

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

(3030)

DEPARTEMENT

ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

SIMULATION
D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE DYNAMIQUE
AVEC PRECHAUFFAGE DE SAUMURE

PROPOSITION
D'UN MODELE AMELIORE

Proposé par :
Mme HAMAMI

Etudié par :
Mohamed Adel SLAMANI
et
Mustapha TENDJAOUI

Dirigé par :
Mme HAMAMI

INGENIORAT D'ETAT EN ELECTRONIQUE

PROMOTION : JUIN 1986



Réspectueusement

A ma mère
A mon père
A mes grands parents
A mes frères
A mes oncles et tantes
A mes cousins et cousines
A tous mes amis

A tous les enseignants qui
ont contribué à ma formation

Mohamed Adel SLAMANI

A mes parents
A ma famille
A mes amis
A tous les étudiants

A tous les enseignants qui
ont contribué à ma formation

Mustapha TENDJAOUI

Remerciements

Nous tenons vivement à exprimer nos plus vifs remerciements à notre promoteur Mme L.HAMAMI pour l'aide qu'elle n'a cessé de nous apporter tout au long de notre travail ainsi que pour sa gentillesse .

Nous remercions également Mr BERKANI pour son aide Mr DERRAJI pour ses conseils et tout le personnel du centre de calcul pour sa collaboration .

Nos remerciements vont aussi au président et aux membres du jury qui par leur présence et leur jugement , vont honorer ce modeste travail .

M.A...SLAMANI

M...TENDJAUI

ملخص

تم وضع برنامج احلحاسوبي لتمثيل العمل اليومي لمقطارة شمسية مع جريان الماء وتسخينه قبل إستعماله، وذلك بعد بيان طريقة التشابه الكهربائي للتدفقات الحرارية وطريقة التحليل العدد والكميات المنتهية ثم مقارنة النتائج المحصل عليها بالحسابات مع تلك المعطاة بالتجربة التطبيقية المقامة على مقطرة ذات سقفين ، و التي انتهت بتطابق جيد .

RESUME

Un programme informatique destine a simuler le fonctionnement journalier d'un distillateur solaire dynamique (a ruissellement de saumure) a effet de serre et mis au point , apres avoir expose la methodologie observee qui repose sur l'analogie electrique des flux de chaleur et sur la methode d'analyse numerique des differences finies . On compare les resultats obtenus par le calcul a ceux donnees par l'experience directe effectuee sur un distillateur a double pente . La concordance est satisfaisante .

ABSTRACT

A computing program in order to simulate the production of a hot box solar dynamic still 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 .

Parchemin

L.A.P.

L.A.P.

II-1-2	- DISPOSITION DES CAPTEURS	17
a	--- Capteurs thermiques	17
b	--- Capteurs météorologiques	18
II-2	DESCRIPTION DE LA CHAÎNE D'ACQUISITION DE DONNÉES	18
II-2-1	- LA CENTRALE DE MESURE (SAM 60).....	18
II-2-2	- CARACTERISTIQUES DES CAPTEURS UTILISES.	19
II-2-3	- PRESENTATION DES DONNEES	22
II-3	DESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE TRAITEMENT.....	22
II-3-1	- LECTURE DES DONNEES.....	23
II-3-2	- CALCULATEUR	23
II-3-3	- SCHEMA GLOBALE DE L'INSTALLATION	23
-	CHAPITRE III : *** - SIMULATION - ***	
III-1	BILAN ENERGETIQUE	30
III-1-1	- SCHEMA DE TRANSFERT	30
III-1-2	- EXPRESSIONS DES DIFFERENTS TERMES	31
III-1-3	- EQUATION GENERALE DU BILAN THERMIQUE ..	36
III-2	ANALOGIE ELECTRIQUE	37
III-2-1	- AVANTAGES DE L'ANALOGIE ELECTRIQUE	37
III-2-2	- SCHEMA ELECTRIQUE EQUIVALENT	39
III-2-3	- EXPRESSION DES DIFFERENTS PARAMETRES CALCULES	41

1	- EXPRESSIONS DES RESISTANCES D'ECHANGES.	41
2	- CALCUL DES DIFFERENTES PUISSANCES	47
3	- ,, ,, TEMPERATURES FINALES	50
4	- ,, DU TAUX DE PRODUCTION	51
-	CHAPITRE IV : *** SIMULATION INFORMATIQUE ***	
IV-1	CLASSIFICATION DES PARAMETRES	55
IV-2	METHODOLOGIE	57
IV-3	STRUCTURE DES ORGANIGRAMMES	58
-	CHAPITRE V : *** RESULTATS ET INTERPRETATIONS ***	
V-1	PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS	68
V-2	OPTIMISATION DES PARAMETRES ACCESSIBLES	71
-	CHAPITRE VI : *** CONCLUSION GENERALE *****	
	80
-	ANNEXES	83

L'être humain de part sa constitution physiologique a un besoin vital en eau.

La civilisation, de nos jours, a fait que la consommation en eau a augmenté d'une manière vertigineuse.

Les statistiques ont évalué la consommation d'eau à 1300 mètres cubes par an et par habitant en moyenne vers les années 70, et prévoient une consommation de 2000 mètres cubes par an et par habitant en l'an 2000 soit une augmentation de 53% de la consommation, le besoin en eau serait alors de mille milliards de mètres cubes par an pour une population estimée à 6 milliards d'habitants.

Le cycle naturel met à notre disposition 60 000 milliards de mètres cubes d'eau par an, sous forme d'eau de ruissellement et de nappes souterraines, non toutes récupérables. Le besoin reste très sensible.

Tout ce qui précède, justifie l'importance des recherches menées en vue de production d'eau potable à partir d'eau de mer, qui, inépuisable et directement accessible, a pour inconvénient son degré de salinité élevé.

Dés lors, des techniques de dessalement ont été élaborées, certaines utilisant l'énergie électrique, d'autres des effets chimiques ou encore de l'énergie calorifique.

Le choix du meilleur procédé étant conditionné par deux objectifs, à savoir : l'économie de l'énergie et la diminution du coût d'investissements, favorise la distillation solaire, du fait qu'elle utilise le rayonnement

du soleil comme source d'énergie thermique laquelle est économique , non polluante et inépuisable .

L'inconvénient de ces distillateurs est que leur rendement est faible , à cause de l'absence de l'ensoleillement pendant la nuit et la dépendance des conditions météorologiques durant le jour et donc des saisons .

Le but de notre projet est d'étudier le distillateur solaire à ruissellement de saumure et préchauffage de la saumure afin d'avoir un fonctionnement continu de 24 heures par jour et un rendement journalier amélioré .

Notre travail consistera donc à :

- Simuler par un programme , le fonctionnement du distillateur .
- Etudier les paramètres permettant d'améliorer son efficacité .
- Trouver en optimisant ces paramètres , un modèle amélioré de distillateur .

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المعهد قسيمة —
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

**
**
**
**
**
**
**
**
**
**
**
**
**
**
**

CHAPITRE 1

ETUDE THEORIQUE

Pour mieux comprendre le procédé de dessalement , (la distillation dans notre cas) il est important de connaître préalablement quelques définitions essentielles .

1 - Principe de l'effet serre :

a - Corps noir :

C'est toute matière qui absorberait de façon idéale la totalité de la lumière qui lui est incidente .

--- Loi d'absorption -> Un corps absorbe de la lumière dans les mêmes proportions qu'il en émet .

--- Loi d'émission -> Plus le corps est chaud , plus la lumière qu'il émet est de courte longueur d'onde .

b - Effet de serre :

Soit une enceinte formée d'un corps noir , entourée d'une cage en verre (fig .1.) . Le soleil émet dans le visible et le proche Infra - Rouge (0,3 à 3 micro mètres) , cette lumière traversant le verre , chauffe le corps noir et le porte à une température variant de 30 à 100 °C environ .

Ce corps noir faiblement chauffé , va donc émettre dans l'Infra - rouge (4 à 30 micromètre) pour lequel le verre est opaque ; l'infrarouge piégé dans la cage va retourner au corps noir contribuant ainsi à son échauffement . C'est l'effet de serre .

2 - La distillation :

a - principe

La distillation consiste à chauffer de l'eau saumâtre (à distiller) jusqu'à son évaporation, la vapeur exempte de sels, est condensée au contact d'une surface d'échange refroidie; on récupère ainsi le distillat qui est de l'eau pure.

b - La distillation solaire

L'eau saumâtre est placée dans un bac dont le couvercle est constitué d'une plaque de verre inclinée, le fond du bac est noirci.

Une partie du rayonnement solaire est absorbée par l'eau et le fond du bac, lequel émet de l'énergie thermique, celle-ci est piégée dans l'enceinte. La température de l'eau augmente ainsi que de la pression de vapeur d'eau, ce qui conduit à l'évaporation de l'eau.

La convection du milieu air - vapeur dans l'enceinte de distillation, entraîne la condensation de la vapeur sur la partie interne de la vitre. On récupère ainsi de l'eau douce, qui s'écoule sous l'effet de l'inclinaison des vitres dans des gouttières.

3 - Caractéristiques du distillateur :

Il est nécessaire de définir quelques caractéristiques des distillateurs tel que le notre.

3-1 Le rendement : C'est la quantité d'eau produite en litre par unité de surface du plan noir et par jour.

Son expression est le rapport de la quantité d'énergie solaire reçue à la quantité fournie .

3-2 L'Efficacité : Le rendement ne faisant pas intervenir l'énergie solaire reçue par le distillateur , à conduit à la définition de l'efficacité .

COOPER * 5 * définit les deux efficacités suivantes :

$$* \text{ efficacité globale : } Ng = \frac{Qe}{Eo}$$

$$* \text{ efficacité interne : } Ni = \frac{Qe}{Aw.Eo}$$

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

Qe : chaleur de vaporisation = masse produite x chaleur latente de vaporisation .

Aw : absorptance effective du distillateur .

Ces efficacités sont les efficacités instantanées lesquelles permettent de définir les efficacités moyennes .

$$EI = \frac{\overline{\sum Ni_k}}{N} \quad \text{et} \quad EG = \frac{\overline{\sum Ne_k}}{N}$$

Nik et Nek sont calculées entre deux instants T1 et T2
tels que $T = T2 - T1 = N.T$

3-3 La performance:

Du fait que l'efficacité ne fait pas mention de la quantité d'énergie réellement entrante dans le distillateur, laquelle varie suivant la pente du couvercle, et le lieu d'utilisation, a permis de caractériser le distillateur d'une manière plus absolue en définissant les facteurs de performance brut FPB et horaire FPH :

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'eau produite / 24 heures}}{\text{Quantité d'énergie entrée / 24 heures}}$$

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'eau produite / heure}}{\text{Quantité d'énergie entrée / heure}}$$

Ceux ci permettent aussi de calculer le rendement RD :

$$RD = FPH * L$$

L : chaleur latente de vaporisation (voir III-2-3)

4 - Paramètres fonction de la saumure :

4-1 Concentration en sels de la saumure :

La production d'eau peut se faire a partir de :

---> L'eau de mer : dont la concentration en sels varie entre 35 et 42 grammes par litre suivant les mers .

---> L'eau saumatre : provenant de rivières , de lacs salés ou de nappes souterraines , son degré de salinité est d'environ 10 grammes par litre .

BAIRAMOV et ACHILOV * 6 * ont prouvé expérimentalement que le rendement du distillateur décroît linéairement avec la concentration en sels de la saumure .

4-2 Effet du préchauffage de l'eau :

Le rendement est d'autant plus grand que le gradient de température entre la saumure et la surface de condensation est élevé .

Un préchauffage de la saumure occasionne un accroissement de la température du mélange air-vapeur et donc du gradient suscité .

GOMELIA * 1 * a élaboré une relation liant le rendement à la température de la saumure :

$$\text{rendement} = \frac{d}{e - tw} + c$$

- e, d, c sont des constantes
- t_w température de la saumure

Dans notre cas on utilise un chauffe eau solaire à effet de serre . Le chauffe eau est formé de : (fig .2.)

- Un absorbeur : tube capable d'absorber la majeure partie du rayonnement incident . Il est fait d'une surface métallique de couleur foncée .

- une couverture transparente : Elle a pour role de retenir le rayonnement Infra-Rouge du a l'échauffement de l'absorbeur.

- un isolant dont le role est d'atténuer la transmission de chaleur vers l'extérieur et donc de diminuer les pertes .

5 - Conclusion :

L'objet de notre étude étant d'obtenir le rendement le plus grand possible , On a choisi de prendre pour notre distillateur de la saumure à faible concentration en sels et un préchauffage de celle ci . Aussi , on prendra comme caractéristiques principales de notre réalisation , le rendement et l'efficacité .

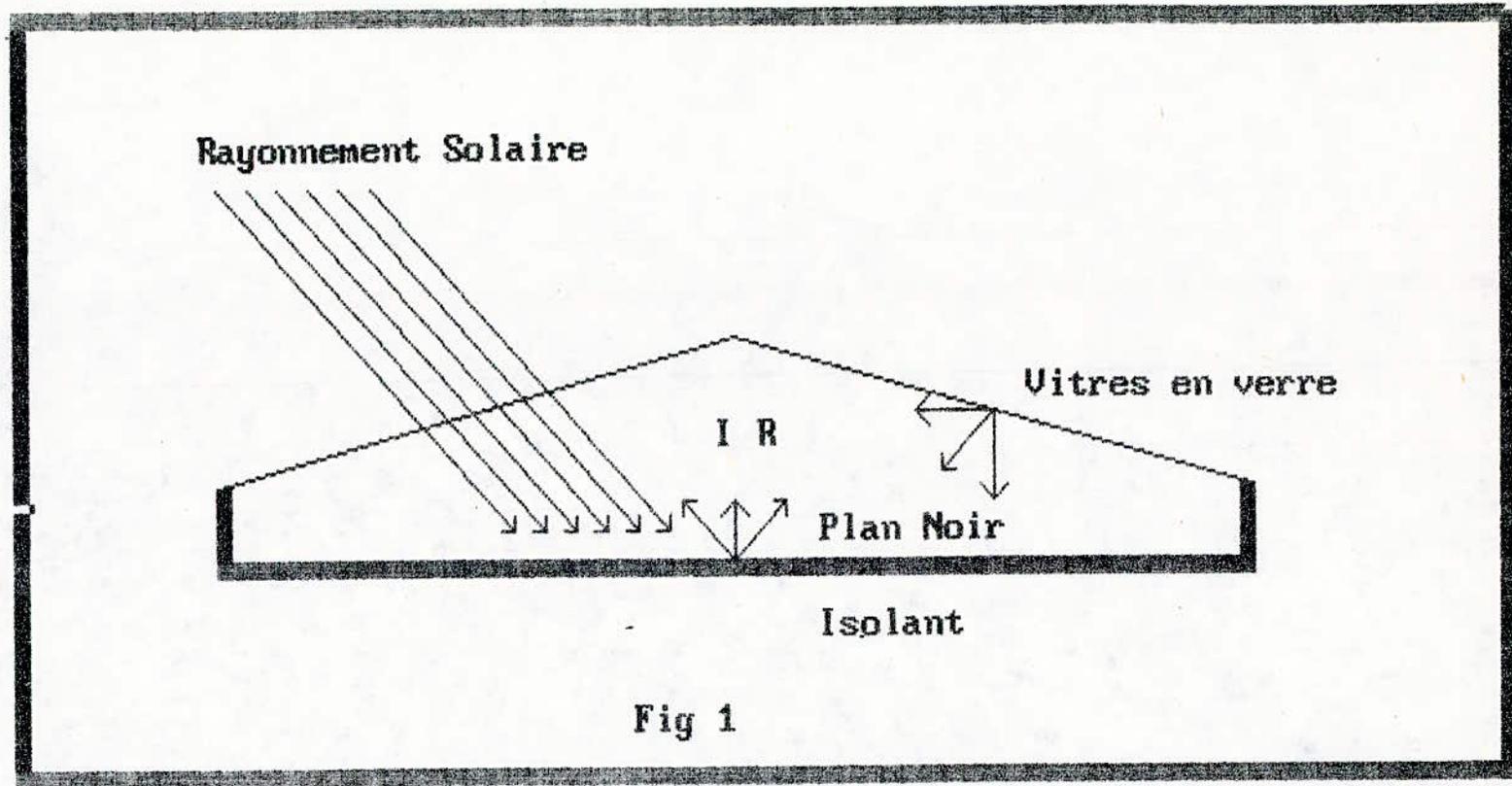


Fig 1

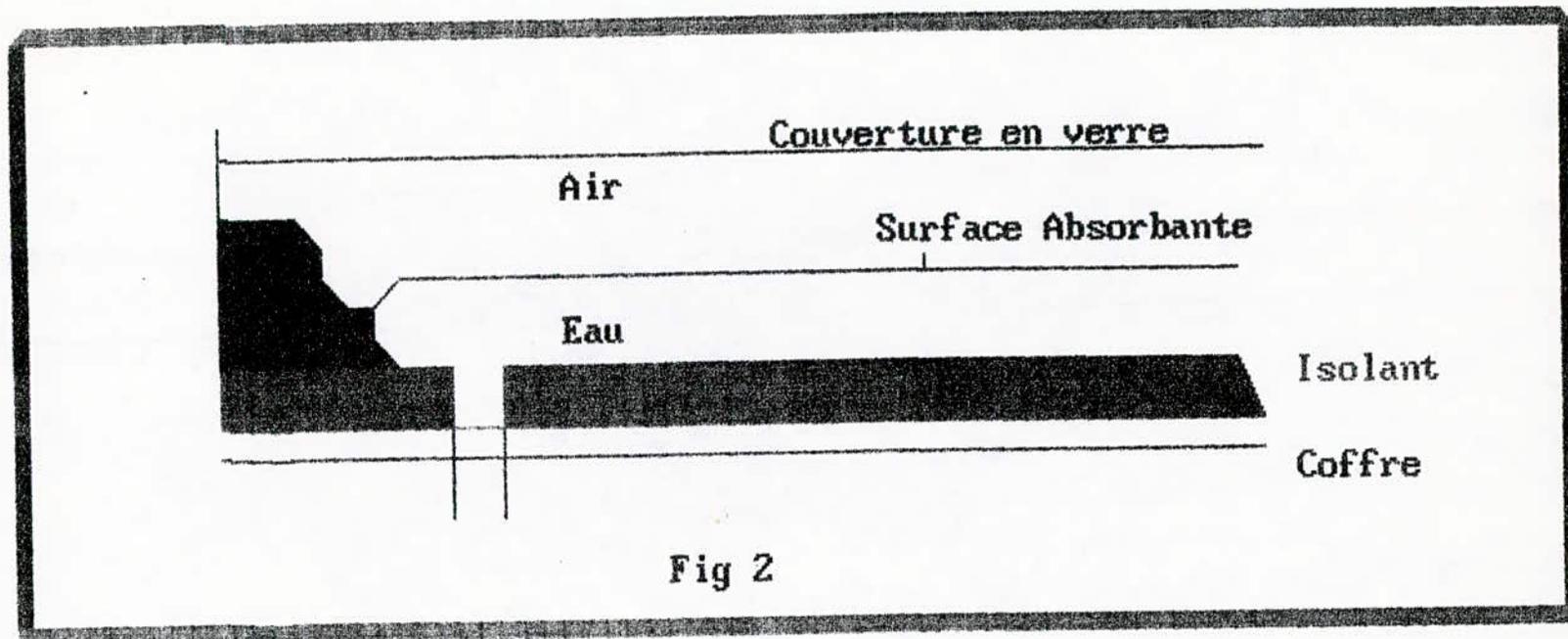


Fig 2

**
**
**
**
**
**
**
**
**
**
**

CHAPITRE 2

**DESCRIPTION DES DIFFERENTS
ELEMENTS DE L'INSTALLATION**

1 - Description du distillateur à ruissellement de saumure:

1-1 Schéma de construction :

a - Schéma général(fig .3.)

