



école polytechnique de thiès

Gm. 0435

**PROJET
DE
FIN D'ETUDES**

titre : DESSALEMENT DE L'EAU DE MER

auteur : Matar TOURE

génie : MECANIQUE

date : Mai 1979

SUJET

Gm. 0435

DESSALEMENT

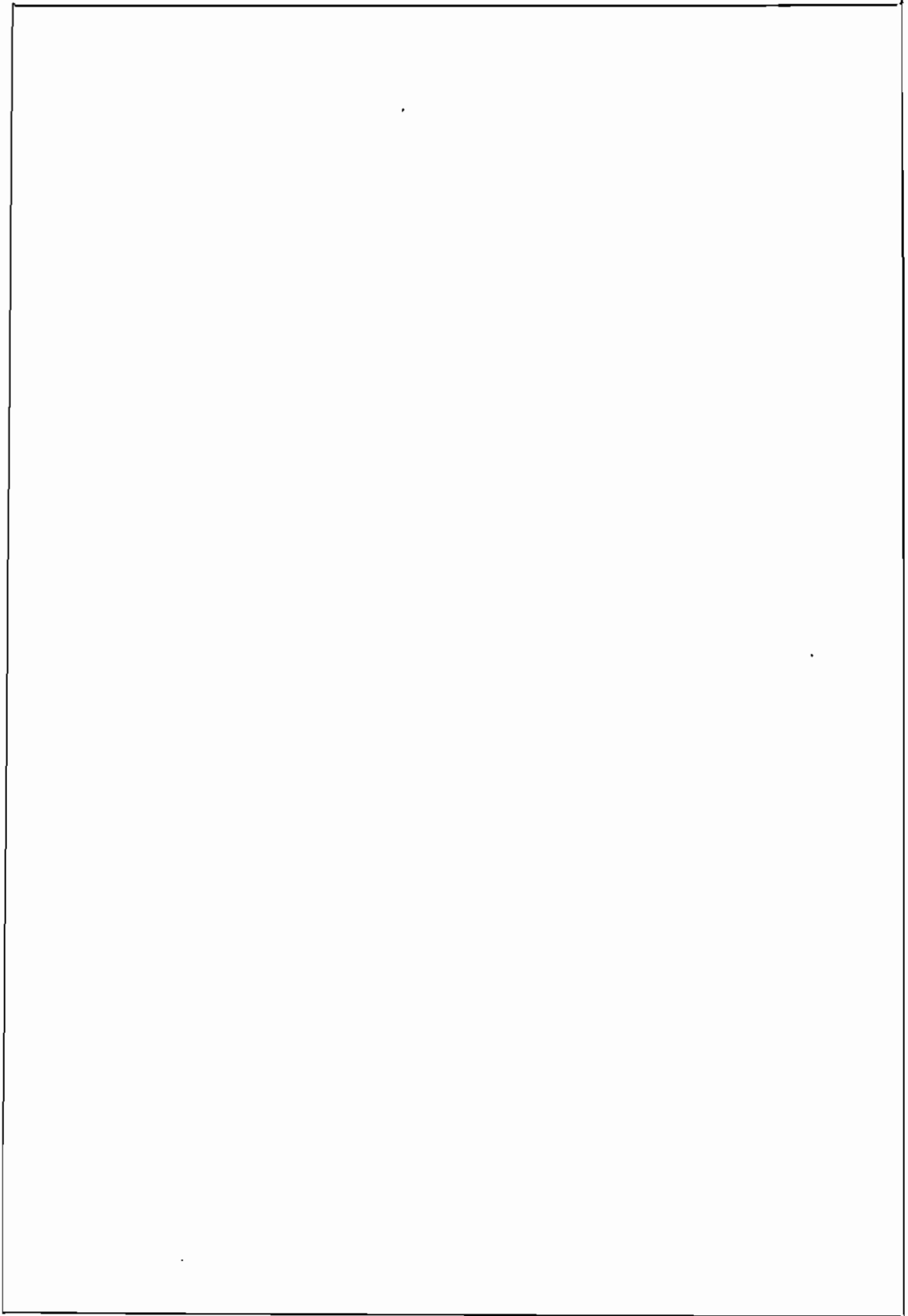
DE

L'EAU DE MER

 École polytechnique
de thès

Auteur : Matar TOURE

Date : mai 1979



Nous remercions monsieur Petiteau pour l'aide précieuse qu'il n'a cessé de nous accorder durant tout le temps qu'a duré notre travail.

Nous remercions également messieurs Madon et Guenec de l'Institut de Physique Météorologique pour toute la documentation qu'ils ont mise à notre disposition.

Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet.

SOMMAIRE

Ce projet a trait à la conception d'une installation de dessalement de l'eau de mer.

Le travail est divisé en deux parties :

- la première partie consiste en une recherche bibliographique sur le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres, plus particulièrement sur la distillation solaire. Dans cette partie, nous avons d'abord défini le problème, c'est-à-dire les notions d'eau de mer, de saumure et d'eau déminéralisée, puis nous avons fait une étude sur les principaux procédés de dessalement utilisant l'énergie solaire.

- la deuxième partie concerne la conception proprement dite d'un distillateur solaire pouvant produire $10 \text{ m}^3/\text{jour}$, c'est-à-dire la constitution et l'étude des échanges thermiques qui s'y produisent.

TABLE DES MATIERES

. INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : Etude bibliographique sur le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres.	3
. CHAPITRE I : Salinités à exiger des eaux dessalées et salinités de l'eau de mer ou des eaux saumâtres.	4
I Remarques concernant la terminologie.	
II Limite de salinité pour une eau potable.	
III Salinité maximale à exiger, selon l'usage prévu, pour une eau déminéralisée.	5
IV Composition et salinité de l'eau de mer.	6
V Salinité des eaux saumâtres.	7
VI Les deux grandes catégories d'eau à dessaler.	8
. CHAPITRE II : Procédés de dessalement.	9
I Généralités sur le rayonnement solaire.	
II Distillation solaire.	12
A. Distillation solaire par effet de serre.	13
B. Distillation thermique avec chaudière solaire.	21

741, 365.

E. P. & C. S.

DEUXIEME PARTIE : Conception d'une installation de dessalement d'eau de mer. 23

. CHAPITRE III : Choix du type de distillateur 24

 I Exposé du problème.

