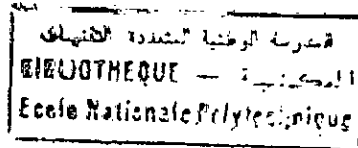


MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**



**THESE**

Présentée par :

M<sup>me</sup> HAMAMI née MITICHE Latifa, Ingénieur E.N.P.

En vue de l'obtention du Diplôme de

**MAGISTER EN ELECTRONIQUE APPLIQUÉE**

**THEME**

Simulation sur ordinateur d'un distillateur  
solaire statique et dynamique  
comparaison avec les modèles  
experimentaux réalisés

Soutenue le : 11 Janvier 1988

Devant le Jury d'Examen :

Président :	M. Aït Ali	Professeur E.N.P.
Rapporteurs :	Y. Flamant	Professeur USTHB
	O. Damerdji	Professeur USTHB
Examineurs :	S.A. Daradji	Chargé de cours E.N.P.
	M. Haddadi	Chargé de cours E.N.P.
	M. Franceschi	Professeur U. Toulon
Invité :	M. Belhamel	Professeur C-E-N

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

THESE



Présentée par :

M<sup>me</sup> HAMAMI née MITICHE Latifa, Ingénieur E.N.P.

En vue de l'obtention du Diplôme de

**MAGISTER EN ELECTRONIQUE APPLIQUÉE**

THEME

Simulation sur ordinateur d'un distillateur  
solaire statique et dynamique  
comparaison avec les modèles  
experimentaux réalisés

Soutenue le : 11 Janvier 1988

Devant le Jury d'Examen :

President :	M. Aït Ali	Professeur	E.N.P.
Rapporteurs :	Y. Flamant	Professeur	USTHB
	O. Damerdji	Professeur	USTHB
Examineurs :	S.A. Daradji	Chargé de cours	E.N.P.
	M. Haddadi	Chargé de cours	E.N.P.
	M. Franceschi	Professeur	U. Toulon
Invité :	M. Belhamel	Professeur	C-E-N

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

A la mémoire de mon frère Mohamed

A mon mari et mes enfants

A mes parents

## REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Ce travail a été réalisé au Laboratoire d'Energie Solaire de l'Ecole Nationale Polytechnique grâce à la collaboration du Directeur de la Station Solaire de l'USTHB ainsi que de celui de la Station Solaire de Bouzaréah.

Je remercie vivement Monsieur A. Chekima Directeur de la post-graduation d'Electronique Appliquée pour les efforts consentis à cette post-graduation.

Mes sincères remerciements vont à Monsieur M.Ait-Ali Directeur de l'Ecole Nationale Polytechnique, Professeur et Président du Conseil Scientifique de l'Ecole, pour s'être intéressé à ce travail et pour avoir accepté la présidence de notre jury.

Que Monsieur Y. Flamant, Professeur à l'USTHB veuille bien trouver là l'expression de ma profonde gratitude pour m'avoir guidé et éclairé durant l'élaboration de ce travail.

Ma profonde reconnaissance va également à Monsieur O. Damerdji, Professeur à l'USTHB et Directeur de la Station solaire de bab-Ezouar, pour m'avoir proposé ce sujet, pour ses encouragements incessants ainsi que pour l'aide matérielle qu'il m'a apporté.

Que Monsieur M. Haddadi, Chargé de Cours au département d'Electronique de l'Ecole Nationale Polytechnique, trouve ici ma profonde reconnaissance pour s'être intéressé à ce travail et pour avoir accepté de participer à notre jury.

Mes remerciements vont également à Monsieur S.A Daradji, chargé de cours au département d'Electrotechnique et Responsable du Laboratoire Energie Solaire, pour sa précieuse collaboration quant à la réalisation de mes modèles au sein de son laboratoire.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur Belhamel, Directeur de la Station Solaire de Bouzaréah, ainsi qu'à Messieurs Besaad, Rahli et Saadi - respectivement Responsables des départements Météo, chauffe eau solaire et distillation solaire - pour l'importante aide matérielle qu'ils n'ont cessé de nous fournir, pour l'intérêt constant qu'ils ont porté à ce travail et pour la participation au jury d'examination.

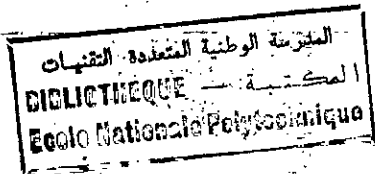
Je tiens aussi à remercier Monsieur M. Franceschi - Professeur à l'Université Lagarde de Toulon et Responsable du Laboratoire Automatique et Informatique Appliquée - pour m'avoir accueilli dans son laboratoire, pour l'intérêt porté à ce travail ainsi que ses fructueuses discussions et précieux conseils.

Mes vifs remerciements vont également à mon mari, Chef du département Péri Informatique à l'ENSI, pour son soutien moral et les précieux conseils qu'il n'a cessé de me fournir tout au long de l'élaboration de ce travail.

Enfin, je remercie Monsieur M. Bouguera pour l'aide qu'il m'a fournie quant à la frappe de cette thèse.

P L A N

INTRODUCTION GENERALE	1
<b>CH. I - ETUDE THEORIQUE DES DISTILLATEURS</b>	
HISTORIQUE	
I-1. NOTIONS PHYSIQUES INTERVENANT DANS LA DISTILLATION SOLAIRE.	
I-1.1. Rappel du principe de l'effet serre .....	5
I-1.2. La distillation .....	8
I-1.3. Energie minimale théorique de dessalement dans le cas de la distillation.....	11
I-2. CARACTERISTIQUES DES DISTILLATEURS SOLAIRES A EFFET DE SERRE	
I-2.1. Rendement de production d'eau .....	12
I-2.2. Rendement d'absorption .....	13
I-2.3. Efficacité d'évaporation .....	14
I-2.4. Efficacité de distillation .....	15
I-2.5. Performance .....	16
I-3. ETUDE DES PARAMETRES QUI INFLUENCENT LA PRODUCTION DU DISTILLATEUR	
I-3.1. Paramètres de construction .....	17
I-3.1.1. Le toit .....	17
a - Nature du toit .....	17
b - Inclinaison du toit .....	18
c - Surface du toit .....	19
I-3.1.2. Plan noir .....	19
a - Nature du plan noir .....	19
b - Inclinaison du plan noir .....	20
I-3.1.3. Distance entre surface d'évaporation et surface de condensation .....	20
I-3.1.4. Epaisseur de la saumure .....	22



I-3.2. Paramètres météorologiques .....	22
I-3.3. Paramètres fonction de la saumure .....	23
I-3.3.1. Concentration en sels de la saumure	
I-3.3.2. Effet du préchauffage de la saumure pour un distillateur à ruissellement.	

## CH. II - ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES

### INTRODUCTION

#### II-1. DESCRIPTION DES MODELES DE DISTILLATEUR SOLAIRES ETUDIES

II-1.1. Description du modèle physique .....	25
II-1.2. Installation du distillateur statique .....	27
II-1.3. Installation du distillateur dynamique .....	28

#### II-2. DESCRIPTION DE LA CHAINE D'ACQUISITION

II-2.1. Centrale de mesure <del>de mesure</del> <del>de mesure</del> .....	28
II-2.2. Disposition des capteurs .....	31
II-2.3. Caractéristiques des capteurs utilisés .....	32
II-2.4. Présentation des données .....	37

#### II-3. DESCRIPTION DE LA CHAINE DE TRAITEMENT

II-3.1. Lecture des données .....	38
II-3.2. Calculateur .....	39

#### II-4. SCHEMA GLOBAL DE LA CHAINE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT .....

39

## CH. III - MODELISATION ET SIMULATION DES DISTILLATEURS SOLAIRES

### INTRODUCTION

III-1. MODELISATION ENERGETIQUE DU DISTILLATEUR .....	40
III-1.1. Description des transferts thermiques .....	40

III-1.2. Etablissement du bilan thermique .....	42
III-1.2.1. Energie reçue par le distillateur .....	42
III-1.2.2. Energie réfléchiée par le couvercle .....	43
III-1.2.3. Pertes par convection à la base du distillateur .....	43
III-1.2.4. Chaleur emportée par le distillat .....	43
III-1.2.5. Chaleur cédée par la couverture par rayonnement et convection .....	44
III-1.2.6. Autres pertes .....	46
III-1.3. Equation générale du bilan thermique .....	46
III-1.4. Calcul des différents termes énergétiques et évaluation des pertes .....	47
 III-2. MODELE ELECTRIQUE EQUIVALENT DU DISTILLATEUR A EFFET DE SERRE	
III-2.1. Justification du modèle électrique équivalent .	47
III-2.2. Description du modèle électrique équivalent ...	48
III-2.3. Expressions des différents paramètres calculés.	48
III-2.3.1. Expression des coefficients d'échange	
III-2.3.1.1. Echange thermique par conduction- convection entre saumure et plan noir.	53
a - Cas du distillateur à saumure statique	
b - Cas du distillateur à ruissellement de saumure	
III-2.3.1.2. Echange par rayonnement entre plan noir et vitre .....	55
III-2.3.1.3. Echange par convection entre saumure et vitre de condensation .....	56
III-2.3.1.4. Echange par évaporation condensation entre saumure et vitre de condensation	59
a - Cas du distillateur à saumure statique	
b - Cas du distillateur à ruissellement de saumure	
III-2.3.1.5. Echange par convection forcée entre la vitre et l'air extérieur .....	62
III-2.3.1.6. Echange par rayonnement entre la vitre et le ciel .....	62
III-2.3.1.7. Echange par conduction .....	63
a - A travers la surface inférieure du distillateur	
b - A travers la vitre.	



III-2.3.1.8. Résistances équivalentes .....	64
III-2.3.2. Calcul des différentes puissances .....	65
III-2.3.2.1. Puissance utile absorbée	
III-2.3.2.2. Puissance dissipée dans le plan noir et la saumure	
III-2.3.2.3. Puissance absorbée par la vitre et le condensat	
III-2.3.2.4. Puissance absorbée par la saumure et convertie en chaleur	
III-2.3.2.5. Puissance absorbée par le mélange air-vapeur	
III-2.3.2.6. Puissance absorbée par le plan noir	
III-2.3.2.7. Puissance absorbée par la saumure	
III-2.3.3. Calcul des températures finales .....	67
III-2.3.3.1. Température finale du plan noir	
III-2.3.3.2. Température finale de la face interne de la vitre	
III-2.3.3.3. Température de la face externe de la vitre	
III-2.3.3.4. Température finale de la saumure	
III-2.3.3.5. Température finale du mélange air-vapeur	
III-2.3.3.6. Calcul du taux de production.	
III-3. METHODOLOGIE DE LA SIMULATION .....	68
III-3.1. Cas du distillateur à saumure statique .....	70
III-3.2. Cas du distillateur à ruissellement de saumure	74
III-4. STRUCTURE DES PROGRAMMES	
III-4.1. Organisation générale de la gestion et de calcul .....	77
III-4.2. Structure interne et représentation .....	82
III-4.2.1. Cas du distillateur statique .....	82
III-4.2.2. Cas du distillateur dynamique .....	88

**CH. IV - RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

IV-1. INTRODUCTION .....	95
IV-2. VALIDITE DES RESULTATS .....	96
IV-3. INFLUENCE DE QUELQUES PARAMETRES PHYSIQUES IMPORTANTS SUR LA VARIATION DE L'EFFICACITE MOYENNE ET DU RENDEMENT DE PRODUCTION.	
IV-3.1. INFLUENCE DE L'ANGLE D'INCLINAISON DE LA VITRE .....	102
IV-3.2. INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR INITIALE A DISTILLER .....	105
IV-3.3. INFLUENCE DU DÉBIT D'ENTRÉE DE LA SAUMURE A DISTILLER .....	108
IV-4. INFLUENCE DE QUELQUES PARAMETRES METEOROLOGIQUES	
IV-4.1. INFLUENCE DE LA PUISSANCE SOLAIRE INCIDENTE ...	111
IV-4.2. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE LA SAUMURE A DISTILLER .....	113
V - COMPARAISON DU RENDEMENT DE PRODUCTION POUR LES DEUX DISTILLATEURS REELS STATIQUE ET DYNAMIQUE .....	121
VI - PROPOSITION D'UN MODE DE FONCTIONNEMENT JOURNALIER AMELIORE .....	124
CONCLUSION .....	126
CONCLUSION GENERALE .....	128
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

## INTRODUCTION GENERALE

A notre époque, les problèmes d'approvisionnement en eau ne concernent plus seulement les régions arides mais aussi les pays assez abondamment arrosés : La demande d'eau douce croît au rythme de 4 % par an environ tandis que les ressources naturelles restent invariables. Il y a donc un déséquilibre croissant entre les besoins en eau et les ressources.

La consommation moyenne globale en 1982 était de (16) :

2.500 m<sup>3</sup> par an et par habitant aux U.S.A

620 m<sup>3</sup> par an et par habitant en France

10 à 20 m<sup>3</sup> par an et par habitant pour les pays en voie de développement.

La part utilisée pour les besoins urbains dans chacun de ces pays ne dépasse pas les 20 %, le reste étant réparti entre les besoins agricoles et industriels.

En Algérie, la progression des besoins en eau douce est très rapide surtout dans les régions sahariennes qui occupent une assez grande superficie (2 millions de Km<sup>2</sup>) et où les eaux saumâtres sont les seules sources disponibles.

La quantité d'eau existant à la surface du globe terrestre est supérieure à 1 Milliard de Km<sup>3</sup>, tandis que la consommation mondiale dépasse à peine 1.000 Km<sup>3</sup> par an. Une telle différence paraît à première vue tout à fait rassurante mais plus de 97 % de l'eau du globe se trouve dans les océans (16) et ne sont pas directement utilisables (Fig. 1).

Dans ces conditions, et pour pallier en grande partie au manque d'eau, il était logique de songer à rendre utilisables ces immenses réserves d'où le développement rapide des techniques de dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer intarissable.

Une telle opération équivalente à une transformation thermodynamique requiert évidemment une source d'énergie, et celle du soleil, inépuisable, convient mieux à notre pays privilégié en ensoleillement (3.000 h/an). Les techniques de dessalement

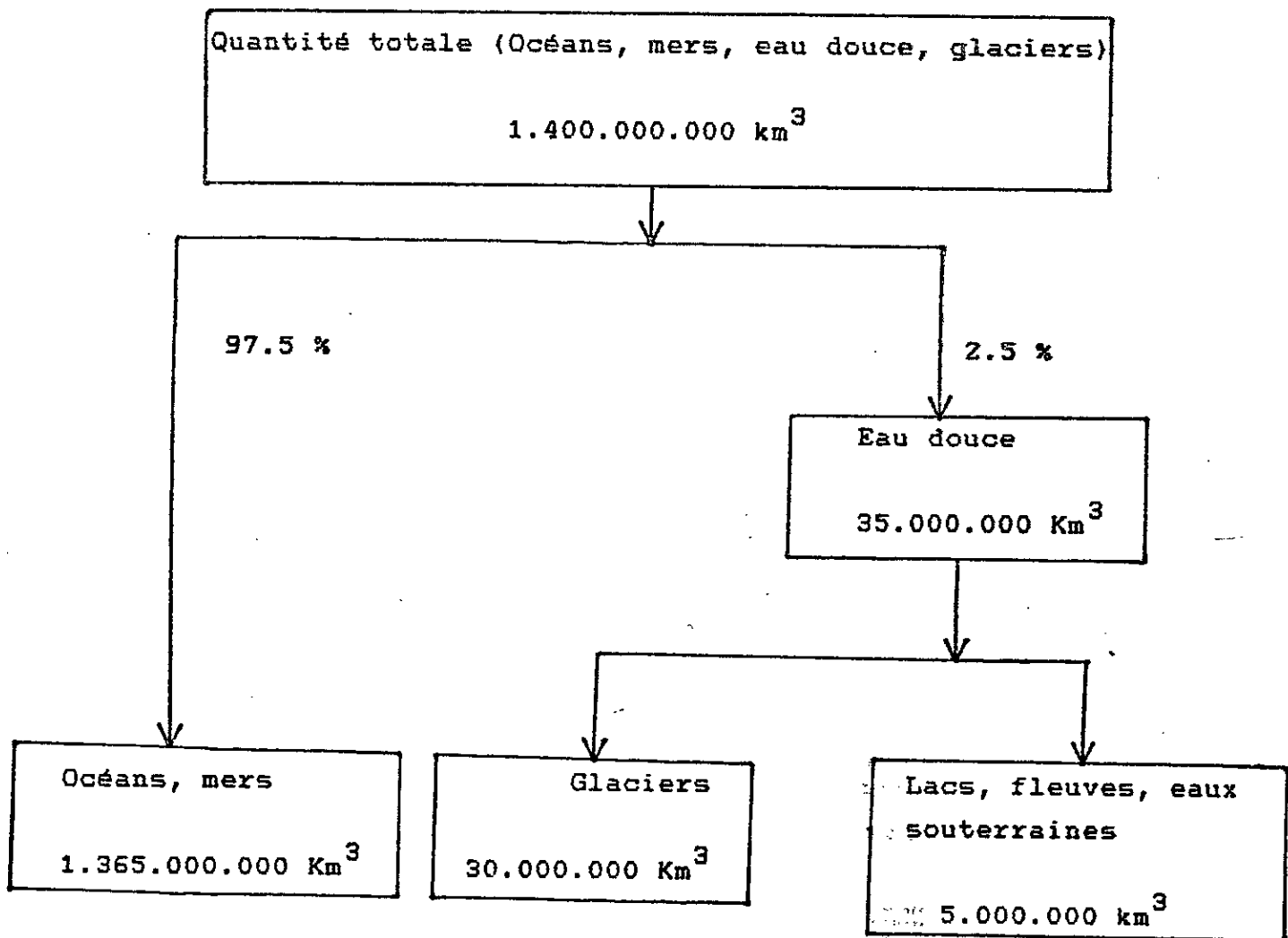


Fig. 1 : L'eau dans le monde.

reconnues utilisables peuvent être classées en trois catégories, selon le principe appliqué :

- Procédés agissant sur les liaisons chimiques : échange d'ions,
- Procédés utilisant des membranes : l'électrodialyse et l'osmose inverse,
- Procédés faisant intervenir un changement de phase :  
la congélation et la distillation.

Ce dernier procédé, la distillation, pouvant être utilisé pour de fortes concentrations en sel, fera l'objet de notre étude.

On peut dessaler par distillation, soit par apport d'énergie "traditionnelle" (fossile, électrique, ...) soit par apport d'énergie solaire.

Si on utilise l'énergie solaire, il faut transformer l'énergie rayonnante en énergie thermique, électrique ou mécanique.

- La transformation en énergie mécanique directement est pratiquement inconcevable en ce moment, la pression de radiations sur une surface absorbante n'étant que de  $5 \cdot 10^{-5}$  baryes et de  $10^{-4}$  baryes sur une surface parfaitement réfléchissante.

- La transformation en énergie électrique est courante et dépend du coût des photopiles qui est actuellement encore élevé.

- La transformation en énergie thermique est le procédé le plus connu et est pratiquée :

- Dans les distillateurs à effet de serre.
- Dans les chauffe-eau solaires à effet de serre.

Cette dernière transformation, de l'énergie rayonnante en énergie thermique, est celle retenue pour notre étude.

En Algérie, plusieurs distillateurs ont été réalisés et installés dans différentes régions pour différentes utilisations, mais l'optimisation de ces distillateurs reste encore un problème

partiellement résolu de manière expérimentale.

De ce fait, nous nous sommes proposé d'étudier un type de distillateur existant à la station solaire de Bab Ezzouar (affiliée à l'Institut de Chimie), d'optimiser son efficacité en agissant sur différents paramètres et donc d'augmenter sa production d'eau. Ceci nous a aussi amené à concevoir deux autres variantes de ce distillateur.

Pour cela, il s'est avéré nécessaire de mettre en place une chaîne d'acquisition de données et d'utiliser l'ordinateur comme moyen de traitement de ces données.

N'DOY, dans son étude de modélisation de distillateurs solaires (6) a retenu deux concepts : Celui d'efficacité de distillation lui permettant d'interpréter, avec la connaissance des températures des surfaces d'évaporation et de condensation, le comportement de l'efficacité interne du distillateur ; et celui de similitude qui engendre une classification des distillateurs.

Ainsi, nous avons réalisé pour chaque type de distillateur étudié un modèle informatique simulant son comportement ainsi que son modèle expérimental. Pour chacun de ces modèles nous avons calculé l'efficacité de distillation et le rendement de production permettant ainsi la comparaison entre le modèle théorique et expérimental. Cette première phase nous aidera à améliorer le modèle expérimental du type de distillateur étudié en agissant par programme sur chacun des paramètres accessibles.

La deuxième phase consistera à comparer les différents types de distillateurs pour en retenir celui offrant le meilleur rendement.

La première partie de cette étude traitera de la théorie des distillateurs qui donnera :

- Les notions physiques intervenant dans la distillation.
- Les caractéristiques du distillateur solaire à effet de serre.
- Les paramètres qui influencent la production du distillateur.

CHAPITRE I

UNIVERSITÉ DE BRUXELLES  
FACULTÉ DES SCIENCES

ETUDE THEORIQUE DES DISTILLATEURS

## HISTORIQUE :

De même que la nature réalise les pluies de convection, dans un distillateur solaire à effet de serre, chauffage et évaporation puis condensation de l'eau se produisent plus ou moins séparément. La simplicité de ce principe explique que déjà en 1872 un distillateur solaire à effet de serre fonctionnait au Chili. Dès lors, des variantes de ce distillateur ont été réalisées dans le but de limiter les pertes thermiques inutiles.

Pendant ces dernières années, de nombreux chercheurs ont fait l'inventaire des paramètres physiques et météorologiques qui, pour chacun de ces distillateurs, déterminent la capacité de production d'eau douce. Ainsi LÖF (1), BAUM et BAIRAMOV (2) et plus récemment COOPER (3) et ACHILOV (10), ont largement contribué à préciser le rôle de chacun des nombreux phénomènes complexes de transfert d'énergie qui régissent la distillation solaire.

De nos jours, la distillation solaire est une des principales filières solaires de dessalement d'eaux salines. En 1982, la capacité totale des unités de dessalement d'eau de mer était d'environ 6 millions de m<sup>3</sup>/jour ; 98 % de cette capacité est réalisée par distillation (17), la plus grande partie de cette distillation utilise l'énergie fossile.

### I-1. NOTIONS PHYSIQUES INTERVENANT DANS LA DISTILLATION SOLAIRE

#### I-1.1. Rappel du principe de l'effet de serre

L'effet de serre découle des principes des lois de la thermique (19).



### I-1.1.1. Corps noir :

La matière émet ou absorbe de la lumière suivant deux lois fondamentales :

#### a - Loi d'émission :

Plus un corps est chaud plus la lumière qu'il émet est de courte longueur d'onde (Fig. 2).

#### b - Loi d'absorption :

Un corps absorbe la lumière dans les mêmes proportions qu'il l'émet : s'il émet dans le visible, il absorbe le visible ; s'il émet dans l'infrarouge, il absorbe l'infrarouge.

On appelle corps noir toute matière qui absorberait de façon idéale la totalité de la lumière qu'il reçoit. Donc, d'après la loi d'absorption, un corps noir émet très facilement et la zone de lumière émise ne dépend que de la température à laquelle il est porté. Le soleil, le charbon de bois, la peinture noire peuvent tous trois être considérés comme des corps noirs. Le corps noir absorbant tout le rayonnement, nous le choisissons pour capter la lumière solaire.

### I-1.1.2. Effet de Serre :

Certains matériaux comme le polyéthylène ou le polypropylène laissent passer une gamme étendue de longueurs d'onde, alors que le verre est transparent seulement au visible et au proche infrarouge (Figs. 3 et 4).

Entourons un corps noir d'une cage en verre. Le soleil émet dans le visible et cette lumière traversant le verre chauffe le corps noir et le porte à une température de 30° à 100 °C environ. Ce corps noir faiblement chauffé va donc émettre dans l'infrarouge 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 serre.

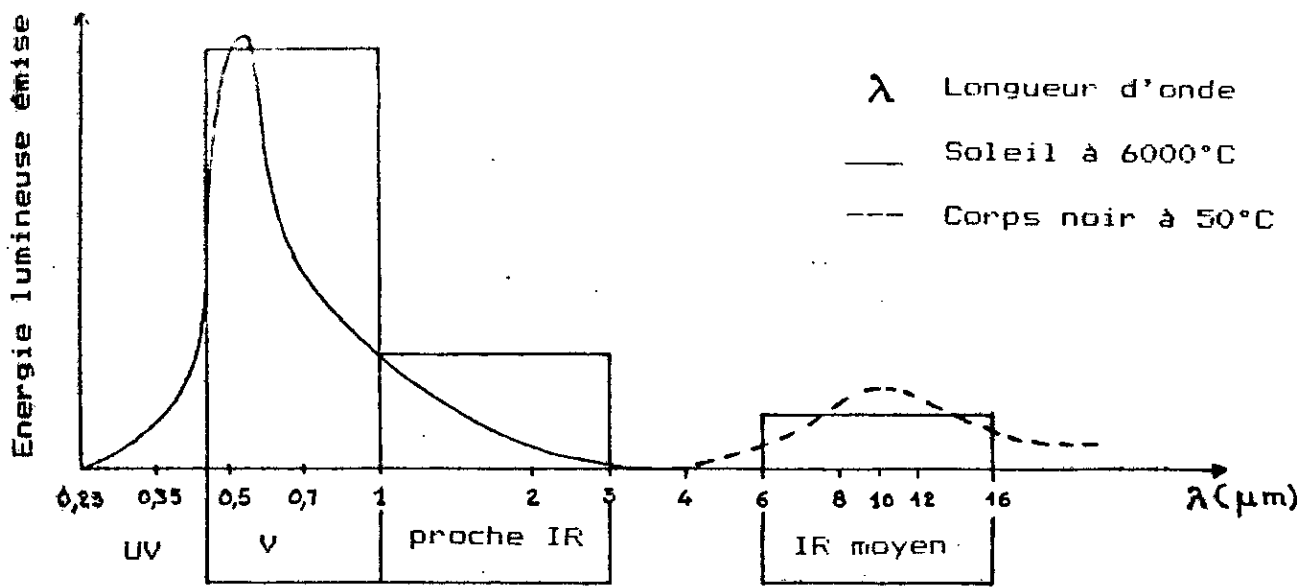


Fig.2 : Energies lumineuses émises par le soleil et le corps noir.

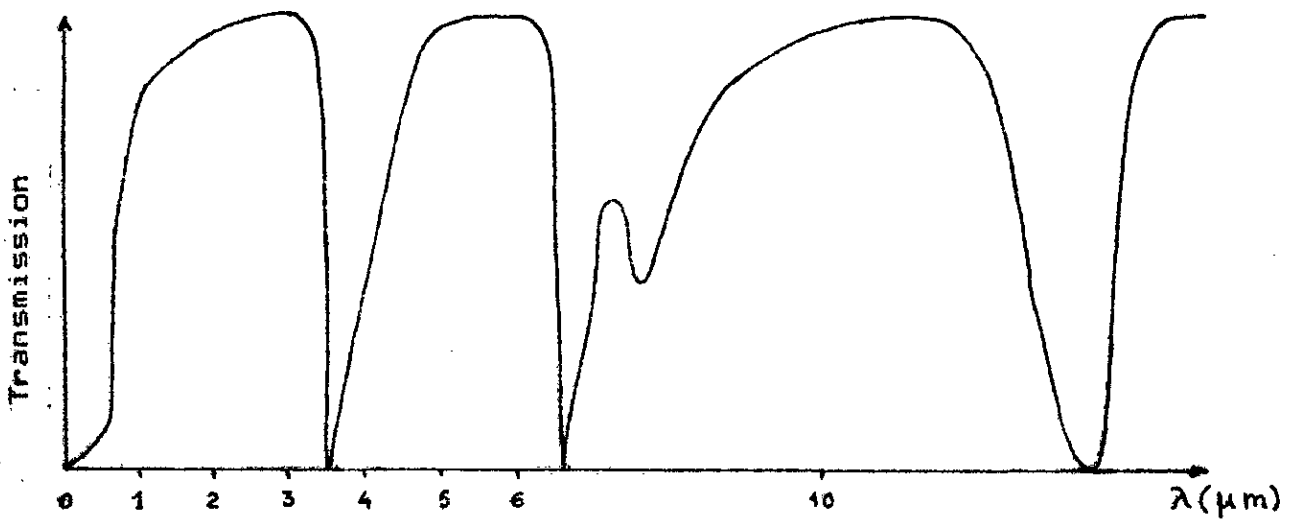


Fig.3 : Transmission dans le polyéthylène.

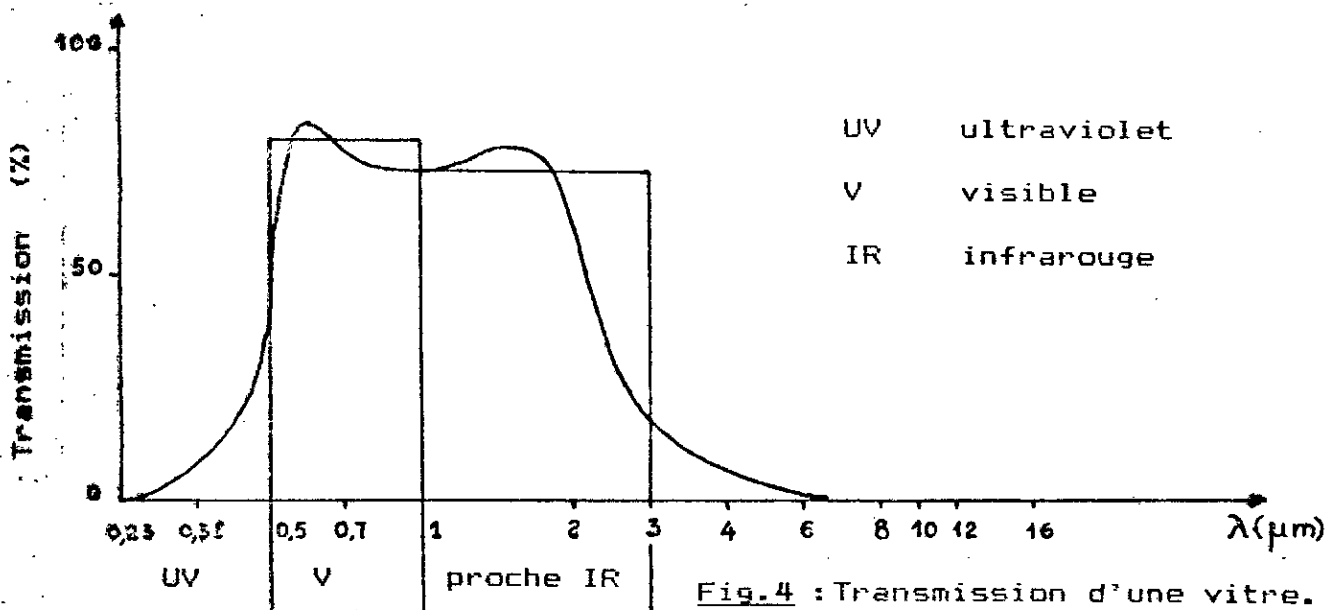


Fig.4 : Transmission d'une vitre.

### I-1.2. La distillation :

Etudier la distillation, revient à étudier les lois régissant la vaporisation et la condensation.

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 en faisant une analogie avec la transmission de chaleur. La chaleur est transmise dans une direction où le gradient de température existant va en diminuant. La masse est transférée dans une direction où le gradient de concentration va en diminuant.

La transmission de chaleur cesse lorsqu'il n'y a pas de différence de température, de même que le transfert de masse cesse lorsque le gradient de concentration tend vers zéro.

Le mécanisme de transfert de masse, de même que celui de la transmission de chaleur, dépend en grande partie des lois de la dynamique des phases liquides. La masse peut être transférée non seulement par un mouvement moléculaire aléatoire dans un fluide au repos ou en écoulement laminaire, mais également par des courants tourbillonnants dans des fluides en écoulement turbulent.

Le premier cas est analogue à la transmission de chaleur par conduction, le dernier à la transmission de chaleur par convection.

Le processus comporte deux opérations :

- Vaporisation
- Condensation.

On doit considérer simultanément la transmission de chaleur et le transfert de masse.

Ces deux phénomènes sont en fait l'humidification et la déshumidification de l'air.

Lorsque l'air est humidifié par contact avec l'eau liquide, la chaleur latente de vaporisation de l'eau (qui est vaporisée) doit être fournie par le liquide. Inversement, lors de la condensation la chaleur doit être évacuée (par contact sur le toit dont la température est relativement froide).

Vaporisation (Humidification de l'air).

Considérons une surface plane d'eau à la température  $T_e$ , au voisinage de laquelle circule un écoulement d'air dont la concentration est  $C_o$ , la pression partielle  $P_{vo}$  et la température  $T_o$ . Au contact de la surface de l'eau, la concentration en vapeur  $C_o$  correspond à l'état de saturation à la température  $T_e$ . Il se produit simultanément un transfert de chaleur appelé "transfert de chaleur sensible" dû à l'écart de température entre l'eau et l'air et un transfert de masse dû au gradient de pression de vapeur dans l'air. Ce transfert de masse s'accompagne d'un transfert de chaleur appelé "transfert de chaleur latente" puisque la vaporisation de 1 Kg d'eau nécessite  $L_v(T_e)$  en (KJ),  $L_v(T_e)$  étant la chaleur latente de vaporisation à la température  $T_e$ .

Pour caractériser ces échanges on introduit des coefficients de transfert définis par les relations suivantes :

Transfert de chaleur sensible :

$$dQ_c = h (T_e - T_o) dS$$

$h$  : coefficient d'échange de chaleur sensible ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$dQ_c$  : Puissance échangée.

$dS$  : Distance d'échange.

Transfert de masse :

$$\dot{d}m = h_{cc} (C_e - C_o) dS$$

$\dot{d}m$  : débit d'eau évaporée de la surface liquide (Kg/s)

$h_{cc}$  : coefficient de transfert de masse relatif à la concentration ( m/s)

$C_e, C_o$  : concentrations en vapeur d'eau (Kg/m<sup>3</sup>)

La concentration C est liée à la pression partielle par la relation suivante :

$$C = \frac{P_v}{R_v \cdot T}$$

d'où

$$\dot{d}m = \frac{h_{cc}}{R_v \cdot T} (P_{sat}(T_e) - P_{vo}) dS$$

Ce transfert de masse s'accompagne du transfert de chaleur latente de vaporisation  $dQ_e$ .

$$dQ_e = L_v(T_e) \dot{d}m = L_v(T_e) \cdot (h_{cc}/R_v \cdot T) (P_{sat}(T_e) - P_{vo}) dS$$

La puissance totale échangée entre l'air et l'eau :

$$dQ_T = dQ_c + dQ_e$$

$$dQ_T = (h(T_e - T_o) + L_v(T_e) (h_{cc}/R_v \cdot T) (P_{sat}(T_e) - P_{vo})) dS.$$

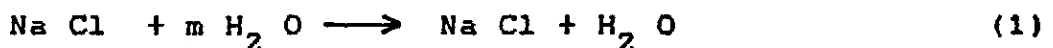
Condensation: (deshumidification)

Une vapeur est en équilibre avec sa phase liquide si sa pression et sa température correspondent aux conditions de saturation,  $P_{sat}$  et  $T_{sat}$ . Si une vapeur à l'état  $(P_v, T)$  vient en contact avec une paroi dont la température est inférieure à celle de saturation correspondant à  $P_v$ , une certaine masse de liquide se dépose sur la paroi froide. Le changement de phase (condensation) s'accompagne de la libération d'une certaine quantité de chaleur qui n'est autre que la chaleur latente de condensation à la température  $T_p$  de la paroi froide.

I-1.3. Energie minimale théorique de dessalement dans le cas de la distillation :

En ce qui concerne la distillation, il existe une énergie minimale de dessalement théorique fonction de la concentration en sels de la saumure initiale, de la température d'évaporation, de la pression atmosphérique et du volume de l'enceinte de distillation.

On peut considérer que le dessalement correspond aux deux équilibres suivants :



où :

$n_s$  = nbre de moles de sels dissous dans la solution saline initiale

$n_l$  = nbre de moles d'eau présentes dans la solution saline initiale calculable connaissant la concentration, le volume et la densité de la solution saline initiale.

$x$  = nbre de moles d'eau à l'état gazeux (vapeur) produites.

L'énergie de desalement  $E$  est égale à la différence d'Enthalpie libre  $\Delta G$  de l'équilibre (2) :

$$E = \Delta G = x \mu_g - (n_l - x) \mu_l$$

$\mu_g$  = potentiel chimique de l'eau (gaz) mélangée à l'air.

$\mu_l$  = " " du solvant  $H_2O$  en phase liquide dans la solution eau-sel.

## I-2. CARACTERISTIQUES DES DISTILLATEURS SOLAIRES A EFFET DE SERRE

La production d'eau par distillation solaire à effet de serre est caractérisée par plusieurs grandeurs dont : le rendement, l'efficacité, le rendement d'absorption et la performance.

### I-2.1. Rendement de production d'eau:

C'est la quantité d'eau douce obtenue (en litre) par unité de surface de plan noir et par jour.

$$R^t = \text{nbre de litres/m}^2/24 \text{ h}$$

Le rendement de petits appareils de distillation dans les pays où l'énergie solaire incidente sur une surface horizontale atteint en moyenne  $5500 \text{ Kcal/m}^2/\text{jour}$  peut s'élever à  $5 \text{ l/m}^2/\text{j}$ .

L'inconvénient 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 distillateur produisant

5 l/m<sup>2</sup>/j dans une région tropicale par exemple aurait un rendement inférieur dans une région moins ensoleillée.

**I-2.2. Rendement d'absorption :**

Cette notion traduit la fraction de l'énergie solaire utilement absorbée par l'eau par unité de surface et par unité de temps.

Il est défini par Cooper de la manière suivante :

$$R^t \text{ d'absorption} = a \int_{T_o}^{T_s} \frac{Q}{Q_T} dt$$

a étant l'absorption effective du distillateur, représentant 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 au niveau de l'eau.

T<sub>o</sub> correspond au lever du soleil et T<sub>s</sub> à la durée d'ensoleillement

Q : quantité d'énergie solaire absorbée/unité de surface horizontale/unité de temps.

Q<sub>T</sub> : quantité d'énergie solaire globale reçue dans la journée par unité de surface horizontale.

**I-2.3. Efficacité d'évaporation :**

Cooper définit les deux efficacités instantanées suivantes :

- L'efficacité globale :

$$\eta_o = \frac{Q_e}{E}$$

- L'efficacité interne :

$$\eta_i = \frac{Q_e}{a.E}$$



d'où  $\eta_o = a \eta_i$

avec  $Q_e =$  chaleur d'évaporation = masse d'eau produite multipliée par la chaleur latente d'évaporation.

$E =$  énergie solaire globale incidente sur une surface horizontale pendant une journée de 24h.

Notons que lorsqu'on veut déterminer l'efficacité d'un distillateur où la saumure est introduite à une température  $T_i$  supérieure à la température de la vitre  $T_{vi}$  (cas du distillateur avec préchauffage de l'eau que nous avons réalisé), il faut ajouter à l'énergie solaire incidente  $E$ , un terme qui correspond à la chaleur accumulée et apportée par la saumure initiale. Les efficacités globale et interne instantanées du distillateur deviennent de ce fait :

$$\eta_o = \frac{Q_e}{E + CPW (T_i - T_{vi}) M D}$$

et

$$\eta_i = \frac{Q_e}{a E + CPW (T_i - T_{vi}) M D}$$

CPW = capacité calorifique de la saumure

$T_i =$  température initiale de la saumure (à l'instant  $t_i$ )

$T_{vi} =$  température initiale de la vitre à l'instant  $t_i$

$M D =$  masse d'eau initiale.

Pour un fonctionnement du distillateur de l'instant  $t_1$  à  $t_2$ , on divisera la durée  $T = t_2 - t_1$  en  $N$  intervalles égaux de valeur  $dt$  assez petite ; les efficacités seront alors les moyennes des  $N$  efficacités relatives à chacun des  $N$  instants et on obtient donc :

$$EI = \frac{\sum_{k=1}^N \eta_{ik}}{N} \quad \text{Efficacité interne moyenne}$$

$$EG = \frac{\sum_{k=1}^N \eta_{bk}}{N} \quad \text{Efficacité globale moyenne}$$

#### I-2.4. Efficacité de distillation :

C'est le rapport de l'énergie d'évaporation et de condensation à l'énergie totale cédée par la Saumure et transmise vers le haut ; il permet de comparer l'intensité des processus de convection et de rayonnement internes à partir de la saumure.

Par la suite, lors de l'étude d'optimisation du distillateur, nous pourrons constater que l'augmentation des températures de saumure et de vitre puis de leur écart n'entraîne pas toujours une croissance de l'efficacité ; à ce moment, la décroissance ou la constance de l'efficacité de distillation expliquera bien le phénomène.

Dès lors, il apparaît que l'efficacité interne traduit précisément la conversion thermique utile et le fonctionnement général du distillateur ; l'efficacité de distillation quant à elle décrit parfaitement l'intensité de la conversion thermique interne relative à la distillation.

Nous retenons pour la suite, l'efficacité interne moyenne comme critère d'étude des distillateurs et nous ferons appel (connaissant les températures de la saumure et des vitres) à l'efficacité de distillation pour interpréter certaines lois de comportement de l'efficacité interne moyenne.

### I-2.5. Performance :

Si l'efficacité globale rapporte la quantité d'eau produite à l'énergie solaire tombant sur une surface horizontale, elle ne donne pas de notions sur l'énergie entrant réellement dans le distillateur, d'autant plus qu'un distillateur est construit pour un endroit donné et avec une pente de couverture fixe.

Un changement de pente et de site fait varier la quantité d'énergie entrant dans le distillateur.

SATCUNANATHAN et HANSEN (13) dans le but de caractériser un distillateur d'une façon plus absolue, ont défini le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H).

$$\text{F.P.B} = \frac{\text{Qté d'eau produite en 24h}}{\text{Qté d'énergie solaire entrée au bout de 24h}}$$

$$\text{F.P.H} = \frac{\text{Qté d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{Qté d'énergie entrée pendant cette heure}}$$

d'où :

$$\eta_1 = \text{F.P.B} \times \text{chaleur latente d'évaporation.}$$

### I-3. ETUDE DES PARAMETRES QUI INFLUENCENT LA PRODUCTION DU DISTILLATEUR.

On peut diviser ces paramètres en 3 groupes :

- Ceux qui dépendent de la construction du distillateur
- Ceux qui sont d'ordre météorologique
- Ceux qui dépendent de la saumure à distiller.

### I-3.1. Paramètres de construction:

#### I-3.1.1. Le toit : Il intervient par :

- Sa nature
- Son inclinaison
- Sa surface.

##### a - Nature du toit :

Elle détermine trois éléments très importants pour le bon fonctionnement du distillateur ; la transmittance, la mouillabilité et la résistance aux chocs du toit.

##### - La transmittance :

Le toit des distillateurs utilisant l'effet de serre ne doit pas être transparent à l'infrarouge.

Si l'on utilise du verre commercial ne contenant pas trop de fer, il faut que le produit  $kx$  soit le plus petit possible, compte tenu du fait que l'absorption  $A$  pour de tels verres est :

$$A = 1 - e^{-kx}$$

avec

$x$  = épaisseur optique du verre

$k$  = coefficient d'extinction du verre

$e$

et  $x = \frac{e}{\cos(\omega)}$        $\sin(\omega) = \sin(i_c)/n_v$

avec  $e$  = épaisseur du verre

$i_c$  = angle d'incidence des rayons solaires

$n_v$  = indice de réfraction du verre

La transmittance normale du verre est d'environ 90 %. Elle diminue quand l'angle d'incidence augmente au delà de 30°.

- La mouillabilité :

La surface intérieure du toit doit posséder une bonne mouillabilité.



Bonne mouillabilité



Mauvaise mouillabilité

Goutte d'eau sur deux surfaces différentes.

Notons que le verre ordinaire a une bonne mouillabilité.

- Résistance :

Il faut que le toit du distillateur résiste aux attaques du vent et aux précipitations.

b - Inclinaison du toit :

Les travaux de BAIRAMOV et BAUM (2) 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 cette inclinaison doit assurer le maximum d'énergie solaire entrant à travers le toit pour une période donnée.

On peut dire qu'en général l'augmentation de l'inclinaison du toit 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.