Le distillateur étudié est à double pente ,il est formé de deux vitres qui reposent sur un bac en verre aggloméré peint en noir et au fond duquel on trouve deux orifices l'un pour l'entrée de la saumure à distiller et l'autre terminé par un tube de longueur deux centimètres ,pour son évacuation.

La sortie de la saumure n'a lieu que lorsque son épaisseur dépasse la longueur du tube ,ce qui permet d'avoir dans le bac une épaisseur de saumure constante .

Le bac repose sur un isolant en polyester servant à diminuer les pertes par transmission de chaleur vers le bas .

Sur les parties latérales du bac , on trouve deux gouttières légèrement inclinées terminées par deux orifices reliés à l'extérieur à un récipient servant à la récupération du distillat .

Le distillateur est relié à un chauffe eau solaire ; l'eau d'une cuve , dont le niveau est maintenu constant par un système à flotteur passe dans le chauffe eau puis , à travers un conduit , vers l'orifice d'entrée de la saumure dans le du distillateur .

En sortie ,le distillateur est relié à travers un circulateur d'eau , est relié à la cuve de stockage , ce qui permet un ruissellement de la saumure , son débit est réglé par des vannes .

b - Dimensions des différentes parties du distillateur .. :

Voir figure - 4 - .

1-2 Disposition des capteurs :

a - Capteurs thermiques

Le gradient de température entre la saumure et le toit interne étant le paramètre principal de la distillation justifie l'utilisation de capteurs thermiques permettant le calcul du gradient .

On suppose que le distillateur est symétrique (la même quantité d'eau se condense sur une vitre pendant une demi journée , que sur l'autre pendant l'autre demi journée) ceci nous ramène à disposer les capteurs sur une seule moitié du distillateur .

On relève les températures suivantes :

- Température ambiante supérieure
- " " inférieure :
le capteur est placé à l'extérieur sous la base du distillateur .
- Température de la vitre externe
- " " " interne : voir fig - 5 - .
- " " " saumure : voir fig - 6 - .
Deux paramètres sont à considérer pour la mesure de cette température ->

i - Le ruissellement de l'eau se faisant dans un sens , on aura donc une différence de température de la saumure entre le point d'entrée et celui de sortie de celle ci , ce qui nous ramène à disposer les capteurs le long du sens d'écoulement afin d'étudier ces variations .

Parochevin

ii - La distance saumure toit intervient théoriquement au niveau de la condensation ; plus la distance est faible , plus vite se fait la condensation de l'eau , ce qui justifie la disposition des capteurs sur la largeur du distillateur , afin d'étudier l'influence effective de ce paramètre . (la vitre étant inclinée , la distance saumure toit n'est pas constante .

b - Capteurs météorologiques

Les conditions météorologiques influent énormément sur le rendement du distillateur , car le principe de l'effet de serre de la distillation est basé sur la présence du flux solaire et est fonction de son intensité . Trois paramètres sont mesurés :

- La vitesse du vent à l'aide d'un anémomètre .
- La direction du vent à l'aide d'une girouette .
- Le flux solaire à l'aide d'un pyranomètre .

2 - Description de la chaine d'acquisition des données :

2-1 La centrale de mesures (SAM 60) :

L'acquisition des données se fait grâce à une centrale de mesures (SAM 60) , à laquelle on connecte les différents capteurs .

La centrale de mesures est à base de microprocesseur , sa capacité varie de 20 à 60 voies -(voir schéma synoptique fig . 7 .)- , permettant ainsi la mesure de :

- > Tensions continues (calibre allant de 20mv à 200v) .
- > Températures par couple thermoélectrique et sondes à résistances de platines 100 ohms à 0° C ,avec lecture directe en degrés celsius .
- > Grandeurs physiques avec capteurs appropriés .

Sa résolution est de 1 microvolt pour les tensions et 0.1 °C pour les températures .

Pour chaque voie on peut programmer : la fonction (platine 100 ohms ou tension) , le calibre , la polarité , la valeur du seuil et la mise à l'échelle .

On a aussi une possibilité de temporisation , de réglage de la date en cours et de l'heure .

La centrale de mesures est raccordée à une imprimante et à une visue par laquelle on peut visionner directement les mesures prises par la (SAM 60) .

2-2 Caractéristiques des capteurs utilisés :

a - La girouette

La girouette permet de donner la direction du vent , elle est à base de résistances .

Un drapeau relié à un aimant permet suivant sa position de commuter des résistances , lesquelles alimentées par une tension continue de 3 Volts donnent un courant continu de valeur variable suivant la valeur de la résistance connectée ; ce qui dévie l'aiguille d'un indicateur à cadran .

L'étendue de mesures va de 0.5 à 60 m/s , la tension en sortie varie de 0 à 2 Volts .

L'anémomètre (comme la girouette) a été connecté à la centrale de mesure , la lecture de la vitesse se faisant grâce au tableau d'étalonnage suivant :

VITESSE (m/s)	TENSION (mV)
1	1.54
2	2.35
2.7	3.65
3	4.29
4	6.18
5.2	8.22
6	10.14
7	12.09
10	18.12
15	25.22

La courbe d'étalonnage (fig .8.) peut être assimilée à une droite pour des vitesses de vent inférieures à 10 m/s , on trouve ainsi une relation entre la vitesse et la tension :

$$V_v = 0.709 * L_v$$

V_v : vitesse du vent en (m/s)
 L_v : tension lue en (mV)

c - Résistances de platine :

Les mesures de températures sont faites grâce à des sondes de platine qui donnent une résistance de 100 Ohms à 0° C .

2-3 Présentation des données :

Les données se présentent sous la forme suivante :

* Heure de prise des mesures *		

* Voie 1 *	* Valeur 1 *	* unité de mesure *

.	.	.

* Voie i *	* Valeur i *	* unité de mesure *

Voie (i) ----> Voie dans laquelle on connecte l'élément de mesure numéro - i -

Valeur (i) ----> Valeur de la ième mesure prise sur cette voie

Unité (i) ----> Celle de la ième mesure prise (Ohm ou Volt)

3 - Description de la chaîne de traitement :

3-1 Lecture des données :

La (SAM 60) sauvegarde les données mesurées sur une bande magnétique propre à la centrale .

La centrale , en mode " TEST " , peut lire ces mesures et grâce à ses ports de sortie , elle peut les transmettre à une imprimante .

3-2 Calculateur :

Les données recueillies sont introduites dans un fichier , grâce à un calculateur (OLIVETTI M024 dans notre cas) .

La gestion d'un telle fichier à accès aléatoire est assurée par des instructions telle que :

-> OPEN " Nom du fichier " FOR INPUT AS n => ouvre et prépare le fichier à une lecture .

-> INPUT #n,A,B,C => pour lire depuis le fichier ouvert.

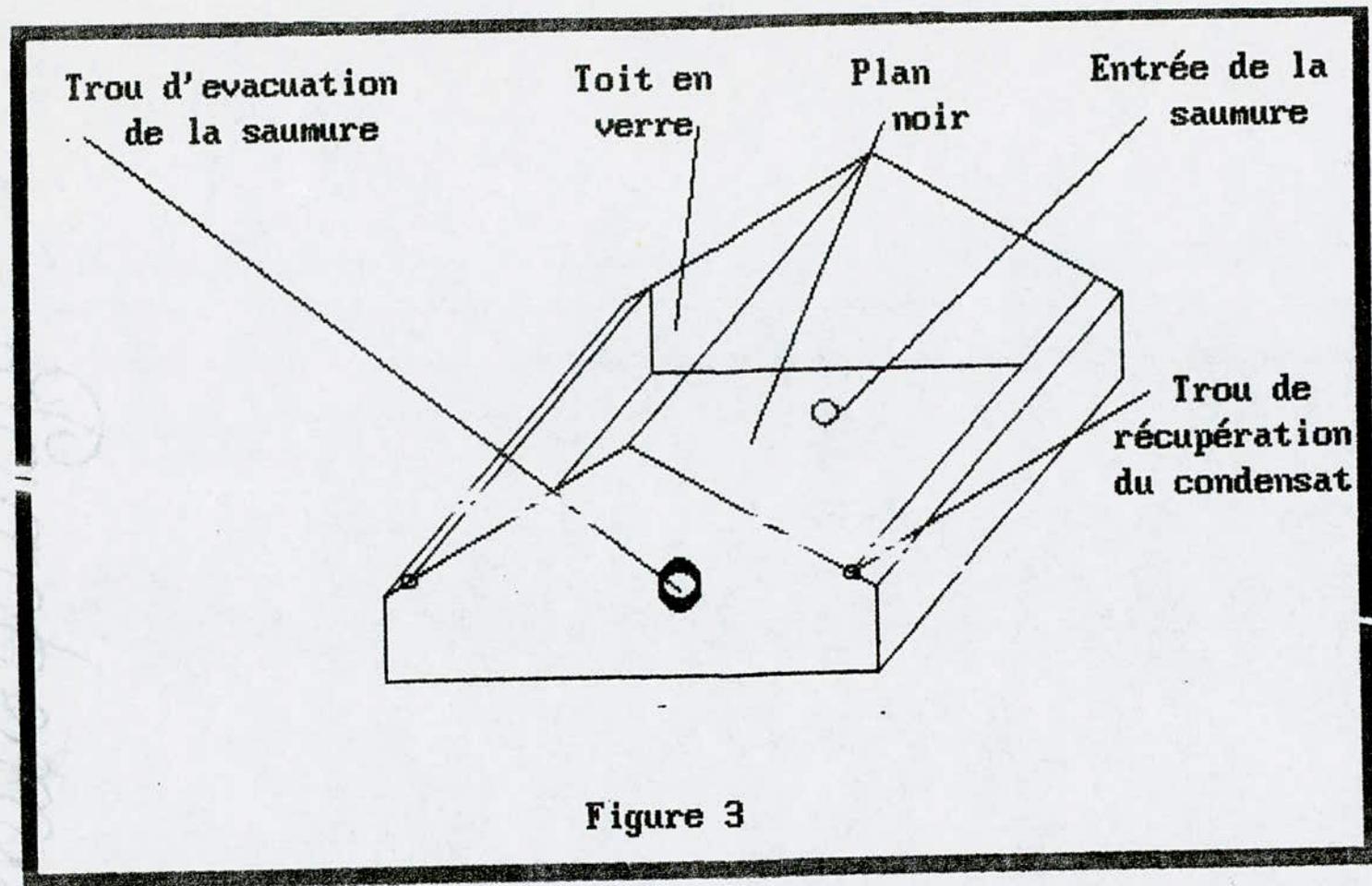
-> OPEN " Nom du fichier " FOR OUTPUT AS m => ouvre et prépare le fichier pour une écriture .

-> PRINT #m,A,B,C => écrit dans le fichier précédent .

Le seul inconvénient de ces fichiers est qu'on ne peut ouvrir plus de 5 fichiers à la fois .

3-3 Schéma global de l'installation :

Voir figure . 9 .



