

Ecole Nationale Polytechnique
(E.N.P)

Département de Génie Mécanique

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Génie-Mécanique

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

THEME

**Etude et Réalisation d'un
Distillateur Solaire
pour le laboratoire d'Energétique**

Proposé par :

Mr Y. HALLI

Réalisé par :

Mrs BENSAM Mahdi
GAÏD Youcef

Dirigé par :

Mr Y. HALLI

SEPTEMBRE 96

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ecole Nationale Polytechnique
(E.N.P)

Département de Génie Mécanique

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Génie-Mécanique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

THEME

**Etude et Réalisation d'un
Distillateur Solaire
pour le laboratoire d'Energétique**

Proposé par :

Mr Y. HALLI

Réalisé par :

Mrs BENSIAM Mahdi
GAÏD Youcef

Dirigé par :

Mr Y. HALLI

SEPTEMBRE 96

DEDICACES

A la mémoire de mes grand parents, Mr et Mme MALIKA et

HAMID KASSOUL.

A la mémoire de mon grand père, Mr BEMOUCEZ

BENSIAM.

A ma grand mère Mme MOUMI BENSIAM.

A mes parents.

A mon frère.

A ma nombreuse et joyeuse famille.

A tous mes amis.

MARID

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A mes parents.

A mes sœurs et frères.

A ma 2^{ème} moitié EL MEZOUAR MASSOUM.

A mon frère TEWFIK.

YOUSSEF

Remerciements

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr HALLI, pour sa disponibilité et son suivi.

Nous remercions également, Mr LARBI et Mr BENMOUR pour avoir accepté de juger notre modeste travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Mr BENZIADA pour son aide et sa gentillesse et à Mr LAKHAL pour nous avoir fourni les appareils de mesure et pour nous avoir prodigué de nombreux conseils.

Nos remerciements vont aussi à Mr OULEBSIR et Mr BOUCENNA pour nous avoir aidé lors de la réalisation de notre installation.

Sans oublier nos précieux amis NABILA et SOFANE pour leur aide, leurs encouragements et leur constante disponibilité.

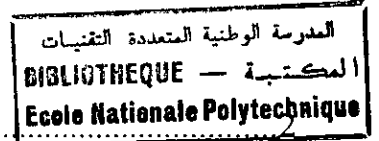
SOMMAIRE



INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: GENERALITES.....	2
I-1. Le soleil.....	2
I-2. L'eau.....	2
I-3. Les différents modes de transfert.....	3
I-4. La distillation.....	4
I-5. La condensation.....	5
I-6. La vaporisation.....	8
I-7. L'effet de serre et son application à la distillation.....	8
CHAPITRE II: ETUDE THEORIQUE.....	10
Introduction.....	10
II-1. Bilan énergétique du distillateur.....	10
II-2. Bilan extérieur.....	11
II-3. Bilan autour du verre.....	15
II-4. Bilan adopté.....	18
II-5. Productivité et rendement du distillateur.....	19
CHAPITRE III: REALISATION.....	20
Introduction.....	20
III-1. Réalisation du distillateur.....	20
III-2. Réalisation de l'installation à l'intérieur du laboratoire d'énergétique.....	22
CHAPITRE IV: ETUDE EXPERIMENTALE.....	27
Introduction.....	27

IV-1. Manipulation.....	27
IV-2. Resultats et interpretations.....	27
IV-3. Comportement énergétique du distillateur.....	40
IV-4. Rendement utile η	47
CHAPITRE V: ETUDE ECONOMIQUE.....	48
V-1. Etude économique du distillateur.....	48
V-2. Etude économique de l'installation dans le laboratoire.....	48
V-3. Estimation unitaire de l'eau distillée.....	49
CONCLUSION GENERALE.....	50

LISTE DES FIGURES ET DES GRAPHS



- Liste des figures:

Fig (I-1) Coupe schématique du soleil.....	4
Fig (I-2) Structure du champ de l'écoulement turbulent au voisinage d'une paroi solide.....	4
Fig (I-3) Principe de l'effet de serre.....	9
Fig (II-1) Représentation du transfert d'énergie dans un distillateur.....	10
Fig (II-2) Bilan autour du verre.....	15
Fig (II-3) Mouvement convectif intérieur.....	16
Fig (III-1) Vue en coupe du distillateur.....	25
Fig (III-2) Dimensionnement du distillateur solaire.....	26
Fig (III-3) Disposition du distillateur et ses annexes sur le toit.....	21
Fig (III-4) Schématisation de la cuve de stockage.....	23
Fig (IV-1) Schématisation des points de prise de température dans le distillateur.....	28

