

16/85

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

وزارة التعليم و البحث العلمي المكتبة

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHEQUE

## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

# PROJET DE FIN D'ETUDES

### S U J E T

Optimisation expérimentale des paramètres  
d'un distillateur solaire dynamique  
avec préchauffage de l'eau

Proposé par :  
M<sup>me</sup> HAMAMI

Etudié par :  
H. BOUMAZA  
S. SAHRAOUI

Dirigé par :  
M<sup>me</sup> HAMAMI

PROMOTION : JUIN 85



E D I C A C E S

- ma mère
- ma famille
- mes amis

HAFIZA

- ma mère
- mon père
- ma famille
- mes AMIS

SAMIRA

## R E M E R C I E M E N T S

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à Madame HAMAMI pour l'aide qu'elle nous a apportée durant notre travail, puisse t'elle trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous tenons aussi à remercier tous ceux qui ont apporté leurs concours à la réalisation de notre installation et particulièrement :

- Monsieur ATTARI
- Monsieur RAHLI
- Monsieur SADI

Un grand merci aussi à Madame BOUANANE et Monsieur SAADI pour les efforts consacrés à la mise en forme de ce travail.

**T A B L E**

**- INTRODUCTION G E N E R A L E :** ..... 1

**PREMIERE PARTIE**

**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**I / INTRODUCTION**

A - **Accroissement des besoins en eau** ..... 2

B - **La distillation** ..... 2

C - **Effet de serre - distillateur** ..... 3

**II / PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE**

A - **Principe** ..... 4

B - **Conversion de l'énergie solaire en énergie thermique** ..... 4

B.1 / **Shéma de transfert thermique** ..... 5

B.2 / **Bilan thermique** ..... 6

B.2-1 / **Energie reçue par le distillateur** ..... 7

B.2-2 / **Energie réfléchié par le couvercle** ..... 7

B.2-3 / **Energie perdue par le fond du bac** ..... 7

B.2-4 / **Transfert de chaleur de la vapeur d'eau par rapport à la paroi du distillateur** ..... 8

B.2-5 / **Bilan thermique de la vitre** ..... 9

B.2-5-1 / **Le flux thermique par évaporation condensation entre le film d'eau et le vitrage** ..... 9

B.2-5-2 / Flux thermique par rayonnement entre le fond du bac et le vitrage .....	10
B.2-5-3 / Flux thermique par convection entre le fond du bac et le vitrage .....	10
B.2-5-4 / Flux absorbé par le vitrage .....	10
B.2-5-5 / Flux thermiques perdus par la vitre par rayonnement et convection vers l'extérieur. ....	11
B.2- 6 / Les pertes $Q_p$ . ....	11

2 EME PARTIE

\* ETUDE THEORIQUE :

OBJET DE L'ETUDE.....	13
CHAP. I - CARACTERISATION DU DISTILLATEUR	
A - Le rendement .....	14
B - L'efficacité .....	14
C - Le rendement d'absorption .....	15
D - La performance .....	15
E - L'efficacité de distillation. ....	15
CHAP. II - ETUDE DES PARAMETRES QUI INFLUENCENT LA PRODUCTION DU DISTILLATEUR.	
A - Paramètres dépendant de la construction .....	16
A - 1 / La couverture .....	16
A.1 - 1 / Sa nature .....	16
A.1 - 2 / Son inclinaison .....	17
A.1 - 3 / Sa forme .....	17
A - 2 / Distance surface d'évaporation surface de condensation. ....	18
A - 3 / Epaisseur de la lame d'eau Saumâtre ; e .....	18

A - 4 / Le plan noir .....	18
A - 4.1 / Sa nature .....	18
A - 4.2 / Son inclinaison .....	19
B - Paramètres météorologiques .....	19
C - Paramètres réglables .....	20
C - 1 / Débit d'eau entrant.....	20
C - 2 / Paramètre fonction de la Saumûre .....	21
C - 3 / Effet d'un préchauffage de la Saumûre .....	21
<u>CONCLUSION</u> .....	22

TROISIEME PARTIE

REALISATION ET OPTIMISATION EXPERIMENTALE

- <u>I N T R O D U C T I O N</u> - .....	23
CHAP. I - <u>DISPOSITIF EXPERIMENTAL</u> .....	24
A - Réalisation du distillateur .....	24
I/ Surface de condensation et de transmission du flux solaire...	24
II/ Bac contenant l'eau à distiller .....	24
III/ Gouttières de récupération .....	25
<b>IV</b> / Isolation.....	25
V/ Etanchéité .....	25
VI/ Le chauffe eau solaire .....	26
VI-1 Système de captation du rayonnement solaire .....	26
VI-1-1 Description .....	26
VI-1-2 Installation.....	27
VI-1-3 Fonctionnement.....	27
VI-2 Système du réservoir de stockage.....	28
VI-3 Système de distribution de l'eau au distillateur .....	29

B - Montage de l'unité de distillation .....	31
C - Fonctionnement de l'installation .....	34
<b>CHAP. II - <u>APPAREILS ET METHODES DE MESURE</u></b>	
A - Les appareils de mesure .....	36
1) Sonde à résistance de platine .....	36
2) Débit - mètre .....	37
B - Méthodes de mesure .....	38
C - Chaîne d'acquisition des données .....	39
1) Centrale de mesure .....	39
2) Organes de sortie .....	40
<b>CHAP. III - <u>RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS</u></b>	
A - Résultats expérimentaux .....	42
B - Interprétation .....	46
CONCLUSION GENERALE .....	55
ANNEXES	
BIBLIOGRAPHIE	

\* INTRODUCTION \*

GENERALE

Guidés par leurs instincts, les Êtres vivants, en fonction des facultés physiologiques de chaque espèce à s'accomoder aux conditions d'existence que leur offre la nature, peupleront à travers les âges, les continents.

Dans ses mouvements de peuplement, l'homme pour sa part, établira ses zones d'occupation en privilégiant dans son choix, la triple association d'une disponibilité suffisante en eau, d'une climatologie modérée et d'une fertilité satisfaisante des espaces conquis, conditions naturelles propices à son épanouissement.

Des siècles durant, il se consacrera à développer les conditions qui contribuent à son bien être et à explorer à ses mêmes fins, les possibilités qui lui laissent entrevoir des meilleures perspectives.

A partir des ressources naturelles du sous-sol, il découvrira, par l'apport de l'énergie, le progrès technique et s'attachera à transformer celle-ci de son état primaire, en une énergie utile, selon les utilisations domestiques ou industrielles, auxquelles il souhaite la destiner.

Cependant, depuis deux décennies, la saturation prévisible des sources d'énergie traditionnelles du sous-sol; lui fait craindre des horizons incertains des assombris davantage lorsque dans un monde en forte expansion démographique en régions à faible pluviométrie, ce phénomène de saturation pourrait un jour se poser pour l'eau, matière tant indispensable et vitale, non seulement pour son bien-être, mais pour bien plus,.....pour sa survie.

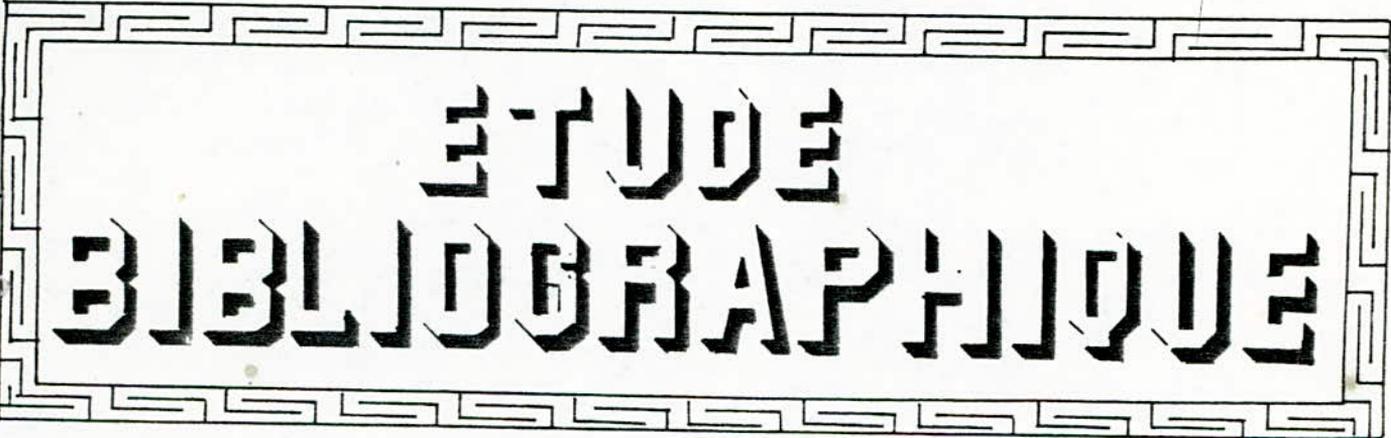
Les recherches se sont dirigées sur des techniques scientifiquement orientées axées sur le recours à des formes d'énergie renouvelables, et à des sources d'alimentation en eau inépuisables.

Il met au point des procédés lui offrant l'usage de l'énergie solaire qu'il associe à des techniques lui permettant de recycler pour ses propres besoins les eaux saumâtres et salines.

A cet égard, le système de distillation conçu par thermo-dynamique augure déjà sur ce plan, des horizons, à tout jamais éclaircis.

...../.....

PREMIERE PARTIE



**ÉTUDE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

\* INTRODUCTION \*

A - ACCROISSEMENT DES BESOINS EN EAU

De nos jours et dans le type de civilisation où nous vivons, la consommation d'eau a augmenté d'une manière vertigineuse. La consommation mondiale annuelle par habitant est estimée à 2000 m<sup>3</sup>/Hab/An, d'après des prévisions portées sur une population de six milliards d'habitants en l'an 2000. Ce qui implique une consommation moyenne de  $12 \cdot 10^{12}$  m<sup>3</sup>/An en eau sous forme d'eaux de ruissellement et d'eaux souterraines.

Dès lors, il est tout à fait légitime de se préoccuper dès à présent de la mise sur pied de moyens permettant de dessaler les eaux saumâtres et de les rendre utilisables .

B - LA DISTILLATION :

On peut dessaler par distillation, soit par apport d'énergie "traditionnelle" (fossile, électrique, ect ..... ) soit par apport d'énergie solaire méthode adoptée dans notre étude.

Le soleil est une sphère de 1.400.000 Km de diamètre qui rayonne autour de lui une énergie phénoménale. Cette énergie rayonnante est de courte longueur d'onde (0,17 à 4 microns).

A 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. 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.

Le rayonnement diffus s'ajoute au rayonnement direct du soleil pour donner le rayonnement global qui varie selon la latitude, la saison, l'heure de la journée et la nébulosité.

L'énergie solaire parvenant ainsi, à la surface du globe entretient l'évaporation des eaux, qui absorbe par Kg d'eau environ 580 kg calories soit 0,7 KWH.

Le plus grand distillateur solaire existant est vieux comme le monde. Il est constitué par la surface du globe terrestre <sup>et</sup> la couche atmosphérique d'environ 10 m d'épaisseur qui contient la plus grande partie de la masse d'air. [2]

Dans notre étude, nous nous limitons à l'utilisation de l'énergie solaire par des installations d'une superficie relativement faible.

#### C - EFFET DE SERRE - DISTILLATEUR

Il y'a évaporation de l'eau dans l'air, dès qu'il y'a un gradient de température entre l'interface air-eau et l'air. La quantité d'eau évaporée est d'autant plus importante que la température de l'air est élevée.

Pour élever la température de l'air, il suffit d'enfermer l'eau à distiller à l'intérieur d'une caisse à parois adiabatiques, coiffée d'un couvercle en verre transparent, dont le fond est noirci. L'énergie solaire entrant par le couvercle en verre est absorbée par l'eau et le fond noirci ; puis elle est transmise à l'air par conduction, convection et rayonnement.

Comme les parois sont hermétiquement closes et le <sup>verre</sup> opaque aux radiations infra-rouges de grandes longueurs d'ondes, l'énergie solaire se trouve ainsi emprisonnée (effet de serre) et l'air chauffé.

La température du couvercle qui baigne dans l'air atmosphérique étant inférieure à celle du mélange air-vapeur d'eau il se produit une condensation de la vapeur d'eau sur la surface du couvercle.

Une telle caisse est appelée : Distillateur solaire. [9]

## II - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE :

### A - Le principe

Le principe du procédé est le suivant :

sur le fond d'un châssis ; il ya une lame 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 ( au contact de la paroi relativement froide du verre). 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.

Dans ce procédé, les phénomènes qui interviennent sont les suivants : l'énergie rayonnante de faible longueur d'onde, traversant le vitrage et venant chauffer le corps derrière cette vitre est absorbée en grande partie par l'eau et le fond du bac qui est noirci afin d'augmenter son facteur d'absorption.

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 traverser en retour le vitrage (effet de serre), l'eau étant chauffée émet de la vapeur saturante. la paroi intérieure du vitrage qui est à température moins élevée que l'air du châssis, saturé de vapeur joue le rôle de condenseur.

Cette vapeur d'eau condensée cède alors à la paroi interne, une certaine quantité de chaleur qui est perdue vers l'extérieure par rayonnement et convection.

### B - CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE EN ENERGIE THERMIQUE :

Le processus fondamental de la conversion thermique est l'effet de serre. Avant d'établir le bilan thermique du distillateur définissons les termes rayonnement et convection.

#### \* - RAYONNEMENT :

Le rayonnement est le mécanisme par lequel, la chaleur se transmet d'un corps à haute température vers un autre à basse température ,

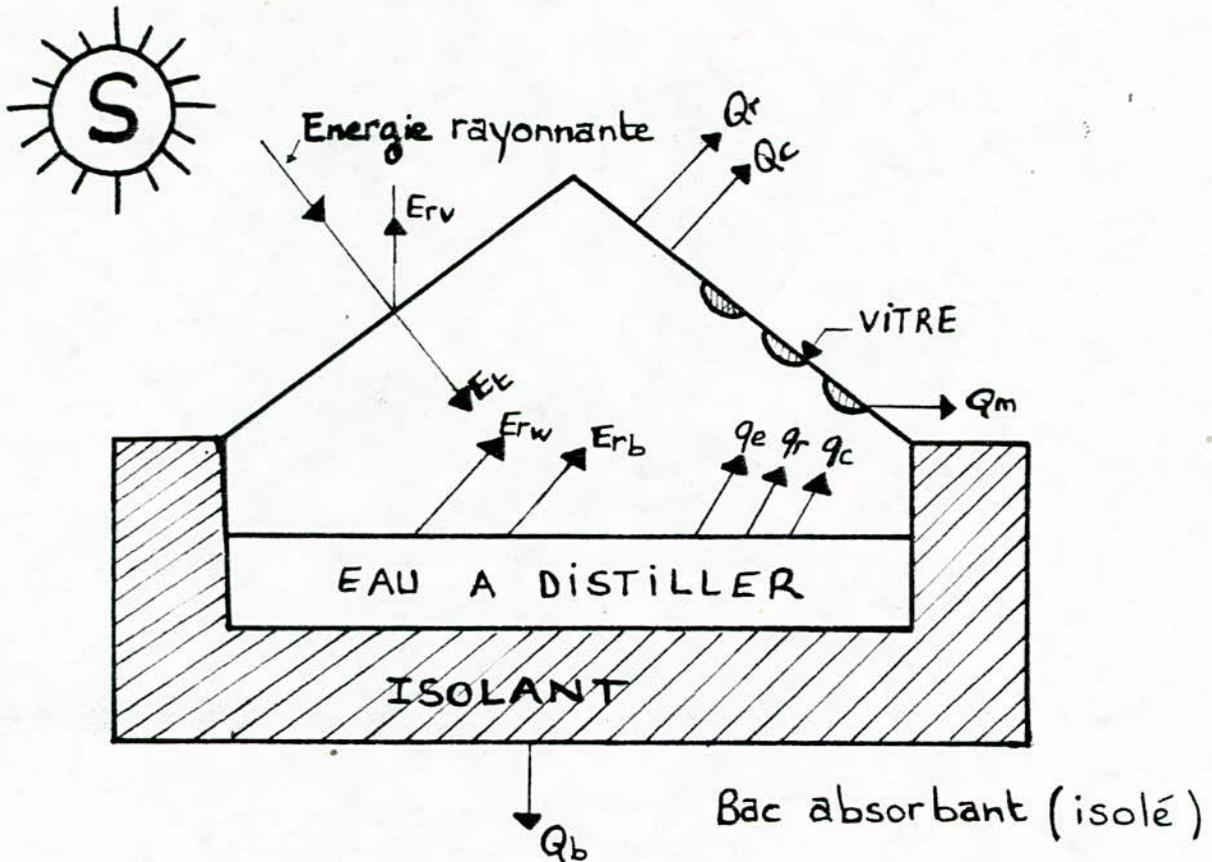
Lorsque ces corps sont séparés dans l'espace ou même lorsqu'un vide existe entre eux.