 II Valeurs du rayonnement solaire au Sénégal. 26

 III Type de distillateur choisi

. CHAPITRE IV : Constitution de l'installation. 28

 I Surface nette d'évaporation de l'installation.

 II Principales parties de l'installation. 31

 III Systèmes de stérilisation, de filtration et de refroidissement de l'eau distillée. 34

. CHAPITRE V : Echanges thermiques dans le distillateur. 36

 I Fonctionnement de jour.

 II Fonctionnement de nuit. 40

. DISCUSSION ET CONCLUSION 42

. BIBLIOGRAPHIE 44



École polytechnique de Niamey

INTRODUCTION

Le gigantesque alambic que constituent la mer, l'atmosphère et le soleil est sans aucun doute capable de fournir de l'eau douce en quantité plus que suffisante à la population entière portée par notre planète. Et pourtant, certaines régions du globe manquent complètement d'eau douce. Il faut en chercher la raison dans l'inégale répartition des précipitations qui peut se traduire par la plus extrême sécheresse.

Pour alimenter en eau les populations de ces régions désertées, il faut faire appel à toutes les ressources disponibles et notamment à l'eau de mer que l'on déminéralise pour la rendre potable.

C'est ainsi que depuis une vingtaine d'années, devant les besoins croissants en eau douce et l'impossibilité de se contenter de ressources naturelles, l'humanité est conduite à étudier et appliquer divers procédés de dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres, dans des conditions admissibles au point de vue économique.

Dans les régions arides sans grandes ressources en eau douce superficielles ou souterraines, l'eau de mer ou les eaux saumâtres dessalées apparaissent à la plupart des gens comme la suprême ressource.

Même dans les régions tropicales, zone où est situé notre pays, le Sénégal, certaines personnes se demandent s'il ne vaut pas mieux construire sur un littoral une usine de dessalement d'eau de mer plutôt que de recourir à un captage très lointain d'eau souterraine ou d'eau superficielle, avec une adduction de grande longueur.

C'est ce qui nous a amené à choisir comme sujet de projet de fin d'études une usine de dessalement d'eau de mer pouvant produire en moyenne 10 m^3 par jour, usine aux capacités limitées certes, mais qui peut constituer un prélude à un vaste programme d'étude de dessalement dans notre pays.

PREMIERE PARTIE

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE
SUR LE DESSALEMENT
DE L'EAU DE MER
OU DES EAUX SAUMATRES

CHAPITRE I

SALINITES A EXIGER DES EAUX DESSALEES ET SALINITES DE L'EAU DE MER OU DES EAUX SAUMATRES

I REMARQUES CONCERNANT LA TERMINOLOGIE

L'expression "sels dissous" s'applique à l'ensemble des sels de sodium et de potassium et des sels alcalino-terreux (chlorures, sulfates, carbonates ou bicarbonates).

Les expressions "teneur en sels dissous" ou "salinité" sont équivalentes. Aux Etats-Unis, on évalue la salinité en p.p.m (parts per million). En France, on l'évalue soit en p.p.m (parties par million), soit en grammes ou milligrammes par litre.

1 p.p.m représente 1 mg par 1000 g d'eau saline. Ce n'est pas exactement 1 mg par litre d'eau saline, mais l'écart est très faible.

II LIMITE DE SALINITE POUR UNE EAU POTABLE.

Une forte concentration en chlorures rend l'eau absolument inutilisable pour la boisson; les sulfates

la rendent laxative.

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 (ou encore 500 mg/l).

D'autre part, les normes internationales O.M.S de 1965 limitent à 500 p.p.m. la teneur d'une eau saline en sels dissous, pour que cette eau soit acceptable pour les usages domestiques; toutefois, elle tolèrent à la rigueur jusqu'à 1500 p.p.m. en considérant alors que la potabilité de l'eau est nettement diminuée.

III SALINITE MAXIMALE A EXIGER, SELON L'USAGE PREVU, POUR UNE EAU DEMINERALISEE.

On peut tolérer approximativement les teneurs suivantes en sels: pour les usages domestiques, jusqu'à 0,5 g/l; pour certains besoins industriels, parfois jusqu'à 1 g/l ou au delà; pour les irrigations, souvent jusqu'à 1 g/l, et dans certains cas, bien au delà.

IV COMPOSITION ET SALINITE DE L'EAU DE MER

L'eau de mer est un liquide dont la composition est extraordinairement variée, puisqu'on y trouve une cinquantaine de corps simples, dont certains, il est vrai, ne sont présents qu'à l'état de traces.

Mais, c'est la teneur de l'eau de mer en sels qui nous intéresse ici. Le sel prédominant est le chlorure de sodium (environ 27 g/l). Il y a aussi du chlorure de magnésium (environ 3,8 g/l), du sulfate de magnésium (environ 1,7 g/l), du sulfate de calcium (environ 1,3 g/l), du sulfate de potassium (environ 0,8 g/l), du carbonate de calcium (environ 0,1 g/l), du bromure de magnésium (environ 0,08 g/l). En additionnant les tenues ci-dessus, on trouve environ 35 grammes de sel par litre, mais en réalité, il faut considérer que, d'une façon générale, l'eau de mer contient 35 à 42 g/l de sels minéraux dissous, la salinité étant différente selon les mers.

La salinité de diverses mers, en grammes par litre, est la suivante : Mer Méditerranée de 36 à 39 ; Mer Rouge, environ 40 ; Océan Indien 35,5 ; Océan Atlantique, 36 ; Mer Baltique, en moyenne 7.

Dans une même mer, d'ailleurs, la salinité diffère d'un point à un autre.

V SALINITE DES EAUX SAUMATRES

Généralement, on appelle "eau saumâtre" une eau saline non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer.

Les eaux de certaines nappes superficielles ou souterraines peuvent être salées, avec des salinités très diverses. Les eaux des lagunes, plus ou moins en communication avec la mer, peuvent présenter une salinité très élevée. On trouve aussi à l'intérieur des continents des lacs d'eau salée.

Si d'autre part, on examine le cas des eaux souterraines, chargées de sels qu'on trouve dans différentes régions du monde, on constate que leurs salinités sont très diverses et comprises entre 2 grammes environ et quelques centaines de grammes par litre. Mais, ce sont les eaux saumâtres les moins chargées en sels qui sont les plus abondantes, et la question de dessalement de ces eaux se pose essentiellement pour celles dont la salinité est comprise entre 2 et 10 g/l, et le plus souvent entre 2 et 5 g/l.

