

وزارة التعليم العالي

Ministère de l'Enseignement Supérieur

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

المكنية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

E. N. P. A

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

DEPARTEMENT ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

THEME :

SIMULATION D'UN DISTILLATEUR

SOLAIRE A EFFET DE SERRE

Etudié par :

OUFFA M.

et BATEL N.

Dirigé par :

Mme HAMMAMI

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي
Ministère de l'Enseignement Supérieur

المدرسة الوطنية للمعلوم الهندسية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER
E. N. P. A

DEPARTEMENT ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES
INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

THEME :

SIMULATION D'UN DISTILLATEUR
SOLAIRE A EFFET DE SERRE

Etudié par :

OUFFA M.
et BATEL N.

Dirigé par :

Mme HAMMAMI

Promotion Janvier 1985

*A nos parents, nos familles
et tous les musulmans.*

N. BATEL
M. OUFFA

Remerciements

Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à notre promoteur M^{me} HAMMAMI d'avoir proposé ce sujet et l'aide qu'elle n'a cessée de nous apporter tout au long de notre travail -

Que tous les professeurs qui ont contribué à notre formation trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude -

Nous ne saurions oublier tout le personnel de la station des distillateurs de l'USTHB qui nous a constamment aidé, en particulier les deux techniciens OMAR et KACI -

M. OUFFA

N. BATEL

ملخص : تم وضع برنامج إعلالي لتمثيل العمل اليومي لمقطرة شمسية تعمل بفعل الضغط ، وذلك بعد بيان طريقة التشابه الكهربائي للتدفقات الحرارية وطريقة التحليل العددي للكميات المتناهية ، ثم مقارنة النتائج المحصل عليها بالحسابات مع تلك المعطاة بالتجربة التطبيقية المقامة على مقطرة ذات سقفين ؛ والتي آنتهت بتطابق جيد .

Resumé : Un programme informatique destiné à simuler le fonctionnement journalier d'un distillateur à effet de serre est mis au point ; après avoir exposé la méthodologie observée qui repose sur l'analogie électrique des flux de chaleur et sur la méthode d'analyse numérique des différences finies, on compare les résultats obtenus par le calcul à ceux donnés par l'expérience directe effectuée sur un distillateur à double pente ; la concordance est satisfaisante.

ABSTRACT : A computing program in order to simulate the production of hot box solar stills have been realized. the methodology is first described ; it sets on the electrical analogy of heat flux and the finite difference method ; then, theoretical results are compared with experiments carried on a double slope solar still ; the agreement is good.

TABLE DES MATIERES

Pages

- INTRODUCTION	1
- objet de l'étude	3
<u>Première partie : ETUDE PRELIMINAIRE</u>	5
<u>Chapitre I</u> - Généralités	6
1 - Rappels	
2 - Définitions	
<u>Chapitre II</u> - Caractérisation du distillateur	10
1 - le rendement	
2 - l'efficacité	
3 - la performance	
<u>Chapitre III</u> - Paramètres influençant la production	13
1 - Paramètres de construction	
2 - Paramètres météorologiques	
3 - Paramètres fonctions de la saumure	
<u>Chapitre IV</u> - Bilan thermique du distillateur	16
1 - schéma de transfert thermique	
2 - établissement du bilan thermique	
<u>Chapitre V</u> - Appareils et méthode de mesures	21
1 - description du distillateur	
2 - appareils de mesures	
3 - détermination des points de prise des températures	

Deuxième partie : MODELISATION ET OPTIMISATION DU DISTILLATEUR ... 32-

Chapitre I - Modèle électrique équivalent du distillateur ... 33-

à effet de serre. - - - - -

1 - schéma électrique traduisant le transfert thermique général - - -

2 - expressions des coefficients d'échange - - - - -

3 - hypothèses simplificatrices - - - - -

Chapitre II - Le modèle logique de résolution - - - - - 44-

1 - Principe des différences finies des flux de chaleur - - -

2 - Classification des paramètres - - - - -

3 - Méthodologie - - - - -

4 - Analogie électrique des transferts de chaleur : - - - -

Calcul des températures - - - - -

Chapitre III - Structure des organigrammes - - - - - 55-

1 - organisation générale - - - - -

2 - structure interne et représentation - - - - -

3 - saisie des données et exécution - - - - -

Troisième partie : RESULTATS ET INTERPRETATIONS - - - - - 62-

- CONCLUSION - - - - - 80-

- ANNEXES : - - - - -

- BIBLIOGRAPHIE - - - - -



--- INTRODUCTION ---

Presque toutes les sources d'énergie utilisées par l'homme pour le chauffage et comme générateur de puissance ont été empruntées du soleil.

A présent l'intérêt porté à l'utilisation du rayonnement, en particulier pour le chauffage domestique et la distillation de l'eau douce à partir de l'eau de mer, a considérablement augmenté.

Les nécessités mondiales en eau potable ont en effet rapidement accru suite à l'accroissement démographique d'une part et l'industrialisation intensive d'autre part. Ainsi les besoins en eau de certains pays sont évalués à [1] :

1800 m³/hab/an aux USA en 1950

500 m³/hab/an à Chypre en 1960

Quant à la consommation mondiale annuelle par habitant, des prévisions portant sur une population de 6 milliards d'habitants en l'an 2000 établissent qu'elle se situera vers 2000 m³/hab/an, ce qui implique une consommation moyenne de $12 \cdot 10^{12}$ m³/an alors que le cycle de l'eau ne met à notre disposition que $60 \cdot 10^{12}$ m³/an en eaux sous forme d'eaux de pluies et souterraines.

Le problème d'eau potable devient encore plus crucial en pensant aux pays désertiques où il existe des groupes ponctuels de personnes assumant une certaine activité et dont il faut assurer la subsistance, ensuite aux pays gagnés périodiquement par la sécheresse et dont les moyens technologiques ne permettent pas de faire face aux

problèmes de l'agriculture et de l'élevage engendrés par la pénurie d'eau, et enfin aux pays industrialisés dont la consommation en eau est croissante -

Ainsi pour pallier en grande partie au manque d'eau, des techniques de dessalement des eaux saumâtres sont actuellement utilisées -

La facilité de les industrialiser en grande quantité et l'avantage qu'ils présentent en utilisant une source d'énergie inépuisable (soleil) font des distillateurs solaires l'objet d'une technique de dessalement répondant effectivement aux problèmes posés -

Notre travail a consisté donc à étudier la simulation d'un type de ces distillateurs afin d'améliorer son rendement et d'augmenter sa production d'eau -

--- Objet de l'étude ---

La première partie de l'étude regroupe les connaissances générales établies dans la littérature, notamment la définition des critères importants d'efficacité et de rendement que nous utiliserons par la suite et l'ensemble des paramètres influençant la production des distillateurs, seul le caractère didactique que nous avons voulu lui attribuer explique sa "longueur".

Au distillateur à effet de serre étudié, on associe un modèle physique et un modèle logique de résolution qui repose sur l'analogie électrique; l'explication de cette méthodologie, l'expression des coefficients relatifs aux différents échanges et les hypothèses simplificatrices constituent la deuxième partie.

Nous avons exposé dans la dernière partie l'ensemble des résultats théoriques et quelques résultats expérimentaux que nous avons obtenus, avec le souci constant de les interpréter le plus clairement possible.



NOMENCLATURE

E_0 : energie de la radiation solaire incidente	Kcal/h.m ²
A_b : surface du bas du distillateur	m ²
A_c : surface du couvercle vitré (condensation)	m ²
A_p : surface insoléée de l'unité de distillation	m ²
A_w : surface de l'eau (évaporation)	m ²
C_p : capacité calorifique de l'eau	Kcal/kg.°C
h : coefficient d'échange thermique	Kcal/h.m ² .°C
L : chaleur latente de vaporisation de l'eau	Kcal/kg
λ : conductivité thermique	Kcal/h.m.°C
m_d : masse de l'eau distillée recueillie	Kg
t_a : température ambiante	°C
t_b : température du bas du distillateur	°C
t_c : température du couvercle	°C
t_w : température de l'eau du bassin	°C
ϵ_c : émissivité de la surface du verre	sans dimension
ϵ_w : émissivité de la surface de l'eau	" "
ϵ_p : émissivité du plan noir	" "
σ : constante de Stéphan-Boltzmann	Kcal/h.m ² .°K ⁴
NU : nombre de Nusselt	sans dimension
Gr : nombre de Grashoff	" "
Pr : nombre de Prandtl	" "
α_w : absorptance effective du distillateur	" "

PREMIERE PARTIE

ETUDE PRELIMINAIRE

CHAPITRE I

GENERALITES

1. RAPPELS :

1-1. Rayonnement thermique :

Les premières recherches en physique ont démontré l'existence d'un rayonnement thermique dans la lumière solaire au delà de l'infrarouge du spectre visible ; dès lors on sait que la quantité et la qualité de l'énergie rayonnée par un corps chauffé dépendent principalement de la température de ce corps - Par exemple les corps dont la température est de l'ordre de 60°C émettent entre 4000 et 7000 nm, c'est à dire dans l'infrarouge -

1-2. Rayonnement solaire :

L'énergie totale que rayonne le soleil dans l'espace est de $3,826 \cdot 10^{23} \text{ kW}^{[2]}$, la terre ne reçoit en fait qu'une infime fraction de cette énergie -

La part reçue constitue la " constante solaire", qui vaut $1,95 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{mn}^{[2]}$ ou encore 135 mw/cm^2 , une partie du rayonnement étant absorbée et dispersée lors de son passage à travers une couche de 160 km d'épaisseur d'air, de vapeur d'eau, de gaz carbonique et de poussière enveloppant la terre - La quantité de rayonnement solaire reçue par une surface située sur la terre dépend de la position, de l'heure du jour, du temps et de l'inclinaison de la surface -

1-3. Modes de transmission de la chaleur et transfert de masse :

Le transfert de chaleur peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une

différence de température.

La littérature traitant du transfert de chaleur reconnaît généralement trois modes de transmission de la chaleur :

- Conduction : la conduction est un phénomène au moyen duquel la chaleur s'écoule à l'intérieur d'un milieu (solide, liquide ou gazeux) d'une région à haute température vers une autre à basse température.

- 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.

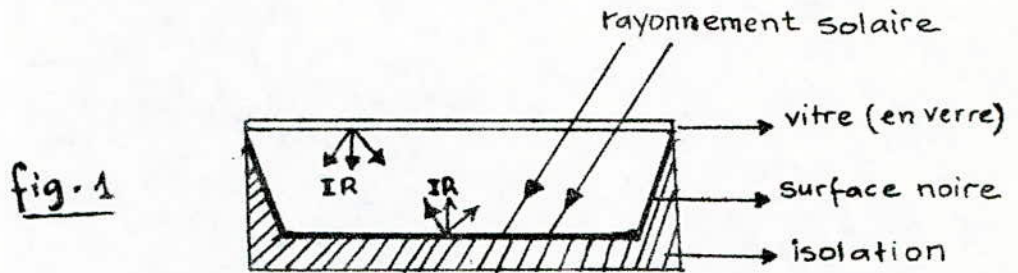
* Transfert de masse : le transport d'un constituant d'une solution fluide d'une région de haute concentration à une région de concentration plus faible est appelé transfert de masse.

Dans la distillation, l'eau est transférée de la phase liquide à la phase constituée par l'air. Il faut apporter suffisamment d'énergie pour fournir la chaleur latente de vaporisation de l'eau. Cette énergie peut être fournie par transmission de la chaleur de l'air au liquide,

dans ce cas la chaleur est transmise dans une direction opposée à celle du transfert de masse.

L'évaporation et la condensation sont des opérations courantes de transfert de masse.

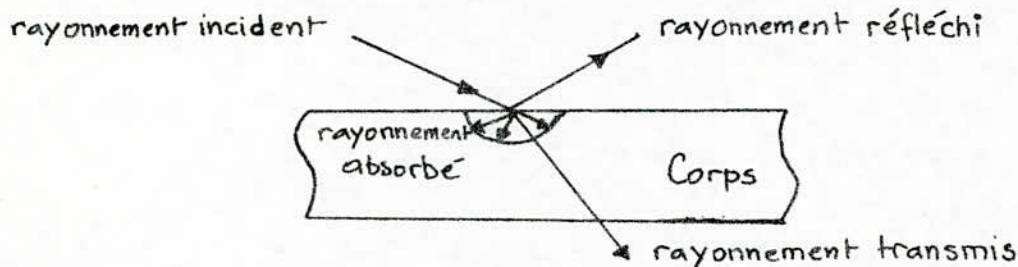
1.4. Effet de serre :



Le verre permet au rayonnement solaire de passer à l'intérieur de l'enceinte, schématisée ci-dessus, mais reste opaque à la gamme des courtes longueurs d'ondes émises par la surface noire. Ainsi, le rayonnement solaire peut entrer, mais une fois qu'il a été absorbé, il ne peut sortir de la serre et produit par conséquent une accumulation thermique à l'intérieur de celle-ci.

2. DEFINITIONS :

2-1. Absorption, réflexion et transmission du rayonnement :



Lorsqu'un rayonnement tombe sur un corps, il est partiellement absorbé, partiellement réfléchi et transmis comme l'indique la figure

Ci dessus -

La relation entre l'énergie absorbée, réfléchi et transmise s'écrit [3]:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

dans laquelle :

$$\alpha (\text{facteur d'absorption}) = \frac{\text{rayonnement absorbé}}{\text{rayonnement incident}}$$

$$\rho (\text{facteur de reflexion}) = \frac{\text{rayonnement réfléchi}}{\text{rayonnement incident}}$$

$$\tau (\text{facteur de transmission}) = \frac{\text{rayonnement transmis}}{\text{rayonnement incident}}$$

Si la surface receptrice est opaque, $\tau = 0$ et $\rho + \alpha = 1$ et si elle est "noire", tout le rayonnement incident est absorbé, d'où $\alpha = 1$.

2.2 - Corps noir :

C'est un concept théorique qui peut seulement être approché dans la pratique. On peut le définir comme un corps qui absorbe tout le rayonnement qui lui parvient et n'en réfléchit ou n'en transmet rien.

L'énergie émise par rayonnement d'un corps noir est proportionnelle à la quatrième puissance de sa température absolue selon la loi de Stéphan [3] :

$$E_{\text{émise}} = \sigma \cdot T^4$$

CHAPITRE II

CARACTERISATION DES DISTILLATEURS SOLAIRES A EFFET DE SERRE

Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production d'eau de tels distillateurs. On distingue généralement : le rendement, l'efficacité et la performance.

1. Le rendement :

C'est la quantité d'eau produite (en litres) par unité de surface de plan noir et par jour.

L'inconvénient majeur de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire qui arrive sur le distillateur, c'est donc une grandeur relative, dans la mesure où un appareil situé dans une région tropicale par exemple aurait certainement un rendement inférieur dans une région moins ensoleillée.

2. L'efficacité :

Cooper [4] définit les deux efficacités suivantes :

$$\begin{aligned} & \text{-- L'efficacité globale } \eta_0 = \frac{Q_e}{E_0} \\ & \text{-- L'efficacité interne } \eta_i = \frac{Q_e}{\alpha_w \cdot E_0} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} & \text{-- L'efficacité globale } \eta_0 = \frac{Q_e}{E_0} \\ & \text{-- L'efficacité interne } \eta_i = \frac{Q_e}{\alpha_w \cdot E_0} \end{aligned}} \right\} \rightarrow \eta_0 = \alpha_w \cdot \eta_i$$

avec :

E_0 = énergie solaire globale incidente sur une surface horizontale pendant une journée de 24 heures.

Q_e = chaleur d'évaporation = masse d'eau produite multipliée

{ par la chaleur latente d'évaporation -
α_w = absorption effective du distillateur

α_w représente la partie de la radiation solaire qui est absorbée utilement (par l'eau et le plan noir) pour être ensuite utilisée dans les différents phénomènes de transfert de chaleur à partir de et vers l'eau -

Dans tous les cas, pour un fonctionnement du distillateur de t₁ à t₂, on peut diviser la durée T = t₂ - t₁ en N intervalles de temps égaux de valeur Δt; les efficacités réelles sont alors les moyennes des N efficacités relatives à chacun des N instants et on obtient par suite :

$$EI = \frac{\sum_{k=1}^N \eta_{ik}}{N} \quad ; \quad EG = \frac{\sum_{k=1}^N \eta_{ok}}{N}$$

avec : $\begin{cases} EI = \text{efficacité interne moyenne} \\ EG = \text{efficacité globale moyenne} \end{cases}$

EI et EG sont d'autant plus représentatives du fonctionnement réel du distillateur que Δt sera petit et N grand ; car η_i et η_o sont fonction de la température de la saumure qui peut varier fortement entre deux instants successifs .

3 - La performance :

Si l'efficacité globale rapporte la quantité d'eau produite à l'énergie solaire tombante sur une surface horizontale, elle ne fait pas

mention de la quantité d'énergie entrant réellement dans le distillateur ; un changement de pente et de localité fait varier la quantité d'énergie entrante dans le distillateur.

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue a amené ainsi SATCUNANATHAN et HANSEN [5] à définir le facteur de performance brut (FPB) et le facteur de performance horaire (FPH).

$$\text{FPB} = \frac{\text{quantité d'eau produite au bout de 24 heures}}{\text{quantité d'énergie entrée au bout de 24 heures}}$$

$$\text{FPH} = \frac{\text{quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{quantité d'énergie entrée pendant cette heure}}$$

En fait, il apparaît que : $\eta_i = \text{FPB} \times \text{Chaleur latente d'évaporation}$.

PARAMETRES QUI INFLUENCENT LA PRODUCTION DU DISTILLATEUR

On peut diviser ces paramètres en trois grands groupes :

- Ceux qui dépendent de la construction du distillateur.
- Ceux qui sont d'ordre météorologique ;
- tous les autres qui, en général, dépendent de la saumure à distiller.

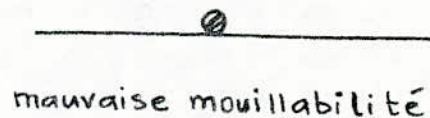
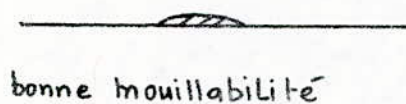
1. Paramètres dépendant de la construction

1-1. La couverture

1-1-1. Nature de la couverture :

Pour les distillateurs utilisant l'effet de serre, la couverture doit posséder les critères suivants :

- La transmittance : la couverture ne doit pas être transparente à l'infra-rouge -
- La résistance : il faut que la couverture résiste aux attaques du vent -
- La mouillabilité : la surface intérieure de la couverture doit posséder une bonne mouillabilité -



goutte d'eau sur deux surfaces différentes

Notons à ce stade que le verre ordinaire répond bien à ces exigences -

1-1-2. inclinaison de la couverture : α

Les travaux de BAIRAMOV et BAUM [6] concluent que 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 de récupération sans que celui-ci retombe dans l'eau saumâtre, de plus il faut que cette inclinaison assure le maximum d'énergie solaire entrant à travers la couverture pour une période donnée. On peut dire qu'en général l'augmentation de l'inclinaison de la couverture par rapport à la surface d'évaporation fait décroître les échanges productifs que sont l'échange de chaleur et de masse à l'évaporation et à la condensation.

1-1-3. Forme de la couverture :

Ce paramètre influence beaucoup le transfert de masse, ainsi plus la surface de condensation est grande, plus la quantité d'eau condensée est importante.

1-2. Distance surface d'évaporation - surface de condensation :

S. SATCUNANATHAN et HANSEN [5] ont montré que ce paramètre est beaucoup plus déterminant que l'inclinaison et que la réduction de cette distance fait augmenter le pourcentage de performance du distillateur.