Le choix de l'inclinaison du toit est important, car elle détermine d'une part, la quantité d'énergie solaire qui entre dans le distillateur et intervient, d'autre part, selon le type de distillateurs, dans le transfert interne de chaleur et de masse

entre la saumure et la vitre de condensation. Il faut noter aussi que l'augmentation de l'angle d'inclinaison  $\beta$  entraîne une augmentation du rapport de condensation (Rapport surface de condensation/surface d'évaporation). Il apparait donc que pour chaque localité et pour une période donnée, il existe une inclinaison  $\beta$  à laquelle l'énergie qui entre dans le distillateur est maximum.

Ensuite il faut considérer le deuxième aspect qui est la relation entre le transfert de chaleur et de masse, à l'évaporation et à la condensation, et l'inclinaison  $\beta$ .

Si on se place dans les conditions de ciel clair et si la valeur de  $\beta$  est celle qui maximise la quantité d'énergie absorbée par la couverture alors (2):

Pour une latitude de  $\phi = 40^\circ$ , ~~l'angle optimal~~ optimum =  $25^\circ$ .

C'est pourquoi il est incorrect de dire que pour chaque jour, l'inclinaison favorable est celle pour laquelle au midi solaire, les rayons sont normaux au collecteur.

Un choix autour de  $20^\circ$  d'inclinaison est un bon compromis entre ces différents critères.

#### c - Surface du toit :

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

### I-3.1.2. Plan noir :

#### a - Nature du Plan Noir:

Des tests menés par ACHILOV et ZURAEV (11) montrent que le plan noir peut être réalisé sur du béton, du ciment ou du bois.

Cependant l'utilisation d'un mélange aggloméré de résine et de fibre de verre (comme c'est notre cas) entraîne une inertie plus faible et des rendements supérieurs de 10 % à ceux obtenus avec du béton.

b - Inclinaison du Plan Noir:

Il faut déterminer l'inclinaison optimale du plan noir pour un distillateur à ruissellement de saumure sur plan noir incliné.

L'élévation de température le long du plan noir est :

$$\Delta T = P/\text{Débit}$$

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

Il faut donc minimiser le débit de saumure qui s'exprime ainsi (si l'on admet une distribution semi-parabolique des vitesses (18)).

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

- $\nu$  : viscosité cinématique de la saumure
- $g$  : accélération de la pesanteur
- $\delta$  : épaisseur de saumure
- $\alpha$  : inclinaison de l'absorbeur.

Pour  $\delta$  très faible et  $\alpha$  faible, ce débit est diminué.

I-3.1.3. Distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation :

Ce paramètre détermine l'inertie thermique de l'ensemble du distillateur et l'intensité des pertes thermiques latérales par convection. Il détermine également la grandeur de la couche

tampon (2) qui tend à freiner l'échange entre la surface d'évaporation et la surface de condensation. Il faut donc que cette distance soit la plus faible possible. Dans les calculs on prendra une distance moyenne D telle que (20):

$$D = 4 \times S_c / P_c$$

$S_c$  = Surface du coté du distillateur.

$P_c$  = Périmètre de ce même coté.

$$S_c = \frac{L \times h}{2} + L \times d$$

avec:

$d = DD - DELTAI$  et  $h = (L/2) \times \text{tg}(BETAC)$

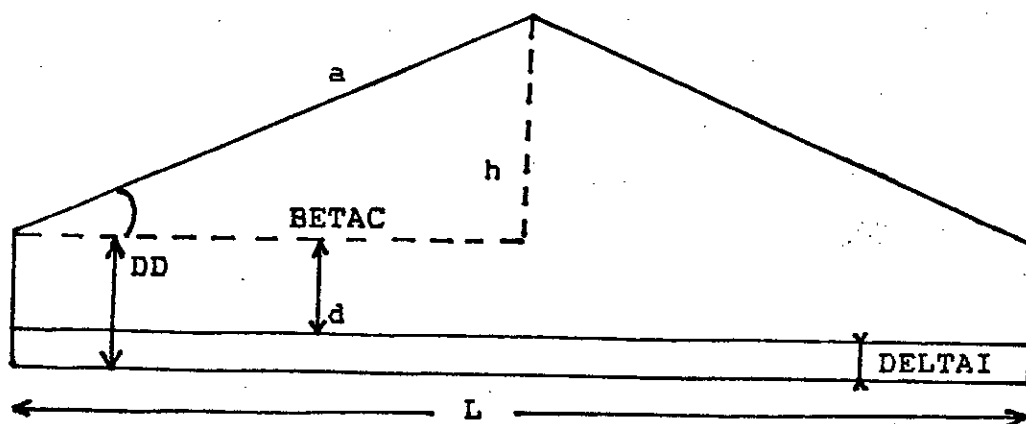
BETAC = inclinaison de la couverture par rapport à l'horizontale.

DELTAI = épaisseur initiale de la saumure.

$$P_c = 2 a + 2d + L$$

$$= L + 2 d + 2 \left( \frac{L/2}{\cos(BETAC)} \right)$$

$$= L \left( 1 + \frac{1}{\cos(BETAC)} \right) + 2 d$$





#### I-3.1.4. Épaisseur de la saumure :

LDF 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 24h. 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.

Un deuxième facteur intervient lors de la comparaison des distillateurs à grande et petite épaisseur de saumure, c'est l'isolation de la base. COOPER (4) a établi que sans isolation la différence est très faible alors qu'avec isolation, la différence est très marquée aux petites épaisseurs d'eau.

Il faut donc minimiser les pertes thermiques vers la base pour les distillateurs à faible épaisseur de saumure par l'adjonction d'isolant.

Remarquons aussi que plus l'épaisseur de la saumure est grande, plus longtemps dure la distillation après le coucher du soleil.

#### I-3.2. Paramètres Météorologiques :

Les plus fréquemment retenus sont :

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

D'après COOPER (3) l'intermittence des nuages n'a presque pas d'effet sur l'absorption effective du distillateur.

D'après SOLIMAN (7) 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 ou en refroidissant le toit, 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.

D'où, un abaissement de la température ambiante et une augmentation de la vitesse du vent équivalent à un refroidissement de la couverture.

### I-3.3. Paramètres fonction de la saumure :

#### 1 - Concentration en sels de la saumure :

BAIBUTAEV et ACHILOV (8) ont montré expérimentalement qu'une augmentation de la concentration en sels de la saumure de 20 % à 45 % fait décroître linéairement le rendement du distillateur à effet de serre.

#### 2 - Effet du préchauffage de la saumure pour un distillateur à ruissellement :

Pour ce type de distillateur, la pression de vapeur d'eau au dessus de la surface d'évaporation est d'autant plus élevée que la température de la saumure entrante est élevée.

La pression  $p$  de vapeur saturante est :

$$p = a \times T_v / 2.17 \cdot 10^{-3}$$

$T_v$  = Température de la vapeur

$a$  = humidité absolue de l'air ( $\text{kg/m}^3$ )

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

Dans le cas du distillateur à ruissellement avec préchauffage de l'eau, l'efficacité du distillateur augmente.

Remarque: Ces paramètres ne peuvent être tous optimisés théoriquement (optimisation informatique) car certains sont difficilement modélisables mathématiquement. Nous les choisissons soit expérimentalement soit empiriquement.

Nous remarquons d'après ce qui a été vu dans ce Chapitre, que nous pouvons améliorer le rendement de production d'eau et l'efficacité de distillation en agissant sur les différents paramètres susceptibles d'influencer la production. Nous utiliserons pour cela, la méthode de simulation sur ordinateur.

CHAPITRE II

ACQUISITION ET TRAITEMENT

DES

DONNEES

## INTRODUCTION

Comme nous l'avons vu dans l'étude théorique des distillateurs, nous ne pouvons étudier le comportement d'un distillateur qu'en connaissant certains paramètres agissant sur son rendement ou son efficacité. Pour cela, une chaîne d'acquisition de données a été installée ; cette chaîne d'acquisition est formée d'une centrale de mesures à laquelle sont connectés plusieurs capteurs ayant des sorties tension ou courant ou encore des résistances. Les mesures sont stockées dans une cassette interne à la centrale.

Si nous voulons améliorer le rendement du distillateur, il va falloir agir sur chaque paramètre susceptible de modifier le rendement ou encore les efficacités. Comme la manipulation des distillateurs n'est pas très aisée, alors nous avons pensé à une simulation informatique. Ceci nous permettra, d'agir sur chaque paramètre par programme et d'avoir les résultats désirés avant de passer à la modélisation expérimentale.

### II-1. DESCRIPTION DES MODELES DE DISTILLATEURS SOLAIRES ETUDIES

#### II-.1.1. Description du modèle physique:

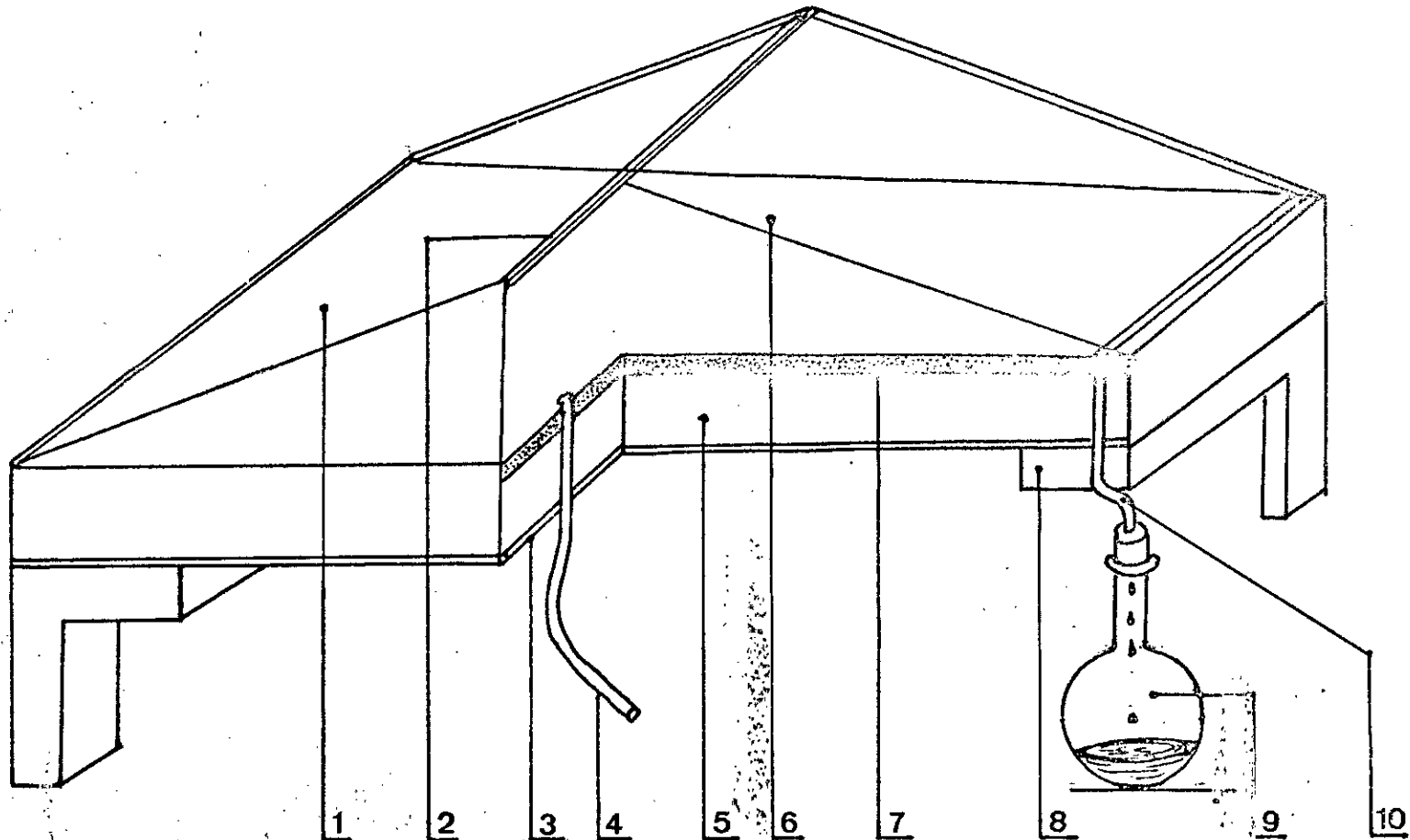
Le distillateur solaire étudié est celui utilisant l'effet de serre et dont la couverture est aussi la surface de condensation. (Voir Fig. 5)

Son bassin peint en noir est réalisé en fibre de verre aggloméré. Le toit à double pente est en verre ordinaire de 4 mm d'épaisseur, ses vitres sont inclinées de  $20^\circ$  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 gouttière de récupération du distillat qui est recueilli dans une fiole.

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

L'alimentation en eau saumâtre à distiller se fait par l'intermédiaire d'un trou aménagé à cet effet au fond du bassin.

Les caractéristiques physiques du distillateur sont :



- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1. Toit en verre                      | 6. Trou de vidange                       |
| 2. Joint d'etancheite (en caoutchouc) | 7. Bac en fibre de verre (peint en noir) |
| 3. Contre - plaque                    | 8. Boitier en bois                       |
| 4. Entree de la saumure a distiller   | 9. Recipient d'eau distillee             |
| 5. Isolant (liege)                    | 10. Sortie du distillat                  |

FIG.5: VUE EN COUPE DU DISTILLATEUR

- Longueur et largeur des vitres = 1.30m x 0.56m
- Longueur et largeur internes du bassin = 1.21m x 0.92m
- Hauteur maximale base-toit = 0.15m
- Surface de condensation = 1.4135m<sup>2</sup>
- Surface d'évaporation = 1.1132m<sup>2</sup>
- Volume d'air humide = 0.07m<sup>3</sup>
- Hauteur minimale base-toit = 0.08m

Deux distillateurs ont été étudiés ; l'un à saumure statique et l'autre dynamique (à ruissellement de saumure). Ces deux modèles de distillateurs sont du même type que celui décrit plus haut.

#### II-1.2. Installation du distillateur statique :

C'est celui dont la saumure est statique sur le plan noir horizontal. Un trop-plein de longueur 2 cm est prévu, de l'autre côté du trou d'alimentation, pour l'évacuation de la saumure et le maintien de son épaisseur à 2 cm.

L'alimentation, en eau saumâtre, du distillateur se fait par l'intermédiaire d'un régulateur de niveau qui permet d'avoir une épaisseur de saumure inférieure ou égale à 2 cm. (Voir Fig. 6)

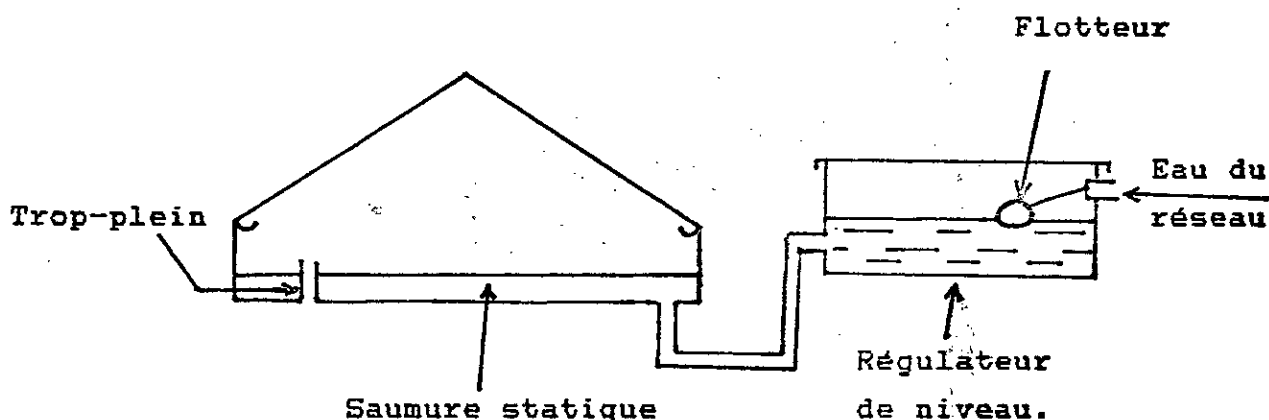


Fig. 6 : Schéma d'installation du distillateur statique.

#### II-1.3. Installation du distillateur dynamique :

Le distillateur dynamique, à ruissellement de saumure a été étudié

dans le but d'améliorer le rendement du distillateur statique.

Il est relié à un chauffe-eau solaire à effet de serre. L'eau préchauffée et stockée dans une cuve qui alimentera le distillateur. Cette eau saumâtre ruissellant sur le plan noir est évacuée par un trou aménagé à cet effet ; puis un circulateur d'eau refoulera cette eau dans la cuve de stockage. Ceci constitue un circuit fermé, les conduites d'eau calorifugées permettent une diminution des pertes de charge. Le débit d'eau de ruissellement est réglé par des vannes situées sur les conduites au niveau de l'entrée et de la sortie de la saumure. Ceci permet d'avoir un débit de saumure constant à l'entrée et à la sortie du distillateur. (Fig. 7)

Ce système de préchauffage de la saumure à distiller permet la poursuite sans arrêt de la distillation tout au long de la nuit.

## II-2. DESCRIPTION DE LA CHAÎNE D'ACQUISITION :

### II-2.1. Centrale de mesures (SAM 60)

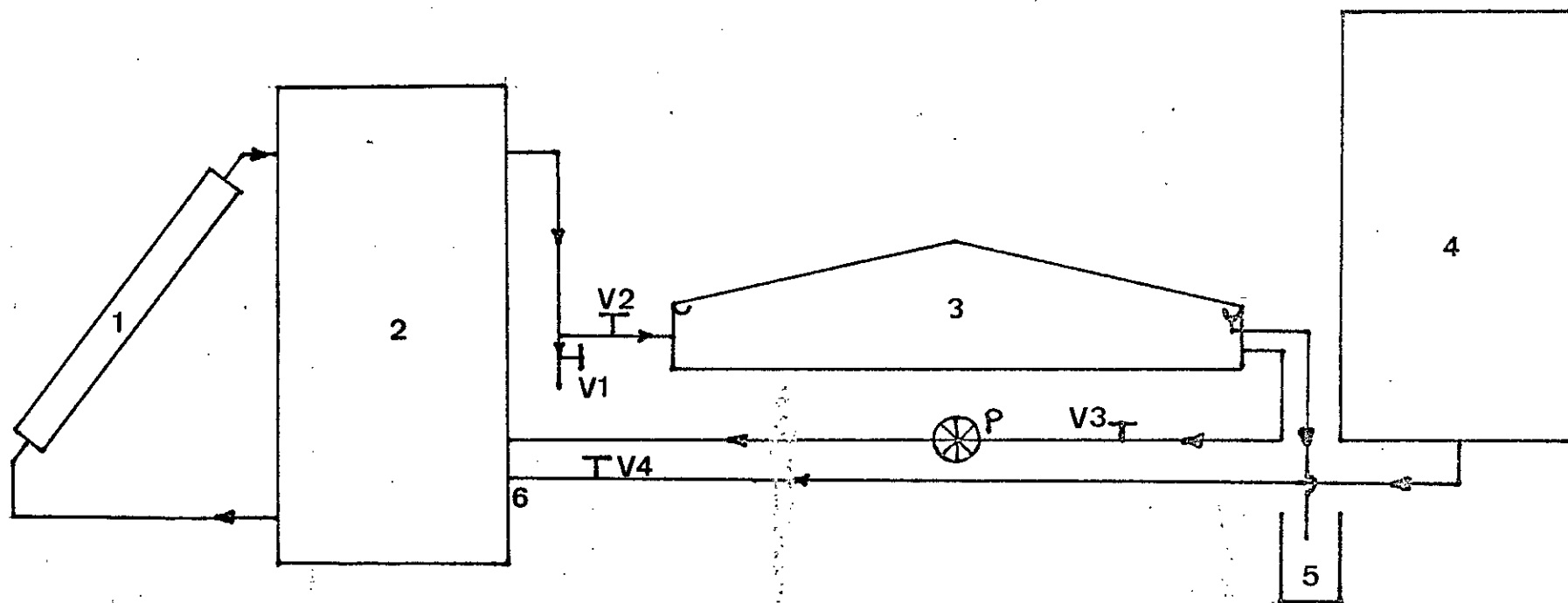
L'acquisition des données se fait grâce à une centrale de mesures (SAM 60) programmable par clavier à laquelle on connecte différents capteurs.

La centrale de mesures est à base de microprocesseur, sa capacité varie de 20 à 60 voies - (Voir schéma synoptique Fig. 8) -, permettant ainsi la mesure de :

- Tensions continues (calibre allant de 20 mV à 200 V)
- Températures par couples thermo-électriques et sondes à résistance de platine 100 ohms à 0 °C, avec lecture directe en degrés Celsius.
- Grandeurs physiques avec capteurs appropriés.

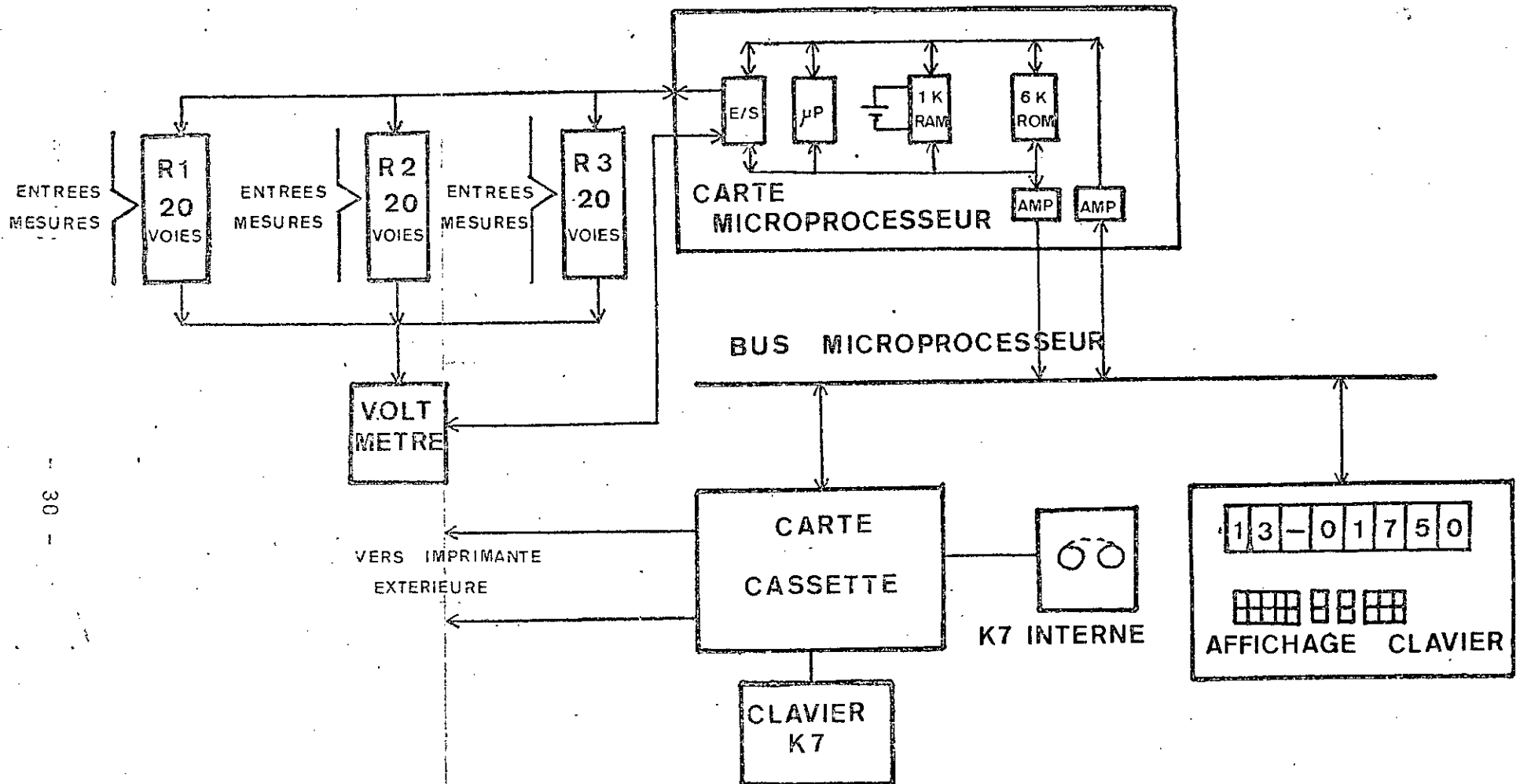
Pour les mesures de tensions continues, sa résolution varie de 10  $\mu$ V à 10 mV selon le calibre utilisé et sa précision est 0,1 % de la valeur lue  $\pm$  2 unités. Pour les mesures de températures, avec sondes à résistance de platine, la résolution est de 0,1 °C et la





**FIG.7:Schéma d'installation du distillateur dynamique.**  
**(Couplage avec chauffe-eau)**

- 1- Capteurs(chauffe-eau solaire).
- 2- Cuve de stockage.
- 3- Distillateur.
- 4- Cuve d'alimentation de la cuve de stockage.
- 5- Cuvette de récupération du distillat.
- 6- Robinet flotteur pour l'alimentation de la cuve de stocka
- P- Circulateur d'eau chaude.
- Vi- Vannes.



30

FIG.8: Synoptique de fonctionnement de la centrale de mesures.

précision de 0,1 % de la valeur lue  $\pm$  2 unités.

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

On a aussi une possibilité de fonctionnement en minuterie (qui permet de fixer l'intervalle de prises de mesures), et de réglage de l'heure.

La centrale de mesures est raccordée par une jonction RS232 à boucle de courant, à une imprimante ainsi qu'à un écran de visualisation permettant la lecture directe de chaque cycle de mesures prises par la "SAM 60".

## II-2.2. Disposition des capteurs :

### II-2.2.1. Capteurs Thermiques :

Le gradient de température entre la saumure et le toit interne est le paramètre principal de la distillation. Ceci justifie l'utilisation de capteurs thermiques, au niveau de la saumure et du toit interne, permettant ainsi le calcul du gradient.

Nous avons constaté expérimentalement que le distillateur est symétrique (la même quantité d'eau se condense sur une vitre pendant une demi-journée, et 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.
- Température ambiante inférieure : le capteur est placé à l'extérieur sous la base du distillateur.
- Température de la vitre externe.
- Température de la vitre interne.
- Température de la saumure : Deux paramètres sont à considérer

pour la mesure de cette température (dans le cas du distillateur à ruissellement de saumure)

a - Le ruissellement de l'eau se faisant dans un sens, on aura donc une différence de température de la saumure entre son point d'entrée et celui de sa sortie. Ce qui nous ramène à disposer les capteurs le long de la surface d'écoulement afin d'étudier ses variations de températures.

b - 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 dispositions 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. (Voir Figs. 9 et 10).

#### II-2.2.2. 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 d'un 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.

Ces trois capteurs ayant des sorties tensions sont reliés directement à la centrale de mesures.

#### II-2.3. Caractéristiques des capteurs utilisés :

##### II-2.3.1. La girouette :

La girouette permet de donner la direction du vent, elle est réalisée 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

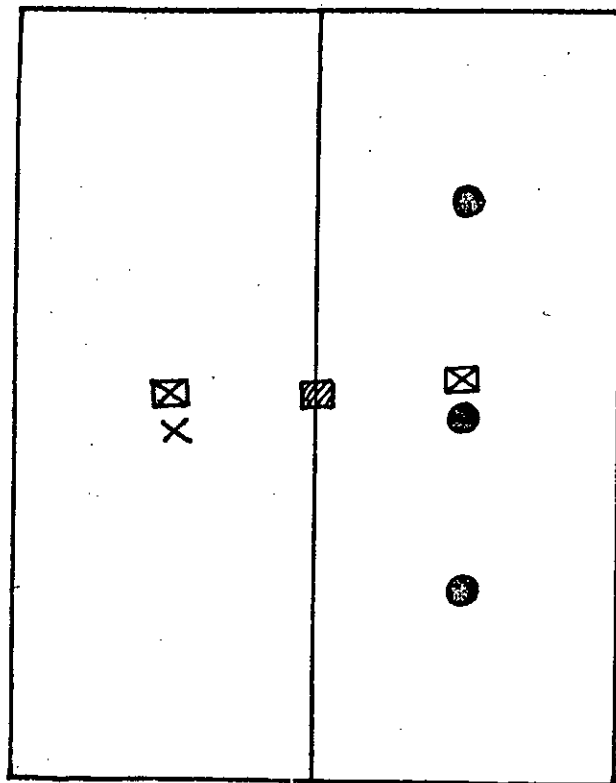


FIG. 9: DISTILLATEUR STATIQUE.

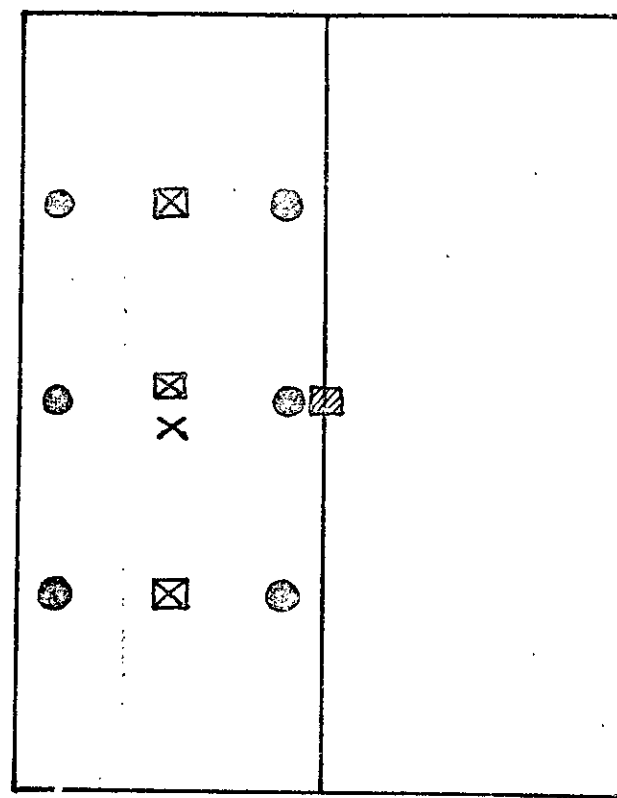


FIG. 10: DISTILLATEUR DYNAMIQUE

### Disposition des capteurs sur les distillateurs.

- ☒ Sonde sur face interne de la vitre.
- ▨ Sonde dans milieu air vapeur.
- × Sonde sur face externe de la vitre.
- Sonde au fond du bac.

suivant la valeur de la résistance connectée, ce qui dévie l'aiguille d'un indicateur à cadran. La position du drapeau étant déterminée par la direction du vent, l'aiguille du cadran indique bien cette direction.

La tension aux bornes du cadran varie entre  $0^V$  et  $2^V$ , celle-ci a été connectée à la centrale de mesures. Le tableau d'étalonnage suivant permet la lecture de la direction sur la centrale.

! Direction du !	! Tension !		! Tension !	
! vent !	! Min !	! (m V) !	! Max !	! (m V) !
! Nord-Est !	! 6.99 !	! !	! 19.34 !	! !
! Est !	! 19.34 !	! !	! 33.19 !	! !
! Sud-Est !	! 33.19 !	! !	! 41.87 !	! !
! Sud !	! 41.87 !	! !	! 58.03 !	! !
! Sud-Ouest !	! 58.03 !	! !	! 71.62 !	! !
! Ouest !	! 71.62 !	! !	! 82.89 !	! !
! Nord-Ouest !	! 82.89 !	! !	! 93.90 !	! !
! Nord !	! 93.90 !	! !	! 99.42 !	! !

### II-2.3.2. L'anémomètre :

Il permet la mesure de la vitesse instantanée du vent. un moulinet solidaire d'un aimant permanent tourne devant un circuit fermé constitué par 3 bobines.

Ce circuit devient le siège d'une force électromotrice induite alternative qui donne lieu à un courant électrique d'intensité variable dont l'amplitude et la fréquence sont fonctions de la vitesse de rotation de l'aimant (c'est à dire du moulinet) et donc de la vitesse du vent.

L'étendue de mesure 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 mesures, la lecture de la vitesse se faisant grâce au tableau

d'étalonnage suivant :

Vitesse (m/s)	Tension (m V)
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	13.12
15	25.22

La courbe d'étalonnage (Fig.11) 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 (m V)

### II-2.3.3. Pyranomètre:

Un pyranomètre Kipp et Zonen (CM11) est utilisé pour la mesure du rayonnement global sur une surface horizontale. L'acquisition de la mesure du rayonnement se fait au niveau de la centrale sous forme de tension.

La valeur exacte du rayonnement est obtenue en multipliant cette tension par un facteur de conversion.

#### Description du pyranomètre :

Le capteur est constitué de 100 thermocouples réalisé sur un

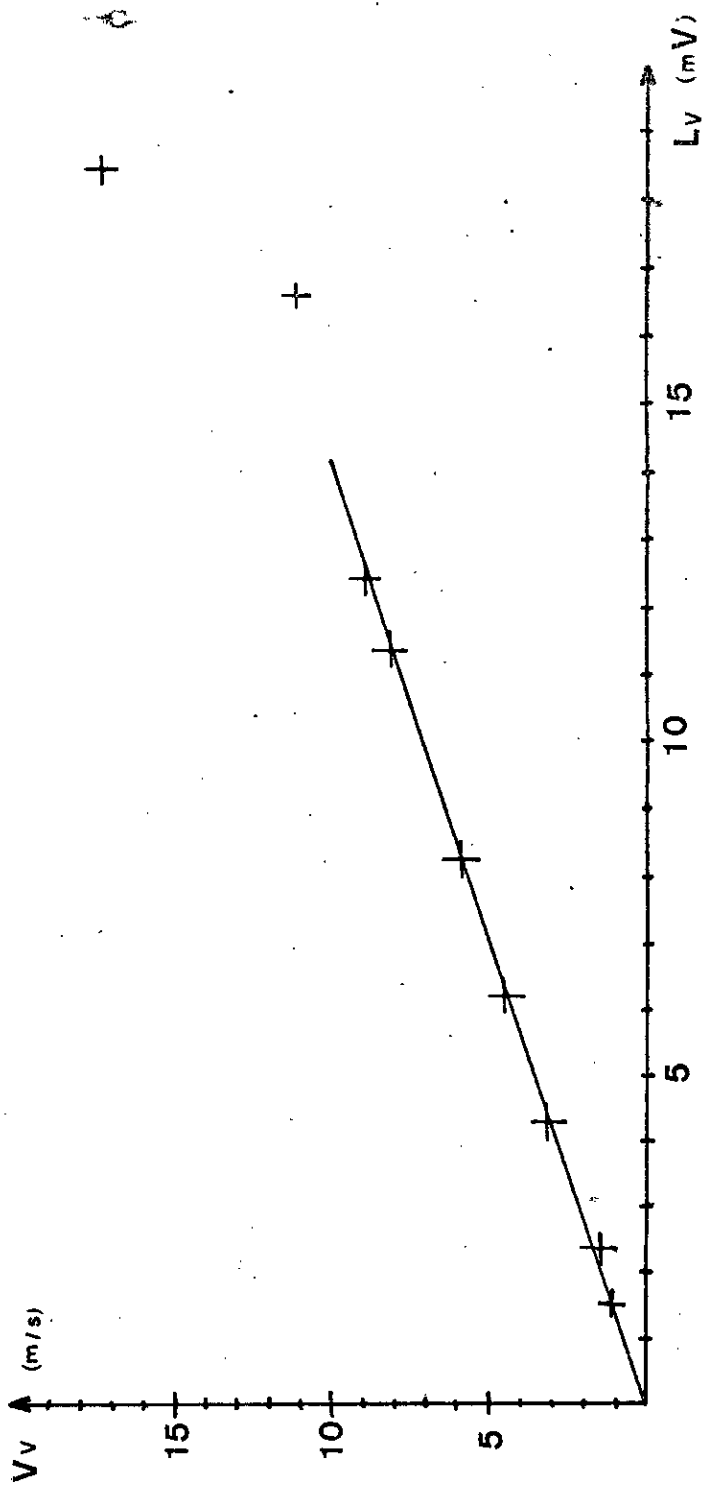


FIG.11: Courbe d'étalonnage de l'aménométre.



substrat en céramique utilisant la technique des couches minces. La disposition des thermocouples est circulaire donnant ainsi une erreur azimuthale faible. Le substrat utilisé a une grande conductibilité thermique. La différence entre les deux faces du substrat ne dépasse pas 3°C même pour un rayonnement maximum.

La variation de sensibilité du pyranomètre ne peut excéder 0,21 % à 1400 W/m<sup>2</sup>.

Le coefficient de température du récepteur est compensé par une thermistance d'où une sensibilité constante à ± 1 % dans une gamme de température allant de - 10°C à + 40°C.

Pour compenser la température ambiante, un second substrat non exposé aux radiations est utilisé ; de ce fait le zéro de l'instrument n'est pas affecté par la température du boîtier.

#### II-2.3.4. Résistances de platine :

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

#### II-2.4. Présentation des données :

Après sélection du périphérique interne et la bonne mise en place de la cassette (dans la partie transparente de la bande amorce) ; les informations sont enregistrées sous forme de blocs de 16 caractères en code ASCII (Fig. 12).

### II-3. DESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE TRAITEMENT :

#### II-3.1. Lecture des données :

La "SAM 60" sauvegarde les données mesurées sur une bande magnétique, propre à la centrale, qui peut avoir soit le standard Texas ASR 733 soit le standard ECMA 34.

16 caractères.

Information Précédente	R C S p	L F Sp	I d	HH MN SS 0 1 * * + 1 9 9 9 . 9 m V	Information suivante
---------------------------	------------	-----------	-----	---------------------------------------	-------------------------

Pagination

Heure ou mesure.

Identification pour l'exploitation  
ultérieure des résultats.

Signification des différents identificateurs :

- H : Identifie l'heure du cycle,
- M : Identifie la mesure sur secteur;
- P : Identifie l'heure de la panne secteur,
- A : Identifie l'heure d'une mesure en alarme ou en retour d'alarme,
- I : Identifie la mesure intercycle signalant une première alarme ou un retour d'alarme.

Fig. 12 : Format de l'enregistrement des données.

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

La centrale, peut aussi transmettre les données stockées directement à un ordinateur par une liaison en boucle de courant; mais cette méthode pratique et permettant le traitement en temps réel nécessite la présence d'un ordinateur à proximité de la centrale.

### II-3.2. Calculateur :

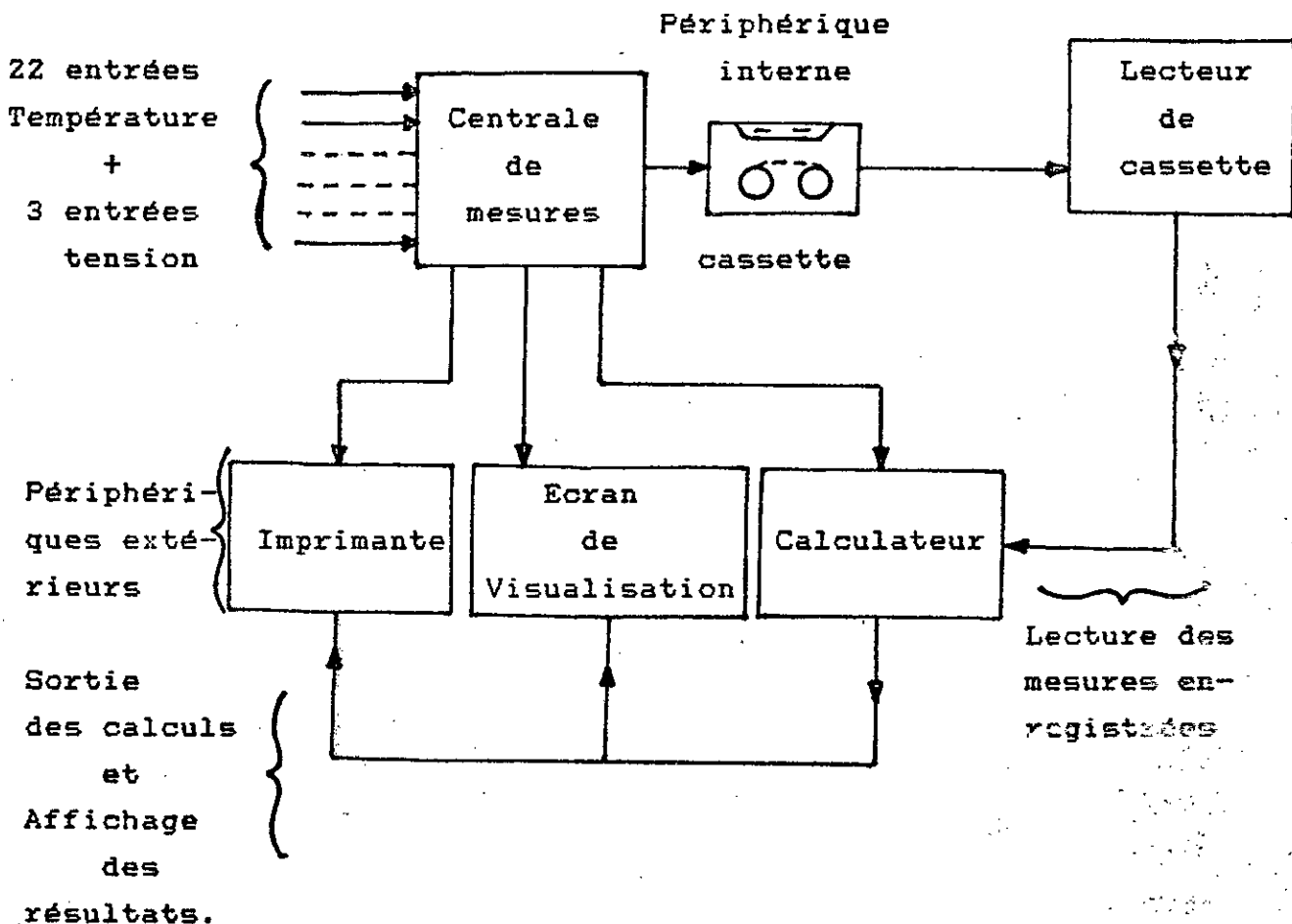
Les données recueillies sont introduites dans un fichier grâce à un calculateur graphique OLIVETTI M024.

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

- O P E N "Nom du fichier" FOR I N P U T AS n : Ouvre et prépare le fichier à une lecture.
- I N P U T # n, A, B, C : Pour lire depuis le fichier ouvert.
- O P E N "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.

### II-4. SCHEMA GLOBAL DE LA CHAINE ACQUISITION ET TRAITEMENT:



CHAPITRE III

MODELISATION ET SIMULATION

DES DISTILLATEURS

SOLAIRES

## INTRODUCTION

Après avoir pris connaissance dans le Chapitre précédent, de modèles physiques de résolution des distillateurs utilisés, nous étudions dans ce Chapitre, 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. Cela reviendra à établir le bilan thermique, pour l'appréciation des différentes pertes, et à donner les différents coefficients d'échanges nous permettant avec l'analogie électrique de calculer les températures des différents milieux ainsi que les efficacités et le rendement pour les distillateurs simulés.

Nous décrivons ensuite la méthodologie de simulation pour chaque distillateur puis nous expliquerons la structure des programmes . Nous donnerons enfin les résultats obtenus pour les distillateurs simulés ainsi que ceux obtenus pour les distillateurs expérimentaux.

Une interprétation de tous ces résultats nous permettra de proposer un modèle plus amélioré.

### III-1. MODELISATION ENERGETIQUE DU DISTILLATEUR:

#### III-1.1. Description des transferts thermiques : (Fig.13)

L'unité de distillation, reçoit de l'énergie directe ou diffuse. Cette énergie est soit transmise, absorbée ou réfléchiée par les différents éléments du distillateur (couverture vitrée, la saumure ou la base du distillateur) qui vont échanger de la chaleur selon différents processus (rayonnement, convection, conduction).