D'autre part, les eaux de drainage peuvent présenter 4 g/l de sels ou davantage.

VI LES DEUX GRANDES CATEGORIES D'EAU

A DESSALER

Les problèmes du dessalement concernent donc deux catégories d'eau salines bien différentes : d'une part, l'eau de mer, avec une salinité de l'ordre de 35 g/l ; d'autre part, des eaux saumâtres avec une salinité généralement inférieure à 10 g/l.

CHAPITRE II

PROCEDES DE DESSALEMENT

On compte dans le monde plus de six cent demandes de brevets concernant les procédés ou les détails d'appareillages pour le dessalement.

On pourrait classer ces procédés en tenant compte de la forme, ou phase (vapeur, solide ou liquide) sous laquelle l'eau douce est séparée. Parmi ces procédés, celui qui est le plus fréquemment utilisé est distillation.

La distillation se subdivise elle-même en distillation avec apport artificiel d'énergie thermique, et distillation solaire, avec apport naturel d'énergie rayonnante.

Dans cette étude, nous n'aborderons que la distillation solaire puisque, d'une part, l'énergie solaire est gratuite et d'autre part, notre pays, se trouvant dans la zone tropicale, est largement favorisé dans ce domaine.

I GENERALITES SUR LE RAYONNEMENT SOLAIRE

On appelle "constante solaire" la quantité de chaleur

que le soleil envoie, par centimètre carré et par minute, à travers une surface normale aux rayons située hors de l'atmosphère terrestre, à la distance moyenne de la Terre au soleil. La valeur moyenne de cette constante est de $1,94 \text{ cal/cm}^2/\text{mn}$, soit $1,35 \text{ kW/m}^2$.

Mais, à la traversée de l'atmosphère terrestre, une partie du rayonnement solaire est absorbée par la couche d'air et de vapeur d'eau entourant le globe et se transforme en radiation atmosphérique obscure, en relation avec la température des masses atmosphériques. Une autre fraction est dispersée par les molécules de l'atmosphère et engendre la radiation solaire diffuse. Enfin, le reste de la radiation solaire parvient directement à la surface de la Terre : c'est la radiation solaire directe.

On désigne sous le nom de radiation globale l'ensemble de la radiation d'origine solaire qui parvient directement au globe sur une surface horizontale. Elle est donc égale à l'ensemble de la radiation solaire directe et de la radiation solaire diffusée par l'atmosphère (c'est à dire du ciel et des nuages). En

en lieu donné, elle subit des variations diurnes et saisonnières.

En remplaçant le terme radiation par le terme énergie, on est amené à considérer l'énergie globale parvenant au globe sur une surface horizontale.

Comme valeur de l'énergie globale dans les régions subtropicales, tropicales ou équatoriales, on peut admettre 1,3 à 1,4 cal/cm²/mn, c'est-à-dire 13 à 14 Kcal/m²/mn, au cours des heures les plus chaudes de la journée. En d'autres régions, en zone tempérée, l'énergie globale a pour valeur 10 à 13 Kcal/m²/mn aux heures les plus chaudes.

Mais l'énergie globale varie selon la latitude, la saison, l'heure de la journée, la nébulosité. Pour un grand nombre de points du globe compris entre les latitudes (Nord ou Sud) 20° et 45°, l'énergie globale journalière a comme valeur minimale 2 à 5 KWh/m²/j, comme valeur maximale 6 à 8,5 KWh/m²/j, et comme valeur moyenne annuelle 4 à 6,5 KWh/m²/j (ou encore 3500 à 5600 Kcal/m²/j).

II DISTILLATION SOLAIRE

Dans la distillation solaire, il faut distinguer deux catégories de procédés : la distillation solaire par "effet de serre" et la distillation solaire par application d'un des procédés industriels de distillation thermique, la vapeur étant produite non pas par une chaudière classique, mais par une chaudière solaire.

À la première catégorie se rattachent des installations d'une superficie allant du mètre carré à quelques milliers de mètres carrés et ne dépassant pas un hectare ou à la rigueur quelques hectares, en vue de l'obtention de quantités d'eau distillée très modérées convenant pour une famille, un village ou très exceptionnellement une petite ville de quelques milliers d'habitants. Ainsi, la distillation solaire peut être intéressante pour alimenter en eau potable de petites collectivités isolées, de 200 à 2000 habitants comme celles qui existent dans le Sud de l'Espagne, dans les îles grecques, en Polynésie et dans beaucoup d'autres régions du monde.

D'autre part, si l'on a besoin d'au moins quelques

dizaines de mètres cubes par jour et si l'on veut appliquer un procédé industriel de distillation nécessitant de la vapeur de chauffage, on pourra recourir à une chaudière solaire.

A. DISTILLATION SOLAIRE PAR EFFET DE SERRE

1. Principe du procédé

Le principe du procédé est fondé sur une observation faite par les jardiniers. Dans un châssis de jardin, 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 du verre) de la vapeur d'eau dégagée par les plantes enfermées dans le châssis. C'est ce qu'on appelle "l'effet de serre". Les gouttes d'eau glissent ensuite jusqu'au bord intérieur du vitrage, et peuvent être recueillies dans une petite gouttière.

S'il y a sur le bord du châssis, au lieu de plantes, une lame d'eau de mer ou d'eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur, cette eau s'évapore sans ébullition, l'air de l'intérieur

du châssis est surchauffé et saturé de vapeur d'eau, et celle-ci se condense comme il est dit plus haut. La petite gouttière qui recueille les gouttes d'eau est reliée par un tube à un récipient qui se remplit ainsi peu à peu d'eau distillée.

Il s'agit là d'un procédé qui peut être appliqué non seulement à la distillation des eaux chargées de sels, mais aussi à l'extraction de l'eau de la vase, de la terre ou du sable humide, ou encore des végétaux.

Dans ce procédé, les phénomènes qui interviennent sont les suivants. L'énergie rayonnante de faible longueur d'onde traversant le vitrage est absorbée, en grande partie, par l'eau et le fond du bac (moins dans les appareils modernes). Cette énergie est convertie en énergie thermique, et le rayonnement de grande longueur d'onde émis par l'eau et le fond du bac ne peut pas traverser en retour le vitrage. L'eau est échauffée et émet de la vapeur saturante. La paroi intérieure du vitrage, qui est à la température moins élevée que l'air du châssis, saturé de vapeur, joue le rôle de condenseur.

