

وزارة التعليم العالي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : **G. MECANIQUE**

lea

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**ETUDE ET REALISATION
D'UN**

DISTILLATEUR SOLAIRE

Proposé par :

M. YOUNSI

Etudié par :

ABDELMALEK.S

Dirigé par :

YOUNSI

PROMOTION :

1990

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A' MON GRAND FRERE L'HACENE.

A' MES PARENTS

REMERCIEMENTS :

Je remercie tous ceux ou celles qui m'ont aidé
pour faire ce modeste travail , ainsi que les
membres de jury qui ont accepté de le juger.

الموضوع

نتطرق في هذا المشروع الى انجاز مقطر شمسي ودراسة خوصلة الحرارة اثناء اعمله ، لتحليل سلوكه ، كما تطرقنا ايضا الى دراسته اقتصاديا لمعرفة كلفته واعطاء ثمن اللتر الواحد من الماء المقطر المحصل عليه .

RESUME :

Notre travail consiste à réaliser un distillateur solaire , etudier son bilan thermique au cours de son fonctionnement , pour analyser son comportement et d'estimer son cout global, pour deduire le prix de revient de litre d'eau distiller produit .

SUMMARY :

The purpose of our project consists, of realisation of one solar still , and study it's thermal balance during operation to analyse it's behaviour and estimate the global cost, and to concluded the cost of one litre of product water.

TABLE DES MATIERES.

— INTRODUCTION.

PREMIERE PARTIE :

Etude théorique.

CHAPITRE I : Généralités.

| | | |
|-----|--|----|
| I.1 | : Introduction..... | 3 |
| I.2 | : Le gisement solaire..... | 5 |
| I.2 | : La constante solaire | 5 |
| I.3 | : Distribution spectrale du flux solaire..... | 6 |
| I.4 | : Repérage du soleil dans la voûte céleste..... | 7 |
| I.5 | : Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire..... | 12 |
| I.6 | : Flux et irradiation sur plan incliné..... | 13 |
| I.7 | : Mesure du rayonnement solaire..... | 14 |

CHAPITRE II : Rappel de transfert thermique.

| | | |
|------|-------------------------|----|
| II.1 | : Conduction..... | 17 |
| II.2 | : Rayonnement..... | 19 |
| II.3 | : Convection..... | 21 |
| II.4 | : L'effet de serre..... | 22 |

| | | |
|--------------|--|----|
| CHAPITRE III | : La distillation. | |
| III.1 | : Introduction..... | 23 |
| III.2 | : La vaporisation..... | 24 |
| III.3 | : La condensation..... | 25 |
| CHAPITRE IV | : Bilan thermique. | |
| IV.1 | : Introduction..... | 27 |
| IV.2 | : Bilan global..... | 29 |
| IV.3 | : Bilan thermique du vitrage..... | 32 |
| CHAPITRE V | : Rendement et productivité du distillateur. | |
| V.1 | : Taux de production..... | 36 |
| V.2 | : Rendement d'absorption..... | 36 |
| V.3 | : Efficacité d'évaporation..... | 37 |
| V.4 | : Performances..... | 37 |
| CHAPITRE VI | : Paramètres influençant la production. | |
| VI.1 | : Paramètres de construction..... | 39 |
| VI.2 | : Paramètres météorologiques..... | 42 |
| VI.3 | : Paramètres dépendant de la saumure à distiller..... | 42 |

DEUXIEME PARTIE :

Etude expérimentale.

CHAPITRE I : Réalisation et expérimentation.

| | |
|---|----|
| I.1 : Introduction..... | 45 |
| I.2 : Construction du distillateur..... | 45 |

CHAPITRE II : L'expérimentation.

| | |
|---|----|
| II.1 : Introduction..... | 49 |
| II.2 : Description du matériel utilisé..... | 50 |
| II.3 : calcul du bilan..... | 55 |
| II.4 : Calcul du rendement..... | 61 |
| II.5 : Interprétation des résultats..... | 66 |
| II.6 : Conclusion..... | 71 |

CHAPITRE III : Etude économique.

CONCLUSION GENERALE .

ANNEXE.

BIBLIOGRAPHIE...

INTRODUCTION :

Le problème de l'eau potable devient crucial dans le monde moderne, les techniques de désalement par effet thermique ou par osmose à travers des membranes convenables sont actuellement utilisées .

Toutefois dans les lieux éloignés des sources d'énergie classiques, et là nous pensons à la région des chotts, le désalement par énergie solaire devient techniquement intéressant.

Notre travail consiste à réaliser un distillateur solaire à verrière dit "HOT BOX ", et d'analyser son comportement, par l'étude des bilans des échanges thermiques qui se font lors de son fonctionnement.

Par la suite de faire une étude économique, qui nous permettra d'estimer le coût global, et de déterminer le prix de revient du litre d'eau distillée.

Les méthodes expérimentales utilisées pour l'étude des bilans sont essentiellement thermométriques, nous avons pris des points de mesures représentatifs sur les éléments de l'installation, qu'on analysera par la suite.

Premiere

Partie :

Etude

Theorique .

CHAPITRE I :

GENERALITES .

I.1 : INTRODUCTION .

Le soleil est une étoile parmi les autres , son diamètre est 50 fois celui de la terre , sa lumière à une vitesse de 300000 Km/s , et met 08 minutes pour atteindre la terre. L'énorme masse de cette étoile n'est pas homogène ; la photosphère qui se trouve au voisinage de sa surface et d'où se font les émissions lumineuses rayonne comme un corps noir à la température 5670 °K .

En s'appuyant sur les théories d'EINSTEIN, c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance , le soleil est donc , comme les autres étoiles une bombe thermonucléaire en perpétuel explosion, transformant durant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium la réaction se faisant à une température de 25 millions de degrés Celsius, et les 4 millions de tonnes dont le soleil est ainsi allégé à chaque seconde sont dispersées sous forme de rayonnement.

L'énergie reçue par la terre et son atmosphère contribue , tout d'abord, à maintenir la surface de la terre à une température moyenne de 17 °C , et de plus , elle crée les courants marins, les pluies, et les tempêtes . Elle est aussi responsable de la photosynthèse chlorophylliennes.

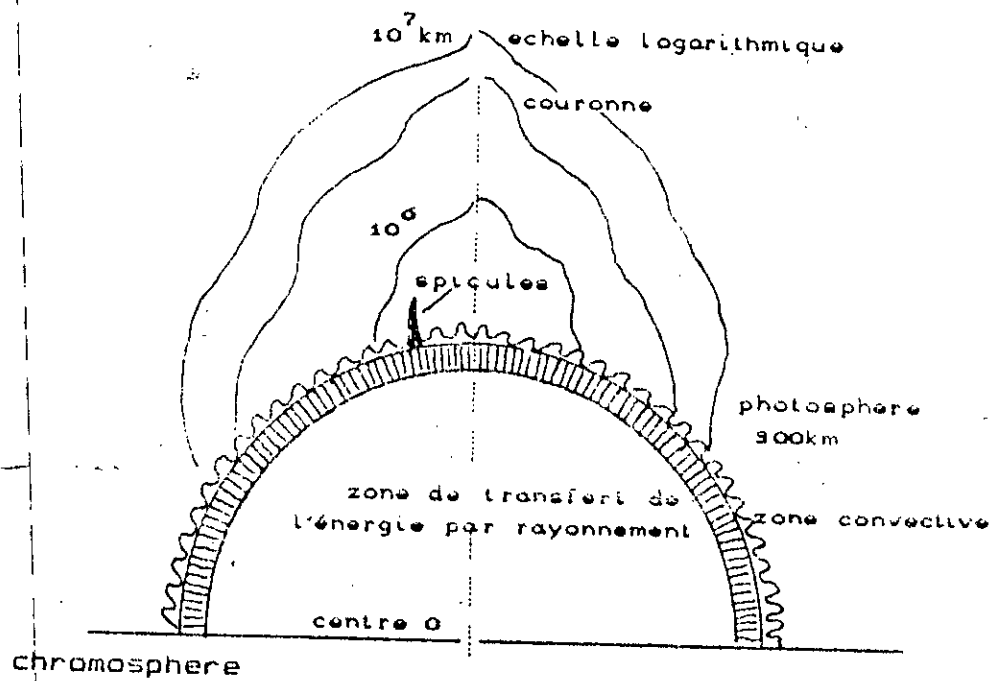


fig 1. coupe schématique du soleil

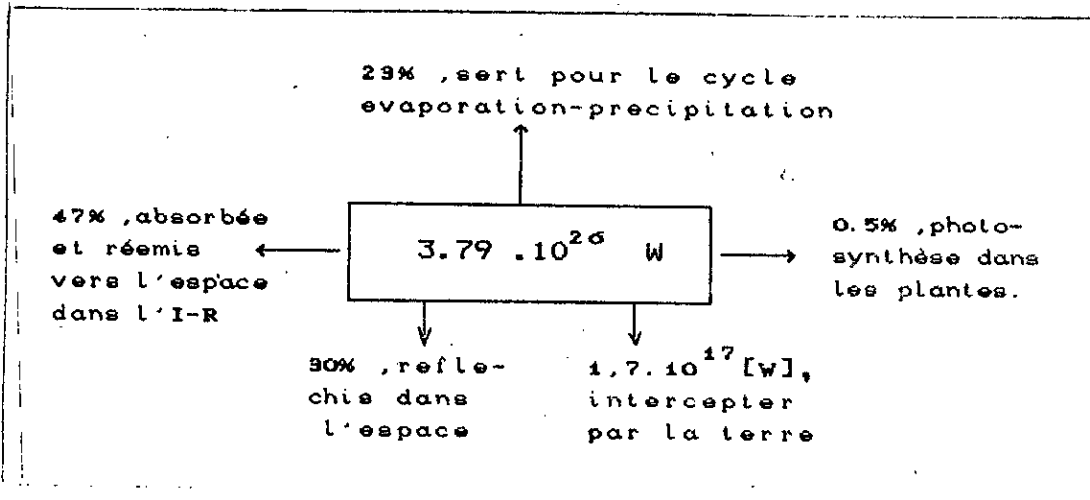
1.2 : Le gisement solaire.

Le soleil est composé de 80% d'Hydrogène, de 19% d'Helium et de 1% d'un mélange de plus de 100 éléments. Il a un diamètre de 1,34 millions de km et à une température de 5762 °k, température apparente définie à partir du flux solaire et sa distribution spectrale.

La puissance rayonnée peut être évaluée à partir de la relation

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sigma \cdot T^4, \text{ soit égale à : } 3.79 \cdot 10^{26} \text{ (W)}$$

qui est diffusée comme le montre le schéma suivant :



1.3 : La constante solaire.

C'est la quantité d'énergie rayonnante, suppose intégralement transformée en chaleur, que le soleil envoie par minute à travers une surface de 1 cm^2 normale aux rayons solaires, située en dehors de l'atmosphère.

Sa valeur moyenne en tenant compte de la variation de la distance terre-soleil de l'ordre de 1,6% du fait que la trajectoire de la terre autour du soleil a une forme elliptique, est actuellement :

$$J_0 = 1353 \text{ W/m}^2$$

La correction introduite est : $J_0 = 1353 \cdot (1 + 0.33 \cdot \cos(J))$

avec : $J = 0,984 \cdot j$

j : jour de l'annee

1.4 : Distribution spectrale du flux solaire.

Des etudes entreprise par TEXAKARA 2 , à partir des observations faites par satellite de la NASA , permettent d'assimiler le rayonnement du soleil aux rayonnements d'un corps noir, porte à la temperature de 5762 °K

| | Longueur d'onde en (μm) | % en energie Solaire | % en energie du corps noir |
|--------------|---|-------------------------|-------------------------------|
| ultra-violet | $L < 0,38$ | 7 | 9,9 |
| visible | $0,38 < L < 0,78$ | 47,3 | 46,4 |
| infrarouge | $0,78 < L < 15$ | 45,7 | 43,7 |

On note que l'ecart entre les resultats obtenus est inferieur à 3 %, ce qui permet de supposer que le soleil rayonne approximativement comme un corps noir .

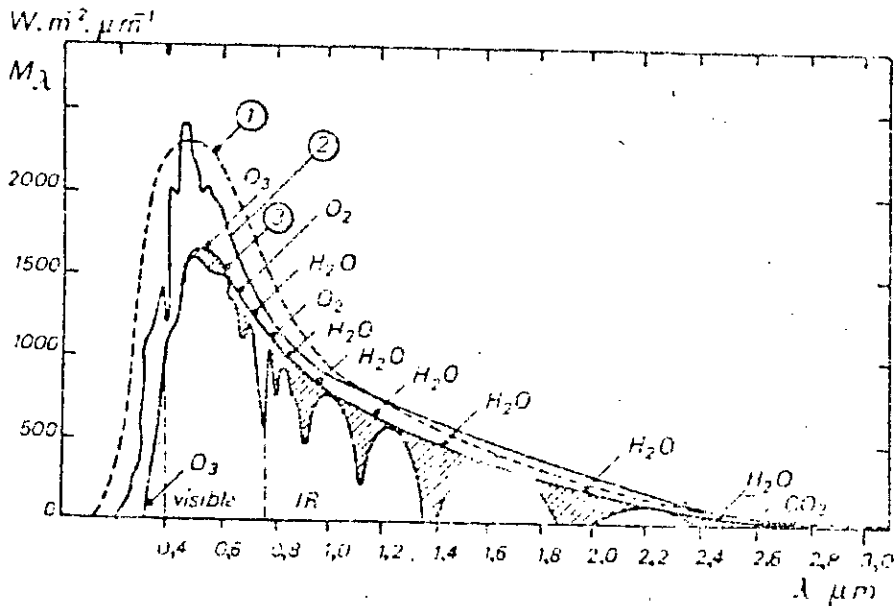


Fig I.1 : spectre d'émission du soleil .

I.5 : Reperage du soleil dans la voute celste.

Un point sur la terre est repere par 2 coordonnees :
la lattitude et la longitude.

. La lattitude (L) : C'est l'angle forme en un lieu donne par la verticale du lieu avec le plan de l'equateur. Elle est comptee de :
0° à +90° vers le Nord .
0° à +90° vers le Sud .

. La longitude (φ) : C'est l'angle diedre forme en un lieu donne par le plan meridien de ce lieu avec le plan pris comme origine, qui est le meridien de GREENWISH. Les lieux situes à l'Est sont comptes positive-ment, ceux situes à l'Ouest negative-ment.

Ces donnees interviennent dans la deter-
mination du temps solaire vraie(T.S.V).

Rappelons qu'il existe 23 méridiens séparés chacun de 15° ,
 donnant lieu à 24 fuseaux horaires.

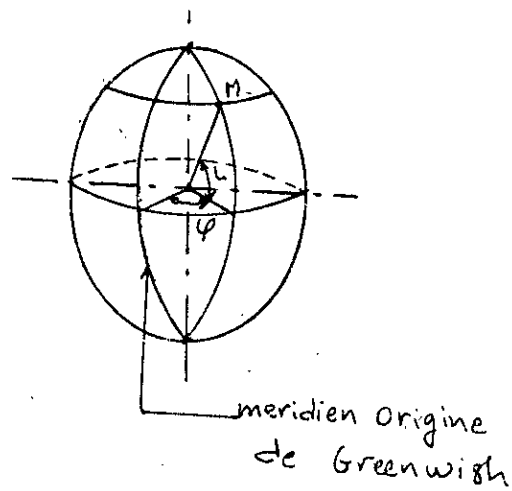


Fig I.2 : localisation du point M.

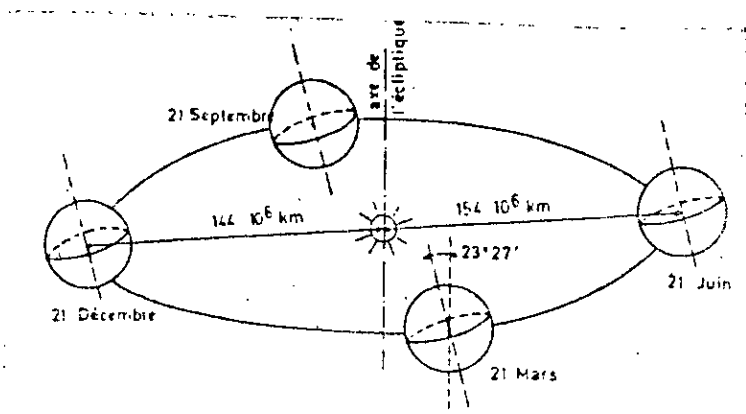


Fig I.3 : mouvement de la terre sur son axe et
 autour du soleil.