- Listes des graphes:

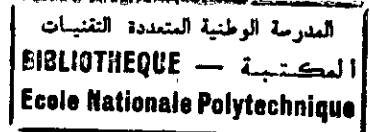
Graphe n°1 : évolution du rayonnement solaire dans la journée.....	30
Graphe n°2 : évolution de la température atmosphérique T_{atm} durant la journée.....	31
Graphe n°3 : évolution des températures T_a , T_{eau} et T_{abs} durant la journée.....	33
Graphe n°4 : évolution de la production totale du distillateur P(Est-Ouest) durant la journée.....	34
Graphe n°5 : évolution de la production durant la journée.....	35
Graphe n°6 : évolution des températures (T_a , $T_{int Est}$ et $T_{ext Est}$) durant la journée.....	36
Graphe n°7 : évolution des températures (T_a , $T_{int Ouest}$ et $T_{ext Ouest}$) durant la journée.....	37
Graphe n°8 : Comparaison de ($T_{int Est}$ et de $T_{int Ouest}$) durant la journée.....	38
Graphe n°9 : évolution de la production totale du distillateur P(Est, Ouest) en fonction de l'insolation.....	39
Graphe n°10 : évolution des productions des vitres Est et Ouest P(Est, Ouest) en fonction de la radiation.....	40

- Graphe n°11 : évolution durant la journée de la chaleur apportée par la condensation de la vapeur d'eau q_e , de la chaleur échangée par convection entre la surface de l'eau et celle du vitrage q_c et de la chaleur émise par le fond noir q_r43
- Graphe n°12 : évolution durant la journée des chaleurs absorbées et réfléchies par le couvercle vitré I_a et I_r44
- Graphe n°13 : évolution durant la journée de la chaleur emportée par le distillateur Q_m et de la chaleur perdue par convection par le bas du distillateur Q_b45
- Graphe n°14 : Comparaison de l'évolution de la chaleur reçue instantanément I et celle perdue ou absorbée Q par le distillateur.....46
- Graphe n°15 : évolution du rendement utile durant la journée.....47

NOMENCLATURE

- I_0 : intensité de la radiation solaire incidente. $[W/m^2]$
- A_b : surface du bas du distillateur. $[m^2]$
- A_c : surface du couvercle vitré (condensation) $[m^2]$
- A_p : surface insolée de l'unité de distillation $[m^2]$
- A_w : surface de l'eau (évaporation) $[m^2]$
- C_p : capacité calorifique de l'eau $[J/Kg \cdot ^\circ C]$
- h_0 : coefficient d'échange de chaleur par convection (vitre-atmosphère) $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
- h_0' : coefficient d'échange de chaleur par convection (bas-atmosphère) $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
- h_{wc} : coefficient de convection interne (eau-vitre) $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
- I : longueur d'échange (convection) $[m]$
- L : chaleur latente de vaporisation de l'eau $[J/Kg]$
- m_d : masse de l'eau distillée recueillie $[Kg]$
- t_a : température ambiante $[^\circ C, K]$
- t_{bas} : température du bas du distillateur $[^\circ C, K]$
- t_c, T_c : température intérieure du couvercle $[^\circ C, K]$
- t_{co}, T_{co} : température extérieure du couvercle $[^\circ C, K]$
- T_{eff} : température effective du ciel $[^\circ C, K]$
- t_w, T_w : température de l'eau du bassin $[^\circ C, K]$
- ε_c : émissivité de la surface du verre
- ε_w : émissivité de la surface de l'eau
- α_c : coefficient d'absorption du verre
- r : coefficient de réflexion du verre
- σ : constante de STEPHAN-BOLTZMANN $[W \cdot m^2 \cdot K^{-4}]$

INTRODUCTION



L'énergie solaire est la seule énergie inépuisable à l'échelle humaine. C'est pour cette raison que l'on assiste depuis plusieurs années à la mobilisation d'un nombre de plus en plus élevé de scientifiques dans le but d'une meilleure exploitation et d'un stockage efficace de cette énergie.