1-3. Epaisseur de l'eau à distiller :

LÖF [7] a montré que, plus l'épaisseur de l'eau est grande, moins sa température et la production d'eau distillée fluctuent au cours

d'une période de 24 heures - Ainsi le taux de production maximum pour les distillateurs à effet de serre est atteint vers midi solaire pour une épaisseur de quelques mm, tandis qu'il est atteint vers le coucher du soleil pour une épaisseur d'environ 30 cm -

2. Paramètres météorologiques :

Les plus fréquemment retenus sont :

- l'intermittence des nuages
- le rayonnement solaire global incident
- le vent
- la température ambiante -

Aux températures de saumure élevées, augmenter la différence de température entre la saumure et la vitre en augmentant la vitesse du vent, et en abaissant la température ambiante, contribue à élever le taux d'évaporation -

Par contre aux basses températures de la saumure, augmenter la vitesse du vent revient à faire chuter le taux d'évaporation -

3. Paramètres fonctions de la saumure :

BAIBUTAEV et ACHILOV [8] ont montré expérimentalement qu'une augmentation en sels de la concentration de la saumure de 20% à 450% fait décroître linéairement le rendement du distillateur à effet de serre -

Remarque : Ces paramètres ne peuvent être tous optimisés théoriquement (optimisation informatique) car certains n'interviennent pas directement dans les équations et seront alors optimisés expérimentalement -

CHAPITRE IV

BILAN THERMIQUE DU DISTILLATEUR

1. Schéma de transfert thermique :

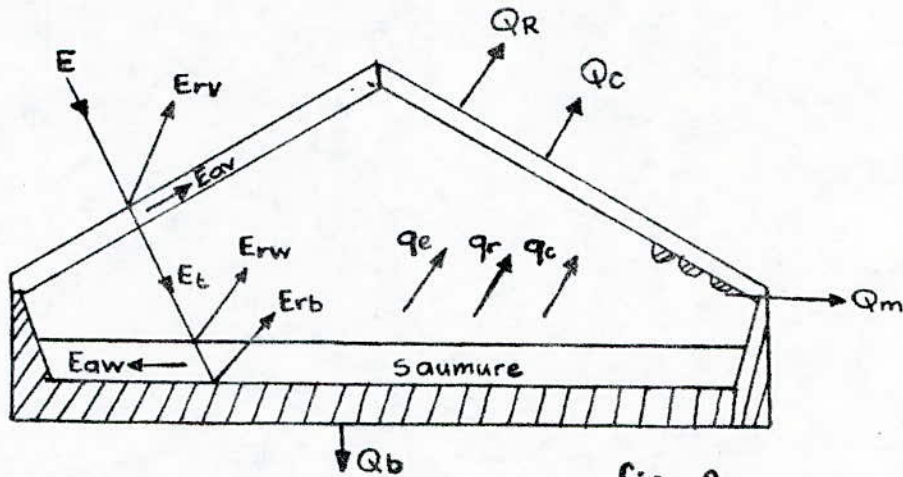


fig-2

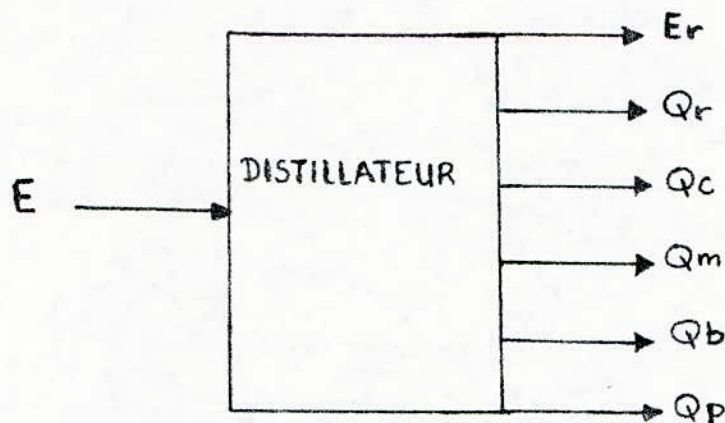
L'unité de distillation reçoit de l'énergie directe ou diffuse. Cette énergie est soit transmise, absorbée ou réfléchie par les différents éléments du distillateur (couvercle vitré, eau du bassin, fond du bassin, ...) qui vont échanger de la chaleur selon différents processus (rayonnement, convection, ...).

La partie absorbée élève la température de l'eau du bassin donc la pression partielle de la vapeur d'eau dans la lame d'air.

Le couvercle constitue une surface froide sur laquelle vient se condenser la vapeur d'eau ; elle lui cède ainsi une certaine quantité de chaleur qui est perdue vers l'extérieur par rayonnement et convection.

2. Etablissement du bilan thermique :

Pour l'appréciation du bilan énergétique mis en jeu dans le distillateur, l'unité est assimilée à un système thermodynamique ouvert délimité par ses surfaces extérieures comme l'indique le schéma suivant :



La relation de la conservation de l'énergie pour l'unité de distillation ainsi schématisée s'écrit :

$$E = E_r + Q_r + Q_c + Q_m + Q_b + Q_p \quad (1)$$

les différents termes qui interviennent dans cette équation sont :

– Energie reçue par l'unité :

Elle est proportionnelle à la projection horizontale de la surface totale A_p du distillateur. Nous posons : $E = A_p E_0$

où : E_0 est l'intensité de la radiation solaire globale mesurée à l'aide d'un solarimètre.

– Energie réfléchie par le couvercle :

Elle est proportionnelle à la surface A_c du couvercle.

$$E_r = \rho E_0 A_c$$

On néglige les réflexions causées par les autres parties du distillateur.

- Pertes par convection de la base du distillateur :

Cette quantité de chaleur échangée par la base du distillateur avec le milieu extérieur est fonction de l'isolation.

$$Q_b = h_e \cdot A_b \cdot (t_b - t_a)$$

où : h_e est le coefficient de convection naturelle donné par la formule simplifiée de MC ADAMS [9] dans le cas d'une plaque horizontale, chauffée, regardant vers le bas -

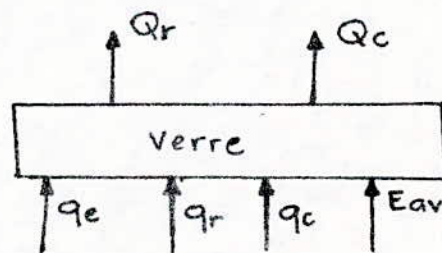
$$h_e = 0.51 \left(\frac{t_b - t_a}{l} \right)^{0.25}$$

- Chaleur emportée par le distillat :

$$Q_m = m_d \cdot C_p \cdot (t_d - t_a) -$$

Pour déterminer les quantités Q_r et Q_c nous définissons un nouveau système thermodynamique qu'est le verre délimité par ses surfaces. Le transfert d'énergie autour du couvercle vitré est décrit par la relation suivante :

$$Q_r + Q_c = E_{av} + q_e + q_c + q_r \quad (2)$$



les termes apparaissant dans cette équation représentent :

- La quantité de chaleur E_{av} absorbée par le couvercle vitré :

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

α_c : facteur d'absorption du verre obtenu pour un rayonnement normal à la vitre.

- La quantité de chaleur apportée par la condensation de la vapeur d'eau : $q_e = mv \cdot L$

où : mv est la masse d'eau évaporée .

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

$$L = 606,5 - 0,695 t_w \quad \text{et } t_w \text{ en } ^\circ\text{C} .$$

Si la masse d'eau évaporée est entièrement recueillie on a alors :

$$mv = m_d = \text{masse du distillat recueilli} .$$

$$\text{soit : } q_e = m_d (606,5 - 0,695 t_w) .$$

- La quantité de chaleur q_c échangée par convection entre la surface de l'eau et celle interne du vitrage : le facteur réalisant

cette convection est le mélange air-vapeur dont le mouvement convectif est dû au gradient de température existant entre ces deux surfaces .

$$\text{soit : } q_c = h_{wc} \cdot A_w (t_w - t_c)$$

où : h_{wc} est le coefficient de convection interne établi par

$$\text{LÖF [7] : } h_{wc} = (0,123 t_w - 3,818) (t_w - t_c)^{1/3}$$

- Rayonnement interne :

L'intensité de la radiation infra-rouge émise par la surface de l'eau du bassin est totalement absorbée par la vitre est donnée par la formule :

$$q_r = A_w \cdot \epsilon \cdot \sigma (T_w^4 - T_c^4)$$

où : ϵ représente le facteur d'émission équivalent (eau-vitre) défini comme suit :

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{E_w} + \frac{1}{E_c} - 1 .$$

En remplaçant chaque terme du second membre de l'équation (2) par son expression nous obtenons :

$$Q_r + Q_c = \alpha_c A_c E_o + m_d L + h_w c A_w (t_w - t_c) + \epsilon \sigma A_w (T_w^4 - T_c^4) \quad (3)$$

- Les pertes Q_p : Ce sont essentiellement :

- * les pertes par rayonnement et convection des structures latérales externes.
- * les pertes par rayonnement du fond de l'appareil, elles sont minimisées par l'isolation du bassin.
- * les pertes par fuite de vapeur vers l'atmosphère.
- * les pertes par fuite du distillat autre que la partie recueillie.
- * les pertes dues à l'introduction des thermocouples de mesures.

En combinant les équations (1) et (2) nous obtenons :

$$E = E_r + E_{av} + q_e + q_c + q_r + Q_m + Q_b + Q_p \quad (4)$$

ou bien, en remplaçant chaque quantité par son expression, il vient :

$$A_p E_o = (\beta + \alpha_c) A_c E_o + m_d L + h_w c A_w (t_w - t_c) + \epsilon \sigma A_w (T_w^4 - T_c^4) + m_d c_p (t_d - t_a) + h_e A_b (t_b - t_a) + Q_p \quad (5)$$

Les quantités qui apparaissent, représentent les plus importantes énergies échangées par les différents systèmes thermodynamiques définis et le milieu extérieur.

Nous tenons aussi, à préciser que la relation (5) n'est applicable qu'en période d'équilibre, qui s'étale de 12H à 14H GMT.

(période où les rayons solaires sont normaux à l'unité de distillation)

CHAPITRE V

APPAREILS ET METHODE DE MESURES.

Nous allons décrire, dans ce chapitre, le distillateur expérimenté, le matériel utilisé pour les mesures de températures, productions et ensoleillements; et en fin de chapitre, on justifiera les points de prise de températures.

1. Description du distillateur = (Planche 1)

Le distillateur utilisé est du type classique à verrière; son bassin est réalisé en fibre de verre agglomérée. Le toit est en verre à vitre ordinaire de 3mm d'épaisseur, ces vitres sont inclinées d'un angle de 30° par rapport à l'horizontale. 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. L'eau condensée sur chaque vitre tombe dans une rigole et est acheminée vers un trou d'évacuation.

L'isolation du bas du bassin est assurée par une couche de polyester soutenue par une feuille de contre-plaqué.

L'alimentation en eau et le vidange se font par l'intermédiaire de deux trous aménagés à cet effet au fond du bassin.

Les caractéristiques physiques du distillateur sont:

- Longueur et largeur des vitres = 135 cm x 54,4 cm.
- Longueur et largeur internes du bassin = 121 cm x 91 cm
- hauteur maximale base-toit = 15 cm.

- Epaisseur maximale de la lame d'eau salée = 4 cm .
- Surface de condensation = 1,46 m²
- Surface d'évaporation = 1,1 m²
- Volume d'air humide = 0,07 m³

2. Appareils de mesure :

2-1. La chaîne d'acquisition de données :

La structure d'ensemble du système d'acquisition de données, à n canaux d'entrée, est représentée par la figure 3 .

La centrale de mesure à microprocesseur type SAM60 est un système d'acquisition de données programmable par clavier, d'une capacité de 20 à 60 voies, elle permet la mesure de températures par couples thermo-électriques et sondes à résistances de platine 100 Ω à 0°C . La centrale peut scruter et imprimer toutes les voies à des intervalles choisis par l'opérateur à l'aide de la minuterie . Elle peut aussi enregistrer toutes les informations sur bande magnétique, et permet en outre =

- l'envoi des mesures sur 2 périphériques extérieurs :

- Périphérique 1 = imprimante, écran de visualisation ou ensemble imprimante - écran -
- Périphérique 2 = Calculateur

- La lecture des mesures enregistrées sur les périphériques 1 et 2 .

La console de visualisation permet ainsi de contrôler à tout instant l'état des paramètres stockés, l'imprimante, quant à elle, sert à les lister -

Le lecteur de cassette sera relié par une jonction RS232C au calculateur graphique qui traitera les données stockées sous forme de fichier et sortira sous forme de courbes, sur table traçante ou imprimante graphique, les valeurs réelles ainsi que les valeurs simulées -

La mesure des différentes températures prises sur le distillateur se fait grâce aux couples thermo-électriques qui sont chargés de la conversion en un signal exploitable suivant une loi connue, de toute température que l'on désire déterminer -

Les caractéristiques de ces thermocouples, utilisés dans l'expérimentation, sont réunies dans le tableau suivant :

Nature du couple	étendue de mesure	$\Delta\theta$ = erreur de linéarisation -
thermo-couple à fer constantan	-210°C à +1200°C	$\leq 0,5^\circ\text{C}$ de -140°C à +1200°C
Sonde à résistance de platine	-240°C à +1200°C	$< 0,1^\circ\text{C}$ de -240°C à +700°C

2.2. Mesure des volumes d'eau :

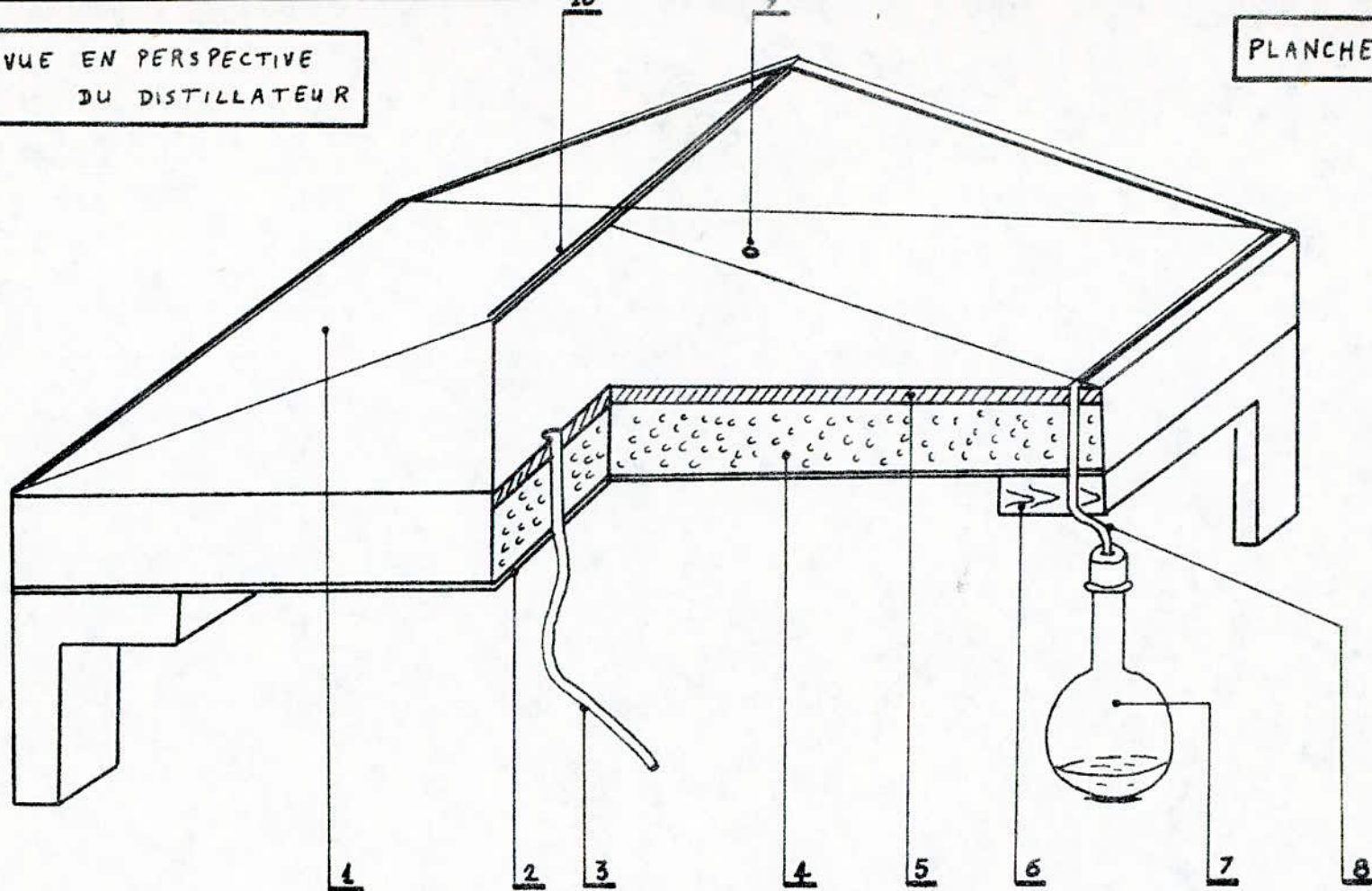
La mesure de la quantité d'eau distillée, peut être réalisée à l'aide d'une fiole jaugée -

2.3. Mesure de l'intensité de la radiation solaire incidente :

La mesure est prélevée à l'aide d'un solarimètre et est fournie, journalièrement, de la part de la station de l'énergie solaire de Bouzaréah -

VUE EN PERSPECTIVE
DU DISTILLATEUR

PLANCHE 1



1 : Toit en verre

2 : Contre-Plaqué

3 : Entrée de la saumure à distiller

4 : Isolant (Polyester)

5 : Bac en verre aggloméré (Peint 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

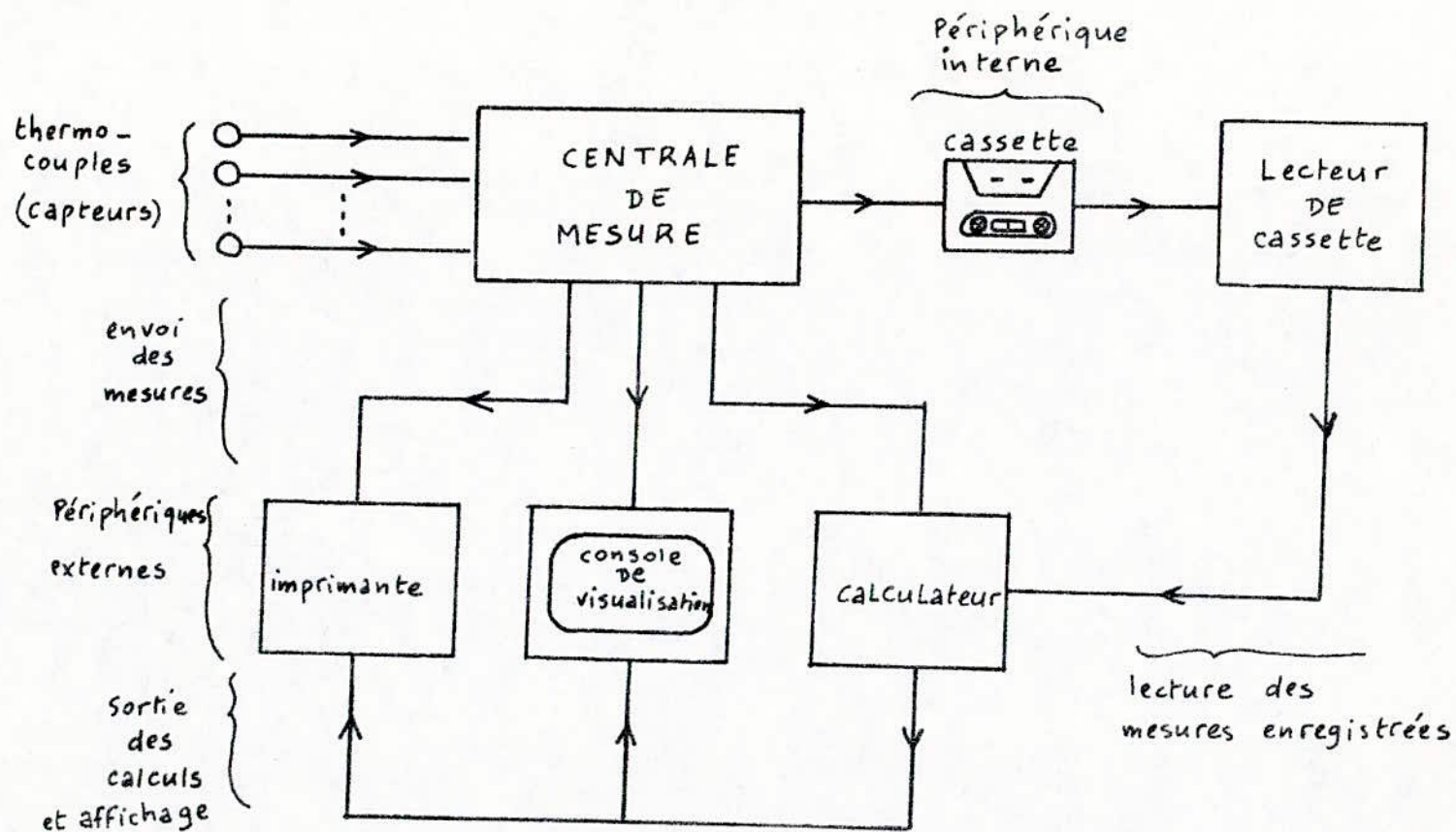


fig. 3 LA CHAÎNE D'ACQUISITION DE DONNÉES

3. Détermination des points de prises de températures :

Comme le distillateur reçoit un flux d'énergie variable, il en résulte une variation de la température en tout point de celui-ci, ce qui nous amène à faire une étude permettant de sélectionner des points représentatifs pour trois parties essentielles du distillateur : les vitres, l'eau du bassin et le mélange air-vapeur.