\* CONVECTION

La convection est un mode de transport d'énergie, par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et du mouvement du milieu.

La convection est le mécanisme le plus important de transfert d'énergie entre une surface solide et un liquide ou un gaz.

B - 1:568 SCHEMA DE TRANSFERT THERMIQUE :



Les différentes énergies intervenant sont :

$E_t$  : énergie transmise

$E_{tw}$  : énergie réfléchie par l'eau à distiller

$E_{tv}$  : " " PAR la vitre

$E_{tb}$  : " " par le bac.

$E_{aw}$  : énergie absorbée par l'eau à distiller

$q_r$  et  $q_c$  : flux thermiques par rayonnement et par convection entre le fond du bac et le vitrage.

$q_c$  : flux thermique par évaporation- condensation entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_r$  et  $Q_c$  : flux thermiques perdus par rayonnement et convection vers l'extérieur au niveau de la vitre.

$Q_b$  : flux thermique perdu par le fond du bac

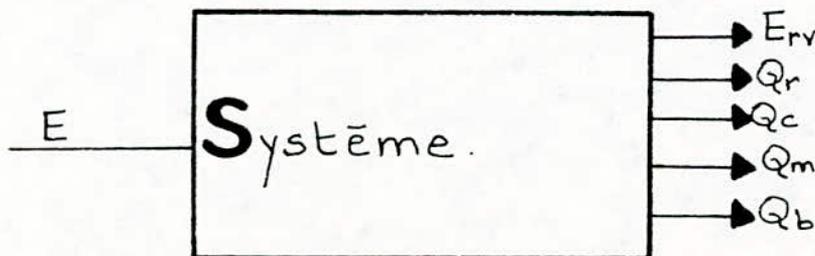
$Q_m$  : chaleur de la vapeur d'eau condensée

## B - 2 : BILAN THERMIQUE

Vu que l'échange d'énergie porte sur la matière ; nous pouvons donc assimiler le distillateur à un système thermodynamique ouvert délimité par ses surfaces extérieures.

Le premier principe de la thermodynamique nous dit que l'énergie ne peut être ni créée, ni détruite mais elle est seulement transformée d'une forme en une autre.

Le système sera donc équivalent à :



et on aura l'équation suivante :

$$E = E_{rv} + Q_r + Q_c + Q_m + Q_b + Q_p .$$

B - 2 - 1 / ENERGIE RECUE PAR LE DISTILLATEUR :

L'énergie reçue par le système est proportionnelle à la surface totale  $A_p$  du distillateur et on aura ainsi :

$$E = A_p E_o .$$

Avec :  $E_o$  : intensité de la radiation globale

B - 2 - 2 / ENERGIE REFLECHIE PAR LE COUVERCLE :

Une partie de l'énergie incidente est réfléchiée par le couvercle et cette énergie réfléchiée sera proportionnelle à la surface du couvercle et s'écrit :

$$E_{rv} = \rho A_c E_o .$$

Avec  $\rho$  : Etant la constante de réflexion du couvercle .

B - 2 - 3 / ENERGIE PERDUE PAR LE FOND DU BAC :

Cet échange d'énergie par convection entre la surface du bac et la masse gazeuse environnante est donné par :

$$Q_b = h_c \times A_b (t_b - t_a)$$

où le coefficient d'échange de chaleur par convection  $h_c$  est donné par la formule de MAC - ADAMS .

$$h_c = 0,51 \left( \frac{t_b - t_a}{e} \right)^{0,25}$$

Avec  $e$  = épaisseur du bac noirci.

B - 2 - 4 / TRANSFERT DE CHALEUR DE LA VAPEUR D'EAU PAR RAPPORT A LA  
PAROI DU DISTILLATEUR :

La vapeur d'eau étant assimilée à un gaz parfait, l'énergie utilisable qu'elle véhiculera dépend essentiellement de :

- \* son débit
- \* de sa température
- \* de sa chaleur massique

mais aussi de la nature de la source qui va recevoir l'énergie (dans notre cas l'environnement ).

En effet, soit  $m$  le débit de la vapeur d'eau condensée à température  $T_d$  qui cède sa chaleur à un milieu dont la température est  $T_a$ .

La quantité de chaleur maximale prélevée à la vapeur d'eau condensée est donnée par :

$$Q_m = m c_p (T_d - T_a)$$

où :  $C_p$  est la chaleur massique de la vapeur d'eau condensée.

B.2 - 5 / BILAN THERMIQUE DE VITRE :

En régime permanent, il ya conservation des quantités de chaleur échangé  
on peut donc écrire au niveau de la vitre :

$$q_e + q_r + q_c + E_{av} = Q_r + Q_c.$$



$E_{av}$  : énergie absorbée par la vitre. les autre termes apparaissant dans cette  
équation représentent :

B.2 - 5.1 / LE FLUX THERMIQUE PAR 2VAPORATION CONDENSATION ENTRE LE FILM  
D'EAU ET LE VITRAGE.

$$q_e = mv.L$$

où :  $mv$  : est la masse d'eau évaporée.

$L$  : chaleur latente de vaporation de l'eau, elle est donnée par la  
formule de REGNAULT.

$$L = (606,5) - 0,625 tw)$$

$tw$  : Température de la vapeur d'eau.

B.2 - 5.2 / FLUX THERMIQUE PAR RAYONNEMENT ENTRE LE FOND DU BAC ET LE VITRAGE :

Les deux surfaces séparées par le vide sont à des températures  $t_w$  et  $t_c$ .  
les facteurs totaux d'émission des faces en regard sont :  $\epsilon_w$  et  $\epsilon_c$ .

Le flux de chaleur échangé entre l'eau et la vitre ( $t_w > t_c$ ) a pour expression

$$\| q_r = A_w \sigma \epsilon (t_w^4 - t_c^4)$$

$A_w$  : étant l'aire de la surface émettrice ( l'eau ) et  $\epsilon$  est tel que :

$\sigma$  : constante de Stéphan.

$$\frac{1}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1$$

B.2 - 5.3 / FLUX THERMIQUE PAR CONVECTION ENTRE LE FOND DU BAC ET LE VITRAGE :

Il ya échange de chaleur par convection entre la surface de l'eau et la surface interne du vitrage.

Cette convection est assurée par le mélange air-vapeur dont le mouvement convectif est dû au gradient de température existant entre les deux surfaces.

On aura donc :

$$\| q_c = h_{vc} A_w (t_w - t_c)$$

où :  $h_{vc}$  est le coefficient de convection interne établi par LÖF :

$$\| h_{vc} = ( 0,123 t_w - 3,818 ) ( t_w - t_c )^{1/3}$$

B.2. - 5.4 / FLUX ABSORBÉ PAR LE VITRAGE :

$$\| E_{av} = \alpha_c A_c E_o$$

où  $\alpha_c$  : facteur d'absorption du verre obtenu pour un rayonnement normal à la vitre.

B.2 - 5.5 / FLUX THERMIQUES PERDUS PAR LA VITRE PAR RAYONNEMENT ET CONVECTION  
VERS L'EXTERIEUR

Ces flux thermiques  $Q_r$  et  $Q_c$  sont donnés en remplaçant chaque terme par son expression dans :

$$\| Q_r + Q_c = \alpha_c A_c E_o + m v L + h_w c A_w (t_w - t_c) + \epsilon \sigma A_w (t_w^4 - t_c^4)$$

B.2 - 6 / LES PERTES  $Q_p$  :

Les pertes d'un distillateur dépendent surtout des phénomènes de convection, rayonnement et conduction entre l'absorbeur ( fond du bac ) et les parois vitrées.

Les pertes vers l'arrière sont généralement négligeables, une bonne couche d'isolant convenant parfaitement.

Enfin, les pertes peuvent provenir par l'introduction des thermocouples de mesures ( négligeables ).

\* Le rendement d'un distillateur dans le cas d'un régime thermique permanent est :

$$\| \eta = 1 - \frac{Q_e}{E_t}$$

$E_t$  : énergie solaire absorbée à la surface de l'absorbeur.

Cette relation montre que dans la conception d'un distillateur on a toujours intérêt à :

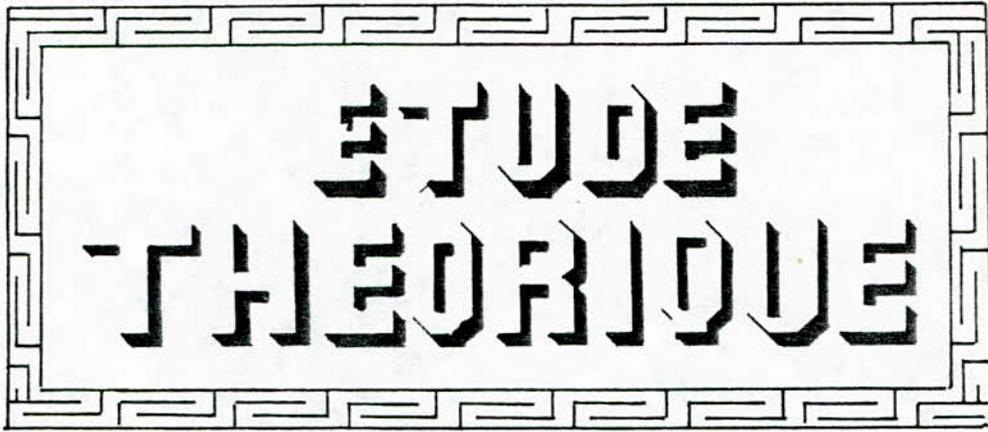
- . Diminuer la puissance perdue  $Q_p$
- . Augmenter la puissance absorbée  $E_t$ .

\* Le bilan thermique du distillateur s'écrit donc :

$$\| A_p E_o = (\rho + \alpha_c) A_c E_o + m v L + h_w c A_w (t_w - t_c) + \epsilon \sigma A_w (t_w^4 - t_c^4) \\ + m_d c_p (t_d - t_a) + h_c A_b (t_b - t_a) + Q_p$$

Ces quantités représentent les plus importantes énergies échangées par les différents systèmes thermodynamiques définis et le milieu extérieur. Remarquons aussi que cette relation n'est applicable qu'on période d'équilibre (Période où les rayons solaires sont normaux à l'unité de distillation).

DEUXIEME PARTIE



**ETUDE  
THEORIQUE**

## OBJET DE L'ETUDE

Dans tout ce qui a précédé, nous avons montré l'énorme croissance des besoins de l'humanité en eau - Dès lors, il est tout à fait légitime de penser à optimiser les distillateurs solaires dans le but d'améliorer leur production.

Dans ce contexte, plusieurs auteurs [12] ont montré que le rendement des distillateurs classiques ( distillateurs où l'échauffement, l'évaporation et la condensation de l'eau à distiller se font dans la même enceinte ) ne varie guère, si l'on modifie la forme géométrique de ces appareils tout en gardant le même principe. Nous pouvons donc supposer à partir de cette constatation, que pour augmenter le rendement d'un distillateur solaire au dessus d'une valeur dite maximale pour les distillateurs classiques, il est nécessaire de changer le principe.

Aussi un projet de fin d'études a été proposé dans ce sens. Celui-ci consiste dans l'étude et la réalisation d'un distillateur solaire, où l'eau à distiller a été chauffée préalablement.

L'étude comportera les phases suivantes :

\* Dans un premier temps, une identification des paramètres pouvant influencer les caractéristiques de notre distillateur est nécessaire. Ces paramètres accessibles étant identifiés, il faudra les optimiser. A ce point, il faut reconnaître que les paramètres naturels ( météorologiques ) ne peuvent être optimisés expérimentalement, que si le climat varie fortement pendant les journées d'expérimentation.

\* Dans un deuxième temps, la réalisation de notre type de distillateur sera effectuée. Le dispositif expérimental étant réalisé, nous pourons alors procéder à l'optimisation expérimentale.

\* Enfin, dans un troisième temps, des programmes analysant les données ont été faits, et des courbes ont été tracées donnant les paramètres optimums pour lesquels le distillateur travaille dans les meilleures conditions.

CARACTERISATION DES DISTILLATEURS

La production d'eau d'un tel distillateur (dynamique) est caractérisée par plusieurs grandeurs qui sont :  
Le rendement, l'efficacité, le rendement d'absorption et le rendement de distillation et la performance.

A - Le rendement

C'est la quantité d'eau produite (en litre) par unité de surface de plan noir et par jour. Son expression est le rapport de la quantité d'énergie employée à l'évaporation et de la quantité d'énergie fournie.

$$\text{Rend} = \frac{\text{DEBG} \cdot T E}{\text{DEBE} \cdot \text{CSP} (T_e - T_s)}$$

où  $T_e$  et  $T_s$  sont les températures d'entrée et de sortie du distillateur.

$T_e$  : Température de l'eau

B - L'Efficacité

L'efficacité d'un distillateur où l'eau salée est introduite à une température  $T_1$  supérieure à la température interne de la vitre  $T_{iv}$  est définie comme suit: [ 3 ]

+ L'efficacité globale :

$$EG = \frac{Q_e}{G_h + c_{pw} (T_1 - T_{iv}) \text{MES}}$$

+ L'efficacité interne :

$$E_{int} = \frac{Q_e}{\alpha_w G_h + CPW (T_1 - T_{iv}) \text{MES}}$$

$T_1$  : Température atteinte par la saumûre au début de la période d'observation (instant  $t_1$ )

$T_{iv}$  : Température interne de la vitre à l'instant  $t_1$ .

### C - Rendement d'absorption :

Il traduit la fraction d'énergie solaire utilement absorbée par l'eau et le plan noir au cours d'une journée.

Il est défini comme suit :

$$\alpha_m = \int_0^{T_s} \frac{Q}{Q_T} dt$$

Q : est la quantité d'énergie solaire par unité de surface horizontale et par unité de temps dont l'expression empirique est donnée par :

$$Q = \frac{\pi Q_j}{7,2 \cdot 10^3 t_s} \sin \left\{ \frac{\pi \theta}{t_s} \right\}$$

Où  $\theta$  est la durée du jour.

$t_s$  est le temps écoulé depuis le lever du soleil.

$Q_j$  énergie solaire globale reçue dans la journée par unité de surface horizontale.

### D - La performance :

Si l'efficacité globale rapporte la quantité d'eau produite à l'énergie solaire tombant sur une surface horizontale, elle ne fait pas mention de la quantité d'énergie entrant réellement dans le distillateur construit en général pour un lieu donné et avec une pente de couverture fixe.

Un changement de pente et de localité fait varier la quantité d'énergie qui entre dans le distillateur.

Afin de caractériser le distillateur d'une manière plus absolue, nous avons défini le facteur de performance brut (F.P.B.) et le facteur de performance horaire (F.P.H.).

$$\text{F.P.B.} = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout de 24 Heures}}{\text{Quantité d'eau entrée au bout de 24 Heures}}$$

$$\text{F.P.H.} = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'1 heure}}{\text{Quantité d'eau entrée pendant Cette Heure}}$$

### E - EFFICACITE DE DISTILLATION :

C'est le rapport de l'énergie emportée par l'eau distillée à l'énergie totale cédée par l'eau saumâtre.

## C H A P I T R E II

### ETUDE DES PARAMETRES QUI INFLUENCENT LA PRODUCTION DU DISTILLATEUR

Ces paramètres sont divisés en trois grands groupes, chacun d'eux ayant un rôle très important dans la production du distillateur.

#### A - Paramètres dépendant de la construction :

##### A - 1 / LA COUVERTURE

Elle intervient essentiellement par différents facteurs :

##### A - 1.1 / SA NATURE

Elle est déterminée par :

##### a - LA TRANSMITTANCE

La couverture ne doit pas être transparente à l'infra-rouge.

##### b - LA FIABILITE

Le distillateur étant réalisé pour une durée maximale, une épaisseur importante de la couverture est donc nécessaire, afin qu'elle résiste aux attaques du vent et aux intempéries.