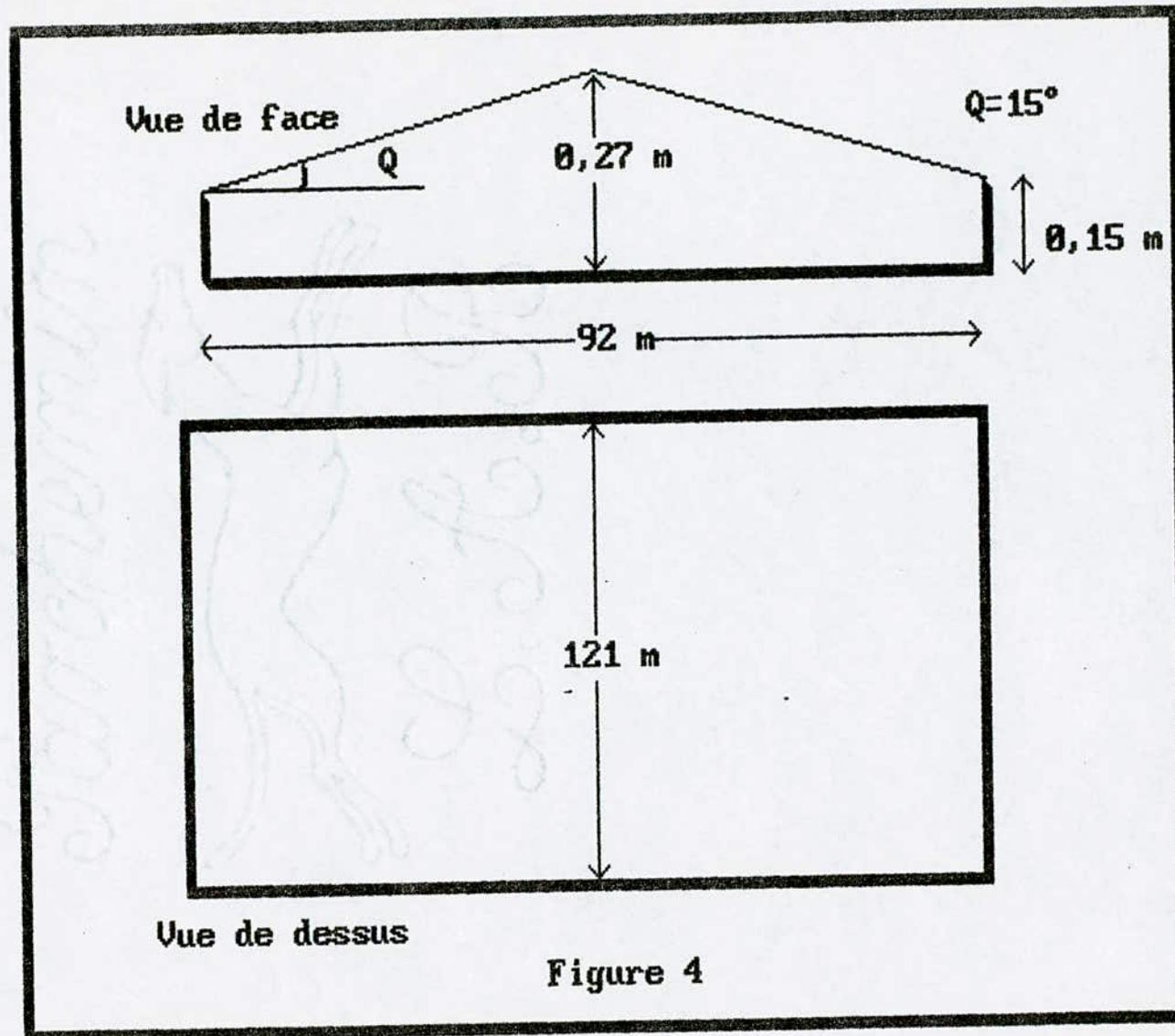
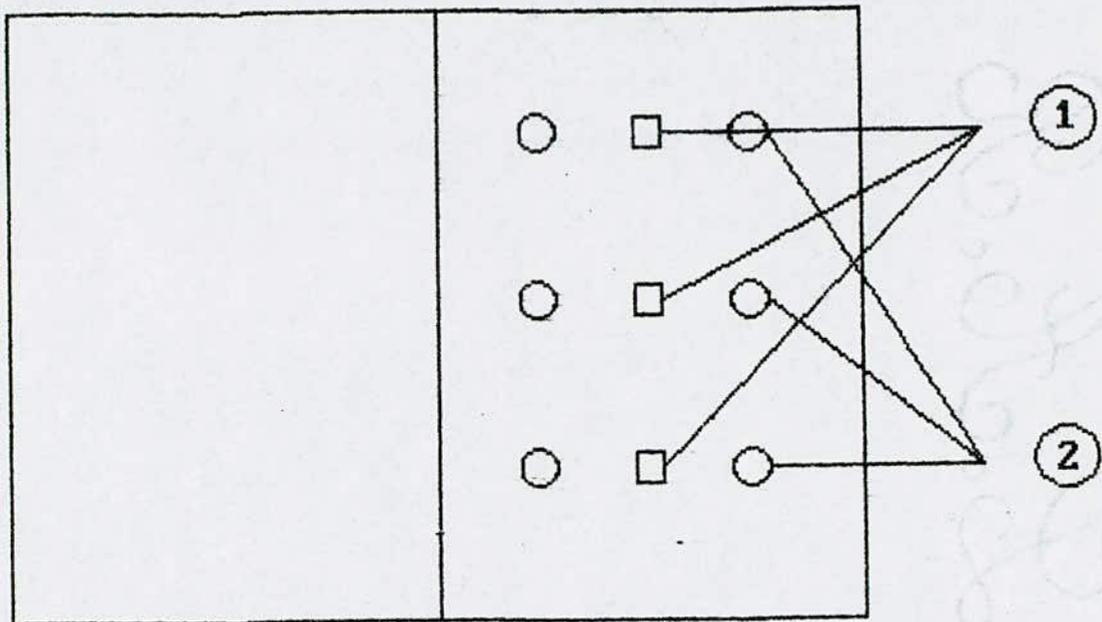
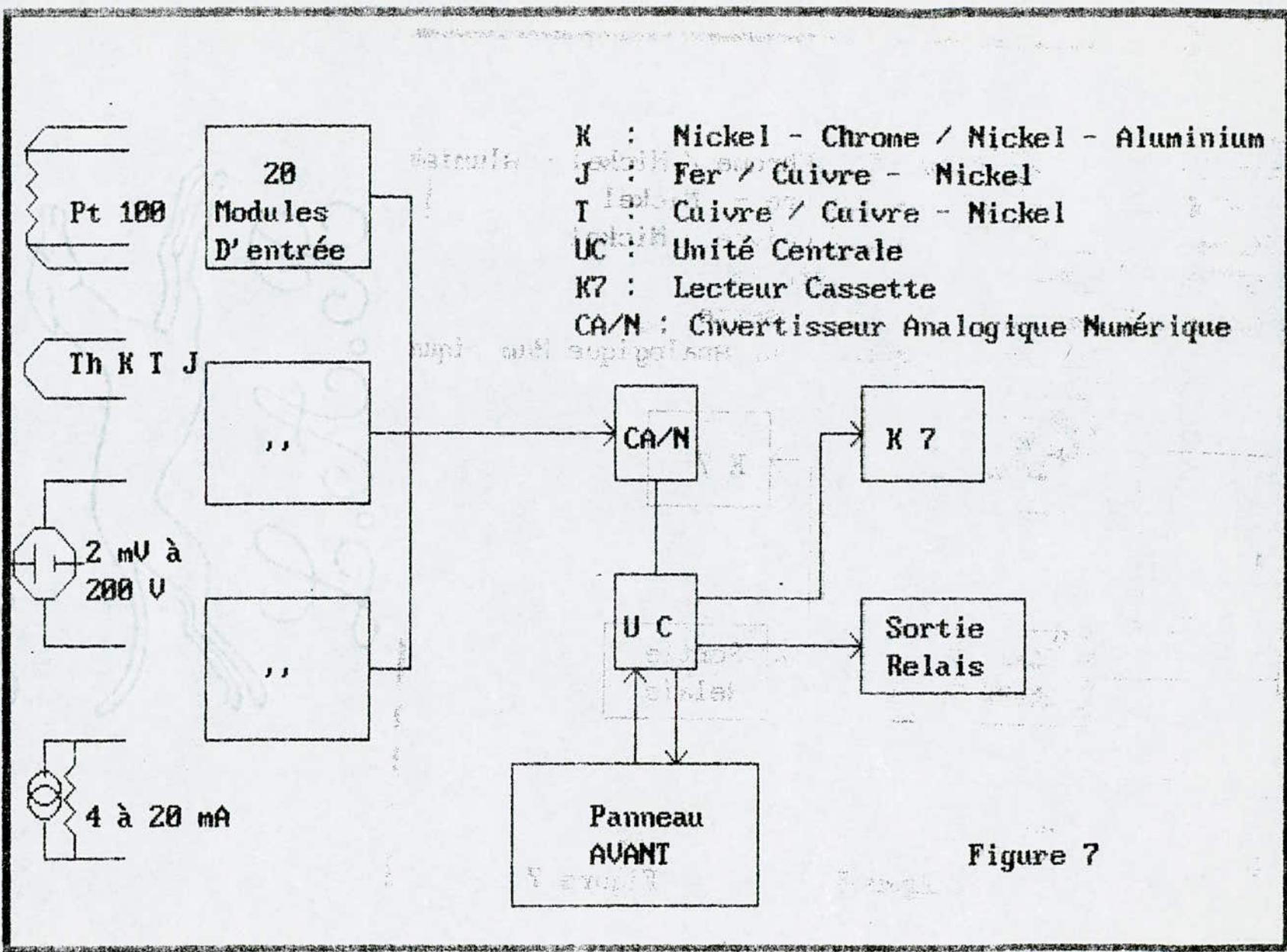


Figure 4



- 1- Capteurs platine 100 de la vitre interne
 2- " " " " " saumure

Figure 5-6



- K : Nickel - Chrome / Nickel - Aluminium
- J : Fer / Cuivre - Nickel
- I : Cuivre / Cuivre - Nickel
- UC : Unité Centrale
- K7 : Lecteur Cassette
- CA/N : Convertisseur Analogique Numérique

Figure 7

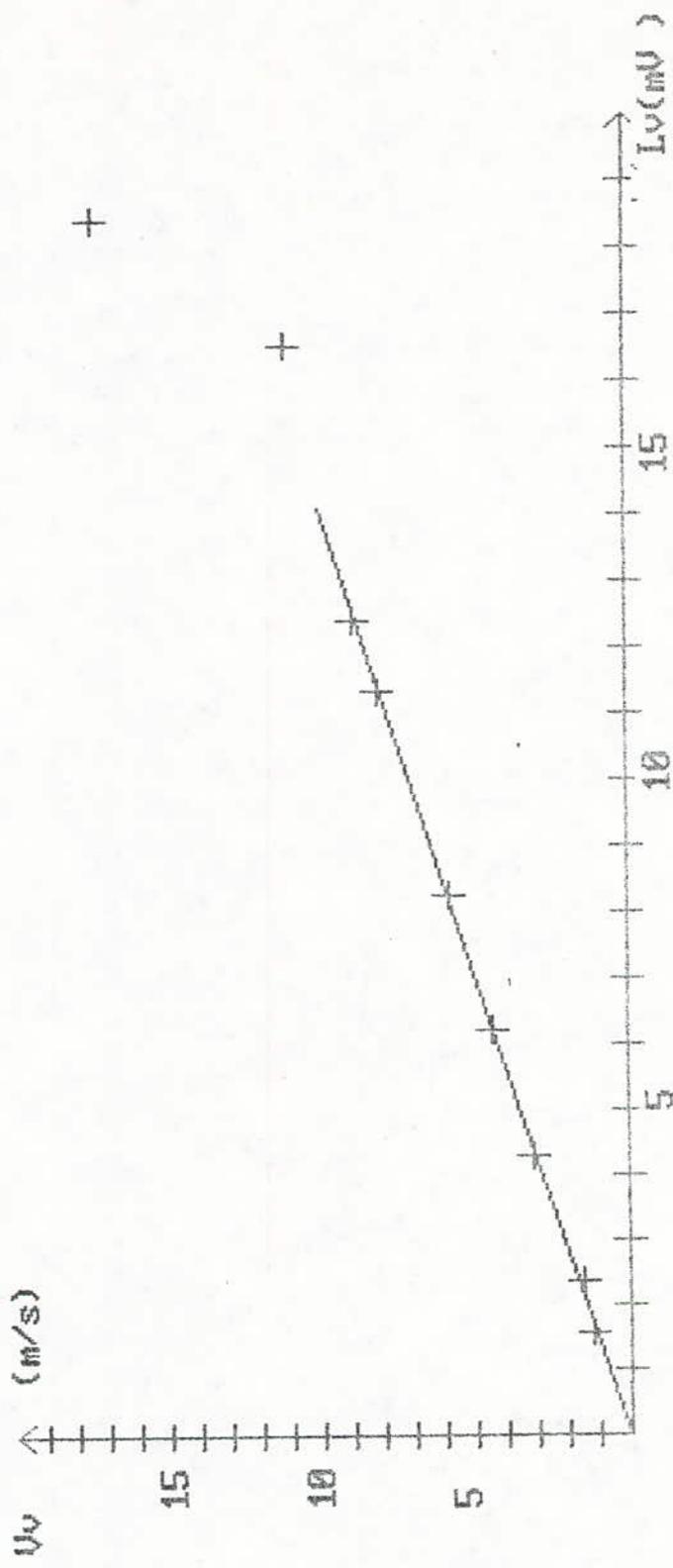


Figure 8

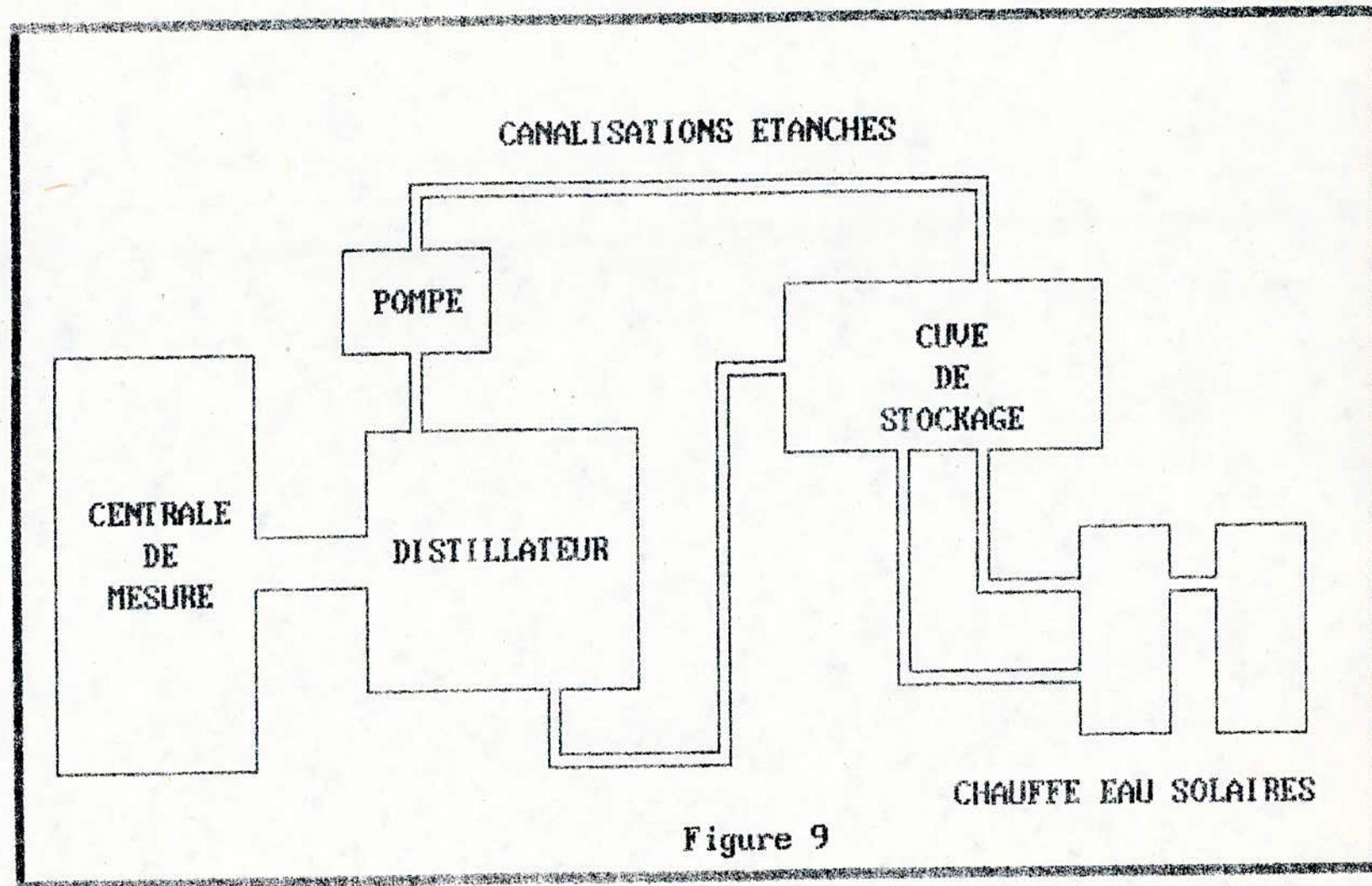


Figure 9

1 - Bilan Energétique :

Il existe trois modes de transmission de chaleur :

* transmission par conduction : 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.

* transmission par rayonnement : La chaleur se transmet d'un corps à haute température vers un autre à basse température , lorsque ces corps sont séparés dans l'espace.

* transmission par convection : C'est l'action simultanée de la conduction , de l'accumulation de l'énergie et celle du mouvement du milieu .

1-1 Schéma de transfert :

En fonction de ces modes de transmission les thermodynamiciens ont établi un schéma de transfert d'énergie (fig . 10 .) dans lequel :

- E : énergie reçue par l'enceinte
- Er_v : énergie réfléchie par la vitre
- Er_w : énergie réfléchie par la saumure
- Er_b : énergie réfléchie par la base
- Ea_v : énergie absorbée par la vitre
- Ea_w : énergie absorbée par la saumure
- Q_b : perte par convection à la base du distillateur
- Q_m : chaleur emportée par le distillateur
- Q_r : chaleur cédée par le couvercle par rayonnement
- Q_c : chaleur cédée par le couvercle par convection
- q_e : chaleur emportée par la condensation de la vapeur d'eau
- q_c : chaleur échangée par convection entre la surface d'eau et le toit interne
- q_r : chaleur cédée par rayonnement interne

Le distillateur reçoit de l'énergie solaire directe ou diffuse laquelle est transmise, absorbée ou réfléchi par les différents éléments du distillateur (vitre , saumure , plan noir) , ceux ci vont échanger de la chaleur selon les différents modes de transmission déjà cités.

On assimile l'unité (le distillateur) à un système thermodynamique ouvert :

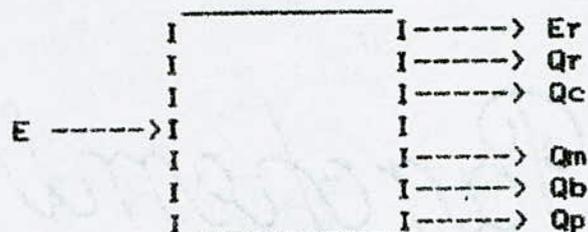


fig . 11 .

La relation de conservation de l'énergie de l'unité de distillation s'écrit :

$$E = E_r + Q_r + Q_c + Q_m + Q_b + Q_p$$

1-2 Expressions des différents termes :

a - Energie reçue par l'unité -----> E

Elle est proportionnelle à la projection horizontale de la surface totale du couvercle du distillateur S_0 ; soit :

$$E = S_0 * E_0 \quad (\text{Joules / h})$$

E_0 : l'intensité de la radiation solaire globale mesurée en Watts-Heures/m² .

Afin d'avoir E en kcal :

$$E = \frac{S0.E0.3600}{CC.4}$$

b - Energie réfléchiée par le couvercle -----> Er

Elle est proportionnelle à la surface S0 du couvercle et telle que

$$Er = \frac{REF.E0.S0.3600}{CC.4}$$

et donc :

$$Er = REF . E$$

REF : réflexivité du couvercle
Cc : capacité calorifique de l'eau

c - Pertes par convection à la base -----> Qb.

Elles sont échangées par la base du distillateur avec le milieu extérieur et sont fonction de l'isolation .

$$Qb = \frac{S0 . (Tb - Ta)}{R6 . CC . 1000}$$

CC : Capacité calorifique de l'eau
Tb : Température de la base
Ta : Température ambiante du milieu inférieur
S0 : Surface de la base du distillateur
R6 : Coefficient d'échange traduisant la conduction à travers la base (voir III-2-1) .

d - Chaleur emportée par le distillat -----> Qm.

$$Q_m = m_d \cdot C_c \cdot (T_d - T_a)$$

Td : Température du distillat
Ta : Température ambiante supérieure
md : masse d'eau distillée recueillie
Cc : capacité calorifique de l'eau

md étant calculé par le rendement Rd dont l'expression est la masse d'eau produite par unité de surface et de temps , on aura donc

$$Q_m = R_d \cdot (T_d - T_a)$$

e - Chaleur cédée par le couvercle (vitre) par rayonnement
-convection -----> QR+Qc

Afin de déterminer la quantité QR + QC , on définit un nouveau système thermodynamique (Fig . 12 .) qu'est le verre délimité par ses surfaces . Le transfert d'énergie autour du couvercle vitré est décrit par la relation suivante :

$$Q_R + Q_C = E_{av} + q_e + q_c + q_r$$

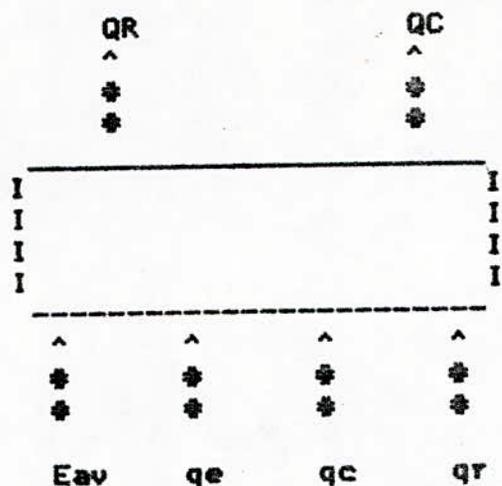


fig . 12 .