La partie absorbée élève la température de l'eau du bassin donc la

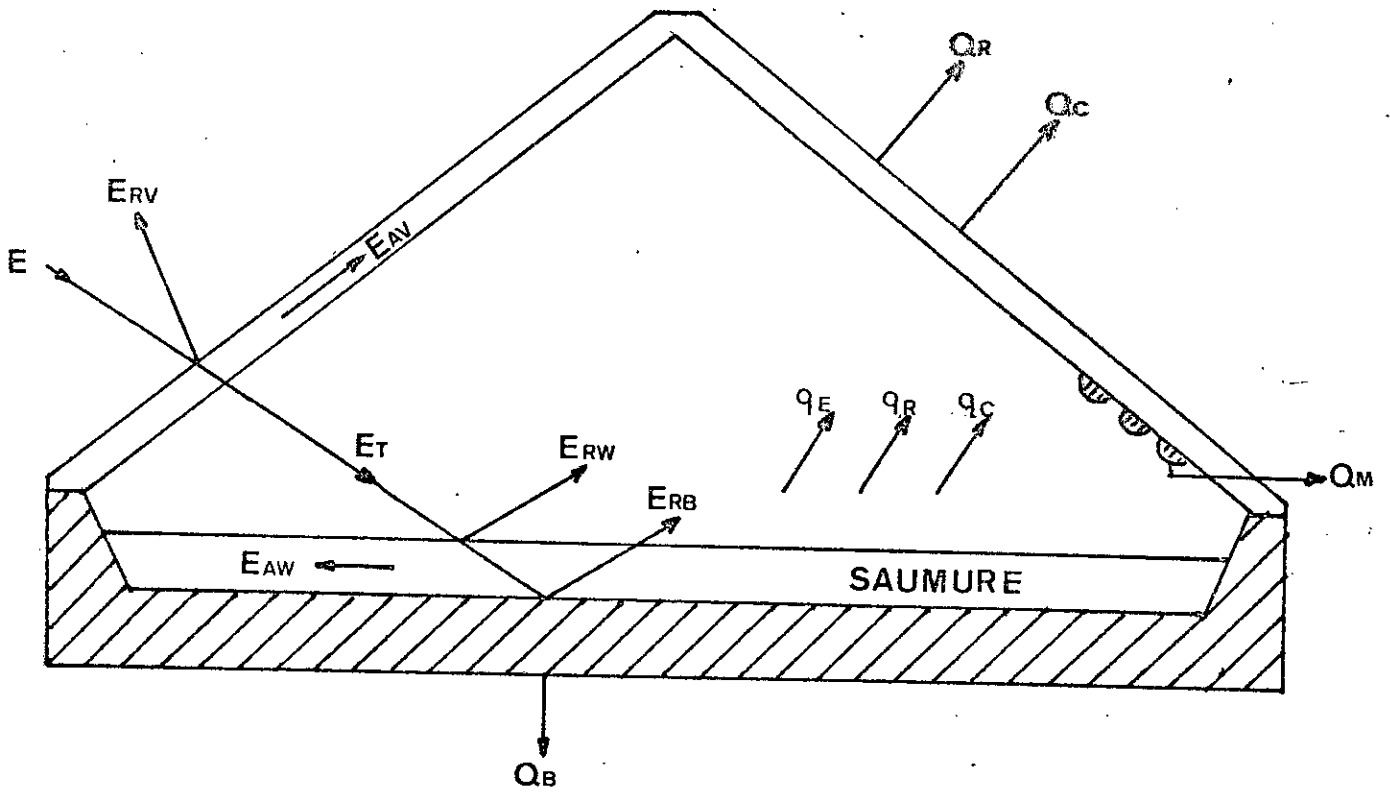
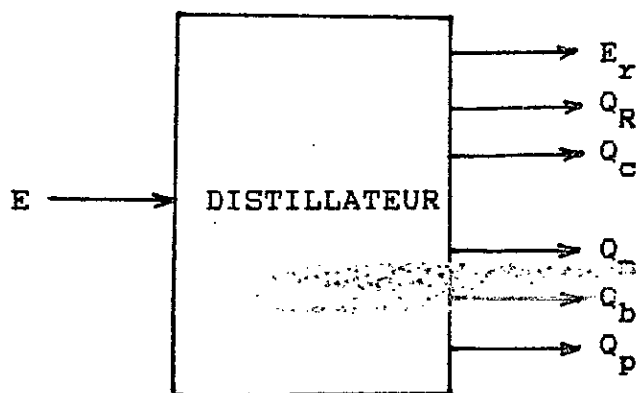


FIG.13: Diagramme des flux d'énergie dans un distillateur solaire.

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.

### III-1.2. 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 intervenant dans cette équation sont :

#### III-1.2.1. Energie reçue par le distillateur : (E)

Elle est proportionnelle à la projection horizontale de la surface totale  $A_d$  du distillateur. Nous posons :  $E = A_d \cdot E_o$  où  $E_o$  est l'intensité de la radiation solaire globale mesurée à l'aide d'un pyranomètre.

### III-1.2.2. Energie réfléchié par le couvercle: (E<sub>r</sub>)

Elle est proportionnelle à la surface A<sub>c</sub> du couvercle.

$$E_r = \rho E_o A_c$$

avec  $\rho$  = reflexivité de la couverture.

Les reflexions causées par les autres parties du distillateur (saumure et plan noir) sont négligées.

### III-1.2.3. Pertes par convection à la base du distillateur (Q<sub>b</sub>)

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

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

où  $t_b$  = température de la base

$t_a$  = température ambiante du milieu inférieur.

$A_b$  est la surface de la base du distillateur

et  $h_e$  le coefficient de convection naturelle donnée par la formule simplifiée de Mc ADAMS (13) dans le cas d'une plaque horizontale, chauffée, regardant vers le bas.

$$h_e = 0.51 ((t_b - t_a)/1)^{0.25}$$

### III-1.2.4. Chaleur emportée par le distillat:

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

où  $t_d$  = température du distillat

$t_a$  = température ambiante du milieu supérieur.

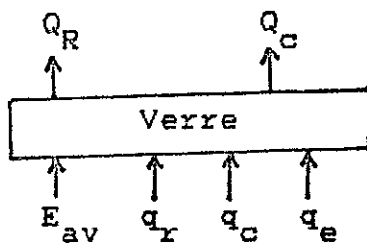
$m_d$  = masse d'eau distillée recueillie

$C_p$  = capacité calorifique de l'eau.



III-1.2.5. Chaleur cédée par le couvercle par rayonnement et convection ( $Q_R$  et  $Q_C$ )

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 :

a - La quantité de chaleur absorbée par la vitre ( $E_{av}$ ):

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

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

b - La quantité de chaleur apportée par la condensation de la vapeur d'eau ( $q_e$ ) :

$$q_e = m_v \cdot L$$

où  $m_v$  est la masse d'eau évaporée  
et  $L$  la chaleur latente de vaporisation de l'eau donnée par la formule de REGNAULT.

$$L = 606.5 - 0.695 t_w$$

où  $t_w$  : température de l'eau en °C.

Si la masse d'eau évaporée est entièrement recueillie on a alors:  
 $m_v = m_d =$  masse du distillat recueilli d'où :

$$q_e = m_d (606.5 - 0.695 t_w)$$

c - La quantité de chaleur échangée par convection entre la surface de l'eau et celle interne du vitrage ( $q_c$ ) :

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.

Soit  $q_c = h_{wc} \cdot A_w (t_w - t_c)$

où  $h_{wc}$  est le coefficient de convection interne établi par LOF (1) :

$$h_{wc} = (0.123 t_w - 3.818)(t_w - t_c)^{1/3}$$

où  $t_c$  = température du couvercle  
 $A_w$  = surface occupée par l'eau.

d - Rayonnement interne ( $q_r$ ) :

L'intensité de la radiation infrarouge émise par la surface de la saumure et totalement absorbée par la vitre est donnée par la formule :

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

où  $\epsilon$  est le facteur d'émission équivalent (eau-vitre) ainsi défini :

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

$\sigma$  : Cste. de Boltzmann.

en remplaçant chaque terme du second membre de l'équation (2) par

son expression, on obtient :

$$Q_R + Q_C = \alpha_c \cdot A_c \cdot E_o + m_d \cdot L + h_{wc} \cdot A_w (t_w - t_c) + \epsilon \cdot \sigma \cdot A_w (t_w^4 - t_c^4) \quad (3)$$

### III-1.2.6. Autres pertes $Q_p$ :

Ce sont essentiellement :

- \* Les pertes par rayonnement et convection des structures latérales externes.
- \* Les pertes par rayonnement du fond de l'unité de distillation, elles sont minimisées par l'isolation du bassin.
- \* Les pertes par fuite de vapeur vers l'atmosphère, celles-là sont minimisées par l'adjonction de joint d'étanchéité au niveau de la courverture.
- \* Les pertes par fuite du distillat autre que celui recueilli, ces pertes sont aussi minimisées par une bonne étanchéité au niveau de la gouttière et de la fiole de récupération du distillat.

### III-1.3. Equation générale du bilan thermique:

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

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

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

$$A_d E_o = (\rho + \alpha_c) A_c E_o + m_d L + h_{wc} \cdot A_w (t_w - t_c) + \epsilon \cdot \sigma \cdot A_w (t_w^4 - t_c^4) + m_d C_p (t_d - t_a) + h_e A_b (t_b - t_a) + Q_p \quad (5)$$

Cette équation décrit les échanges significatifs d'énergie à

l'intérieur du système distillateur entre les différents éléments et entre le système distillateur et le milieu extérieur.

Précisons que la relation (5) n'est applicable qu'en régime permanent qui s'établit pratiquement de 11H à 14H GMT (période où les rayons solaires sont normaux à l'unité de distillation, c'est à dire que l'entrée du système est pratiquement constante).

#### III-1.4. Calcul des différents termes énergétiques et évaluation des pertes

Un programme de calcul des différents termes énergétiques a été mis au point permettant, pour chaque journée et pendant le régime stationnaire, de déterminer l'importance des pertes au sein de l'unité de distillation.

Nous constatons, après avoir fait des calculs sur plusieurs jours que les pertes sont négligeables pour un distillateur étanche et bien isolé.

Nous désirons optimiser la production du distillateur donc optimiser les différents paramètres. En fait, sans faire d'expérience nous voulons voir l'évolution d'un distillateur pour des variations de certains paramètres fixés. Pour cela, nous ferons une simulation sur ordinateur du distillateur dans laquelle nous négligerons les pertes.

#### III-2. MODELE ELECTRIQUE EQUIVALENT DU DISTILLATEUR A EFFET DE SERRE :

##### III-2.1. Justification du modèle électrique équivalent :

Les équations de la chaleur n'étant pas linéaires (Cf. paragraphe distillation au Chapitre I) et donc difficilement résolubles analytiquement et demandant souvent beaucoup de temps ; une méthode classique consiste à recourir à l'énergie électrique qui est un modèle linéaire. En fait, dans un domaine de petites variations autour d'un point de fonctionnement on peut considérer

que le système est linéaire.

### III-2.2. Description du modèle électrique équivalent :

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 ainsi faite permet de déterminer, par application de la loi d'Ohm, la répartition des températures dans une section du distillateur de la surface absorbante noire à la surface de condensation ; la connaissance des températures permet le calcul de l'efficacité du distillateur et son taux de production.

Nous décrivons dans ce paragraphe, les modèles électriques équivalents des deux distillateurs à effet de serre étudiés (distillateur à saumure statique, distillateur à ruissellement et préchauffage de la saumure). Voir Fig. 14 et Fig. 15.

### III-2.3. Expression des différents paramètres calculés :

#### III-2.3.1. Expression des coefficients d'échange :

La théorie des similitudes permet d'avoir l'expression des différentes résistances thermiques et ce à partir des coefficients d'échange calculés en fonction des nombres adimensionnels de Nusselt "Nu" par la formule fondamentale :

$$\text{Nu} = \frac{h \cdot D}{\lambda} \quad \text{et} \quad h = \frac{1}{R}$$

dans laquelle :

h = coefficient d'échange

D = longueur d'échange

$\lambda$  = Conductivité thermique du milieu considéré

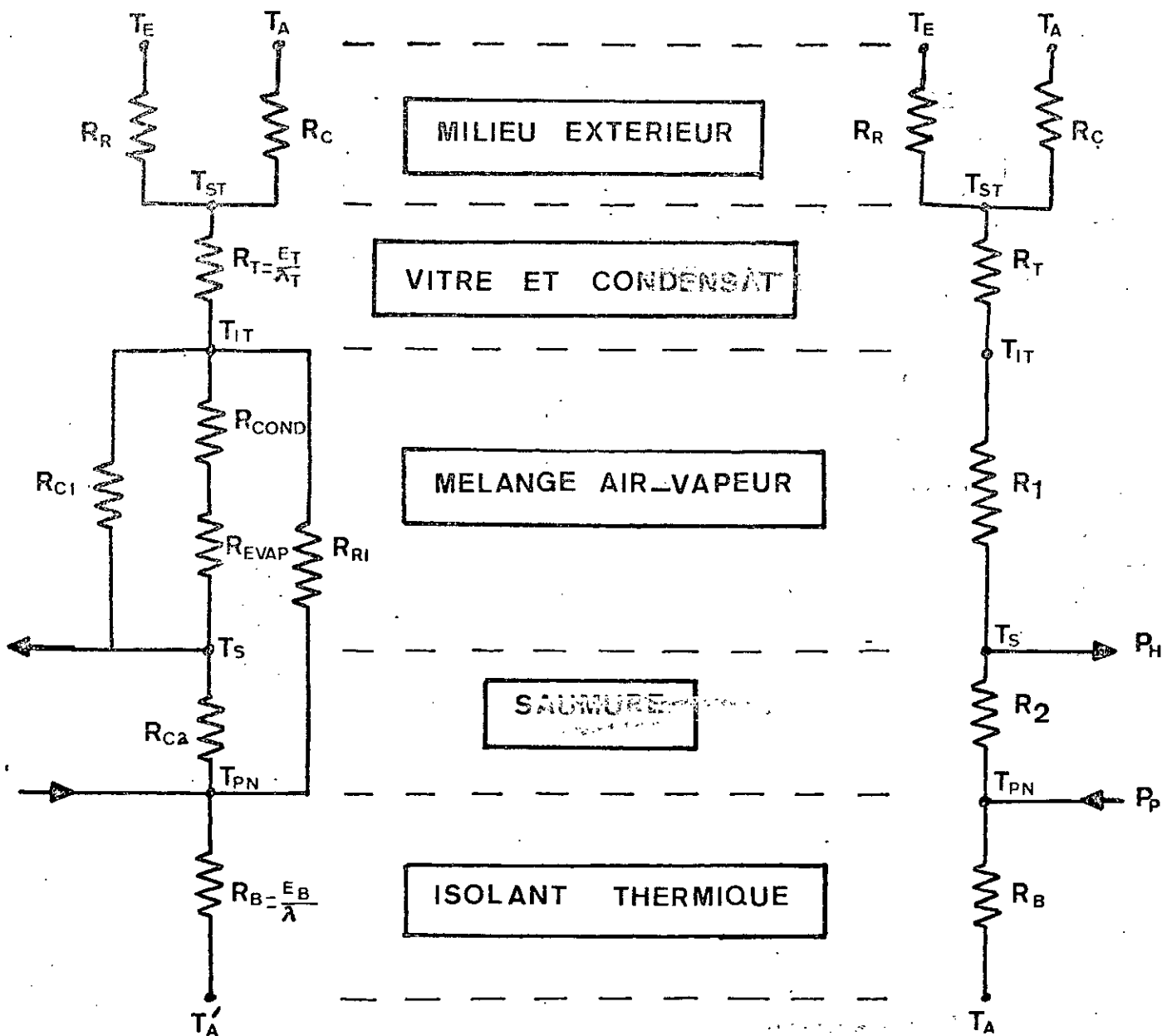


FIG.14: Schéma électrique équivalent au transfert de chaleur dans la section du distillateur à saumure statique.

## NOMENCLATURE DISTILS

(Distillateur à Saumure Statique)

$T_E$	Température équivalente de la voute céleste (K)
$T_A$	Température ambiante (K)
$T_{ST}$	Température de la face supérieure de la vitre (K)
$T_{IT}$	Température de la face interne de la vitre (K)
$T_S$	Température de la saumure (K)
$T_{PN}$	Température du plan noir (K)
$T_A'$	Température ambiante du milieu inférieur du distillateur (K)
$R_R$	Résistance thermique de rayonnement entre la vitre et la voute céleste $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_C$	Résistance thermique de convection entre la vitre et le milieu ambiant $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_T$	Résistance thermique de conduction à travers la vitre $(W/m^2.K)^{-1}$
$e_T$	Epaisseur de la vitre (m)
$\lambda_T$	Conductivité thermique de la vitre W/m/K)
$R_{cond}, R_{evap}$	Résistance thermique d'évaporation et condensation $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_{CI}$	Résistance thermique de convection interne $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_{RI}$	Résistance thermique de rayonnement entre plan noir et vitre $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_{C2}$	Résistance thermique par conduction convection naturelle entre plan noir et saumure.

- $R_B$  Résistance thermique de conduction à travers la base
- $R_1, R_2$  Résistances auxiliaires sans signification physique
- $P_H$  Puissance transmise à la saumure et convertie en échauffement ( $W/m^2$ )
- $P_P$  Puissance solaire utilement absorbée par le plan noir ( $W/m^2$ ).



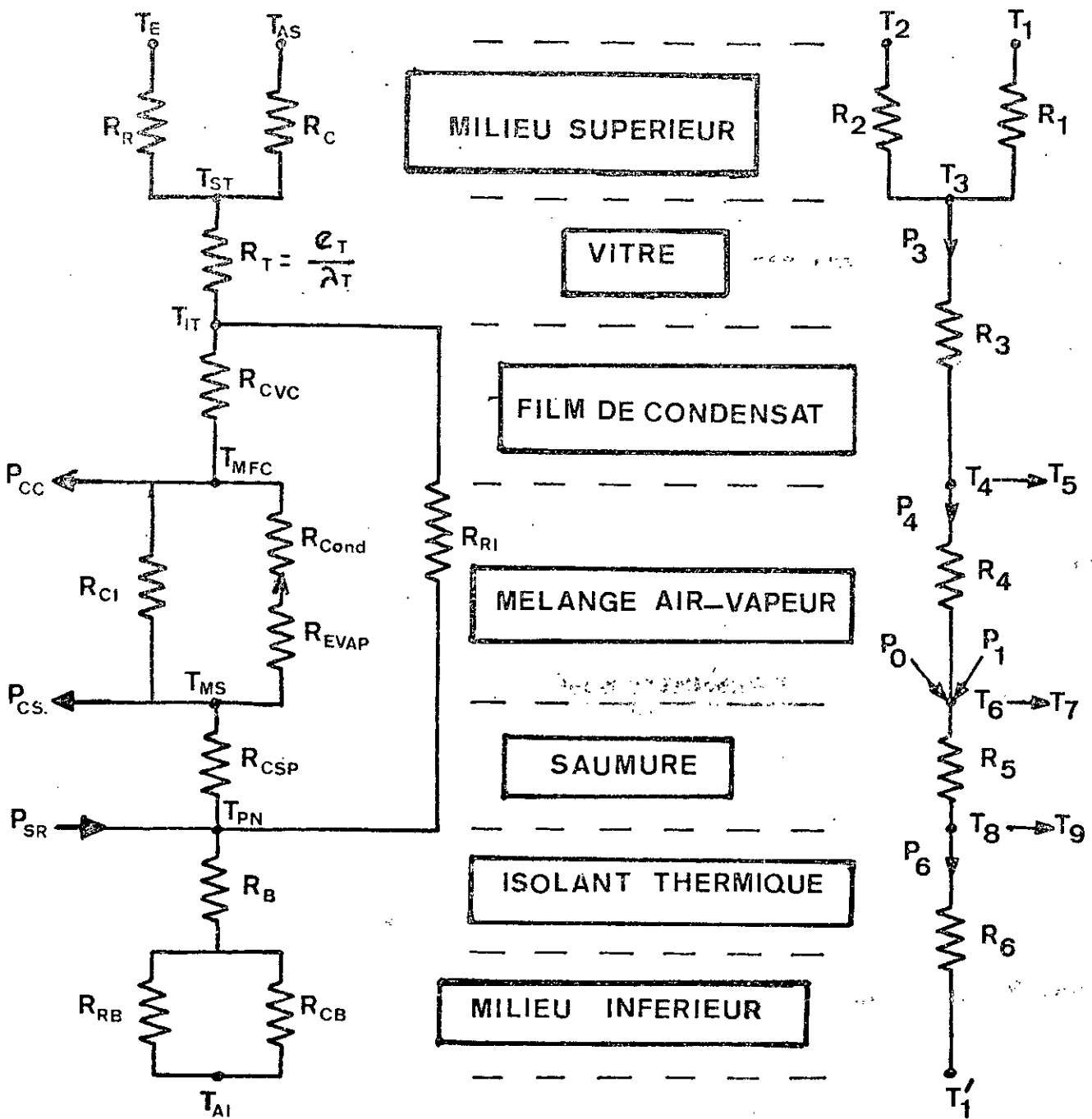


FIG.15: Schéma électrique équivalent au transfert de chaleur dans une section du distillateur à ruissellement.

NOMENCLATURE DISTILD  
(DISTILLATEUR à RUISSELLEMENT de SAUMURE)

$T_{AS}, T_{AI}$	=	Températures ambiantes des milieux supérieur et inférieur ( $^{\circ}K$ )
$T_E$	=	Température équivalente de la voute céleste ( $^{\circ}K$ )
$T_{ST}, T_{IT}$	=	Températures des surfaces supérieur et inférieur du toit ( $^{\circ}K$ )
$T_{MFC}, T_{MS}$	=	Températures moyennes du film de condensat et de la saumure ( $^{\circ}K$ )
$T_{PN}$	=	Température du plan noir ( $^{\circ}K$ )
$R_R$	=	Résistance thermique par rayonnement entre la vitre et la voute céleste $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_C$	=	Résistance thermique par convection entre la vitre et la voute céleste $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_T$	=	Résistance thermique de la vitre $(W/m^2.K)^{-1}$
$e_T$	=	Epaisseur de la vitre (m)
$\lambda_T$	=	Conductivité thermique de la vitre (W/m/K)
$R_{CVC}$	=	Résistance thermique par conduction-convection entre la vitre et le condensat $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_{\text{évap}}, R_{\text{cond}}$	=	Résistances thermiques par évaporation et condensation $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_{CI}$	=	Résistance thermique par convection dans la lame d'air $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_{CSP}$	=	Résistance thermique par conduction-convection entre saumure et plan noir $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_B$	=	Résistance thermique de l'isolant $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_{RB}$	=	Résistance thermique par rayonnement entre la surface extérieure de l'isolant et le sol $(W/m^2.K)^{-1}$
$R_{CB}$	=	Résistance thermique par convection entre la surface extérieure de l'isolant et le milieu extérieur inférieur $(W/m^2.K)^{-1}$

- $P_{CC}$  = Puissance cédée au film de condensat au cours de la traversée d'une section et transformée en échauffement ( $W/m^2$ ).
- $P_{CS}$  = Puissance cédée à la saumure au cours de la traversée d'une section et transformée en échauffement ( $W/m^2$ )
- $P_{SR}$  = Puissance solaire effective reçue par le plan noir ( $W/m^2$ )
- $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  et  $R_6$  = Résistances thermiques auxiliaires sans signification physique

R = résistance thermique considérée.

On en déduit l'expression de R :

$$R = \frac{D}{\text{Nu} \cdot \lambda}$$

III-2.3.1.1. Echange thermique par conduction-convection entre saumure et plan noir :

a - Cas du distillateur à saumure statique :

La valeur du Nusselt moyen calculée expérimentalement par MAC ADAMS (13) dépend du nombre de Grashoff.

- Si Grashoff <  $10^5$  alors Nu = 1

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

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

$$\text{alors } \text{Nu} = \frac{\lambda}{L} \cdot 0,54 \cdot (\text{Grashoff} \cdot \text{Pr})^{0.25}$$

$$\text{avec } \text{Grashoff} = \frac{\beta L^3 g (T_p - T_s)}{v_s^2}$$

$\beta$  = coefficient d'expansion volumique de la saumure ( $^{\circ}\text{K}^{-1}$ )

$g$  = accélération de la pesanteur ( $\text{m/s}^2$ )

$L$  = longueur d'échange = longueur du plan noir (m)

et :

$$\text{Pr} = \frac{v_s C_p}{\lambda_s} \quad ; \text{ Nombre de Prandtl}$$

$v_s$  = viscosité cinématique de la saumure ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$C_p$  = capacité calorifique de la saumure (J/kg.°K)

$\lambda_s$  = conductivité thermique de la saumure (W/m.K).

- Si Grashoff  $> 2 \cdot 10^7$

alors  $Nu = 0.14 (\text{Grashoff} \times Pr)^{0.33}$

Le coefficient d'échange thermique entre saumure et plan noir est tel que :

$$h_{c2} = \frac{Nu \cdot \lambda_s}{L}$$

$$\text{et } R_{c2} = \frac{L}{Nu \cdot \lambda_s}$$

b - Cas du distillateur à ruissellement de saumure :

Les résultats établis par Pohlhansen (13) donnent l'expression du Nusselt moyen (sur toute la longueur du plan noir  $L$ )  $Nu_L$ , si l'on admet une distribution uniforme des températures et des vitesses à l'origine on a alors :

$$Nu_L = 0.664 \times Re_L^{1/2} \times Pr^{1/3}$$

L'inclinaison  $\alpha$  du plan noir intervient dans  $Nu_L$  par l'intermédiaire de  $Re_L$ ; en effet :

$$Re_L = \frac{V_m \times L}{v_s}$$

$C_p$  = capacité calorifique de la saumure (J/Kg.°K)

$$V_m = \frac{DB}{\delta \times \text{largeur}}$$

avec  $DB$  = débit de la saumure ( $m^3/s$ )

$$\delta = \left( \frac{3 \times DB \times \nu_s}{g \sin \alpha} \right)^{1/3}$$

$\delta$  = épaisseur de la saumure (m)  
 $\nu_s$  = viscosité cinématique de la saumure.

largeur : largeur du plan noir (m)

$V_m$  = vitesse moyenne de la saumure (m/s)

$Re_L$  = nombre de Reynolds sur la longueur L du plan noir

$$Fr = \frac{C_p}{\lambda_s} = \text{Nombre de Prandtl}$$

et  $h_{csp} = \frac{Nu_L \times \lambda_s}{L}$

ou  $R_{10} = \frac{L}{Nu_L \times \lambda_s}$

III-2.3.1.2. Echange par rayonnement entre plan noir et vitre de condensation :

Pour les deux types de distillateurs à effet de serre, cet échange est régi par la loi de Stéphan et le coefficient  $h_r$  est de la forme :

$$h_{ri} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \sigma \cdot F(T_p^2 + T_{it}^2)(T_p + T_{it})$$

où :

$\epsilon_p, \epsilon_c$  = Emissivité du plan noir et de la vitre  
 $\sigma$  = Constante de Stephan Boltzmann

1

$F = - (1 + \cos B)$  : facteur de forme

2

$B$  = inclinaison de la couverture/plan noir.

$$R_{ri} = \frac{1}{h_{ri}} = R_{11}$$

III-2.3.1.3. Echange par convection entre saumure et vitre de condensation :

Les études de BAUM (2) ont contribué à montrer que dans les distillateurs à effet de serre, il existe une couche tampon de température constante (égale à la température du mélange air-vapeur au centre de l'unité de distillation) qui n'intervient pas dans le transfert de chaleur et de masse entre saumure et vitre . Ces résultats impliquent que seule la couche de liaison adjacente à la surface d'évaporation et à la surface de condensation de quelques mm d'épaisseur, intervient dans le transfert de chaleur et de masse.

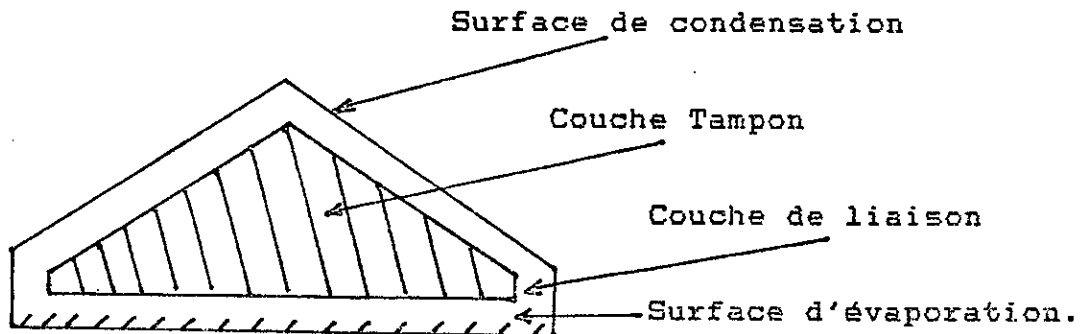


Tableau I : Coefficients d'échange par convection entre saumure et vitre de condensation.

Inclinaison B	Valeurs du Grashoff	Valeurs de Nusselt
0°	$Gr < 2 \cdot 10^3$	$Nu = 1$
	$2 \cdot 10^3 < Gr < 5 \cdot 10^4$	$Nu = 0.0507 Gr^{0.4}$
	$5 \cdot 10^4 < Gr < 2 \cdot 10^5$	$Nu = 3.8$
	$Gr > 2 \cdot 10^5$	$Nu = 0.0426 Gr^{0.37}$
20°	$Gr < 2 \cdot 10^3$	$Nu = 1$
	$2 \cdot 10^3 < Gr < 3 \cdot 10^4$	$Nu = 0.0507 Gr^{0.4}$
	$4 \cdot 10^4 < Gr < 2 \cdot 10^5$	$Nu = 3.6$
	$Gr > 2 \cdot 10^5$	$Nu = 0.0402 Gr^{0.37}$
30°	$Gr < 3 \cdot 10^3$	$Nu = 1$
	$3 \cdot 10^3 < Gr < 5 \cdot 10^4$	$Nu = 0.0588 Gr^{0.37}$
	$Gr > 2 \cdot 10^5$	$Nu = 0.0354 Gr^{0.37}$
45°	$Gr < 5 \cdot 10^3$	$Nu = 1$
	$5 \cdot 10^3 < Gr < 5 \cdot 10^4$	$Nu = 0.0503 Gr^{0.37}$
	$Gr > 2 \cdot 10^5$	$Nu = 0.0372 Gr^{0.37}$
60°	$Gr < 5 \cdot 10^3$	$Nu = 1$
	$5 \cdot 10^3 < Gr < 5 \cdot 10^4$	$Nu = 0.0431 Gr^{0.37}$
	$Gr > 2 \cdot 10^5$	$Nu = 0.0354 Gr^{0.37}$
70°	$Gr < 6 \cdot 10^3$	$Nu = 1$
	$10^4 < Gr < 8 \cdot 10^4$	$Nu = 0.0384 Gr^{0.37}$
	$Gr > 2 \cdot 10^5$	$Nu = 0.0342 Gr^{0.37}$



L'intensité de l'échange par convection interne dépend du Grashoff et de l'inclinaison de la couverture. Des résultats obtenus par Held donnent le Nusselt en fonction du Grashoff et de l'inclinaison B du toit (Tableau 1).

On constate que pour B donnée, si le Grashoff croit, le nombre de Nusselt croit ; et pour des valeurs de Grashoff  $< 2 \cdot 10^3$  quelque soit la valeur de B on a toujours  $Nu = 1$ .

Pour une inclinaison  $B = 20^\circ$

- Si  $Gr < 2 \cdot 10^3$  alors  $Nu = 1$
- Si  $2 \cdot 10^3 < Gr < 3 \cdot 10^4$  alors  $Nu = 0.0507 Gr^{0.4}$
- Si  $4 \cdot 10^4 < Gr < 2 \cdot 10^5$  alors  $Nu = 3,6$
- et Si  $Gr > 2 \cdot 10^5$  alors  $Nu = 0.0402 Gr^{0.37}$

l'expression du Grashoff est alors :

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot D^3 \cdot (T_s - T_{it})}{\nu_m^2}$$

avec  $\nu_m$  = viscosité cinématique du mélange air-vapeur  
 $D$  = longueur caractéristique du distillateur

$$D = 4 \times \frac{S_c}{P_c}$$

$S_c$  = Surface du côté du distillateur  
 $P_c$  = Périmètre de ce même côté  
 $\lambda_m$  = Conductibilité thermique du mélange air-vapeur

d'où 
$$h_{cl} = \frac{Nu \cdot \lambda_m}{D}$$
 et 
$$R_{cl} = \frac{1}{h_{cl}}$$

Dans le cas du distillateur dynamique cette résistance est représentée par  $R_7$ .

#### III-2.3.1.4. Echange par évaporation condensation entre saumure et vitre de condensation

BAUM (2) a montré que les processus d'évaporation et de condensation sont très liés, ils croissent ou décroissent en même temps. Pour tous les types de distillateurs, la connaissance des coefficients d'échange à l'évaporation et à la condensation, permet le calcul du taux d'eau distillée produite M:

$$M = H \times (T_s - T_{it}) / L(T_m)$$

où

$$H^{-1} = h_{evap}^{-1} + h_{cond}^{-1}$$

$h_{evap}$  = Coefficient d'échange thermique à l'évaporation ( $W/m^2.K$ )  
 $h_{cond}$  = coefficient d'échange thermique à la condensation ( $W/m^2.K$ )  
 $L(T_m)$  = Chaleur latente d'évaporation de l'eau à la température  $T_m$  du mélange air-vapeur ( $W/kg$ ).

a - Cas du distillateur statique :

- à l'évaporation

$$Nu_{ev} = 39.8 \epsilon_{ev} (Gr_e \times Pr_e)^{0.17}$$

Pour  $2.17 \cdot 10^6 < (Gr_e \times Pr_e) < 1.78 \cdot 10^7$

- à la condensation

$$Nu_c = 1.413 \cdot 10^4 \times \epsilon_{cond} (Gr_c \times Pr_c)$$

Pour  $2.35 \cdot 10^6 < (Gr_c \times Pr_c) < 2.51 \cdot 10^7$

Avec :  $Nu_{ev}, Nu_c$  = nombre de NUSSELT à l'évaporation et à la condensation.

$Gr_e, Gr_c$  = nombre de GRASHOFF à l'évaporation et à la condensation.

$Pr_e, Pr_c$  = nombre de PRANDTL à l'évaporation et à la condensation.

$\epsilon_{ev}, \epsilon_{cond}$  = pression de vapeur d'eau à l'évaporation et à la condensation.

L'expression de la pression est donnée par (6)

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

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

D'où

$$h_{évap} = \frac{Nu_{ev} \times \lambda_m}{D/2}$$

$$h_{cond} = \frac{Nu_c \times \lambda_m}{D/2}$$

ce qui donne :

$$R_{évap} = \frac{1}{h_{évap}} \quad \text{et} \quad R_{cond} = \frac{1}{h_{cond}}$$

BAIRAMOV et RYBAKOVA (14) obtiennent les résultats suivants avec des valeurs du produit  $(Gr \times Pr)$  plus élevées correspondant à des écarts de température entre saumure et vitre plus élevés :

$$Nu_{ev} = 2.767 \times \epsilon_{ev} \times (Gr_e \times Pr_e)^{0.34}$$

pour  $1.58 \cdot 10^8 < (Gr_e \times Pr_e) < 4.7 \cdot 10^8$

et  $Nu_c = 5.164 \cdot 10^{-2} \times \epsilon_{cond} \times (Gr_c \times Pr_c)^{0.61}$

pour  $1.66 \cdot 10^8 < (Gr_c \times Pr_c) < 7.39 \cdot 10^8$

b Cas du distillateur à ruissellement de saumure :

BAIRAMOV et RYBAKOVA (14) obtiennent les résultats suivants :

- à l'évaporation :

$$Nu_{ev} = 8.92 \cdot 10^2 \times \epsilon_{ev}$$

pour  $2.04 \cdot 10^6 < (Gr_e \times Pr_e) < 7.94 \cdot 10^6$

$$R_{évap} = R_g = \frac{1}{h_{évap}}$$

- à la condensation :

$$Nu_c = 4.365 \cdot 10^{-3} \times \epsilon_{cond} \times (Gr_c \times Pr_c)^{0.8}$$

pour  $2.23 \cdot 10^6 < (Gr_c \times Pr_c) < 1.02 \cdot 10^7$

$$\text{et } R_{\text{cond}} = R_8 = \frac{1}{h_{\text{cond}}}$$

Nous remarquons déjà que l'intensité du transfert de chaleur et de masse à l'évaporation et à la condensation est plus élevée pour ce type de distillateur que pour le distillateur statique.

### III-2.3.1.5. Echange par convection forcée entre la vitre et l'air extérieur :

L'intensité de cet échange dépend de la vitesse du vent, et dépend très faiblement de l'inclinaison de la vitre.

$h_c$  est donné par l'expression suivante :

$$h_c = 5.7 + 3.8 V$$

$$\text{et } R_c = \frac{1}{h_c} = R_1$$

où  $V$  = vitesse du vent (m/s) et  $h_c$  en ( $W/m^2$ )

### III-2.3.1.6. Echange par rayonnement entre la vitre et le ciel :

Le coefficient d'échange  $R_r^{-1}$  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, d'où :

$$R_2^{-1} = R_r^{-1} = \epsilon_t \cdot \sigma (T_{st}^2 + T_e^2) (T_{st} + T_e)$$

avec

$$T_e = 0.0552 \times T_a^{1.5} \quad (T_e \text{ et } T_a \text{ en } ^\circ\text{K})$$

$\epsilon_t$  = Emissivité de la vitre

$T_{st}$  = température de la face externe de la vitre

$\sigma$  = constante de Stéphan - Boltzmann.

### III-2.3.1.7. Echange par conduction:

- A travers la surface inférieure du distillateur on peut considérer qu'on a trois murs en série : Le premier en verre aggloméré (fibre de verre) formant la base du distillateur, le second étant l'isolant en liège et le troisième le contre-plaqué.

On pourra donc écrire :

$$R_B = \frac{e_B}{\lambda_B} = \frac{e_{bac}}{\lambda_{bac}} + \frac{e_{isolant}}{\lambda_{isolant}} + \frac{e_{cp}}{\lambda_{cp}} \quad (\text{W/m}^2.\text{K})^{-1}$$

avec :  $e_{bac}$ ,  $e_{isolant}$ ,  $e_{cp}$  = épaisseurs du bac, de l'isolant et du contre-plaqué,  
 $\lambda_{bac}$ ,  $\lambda_{isolant}$ ,  $\lambda_{cp}$  = conductivités thermiques du bac, de l'isolant et du contre-plaqué.

- A travers la vitre :

$$R_3 = R_T = \frac{e_T}{\lambda_T} \quad (\text{W/m}^2.\text{K})^{-1}$$

avec  $e_T$  = épaisseur de la vitre

$\lambda_T$  = conductivité thermique de la vitre.

III-2.3.1.8. Résistances équivalentes : (R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>)

R<sub>11</sub> étant entre T<sub>4</sub> et T<sub>6</sub> (Fig. 15) on peut la diviser en deux résistances R<sub>01</sub> et R<sub>02</sub> telles que :

$$\frac{T_8 - T_4}{R_{11}} = \frac{T_8 - T_6}{R_{02}} \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{R_{02}} = \frac{T_8 - T_4}{R_{11}(T_8 - T_6)}$$

$$\frac{T_8 - T_4}{R_{11}} = \frac{T_6 - T_4}{R_{01}} \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{R_{01}} = \frac{T_8 - T_4}{R_{11}(T_6 - T_4)}$$

R<sub>4</sub> est équivalente aux résistances se trouvant entre T<sub>4</sub> et T<sub>6</sub> et représente R<sub>7</sub> en parallèle avec R<sub>8</sub> et R<sub>9</sub> (qui sont en séries) et en parallèle avec R<sub>01</sub>.

Donc

$$R_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_7} + \frac{1}{(R_8 + R_9)} + \frac{1}{R_{01}}}$$

R<sub>5</sub> est la résistance équivalente à celles se trouvant entre T<sub>6</sub> et T<sub>8</sub> et donc représente R<sub>10</sub> en parallèle avec R<sub>02</sub>.

D'où

$$R_5 = \frac{1}{\frac{1}{R_{10}} + \frac{1}{R_{02}}}$$

### III-2.3.2. Calcul des différentes puissances :

#### III-2.3.2.1. Puissance utile absorbée (P<sub>0</sub>)

Elle dépend essentiellement de l'absorptance effective du distillateur, celle-ci est égale à 0.8 (6).

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

Elle représente sur le schéma équivalent un courant qui arrive dans le circuit sur le point T<sub>6</sub>.

#### III-2.3.2.2. Puissance dissipée dans le plan noir et la saumure (P<sub>2</sub>)

C'est le courant qui passe réellement dans R<sub>5</sub>. Il est calculé par le principe de superposition des courants :

$$\frac{T'_1 - T_6}{R_5 + R_6} \quad \text{et} \quad \frac{R_6}{R_5 + R_6} \times P_0$$

Donc:

$$P_2 = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \times P_0 + \frac{T'_1 - T_6}{R_5 + R_6}$$

#### III-2.3.2.3. Puissance absorbée par la vitre et le condensat (P<sub>3</sub>)

Celle-ci est représentée par le courant qui traverse R<sub>3</sub> et selon les lois des noeuds et des mailles on a :

$$P_{31} = \frac{T_6 - T_2 - (R_3 + R_4)P_3}{R_2} \quad \text{Courant passant dans } R_1$$



et

$$P_{32} = \frac{T_6 - T_1 - (R_3 + R_4)P_3}{R_1} \quad \text{Courant passant dans } R_2$$

On en déduit :

$$P_3 = \frac{T_6(R_2 + R_1) - T_2R_1 - T_1R_2}{R_1R_2 + (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

III-2.3.2.4. Puissance absorbée par la saumure et convertie en chaleur ( $P_1$ )

$P_1$  représente le courant qui passe réellement dans  $R_5$

$$P_1 = P_2 - P_3$$

III-2.3.2.5. Puissance absorbée par le mélange air-vapeur ( $P_4$ )

C'est le courant qui passe dans  $R_8$  et  $R_9$  résistances d'échange par évaporation condensation.

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

III-2.3.2.6. Puissance absorbée par le plan noir ( $P_6$ )

C'est le courant passant dans  $R_6$  et dont l'expression est :

$$P_6 = \frac{T_8 - T_1}{R_6}$$

III-2.3.2.7. Puissance absorbée par la saumure ( $P_5$ )

$$P_5 = P_0 - P_6$$

III-2.3.3. Calcul des températures finales:

III-2.3.3.1. Température finale du plan noir ( $T_9$ )

On l'obtient par le principe de superposition des tensions :

$$T_9 = \frac{T_6 R_6}{R_5 + R_6} + \frac{T_1' R_5}{R_5 + R_6} + \frac{P_0 R_5 R_6}{R_5 + R_6}$$

III-2.3.3.2. Température finale de la face interne de la vitre ( $T_5$ )

A partir des deux équations suivantes :

$$T_1 + R_1 P_1 = T_2 + R_2 P_2$$

$$P_3 = P_{31} + P_{32}$$

on obtient :

$$T_5 = T_1 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} - R_3 \right) P_3 - \left( \frac{T_1 - T_2}{R_1 + R_2} \right)$$

III-2.3.3.3. Température de la face externe de la vitre ( $T_3$ )

$$T_3 = T_4 + R_3 P_3$$

#### III-2.3.3.4. Température finale de la saumure (T<sub>7</sub>)

Son expression est donnée par (6)

$$T_7 = T_6 + \frac{P_1}{CC.DS.A_1}$$

A<sub>1</sub> : densité de l'eau égale à 992

#### III-2.3.3.5. Température finale du mélange air-vapeur (T<sub>10</sub>)

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, d'où :

$$T_{10} = \frac{T_6 + T_4}{2}$$

#### III-2.3.3.6. Calcul du taux de production

Le taux est égal au rapport de la puissance absorbée dans le mélange air-vapeur à la chaleur latente (13)

$$M = \frac{P_4}{L}$$

### III-3. METHODOLOGIE DE LA SIMULATION :

Les résultats expérimentaux ont toujours constitué la phase décisive d'une étude de systèmes réels. L'ordinateur étant devenu

un instrument accessible, la simulation se révèle un outil appréciable dès l'établissement de la phase théorique.

Avant d'expliquer la méthode de résolution de nos systèmes de distillation, donnons les hypothèses qui nous permettront de simplifier la résolution.

1 - L'unité de distillation est étanche, il n'y a donc pas de perte de vapeur d'eau ; l'étanchéité du distillateur dépend uniquement des joints utilisés.

2 - Les parois latérales du distillateur ne sont pas impliquées dans les processus de transfert de chaleur et de masse car leur température est proche de celle du mélange air-vapeur et ceci grâce à leur calorifugeage par l'extérieur. Il ne se produit donc pas de condensation sur ces parois.

3 - La condensation de l'eau sur la couverture se fait sous forme de film homogène et continu car la couverture est en verre ayant une bonne mouillabilité. Ce qui laisse supposer que toute l'eau condensée est récupérée dans les gouttières.

4 - La concentration en sels de la saumure n'intervient pas dans le transfert de chaleur et de masse au niveau de 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.

- Les dépôts de sels ne sont pas importants donc les propriétés optiques du plan noir sont inchangées.