3-1. Les vitres

3-1-1. Surface externe de la vitre : (planche 2)

Nous avons subdivisé la face externe de la vitre Est en trois parties égales : I, II, III de manière à avoir sur chacune d'elles trois points de mesures, puis collé neuf sondes à résistance que nous avons couvert, contre les radiations solaires incidentes, par des bouts de polyester (isolant) ; la planche 2 révèle les dispositions choisies des sondes. Ainsi, on constate que les voies réservées sur la centrale seront au nombre de neuf, la centrale explorera et affichera, ce groupe de voies à mesurer, à intervalles de temps fixes préalablement programmés ; nous avons opté pour un intervalle de 5 mn -

Les mesures, étant effectuées dans une journée bien ensoleillée et pendant la période du régime (aux environs de 13H GMT), sont groupées dans un tableau

- Conclusion :

Le but est de repérer les points de températures intermédiaires au sein du groupe (1 à 9) -

Le tableau nous indique qu'au cours de la première mesure (à 13H) les températures intermédiaires étaient celles correspondantes aux voies 2-3-5-6 à 0,5°C près, après 5 mn et pendant la deuxième mesure, les températures intermédiaires étaient représentées par les voies 4-5-6. La troisième mesure, quant à elle, accuse les voies 3-4-5-6. On peut conclure donc que les points représentatifs de la face externe de la vitre Est (ainsi que celle de la vitre Ouest par symétrie) sont les points 5 et 6; la quatrième et cinquième mesure permettent de les confirmer.

3-1-2. Surface interne de la vitre : (planche 3).

Les mêmes sondes sont placées cette fois-ci, sur la face interne de la vitre Est; Cependant, l'emplacement de ces sondes reste inchangé, et sont numérotées de 1 à 9.

- Conclusion :

Le tableau de mesures nous révèle :

- 1^{ère} mesure : les voies qui donnent les points intermédiaires sont : 4-5-6-7
 2^{ème} mesure : " " " " " " " " : 1-3-5-6
 3^{ème} mesure : " " " " " " " " : 1-5-6-7-9
 4^{ème} mesure : " " " " " " " " : 2-4-5-6
 5^{ème} mesure : " " " " " " " " : 3-5-6-8-9-1

Etant donné qu'il y a une différence de 2°C au cours d'une mesure, nous pouvons tout de même dire que les points 5 et 6 sont les points représentatifs de la face interne de la vitre (Est ou Ouest) -

3-2. Mélange air-vapeur : (planche 4)

Nous avons suspendu cinq sondes à résistance dans le mélange air-vapeur comme l'indique le schéma -

En suivant la même procédure de raisonnement, nous pouvons extraire le point 3 comme un point représentatif du mélange air-vapeur -

3-3. Eau du bassin : (planche 4)

Dans cette partie, nous avons plongé trois thermo-couples à fer constantan dans l'eau saumâtre, disposés de la manière indiquée sur la figure -

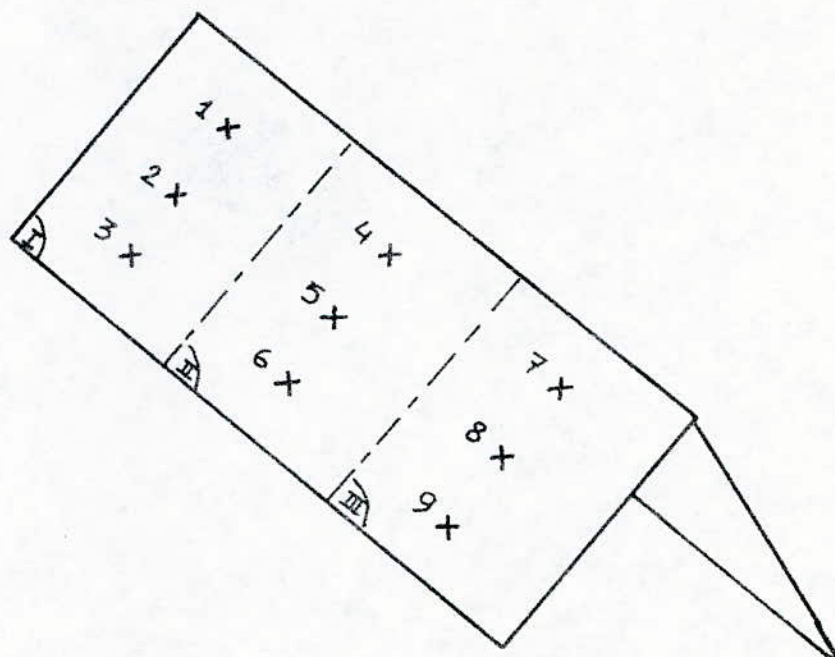
Les mêmes conclusions portant sur le point représentatif nous sélectionnent le point 11 -

Remarque :

La température du milieu ambiant est relevée à l'aide d'une sonde à résistance placée sous le distillateur.

Journée du 27-10-84
 température ambiante = 25 °C

PLANCHE 2

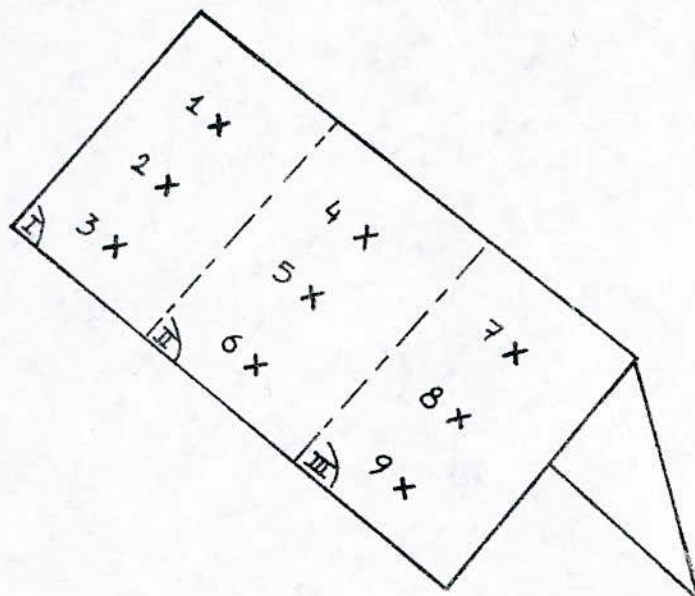


face externe de la vitre EST

	N° de voie	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	t (°C)	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉
temps de mesure	13 ^h -00'	29,2	28,6	29,1	29	28,9	28,9	29,3	29,4	28
	13 ^h -05'	29,3	29,5	29	30	30	29,8	31	30,7	30,5
	13 ^h -10'	30,7	33,6	32	32,1	32,1	32,2	32,4	32,7	31,8
	13 ^h -15'	33,7	34,8	34,8	33	33,3	33,3	32,9	33,6	33
	13 ^h -20'	32,5	34,2	33,9	33,6	33,7	33,8	33,2	34,3	34,3

Journée du 27-10-84
 température ambiante $\approx 25^{\circ}\text{C}$

PLANCHE 3

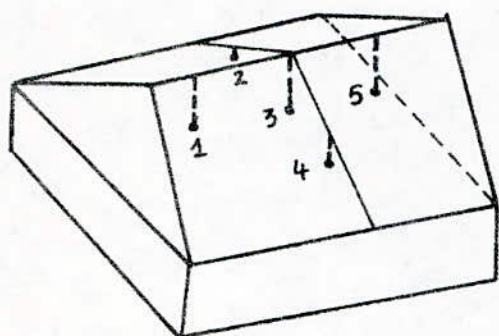


face interne de la vitre EST

	N° Voie	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	t (°C)	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉
temps de mesure	13 ^h -30	29,8	30,8	31	30,5	30,5	30,5	30,2	31,2	30
	13 ^h -35	30,9	31,1	30,5	31	30,7	30,7	30,2	31,9	29,5
	13 ^h -40	31,3	30,9	32	32	31	31,2	31,3	30,7	31,4
	13 ^h -45	32	31,4	32,9	31,7	31,8	31,7	30	31,2	32
	13 ^h -50	32,2	32,6	31,9	31,7	32	32	31,3	32	32,3

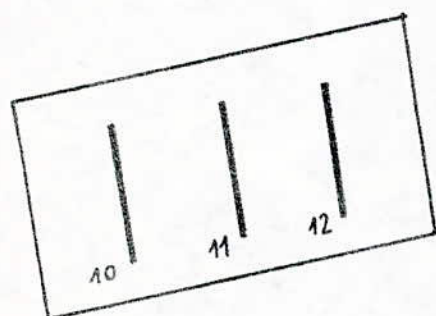
{ journée du 27-10-84
 { température ambiante = 25°C

PLANCHE 4



mélange air - vapeur

	N° Voie	1	2	3	4	5
	t(°C)	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅
temps de mesure	14 ^h -00'	30,7	30,2	30,2	29,9	30
	14 ^h -05'	31,4	30,6	30,7	30,5	30,6
	14 ^h -10'	31,3	30,6	30,7	30,6	30,7
	14 ^h -15'	31,7	30,6	30,7	30,2	30,7
	14 ^h -20'	32,4	31,3	31,3	30,7	31,7



eau du bassin

	N° Voie	10	11	12
	t(°C)	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
temps de mesure	14 ^h -30'	30,9	30,8	30,8
	14 ^h -35'	31,4	31,3	31,3
	14 ^h -40'	33,5	33,3	33,2
	14 ^h -45'	34,5	34,3	34,2
	14 ^h -50'	35,1	34,9	34,8

DEUXIEME PARTIE

**MODELISATION
ET
OPTIMISATION**

CHAPITRE I

MODELE ELECTRIQUE EQUIVALENT DU DISTILLATEUR A EFFET DE SERRE

Nous avons étudié dans la première partie les échanges de chaleur et de masse qui s'établissent de la surface d'évaporation à la surface de condensation, et de celle-ci au milieu extérieur; les expressions des différents coefficients d'échanges étant complexes, et les équations de la chaleur difficilement résolubles analytiquement, nous aurons recours à l'analogie électrique -

1. Schéma électrique traduisant le transfert thermique général :

Au modèle de transfert thermique classique établi précédemment, on peut associer un schéma électrique qui implique des résistances électriques égales aux inverses des coefficients d'échanges - Les puissances transmises sont équivalentes aux intensités, et les températures aux potentiels - L'analogie électrique qui est ainsi faite permet par un calcul itératif de déterminer plus facilement les températures des différents milieux et l'efficacité du distillateur en faisant appel à la loi d'ohm -

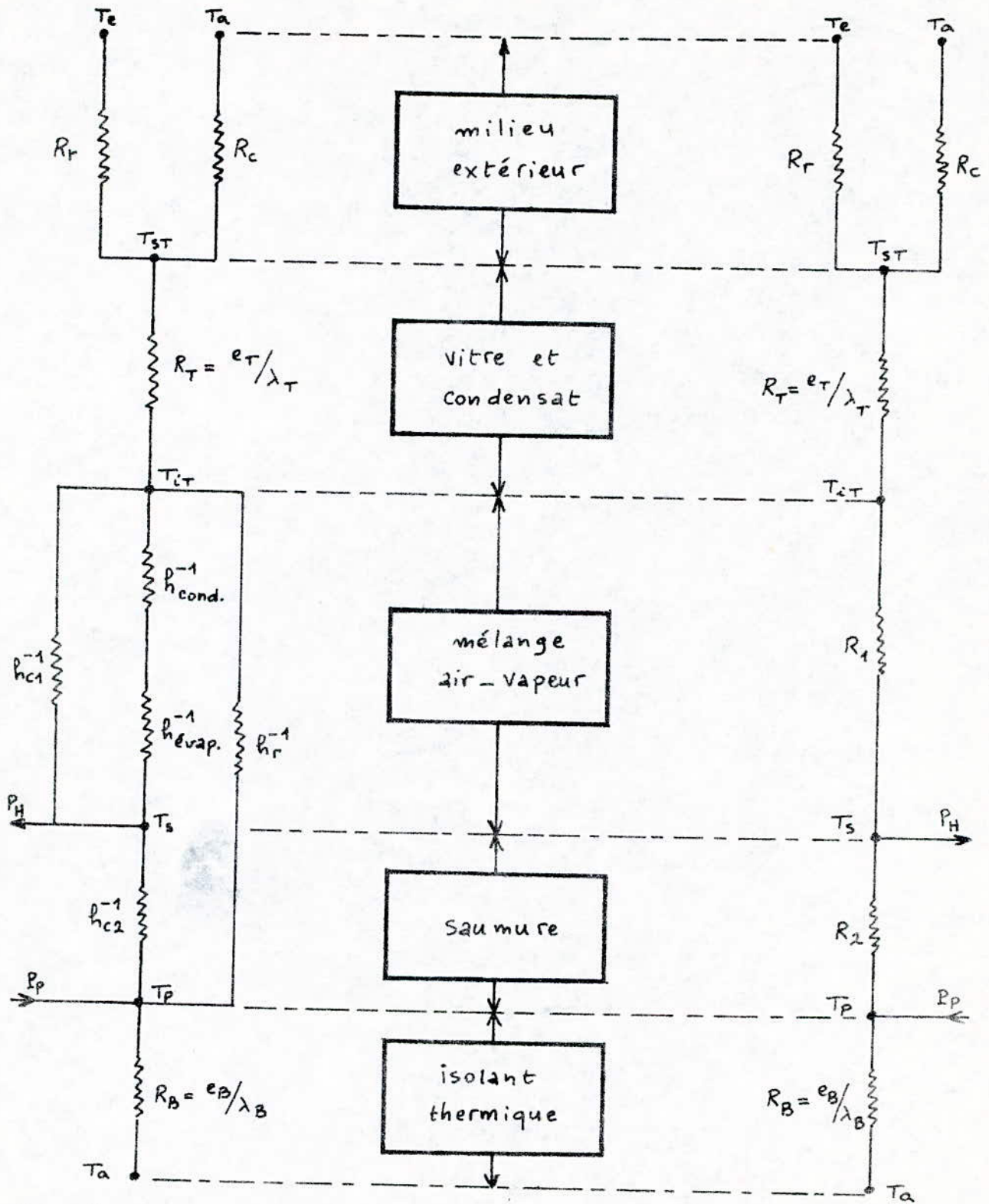


fig. (II-a)

fig. (II-b)

T_a : température ambiante ($^{\circ}\text{K}$)
 T_e : température de la voûte céleste ($^{\circ}\text{K}$)
 T_p : température du plan noir ($^{\circ}\text{K}$)
 T_s : température de la saumure ($^{\circ}\text{K}$)
 T_m : température du mélange
 air-vapeur ($^{\circ}\text{K}$)
 T_{i1} : température de la surface interne
 de la vitre ($^{\circ}\text{K}$)
 T_{e1} : température de la surface externe
 de la vitre ($^{\circ}\text{K}$)
 P_p : puissance solaire absorbée
 par le plan noir (W/m^2)
 P_h : puissance transmise à la saumure
 et convertie en échauffement (W/m^2)
 R_r : résistance thermique de
 rayonnement entre vitre et voûte céleste ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)⁻¹
 R_c : résistance thermique de convection
 entre la vitre et le milieu ambiant ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)⁻¹
 e_T : épaisseur de la vitre (m)
 λ_T : conductibilité thermique de
 la vitre ($\text{W}/\text{m}/\text{K}$)
 h_{c1} : coefficient d'échange
 thermique par convection interne
 ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)

$h_{\text{évap}}$, h_{cond} : coefficients
 d'échange thermique par évaporation
 et condensation ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)
 h_{c2} : coefficient d'échange thermique
 par conduction-convection
 naturelle entre le plan noir et la
 saumure ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)
 h_r : coefficient d'échange thermique
 par rayonnement entre le plan noir
 et la vitre ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)
 R_B : résistance thermique de
 l'isolant ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)⁻¹
 R_T : résistance thermique de
 conduction à travers la vitre
 ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)⁻¹
 R_1, R_2 : résistances thermiques
 auxiliaires sans signification
 physique réelle ($\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)⁻¹

2 - Expressions des coefficients d'échange :

La plus part des résultats obtenus expérimentalement par la théorie des similitudes seront formulés en nombres adimensionnels .
Ainsi, pour passer des nombres de Nusselt Nu aux coefficients d'échange, il faudra considérer la relation suivante :

$$Nu = \frac{h \cdot D}{\lambda}$$

dans laquelle

- h : coefficient d'échange
- D : longueur d'échange
- λ : conductivité thermique du milieu en question

2-1. Echange par convection - conduction entre saumure et plan noir :

La valeur du Nusselt moyen calculée expérimentalement par MC ADAMS [9] dépend du nombre de Grashoff -

- Si $Grashoff < 10^5 \longrightarrow Nu = 1$

l'échange thermique entre le plan noir et la saumure se fait uniquement sous forme de conduction pure -

- Si $10^5 < Grashoff < 2 \cdot 10^7$

$$Nu = \frac{\lambda_s}{L} \cdot 0,54 \cdot (Grashoff \cdot Pr)^{0,33}$$

avec

- $Grashoff = \frac{\beta L^3 g (T_p - T_s)}{\nu_s^2}$
- β : coefficient d'expansion volumique de la saumure ($^{\circ}K^{-1}$)
- g : accélération de la pesanteur (m/s^2)
- L : longueur d'échange = longueur du plan noir (m)

$$\left\{ \begin{array}{l} Pr = \frac{\nu_s \cdot C_p}{\lambda_s} = \text{nombre de Prandtl} \\ \nu_s : \text{viscosité cinématique de la saumure (m}^2/\text{s)} \\ C_p : \text{capacité calorifique de la saumure (J/kg}\cdot\text{°K)} \\ \lambda_s : \text{conductibilité thermique de la saumure (W/m/K)} \end{array} \right.$$

Le coefficient d'échange thermique entre saumure et plan noir est tel que : $hc_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_s}{L}$

2-2. Echange par rayonnement entre plan noir et vitre de condensation:

Cet échange est régi par la loi de Stéphan. Le coefficient h_r valable quelque soit le type de distillateur est de la forme :

$$h_r = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \cdot \sigma \cdot F \cdot (T_p^4 + T_{ir}^4) (T_p + T_{ir})$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_p, \epsilon_c : \text{émissivités du plan noir et de la vitre} \\ \sigma : \text{constante de Stéphan} \\ F = \frac{1}{2} (1 + \cos B) : \text{facteur de forme} \\ B : \text{inclinaison de la couverture par rapport au plan noir} \end{array} \right.$

2-3. Echange par convection entre saumure et vitre de condensation:

Les études de BAUM [6] ont contribué à montrer que dans ce type de distillateur, l'intensité de l'échange par convection interne dépend du Grashoff et de l'inclinaison de la couverture.

par exemple, dans les conditions suivantes :

$$\{ B = 30^\circ \text{ et } 3 \cdot 10^3 < \text{Grashoff} < 5 \cdot 10^4 \}$$

$$Nu = 0,0588 \cdot \text{Grashoff}^{0,37}$$

On observe que pour une inclinaison B donné, si le Grashoff croit, le nombre de Nusselt croit.

Pour des valeurs du Grashoff inférieures à $3 \cdot 10^3$, quelque soit la valeur de B on a toujours $Nu = 1$.