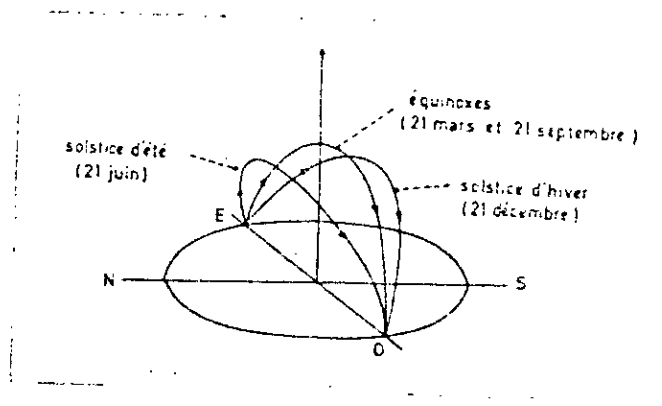


Fig I.4 : mouvement apparent du soleil vu d'un point quelconque de l'équateur .

Le mouvement apparent du soleil vu d'un point quelconque de l'équateur .

Aux solstices, les angles que fait le soleil avec la verticale sont :

$$+ 23^{\circ} 27'$$

$$- 23^{\circ} 27'$$

Pour un observateur à une latitude (L) au nord de l'équateur :

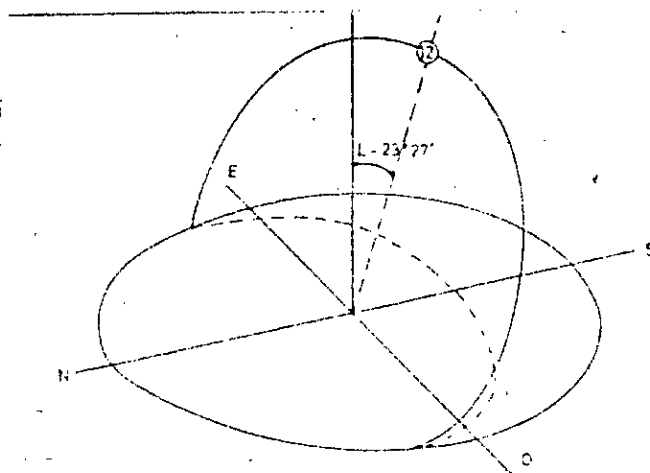


Fig I.5 : au solstice d'été .

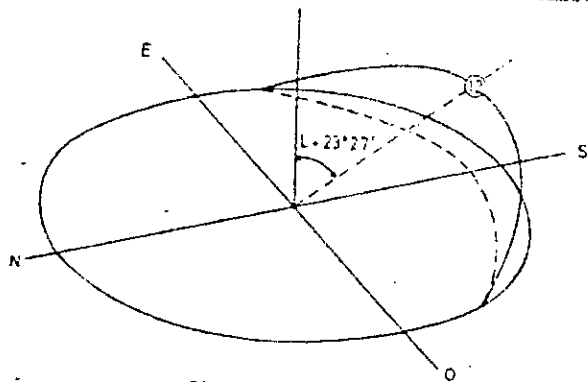


Fig 1.7 : au solstice d'hiver .

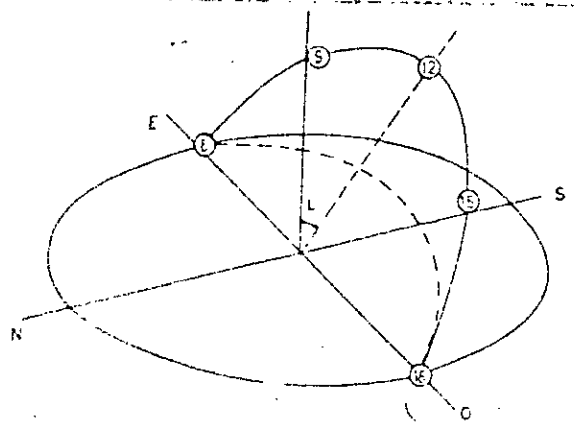


Fig 1.6 : à l'équinoxe .

A midi l'angle que fait la direction du soleil avec la verticale du lieu donne la latitude (L) et aux solstices, le cercle apparent décrit par le soleil est inférieur ou supérieur à 180° , ce qui donne des journées plus ou moins longues.

Pour le repérage du soleil, on fait appelle à 2 angles (h) et (a):

- . a (azimuth): C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan du lieu avec la direction du sud, mesure vers l'Ouest.
- . h (hauteur): C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection, son complement avec la verticale est appelle :
angle Zenithal.

Ces 2 angles sont fonction :

- .La latitude du lieu .
- .La date (j de l'année)
- .L'heure de la journée .

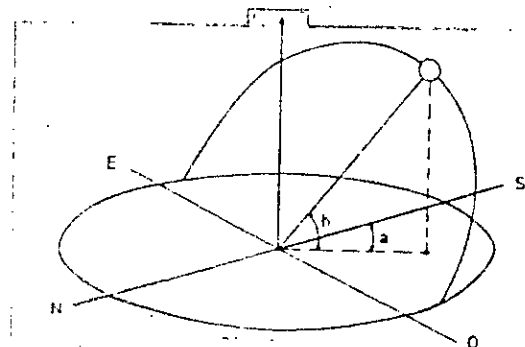


Fig 1.8 : l'hauteur et l'azimuth .

La latitude et la date servent à déterminer la trajectoire du soleil dans le ciel, et l'heure donne la position instantanée sur cette trajectoire :

L'inclinaison est déterminée par la relation suivante :

$$\delta = 23.45 \cdot \sin (0.980 \cdot (j + 284))$$

L'azimut a et la hauteur h sont donnés en fonction de l'inclinaison, et de l'angle W défini plus loin.

$$\sin (h) = \sin (L) \cdot \sin (\delta) + \cos (L) \cdot \cos (\delta) \cdot \cos (W)$$

$$\sin (a) = \frac{\cos (\delta) \cdot \sin (W)}{\cos (h)}$$

W : est l'angle horaire, définie comme étant 15 fois le nombre d'heure de différence avec le midi solaire. On comptera positivement pour les heures de l'après-midi.

L'heure solaire au lever et au coucher est donnée par :

$$\sin (h) = 0 \quad \text{donc :}$$

d'où :

$$\cos (W) = -\tan (L) \cdot \tan (\delta)$$

$$(Ts)_{\text{lever}} = 12 - W/15$$

Ts : temps solaire.

1.6 : Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire .

La réduction du flux solaire à travers l'atmosphère dépend de deux phénomènes distincts :

- . Diffusion du rayonnement par les différentes molécules gazeuses, par la vapeur d'eau et par les particules en suspension .
- . absorption par l'oxygène, l'ozone, l'hydrogène et le dioxyde de carbone.

La puissance interceptée par une surface perpendiculaire aux rayons au niveau du sol est :

$$I_{b\lambda} = I_{o\lambda} \cdot \exp (- M \cdot B\lambda)$$

$B\lambda$: coefficient d'extinction atmosphérique à la longueur d'onde m

M : paramètre " masse air optique ", représentant le rapport de la longueur du trajet optique des rayons sur ce trajet lorsque le soleil est à la verticale .

En un site, où la pression est $p = 100$ mbar, et l'altitude $z = 100$ m

$$M = p/1000 * \sin(h) \quad , \text{ pour } h < 20^\circ$$

Pour les faibles hauteurs, on utilise généralement :

$$M = \frac{p}{1000} \cdot (\sin(h) + 0,15 \cdot (h + 3,885)^{-1,255})$$

Le rayonnement de courte longueur d'onde (rayon x) est absorbé dans les hautes couches de l'atmosphère c'est à dire l'ionosphère par l'azote et l'oxygène.

L'ultra-violet est absorbé dans la majeure partie par l'ozone dans la bande : $0,29 < \lambda < 0,35 \text{ um}$

Dans le visible et le proche infra-rouge $\lambda > 0,25$, l'absorption se fait à l'intérieur de bandes discrètes plus ou moins larges;

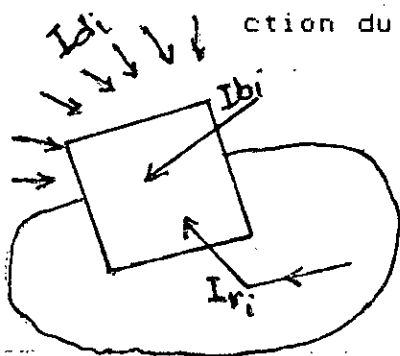
- . $0,9 < \lambda < 1$ um absorption par les molécules H₂O
- . $1,3 < \lambda < 1,5$ H₂O , CO₂ , O₂ et O₃
- . $\lambda < 2,5$ le rayonnement solaire est faible , on peut le négliger.

L'autre phénomène d'extinction atmosphérique est celui de la diffusion. Contrairement à l'absorption qui est un phénomène uniforme , la diffusion est fonction des conditions locales d'humidité relative et de la pollution. Une partie du flux solaire est diffusée à travers l'atmosphère et représente le "flux solar difus".

1.7 : Flux et irradiation sur plan incliné .

Dans la majorité des applications, il est nécessaire de calculer les flux solaires sur des plans d'orientations quelconques. Un tel plan reçoit:

- . Un flux direct I_{bi} .
- . Un flux diffus provenant de l'atmosphère I_{di} .
- . Un flux réfléchi I_{ri} , résultant de la réflexion du flux global sur le sol avoisinant.



Flux sur plan incliné .

1.8 : Mesure du rayonnement solaire .

Parmi les appareils utilisés , on peut citer les "Radiometre". Les radiometre sont soit des appareils mesurant directement la chaleur reçue sur une surface, et se sont les "calorimetres", soit des appareils etalonnés par comparaison, ces derniers utilisent l'effet thermique ou thermoelectrique ou photoelectrique du rayonnement solaire.

Un radiometre qui mesure le rayonnement direct est appele : "Pyreliometre", celui qui mesure le rayonnement global est un "Pyranometre", il y a aussi des pyranometres mesurant le rayonnement diffus.

1.8.1 : Principe de mesure.

Dans les appareils etalons, le flux de chaleur rechauffe une masse determinee d'un fluide de capacite calorifique (C_p) connue. On mesure l'elevation de temperature du fluide en tenant compte des pertes de chaleur (par conduction, convection et rayonnement). Le flux mesure provient du soleil, et de la voute celeste.

Dans les autres appareils plus courants, le flux radiatif est reçu sur une thermopile constituee par une serie de thermocouples. La soudure chaude de la thermopile est attachee à l'une des faces d'une plaque mince, l'autre est noircie pour avoir une grande absorptivite dans le spectre solaire, et est expose au flux solaire.

La soudure froide est attachee à une cavite interieure de l'instrument la difference de temperature entre les deux jonctions cree une f.e.m proportionnelle au flux reçu.

I.9 : Description des appareils de mesures.

_ Le pyrliometre :

Le recepteur est place sur la base d'un tube orientable vers le soleil et muni d'une serie de diaphragme annulaire ne laissant passer que le rayonnement normal .

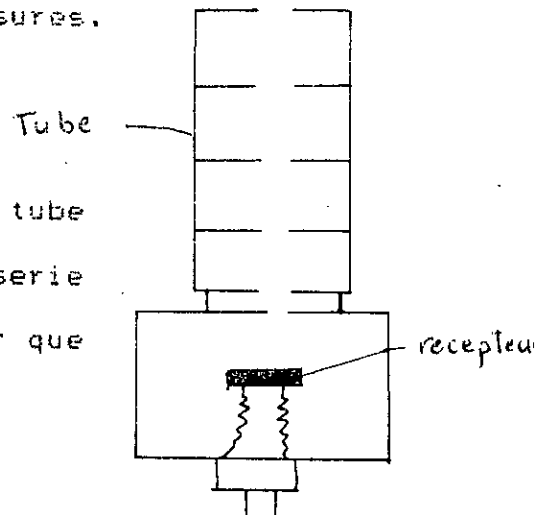


Fig.I.9: schema d'un pyrliometre.

_ Le pyranometre :

Il existe plusieurs types de pyranometre tel celui de (KIPP), il est constitue par une thermopile contenue dans un boitier metallique. ferme à sa partie superieure par 2 hemispheres en verre de 2 à 5 (cm) de diametre et de 2 mm d'épaisseur, le boitier est fixe sur un lourd socle metallique, la pile est protegee du rayonnement diffuse par le sol, par une large couronne blanche horizontale circulaire jouant en meme temps le role d'un ecran thermique.

Pour mesurer le rayonnement diffus, le pyranometre est muni d'un ecran destine à occuler le soleil. On peut utilise une bande pare-soleil que l'on peut deplacer au cours de l'annee.

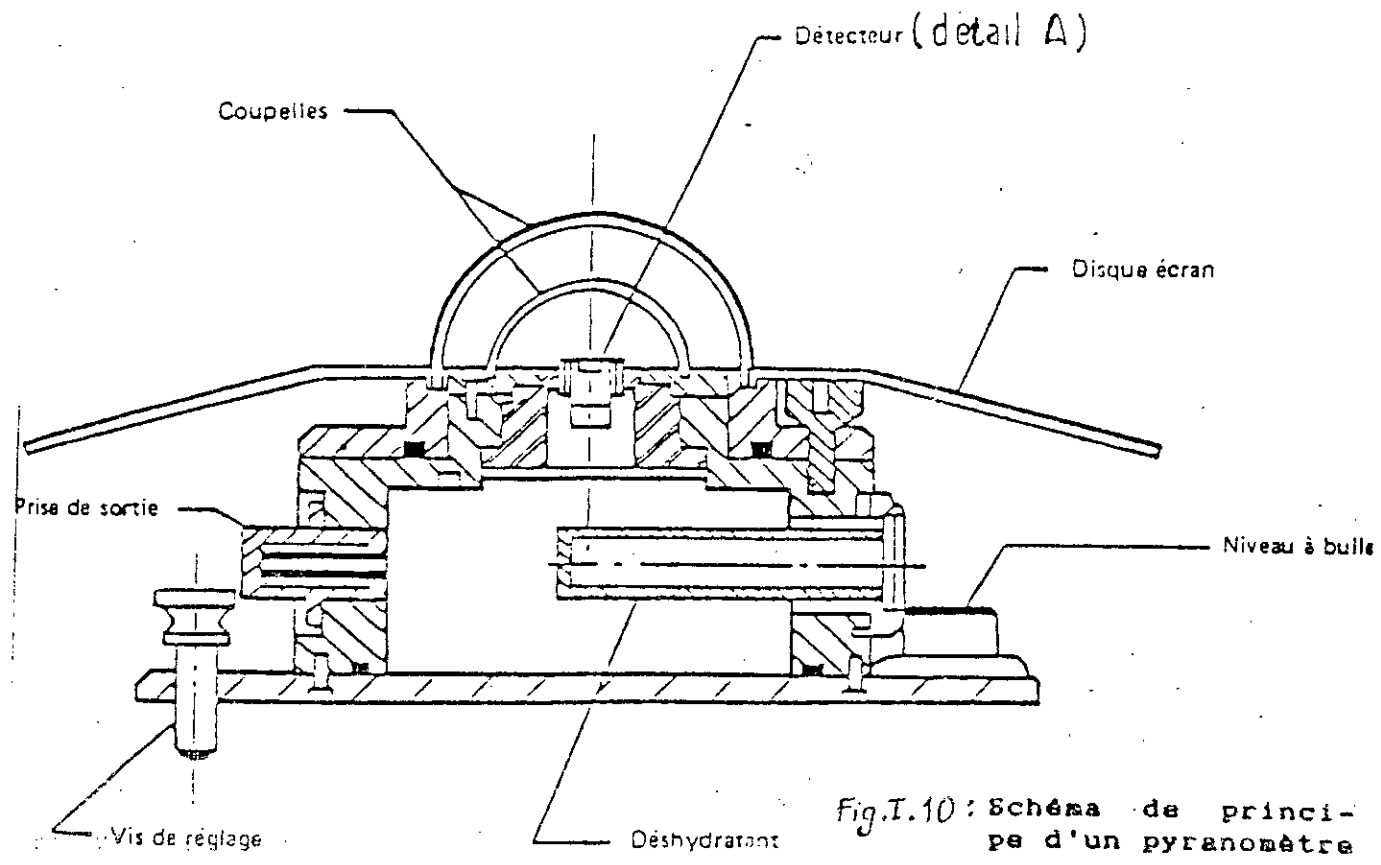


Fig. I.10 : Schéma de principe d'un pyranomètre

CHAPITRE II :

RAPPEL DE TRANSFERT DE CHALEUR.

II.1 : LA CONDUCTION .

II.1.1 : Definition.

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie dans un milieu au niveau intermoléculaire .

II.1.2 : Loi de FOURIER .

En tout point d'un milieu isotrope la densité du flux thermique instantané est proportionnelle à la conductivité thermique K du milieu et au gradient de température :

$$\vec{\phi} = - K \cdot \text{grad}(T)$$

II.1.3 : Equation de la chaleur .

$$\Delta^2 T + \frac{1}{a} \frac{\delta T}{\delta t} + \frac{S}{K} = 0$$

a : diffusivité thermique.