La signification de chaque terme étant :

E_{av} -----> Quantité de chaleur absorbée par la vitre

$$E_{av} = \frac{ABS . S_0 . E_0 . 3600}{Cc . 4}$$

et donc

$$E_{av} = ABS . E$$

Abs : étant le facteur d'absorption du verre obtenu par un rayonnement normal à la vitre
 S_0 : surface de la vitre

q_e -----> Quantité de chaleur apportée par la condensation de la vapeur d'eau

$$q_e = mv . L$$

mv : masse d'eau évaporée
 L : chaleur latente de vaporisation de l'eau donnée par
 la formule de REGNAULT $L = 796.5 - 0.695 * Tw$
 Tw étant la température de la saumure en °kelvin .

Si la masse d'eau évaporée est entièrement recueillie , on
 a alors : $mv = md$, md masse du distillat recueilli .

On a donc

$$q_e = Rd * (796.5 - 0.695 * Tw)$$

qc -----> Quantité de chaleur échangée par convection
 entre la surface de l'eau et celle interne du vitrage

Le gradient de température existant entre les deux
 surfaces (de la saumure et du toit interne) entraîne le
 mouvement convectif du mélange air - vapeur .

$$q_c = \frac{S1 . (Tw - Tit)}{R7 . Cc}$$

Tw : Température de la saumure
 Tit : Température du toit interne
 Cc : capacité calorifique de l'eau
 S1 : surface du bac
 R7 : résistance thermique traduisant l'échange thermique
 par convection saumure - vitre (l'expression de R7 est
 donnée en III-2-3)

qr -----> Rayonnement interne

C'est l'intensité de la radiation infra-rouge émise par la
 surface de la saumure et totalement absorbée par la vitre elle
 est donnée par la formule :

$$q_r = S1 . E . \sigma . (Tw^4 - Tit^4)$$

Signa: constante de stéphan boltzman

E : facteur d'émission équivalent (eau - vitre) donné par la relation

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{E_p} + \frac{1}{E_c} - 1$$

E_p , E_c émissivités du plan noir et de la vitre .

f - Les pertes -----> Q_p

Ce sont toutes les pertes pouvant être minimisées telles que:

--> Les pertes par rayonnement et convection des structures latérales externes .

--> ,, ,, ,, ,, du fond de la base ,elles sont minimisées par l'isolation du bassin .

--> ,, ,, ,, des fuites de vapeur , celles - ci sont minimisées grâce à la disposition de joints d'étanchéité au niveau de la couverture .

--> ,, ,, ,, ,, ,, de distillat minimisées par une bonne étanchéité au niveau des gouttières et des fioles de récupération du distillat .

1-3 Equation générale du bilan thermique :

Finalement l'équation du bilan thermique du système thermodynamique se traduit par la relation suivante :

$$E = E_r + Q_n + Q_p + E_{av} + q_e + q_c + q_r$$

On en déduit l'équation qui permet de calculer les pertes du distillateur et dont l'expression est :

$$Q_p = E - (E_r + Q_m + E_{av} + q_e + q_c + q_r)$$

2 - Analogie électrique :

2-1 Avantages de l'analogie électrique :

Avant d'exprimer l'intérêt du passage à l'analogie électrique, il est important d'introduire le transfert de masse et de chaleur .

* Transfert de masse et de chaleur :

C'est le passage d'un constituant d'une solution fluide d'une région à haute concentration vers une région à faible concentration .

Le transfert de masse a lieu dans une direction où le gradient va en diminuant , il en est de même pour le transfert de chaleur .

Soit une surface d'eau de température T_w au voisinage de laquelle circule un écoulement d'air de concentration C_0 , de pression P_0 et de température T_0 .

L'écart de température ($t_w - t_0$) entre l'eau et l'air conduit à un transfert de chaleur , alors que le gradient de pression de vapeur d'air conduit au transfert de masse , ce dernier s'accompagne aussi d'un transfert de chaleur appelé transfert de chaleur latente qui est nécessaire à la vaporisation de l'eau à la température T_e .

L'équation de transfert de masse peut s'écrire sous la forme de l'équation de transmission de chaleur de FOURRIER :

$$\frac{d C_a}{d \theta} = D_n \frac{d^2 C_a}{d y^2}$$

C_a : concentration du mélange d'air (en Kmoles/m³)
D_n : diffusivité massique (en m²/h)
y : distance dans la direction de la force
θ : temps (en heures)

L'équation du transfert de chaleur s'écrit :

$$dQ_c = (1/R) * (T_a - T_o) * ds$$

dQ_c : puissance échangée
ds : distance d'échange
R : résistance d'échange

Dés lors on voit l'apparition de termes différentiels dont la résolution n'est pas commode et demande souvent beaucoup de temps .

D'autre part l'optimisation des paramètres par la méthode directe (ou classique) consisterait à faire varier les différents paramètres au laboratoire (flux solaire , débit d'eau température ... etc) ceci reviendrait à une perte de temps et d'argent .

La simulation , par un schéma électrique équivalent au distillateur , permet de -->

- linéariser l'équation de chaleur en considérant le système linéaire pour des faibles variations des paramètres .
- diminuer les erreurs et simplifier les calculs .

2-2 Schéma électrique équivalent :

L'équivalence thermo - électrique des paramètres donne :

Puissance	>-	équivalent au	->	Courant
Température	>-	,,	,,	Tension
$\frac{1}{\text{coefficient d'échange}}$	>-	,,	,,	Résistance

Le schéma de transfert thermique (fig .10.) décrit précédemment nous permet d'établir un schéma électrique équivalent au distillateur ou on aura remplacé les puissances par des courants , les coefficients d'échanges représentés par l'inverse de résistances et les températures par des tensions.

L'analogie ainsi faite permettra de faire des calculs de répartition des températures et donc du calcul des efficacités et du taux de production et ceci par simple application de la loi d'ohm laquelle est linéaire .

Le schéma électrique est donné par la fig .13.

Les différentes notations représentent :

R1 = résistance thermique de convection entre la vitre et le milieu ambiant
 R2 = résistance thermique de rayonnement entre la vitre et voute céleste
 R3 = résistance thermique de conduction à travers la vitre
 R4 = ,, ,, équivalente aux résistances du milieu air vapeur
 R5 = ,, ,, équivalente aux résistances du milieu saumure
 R6 = ,, ,, de l'isolant
 R7 = ,, ,, de convection interne
 R8 = ,, ,, de condensation de la saumure évaporée
 R9 = ,, ,, d'évaporation de la saumure
 R10 = ,, ,, de conduction-convection entre le plan noir et la saumure
 R11 = ,, ,, de rayonnement entre le plan noir et la vitre.

-1

Les résistances ont pour unité -----> (Watts/ m2 °K)

T1 = Température ambiante supérieur au toit
 T1P = ,, ,, inférieur ,, ,,
 T2 = ,, de la voute céleste
 T3 = ,, supérieur du toit
 T4 et T5 = Températures initiale et finale du toit interne
 T6 et T7 = ,, ,, ,, ,, de la saumure
 T8 et T9 = ,, ,, ,, ,, du plan noir

Les températures sont en -----> °K

P0 = Puissance utile absorbée
 P1 = ,, absorbée par la saumure et convertie en chaleur
 P2 = ,, dissipée dans le plan noir et la saumure
 P3 = ,, absorbée par la vitre et le condensat
 P4 = ,, ,, ,, le mélange air - vapeur
 P5 = ,, ,, ,, la saumure
 P6 = ,, ,, ,, le plan noir

Les puissances sont calculées en -----> watts

2-3 Expressions des différents paramètres calculés :

2-3-1 - Expressions des résistances d'échange :

La théorie des similitudes permet d'avoir les formules différentes résistances thermiques, et ce à partir du no de Nusselt " Nu ", en considérant la formule fondamentale :

$$Nu = \frac{D}{CT \cdot R}$$

D : longueur d'échange
CT : conductivité thermique du milieu considéré
R : résistance thermique considérée

On en déduit donc =>

$$R = \frac{D}{CT \cdot Nu}$$

A - Echange thermique par convection vitre mi-
ambiant-----

L'intensité de cet échange dépend de la vitesse du vent
son expression est la suivante :

$$R1 = \frac{1}{(5.7 + 3.8 \cdot Vv)^{-1}} \quad \text{en (w/m}^2\text{)}$$

Vv : vitesse du vent en m/s

B - Echange thermique par rayonnement vitre-ciel-----

Le coefficient d'échange est donné par la loi de Stephan BOLTZMAN :

$$R2 = Ev * \sigma * (T3+T2) * (T3^2 + T2^2)$$

Ev : émissivité de la vitre
 T3 : Température supérieure du toit
 T2 : ,, de la voute celeste donnée par
 $T2 = 0.0552 * (Ta)^{1.5}$
 Ta : Température ambiante supérieure
 sigma: constante de Stephan BOLTZMAN .

C - échange par conduction à travers la vitre-----> R3.

$$R3 = \frac{Dv}{CTv}$$

Dv : épaisseur de la vitre
 CTv : conductivité thermique de la vitre

D - Echange thermique par conduction à travers la base->R6.

On est en présence de trois milieux en série , le premier en verre aggloméré (fibre de verre) formant la base du bac le second étant l'isolant en polyester et le troisième le contre plaqué :

$$R6 = \frac{Ebac}{CTbac} + \frac{Eisol}{CTisol} + \frac{Ecp}{CTcp}$$

Ebac, Eisol, Ecp : épaisseurs du bac, isolant et contre plaqué
 CTbac, CTisol, CTcp : conductivités thermiques du bac, isolant
 et contre plaqué

E - Echange thermique par convection saumure-vitre----> R7.

Cet échange dépend du Grashoff lequel est lié à l'inclinaison " BETA " du toit ; pour " BETA " constant lorsque le grashoff croit le Nusselt croit aussi * 3 * .

*** On a pour BETA = 16° :

si	$GR < 2.10^3$	alors	NU = 1
	$2.10^3 < GR < 3.10^4$,,	NU = 0.507 GR ^{0.4}
	$4.10^4 < GR < 2.10^5$,,	NU = 3.6
si	$GR > 2.10^5$,,	NU = 0.0402 GR ^{0.37}

L'expression du Grashoff est la suivante:

$$GR = \frac{g \cdot D^3 \cdot (T_6 - T_4)}{v_m \cdot T_4^2}$$

v_m : viscosité du mélange air-vapeur
 D : longueur saumure-toit caractéristique du distillateur
 CTAV : conduction thermique du mélange air vapeur

==>

$$R7 = \frac{1}{(NU \cdot CTAV) / D}$$

F - Echanges thermiques par condensation - évaporation
saumure - vitre-----> R8, R9

BAUM * 3 * a montré que les processus d'évaporation et de condensation sont très liés, ils croissent et décroissent même temps, le taux d'eau distillée est fonction de ces paramètres (voir calcul du taux).

BAIRAMOV et RYBACOKOVA * 6 * ont établi :

-> A la condensation :

$$NUc = 4.365 \cdot 10^{-3} (GR \cdot PR)^{0.8} \cdot Pc$$

$$si \quad 2.23 \cdot 10^6 (GR \cdot PR) (1.02 \cdot 10^7)$$

GR : Grashoff donné en - E -
PR : Prandtl PR = Cc/CTAV
Cc : Capacité calorifique
Pc : Pression de la vapeur d'eau à la condensation (voir **)

donc

$$R8 = \frac{1}{(NUc \cdot CTAV) / D}$$

-> A l'évaporation :

$$NUev = 8.9 \cdot 10^2 \cdot Pev$$

$$si \quad 2.04 \cdot 10^6 (GR \cdot PR) (7.94 \cdot 10^6)$$

Pev : pression de vapeur d'eau à l'évaporation
 CTAV : conductivité thermique du mélange air - vapeur
 D : distance saumure toit

et donc

$$R9 = \frac{1}{(NU_{ev} * CTAV) / D}$$

** Pc et Pev sont les pressions de vapeur d'eau à la condensation et à l'évaporation, l'expression de la pression est donnée par * 2 * :

$$P(T) = 10^{(17.43 - 2795/T - 3.868 * \text{Log}T / \text{Log}10)}$$

T étant la température du toit interne à l'évaporation et celle de la saumure à la condensation

G - Echange thermique par conduction - convection entre Saumure et Plan Noir -----> R10

Les résultats établis par Paul HANSEN * 7 * donnent la formule du Nusselt pour cet échange :

$$Nu = 0.664 * \text{Rel}^{(1/2)} * \text{Pr}^{(1/3)} ; \quad \text{Pr} = CC/CTS$$

L'inclinaison BETA du plan noir intervient dans le Nusselt par l'intermédiaire du Reynolds " Rel " comme suit :

$$\text{Rel} = \frac{V_m \cdot L_o}{V_s} \quad \text{avec} \quad V_m = \frac{DB}{\Delta \cdot L_a}$$

$$\Delta = \frac{I \cdot 3 \cdot DB \cdot V_s \cdot I}{I \cdot g \cdot \sin(BETA) \cdot I} \quad (1/3)$$

Lo : Longueur de la base du distillateur
 La : Largeur ,, ,, ,, ,, ,,
 DB : Débit de la saumure
 Vs : Viscosité cinématique de la saumure
 BETA : Inclinaison de la vitre par rapport au plan noir
 Pr : Nombre de Prandtl
 Cc : Capacité calorifique de la saumure
 CTS : Conductivité Thermique de la saumure

$$R10 = \frac{1}{(NU*CTS)/Ds}$$

Ds : épaisseur de la saumure

H - Echange thermique par rayonnement plan noir-vitre->R11

Cet échange est régi par la loi de Stephan comme suit :

$$R11 = \frac{1/Ep + 1/Ec - 1}{\sigma * F * (T8 + T4)^2 * (T8 + T4)}$$

F : facteur de forme $F = 0.5 * \cos(BETA)$
 Ep : émissivité du plan noir
 Ev : ,, de la vitre

I - Résistances équivalentes-----> R4,R5

R11 étant entre T4 et T8 (fig .11.) on peut la diviser en deux résistances R01 et R02 telles que :

$$\frac{T8-T4}{R11} = \frac{T8-T6}{R02} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{R02} = \frac{T8-T4}{R11(T8-T6)}$$

$$\frac{T8-T4}{R11} = \frac{T6-T4}{R01} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{R01} = \frac{T8-T4}{R11(T6-T4)}$$

R4 est équivalente aux résistances se trouvant entre T4 et T6 et représente R7 en parallèle avec R8 et R9 (qui sont en série) et en parallèle avec R01 ;

donc

$$R4 = \frac{1}{\frac{1}{R7} + \frac{1}{(R8+R9)} + \frac{1}{R01}}$$

De même R5 est la résistance équivalente à celles se trouvant entre T6 et T8 et donc représente R10 parallèle avec R02 ;

soit

$$R5 = \frac{1}{\frac{1}{R10} + \frac{1}{R02}}$$

2-3-2 - Calcul des différentes puissances :

A - Puissance utile absorbée -----> P0

Elle dépend essentiellement de l'absorptance effective du distillateur ALW, celle-ci est égale à $0.8 \cdot N_{doy} \cdot 2$

$$P_0 = 0.8 \cdot E_0 \quad (\text{ en Kcal/h.m}^2 \text{)}$$

Elle représentera sur le schéma équivalent un courant qui arrive dans le circuit sur le point T6.