Cependant, si les moyens et les enjeux sont plus importants aujourd'hui, l'idée n'est pas neuve. Ainsi les Egyptiens avaient, les premiers, élaboré des moyens efficaces d'utiliser ce formidable potentiel.

De nos jours l'exploitation de l'énergie solaire pour la distillation d'eau salée ou fortement minéralisée n'a pas beaucoup évolué en comparaison avec l'avance technologique dans d'autres domaines. Ce qui a le plus progressé c'est la compréhension des phénomènes qui régissent ce processus ainsi que la quantification des fluctuations de ses différents paramètres.

Nous nous proposons donc d'étudier un distillateur solaire à effet de serre à toiture inclinée. Nous tacherons d'en expliquer le fonctionnement grâce à l'évolution des températures de ses éléments en fonction des conditions atmosphériques et aussi au travers d'un bilan énergétique que nous aurons préalablement établi.

Cependant, l'originalité principale de notre travail réside dans le fonctionnement autonome de notre distillateur. Celui-ci sera relié à une installation qui permettra d'alimenter en eau distillée le laboratoire d'énergétique afin de permettre le bon déroulement des travaux pratiques de transfert thermique. De plus, cette étude sera la première de ce type à être réalisée entièrement à l'Ecole Nationale Polytechnique.

Chapitre 1

CHAPITRE I: GENERALITES

I-1. Le soleil

Le soleil est une sphère principalement gazeuse, constituée de 72 à 76% d'Hydrogène et de 27 à 23% d'Hélium, le reste comportant la quasi-totalité des corps simples connus.

Comme les autres étoiles, le soleil tire son énergie de réactions thermonucléaires, principalement par transformation d'Hydrogène en Hélium.

La lumière du soleil, qui se répand sur la terre répondrait largement à la demande en énergie si elle ne s'éparpillait pas et comme il est difficile de couvrir de grandes surfaces avec des collecteurs solaires, il n'existe, de nos jours, aucun moyen d'utiliser plus d'une fraction infime de l'énergie solaire.

- STRUCTURE DU SOLEIL

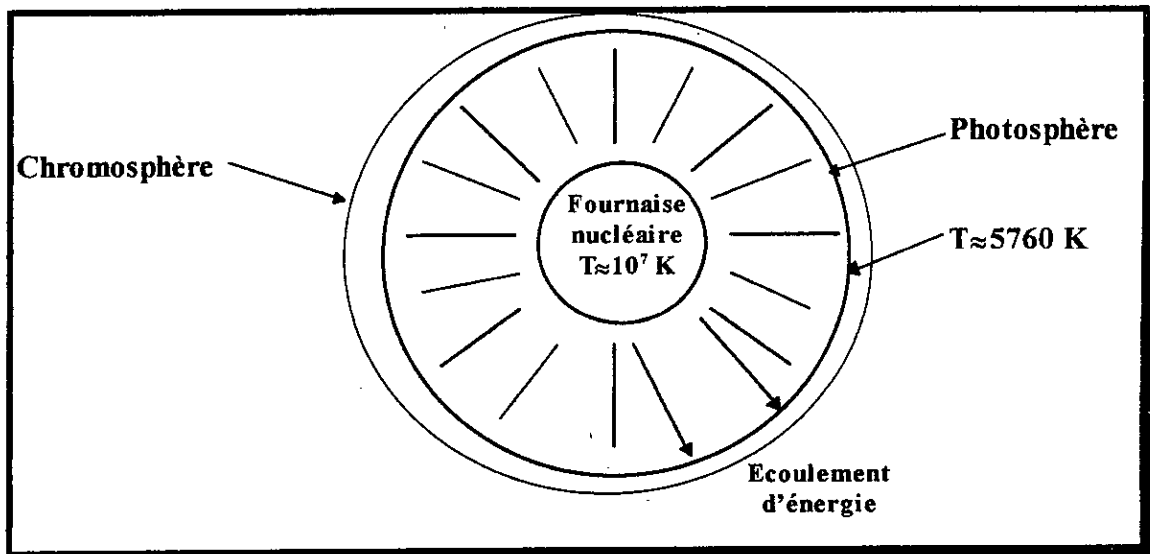


Fig I.1: Coupe schématique du soleil

La photosphère:

C'est la partie du disque visible en lumière blanche, c'est à dire celle que l'on peut voir en regardant le soleil à l'œil nu, à travers un verre fumé par exemple.