T : température °K.

s : source de chaleur interne d'un corps .

Δ : Laplacien

$$\Delta^2 T = \left(\frac{\delta^2}{\delta x^2} + \frac{\delta^2}{\delta y^2} + \frac{\delta^2}{\delta z^2} \right) \cdot T$$

II.1.4 : Cas rencontres dans la pratique :

1_ Milieu avec source interne en regime permanent:

$$\Delta^2 T + \frac{S}{K} = 0 \quad \text{Equation de POISSON.}$$

2_ Milieu sans source interne en regime permanent:

$$\Delta^2 T = 0 \quad \text{Equation de LAPLACE.}$$

3_ Milieu sans source interne en regime variable :

$$\Delta^2 T + \frac{1}{a} \cdot \frac{\delta T}{\delta t} = 0$$

II.1.5 : Equation analytique de l'equation de la chaleur .

1_ En coordonnees cartesiennes :

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} - \frac{1}{a} \frac{\delta T}{\delta t} + \frac{S}{K} (x, y, z, t) = 0$$

2_ En coordonnees cylindriques :

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\delta T}{\delta r} - \frac{1}{a} \cdot \frac{\delta T}{\delta t} + \frac{S}{K} (r, x, t) = 0$$

3_ En coordonnees spheriques :

$$\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \cdot \frac{\delta T}{\delta t} + \frac{S}{K} (r, t) = 0$$

II.2 : LE RAYONNEMENT .

II.2.1 : Definition .

Le rayonnement est le mode de transfert de chaleur sous forme d'ondes electromagnetiques à partir d'un corps à travers un milieu transparent.

Si φ_i , φ_a , φ_r et φ_t sont respectivement les densites de flux : incident , absorbe , reflechis et transmis.

On appelle :

| | |
|----------------|----------------------------------|
| absorptivite : | $\alpha = \varphi_a / \varphi_i$ |
| reflectivite : | $\rho = \varphi_r / \varphi_i$ |
| transmitivite: | $\tau = \varphi_t / \varphi_i$ |
| avec : | $\alpha + \rho + \tau = 1$ |

II.2.2 : Loi de STEPHAN-BOLTZMAN .

Cette loi fournit l'emittance totale du rayonnement d'un corps noir en fonction de sa temperature .

$$M_b = \sigma \cdot T^4$$

$\sigma : 5.669 \cdot 10^{-8} \text{ W/ } ^\circ\text{K}^4 \cdot \text{m}^2$, Constante de Stephan Boltzman

II.2.3 : Loi de PLANCK .

L'emittance du corps noir est donne par :

$$M_{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^{-5}}{e^{(hc/k \cdot n \cdot T)} - 1}$$

avec : c , vitesse de la lumière.

$h = 6.62 \cdot 10^{-35}$, constante de Planck .

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$, constante de Boltzman .

$$M_0 = \int_0^{\lambda} M_0^{\lambda} \cdot d\lambda = \sigma \cdot T^4$$

II.2.4 : Emission des corps reels .

L'émission des substances reelles est evalue par rapport a celle du corps noir place dans les memes conditions de temperature et pour la meme longueur d'onde a l'aide du coefficient :

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{M^{\lambda}}{M_0^{\lambda}}$$

M^{λ} : emittance d'un corps reel.

M_0^{λ} : emittance d'un corps noir.

II.2.7 : Echange entre 2 plans paralleles .

L'échange thermique entre 2 surfaces de temperature T_0 et T_1 , planes et parallele est donne par la relation :

$$\phi_{net} = \frac{\sigma \cdot (T_0^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\epsilon_0} + \frac{1}{\epsilon_1} - 1}$$

II.3 : LA CONVECTION .

II.3.1 : Definition .

La convection est le mode de transfert de chaleur qui se fait par déplacement des couches fluides et se manifeste à l'interface entre le solide et le fluide.

$$Q_{s-f} = h * A * (T_w - T_i)$$

Cette equation permet de definir le coefficient de convection moyen h (W/m². c) .

Le transfert de chaleur par convection etant lié au déplacement du fluide, il importe de connaitre la nature de l'écoulement; laminaire ou turbulent .

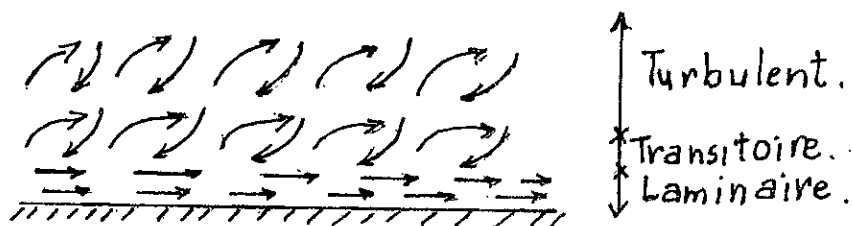


Fig II.1 : convection sur une paroi .

Dans un écoulement laminaire, la chaleur s'écoule surtout par conduction. Dans un écoulement turbulent, la convection est preponderante et le flux de chaleur transfere augmente avec la turbulence.

Le nombre de REYNOLDS , $Re = \frac{U_i . L}{\nu}$ determine la nature de l'écoulement .

Pour une plaque plane , avec des conditions moyenne de rugosites : $Re_{critique} = 5 . 10^5$

Le " nbre de NUSSELT " est le groupement adimensionnel

$$NU = h . L / K_f$$

c'est le rapport du gradient de température de surface au gradient de température moyen $(T_w - T_m)/L$.

K_f W/m. c : conductibilité thermique du fluide à la température T_f .

III.4 : L'EFFET DE SERRE :

Cet effet résulte de la transmission sélective de certains matériaux dont le verre et quelques plastiques qui transmettent totalement le rayonnement solaire dont les longueurs d'ondes sont comprises entre 0,3 et 2,5 μm , mais ils sont opaques pour les longueurs d'ondes plus élevées.

Si un corps se trouve entouré d'une paroi en verre, il recevra la partie du rayonnement solaire que le verre transmet pour les longueurs d'ondes comprises entre 0,3 et 2,5 micron.

Ce corps dont la température s'élèvera, émettra en partie dans l'infrarouge pour lequel le verre est opaque. Le rayonnement ainsi piégé se réfléchira sans cesse entraînant à chaque fois une augmentation de température.

CHAPITRE III :

LA DISTILLATION .

III.1 : Introduction .

Etudier la distillation, revient à étudier les lois régissant la vaporisation et la condensation. On doit aussi considérer simultanément la transmission de chaleur et le transfert de masse. Dans un milieu composite ou hétérogène, où les concentrations, les températures et les vitesses des molécules sont différentes, on constate un déplacement d'un point à un autre d'un ou de plusieurs composés. Ce transport de masse effectué par brassage, par convection ou par diffusion moléculaire est appelé : "transfert de masse".

En milieu isotherme, c'est à dire dans un matériau au repos et de température constante, le mouvement de matière est dû uniquement au gradient de concentration entre les différents points du milieu.

Dans la plupart des cas le transfert de masse est lié à celui de chaleur, et tout particulièrement dans notre cas (évaporation de l'eau dans l'air), car la concentration des composés du milieu dépend fréquemment de la température.

Le processus de distillation comporte 2 opérations : la vaporisation et la condensation.

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

III.2 : La Vaporisation (humidification de l'air) .

Lorsque l'air est humidifié par contact avec l'eau liquide, la chaleur latente de vaporisation de l'eau doit être fournie par le liquide.

Considérons une certaine quantité d'eau @ la température T_e , et un écoulement d'air au voisinage de sa surface dont la concentration est C_o , la pression partielle est P_{vo} et la température est T_o .

Au contact de la surface de l'eau, la concentration en vapeur C_o correspond @ l'état de saturation @ la température T_e , il se produit simultanément un transfert de chaleur appelé: "transfert de chaleur sensible", du à l'écart de température entre l'eau et l'air, et un transfert de masse du au gradient de pression de vapeur dans l'air. Ce transfert s'accompagne d'un transfert de chaleur appelé : "transfert de chaleur latente".

Le transfert de chaleur sensible est :

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

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

dQ_c : puissance échange.

ds : surface d'échange.

Le transfert de masse est exprimé par :

$$dm = h_c (C_e - C_o) ds$$

h_c : coefficient d'échange de masse relatif à la concentration.

dm : débit d'eau évaporé à la surface liquide (Kg/s).

C_e, C_o : concentration en vapeur d'eau au voisinage de la surface, loin de celle-ci (Kg/m³).

La concentration C est liée à la pression partielle par :

$$C = P_v / R_v.T$$

d'où : $dm = h_c (P_{sat}(T_e) - P_{v0}) / R_v.T$

Ce transfert de masse s'accompagne de transfert de chaleur latente de vaporisation :

$$dQ_e = L_v(T_e).dm = L_v(T_e).h_c (P_{sat}(T_e) - P_{v0}).ds. / R_v.T$$

$L_v(T_e)$: chaleur latente de vaporisation à la température T_e .

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

$$dQ_t = dQ_c + dQ_e$$

$$dQ_t = (h(T_e - T_o) + L_v(T_e) h_c (P_{sat}(T_e) - P_{v0})) / R_v.T$$

III.2 : La condensation (deshumidification de l'air) .

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 de saturation vient en contact avec une paroi dont la température est inférieure à celle de saturation correspondante 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 que la chaleur latente de condensation à la température T_p de la paroi froide.

CHAPITRE IV :

BILAN THERMIQUE .

IV.1 : Introduction.

Le distillateur reçoit de l'énergie par rayonnement direct et diffus. Cette énergie est soit transmise, soit absorbée, soit réfléchie par les différents éléments du distillateur (la couverture, l'eau du bassin, le fond du bassin,...). Ces éléments vont échanger de la chaleur selon différents processus (rayonnement, convection, conduction).

La partie absorbante élève la température de l'eau du bac donc la pression partielle de la vapeur d'eau dans la lame d'air. Le couvercle constitue une surface froide sur laquelle vient se condenser la vapeur d'eau, elle lui cède ainsi une certaine quantité de chaleur qui est perdue vers l'extérieur par rayonnement et par convection.

Pour faire le bilan des énergies "circulant dans le distillateur", nous avons assimilé celui-ci à un système thermodynamique ouvert.

On aura à mesurer les flux d'énergie qu'il a reçus, et à calculer avec quelques relevés thermodynamiques les quantités de chaleur qu'il a perdues.

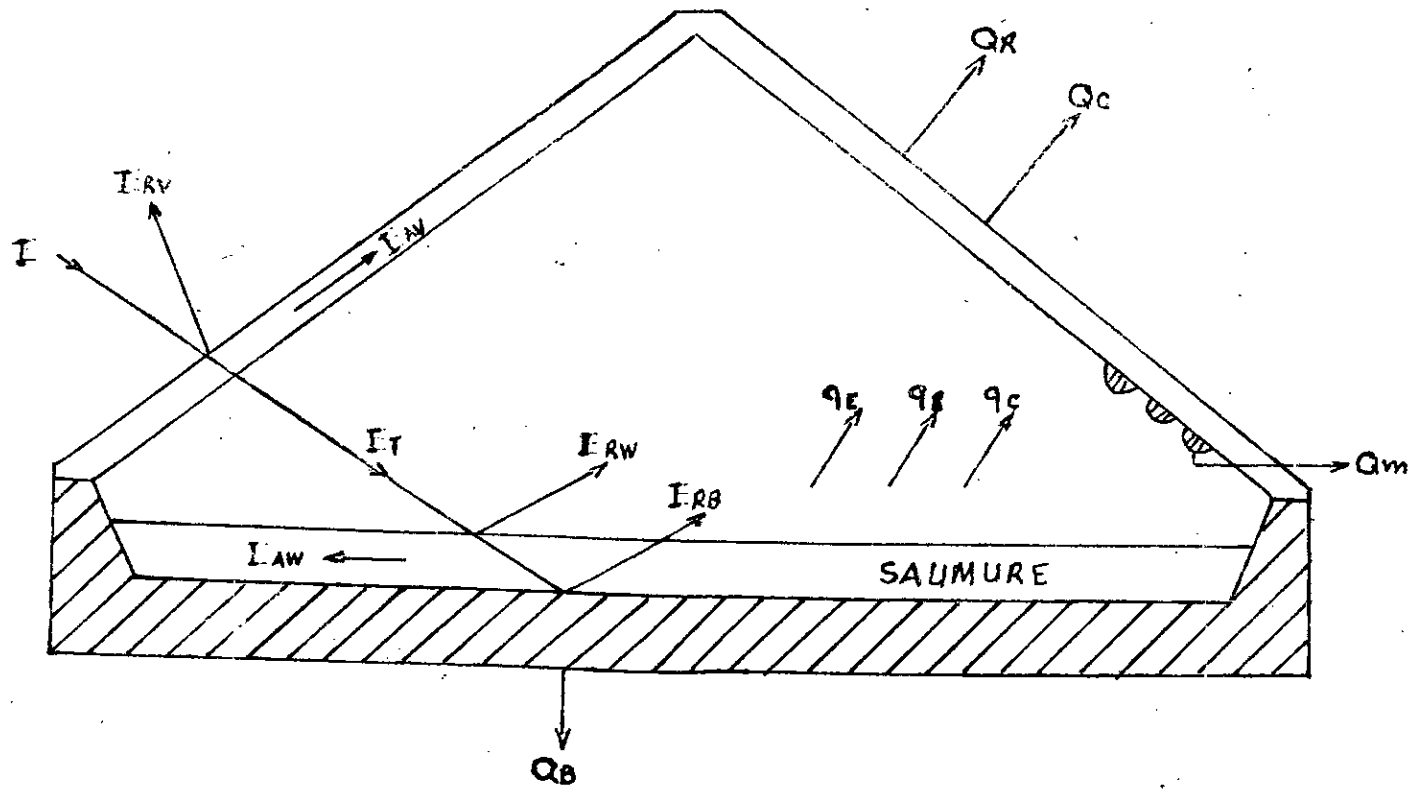
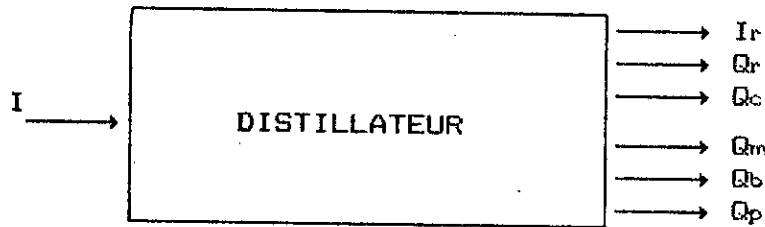


Fig IV.1 : diagramme des flux d'énergie dans un distillateur .

IV.2 : Bilan global .

Pour etablir ce bilan, on fait ce qu'on appelle un "flow sheet".

On choisit le distillateur delimite par ses surfaces :



La relation du bilan des energies :

$$I = I_r + Q_r + Q_c + Q_m + Q_b + Q_p \quad (IV-1)$$

Les differents termes qui interviennent dans cette equation sont:

.I : Energie reque par le distillateur, elle est proportionnelle à la projection horizontale A_t de la surface du couvercle du distillateur :

$$I = I_0 \cdot A_t$$

. I_0 : intensite de la radiation solaire mesure par Pyranometre .

. I_r : Energie reflechie par le couvercle, proportionnelle à la surface du couvercle A_c :

$$I_r = r \cdot I_0 \cdot A_c$$

r : reflectivite de la couverture.

.Q_r : Rayonnement emis vers l'exterieur par le vitrage.

La surface exterieure du couvercle vitré rayonne vers la voute celeste. (on negligera la surface du soleil dans cette voute)

$$Q_r = A_c \cdot \epsilon_e \cdot \sigma \cdot (T_{ce}^4 + T_{cef}^4)$$

ϵ_e : emissivite du verre.

T_{ce}: temperature du couvercle.

T_{ceff}: temperature effective du ciel, elle depend du site , mais sa moyenne est estimee selon COOPER à 12 c.

.Q_c : convection externe du vitrage.

La quantite de chaleur perdu par convection est :

$$Q_c = h_e \cdot A_c \cdot (T_{ce} - T_a)$$

T_a : temperature ambiante.

h_e : coefficient de convection naturelle, nous avons choisi dans notre cas la valeur donne par MAC ADAMS en regime laminaire, pour les surfaces horizontales regardant vers le haut.

$$h_e = 1.14 \cdot \frac{(T_{ce} - T_a)^{0.25}}{l}$$

l : longueur caracteristique pour la convection.

.Q_b : pertes par convection de la base du distillateur

Cette quantite de chaleur echange par la base du distillateur avec le milieu exterieur est fonction de l'isolation.

$$Qr = h_e' \cdot A_b \cdot (T_b - T_a)$$

h_e' : coefficient de convection naturelle donne par MAC ADAMS, pour un regime laminaire dans le cas d'une plaque horizontale chauffee regardant vers le bas.

$$h_e' = 0.51 \cdot \frac{(T_b - T_a)^{0.25}}{1}$$

T_b : temperature à la base.