B' - Puissance dissipée dans le plan noir et la saumure → P2

C'est le courant qui passe réellement dans R5. Il est calculé par le principe de superposition des courants :

$$\frac{T_1 - T_6}{R_5 + R_6} \quad \text{et} \quad \frac{R_6}{R_5 + R_6} \cdot P_0$$

Donc

$$P_2 = \frac{R_6}{R_5 + R_6} P_0 + \frac{T_1 - T_6}{R_5 + R_6}$$

C - Puissance absorbée par la vitre et le condensat → P3

Celle ci est représentée par le courant qui traverse R3 et selon les lois des mailles et des noeuds on a :

$$P_{31} = \frac{T_6 - T_2 - (R_3 + R_4)P_3}{R_2} \quad P_{32} = \frac{T_6 - T_1 - (R_3 + R_4)P_3}{R_1}$$

On déduit :

$$P_3 = \frac{T_6(R_2+R_1) - T_2.R_1 - T_1.R_2}{R_1.R_2 + (R_1+R_2)(R_3+R_4)}$$

P31 : courant passant dans R1
P32 : ,, ,, ,, R2

D - Puissance absorbée par la saumure convertie en chaleur-----> P1

P1 représente le courant qui passe réellement dans R5

$$P_1 = P_2 - P_3$$

E - Puissance absorbée par le mélange air - vapeur--> P4

C'est le courant qui passe dans R8 et R9 résistances d'échange par évaporation et condensation .

$$P_4 = \frac{T_6 - T_4}{R_8 + R_9}$$

F - Puissance absorbée par le plan noir-----> P6

Courant passant dans R6 et dont l'expression est :

$$P6 = \frac{T8 - T1p}{R6}$$

G - Puissance absorbée par la saumure-----> P5

$$P5 = P0 - P6$$

2-3-3 Calcul des températures finales :

A - Température finale du plan noir-----> T9

On obtient par le principe de superposition des tensions :

$$T9 = \frac{T6.R6}{R5+R6} + \frac{T1p.R5}{R5+R6} + \frac{P0.R5.R6}{R5+R6}$$

B - Température finale de la face interne du toit-----> T5

A partir des deux équations suivantes :

$$T1 + R1.P31 = T2 + R2.P32$$

$$P3 = P31 + P32$$

On obtient :

$$T5 = T1 + \left(\frac{R1.R2}{R2+R1} - R3 \right) * P3 - \left(\frac{T1-T2}{R1+R2} \right)$$

C - Température de la face externe du toit-----> T3

$$T3 = T4 + R3 * P3$$

D - Température finale de la saumure-----> T7

Son expression est donnée par la théorie de Ndoy * 2 *

$$T7 = T6 + \frac{P1 . P0}{CC.1000.DS.A1}$$

A1 : densité de l'eau égale à 992

E - Température finale du mélange air vapeur-----> T10

En considérant la distance saumure toit faible on peut prendre pour la température du mélange air vapeur la moyenne entre celles de la saumure et du toit interne , donc :

$$T10 = \frac{(T6+T4)}{2}$$

2-3-4 Calcul du taux de production :

Le taux est égale au rapport de la puissance absorbée dans le mélange air vapeur à la chaleur latente * 7 *

$$M = \frac{P4}{L}$$

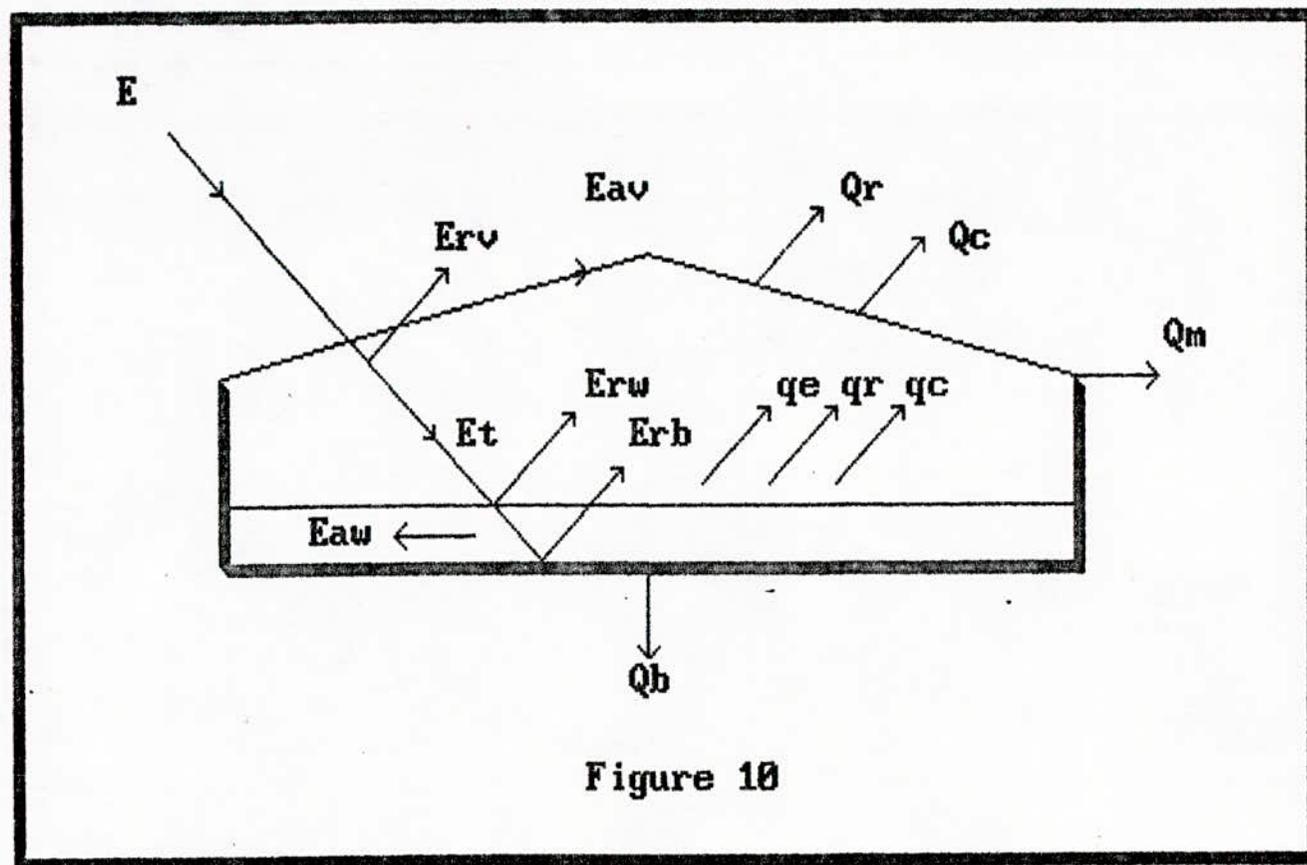


Figure 10

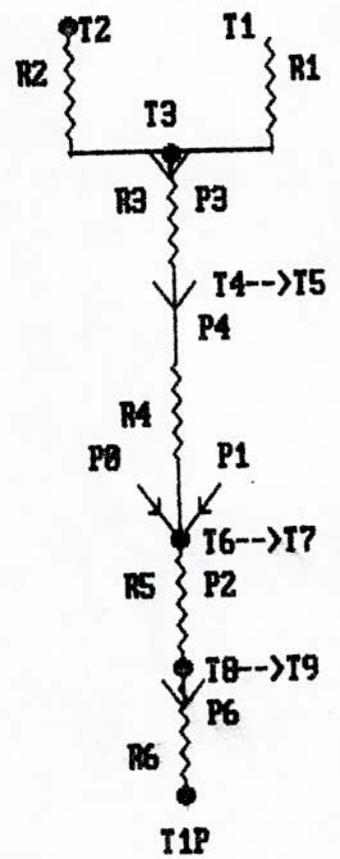
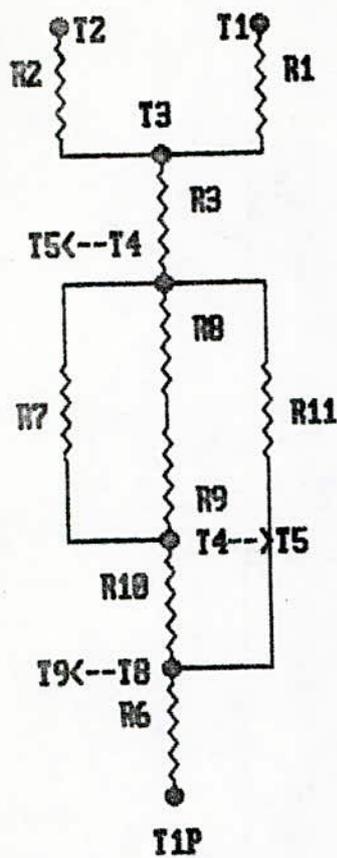


Figure 13

CHAPITRE 4

SIMULATION INFORMATIQUE

L'objet de l'étude étant d'optimiser les paramètres dont dépend directement le rendement, on décrira dans ce chapitre la classification des paramètres, la méthodologie d'optimisation et les organigrammes de calcul.

1 - Classification des paramètres:

On a classé les paramètres en 3 groupes

1-1 Les paramètres principaux :

a_ En entrée => ce sont ceux qui influent directement sur la production d'eau distillée

Température initiale de la saumure.....	TIS
,, ambiante ,, ,, ,,	TA
Vitesse du vent.....	Vv
Puissance de rayonnement globale.....	E0
Débit de la saumure.....	DB
Distance saumure toit.....	D
Inclinaison du toit par rapport au plan noir.....	BETA

b_ En sortie => ce sont ceux qui caractérisent la production d'eau distillée

Efficacité interne horaire.....	EIH
,, globale ,,	EGH
Rendement horaire.....	RDH

1-2 Les paramètres intermédiaires :

Ce sont les paramètres qui varient d'une tranche fictive du temps à une autre.

Température de la saumure.....	TS
,, du plan noir.....	TPN
,, interne de la vitre.....	TIV
,, externe ,, ,, ,,	TSV
Efficacité instantanée interne	EII
,, ,, globale	EIG
Puissance solaire réellement absorbée.....	PO
Rendement instantané.....	RDI

1-3 Les paramètres secondaires :

a_ En entrée => ce sont les constantes utilisées dans les différents calculs

longueur du bac.....	LO
largeur ,, ,,	LA
Conductivité thermique de la vitre.....	CTV
,, ,, ,, ,, saumure.....	CTS
,, ,, ,, ,, mélange air vapeur.....	CTAV
Emissivité du plan noir.....	EP
,, de la vitre.....	EC
Epaisseur de la saumure.....	DS
,, ,, ,, vitre.....	DC
Viscosité de la saumure.....	VS
,, du mélange air-vapeur.....	VM

b_ En sortie => ce sont ceux qui permettent de vérifier la convergence des calculs

Température finale du toit interne.....	T5
,, ,, de la saumure.....	T7
,, ,, du plan noir.....	T9

2 - Méthodologie :

Le ruissellement de la saumure dans le distillateur entraîne une différence de température entre son point d'entrée et celui de sortie ; on aura ainsi une évolution de la température entre ces deux points de l'ordre de (2 °c) .

L'importance de cette évolution ne nous permet pas de simuler le système du fait que la linéarisation n'est valable que pour de faibles variations de la température ; afin d'éviter ce problème on procède dans notre cas au découpage du distillateur en plusieurs tranches de telle sorte que la différence de température entre l'entrée et la sortie de chaque tranche soit faible ; on aura ainsi découpé notre distillateur en une suite de distillateurs élémentaires dans lesquels les températures ne varient pas beaucoup entre l'entrée et la sortie .

Le calcul des efficacités rendement et pertes demande la connaissance des températures dites (instantanées) ; les paramètres calculés étant horaires on choisira pour unité de temps le quart d'heure .

PRINCIPE DES DIFFERENCES FINIES

A - Afin de simuler le distillateur , on le découpera en plusieurs tranches (découpage fictif) , chaque tranche sera considérée comme un distillateur élémentaire à ruissellement de saumure .

On calculera les températures finales du plan noir T9 , de la saumure T7 et toit interne T5 en sortie de chaque tranche -(celles d'entrées seront connues voir / B /)- en fonction des échanges thermiques grâce au schéma équivalent du distillateur et de la loi d'ohm .

La production (rendement et efficacités) et les pertes de chaque tranche sont calculés à partir des températures du plan noir saumure et du toit interne .
La variation de ces températures entre l'entrée et la sortie de la tranche nous amènera à prendre comme températures les températures moyennes

$$\Rightarrow T = (T_{\text{entrée}} + T_{\text{sortie}}) / 2$$

B - Le distillateur étant découpé en plusieurs tranches adjacentes , on lira la température d'entrée de la saumure dans le distillateur , (donc celle d'entrée de la 1ère tranche soit Te1 , on calculera la température Ts1 en sortie de cette tranche , celle-ci sera également la température d'entrée de la 2ème tranche : donc Te2=Ts1 on calculera Ts2 et ainsi de et suite donc -->

$$Te1 = Te , Ts(n-1) = Te(n) , \text{ et } Ts(n) = Ts$$

Te , Ts : températures d'entrée et de sortie du distillateur

On vient de décrire dans les deux parties précédentes le principe des différences finies qui se traduit par le découpage en tranches adjacentes du distillateur et le calcul par itérations des températures d'entrée

$$Te(n) = Ts(n-1)$$

3 - Structure des organigrammes :

3-1 Organigramme général : (fig . 14 .)

L'organigramme général représente le plan condensé des différentes étapes de calcul .

Après avoir choisi l'option désirée ,production ou pertes du simulé ou du réel ,on testera l'établissement des calculs , si ceux - ci ont déjà été effectués on passera directement à la représentation des résultats (les calculs étant assez longs - surtout pour le simulé - il est inutile de les refaire à chaque fois car les résultats sont sauvegardés dans des fichiers dès que le calcul est terminé) .

La représentation des calculs pouvant être sous forme de tableaux ou de courbes , il reviendra à l'utilisateur d'en faire le choix .

Dans le cas des tableaux , tous les paramètres horaires calculés apparaîtront en même temps en fonction du temps .

Dans le cas des courbes on tracera (selon le choix fait par l'utilisateur) un des paramètres calculés (efficacité , rendement , pertes) en fonction du temps .

Si le paramètre choisi est le rendement par section ou pertes par section , le programme tracera deux courbes sur un même repère afin de pouvoir comparer les pertes ou rendement de chaque section .

3-2 Calcul de la production du réel : (fig . 15 .)

On trouve dans cet organigramme deux boucles imbriquées :

--> La boucle la plus interne est relative au quart d'heure (T variant de 1 à 4) ; elle permet le calcul instantané des paramètres (rendement , efficacité globale et efficacité interne) ; on fait une sommation des paramètres c'est - à - dire :

$$\text{PAR} (T) = \text{PAR} (T) + \text{PAR} (T-1)$$

PAR étant l'un des paramètres calculés - afin d'avoir à la fin de la boucle des valeurs horaires

$$\text{PARH} = \text{PAR} (T)$$

PARH représente le paramètre horaire, ces valeurs sont écrits dans des fichiers. On remet ensuite PAR(T) à zéro afin de calculer les paramètres de l'heure suivante.

--> L'autre boucle est relative à l'heure (H variant de 1 à 24) elle permet le calcul des paramètres horaires PARH, on fait une sommation de ces paramètres

$$\text{PAR} (H) = \text{PAR} (H) + \text{PAR} (H-1)$$

pour d'avoir à la fin de cette boucle les valeurs journalières de ces paramètres.

La lecture des paramètres principaux en entrée (température initiale, débit ... etc) se fait pour chaque quart d'heure et donc à chaque incrémentation de T.

3-3 Calcul des pertes du réel : (fig . 16 .)

En plus des deux boucles décrites précédemment, on utilise dans cet organigramme deux autres boucles :

--> La boucle relative à " S " traduit le découpage (fictif) du distillateur en largeur ; S varie de 1 à 2 lorsqu'on ne considère que la moitié du distillateur (hypothèse de symétrie - voir chap I -) .

--> La boucle " N " est relative au découpage en longueur du distillateur et varie de 1 à 4 ; la surface totale a donc été sectionnée en seize parties .

On lira à chaque quart d'heure les paramètres principaux en entrée et à chaque tranche (incrémentation de " N ") les températures initiales de la saumure et du toit interne .

3-4 Calcul de la production du simulé : (fig . 17 .)

Dans cette partie les paramètres principaux en sortie sont calculés à partir des résistances d'échange et températures finales données en (III-2-3) ; les températures finales calculées d'une tranche sont prises comme valeurs initiales pour les températures de la tranche suivante (pour les tranches d'une même section) .

3-5 Calcul des pertes du simulé : (fig . 18 .)

La démarche est la même qu'en (IV-3-4) sauf qu'au lieu de calculer des rendements et des efficacités on calculera des pertes .

La réalisation du distillateur , la structuration du programme et l'établissement des formules étant présentées , on passera dans le chapitre suivant à l'interprétation des résultats .

 * ORGANIGRAMME DE GESTION DES RESULTATS ET CALCULS *

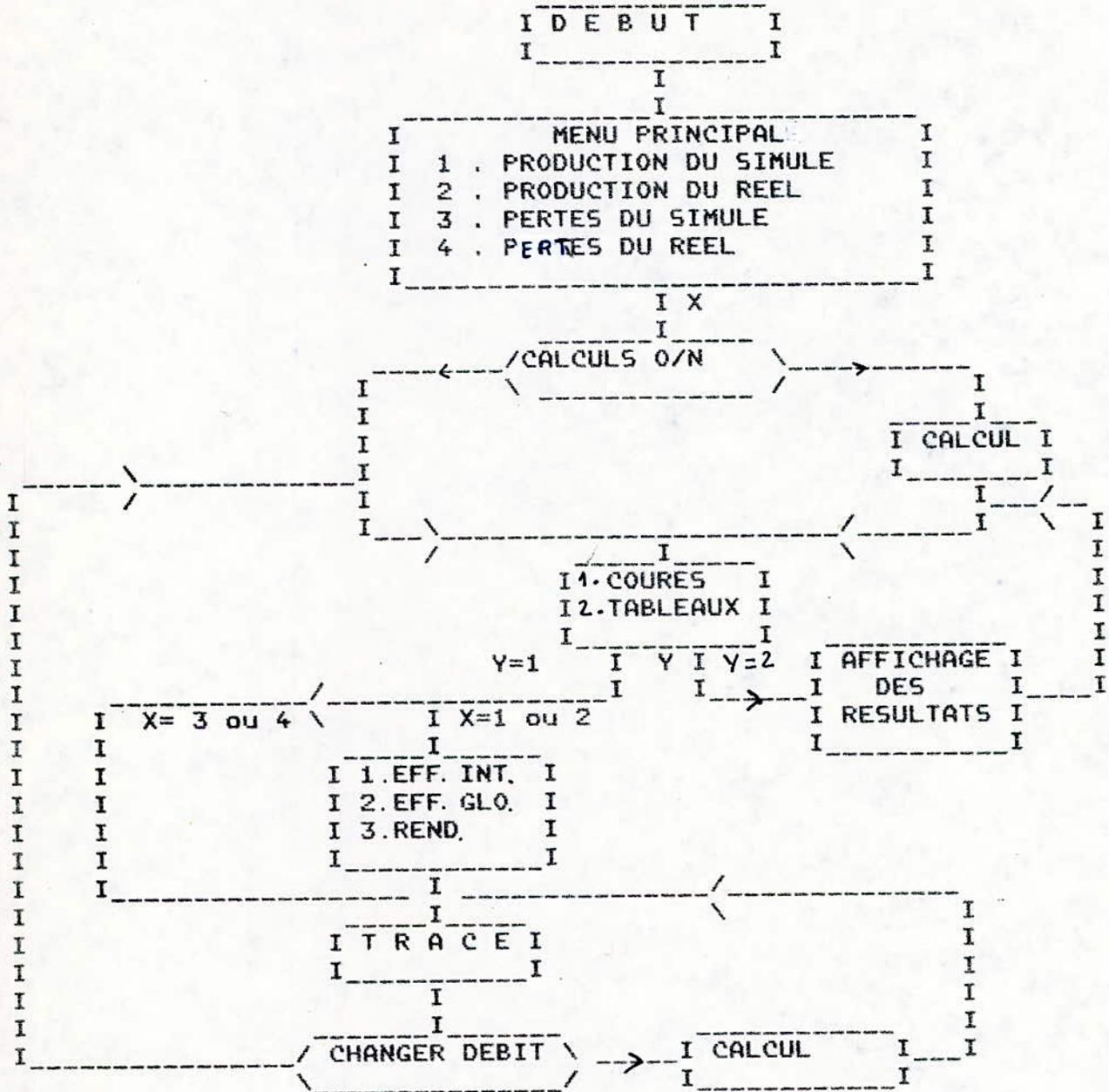


Figure 14

ORGANIGRAMME DE CALCUL
DU RENDEMENT ET EFFICACITES
DU DISTILLATEUR REEL

I D E B U T I

I ----- I

I

I

I OUVERTURE DES FICHIERS I

I ----- I

I

I

I H = 1 I

I ----- I

I

I

I T = 1 I

I ----- I

I

I

I LECTURE DES PARA PRIN EN ENTI I

I ----- I

I

I

I calcul des rendements, efficacités I
I internes et efficacités globales I

I ----- I

I

I

I préparation des moyennes horaires I
I et journalieres I

I ----- I

I

I

I I
I Initialisation I
I Des I
I Paramètres I
I Horaires I

I ----- I

I

I

I

I I SAUVEGARDE DES PARAMETRES HORAIRES I

I I DANS LES FICHIERS I

I I ----- I

I

I

I H = H+1 I

I ----- I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I OUI \ T = 4 / NON