Pour des valeurs du Grashoff supérieures à $5 \cdot 10^4$, la valeur du nombre de Nusselt est :

$$Nu = 0,0354 \cdot \text{Grashoff}^{0,37}$$

L'expression du Grashoff est alors :

$$\text{Grashoff} = \frac{g \beta D^3 (T_s - T_{ir})}{\nu_m^2}$$

- ν_m : viscosité cinématique du mélange air-vapeur
- D : longueur caractéristique du distillateur = $4 \cdot \frac{S}{P}$
- P : Périmètre du distillateur
- S : Surface de la base du distillateur
- λ_m : conductivité thermique du mélange air-vapeur

$$\text{et } h_{c1} = \frac{Nu \cdot \lambda_m}{D}$$

2-4- Echange par évaporation et condensation entre saumure et vitre de condensation :

BAUM [6] a montré que les processus d'évaporation et de condensation sont intimement liés, quand l'un augmente, l'autre augmente et réciproquement. Les études du

transfert de chaleur et de masse menés au laboratoire sur des distillateurs de types variés, ont toutes eu pour but la détermination des coefficients d'échange à l'évaporation et à la condensation - Leur connaissance permet de calculer le taux d'eau distillée produite M .

$$M = H \cdot (T_s - T_{ir}) / L(T_m)$$

avec

$$H^{-1} = h_{\text{évap}}^{-1} + h_{\text{cond}}^{-1}$$

$h_{\text{évap}}$ = Coefficient d'échange thermique à l'évaporation (W/m²/K)

h_{cond} = Coefficient d'échange thermique à la condensation (W/m²/K)

$L(T_m)$ = Chaleur latente d'évaporation de l'eau à la température T_m du mélange air-vapeur (W/Kg)

Les résultats obtenus par BAUM et BAIRAMOV [6] établis en 1963 sont :

- à l'évaporation :

$$N_{\text{évap}} = 39,8 \cdot \epsilon_{\text{évap}} \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,17}$$

pour $2,17 \cdot 10^6 < (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) < 1,78 \cdot 10^7$

- à la condensation :

$$N_{\text{cond}} = 1,413 \cdot 10^4 \cdot \epsilon_{\text{cond}} \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})$$

pour $2,35 \cdot 10^6 < (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) < 2,51 \cdot 10^7$

avec :

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Nuev, Nuc} : \text{nombre de Nusselt à l'évaporation et à la condensation} \\ \text{Gre, Grc} : \text{nombre de Grashoff à} \quad " \quad " \quad " \quad " \\ \text{Pre, Prc} : \text{nombre de Prandtl à} \quad " \quad " \quad " \quad " \\ \text{Eev, Econd} : \text{pression de vapeur d'eau à} \quad " \quad " \quad " \quad " \end{array} \right.$

$$\text{et } h_{\text{évap}} = \frac{\text{Nuev} \cdot \lambda_m}{D/2} \quad ; \quad h_{\text{cond}} = \frac{\text{Nuc} \cdot \lambda_m}{D/2}$$

Pour compléter les résultats précédents, Bairamov et Rybakova [10] menèrent la même expérience mais avec des valeurs du produit (Grashoff · Prandtl) plus élevées, correspondant à des écarts de température entre saumure et vitre plus élevés ; ils obtiennent les résultats suivants en 1968 :

$$\text{Nuev} = 2,767 \cdot \text{Eev} \cdot (\text{Gre} \cdot \text{Pre})^{0,34}$$

$$\text{pour } 1,58 \cdot 10^8 < (\text{Gre} \cdot \text{Pre}) < 4,7 \cdot 10^8$$

$$\text{et } \text{Nuc} = 5,164 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Econd} \cdot (\text{Grc} \cdot \text{Prc})^{0,61}$$

$$\text{pour } 1,66 \cdot 10^8 < (\text{Grc} \cdot \text{Prc}) < 7,39 \cdot 10^8$$

2.5. Echange par convection forcée entre la vitre extérieure et l'air ambiant :

L'intensité de cet échange dépend de la vitesse du vent, et dépend très faiblement de l'inclinaison de la vitre. On a coutume d'utiliser pour le coefficient d'échange h_c l'expression :

$$h_c = 5,7 + 3,8 \cdot V \quad \text{où } \left\{ \begin{array}{l} V = \text{vitesse du vent (m/s)} \\ h_c \text{ est en (W/m}^2\text{/K)} \end{array} \right.$$

2.6. Echange par rayonnement entre la vitre extérieure et le ciel :

Le coefficient d'échange $R_{\bar{r}'}$ est donné par la loi de Stéphan; dans ce cas, on fixe l'émissivité du ciel comme égale à 1 et sa température T_e égale à une fonction de la température ambiante T_a et le facteur de forme F égal à 1, avec :

$$R_{\bar{r}'} = \epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_{st}^2 + T_e^2) (T_{st} + T_e)$$

et

$$\left\{ \begin{array}{l} T_e = 0,552 \cdot T_a^{1,5} \quad (T_a \text{ et } T_e \text{ en } ^\circ\text{K}) \\ \text{ou encore} \\ T_e = T_a - 12 \quad (T_a \text{ et } T_e \text{ en } ^\circ\text{C ou en } ^\circ\text{K}) \\ \epsilon_c, T_{st} : \text{ sont l'émissivité et la température de la vitre} \end{array} \right.$$

2.7. Echange par conduction

- A travers le bas du distillateur :

On peut considérer qu'on a trois murs en série : le premier en verre aggloméré formant la base du bac, le second étant l'isolant en polyester et le troisième étant le contre-plaqué en formica.

On pourra donc écrire :

$$R_B = \frac{e_B}{\lambda_B} = \frac{e_{bac}}{\lambda_{bac}} + \frac{e_{isolant}}{\lambda_{isolant}} + \frac{e_{c-p}}{\lambda_{c-p}}$$

- A travers la vitre :

$$R_T = \frac{e_T}{\lambda_T}$$

avec $\{ R_B, R_T : \text{ en } (W/m^2/K)^{-1}$

3. Hypothèses simplificatrices :

- 3-1 - Les parois latérales du distillateur ne sont pas impliquées dans les processus de transfert de chaleur et de masse ; cela équivaut à supposer notamment qu'il n'y a pas de condensation d'eau sur ces parois (en effet, à cause de leur calorifugeage par l'extérieur, leur température moyenne est assez proche de celle du mélange air-vapeur) -
- 3-2 - La concentration en sels de la saumure n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse à partir de et vers la saumure, ce qui revient à supposer que :
- la capacité calorifique et la chaleur latente d'évaporation de la saumure ne sont pas fonction de la concentration en sels.
 - il n'y a pas suffisamment de dépôts de sels pour que les propriétés optiques du plan noir soient altérées -
- 3-3 - L'enceinte de distillation est étanche et il n'y a pas de perte de vapeur d'eau ; l'étanchéité du distillateur dépend en général uniquement des joints d'étanchéité utilisés par le constructeur -
- 3-4 - La condensation de l'eau sur la couverture se produit uniquement sous forme de film homogène et continu ; c'est le cas lorsque la couverture est en verre ordinaire et possède une mouillabilité suffisante - Cette condition n'est pas réalisée si la couverture est en plexiglas ; il faut noter en outre que la présence des gouttes d'eau engendre un modèle dont l'étude est

difficile et qui ne permet pas par conséquent de calculer la fraction d'énergie solaire réellement transmise vers la surface absorbante noire.

—————•—————

CHAPITRE II

LE MODELE LOGIQUE DE RESOLUTION.

Si dans les systèmes réels, l'expérimentation directe constitue la phase décisive; avec l'avènement des ordinateurs, la simulation se révèle être un outil appréciable à l'instant de l'investigation théorique; elle présente ces systèmes réels par des modèles physiques dont l'étude par l'utilisation de modèles mathématiques ou logiques est en général assez accessible et avantageuse; son intérêt majeur réside dans la possibilité qu'elle apporte à l'intéressé :

- d'étudier des systèmes complexes et "lourds" (à cause du nombre important des paramètres et de transformations impliquées, et d'opérations à effectuer) comme les systèmes de distillation solaires où, comme nous l'avons constaté, les paramètres et les divers échanges thermiques sont en nombre important.
- de voir l'influence sur le système complet d'un paramètre considéré isolément par rapport aux autres (on peut contrôler tous les paramètres dénombrés).

Par ailleurs, le modèle logique adopté, à savoir l'analogie électrique des transferts de chaleur, par simple application de la loi d'ohm, nous affranchit de la résolution de systèmes d'équations différentielles dont la manipulation n'est pas toujours aisée.

Dans le cas présent la simulation du comportement des distillateurs présente immédiatement un avantage double :

- retenir pour un environnement météorologique donné le distillateur le plus performant
- déterminer la valeur optimale des différents paramètres notamment ceux qui sont fixés par le constructeur.

L'analyse de la méthodologie utilisée sera achevée après que les deux points suivants auront été successivement observés :

- définition du modèle logique de résolution
- examen des organigrammes correspondant au modèle de résolution et décrivant graphiquement les opérations à effectuer.

1. Principe des différences finies des flux de chaleur :

La saumure ne ruisselle pas sur le plan noir et sa température qui régit l'évaporation, ne change pas d'une extrémité du distillateur à l'autre; par contre, l'évolution thermique de l'ensemble du distillateur pendant l'intervalle de temps T et pour des paramètres météorologiques donnés est prépondérante.

On peut logiquement admettre que les échanges de chaleur de l'ensemble du distillateur avec le système extérieur se produisent par quantités finies de l'instant t à l'instant $t+T$. Cela autorise le découpage fictif du temps T en n intervalles finis de valeur dt .

Un calcul itératif permet d'avoir la répartition des températures dans l'ensemble du distillateur à la fin de chaque intervalle de temps et l'efficacité instantanée correspondante.

En juxtaposant ces différents intervalles de temps, on décrit le comportement du distillateur pendant tout le temps T et on détermine ainsi l'efficacité moyenne qui sera la moyenne arithmétique des n efficacités instantanées.

2. Classification des paramètres :

Pour clarifier l'étude de l'influence de certains paramètres sur l'efficacité du distillateur, ceux-ci ont été divisés en trois groupes :

- les paramètres météorologiques
 - les paramètres de construction
 - les paramètres décrivant les propriétés physiques de la saumure.
- Cependant, le principe du modèle logique de résolution adopté (discrétisation du temps) engendre une autre classification dont l'avantage est de faciliter la compréhension des différents programmes construits -

On distingue ainsi :

- les paramètres principaux
- les paramètres secondaires
- et les paramètres intermédiaires -

Chacun d'eux pouvant être de type entrée ou sortie -

2-1. Les paramètres principaux :

2-1-1. En entrée :

Ce sont ceux dont on veut étudier l'influence de la variation sur les grandeurs caractérisant la production d'eau du distillateur (efficacités, rendement ... etc).

On peut noter :

T_a : température ambiante

V : vitesse du vent

E_0 : puissance du rayonnement solaire global incident sur une surface horizontale -

T_i : température initiale de la saumure

B : inclinaison de la couverture par rapport à l'horizontal -

D : distance moyenne entre saumure et vitre de condensation.

D1 : épaisseur de la couverture

DI : épaisseur initiale de la saumure sur le plan noir.

RB : résistance thermique de l'isolant arrière -

2-1-2. En sortie :

Ce sont les paramètres qui caractérisent la performance du distillateur :

EIH : efficacité interne horaire du distillateur

EGH : efficacité globale horaire du distillateur

RH : rendement horaire du distillateur

2.2. Les paramètres secondaires :

2-2-1. En entrée :

Ce sont les paramètres qui, au cours des diverses exécutions du programme, demeurent constants ou ont des variations qui ne modifient pas beaucoup les résultats ; il ya notamment :

- les caractéristiques physiques des structures matérielles du distillateur (dimensions, facteurs thermiques et optiques...)

exemple :

Long, larg : longueur et largeur du distillateur

λ_T : conductivité thermique de la couverture

ϵ_p : émissivité du plan noir

ϵ_c : émissivité de la vitre

- les caractéristiques physico-chimiques du fluide
(saumure, mélange air-vapeur d'eau, eau pure)
qui dépendent en général de la température ;

On peut noter :

la viscosité, la masse volumique et

λ_s : conductivité thermique de la saumure

λ_m : conductivité thermique du mélange air-vapeur

C_p : capacité calorifique de l'eau

2-2-2. En sortie :

Ce sont les paramètres dont la connaissance permet de
contrôler le déroulement des résultats et de favoriser
l'exploitation de ceux-ci ;

il ya :

TF : température finale de la saumure

DF : épaisseur finale de la saumure

TVF : température finale de la vitre

2-3. Les paramètres intermédiaires :

Ce sont les paramètres qui prennent des valeurs différentes
d'une tranche fictive du temps à une autre :

DII : épaisseur de la saumure au début et à la fin
du temps élémentaire

T_S, T_P, T_V : températures moyennes de la saumure, du plan noir et de la vitre à la fin du temps élémentaire.

P_0 : puissance solaire réellement absorbée par le plan noir et la saumure instantanément.

e_i, e_g : efficacités interne et globale instantanées relatives au temps élémentaire.

M : rendement instantané de l'ensemble du distillateur.

3- Méthodologie :

Dès lors, il apparaît que le modèle de résolution que nous avons adopté ne permet d'accéder aux paramètres de sortie principaux (efficacités, rendement...etc) que par un calcul progressif des paramètres intermédiaires ponctuels ou instantanés ; en effet, comme cela a été précisé dans l'exposé du modèle logique, pour la première tranche, on injecte en entrée des valeurs fixes attribuées aux paramètres intermédiaires d'entrée ; on calcule alors pour cette tranche les paramètres intermédiaires de sortie dont les valeurs seront appliquées en entrée à la deuxième tranche et ainsi de suite jusqu'au recouvrement total du temps ; voici avec plus de détails le processus de la démarche :

Au premier intervalle de temps M_1 , et pour l'ensemble du distillateur on injecte :

- une épaisseur et une température initiales pour la saumure
- une température initiale pour le condensat

Là aussi, un module de calcul reposant sur la transcription par analogie électrique des transferts de chaleur donne à la fin de ce premier instant, les paramètres intermédiaires, M, DFI, TS, TV, e_i, e_g . Les valeurs de M, e_i, e_g sont stockées en mémoire pour la détermination du rendement final et des efficacités moyennes; On applique en entrée pour le deuxième intervalle de temps M_2 les valeurs (pour la saumure et le condensat) de l'épaisseur et de la température trouvées ci-dessus au bout de l'instant M_1 .

On procède de même pour les intervalles de temps suivants jusqu'à épuisement du temps total.

4 - Analogie électrique des transferts de chaleur : Calcul des températures.

Le but recherché est de déterminer la répartition des températures dans une section du distillateur, de la surface absorbante noire à la vitre de condensation; la solution du problème permet ensuite de calculer tous les paramètres intermédiaires autres que les températures. Dans le modèle de description des transferts de chaleur par analogie électrique, les températures des différents milieux, les flux de chaleur et les résistances de transferts

thermiques sont représentés respectivement par des potentiels, des intensités et des résistances électriques -

L'avantage principal d'une telle représentation réside dans la possibilité qu'elle offre à l'utilisateur de changer ou d'incorporer des coefficients d'échange sans modifier le reste du programme ; en outre, l'utilisation de la loi d'ohm est très simple -

La difficulté principale est engendrée par le fait que toutes les résistances de transferts thermiques (excepté celles de conduction) sont directement fonctions des potentiels aux bornes (qui ne sont pas tous connus), ce qui rend nécessaire la connaissance de toutes les températures dans chaque tranche du distillateur ; ce problème sera néanmoins résolu par la suite .

Les schémas électriques II-a et II-b ne sont pas relatifs à une section de distillateur mais à tout le distillateur (considéré alors comme une section finie de dimensions égales à celles du distillateur) ; ceci est la conséquence immédiate du modèle logique adopté et décrit auparavant .

Pour un intervalle M_1 donné, les potentiels connus sont :

$$T_a, T_e, T_I$$

Aux potentiels inconnus qui sont :

TIT , TP

On donne des valeurs arbitraires , ce qui permet donc le calcul de toutes les resistances et de toutes les intensités ; un calcul effectué à partir du schéma électrique donne alors les valeurs des nouveaux potentiels ; lorsque la valeur absolue de l'écart entre deux valeurs consécutives des potentiels est inférieure à une valeur fixée suffisamment petite , la boucle est fermée et les dernières valeurs obtenues pour les potentiels sont les bonnes .

La répartition des températures , du plan noir à la vitre de condensation est alors connue et on peut calculer T_S, T_V (températures finales de la saumure et de la vitre) , DFI qui est l'épaisseur finale instantanée de la saumure , et M dont la valeur sera stockée en mémoire en vue du calcul du rendement horaire .

Pour l'intervalle $M+1$ suivant, on applique en entrée les valeurs (pour la saumure et le condensat) de l'épaisseur et de la température trouvées précédemment et relatives à la fin de l'intervalle M .

On procède de même pour les instants suivants jusqu'à épuisement du temps total T , qui est égal dans notre

Cas à 12 heures divisées en 12 périodes d'une heure ,
chacune de celles-ci étant divisée en 4 intervalles ;
la valeur d'un intervalle de temps Δt est donc 15 mn .

Le programme repose sur deux modules organisés
autour d'un programme principal ; un module est
un sous programme homogène d'instructions venant
s'insérer dans un ensemble plus vaste .

Le langage origine est le Basic .

CHAPITRE III

STRUCTURE DES ORGANIGRAMMES

1. Organisation générale :

Il s'agit à ce niveau de voir pour le programme comment les différents modules, chacun de ceux-ci ayant un rôle spécifique, interviennent et s'insèrent dans l'ensemble structuré ; autrement dit, d'étudier les organigrammes qui représentent graphiquement les opérations effectuées - Ces organigrammes traduisant la résolution du programme en fonctionnement ponctuel du distillateur (1 heure) ; pour une simulation demi-journalière -

Les modules comportent, outre un programme principal qui organise les principales opérations, des modules permettant respectivement de calculer :

- les résistances thermiques, en utilisant les coefficients d'échange thermiques présentés dans cette partie ;
- les flux et les potentiels

ou encore :

- de calculer les coefficients d'échange par évaporation - condensation d'une part et le coefficient d'échange par convection interne d'autre part -
- d'initialiser les constantes ;
- d'imprimer les résultats -

Pour le programme, trois organigrammes seront présentés :

- le premier, général mais condensé, expliquant la succession des opérations globales à effectuer sans notation des modules impliqués (voir fig. III-a) -
- le deuxième est également général mais détaillé ; il représente toutes les opérations, leur enchaînement, et met en évidence les différents modules qui interviennent (voir fig. III-b) -
- le troisième représente seulement l'enchaînement des opérations de la partie du programme la plus importante par le rôle (C'est la partie qui calcule les potentiels et les flux inconnus, elle a pour nom "Test de convergence des températures") (voir fig. III-c) -

2. Structure interne et représentation :

On décrit une boucle ; voir figures (III-a, III-b), cependant, celle-ci est relative au temps de simulation (1 heure) -

Pour chaque intervalle de temps qui divise également l'heure on calcule les paramètres intermédiaires de sortie instantanés et la puissance solaire utile P_0 . Lorsque l'épaisseur de la saumure s'annule avant l'épuisement de l'heure, on sort de la boucle pour imprimer les résultats obtenus et saisir d'autres données. Pour toutes les heures on calcule ainsi la valeur des efficacités moyennes interne EIH et globale EGH qui vont être cumulées pour donner les efficacités moyennes demi-journalières au bout d'un cycle de 12 heures.

organigramme général condensé

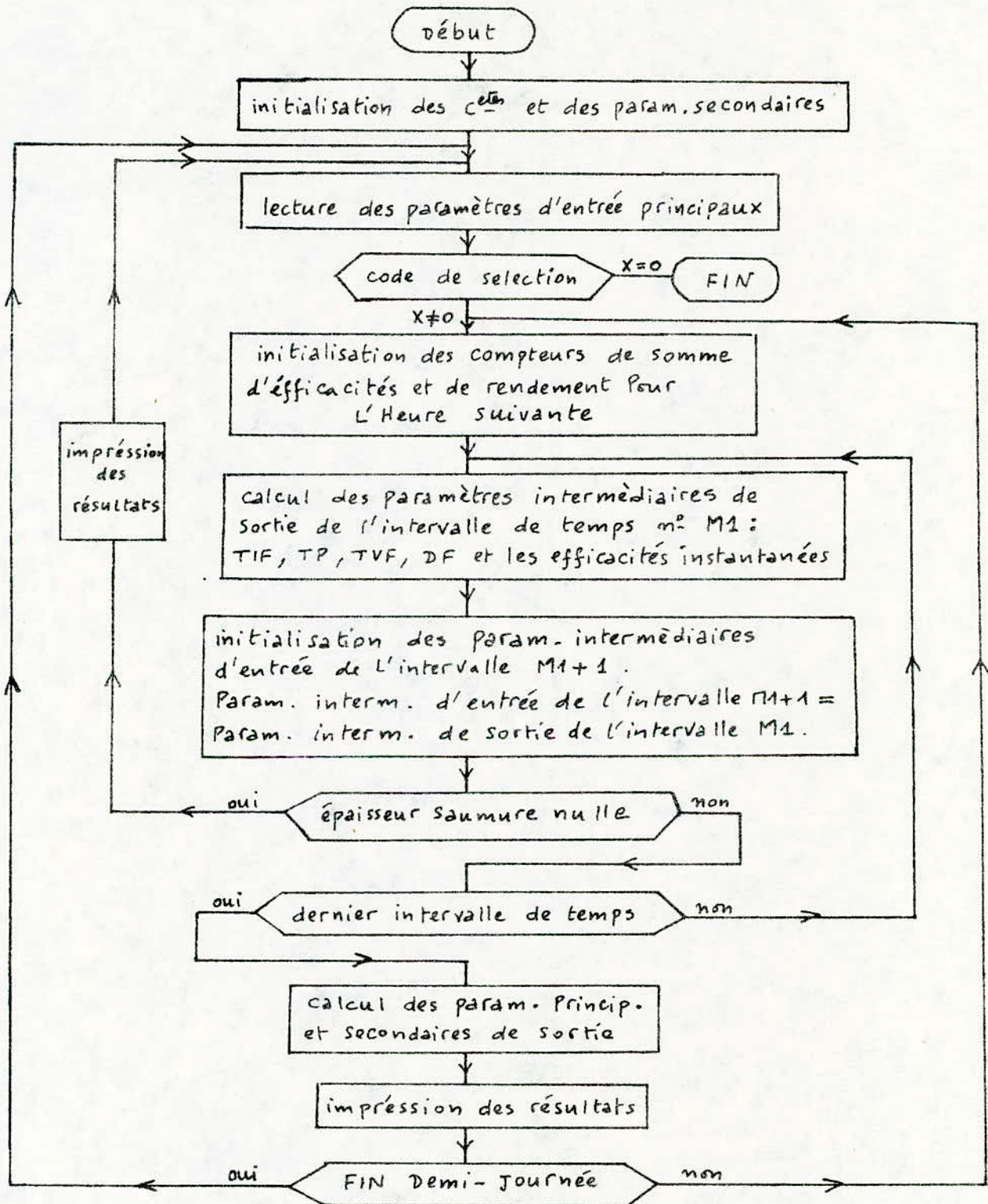


fig. (III - a)