### III-3.1. Cas du distillateur à saumure statique :

#### III-3.1.1. Principe :

Le principe utilisé est celui des différences finies des flux de chaleur. Dans ce distillateur, la saumure ne ruisselle pas sur la surface noire absorbante 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 un intervalle de temps  $T$  et pour des paramètres météorologiques donnés est importante.

On pourra donc admettre que les échanges de chaleur de l'unité de distillation avec le milieu extérieur se produisent par quantités finies de l'instant  $t$  à l'instant  $t + T$ . Ce qui permet un découpage fictif du temps  $T$  en  $N$  intervalles finis de valeur  $dt$ . Un calcul par itération permet d'obtenir la répartition des températures dans l'ensemble du distillateur à la fin de chaque intervalle de temps ainsi que l'efficacité instantanée correspondante.

En regroupant ces différents intervalles de temps, on décrit le comportement global du distillateur pendant toute la durée  $T$  de fonctionnement et on détermine l'efficacité moyenne qui sera la moyenne arithmétique des  $N$  efficacités instantanées.

#### III-3.1.2. Classification des paramètres :

Dans le but de faciliter la compréhension des programmes, les différents paramètres ont été classés en trois catégories pouvant être en entrée ou en sortie :

- Les paramètres principaux.
- Les paramètres secondaires.
- Les paramètres intermédiaires.

a - Les paramètres principaux :

\* En entrée : Ce sont ceux dont on veut étudier l'influence de la variation sur les grandeurs caractérisant la production d'eau du distillateur (efficacité, rendement...)

On peut noter :

$T_a$  = Température ambiante  
 $VV$  = Vitesse du vent  
 $E_o$  = Puissance du rayonnement solaire global incident sur une surface horizontale.  
 $TIS$  = Température initiale de la saumure  
 $B$  = Inclinaison de la couverture par rapport à l'horizontal.  
 $D$  = Distance moyenne entre saumure et toit  
 $RIS$  = Résistance thermique de l'isolant arrière.

\* En sortie: Ce sont les paramètres qui caractérisent la performance du distillateur.

$EIH$  : Efficacité interne horaire du distillateur.  
 $EGH$  : Efficacité globale horaire du distillateur.  
 $RDH$  : Rendement horaire du distillateur

b - Les paramètres secondaires :

\* 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 y a notamment :

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

Exemple :

Longueur et largeur du distillateur  
Conductivité thermique de la couverture  
Emissivité du plan noir  
Emissivité de la vitre.

- Les caractéristiques physico-chimique du fluide (saumure , mélange air-vapeur, distillat) qui dépendent en général de la température ; on peut noter :  
La viscosité, la masse volumique, la conductivité thermique de la saumure et celle du mélange air-vapeur ainsi que la capacité calorifique de l'eau.

\* En sortie : Ce sont les paramètres dont la connaissance permet de contrôler le déroulement des résultats et de favoriser l'exploitation de ceux-ci.

Exemple:

Températures finales de la saumure et de la vitre.  
Epaisseur finale de la saumure.

c - Paramètres intermédiaires :

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

- l'épaisseur de la saumure au début et à la fin du temps élémentaire, les températures moyennes de la saumure, du plan noir et de la vitre à la fin du temps élémentaire. Puissance solaire réellement absorbée par le plan noir et la saumure instantanément, les efficacités interne et globale instantanées relatives au temps élémentaire, rendement instantané de l'ensemble du distillateur.

III-3.1.3. Méthodologie:

Nous remarquons, d'après la classification des paramètres et la discrétisation du temps, que le modèle de résolution adopté à savoir l'analogie électrique des flux de chaleur ne permet d'accéder aux paramètres principaux de sortie (efficacité, rendement) que par un calcul progressif des paramètres intermédiaires instantanés.

Ainsi 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 qui constitueront les valeurs en entrée de la deuxième tranche et ainsi de suite jusqu'au recouvrement total du temps. Donnons, avec plus de détails le processus de la démarche :

Au premier intervalle de temps  $T_1$  et pour l'ensemble du distillateur, on injecte :

- Une épaisseur et une température initiales de la saumure. ( $D_0$  et  $T_4$ )
- Une température initiale pour le condensat ( $T_2$ ).

Un modèle de calcul reposant sur la transcription donne à la fin de ce premier instant, les paramètres intermédiaires :

- $R_0$  : rendement instantané de l'ensemble du distillateur
- $DF$  : épaisseur de la saumure à la fin du temps élémentaire
- $T_7$  : température moyenne de la saumure à la fin du temps élémentaire.
- $T_{VI}$  : Température moyenne de la vitre à la fin du temps élémentaire
- $E I$  et  $E G$ .

Les valeurs de  $R_0$ ,  $E I$  et  $E G$  sont stockées en mémoire pour la détermination du rendement final et des efficacités moyennes.

Pour le deuxième intervalle de temps  $T_2$ , on applique en entrée les valeurs de l'épaisseur de la saumure et de la température d'



condensat- trouvées au bout de l'instant  $T_1$ .

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

### III-3.2. Cas du distillateur à ruissellement de saumure :

#### III-3.2.1. Principe :

Comme pour le distillateur statique, le principe utilisé est celui des différences finies des flux de chaleur.

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  $4^{\circ}\text{C}$  (Fig.16).

L'importance de cette évolution ne nous permet pas de simuler le système de distillation comme étant une section finie de dimensions égales à celles du distillateur (comme est le cas du statique); du fait que la linéarisation n'est valable que pour de faibles variations de la température. Afin d'éviter ce problème, on procède à un découpage fictif du distillateur en plusieurs sections, de telle sorte que la différence de température entre l'entrée et la sortie de chaque section soit très faible. On aura ainsi découpé notre distillateur en plusieurs distillateurs élémentaires dans lesquels les températures ne varient pas beaucoup entre l'entrée et la sortie.

Un découpage du temps est aussi fait de la même manière que pour le distillateur statique.

#### III-3.2.2. Classification des paramètres :

De la même manière et pour les mêmes raisons que pour le distillateur statique, les différents paramètres ont été classés en trois catégories. La classification des paramètres est identique à celle du distillateur statique sauf que, pour le

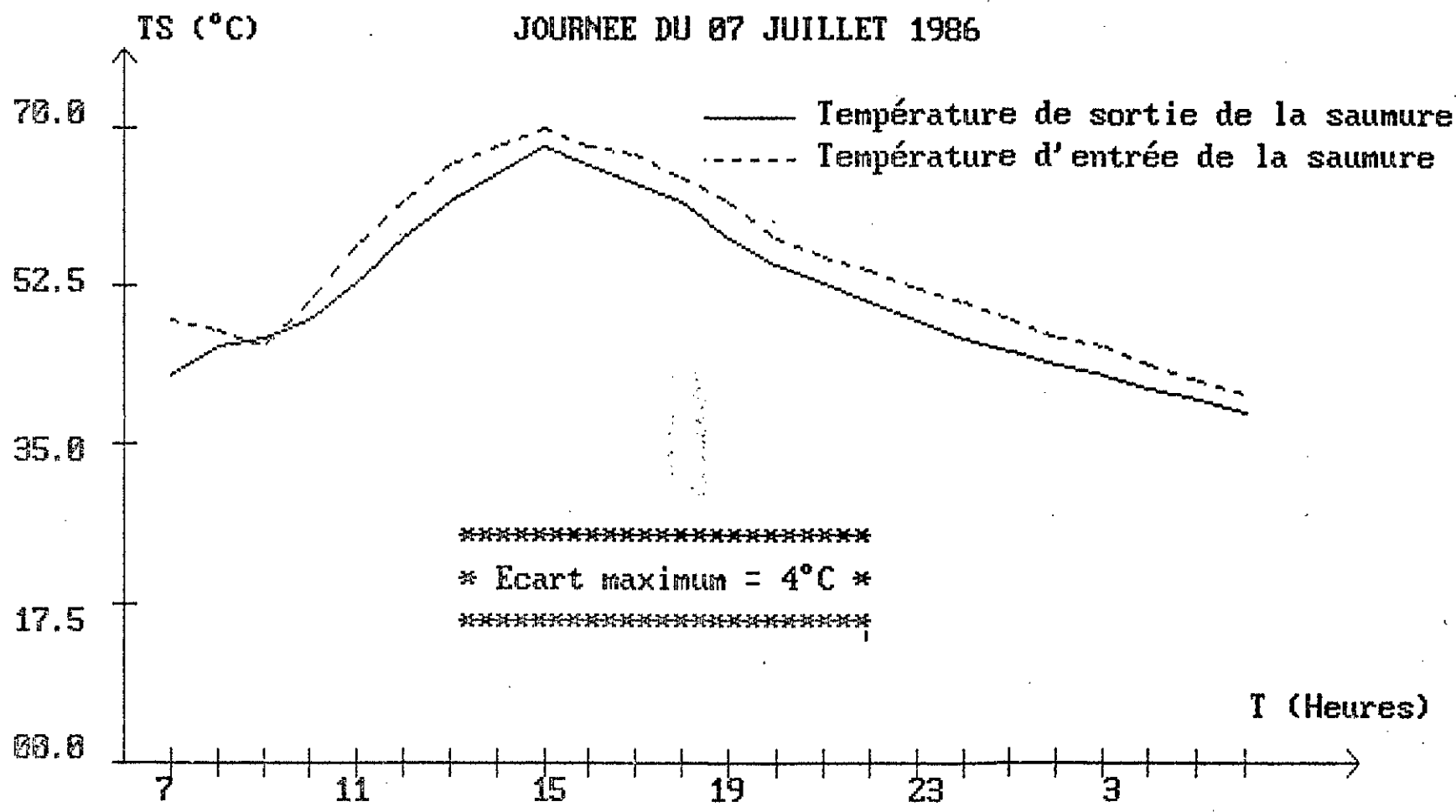


FIG.16: EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE LA SAUMURE A L'ENTREE  
ET A LA SORTIE DU DISTILLATEUR DYNAMIQUE

distillateur dynamique nous avons deux paramètres principaux en entrée qui influent directement sur la production d'eau distillée et qui sont le débit de la saumure et la température d'entrée de la saumure à distiller.

### III-3.2.3. Méthodologie

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

Afin de simuler le distillateur, on le découpera en plusieurs sections (découpage fictif), chaque section étant considérée comme un distillateur à ruissellement de saumure.

On calculera les températures finales du plan noir  $T_9$ , de la saumure  $T_7$  et du toit interne  $T_5$  en sortie de chaque section, en fonction des échanges thermiques, et ceci grâce au schéma électrique équivalent du distillateur et à l'application de la loi d'Ohm.

La production (rendement et efficacités) et les pertes de chaque section sont calculées à partir des températures du plan noir, de la saumure et du toit interne.

La variation de ces températures entre l'entrée et la sortie de la section nous a mené à prendre comme température la moyenne

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

Le distillateur étant découpé en plusieurs sections adjacentes, on lira la température d'entrée de la saumure dans le distillateur (donc celle d'entrée de la première section) soit  $T_{e1}$ , on calculera la température  $T_{s1}$  en sortie de cette section qui va représenter la température d'entrée de la deuxième section, d'où  $T_{e2} = T_{s1}$ . On calculera  $T_{s2}$  et ainsi de suite jusqu'à la dernière section.

Donc  $T_{e1} = T_e$ ,  $T_{s(n-1)} = T_{e(n)}$  et  $T_{s(n)} = T_s$

où  $T_e$  et  $T_s$  représentent les températures d'entrée et de sortie de la saumure à distiller.

Nous remarquons, qu'en plus de la discrétisation du temps - c'est à dire du découpage fictif du temps de fonctionnement en  $n$  intervalles finis - dans le cas du distillateur à saumure statique; le distillateur à ruissellement de saumure nécessite un découpage fictif de la surface de distillation en plusieurs sections de dimensions assez petites de manière à pouvoir considérer le système comme étant linéaire dans une section élémentaire.

### III-4 STRUCTURE DES PROGRAMMES

#### III-4.1. Organisation Générale de Gestion et de Calcul:

Après rangement, dans des fichiers, de tous les paramètres enregistrés sur cassettes - par la centrale de mesures - (soit, les températures des différents milieux et les paramètres météorologiques) et après initialisation des différentes constantes utilisées, le choix du code de sélection de l'un des distillateurs, statique (DISTILS) ou dynamique (DISTILD) à ruissellement de saumure, s'impose (voir Fig. 17).

Pour chaque distillateur, il existe un organigramme général qui représente le plan condensé des différentes étapes de calcul.

Là encore, un choix de l'option désirée - calcul de la production ou des pertes du distillateur simulé ou réel - s'impose. Un test sur l'établissement des calculs sera fait par la suite. Si ceux-ci ont déjà été effectués, on passera directement à la représentation des résultats (les calculs étant assez longs, surtout dans le cas du distillateur simulé, il est inutile de les refaire à chaque fois car les résultats sont sauvegardés dans des

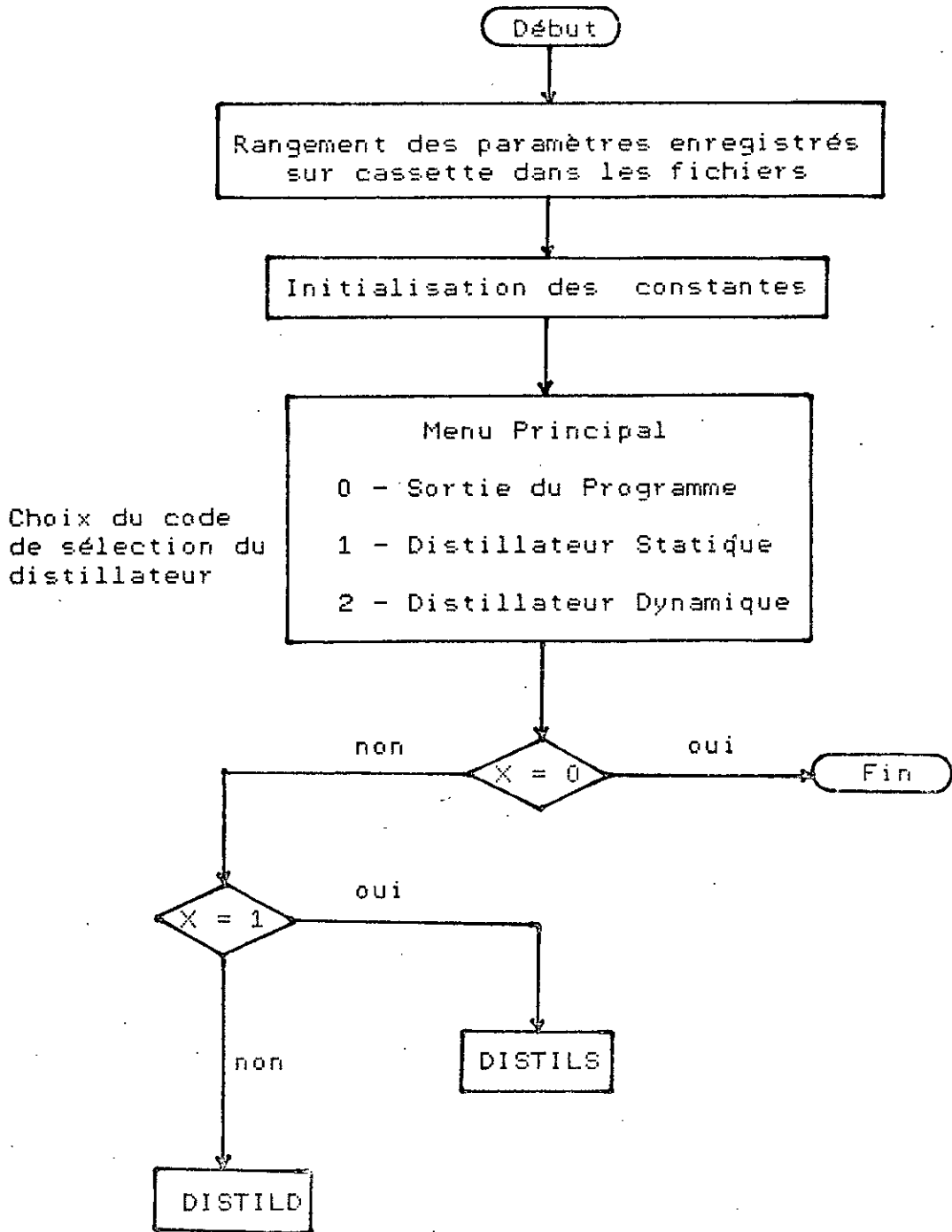


Fig. 17 : Choix du distillateur.

fichiers dès que le calcul est terminé).

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

Dans le cas de la représentation sous forme de tableaux, tous les paramètres horaires calculés apparaîtront en même temps en fonction du temps. Dans le cas de la représentation sous forme de courbes, on tracera (selon le choix fait par l'utilisateur) un des paramètres calculés (efficacité interne ou globale, rendement, pertes...) en fonction du temps. (Voir Fig. 18 et Fig. 19).

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

Après avoir pris connaissance de l'organisation générale de gestion, il s'agit à présent de voir pour chaque programme comment les différents modules, chacun 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 traduisent la résolution du problème en fonctionnement ponctuel des distillateurs (fonctionnement horaire).

Malgré le caractère particulier de chacun des deux programmes DISTILS et DISTILD, on retrouve une similitude dans le rôle des divers modules intervenant au niveau de chacun d'eux ; tous deux comportent, outre un programme principal qui organise les différentes opérations, des modules permettant de calculer respectivement :

- Les résistances thermiques, en utilisant les coefficients d'échange thermique.

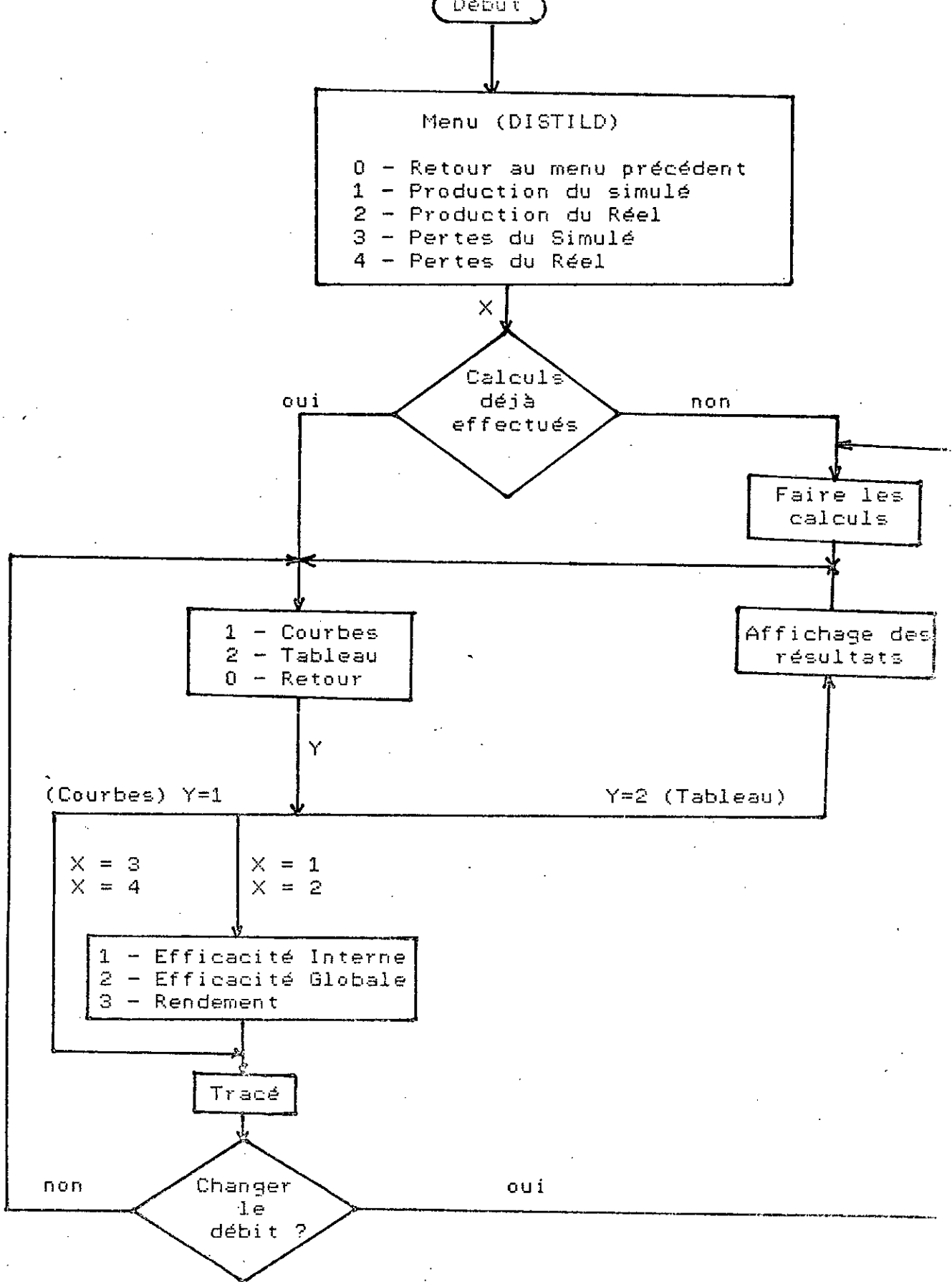


Fig. 18 : Organigramme de gestion des résultats et calculs dans le cas de DISTILD.

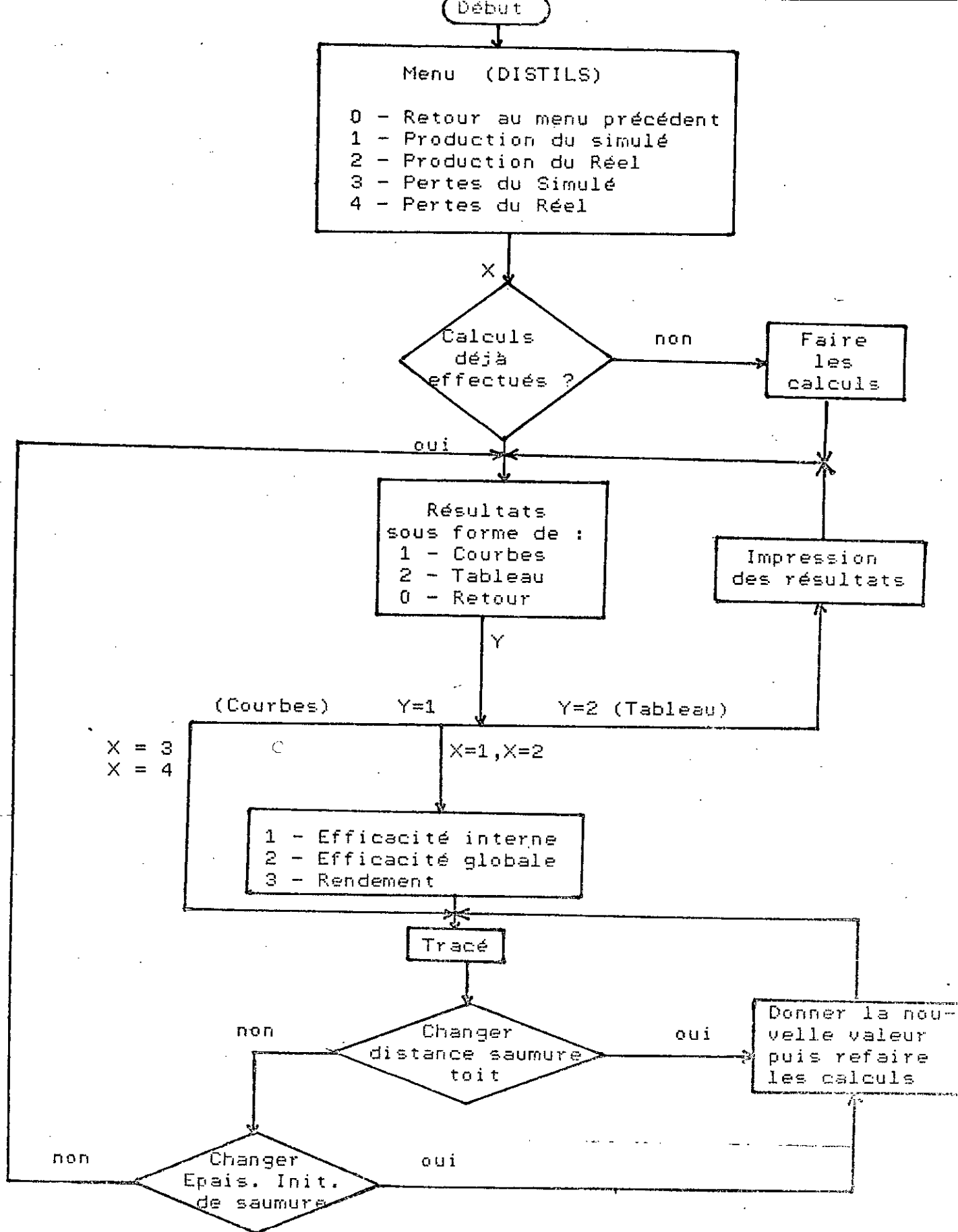


Fig. 19 : Organigramme de gestion des résultats et calculs dans le cas de DISTILS.



- Les flux et les potentiels.
- Les efficacités et rendement.

ou encore des modules qui permettent :

- d'initialiser les constantes.
- de représenter les résultats sous forme de tableau ou de courbes.

Pour chaque programme, DISTLS et DISTILD, nous présenterons les organigrammes suivants :

- Organigramme de gestion des résultats et calculs.
- Organigramme de calcul du rendement et des efficacités.
- Organigramme de calcul des pertes (pour les distillateurs réel et simulé).
- Dans le cas du distillateur statique simulé, nous présenterons également l'organigramme qui définit l'enchaînement des opérations du module le plus important par le rôle ; c'est le module CONV T qui teste la convergence des températures calculées et qui calcule les potentiels et les flux inconnus.

### III-4.2. Structure Interne et Représentation

#### III-4.2.1. Cas du distillateur statique :

On décrit une boucle relative au temps de simulation (une heure). Pour chacun des IT intervalles de temps qui divisent également l'heure, le module CONV T calcule les paramètres intermédiaires de sortie instantanée 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 (voir Fig. 20) . Pour toutes les heures on calcule ainsi la valeur des efficacités moyennes internes EIH et globale EGH qui vont être cumulées pour donner les efficacités moyennes journalières au bout d'un cycle de 24 heures.

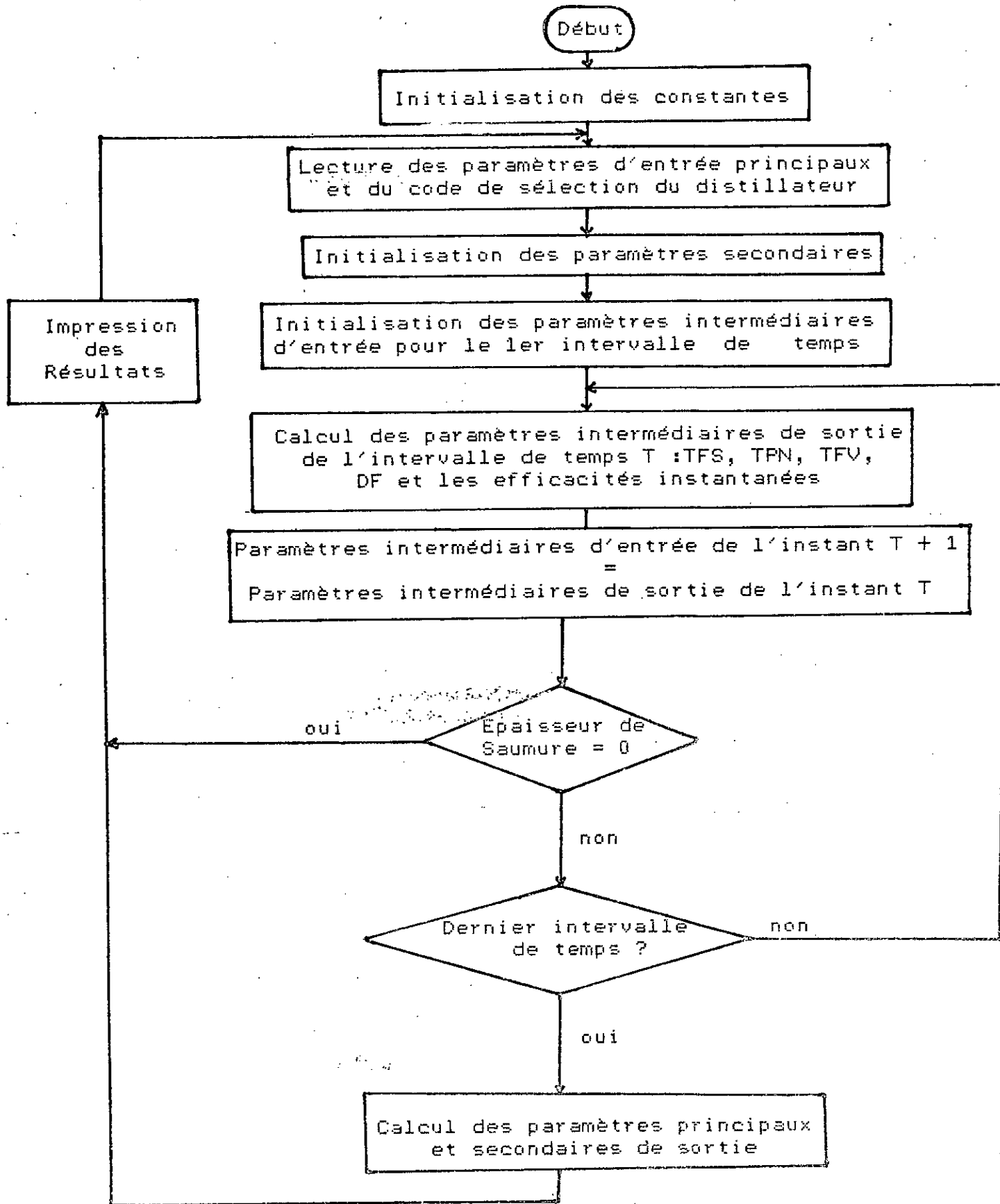


Fig. 20 : Organigramme général du modèle simulé du distillateur statique

Les organigrammes des Figs. 21 et 22 montrent qu'il existe deux boucles imbriquées relatives au temps :

- La première décrit le comportement du distillateur au cours d'une période de 24 heures à partir de l'instant H heure fixée arbitrairement jusqu'à l'instant H + 24 ; la journée étant divisée par pas d'une heure, à la fin de l'heure H les valeurs de températures et de l'épaisseur de la saumure sont injectées en entrée pour l'heure H + 1.

- La deuxième boucle interne à la première est relative à l'heure, qui est divisée en quatre quarts d'heure ; elle caractérise le fonctionnement instantané du distillateur.

Pour chaque quart d'heure, les paramètres calculés sont sauvegardés dans des fichiers. Il en est de même pour les paramètres horaires et journaliers.

L'organigramme de la figure 23 représente le module qui calcule les potentiels inconnus (Températures du Plan Noir et de la Vitre Interne), les potentiels connus étant  $T_a$ ,  $T_e$  et  $TIS$ .

Aux potentiels inconnus on donne des valeurs arbitraires, ceci permet le calcul de toutes les résistances 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 les températures finales de la saumure et de la vitre, l'épaisseur finale instantanée de la saumure et le rendement instantané dont la valeur sera stockée en mémoire en vue du calcul du rendement

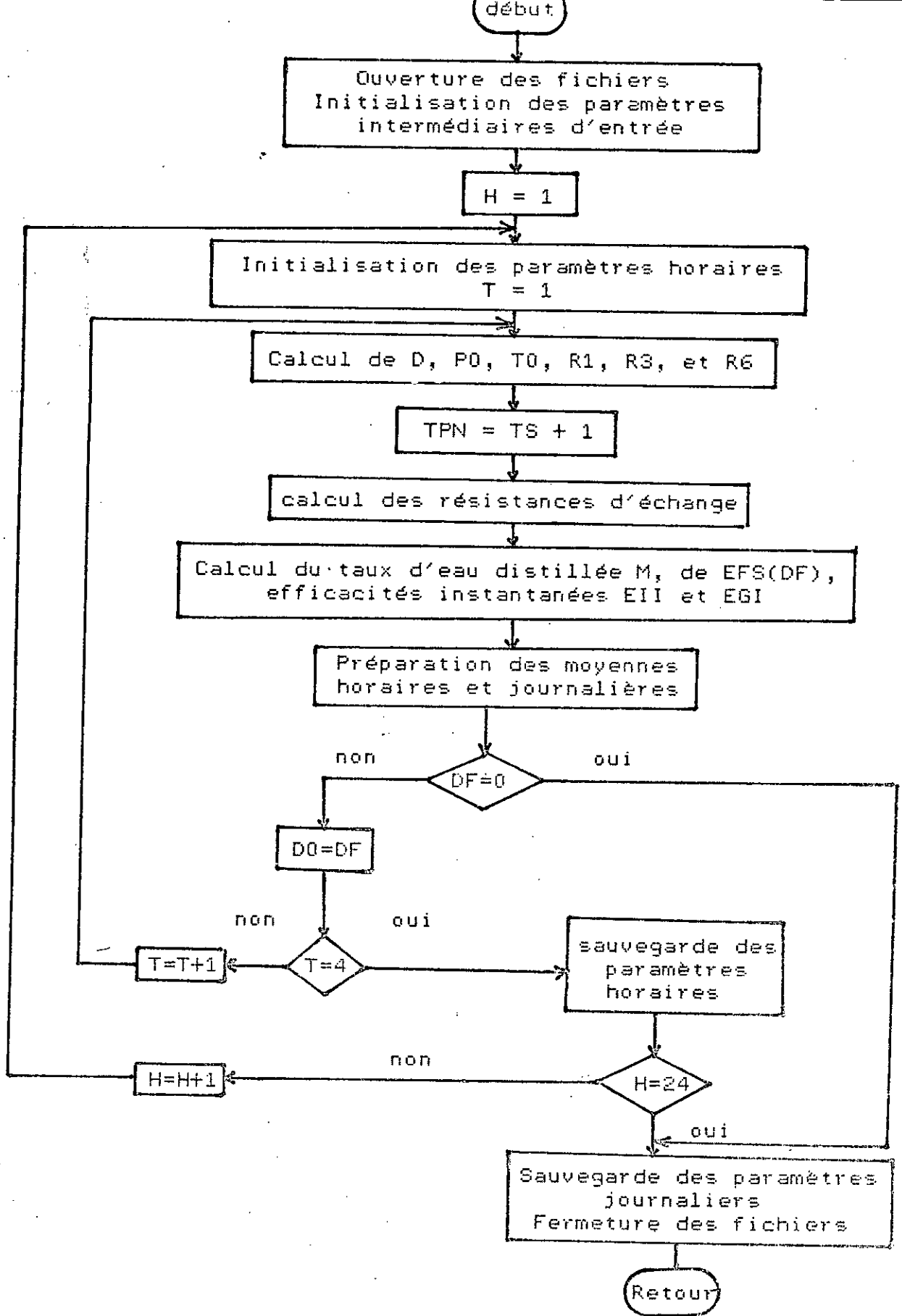


Fig. 21 : Organigramme de calcul de la production de DISTILS réel

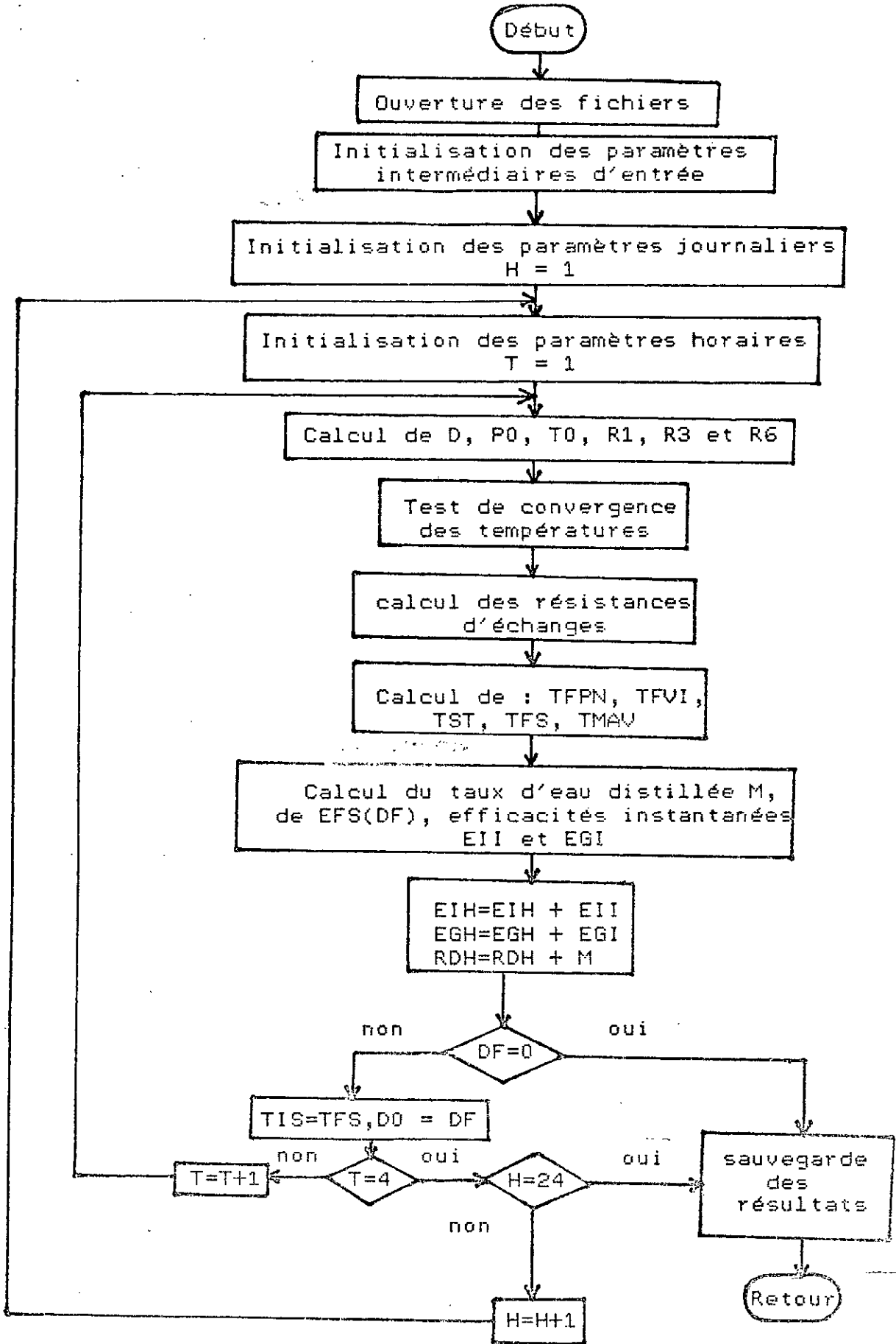


Fig. 22 : Organigramme de calcul de la production de DISTILS simulé

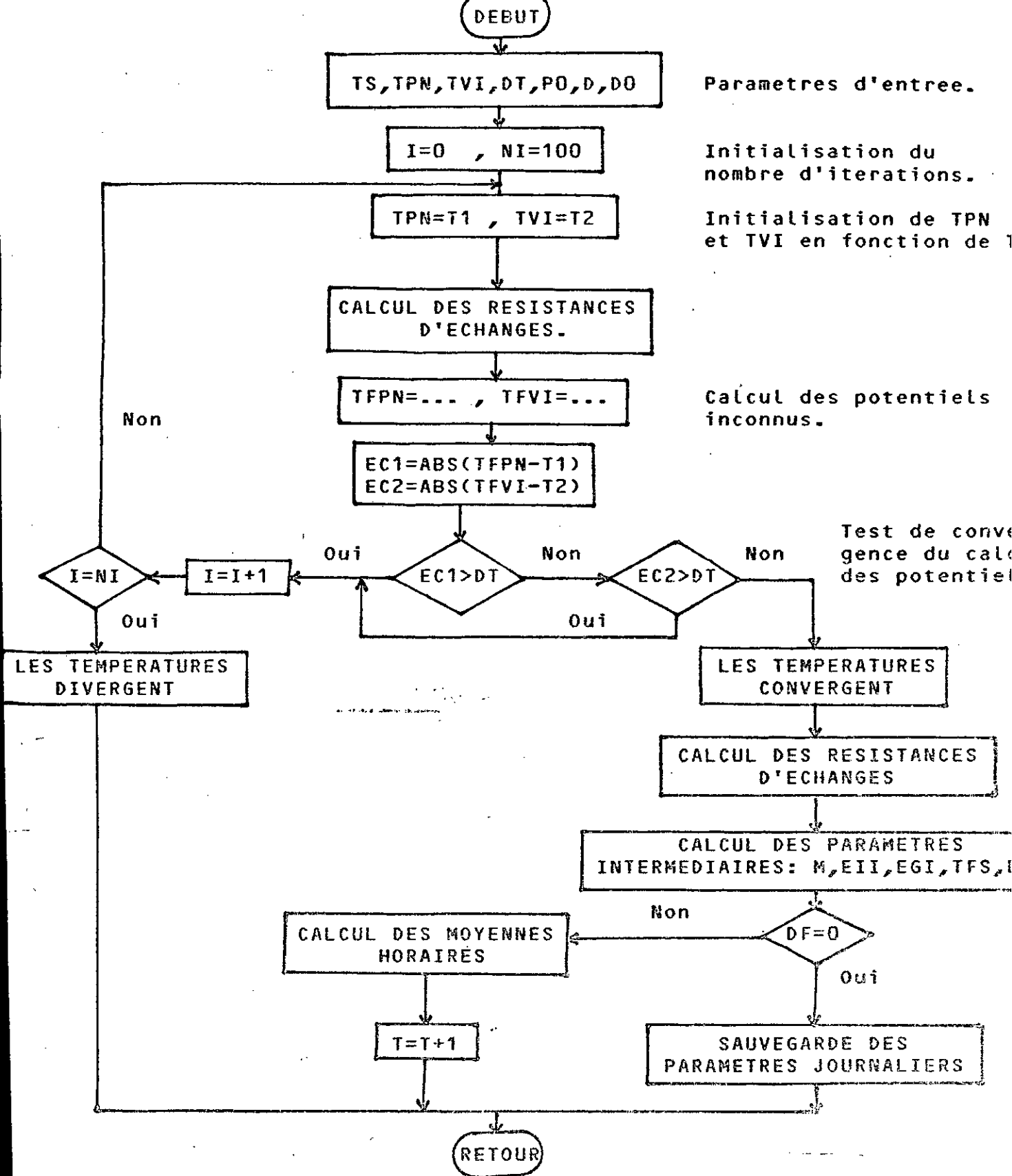


Fig. 23 : Organigramme de calcul des potentiels inconnus et de test de convergence des températures.

horaire.

Pour l'intervalle de temps suivant  $T+1$ , on applique en entrée (voir Fig. 20) 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  $T$ .

On procède de même pour les instants suivants jusqu'à épuisement du temps total  $T$ , qui est égal à 24 heures divisées en 24 périodes d'une heure, chacune de celles-ci étant divisée en 4 intervalles de 15 mn.

### III-4.2.2. Cas du distillateur dynamique:

#### III-4.2.2.1. Organigramme de calcul de la production du distillateur réel (Fig. 24) :

Ce calcul est relatif à une section élémentaire du distillateur à ruissellement de saumure.

Dans cet organigramme, nous avons deux boucles imbriquées.