La chromosphère:

Du point de vue physique, la chromosphère, véritable plasma chaud peu dense, est un milieu extrêmement riche, parce qu'on ne peut pas encore reproduire au sol cet état particulier de la matière.

La zone de transition:

Entre la photosphère à 5760 K et la chromosphère à plusieurs millions de degrés doit nécessairement exister une zone où se fait l'échange thermique. On considère que le flux conductif est constant dans cette zone.

- Données physiques

- **Distance à la terre:** c'est le demi grand axe de l'orbite terrestre qui vaut 149598845 km soit une unité astronomique(1 UA).
- **Masse:** La masse M du soleil est de 199×10^{25} T.
- **Constante solaire et température effective:** Une surface de 1 Cm² disposée perpendiculairement aux rayons lumineux, placée hors de notre atmosphère, à la distance moyenne de la terre aux soleil(soit 1 UA) reçoit 2 calories par minutes. Cette quantité est appelée « Constante solaire ».

I-2.L'eau

Substance naturelle, liquide à la température de la plupart des régions de la terre et remarquable à tout égard, tant par son extrême abondance à la surface du globe que par ses propriétés physiques et chimiques exceptionnelles et son haut pouvoir solvant, qui font d'elle le milieu indispensable à toute vie cellulaire active.

- Propriétés physiques

Sa chaleur massique à l'état liquide est très forte, cependant que sa conductibilité thermique est également exceptionnelle. Sa chaleur de vaporisation comme sa chaleur de fusion, lorsque l'eau est à l'état solide sont élevées. Cela lui donne un rôle de régulateur thermique important à l'échelon planétaire.

Il existe différents types d'eau, entre autres, l'eau minérale, l'eau pure et l'eau thermale.

I-3. Les différents modes de transfert

I-3.1 La convection

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 [2].

$$Q_{S-F} = h \cdot A \cdot (T_w - T_i) \quad (I-1)$$

Q_{S-F} : Quantité de chaleur échangée [W].

A : Surface [m^2].

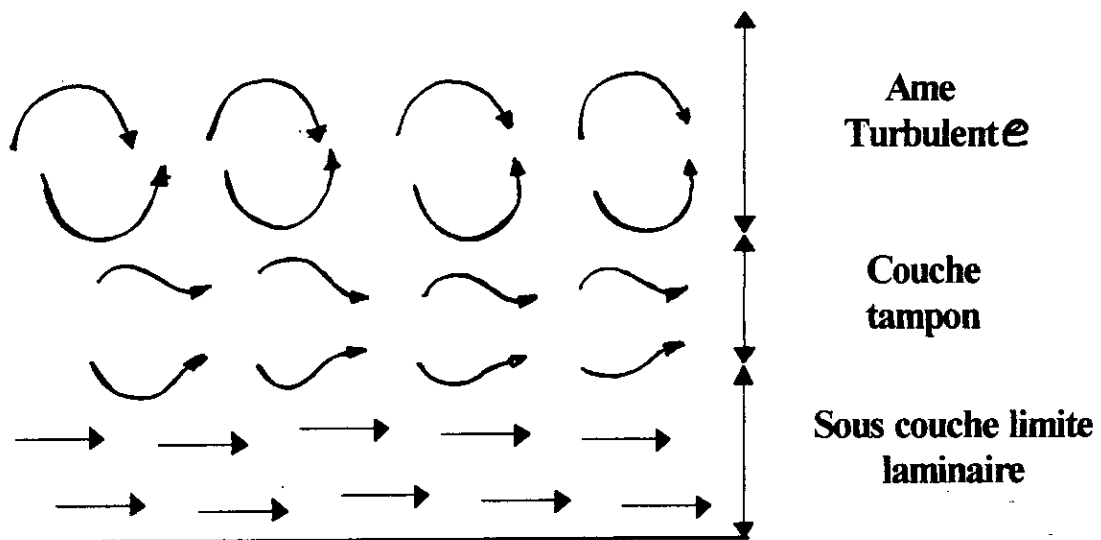
h : Coefficient d'échange de chaleur par convection [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].