C'est en 1872 que Ch. Wilson imagina un dispositif appliquant à grande échelle ce principe, pour alimenter en eau potable la localité de Salinas, dans le désert d'Atacama au Chili. La seule eau naturelle qu'on y trouve contient 140g de sels par litre. Avec une surface de verre de 4400 m^2 , on obtenait en été environ 23 m^3 d'eau douce par jour, et ce système fit ses preuves pendant des années. Par la suite, des essais de laboratoire furent entrepris par Maurin et Brazier, à l'Observatoire du Parc Saint-Maur à Paris, puis par le docteur Richard à Monaco avec de petits distillateurs dont la surface était de l'ordre du mètre carré. En France, on ne put alors obtenir en moyenne que $2 \text{ l/m}^2/\text{j}$ environ, mais en Tunisie, Givestous obtint jusqu'à 4 litres.

Plus récemment, on a pu améliorer la production unitaire en noirissant le fond des bacs, en incorporant à l'eau une matière colorante plus ou moins foncée, en calorifugeant les châssis.

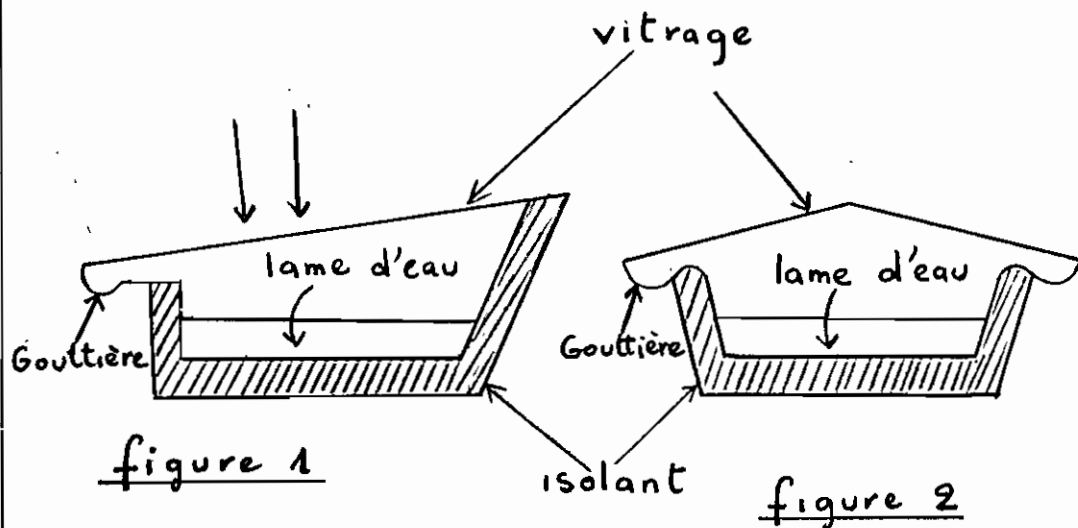
Plus la température à l'intérieur d'un châssis est élevée, plus il y a risques de pertes d'énergie par

rayonnement, on est donc conduit, pour recevoir le rayonnement solaire, à utiliser des surfaces absorbantes sélectives à faible pouvoir émissif.

Dans un distillateur solaire de type "verrière", la température de l'eau dépasse rarement 70°C .

2. Les petits distillateurs solaires

Les modèles les plus utilisés sont les distillateurs à simple pente (figure 1) et les distillateurs à double pente (figure 2).



distillateur à simple pente - distillateur à double pente

Le débit de ces appareils est de l'ordre de 6 l/jour pour une insolation horizontale moyenne de $5500 \text{ Kcal/m}^2/\text{jour}$.

Pendant les périodes où il fait moins chaud, il tombe sensiblement, aussi est-il prudent de ne compter que 4 à 6 l/m²/jour. Pendant les jours nuageux, la production peut tomber pratiquement à zéro. Il est donc prudent une réserve d'eau douce. Dans ces distillateurs, l'épaisseur d'eau est de l'ordre de 2 cm.

Les expériences ont montré que la vitesse d'évaporation était d'autant plus importante que l'épaisseur de la lame d'eau était faible.

C. Gomella a montré que dans les distillateurs de type serre le débit d'évaporation était lié à l'épaisseur de la lame d'eau par la relation

$$Q = \frac{22,75}{x + 7,87} + 4,025$$

où x est l'épaisseur de la lame d'eau en cm et Q le débit d'évaporation en l/jour/m².

Précisons que le rendement énergétique des petits distillateurs, bien conçus du type serre varie entre 40 et 60% et qu'il croît avec la température ambiante. Il est plus élevé que celui des capteurs

classiques. La surface de condensation réduit considérablement les pertes dues au rayonnement de l'eau contenue dans le distillateur vers l'atmosphère.

Notons que la surface de condensation doit être mouillante pour éviter la formation de buée qui intercepterait le rayonnement.

MM. Fontan et Barasoain, deux chercheurs espagnols ont montré que la production d'eau distillée augmentait lorsque le volume d'air entre la vitre supérieure et la surface d'évaporation diminuait. Autrement dit, plus l'angle d'inclinaison de la vitre supérieure était faible, plus la production d'eau distillée était importante. Ainsi, la valeur optimale de l'angle d'inclinaison a été trouvée pour 10° .

D'autre part, d'après I. A. SAKR, le Laboratoire de l'Utilisation de l'Énergie Solaire du Centre National de Recherche (Égypte) a établi une formule empirique pour prédire la quantité d'eau distillée produite à partir d'une certaine quantité d'eau de mer ou d'eau saumâtre dans un petit distillateur.

Cette formule s'établit comme suit :

$$Y = \frac{E}{832} - 2,25$$

où Y est la production d'eau distillée en $l/m^2 \cdot jour$
 et E est la radiation solaire totale journalière
 sur une surface horizontale en $Kcal/m^2 \cdot jour$.