I T=T+1 I

I ----- I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I F I N I

I ----- I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

I

Figure 15

ORGANIGRAMME DE CALCUL
DES PERTES DU DISTILLATEUR
REEL

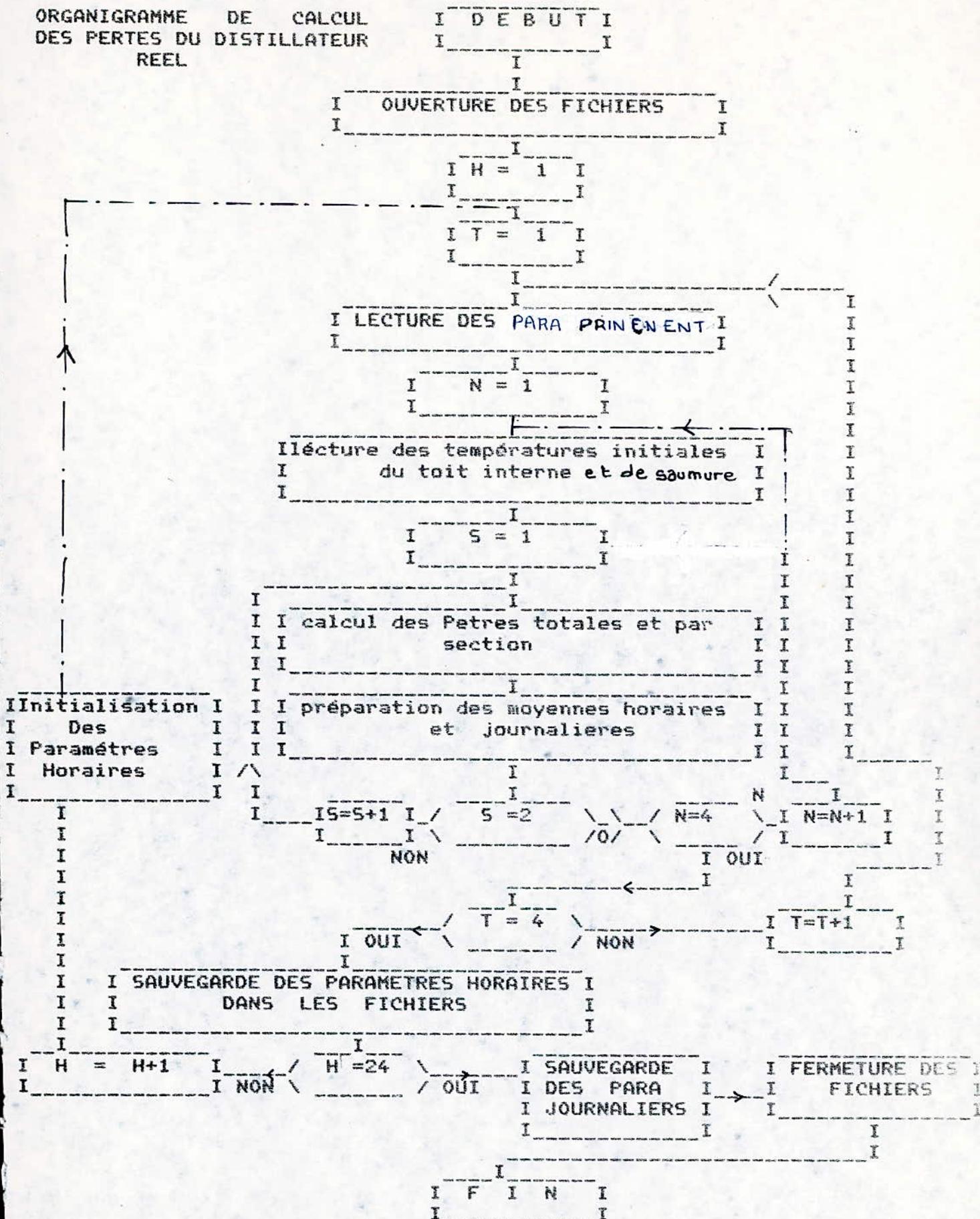


Figure 16

ORGANIGRAMME DE CALCUL
DU RENDEMENT ET EFFICACITES
DU DISTILLATEUR SIMULE

I D E B U T I
I

I O U V E R T U R E D E S F I C H I E R S I
I

I H = 1 I
I

I T = 1 I
I

I L E C T U R E D E S P A R A M E T R E S I
I

I S = 1 I
I

I N = 1 I
I

N=N+1

I I c a l c u l d e s e c h a n g e s t h e r m i q u e s , I I
I I t e m p e r a t u r e s f i n a l e s e t p u i s s a n c e s I I

I I c a l c u l d e s r e n d e m e n t s , e f f i c a c i t e s I I
I I i n t e r n e s e t e f f i c a c i t e s g l o b a l e s I I

I I n i t i a l i s a t i o n I I I p r e p a r a t i o n d e s m o y e n n e s h o r a i r e s I I I
I D e s I I I e t j o u r n a l i e r e s I I I

I P a r a m e t r e s I I I
I H o r a i r e s I I I

I T° FINAL (N)=I ← N=4 S=2 I S=5+1 I
I T° INIT (N+1)I \ /0/ \ / I I
I I NON I OUI I

I T = 4 \ / NON / I T=T+1 I
I OUI \ / NON / I I

I S A U V E G A R D E D E S P A R A M E T R E S H O R A I R E S I
I D A N S L E S F I C H I E R S I

I H = H+1 I H=24 \ / OUI / I S A U V E G A R D E I F E R M E T U R E D E S I
I NON \ / OUI / I D E S P A R A I F I C H I E R S I
I I J O U R N A L I E R S I I

I F I N I
I

Figure 17

ORGANIGRAMME DE CALCUL DES PERTES DU DISTILLATEUR SIMULE I D E B U T I

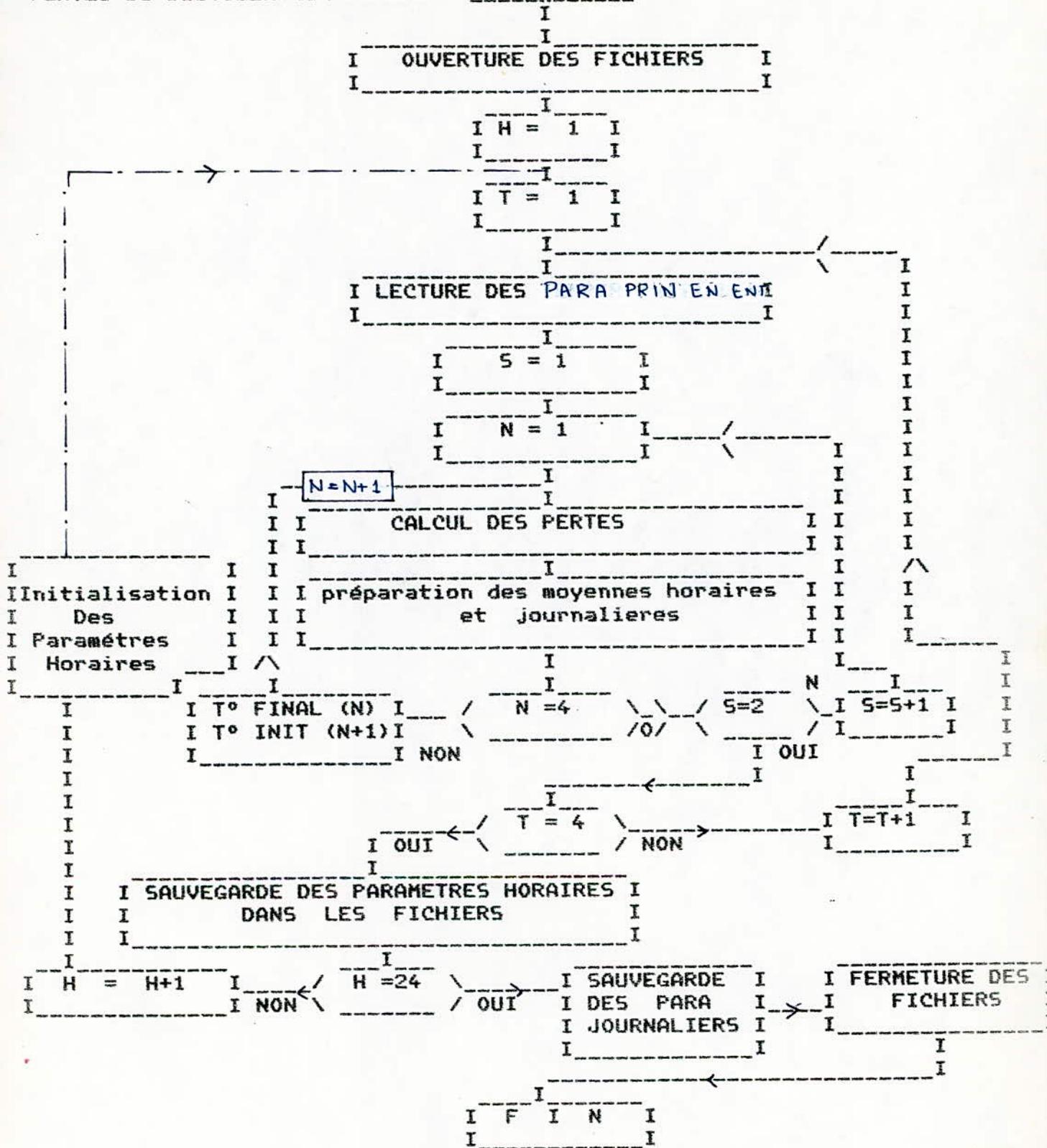


Figure 18

*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*

CHAPITRE 5

**RESULTATS _ET
INTERPRETATIONS**

1 - Présentation de quelques résultats :

a - Les données

Les données -(températures ambiantes supérieure et inférieure de la saumure , du toit interne et du mélange air - vapeur ainsi que la vitesse du vent)- ont été prises par l'intermédiaire de la centrale de mesures SAM 60 pour la journée du 11 - Juin - 1986 .

Le test a commencé à 8 heures (heure locale) pour une durée de 24 heures .

La quantité d'eau distillée produite a été prise chaque quart d'heure dans une éprouvette graduée avec une précision de 1 ml .

L'énergie solaire horaire tombante sur une surface horizontale nous a été communiquée par la station solaire de Bouzaréah (Service Météo) ; on a pu , à partir d'un graphe d'évolution de cette énergie , avoir les valeurs de l'énergie à des intervalles réguliers d'un quart d'heure ; le tableau suivant (pages 69 - 70) regroupe les différents paramètres mesurés .

b - Présentation de quelques résultats

Les courbes qui suivent , représentent l'évolution des paramètres calculés (rendement et pertes) en fonction du temps , pour une journée donnée , à des intervalles de temps réguliers et égaux à une heure .

Le programme trace directement ces courbes , il relie deux points successifs (calculés ou mesurés) par un segment de droite .

Les tableaux donnent les efficacités , rendements et pertes en fonction du temps .

TIS °C	TA °C	WV %W	EO W/m2	TIT °C	THAV °C	M g	TAP °C	TST °C
31.5	26.8	1.64	140	30.9	31.2	0	23.5	26.8
31.7	28.4	1.43	150	31	31.3	5	24	28.1
31.8	28.3	3.39	160	31.4	31.6	7	24.6	29.1
31.9	31.8	.85	171	31.7	31.8	6	25.6	30.6
31.9	30.2	1.25	186	31.8	31.8	5	25.8	31.8
32.1	30.7	1.31	205	31.6	31.9	7	26.6	33.1
32.2	31.3	1.36	210	31.8	31.9	8	27.5	34.8
32.4	33.4	2.23	180	31.9	32.1	13.5	28.5	36
32.7	34.7	1.69	128	32	32.2	10	28.9	37.3
33.5	34.8	3.44	138	32.6	14.5	29.6	38.4	38.3
34.3	35.2	2.1	148	32.5	32.9	19.5	30	39.2
35.1	35.4	1.38	158	32.8	33.2	22	30.4	40.8
37.7	34.2	2.71	196	33.3	34.1	31	30.3	41.9
39.4	34.9	5.06	205	34.2	35.8	47.5	30.8	42.9
41.4	34.8	2.74	216	36.1	37.5	54	30.2	43.1
43	33.7	3.24	226	37.6	39.2	76	30.2	44.4
45.4	33.7	4.28	228	39.6	41.4	79	31.3	46
47.2	35.2	2.42	239	41.4	43.1	94	32	48
49.3	34.7	6.91	248	42.9	44.6	102	31.8	48.4
51.4	35.8	3.13	258	44.8	47.3	94	32.1	49.2
52.9	35.4	3.18	243	46.1	49.1	100	31.6	49.6
54.2	31	2.94	233	47.5	50.2	120	30.7	50.6
55	36.1	4.52	222	48	50.9	135	33.3	52.4
56.3	36.2	4.49	213	48.8	51.2	130	31.5	52.7
57.3	35.8	5.28	213	49.3	51.8	130	31	52.4
58.3	36.1	3.44	203	49.9	52.6	200	31.8	53.9
57.9	33.9	4.68	192	49.6	53.7	160	29.2	48.9
57.6	33.8	2.43	183	48.3	52.9	180	30.8	49
57.3	35.7	2.43	173	47.6	52.4	140	31.8	50.9
57.2	37	2.93	162	45.8	50.5	110	32.1	51.6
57	37	4.27	153	44.2	49.6	145	32.1	50.7
56.9	35.5	2.81	142	42.9	48.9	160	31.4	49.8
56.6	37.2	3.2	127	41.7	48.1	125	30.2	49.3
56.4	36.6	3.63	116	40.9	47.6	180	31.5	49.3
56.2	37.3	4.73	106	40.2	47.2	130	31.1	48.2
56	38.3	2.06	96	39.8	46.9	125	30.9	47.3
55.7	38	2.25	65	39.4	46.5	125	30.3	46.6
55.4	38.2	2.79	55	39.1	46.2	70	30	45.4
55.1	36.8	1.9	41	38.8	45.4	100	29.5	42.9
54.9	36.2	2.64	34	38.5	45.2	80	29.5	41.6
54.7	36.7	1.55	25	38.2	45.4	70	30	40.8
54.3	30.7	1.86	16	38	45.1	60	28.7	38.6
54.1	30.4	1.18	12	37.9	45	55	27.9	35.4
53.8	30	1.71	8	37	44.7	50	28.1	33.8
53.4	29	.85	2	37.2	44.3	46	27.1	31.7
53.1	28.6	1.55	1	36.8	43.9	40	27.4	30.1
52.7	28.3	1.66	0	35.7	43.2	36	26.5	29
52.3	27.4	1.11	0	33.9	42.1	32	25.9	27.7

TIS °C	TA °C	WV %V	EO W/m2	TIT °C	TMRV °C	H g	TAP °C	TST °C
51.9	27.1	.69	0	32.5	40.2	30	25.7	26.5
51.6	27	.68	0	31	39.3	27	25.7	25.3
51.2	26.6	.88	0	30.1	38.6	24	25.3	24.6
50.8	26.5	.65	0	29.4	38.1	23	25.9	24.1
50.5	26.7	.64	0	29	37.3	22	25.7	23.9
50.2	26.3	.63	0	28.6	36.6	21	25.6	23.5
49.8	26.4	.64	0	27.8	35.8	20	25.8	23
49.5	26.3	1.04	0	27.5	35.5	19	25.7	22.7
49.1	26.4	1.27	0	27.3	35.4	18	25.7	22.5
48.8	26.2	.62	0	27	34.9	17	25.2	22.3
48.4	25.7	.62	0	27.1	34.7	17	25.3	22.3
48.1	25.8	.62	0	26.5	34.3	16	25.5	21.9
47.7	25.3	2.14	0	26.4	34	15	24.4	21.6
47.3	25.1	2.9	0	25.6	33.4	14	24	21
46.9	24.8	1.71	0	25.5	33.2	14	23.7	20.8
46.3	24.9	2.98	0	25.4	32.8	15	23.7	20.8
46.3	24.9	2.98	0	25.4	32.8	15	23.7	20.6
45.9	24.9	3.25	0	25.2	32.5	14	23.7	20.6
45.5	24.9	3.12	0	25.2	32.3	13	23.7	20.6
45	24.8	2.75	0	24.9	31.9	13	23.5	20.4
44.9	24.9	3.51	0	24.7	31.5	12	23.5	20.1
44.1	24.8	3.37	0	24.3	31.2	12	23.7	19.9
43.6	24.9	2.23	0	24.5	31	11	23.6	20
43.2	25.2	4.04	0	24.4	30.8	11	23.8	20.1
42.8	25.4	1.75	0	24.7	30.7	10	23.8	20.3
42.4	24.9	2.1	0	24.7	30.5	10	23.7	20.3
42.1	25.1	1.99	0	24.5	30.3	10	23.8	20.2
41.7	25.4	2.11	0	24.2	29.9	10	24	20.1
41.4	25.4	1.19	0	24.2	29.8	10	24	20.1
41.1	24.5	.63	0	24.1	29.6	9	23.7	19.9
40.8	23.8	1.63	0	23.9	29.3	8	23.7	19.6
40.5	23.8	1.28	0	23.8	29.1	8	23.4	19.6
40.2	24	1.45	0	23.7	28.9	8	23.1	19.5
39.9	23.9	1.75	0	23.5	28.7	8	23	19.4
39.6	23.7	2.01	0	23.3	28.4	8	22.9	19.2
39.3	23.2	.62	0	23.1	28.2	6	22	18.7
39.1	22.9	.61	0	23.1	28.1	4	22.2	18.7
38.8	22.7	3.15	3	22.9	27.8	2	21.9	18.5
38.5	23.3	2.93	7	22.9	27.7	2	22.1	18.5
38.3	23.2	2.73	17	22.7	27.5	1	21.8	18.4
37.9	23.3	3.05	27	22.9	27.4	1	21.8	18.7
37.7	24	3.11	37	23	27.3	1	22.4	18.9
37.4	24	4.5	52	23.3	27.3	0	22.4	19.2
37.1	23.7	4.87	62	24	27.5	0	21.9	20.1
36.8	25.1	2.33	73	26.2	28.5	0	21.1	22.1
36.5	25.8	4.45	83	27.7	29.9	0	22.5	23.4
36.2	26.5	3.3	100	29	30.6	0	23.3	25.3

2 - Optimisation des paramètres accessibles :

a - compatibilité du simulé et du réel

Les courbes - 19 et 20 - donnent le tracé du rendement total des distillateurs respectivement réel et simulé .

