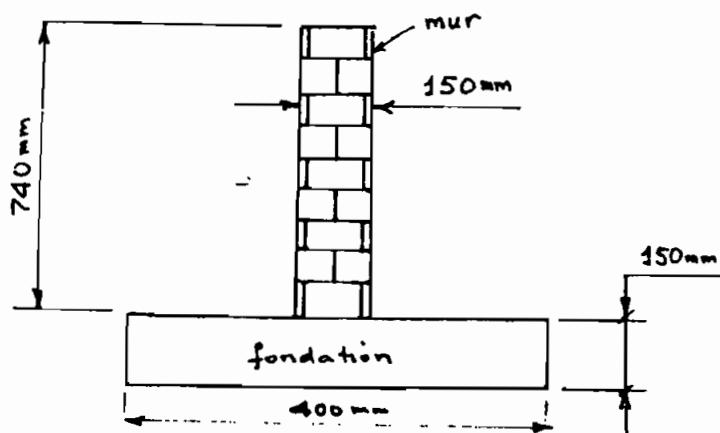


Fig 25 - Fondation

#### 4. Bassin

Il est difficile de réaliser un nivellement plan ayant des ondulations de moins de 2 cm d'amplitude. On constate pratiquement que les écarts dans la planéité du sol peuvent être du même ordre de grandeur que la profondeur d'eau désirée dans l'ouvrage. Aussi, avons-nous pensé qu'il fallait d'abord exécuter une couche-support à haut pouvoir drainant en béton maigre non armé de 10 cm d'épaisseur, qui assurera le respect des tolérances sur la planéité du fond de notre bassin, le protégera contre les sous-pressions et réduira dans une certaine mesure les pertes de chaleur vers le sol en profondeur.

Pour faire disparaître les inégalités superficielles de la couche-support nous pouvons épandre du sable fin, puis on appliquera sur tout le fond du bassin du bitume chaud sur une épaisseur de 3 mm.

La couche d'eau salée aura une épaisseur de 10 cm.

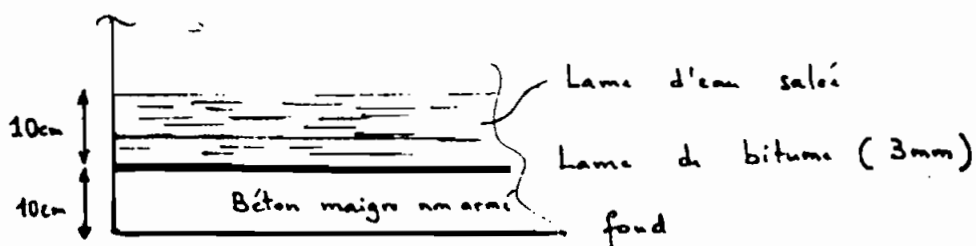


Fig 26

- Bassin

## CHAPITRE V ETUDE ECONOMIQUE

Les aspects économiques du dessalement sont très complexes. Les spécialistes reconnaissent qu'il est extrêmement difficile d'estimer et de comparer les prix de revient d'eaux dessalées pour les divers procédés. Certains estiment que, même en utilisant les méthodes de calcul normalisé de l'O.S.W (Office of Saline Water), on peut obtenir de grands écarts relatifs si l'on ne prend pas de grandes précautions.

### Méthode normalisée de l'O.S.W

pour l'estimation du prix de revient de l'eau dessalée

- Amortissement du matériel en 20 ans
- Taux d'intérêt de l'argent 3 à 4% (le taux pouvant être moindre s'il s'agit d'un prêt consenti par les pouvoirs publics).
- Prix de l'énergie électrique (en courant alternatif: 0.035 FF/KWH).
- Rétribution de la main d'œuvre : 12.50 FF/homme
- Charges annuelles d'entretien : 3% du capital initialement investi.
- Charges annuelles d'assurance : 1% du capital initialement investi
- Jours de travail effectif par an : 330

Pour notre étude nous aurons un amortissement sur quinze (15) ans compte tenu de la nature et de la durée de vie probable des matériaux utilisés. L'acier par exemple peut durer 30 ans mais le milieu étant corrosif il est plus prudent d'amortir sur 15 ans ou 20 ans.