T_w : Température du fluide [$^\circ C$].

T_i : Température de la plaque [$^\circ C$].

L'équation permet de définir le coefficient de convection moyen h .

Le transfert de chaleur par convection étant lié au déplacement du fluide, il est important de connaître la nature de l'écoulement (laminaire, turbulent).



FigI-2. Structure du champ de l'écoulement turbulent au voisinage d'une paroi solide.

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

- Loi de Newton

En 1701 Newton a défini la quantité de chaleur Q_c émise à partir d'une surface d'un solide vers un fluide par l'équation [2]:

$$Q_c = h_m \cdot A \cdot (T_p - T) \quad (\text{I-2})$$

avec:

A : la surface [m^2].

h_m : coefficient moyen de la convection [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$].

T_p : température de la paroi [$^\circ\text{C}$].

Le nombre adimensionnel de Reynolds qui détermine la nature de l'écoulement est défini comme suit:

$$Re = (\rho \cdot U_i \cdot L) / \mu \quad (\text{I-3})$$

avec:

Re : nombre de Reynolds [sans dimension].

ρ : Masse volumique [Kg/m^3].

U_i : Vitesse de l'écoulement [m/s].

L : Longueur [m].

μ : Viscosité dynamique [$\text{Kg}/\text{m} \cdot \text{s}$].

I-3.2 La conduction

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

- La loi de FOURRIER

En tout point d'un milieu isotrope, la densité du flux thermique instantané Φ est proportionnelle à la conductibilité thermique K du milieu et au gradient de la température T [2].

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

- Equation de la chaleur [2]

$$\Delta^2 T + 1/a \delta T/\delta t + S/K = 0 \quad (\text{I-4})$$

a: Diffusité thermique.

T: Température en [K].

S: Source de la chaleur interne d'un corps [W].

t : Temps [s].

Δ^2 : Laplacien qui est défini en coordonnées cartésiennes par:

$$\Delta^2 = \delta^2/\delta x^2 + \delta^2/\delta y^2 + \delta^2/\delta z^2$$

I-3.3. Le rayonnement

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

Si φ_i , φ_a , φ_r , et φ_t sont respectivement les densités de flux incident, absorbé, réfléchi et transmis, on appelle:

absorptivité	—————→	$\alpha = \varphi_a/\varphi_i$
réflexivité	—————→	$\Gamma = \varphi_r/\varphi_i$
transmissivité	—————→	$\tau = \varphi_t/\varphi_i$

avec: $\alpha + \Gamma + \tau = 1$

- Emission des corps réels

L'émission des substances réelles est évaluée par rapport à celle d'un corps noir placé dans les mêmes conditions de températures et pour la même longueur d'onde à l'aide du coefficient

$$\varepsilon = m/m_0$$

avec :

m: émittance d'un corps réel

m_0 : émittance d'un corps noir

- Echange entre deux plans parallèles

L'échange thermique entre deux surfaces de température T_0 et T_1 , plane et parallèle est donné par la relation:

$$\Gamma_{net} = \sigma \cdot (T_0^4 - T_1^4) / (1/\varepsilon_0 + 1/\varepsilon_1 - 1) \quad (\text{I-5})$$

I-3. 3.1. Rayonnement solaire

En raison de leur rayonnement thermique, les corps deviennent lumineux à partir d'une certaine température voisine de 773K. En ce qui concerne le soleil, dont la température d'émission est de 6000K, qui émet à la fois dans les domaines infrarouge, visibles et ultraviolet, avec un maximum très accusé au voisinage d'une longueur d'onde de $0,5\mu$.

L'étude du rayonnement thermique, nécessite la définition de certaines grandeurs, les unes relatives au rayonnement total, émis ou absorbé sur l'ensemble des longueurs d'onde, et d'autres au rayonnement monochromatique, au voisinage immédiat d'une longueur d'onde donnée.

- Corps noir

Un corps noir est un corps parfaitement absorbant sur l'ensemble des longueurs d'onde. on peut les réaliser de façon approchée en recouvrant une surface de noir de fumée; mais une enceinte vide de gaz, dont les parois sont opaques au rayonnement et percée d'un petit trou pour l'observation constitue le corps noir de façon parfaite.