. Q_m : chaleur consommée par le distillateur.

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

T_d : temperature du distillat.

m_d : masse d'eau distillée recueillie.

. Q_p : les pertes .

Ceux sont essentiellement des pertes par rayonnement et par convection à partir des structures laterales externes. Elles sont minimiseés par une bonne isolation du bassin. D'autre part ces surfaces sont chauffeés par le rayonnement solaire.

On negligera les pertes par rayonnement du fond du distillateur dirige vers le sol. On supposera donc que la temperature du fond est la meme celle de l'air ambiant.

On pourra citer d'autres pertes telles que :

_ les pertes par fuite d'eau chaude du bassin.

_ les pertes par fuite de vapeur vers l'atmosphere.

_ les pertes par fuite du distillat autre que la partie qui tombe dans le bassin.

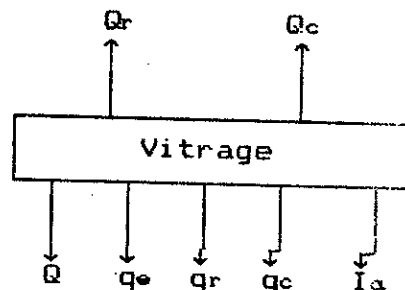
L'équation (VI.1) du bilan global peut se mettre sous la forme:

$$I_{0,AT} = r.Ac.I_0 + Ac.\epsilon_e.\sigma.(T_{ce}^4 - T_{cef}^4) + h_e.Ac.(T_{ce} - T_a) + h_b.Ab.(T_b - T_a) + m_d.C_p.(T_d - T_a) + Q_p \quad (IV-2)$$

IV.3 : Bilan thermique du vitrage .

Le transfert d'énergie autour du couvercle vitre est décrit par la relation suivante :

Fig.IV-1 :



$$Q_r + Q_c = Q + q_e + q_r + q_c + I_a \quad (IV-3)$$

.Q : flux de chaleur traversant la vitre par conduction.

.qe : quantité de chaleur apportée par la condensation de la vapeur d'eau.

$$q_e = m_v . L_v(T_w)$$

$L_v(T_1)$: chaleur latente de vaporisation de l'eau à température T_w .

m_v : masse d'eau évaporée, on peut la calculer

Pour une masse m_1 d'eau à la température T_w , la vaporisation d'une masse dm nécessiterait une quantité de chaleur $L_v.dm$. En l'absence de pertes et d'apport de chaleur, la température s'abaisserait de dt . On a alors la relation :

$$m.dt = L_v.dm$$

En intégrant, on obtient :

$$m_v = m_1 \cdot \frac{\exp(T - T_1)}{L_v(T_1)}$$

En l'absence d'autres pertes, ou d'apports de chaleur la température baissera jusqu'à la température de l'ambiance et la masse m d'eau chaude diminuerait de m_v .

$L_v(T_w)$ est donnée par la formule de Reignaut :

$$L_v(T_w) = 596,1 - 0,537.T_w .$$

Si on suppose que toute la masse évaporée est recueillie dans le distillat, alors : $m_v = m_d$.

$$\text{donc : } q_c = m_d.(596,1 - 0,537.T_w)$$

q_c : Quantité de chaleur échangée par convection entre la surface de l'eau et face interne du vitrage .

Les mouvements convectifs préalables dans l'enceinte du distillateur selon GOMELA sont indiqués par le schéma :

Fig IV.2 : mouvements convectifs dans un distillateur .

on aura : $q_c = h_{vc} \cdot A_w (T_w - T_c)$

h_{vc} : coefficient de transfert par convection, donne par LOF, fonction de la température de l'eau et la surface interne du couvercle.

$$h_{vc} = (0.123 \cdot T_w - 3.818) \cdot (T_w - T_c)^{1/3}$$

q_r : Quantité de chaleur émise par l'eau du bac dans l'Infrarouge, qui est complètement absorbée par la vitre.

$$q_r = \frac{\sigma \cdot A_w \cdot (T_w^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

ϵ_w, ϵ_c : émissivité de l'eau et du couvercle vitre.

T_w, T_c : température de l'eau et du couvercle.

I_a : quantité de chaleur absorbée par le verre,

$$I_a = F_c \cdot A_c \cdot I_0$$

F_c : facteur d'absorption du verre.

BILAN GLOBAL :

En combinant les deux équations (IV-1) et (IV-3)

$$I = I_r + I_a + q_e + q_c + q_r + Q_m + Q_b + Q_i$$

avec : $Q_i = Q_p + Q_i$

ou en remplaçant chaque quantité par son expression :

$$A_t \cdot I_0 = (r + F_c) \cdot A_c \cdot I_0 + m_d \cdot L_v + h_{vc} \cdot A_w \cdot (T_w - T_c) + \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_w^4 - T_c^4) + m_d \cdot C_p \cdot (T_d - T_a) + h_6 \cdot A_b \cdot (T_b - T_a) + Q_i \quad (IV-4)$$

Cette equation decrit les echanges significatifs d'energie à entre les differents elements du distillateur et entre le distillateur et le milieu exterieur.

Precisons que cette equation n'est applicable qu'en regime permanent qui s'etablit approximativement entre 11h et 14h G.M.T.

CHAPITRE VI .

RENDEMENT ET PRODUCTIVITE DU DISTILLATEUR .

La production d'eau distillée par distillation solaire à effet de serre est caractérisée par plusieurs grandeurs dont :

- . le rendement.
- . l'efficacité.
- . le rendement d'absorption .
- . la performance .

V.1 : Taux de production .

$$R = \text{nombre de litre} / \text{m}^2 / \text{jour}.$$

C'est la quantité d'eau recueillie par unité de surface d'absorbeur et par jour. Ce rendement peut atteindre : 5 litres / m² / jour.

L'inconvénient de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire qui arrive sur le distillateur.

V.2 : Rendement d'absorption .

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

Il peut s'exprimer selon COOPER par la relation :

$$R_{\text{abs}} = a \int_{T_0}^{T_s} \frac{Q}{Q_T} dt$$

a : absorption effective du distillateur.

T₀, T_s : correspond au lever du soleil et la durée d'ensoleillement.

Q_t : quantité d'énergie solaire globale reçue par jour, par unité de surface horizontale et qui s'exprime par la relation :

$$Q_t = \frac{\pi}{2T_s} \cdot H_s \cdot \sin\left(\frac{\pi\phi}{T_s}\right) \cdot \left(1 + \cos\left(\frac{v \cdot \pi \cdot \phi}{T_s}\right)\right)$$

v : nombre positif, simulant l'intermittance des nuages
: durée du jour

T_s : temps écoulé depuis le lever du soleil, jusqu'à l'instant considéré.

V.3 : Efficacité d'évaporation .

COOPER a défini 2 types d'efficacité :

.l'efficacité globale : $\eta_g = \frac{Q_e}{Q_t}$

.l'efficacité interne : $\eta_g = \frac{Q_e}{a \cdot Q_t}$

Q_e : chaleur d'évaporation.

V.4 : Performances .

Les performances sont des facteurs traduisant les rapports des quantités d'eaux produites par le distillateur, sur l'énergie reçue par celui-ci.

On peut distinguer deux types de performances définies par HANSAN et SATCUNANATHAN dans le but de caractériser un distillateur d'une façon plus absolue :

Facteur de performance brute =

rapport de la quantité d'eau produite par jour.
/ sur la quantité d'énergie solaire reçue par le distillateur.

Facteur de performance horaire =

rapport de la quantité d'eau produite en 1h.
/ sur la quantité d'énergie solaire reçue par le distillateur en 1h.

CHAPITRE VI :

PARAMETRES INFLUENÇANT LA PRODUCTION .

Il sont de 3 types. On peut citer :

- . les parametres de construction .
- . les parametres d'ordre meteorologiques.
- . les parametres dependant de la saumure à distiller.

VI.1 : Parametres de construction .

On se limitera dans notre etude au toit (couverture verriere du distillateur) et au bac (plan noir)

VI.1.1 : Le toit .

Il intervient par sa nature et son inclinaison.

VI.1.1.1 : Nature du toit.

On recherchera un verre de bonne mouillabilite et de bonne transmittivite (ou mauvaise absorption).

La densite du rayonnement absorbe est evalue à partir de la loi de LAMBERT-ZOUGUEUR :

$$J_a = J_o . e^{-\alpha x}$$

J_a : densité du rayonnement absorbe par le verre.

α : facteur d'absorption du verre.

x : epaisseur optique du verre, determinee par la relation:

$$x = e / \cos(w) \quad \text{avec: } \sin(w) = \sin(i_c) / n_v.$$

e: épaisseur du verre en mm

n_v : indice de refraction du verre.

i_c : angle d'incidence des rayons solaire.

L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur le toit influence directement la quantité de chaleur reçue et la transmissivité du verre, comme on le voit sur la figure :

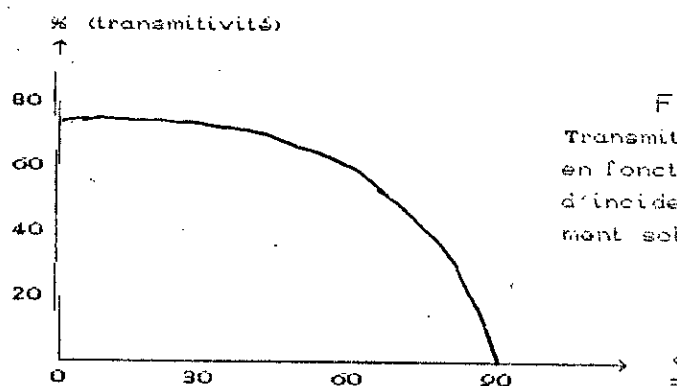


Fig VI.6 :
Transmissivité du verre
en fonction de l'angle
d'incidence du rayonne-
ment solaire .

On retiendra que les différentes catégories de verres disponibles sur le marché absorbent 7 % de la chaleur incidente.

Le facteur de réflexion réduit l'énergie incidente dans la proportion :

$$R = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2 .$$

n : indice de refraction du verre.

(formule donnée par FRESNEL sous une incidence normale).

Exemple :

L'indice de refraction du verre ordinaire est $n=1,5$, donc $R = 4\%$. C'est la fraction de l'énergie incidente perdue de chaque côté de la vitre, c'est à dire qu'au total 8 % de l'énergie incidente est perdue par réflexion.

On cherchera donc à diminuer cet indice.

VI.1.1.2 : Inclinaison du toit .

Le choix de l'inclinaison du toit est important, car il determine d'une part la quantité d'énergie solaire qui entre dans le distillateur et influe d'autre part sur la distance entre la saumure à distiller et le toit, donc de meme dans le transfert de chaleur et de masse à l'interieur du distillateur.

Dans leurs travaux, BAIRAMOV et BAUM concluent que pour avoir de bons transferts de chaleur et de masse, on a interet à prendre l'inclinaison du toit la plus petite possible.

Mais on est limite dans ce choix, car cette inclinaison doit assurer l'écoulement du condensat vers les gouttieres de recuperation sans que celui-ci ne retombe dans la saumure. De plus cette inclinaison doit assurer qu'un maximum d'énergie solaire entre à travers le toit. Il apparait enfin que pour chaque localite, il existe une inclinaison à laquelle l'énergie solaire entrant est maximale. Un choix d'une inclinaison de 10° est un bon compromis entre tous ces criteres.

VI.1.2 : Le bac .

Pour la realisation du bac d'un distillateur, il est plus interressant de rechercher un materiau dont le coefficient de conduction (k) est plus faible, pour minimiser les pertes par conduction. On pourra utiliser du beton, du bois, du ciment, ou encore de la fibre de verre agglomérée. Cette dernière ameliore pres de 10 % le rendement par rapport aux autres materiaux.

VI.2 : Parametres meteorologiques .

On retiendra surtout :

- . l'intermittance des nuages (qui n'a presque pas d'effets sur l'absorption effective, d'apres COOPER).
- . la variation du rayonnement globale incident.
- . la fluctuation de la temperature ambiante.
- . la vitesse du vent.

D'apres SOLIMAN, pour des temperatures de saumure elevees, augmenter la difference de temperature entre la saumure et la vitre, tout en augmentant la vitesse du vent ou en refroidissant le toit, contribuent à elever le taux d'evaporation.

VI.3 : Parametres dependant de la saumure à distiller .

VI.3.1 : La couche tampon .

Dans les distillateurs à effet de serre, il existe une couche tampon de temperature constante, egale à la temperature air-vapeur au centre du distillateur, qui n'intervient pas dans le transfert de chaleur et de masse entre la saumure et les vitres.

D'apres les etudes de BAUM, seule la couche de liaison separant la zone d'evaporation et la surface de condensation, de quelques mm d'epaisseur, intervient dans le transfert de chaleur et de masse.

VI.3.2 : Distance entre la surface d'évaporation et de condensation.

Ce parametre determine l'épaisseur de la couche tampon qui tend à freiner l'échange entre la surface d'évaporation et de condensation. Cette distance est donnée par :

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

S_c : surface d'un des 2 cotes du distillateur.

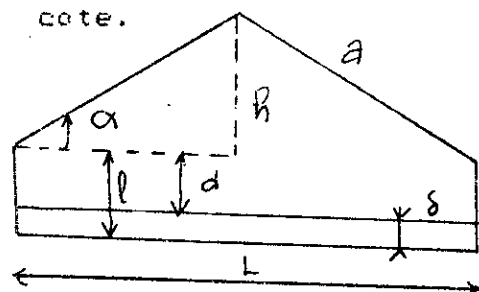
P_c : perimetre de ce meme cote.

$$S_c = L \cdot h / 2 + L \cdot d$$

$$P_c = 2a + 2l + L$$

$$d = l - \delta = L \cdot \tan(\alpha) / 2$$

δ : epaisseur initiale de la saumure.



La distance entre la surface d'évaporation et de condensation determine aussi, l'inertie thermique de l'ensemble de l'installation et l'intensite des pertes thermiques par convection. Il convient donc de choisir une distance la plus faible possible.

VI.3.4 : Epaisseur de la saumure .

D'apres des experiences faites sur des distillateurs type, l'epaisseur optimale de la lame d'eau, est évaluée à 2 (cm). Au delà de cet optimum, une quantité d'eau plus importante necessiterait une quantité d'énergie plus élevée à partir du lever du soleil et avant que l'évaporation ne commence. En deça de cet optimum et du faite de l'inclinaison du plan de l'absorbeur (pour assurer l'écoulement), on risque de decouvrir une partie de celui-ci et par consequent de reduire la surface d'évaporation.

Deuxiem

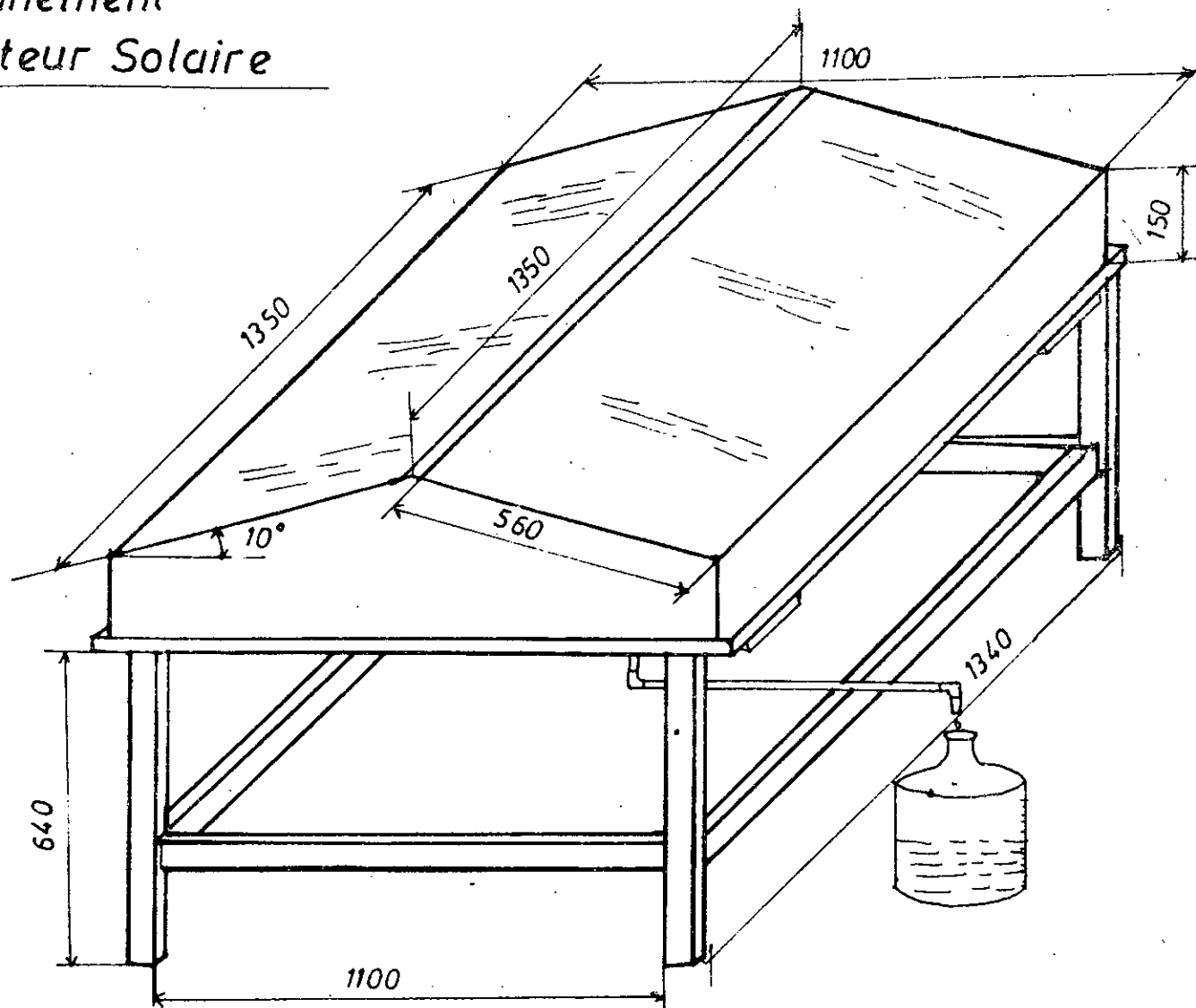
Partie :

Etude

Exprimentale .