- a - La boucle la plus interne est relative au découpage de l'heure en quatre quarts-d'heure ( $T$  variant de 1 à 4) ; elle permet le calcul instantané des paramètres (rendement, efficacité globale et efficacité interne) ; une sommation de ces paramètres, c'est à dire :

$$PAR(T) = PAR(T) + PAR(T - 1)$$

$PAR$  étant l'un des paramètres calculés, permet d'avoir à la fin de la boucle des valeurs horaires :

$$PAR(H) = PAR(T)$$

$PAR(H)$  représente le paramètre horaire ; ces valeurs sont sauvegardées dans des fichiers. On remet ensuite  $PAR(T)$  à

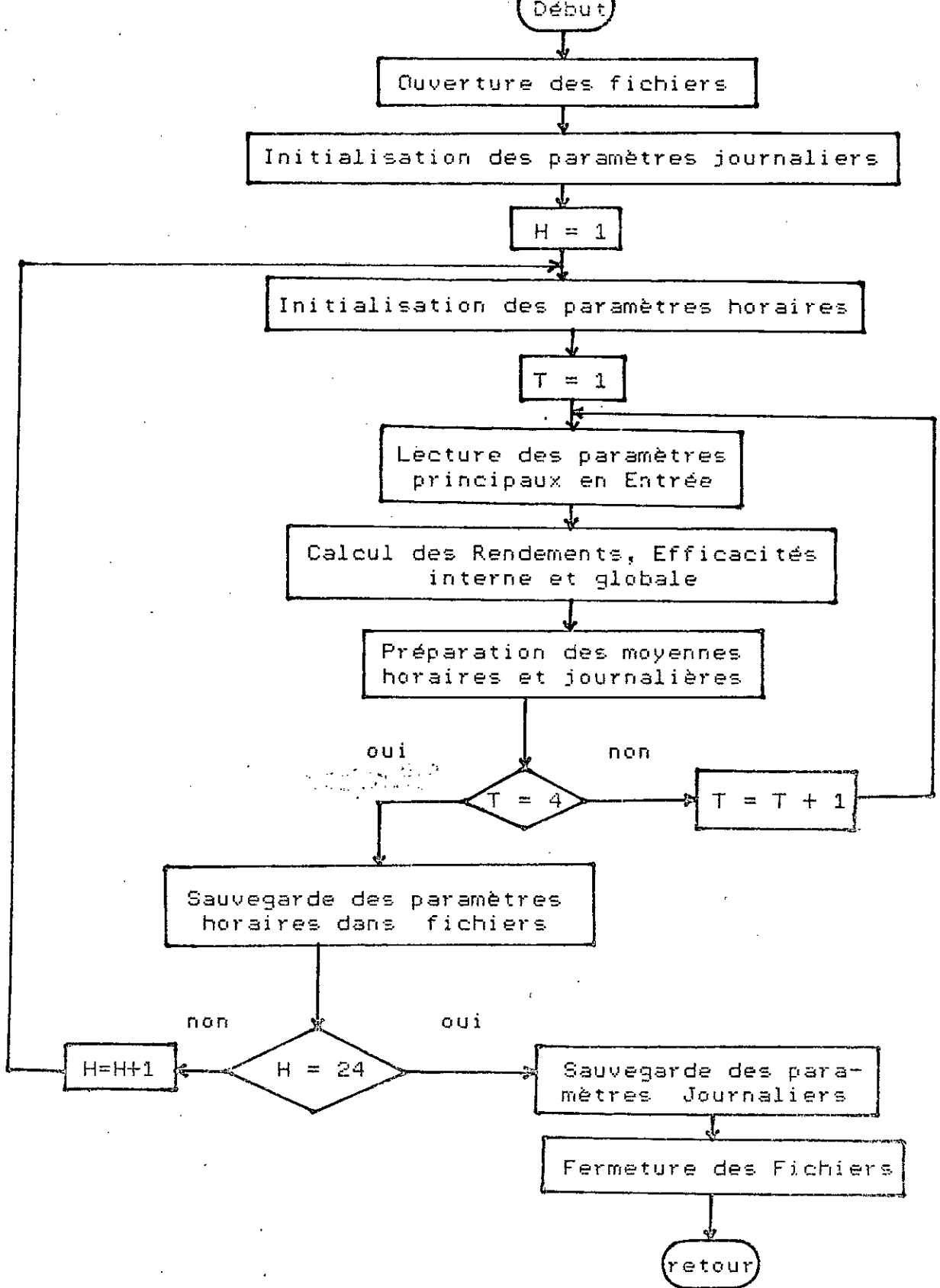


Fig. 24 : Organigramme de calcul de la production de DISTILD réel pour une section élémentaire



zéro afin de calculer les paramètres de l'heure suivante.

- b - L'autre boucle est relative à l'heure (H variant de 1 à 24). Elle permet le calcul des paramètres horaires PAR(H). Une sommation de ces paramètres, donne à la fin de cette boucle les valeurs journalières de ces paramètres.

$$PAR(J) = PAR(H) + PAR(H - 1)$$

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

#### III-4.2.2.2. Organigramme de calcul de la production du distillateur simulé (Fig. 25) :

L'opération principale est l'exécution d'une boucle (S) qui, traitant les N.S sections fictives du distillateur, permet de suivre l'écoulement de la saumure et du condensat.

Les paramètres principaux en sortie sont calculés à partir des résistances d'échanges et des températures finales (données en § III-2.3) ; les températures finales d'une tranche sont prises comme valeurs initiales pour les températures de la tranche suivante (pour les tranches d'une même section).

Cette boucle est effectuée tous les quarts d'heure pour donner, au bout de quatre incrémentations de T, une moyenne horaire des efficacités interne et globale et du rendement. Après 24 incrémentations de H (fonctionnement pendant une journée de 24 h), nous obtenons les moyennes journalières des efficacités et du rendement.

#### III-4.2.2.3. Organigramme de calcul des pertes du Distillateur Réel (Fig. 26)

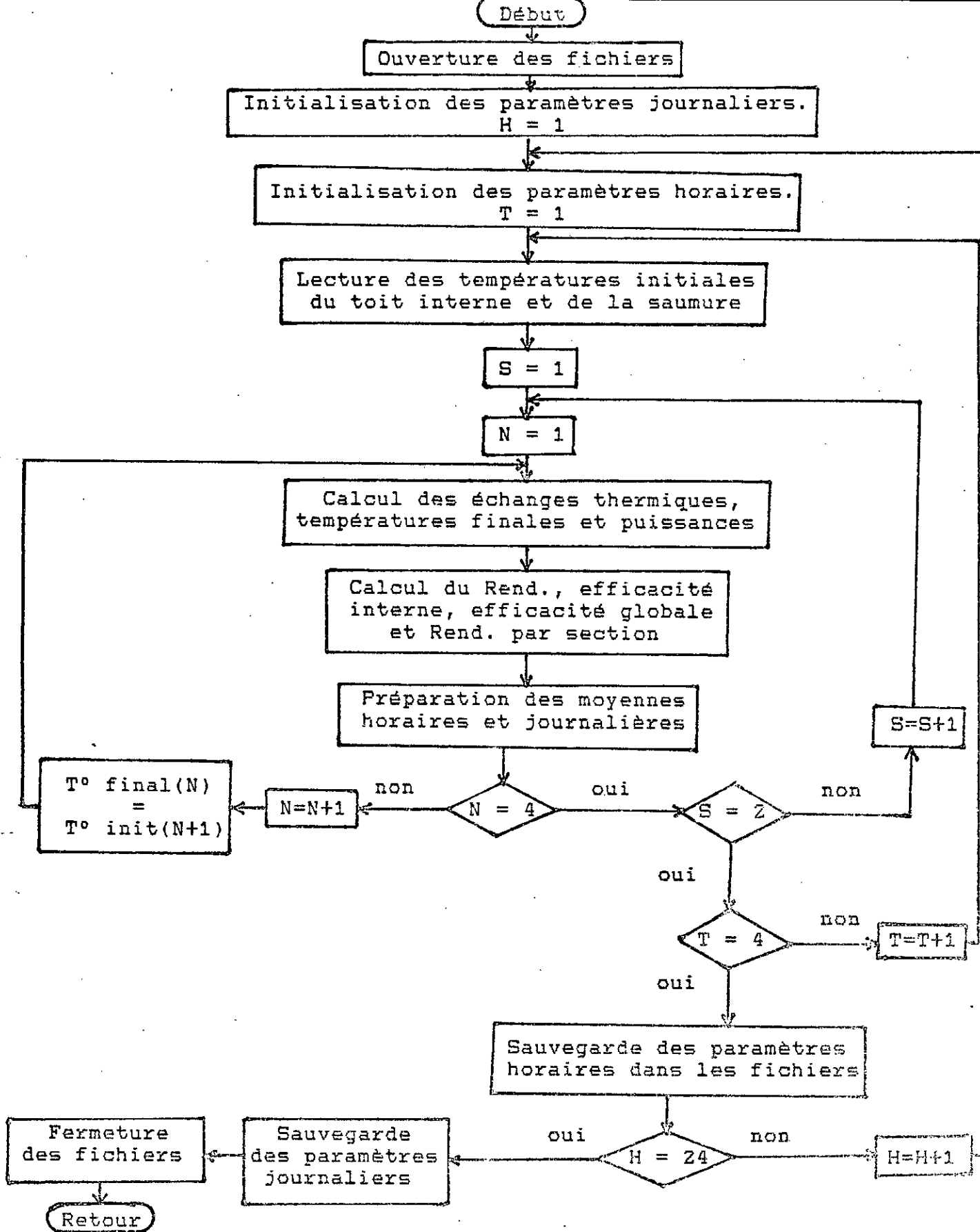


Fig. 25 : Organigramme de calcul de la production de DISTILD simulé

Ce calcul est relatif à toute la section de distillation ou à une section élémentaire du distillateur.

En plus des deux boucles décrites en (III-4.2.2.1), on utilise dans cet organigramme deux autres boucles.

a - 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.

b - la boucle "N" relative au découpage en longueur du distillateur et variant de 1 à 4. La surface totale a été donc sectionnée en 16 parties.

On lira à chaque quart d'heure les paramètres principaux en entrée, et à chaque tranche (incrément de N) les températures initiales de la saumure et du toit interne (cette dernière étant supposée égale à celle du condensat).

#### III-4.2.2.4. Organigramme de calcul des pertes du distillateur simulé (Fig. 27)

La démarche est la même qu'en (III-4.2.2.2) sauf qu'au lieu de calculer des rendements et des efficacités, on calculera des pertes.

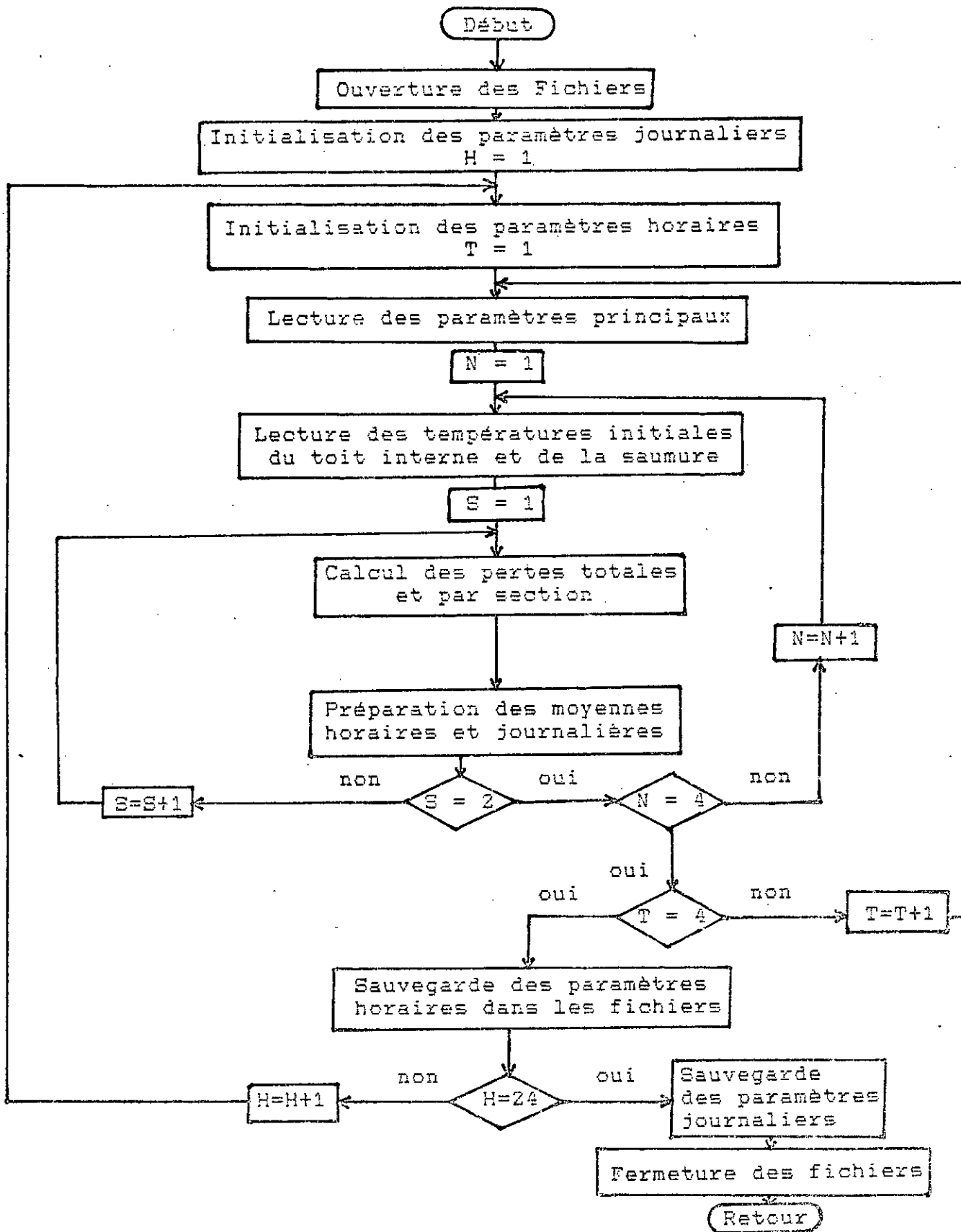


Fig. 26 : Organigramme de calcul des pertes de DISTILD (réel) pour toute la surface de distillation

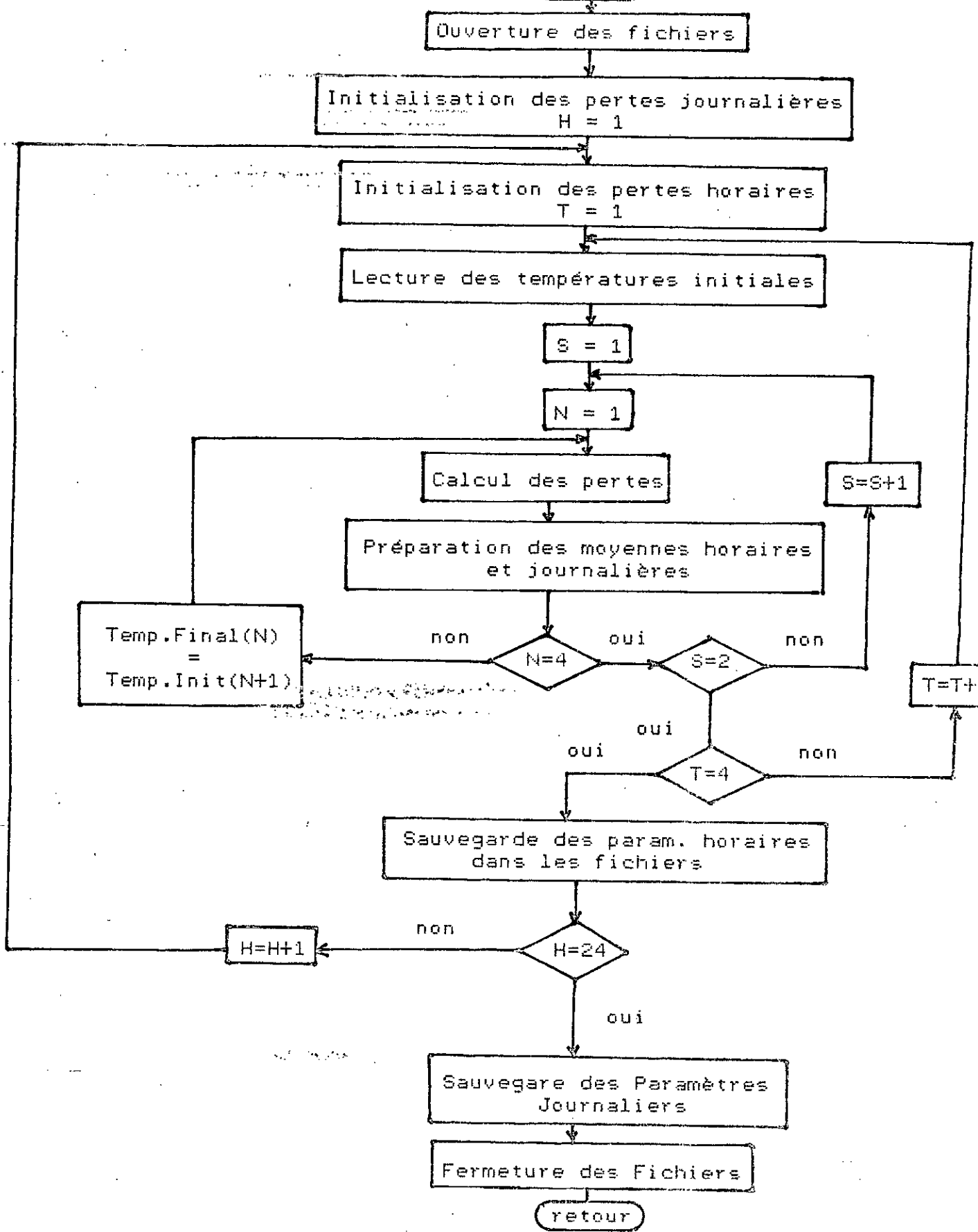


Fig. 27 : Organigramme de calcul des pertes du distillateur simulé

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

## I - INTRODUCTION :

Ce chapitre regroupe les principaux résultats obtenus par exploitation des différents programmes élaborés ; à savoir ceux simulant le fonctionnement ponctuel des deux modèles de distillateurs étudiés - à saumure statique et à ruissellement de saumure - ou ceux permettant de suivre l'évolution des modèles réels par tracés de courbes ou regroupement des résultats sous forme de tableaux.

Dans la perspective d'une amélioration de la production d'eau des distillateurs, on étudie - pour le distillateur à saumure statique - l'influence de la variation des paramètres principaux (angle d'inclinaison de la couverture par rapport à l'horizontale, épaisseur initiale de la saumure, paramètres météorologiques) sur l'efficacité interne moyenne et sur le rendement journalier. Dans le cas du distillateur à ruissellement de saumure, le paramètre principal dont on étudie l'influence est le débit d'entrée de la saumure (l'influence des paramètres de construction et météorologiques est la même que pour les distillateurs statiques car la modélisation a été faite (pour le distillateur dynamique) avec les mêmes paramètres physiques).

Le fonctionnement imposé au distillateur est ponctuel (le quart d'heure) ; ceci nous donne une série de courbes  $EI = f(P)$  ou  $RD = f(P)$ , représentant la variation de l'efficacité interne moyenne ou du rendement de production en fonction du paramètre  $P$  alors que tous les autres sont fixés.

Ces résultats seront comparés à ceux établis dans la littérature.

Les deux modèles de distillateurs ont été fabriqués par la station solaire de Bouzaréah et expérimentés à l'E.N.P.A pendant plusieurs

jours (de 24 heures), la prise des mesures étant faite par la centrale "SAM 60" et le traitement des données sur micro-ordinateur "OLIVETTI M24".

Les résultats expérimentaux obtenus, pour chaque modèle, sont comparés aux résultats établis théoriquement par les programmes de simulation.

Enfin une comparaison des rendements journaliers des deux modèles de distillateurs sera effectuée. Elle permettra ainsi la proposition d'un fonctionnement journalier donnant le meilleur rendement.

## II - VALIDITE DES RESULTATS :

La méthode de résolution utilisée étant le découpage du temps en T intervalles fictifs (cas du distillateur à saumure statique) et du distillateur en S sections fictives (cas du distillateur à saumure dynamique) ; ceci implique que la précision de l'efficacité interne moyenne sera fonction du nombre de sections ou d'intervalles choisis.

Il faut donc pour une meilleure validité des résultats, choisir des valeurs optimales pour T et S pour lesquelles l'efficacité interne moyenne reste quasiment constante (ce qui permet de considérer le système comme étant linéaire pour une section S et un intervalle de temps T donnés).

Dans le cas du distillateur dynamique, l'élément caractéristique étant le ruissellement de la saumure il est donc logique de penser que le nombre de sections fictives divisant le plan noir est fonction du débit d'écoulement de la saumure.



En effet, à débit de saumure élevé l'écart de température à l'entrée et à la sortie n'est pas très important, de ce fait le nombre de sections fictives n'est pas très grand. Par contre, à débit de saumure faible, il faut diviser le distillateur en un nombre de sections plus élevé.

Dans notre cas, la section de distillation a été divisée en quatre dans le sens de l'écoulement de la saumure ; chaque section étant elle aussi divisée en quatre, dans le sens de la largeur du distillateur, pour pouvoir étudier l'influence de la distance saumure - vitre (puisque la surface de condensation est inclinée). Donc la section du distillateur dynamique a été divisée en seize parties.

Le nombre d'intervalles  $T$  divisant le quart d'heure est représenté dans le programme de simulation par le nombre d'itérations. L'élévation de température de la saumure d'un instant à l'autre dépend de son épaisseur initiale. Donc la valeur optimale de  $T$  est fonction de l'épaisseur initiale de la saumure.

Pour une faible épaisseur de saumure, la variation de température est rapide donc le nombre d'intervalles  $T$  divisant le quart d'heure doit être grand ; par contre pour une épaisseur de saumure élevée, le nombre  $T$  doit être plus petit.

Dans le programme de simulation, le nombre d'itérations maximum est de 30 (représentant le quart d'heure), donc l'intervalle de temps  $T$  fictif est de 30 secondes.

Dans le distillateur expérimental (réel) la disposition des capteurs à des endroits adéquats permet d'avoir les températures des différents milieux ; alors que le programme de simulation

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHÈQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

calculé, à partir de la température de la saumure et du milieu ambiant ainsi que des paramètres météorologiques, les températures de ces mêmes milieux.

Nous pouvons ainsi voir la validité des résultats obtenus par simulation, par comparaison aux valeurs mesurées des différentes températures.

La Fig. 28 donne l'évolution de la température du mélange air-vapeur pour les deux cas réel et simulé. Les deux courbes ont la même allure (ce qui prouve que le calcul est cohérent) ; l'écart maximum est observé à 13 h, moment où l'énergie solaire incidente est maximale. Nous remarquons aussi que l'écart des températures, observé entre les deux distillateurs réel et simulé, est important durant la période où l'ensoleillement est important (à cet instant les pertes sont plus importantes. Voir plus loin Fig. 40).

La Fig. 29 représente la variation de la température de la saumure pour les deux cas réel et simulé du distillateur statique. Dans ce cas l'écart entre les deux courbes est beaucoup moins important car la température de la saumure est un paramètre d'entrée, dans le programme de simulation, qui va nous permettre le calcul des températures des autres milieux et en particulier celui de la température finale de la saumure représentée sur cette courbe.

De la même manière, nous représentons sur la Fig. 30, l'évolution de la température de la vitre interne pour les modèles simulé et réel.

Nous pouvons dire que le programme de simulation suit d'une manière cohérente le fonctionnement ponctuel du distillateur, et donc que la modélisation faite à partir de ces programmes de simulation est correcte.

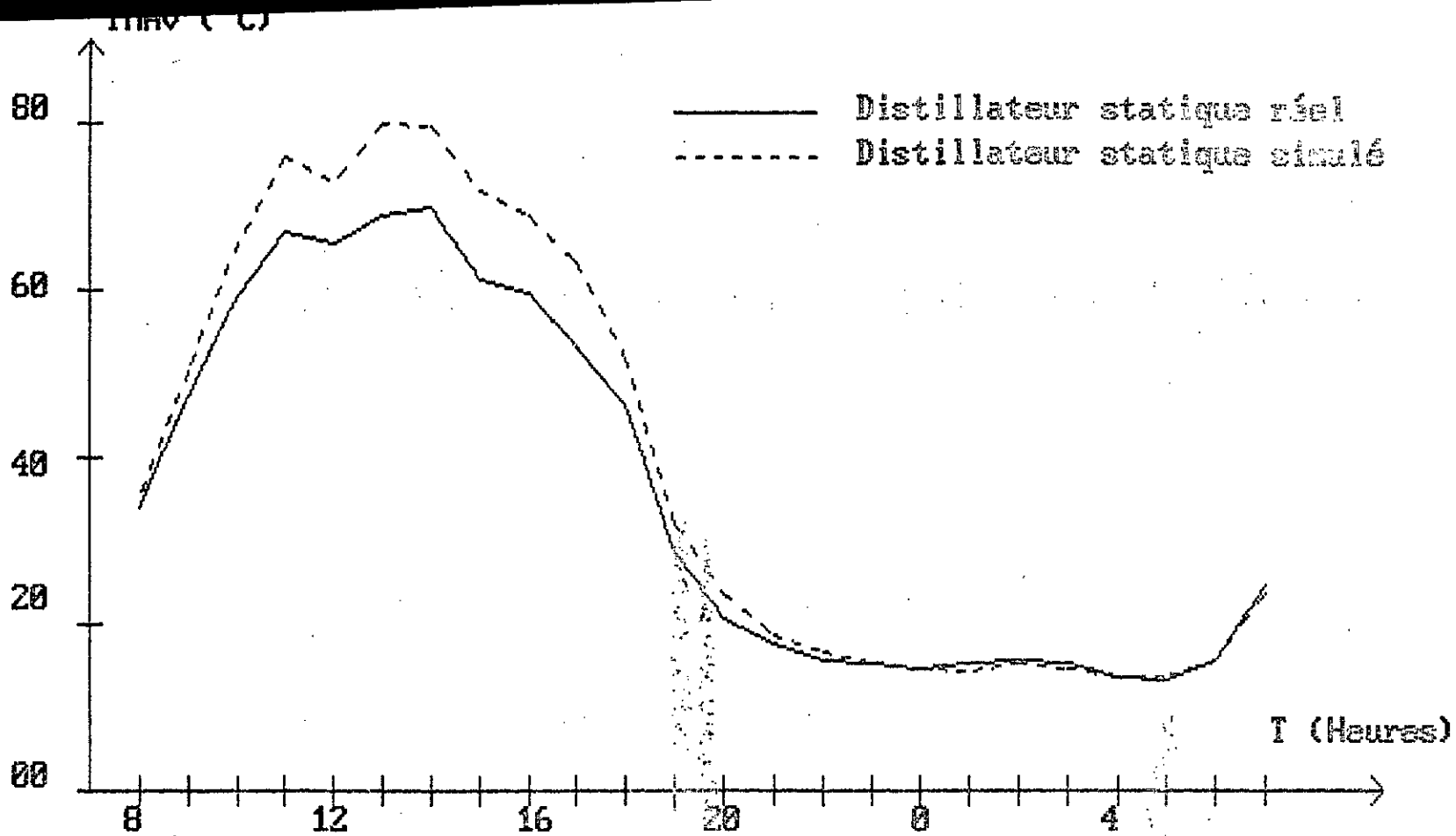


FIG.28: VARIATION DE LA TEMPERATURE DU MILIEU AIR-VAPEUR  
 POUR LES DISTILLATEURS REEL ET SIMULE.

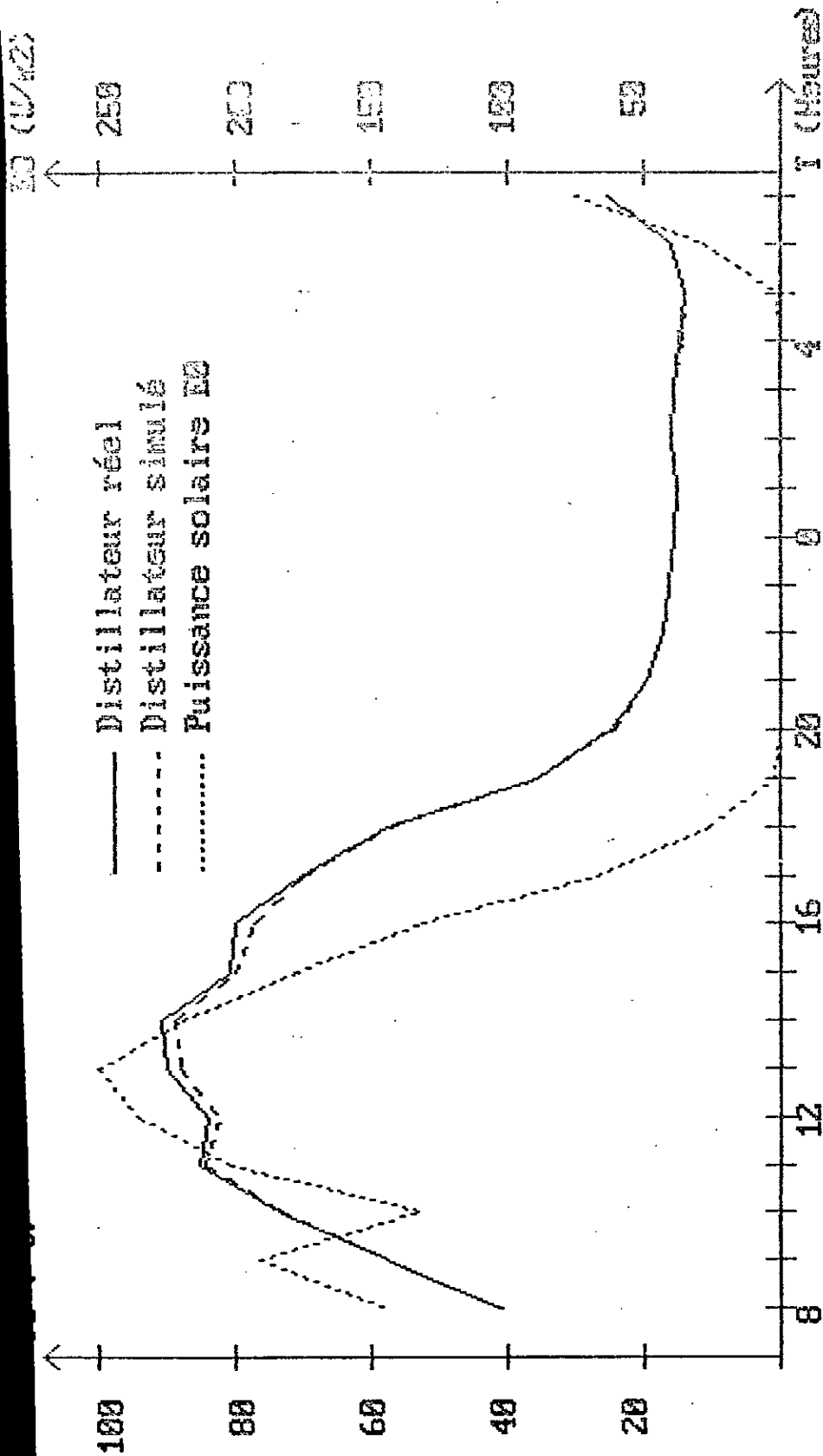


FIG. 29: EVOLUTIONS DE LA TEMPERATURE DE LA SAUMURE ET DE L'ENERGIE SOLAIRE INCIDENTE INSTANTANÉES.

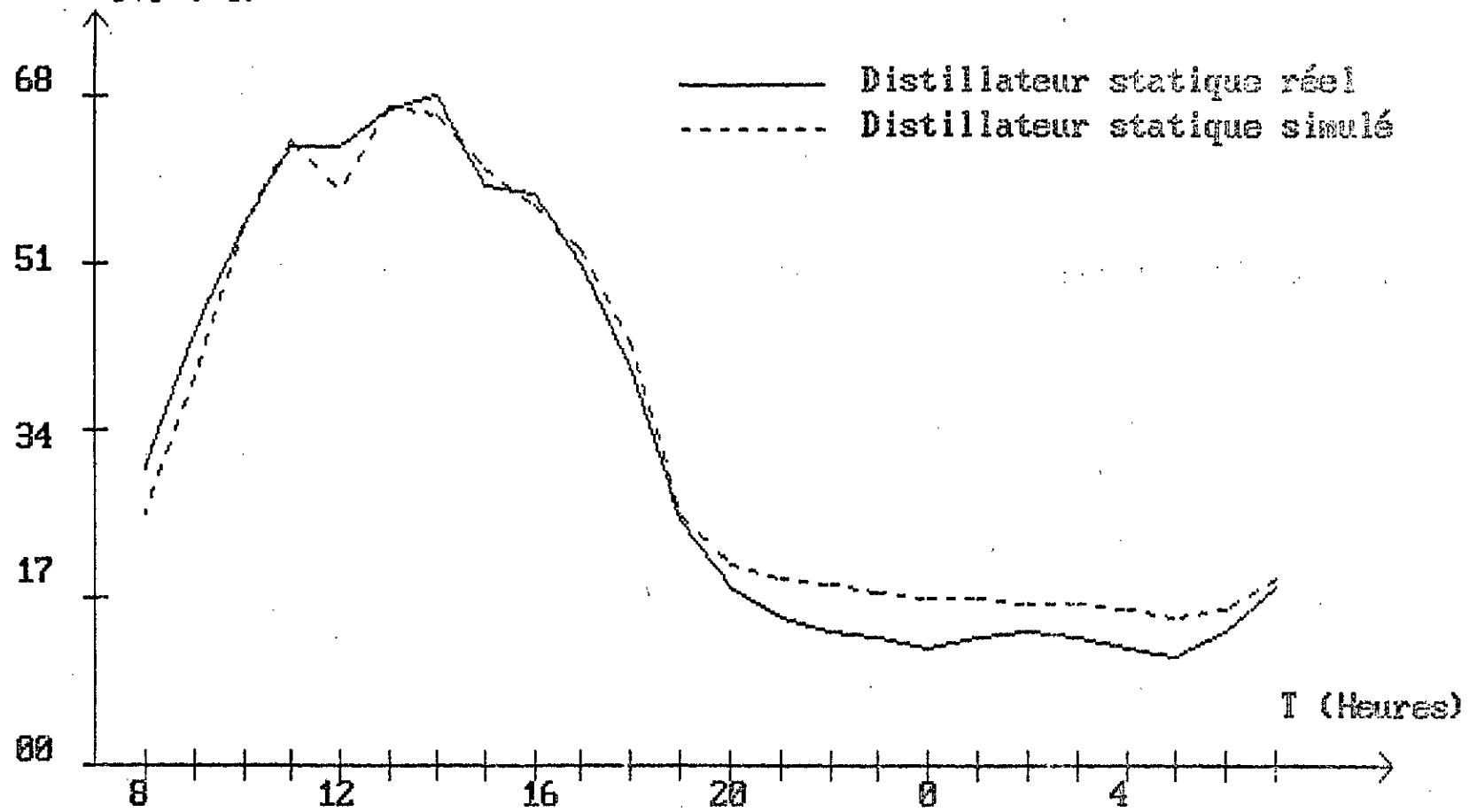


FIG. 30: VARIATION DE LA TEMPERATURE DE LA FACE INTERNE DU TOIT  
 POUR LES DISTILLATEURS REEL ET SIMULE.

### III - INFLUENCE DE QUELQUES PARAMETRES PHYSIQUES IMPORTANTES SUR LA VARIATION DE L'EFFICACITE MOYENNE ET DU RENDEMENT DE PRODUCTION

#### III-1. Influence de l'angle d'inclinaison de la vitre :

La variation de l'angle d'inclinaison de la couverture par rapport à l'horizontale (B) entraîne la variation de la distance d'échange puisque 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 moyennes. Les figures 31 et 32 confirment cette théorie ; il apparaît ainsi qu'une diminution de la distance d'échange (ou une diminution de B) produit une augmentation de l'efficacité moyenne et du rendement.

Mais en réalité on est limité dans ce choix, car cette inclinaison doit assurer non seulement une réception optimale de l'énergie solaire incidente par le plan noir du distillateur, mais aussi elle doit assurer un maximum d'écoulement du condensat vers les gouttières de récupération.

DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE

$D_0 = 0.02 \text{ m}$

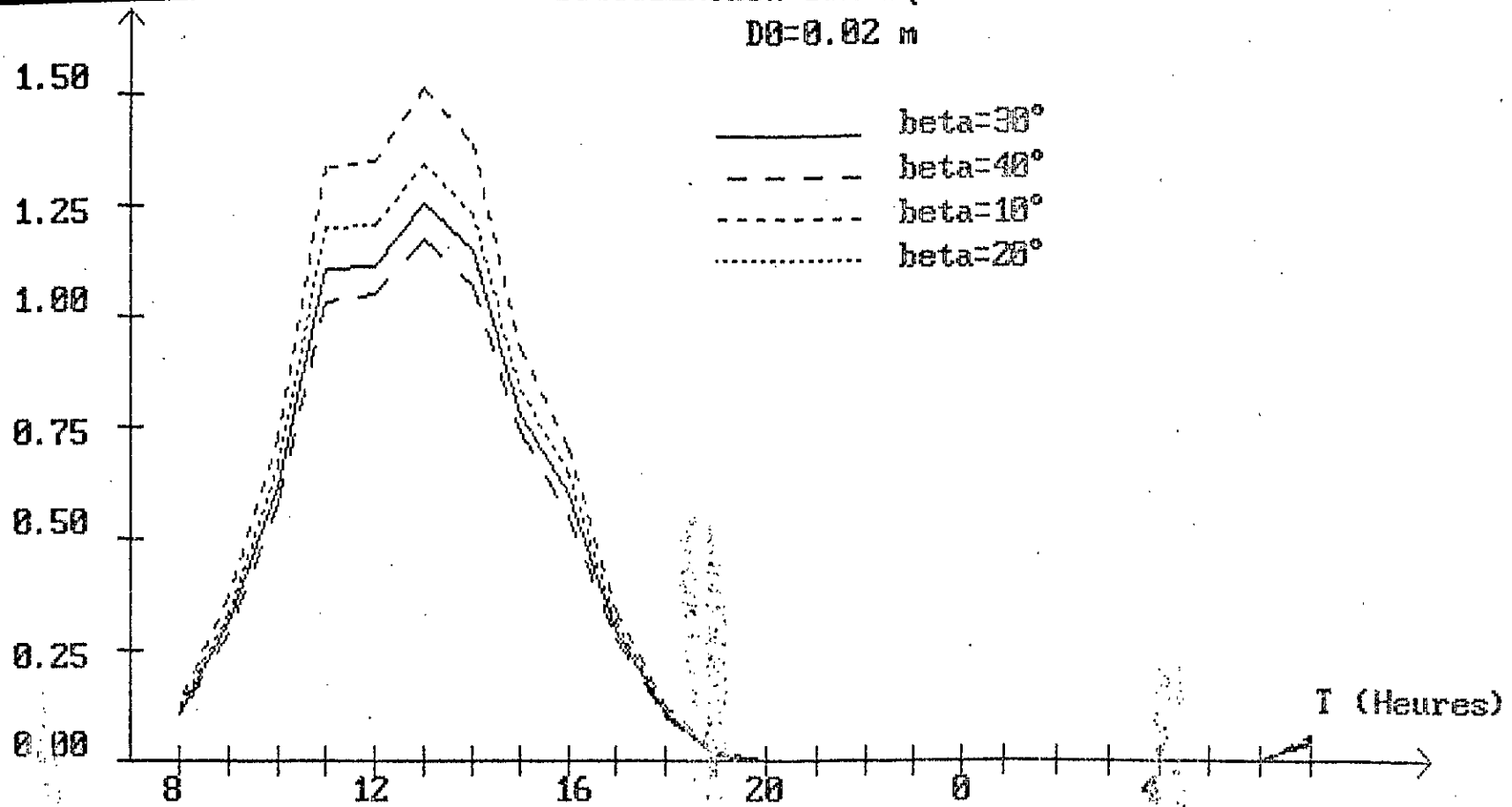


FIG.31: INFLUENCE DE L'INCLINAISON DU TOIT (beta) SUR LE RENDEMENT HORAIRE DU DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE.

# DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE

$D\theta = 0.02 \text{ m}$

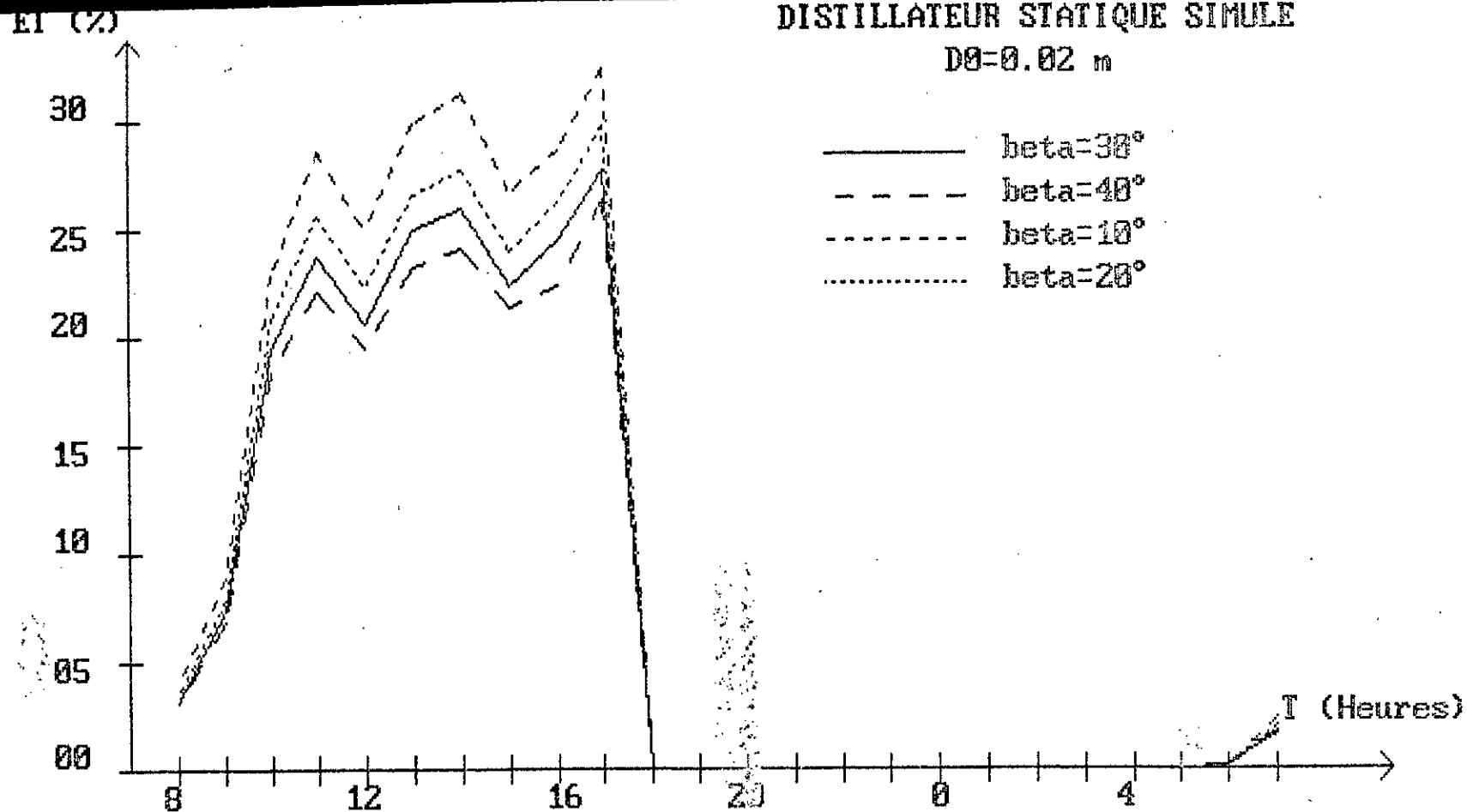


FIG. 32: INFLUENCE DE L'INCLINAISON DU TOIT (beta) SUR L'EFFICACITE INTERNE MOYENNE.



L'étude de l'évolution du rendement et de l'efficacité interne moyenne du distillateur statique simulé est faite pour des valeurs de l'inclinaison allant de  $10^\circ$  à  $40^\circ$ .

Nous obtenons pour ces valeurs des rendements journaliers respectifs de : 8.633 l, 7.7465 l, 7.2073 l et 6.7417 l . Ces calculs ont été fait pour une épaisseur initiale de saumure fixée à 2 centimètres.

Les distillateurs ont été construits avec un angle d'inclinaison égal à  $10^\circ$ .

### III-2 Influence de l'épaisseur initiale de la saumure :

L'examen des résultats obtenus et des courbes tracées (Fig. 33 et Fig. 34) montre que lorsque l'épaisseur de la saumure d'écroit, l'efficacité interne moyenne et le rendement augmentent. En effet, une diminution de cette épaisseur entraîne l'augmentation de l'écart de température saumure-vitre (une faible épaisseur de saumure met moins de temps pour s'échauffer qu'une autre plus grande), ce qui contribue à augmenter le coefficient d'échange par évaporation. D'autre part, la similitude d'allure observée entre les courbes décrivant la variation de l'efficacité interne moyenne et celles décrivant l'évolution des températures, met en évidence la relation entre efficacité interne et température de saumure et de vitre (voir figures 29, 30 et 32).

Notons par ailleurs qu'une diminution importante de l'épaisseur initiale  $D_0$  peut entraîner l'épuisement total de la saumure à distiller avant la fin de la journée, ce qui est un inconvénient (voir Fig. 33).

EI (%)

DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE

 $\beta = 10^\circ$ 

30

25

20

15

10

05

—  $D_0 = 0.01$  m  
- - -  $D_0 = 0.04$  m  
- · -  $D_0 = 0.005$  m

8

12

16

20

0

4

T (Heures)

FIG. 33: INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR INITIALE ( $D_0$ ) DE LA SAUMURE  
SUR L'EFFICACITÉ INTERNE MOYENNE.