ORGANIGRAMME GENERAL DETAILLE

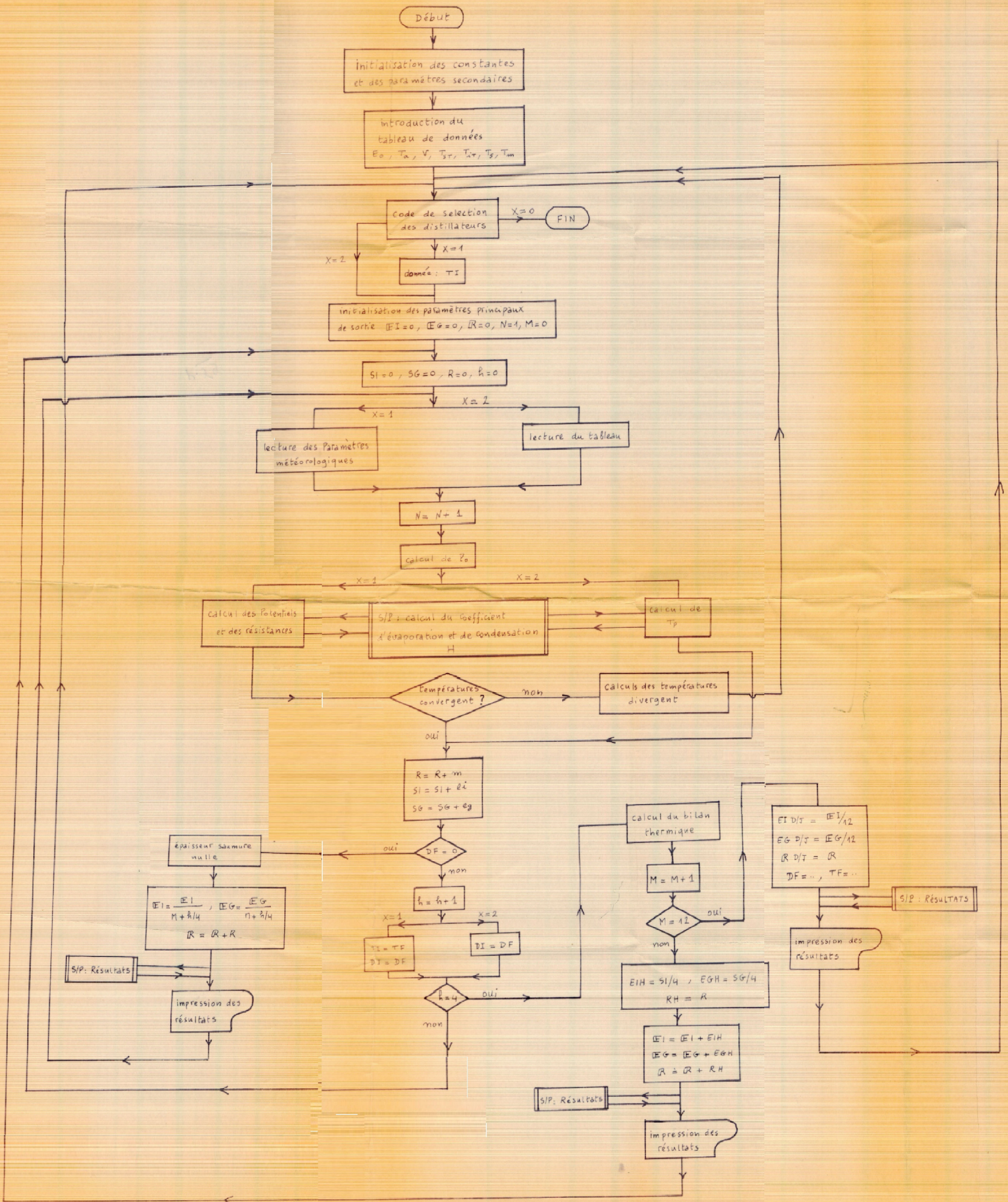


fig. (III - b)

Organigramme du test de convergence des températures

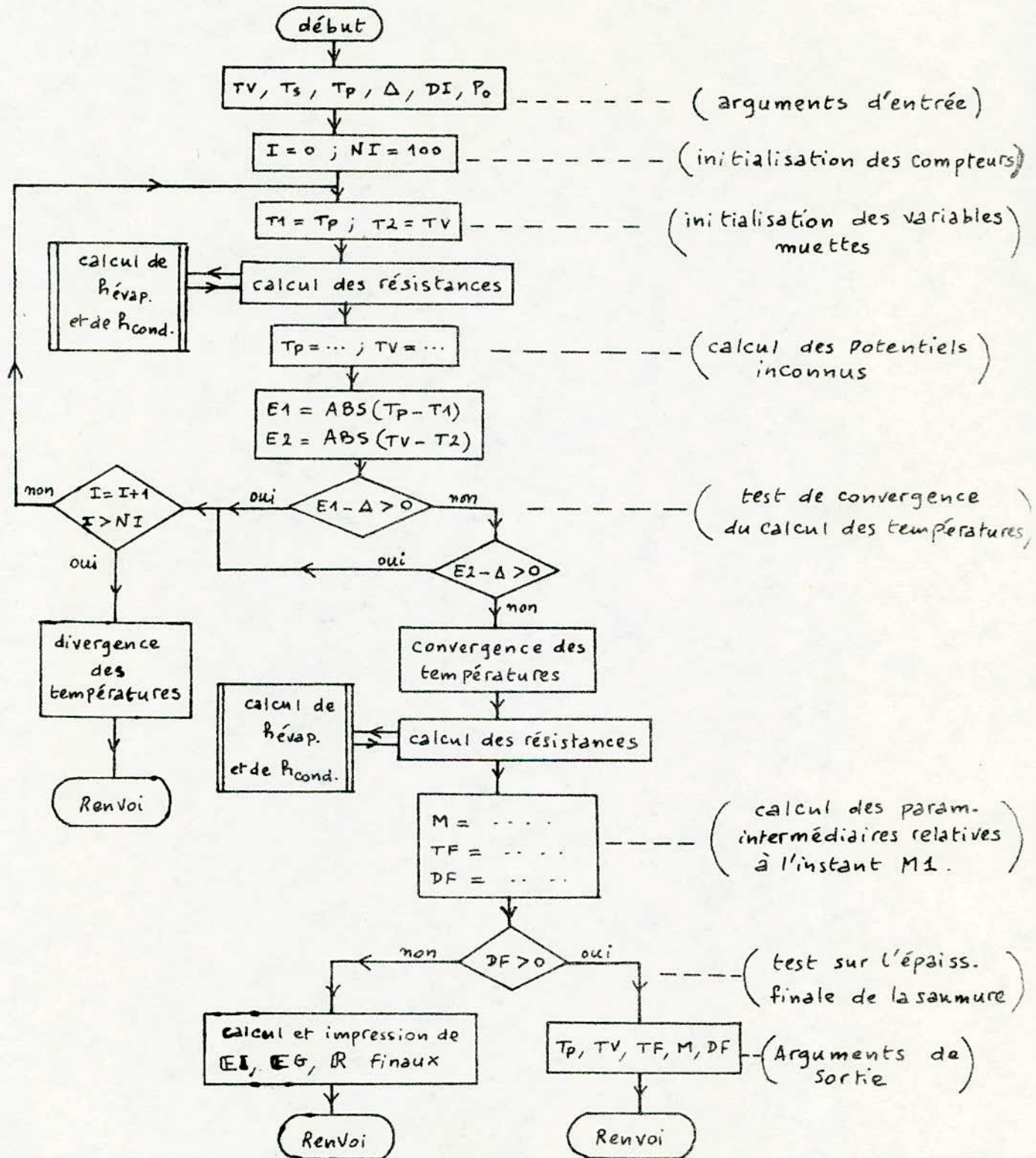


fig. (III - c)

L'organigramme de la figure (III-b) montre qu'il existe deux boucles relatives au temps et imbriquées.

- a - la première décrit le comportement du distillateur au cours d'une période d'une demi-journée (12 heures) à partir de l'instant SH heure fixé arbitrairement jusqu'à l'instant SH+12, la demi-journée étant divisée par pas d'une heure, à la fin de l'heure S, les valeurs des températures et de l'épaisseur de la saumure sont injectées en entrée pour l'heure S+1 et on procède ainsi de proche en proche.
- b - la deuxième boucle interne à la première est relative à l'heure, qui est divisée en 4 parties de 15 mn; elle caractérise le fonctionnement instantané du distillateur.

Le sous-programme "RESULTATS" est appelé toutes les heures pour imprimer les résultats.

3 - Saisie des données et exécution :

- les paramètres secondaires sont injectés en tête du programme durant l'étape d'initialisation des constantes
- les paramètres principaux non météorologiques sont fournis directement au μ -ordinateur RAINBOW par clavier; il s'agit de B, DL, TI, RB et du code de sélection du type de distillateur X : avec
$$\begin{cases} X=1 \text{ distillateur simulé} \\ X=2 \text{ distillateur réel} \end{cases}$$
- les paramètres principaux météorologiques T_a, E_o, V , ainsi que les différentes températures mesurées (distillateur réel), sont saisies par lecture d'une matrice de données préalablement

tapée sur clavier -

L'exécution est achevée une fois arrivé à la dernière ligne de la matrice (48^{ième} ligne) et est recyclée pour tester un nouveau distillateur ou changer d'autres paramètres -

TROISIEME PARTIE

RESULTS
ET
INTERPRETATIONS

1- Les données :

La centrale de mesure SAM60 à 60 voies permet d'obtenir continûment, la température ambiante et les températures de la saumure, de la vitre et du mélange air-vapeur par l'intermédiaire de thermocouples à fer Constantan et sondes à résistance de platine convenablement placés (voir les points optimums de prise des températures).

L'énergie du rayonnement global incident sur une surface horizontale est enregistrée et imprimée continûment par les enregistreurs KIPP et Zonen de la station solaire de Bouzaréah. La vitesse moyenne du vent est fournie également par la même station -

Pour la journée du 22-Novembre 1984 le test a commencé à 7H GMT et duré douze heures :

température de l'eau à l'introduction (°C)	20
épaisseur initiale de l'eau (mm)	4

Le tableau suivant regroupe les données pour les distillateurs réel et simulé :

Journée du 22-11-84

Paramètres d'entrée : $T_I = 20^\circ\text{C}$; $D_0 = 4\text{ mm}$; $V_{\text{moy}} = 2\text{ m/s}$

temps	Q_0 (W/m^2)	T ($^\circ\text{C}$)	T_1 ($^\circ\text{C}$)	T_2 ($^\circ\text{C}$)	T_4 ($^\circ\text{C}$)	T_8 ($^\circ\text{C}$)	temps	Q_0 (W/m^2)	T ($^\circ\text{C}$)	T_1 ($^\circ\text{C}$)	T_2 ($^\circ\text{C}$)	T_4 ($^\circ\text{C}$)	T_8 ($^\circ\text{C}$)
7 ^h -15'	40	20	19,4	19,5	20	19,7	13 ^h -15'	606	24,7	24,2	25	45	34,7
7 ^h -30'	64	20,1	19,6	20	20	20	13 ^h -30'	590	24,6	24,2	25	44,6	34,7
7 ^h -45'	96	20,2	19,7	20	20	20	13 ^h -45'	568	24,4	24,2	25	44	34,3
8 ^h -00'	132	20,5	20,1	21	20	20,4	14 ^h -00'	540	24,2	24,1	25	43	34
8 ^h -15'	172	20,6	20,3	21	20	20,6	14 ^h -15'	512	23,9	24,1	25	42	33,3
8 ^h -30'	228	20,9	22	22,2	20,2	21,1	14 ^h -30'	480	23,6	24	25	41	32,9
8 ^h -45'	280	21,1	22,1	22,6	20,4	21,6	14 ^h -45'	440	23,2	24	25	40	32,3
9 ^h -00'	324	21,5	22,2	22,7	20,5	21,6	15 ^h -00'	404	22,9	23,9	24,5	38	31
9 ^h -15'	368	21,9	22,7	23	20,5	21,7	15 ^h -15'	368	22,6	23,9	24,5	37	30,5
9 ^h -30'	412	22,2	22,7	23	20,6	21,8	15 ^h -30'	320	22,4	23,7	24	35,6	30
9 ^h -45'	444	22,6	22,8	23	21	22,1	15 ^h -45'	272	21,9	23,7	24	32	27,6
10 ^h -00'	476	23	23	23,5	22	22,7	16 ^h -00'	224	21,5	23,1	23,5	30	26,5
10 ^h -15'	504	23,3	23,1	23,5	24	23,3	16 ^h -15'	156	21,1	23	23,5	27,4	25,2
10 ^h -30'	528	23,7	23,2	23,5	24,5	23,8	16 ^h -30'	86	20,7	22,8	23,1	27	25
10 ^h -45'	552	24,1	23,7	24	28,9	26,3	16 ^h -45'	52	20,5	22,4	22,7	26	24,2
11 ^h -00'	572	24,3	23,7	24	32,5	28,1	17 ^h -00'	44	20,3	22,3	22,6	25	23,5
11 ^h -15'	592	24,5	23,9	24,5	35	29,8	17 ^h -15'	40	20,3	21,5	22	24,6	23,1
11 ^h -30'	612	24,7	23,9	24,5	36	30	17 ^h -30'	39	20,2	21,2	21,5	23	22
11 ^h -45'	620	24,8	24	25	37,3	31	17 ^h -45'	37	20,2	20,5	21	23	22
12 ^h -00'	628	24,9	24	25	39	32	18 ^h -00'	36	20,1	20,5	21	22	21,2
12 ^h -15'	632	25	24	25	43	33,5	18 ^h -15'	34	20,1	20,1	20,5	21	20,4
12 ^h -30'	628	25	24	25	43,6	34	18 ^h -30'	33	20,1	19,8	20	20,5	20
12 ^h -45'	624	25	24	25	45	34,6	18 ^h -45'	32	20	19	19,8	20	19,7
13 ^h -00'	616	24,8	24	25	44,8	35	19 ^h -00'	25	20	19	19	20	19,2

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

JOURNEE DU JEUDI 22-11-1984
 TEMP.INITIALE DE L'EAU= 20 (0C)
 DISTANCE MOYENNE SAUMURE-VITRE= .1 METRES
 EPAISS.INITIALE DE L'EAU= .004 METRES
 ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT= 30 DEGRES

..DISTILLATEUR SIMULE..

T(H)	Q9(W)	Q8(KCAL)	T4(0C)	E1(%)	E2(%)	R(L)
8 H	83	88.04011	20.56177	.5325631	.665704	1.12392E-03
9 H	251	264.5614	27.51404	.6142997	.7678746	6.226075E-03
10 H	425	398.6083	39.28092	6.080766	7.600958	9.465124E-02
11 H	539	363.6106	47.19766	18.90391	23.62989	.3642737
12 H	613	248.4921	51.20828	32.03563	40.04454	.699577
13 H	625	155.5619	50.86612	39.65571	49.56964	.8821413
14 H	576	174.5076	46.73856	36.9275	46.15938	.7578541
15 H	459	227.8013	39.46063	27.32662	34.15827	.4489911
16 H	296	207.6311	30.71735	17.29743	21.62179	.1846658
17 H	84.5	61.45885	24.51434	17.43908	21.79885	4.870526E-02
18 H	38	31.61404	22.25256	11.33117	14.16397	1.516694E-02
19 H	30	28.36673	21.0318	6.021811	7.527264	6.214305E-03

EFFIC.GLOB.DEMI-JOURNALIERE= 17.84721 %
 EFFIC.INTER.DEMI-JOURNALIERE= 22.30901 %
 RENDEMENT DEMI-JOURNALIER= 3.509591 LITRES
 EPAISSEUR FINALE DE SAUMURE= 7.837333E-04 METRES

JOURNEE DU JEUDI 22-11-1984
 TEMP.INITIALE DE L'EAU= 20 (0C)
 DISTANCE MOYENNE SAUMURE-VITRE= .1 METRES
 EPAISS.INITIALE DE L'EAU= .004 METRES
 ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT= 30 DEGRES

..DISTILLATEUR REEL NO 2 ..

T(H)	Q9(W)	Q8(KCAL)	T4(0C)	E1(%)	E2(%)	R(L)
8 H	83	88.32359	20	.2440995	.3051244	6.575085E-04
9 H	251	265.9932	20.5	.4313638	.5392048	3.852215E-03
10 H	425	451.5176	22	.3188531	.3985663	4.613399E-03
11 H	539	561.6339	32.5	1.235872	1.54484	2.452236E-02
12 H	613	572.2488	39	6.523064	8.15383	.1417077
13 H	625	444.7845	44.79999	17.30152	21.6269	.3828948
14 H	576	390.6833	43	18.81981	23.52475	.3850332
15 H	459	352.4368	38	14.36764	17.95955	.2352776
16 H	296	261.3194	30	8.472889	10.59111	9.319091E-02
17 H	84.5	82.11415	25	5.181373	6.476716	1.381763E-02
18 H	38	37.95673	22	3.332133	4.165166	4.476636E-03
19 H	30	31.49768	20	1.047186	1.308982	9.476932E-04

EFFIC.GLOB.DEMI-JOURNALIERE= 6.43965 %
 EFFIC.INTER.DEMI-JOURNALIERE= 8.049563 %
 RENDEMENT DEMI-JOURNALIER= 1.290992 LITRES
 EPAISSEUR FINALE DE SAUMURE= 2.816905E-03 METRES