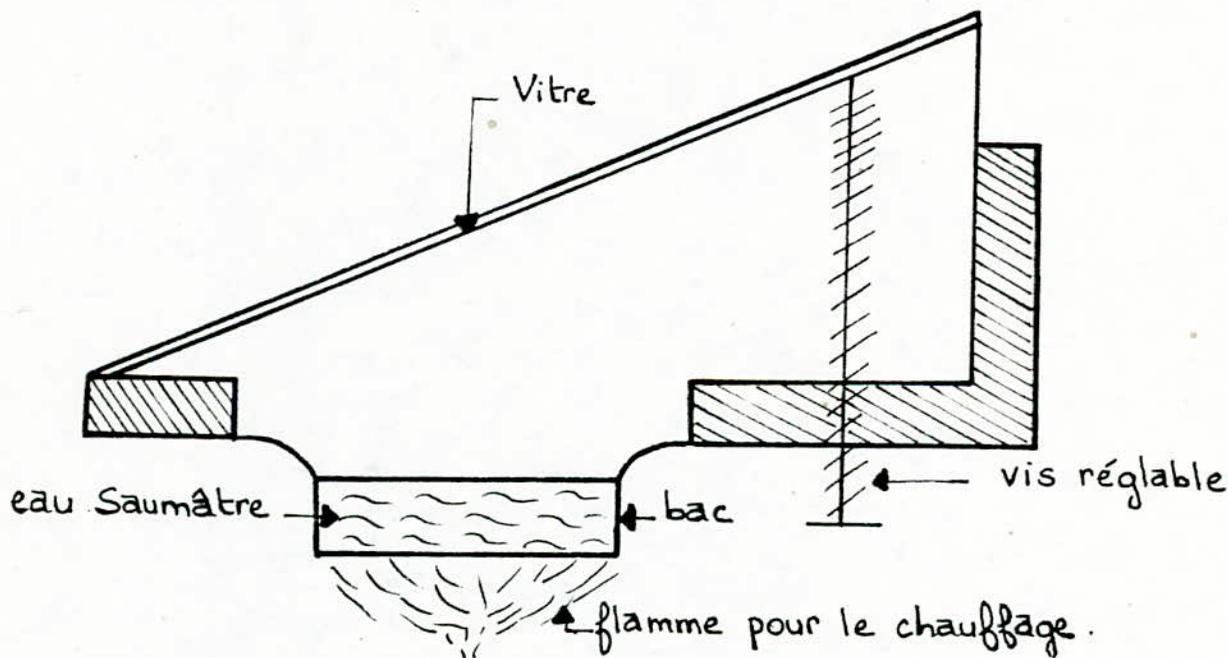
##### c - LA MOUILLABILITE

La surface intérieure de la couverture doit posséder une bonne mouillabilité, c'est à dire que la goutte d'eau doit bien s'étaler et adhérer au mieux la surface interne de la couverture. Le verre utilisé dans notre cas répond bien à ce critère.

Elle détermine la quantité d'énergie entrant dans le distillateur et intervient dans le transfert interne de chaleur et de masse entre la saumure et la vitre de condensation.

Pour avoir de bons transferts de chaleur et de masse, on a intérêt à prendre l'inclinaison du toit la plus petite possible, mais on est limité dans ce choix, car cette inclinaison doit assurer l'écoulement du condensat vers les gouttières sans que celui-ci retombe dans l'eau saumâtre.

Aussi une recherche de l'inclinaison optimale a été réalisée. Celle-ci se fait à l'aide d'une vis. La disposition de cette dernière est représentée sur le schéma ci-dessous. [10]



L'angle d'inclinaison  $\alpha$  est réglé jusqu'à ce qu'il y ait écoulement du condensat sans arrachement de gouttes d'eau.

Pour le matériau utilisé (verre), l'angle optimum obtenu est  $\alpha = 30^\circ$ . [8]

A 1 - 3 / SA FORME

Ce paramètre est très important, car il influence de beaucoup le transfert

de masse.

Aussi, plus la surface de condensation est grande, plus la quantité d'eau condensée est grande.

#### A.2 / Distance surface d'évaporation - Surface de condensation

S - SATCUNANATHAN ET HANSEN [ 6 ] ont montré que la réduction de cette distance fait augmenter le pourcentage de performance du distillateur.

#### A.3 / Epaisseur de la lame d'eau saumâtre:

Comme dans notre cas, l'eau entrant dans l'enceinte de distillation est déjà chaude, ( chauffée grâce aux capteurs - plans ) l'influence de l'épaisseur n'est donc pas aussi importante que dans les distillateurs où le chauffage se fait dans l'enceinte de distillation. Il nous suffira donc de prendre une mince épaisseur qui est de quelques millimètres.

Dans ses recherches COOPER a montré, qu'aux petites épaisseurs le flux de chaleur transmis à travers la base du distillateur est plus important qu'aux grandes épaisseurs [ 7 ]

l'adjonction d'un isolant pour minimiser les pertes thermiques vers la base est donc nécessaire dans notre cas.

#### A. 4 / LE PLAN NOIR

##### A4 - 1 / SA NATURE

Des tests menés par ACHILOV et ZURAEV [ 4 ] montrent que le plan noir peut être construit en béton, en ciment ou en bois.

Pour la fabrication industrielle des distillateurs, il est plus avantageux d'utiliser du béton préfabriqué ou du bois ( le coût des matières premières faisant loi ).

Cependant, l'utilisation du verre de construction de 4 à 8 mm d'épaisseur (dont les caractéristiques thermiques et mécaniques sont proches de celles du béton). entraîne une inertie thermique plus faible et des rendements supérieurs de 10 à 15% à ceux obtenus avec du béton.

Notons aussi qu'un mélange aggloméré de résine et de fibre de verre peut être utilisé.

Il faut éviter d'utiliser des matériaux comme l'acier ou le zinc susceptibles de rouiller.

#### A.4.2/ SON INCLINAISON

Pour les distillateurs à ruissellement, il est nécessaire de déterminer l'inclinaison optimale : l'élévation de température de la saumure le long du plan noir est :

$$\Delta T = P / \text{Débit de saumure}$$

où P : Puissance cédée par convection à la saumure par le plan noir.

Il apparait dès lors qu'il faut minimiser le débit de saumure qui, si l'on admet une distribution semi-parabolique des vitesses s'exprime comme suit :

$$\text{Débit} = -\frac{g \delta^3 \sin \beta}{3 \nu}$$

Où | V : Viscosité cinématique de la saumure  
|  $\nu$  : Accélération de la pesanteur

Pour une épaisseur de film de saumure  $\delta$  déjà choisie très faible, on peut diminuer le débit, en réduisant l'inclinaison  $\beta$  de l'absorbeur noir.

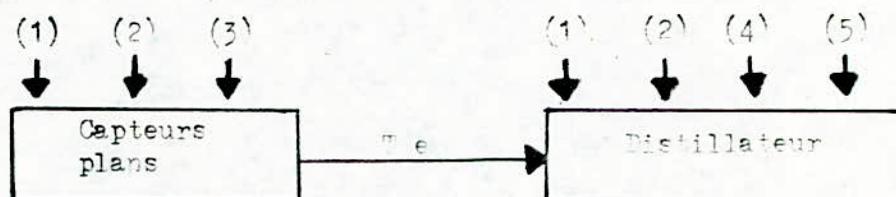
#### B/ Paramètres météorologiques :

Les plus importants paramètres influençant la production du distillateur sont

- (1) L'intermittance des nuages
- (2) Le rayonnement
- (3) l'Orientatation des capteurs - plans
- (4) le Vent
- (5) la Température ambiante

Dans notre cas, l'eau saumâtre à distiller est déjà chaude, la variation des trois premiers paramètres ( intermittance des nuages, rayonnement, et l'orientation des capteurs-plans ), n'aura pas une très grande influence sur le distillateur lui même, mais le paramètre qu'on étudiera et qui découlera directement de cette variation est la température d'entrée de la saumure.

Notre installation pourra donc être schématisée comme suit :



D'après des études expérimentales SOLLEMAN constate qu'aux températures élevées de l'eau saumure, le taux de condensation augmentait si la différence de température entre l'eau saumure et la vitre de condensation est grande. l'augmentation du gradient de température entre ces deux derniers peut se faire de deux manières : [8]

- \* Soit en augmentant la vitesse du vent.
- \* Soit en refroidissant la vitre.

#### C/ Paramètres réglables :

Ce sont les paramètres pouvant être réglés par l'expérimentateur.

On peut citer :

#### C - 1 / Débit d'eau entrant :

Paramètre très important, étant donné que notre distillateur est à ruissellement.

Une optimisation de ce paramètre a été réalisée et des courbes représentant l'influence de ce dernier sur la production ont été tracées.

.../...

C - 2 / Paramètre fonction de la saumure :

ACHILOV [ 4 ], a montré expérimentalement q'une augmentation en sels de 20 à 45% de la concentration de la saumure fait décroître le rendement du distillateur

C - 3 / Effet d'un préchauffage de la saumure :

La pression de vapeur d'eau au-dessus de la surface d'évaporation est d'autant plus élevée que la température de la saumure entrante est élevée. En effet, la pression P de vapeur saturante s'exprime sous la forme :

$$P = a \cdot T_v / 2, 17.10. \cdot 3$$

Où  $T_v$  : température de la vapeur

$a$  : humidité absolue de l'air en  $Kg / m^3$

L'effet d'un préchauffage de la saumure entrante est donc d'augmenter la température du mélange air-vapeur, donc d'accroître le gradient de température entre la saumure et la surface de condensation.

GOMELLA a lié la température de la saumure à la production journalière des distillateurs classiques (HOT - BOX) [1]

$$\eta (1 / n^2 j) = \frac{d}{e - t_w (^\circ c)} + C$$

ou  $d$ ,  $e$  et  $c$  sont coefficients numériques.

$t_w$  est la température de la saumure.

Cette production croît donc, lorsque la température de la saumure augmente. Signalons aussi que lorsque la température de la saumure augmente, nous obtenons un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau dû à la formation de carbonates insolubles dans la saumure, ceci empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface absorbante, ce qui conduit à une baisse de production.

## Conclusion

Nous concluons de cette étude théorique que les paramètres influant sur la production de notre type de distillateur ne diffèrent pas de ceux du distillateur "classique".

Aussi, le bilan est le même du point de vue théorique, sauf que dans notre cas il y'a un apport d'énergie supplémentaire, puisque l'eau est chauffée préalablement et ceci accélère le phénomène de distillation.

L'avantage de ce distillateur, est qu'il assure une production d'eau distillée importante, y compris la nuit. En effet l'eau entrante étant déjà chaude, le rayonnement solaire n'est donc pas nécessaire. Et pour ces mêmes raisons, le distillateur solaire étudié reste efficace aussi bien en été qu'en hiver.

La production est donc permanente.

Une étude expérimentale a été menée afin d'optimiser les paramètres accessibles influant sur la production du distillateur, les résultats expérimentaux figureront dans la 3<sup>e</sup> partie qui comprendra aussi la conclusion générale concernant ce travail.

TROISIEME PARTIE



REALISATION ET  
OPTIMISATION  
EXPERIMENTALE

- INTRODUCTION -

L'Etude expérimentale de notre type de distillateur (distillateur solaire à effet de serre avec préchauffage de l'eau) a consisté essentiellement en la mesure et l'analyse des paramètres accessibles influant sur le rendement.

Les résultats expérimentaux, nous ~~vous~~ ont permis l'optimisation de ces différents paramètres.

Dans tout ce qui suit, nous allons décrire le dispositif expérimental et les différentes méthodes de mesure.

Les données expérimentales ayant été acquises, seront traitées au moyen d'un ordinateur. Ce dernier nous fournira les différents tracés de courbe ; nous permettant ainsi de situer dans un certain intervalle, le point optimum (rendement maximal).

**DISPOSITIF EXPERIMENTAL**

**Solaire**

Ce dispositif a été réalisé à la station de l'université de Bab Ezzou. Il est conçu de manière à ce que ses composants et sa forme géométrique le rapprochent du modèle théorique.

Un préchauffage de l'eau à distiller étant nécessaire, ceci nous conduit à l'utilisation d'un chauffe-eau solaire. Ce dernier se compose des éléments suivants :

- \* 4 capteurs plans de  $1\text{m}^2$  de surface chacun.
- \* 1 cuve de stockage jouant le rôle d'échangeur de chaleur.

A / REALISATION DU DISTILLATEUR :

Il comprend les éléments suivants :

I / Surface de condensation et de transmission du flux solaire:

Le matériau qui a été choisi pour cette surface est le verre à vitre ordinaire pour son faible coût et ses bonnes propriétés physiques (mouillabilité, conductivité thermique et transmission de rayonnement).

Il présente des dimensions voisines de  $(135 \times 54,5 \text{ cm})$  et d'une épaisseur de 2mm (bonne résistance).

De part sa faible épaisseur, le gradient de température entre ses deux faces est pratiquement négligeable.

Son inclinaison est de  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale.

II / Bac contenant l'eau à distiller :

Le bac de volume intérieur  $115 \times 90 \times 18 \text{ cm}^3$  est réalisé au moyen de la résine armée de fibres de verre. La surface est recouverte d'une couche de GELCOAT (qui a la propriété d'être résistant et protecteur) et est peinte en noir afin d'augmenter son facteur d'absorption.

Le fond du bac est légèrement incliné et présente deux orifices, l'un permettant l'évacuation de la saumure et l'autre l'alimentation du bac en eau.

### III - Gouttières de récupération :

Deux gouttières de récupération viennent équiper les deux longueurs du distillateur et permettant la récupération de l'eau distillée.

### IV - Isolation:

Dans le but de minimiser les pertes par conduction à travers le fond du bac, nous avons utilisé une plaque de polyester de 5,2 cm d'épaisseur soutenue par une feuille de contre-plaqué.

### V - Etanchéité :

Le distillateur doit être parfaitement étanche car l'air ou l'eau qui risquent d'y entrer (pluie, humidité, rosée, ..... ) diminuent le rendement et ceci s'effectue des trois façons suivantes :

a) lorsque la température n'est pas très élevée, l'humidité de l'air se condense sur la face interne de la vitre. Celle-ci n'étant plus transparente absorbera le rayonnement au lieu de le laisser traverser et cette condensation persistera jusqu'à ce que la vitre soit assez chaude pour la faire évaporer.

A ce moment, le rayonnement solaire pourra traverser la vitre et chauffer l'absorbeur.

b) Si le distillateur n'est pas étanche, les poussières et autres saletés entreront dans ce dernier et se déposeront avec les condensations sur la vitre. Celle-ci se salira rapidement et sa transparence diminuera d'autant.

.../...

c/ L'eau risque de mouiller l'isolant qui devient alors conducteur de la chaleur.

l'étanchéité au niveau de la surface vitrée est assurée par des joints en caoutchouc auxquels nous avons adjoint du mastic ordinaire (mastic vitrier) à défaut du mastic au silicone.

## VI - Le chauffe-eau solaire : [13]

Le système de chauffage solaire utilisé se compose de 3 parties :

\* La captation du rayonnement solaire qui utilise les propriétés du corps noir ainsi que celles de l'effet de serre.

\* Le stockage de l'eau utilisant un réservoir.

\* La distribution de l'eau (saumure) au distillateur.

### VI - 1 - Système de captation du rayonnement solaire:

Notre installation se compose de 4 capteurs-plans à effet de serre en formes de tubes, reliés par un circuit fermé à un réservoir de stockage d'eau chaude.