3. Les distillateurs solaires de grandes superficies

Pour couvrir une grande superficie, il existe deux moyens : ou bien juxtaposer une multitude de petits distillateurs de type verrière, ou bien construire un appareil de ce type à grande échelle, avec plan d'eau de très grandes dimensions.

a/ Juxtaposition de petits appareils

Il s'agit d'une juxtaposition d'une multitude de petits distillateurs afin de produire de grandes quantités d'eau distillée. En général, les distillateurs composés d'une juxtaposition de petits appareils posent des problèmes d'entretien.

b/ Distillateurs à grande verrière

Étant donné que la juxtaposition de petits

distillateurs pose des problèmes d'entretien, on a été amené à concevoir des appareils à grande surface.

La figure 3 représente la coupe d'une installation de ce type.

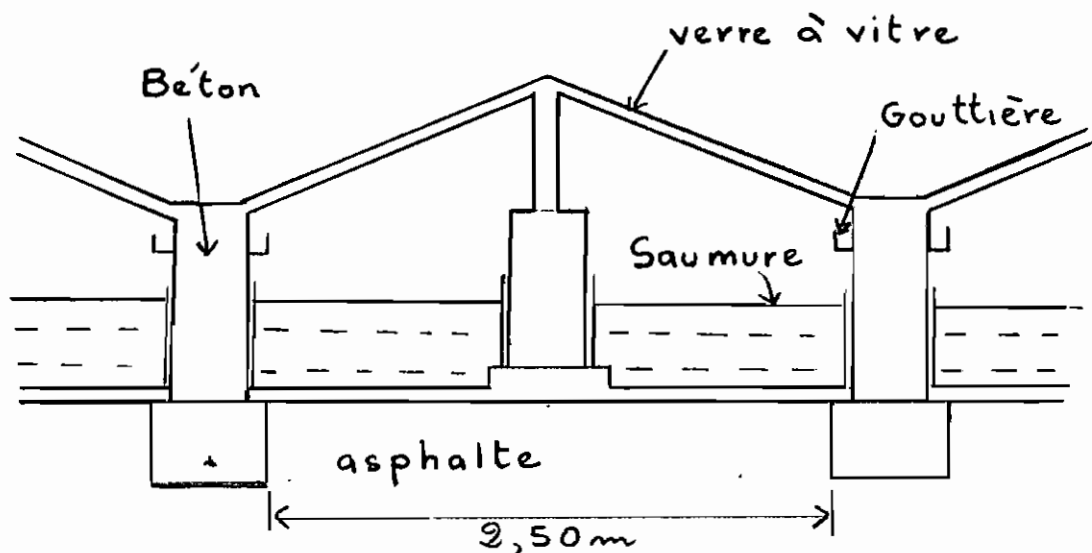


figure 3 : distillateur à grande verrière

Les expériences faites sur les distillateurs de grandes superficies ont montré que :

i) que le débit maximum de distillation décroît lorsque l'épaisseur de la lame d'eau augmente.

ii) que le décalage horaire entre le maximum d'intensité solaire et le maximum de débit d'eau

distillée est d'autant plus important que l'épaisseur de la lame d'eau dans le distillateur est grande.

Elles montrent par ailleurs que la production d'eau distillée décroît lorsque l'épaisseur de la lame d'eau augmente.

Dans les petits distillateurs, l'épaisseur de la lame d'eau varie entre 2,5 et 5 cm. Dans les grands distillateurs, elle est de l'ordre de 5 à 15 cm.

Il en résulte que la productivité d'un distillateur de grandes dimensions est inférieure à celle des appareils de faibles dimensions. Elle est de l'ordre de 50 à 70% de celle des petits appareils.

B. DISTILLATION THERMIQUE AVEC CHAUDIERE SOLAIRE

Le principe est le suivant : l'eau de mer ou la saumure à dessaler est d'abord chauffée dans une chaudière solaire au moyen d'un champ de miroirs plans. La vapeur d'eau ainsi produite est ensuite amenée dans un condenseur d'où sort

l'eau distillée.

DEUXIEME PARTIE

CONCEPTION
D'UNE
INSTALLATION
DE
DESSALEMENT
D'EAU DE MER

CHAPITRE III

CHOIX DU TYPE DE DISTILLATEUR

I EXPOSE DU PROBLEME

Après avoir fait l'étude bibliographique sur le dessalement de l'eau de mer ou des saumures par l'énergie solaire, nous nous proposons, dans cette partie, de concevoir une installation de dessalement pouvant produire en moyenne 10 m^3 d'eau douce par jour.

Cette installation devra être simple et économique de façon à faciliter sa réalisation éventuelle. Donc, nous devons utiliser des matériaux peu chers, mais néanmoins assez résistants de façon à assurer une longue vie à l'installation.

II VALEURS DU RAYONNEMENT SOLAIRE AU SENEGAL

Comme nous le savons, notre pays se trouve

dans la zone tropicale ; donc, l'ensoleillement y est assez intense. La radiation globale peut même atteindre quelquefois la valeur de $6500 \text{ Kcal/m}^2/\text{jour}$.

Mais cette radiation est très variable durant l'année et on note des écarts très grands entre les valeurs des périodes chaudes et celles des périodes à ensoleillement minimum où on peut observer des valeurs de radiation globale de $4500 \text{ Kcal/m}^2/\text{jour}$ ou moins.

A titre d'exemple, voici un graphique de la radiation globale de l'année 1957 établi à l'Institut de Physique Météorologique de Dakar.

(figure 4)

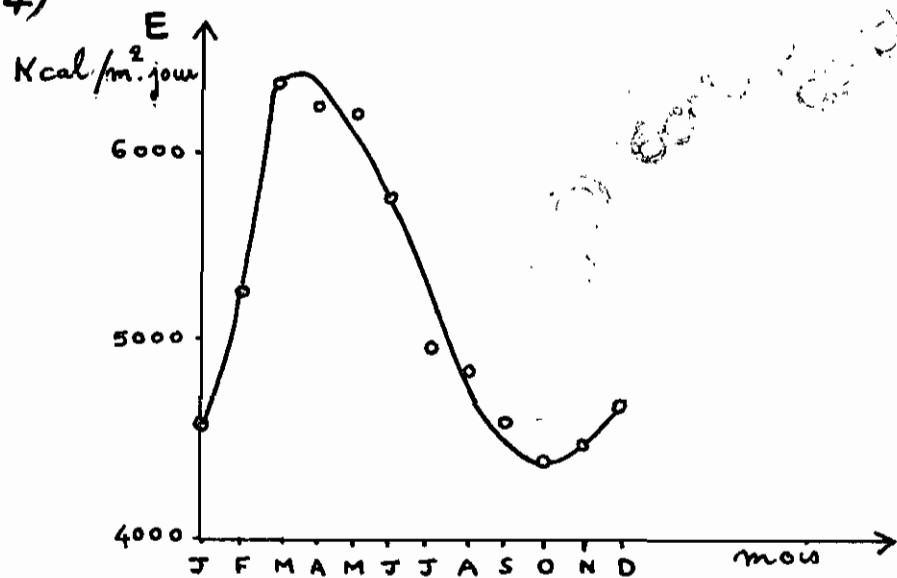


figure 4

D'autre part, durant pratiquement toute l'année (sauf pour les jours à temps nuageux), la période journalière d'ensoleillement est de 12 heures.