### 1) Calcul de l'investissement initial I

Le périmètre total constitué par les murs est de 11538 m. Nous avons donc les coûts suivants :

- Béton de fondation à raison de 7000 FCFA/m<sup>3</sup> soit 4 845 960 FCFA + 460 688 FCFA pour les poteaux.

- Mur : 195 FCFA/m<sup>2</sup> soit 1 777 429 FCFA

- Acier : 600 F/kg en admettant que nous pouvons bénéficier d'une exonération de taxe ; cela devrait donc nous coûter en réalité seulement 552 FCFA, mais tenant compte du fait qu'il est galvanisé, nous avons pris, par souci de sécurité 600 F/kg, soit un coût de 37 422 000 FCFA

- Couverture : 2000 FCFA/m<sup>2</sup> soit un coût total de 103 950 000 FCFA.

L'investissement initial total s'élève donc à 148 456 077 FCFA.

### 2) Calcul du paiement annuel : $\bar{P}A$

Il peut se calculer par la formule suivante :

$$\bar{P}A = r \left[ 1 + \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n - 1} \right]$$

où le taux d'intérêt de l'argent  $r$  est pris égal à 3% conformément aux normes définies par l'O.S.W. On aura ainsi un paiement annuel de 4,38% ou 3,82% suivant qu'on amortit sur 15 ou 20 ans respectivement. Il est à noter que ce paiement est purement éventuel mais nous l'avons considéré par souci de précaution.

3) Coût de la maintenance et de la réparation annuelle  $\overline{MR}$  (en % de l'investissement)

L'O.S.W propose de prendre 1% pour notre cas.

4) Charge d'assurance et taxe annuel effectif

peut être négligé pour notre étude mais pour des raisons de prudence prenons le pourcentage émis par l'O.S.W soit 1% de l'investissement initial.

5) Main d'œuvre annuelle ( $LW$ )

$W$ : FCFA / homme / heure : salaire attribué à la M.O.

$L$ : homme - hre / an : main d'œuvre annuelle.

Les habitants peuvent eux même faire ce travail sans être rémunérés. A titre illustratif le coût d'opération d'une machinerie (usine) automatisée est estimé à environ 500 000 FCFA / an. Nous adopterons cette valeur pour notre système, ce qui nous permettra d'embaucher deux ouvriers à raison de 757,5 FCFA par jour chacun. Comme nous l'avons constaté

dans les chapitres précédents, notre unité comporte 90 compartiments, ce qui fera que les deux ouvriers auront à entretenir 3 compartiments par jour au moment où les 87 autres continuent leur fonctionnement normal.

6) Coût total fixe de l'eau salée (S)

Pour une unité de dessalement proche de la mer ce coût est estimé à 25 FCFA / 3785,4 l soit 6,6 FCFA/m<sup>3</sup>.

Sur la base de ces différents facteurs nous pouvons dresser le tableau suivant :

AMORTISSEMENT SUR 15 ans

• Investissement (I)	148 456 077
• Paiement annuel ( $\bar{P}A$ )	17 344 056
• Maintenance et réparation ( $\bar{M}R$ )	1 484 561
• Taxe annuel ( $\bar{T}A$ )	1 484 561
• Main d'œuvre (LW)	7 500 000
• Coût total fixe (S)	<u>6 792 093</u>

TOTAL

183 061 848 FCFA

Le volume total d'eau distillée pendant 15 ans sera de 1 029 105 m<sup>3</sup>.