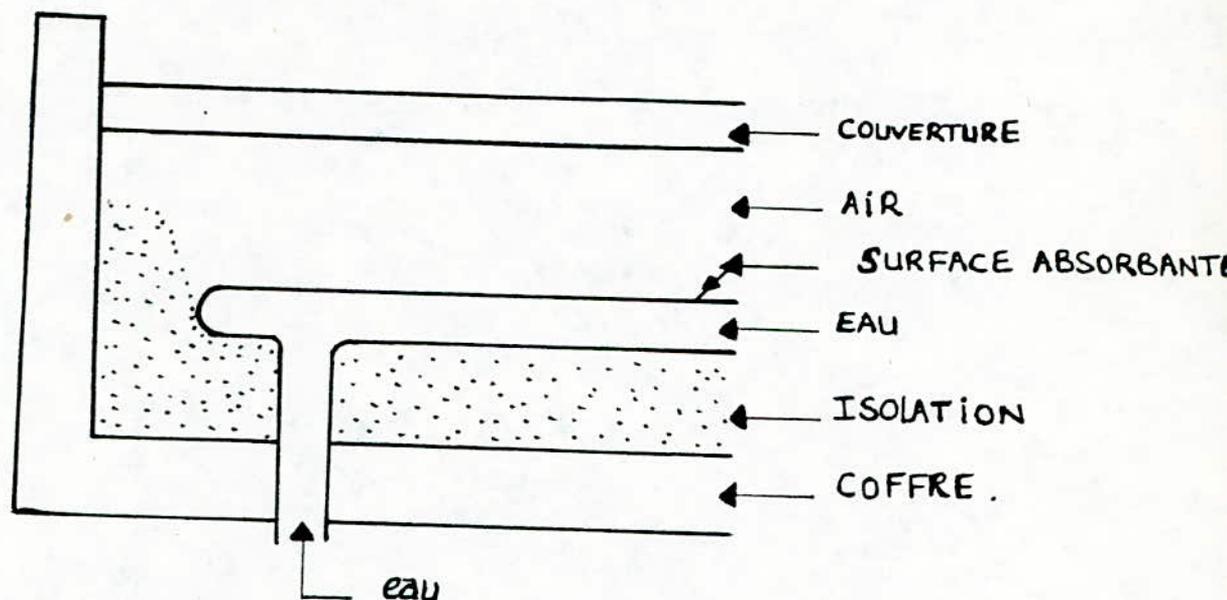
#### VI - 1.1 - Description :

C'est un appareil simple qui capte par une surface plane et fixe le rayonnement (direct et diffus) qui <sup>est</sup> immédiatement absorbé et transformé en chaleur. Les températures obtenues sont de quelques dizaines de degrés au dessus de la température ambiante.

Il est constitué des éléments suivants :

- d'une surface absorbante ( absorbeur )
- d'une isolation thermique latérale et arrière
- d'une couverture transparente en avant de l'absorbeur.

- d'un circuit de fluide situé sous l'absorbeur et destiné à évacuer les calories produites vers le lieu d'utilisation ou d'accumulation.



#### VI - 1.2 - Installation :

L'insolateur capte un maximum d'énergie lorsqu'il est perpendiculaire aux rayons du soleil, or l'inclinaison des rayons varie au cours de la journée et au cours des saisons. Comme les capteurs sont fixes ; on les a orienté SUD pour profiter au maximum des rayons pendant la journée. Par ailleurs, les capteurs sont inclinés sur l'horizontale d'un angle égal à la latitude du lieu augmenté d'environ  $10^\circ$ , c'est à dire de  $\beta = 50^\circ$ .

D'autre part, les insolateurs sont placés le plus possible à l'abri des vents et des courants d'air.

#### VI - 1.3 - Fonctionnement :

Quand le soleil brille, le fluide le plus chaud du capteur se déplace vers le haut car sa densité est inférieure à celle du fluide non chauffé. Le circuit étant fermé, le fluide chaud est remplacé par le fluide froid qui, à son tour est chauffé dans le capteur et se déplace vers le haut. La circulation se poursuivra tant que le capteur sera soumis au rayonnement solaire. La vitesse de la circulation augmente avec l'intensité de l'éclairement.

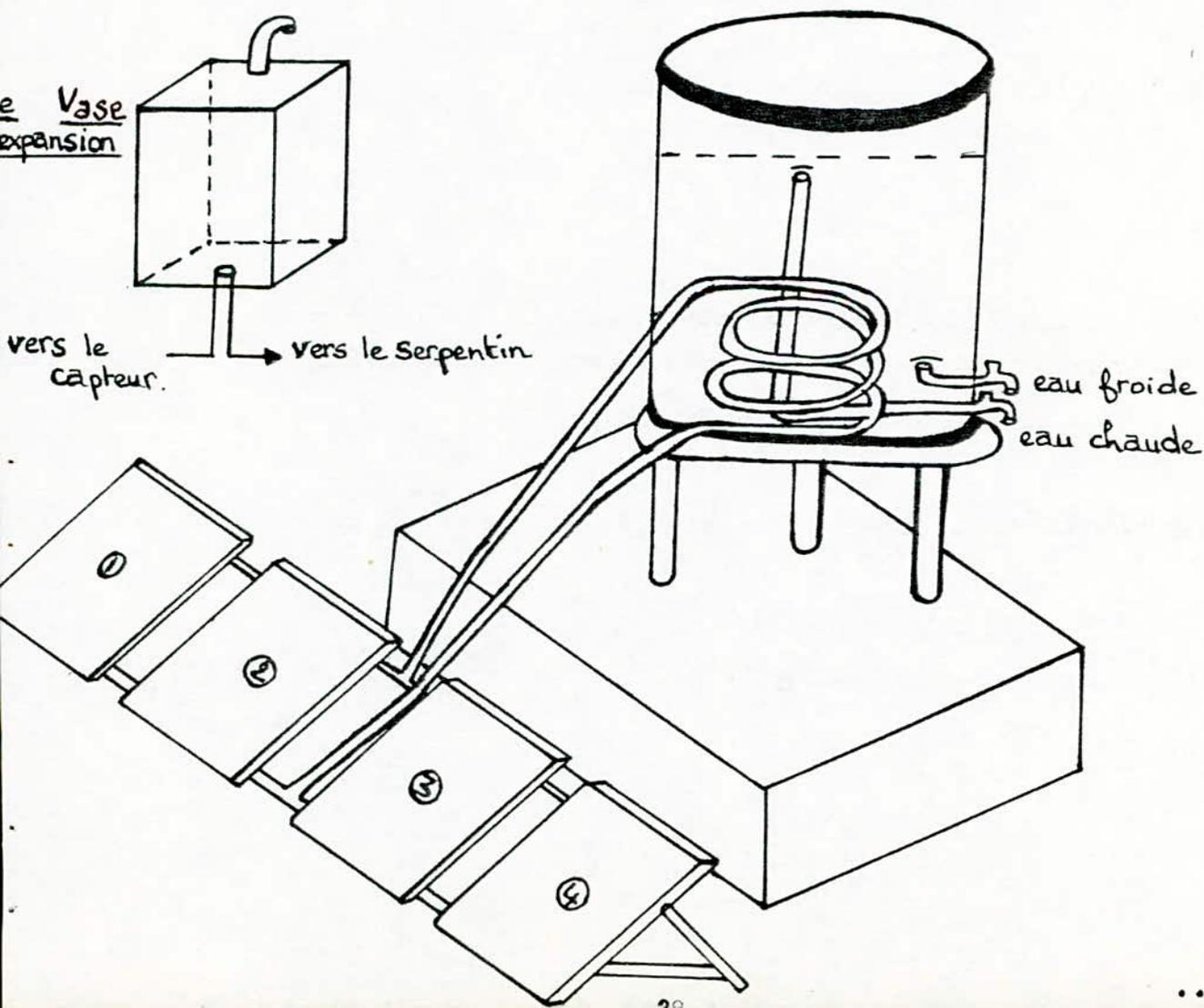
## VI - 2 / Système du réservoir de stockage :

Le réservoir de stockage de la saumure contient à l'intérieur un échangeur d'eau. Ce dernier joue le rôle d'un radiateur, l'eau chaude venant de l'insolateur perdra une partie de ses calories pour chauffer l'eau du réservoir qui est plus froide.

L'eau se dilate en chauffant ; pour éviter que l'installation n'éclate ; on ajoute un vase d'expansion - c'est un récipient en tôle, de forme parallélépipédique. Il est placé au-dessus du réservoir et est muni d'un trop-plein permettant l'évacuation de l'eau en excédent.

Ce réservoir de stockage est placé verticalement au-dessus des capteurs-plans venant chauffer la saumure.

Le schéma général d'un chauffe-eau solaire est donc le suivant :



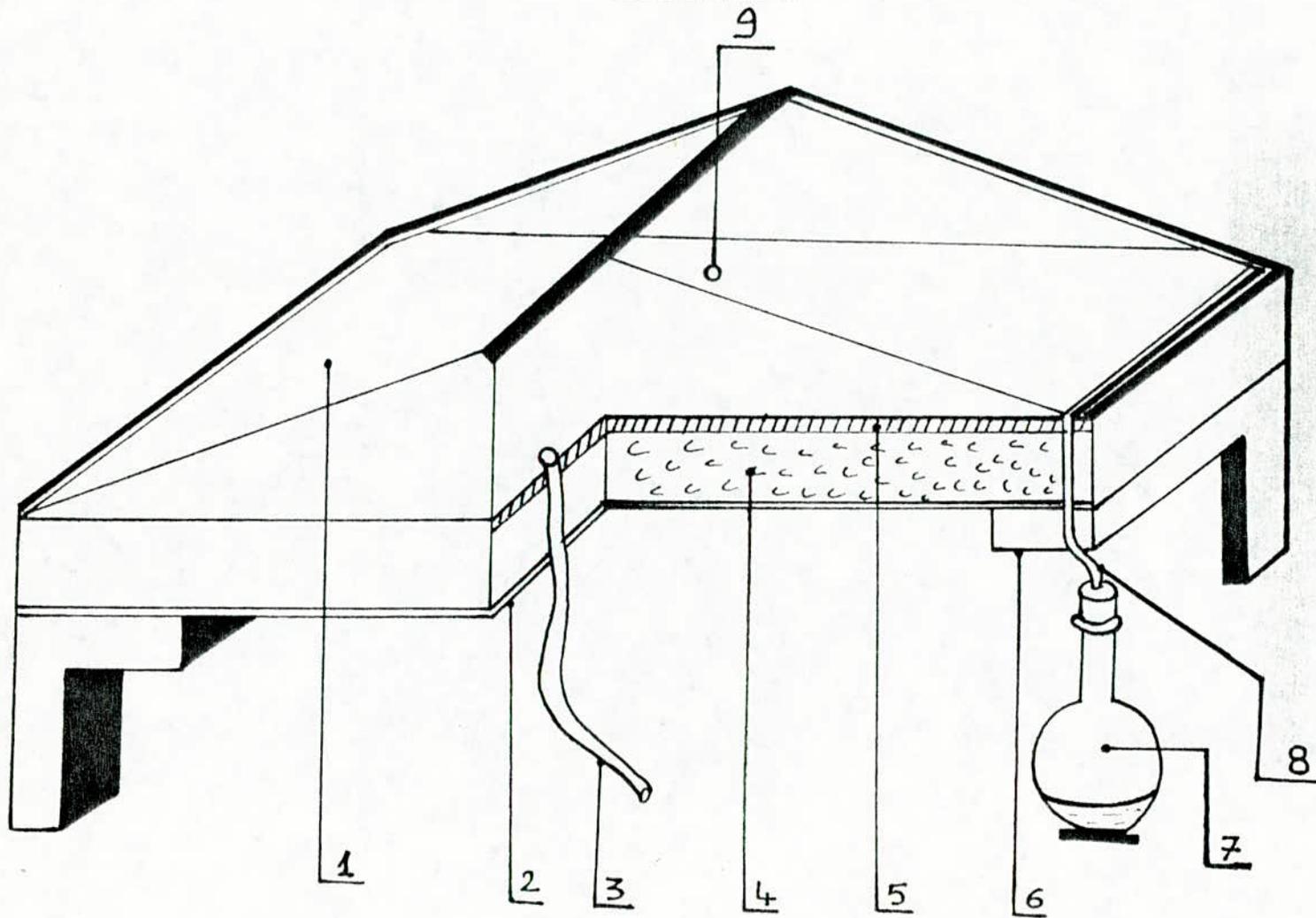
VI - 3 - Système de distribution de l'eau au distillateur :

La distribution de la saumure servant à l'alimentation du distillateur se fait à partir d'un robinet courant placé à l'arrière du réservoir de stockage.

Cette distribution de la saumure se fait grâce à des tuyaux ordinaires (tuyaux d'arrosage) recouverts de masse isolante de même diamètre que les tuyaux et de laine de verre (bonne propriété d'isolation).

VUE EN PERSPECTIVE D'UN DISTILLATEUR

SOLAIRE



-30-

- 1- Toit en verre
- 2- Contre-plaqué
- 3- Entrée de la saumure à distiller
- 4- Isolant (Polyester)
- 5- Bac en verre aggloméré (point en noir)

- 6- Boitier en bois
- 7- Récipient d'eau distillée
- 8- Tube de sortie du distillat
- 9- Trou de vidange
- 10- Joint d'étanchéité en caoutchouc

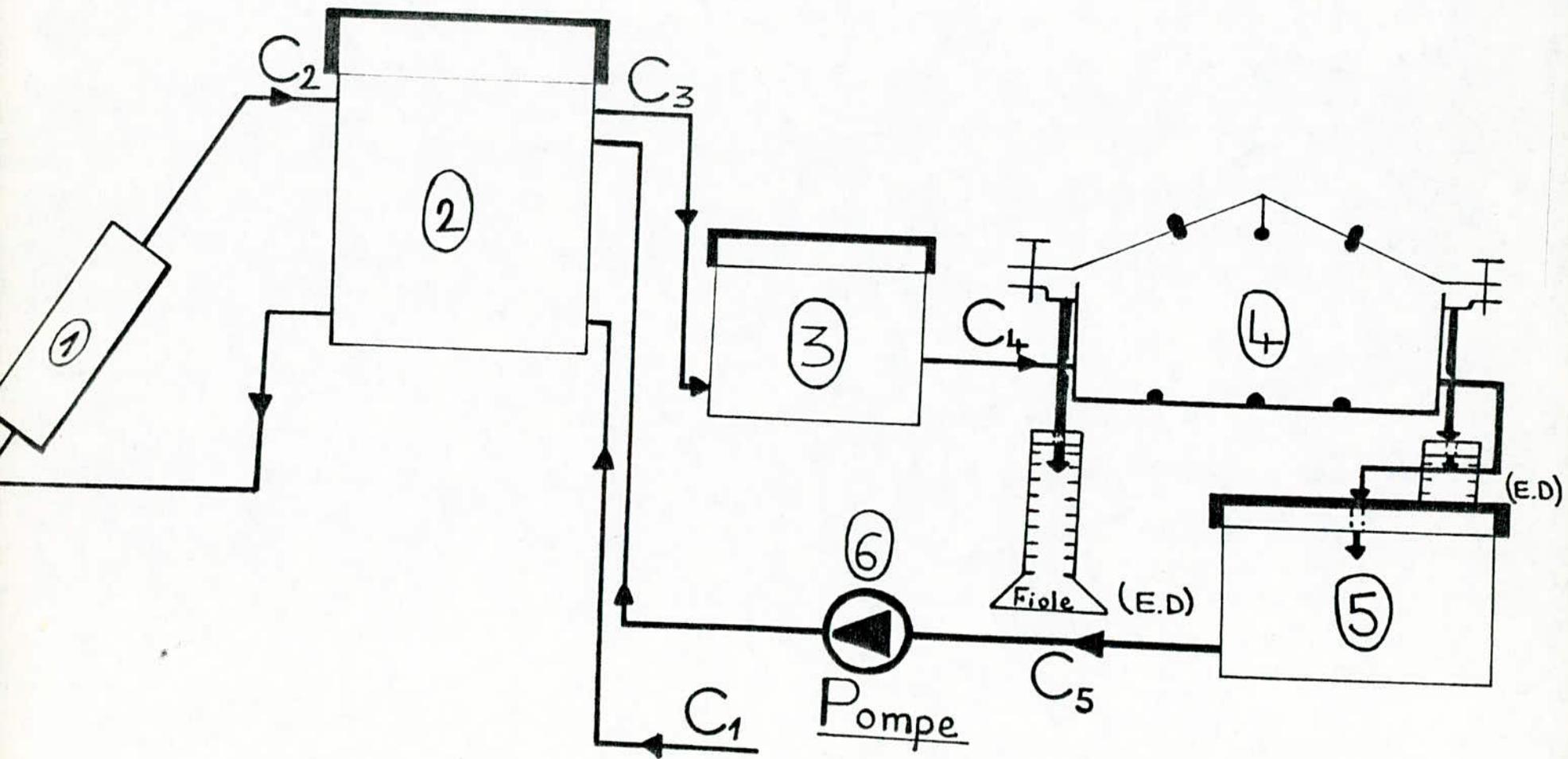
## B/ Montage de l'unité de distillation :

Le montage se fait par simple pose du toit sur le bac. L'étanchéité est assurée par un joint en caoutchouc entourant tout le bac et le serrage grâce à des brides situées de chaque côté du distillateur.