III TYPE DE DISTILLATEUR CHOISI

Pour notre installation, nous avons le choix entre deux types de distillateurs solaires : les distillateurs à verrière et les distillateurs avec chaudière solaire.

Pour pouvoir respecter les conditions que nous avons exposées plus haut, nous avons pensé qu'il était plus judicieux de choisir un distillateur à verrière parce que, d'une part ce type est plus approprié pour notre climat qui présente un ensoleillement assez intense et d'autre part il pose moins de problèmes d'entretien et ceci est très important pour des pays en voie de développement comme le nôtre.

Toujours, pour faciliter l'entretien de notre installation, nous allons utiliser un distillateur à grande verrière au lieu de juxtaposer une

multitude de petits distillateurs.

D'autre part, notre distillateur sera de type en "dents de scie", c'est à dire que nous allons associer plusieurs unités à double pente avec un seul plan d'eau et ceci dans le but d'augmenter le rendement de notre installation.

CHAPITRE IV

CONSTITUTION DE L'INSTALLATION

Pour pouvoir dimensionner notre installation, nous devons d'abord déterminer la surface nette d'évaporation nécessaire.

I SURFACE NETTE D'ÉVAPORATION DE L'INSTALLATION

Pour évaluer la surface nette d'évaporation nécessaire, nous allons utiliser la formule empirique établie par le Laboratoire de l'Utilisation de l'Énergie Solaire du Centre National de Recherche (Égypte). Comme nous l'avons vu dans la première partie de notre étude, cette formule s'énonce ainsi :

$$Y = \frac{E}{832} - 2,25$$

où Y est la production d'eau distillée en l/jour et E la radiation totale journalière en Kcal/m²/jour

Au Sénégal, d'après les courbes tracés à l'Institut de Physique Météorologique, on peut considérer que, pour une année, la radiation

globale est maximale pour une valeur de 6500 Kcal/m²/jour en période chaude et minimale pour une valeur de 4400 Kcal/m²/jour en d'autres périodes.

Donc, la valeur moyenne de la radiation totale se situe aux environs de 5500 Kcal/m²/jour

Par conséquent, la production moyenne d'eau distillée pour un petit distillateur est :

$$Y = \frac{E}{832} - 2,25 = \frac{5500}{832} - 2,25$$

$$Y = 4,36 \text{ l/m}^2/\text{jour}$$

Mais, comme nous l'avons dit dans la première partie de notre étude, le rendement des grands distillateurs est de 50 à 70% de celui des petits distillateurs.

Donc, la quantité effective prévue d'eau distillée sera, si on suppose que le rendement de notre installation est de 60% de celui d'un petit distillateur :

$$Y = 4,36 \times \frac{60}{100} = 2,62 \text{ l/m}^2/\text{jour.}$$

Si la production journalière de notre installation est de $10 \text{ m}^3/\text{jour}$, soit $10\,000 \text{ l}/\text{jour}$, la surface nette d'évaporation devra être :

$$S = \frac{10\,000}{2,62}$$

$$S = 3817 \text{ m}^2$$

Pour nous assurer que la production minimale moyenne soit de $10 \text{ m}^3/\text{jour}$, majorons cette valeur jusqu'à 3900 m^2 .

Notre installation, ayant la forme rectangulaire vue d'en haut, la largeur sera choisie égale à 30 m (qui est la limite de la valeur de la longueur d'une goutte d'évacuation selon M. Gornella).

Dans ce cas, la longueur de notre installation sera égale à :

$$\frac{3900}{30} = 130 \text{ m}$$

Donc, l'installation aura 130 m de long et 30 m de large.

Notre installation étant de type "en dents".

de scié", nous allons associer des unités de 2m x 30m.

Ainsi, nous devrons avoir :

$$\frac{130}{2} = 65 \text{ unités.}$$

II PRINCIPALES PARTIES DE L'INSTALLATION

Les principales parties de l'installation sont :
un support qui soutient toute la structure, un bassin où repose l'eau à desaler, une couverture qui reçoit le rayonnement solaire et un système de récupération de l'eau distillée.

A. SUPPORT

Pour soutenir la couverture, nous proposons de réaliser un support en béton armé. Ce support devra avoir les dimensions suivantes : 130m de long, 30m de large et 40 cm de haut dont 10 cm dans le sol. L'épaisseur du béton devra être de 10 cm.

Le choix du béton armé a été motivé par le fait qu'il résiste bien aux intempéries et en plus qu'il est moins onéreuse que les autres matériaux tel que l'acier.

(voir dessins 1, 2 et 3)

B. BASSIN

Il est difficile de réaliser, sur une surface de plusieurs centaines de mètres carrés, un nivellement plan présentant des ondulations de moins de deux centimètres d'amplitude. On constate pratiquement que les écarts dans la planéité du sol peuvent alors du même ordre de grandeur que la profondeur d'eau désirée dans l'ouvrage.

Aussi, nous avons 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 du bassin, le protégera contre les sous-provisions et réduira dans une certaine mesure les pertes de chaleur vers le sol en profondeur.

On fera disparaître les inégalités superficielles de la couche support en épandant 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. (voir dessins 1, 2 et 3)

C. COUVERTURE

Nous avons décidé d'utiliser comme matière réfléchissante pour la couverture du verre qui est moins fragile et qui vieillit moins vite que les autres matériaux tel que le plastique.