Dimensionnement
Du Distillateur Solaire

Fig. I.1 :



CHAPITRE 1.

REALISATION ET EXPERIMENTATION :

1.1 : Introduction .

La presente realisation est essentiellement un modele experimental d'un distillateur solaire à verrière, du type "hot box". Le choix des differents materiaux a ete effectue en fonction des disponibilites sur le marche et des possibilites techniques de fabrication. Il est bien entendu hors de question d'utiliser des materiaux et des technique avances, tel : les surfaces selectives, pour augmenter le rendement.

1.2 : Construction du distillateur .

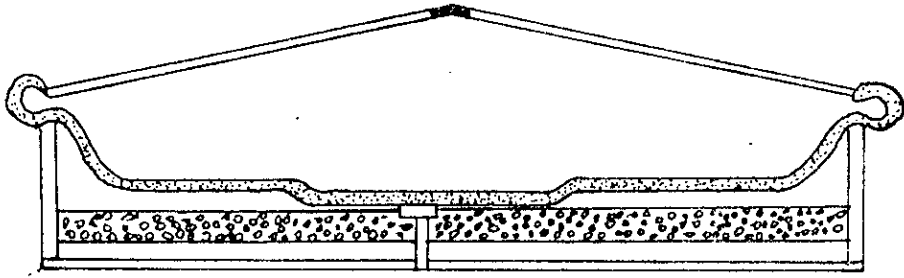
L'installatiion est composee essentiellement des parties suivantes:

- . une cuve, qui joue le rôle d'absorbeur.
- . la couverture verrière .
- . le coffrage.
- . un support.
- . l'isolant.
- . un reservoir à niveau constant.

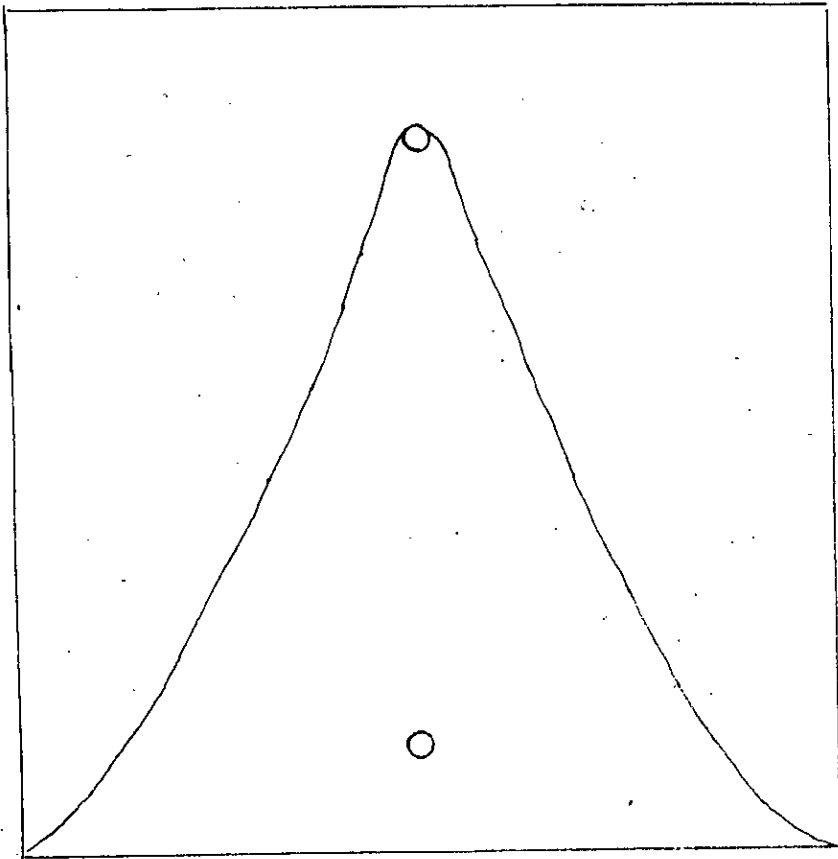
1.1.1 : Cuve (ou absorbeur) :

Sont role essentiel est d'absorber le maximum de rayonnement (direct et diffus), et de transmettre la chaleur produite par cette absorption vers la saumure.

Fig. I.2 :



COUPE TRANSVERSALE DU DISTILLATEUR



VUE DE DESSUS DE L'ABSORBEUR

I.1.3 : Le coffrage .

C'est le support ou vient se posé la cuve. Il est realise en bois ordinaire qui est un bon isolant et peint à l'anti-rouille vu son exposition frequente à l'eau.

I.1.4 : L'isolant .

C'est une feuille de polystyrene expansé de 5 cm d'épaisseur, et de dimensions 1,32 x 1,55 m , qu'on a mis sous la cuve . Le polystyrene a un coefficient de conduction faible aux basses temperatures et s'effrite aux hautes temperatures.

I.1.4 : Reservoir à niveau constant .

C'est un bac en zinc, muni d'un flotteur qui regule le niveau de la saumure dans la cuve à 2 cm d'épaisseur, par l'intermediaire d'une tuyauterie en PVC rigide.

Pour alimenter la cuve en eau, on a utilise deux coudes et un Té et on a realiser l'étancheite avec une colle pour PVC. Le reservoir est aussi racordé à un autre plus important qui l'alimente continuellement.

Le reservoir est pose sur un support realise en fer rond, pour etre maintenu à 40 cm du sol.

L'ensemble des 2 reservoir est recouvert d'une peinture anti-rouille.

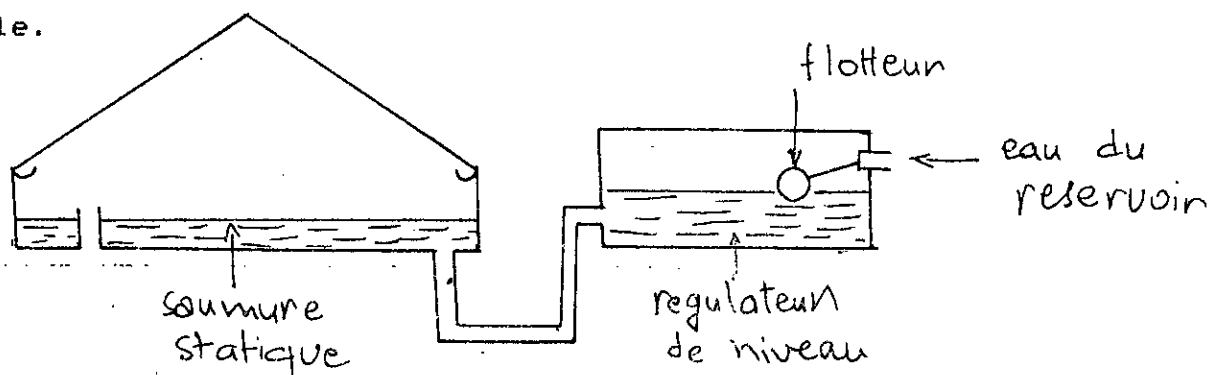


Fig I.3 : shema de l'installation .

Elle est à cet effet recouverte d'une peinture noire lui conférant un bon coefficient d'absorption.

On notera que la cuve qu'on a utilisée, était dans un mauvais état. Il a été nécessaire de la recouvrir d'une couche de goudron, pour assurer son étanchéité.

La matière de cette cuve est de la fibre de verre agglomérée. Le plan de la cuve, n'est pas exactement plan, mais un peu incliné, avec une convergence vers deux trous séparés d'un mètre, qui servent de vidange et de remplissage.

La cuve est munie de deux rigoles de récupération du distillat, percées chacune de deux trous aux extrémités.

1.1.2 : La couverture verrière.

Elle est composée de 2 vitres de 4 mm d'épaisseur, et de dimension 1,30 x 0,55 m. Ces vitres sont posées sur la cuve et avec une pente de 10° pour permettre aux gouttelettes de ruisseler et de tomber dans les gouttières, et non de retomber dans la cuve.

Ce sont des vitres d'usage courant, possédant une bonne mouillabilité, et entraînant une perte de 8 % d'après la formule de FRESNEL. Pour assurer une bonne étanchéité, entre les vitres et la cuve, on devrait utiliser un mastic spécial au Silicone, mais vu son indisponibilité, on a utilisé un adhésif ordinaire, ce qui entraînera des pertes plus importantes.

On a aussi réalisé une reglette en zinc pour couvrir tous les bords, et minimiser les pertes par fuites.

CHAPITRE II .

L'EXPERIMENTATION :

Les essais ont été fait à la station du H.C.R de BOUZAREAH, par des journées très ensoleillées du mois de juin.

Les coordonnées du site sont :

- . altitude : 385 m
- . latitude : 36,8 ° Nord
- . longitude : 3,04 ° Est

Nous avons à relever 7 températures, à l'aide de thermocouples branchés à un Enregistreur, qui donne leurs valeurs simultanément.

Les températures à relever sont :

- .la température de l'absorbeur.
- .la température du fond de l'absorbeur.
- .la température de l'eau.
- .la température du mélange air-vapeur.
- .la température de la vitre intérieure.
- .la température de la vitre extérieure.
- .la température de l'ambiant.

Lors des essais, on a également à mesurer les données suivantes :

- .le flux globale solaire, à l'aide d'un pyranometre.
- .la vitesse du vent, avec un anemometre.

. le debit d'eau distille, à l'aide de vase graduee.

II.2 : Description du materiel utilise .

II.2.1 : Les thermocouples .

Ce sont des thermocouples du type (T) qui couvre une plage de 0° à 100° , constitues de cuivre-constantan, soudes à leur bout à l'aide d'un chalumeau oxy-acetelenique.

Ce bout constituera la source chaude, et l'autre bout sera la source froide .

Les thermocouples seront relies à l'enregistreur à l'aide de cable de compensation. On a utilise des fils telephoniques qui sont de tres bon conducteur.

Pour la polarite necessaire à l'enregistreur, on prendra :

le cuivre vers la borne positive.

le constantan vers la borne negative.

Le collage des thermocouples en differents endroits du distillateur est realise à l'aide d'une colle "Araldite", utilise pour sa grande conductibilite thermique et sa bonne tenue à l'humidite.

Pour les temperatures des surfaces interieures et exterieures des vitres, les valeurs releves ne sont qu'approximatives vu le probleme delicat de la fixation du thermocouples et de la resistance de contact. Les temperatures qu'on relevera seront des temperatures equivalentes et l'ecart entre les temperatures des vitres interieures et exterieures sera important, ce qui est contraire à la supposition que le verre a une conductibilite uniforme.

On a essaye de remedier à ce probleme, on disposant des caches en aluminium percés de trous pour assure un bon echange thermique par

convection entre le thermocouple et l'air qui l'entoure.

Le thermocouple mesurant la température du mélange air-vapeur est entouré aussi d'un cache car il est soumis aux rayonnements des vitres, de l'eau et du bac.

II.3 : Disposition des thermocouples .

Pour le bon déroulement de la manipulation nous avons numéroté les thermocouples :

- N° 01 _____ l'absorbeur.
- N° 02 _____ l'eau.
- N° 03 _____ vitre interne Est.
- N° 04 _____ vitre externe.
- N° 05 _____ mélange air-vapeur.
- N° 06 _____ bas de la cuve.

On a disposé les thermocouples (3) et (4) sur la vitre Est, car elle est mieux exposée au flux solaire. (voir schéma)

La lecture des températures se fait directement sur l'enregistreur qui dispose d'un système de compensation automatique de la source froide donc, il est inutile d'étalonner les thermocouples .

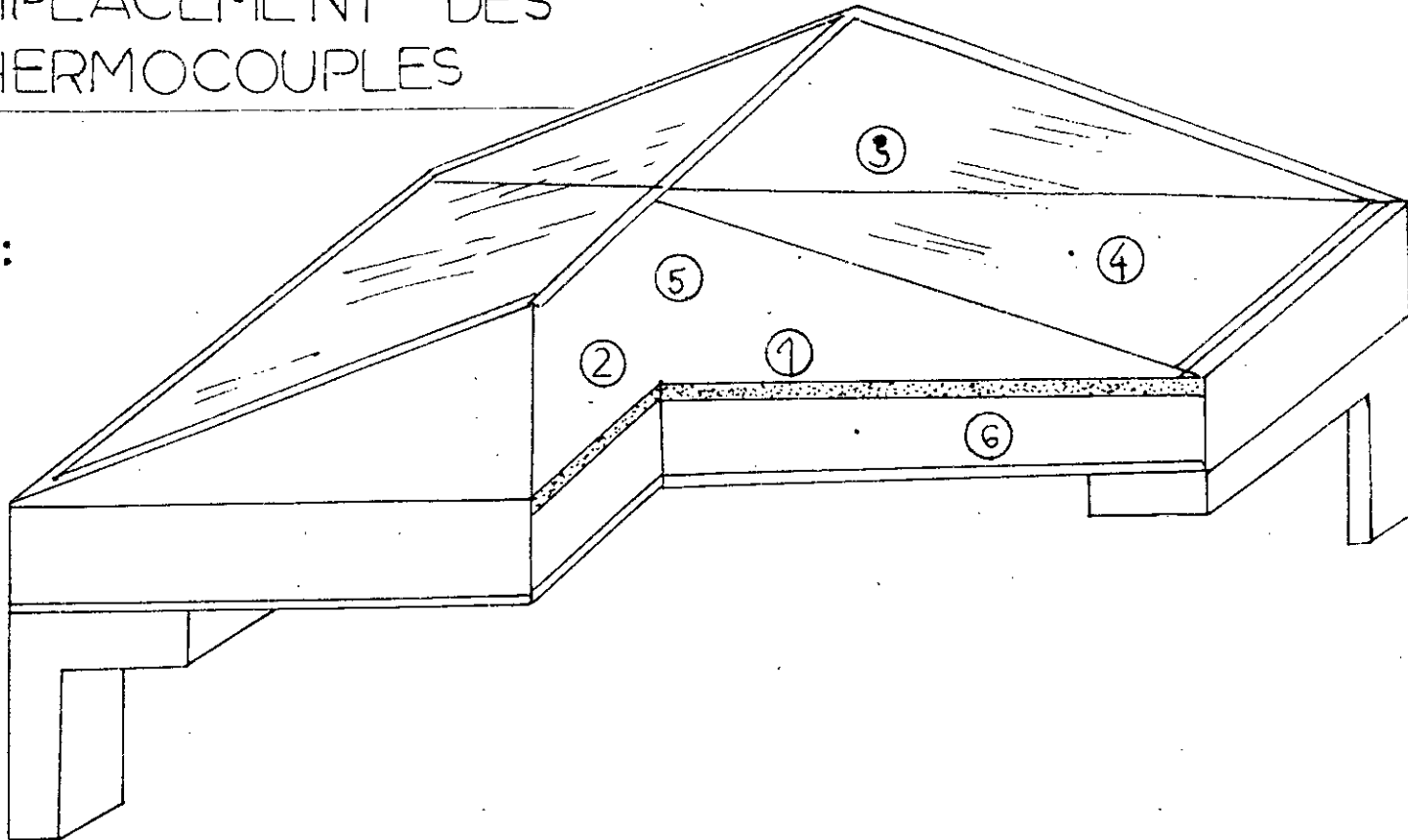
Les relevés de températures se feront chaque demi-heure, pendant 24h.