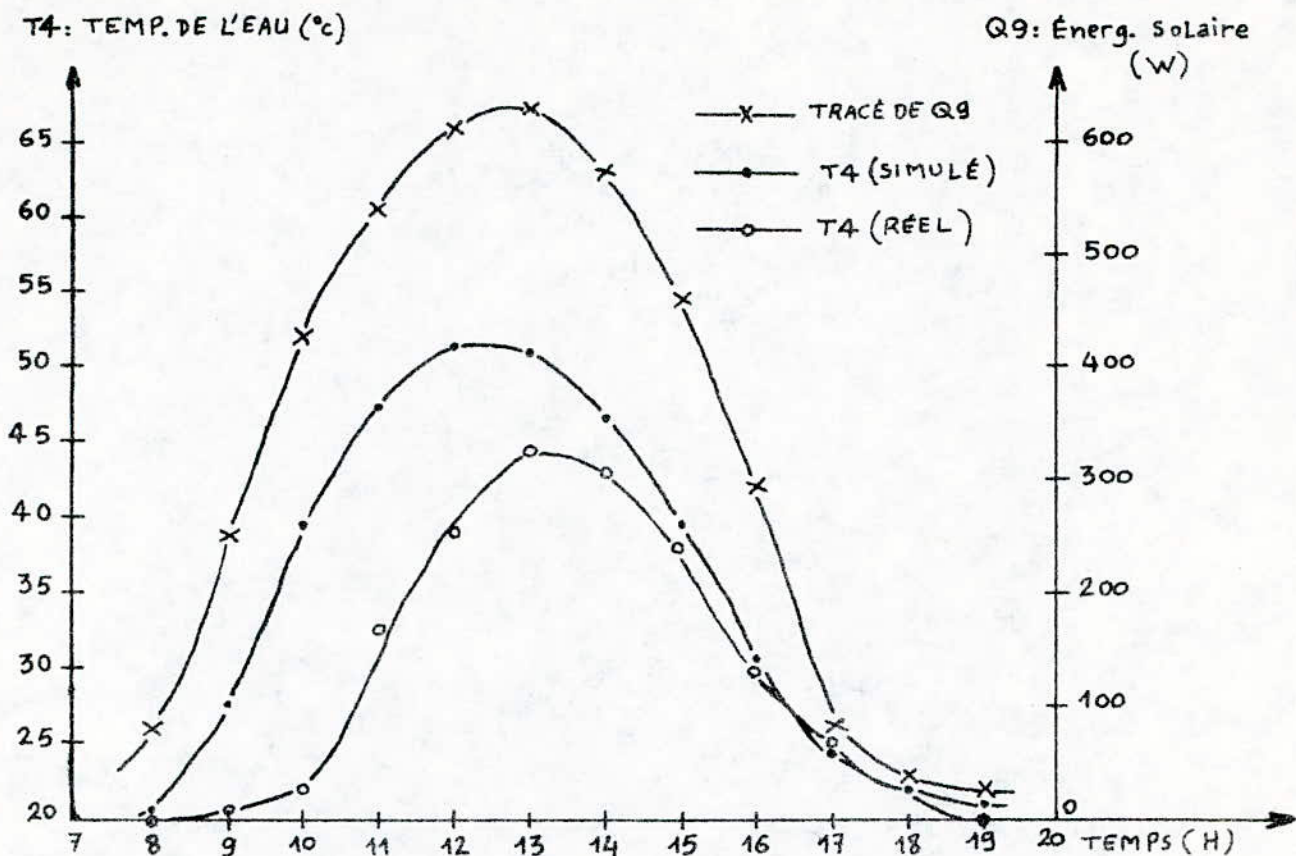


fig. 1

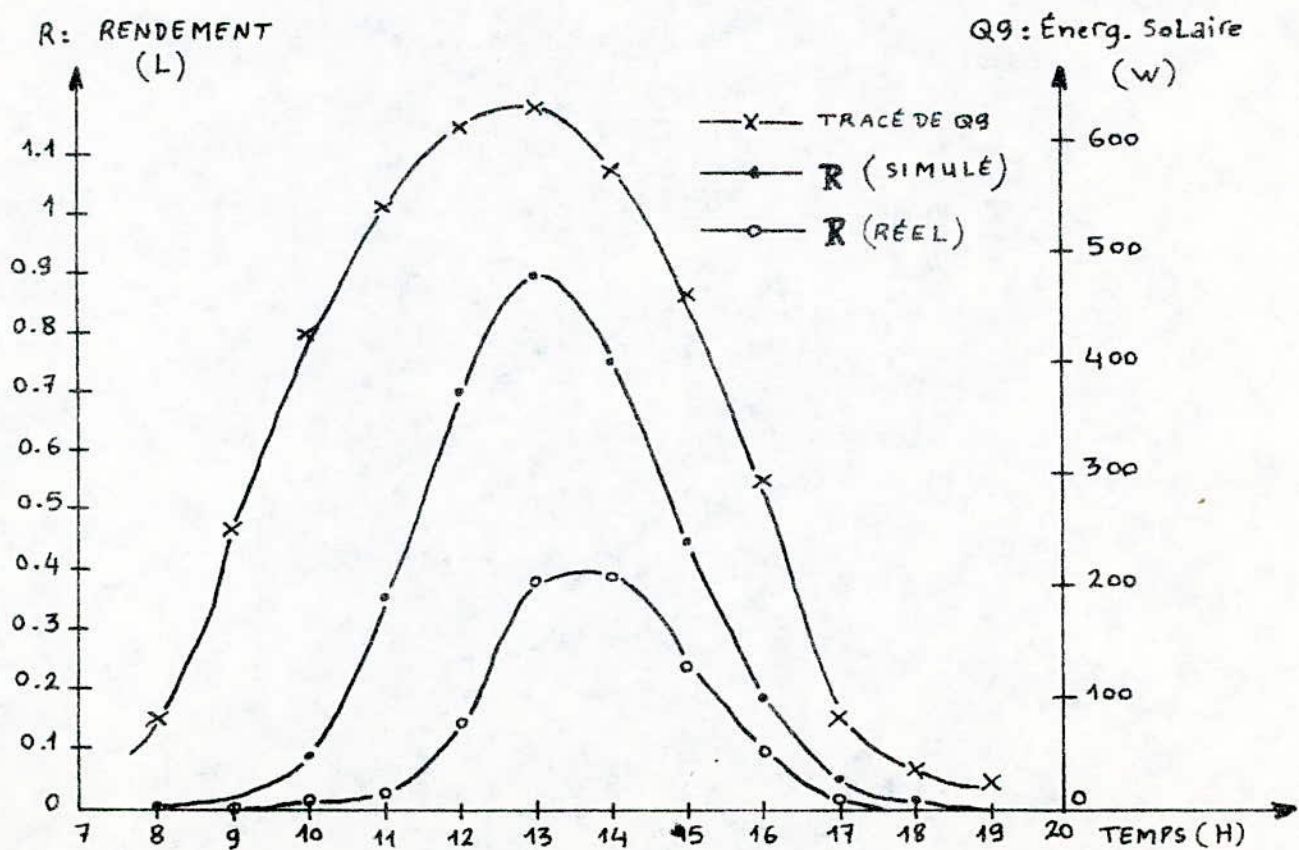


fig. 3

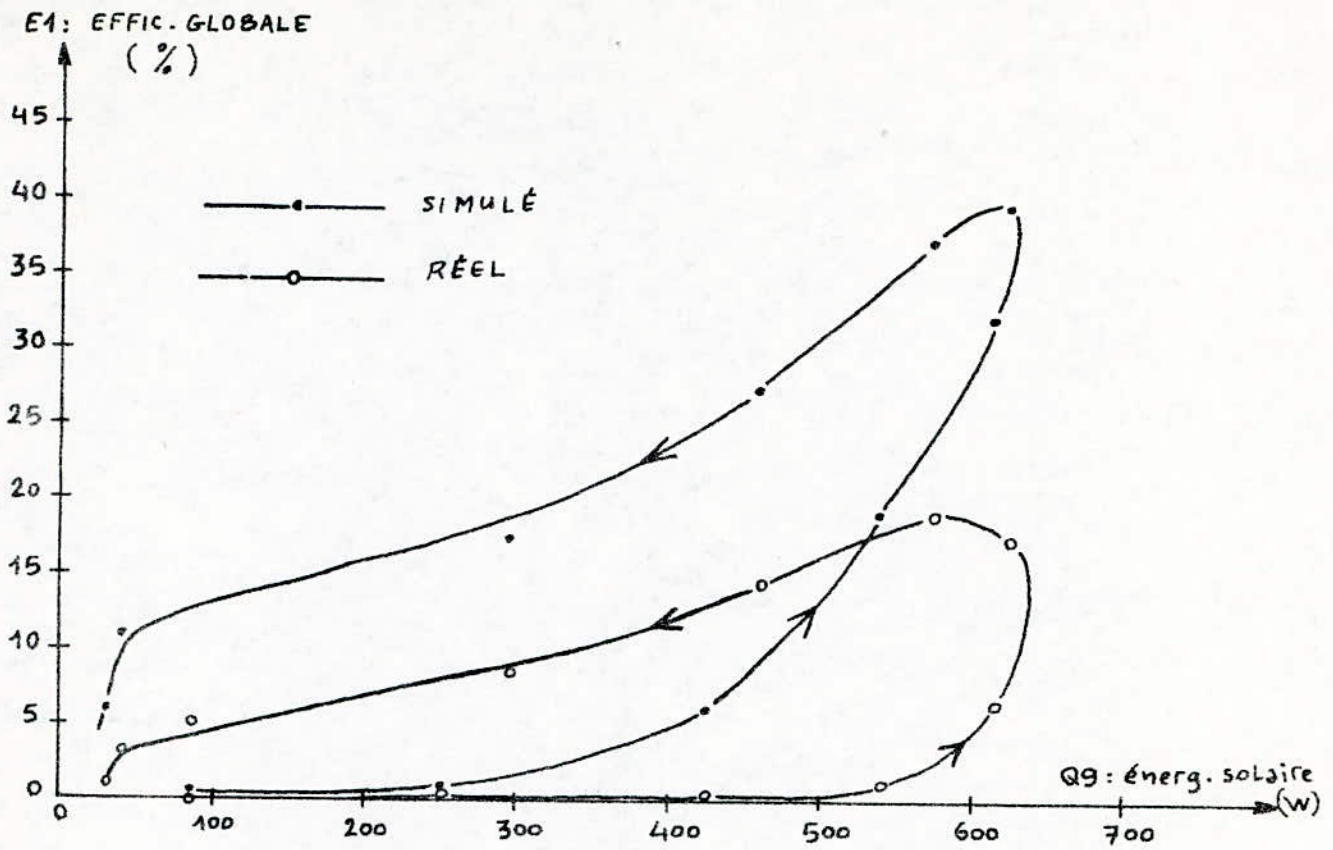


fig.4

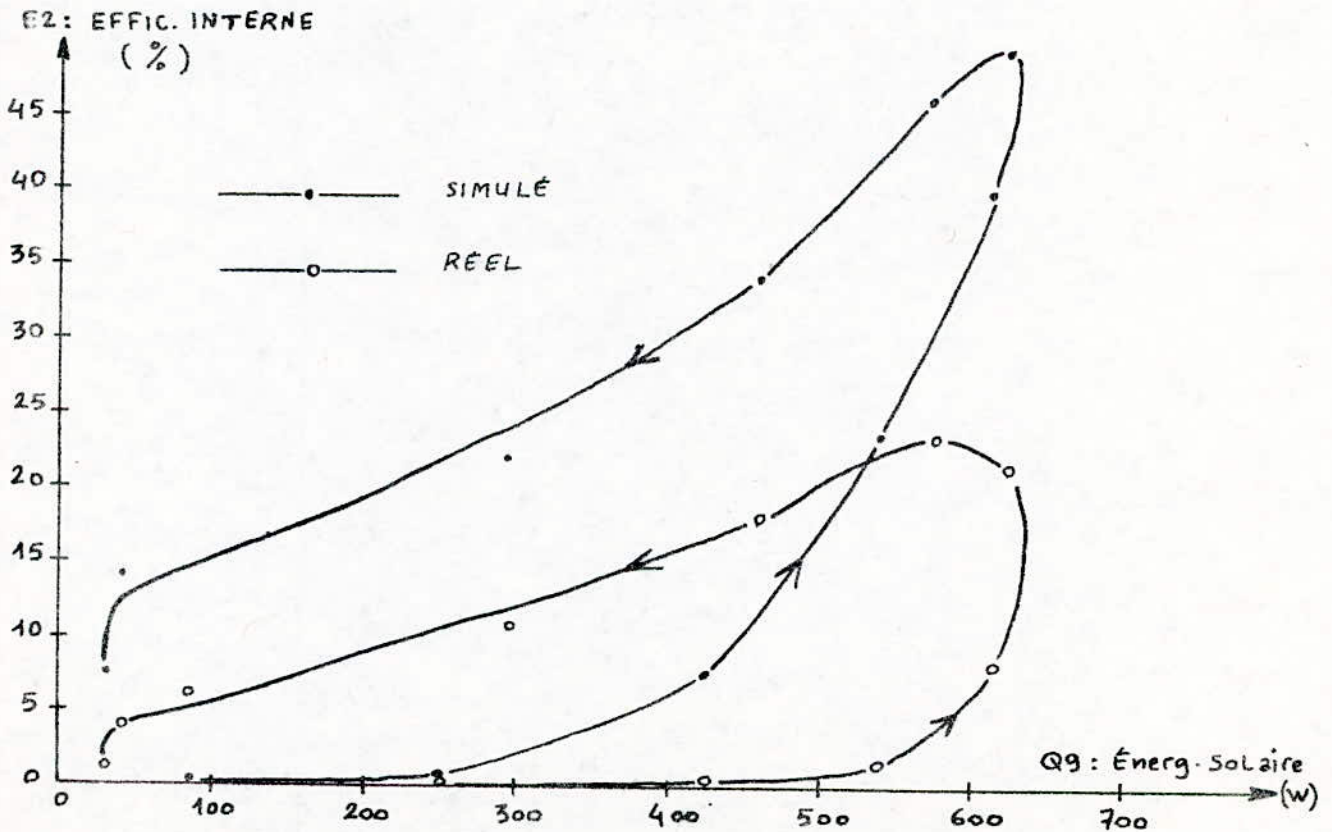


fig.2

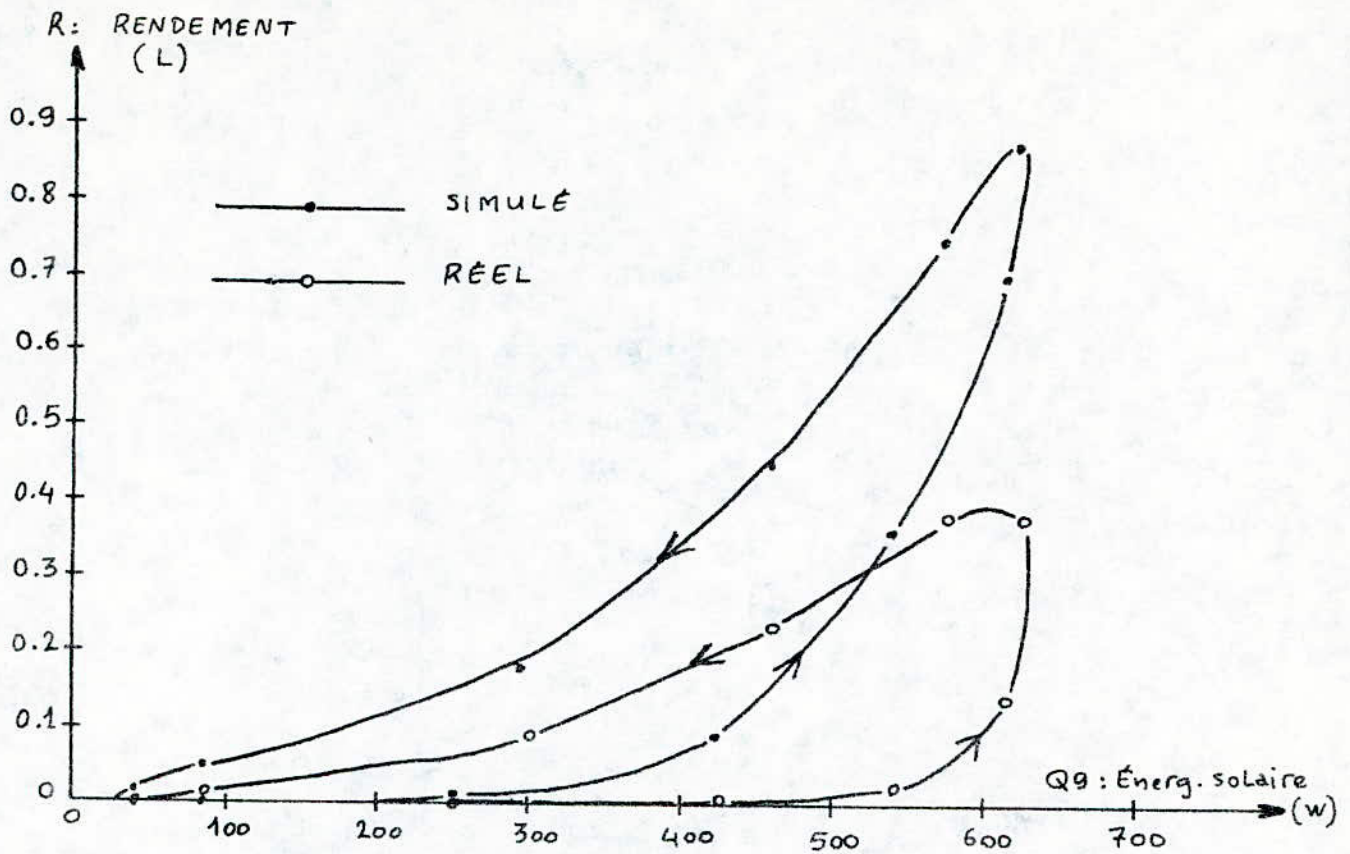


fig.6

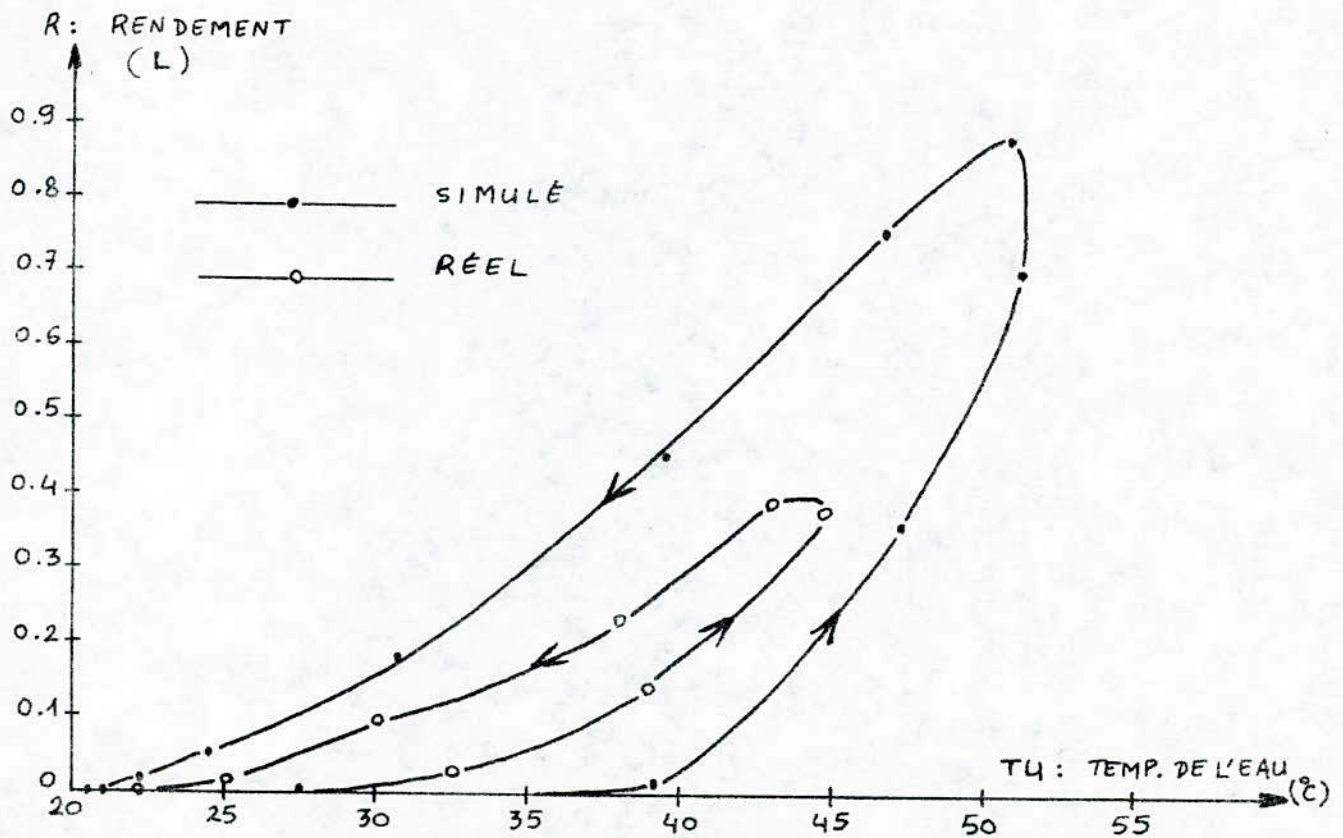


fig.5

1°/ Evolution de la température de l'eau, de l'ensoleillement et du rendement en fonction du temps :

Sur les figures (1) et (3) sont tracées les courbes représentant les variations du rendement, de la température de l'eau et du flux d'énergie solaire en fonction du temps pour les distillateurs simulé et réel -

On remarque que les courbes ont la même allure (en cloche) et présentent des maximums vers 13HGMT -

L'effet de l'inertie thermique sur la température de l'eau est similaire à celui observé pour le rendement -

On constate que les variations de température sont amorties pendant la période : 11H30 - 14HGMT et évoluent rapidement au delà de cette période ce qui nous montre que le distillateur passe par trois stades durant la journée :

- une période de mise en régime : pendant la matinée
- Une période de régime : entre 13H30 et 14HGMT
- Une période de perte de régime : à partir de 14HGMT

L'écart observé entre le réel et le simulé est dû aux grandes pertes présentées par le distillateur réel et qui sont minimisées dans le cas du distillateur simulé (Voir Q8 dans les tableaux de résultats) -

2°/ Variation du rendement et des efficacités en fonction de l'ensoleillement :

Les figures (2), (4) et (6) nous montrent les variations des efficacités interne et globale et du rendement en fonction de l'intensité de la radiation solaire incidente reçue par l'unité de distillation (pour les distillateurs simulé et réel).

Les courbes représentent de façon plus explicite les deux périodes de la demi-journée qui sont la matinée et l'après-midi (ou mise en régime et perte de régime).

Nous constatons que la perte de régime est approximativement linéaire avec des vitesses voisines :

$$\left(\frac{\Delta R}{\Delta Q_g}\right)_{\text{simulé}} \approx \left(\frac{\Delta R}{\Delta Q_g}\right)_{\text{réel}}$$

$$\left(\frac{\Delta E}{\Delta Q_g}\right)_{\text{simulé}} \approx \left(\frac{\Delta E}{\Delta Q_g}\right)_{\text{réel}}$$

$$E = E_1 \text{ ou } E_2$$

Nous observons de même que la branche de la courbe parcourue pendant l'après-midi est supérieure à celle de la matinée; Ceci est dû à l'énergie emmagasinée pendant le régime (par effet de serre) et celle accumulée dans les éléments solides du distillateur.

L'effet des pertes explique l'écart constaté entre le réel et le simulé

3°/ Variation du rendement en fonction de la température de l'eau :

Le rendement augmente avec la température de l'eau (figure 5).

On observe que pour une même température la quantité d'eau distillée produite l'après midi est supérieure à celle obtenue le matin. En effet, le nombre de calories stockées par le distillateur est plus important l'après midi (Ceci découle directement de l'effet de serre).

L'écart observé entre le simulé et le réel est toujours justifié par l'énormité des pertes dans le cas du distillateur réel.