Le coût du mètre cube d'eau dessalée sera alors de 178 FCFA. Ce coût est acceptable comparé aux coûts issus des systèmes existants qui peuvent aller parfois jusqu'à 250 FCFA. Entre autre il faudrait



remarque que ce calcul a été fait sur la base de 330 jours / an. En prenant 365 jours par an, on aura un coût de 161 FCFA / m<sup>3</sup>, n'incluant pas l'échangeur de chaleur. L'autre remarque est que nous pouvons bien nous permettre de prendre 365 j / an car le chiffre de 4 litres / m<sup>2</sup> et par jour est déjà une limite inférieure pour notre système. En effet nous estimons même obtenir jusqu'à 6 l / m<sup>2</sup> par jour.

Conclusion : Amortissement: 15 ans  $\Rightarrow$  161 FCFA / m<sup>3</sup>

### AMORTISSEMENT SUR 20 ans

• Investissement Initial (I)	148 456 077
• Paiement Annuel ( $\bar{P}A$ )	17 344 056
• Maintenance & Réparation ( $\bar{M}R$ )	1 484 561
• Taxes Annuels ( $\bar{T}A$ )	1 484 561
• Main d'Œuvre ( $L_w$ )	10 000 000
• Coût total fixe (S)	9 056 124
TOTAL	<u>187 825 379 FCFA</u>

soit un coût de 137 FCFA / m<sup>3</sup> dessalée ou en raisonnant sur 365 j / an 124 FCFA / m<sup>3</sup>.

Conclusion : Amortissement sur 20 ans  $\Rightarrow$  124 FCFA / m<sup>3</sup>

Nous constatons ainsi que même en incluant le coût de l'échangeur de chaleur notre coût restera concurrentiel.

## Conclusion - quant à l'aspect économique

Comme nous avons dû le constater le prix de revient du mètre cube d'eau dessalée dépend essentiellement de la capacité de production et donc de la taille de l'installation qui a une influence déterminante sur le coût de l'investissement initial.

Ce coût dépend, entre autres facteurs, du type de procédé, de la capacité de production et des frais de fonctionnement. De l'avis des chercheurs, la comparaison des différents prix de revient relatifs aux différents procédés n'est pas chose facile. En général, plus la taille de l'installation est grande, plus le prix de revient du mètre cube dessalé est bas. Cependant les investissements initiaux sont d'autant plus élevés. C'est dire qu'il y a un compromis à rechercher dans cette disparité d'influences antagonistes.

Par ailleurs, la consommation d'énergie pour une production donnée varie selon les procédés.

Dans le contexte sénégalais, un procédé de dessalement devant fonctionner à partir de l'énergie conventionnelle souffrirait énormément de la hausse progressive du coût de cette dernière. Cette considération de l'influence déterminante du coût de l'énergie sur celui du mètre cube d'eau dessalée nous a

fait penser à la nécessité d'un recours aux énergies renouvelables.

Ce recours est d'autant plus salubre qu'il permet une utilisation gratuite d'une énergie de fonctionnement, une diminution du coût du mètre cube dessalé et une alimentation de populations défavorisées par l'hydrogéomorphologie, à partir d'une eau déminéralisée.

## CONCLUSION



## RECOMMANDATIONS

Il apparaît très nettement qu'il n'existe pas de difficultés techniques pour l'obtention d'eau dessalée, à partir de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Le choix du procédé dépendra du site, de la nature de l'énergie disponible ou à créer, de la qualité technique du personnel disponible pour assurer son exploitation. Il est donc temps que l'eau de mer, ressource inépuisable puisse toujours être mobilisée par l'homme à son profit. Le prix de revient reste un facteur fort intéressant mais ne peut être déterminant lorsqu'on est en période de pénurie.

Le dessalement des eaux ne viendra pas concurrencer dans un avenir prévisible l'emploi d'eaux naturellement bonnes situées à une distance raisonnable du lieu d'emploi. On peut assurer cependant que dans un avenir très proche, aussi bien dans les régions en voie de développement que dans les régions développées, on sera inéluctablement conduit à faire appel à ces techniques pour faire en sorte que les ressources qui pour l'ensemble du monde commenceront à être insuffisantes dans moins d'un

siècle, soient complétées.