RD (l/m<sup>2</sup>/h)

DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE

beta=10°

1.50

1.25

1.00

0.75

0.50

0.25

— DO=0.01 m  
- - - DO=0.04 m  
- · - · DO=0.005 m

T (Heures)

8

12

16

20

0

4

FIG.34: INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR INITIALE (D<sub>0</sub>) DE LA SAUMURE SUR LE RENDEMENT HORAIRE DU DISTILLATEUR.

Dans le modèle expérimental, nous autorisons une épaisseur initiale maximum égale à 2 centimètres. Ceci est assuré par la présence d'un trop-plein de hauteur deux centimètres au niveau de l'orifice de sortie de la saumure à distiller.

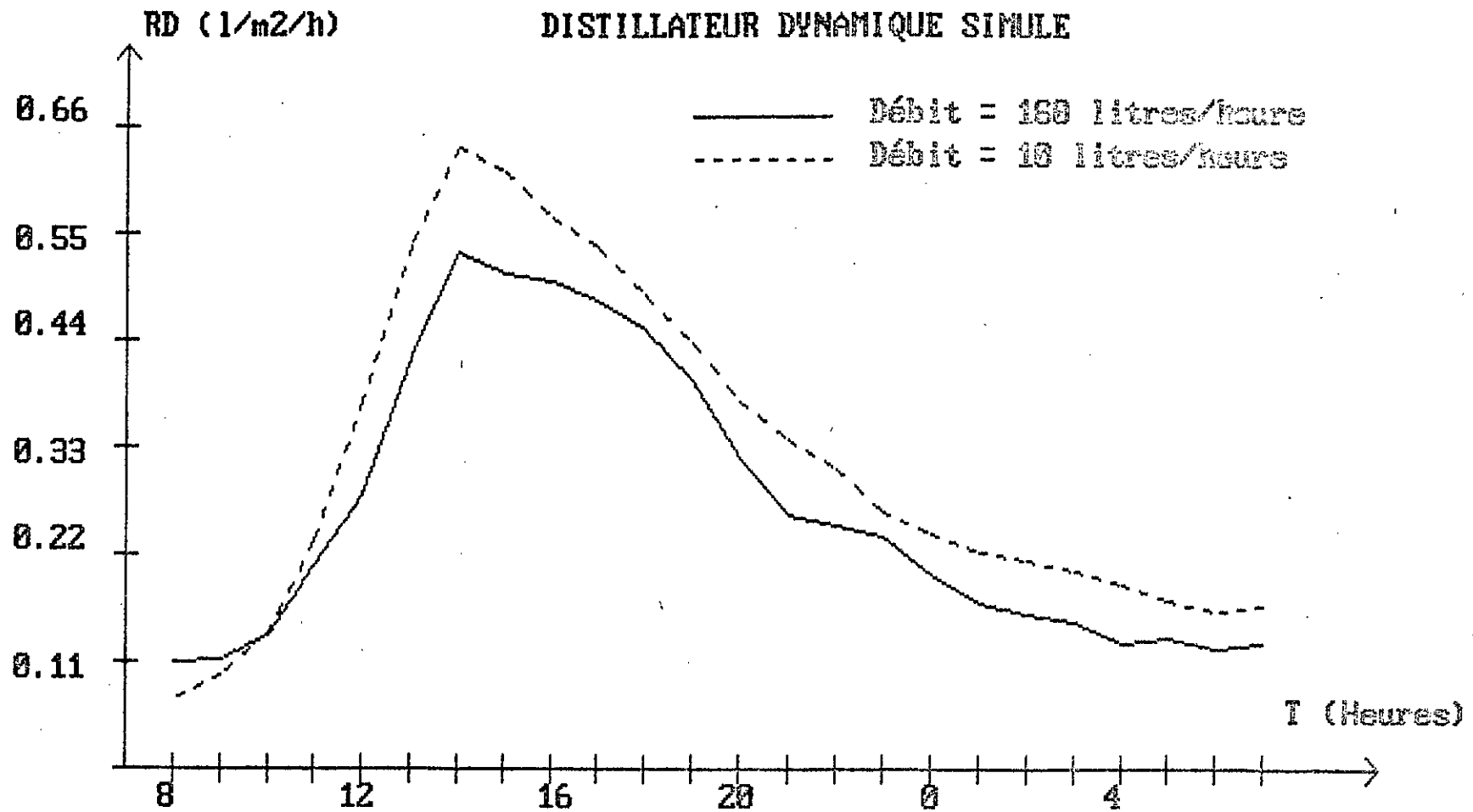
L'influence de l'inclinaison de la couverture pour le distillateur à ruissellement de saumure est la même que pour celui où la saumure est statique. De ce fait, nous n'étudions que l'influence du débit de saumure à l'entrée pour le distillateur à saumure dynamique.

### XIII-3. Influence du débit d'entrée de la saumure à distiller :

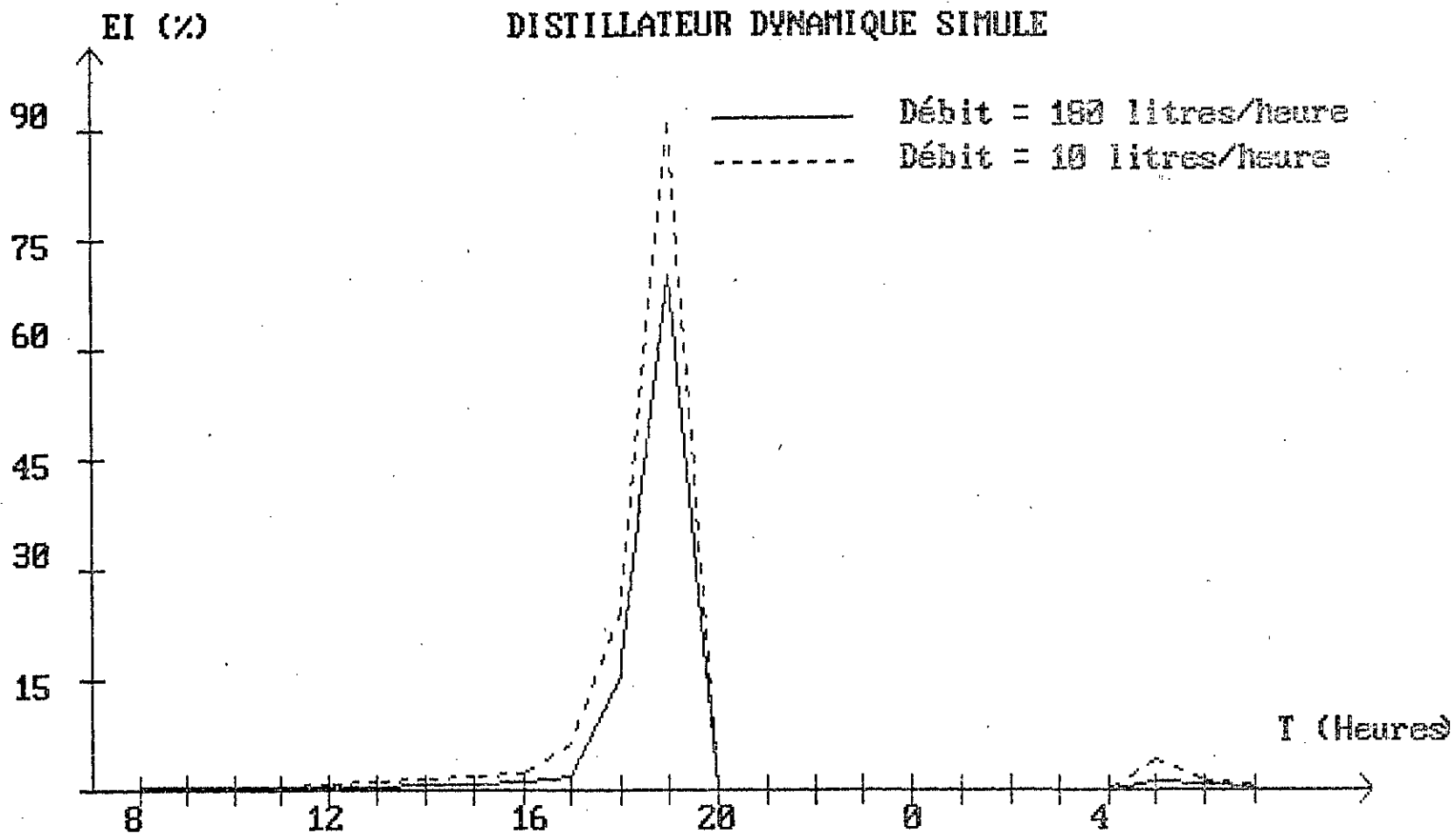
L'influence de ce paramètre sur l'efficacité interne moyenne EI est similaire à celle de l'épaisseur initiale de l'eau à distiller observée dans le cas des distillateurs à saumure statique.

Il faut remarquer que l'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).

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, à condition que cette eau soit portée à une température plus élevée que celle obtenue par simple effet de serre. 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.



**FIG.35: INFLUENCE DU DEBIT DE RUISSELLEMENT DE LA SAUMURE SUR LE RENDEMENT HORAIRE DU DISTILLATEUR DYNAMIQUE.**



**FIG.36: INFLUENCE DU DEBIT DE RUISSELLEMENT DE LA SAUMURE SUR L'EFFICACITE INTERNE MOYENNE.**

Les figures 35 et 36, donnant l'évolution du rendement de production et de l'efficacité moyenne pour différentes valeurs du débit, montrent qu'une augmentation du débit entraîne une décroissance de l'efficacité interne moyenne et du rendement.

C'est ce paramètre qui (comme pour DO pour le distillateur à saumure statique), pour une puissance solaire donnée, détermine fondamentalement la température atteinte par la saumure.

#### IV - INFLUENCE DE QUELQUES PARAMETRES METEOROLOGIQUES

##### IV-1 Influence de la puissance solaire incidente EO :

1. Les figures 29, 37, 38 et 39 représentent l'évolution de la puissance solaire incidente en même temps que celles (respectivement) de la température de la saumure, du rendement de production et des efficacités interne et globale moyennes en fonction du temps pour les distillateurs simulé et réel.

Nous remarquons que les courbes des figures 29 et 37 ont même allure et présentent un maximum à 13 h.

L'effet de l'inertie thermique sur la température de la saumure est similaire à celui observé pour le rendement. Pour un ensoleillement maximum, nous obtenons une température de saumure et un rendement maximum.

On remarque aussi que les variations de températures sont amorties pendant la période de 13 h à 14 h et évoluent rapidement au delà de cette période. Ce qui montre que le distillateur passe par trois phases durant la journée :

- Une période de mise en régime durant la matinée.
- Une période de régime de 12 h à 14 h.
- Une période de perte de régime au delà de 14 h.

L'écart des résultats observé entre les distillateurs simulé et réel est dû aux grandes pertes présentées par le distillateur réel (voir Fig. 40 représentant les pertes en fonction du temps) et qui sont minimisées dans le cas du distillateur simulé.

Cet écart est significatif pour des valeurs du rayonnement importantes. Ce qui confirme la théorie donnant le bilan énergétique valable uniquement en période de régime stationnaire (c'est à dire pour des valeurs du rayonnement maximums).

Les figures 38 et 39 représentent les courbes donnant les efficacités moyennes. Ces deux courbes présentent un maximum à 17h (moment où le soleil disparaît sur les distillateurs), le rayonnement étant très faible et la vitre ayant une température plus basse (la saumure n'ayant pas encore eu le temps de se refroidir) contribuent à augmenter le gradient de température entre saumure et vitre et donc à augmenter l'efficacité interne et globale moyenne.

2. Les figures 41 et 42 représentent les variations de l'efficacité interne moyenne et du rendement en fonction de l'énergie solaire incidente reçue par le système de distillation dans le cas du modèle simulé et celui du réel. Ces courbes représentent de façon plus explicite les deux périodes de la journée, à savoir la période de mise en régime et celle de perte de régime. Nous constatons, par ailleurs, que la perte de régime est presque linéaire avec des vitesses voisines pour le simulé et le réel.



$$\frac{\Delta RD}{(\text{----})} = \frac{\Delta RD}{(\text{----})}$$

$$\Delta EO \text{ simulé} \qquad \qquad \Delta EO \text{ réel}$$

et

$$\frac{\Delta EI}{(\text{----})} = \frac{\Delta EI}{(\text{----})}$$

$$\Delta EO \text{ simulé} \qquad \qquad \Delta EO \text{ réel}$$

Nous pouvons observer, pour ces deux courbes, que la branche parcourue pendant la période de perte de régime (l'après-midi) est plus importante que celle parcourue pendant celle de mise en régime. Ceci est dû à l'énergie emmagasinée par effet de serre durant la période de régime.

Là aussi, l'effet des pertes explique l'écart constaté entre le modèle réel et celui simulé.

#### IV-2. Influence de la température de la saumure à distiller

La Fig. 43 montre que le rendement augmente avec la température de la saumure.

On remarque que pour une même température, la quantité d'eau distillée produite l'après-midi est plus importante que celle obtenue la matinée. Effectivement, le nombre de calories stockées par le distillateur est plus important l'après-midi (ceci découle directement de l'effet de serre).

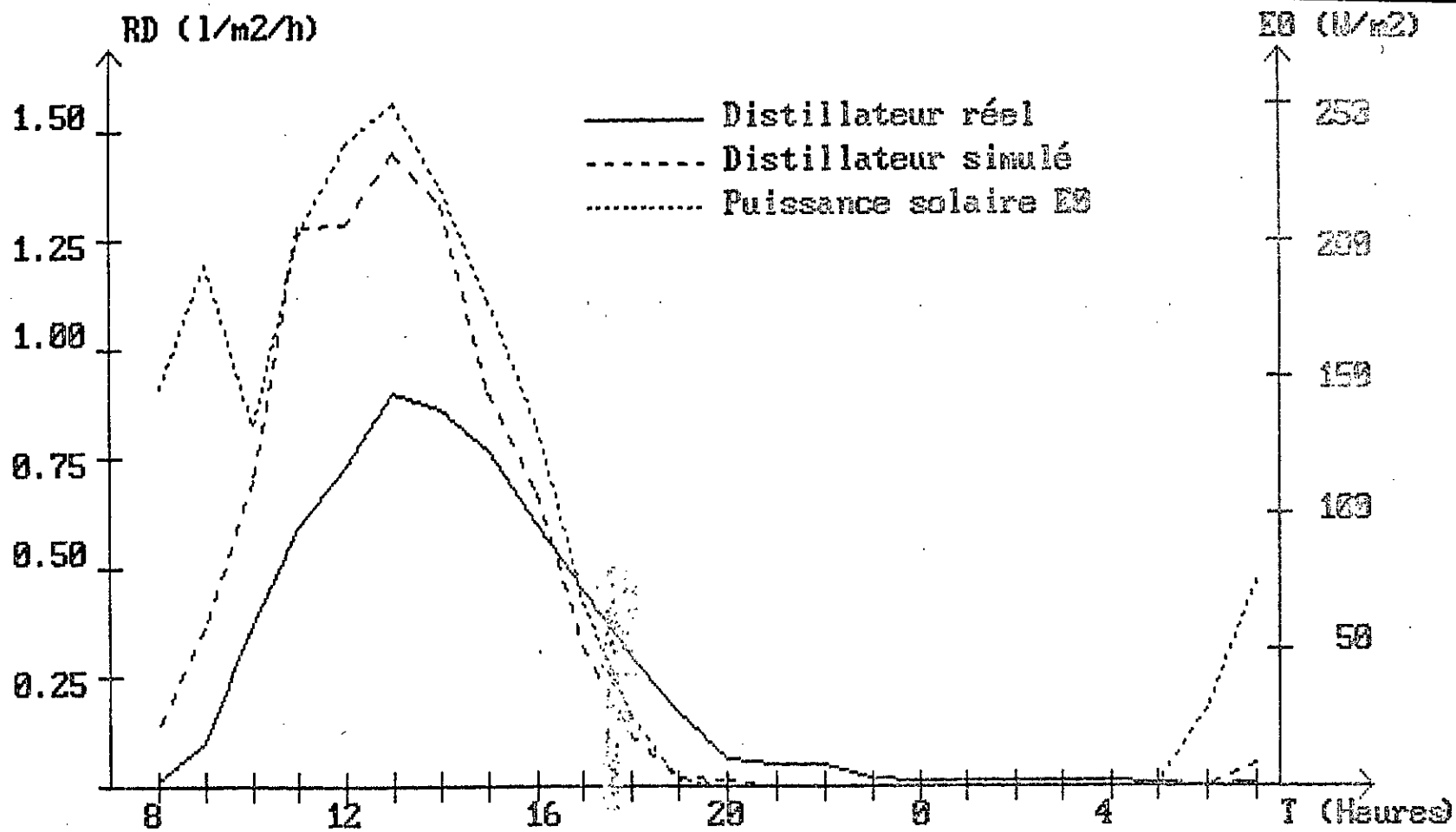


FIG.37: VARIATIONS DE LA PUISSANCE SOLAIRE INCIDENTEE INSTANTANEE ET DU RENDEMENT HORAIRE DES DISTILLATEURS STATIQUES REEL ET SIMULE.

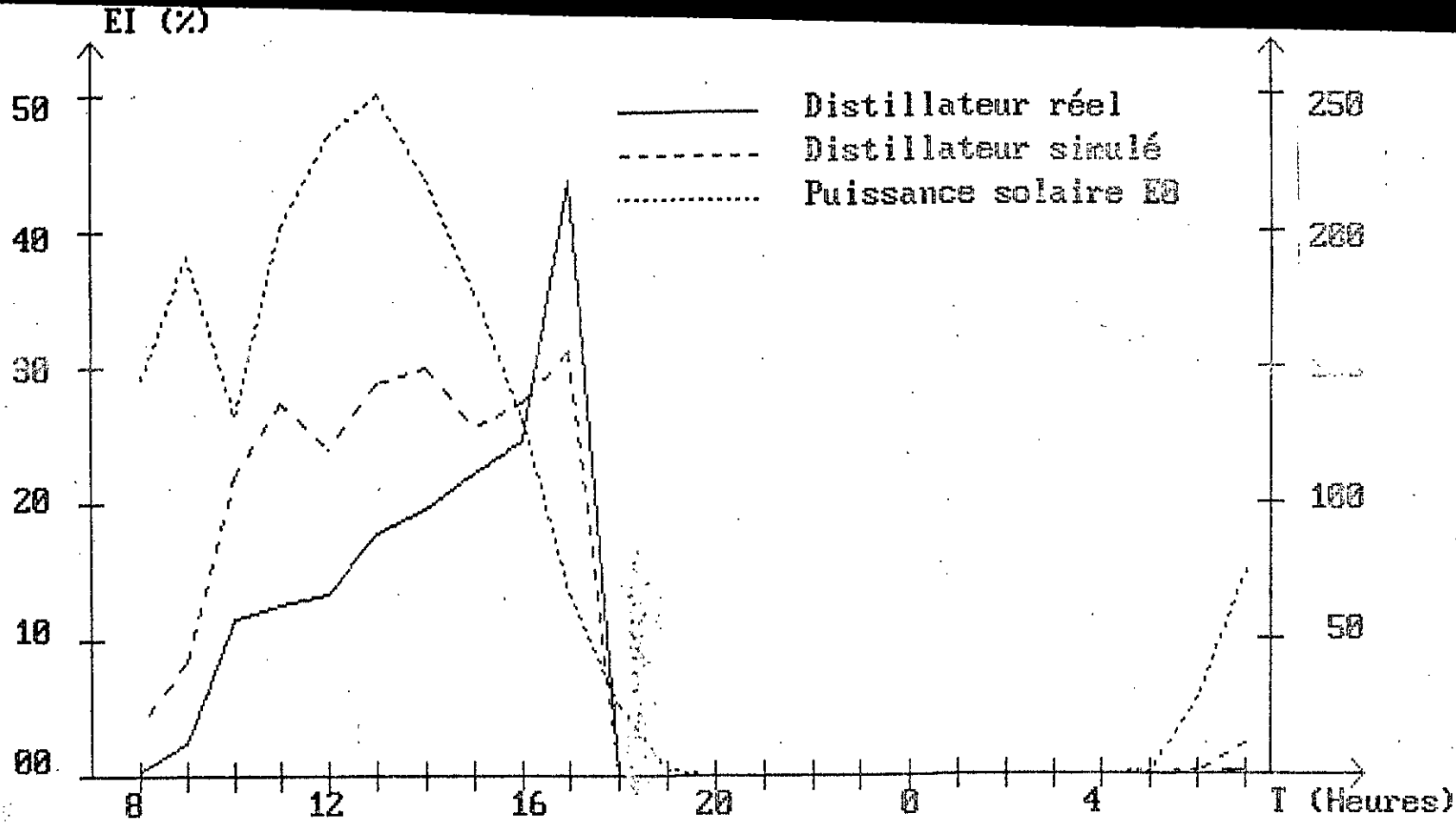


FIG.38: VARIATIONS DE L'ENERGIE SOLAIRE INCIDENTE INSTANTANEE ET DE L'EFFICACITE INTERNE MOYENNE DU DISTILLATEUR STATIQUE.

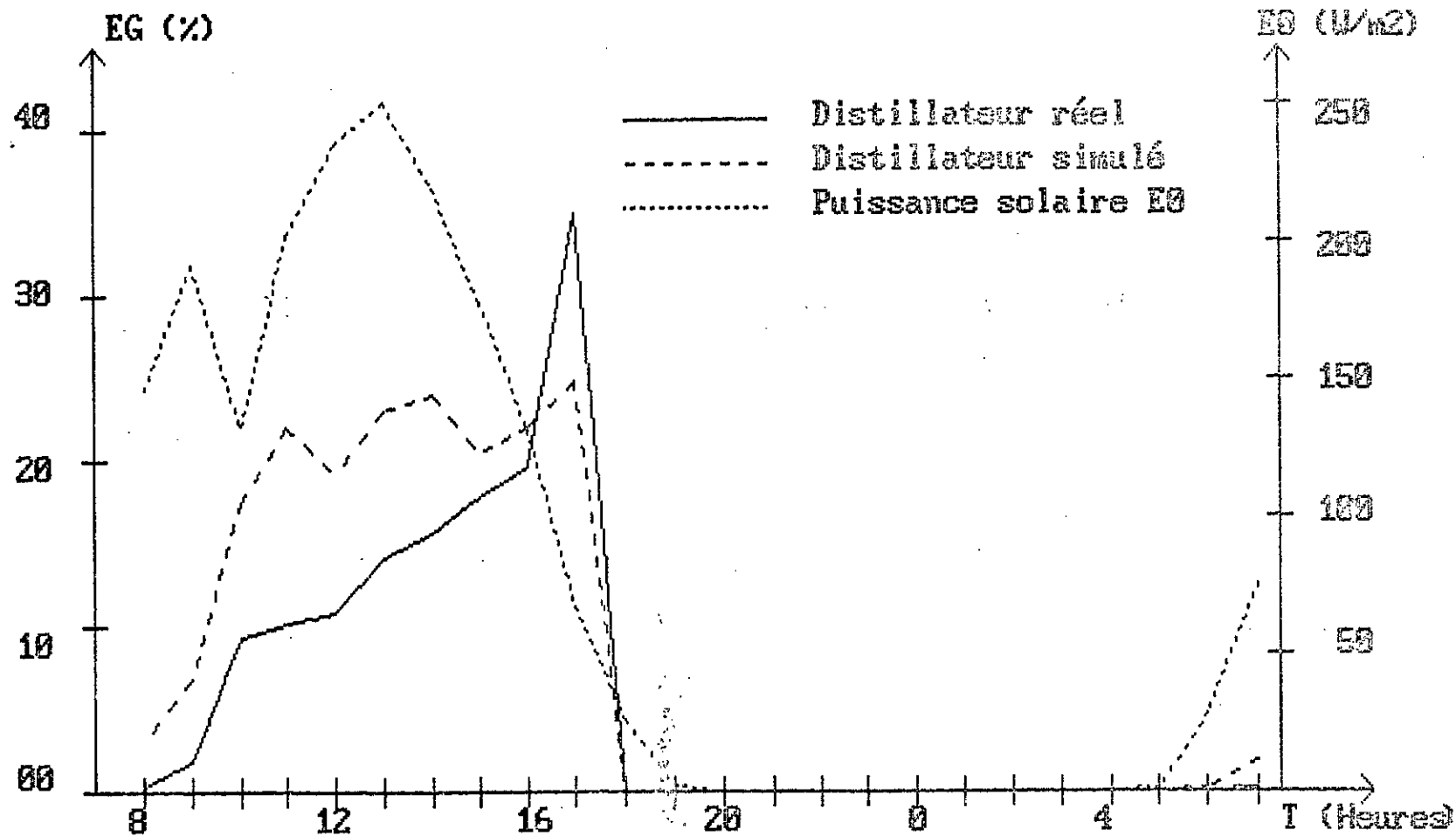


FIG. 39: VARIATIONS DE L'ENERGIE SOLAIRE INCIDENTE INSTANTANEE ET DE L'EFFICACITE GLOBALE MOYENNE DU DISTILLATEUR STATIQUE.

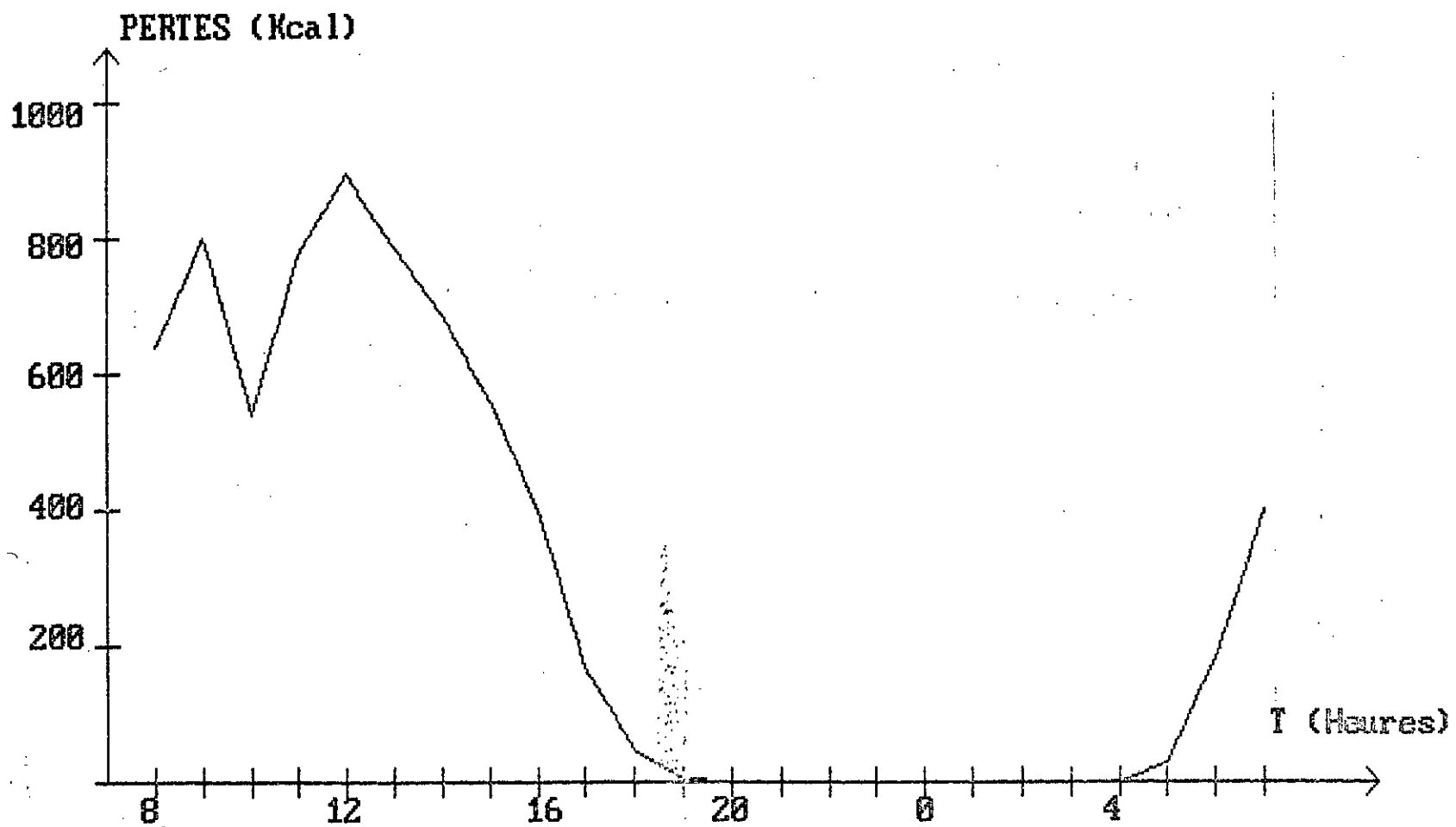


FIG.48: EVOLUTION DES PERTES HORAIRES DANS  
LE DISTILLATEUR STATIQUE REEL.

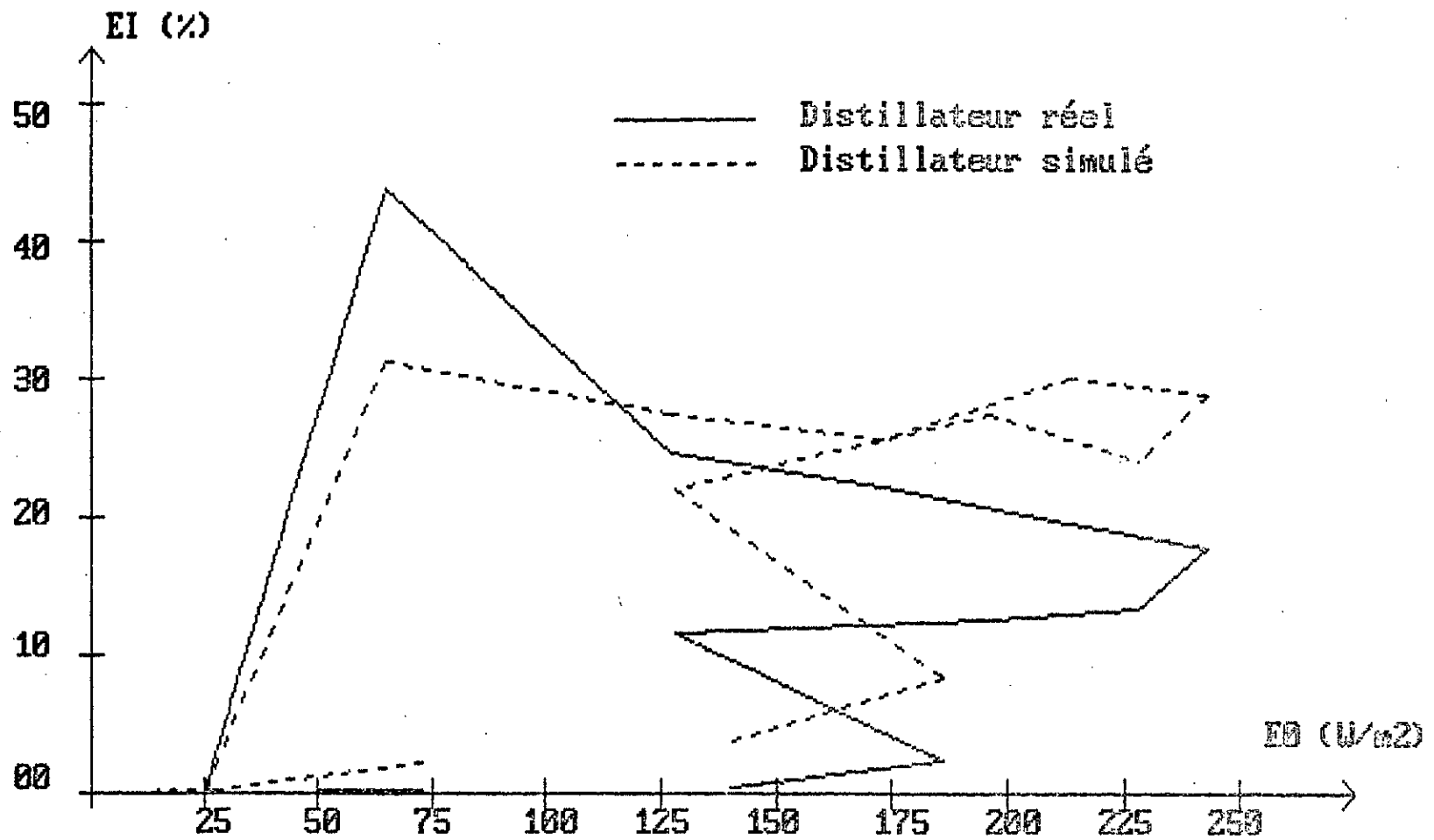


FIG.41: EVOLUTION DE L'EFFICACITE INTERNE MOYENNE DU DISTILLATEUR STATIQUE EN FONCTION DE LA RADIATION SOLAIRE INCIDENTE.

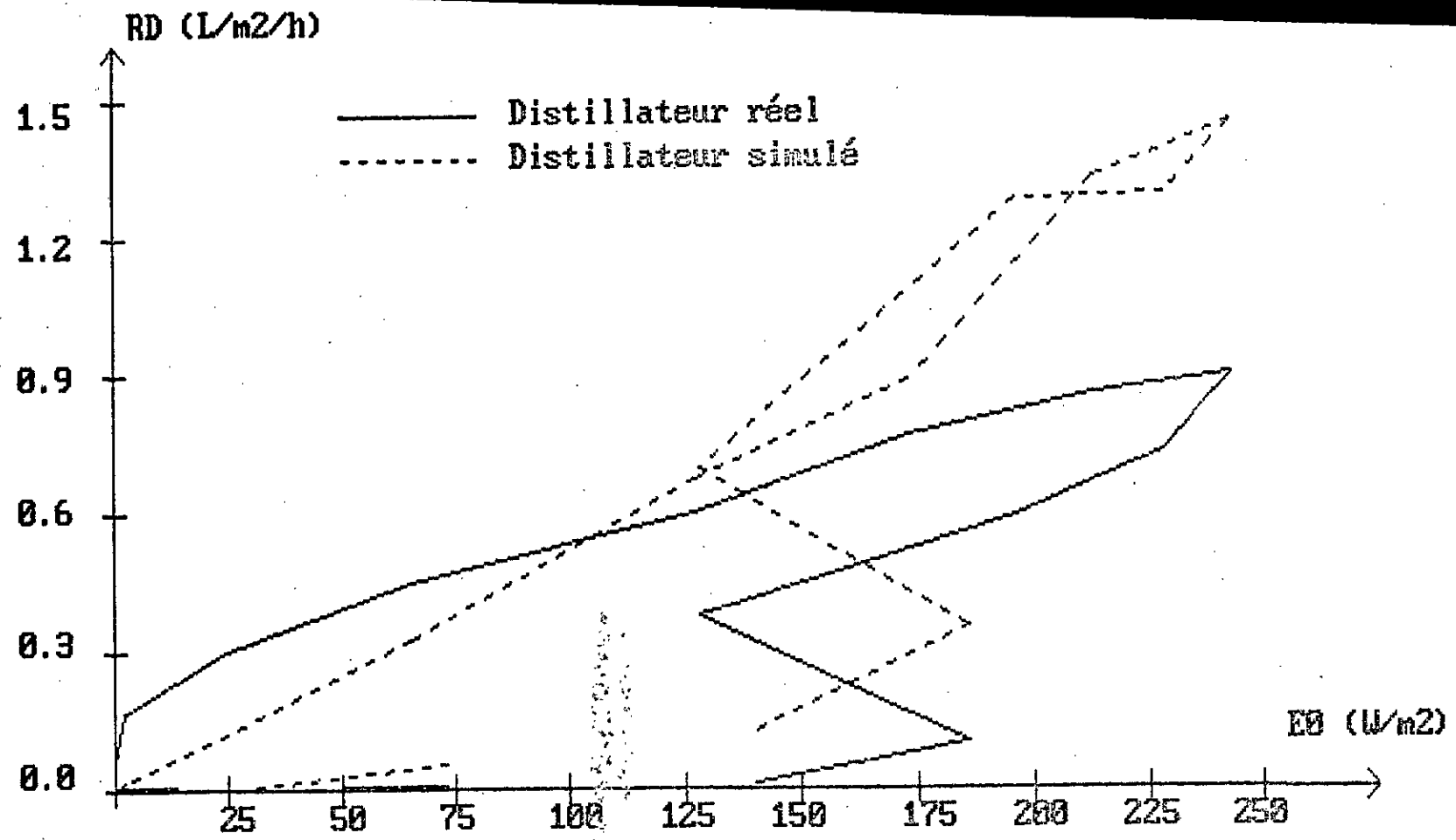


FIG. 42: EVOLUTION DU RENDEMENT DE PRODUCTION HORAIRE DU DISTILLATEUR STATIQUE EN FONCTION DE LA RADIATION SOLAIRE INCIDENTE.

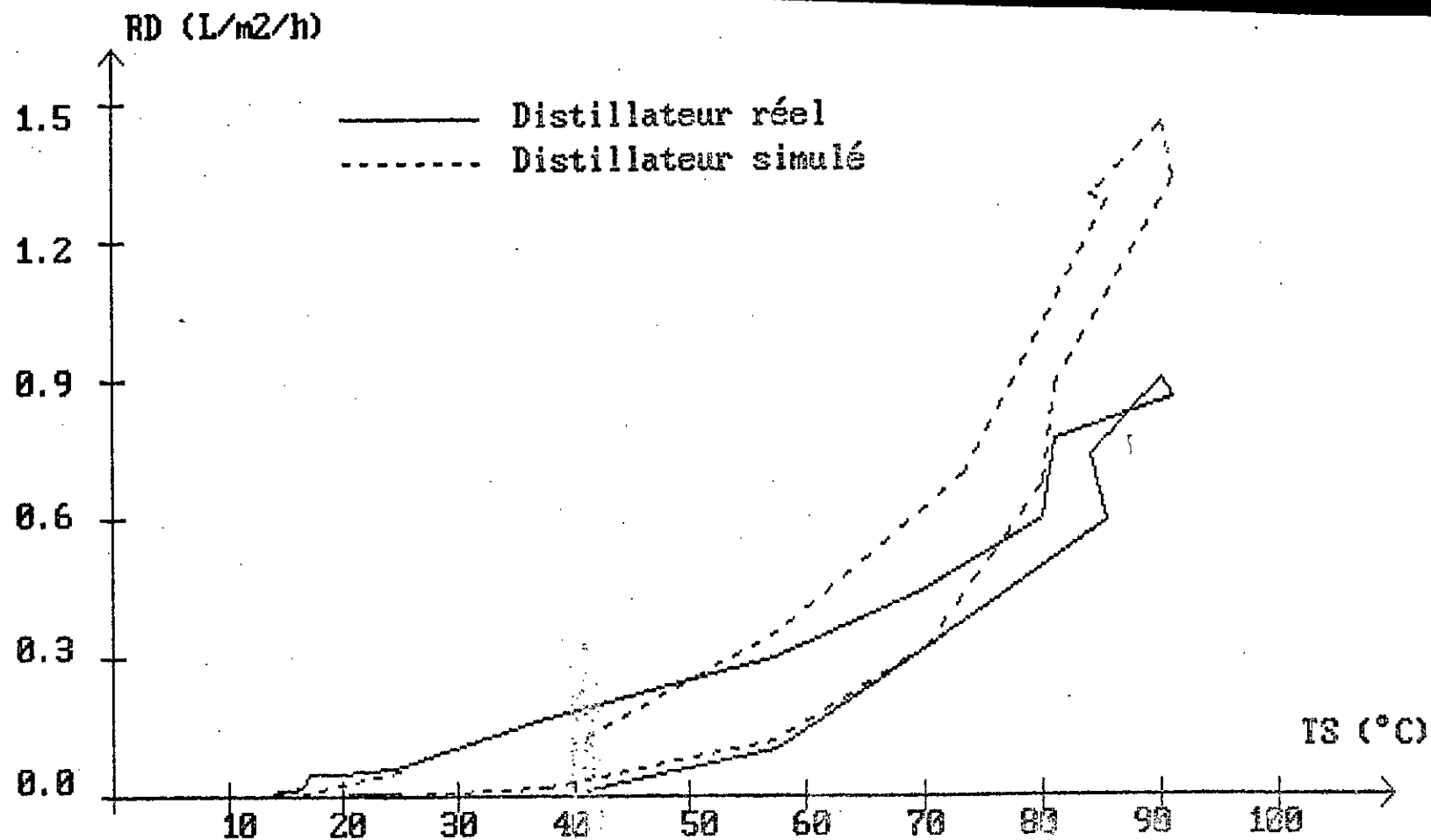


FIG. 43: EVOLUTION DU RENDEMENT DE PRODUCTION HORAIRE DU DISTILLATEUR STATIQUE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DE LA SAUMURE.



## V - COMPARAISON DU RENDEMENT DE PRODUCTION POUR LES DEUX DISTILLATEURS REELS STATIQUE ET DYNAMIQUE

Pour une meilleure validité des résultats, nous avons mis en fonctionnement deux distillateurs avec saumure statique pendant la journée du 07 au 08 Juillet 1986.

La figure 44 donne l'évolution du rendement de chacun des deux distillateurs.

Nous avons pris pour le distillateur à ruissellement de saumure (DISTILD) celui donnant le plus faible rendement de production ; ainsi on s'est placé dans le cas le plus défavorable pour l'étude du distillateur amélioré à ruissellement et préchauffage de saumure.

La figure 45 donne l'évolution du rendement de production pour les deux distillateurs DISTILS à saumure statique et DISTILD à ruissellement et préchauffage de saumure.

Nous remarquons sur ces courbes que jusqu'à 10 h le rendement de DISTILD est supérieur à celui de DISTILS (car l'eau étant préchauffée augmente la pression partielle donc le gradient de température entre plan noir et vitre et par suite augmente le rendement de production). Entre 10 h et 17 h la production de DISTILS est supérieure à celle de DISTILD car l'eau préchauffée par le chauffe-eau solaire ne peut excéder 70° alors que dans le distillateur la saumure statique par effet de serre peut dépasser 90° ; aussi pendant sa circulation entre la cuve de stockage et le distillateur la saumure se refroidie malgré un bon calorifugeage. A partir de 18 h DISTILD produit plus que DISTILS (qui s'arrête de produire quasiment vers 0 h) et continue de produire sans arrêt.

RD (1/m<sup>2</sup>/h)

JOURNEE DU 03 AU 04 JUILLET 1986

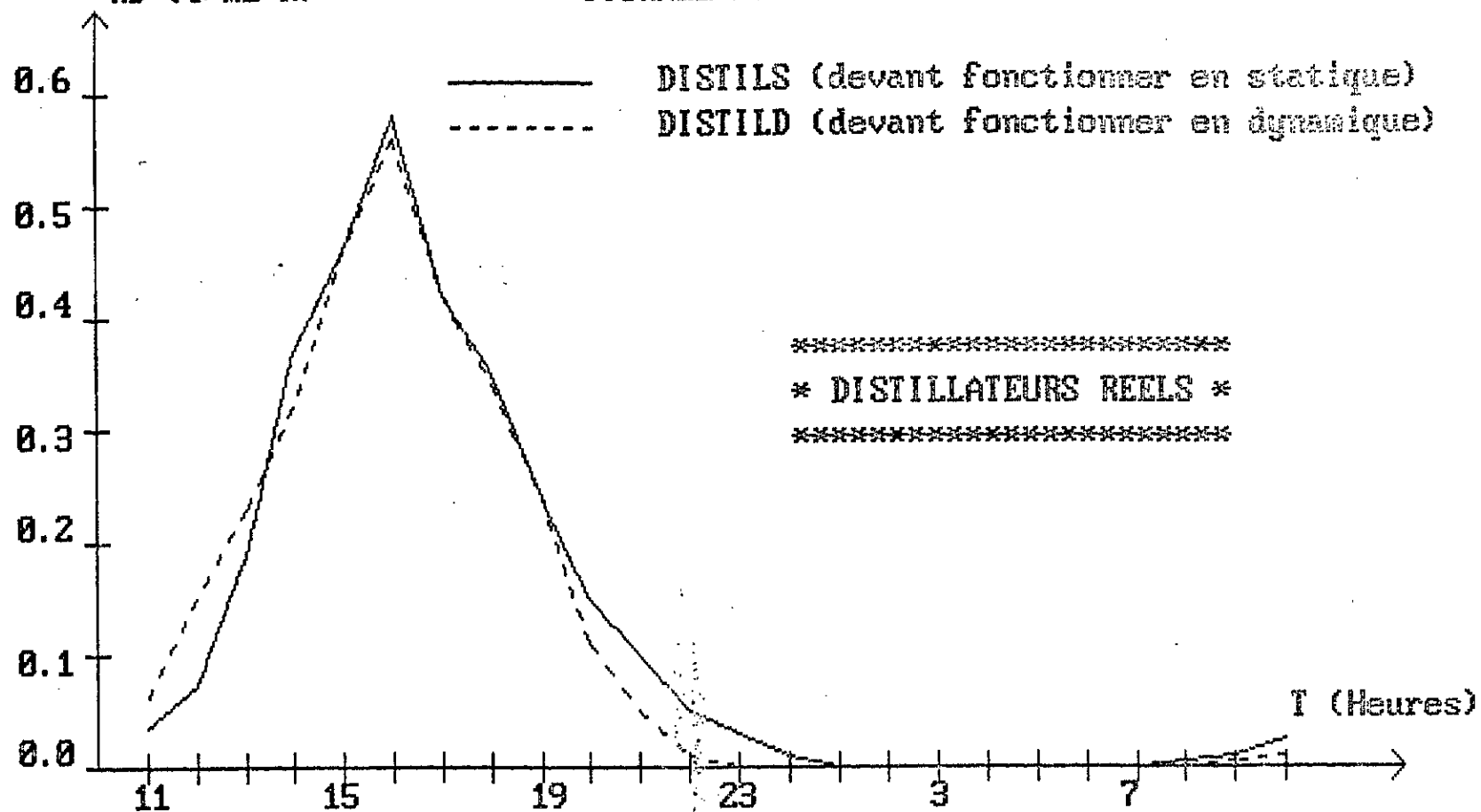


FIG.44: EVOLUTION DU RENDEMENT HORAIRE DES DEUX DISTILLATEURS "DISTILS" ET "DISTILD" EN FONCTIONNEMENT STATIQUE.