II.3 : L'enregistreur .

Il s'agit d'un enregistreur type " PHILIPS FM 8238 ", programmable, à affichage digital et à 30 voies, pouvant mesurer des résistances de transducteurs ou des températures à l'aide de thermocouples.

EMPLACEMENT DES THERMOCOUPLES

Fig. II.1 :



① absorbeur

② eau

③ vitre-interieure

④ vitre exterieure

⑤ melange air-vapeur

⑥ bas-de-la-cuve

II.4 : Le pyranometre .

Il est du type " KYPP et ZONEN CM 5", et permet de mesurer l'éclairement global sur une surface horizontale.

Ses caracteristiques sont :

impedance : 10 ohm

sensibilite : 100 à 130 mV / cm.

reponse spectrale : 0,3 à 2,5 m

erreure mximale : 5 %.

La valeur de l'éclairement global est proportionnelle à la f.e.m produite aux bornes de la thermopile du pyranometre.

La relation qui lie ces deux parametres :

$$E = K . ev$$

. E : eclairement global sur une surface horizontale.

. K : coefficient de proportionnalite.

. ev : force electro-motrice mV

II.5 : L'anemometre .

Il est du type "JULE RICHARD et PEKLEY", et permet de mesurer la vitesse du vent. C'est un moulinet à 3 coupelles hemmispheriques.

La rotation du moulinet donne lieu à un courant electrique d'intensite variable.

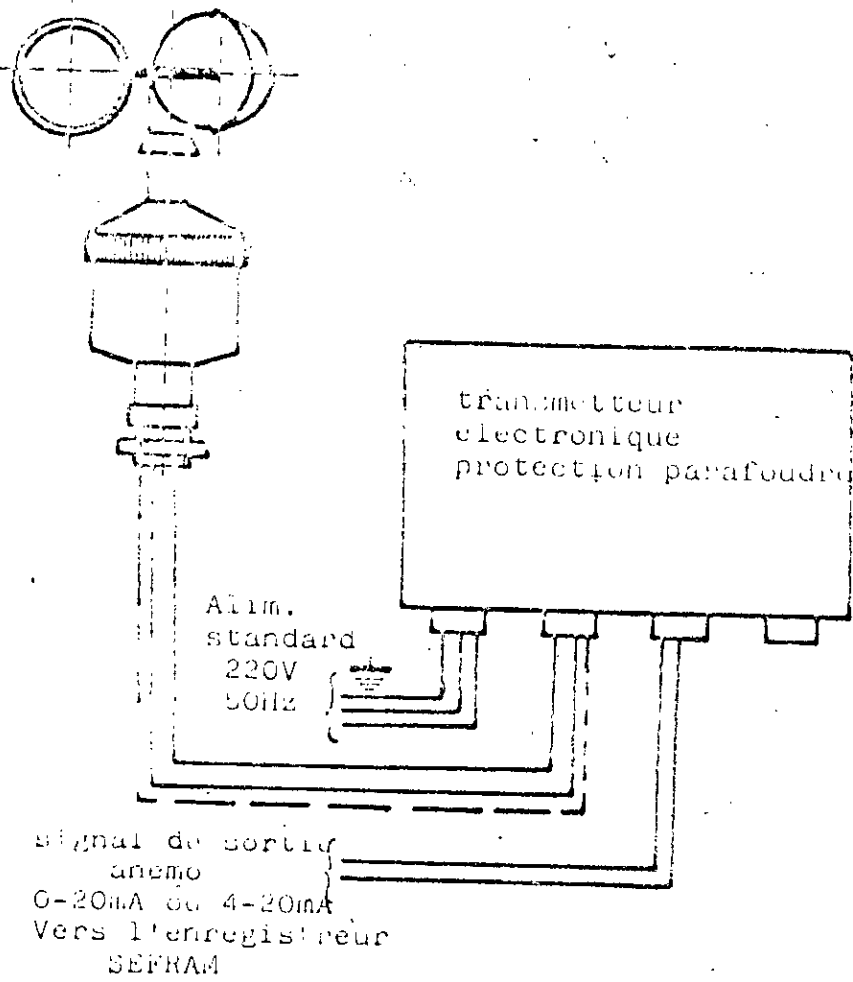


Fig 11.2 : Schéma de l'anémomètre.

II.3 : Calcul du bilan .

Nous avons constaté, lors de l'interprétation de la courbe (Fig.) décrivant la variation de la température du bassin en fonction du temps, que le distillateur passe par 3 stades durant la journée :

- _ une période de mise en régime pendant la matinée.
- _ une période de régime entre 12 h et 14 h.
- _ une période de perte de régime à partir de 14 h.

Ces trois périodes sont justifiées car les conditions de température ambiante, de vitesse du vent, et d'éclairement reçu par le distillateur varient au cours du temps.

L'équation donnant le bilan général pour l'installation, déjà établi au Chapitre IV , n'est applicable qu'en période de régime du système thermodynamique.

$$I = I_r + I_a + q_e + q_c + q_r + Q_m + Q_b + Q_i$$

Toutes les quantités de chaleur intervenant dans cette équation seront calculées pour des périodes d'une demi-heure et exprimées en (kcal).

II.3 : Analyse des résultats.

Pour établir ce bilan, nous utilisons les résultats des mesures faites lors de l'expérimentation du distillateur alimenté par l'eau de robinet.

À travers toutes les expérimentations effectuées jusque là, nous constatons que les différents paramètres agissant sur le distillateur se stabilisent entre 12 et 14 h.

Nous montrons que l'équation (IV.4) du chapitre IV, n'est pas applicable pour n'importe quelle période de fonctionnement du distillateur. Pour cela nous calculons pour chacun des 3 stades de fonctionnement les différentes pertes Q_i .

II.3.1 : calcul de Q_i .

II.3.1.1 : Premier stade :

On choisira l'intervalle de temps entre 9h30 et 10h00.

Pour cette demi-heure les résultats obtenus sont :

Température de l'eau : $T_w = 33,3$ (°c) , thermocouple N°02

Température de la vitre intérieure : $T_c = 28,6$ (°c) , thermocouple N°03

Température de l'eau distillée : $T_d = 32$ (°c)

Température du fond du distillateur : $T_b = 33,9$ (°c) , thermocouple N°06

température de l'air ambiant : $T_a = 27$ (°c)

La masse d'eau distillée recueillie est : $m_d = 0,055$ (kg)

La quantité d'énergie solaire reçue est : $G = 351,6$ (kcal)

_ quantité de chaleur reçue par la surface A_p du distillateur.

$$G = A_p \cdot G$$

$$A_p = 1,408 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$G = 495,05 \text{ (kcal)}$$

_ pertes par absorption et réflexion du verre :

$$P = G_a + G_r$$

$$P = (\rho + \alpha) \cdot A_c \cdot G$$

_absorptivité du verre pour une épaisseur de 4 mm : $\rho = 0,07$

_ réflexivité du verre pour une épaisseur de 4 mm : $\alpha = 0,08$

$$Ac = 1,43 \text{ (m)}$$

$$P = 75,418 \text{ (kcal)}$$

_ quantité de chaleur perdue par l'eau à l'intérieur du distillateur par évaporation :

$$q_e = m d \cdot L_v$$

$$q_e = m d \cdot (596,1 - 0,537 \cdot T_w)$$

$$q_e = 31,9 \text{ (kcal)}$$

. T_w : température moyenne entre 9 h et 9 h 30

_ quantité de chaleur perdue par convection vers la vitre :

$$q_c = h_{wc} \cdot A_w (T_w - T_c)$$

Le coefficient de convection interne h_{wc} s'écrit :

$$h_{wc} = (0,123 \cdot T_w - 3,818) \cdot (T_w - T_c)^{1/3}$$

$$A_w = 1,104 \text{ (m)}$$

$$q_c = 2,41 \text{ (kcal)}$$

_ quantité de chaleur perdue par radiation thermique vers la vitre :

$$q_r = \frac{\sigma \cdot A_w \cdot (T_w^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1}$$

ϵ_c : émissivité équivalente s'exprime en fonction

des émissivités de l'eau et du verre :

$$\epsilon_w = 0,96 \quad , \quad \epsilon_c = 0,94$$

$$1/\epsilon_c = 1/0,96 + 1/0,94 - 1$$

$$= 0,90$$

$$q_r = 23,2 \text{ (kcal)}$$

_ Quantite de chaleur emportée perdue par l'eau distillée :

$$Q_m = m_d \cdot c_p (T - T_a)$$

$$c_p = 1 \text{ (kcal/Kg.}^\circ\text{C)}$$

$$Q_m = 0,275 \text{ (kcal)}$$

_ quantité de chaleur perdue par convection externe vers le bas

$$Q_b = h_e' \cdot A_b (T_b - T_a)$$

h_e' : coefficient d'échange par convection externe .

$$h_e' = 0.51 \cdot \frac{(T_b - T_a)^{0.25}}{l}$$

$$A_b = 1,30 \text{ (m}^2\text{)}$$

l : longueur d'échange , $l = 1,3 \text{ (m)}$

$$Q_b = 6,94 \text{ (kcal)}$$

_ differentes Pertes :

$$Q_i = I - I_a - q_e - q_c - q_r - Q_m - Q_b$$

$$Q_i = 495 - 75,418 - 31,9 - 2,41 - 23,2 - 0,275 - 6,94$$

$$Q_i = 354,857 \text{ (kcal)}$$

Les differentes pertes Q_i calculées, representent $Q_i/G = 71 \%$ de l'irradiation.

II.3.1.2 : Deuxième stade .

On prendra l'intervalle entre 13h00 et 13h30 :

$$T_w = 57,9 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_c = 46,9 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_d = 35 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_b = 54,9 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_a = 31 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$m_d = 0,365 \text{ (kg)}$$

$$G = 427 \text{ (kcal/m)}$$

En refaisant les memes calculs que precedemment, on trouve :

$$I = 601,216 \text{ (kcal)}$$

$$P = G_r + G_a = 91,6 \text{ (kcal)}$$

$$q_e = 206,225 \text{ (kcal)}$$

$$q_c = 89,26 \text{ (kcal)}$$

$$q_r = 81,7 \text{ (kcal)}$$

$$Q_m = 1,46 \text{ (kcal)}$$

$$Q_b = 32,81 \text{ (kcal)}$$

$$Q_i = 98,161 \text{ (kcal)}$$

Les pertes representent 16 % de l'irradiation, pertes dues normalement aux elements de l'installation. On peut dire donc que le regime est atteint .

Pour l'intervalle entre 17h30 et 18h00

$$T_w = 60,7 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_c = 59,6 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_d = 47,7 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_b = 59,8 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$m_d = 0,09 \text{ (kg)}$$

$$G = 95,7 \text{ (kcal/m)}$$

En effectuant les calculs correspondant, on trouve :

$$G = 134,746 \text{ (kcal)}$$

$$P = 20,52 \text{ (kcal)}$$

$$q_e = 50,67 \text{ (kcal)}$$

$$q_c = 4,57 \text{ (kcal)}$$

$$q_r = 7,89 \text{ (kcal)}$$

$$Q_m = 3,132 \text{ (kcal)}$$

$$Q_b = 52,48 \text{ (kcal)}$$

$$Q_i = -4,517 \text{ (kcal)}$$

Les pertes Q_i sont négatives, ce qui est aberrant donc le système est en perte de régime .

Conclusion :

D'après les calculs que nous venons d'effectuer, nous pouvons dire que le distillateur passe par trois phases de fonctionnement. Ces résultats seront confirmés ultérieurement par l'allure des courbes qu'on tracera .

II.4 : Calcul du rendement utile du distillateur.

Le rendement utile d'un distillateur solaire peut être exprimé par la formule :

$$\eta_u = M.L / G$$

M : est la masse d'eau distillée recueillie en 24 h.

Lv : chaleur latente de vaporisation moyenne de l'eau pour la journée.

G : quantité d'énergie solaire journalière.

Puisque nous disposant des relevés de température d'ensoleillement pour chaque demi-heure, on préférera définir le rendement utile par l'expression :

$$\eta_u = \frac{\sum m_i.L_{vi} + m_s.L_{vs}}{\sum G_j}$$

où l'indice i correspond à la demi-heure considérée entre 9h30 et 18h.

m_i : masse d'eau distillée durant cette demi-heure.

L_i : chaleur de vaporisation évaluée à la température moyenne durant cette demi-heure.

$$L_{vi} = 596 - 0,537 T_{wi} \text{ en (kcal/kg)}$$

G_j : quantité d'énergie solaire reçue pendant la demi-heure entre le lever et le coucher du soleil.

m_s : masse d'eau distillée produite de 18h jusqu'au lendemain matin 9h30 en (Kg).

L_{vs} : chaleur latente de vaporisation moyenne de l'eau pendant la nuit.

A titre d'exemple, nous allons calculer le rendement du distillateur pour des conditions fixées tels :

- . les condition atmospheriques.
- . le volume d'eau mis dans le bac.

Lvs est calculé en prenant le cas le plus defavorable, pour le rendement, c'est à dire, en supposant que la temperature de l'eau pendant la nuit est egale à la temperature mesurée à 18 h.

Le tableau des valeurs relevées donnera tous les parametres necessaires au calcul du rendement utile, et couvrira toutes les mesures effectuées de 9h30 à 18h00 .

La derniere colonne donnera la quantite d'energie reçue en une calculé en integrant l'eclaircissement par la methode des trapezes, (voir figure) on aura :

$$G_{oi} = \frac{[(E_{i+1}) + (E_i)] \cdot [(T_{i+1}) - (T_i)]}{2}$$

| Temps | mi (kg) | Twi (°C) | Li=596,1-0,537.Twi (kcal/Kg) | mi.Li (kcal) | IOi (kcal) |
|-------|------------|-------------|---------------------------------|-----------------|---------------|
| 18h00 | 0,000 | 50,3 | 569,100 | 000,00 | ----- |
| 9h30 | 0,620 | 28,1 | 581,000 | 360,22 | 154,63 |
| 10h00 | 0,055 | 33,3 | 578,220 | 031,80 | 351,60 |
| 10h30 | 0,075 | 37,7 | 575,850 | 043,19 | 378,50 |
| 11h00 | 0,080 | 41,6 | 573,760 | 045,90 | 399,00 |
| 11h30 | 0,165 | 41,6 | 573,760 | 094,60 | 414,00 |
| 12h00 | 0,225 | 49,8 | 569,357 | 128,100 | 425,80 |
| 12h30 | 0,300 | 54,2 | 567,000 | 170,100 | 427,00 |
| 13h00 | 0,340 | 58,3 | 564,800 | 192,000 | 425,80 |
| 13h30 | 0,365 | 57,9 | 565,000 | 206,220 | 427,00 |
| 14h00 | 0,425 | 59,9 | 564,000 | 239,700 | 400,00 |
| 14h30 | 0,420 | 63,3 | 562,100 | 236,100 | 373,12 |
| 15h00 | 0,350 | 64,8 | 561,300 | 196,450 | 341,00 |
| 15h30 | 0,280 | 65,4 | 561,000 | 157,100 | 305,40 |
| 16h00 | 0,270 | 65,9 | 560,700 | 151,400 | 265,60 |
| 16h30 | 0,175 | 64,3 | 561,570 | 98,270 | 224,73 |
| 17h00 | 0,140 | 65,6 | 560,870 | 78,520 | 181,72 |
| 17h30 | 0,105 | 64,4 | 561,520 | 59,000 | 138,71 |
| 18h00 | 0,090 | 61,7 | 563,000 | 5,550 | 95,70 |
| | | | | ----- | ----- |
| | | | Total : | 2494,22 | 5729,31 |

$$m_i.L_i = 2494,22 \text{ (kcal)}$$

$$G_i = A_p \cdot G_{0i} = 1,408 \cdot 5729,31 = 8066,87 \text{ (kcal)}$$

$$m_s = 0,62 \text{ (kg)}$$

$$L_{vs} = (596,1 - 0,537 \cdot 50,3) = 569 \text{ (kcal/kg)}$$

$$m_s.L_{vs} = 0,62 \cdot 569 = 352,8 \text{ (kcal)}$$

$$m_i.L_{vi} + m_s.L_{vs} = 2494,22 + 352,8 = 2847,05 \text{ (kcal)}$$

d'où le rendement journalier :

$$\eta_u = 2847,05 / 8066,87 = 0,28$$

II.5 : Precision sur le rendement utile .