Comme nous l'avons dit tantôt, les études concernant le dessalement sont à la fois complexes et controversées. Par conséquent, notre projet constitue une première étude et ne peut se promettre d'être exhaustif. Le prototype sis à l'école permettra à coup sûr de mieux connaître le système en vue d'une exploitation optimum.

Une nouvelle phase du projet devrait être, sans nul doute, l'étude du traitement de l'eau dessalée. En effet celle-ci est biologiquement morte et privée non seulement de presque tous ses sels mais aussi de tous les oligo-éléments.

Annexe I

Tableau 1 - Consommation d'eau de différentes villes du Sénégal

Villes	Population en 1976 (Hbts)	Population en l'an 2000 (Hbts)	Consommation mensuelle eau en 1981 (m <sup>3</sup> /j)	Consommation journalière en 2000 (m <sup>3</sup> /j)	Consommation unitaire globale (l /Hbts/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	101595	3300	6000	69
Kaolack	106.899	320000	6000	27000	57
Ziguinchor	72.777	160 000	2400	12328	33
Tamba	34.700	90 480	934	6970	27
Diourbel	50.618	100 000	2200	6000	43
Tiroirane	17.351	34000	840	2400	48
Mbr. Joal	37.663	80000	4000	5280	50

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

*Vitesse maximale instantanée du vent en m/s . Exploitation météorologique*

Année	Mois											
	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	21	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

Annexe II (suite)

(a)

	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

(b)

	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	

Tableau 3

Vitesses moyennes des vents.

Période 1950 - 1970 - Observations



## Annexe III

Tambacounda	Irradiation globale Kw/h	Durée d'in- solation en h
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	251,5
<b>Total</b>	<b>1941,9</b> 5,3/jour	<b>3161,8</b> 8,66

x données 83

Ziguinchor	Irradiation globale (Kw/h)	Durée d'in- solation (h)
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	xx 105,9	166,8
Septembre	144,8	202,5
Octobre	138,5	235,7
Novembre	121,9	255,1
Décembre	115,3	252,5
<b>Total</b>	<b>1552,4</b> 4,3	<b>2905,2</b> 7,96

x données 83

xx valeur estimée

Louga	Irradiation globale (Kw/h)	Durée d'in- solation (h)
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
<b>Total</b>	<b>2058,0</b> 5,6	<b>3032,3</b> 8,3

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

Annexe IV

Tableau 5 — Valeurs moyennes de la période considérée.

Variation de la radiation globale horizontale ( $W/m^2$ ) à Dakar (valeurs moyennes sur 74-75-76-77-78-79-81)

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

Annexe V

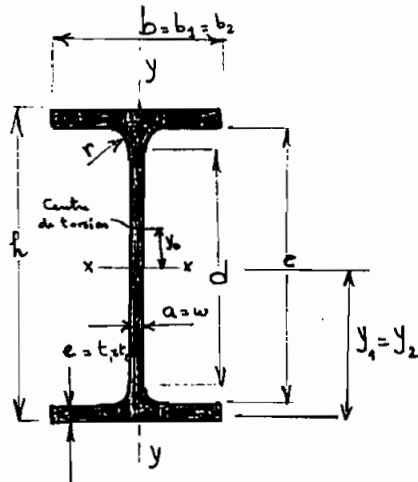


Fig 27 IPE 80

$I_x$ ( $cm^4$ )	$W_x$ ( $cm^3$ )	$i_x$ ( $cm$ )	$I_y$ ( $cm^4$ )	$W_y$ ( $cm^3$ )	$i_y$ ( $cm$ )	$W_{plx}$ ( $cm^3$ )	$W_{ply}$ ( $cm^3$ )	$J_t$ ( $cm^4$ )	$C_m \times 10^{-2}$ ( $cm^6$ )	$i_T$ ( $cm$ )
80.1	20.0	3.24	8.49	3.69	1.05	23.2	5.82	0.698	0.118	1.20

$h$ ( $mm$ )	$b$ ( $mm$ )	$a$ ( $mm$ )	$e$ ( $mm$ )	$r$ ( $mm$ )	$F$ ( $cm^2$ )	$G$ ( $kg/m$ )	$c$ ( $mm$ )	$d$ ( $mm$ )	$F_a$ ( $cm^2$ )	$U$ ( $m^2/m$ )
80	46	3.8	5.2	5	7.64	6.0	69.6	59.6	2.64	0.328

Tableau 6 - Caractéristiques des IPE 80

F: section d'acier

G: poids par mètre courant.