Loi du rayonnement du corps noir:

Ce furent à l'origine des lois expérimentales, par la suite, le raisonnement thermodynamique a permis de les établir et de les préciser .

Loi de Stéphan-Boltzman

Cette loi fournit l'émittance totale du rayonnement d'un corps noir en fonction de sa température T [2].

$$M_0 = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{I-6})$$

$\sigma = 5.669 \cdot 10^{-8} \text{ w/K}^4\text{m}^2$ constante de Stéphan Boltzman

I-4.La distillation

La distillation est une opération qui, par chauffage, fait passer un mélange de différents corps liquides ou solides à l'état vapeur (vaporisation). Ces vapeurs, par refroidissement, sont ensuite ramenées à l'état liquide (condensation). On réalise ainsi la séparation des composants du produit initial, la distillation est donc une opération de changement de phase.

I-5.la condensation

Moment de la distillation où les vapeurs quittant le système de vaporisation sont refroidies et condensées en donnant des liquides (ou solides) appelés « condensats ». Si les condensats en totalité ou en partie sont remis au contact des vapeurs qu'ils enrichissent en produits volatils, on a le reflux.

I-6.La vaporisation

C'est le passage rapide de la phase liquide à la phase vapeur, du mélange à distiller. Elle réclame presque toujours une aide extérieure: chaleur, vide. La température de chauffage dépasse en général le point d'ébullition du mélange.

I-7.L'effet de serre et son application à la distillation

C'est la méthode la plus anciennement utilisée pour retenir les calories apportées par le soleil sur un corps qui absorbe le rayonnement.

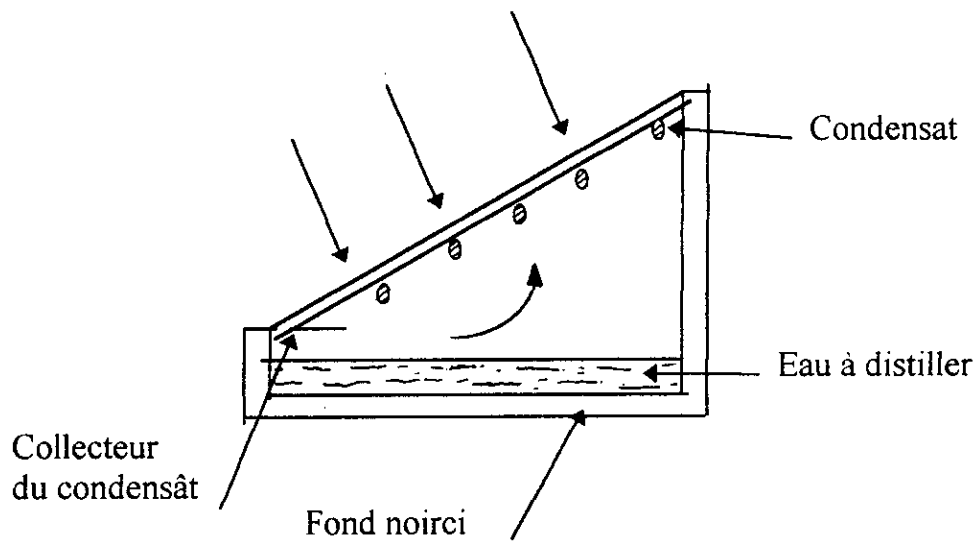


Fig I-3.Principe de l'effet de serre.

Dans le cas d'un distillateur comprenant un couvercle incliné en verre et une partie inférieure de couleur (voir fig I-3), l'effet de serre se traduit comme suit :

Le verre étant perméable aux ondes courtes émises par le soleil, celles-ci réchauffent le fond noir. Cette surface qui agit comme un corps noir absorbe la chaleur et la réémet sous forme d'infrarouges en direction du couvercle. Le verre étant opaque aux grandes longueurs d'ondes, la chaleur est piégée à l'intérieur du distillateur.

La lame d'eau sera donc réchauffée jusqu'à l'évaporation. La vapeur en entrant en contact avec la vitre, relativement froide, se condense. L'eau ainsi distillée coule le long du couvercle pour être ensuite récupérée.