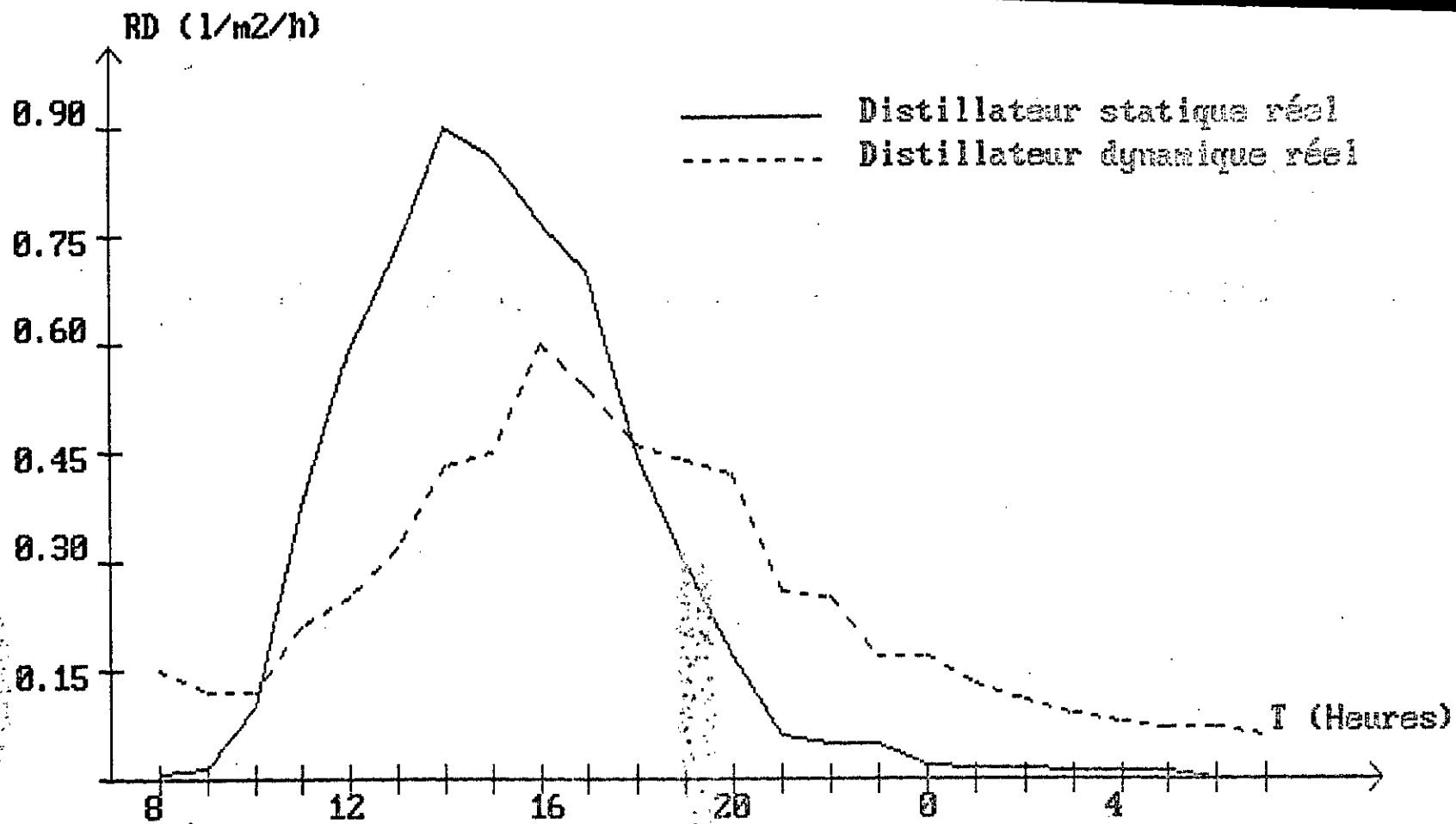


FIG.45: EVOLUTION DU RENDEMENT HORAIRE DES DEUX DISTILLATEURS "STATIQUE" ET "DYNAMIQUE".

- 128 -

DISTILS a son maximum de production à 14 h (instant où EO est maximum) alors que DISTILD présente un maximum à 16 h puis présente un autre maximum à 20 h, moment où la vitre commence à se refroidir.

## VI - PROPOSITION D'UN MODE DE FONCTIONNEMENT JOURNALIER AMELIORE

L'étude comparative des rendements des deux distillateurs DISTILS et DISTILD permet de penser à une concaténation des deux modes de fonctionnement. A savoir, DISTILD doit fonctionner avec une saumure statique de 10 h à 18 h puis à ruissellement de saumure jusqu'à 19 h.

La figure 46 représente l'évolution du rendement horaire de DISTILD (fonctionnant comme expliqué ci-dessus) et de DISTILS.

De cette façon, le rendement a été amélioré d'environ 30 % par rapport au distillateur à saumure statique.

Pour cette journée, la production de DISTILD est de 8 litres approximativement (7.990 ml) alors que celle de DISTILS est légèrement supérieur à 6 litres.

## CONCLUSION

Les courbes représentant les rendements horaires expérimentaux et ceux obtenus par simulation pour une journée de 24 heures, permettent de constater que l'écart relatif maximum entre les

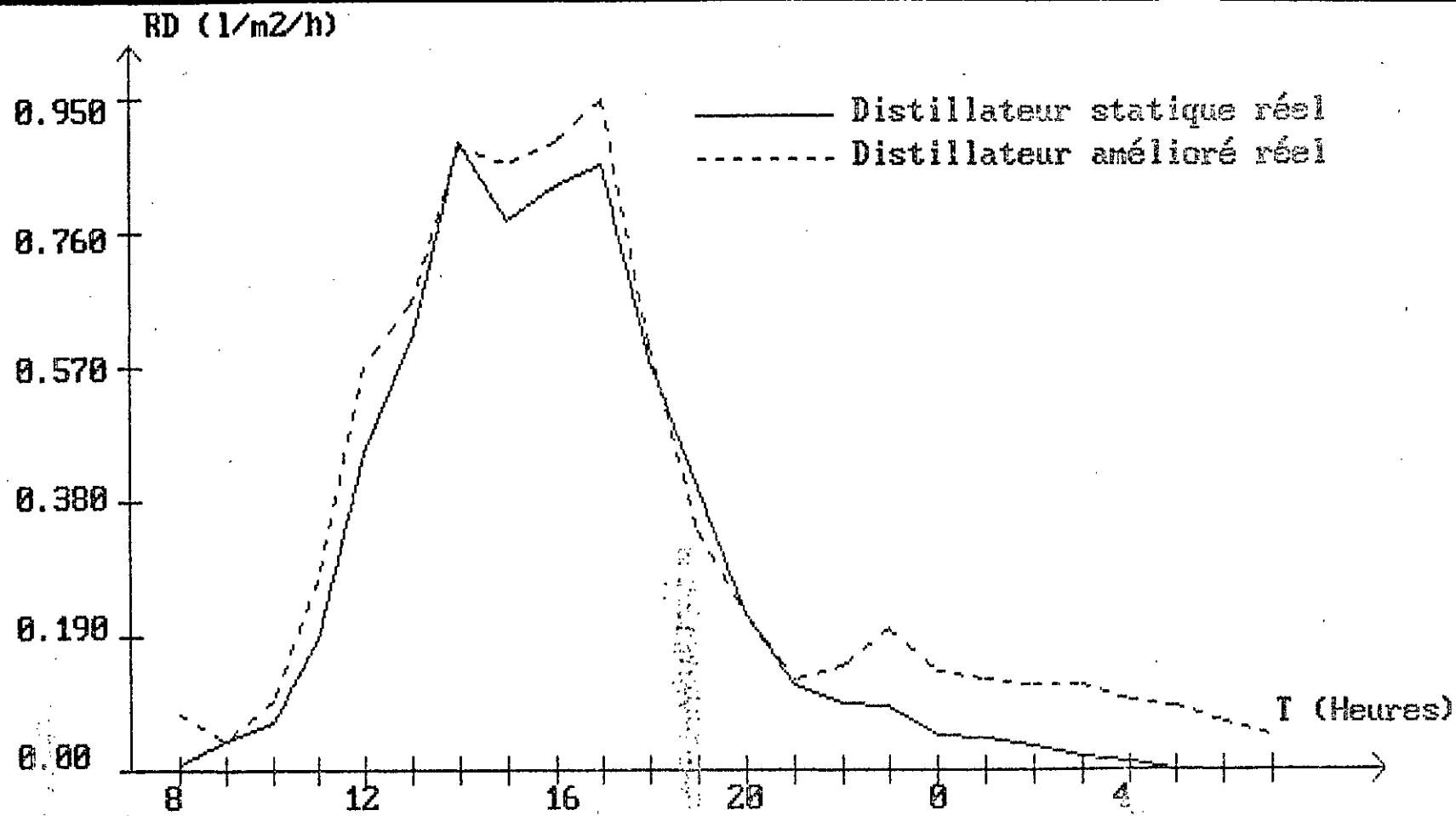


FIG.46: EVOLUTION DU RENDEMENT HORAIRE DES DEUX DISTILLATEURS STATIQUE ET A RUISSELLEMENT NOCTURNE.

rendements réels et théoriques est observé entre 12 h et 14 h, moment où l'écart entre les températures réelles et calculées est maximum (voir Figures 28, 29 et 30). En dehors de cette période, les températures et par suite les rendements horaires réels et théoriques sont très voisins.

On remarque aussi que d'une manière générale les valeurs des températures calculées sont inférieures aux valeurs des températures mesurées, mais toutes les deux suivent la même allure.

En effet, les parois latérales du distillateur étant calorifugées à l'extérieur et réfléchissantes à l'intérieur, la valeur réelle de la puissance solaire absorbée par l'eau ( $P_0$ ) est certainement supérieure à la valeur théorique dont le calcul ne considère pas les parois latérales. C'est ce qui explique qu'à forte puissance solaire incidente, les températures mesurées sont supérieures à celles calculées au moyen de la simulation.

Le rendement réel est inférieur au rendement théorique car :

- Il existe des fuites de vapeur d'eau dont la simulation fait abstraction.
- Si les températures de saumure et de vitre mesurées sont plus élevées que celles calculées, l'écart théorique de température saumure - vitre est plus élevé que l'écart mesuré ; cela tend à compenser dans le cas de la simulation l'effet (réducteur du rendement) de la faiblesse des températures théoriques. En effet le rendement est proportionnel à cet écart de température et inversement proportionnel à la chaleur latente d'évaporation qui est elle-même une fonction décroissante de

la température de la saumure ; cette décroissance de la chaleur latente explique l'infériorité des efficacités globales moyennes réelles par rapport à celles calculées.

## CONCLUSION GENERALE

L'étude faite à partir de la simulation montre que certains paramètres peuvent posséder des valeurs optimales comme l'inclinaison du toit, l'épaisseur de la saumure ou le débit de ruissellement de la saumure ; et d'autres dont l'augmentation engendre une variation monotone de l'efficacité et du rendement, c'est le cas notamment de la puissance solaire incidente, de la vitesse du vent et de la température ambiante.

La comparaison des rendements du distillateur à saumure statique et de celui où la saumure est dynamique a montré qu'il n'était pas intéressant de faire ruisseler la saumure durant la période de fort ensoleillement sauf si le ruissellement se fait à très faible débit (ce qui revient à considérer pratiquement la saumure comme étant statique).

En effet l'eau obtenue après préchauffage solaire atteint une température inférieure (70°C maximum) à celle obtenue par effet de serre dans l'enceinte de distillation (près de 100°C maximum) ; de ce fait le gradient de température saumure-vitre est plus important pour le distillateur "statique" que pour le distillateur "dynamique".

Ainsi la solution adoptée met en fonctionnement le distillateur avec saumure statique durant la période où l'ensoleillement est important ; pendant ce temps le chauffage solaire porte la saumure, dans la cuve de stockage, à une température assez élevée.

Dès la disparition du soleil sur les distillateurs, cette eau préchauffée ruisselle au fond du bac avec un débit maintenu

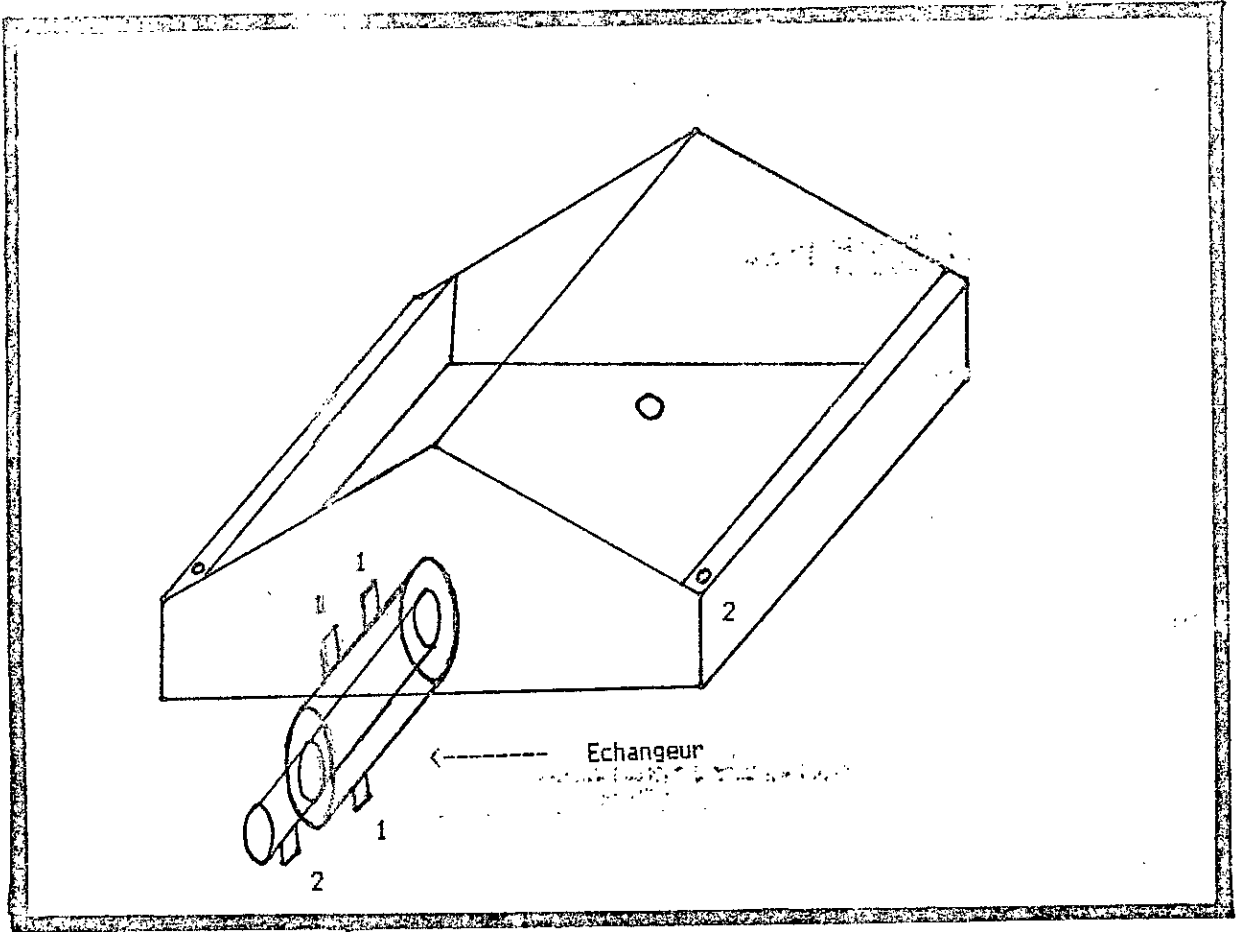


constant de valeur assez importante. La vitre ayant une basse température, contribue à l'augmentation du gradient de température entre saumure préchauffée et vitre ; ce qui fait croître le rendement de production.

Un autre moyen d'augmenter la production de ce distillateur, serait de refroidir les vitres pendant la période où l'ensoleillement est maximum (donc pendant que le distillateur est en fonctionnement statique), ceci serait équivalent à une baisse de la température ambiante ou à une élévation de la vitesse du vent. La conception de ce distillateur serait différente car l'eau de refroidissement, qui devra ruisseler d'une manière homogène sur toute la surface de condensation, doit être récupérée dans la cuve de stockage.

Nous pouvons par ailleurs, agir sur la distance d'échange entre saumure et vitre. Tout en gardant le préchauffage de l'eau et son ruissellement à très faible débit durant les forts ensoleillements et à fort débit après la disparition du soleil, on sépare les effets de condensation et d'évaporation par l'adjonction d'un échangeur qui permettra de diminuer la distance d'échange et de favoriser la condensation (Voir schéma I).

L'échangeur est constitué d'un tube en plexiglass 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 d'un autre tube afin d'avoir, entre les deux, une circulation d'eau froide laquelle augmentera le gradient de température entre évaporateur et condenseur et par suite entrainera la condensation de la saumure au niveau de l'échangeur.



SCHEMA I

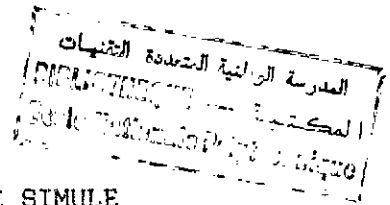
- 1 - Entrees et sortie d'eau de refroidissement.
- 2 - Recuperation du distillat.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) O.G. LOF  
Application of theoretical principles in improving the performance of basin type solar distillers.
- (2) BAUM et BAIRAMOV  
Heat and mass transfert processes in solar stills of hot-box type.  
Kazhizhanovsky Power Institute Moscou URSS 1963
- (3) P. I. COOPER  
The absorption of radiation in solar stills.  
Solar Energy Vol. 12 p. 333-346 1969
- (4) P. I. COOPER  
The transient analysis of glass covered solar stills.  
Ph.D thesis university of Westen Australia 1970
- (5) P. I. COOPER  
The maximum efficiency of single effect solar stills.  
Solar Energy Vol. 15 p. 205-217 1973
- (6) N'DOYE. B  
Modélisation informatique de distillateurs solaires.  
Thèse 3ème. Cycle Université de Perpignan 1978.
- (7) S. SOLIMAN  
Water distillation by solar energy  
Doctor thesis Faculty of Engineering Keio University Tokyo 1967.
- (8) BAIBUTAEV, AVCHILOV  
Effect of salt concentration in the evaporation process in solar stills.  
Geliotechnika Vol. n° 6 p.83 et 84 1970
- (9) DAGUENET, GRANIER, N'DOYE  
Modélisations de distillateurs de type "courant-croisé", "co-courant", "contre-courant". Congrès COMPLES TUNIS 1977
- (10) ACHILOV, VARDIASHVILI  
Study of solar stills of the inclined stepped type.  
Geliotechnika Vol. 7 n° 5 p. 65-69 (1971)
- (11) ACHILOV, ZHURAEV, AKHTAMOV  
Choice of materials and technology for solar stills.  
geliotechnika Vol. 9 n° 5 p. 39-44 1973

- (12) Cyril GOMELIA  
La soif du monde et le dessalement des eaux  
P.U.F 1966
- (13) KREITH. F  
Transmission de la chaleur et Thermodynamique  
p. 484-488 1967
- (14) BAIRAMOV, RYBAKOVA  
Heat and mass transfert in models of solar stills of various  
configuration.  
Geliotechnika Vol. 4 n° 4 p. 43-47 1968
- (15) UMAROV  
Heat and mass transfert in convective solar stills.  
Geliotechnika Vol. 6 n° 1 p. 52-57 1970
- (16) A. MAUREL  
Energie solaire et dessalement de l'eau de mer  
Revue internationale d'heliotechnique  
(1er semestre 1985) p. 52-59
- (17) SIDEM  
(revue technique)  
Différents procédés de dessalement des eaux (1982)
- (18) CAMPERGUE  
Contribution à l'étude du ruissellement plan.  
Thèse 3ème Cycle Labo de Thermodynamique et Energétique  
- Perpignan - (1973)
- (19) Jean Marc RADIGOIS  
Installations solaires à capteurs plans.  
Technique de l'ingénieur 2 - B268 p. 3 et 4 - 1980
- (20) OUZIAUX et PERRIER  
Mécanique des fluides Appliquée  
Tome I. p. 225 et 226.

A N N E X E S



EFFICACITES ET RENDEMENT DU DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE  
JOURNEE DU 07 AU 08 JUIN 1986

HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND	HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND
8 Hr	3.8088	3.0471	0.1288	20 Hr	0.0000	0.0000	0.0020
9 Hr	8.4649	6.7719	0.3566	21 Hr	0.0000	0.0000	0.0016
10 Hr	21.9137	17.5309	0.6956	22 Hr	0.0000	0.0000	0.0014
11 Hr	27.4421	21.9537	1.2840	23 Hr	0.0000	0.0000	0.0014
12 Hr	23.9932	19.1946	1.2945	0 Hr	0.0000	0.0000	0.0013
13 Hr	28.7337	22.9870	1.4497	1 Hr	0.0000	0.0000	0.0013
14 Hr	29.9902	23.9922	1.3305	2 Hr	0.0000	0.0000	0.0014
15 Hr	25.6931	20.5545	0.8876	3 Hr	0.0000	0.0000	0.0013
16 Hr	27.4809	21.9847	0.6749	4 Hr	0.0000	0.0000	0.0012
17 Hr	31.1337	24.9070	0.3253	5 Hr	0.0000	0.0000	0.0012
18 Hr	0.0000	0.0000	0.1215	6 Hr	0.1188	0.0951	0.0016
19 Hr	0.0000	0.0000	0.0152	7 Hr	2.2261	1.7809	0.0531

EPAISSEUR INITIALE DE SAUMURE = .02 mètre  
INCLINAISON DU TOIT = 10 degrés

EFFICACITES ET RENDEMENT DU DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE  
JOURNEE DU 07 AU 08 JUIN 1986

HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND	HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND
8 Hr	2.8551	2.2841	0.0968	20 Hr	0.0000	0.0000	0.0014
9 Hr	6.5770	5.2616	0.2771	21 Hr	0.0000	0.0000	0.0011
10 Hr	17.6043	14.0834	0.5581	22 Hr	0.0000	0.0000	0.0010
11 Hr	21.2451	16.9961	0.9927	23 Hr	0.0000	0.0000	0.0009
12 Hr	18.6916	14.9533	1.0072	0 Hr	0.0000	0.0000	0.0009
13 Hr	22.3749	17.8999	1.1275	1 Hr	0.0000	0.0000	0.0009
14 Hr	23.1484	18.5187	1.0253	2 Hr	0.0000	0.0000	0.0009
15 Hr	20.5042	16.4034	0.7076	3 Hr	0.0000	0.0000	0.0009
16 Hr	21.5173	17.2138	0.5288	4 Hr	0.0000	0.0000	0.0008
17 Hr	25.3380	20.2704	0.2665	5 Hr	0.0000	0.0000	0.0008
18 Hr	0.0000	0.0000	0.0956	6 Hr	0.0799	0.0639	0.0011
19 Hr	0.0000	0.0000	0.0110	7 Hr	1.5498	1.2399	0.0368

EPAISSEUR INITIALE DE SAUMURE = .02 mètre  
INCLINAISON DU TOIT = 40 degrés

EFFICACITES ET RENDEMENT DU DISTILLATEUR STATIQUE REEL  
JOURNEE DU 07 AU 08 JUIN 1986

HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND	HEURE	EFF. INT	EFF GLO	REND
8 Hr	0.3948	0.3158	0.0140	20 Hr	0.0000	0.0000	0.0600
9 Hr	2.3691	1.8952	0.1000	21 Hr	0.0000	0.0000	0.0500
10 Hr	11.6569	9.3255	0.3760	22 Hr	0.0000	0.0000	0.0500
11 Hr	12.6619	10.1295	0.5920	23 Hr	0.0000	0.0000	0.0180
12 Hr	13.4658	10.7726	0.7300	0 Hr	0.0000	0.0000	0.0150
13 Hr	17.8085	14.2468	0.9000	1 Hr	0.0000	0.0000	0.0140
14 Hr	19.5449	15.6359	0.8600	2 Hr	0.0000	0.0000	0.0110
15 Hr	22.2379	17.7903	0.7700	3 Hr	0.0000	0.0000	0.0100
16 Hr	24.6461	19.7169	0.6000	4 Hr	0.0000	0.0000	0.0100
17 Hr	43.7269	34.9815	0.4500	5 Hr	0.0000	0.0000	0.0050
18 Hr	0.0000	0.0000	0.3000	6 Hr	0.0000	0.0000	0.0000
19 Hr	0.0000	0.0000	0.1700	7 Hr	0.2371	0.1897	0.0060

EPAISSEUR INITIALE DE SAUMURE = .02 mètre  
INCLINAISON DU TOIT = 10 degrés

PERTES DU DISTILLATEUR STATIQUE REEL  
JOURNEE DU 07 AU 08 JUIN 1986

HEURE	PERTES(Kcal)	HEURE	PERTES(Kcal)
8 Hr	641.8518	20 Hr	0.0000
9 Hr	797.4873	21 Hr	0.0000
10 Hr	539.4016	22 Hr	0.0000
11 Hr	777.5045	23 Hr	0.0000
12 Hr	895.3682	0 Hr	0.0000
13 Hr	792.4006	1 Hr	0.0000
14 Hr	691.3130	2 Hr	0.0000
15 Hr	558.5120	3 Hr	0.0000
16 Hr	400.1338	4 Hr	0.0000
17 Hr	171.7782	5 Hr	28.7522
18 Hr	50.6568	6 Hr	184.1878
19 Hr	2.5910	7 Hr	399.2086

EPAISSEUR INITIALE DE SAUMURE = .02 mètre  
INCLINAISON DU TOIT = 10 degrés

EFFICACITES ET RENDEMENT DU DISTILLATEUR DYNAMIQUE REEL  
 JOURNEE DU 07 AU 08 JUIN 1986

HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND	HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND
8 Hr	0.11349	0.09079	0.01617	20 Hr	0.00000	0.00000	0.09342
9 Hr	0.17611	0.14089	0.03009	21 Hr	0.00000	0.00000	0.07366
10 Hr	0.57316	0.45853	0.07285	22 Hr	0.00000	0.00000	0.06109
11 Hr	0.98271	0.78617	0.18730	23 Hr	0.00000	0.00000	0.05210
12 Hr	1.51598	1.21279	0.33148	0 Hr	0.00000	0.00000	0.04941
13 Hr	2.13341	1.70673	0.43568	1 Hr	0.00000	0.00000	0.04132
14 Hr	3.38684	2.70947	0.60187	2 Hr	0.00000	0.00000	0.03593
15 Hr	3.54445	2.83556	0.49856	3 Hr	0.00000	0.00000	0.03144
16 Hr	5.05119	4.04096	0.50305	4 Hr	0.00000	0.00000	0.02695
17 Hr	7.97906	6.38325	0.33687	5 Hr	0.00000	0.00000	0.00808
18 Hr	0.00000	0.00000	0.21110	6 Hr	0.02745	0.02196	0.00180
19 Hr	0.00000	0.00000	0.13834	7 Hr	0.00000	0.00000	0.00000

DEBIT= 10 Litres/Heure

EFFICACITES ET RENDEMENT DU DISTILLATEUR DYNAMIQUE SIMULE  
 JOURNEE DU 07 AU 08 JUIN 1986

HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND	HEURE	EFF INT	EFF GLO	REND
8 Hr	0.25807	0.20646	0.10907	20 Hr	0.00000	0.00000	0.37648
9 Hr	0.25889	0.20711	0.11521	21 Hr	0.00000	0.00000	0.33748
10 Hr	0.35903	0.28722	0.14047	22 Hr	0.00000	0.00000	0.30902
11 Hr	0.41390	0.33112	0.23296	23 Hr	0.00000	0.00000	0.26350
12 Hr	0.58324	0.46660	0.37741	0 Hr	0.00000	0.00000	0.24290
13 Hr	1.00182	0.80146	0.53738	1 Hr	0.00000	0.00000	0.22312
14 Hr	1.38614	1.10891	0.63904	2 Hr	0.00000	0.00000	0.21482
15 Hr	1.71930	1.37544	0.61334	3 Hr	0.00000	0.00000	0.20462
16 Hr	2.35676	1.88541	0.56736	4 Hr	0.00000	0.00000	0.18898
17 Hr	6.30637	5.04509	0.53710	5 Hr	4.15000	3.32000	0.17416
18 Hr	24.37174	19.49740	0.48782	6 Hr	1.06672	0.85338	0.16327
19 Hr	90.86661	72.69328	0.43636	7 Hr	0.61268	0.49014	0.16827

DEBIT= 10 Litres/Heure



```

10 DIM T$(5),Y(24),AI(2)
20 KEY OFF
30 SCREEN 0:SCREEN 1:CLS
40 LOCATE 13,3:PRINT "*****"
50 LOCATE 11,3:PRINT "*****"
60 COLOR 1,7
70 A$="          SIMULATION          D'UN          DISTILLATEUR          SOLAIRE
   A          EFFET          DE          SERRE          *** "
80 L=LEN(A$)
90 FOR I=1 TO L
100 B#=LEFT$(A$,33)
110 LOCATE 12,2:PRINT "*";B#;"*":FOR J=1 TO 200 :NEXT
120 A#=RIGHT$(A$,L-1)+LEFT$(A$,1)
130 NEXT
140 REM
150 REM
160 REM *****
170 REM ***  INITIALISATION DES PARAMETRES SECONDAIRES EN ENTREE  ***
180 REM *****
190 LO=1.21 : ' LONGUEUR DU DISTILLATEUR EN METRE (DU P-N)
200 LA=1.11 : ' LARGEUR DU DISTILLATEUR EN METRE (EXTERIEUR)
210 CTC=.776 : ' CONDUCTIVITE THERMIQUE DE LA COUVERTURE EN WATTS/m^0K
220 CTS=.626 : '          ,,          ,,          ,, SAUMURE EN          ,,
230 CTAV=.0427 : '          ,,          ,,          DU MELANGE AIR VAPEUR EN Watts/m^0K
240 CTBAC=.038 : '          ,,          ,,          DE LA BASE EN Watts/m^0C
250 CTISOL=.157 : '          ,,          ,,          DE L'ISOLANT EN WATTS/m ^0C
260 CTCPL=.112 : '          ,,          ,,          DU CONTRE PLAQUE ,, ,, ,,
270 EP=.92 : ' EMISSIVITE DU PLAN NOIR
280 EV=.9 : '          ,,          DE LA VITRE
290 VS=.049 : ' VISCOSITE DE L'EAU SAUMATRE Kg/m s
300 VM=.001445 : '          ,,          DU MELANGE AIR VAPEUR Kg/m s
310 CC=4180 : ' CAPACITE CALORIFIQUE DE L'EAU EN Joule/Kg/^0C
320 A1=992 : ' DENSITE DE L'EAU
330 BETA=.1744 : ' INCLINAISON DE LA COUVERTURE EN RADIAN
340 ALFA=.0174 : ' INCLINAISON DU PLAN NOIR EN RADIAN
350 DS=.02 : ' EPAISSEUR DE LA SAUMURE EN METRE
360 EBAC=.005 : '          ,,          ,, BASE          ,, ,,
370 EISOL=.017 : '          ,,          ,, L'ISOLANT          ,, ,,
380 ECP=.011 : '          ,,          ,, CONTRE PLAQUE          ,, ,,
390 DC=.004 : '          ,,          ,, COUVERTURE EN METRE
400 S1=1.1132 : ' SURFACE          ,, ,, BASE          ,, ,, CARRES
410 S0=1.4135 : '          ,,          ,, COUVERTURE EN METRE CARRES
420 REFRAC=.08 : ' REFRACTANCE DU VERRE
430 ALPHAC=.07 : ' ABSORPTANCE DU VERRE
440 SIGM=5.67E-08 : 'CONSTANTE DE STEPHAN BOLTZMAN EN Watts/m2 ^0K4
450 G=9.810001 : 'ACCELERATION DE LA PESANTEUR EN m/s2
460 D(1)=.15 : 'DISTANCE D'EVAPORATION ENTRE SAUMURE ET TOIT EN METRE
470 D(2)=.08 : 'DISTANCE D'EVAPORATION ENTRE SAUMURE ET TOIT EN METRE
480 D=.19 : 'distance d'evap. pour dist. statique
490 AZ=1.136 : 'densite de l'air.
500 A3=.71 : 'densite de vapeur d'eau.
510 DAT$="JOURNEE DU 07 AU 08 JUIN 1986"

```

```

520 REM
530 REM *****
540 REM *** : PROGRAMME PRINCIPAL ***
550 REM *****
560 MENU=1 :GOSUB 650
570 INPUT C#
580 IF C#="1" THEN GOSUB 10000: GOTO 560 'distillateur statique
590 IF C#="2" THEN GOSUB 1050:GOTO 560 'distillateur dynamique
600 IF C#="0" THEN CLS:LOCATE 10,20:COLOR 19,1 'sortie du programme
610 PRINT "MERCI DE VOTRE ATTENTION":COLOR 2,0
620 END
630 REM
640 REM *****
650 REM *** SOUS PROGRAMME "MENUS" ***
660 REM *****
670 ON MENU GOTO 690,760,820,880
680 SCREEN 1:SCREEN 0
690 CLS
700 COLOR 20,1:LOCATE 4,15:PRINT "MENU GENERAL"
710 COLOR 2,1
720 LOCATE 8,6:PRINT "0.. SORTIE DU PROGRAMME " :COLOR 3,1
730 LOCATE 12,6:PRINT "1.. DISTILLATEUR STATIQUE..."
740 LOCATE 14,6:PRINT "2.. DISTILLATEUR DYNAMIQUE.."
750 GOTO 970
760 LOCATE 10,6:PRINT"0...RETOUR AU MENU GENERAL...."
770 LOCATE 12,6:PRINT"1...PRODUCTION DU SIMULE....."
780 LOCATE 14,6:PRINT"2...PRODUCTION DU REEL....."
790 LOCATE 16,6:PRINT"3...PERTES DU SIMULE....."
800 LOCATE 18,6:PRINT"4...PERTES DU REEL....."
810 GOTO 970
820 SCREEN 1:SCREEN 0:COLOR 1,3:CLS:LOCATE 6,2:PRINT"VOULEZ VOUS VOS RESULTATS"
830 LOCATE 7,2:PRINT" SOUS FORME DE : "
840 LOCATE 12,10:PRINT"1...COURBES...."
850 LOCATE 14,10:PRINT"2...TABLEAUX..."
860 LOCATE 18,10:PRINT "0...RETOUR AU MENU PRECEDENT..."
870 GOTO 970
880 SCREEN 3:SCREEN 0: CLS
890 LOCATE 6,10:PRINT "0.....REVENIR AU MENU PRECEDENT ....."
900 COLOR 2,0
910 LOCATE 12,10:PRINT "1.....EFFICACITE GLOBALE....."
920 LOCATE 14,10:PRINT "2.....EFFICACITE INTERNE....."
930 LOCATE 16,10:PRINT "3.....RENDEMENT....."
940 LOCATE 12,60:PRINT "....E G...."
950 LOCATE 14,60:PRINT "...E I...."
960 LOCATE 16,60:PRINT "...R D...."
970 LOCATE 22,10:COLOR 1,3 :PRINT "FAITES VOTRE CHOIX :";:COLOR 2,0
:SCREEN 0:RETURN
980 MENU=2 :GOSUB 650
990 INPUT B#: IF VAL(B#)<0 OR VAL(B#)>4 THEN 990
1000 IF B#="0" THEN RETURN
1010 LOCATE 24,6:PRINT"EST-CE QUE LES CALCULS SONT DEJA FAITS?:O/N";
1020 INPUT R#: IF R#="O" THEN CAL=1:GOTO 1040
1030 IF R#="N" THEN CAL=0 ELSE 1010
1040 RETURN

```

```

1050 REM *****
1060 REM ***          DISTILLATEUR  DYNAMIQUE          ***
1070 REM *****
1080 COLOR 20,3:CLS:LOCATE 5,10:PRINT"DISTILLATEUR DYNAMIQUE":COLOR 1,3
1090 GOSUB 980
1100 IF B$="2" AND CAL=0 THEN GOSUB 2120:GOTO 1160
1110 IF B$="1" AND CAL=0 THEN GOSUB 2660:GOTO 1160
1120 IF B$="3" AND CAL=0 THEN GOSUB 4160:GOTO 1160
1130 IF B$="4" AND CAL=0 THEN GOSUB 4820:GOTO 1160
1140 IF B$="0" THEN RETURN
1150 IF CAL=1 THEN 1160
1160 MENU=3: GOSUB 650
1170 INPUT A$
1180 IF A$="0" THEN 1050
1190 IF VAL(A$)<1 OR VAL(A$)>2 THEN 1170
1200 SCREEN 0:SCREEN 3
1210 IF A$="1" THEN GOSUB 1610 ELSE GOSUB 1230
1220 IF C$="1" THEN GOTO 1200 ELSE GOTO 1160
1230 REM *****
1240 REM ** REPRESENTATION DES RESULTATS SOUS FORME DE TABLEAU **
1250 REM *****
1260 ON VAL(B$) GOSUB 1570,1580,1590,1600 'ouverture des fichiers resultats.
1270 CLS:HR=7
1280 ON NB GOTO 1290,1420 'pertes ou production
1290 IF B$="3" THEN LOCATE 1,20:PRINT "PERTES DU DISTILLATEUR DYNAMIQUE SIMULE "
1300 IF B$="4" THEN LOCATE 1,20:PRINT "PERTES DU DISTILLATEUR DYNAMIQUE REEL"
1310 LOCATE 2,24:PRINT DAT$
1320 FOR L=0 TO 1
1330 LOCATE 4,L*40+1:PRINT " HEURE", "PERTES ( Kcal )"
1340 FOR H=1 TO 12 :HR=HR+1:IF HR=24 THEN HR=0
1350 INPUT #1,T1
1360 LOCATE H+5,L*40+1:PRINT HR;" Hr ",:PRINT USING "###.####";T1,:PRINT " ";
1370 NEXT :NEXT
1380 CLOSE
1390 LOCATE 25,10:PRINT "V DULEZ VOUS IMPRIMER CES RESULTATS O/N";:INPUT S$
1395 IF S$<>"O" AND S$<>"N" THEN 1390
1400 IF S$="N" THEN RETURN ELSE LOCATE 25,10:PRINT " APPUYER SUR LA
TOUCHE SCR PRT "
1405 FOR KA=1 TO 3000:NEXT KA:LOCATE 25,10
:PRINT"
:FOR KB=1 TO 30000:NEXT:RETURN
1420 IF B$="1" THEN LOCATE 1,10: PRINT "EFFICACITES ET RENDEMENT DU
DISTILLATEUR DYNAMIQUE SIMULE"
1430 IF B$="2" THEN LOCATE 1,10: PRINT "EFFICACITES ET RENDEMENT DU
DISTILLATEUR DYNAMIQUE REEL"
1440 HR=7: LOCATE 2,24:PRINT DAT$
1450 FOR L=0 TO 1
1460 LOCATE 4,L*40+1:PRINT " HEURE EFF INT EFF GLO REND"
1470 FOR H=1 TO 12
1480 INPUT #1,T1,T2:HR=HR+1 :IF HR=24 THEN HR=0
1490 INPUT #2,T3
1500 LOCATE H+5,L*40+1:PRINT HR;" Hr"
1510 LOCATE H+5,L*40+10:PRINT USING "###.####";T1
1520 LOCATE H+5,L*40+20:PRINT USING "###.####";T2
1530 LOCATE H+5,L*40+30:PRINT USING "###.####";T3
1540 NEXT :NEXT
1550 CLOSE
1555 LOCATE 23,30:PRINT "DEBIT=";DB*1000*3600;"Litres/Heure"
1560 GOTO 1390

```

```

1570 NB=2: OPEN "L:EI-EB-DS.DAT" FOR INPUT AS 1
:OPEN "A:RDM-DS.DAT" FOR INPUT AS 2 :RETURN
1580 NB=2: OPEN "L:EI-EB-DR.DAT" FOR INPUT AS 1
:OPEN "A:RDM-DR.DAT" FOR INPUT AS 2 :RETURN
1590 NB=1:OPEN "A:PERH-DS.DAT" FOR INPUT AS 1:RETURN
1600 NB=1:OPEN "A:PERH-DR.DAT" FOR INPUT AS 1:RETURN
1610 T$(1)=" E G (%)"
1620 T$(2)=" E I (%)"
1630 T$(3)=" E D (L/M2/H)"
1640 T$(4)=" P R T (Kcal)"
1650 T$(5)="T (Heures)"
1660 IF VAL(B$) > 2 THEN 1770
1670 MENU=4:GOSUB 650
1680 INPUT D$
1690 IF D$="0" THEN RETURN
1700 IF VAL(D$)<>1 AND VAL(D$)<>2 AND VAL(D$)<>3 THEN 1680
1705 CLS:GOSUB 1710:GOTO 1670
1710 REM *****
1715 REM ***** TRACE DE COURBES *****
1720 REM *****
1730 REM
1740 IF D$="2" THEN NC=2:L=1:ND=2:GOTO 1780 'efficacite interne.
1750 IF D$="1" THEN NC=2:L=1:ND=1:GOTO 1780 ' " globale.
1760 IF D$="3" THEN NC=1:L=2:ND=1:GOTO 1780 'rendement.
1770 NC=1:L=1:ND=1
1775 SCREEN 0:SCREEN 3:MN=1
1780 SCREEN 3:LOCATE 1,1:IF B$="1" OR B$="2" THEN PRINT T$(VAL(D$))
ELSE PRINT T$(4)
1790 LOCATE 18,70:PRINT T$(5)
1800 PSET (50,300):DRAW"U270B5E5F5H5D270R550H5F5G5E5"
1810 LOCATE 21,7:PRINT "
B      12      16      20      00      04      08"
1820 FOR I=0 TO 250 STEP 50:PSET (50,300-I):DRAW"L5R10":NEXT
1830 YM=0:NBC=1 'INITIALISATION DU MAXIMUM DES MESURES
1840 FOR I=0 TO 24:PSET (500/24*I+50,300):DRAW"Y5D50":NEXT
1850 VIEW PRINT 22 TO 24
1860 IF C$="1" THEN ON VAL(B$) GOSUB 10460,10470,10480,10490
ELSE ON VAL(B$) GOSUB 1570,1580,1590,1600
1870 MJ=0:FOR H=1 TO 24:FOR I=1 TO NC:INPUT #L,AI(I):MJ=MJ+AI(I)
1880 NEXT I:Y(H)=AI(ND):IF ABS(YM) < ABS(Y(H)) AND NBC=1 THEN YM=Y(H)
1890 NEXT H
1900 LOCATE 24,1:COLOR 2,1:PRINT"MAX = ";:PRINT USING "###.####";YM;
1910 SCREEN 3:PSET (50,50):DRAW"L5R10" : 'graduations verticales.
1920 FOR H=2 TO 24
1930 LINE (H*500/24+50,300-Y(H)*250/YM)-((H-1)*500/24+50,300-Y(H-1)*250/YM),1
1940 NEXT H
1950 IF B$="3" OR B$="4" OR D$="3" THEN LOCATE 23,30:COLOR 2,1
:PRINT "MOYENNE JOURNALIERE ";MJ
1960 CLOSE
1970 LOCATE 25,10:PRINT " VOULEZ VOUS IMPRIMER CETTE COURBE O / N ";:INPUT Y$
1975 IF Y$<>"O" AND Y$<>"N" THEN 1970
1976 IF Y$="N" THEN IF C$="1" THEN 10510 ELSE GOTO 2010
1980 IF Y$="O" THEN LOCATE 25,10:PRINT" APPUYER SUR LA TOUCHE SCR PRT"
:FOR KA=1 TO 3000:NEXT:LOCATE 25,10:PRINT"
"
:FOR KB=1 TO 30000:NEXT
2000 IF C$="1" THEN RETURN ELSE GOTO 2010
2010 ON VAL(B$) GOTO 2030,2020,2030,2020
2020 RETURN