$F_a$ : section de l'âme  $F_a = c a = (d + 2r_s) a$

U: surface à peindre par mètre courant.

I: moment d'inertie (indice x ou y suivant l'axe)

W: module de flexion élastique "

i: rayon de giration "

$W_{pl}$ : module de flexion plastique "

Annexe V (suite)

$J_t$  : moment d'inertie de torsion

$$J_t = \frac{2}{3} \left( b - 0,63e \right) e^3 + \frac{1}{3} (h - 2e) a^3 + 2 \frac{a}{e} \left( 0,145 + 0,1 \frac{r}{e} \right) \left[ \frac{\left( r + \frac{a}{2} \right)^2 + (r+e)^2 - r^2}{2r+e} \right]^4$$

pour les poutrelles en double T.

$C_m$  : facteur de gauchissement (par rapport au centre de cisaillement).

$$C_m = \frac{eb^3}{24} (h-e)^2 \text{ pour les double T.}$$

$i_T$  : rayon de giration autour de l'axe  $yy$  d'une section en T formée de la semelle comprimée, des congés de raccordement et d'un tiers de la partie comprimée de l'âme.

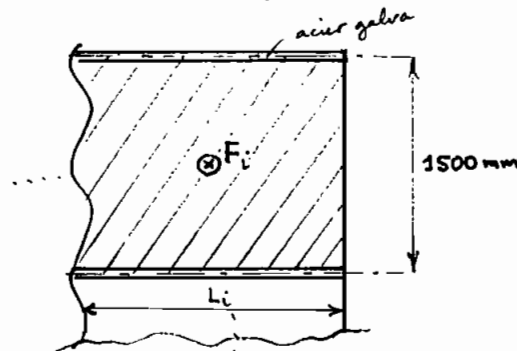
Annexe VI : Pressions extérieures

Angle $\alpha$	Pression extérieure $P_e$
30°	0.0925 KN/m <sup>2</sup>
45°	-0.6475 "
60°	-1.11 "
75°	-1.48 "
90°	-1.57 "
105°	-1.11 "
120°	-0.6475 "
135°	-0.4625 "
150°	-0.37 "
165°	-0.37 "
15°	0.74 "

Tableau 7

Pressions extérieures

NB. Ce tableau n'est qu'une illustration. En effet, nous avons pris des points beaucoup plus rapprochés en découpant davantage l'arc de cercle en plusieurs zones (voir listing informatique ci-joint). Dans ce listing, on pourra lire, en un point donné sur l'arc de cercle, la force exercée par le vent ou N.



$L_i$ : Longueur de l'arc définissant une bande.