Chaque unité de l'installation devant être en double pente, l'angle d'inclinaison d'une pente par rapport à l'horizon sera fixé à 10° qui est la valeur optimale d'après les recherches faites sur les distillateurs par d'éminents chercheurs comme M. Gomella.

D'autre part, pour réparer facilement la couverture vitrée en cas de bris, nous proposons de faire un assemblage de vitres de petites dimensions d'environ $1m \times 1m$. Les vitres seront maintenues en place par une charpente en aluminium. (voir dessins 1, 2 et 3)

D. SYSTEME DE RECUPERATION DE L'EAU DISTILLEE

Pour récupérer l'eau distillée qui s'écoule par

Le vitrage, nous proposons d'utiliser des collecteurs en acier inoxydable de section semi-circulaire de 30 m de long. Un des bords de chaque collecteur sera fixé à la poutre en acier qui retient la couverture vitrée.

À la sortie du distillateur, des tuyaux de section circulaire en acier seront utilisés pour amener l'eau vers une grande cuve de récupération en béton armé d'environ 15 m³ de capacité (c'est là une mesure de sécurité pour prévoir une consommation inférieure à 10 m³ d'eau douce par jour).

III SYSTEMES DE STERILISATION, DE FILTRATION ET DE REFROIDISSEMENT DE L'EAU DESSALEE

L'eau douce obtenue par distillation est une eau biologiquement morte privée non seulement de presque tous ses sels, mais aussi de tous oligo-éléments.

D'autre part, toutes les substances volatiles d'une eau brute soumise à la distillation passent dans l'eau distillée, et certaines de ces

substances peuvent donner à l'eau douce produite un mauvais goût ou une certaine odeur dans certains cas particuliers.

Donc, il convient de prévoir des traitements de stérilisation et de désodorisation.

Dans notre installation, nous allons utiliser un dispositif automatique de stérilisation par l'eau de javel et nous allons filtrer l'eau sur du charbon actif à la sortie de la cuve de récupération.

En plus, l'eau distillée sort de l'installation à une température encore élevée, de l'ordre de 40°C et cela pose le problème de son refroidissement, particulièrement ardu dans les pays chauds notamment. Pour palier à ceci, nous allons utiliser un échangeur de chaleur où l'eau distillée passe à contre-courant d'une eau de mer à la température ambiante, et installé à la sortie du distillateur.

CHAPITRE V

ECHANGES THERMIQUES DANS LE DISTILLATEUR

I FONCTIONNEMENT DE JOUR

Durant la journée, le rayonnement solaire est capté par le vitrage du distillateur qui le transmet à l'eau à dessaler. Les calories produites sont dépensées :

- par échange thermique par conduction
- par convection créée par le courant d'air humide réchauffant la surface.
- par évaporation (c'est la seule dépense rentable)
- par rayonnement vers la couverture vitrée, qui d'ailleurs rayonne de son côté vers la surface liquide.

Le schéma suivant (figure 5) illustre bien le phénomène.

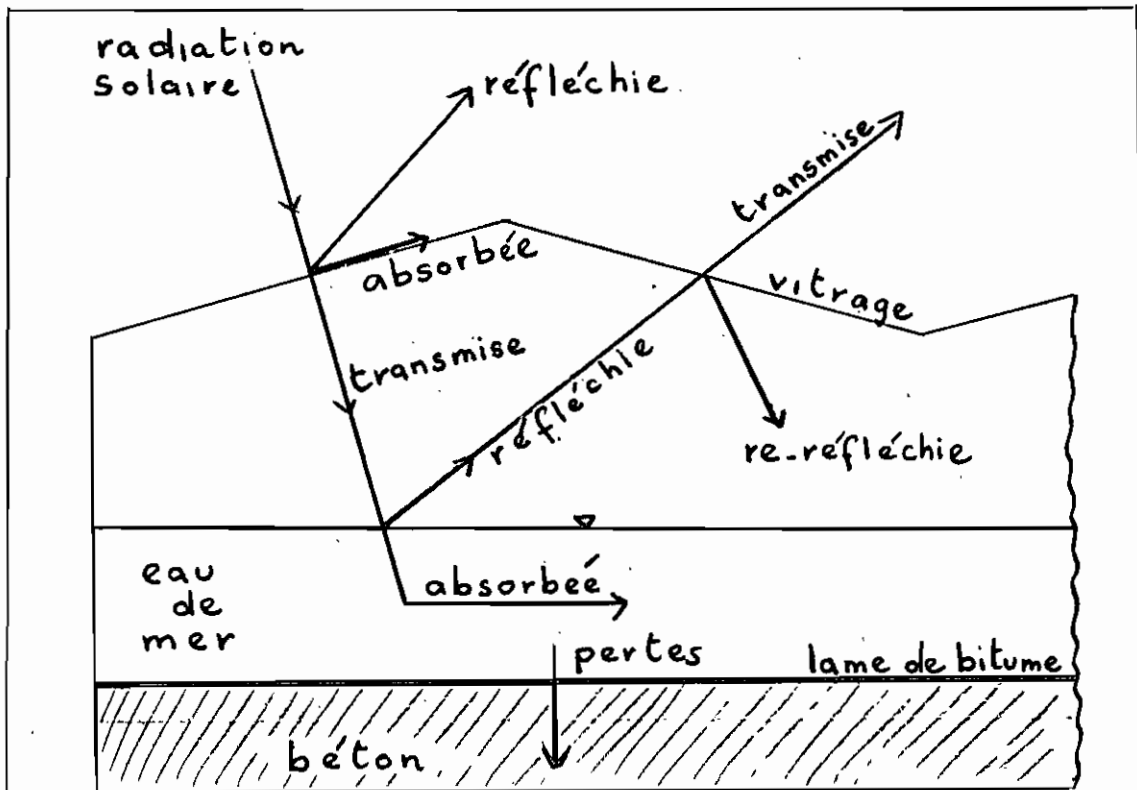


figure 5 :

Pour établir le rendement énergétique du distillateur, fixons les valeurs suivantes.