Les deux courbes ont la même allure (générale) , elles ne couvrent pas la même surface .

L'aire de la courbe relative au cas simulé est plus grande que celle du réel , ceci est normal :

les pertes minimisables Q_p (page 36) du distillateur réel influent sur la production de celui ci , leur effet apparait surtout dès que le rayonnement solaire est faible ceci s'explique par le fait que les pertes contribuent au refroidissement de la saumure (celle ci n'étant plus chauffée par l'énergie solaire) .

Finalement , le programme simule bien le fonctionnement du distillateur réel , la simulation est plus efficace avant 23 . 00 heures .

b - Effet du débit sur le rendement

La courbe - 20 - représente le rendement en fonction du temps pour deux débits de saumure différents

premier débit = 1 litre / heure
deuxième débit = 10 litres / heure

On remarque d'abord que les deux courbes sont presque confondues ; le changement n'a lieu que pour la tranche horaire allant du moment du maximum de distillation jusqu'à la fin ; le rendement augmente sensiblement avec le débit .

Il faut remarquer qu'on ne peut pas voir directement l'influence du débit sur le rendement puisqu'il n'intervient théoriquement que pour le calcul de la résistance d'échange thermique par conduction - convection R_{10} -(page 45) .

Le débit traduit la circulation de l'eau à distiller ; ce ruissellement a pour rôle d'élever la température de l'eau à l'entrée du distillateur (grâce au chauffage solaire) .

Cette élévation de température augmente le gradient des températures entre le toit interne et la saumure ce qui accélère l'évaporation et améliore le rendement .

En conclusion , le débit en croissant améliore le rendement du distillateur , son influence apparaît à travers celle de la température initiale de la saumure .

c - Influence de la distance saumure - vitre

La figure - 21 - représente le rendement du distillateur simulé pour deux distances saumure - vitre différentes :

Le rendement est meilleur pour une faible distance saumure-toit .

Théoriquement , le fait d'augmenter la distance saumure - toit tend à accroître les résistances d'évaporation , de condensation et de convection du milieu air vapeur , ce qui contribue à diminuer le rendement et les efficacités interne et globale .

Donc une diminution de cette distance produit une amélioration du rendement .

Pour ce faire , deux possibilités sont envisageables :

1 - La distance moyenne saumure-toit est fonction de l'inclinaison $BETA$ du toit par rapport à l'horizontale ; plus $BETA$ est grand plus la distance saumure-vitre est élevée .

On peut ainsi augmenter le rendement en diminuant BETA ; en réalité on est limité dans ce choix car cette inclinaison doit assurer l'écoulement du condensat vers les gouttières de récupération , et doit aussi permettre au distillateur de recevoir un maximum d'énergie rayonnée .

2 - Un autre moyen de diminuer la distance saumure-vitre consiste à réduire la distance de condensation de l'eau évaporée , ceci se fait en séparant les effets de condensation et d'évaporation de la saumure * 9 * .

d - Variation du rendement en fonction du temps

On constate que la courbe -(fig. 19-20 .)- représentant le rendement du distillateur (réel ou simulé) en fonction du temps possède deux maximums , l'un aux environs de - 14 heures - , l'autre à - 18 heures - .

Chacun des deux maximums correspond au gradient de température le plus élevé ; le premier est dû à l'échauffement du plan noir par le rayonnement solaire ; le second correspond au refroidissement de la vitre externe , l'eau étant toujours chaude (grâce au chauffage solaire) , ce maximum n'est pas observé dans le cas des distillateurs statiques * 8 * .

Le préchauffage de l'eau aura ainsi permis d'avoir un deuxième maximum donc d'élargir la courbe du rendement et par conséquent d'améliorer la production .

De plus le distillateur à ruissellement de saumure produit de l'eau distillée jusqu'à - 6 heures - du matin , alors que la production du statique chute considérablement dès que le rayonnement solaire s'annule .

RD (L/m²/h)

Journée du 11 au 12 juin 1986

Evolution du rendement du distillateur
réel avec le temps

Debit = 10 Litres / Heure

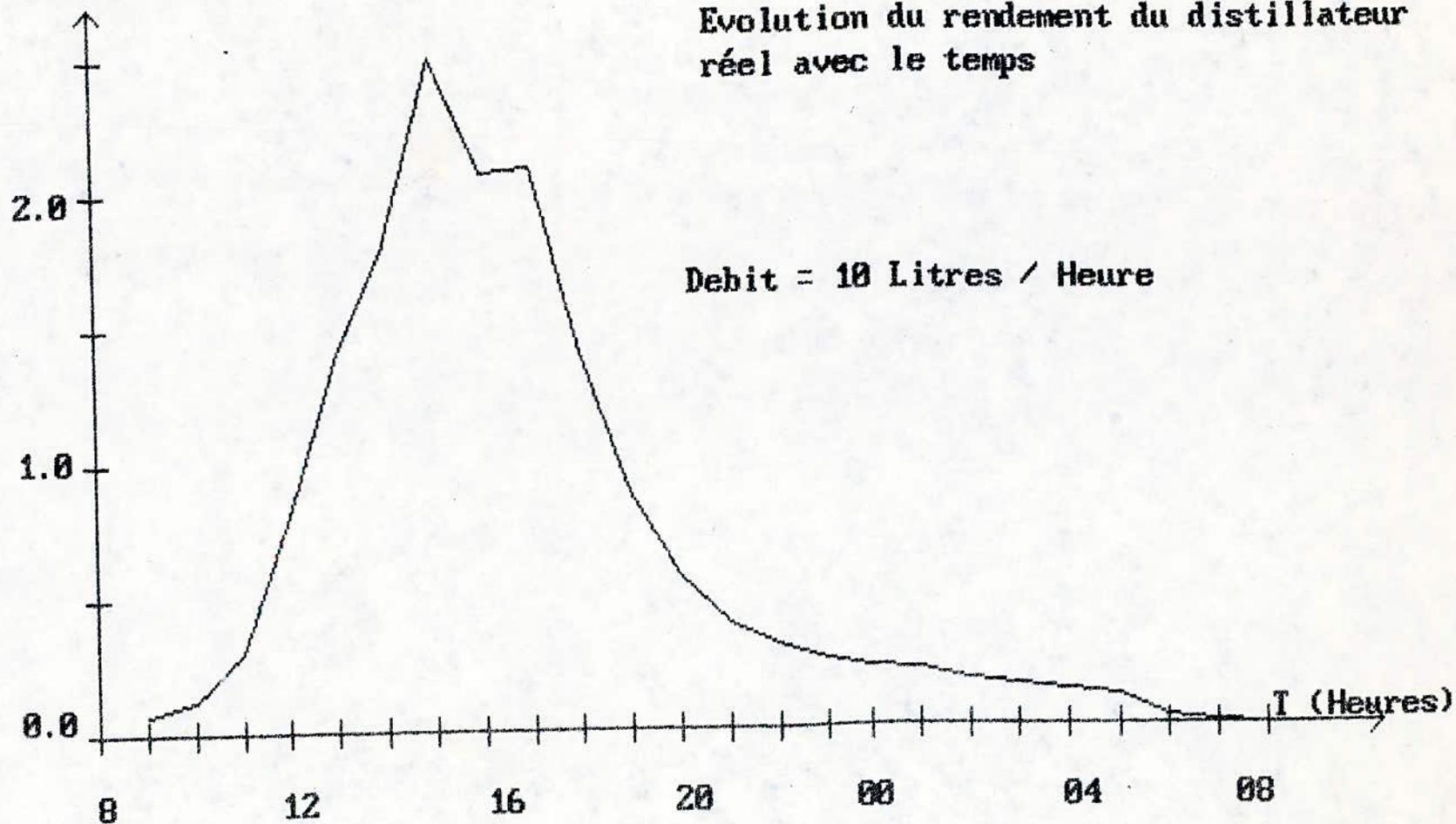


Figure 19

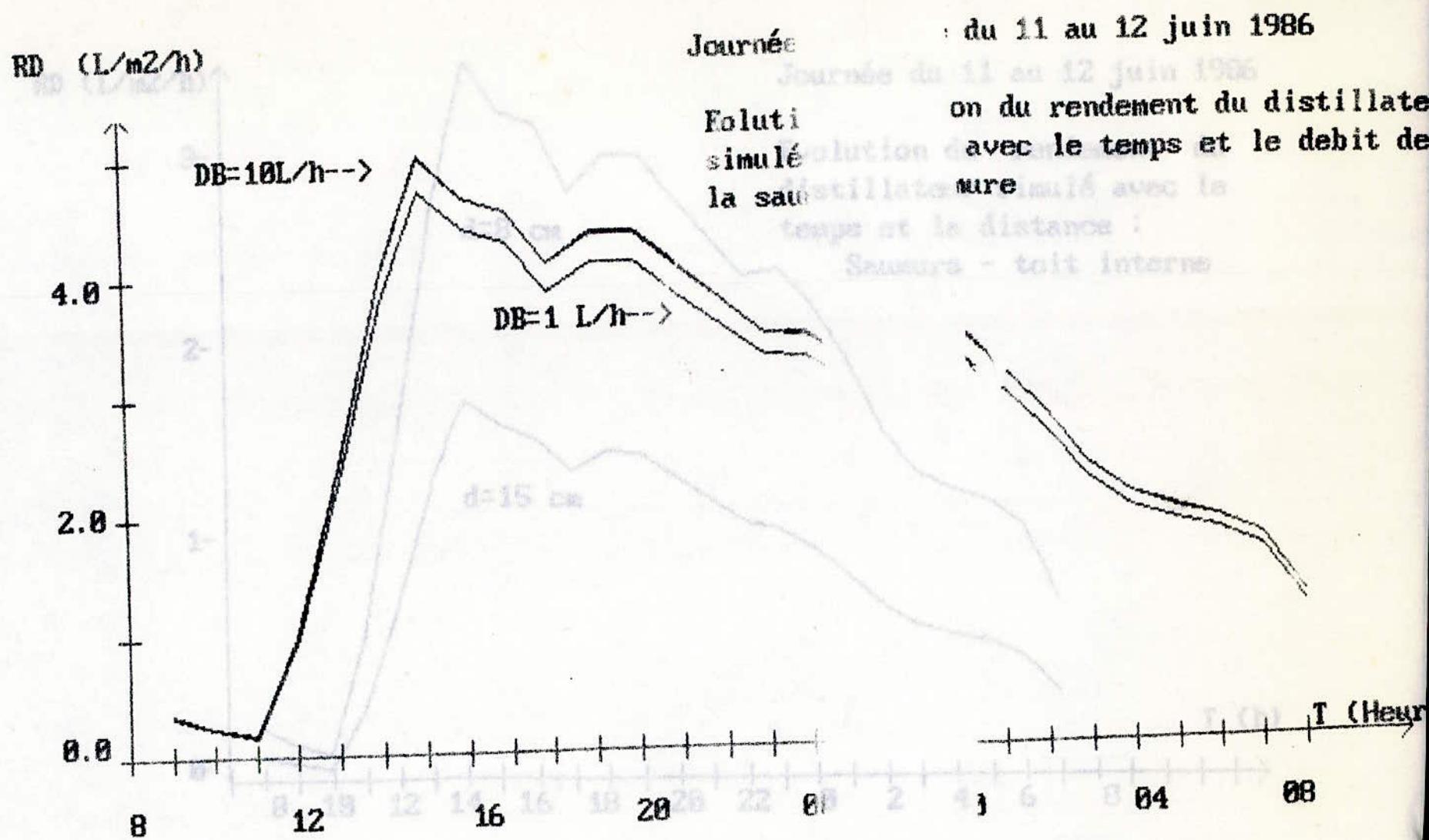


Figure 20

Figure 21

RD (L/m²/h)

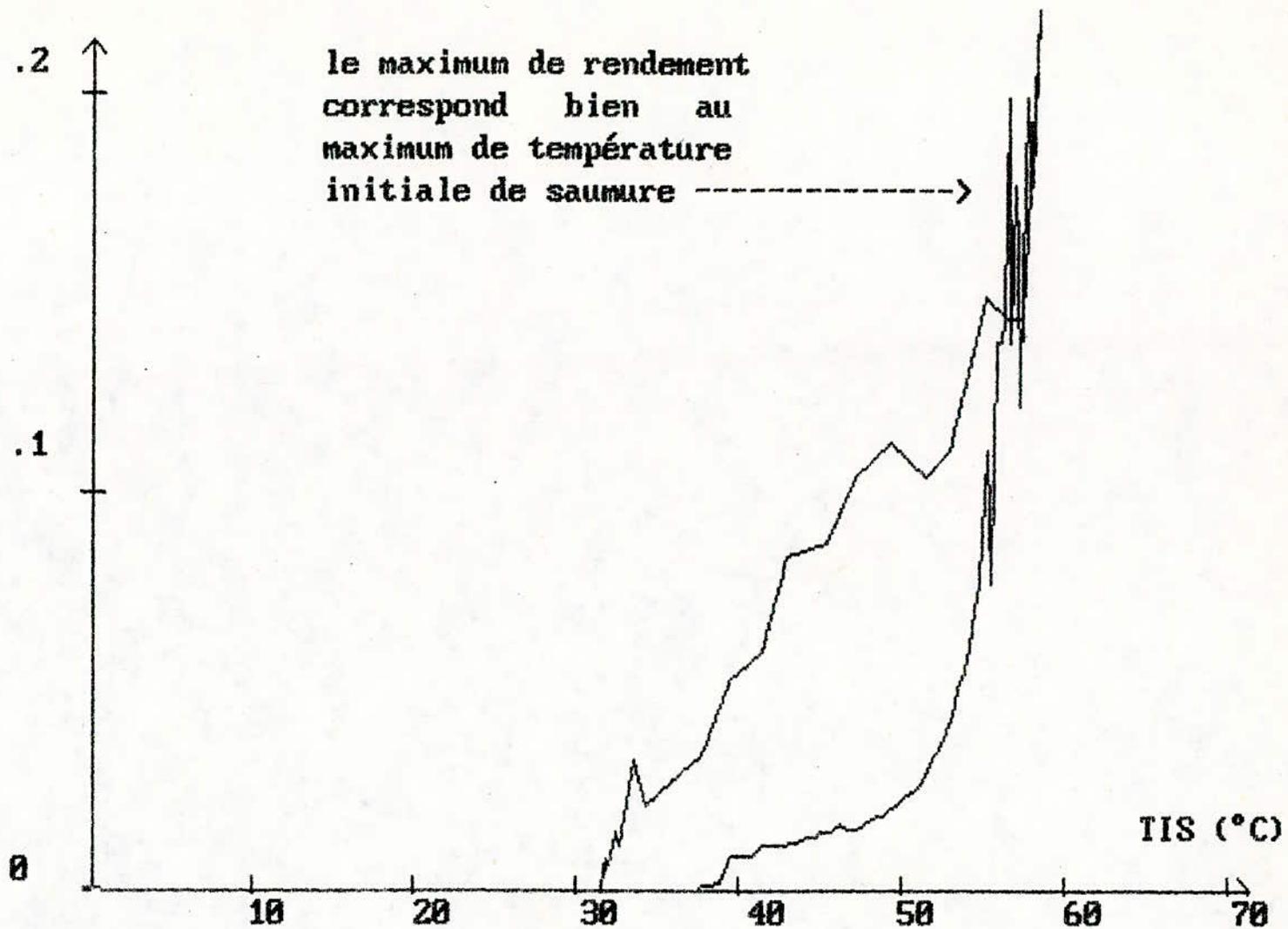


Figure 22

EFFICACITEES ET RENDEMENT

JOURNEE DU 11 AU 12 JUIN 1986

HEURE	EFF INT%	EFF GLO%	REND l/m ²	HEURE	EFF INT%	EFF GLO%	REND g/l
8 Hr	0.26865	0.21492	0.81061	20 Hr	0.00000	0.00000	1.12189
9 Hr	0.17727	0.14182	0.00738	21 Hr	0.00000	0.00000	1.11348
10 Hr	0.14637	0.11710	0.00536	22 Hr	0.00000	0.00000	1.18469
11 Hr	0.56934	0.45547	0.02999	23 Hr	0.00000	0.00000	1.10449
12 Hr	1.17887	0.94246	0.07141	0 Hr	0.00000	0.00000	0.29675
13 Hr	2.36729	1.89383	1.11891	1 Hr	0.00000	0.00000	0.28521
14 Hr	3.49798	2.79838	1.15189	2 Hr	0.00000	0.00000	0.17086
15 Hr	4.19777	3.35822	1.14863	3 Hr	0.00000	0.00000	0.16284
16 Hr	6.04712	4.83769	1.13707	4 Hr	0.00000	0.00000	0.15888
17 Hr	15.41670	12.33336	1.12348	5 Hr	14.37864	11.49651	0.05638
18 Hr	40.89298	35.91439	1.13128	6 Hr	3.57918	2.86328	0.05116
19 Hr	50.02230	42.21780	1.13114	7 Hr	1.40193	1.12154	0.03597

DISTILLATEUR SIMPLE

PERTES DU DISTILLATEUR

JOURNEE DU 11 AU 12 JUIN 1986

E	PERTES EN Joules	HEURE	PERTES EN Joules
8 Hr	1.8518	20 Hr	18.1767
Hr	2.3805	21 Hr	19.4942
Hr	3.6361	22 Hr	20.6101
Hr	6.2769	23 Hr	22.1303
Hr	8.3849	0 Hr	23.3006
Hr	9.8971	1 Hr	24.8434
Hr	11.1481	2 Hr	26.9256
Hr	12.6249	3 Hr	27.0648
Hr	15.2754	4 Hr	29.1853
Hr	16.0017	5 Hr	31.3971
Hr	16.8415	6 Hr	33.6666
Hr	17.6949	7 Hr	35.7596

DISTILLATEUR REEL

L'étude précédente montre qu'on peut optimiser certains paramètres afin d'obtenir un distillateur à rendement amélioré .