L'orientation NORD - SUD du distillateur est choisie de façon à avoir un maximum d'ensoleillement sur la vitre EST le matin et sur la vitre OUEST l'après-midi.

Un régulateur de niveau que l'on a isolé est placé entre le distillateur et le chauffe-eau. Il nous permet d'avoir une épaisseur de la nappe d'eau à distiller constante.

SCHEMA GENERAL DE L'INSTALLATION



- (1) : quatre capteurs - plans
- (2) : cuve de stockage de la saumure
- (3) : régulateur de niveau
- (4) : distillateur solaire
- (5) : cuve de récupération de la saumure non distillée

(ED) : Fides pour la récupération de l'eau distillée

(C) : Conduites

C1 : Alimentation de la cuve de stockage en eau

C2 : Conduite de l'eau chauffée dans les capteurs et allant à la cuve de stockage.

C3 : Conduite d'alimentation du régulateur

C4 : Conduite d'alimentation du distillateur en eau saumâtre

C5 : Conduite de refoulement de la saumure non évaporée vers la cuve de stockage.

### C / Fonctionnement de l'installation :

Le fluide caloporteur (eau) s'échauffant dans les capteurs cède des calories à l'eau contenue dans la cuve de stockage par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur contenu dans cette dernière.

L'eau chaude ainsi obtenue va vers le distillateur en passant d'abord par le régulateur. Son débit doit être réglé grâce à la vanne (V1). Une partie de cette eau s'évapore ; se condense ensuite sur la surface interne du toit; puis est acheminée vers les gouttières pour être récupérée dans les deux fioles (ED) : c'est l'eau distillée.

l'autre partie est récupérée dans le bac (5) calorifugé ( afin qu'elle conserve sa chaleur) puis renvoyée dans la cuve de stockage.

Grâce à une pompe (6) : ceci permettra un gain de chaleur appréciable.

## C H A P I T R E II

### APPAREILS ET METHODES DE MESURE

Pour clarifier l'étude de l'influence de certains paramètres sur la production du distillateur et dans le but de les optimiser, ces derniers ont été divisés en deux grands groupes :

- 1er Groupe : Paramètres d'entrée :

Ce sont les paramètres donnés et qui sont :

- \* Le débit d'eau saumâtre à l'entrée
- \* La température de la saumâtre à l'entrée du distillateur
- \* La vitesse du vent
- \* Le taux d'humidité
- \* La puissance du rayonnement incident.

- 2eme Groupe : Paramètres de sortie:

Ce sont les paramètres caractérisant le distillateur et grâce auxquels on peut voir l'influence de chaque paramètre d'entrée.

Les plus importants sont :

- \* Le débit d'eau distillée
- \* La température de la saumure à la sortie du distillateur.

.../...

## A - LES APPAREILS DE MESURE :

Les appareils nous permettant la mesure de ces différents paramètres sont les suivants :

- \* Débit - mètre
- \* Thermo-couples et sondes à résistance de platine
- \* Girouette associée à l'anémomètre
- \* Hygromètre
- \* Solarimètre

Plusieurs de ces paramètres n'ont pas été mesurés, ainsi les données de

- La vitesse du vent
- le taux d'humidité
- le rayonnement solaire

nous ont été fournies par le service de météorologie nationale.

### 1 / Sonde à résistance de platine

Elle nous permet, la mesure des températures. Son étendue de mesure est de  $-240^{\circ}\text{C}$  à  $1200^{\circ}\text{C}$ .

Sa précision est de :  $0,1\%$  de la lecture  $\pm 2$  unités  $\pm \Delta\theta_1 \pm \Delta\theta_2$

Où  $\Delta\theta_1$  : Correspond à l'erreur de linéarisation

$\Delta\theta_1 < 0,1^{\circ}\text{C}$  de  $-240^{\circ}\text{C}$  à  $+700^{\circ}\text{C}$ .

$\Delta\theta_2$  : Terme correspondant à la compensation de température de soudure froide.

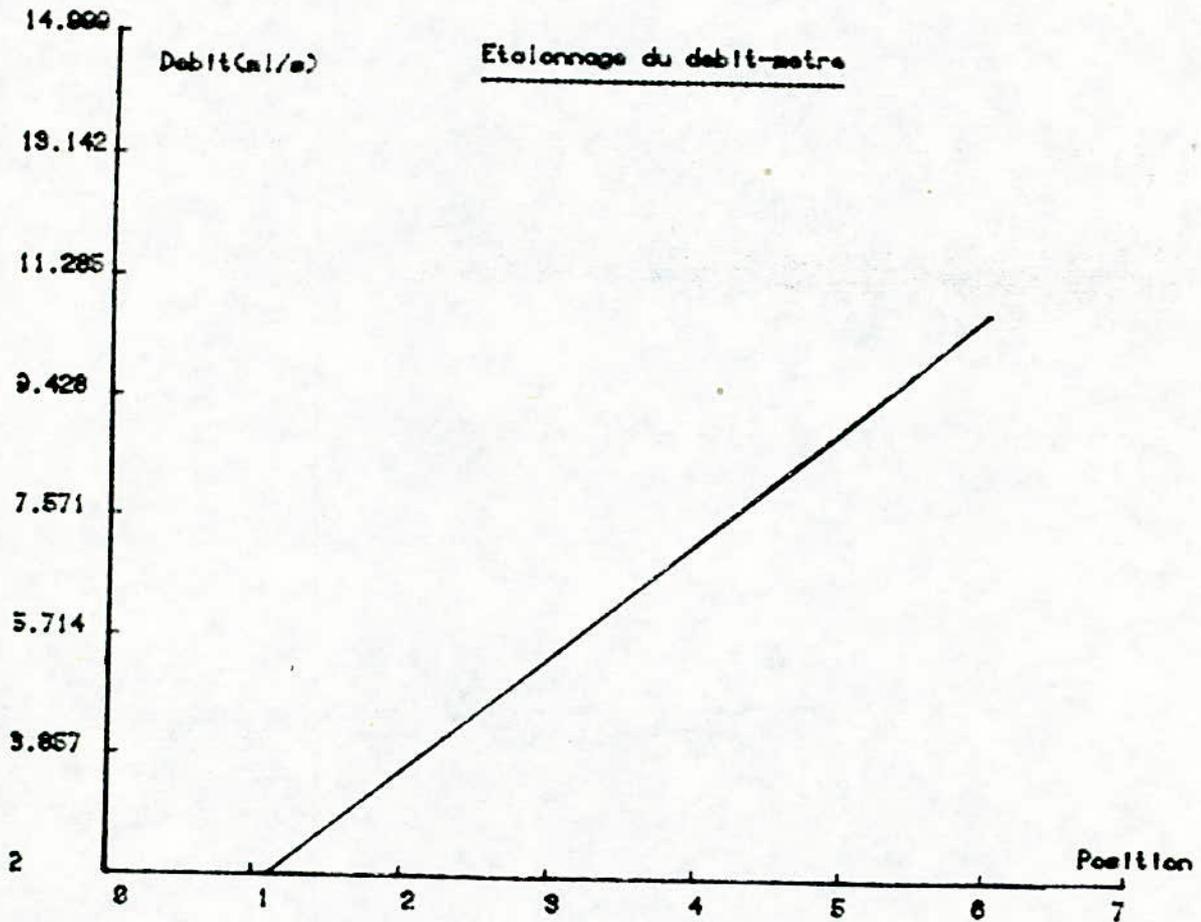
$\Delta\theta_2 \leq 0,7^{\circ}\text{C}$  entre  $0^{\circ}$  et  $40^{\circ}\text{C}$

Pour les couples thermo-électriques, nous avons même chose, sauf que  $\Delta\theta_1$  varie suivant la nature du couple ( K, T ou J )

.../...

## 2 - Le débit - mètre

C'est l'instrument qui nous permet la mesure du débit. Nous avons d'abord effectué son étalonnage et la courbe obtenue est la suivante :



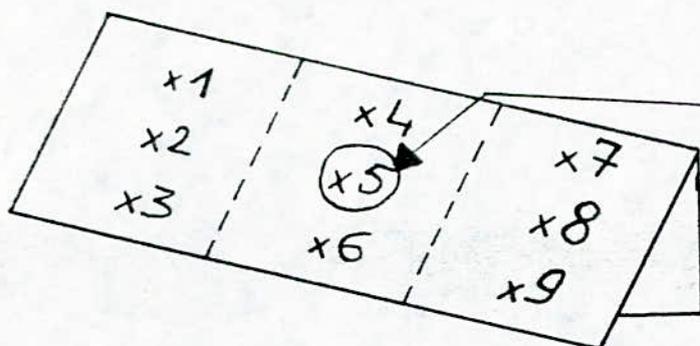
## B - METHODES DE MESURES :

La mesure de température des deux vitres et du mélange air-vapeur est réalisée à l'aide de thermocouples.

Le flux d'énergie reçu par le distillateur étant variable, il en résulte donc une variation de température en tout point de celui-ci. Le choix de l'emplacement des thermocouples est donc important, car il doit être représentatif.

Une détermination des points optimaux a déjà été effectuée [11] et les résultats obtenus sont les suivants :

\* Surface externe de la vitre ( EST et OUEST )

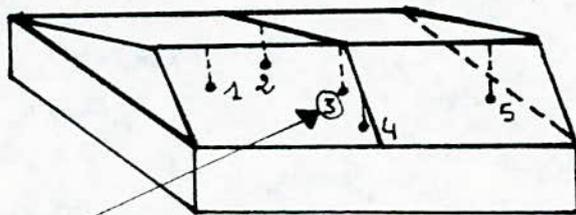


Représentera la température moyenne de la vitre extérieure.

L'emplacement du thermocouple représentatif sur la surface intérieure de la vitre est le même que celui déterminé précédemment (surface externe).

\* Mélange air-vapeur :

Cinq thermocouples ont été suspendus dans le mélange air-vapeur. Le point représentatif est le point 3.



Représentera la température moyenne du mélange air-vapeur.

## C - CHAÎNE D'ACQUISITION DES DONNÉES

Comme l'indique le schéma (page 41), cette chaîne est constituée des éléments suivants :

### 1 / Une centrale de mesure :

Elle est reliée à 8 canaux d'entrée qui sont des capteurs nous permettant d'avoir les différentes températures à tout moment voulu de la journée. Cette centrale de mesure à micro-processeur type SAMCO est un système d'acquisition de données programmable par clavier.

Elle possède une capacité de 60 voies et permet la mesure de :

- \* Températures par couples thermoélectriques et sondes à résistance de platine 100  $\Omega$  à 0° c.

- \* Tensions continues

- \* Grandeurs physiques avec capteurs appropriés.

Sa programmation simple, son faible encombrement, sa protection contre les intempéries du secteur et les parasites en font un appareil particulièrement fiable dans les milieux industriels et les laboratoires.

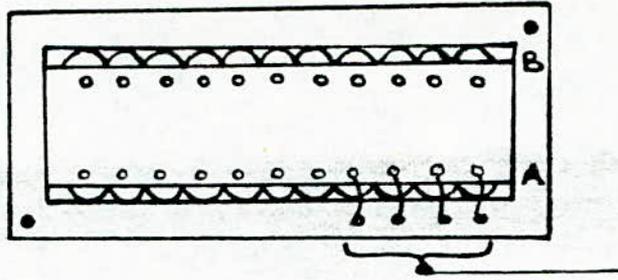
La centrale permet de sonder toutes les voies et n'imprimer que celles qui ont été programmées à des intervalles de temps choisis par l'opérateur à l'aide de la minuterie.

Elle est équipée de trois cartes de commutation - La capacité maximale de chaque carte est de :

- 20 voies de mesure en 2 fils

- 10 voies de mesure en 4 fils

Au niveau du connecteur, les 4 premières entrées sont réservées à la compensation de température de soudure froide. Ces entrées sont raccordées à la sonde située contre le connecteur, cette dernière permettant de mesurer la température du bornier



Compensation de  
température de Soudure  
froide.

Pour câbler le connecteur, on dénude le fil, puis on l'introduit dans son alvéole de connection par pression à l'aide d'un petit tourne-vis dans l'encoche immédiatement à côté de l'alvéole de câblage.

Une cassette est incorporée à la centrale de mesure. Cette dernière nous permet donc l'enregistrement de toutes les informations sur bande magnétique.

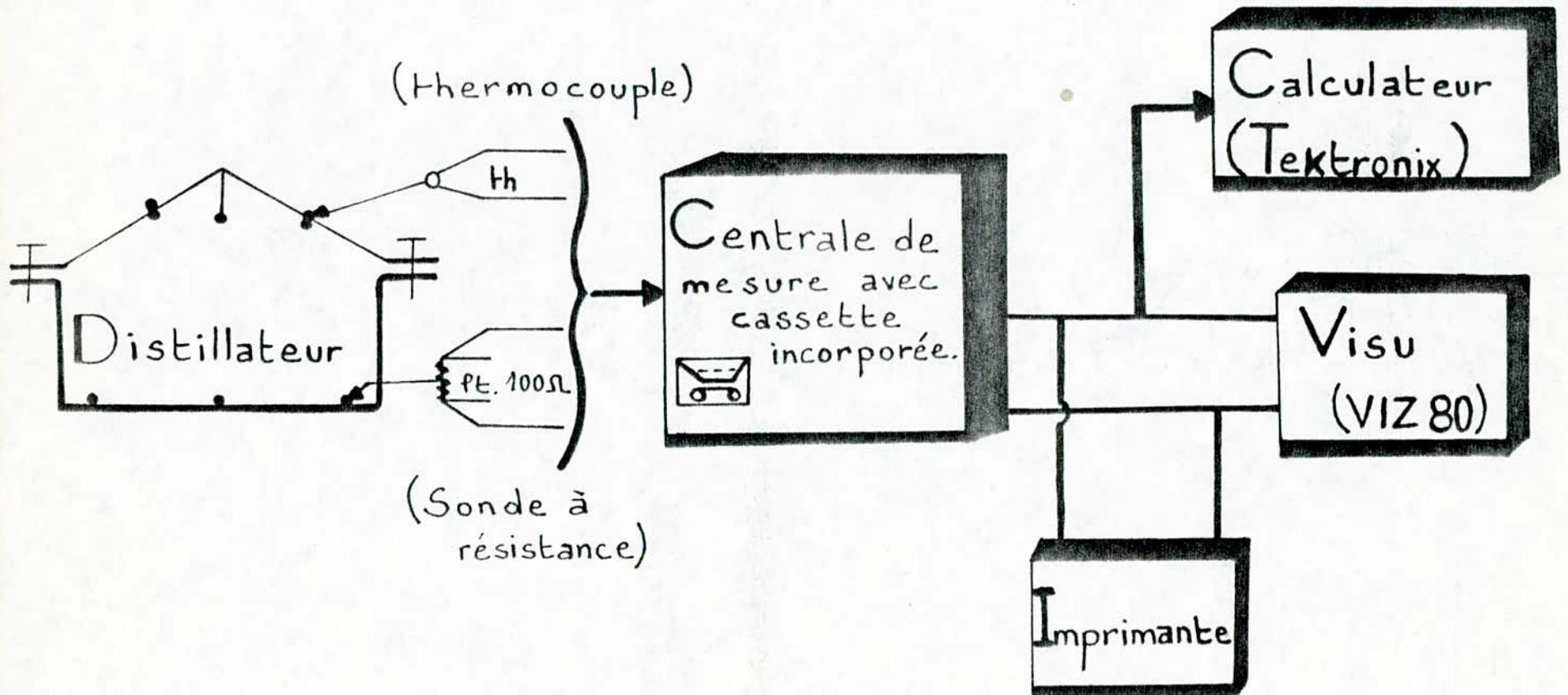
## 2 / Organes de sortie:

La centrale de mesure est reliée à deux périphériques :

- Périphérique 1 : Constitué de l'ensemble visu et imprimante. Il nous permet la visualisation et l'écriture des données enregistrées.
- Périphérique 2 : Calculateur ( **TEKTRONIX** ) c'est au moyen de ce périphérique que les données seront traitées.

CHAINE D'ACQUISITION DES DONNEES

---



RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

Le distillateur à ruissellement a été étudié la semaine du 1er au 06 Juin. Ce test a permis d'obtenir un certain nombre de résultats expérimentaux pour chacun de ces six jours.

LES MESURES :

La centrale de mesure SAM 60, à 60 voies permet d'obtenir continûment la température ambiante et les températures de la Saumure et des deux vitres internes et externes, par l'intermédiaire de Sondes à résistance de platine et de thermocouples convenablement placés.