Fig 28 - Vue de dessus d'une portion de la couverture

Annexe VII - Calculs

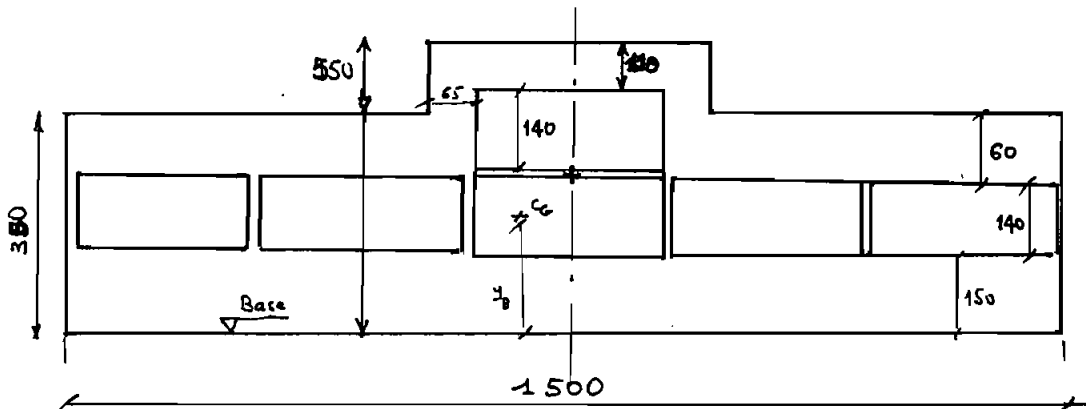


fig 29 - Semelle filante

Semelle de largeur 350 mm et d'épaisseur 170 mm.

On a  $I_{xx} = 8.915 \text{ EG mm}^4$

$y_b = 201,2 \text{ mm}$

Aire =  $586,500 \text{ mm}^2$ .

Poids de la semelle  $\frac{586,500 \times 170}{1000^2} \times 24 = 2.4 \text{ KN}$ .

Moment de débalancement :

$1,8 \times (290 - 201) + 3.36 (220 - 201) = 160 + 64 = 224 \text{ KNmm}$ .

Moment de renversement :  $0.36 \times 1.2 = .432 \text{ KNm}$ .

Vent sur le mur :  $.74 \times .7 = .518$

soit au total  $.950 \text{ KNm}$

GG des forces verticales

$\frac{1.8 \times 290 + 3.36 \times 220 + 2.4 \times 201}{7.6} = 230$

7.6

Moment de balancement des charges verticales

$7.6 (230 - 201) = 220 \text{ KN.mm}$

$\Delta = 950 - 220 = 730 \text{ KNmm}$ .

Annexe VII (Suite)

Stabilité

En utilisant une bande de 160 mm on aura :

$$7.6 - .35 (230 - 100/2) = 1.305 \Rightarrow \text{facteur de sécurité}$$
$$\text{-au renversement} = \frac{1.305}{.730} = 1.8 > 1.5 \text{ OK.}$$

Compression au sol

$$7250 \text{ N} / 100 \times 1500 = 0.048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = .048 \text{ MPa} = 48 \text{ kPa} < 200 \text{ OK}$$

NB. Pour des raisons d'ordre pratique, nous avons construit une semelle continue et non une semelle filante pour le prototype.

INPUT

Dimensions . . . . . mm  
 Section . . . . . mm<sup>2</sup>  
 E . . . . . N/mm<sup>2</sup>  
 Inertia . . . . . mm<sup>4</sup>  
 Forces exterieures . . . . . N

CALCUL REACTIONS

Problem Name: DESAL

NODE COORDINATES:

NODE #	X COORD.	Y COORD.	Z COORD.
1	-2.90000E+03	1.09600E+03	0.00000E+00
2	-2.80000E+03	1.33000E+03	0.00000E+00
3	-2.57600E+03	1.72500E+03	0.00000E+00
4	-2.27400E+03	2.10600E+03	0.00000E+00
5	-2.00000E+03	2.36800E+03	0.00000E+00
6	-1.70200E+03	2.59100E+03	0.00000E+00
7	-1.34900E+03	2.79100E+03	0.00000E+00
8	-9.53000E+02	2.95000E+03	0.00000E+00
9	-6.02000E+02	3.04100E+03	0.00000E+00
10	-2.00000E+02	3.09400E+03	0.00000E+00
11	2.00000E+02	3.09400E+03	0.00000E+00
12	6.02000E+02	3.04100E+03	0.00000E+00
13	9.53000E+02	2.95000E+03	0.00000E+00
14	1.34900E+03	2.79100E+03	0.00000E+00
15	1.70200E+03	2.59100E+03	0.00000E+00
16	2.00000E+03	2.36800E+03	0.00000E+00
17	2.30000E+03	2.07800E+03	0.00000E+00
18	2.70000E+03	1.52200E+03	0.00000E+00
19	2.90000E+03	1.09600E+03	0.00000E+00



Annexe VIII (suite)

MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	G	J	IY	IZ
1	6.54000E+02	2.00000E+05	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.57000E+05

PROBLEM GEOMETRY:

ELEMENT #	MAT #	NODE #1	NODE #2	NODE #3	NODE #4	ANGLE OF ROLL
1	1	1	2	0	0	0.00000E+00
2	1	2	3	0	0	0.00000E+00
3	1	3	4	0	0	0.00000E+00
4	1	4	5	0	0	0.00000E+00
5	1	5	6	0	0	0.00000E+00
6	1	6	7	0	0	0.00000E+00
7	1	7	8	0	0	0.00000E+00
8	1	8	9	0	0	0.00000E+00
9	1	9	10	0	0	0.00000E+00
10	1	10	11	0	0	0.00000E+00
11	1	11	12	0	0	0.00000E+00
12	1	12	13	0	0	0.00000E+00
13	1	13	14	0	0	0.00000E+00
14	1	14	15	0	0	0.00000E+00
15	1	15	16	0	0	0.00000E+00
16	1	16	17	0	0	0.00000E+00
17	1	17	18	0	0	0.00000E+00
18	1	18	19	0	0	0.00000E+00

NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2	5.75000E+01	-2.73000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	2.24000E+01	-1.50000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	-1.32000E+01	1.22000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	-2.90000E+01	3.40000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	-3.29000E+01	5.00000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	-3.13000E+01	6.48000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	-2.58000E+01	7.99000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	-1.75000E+01	8.83000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	-6.00000E+00	9.28000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	5.60000E+00	8.68000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	1.40000E+01	7.06000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.20000E+01
13	1.84000E+01	5.70000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
14	1.96000E+01	4.05000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
15	2.00000E+01	3.00000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
16	2.13000E+01	2.52000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
17	2.00000E+01	1.81000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
18	4.70000E+01	2.65000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

Annexe VIII (suite)

NODE RESTRAINTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ	VALUE
1	1	1	0	0	0	0	0.00000E+00
19	1	1	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	-4.63669E+02	1.93830E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.25000E-02
	2	4.63669E+02	-1.93830E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.93244E+04
2	2	-4.77813E+02	7.72922E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.93243E+04
	3	4.77813E+02	-7.72922E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.44238E+04
3	3	-4.81832E+02	-2.39621E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.44241E+04
	4	4.81832E+02	2.39621E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.27745E+04
4	4	-4.75109E+02	-7.18378E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.27746E+04
	5	4.75109E+02	7.18378E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.55427E+04
5	5	-4.65874E+02	-8.38537E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.55429E+04
	6	4.65874E+02	8.38537E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.43324E+04
6	6	-4.55503E+02	-8.24476E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.43325E+04
	7	4.55503E+02	8.24476E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.91210E+04
7	7	-4.45360E+02	-7.06283E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.91211E+04
	8	4.45360E+02	7.06283E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.92574E+04
8	8	-4.37604E+02	-4.31510E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.92575E+04
	9	4.37604E+02	4.31510E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.49056E+04
9	9	-4.34845E+02	-6.50822E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.49052E+04
	10	4.34845E+02	6.50822E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.75447E+04
10	10	-4.36219E+02	2.95092E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.75439E+04
	11	4.36219E+02	-2.95092E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.57400E+04
11	11	-4.42121E+02	5.90314E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.57399E+04
	12	4.42121E+02	-5.90314E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.18058E+04
12	12	-4.50165E+02	7.63688E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.18178E+04
	13	4.50165E+02	-7.63688E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.12550E+03
13	13	-4.60352E+02	7.79702E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.12581E+03
	14	4.60352E+02	-7.79702E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.91500E+04
14	14	-4.69578E+02	6.08469E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.91500E+04
	15	4.69578E+02	-6.08469E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.38377E+04
15	15	-4.75463E+02	3.68591E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.38377E+04
	16	4.75463E+02	-3.68591E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.75637E+04
16	16	-4.78541E+02	9.76196E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.75637E+04
	17	4.78541E+02	-9.76196E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.16383E+04
17	17	-4.75665E+02	-4.86717E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.16383E+04
	18	4.75665E+02	4.86717E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.83067E+04
18	18	-4.62626E+02	-8.13983E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.83067E+04
	19	4.62626E+02	8.13983E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