Il conviendrait donc :

- De garder le préchauffage de l'eau et son ruissellement .
- D'augmenter le débit de ruissellement de l'eau .
- De séparer les effets de condensation et d'évaporation .

On propose pour ceci le schéma représenté par la figure - 27 - dont la réalisation a été effectuée ; le test n'a pas été fait par manque de circulateur d'eau de refroidissement à faible vitesse sur le marché .

Le distillateur amélioré aura , en plus du distillateur à ruissellement de saumure avec préchauffage de la saumure , un " échangeur " qui permettra de séparer les effets de condensation et d'évaporation .

L'échangeur est constitué d'un tube en verre dont l'une des extrémités est ouverte et reliée au bac à l'intérieur du distillateur , l'autre extrémité (fermée) possède un orifice qui servira à la récupération du distillat ; ce tube est enveloppé par un autre tube afin d'avoir , entre les deux , une circulation d'eau froide dite " de refroidissement " laquelle produira un gradient de température entre la saumure et le tube échangeur ce qui entrainera la condensation de la saumure au niveau de l'échangeur .

Model du distillateur amélioré

1 . Orifices de refroidissement

2 . Orifice de récupération du distillat

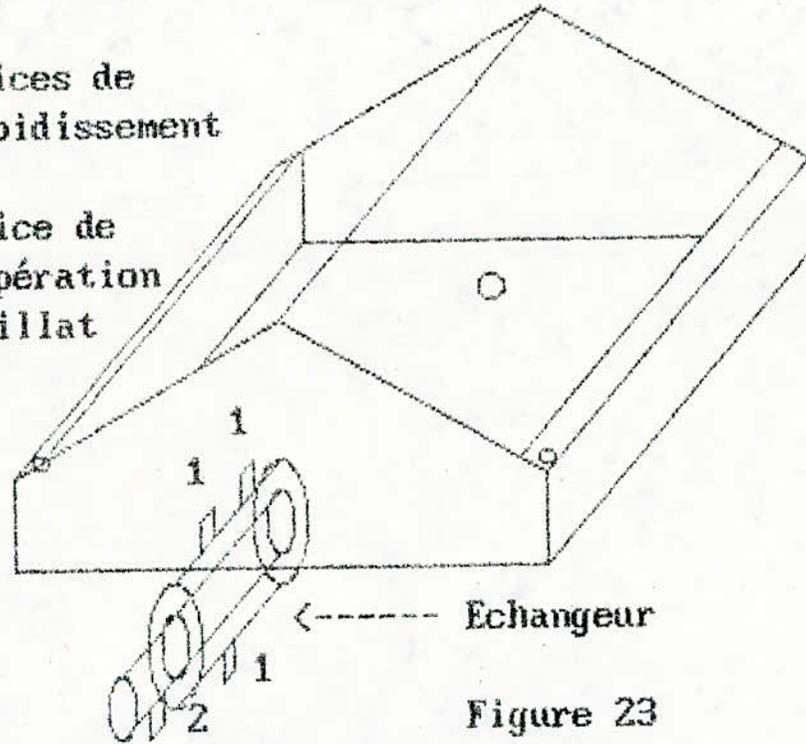


Figure 23

**
**
** A N N E X E S **
**
**

*** Bibliographie ***

1 -----> Cyril GOMELIA

La soif du monde et le dessalement des eaux.....- 1966 -

2 -----> Ndoy BANDA

Modélisation informatique des distillateurs
solaire à effet de serre .

Laboratoire thermodynamique et énergétique . - PERPIGNAN _

3 -----> BAUM et BAIRAMOV

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

Krzhizhanovky power institute ,Moscou - URSS ... - 1963 -

4 -----> BOURNANE , DJITLI et SAULI

Contribution à l'amélioration du rendement
de la distillation solaire .

ENITA - 1980 -

5 -----> Pi COOPER

The transient analyses of glass covered
solar stills .

PhD Thesis University of western Australie - 1970 -

6 -----> BAIRAMOV et RYBAKOVA

heat and mass transfer in models of solar
stills of various .

Geliotechnica - vol 4 - N° 4 - 1968 -

7 -----> Mac ADAMS

transmission de la chaleur

8 -----> OUFFA et BATEL

Simulation d'un distillateur solaire à
effet de serre .

projet de fin d'études - Janvier 1985 -

9 -----> HADDADI et SLAMANI

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

ENITA - 1981 -

Production du réel

```
3030 OPEN "PA-PR-E.DAT" FOR INPUT AS 9
3040 OPEN "EI-EG-R.DAT" FOR OUTPUT AS 1
3050 OPEN "RDM-R.DAT" FOR OUTPUT AS 3
3060 FOR H=1 TO 24 :EIH=0:EGH=0:RDH=0
3070 LOCATE 25,10:PRINT H;
3080 FOR T=1 TO 4
3090 INPUT #9, TIS, TA, VV, EQ, TIT, TNAV, M, TAP, TST
3100 T1=TA+273
3110 T4=TIS+273
3115 VV=VV*.769 'CONVERSION DES VOLTS EN m/s
3120 TIP=TAP+273
3130 T4=TIT+273
3150 T8=T4+1
3160 T10=TNAV+273
3170 T3=TST+273
3175 M=M/1000
3180 L1 =CC*(796.5-(.695*T10))/1000
3190 QE =M*L1
3200 RDD=M/50
3210 REM ##### efficacités instantannées #####
3220 REM #####
3225 IF EQ=0 THEN EII=0:EGI=0:GOTO 3250
3230 EII =QE/(.8*EQ)
3240 EGI =QE/EQ
3250 REM ##### sommes cumuléés pendant 1 -heure #####
3260 REM #####
3270 EIH =EII+EIH
3280 EGH =EGI+EGH
3290 RDH =RDD+RDH
3350 EIJ=EII+EIJ
3360 EGJ=EGI+EGJ
3370 RDJ=RDD+RDJ
3375 NEXT T
3376 PRINT #1, EIH, " ", " ", EGH;
3377 PRINT #3, RDH*10
3380 NEXT H
3390 REM ##### calcul des moyennes journalieres #####
3400 REM #####
3410 EIJ(2)=EIJ/24
3420 EGJ(2)=EGJ/24
3430 RDJ(2)=RDJ:PRINT #3, RDJ:CLOSE:RETURN
```

Production du simulé

```

4100 OPEN "PA-PR-E.DAT" FOR INPUT AS 9
4110 OPEN "EI-EG-S.DAT" FOR OUTPUT AS 1
4120 OPEN "KASSE" FOR OUTPUT AS 7
4125 OPEN "RDH-S.DAT" FOR OUTPUT AS 3
4130 OPEN "RD1-RD2.DAT" FOR OUTPUT AS 4
4150 FOR H=1 TO 24:LOCATE 25,1:PRINT H;
4155 EI=0:EG=0:RDH=0:MAT=0:RD1=0:RD2=0
4160 FOR T=1 TO 4
4170 INPUT #9,T15,TA,UV,EO,TIT,TMAV,H,TAP,TST
4173 UV=UV*.709 'CONVERSION DES VOLTS EN m/s
4180 FOR S=1 TO 2
4190 T1=TA+273
4200 T6=T15+273
4210 T1P=TAP+273
4220 T4=TIT+273
4230 T3=TST+273
4240 T2=.0552*(T1^1.5)
4260 T7=0:T8=T6+1
4270 FOR N=1 TO 4
4280 IF T7=0 THEN GOTO 4320
4290 T6=T67
4300 T8=T89
4310 T4=T45
4320 REM ##### R8 echange theraique par evaporation #####
4330 GR=G/T4*(D(S)/2)^3*ABS((T6-T4))/(VM^2)
4340 PR=CC/CTAV
4350 PEV= 10^(17.43-2795/T6-3.865*LOG(T6)/LOG(10))
4360 PC= 10^(17.43-2795/T4-3.865*LOG(T4)/LOG(10))
4370 IF ( GR*PR ) < 2230000! OR (GR*PR) > 79400000# THEN CLS:LOCATE 10,12:PRINT "CA
4380 NUEV=8900*PEV
4390 R8 =1/(NUEV*CTAV/D(S)/2)
4400 REM ##### R9 echange thermique par condensation #####
4410 NUC =.004365*((GR*PR)^.8)*PC
4420 R9 =1/ NUC*CTAV/D(S)/2)
4430 REM ##### R7 echange par convection saumure-vitre #####
4440 IF GR<2000 * THEN NU=1
4450 IF GR )= 2000 AND GR < 30000 THEN NU=.0507*(GR^.4)
4460 IF GR)30000! AND GR<200000! THEN NU=3.6
4470 IF GR)200000! THEN NU=.0402*(GR^.307)
4480 R7 =1/(NU*CTAV/D(S))
4490 REM ##### R2 echange par rayonnement voute-ciel #####
4500 R2 =1/(SIGMA*EV*(T3 +T2 )*((T3^2)+(T2^2)))
4510 REM ##### R1 par convection vitre-airlieu ambient #####
4520 R1 =1/(5.7+3.8*UV)
4530 REM ##### R3 de conduction a travers la vitre #####
4540 R3 =DC/CTC
4550 REM ##### R6 de conduction a travers la base #####
4560 R6 =EBAC/CTBAC + EI50L/CTI50L + ECP/CTCP

```

Production du simulé (suite)

```

4620 REM ##### R10 conduction a travers la base #####
4630 DELTA=(3*DB*V5/(G*SIN(BETA)))^(1/3)
4640 MEL = DB/(DELTA*LA)*4
4650 REL = MEL*L0/(4*V5)
4660 PR = CC/CT5
4670 NU = .664*(REL^(.5))*(PR^(1/3))
4680 R10 = 1/(NU*CTS/D5)
4690 REM ##### R11 de rayonnement plan noir-vitre #####
4700 F = .5*(1+COS(BETA))
4710 E = SIGM*F/(1/EP+1/EV-1)
4720 R11 =1/ (E*((T8^2)+(T4^2))*(T8+T4 ))
4730 REM *****
4740 REM ***** R4 et R5 resistances auxilliaires *****
4750 REM *****
4760 R01= (T6 -T4 )*R11/(T8 -T4)
4770 R02= (T8 -T6 )*R11/(T8 -T4)
4780 R4 = 1/(1/R7 +1/(R8 +R9 )+1/R01)
4790 R5 = 1/(1/R10+1/R02)
4800 REM *****
4810 REM ***** calcul des temperatures finales *****
4820 REM *****
4830 ***** P0 ==> puissance utile absorbee *****
4840 P0=.8*E0
4850 ***** P2 ==> puissance dissipee par le plan noir et saumure *****
4860 P2 =(R6*P0+T1P-T6)/(R6+R5) : P2=ABS(P2)
4870 ***** P3 ==> puissance absorbee par le melange air-vapeur *****
4880 P3 =(T6*(R1+R2)-R1*T2-R2*T1)/((R3+R4)*(R1+R2)+R1*R2) : P3=ABS(P3)
4890 ***** P1 ==> absorbee par la saumure convertie en chaleur *****
4900 P1=P2-P3 : P1=ABS(P1)
4910 ***** T9 ==> temperature finale du plan noir *****
4920 T9 =(T6*R6+T1P*R5+P0*R5*R6)/(R5+R6)
4930 ***** T5 ==> temperature finale de la face interne du toit *****
4940 T5=T1+(R1/(1+(R1/R2))-R3)*P3-(T1-T2)/(R2*(1+(R1/R2)))
4950 ***** P6 ==> puissance absorbee par le plan noir *****
4960 P6 =(T8-T1P)/R6 : P6=ABS(P6)
4970 ***** P5 ==> puissance absorbee par la saumure *****
4980 P5 =P0-P6 : P5=ABS(P5)
4990 ***** T3 ==> temperature du toit externe *****
5000 T3= T4+R3*P3
5010 ***** T7 ==> temperature finale de la saumure *****
5020 T7 =T6+(P1*P0/(CC*D5*A1))
5030 ***** T10==> temperature du melange air-vapeur *****
5040 T10=.5*(T6+T4)
5060 T67=(T6+T7)/2:
5070 T45=(T4+T5)/2:
5080 T89=(T8+T9)/2:
5090 ***** R00 ==> taux d'eau distillee en Kg/m2 *****
5100 P4 =(1/(R8+R9))*ABS(T67-T45)
5110 L1 =CC*(796.5-(.695*T10))/1000
5120 R00 =P4/L1
5125 IF B$="3" THEN RETURN

```

```
5126 MA=RDD*50/16:MAT=MAT+MA:PRINT #7,MA;
5130 REM ##### efficacités instantannées #####
5140 REM #####
5145 IF EQ=0 THEN EII=0:EGI=0:GOTO 5170
5150 EII =RDD*(51/16)*L1/PO
5160 EGI =RDD*(51/16)*L1/EO
5170 REM ##### sommes cumulées pendant 1 -heure #####
5180 REM #####
5185 IF EQ=0 THEN 5220
5190 EIH =MAT*L1/PO
5200 EGH =MAT*L1/EO
5220 IF S=1 THEN RD1=RD1+RDD
5230 IF S=2 THEN RD2=RD2+RDD
5240 NEXT N
5250 NEXT S
5260 NEXT T
5265 RDH=MAT/50
5270 PRINT #1,EIH;" ";EGH
5280 PRINT #4,RD1;" ";RD2
5290 PRINT #3,RDH
5330 REM ##### calcul des moyennes journalieres #####
5340 REM #####
5350 EIJ=EIH+EIJ
5360 EGJ=EGH+EGJ
5370 RDJ=RDH+RDJ
5375 PRINT #7,"MASSE D'EAU ";MAT;
5380 NEXT H
5384 EIJ(1)=EIJ/24
5386 EGJ(1)=EGJ/24
5388 RDJ(1)=RDJ
5390 PRINT #3,RDJ
5400 CLOSE:RETURN
```

Pertes du simulé

```

00 ..... energie recue par l'unité .....
10 Q =50/16*E0*3600/( CC*4)
20 ..... energie réfléchie par le couvercle .....
30 Q1=Q*REFRAC
40 ..... energie absorbée par la vitre .....
50 Q2=Q*ALPHAC
60 ..... absorbée par convection a travers base .....
70 Q3=51*(T89-T1P)/(R6*CC)/16
80 ..... emportée par le distillat .....
90 Q4=R00*AB5(T45-T1)
00 ..... apportée par condensation .....
10 Q5=R00*(796-0.695*T10)
20 ..... échangée par convec saumure-vitre .....
30 Q6=51*(T67-T45)/(R7*CC)/16
40 ..... par rayonnement interne .....
50 Q7=51*(T67-T45)/(R11*CC)/16
60 ..... pertes en puissances .....
70 Q8=Q-(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7)
75 IF Q8<0 THEN Q8=0
80 PERI=PERI+Q8
90 IF S=1 THEN PER1=PER1+Q8
00 IF S=2 THEN PER2=PER2+Q8
10 NEXT N
20 NEXT S
30 ..... pertes par 1/4 d'heure .....
40 NEXT T
50 PRINT #1,PER1;" ";PER2
50 ..... pertes horaires .....
70 PERH=2*PERI
80 PRINT #2,PERH
90 PERI=0
00 ..... pertes journalieres .....
10 PERJ=PERJ+PERH
20 NEXT H
30 PRINT #2,PERJ
40 CLOSE:RETURN

```