La quantité d'eau produite (eau distillée) est mesurée toutes les heures dans une éprouvette graduée à 10 ml près.

Pour ces six journées, les tests ont commencé à 9 Heures et duré 24 Heures.

A - MESURES DE LA TEMPERATURE DE SORTIE DE LA SAUMURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE :

a) - METHODE DE CALCUL

La température de l'eau saumâtre à l'intérieur du distillateur varie entre l'entrée et la sortie. Cette variation est dû aux gains d'énergie se produisant au cours de l'écoulement. On peut admettre que la chaleur est cédée par le fond du bac en quantités finies d'un bout à l'autre du distillateur. Ceci rend raisonnable le découpage fictif du distillateur en N tranches de grandeurs finies. Ces grandeurs doivent être assez petites pour pouvoir considérer que la température d'une tranche est constante. Elle sera égale à la moyenne des températures d'entrée et de sortie de la tranche.

La tranche K aura la température moyenne  $T_M (K)$  telle que :

$$T_M (K) = \frac{T (K) + T (K + 1)}{2}$$

T (K) : Température à l'entrée de la tranche

T (K + 1)        "        à la sortie de la tranche

La résolution se fera pour chaque tranche. Nous aurons ainsi les caractéristiques locales relatives à chaque tranche.

Une moyenne arithmétique se fera à la fin pour avoir les caractéristiques globales du distillateur.

Dans notre étude, nous ne tenons compte que de la température à l'entrée ( $T_e$ ) et à la sortie ( $T_s$ ).

b) - MESURES :

Nous effectuons d'abord une variation du débit, afin de repérer le débit correspondant à la variation de température  $\Delta T = (T_s - T_e)$  la plus faible possible.

On fixe alors une faible épaisseur  $E_{pai} = 1 \text{ cm}$   
et on relève la température ambiante  $T_a = 26^\circ \text{ C}$  ou  $20^\circ \text{ C}$

Nous remarquons que la différence de température croît avec la diminution du débit d'eau à l'entrée. Ceci est dû au fait que pour un faible débit, la saumûre met plus de temps pour arriver à la sortie du distillateur.

D'après nos expériences, le débit nous permettant d'obtenir  $\Delta T$  la plus faible possible est de  $0.07 \text{ ml/s}$ .

TABLEAUX DES MESURES :

$T_a = 20^\circ \text{ C}$

$T_e$ (degrés C)	$T_s$ (degrés C)
36	38
38	40
43	46
44	47
45	47.5
47	49
48	50.5
49	53

$T_a = 26^\circ \text{ C}$

$T_e$ (degrés C)	$T_s$ (degrés C)
36	43
38	46
39	47
41	48
42	49.5
42.5	51.5
43	53
43.5	54
48	60

B - MESURES DU RENDEMENT EN FONCTION DU DEBIT

On fixe la température d'entrée de l'eau saumâtre  $T_e = 41^\circ \text{C}$  ainsi que la température ambiante  $T_a = 26^\circ \text{C}$ , puis on fait varier le débit pour différentes épaisseurs.

TABLEAU DES MESURES :

$e = 4 \text{ cm}$

Débit (ml/s)	Rend (ml)
0.036	240
0.056	200
0.063	180
0.09	130
0.11	100

$e = 0.5 \text{ cm}$

Débit (ml/s)	Rend (ml)
0.018	440
0.036	400
0.054	350
0.072	320
0.11	240

C - MESURES DU RENDEMENT EN FONCTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE DE LA SAUMURE :

On fixe le débit à  $0.04 \text{ ml/s}$  et l'épaisseur  $e$  à  $2 \text{ cm}$ . Puis on fait varier la température d'entrée pour différentes températures ambiantes.

TABLEAUX DES MESURES :

$T_a = 20^\circ \text{C}$

$T_e$ (degrés c)	Rend (ml)
36	210
39	220
41	235
44	260
47	350
49	420

$T_a = 24^\circ \text{C}$

$T_e$ (degrés C)	Rend (ml)
36	200
39	210
41	230
44	265
47	380
49.5	420

$T_a = 27^\circ \text{C}$

$T_e$ (degrés C)	Rend (ml)
36	180
39	200
41	220
44	250
47	240
49.5	400

D - MESURES DU RENDEMENT EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DE L'EAU SAUMATRE

On fixe la température ambiante  $T_a = 26^\circ\text{C}$  et la température de l'eau à l'entrée  $T_e = 42^\circ\text{C}$ . Puis on voit la variation du rendement en fonction de l'épaisseur de l'eau pour un faible débit puis pour un fort débit.

TABLEAUX DE MESURES :

Débit = 0.018 ml/S

Epai (cm)	Rend (ml)
0.5	440
0.7	420
1	400
1.5	350
2	270
2.5	250
3	240
4	200

Débit = 0.09 ml/S

Epai (cm)	Rend (ml)
0.5	320
0.7	280
1	230
1.5	200
2	190
2.5	200
3	190
4	180

E - MESURES DU RENDEMENT EN FONCTION DE LA TEMPERATURE AMBIANTE :

On fixe le débit à 0.06 ml/s et on voit la variation du rendement en fonction de la température ambiante pour différentes températures d'entrée de la saumûre.

TABLEAUX DES MESURES :

$T_e = 38^\circ\text{C}$

$T_a$ ( $^\circ\text{C}$ )	Rend (ml)
23.01	150
24.26	160
25.07	185
25.43	210
26.03	200
26.89	170

$T_e = 42^\circ\text{C}$

$T_a$ ( $^\circ\text{C}$ )	Rend (ml)
22.47	170
24.63	230
25.4	250
25.6	260
26.77	220
26.96	180

$T_e = 49^\circ\text{C}$

$T_a$ ( $^\circ\text{C}$ )	Rend (ml)
22.01	300
24.53	350
25.2	420
26.16	440
26.67	400
27.09	350

## F - MESURES DU RENDEMENT EN FONCTION DE LA VITESSE DU VENT

On fixe la température ambiante à la  $T_a = 25^\circ \text{C}$ , la température d'entrée à  $T_e = 38^\circ \text{C}$  et le débit à  $0.036 \text{ ml/s}$ .

TABLEAU DES MESURES :

V (m/s)	Rend (ml)
3	180
4	200
5	210
6	220
6.5	210
7	210
8	210

### INTERPRETATION :

#### A - INFLUENCE DES PARAMETRES CARACTERISANT L'EAU A DISTILLER SUR LE RENDEMENT :

##### A-1 Influence de la température d'entrée sur la température de sortie : (Fig. I-1)

La température de l'eau saumâtre à l'intérieur du distillateur varie entre l'entrée et la sortie.

Cette variation est due à la quantité de chaleur absorbée par la saumure lors de son acheminement dans le distillateur. Elle est d'autant plus grande que la température ambiante est élevée. En effet, dans le premier cas où la température ambiante  $T_a = 20^\circ \text{C}$  la différence de température entre l'entrée et la sortie est de  $2.6^\circ \text{C}$  et dans le deuxième cas où la température ambiante  $T_a = 26^\circ \text{C}$ , elle est de  $9^\circ \text{C}$ .

##### A-2 Influence du débit sur le rendement (Fig. I -2)

Une augmentation du débit entraîne une décroissance du rendement car vu la vitesse à laquelle la saumure traverse la surface du distillateur, la vaporisation ne se fera pas en grande quantités.

On remarque aussi que le débit a une grande influence sur la production de l'eau distillée pour les fortes épaisseurs ; en effet le rendement tend vers zéro lorsque le débit augmente.

Notons aussi que le rendement est plus important pour les faibles épaisseurs car l'eau chauffe plus vite même pour les forts débits.

### A-3 Influence de la température d'entrée de la saumure en fonction du rendement (Fig. I-3)

La figure (I - 3) reproduit la variation du rendement du distillateur à ruissellement en fonction de la température d'entrée de la saumure.

La loi de variation observée a une allure semi-parabolique ; en effet, pour une température ambiante donnée, lorsque la température d'entrée augmente, le rendement augmente en décrivant une courbe analogue à une branche de parabole.

Lorsque la température ambiante change, le rendement varie comme précédemment. En fait, l'augmentation du rendement provient simplement de l'écart de température croissant entre la saumure et la vitre.

La figure (I-3) montre que ; à même valeur de la différence  $T_e - T_a$ , le rendement le plus élevé est celui qui correspond à la plus forte valeur de la température d'entrée.

Remarquons aussi que pour une température d'entrée pas très élevée ( $T_e = 35^\circ \text{C}$ ), le rendement est plus faible lorsque la température ambiante augmente. Ceci s'explique par le fait que la vitre est chauffée à cause de la température ambiante élevée. Il en résulte donc un gradient de température plus faible qui entrainera une diminution du rendement.

### A-4 Influence de l'épaisseur de la saumure sur le rendement (Fig. I-4)

#### + Pour un faible débit :

Nous remarquons que l'augmentation de l'épaisseur (tout en restant faible) fait décroître considérablement le rendement et cette décroissance est moindre lorsque l'épaisseur est plus importante. Ceci s'explique par le fait que pour un faible débit le distillateur dynamique peut être considéré comme un distillateur statique. L'eau chauffe alors plus rapidement pour les faibles épaisseurs, ce qui fait augmenter le gradient de température et par conséquent le rendement.

#### + Pour un fort débit :

L'augmentation de l'épaisseur fait décroître le rendement mais faiblement. Mais à partir d'une certaine valeur (1.69 cm), le rendement reste pratiquement constant malgré l'augmentation de l'épaisseur. La figure (I-4) montre que le rendement est meilleur pour de faibles débits.

..../....

## B - INFLUENCES DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES SUR LE RENDEMENT

### B-1 Influence de la température ambiante sur le rendement (Fig II-1)

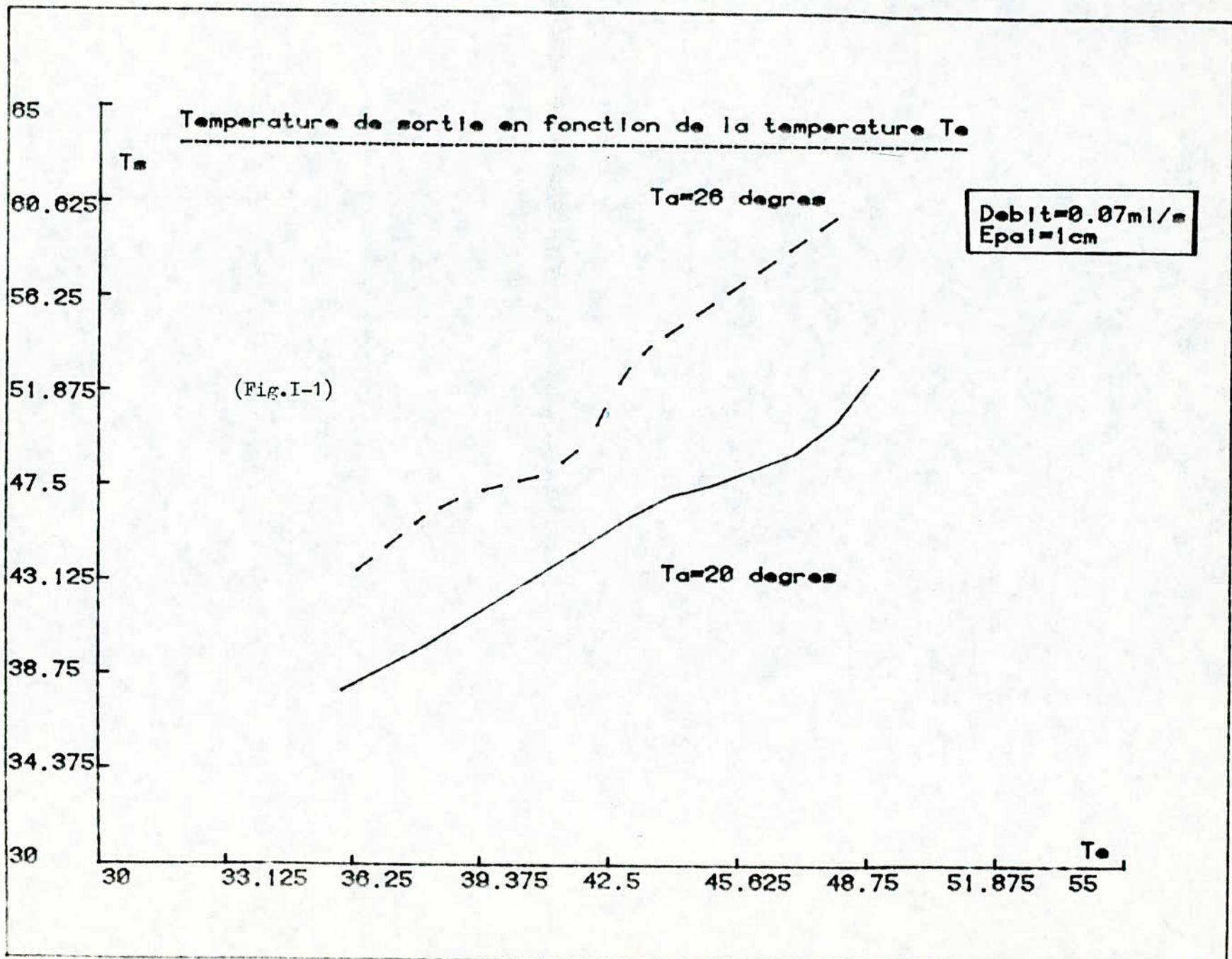
Lorsque la température ambiante croît, le rendement croît également pour décroître par la suite à partir d'une valeur de  $T_a = T_{ao}$  qui dépend de la température d'entrée  $T_e$  de l'eau saumâtre dans le distillateur.  $T_{ao}$  est la valeur optimale de la température ambiante, on observe une augmentation de sa valeur lorsque la température d'entrée augmente.

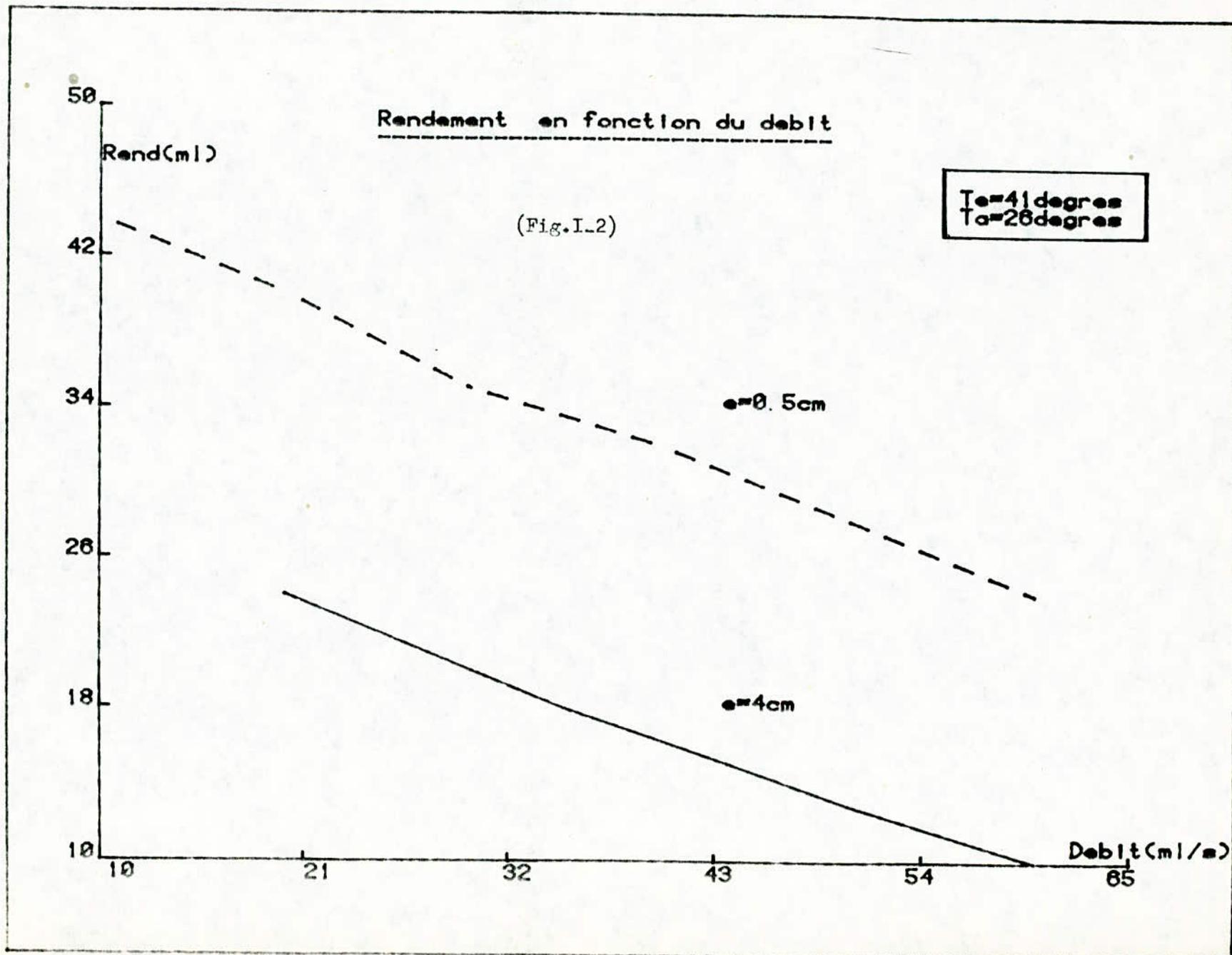
On peut noter que lorsque la température ambiante augmente, les températures de la saumure et de la vitre augmentent ainsi que le rendement et dès que  $T_a$  atteint la valeur  $T_{ao}$ , les températures de la saumure et de la vitre continuent à augmenter mais le rendement commence à décroître ; c'est en quelque sorte la concurrence entre d'une part la montée en température de la saumure et d'autre part la décroissance du rendement qui engendre l'existence du  $T_{ao}$ .