(systeme local)

Annexe VIII (Suite)

systeme global

NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ (ri)
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.71250E-03
2	3.85490E-01	-1.63758E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.51263E-03
3	8.09503E-01	-4.02304E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.45528E-04
4	7.80902E-01	-3.77348E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.71445E-04
5	5.05234E-01	-8.70617E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.38569E-03
6	1.50844E-01	3.88731E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.74056E-03
7	-2.00149E-01	1.01110E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.70962E-03
8	-4.39119E-01	1.61017E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.24499E-03
9	-5.22616E-01	1.93706E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.85815E-04
10	-5.29816E-01	2.00199E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.69368E-04
11	-5.28482E-01	1.73218E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.05462E-03
12	-5.99362E-01	1.18407E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.61987E-03
13	-7.57430E-01	5.69411E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.82740E-03
14	-1.03907E+00	-1.36055E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.65736E-03
15	-1.32098E+00	-6.36577E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.12122E-03
16	-1.49272E+00	-8.68344E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.01704E-04
17	-1.47532E+00	-8.52538E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.23175E-04
18	-8.15934E-01	-3.81229E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.72230E-03
19	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.00937E-03

NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	-3.60445E+02	-3.50198E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
19	2.70288E+02	-3.84178E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## BIBLIOGRAPHIE

1. J.R. Vaillant , les problèmes du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres . Editions Eyrolles , 1970 .
2. Cyril GOMELLA , La soif du monde et le dessalement des eaux . Collection Henri Laugier . Paris 1966 .
3. J.R. Vaillant , Accroissement et gestion des ressources en eau . Editions Eyrolles , 1977 .
4. Comité associé du Code national du bâtiment . Conseil national de recherches du Canada , Supplément du code national du bâtiment . Ottawa 1980 .
5. E. EICHENBAUM , Distillation multiples effets : technique , -couplage photothermique . Cadarache , septembre 84 .
6. Picard et Beaulieu , Calcul aux états limites des charpentes d'acier . ICCA , -août 1981 .
7. Mc GILL : Thomas Anthony Lawand , Engineering and economic evaluation of solar distillation for small communities . Quebec , 1968 .
8. S.G. Gilbert , J.A. Eibling , G.O.G. Lof , Solar distillation of saline water to office of saline water united states department of the interior , january 1970 .
9. Ro. Olivier , Distillateur solaire CERER en service

BIBLIOGRAPHIE (suite)

- au CNRA de Bamby. Collection: Etudes techniques du CNRA, juillet 83.
10. CEA, Sun-powered reverse osmosis desalination units
  11. Ecole Polytechnique Québec, notes de cours de béton armé I et II.
  12. E. G. Collier et J. F. Fulton, water desalination. Inland Waters Branch ... Ottawa 1967.
  13. Mansour A. Mohamed, field test of different basin. Waterproofing Materials for simple solar water distiller. NRC, Baire
  14. G. N. Civarri et G. A. M. Selim, double slope fibre reinforced plastic ... Octobre 84.
  15. J. L. Clark, Abbott, Meeks et Douglas, solar still performance under a solar simulator USA.
  16. B. A. Bolto, the development of desalination in Australia CSIRO, juillet 84.
  17. J. P. Gerofi et G. Fenton, A simple, more accurate criterion for economic evaluation of desalination projects. Australie, 25 Décembre 83.
  18. Gerofi, Fenton et Mannik, solar-driven case. Université de Sidney, 1981.
  19. Civarri et Garg, Studies on various designs of solar distillation systems. New Delhi, 15 juin 84.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

20. A. B. Bhoshaim, 200 m<sup>2</sup>/day solar sea water desalination pilot plant. *Arabic saoudite*, j<sup>t</sup> 85.