L'erreur relative sur le rendement est donnée par :

$$\frac{\Delta \eta_u}{\eta_u} = \frac{\Delta (\sum m_i.L_{vi} + m_s.L_{vs})}{\sum m_i.L_{vi} + m_s.L_{vs}} + \frac{\Delta G_j}{G_j}$$

En négligeant l'erreur comise lors de la mesure de l'éclairement G_j avec le solarimetre , on peut écrire :

$$\frac{\Delta \eta_u}{\eta_u} = \frac{\Delta (\sum m_i.L_{vi})}{\sum m_i.L_{vs} + m_s.L_{vs}} + \frac{\Delta (m_s.L_{vs})}{\sum m_i.L_{vs} + m_s.L_{vs}}$$

$$(L_{vi}) = 0,537. \quad (T_{wi})$$

L'erreur que donne le thermocouple est estimée à 1 °C

$$\text{d'où : } \Delta (L_{vi}) = 0,537 \text{ (kcal/kg)}$$

L'incertitude absolue $\Delta (m_i) = 0,02 \text{ (kg)}$

En prenant $L_{vi} = 567 \text{ (kcal / kg)}$, moyenne calculée des L_{vi} .

L'erreur relative sur le rendement devient :

en négligeant le deuxième terme de l'équation (II.4.4) :

$$\frac{\Delta \eta_u}{\eta_u} = \frac{\Delta (\sum m_i \cdot L_{vi})}{\sum m_i \cdot L_{vi} + m_s \cdot L_{vs}}$$

qui peut s'écrire aussi :

$$\frac{\Delta \eta_u}{\eta_u} = \frac{\sum m_i \cdot \Delta(L_{vi}) + \sum \Delta(m_i) \cdot L_{vi}}{\sum m_i \cdot L_{vi} + m_s \cdot L_{vs}}$$

$\sum_i m_i = 3,86$ (Kg) , quantité d'eau distillée recueillie
de 9h30 jusqu'à 18h00.

$$\sum_i \Delta(m_i) \cdot L_{vi} = 0,02 \cdot 10204,227 = 204,08 \text{ (Kcal)}$$

nous savons que : $m_s \cdot L_{vs} = 352,8$ (Kcal)

alors :

$$\frac{\Delta \eta_u}{\eta_u} = \frac{(3,86 \cdot 0,537) + (204,08)}{2134,22 + 352,8}$$

$$\frac{\Delta \eta_u}{\eta_u} = 0,083$$

D'où l'erreur absolue :

$$\Delta \eta_u = 0,28 \cdot 0,083 = 0,023$$

Finlement :

$$\eta_u = 0,280 \pm 0,023$$

II.5 : Presentation des resultats de l' experimentation .

Nous presenterons les resultats sous forme de courbes qu'on interpretera par la suite, et nous porterons en annexe les tableaux des releves des mesures effectuees sur le distillateur. Nous avons effectue les mesures durant plusieurs journees et nous avons choisi de retenir celle du 07 / 06 / 1990 , journee qui a ete tres ensoleillee avec un ciel degage.

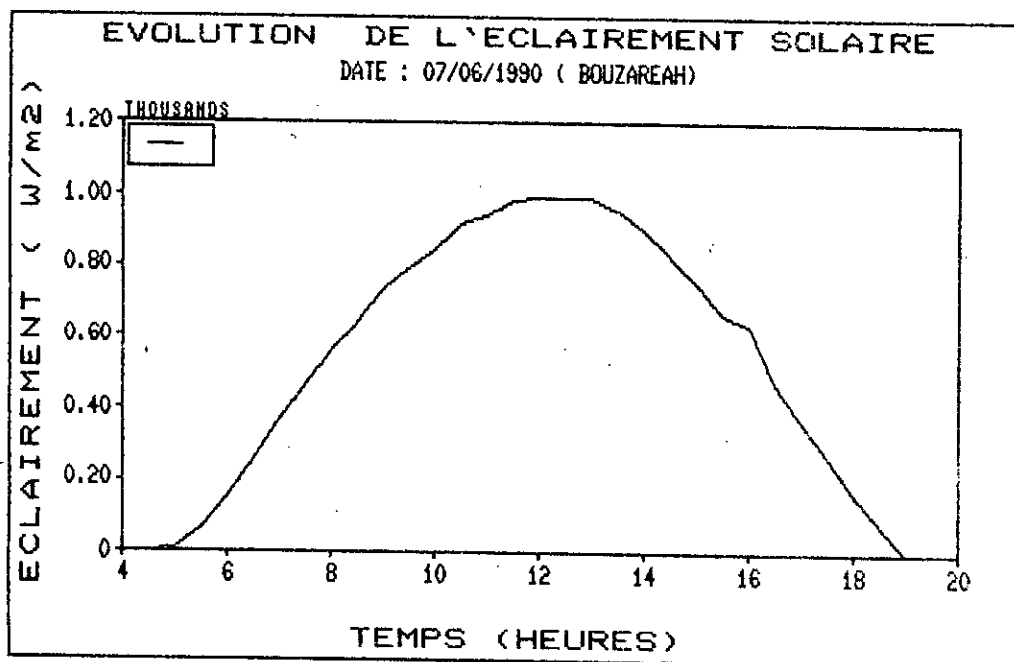


Fig II.1 :

La figure (II.1) montre bien l'eclaircissement durant cette journee d'essais, elle atteint une valeur maximale de 1000 W/m², à midi et s'etale de 5h00 jusqu'a 19h00 .

Elle a l'allure d'une cloche.

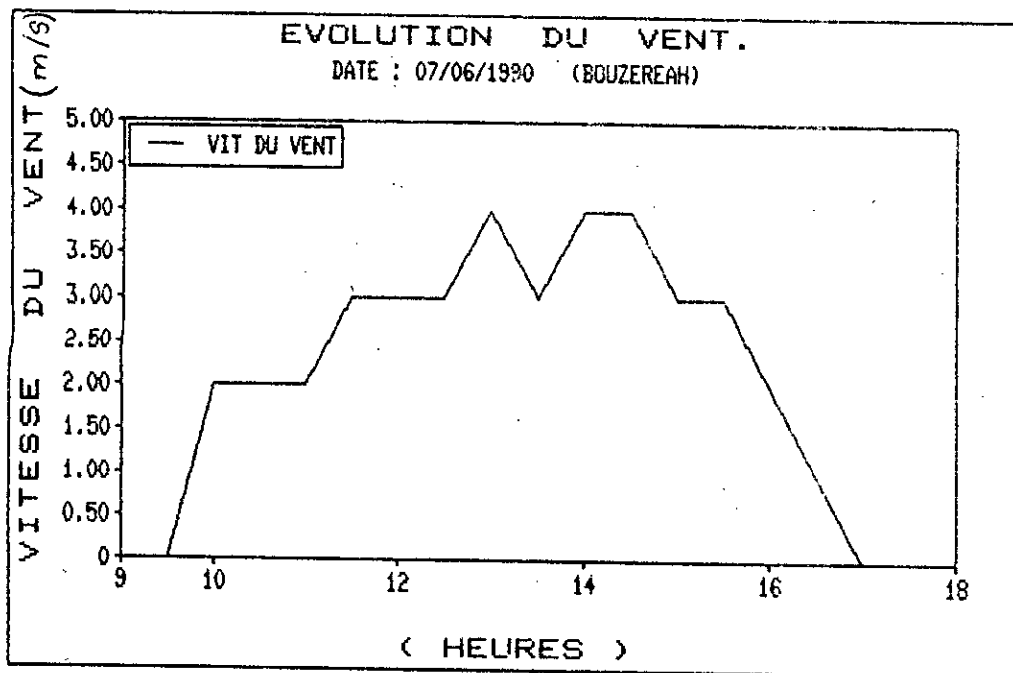


Fig II.2 :

La figure (II,2) montre l'évolution de la vitesse du vent au cours de la journée, on voit qu'elle fluctue entre 2 et 4(m/s) à partir de 10h00 jusqu'à 15h30, et s'annule à partir de 16h00 .

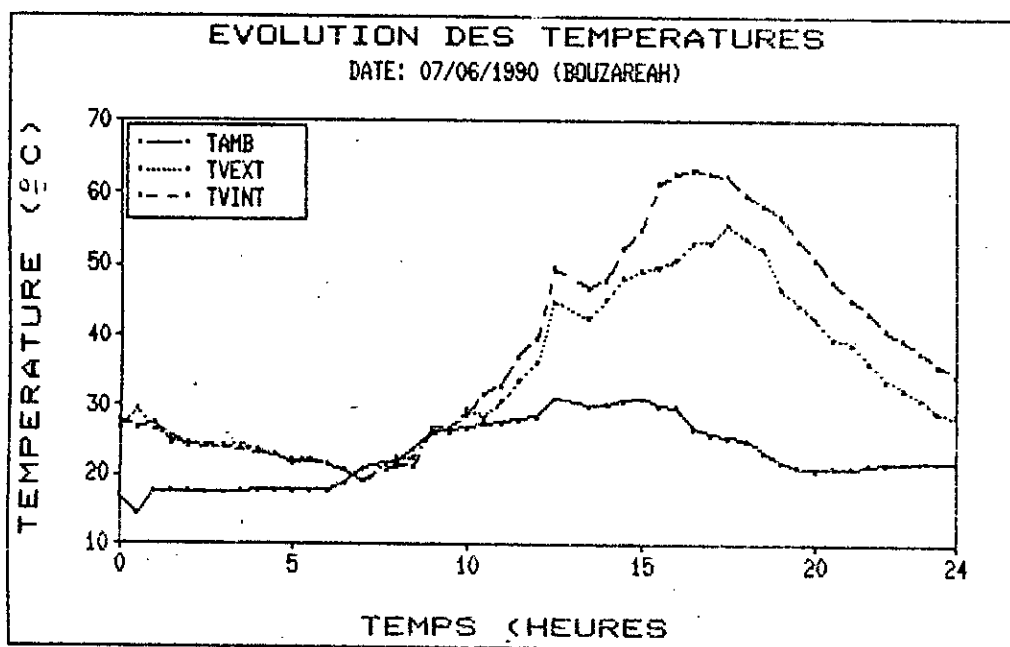


Fig II.3 :

La courbe donnant la température ambiante au cours de la journée apparait sur les figures (II,3),(II,4),(II,4) elle est constante à 18°C de 00h00 jusqu'à 5h00, augmente à l'apparition du soleil pour atteindre la valeur 28°C, fluctue autour de 27°C à partir de 11h00 ou la vitesse du vent augmente et autour de 20°C à partir de 15h30.

Les figures (II,3),(II,4),(II,5) donne les variations, en fonction du temps, des températures de tous les éléments de l'installation qui participent aux échanges thermiques,(absorbeur, eau, vitres, mélange air-vapeur).

On remarquera que la température de l'eau et de l'absorbeur varient ensemble et les deux courbes se confondent totalement, ce qui nous permettra de dire que l'absorbeur transmet toute l'énergie interceptée.

On notera aussi, que la température des éléments baisse, alors que celle de l'ambiance augmente jusqu'à se rencontrer au lever du soleil, cela est dû à l'inertie du système.

Enfin on voit bien qu'à partir de 8h00 environ, les températures de ces éléments augmentent plus vite que celle de l'ambiance, c'est là que commence l'effet, de serre.

Le maximum de température de ces éléments n'est pas atteint en même temps que celui de la température de l'ambiance, car il faudrait un certain temps de réponse pour le système.

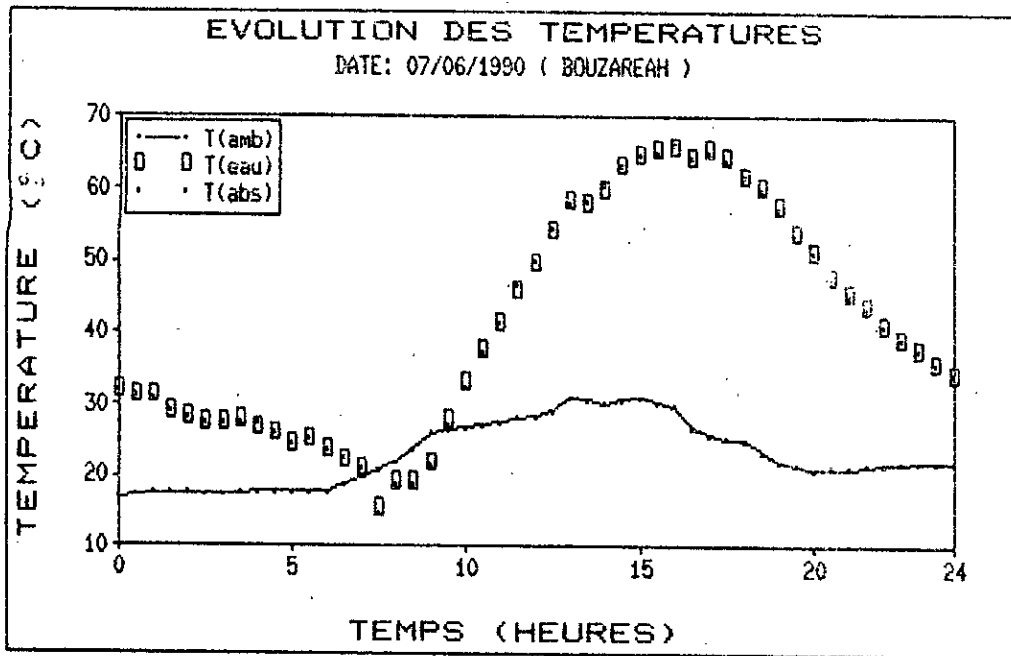


Fig II.4 :

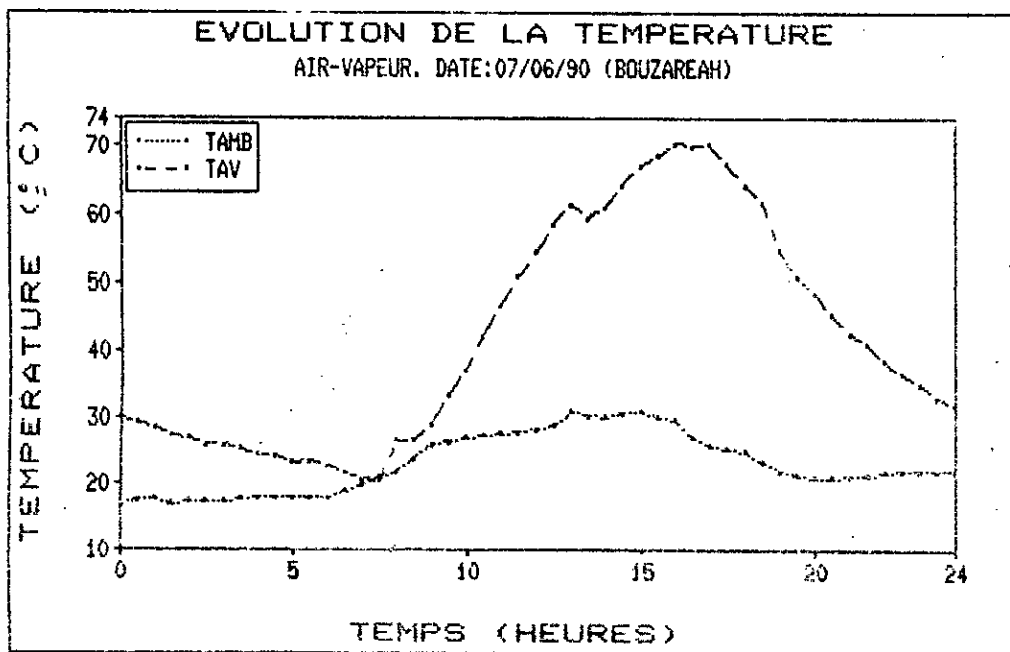


Fig II.5 :

Dans la figure (II,3), on a montré la variation des températures de vitrage intérieure et extérieure du vitrage, et de l'ambiance au cours de la journée. On voit qu'aux basses températures les courbes se confondent, mais à partir de 30°C l'écart devient de plus en plus important, cela est dû aux erreurs sur la mesure des températures de parois, comme on l'a déjà souligné.