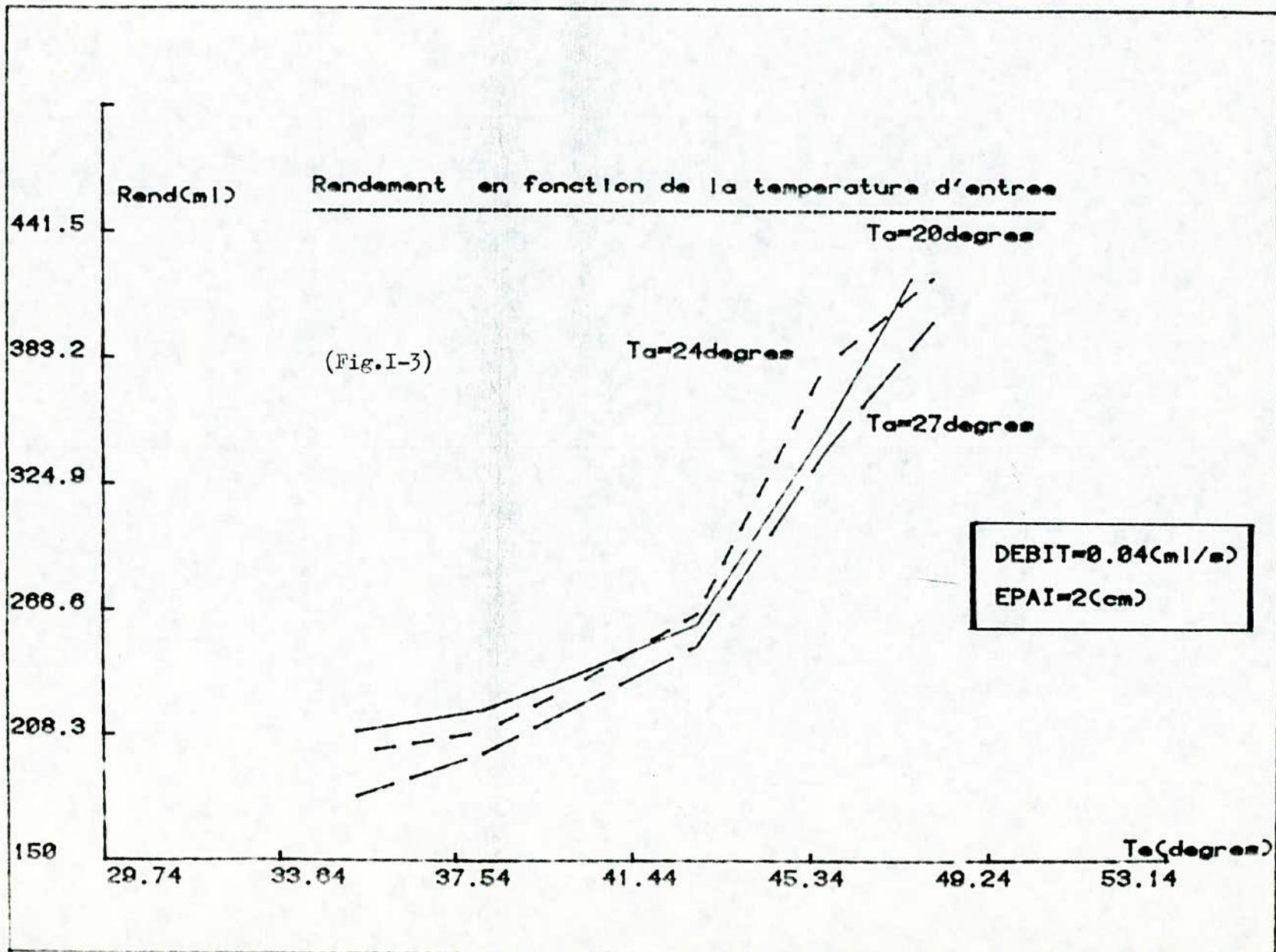
### B-2 Influence de la vitesse du vent sur le rendement (Fig. II-2)

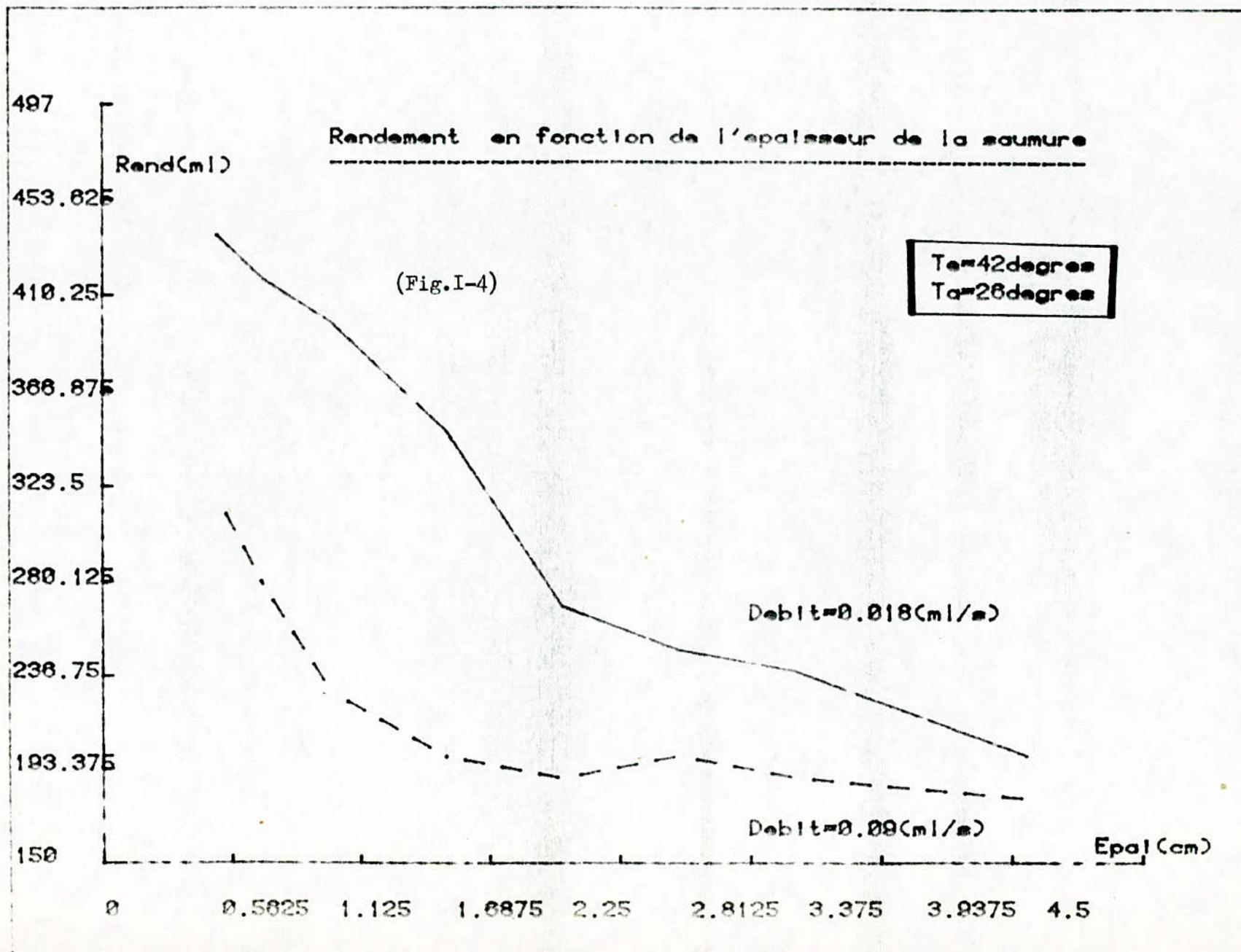
La figure (II-2) montre une croissance du rendement lorsque la vitesse du vent augmente puis sa stabilisation à partir d'une vitesse du vent d'environ  $V_o = 6.5$  m/s.

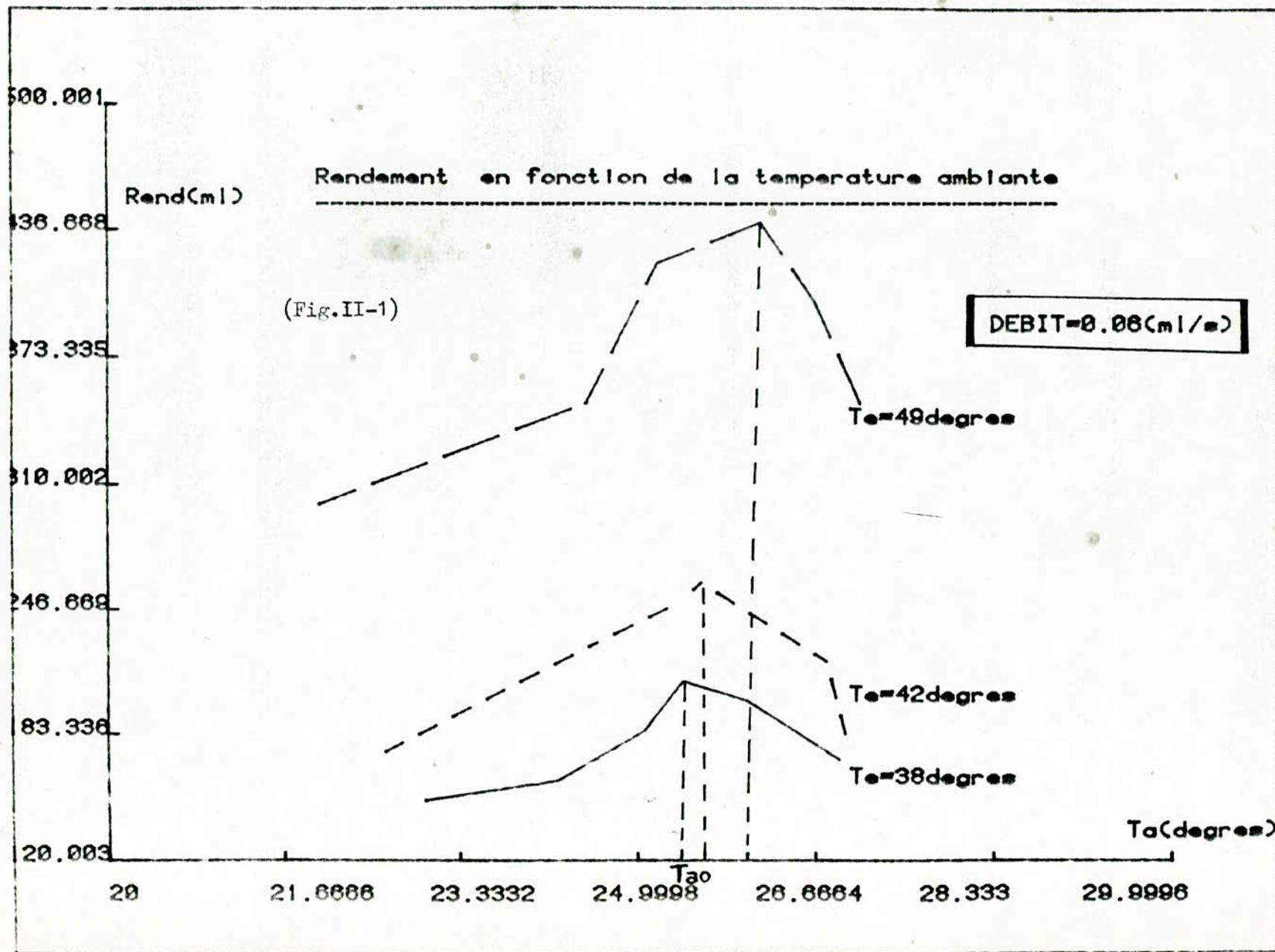
L'examen de l'évolution de température de la saumure et de la vitre permet d'expliquer le phénomène. En effet, lorsque la vitesse du vent croît, la température de la saumure reste pratiquement constante alors que celle de la vitre décroît entraînant une augmentation de l'écart de température saumure - vitre et par suite, une augmentation du rendement. Lorsque la vitesse du vent prend des valeurs supérieures ou égales à  $V_o$  ; cet écart se stabilise car les températures de la saumure et de la vitre sont quasi-constantes.

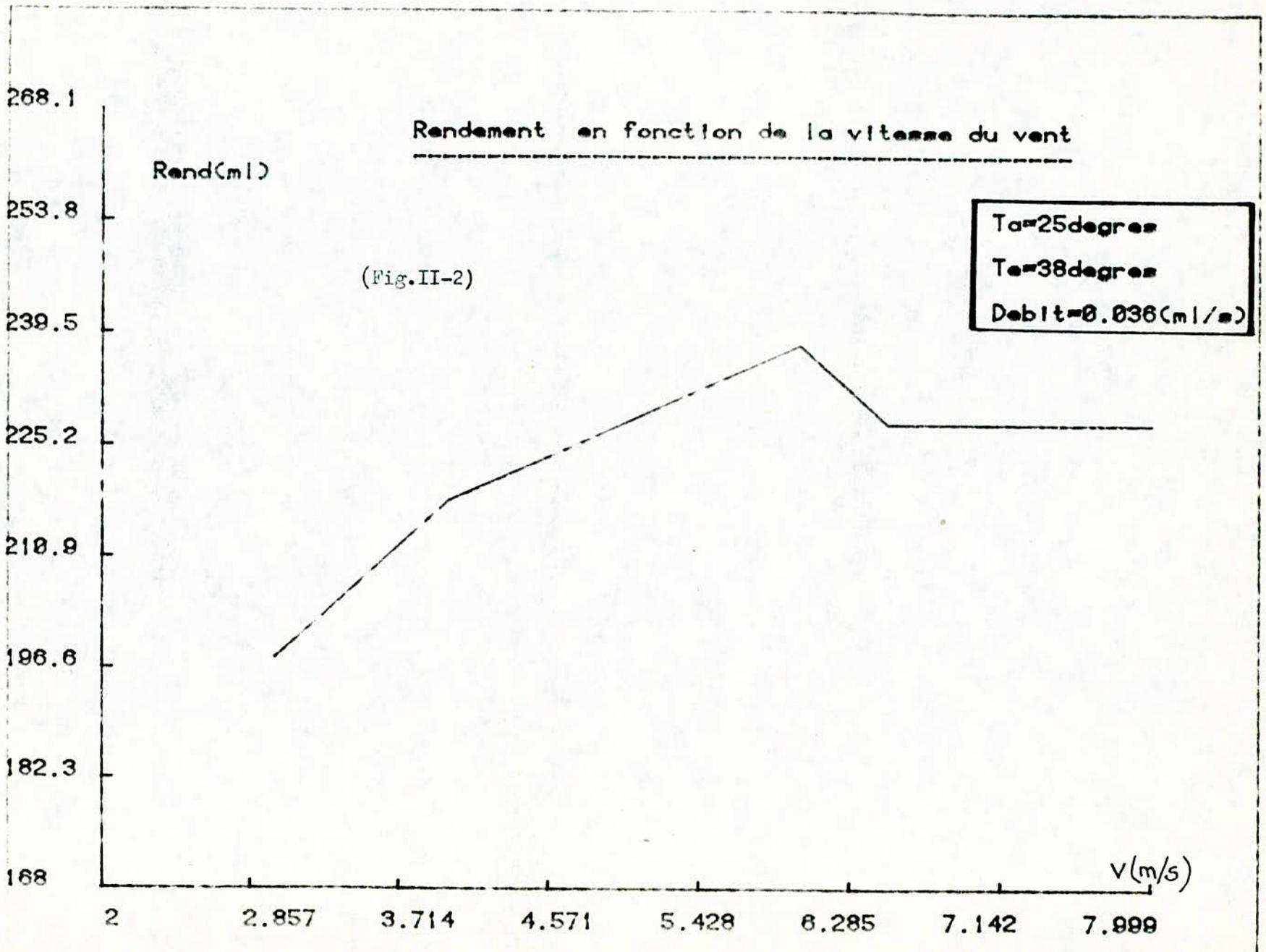












## CONCLUSION G E N E R A L E

Cette étude montre que les paramètres possèdent des valeurs optimales, qui varient en général lorsque changent les valeurs des autres paramètres du système.