4° INFLUENCE DE QUELQUES PARAMETRES IMPORTANTS :

a- influence de l'inclinaison B de la couverture et de la distance moyenne saumure - vitre D2 :

Ces deux paramètres sont liés par construction ; lorsque B augmente, la distance moyenne saumure - toit augmente considérablement, cet effet tend à accroître la résistance d'évaporation, ce qui contribue à diminuer le rendement et les efficacités interne et globale (voir figure 7), il apparaît ainsi qu'une diminution de D2 produit une augmentation de l'efficacité moyenne, sans qu'il y'ait une valeur maximum pour celle-ci, mais en réalité on est limité dans ce choix, car cette inclinaison doit assurer l'écoulement du condensat vers les gouttières de récupération. Ce résultat se conçoit aisément à partir des courbes tracées (fig. 7) .

b- influence de l'épaisseur initiale de l'eau à distiller :

L'examen des résultats obtenus et les courbes tracées (fig. 8) nous montre que lorsque l'épaisseur initiale de l'eau décroît, l'efficacité et le rendement augmentent ; en effet, une diminution de cette épaisseur entraîne l'augmentation de l'écart de température saumure - vitre (une petite épaisseur d'eau met beaucoup moins de temps

pour s'échauffer qu'une autre épaisseur plus grande), ce qui contribue à augmenter le coefficient d'échange par évaporation - il faut noter à ce stade qu'une diminution poussée de l'épaisseur initiale peut généralement entraîner l'épuisement total de la saumure avant la fin de la journée, ce qui est un inconvénient (voir fig. 8 dans le cas où l'épaisseur initiale est égale à 3 mm).

c - influence de la température d'entrée de l'eau à distiller :

Le rendement et les efficacités du distillateur augmentent avec la température d'entrée de l'eau (voir fig. 9), ceci vient du fait que l'eau apporte un certain nombre de calories supplémentaires, accélérant ainsi le processus d'évaporation, ce procédé quoiqu'il parait rentable, est limité par le prix de revient du préchauffage de l'eau.

JOURNEE DU JEUDI 22-11-1984

TEMP.INITIALE DE L'EAU= 20 (0C)

DISTANCE MOYENNE SAUMURE-VITRE= .14 METRES

EPAISS.INITIALE DE L'EAU= .004 METRES

ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT= 40 DEGRES

..DISTILLATEUR SIMULE..

T(H)	Q9(W)	Q8(KCAL)	T4(0C)	E1(%)	E2(%)	R(L)
8 H	83	88.22172	20.60135	.3847493	.4809367	8.186851E-04
9 H	251	265.4546	27.75284	.4660351	.5825439	4.722344E-03
10 H	425	411.3464	39.90979	4.6855	5.856875	7.299263E-02
11 H	539	411.4006	47.88867	14.65301	18.31626	.2824462
12 H	613	343.959	51.84863	24.51633	30.64541	.5355466
13 H	625	277.2118	51.62726	30.24202	37.80253	.6729898
14 H	576	272.0982	47.87598	28.77329	35.96661	.5905312
15 H	459	273.1639	41.04865	22.66609	28.3326	.3718321
16 H	296	216.1493	33.26288	16.11831	20.14788	.1704208
17 H	84.5	52.55554	28.26257	24.56156	30.70194	6.385839E-02
18 H	38	21.27126	26.03699	24.46468	30.58085	3.266591E-02
19 H	30	19.62507	24.5892	20.49467	25.61834	2.095797E-02

EFFIC.GLOB.DEMI-JOURNALIERE= 17.66885 %

EFFIC.INTER.DEMI-JOURNALIERE= 22.08607 %

RENDEMENT DEMI-JOURNALIER= 2.819783 LITRES

EPAISSEUR FINALE DE SAUMURE= 1.41589E-03 METRES

JOURNEE DU JEUDI 22-11-1984

TEMP.INITIALE DE L'EAU= 20 (0C)

DISTANCE MOYENNE SAUMURE-VITRE= .07 METRES

EPAISS.INITIALE DE L'EAU= .004 METRES

ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT= 20 DEGRES

..DISTILLATEUR SIMULE..

T(H)	Q9(W)	Q8(KCAL)	T4(0C)	E1(%)	E2(%)	R(L)
8 H	83	87.77538	20.51624	.7507673	.9384591	1.568896E-03
9 H	251	263.3212	27.27286	.8196957	1.02462	8.313492E-03
10 H	425	380.2998	38.73642	8.084679	10.10585	.125777
11 H	539	292.8465	46.65189	25.19626	31.49532	.4854472
12 H	613	104.495	50.72385	43.37664	54.2208	.947026
13 H	625	26.15961	50.14478	53.71572	67.14464	1.19457
14 H	576	40.04526	45.42691	48.13323	60.16653	.9881866
15 H	459	179.8811	39.27323	32.1729	40.21612	.5302255
16 H	92	179.8811	39.27323	32.1729	40.21612	19170.31

EPAISS.DE SAUMURE NULLE

EFFIC.GLOB.FINALE= 22.94593 %

EFFIC.INTER.FINALE= 28.68242 %

RENDEMENT FINAL= 4.372897 LITRES

JOURNEE DU JEUDI 22-11-1984
 TEMP.INITIALE DE L'EAU= 25 (0C)
 DISTANCE MOYENNE SAUMURE-VITRE= .1 METRES
 EPAISS.INITIALE DE L'EAU= .004 METRES
 ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT= 30 DEGRES

..DISTILLATEUR SIMULE..

T(H)	Q9(W)	Q8(KCAL)	T4(0C)	E1(%)	E2(%)	R(L)
8 H	83	74.84249	24.52155	10.2799	12.84987	2.336998E-02
9 H	251	254.1011	29.28723	2.740671	3.425838	2.392928E-02
10 H	425	388.2641	39.65778	7.279316	9.099146	.1123143
11 H	539	358.431	47.26923	19.37632	24.2204	.373182
12 H	613	246.4677	51.22882	32.19603	40.24504	.7030728
13 H	625	155.1519	50.85172	39.68685	49.60857	.8828459
14 H	576	175.5686	46.68762	36.83656	46.04569	.756013
15 H	459	229.7218	39.39401	27.121	33.90125	.4456838
16 H	296	209.2315	30.54614	17.02297	21.27871	.1819314
17 H	84.5	62.95991	24.19461	16.35973	20.44967	.0461641
18 H	38	32.67966	21.95477	9.982898	12.47862	1.336899E-02
19 H	30	29.05985	20.77918	4.926848	6.15856	5.048075E-03

EFFIC.GLOB.DEMI-JOURNALIERE= 18.65076 %
 EFFIC.INTER.DEMI-JOURNALIERE= 23.31345 %
 RENDEMENT DEMI-JOURNALIER= 3.566924 LITRES
 EPAISSEUR FINALE DE SAUMURE= 7.311919E-04 METRES

JOURNEE DU JEUDI 22-11-1984
 TEMP.INITIALE DE L'EAU= 20 (0C)
 DISTANCE MOYENNE SAUMURE-VITRE= .1 METRES
 EPAISS.INITIALE DE L'EAU= .003 METRES
 ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT= 30 DEGRES

..DISTILLATEUR SIMULE..

T(H)	Q9(W)	Q8(KCAL)	T4(0C)	E1(%)	E2(%)	R(L)
8 H	83	88.02617	20.74719	.5365813	.6707266	1.146496E-03
9 H	251	262.2634	29.26398	.9917407	1.239676	.0101037
10 H	425	375.5819	41.18225	8.630627	10.78828	.1340371
11 H	539	323.874	48.10422	22.48358	28.10447	.4327265
12 H	613	219.2893	51.50913	34.34616	42.9327	.750012
13 H	625	151.1951	50.42529	39.98555	49.98193	.8896378
14 H	576	190.8797	42.75449	35.5822	44.47775	.7298027
15 H	248	190.8797	59.52936	35.5822	44.47775	19170.31

EPAISS.DE SAUMURE NULLE
 EFFIC.GLOB.FINALE= 16.77135 %
 EFFIC.INTER.FINALE= 20.96418 %
 RENDEMENT FINAL= 3.530168 LITRES

fig. 7

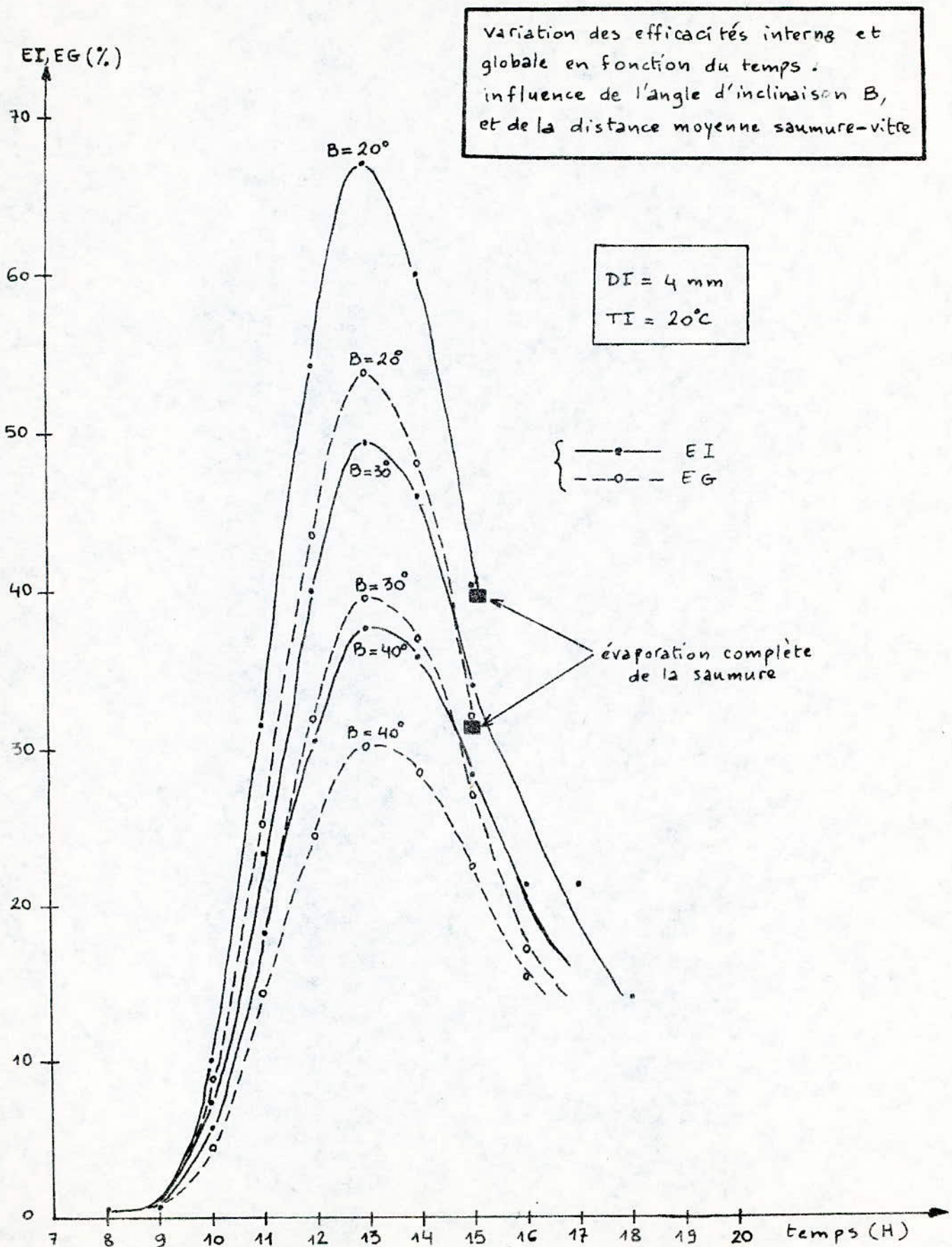


fig. 8

Variation des efficacités interne et globale en fonction du temps. influence de l'épaisseur initiale de l'eau DI

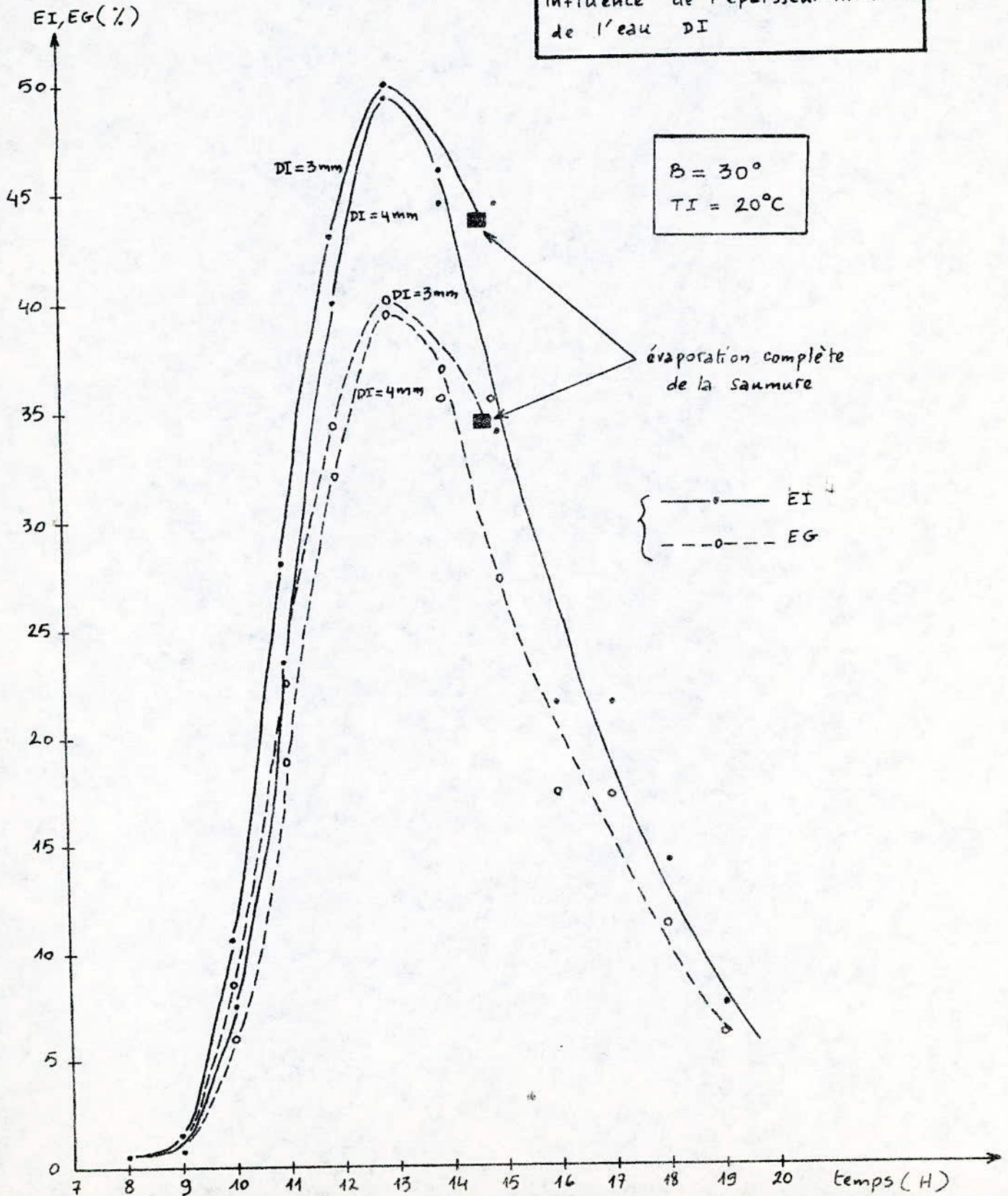
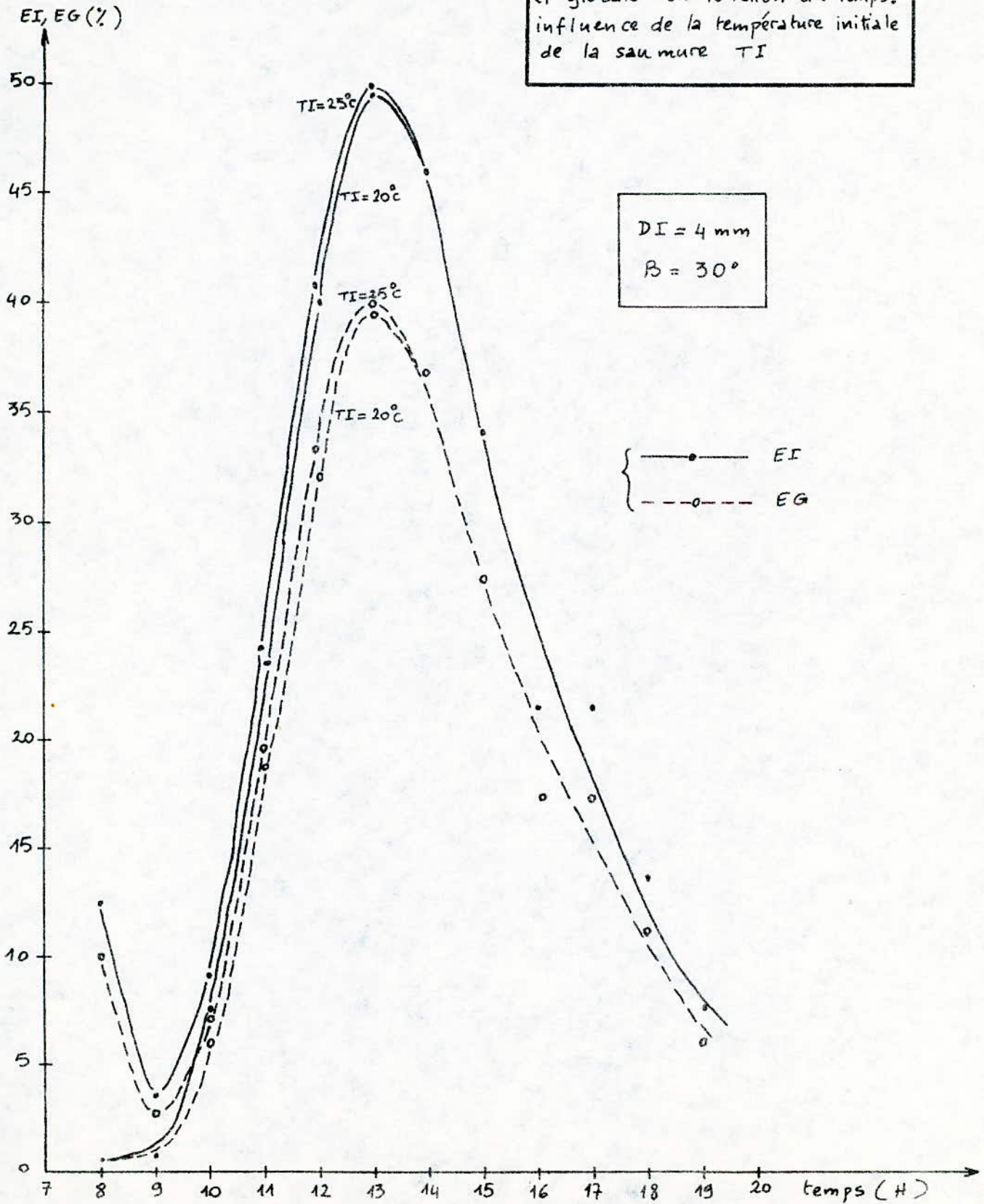


fig. 9

Variation des efficacités interne et globale en fonction du temps. influence de la température initiale de la saumure T_I



--- CONCLUSION GENERALE ---

Cette étude montre que certains paramètres peuvent posséder des valeurs optimales qui varient en général d'un distillateur à l'autre, et d'autres dont leur augmentation engendre simplement une variation monotone de l'efficacité et du rendement ; c'est le cas notamment de la puissance solaire incidente.

L'examen des hypothèses simplificatrices admises au départ et de l'ensemble des résultats théoriques suggère diverses orientations pour les recherches à venir :

1. il est possible d'affiner le modèle logique adopté :

- En prenant en considération les parois verticales du distillateur, cela requiert l'introduction de nouveaux potentiels de parois dans le schéma électrique général -
- En tenant compte de l'accumulation thermique de tous les éléments solides du distillateur ; cela équivaut à adjoindre des capacités à certaines résistances électriques -

2. il sera intéressant de chercher à établir (à l'aide des résultats qu'engendre l'exploitation du programme), une corrélation statistique entre l'efficacité ou le rendement et l'ensemble des paramètres météorologiques et physiques du distillateur.