- . I_0 l'énergie globale reçue par le vitrage.
 Durant l'année, en moyenne, $I_0 = 5500 \text{ Kcal/m}^2/\text{jour}$.
- . t_a la température ambiante
 $t_a \approx 30^\circ\text{C}$
- . t_e la température de l'eau à dessaler
 $t_e \approx 70^\circ\text{C}$

- . t_i la température de la face intérieure du vitrage.
Nous supposons que le vitrage est à une température légèrement inférieure à celle de la vapeur d'eau, soit $t_i \approx 69^\circ\text{C}$.
- . τ_v le facteur de transmission du verre.
 $\tau_v \approx 0,05$
- . α_e le facteur d'absorption de l'eau
 $\alpha_e \approx 0,96$
- . λ_b la conductivité thermique du béton maigre non armé.
 $\lambda_b \approx 0,15 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$
- . A la surface nette d'évaporation
 $A = 3900 \text{ m}^2$
- . V le volume d'eau distillé produit par jour, soit $10\,000 \text{ l/jour}$.
- . ρ_e la masse volumique de l'eau distillé.
 $\rho_e \approx 1 \text{ kg/l}$.

Le rendement énergétique du distillateur est donné par la formule suivante :

$$\eta = \frac{\text{Energie absorbée par l'eau} - \text{Pertes}}{\text{Radiation totale}}$$

Soit

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4}{I_0 \times A}$$

où Q_1 est l'énergie absorbée par l'eau

Q_2 est l'énergie rayonnée par l'eau vers le haut

Q_3 est l'énergie perdue par le fond par conduction.

Q_4 est la chaleur perdue par l'air humide dans son refroidissement de t_e à t_i

Calculons Q_1, Q_2, Q_3, Q_4

$$\begin{aligned} Q_1 &= I_0 \times \tau_v \times \alpha_e \times A \\ &= 5500 \times 0,05 \times 0,96 \times 3900 \\ &= 1\,029\,600 \text{ Kcal/jour} \end{aligned}$$

$$Q_2 = \sigma \left\{ (t_e + 273)^4 - (t_i + 273)^4 \right\} \times A$$

$$\sigma = 4,88 \times 10^{-8}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= 4,88 \times 10^{-8} \left\{ (70 + 273)^4 - (69 + 273)^4 \right\} \times 3900 \\ &= 30\,586 \text{ Kcal/heure} \end{aligned}$$

Soit pour une journée d'ensoleillement de 12 heures

$$Q_2 = 30586 \times 12 = 367\,032 \text{ Kcal/jour}$$

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= \lambda_b \times A \times (t_e - t_a) \\
 &= 0,15 \times 3900 \times (70 - 30) \\
 &= 23\,400 \text{ Kcal/heure} \\
 &\text{Soit pour la journée}
 \end{aligned}$$

$$Q_3 = 23\,400 \times 12 = 280\,800 \text{ Kcal/jour}$$

$$Q_4 = C_{\text{air}} \times V \times \rho_e \times (t_e - t_i)$$

$$C_{\text{air}} = 0,24 \text{ Kcal/}^\circ\text{C} \cdot \text{kg}$$

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= 0,24 \times 10\,000 \times 1,000 \times (70 - 69) \\
 &= 2\,400 \text{ Kcal/jour}
 \end{aligned}$$

D'où

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{1\,029\,600 - 367\,032 - 280\,800 - 2\,400}{5\,500 \times 3\,900} \\
 &= 0,017
 \end{aligned}$$

Soit $\eta \approx 17\%$

II FONCTIONNEMENT DE NUIT

Durant la nuit, le vitrage ne reçoit, évidemment, pas de rayonnement solaire, mais l'eau déjà échauffée durant la journée prend du temps pour se refroidir, alors que la chute

de température de la vitre est très marquée. Donc, la production d'eau distillée continue, puisque c'est la différence de température entre l'eau et la vitre qui constitue un des éléments déterminant le potentiel de condensation.

Toutefois, cette production de nuit est limitée du fait que la chute de température est insuffisante pour compenser la chute simultanée de la teneur en vapeur d'eau de l'air humide se saturant au voisinage d'une lame d'eau maintenue à un niveau de température trop bas.

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'étude de l'installation de distillation comprend les principaux sujets permettant sa réalisation pratique. Toutefois, cette étude n'est pas complète parce que, d'une part, nous ne sommes pas entrés dans les détails en ce qui concerne le dimensionnement de l'installation qui nécessite des calculs complexes faisant appel à la mécanique des fluides, par exemple pour évaluer les valeurs requises pour les dimensions des conduites d'évacuation de l'eau distillée et à des notions de calcul de structures pour s'assurer de la stabilité de l'installation; d'autre part, l'évaluation du rendement énergétique est très estimative, si on sait que les valeurs nécessaires pour sa détermination sont très approximatives. Mais, à travers ce calcul, nous avons simplement voulu montrer la méthode d'évaluation de ce rendement. En plus, nous n'avons pas établi le bilan thermique du distillateur, faute de données concernant toutes les variables.

Pour palier à ceci, nous aurions voulu construire un prototype, c'est-à-dire un petit distillateur solaire

sur lequel on pourrait effectuer des mesures afin d'étudier les échanges thermiques qui s'y produisent et d'établir le bilan énergétique.

Néanmoins, l'idée générale qui ressort de notre étude, c'est qu'avec les ressources naturelles, dont on dispose tels que le soleil et la mer, on peut produire de l'eau douce en assez grandes quantités dans des installations assez simples de conception que sont les distillateurs à verrière dont les coûts d'installation sont peu élevés et les coûts d'entretien presque négligeables.

Et on peut penser que d'ici une vingtaine d'années, les installations de dessalement de l'eau de mer seront vulgarisées de sorte que l'eau potable soit abondante partout dans le monde.

BIBLIOGRAPHIE

- J.R. VAILLANT: *Les problèmes du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.*
Collection du B.C.E.O.M
Editions Eyrolles. 1970
- J.R. VAILLANT: *Utilisations et promesses de l'énergie solaire*
Collection du B.C.E.O.M
Editions Eyrolles. 1970
- I.A. SAKR: *Empirical formula for the expected fresh water production by solar energy.*
Commission de distillation
Coopération Méditerranéenne pour l'Énergie Solaire.
Bulletin n° 12 Juillet 1967.
- *Thermodynamique et Transfert de Chaleur*
Chap. 16: *La déminéralisation des eaux salées*
(gracieusement offert par l'I.P.M)

- K. RAŽNJEVIĆ : Tables et diagrammes
thermodynamiques.
Editions Eyrolles - 1970