Ainsi, la valeur optimale de la température ambiante  $T_{ao}$  est égale à  $26^{\circ}$  C lorsque la température de l'eau salée à l'entrée vaut  $49^{\circ}$  C.

La connaissance de la température de la saumure et de la vitre permet en général de comprendre de manière satisfaisante l'influence des divers paramètres sur l'efficacité interne. En effet, le processus d'évaporation - condensation dépend essentiellement de la différence de température entre la surface de la saumure et celle du toit de condensation. Ce processus est d'autant plus important que le gradient de température est plus élevé.

La comparaison du rendement du jour et de la nuit, nous a conduit à prévoir un refroidissement artificiel de la vitre. En effet, la production nocturne est plus importante que celle du jour. Elle est de 2,30(1) la nuit et de 1,47(1) le jour. Ceci s'explique par le fait que la nuit le toit est froid. L'obtention d'un gradient important nécessite la présence de parois froides.

Remarquons aussi, que le taux d'humidité a une influence sur le rendement. Plus le taux est important, plus le toit est froid et par conséquent le rendement important. Seconde constatation qui nous conduit à prévoir le refroidissement artificiel de la vitre aux heures où la puissance solaire incidente est grande, afin de maintenir la vitre à une température relativement froide.

En outre l'ensemble des résultats expérimentaux suggère diverses orientations pour les recherches à venir:

- Dans l'étude du rendement du distillateur en fonctionnement instantané (1 heure), nous avons attribué aux divers paramètres météorologiques des valeurs dont le rapport est souvent différent de la relation réellement observée. Il s'avère donc utile par la suite de disposer pour un site donné, de relations quantitatives entre ces variables (vent, température ambiante, rayonnement direct, ect....)

- Il sera intéressant de chercher à établir pour le distillateur à ruissellement avec préchauffage de l'eau, une corrélation statique générale entre le rendement ou efficacité interne et l'ensemble des paramètres météorologiques et physiques du distillateur statique et voir si le changement du principe du distillateur

statique améliorerait effectivement les résultats.

- Il semble intéressant de concevoir un distillateur solaire à effet de serre, à parois latérales élevées, transparentes au rayonnement solaire et suffisamment chaudes pour éviter la condensation de la vapeur d'eau formée sur les surfaces internes.



**ANNEXES**

DEBG : débit d'eau distillée global

DEEE : débit d'eau à l'entrée

CSP : Chaleur spécifique à pression constante

Qe : Chaleur d'évaporation qui vaut  $Q_e = m_e \times L$  (L : chaleur latente de vaporisation)

Gh : énergie solaire globale incidente sur une surface horizontale pendant 24 heures

CPW : Capacité calorifique de la saumure

MES : Masse d'eau salée

$w$  : Absorption effective du distillateur

$w G_h$  : Energie absorbée utilement par l'eau et le plan noir pour être ensuite utilisée dans les différents phénomènes de transfert de chaleur.

```

10 PAGE
20 AXIS @1:3,125,4,375
30 VIEWPORT 10,120,10,90
40 WINDOW 36,53,50,65
50 MOVE @1:32,64
60 PRINT @1:"Temperature de sortie en fonction de la temperature Te"
61 MOVE @1:32,63
62 PRINT @1:"-----"
70 MOVE @1:30,5,62
80 PRINT @1:"Te"
90 FOR I=1 TO 9
91 MOVE @1:3.95*I+26.827,29
92 PRINT @1:3.125*I+26.875
94 NEXT I
98 MOVE @1:54,38,5
100 PRINT @1:"Tb"
101 FOR I=1 TO 9
102 MOVE @1:27.5,4.3*I+25.625
103 PRINT @1:4.375*I+25.625
104 NEXT I
110 DELETE X,Y
120 MOVE @1:36,38
130 DATA 36,38,38,46,43,46,44,47,45,47.5,47,49,48,50.5,49,53
140 FOR I=1 TO 9
150 READ X,Y
160 DASH @1:0
170 DRAW @1:X,Y
180 NEXT I
190 DELETE X,Y
200 MOVE @1:36,43
210 DATA 36,43,38,46,39,47,41,48,42,49.5,42.5,51.5,43,53,43.5,54,48,60
220 FOR I=1 TO 9
230 READ X,Y
240 DASH @1:204

```

```
250     DRAW @1:X,Y
260 NEXT I
300 MOVE @1:43.5,60.63
301 PRINT @1:"Ta=26 degrees"
302 MOVE @1:43.0,43.125
303 PRINT @1:"Ta=20 degrees"
304 MOVE @1:51.5,60
305 PRINT @1:"Debit=0.07m3/s"
306 MOVE @1:51.5,59
307 PRINT @1:"Epa1=1cm"
308 END
```

```

10 PAGE
20 AXIS @1:11,9
30 VIEWPORT 10,120,10,90
40 WINDOW 10,65,10,50
50 MOVE @1:25,49
60 PRINT @1:"Rendement en fonction du debit"
61 MOVE @1:25,48
62 PRINT @1:"-----"
70 MOVE @1:10,2,47
80 PRINT @1:"Ret4(ml)"
81 FOR I=1 TO 6
82     MOVE @1:10,7*I-1,9
83     PRINT @1:11*I-1
84 NEXT I
90 MOVE @1:62,10,5
100 PRINT @1:"Debit(ml/s)"
101 FOR I=1 TO 6
102     MOVE @1:7,5,8*I+2
103     PRINT @1:8*I+2
104 NEXT I
110 DELETE X,Y
120 MOVE @1:20,24
130 DATA 20,24,30,20,35,18,50,13,60,10
140 FOR I=1 TO 5
150     READ X,Y
160     DASH @1:0
170     DRAW @1:X,Y
180 NEXT I
190 DELETE X,Y
200 MOVE @1:10,44
210 DATA 10,44,20,40,30,35,40,32,60,24
220 FOR I=1 TO 5
230     READ X,Y
240     DASH @1:204

```

```
250   DRAW @1:X,Y
260 NEXT I
380 MOVE @1:43.5,34
381 PRINT @1:"e=3 5cm"
382 MOVE @1:43.5,18
383 PRINT @1:"e=4cm"
384 MOVE @1:56.45
385 PRINT @1:"T=41degrees"
386 MOVE @1:56.44
387 PRINT @1:"T=26degrees"
388 END
```

```
10 PAGE
20 AXIS @1:4,16,58,3
30 VIEWPORT 10,120,10,90
40 WINDOW 30,55,150,500
50 MOVE @1:35,460
60 PRINT @1:"Rendement en fonction de la temperature d'entree"
61 MOVE @1:35,440
62 PRINT @1:"-----"
70 MOVE @1:30,4,455
80 PRINT @1:"Rand(m1)"
81 FOR I=1 TO 7
82     MOVE @1:3.9*I+25,84,139
83     PRINT @1:3.9*I+25,84
84 NEXT I
90 MOVE @1:54,153
100 PRINT @1:"Te(degrees)"
101 FOR I=1 TO 6
102     MOVE @1:27.5,58,3*I+91,7
103     PRINT @1:58,3*I+91,7
104 NEXT I
110 DELETE X,Y
120 MOVE @1:36,210
130 DATA 36,210,39,220,41,235,44,260,47,350,49,420
140 FOR I=1 TO 6
150     READ X,Y
160     DASH @1:0
170     DRAW @1:X,Y
180 NEXT I
190 DELETE X,Y
200 MOVE @1:36,200
210 DATA 36,200,39,210,41,230,44,265,47,380,49.5,420
220 FOR I=1 TO 6
230     READ X,Y
240     DASH @1:204
```

```
250 DRAW @1:X,Y
260 NEXT I
270 DELETE X,Y
280 MOVE @1:36,180
281 DATA 36,180,39,200,41,220,44,250,47,340,49,5,400
282 FOR I=1 TO 6
283 READ X,Y
284 DASH @1:12
285 DRAW @1:X,Y
286 NEXT I
288 MOVE @1:40,350
289 PRINT @1:"Ta=27degrees"
290 MOVE @1:40,430
291 PRINT @1:"Ta=28degrees"
292 MOVE @1:42.4,383
293 PRINT @1:"Ta=24degrees"
294 MOVE @1:51,290
295 PRINT @1:"DEBIT=0.04(m3/s)"
296 MOVE @1:51,270
297 PRINT @1:"EPAI=2(cm)"
300 END
```

```

10 PAGE
20 AXIS @1:0,5625,43.75
30 VIEWPORT 10,120,10,90
40 WINDOW 0,4,3,150,500
50 MOVE @1:1,482
60 PRINT @1:"Rendement en fonction de l'epaisseur de la saumure "
61 MOVE @1:1,470
62 PRINT @1:"-----"
70 MOVE @1:0,07,469,057
80 PRINT @1:"Rend(ml)"
91 FOR I=1 TO 9
92     MOVE @1:0,51*I-0,5625,130
93     PRINT @1:0,5625*I-0,5625
94 NEXT I
98 MOVE @1:4,3,155,1
100 PRINT @1:"Essai(cm)"
101 FOR I=1 TO 9
102     MOVE @1:-0,45,43,375*I+106,625
103     PRINT @1:43,375*I+106,625
104 NEXT I
110 DELETE X,Y
120 MOVE @1:0,5,440
130 DATA 0,5,440,0,7,420,1,400,1,5,350,2,270,2,5,250,3,240,4,200
140 FOR I=1 TO 8
150     READ X,Y
160     DASH @1:0
170     DRAW @1:X,Y
180 NEXT I
190 DELETE X,Y
200 MOVE @1:0,5,320
210 DATA 0,5,320,0,7,290,1,230,1,5,200,2,190,2,5,200,3,190,4,180
220 FOR I=1 TO 8
230     READ X,Y
240     DASH @1:204

```

```
250 DRAW @1:
260 NEXT I
260 MOVE @1:2.81,264
261 PRINT @1:"Debit=0.618(ml/s)"
262 MOVE @1:2.81,163.515
263 PRINT @1:"Debit=0.69(ml/s)"
264 MOVE @1:2.6,424
265 PRINT @1:"T=42degrees"
266 MOVE @1:2.6,411
267 PRINT @1:"T=26degrees"
268 END
```

```

10 PAGE
20 AXIS @1:1.6666,63.333
30 VIEWPORT 10,120,10,90
40 WINDOW 20,30,120,500
50 MOVE @1:22,460
60 PRINT @1:"Rendement en fonction de la temperature ambiante"
61 MOVE @1:22,446.17
62 PRINT @1:"-----"
70 MOVE @1:20,2,450
80 PRINT @1:"Rend(ml)"
81 FOR I=1 TO 7
82     MOVE @1:1.53*I+10.3334,100
83     PRINT @1:1.6666*I+10.3334
84 NEXT I
90 MOVE @1:29,6,132
100 PRINT @1:"Ta(degrees)"
101 FOR I=1 TO 7
102     MOVE @1:10.9,63.333*I+56.67
103     PRINT @1:63.333*I+56.67
104 NEXT I
110 DELETE X,Y
120 MOVE @1:23,01,150
130 DATA 23,01,150,24.26,160,25.07,185,25.43,210,26.03,200,26.89,170
140 FOR I=1 TO 6
150     READ X,Y
160     DASH @1:0
170     DRAW @1:X,Y
180 NEXT I
190 DELETE X,Y
200 MOVE @1:22,47,170
210 DATA 22,47,170,24.63,230,25.4,250,25.6,260,26.77,220,26.96,180
220 FOR I=1 TO 6
230     READ X,Y
240     DASH @1:204

```

```
250 DRAW @1:X,Y
260 NEXT I
270 DELETE X,Y
280 MOVE @1:22,01,300
281 DATA 22,01,300,24.53,350,25.2,420,26.16,440,26.67,400,27.09,350
282 FOR I=1 TO 6
283 READ X,Y
284 DASH @1:12
285 DRAW @1:X,Y
286 NEXT I
300 MOVE @1:27,340
301 PRINT @1:"Te=49.4degrees"
302 MOVE @1:27,200
303 PRINT @1:"Te=42.4degrees"
304 MOVE @1:27,150,5
305 PRINT @1:"Te=39.6degrees"
306 MOVE @1:28,33,300
307 PRINT @1:"DEBIT=0.06 (ml/s)"
308 END
```

```
10 PAGE
20 AXIS @1:0,057,14.3
30 VIEWPORT 10,120,10,90
40 WINDOW 2,0,150,250
50 MOVE @1:3,0,240.5
60 PRINT @1:"Rendement en fonction de la vitesse du vent"
61 MOVE @1:3,0,243.1
62 PRINT @1:"-----"
70 MOVE @1:2,3,241
80 PRINT @1:"Rend(ml)"
91 FOR I=1 TO 8
92     MOVE @1:0,8*I+1,143,145
93     PRINT @1:0,057*I+1,143
94 NEXT I
95 MOVE @1:9,3,153,6
100 PRINT @1:"U(m/s)"
101 FOR I=1 TO 8
102     MOVE @1:1,30,14,3*I+135,7
103     PRINT @1:14,3*I+153,7
104 NEXT I
110 DELETE X,Y
120 MOVE @1:3,100
130 DATA 3,100,4,200,5,210,6,220,6.5,210,7,210,8,210
140 FOR I=1 TO 7
150     READ X,Y
160     DASH @1:0
170     DRAW @1:X,Y
180 NEXT I
300 MOVE @1:7,1,235
301 PRINT @1:"Ta=25degrees"
302 MOVE @1:7,1,229,3
303 PRINT @1:"Te=38degrees"
304 MOVE @1:7,1,223,6
305 PRINT @1:"Debit=0,036(ml/s)"
```

\* B I B L I O G R A P H I E

- 1     CYRIL GOMELLA :  
      La soif dans le monde.
  
- 2     BERNARD VAILLANT  
      Dessalement des eaux saumâtres.
  
- 3     P. I. COOPER  
      The maximum efficiency of single effect solar  
      stills solar energy.
  
- 4     ACHILOV  
      Expérimental investigation of heat and mass exchange process in an  
      inclined step. Solar still.
  
- 5     BAUM ET BAIRAMOV :  
      Heat and mass transfer process in solar stills of hot-box .
  
- 6     S. SATCUNANATHAN ET H.P. HANSEN  
      An investigation of some of the parameters involved in solar  
      distillation solar, energy (1973).
  
- 7     P.I. COOPER  
      The absorption of radiation in solar stills.  
      Solar energy (1969).
  
- 8     SOLIMAN  
      Effect of wind on solar distillation solar Energy (1971).
  
- 9     N'DOYE BANDA  
      Modélisation informatique de distillateurs solaires a effet de serre.

- 10     HADDAD - SLAMANI  
Modélisation et optimisation d'un distillateur solaire à chauffage  
séparé de l'évaporation - condensation.
- 11     OUFFA - BATEL  
Modélisation informatique d'un distillateur statique à  
effet de serre
- 12     C . N . R . S.  
L'Energie solaire, Applications Thermiques dans le domaine  
de la recherche et de l'industrie - PARIS - 1976.
- 13     CABRIOL, PELISSOU , ROUX  
Le chauffage eau solaire.