ANNEXES'

NOTATIONS UTILISEES DANS LE PROGRAMME

- W_0 : Capacité calorifique de l'eau
- W : Constante de Stéphan-Boltzmann
- W_3 : réflectance du verre
- V_0 : absorptance du verre
- M_1 : émissivité du couvercle
- M_2 : émissivité de l'eau
- M_3 : émissivité du plan noir
- K_1 : conductivité thermique du toit
- K_2 : conductivité thermique du mélange air-vapeur
- K_3 : conductivité thermique de la saumure
- K_4 : conductivité thermique de la base
- A_1 : densité de l'eau
- A_2 : densité de l'air
- A_3 : densité de la vapeur
- S_0 : surface du couvercle
- S_1 : surface de la base
- D_0 : épaisseur initiale de l'eau
- D_1 : épaisseur du toit
- D_2 : hauteur moyenne saumure-toit
- D_3 : épaisseur de la base
- T : température ambiante
- T_0 : température de la voûte céleste

- T_1 : température de la face externe du toit
- T_2 : température de la face interne du toit
- T_3 : température finale de la face interne du toit
- T_4 : température de la saumure
- T_5 : température finale de la saumure
- T_6 : température du plan noir
- T_7 : température finale du plan noir
- T_8 : température du mélange air-vapeur
- C_1 : résistance thermique de convection vitre - milieu ambiant
- C_2 : résistance thermique de rayonnement vitre - voûte celeste
- C_3 : résistance thermique de conduction à travers la vitre
- C_4 : résistance thermique auxiliaire
- C_5 : résistance de conduction-convection plan noir - saumure
- C_6 : résistance thermique de conduction à travers la base
- C_7 : résistance thermique de convection interne
- C_8 : résistance thermique de rayonnement plan noir - vitre
- C_9 : résistance thermique auxiliaire
- H_1 : coefficient d'échange thermique par évaporation
- H_2 : coefficient d'échange thermique par condensation
- P_0 : puissance solaire absorbée par le plan noir et la saumure
- P_1 : puissance absorbée par la saumure et convertie en chaleur
- Q_0 : puissance globale incidente par unité de surface
- Q : puissance reçue par l'unité
- Q_1 : puissance réfléchie par le couvercle

- Q2: puissance absorbée par la vitre
- Q3: puissance échangée par convection à travers la base
- Q4: puissance emportée par le distillat
- Q5: puissance apportée par la condensation
- Q6: puissance échangée par convection saumure-vitre
- Q7: puissance du rayonnement interne
- Q8: pertes en puissance
- V2: efficacité interne instantanée
- V1: efficacité globale instantanée
- R1: rendement instantané
- E1: efficacité globale horaire
- E2: efficacité interne horaire
- R: rendement horaire
- E: efficacité globale demi-journalière
- E0: efficacité interne demi-journalière
- R0: rendement demi-journalier
- E3: efficacité globale finale (quand l'épaisseur de saumure = 0)
- E4: efficacité interne finale (quand l'épaisseur de saumure = 0)
- R2: rendement final (quand l'épaisseur de saumure = 0)
- U: nombre de Grashoff
- γ : nombre de Prandtl
- N: nombre de Nusselt
-

```

3
4
5
6
7 10 REM *****MODELISATION INFORMATIQUE*****
8 15 REM *****D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE*****
9 20 REM ***** A EFFET DE SERRE *****
10 25 REM ----- CONSTANTES -----
11 30 DATA 4.18,5.67E-8,0.08,0.07
12 35 READ W0,W,W3,U0
13 40 DATA 0.9,1,0.92,10E-2
14 45 READ M1,M2,M3,D3
15 50 DATA 0.776,0.0437,0.626,0.0694
16 55 READ K1,K2,K3,K4
17 60 DATA 992E3,1.136E3,0.71E3,1.46,1.1
18 65 READ A1,A2,A3,S0,S1
19 70 DIM H(15,2)
20 75 DIM D(15,2)
21 80 DIM C(15,2)
22 85 DIM R(15,2)
23 90 DIM B(15,2)
24 95 PRINT "....INTRODUIRE LE TABLEAU DE DONNEES...."
25 100 PRINT "CORRESPONDANT A Q0,T,T1,T2,T4,T8"
26 105 DIM A(50,8)
27 110 FOR I=1 TO 48
28 115 PRINT "TAPER LA LIGNE",I,"UN NOMBRE PAR LIGNE"
29 120 FOR J=1 TO 6
30 125 INPUT A(I,J)
31 130 NEXT J
32 135 NEXT I
33 140 REM -----CODE DE SELECTION-----
34 145 PRINT "CHOISISSEZ UN DISTILLATEUR"
35 150 PRINT "X=1....DISTILLATEUR SIMULE....."
36 155 PRINT "X=2,3,4..DISTILLATEUR REEL....."
37 160 PRINT "X=0.....SORTIE DU PROGRAMME....."
38 165 INPUT X
39 170 IF X=0 THEN 965
40 175 LET I=1
41 180 PRINT "TAPER LA TEMPERATURE INITIALE DE L'EAU"
42 185 PRINT "T4="
43 190 INPUT T4
44 195 T4=T4+273
45 200 PRINT "....INITIALISER LES VARIABLES SECONDAIRES..."
46 205 PRINT "...D0,D1,D2,B,U..."
47 210 INPUT D0,D1,D2,B,U
48 215 LET R2=0
49 220 LET E3=0
50 225 LET E4=0
51 230 LPRINT "JOURNEE DU 22-11-1984"
52 235 LPRINT "TEMP.INITIALE DE L'EAU=";T4-273;"(0C)"
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64

```

```

3
4
5
6
7 240 LPRINT "DISTANCE MOYENNE SAUMURE-VITRE=";D2;"METRES"
8 245 LPRINT "EPAISS.INITIALE DE L'EAU=";D0;"METRES"
9 250 LPRINT "ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT=";B;"DEGRES"
10 255 LPRINT STRING$(40,"*")
11 260 REM BOUCLE RELATIVE A UNE HEURE
12 265 FOR S=1 TO 12
13 270 REM INITIALISATION DES SOMMES
14 275 REM RELATIVES A UNE HEURE
15 280 LET B1=0
16 285 LET B0=0
17 290 LET R1=0
18 295 LET Q9=0
19 300 REM BOUCLE RELATIVE A UN 1/4 D'HEURE
20 305 FOR F=1 TO 4
21 310 IF X>1 THEN 340
22 315 REM -----DONNEES POUR DISTILLATEUR SIMULE-----
23 320 LET Q0=A(I,1)
24 325 LET T=A(I,2)+273
25 330 GOTO 380
26 335 REM -----DONNEES POUR DISTILLATEUR REEL-----
27 340 LET Q0=A(I,1)
28 345 LET T=A(I,2)+273
29 350 LET T1=A(I,3)+273
30 355 LET T2=A(I,4)+273
31 360 LET T4=A(I,5)+273
32 365 LET T8=A(I,6)+273
33 370 REM LECTURE DU TABLEAU LIGNE PAR LIGNE
34 375 REM
35 380 I=I+1
36 385 T0=.0552*T^1.5
37 390 REM PUISSANCE UTILE ABSORBEE
38 395 REM PAR LE PLAN NOIR ET LA SAUMURE
39 400 P0=.8*Q0
40 405 C1=1/(5.7+3.8*V)
41 410 C3=D1/K1
42 415 C6=D3/K4
43 420 IF X=1 THEN 445
44 425 T6=T4+1
45 430 GOSUB 970
46 435 GOTO 655
47 440 REM -----TEST DE CONVERGENCE DES TEMPERATURES-----
48 445 FOR K=1 TO 20 STEP .5
49 450 FOR G=1 TO 5
50 455 T6=T4+G
51 460 T2=T4-K
52 465 W1=1E+10*(.1015*T4-30.1112)
53 470 IF T4>373 THEN 485
54 475 Y=24.11-.0607*T4
55 480 GOTO 490
56 485 Y=2.69
57
58
59
60
61
62
63
64

```

```

3
4
5
6
7 490 U=W1*D0^3*ABS(T6-T4)
8 495 IF U<100000! THEN 515
9 500 IF U<2E+07 THEN 525
10 505 N=.14*(U*Y)^.33
11 510 GOTO 530
12 515 N=1
13 520 GOTO 530
14 525 N=(K3*.54*(U*Y)^.25)/D0
15 530 C5=D0/(N*K3)
16 535 GOSUB 970
17 540 R0=(1/M1+1/M2-1)/W
18 545 C2=R0/((T2^2+T0^2)*(T2+T0))
19 550 H0=(T6-T2)/((T6-T4)*C8)
20 555 C9=1/(1/C5+H0)
21 560 H3=(T6-T2)/(C8*(T4-T2))
22 565 C4=1/(1/C7+H+H3)
23 570 P3=(T4*(C2+C1)-C1*T0-C2*T)/((C3+C4)*(C1+C2)+C1*C2)
24 575 T7=(T4*C6+T*C9+P0*C9*C6)/(C9+C6)
25 580 T3=(T0+T*C2/C1+10)/(1+C2/C1)
26 585 IF ABS(T7-T6)>1 THEN 595
27 590 IF ABS(T3-T2)<=1 THEN 615
28 595 NEXT G
29 600 NEXT K
30 605 PRINT "TEMPERATURES DIVERGENT"
31 610 GOTO 140
32 615 PRINT "TEMPERATURES CONVERGENT"
33 620 P2=(C6*P0+T-T4)/(C9+C6)
34 625 P1=P2-P3
35 630 P6=(T6-T)/C6
36 635 P5=P0-P6
37 640 T1=T2-C3*(P5-P1)
38 645 T5=T4+P1*P0/(W0*D0*A1)
39 650 T8=.5*(T4+T2)
40 655 P4=H*ABS(T4-T2)
41 660 L=4.18*(7.965-.007*T8)
42 665 M=P4/L
43 670 D=(D0*A1*S1-M)/(A1*S1)
44 675 REM EFFICACITES INSTANTANEEES
45 680 V2=P4*(4180/900)/P0
46 685 V1=P4*(4180/900)/Q0
47 690 REM SOMMES CUMULEES PENDANT 1 HEURE
48 695 REM
49 700 B0=B0+V2
50 705 B1=B1+V1
51 710 R1=R1+M
52 715 Q9=Q9+Q0
53 720 IF D<=0 THEN 925
54 725 IF X>1 THEN 735
55 730 T4=T5
56
57
58
59
60
61
62
63
64

```

```

3
4
5
6
7 735 D0=D
8 740 NEXT F
9 745 REM CALCUL DES PERTES A PARTIR DU BILAN THERMIQUE
10 750 REM VALABLE ENTRE 11H-14H
11 755 Q=Q9*S0*3600/(W0*4000)
12 760 Q1=Q*W3
13 765 Q2=Q*V0
14 770 Q3=S1*(T6-T)/(C6*W0*1000!)
15 775 Q4=R1*ABS(T2-T)*.001
16 780 Q5=R1*(796.5-.6950001*T8)/1000
17 785 Q6=S1*(T4-T2)/(C7*W0*1000!)
18 790 Q7=S1*(T4-T2)/(C8*W0*1000!)
19 795 Q8=Q-Q1-Q2-Q3-Q4-Q5-Q6-Q7
20 800 REM EFFICACITES MOYENNES HORAIRES
21 805 REM ET RENDEMENT HORAIRE
22 810 E2=B0/4
23 815 E1=B1/4
24 820 R=R1
25 825 C(S,1)=INT((70/52)*E1+.5)
26 830 B(S,1)=INT((70/52)*E2+.5)
27 835 R(S,1)=INT((1.5/60)*R+.5)
28 840 H(S,1)=INT((60/30)*T4+.5)
29 845 D(S,1)=INT((64/60)*Q9/4+.5)
30 850 REM SOMMES CUMULEES PENDANT
31 855 REM TOUTE LA DEMI-JOURNEE
32 860 E4=E4+E2
33 865 E3=E3+E1
34 870 R2=R2+R
35 875 IF S=12 THEN 900
36 880 GOSUB 1185
37 885 NEXT S
38 890 REM EFFICACITES MOYENNES DEMI-JOURNALIERES
39 895 REM ET RENDEMENT DEMI-JOURNALIER
40 900 E0=E4/12
41 905 E=E3/12
42 910 R0=R2
43 915 GOSUB 1185
44 920 GOTO 140
45 925 PRINT "...EPAISSEUR DE SAUMURE NULLE..."
46 930 REM EFFICACITES ET RENDEMENT FINAUX
47 935 REM QUAND L'EPAISS. DE SAUMURE S'ANNULE
48 940 E4=E4/(S+F/4)
49 945 E3=E3/(S+F/4)
50 950 R2=R2+R1
51 955 GOSUB 1185
52 960 GOTO 140
53 965 END
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64

```



```

3
4
5
6
7 970 REM ***** SOUS PROGRAMME *****
8 975 REM **** CALCUL DU COEFFICIENT D'ECHANGE ****
9 980 REM **** PAR EVAPORATION-CONDENSATION ****
10 985 DEF FNP(Z)=10^(17.43-2795/Z-3.868*LOG(Z)/LOG(10))
11 990 DEF FNS(Z)=(Z*A3)/(Z*A3+(1-Z)*A2)
12 995 B=B*3.14/180
13 1000 R=(1/M3+1/M2-1)/(W*.5*(1+COS(B)))
14 1005 C8=R/((T6^2+T2^2)*(T6+T2))
15 1010 W2=1.12E+08
16 1015 Z1=FNP(T4)
17 1020 Z2=FNP(T2)
18 1025 IF T4>=373 THEN 1040
19 1030 G1=FNS(Z1)
20 1035 GOTO 1045
21 1040 G1=1
22 1045 IF T2>=373 THEN 1060
23 1050 G2=FNS(Z2)
24 1055 GOTO 1065
25 1060 G2=1
26 1065 U=.5*W2*(S1/2)^3*ABS(T4-T2)
27 1070 Y1=G1*.96+(1-G1)*.72
28 1075 Y2=G2*.96+(1-G2)*.72
29 1080 IF (U*Y1)<1.78E+07 THEN 1095
30 1085 N=2.767*FNP(T4)*(U*Y1)^.34
31 1090 GOTO 1100
32 1095 N=39.8*FNP(T4)*(U*Y1)^.17
33 1100 H1=(2*N*K2)/D2
34 1105 IF (U*Y2)<2.51E+07 THEN 1120
35 1110 N=5164*FNP(T2)*(U*Y2)^.61
36 1115 GOTO 1125
37 1120 N=14130*FNP(T2)*(U*Y2)
38 1125 H2=(2*N*K2)/D2
39 1130 H=1/(1/H1+1/H2)
40 1135 IF U<3000! THEN 1165
41 1140 IF U<50000! THEN 1155
42 1145 N=.0354*U^.37
43 1150 GOTO 1170
44 1155 N=.0588*U^.37
45 1160 GOTO 1170
46 1165 N=1
47 1170 C7=D2/(K2*N)
48 1175 RETURN
49 1180 REM -----FIN SOUS PROGRAMME-----
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64

```

```

5
6
7 1185 REM ***** SOUS PROGRAMME RESULTATS *****
8 1190 IF S>1 THEN 1250
9 1195 IF X>1 THEN 1220
10 1200 LPRINT " "
11 1205 LPRINT "..DISTILLATEUR SIMULE.."
12 1210 LPRINT "-----"
13 1215 GOTO 1235
14 1220 LPRINT " "
15 1225 LPRINT "..DISTILLATEUR REEL NO";X;".."
16 1230 LPRINT "-----"
17 1235 LPRINT "T(H)";TAB(8);"Q9(W)";TAB(17);"Q8(KCAL)";TAB(29);"T4(OC)";
18 1240 LPRINT TAB(41);"E1(%)";TAB(53);"E2(%)";TAB(66);"R(L)"
19 1245 LPRINT " "
20 1250 LPRINT S+7;"H";TAB(8);Q9/4;TAB(15);Q8;TAB(27);T4-273;
21 1255 LPRINT TAB(39);E1;TAB(51);E2;TAB(63);R*.001
22 1260 IF D<=0 THEN 1310
23 1265 IF S=12 THEN 1275
24 1270 RETURN
25 1275 LPRINT " "
26 1280 LPRINT "EFFIC.GLOB.DEMI-JOURNALIERE=";E;"%"
27 1285 LPRINT "EFFIC.INTER.DEMI-JOURNALIERE=";E0;"%"
28 1290 LPRINT "RENDEMENT DEMI-JOURNALIER=";R0*.001;"LITRES"
29 1295 LPRINT "EPAISSEUR FINALE DE SAUMURE=";D;"METRES"
30 1300 LPRINT STRING$(80,"-")
31 1305 GOTO 1335
32 1310 LPRINT "EPAISS.DE SAUMURE NULLE"
33 1315 LPRINT "EFFIC.GLOB.FINALE=";E3;"%"
34 1320 LPRINT "EFFIC.INTER.FINALE=";E4;"%"
35 1325 LPRINT "RENDEMENT FINAL=";R2*.001;"LITRES"
36 1330 LPRINT STRING$(40,"-")
37 1335 FOR L=1 TO 10
38 1340 LPRINT " "
39 1345 NEXT L
40 1350 IF X=1 THEN 1365
41 1355 Z$="-"
42 1360 GOTO 1370
43 1365 Z$="*"
44 1370 LPRINT "TRACE DE Q0 EN FONCTION DU TEMPS"
45 1375 LPRINT " "
46 1380 LPRINT "TEMPS (H)"
47 1385 FOR S=12 TO 1 STEP -1
48 1390 LPRINT S+7;TAB(3+D(S,1));Z$
49 1395 LPRINT " "
50 1400 NEXT S
51 1405 LPRINT TAB(4);"0";
52 1410 REM
53 1415 FOR M=4 TO 64 STEP 4
54 1420 LPRINT TAB(4+2*M);M;
55 1425 NEXT M
56 1430 LPRINT "PUISS.SOLAIRE*10W"
57 1435 FOR L=1 TO 10
58 1440 LPRINT " "
59 1445 NEXT L
60 1450 LPRINT "TRACE DE T4 EN FONCTION DU TEMPS"
61 1455 LPRINT " "
62 1460 LPRINT "TEMPS(H)"
63 1465 FOR S=12 TO 1 STEP -1
64
65

```

```

3
4
5
6
7 1470 LPRINT S+7;TAB(3+H(S,1));Z#
8 1475 LPRINT " "
9 1480 NEXT S
10 1485 LPRINT TAB(4);"0";
11 1490 LET M=15
12 1495 FOR N=4 TO 36 STEP 4
13 1500 M=M+5
14 1505 LPRINT TAB(N+4);M;
15 1510 NEXT N
16 1515 LPRINT "TEMPER.DE L'EAU (0C)"
17 1520 FOR P=1 TO 2
18 1525 IF P=1 THEN 1535
19 1530 C(S,1)=B(S,1)
20 1535 FOR L=1 TO 10
21 1540 LPRINT " "
22 1545 NEXT L
23 1550 IF P=2 THEN 1565
24 1555 LPRINT "TRACE DE E1 EN FONCTION DU TEMPS"
25 1560 GOTO 1570
26 1565 LPRINT "TRACE DE E2 EN FONCTION DU TEMPS"
27 1570 LPRINT " "
28 1575 LPRINT "TEMPS (H)"
29 1580 FOR S=12 TO 1 STEP -1
30 1585 LPRINT S+7;TAB(3+C(S,1));Z#
31 1590 LPRINT " "
32 1595 NEXT S
33 1600 LPRINT TAB(4);"0";
34 1605 LET M=0
35 1610 FOR N=4 TO 52 STEP 4
36 1615 M=M+5
37 1620 LPRINT TAB(N+4);M;
38 1625 NEXT N
39 1630 IF P=2 THEN 1645
40 1635 LPRINT "EFF.GLOB.HORAIRE(%)"
41 1640 GOTO 1650
42 1645 LPRINT "EFF.INTER.HORAIRE(%)"
43 1650 NEXT P
44 1655 FOR L=1 TO 10
45 1660 LPRINT " "
46 1665 NEXT L
47 1670 LPRINT "TRACE DE R EN FONCTION DU TEMPS"
48 1675 LPRINT " "
49 1680 LPRINT "TEMPS (H)"
50 1685 FOR S=12 TO 1 STEP -1
51 1690 LPRINT S+7;TAB(3+R(S,1));Z#
52 1695 LPRINT " "
53 1700 NEXT S
54 1705 LPRINT TAB(4);"0";
55 1710 FOR M=.1 TO 1.5 STEP .1
56 1715 LPRINT TAB(4+M*40);M;
57 1720 NEXT M
58 1725 LPRINT "RENDEMENT (L)"
59 1730 RETURN
60 1735 REM-----FIN SOUS PROGRAMME-----
61
62
63
64

```

BIBLIOGRAPHIE

[1] - CYRIL GOMELIA

La soif du monde et le désallement des eaux - 1966

[2] - M^{me} ACKER

Initiation à l'astronomie - 1981

[3] - F. KREITH

Transmission de la chaleur et thermodynamique - 1967

[4] - PI. COOPER

The maximum efficiency of single effect solar stills .

Solar Energy - Vol. 15 - 1973

[5] - S. SATCUNANATHAN et HANSEN

An investigation of some of the parameters involved in solar distillation - Solar Energy - Vol. 14 - 1973

[6] - BAUM et BAIRAMOV

Heat and mass transfer processes in solar stills of hot-box type.

Krzhizhanovsky power Institute - Moscou - 1963

[7] - Georges O.G. LÖF

Applications of theoretical principles in improving the performance of basin-type solar distillers

[8] - BAIRAMOV et ACHILOV

Effect of salt concentration in the évaporation process in solar stills - Geliotechnica - Vol. 6 N°2 - 1970

[9] - MAC ADAMS

Transmission de la chaleur

[10] - BAIRAMOV et RYBAKOVA

Heat and mass transfer in models of solar stills of various configuration - *Geliotechnica* - Vol.4 - N°4 - 1968

[11] - A. HADDAD et F. SLAMANI

Modélisation et optimisation d'un distillateur solaire à chauffage séparé de l'évaporation - condensation -
ENITA - 1981

[12] - L. AMTOUT et L. BENZAOUG

Bilans d'énergie et de matière sur un distillateur solaire -
ENPA - 1977 .