```

```

2030 LOCATE 25,10:PRINT " VOULEZ VOUS CHANGER LE DEBIT      D / N ";:INPUT Z$
2040 IF Z#="O" THEN LOCATE 25,1:GOTO 2070
2050 IF Z#="N" THEN SCREEN 0:RETURN
2060 GOTO 2030
2070 NBC=2
2080 ON VAL (B$) GOSUB 2660,2180,4160,4880
2090 GOTO 1860
2120 REM *****
2130 REM ***  CALCUL DE LA PRODUCTION DU REEL DYNAMIQUE ***
2140 REM *****
2150 REM
2160 REM ###  lecture des paramètres principaux en entrée  ###
2170 REM
2180 REM
2185 DB=10/3600/1000
2190 SCREEN 0:LOCATE 25,10:PRINT "CALCULS EN COURS";
2200 OPEN "A:PA-PR-ED.DAT" FOR INPUT AS 9
2210 OPEN "A:EI-EG-DR.DAT" FOR OUTPUT AS 1
2220 OPEN "A:RDM-DR.DAT" FOR OUTPUT AS 3
2230 EIJ=0:EGJ=0:RDJ=0      'initialisation des param.journaliers.
2240 FOR H=1 TO 24 :EIH=0:EGH=0:RDH=0  'init. des param. horaires.
2250 LOCATE 25,30:PRINT H;
2260 FOR T=1 TO 4
2270 INPUT #9,TIS,TA,VV,E0,TIT,TMAV,M,TAP,TST
2280 T1=TA+273
2290 T6=TIS+273
2300 VV=VV*.709 'CONVERSION DES VOLTS EN m/s
2310 T1P=TAP+273
2320 T4=TIT+273
2330 T2=.0552*(T1^1.5)
2340 T8=T6+1
2350 T10=TMAV
2360 T3=TST+273
2370 M=M/1000
2380 L1 =CC*(796.5-(.695*T10))/1000
2390 QE =M*L1
2400 RDO=M/S1
2410 REM #####
2420 REM #####  efficacités instantanées  #####
2430 REM #####
2440 IF E0<30 THEN EII=0:EGI=0:GOTO 2480
2450 EII =QE/(.8*E0)
2460 EGI =QE/E0
2470 REM #####
2480 REM ###  sommes cumulées pendant une heure  ###
2490 REM #####
2500 EIH =EII+EIH
2510 EGH =EGI+EGH
2520 RDH =RDO+RDH

```

```

2530 EIJ=EII+EIJ
2540 EGJ=EGI+EGJ
2550 RDJ=RD0+RDJ
2560 NEXT T
2570 PRINT #1,EIH/4;",";EGH/4;
2580 PRINT #3,RDH
2590 NEXT H
2600 REM #####
2610 REM ##### calcul des moyennes journalières #####
2620 REM #####
2630 EIJ(2)=EIJ/(24*4)
2640 EGJ(2)=EGJ/(24*4)
2650 RDJ(2)=RDJ:PRINT #3,RDJ:CLOSE:RETURN
2660 REM
2670 CLS:LOCATE 24,30:PRINT "DONNEZ LE DEBIT EN LITRES/H ";
:INPUT DB:DB=DB/1000/3600
2680 REM *****
2690 REM ***          DISTILLATEUR DYNAMIQUE SIMULE          ***
2700 REM ***          CALCUL DES EFFICACITES ET DU RENDEMENT          ***
2710 REM *****
2720 REM
2730 REM #####
2740 REM ### lecture des paramètres principaux en entrée ###
2750 REM #####
2760 LOCATE 25,10:PRINT "CALCULS EN COURS";
2770 OPEN "A:PA-PR-ED.DAT" FOR INPUT AS 9
2780 OPEN "A:EI-EG-DS.DAT" FOR OUTPUT AS 1
2790 OPEN "A:MASSE.DAT" FOR OUTPUT AS 7
2800 OPEN "A:RDM-DS.DAT" FOR OUTPUT AS 3
2810 OPEN "A:RD1-RD2.DAT" FOR OUTPUT AS 4
2820 EIJ=0:EGJ=0:RDJ=0
2830 FOR H=1 TO 24:LOCATE 25,30:PRINT H; 'boucle relative à l'heure
2840 EIH=0:EGH=0:RDH=0:MAT=0:RD1=0:RD2=0
2850 FOR T=1 TO 4 'boucle relative au 1/4 d'heure
2860 INPUT #9,TIS,TA,VV,E0,TIT,TMAV,M,TAP,TST
2870 VV=VV*.709 'CONVERSION DES VOLTS EN m/s
2880 FOR S=1 TO 2 'boucle relative à la section
2890 T1=TA+273
2900 T6=TIS+273
2910 T1P=TAP+273
2920 T4=TIT+273
2930 T3=TST+273
2940 T2=.0552*(T1^1.5)
2950 T7=0:T8=T6+1
2960 FOR N=1 TO 4 'boucle relative à l'intervalle divisant la section
2970 IF T7=0 THEN GOTO 3010
2980 T6=T67
2990 T8=T89
3000 T4=T45
3010 REM ## Resistances thermiques par évaporation(R9) et condensation(R8) ##
3020 DEF FNP(Z)=10^(17.43-2795/Z-3.868*LOG(Z)/LOG(10))
3030 DEF FNS(Z)=Z*A3/(Z*A3+(1-Z)*A2)
3040 PEV= FNP(T6)
3050 PC= FNP(T4)
3060 IF T6=>373 THEN 3080

```

```

3070 G1=F1S(PEV) : GOTO 3090
3080 G1=1
3090 IF T4=>373 THEN 3110
3100 G2=FNS(PE) : GOTO 3120
3110 G2=1
3120 GR=1.12E+08*(D(S)/2)^3*ABS(T6-T4)^.5
3130 FRE=G1*.96+(1-G1)*.72
3140 PRC=G2*.96+(1-G2)*.72
3150 NUEV=B90*PEV
3160 R9 =1/(NUEV*CTAV/D(S)/2)
3170 NUC =.004365*((GR*PRC)^.8)*PC
3180 R8 =1/(NUC*CTAV/D(S)/2)
3190 REM ##### R7 échange par convection saumure-vitre #####
3200 IF GR<2000 THEN NU=1
3210 IF GR >= 2000 AND GR < 50000! THEN NU=.0507*(GR^.4)
3220 IF GR>50000! AND GR<200000! THEN NU=3.8
3230 IF GR>200000! THEN NU=.0426*(GR^.37)
3240 R7 =1/(NU*CTAV/D(S))
3250 REM ##### R2 échange par rayonnement vitre-ciel #####
3260 R2 =1/(SIGM*EV*(T3+T2)*((T3^2)+(T2^2)))
3270 REM ##### R1 par convection vitre-milieu ambiant #####
3280 R1 =1/(5.7+3.8*VV)
3290 REM ##### R3 de conduction à travers la vitre #####
3300 R3 =DC/CTC
3310 REM ##### R6 de conduction à travers la base #####
3320 R6 =EBAC/CTBAC + EISOL/CTISOL + ECP/CTCP
3330 REM ##### R10 conduction convection entre saumure et plan noir #####
3340 DELTA=(3*DB*VS/(G*SIN(BETA)))^(1/3)
3350 MEL = DB/(DELTA*LA)*4
3360 REL = MEL*LD/(4*VS)
3370 PR = CC/CTS
3380 NU = .664*(REL^(.5))*(PR^(1/3))
3390 R10 = 1/(NU*CTS/LO)
3400 REM ##### R11 de rayonnement plan noir-vitre #####
3410 F = .5*(1+COS(BETA))
3420 E = SIGM*F/(1/EP+1/EV-1)
3430 R11 =1/ (E*((T8^2)+(T4^2))*(T8+T4 ))
3440 REM #####
3450 REM ##### R4 et R5 resistances auxiliaires #####
3460 REM #####
3470 R01= (T6 -T4 )*R11/(T8 -T4)
3480 R02= (T8 -T6 )*R11/(T8 -T4)
3490 R4 = 1/(1/R7 +1/(R8 +R9 )+1/R01)
3500 R5 = 1/(1/R10+1/R02)
3510 REM #####
3520 REM ##### calcul des températures finales #####
3530 REM #####
3540 REM *** P0 : puissance utile absorbée ***
3550 P0=.8*E0
3560 REM *** P2 : puissance dissipée par le plan noir et la saumure ***
3570 P2 =(R6*P0+T1P-T6)/(R6+R5):'P2=ABS(P2)

```

```

3580 REM *** T8 : puissance absorbée par le mélange air-vapeur ***
3590 P3 =(T7-(R1/R2)-R1*(T2-R2*T1)/((R3+R4)*(R1+R2)+R1*R2):'P3=ABS(P3)
3600 REM *** P4 : puissance absorbée par la saumure et convertie en chaleur ***
3610 P1=P2-P4 : P1=ABS(P1)
3620 REM *** T9 : température finale du plan noir ***
3630 T9 =(T6*R5+T1P*R5+P0*R5*R6)/(R5+R6)
3640 REM *** T3 : température finale de la face interne du toit ***
3650 T5=T1+(R1/(1+(R1/R2))-R3)*P3-(T1-T2)/(R2*(1+(R1/R2)))
3660 REM *** P6 : puissance absorbée par le plan noir ***
3670 P6 =(T8-T1P)/R6 : 'P6=ABS(P6)
3680 REM *** P5 : puissance absorbée par la saumure ***
3690 P5 =P0-P6:P5=ABS(P5)
3700 REM *** T3 : température du toit externe ***
3710 T3= T4+R3*P3
3720 REM *** T7 : température finale de la saumure ***
3730 T7 =T6+(P1*P0/(CC*DS*A1))
3740 REM *** T10: température du mélange air-vapeur ***
3750 T10=.5*(T1S+T1T)
3760 T67=(T6+T7)/2
3770 T45=(T4+T5)/2
3780 T89=(T8+T9)/2
3790 REM *** RD0 : taux d'eau distillée en Kg/m2 ***
3800 P4 =(1/(R8+R9))*ABS(T67-T45)
3810 L1 =CC*(796.5-(.695*T10))/1000
3820 RD0 =P4/L1
3830 IF E#="3" THEN RETURN
3840 MA=RD0*S1/16:MAT=MAT+MA:PRINT #7,MA;
3850 REM ##### efficacités instantanées #####
3860 REM #####
3870 IF E0<30 THEN EII=0:EGI=0:GOTD 3900
3880 EII =P4*(S1/16)*(4180/900)/P0
3890 EGI =P4*(S1/16)*(4180/900)/E0
3900 REM ##### sommes cumulées pendant une heure #####
3910 REM #####
3920 IF E0=0 THEN 3950
3930 EIH =MAT*L1/P0
3940 EGH =MAT*L1/E0
3950 IF S=1 THEN RD1=RD1+RD0
3960 IF S=2 THEN RD2=RD2+RD0
3970 NEXT N
3980 NEXT S
3990 NEXT T
4000 RDH=MAT
4010 PRINT #1,EIH;" ";EGH
4020 PRINT #4,RD1;" ";RD2
4030 PRINT #3,RDH
4040 REM ##### calcul des moyennes journalières #####
4050 REM #####
4060 EIJ=EIH+EIJ
4070 EGJ=EGH+EGJ
4080 RDJ=RDH+RDJ
4090 PRINT #7,"MASSE D'EAU ";MAT*2;
4100 NEXT H

```



```

4110 EIJ(1)=EIJ/24
4120 EGJ(1)=EGJ/24
4130 RDJ(1)=RDJ*2
4140 PRINT #3,RDJ
4150 CLOSE:RETURN
4160 REM *****
4170 REM *****  CALCUL DES PERTES DU DYNAMIQUE SIMULE  *****
4180 REM *****
4190 LOCATE 25,1:INPUT"DEBIT EN LITRE /H =" ,DB:DB=DB/3600/1000:LOCATE 25,1
:PRINT;
4200 REM #####
4210 REM # INITIALISATION DES PARAMETRES SECONDAIRES EN ENTREE #
4220 REM #####
4230 REM
4240 REM   *** lecture des paramètres principaux en entrée ***
4250 REM   *****
4260 LOCATE 25,50:PRINT "CALCULS EN COURS";
4270 OPEN "A:PA-PR-ED.DAT" FOR INPUT AS 9
4280 OPEN "A:PERS-DS.DAT" FOR OUTPUT AS 1
4290 OPEN "A:PERH-DS.DAT" FOR OUTPUT AS 2
4300 PERJ=0
4310 FOR H=1 TO 24:LOCATE 25,1:PRINT H;
4320 PERH=0:PER1=0:PER2=0:PERI=0
4330 FOR T=1 TO 4
4340 INPUT #9,TIS,TA,VV,E0,TIT,TMAV,M,TAP,TST
4350 VV=VV*.709           'CONVERSION DES VOLTS EN m/s
4360 FOR S=1 TO 2
4370 T7=0
4380 T1=TA+273
4390 T6=TIS+273
4400 T1P=TAP+273
4410 T4=TIT+273
4420 T2=.0552*(T1*.15)
4430 T3=TST+273
4440 FOR N=1 TO 4
4450 IF T7=0 THEN GOTO 4490
4460 T4=T45
4470 T6=T67
4480 T8=T89
4490 GOSUB 3010
4500 REM *****
4510 REM *****  calcul des pertes  *****
4520 REM *****
4530 REM ***  energie reçue par l'unité  ***
4540 Q =S0/16*E0*3600/( CC*4)
4550 REM ***  energie réfléchie par le couvercle  ***
4560 Q1=Q*REFRAC
4570 REM ***  energie absorbée par la vitre  ***
4580 Q2=Q*ALPHAC
4590 REM ***  energie absorbée par convection à travers la base  ***
4600 Q3=S1*(T89-T1P)/(R6*CC)/16
4610 REM ***  emportée par le distillat  ***
4620 Q4=RDO*ABS(T45-T1)
4630 REM ***  apportée par condensation  ***
4640 Q5=RDO*(796-0.695*T10)
4650 REM ***  échangée par convection saumure-vitre  ***
4660 Q6=S1*(T67-T45)/(R7*CC)/16
4670 REM ***  par rayonnement interne  ***
4680 Q7=S1*(T67-T45)/(R11*CC)/16
4690 REM ***  pertes en puissance  ***

```

```
4700 Q8=Q-(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7)
4710 IF Q8<0 THEN Q8=0
4720 PERI=PERI+Q8
4730 IF S=1 THEN PER1=PER1+Q8
4740 IF S=2 THEN PER2=PER2+Q8
4750 NEXT N
4760 NEXT S
4770 REM *** pertes par 1/4 d'heure ***
4780 PRINT #1,PER1;" ";PER2
4790 NEXT T
4800 REM *** pertes horaires ***
4810 PERH=2*PERI
4820 PRINT #2,PERH
4830 REM *** pertes journalières ***
4840 PERJ=PERJ+PERH
4850 NEXT H
4860 PRINT #2,PERJ
4870 CLOSE:RETURN
```

```

4890 REM **
4890 REM **          CALCUL DES PERTES DU DYNAMIQUE REEL          ***
4900 REM **
4910 REM **
4920 REM #          lecture des parametres principaux en entrée  ###
4930 REM #
4940 DB=10/360000
4950 SCREEN 0: DATE 25,30: COLOR 0,2: PRINT "CALCULS EN COURS";
4960 OPEN "A:PER-ED.DAT" FOR INPUT AS 9
4970 OPEN "A:PER-DR.DAT" FOR OUTPUT AS 2
4990 OPEN "A:PERTES-SECT.DAT" FOR OUTPUT AS 4
5000 PERJ=0
5010 FOR H=1 TO 24:LOCATE 25,10:PRINT H;
5020 PERH=0:PERE=0:PER2=0:PERI=0
5030 FOR T=1 TO 4
5040 INPUT #9, TIS, TA, VV, EO, TIT, TMAV, M, TAP, TST
5050 VV=VV*.709 'CONVERSION DES VOLTS EN m/s
5060 T1=TA+273
5070 T1P=TAP+273
5080 T10=TMAV
5090 M=M/1000
5100 FOR N=1 TO 4
5120 FOR S=1 TO 2
5130 T4=TIT+273:T6=TIS+273:T8=T6+1
5140 L =CC*(775.5-(.695*T10))/1000
5150 QE =M*L
5160 RD=M/50
5170 REM #####
5180 REM ##### calcul des pertes #####
5190 REM #####
5200 REM *** energie reçue par l'unité ***
5210 Q =50/16*EO*3600/CC
5220 REM *** energie réfléchie par le couvercle ***
5230 Q1=Q*REFRAC
5240 REM *** energie absorbée par la vitre ***
5250 Q2=Q*ALPHAC
5260 REM *** absorbée par convection à travers la base ***
5270 Q3=S1*(T8-T1P)/((EBAC/CTBAC+EISOL/CTISOL+ECP/CTCP)*CC)/16
5280 REM *** emportée par le distillat ***
5290 Q4=RD*ABS(T4-T1)
5300 REM *** apportée par condensation ***
5310 Q5=RD*(776.5-0.695*T10)
5320 REM *** échangée par convection saumure-vitre ***
5330 GR=G/T4*(D(S)^3)*ABS((T6-T4))/(VM^2)
5340 IF GR<2000 THEN NU=1
5350 IF GR >= 2000 OR GR < 30000 THEN NU=.0507*(GR^.4)
5360 IF GR >= 30000 OR GR < 200000! THEN NU=3.6
5370 IF GR > 200000! THEN NU=.0402*(GR^.307)
5380 Q6=S1*(T6-T4)/(1/NU*CTAV/D(S)/2*CC)/16
5390 REM *** par rayonnement interne ***

```

```

5400 Q7=S1*(T6-T4)/(1.5*(1+COS(BETA))*SIGM/(1/EP+1/EV-1))*((T8^2)+
(T4^2))*(T4+T8)*CC)/16000
5410 REM *** pertes en puissance ***
5420 Q8=Q-(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7)
5430 PER1=PER1+Q8
5440 IF Q8<0 THEN Q8=0
5450 IF S=1 THEN PER1=PER1+Q8
5460 IF S=2 THEN PER2=PER2+Q8
5470 NEXT S
5480 NEXT N
5490 NEXT T
5500 REM *** pertes horaires ***
5510 PERH=2*PER1
5520 PRINT #2,PERH
5530 PRINT #4,PER1;" ";PER2
5540 NEXT H
5550 REM *** pertes journalières ***
5560 PERJ=PERH+PERJ :PRINT #2,PERJ
5570 CLOSE:RETURN

```



```

10000 REM *****
10001 REM *           DISTILLATEUR   STATIQUE           *
10002 REM *****
10005 CLS:COLOR 23,1:LOCATE 6,10:PRINT "DISTILLATEUR STATIQUE":COLOR 7,2
10010 GOSUB 980
10030 IF B$="1" AND CAL=0 THEN GOSUB 11000:GOTO 10070
10040 IF B$="2" AND CAL=0 THEN GOSUB 13000:GOTO 10090
10050 IF B$="3" AND CAL=0 THEN GOSUB 14000:GOTO 10090
10060 IF B$="4" AND CAL=0 THEN GOSUB 15000:GOTO 10090
10070 IF B$="0" THEN RETURN
10090 MENU=3:GOSUB 650
10100 INPUT A$:IF A$="0" THEN 10000
10110 IF VAL(A$)<1 OR VAL(A$)>2 THEN 10100
10120 SCREEN 0:SCREEN 3
10130 IF A$="1" THEN GOSUB 10500:GOTO 10090
10135 IF A$="2" THEN GOSUB 10140:GOTO 10090
10140 REM ***** REPRESENTATION DES RESULTATS SOUS FORME DE TABLEUX *****
10145 REM
10150 ON VAL(B$) GOSUB 10460,10470,10480,10490 'ouverture des fichiers.
10160 CLS:HR=7
10170 ON NB GOTO 10180,10300 'Production ou pertes
10180 IF B$="3" THEN LOCATE 1,20:PRINT"PERTES DU DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE"
10185 IF B$="4" THEN LOCATE 1,20:PRINT"PERTES DU DISTILLATEUR STATIQUE REEL"
10190 LOCATE 2,24:PRINT DAT$
10200 FOR L=0 TO 1
10210 LOCATE 4,L*40+1:PRINT"HEURE","PERTES(Kcal)"
10220 FOR H=1 TO 12:HR=HR+1:IF HR=24 THEN HR=0
10230 INPUT #1,T1
10240 LOCATE H+5,L*40+1:PRINT HR;"Hr",:PRINT USING "###.###";T1:PRINT" ";
10250 NEXT:NEXT
10260 CLOSE
10270 LOCATE 25,10:PRINT "VOULEZ VOUS IMPRIMER CES RESULTATS O/N";:INPUT M$
10271 IF M$<>"O" AND M$<>"N" THEN 10270
10275 IF M$="N" THEN RETURN
10280 IF M$="O" THEN LOCATE 22,20:
PRINT" EPAISSEUR INITIALE DE SAUMURE = ";D0;"mètre"
10281 LOCATE 23,25:PRINT " INCLINAISON DU TOIT = ";B/3.14*180;"degrès"
10282 LOCATE 25,10:PRINT " APPUYER SUR LA TOUCHE SCR PRT ";
10285 FOR KA=1 TO 3000:NEXT KA:LOCATE 25,10:
PRINT" ";
FOR KB=1 TO 30000:NEXT:RETURN
10295 REM
10300 IF B$="1" THEN LOCATE 1,10:PRINT "EFFICACITES ET RENDEMENT DU
DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE"
10305 IF B$="2" THEN LOCATE 1,10:PRINT "EFFICACITES ET RENDEMENT DU
DISTILLATEUR STATIQUE REEL"
10310 LOCATE 2,24:PRINT DAT$
10320 FOR L=0 TO 1
10330 LOCATE 4,L*40+2:PRINT" HEURE EFF INT EFF GLO REND"
10340 FOR H=1 TO 12
10350 INPUT #1,T1,T2:HR=HR+1:IF HR=24 THEN HR=0 'lecture des eff.dans fich.1
10360 INPUT #2,T3 'lecture des val.du rend.dans fichier 2
10370 LOCATE H+5,L*40+2:PRINT HR;"Hr"
10380 LOCATE H+5,L*40+11:PRINT USING "###.###";T1
10390 LOCATE H+5,L*40+21:PRINT USING "###.###";T2
10400 LOCATE H+5,L*40+31:PRINT USING "###.###";T3

```

```

10410 NSXT:NEXT
10420 CLOSE
10430 GOTO 10270
10460 NB=2:OPEN"A:EI-EG-SS.DAT" FOR INPUT AS 1
:OPEN "A:RDM-SS.DAT" FOR INPUT AS 2:RETURN
10470 NB=2:OPEN"A:EI-EG-SR.DAT" FOR INPUT AS 1
:OPEN"A:RDM-SR.DAT" FOR INPUT AS 2:RETURN
10480 NB=1:OPEN"A:FERH-SS.DAT" FOR INPUT AS 1:RETURN
10490 NB=1:OPEN"A:FERH-SR.DAT" FOR INPUT AS 1:RETURN
10495 REM
10500 GOSUB 1610:RETURN

```

```

10510 REM *****
10520 REM ***** TRACE DE COURBES DU DISTILLATEUR STATIQUE *****
10530 REM *****
10550 ON VAL(B#) GOTO 10560,10555,10560,10555
10555 RETURN
10560 CLS:LOCATE 25,10:PRINT"VOULEZ VOUS CHANGER LES PARAMETRES O/N";
10570 INPUT E#
10610 IF E#<>"O" AND E#<>"N" THEN 10570
10620 IF E#="N" THEN RETURN
10670 NBC=2
10680 ON VAL(B#) GOSUB 11000,13000,14000,15000
10690 GOTO 1860

```

```

11000 REM *****
11010 REM *** DISTILLATEUR STATIQUE SIMULE ***
11020 REM *** CALCUL DES EFFICACITES ET DU RENDEMENT ***
11030 REM *****
11040 CLS
11050 LOCATE 24,10:PRINT"DONNEZ L'ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT(en degrés):";
11055 INPUT B : B=B*3.14/180
11060 LOCATE 25,10:PRINT"DONNEZ L'EPAISSEUR INITIALE DE LA SAUMURE(en mètre):";
:INPUT D0
11080 REM *****
11090 REM * Lecture des paramètres principaux en entrée *
11100 REM *****
11110 CLS:LOCATE 23,10:PRINT"CALCUL EN COURS,PATIENTEZ ";
11120 OPEN"A:PA-PR-ES.DAT"FOR INPUT AS 8
11130 OPEN"A:EI-EG-SS.DAT"FOR OUTPUT AS 1
11140 OPEN"A:RDM-SS.DAT"FOR OUTPUT AS 2
11150 OPEN"A:TEMPF-SS.DAT" FOR OUTPUT AS 7
11151 HA=(LA/2)*TAN(B)
11155 EIJ=0:EGJ=0:RDJ=0
11160 FOR H=1 TO 24:LOCATE 23,40:PRINT"H:", H; 'Boucle relative à l'heure
11170 EIH=0:EGH=0:RDH=0
11180 FOR T=1 TO 4 'Boucle relative au 1/4 d'heure
11182 DD=D(2)-D0
11183 SC=(LA*HA/2)+LA*DD
11184 PC=LA*(1+1/COS(B))+2*DD
11185 D=4*SC/PC 'Distance d'échange
11189 LOCATE 23,50:PRINT "T:",T
11190 INPUT #8, TIS, TA, VV, EO, TIT, TMAV, M, TAP, TST
11195 T4=TIS+273

```

```

11200 VV=VV*.709 'conversion des volts en m/s
11205 TAP=TAP+273
11210 TA=TA+273
11220 T0=.0552*TA*.15 'température de la voute celeste
11230 P0=.8*E0 'puissance absorbée utilement par le plan noir et la saumure
11240 R1=1/(5.7+3.8*VV) 'résistance thermique de convection vitre-milieu ambiant
11250 R3=DC/CTC 'resistance thermique de conduction à travers la vitre
11260 R6=EBAC/CTEAC+EISOL/CTISOL+ECP/CTCP 'res.ther.de cond.à travers la base
11270 REM ***** TEST DE CONVERGENCE DES TEMPERATURES *****
11280 REM ### T6=TFN ; T2=TVI ; PR=NBRE DE PRANDTL ###
11290 FOR F=1 TO 60
11300 FOR G=1 TO 6
11310 T6=T4+G
11320 T2=T4-F
11330 W1=1E+10*(.1015*T4-30.1112)
11340 IF T4>373 THEN 11360
11350 PR=24.11-.0607*T4:GOTO 11370
11360 PR=2.69
11370 GR=W1*(L0^3)*ABS(T6-T4)
11380 IF GR<100000! THEN 11410
11390 IF GR<2E+07 AND GR>100000! THEN 11420
11400 NU=.14*(GR*PR)^.33:GOTO 11440
11410 NU=1:R5=D0/CTS:GOTO 11460
11420 NU=.54*((GR*PR)^.25)
11430 REM ## R5(RC2) : resistance de cond./conv. entre P-N et saumure ##
11440 R5=L0/(NU*CTS)
11450 REM ## R8(Rri):resistance thermique par rayonnement entre P-N et vitre ##
11460 R = ((1/EP)+(1/EV)-1)/(SIGM*.5*(1+COS(B)))
11470 R8=R/((T6^2+T2^2)*(T6+T2))
11480 REM ## coef.d'échange thermique par évaporation-condensation ##
11490 DEF FNP(Z)=10^(17.43-2795/Z-3.868*LOG(Z)/LOG(10))
11500 DEF FNS(Z)=Z*A3/(Z*A3+(1-Z)*A2)
11510 REM ### PE,PC:pressions de vapeur d'eau à l'évap. et à la condens. ###
11520 PE=FNP(T4)
11530 PC=FNP(T2)
11540 IF T4=>373 THEN 11560
11550 G1=FNS(PE):GOTO 11570
11560 G1=1
11570 IF T2=>373 THEN 11590
11580 G2=FNS(PC):GOTO 11610
11590 G2=1
11600 REM ## GR: NBRE DE GRASHOFF ##
11610 GR=1.12E+08*((D/2)^3)*ABS(T4-T2)*.5
11620 REM ## PRE,PRC:Nbres de prandtl à l'évap. et à la cond. ##
11630 PRE=G1*.96+(1-G1)*.72
11640 PRC=G2*.96+(1-G2)*.72
11650 REM ## HE: Coef. d'échange thermique par évaporation ##
11660 IF (GR*PRE) < 1.78E+07 THEN 11690
11670 NU=2.767*PE*(GR*PRE)^.34
11680 GOTO 11700
11690 NU=39.8*PE*(GR*PRE)^.17
11700 HE=2*NU*CTAV/D
11710 REM ## HC:Coef.d'échange thermique par condensation ##
11720 IF (GR*PRC) < 2.51E+07 THEN 11740
11730 NU=.05164*PC*(GR*PRC)^.61:GOTO 11750
11740 NU=14130*PC*(GR*PRC)

```

```

11750 HC=2*NU*CTAV/D
11760 REM ## HEC:Coef.d'échange thermique par évap.-cond. ##
11770 HEC=1/(1/HE+1/HC)
11780 REM ## R7(Rc1):résistance d'échange par convection saumure-vitre ##
11786 BETA=B*100/3.14
11787 IF BETA>20 AND BETA<20 THEN GOSUB 11790 :GOTO 11860
11788 IF BETA>20 AND BETA<30 THEN GOSUB 11804 :GOTO 11860
11789 IF BETA>30 AND BETA<45 THEN GOSUB 11820 :GOTO 11860
11790 IF GR<2000 THEN 11798
11792 IF GR>2000 AND GR<50000! THEN 11800
11794 IF GR>50000! AND GR<200000! THEN 11802
11796 IF GR>200000! THEN NU=.0426*GR^.37:RETURN
11798 NU=1:RETURN
11800 NU=.0507*GR^.4:RETURN
11802 NU=3.8:RETURN
11804 IF GR<2000 THEN 11812
11806 IF GR<30000 AND GR>2000 THEN 11814
11808 IF GR<200000! AND GR>30000! THEN 11816
11810 IF GR>200000! THEN NU=.0402*GR^.37:RETURN
11812 NU=1:RETURN
11814 NU=.0507*GR^.4:RETURN
11816 NU=3.6:RETURN
11820 IF GR<3000 THEN 11835
11825 IF GR>3000 AND GR<50000! THEN 11840
11830 IF GR>50000! THEN NU=.0354*GR^.37:RETURN
11835 NU=1:RETURN
11840 NU=.0588*GR^.37 :RETURN
11860 R7=D/(CTAV*NU)
11870 REM ## Résistance thermique de rayonnement vitre-ciel ##
11880 T1=T2 'Température de la face externe de la vitre
11890 R2=1/(EV*SIGM*((T1^2)+(T0^2))*(T1+T0))
11900 REM ## R4,R9: Résistances thermiques auxiliaires ##
11910 H0=(T6-T2)/((T6-T4)*R8)
11920 R9=1/(1/R5 + H0)
11930 H3=(T6-T2)/(T4-T2)*R8
11940 R4=1/(1/R7+HEC+H3)
11950 REM ## P3: Puissance absorbée par la vitre et le condensat ##
11960 P3=(T4*(R2+R1)-R1*T0-R2*TA)/((R3+R4)*(R1+R2)+R1*R2)
11970 REM ## Température finale du plan noir ##
11980 T7=(T4*R6+TAP*R9+P0*R9*R6)/(R9+R6)
11990 REM ## Température finale de la face interne de la vitre ##
12000 T3=(T0+R2*P3+TA*(R2/R1))/(1+(R2/R1))
12010 IF ABS(T7-T6)>1.5 THEN 12030
12020 IF ABS(T3-T2)=<1.5 THEN 12060
12030 NEXT G
12040 NEXT F
12050 LOCATE 25,30:PRINT "LES TEMPERATURES DIVERGENT":CLOSE:GOTO 11040
12060 LOCATE 25,30:PRINT "LES TEMPERATURES CONVERGENT"
12070 REM ## Calcul des puissances et des températures finales ##
12080 REM ## P1:Puissance absorbée par la saumure et convertie en chaleur ##
12090 P2=(R6*P0 + TAP-T4)/(R9+R6) 'P2:puissance dissipée par PN et saumure
12095 P1=P2-P3
12100 REM ## Puissance absorbée par le plan noir ##
12110 P6=(T6-TAP)/R6
12120 REM ## Puissance absorbée par la saumure ##
12130 P5=P0-P6

```



```

12140 REM ## Température de la face externe du toit ##
12150 T1=T2+(63/P3)
12160 REM ## Température finale de la saumure ##
12170 T5=T4+(P1/(CC*DO*A1))
12180 REM ## Température finale du mélange air-vapeur ##
12190 T8=(.5*(T5+T3))-273
12200 REM ## TAUX D'EAU DISTILLEE PRODUITE ##
12210 P4=HEC*ABS(T5-T3)
12220 L=CC*(796.5-.695*T8)/1000
12230 M=P4/L      'Taux du distillat produit(en kg/m2)
12240 IF B#="3" THEN RETURN
12250 REM ## EPAISSEUR FINALE DE LA SAUMURE ##
12260 DF=(DO*A1*S1)-(M*S1)/(A1*S1)
12270 REM ## Calcul des efficacités instantanées ##
12280 IF E0<30 THEN EII=0:EGI=0:GOTO 12310
12290 EII=P4*(4180/900)/P0
12300 EGI=P4*(4180/900)/E0

12310 REM ## Sommes cumulées pendant une heure ##
12330 EIH=EIH+EII
12340 EGH=EGH+EGI
12350 RDH=RDH+M
12360 REM ## Test sur l'épaisseur de la saumure ##
12370 IF DF <= 0 THEN 12570
12380 'T4=T5      'Passage à la tranche suivante :Tis=Tfs
12390 D0=DF
12395 PRINT #7,T7-273,T1-273,T3-273,T5-273,T8,"F=";F,"G=";G
12400 NEXT T
12410 REM ## Efficacités moyennes horaires et rendement horaires ##
12420 EIMH=EIH/4
12430 EGMH=EGH/4
12440 RDMH=RDH 'rend. en litres
12450 PRINT #1,EIMH;"",EGMH
12460 PRINT #2,RDMH
12470 REM ## Sommes cumulées pendant la journée ##
12480 EIJ=EIJ+EIMH
12490 EGJ=EGJ+EGMH
12500 RDJ=RDJ+RDMH
12510 NEXT H
12520 REM ## Moyennes journalières ##
12530 EIMJ=EIJ/24
12540 EGMJ=EGJ/24
12550 RDMJ=RDJ
12555 PRINT #1,EIMJ;"",EGMJ
12560 PRINT #2,RDMJ:CLOSE:RETURN
12570 LOCATE 25,30:COLOR 18,6:PRINT "EPAISSEUR DE SAUMURE NULLE"
12580 REM ## Efficacités et rendement quand épaisseur de saumure nulle ##
12581 EIMH=EIH/T
12582 EGMH=EGH/T
12583 RDMH=RDH
12585 PRINT #1,EIMH;"",EGMH
12586 PRINT #2,RDMH
12590 EIMJ=(EIJ+EIH)/H
12600 EGMJ=(EGJ+EGH)/H
12610 RDMJ=RDJ+RDH
12615 PRINT #1,EIMJ;"",EGMJ
12620 PRINT #2,RDMJ:CLOSE:RETURN

```

```

13000 REM *****
13010 REM *** CALCUL DE LA PRODUCTION DU STATIQUE REEL ***
13020 REM *****
13030 REM #####
13040 REM ### lecture des paramètres principaux en entrée ###
13050 REM #####
13060 CLS: B=10*3.14/180: D0=.02
13070 SCREEN 0: LOCATE 25,10: PRINT "CALCULS EN COURS";
13080 OPEN "A:PA-PR-ES.DAT" FOR INPUT AS 8
13090 OPEN "A:EI-EG-SR.DAT" FOR OUTPUT AS 1
13100 OPEN "A:RDH-SR.DAT" FOR OUTPUT AS 3
13110 D=.1916
13120 EIJ=0: EGJ=0: RDJ=0 'initialisation des param.journaliers.
13130 FOR H=1 TO 24 :LOCATE 25,30: PRINT H;
13140 EIH=0: EGH=0: RDH=0 'init. des param. horaires.
13150 FOR T=1 TO 4
13160 INPUT #8, TIS, TA, VV, E0, TIT, TMAV, M, TAP, TST
13170 T2=TIT+273
13180 T4=TIS+273
13190 T8=(TIT+TIS)/2
13200 P0=.8*E0 'puissance absorbée utilement par le PN et la saumure.
13210 L=CC*(796.5-.695*T8)/1000
13220 M=M/1000
13230 P4=M*L
13240 M=P4/L
13540 REM #####
13550 REM ##### efficacités instantanées #####
13560 REM #####
13570 IF E0<30 THEN EII=0: EGI=0: GOTO 13610
13580 EII =P4*(4180/900)/P0
13590 EGI =P4*(4180/900)/E0
13600 REM #####
13610 REM ### sommes cumulées pendant une heure ###
13620 REM #####
13630 EIH =EII+EIH
13640 EGH =EGI+EGH
13650 RDH =M+RDH
13670 NEXT T
13672 EIH=EIH/4: EGH=EGH/4
13680 PRINT #1, EIH; ", "; EGH;
13690 PRINT #3, RDH
13710 EIJ=EIH+EIJ
13720 EGJ=EGH+EGJ
13730 RDJ=RDH+RDJ
13735 NEXT H
13740 REM #####
13750 REM ##### calcul des moyennes journalières #####
13760 REM #####
13770 EIJ=EIJ/24
13780 EGJ=EGJ/24
13790 PRINT #1, EIJ; ", "; EGJ
13800 PRINT #3, RDJ: CLOSE: RETURN

```

```

14000 REM *****
14010 REM ***          CALCUL DES PERTES DU STATIQUE SIEGE          .
14020 REM *****
14022 CLS
14024 LOCATE 24,10:PRINT"DONNEZ L'ANGLE D'INCLINAISON DU TOIT(en degres):";
14026 INPUT B : B=B*3.14/180
14028 LOCATE 25,10:PRINT"DONNEZ L'EPAISSEUR INITIALE DE LA SAUMURE(en metre):"
;:INPUT D0
14030 REM #####
14040 REM ### lecture des paramètres principaux en entrée ###
14050 REM #####
14060 CLS:LOCATE 25,10:PRINT "CALCULS EN COURS";
14070 OPEN "A:PA-PR-ES.DAT"FOR INPUT AS 8
14080 OPEN "A:PERH-SS.DAT" FOR OUTPUT AS 2
14090 PERJ=0
14100 FOR H=1 TO 24:LOCATE 25,50:PRINT H;
14110 PERH=0:PERI=0
14120 FOR T=1 TO 4
14130 GOSUB 11190
14140 RDO=M*SI
14150 REM ### Calcul des pertes (valable entre 11h. et 14h.) ###
14160 REM *** Q:Energie reçue par l'unité ***
14170 Q=S0*E0*3600/CC
14180 REM *** Q1:Energie réfléchie par le couvercle ***
14190 Q1=Q*REFRAC
14200 REM *** Q2:Energie absorbée par la vitre ***
14210 Q2=Q*ALPHAC
14220 REM *** Q3:Puissance échangée par convection à travers la base ***
14230 Q3=S1*(T6-TAP)/(R6*CC*1000)
14240 REM *** Q4:Puissance emportée par le distillat ***
14250 Q4=RDO*ABS(T2-TA)*CC/1000
14260 REM *** Q5:Puissance apportée par la condensation ***
14270 Q5=RDO*(796.5-.695*T8)/1000
14280 REM *** Q6:Puissance échangée par convection saumure-vitre ***
14290 Q6=S1*(T4-T2)/(R7*CC*1000)
14300 REM *** Q7:Puissance du rayonnement interne ***
14310 Q7=S1*(T4-T2)/(R8*CC*1000)
14320 REM *** Q8:Pertes en puissance ***
14330 Q8=Q-Q1-Q2-Q3-Q4-Q5-Q6-Q7
14340 IF Q8<0 THEN Q8=0
14350 PERI=PERI+Q8
14360 NEXT T
14370 PERH=PERI+PERH
14380 PRINT #2,PERH
14390 PERJ=PERJ+PERH
14400 NEXT H
14410 PRINT #2,PERJ
14420 CLOSE:RETURN

```

```

15000 REM *****
15010 REM ***   CALCUL DES PERTES DU STATIQUE REEL   ***
15020 REM *****
15030 CLS:LOCATE 25,10:PRINT "CALCULS EN COURS";
15040 OPEN "A:FA-FR-ES.DAT"FOR INPUT AS 8
15050 OPEN "A:PERH-SR.DAT" FOR OUTPUT AS 2
15060 PERJ=0
15070 FOR H=1 TO 24:LOCATE 25,30:PRINT H;
15080 PERH=0:PERI=0
15090 FOR T=1 TO 4
15100 INPUT #8,TIS,TA,VV,E0,TIT,TMAV,M,TAP,TST
15110 TA=TA+273
15120 TAP=TAP+273
15130 T2=TIT+273
15140 T4=TIS+273
15150 T6=T4+1
15160 TB=TMAV
15170 M=M/1000
15180 RDO=M*SI
15190 REM ### Calcul des pertes (valable entre 1lh. et 14h.) ###
15200 REM *** Q: Energie reçue par l'unité ***
15210 Q=S0*E0*3600/CC
15220 REM *** Q1: Energie réfléchiée par le couvercle ***
15230 Q1=Q*REFRAC
15240 REM *** Q2: Energie absorbée par la vitre ***
15250 Q2=Q*ALPHAC
15260 REM *** Q3: Puissance échangée par convection à travers la base ***
15265 R6=EBAC/CTBAC+EISOL/CTISOL+ECP/CTCP
15270 Q3=S1*(T6-TAP)/(R6*CC*1000)
15280 REM *** Q4: Puissance emportée par le distillat ***
15290 Q4=RDO*ABS(T2-TA)*CC/1000
15300 REM *** Q5: Puissance apportée par la condensation ***
15310 Q5=RDO*(796.5-.695*TB)/1000
15320 REM *** Q6: Puissance échangée par convection saumure-vitre ***
15330 REM R7: résistance d'échange par convection saumure-vitre
15340 GR=(1/T4)*G*D^3*(T4-T2)/(VM^2)
15350 IF GR<2000 THEN NU=1:GOTO 15390
15360 IF GR>=2000 AND GR<50000! THEN NU=.0507*GR^.4:GOTO 15390
15370 IF GR>=50000! AND GR<200000! THEN NU=3.8:GOTO 15390
15380 IF GR>=200000! THEN NU=.0426*GR^.37
15390 R7=D/(CTAV*NU)
15400 Q6=S1*(T4-T2)/(R7*CC*1000)
15410 REM *** Q7: Puissance du rayonnement interne ***
15420 R=((1/EP)+(1/EV)-1)/(SIGM*.5*(1+COS(BETA)))
15430 R8=R/((T6^2+T2^2)*(T6+T2))
15440 Q7=S1*(T4-T2)/(R8*CC*1000)
15450 REM *** Q8: Pertes en puissance ***
15460 Q8=Q-Q1-Q2-Q3-Q4-Q5-Q6-Q7
15470 IF Q8<0 THEN Q8=0
15480 PERI=PERI+Q8
15490 NEXT T
15500 PERH=PERI+PERH
15510 PRINT #2,PERH
15520 PERJ=PERJ+PERH
15530 NEXT H
15540 PRINT #2,PERJ
15550 CLOSE:RETURN
40000 END

```