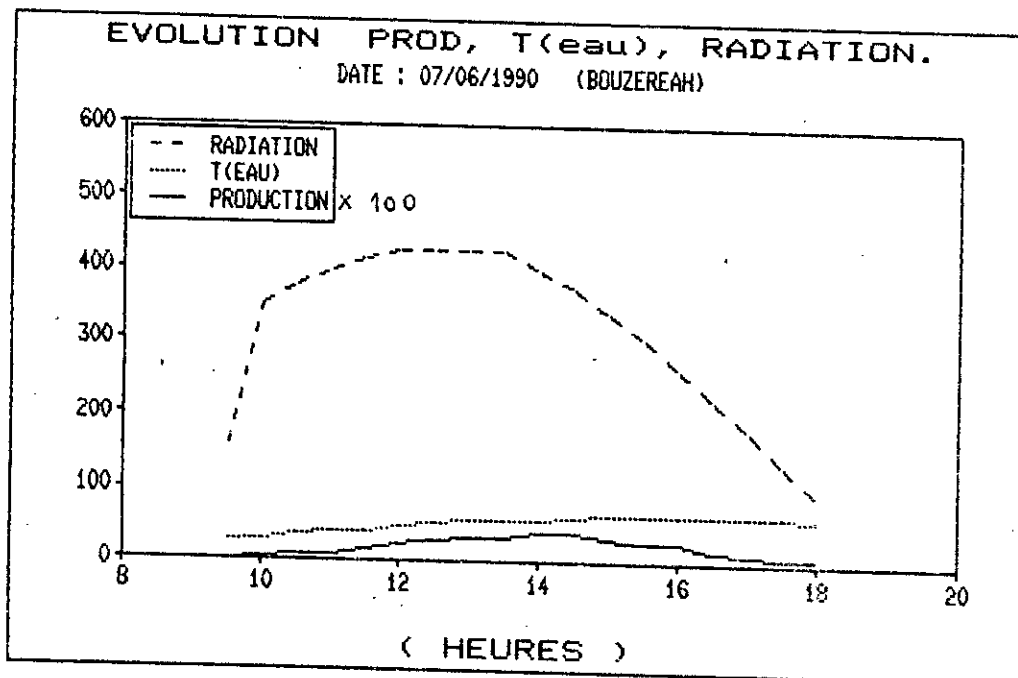


Fig II.6 :

Sur la figure (II,6), on a représenté l'évolution de la production de la température de l'eau et de la radiation de chaque demi heure.

On voit que la production suit la courbe de l'irradiation et passe par les trois régimes de fonctionnement. Par contre, la température de l'eau suit l'allure de l'irradiation, mais avec un certain retard dû à l'inertie de l'eau.

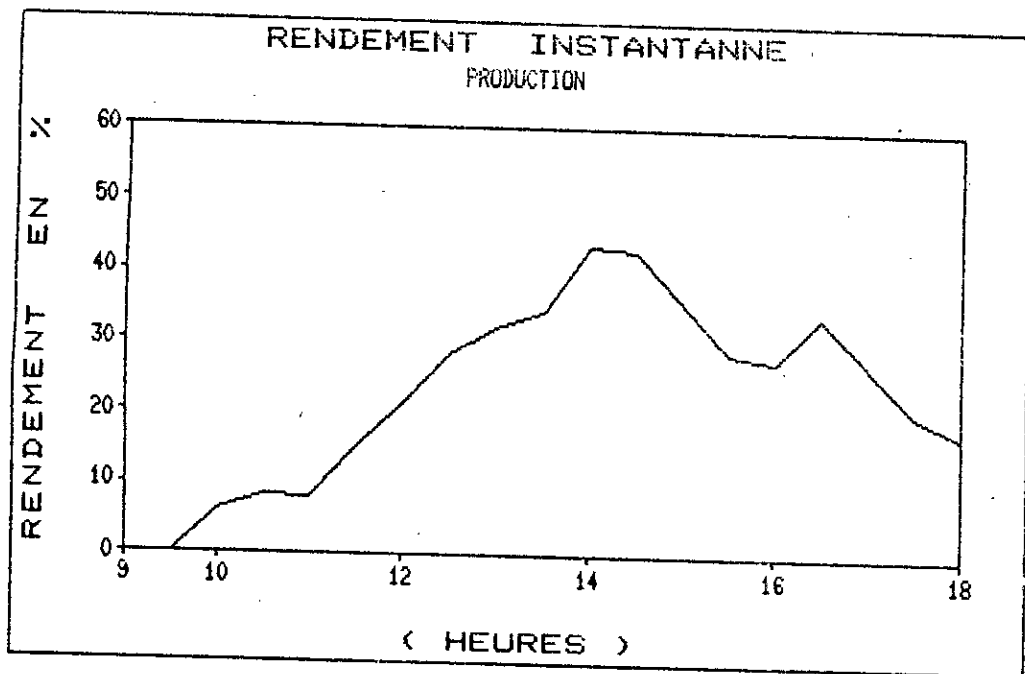


Fig II.7 :

Dans la figure (II,7), on a represente la variation du rendement instantanne en fonction du temps. On voit qu'il augmente selon l'ensoleillement au cours de la journee, les legeres fluctuations enregistrées sont dues aux fuites d'eau qui se manifestent ça et là, et aux erreurs de mesures du debit.

Le pic qu'on voit aux environs de 16h30 correspond à leclairement enregistre à 16h00.

Conclusion :

Le bilan que nous venons d'etudier est tres simplifie, car le bilan general d'un distillateur fait intervenir plusieurs parametres que nous n'avons pas mentiones, et que celui-ci nous permet uniquement d'apprécier les qualites et les defauts de notre realisation.

CHAPITRE III .

ETUDE ECONOMIQUE .

Dans une premiere partie, nous estimerons le cout du distillateur.

Pour la realisation du distillateur, nous avons utiliser :

- _ un profile en acier d'une longueur de 8 m ,pour la realisation du support .

$$8 \cdot 15 \text{ (DA/m)} = 120 \text{ DA}$$

- _ 10 baguettes utilisées pour le soudage à l'arc :

$$10 \cdot 0,60 = 6 \text{ DA}$$

- _ un coffrage en bois estimé à : 150 DA

- _ 2 vitres de 4 mm d'épaisseur.

$$2 \cdot 220 = 440 \text{ DA}$$

- _ une cuve en verre agglomérée, estimer à : 800 DA

- _ 2 pots de peintures :

$$2 \cdot 25 = 50 \text{ DA}$$

- _ une feuille de zinc, pour realiser la cuve à niveau constant et la reglette : 170 DA

- _ du fer rond pour le support de la cuve à niveau constant

$$5 \cdot 15 = 75 \text{ DA}$$

- _ un flotteur à 50 DA

_ 2 m de tuyauterie en PVC, un té et deux coudes estimer
à : 260 DA

PRIX TOTALE DU DISTILLATEUR : 2121,00 DA

Dans cette étude; nous n'avons pas évalué le cout de la main-
d'oeuvre et des différentes colles qu'il faut utiliser.

Ce sera donc des valeurs à rajouter au prix total .

Dans une deuxième partie, nous estimerons le prix de revient du
litre d'eau distillée produite.

Nous allons supposer que l'entretien est assuré par le construc-
teur. On admettra que la durée de vie est de 10 ans .

On prévoit la casse de deux vitres par an, aussi on suppose que le
caoutchouc assurant l'étanchéité est renouvelé chaque année, et
que l'isolation est refaite dix fois en une année,

| | | |
|----------------------|---------|----|
| _ distillateur _____ | 2121,00 | DA |
| _ étanchéité _____ | 1060,00 | DA |
| _ isolation _____ | 2500,00 | DA |

Le montant total des frais d'exploitation en dix ans s'élève
donc à : 10081,00 DA

Si on suppose que la production journalière moyenne est de
3 litres , on recueillera en une année 1095 litres .

Le prix de revient d'un litre d'eau distillée peut donc être
évalué comme suit :

$$10081 / 10.1095 = 0,92 \text{ DA.}$$

CONCLUSION GENERALE .

Le distillateur réalisé, a donné un rendement utile d'environ 28 % , ce qui est satisfaisant, si on sait que le rendement de ce genre d'installation tourne autour de 30 à 40 % . Cela est dû , selon les spécialistes, à la coexistence de deux phénomènes inverses : l'évaporation et la condensation.

Il y a aussi le fait, que notre installation a souffert de plusieurs indisponibilités, tel le mastic d'étanchéité , qui aurait fait progresser le rendement de 5 à 7 % , ainsi que l'absorbeur qui était en mauvais état .

Rappelons que ce genre d'installation, qui utilise l'énergie solaire réalisera des gains, si on l'utilisait en grand nombre et à long terme avec un bon entretien.

Le solaire est un domaine qui promet beaucoup, surtout dans notre pays, qui est l'un des plus ensoleillé du monde, et avec un investissement réduit , on pourra réaliser son propre distillateur et produire ainsi sa propre eau distillée et permettra au pays d'économiser des capitaux qu'il investira ailleurs .

ANNEXE .

Tableau des relevées de températures .

| Temp en °C emps | T.N°01 (abso- beur) | T.N°02 (eau) | T.N°03 (vitre int) | T.N°04 (vitre ext) | T.N°05 (air- vap) | T.N°06 (fond bac) | T.N°07 (ambi- ance) |
|-----------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 00h 00 | 32.1 | 32.2 | 27.9 | 27.0 | 30.2 | 31.2 | 17.0 |
| 00h 30 | 31.1 | 31.4 | 26.9 | 26.4 | 29.4 | 30.5 | - |
| 01h 00 | 31.0 | 31.3 | 27.5 | 26.5 | 28.8 | 29.8 | 17.8 |
| 01h 30 | 29.2 | 29.3 | 25.5 | 24.8 | 27.5 | 28.8 | - |
| 02h 00 | 28.4 | 28.5 | 24.6 | 24.4 | 27.0 | 28.0 | 17.7 |
| 02h 30 | 27.5 | 27.6 | 24.4 | 24.1 | 26.1 | 27.2 | - |
| 03h 00 | 27.6 | 27.7 | 24.1 | 24.2 | 26.1 | 27.1 | 17.5 |
| 03h 30 | 27.7 | 27.9 | 24.4 | 23.7 | 25.4 | 26.6 | - |
| 04h 00 | 26.7 | 26.8 | 23.8 | 23.4 | 24.6 | 25.8 | 18.0 |
| 04h 30 | 26.2 | 26.3 | 23.1 | 23.0 | 24.5 | 25.6 | - |
| 05h 00 | 24.8 | 24.8 | 22.3 | 21.8 | 23.4 | 24.5 | 18.0 |
| 05h 30 | 25.2 | 25.3 | 22.5 | 22.3 | 23.6 | 24.6 | - |
| 06h 00 | 23.7 | 23.8 | 21.6 | 21.6 | 22.8 | 23.7 | 18.0 |
| 06h 30 | 22.6 | 22.5 | 20.8 | 20.7 | 21.8 | 22.6 | - |
| 07h 00 | 21.3 | 21.4 | 19.3 | 19.3 | 20.8 | 21.5 | 20.0 |
| 07h 30 | 15.0 | 15.8 | 17.9 | 19.5 | 20.6 | 19.2 | - |
| 08h 00 | 18.3 | 19.4 | 21.4 | 22.6 | 26.7 | 22.7 | 22.0 |
| 08h 30 | 18.9 | 19.4 | 21.4 | 22.6 | 26.7 | 22.7 | - |
| 09h 00 | 21.8 | 22.1 | 22.2 | 20.7 | 29.3 | 24.6 | 26.0 |
| 09h 30 | 27.4 | 28.1 | 26.9 | 26.3 | 33.6 | 29.7 | - |
| 10h 00 | 32.5 | 33.3 | 28.6 | 29.4 | 37.3 | 33.9 | 27.0 |
| 10h 30 | 37.4 | 37.7 | 31.8 | 28.5 | 42.5 | 39.0 | - |
| 11h 00 | 41.6 | 41.6 | 32.9 | 30.5 | 46.8 | 44.5 | 27.8 |
| 11h 30 | 46.7 | 46.1 | 37.1 | 33.6 | 51.1 | 48.7 | - |
| 12h 00 | 50.2 | 49.8 | 39.7 | 36.1 | 54.7 | 50.9 | 28.5 |
| 12h 30 | 54.8 | 54.2 | 45.4 | 40.9 | 58.3 | 55.6 | - |

ANNEXE :

Tableau des relevées de températures .

| Temp en °C emps | T.N°01 (abso- beur) | T.N°02 (eau) | T.N°03 (vitre int) | T.N°04 (vitre ext) | T.N°05 (air- vap) | T.N°06 (fond bac) | T.N°07 (ambi- ance) |
|-----------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 13h 00 | 58.1 | 58.3 | 49.6 | 44.9 | 61.7 | 57.7 | 31.0 |
| 13h 30 | 58.2 | 57.9 | 46.9 | 42.6 | 59.7 | 54.9 | - |
| 14h 00 | 60.5 | 59.9 | 48.0 | 45.2 | 61.2 | 58.4 | 30.2 |
| 14h 30 | 63.3 | 63.3 | 52.3 | 48.2 | 64.5 | 60.3 | - |
| 15h 00 | 64.9 | 64.8 | 55.0 | 49.3 | 67.4 | 62.4 | 31.0 |
| 15h 30 | 65.3 | 65.4 | 61.2 | 49.9 | 68.8 | 63.3 | - |
| 16h 00 | 66.3 | 65.9 | 62.8 | 50.8 | 70.5 | 64.0 | 29.8 |
| 16h 30 | 64.4 | 64.3 | 63.4 | 53.2 | 70.1 | 62.1 | - |
| 17h 00 | 65.2 | 65.6 | 62.7 | 53.3 | 70.4 | 62.6 | 25.9 |
| 17h 30 | 64.0 | 64.4 | 62.4 | 55.7 | 67.5 | 60.8 | - |
| 18h 00 | 61.6 | 61.7 | 59.8 | 53.7 | 64.5 | 59.8 | 25.0 |
| 18h 30 | 59.9 | 60.1 | 58.5 | 52.2 | 61.8 | 58.2 | - |
| 19h 00 | 57.4 | 57.5 | 56.8 | 46.6 | 55.1 | 55.3 | 22.0 |
| 19h 30 | 53.6 | 53.8 | 53.6 | 44.6 | 51.1 | 51.6 | - |
| 20h 00 | 51.1 | 51.3 | 51.0 | 42.6 | 48.8 | 49.3 | 21.0 |
| 20h 30 | 47.6 | 47.7 | 47.7 | 39.7 | 45.5 | 45.4 | - |
| 21h 00 | 45.2 | 45.7 | 45.4 | 38.9 | 42.9 | 43.7 | 21.2 |
| 21h 30 | 43.5 | 43.7 | 43.4 | 36.3 | 41.1 | 41.6 | - |
| 22h 00 | 41.0 | 41.0 | 41.1 | 33.7 | 38.7 | 39.4 | 21.8 |
| 22h 30 | 39.2 | 39.2 | 39.5 | 32.6 | 36.6 | 37.7 | - |
| 23h 00 | 37.6 | 37.6 | 37.8 | 31.1 | 35.3 | 36.3 | 22.0 |
| 23h 30 | 35.8 | 35.8 | 35.9 | 29.1 | 33.4 | 34.5 | - |

NOMENCLATURE .

| | | |
|------------------------|---|--|
| A (m ²) | : | aire d'une surface . |
| Bλ | : | coefficient d'extinction atmospherique . |
| Cp (kcal/kg.°C) | : | chaleur specifique . |
| D (m) | : | diametre . |
| E (w/m ²) | : | energie ou eclairement. |
| Jo (w/m ²) | : | constante solaire . |
| Ja (w/m ²) | : | flux ou densite du rayonnement absorbe. |
| K | : | conductibilite thermique . |
| I (w/m ²) | : | puissance ou irradiation energetique . |
| L (°) | : | lattitude . |
| Ma | : | parametre "masse aire optique". |
| M | : | emittance energetique. |
| | | |
| P (mbar) | : | pression |
| Q (kcal) | : | quantite de chaleur echange. |
| Rv | : | constante des gaz parfait. |
| T (°C ou °K) | : | temperature . |
| Ts | : | temps solaire . |
| Ui (m/s) | : | vitesse à l'infini . |
| W (°) | : | angle horaire . |
| | | |
| a (°) | : | hauteur . |
| a _d | : | diffusivite thermique . |
| a _b | : | absorptivite effective . |
| c (m/s) | : | vitesse de la lumiere . |
| | | |
| i | : | jour de l'année . |
| k | : | constante de Boltzman . |
| l (m) | : | longueur caracteristique . |
| q (kcal) | : | echange thermique autour du vitrage . |

n_v : indice de refraction .
 i_c ($^\circ$) : angle d'incidence .
 h : coefficient d'echange thermique global
par convection ou hauteur .

α : absorptivité .
 δ : declinaison .
 ρ : reflectivite .
 τ : transmitivite .
 λ : longueur d'onde .
 Δ : Laplacien .
 ε : emissivité .
 σ : constante de Stephan-Boltzman .
 n : efficacite .

BIBLIOGRAPHIE.

- 1 _ R . BERNARD _ G . MENGUY _ M . SCHWARTZ ,
" Rayonnement solaire, conversion thermique et application."
Edition "Technique & documentation", Paris 1980.

- 2 _ A .A . SFEIR _ G . GUARRACINO ,
"Ingenierie des systemes solaires."
Edition "Technique & documentation", Paris 1980.

- 3 _ J . R . VAILLANT ,
"Utilisation et promesses de l'energie solaire."
Edition "Eyrolles", Paris 1978.

- 4 _ L . ATOUT _ L . BENAZZOUG ,
"Etude des transfert de chaleur et de masse dans un distillateur".
Projet de fin d'etude, E.N.P (1977)

- 5 _ Mme HAMAMI ,
"Simulation des distillateur solaire à effet de serre".
These de magistere, E.N.P (1988)