Chapitre 2

ETUDE THEORIQUE

INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons procéder à l'établissement d'un bilan énergétique global du distillateur afin de pouvoir par la suite apprécier quantitativement le fonctionnement du distillateur.

II-1. BILAN ENERGETIQUE DU DISTILLATEUR.

L'unité de distillation peut-être schématisée comme suit :

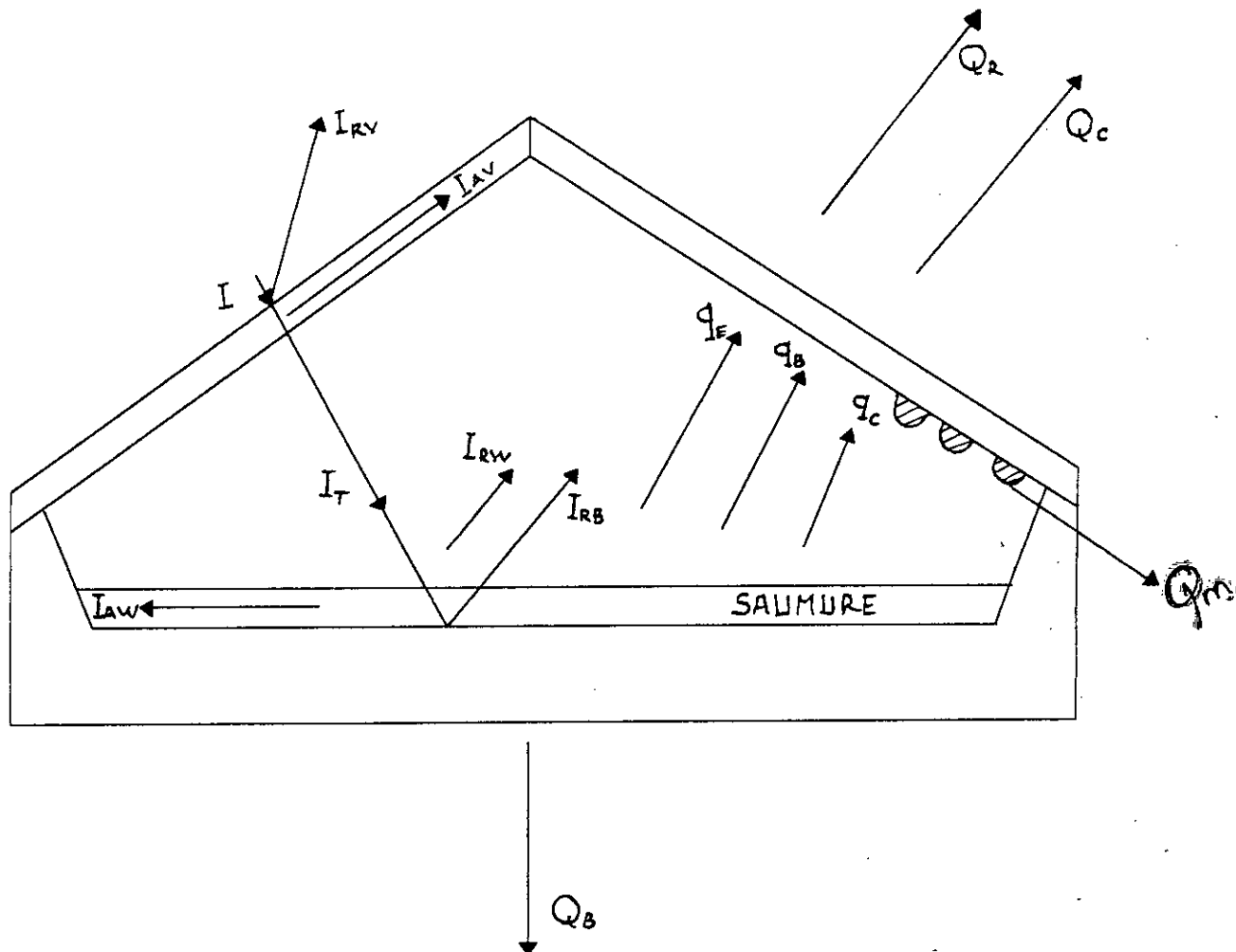


Fig II-1. Représentation du transfert d'énergie dans un distillateur

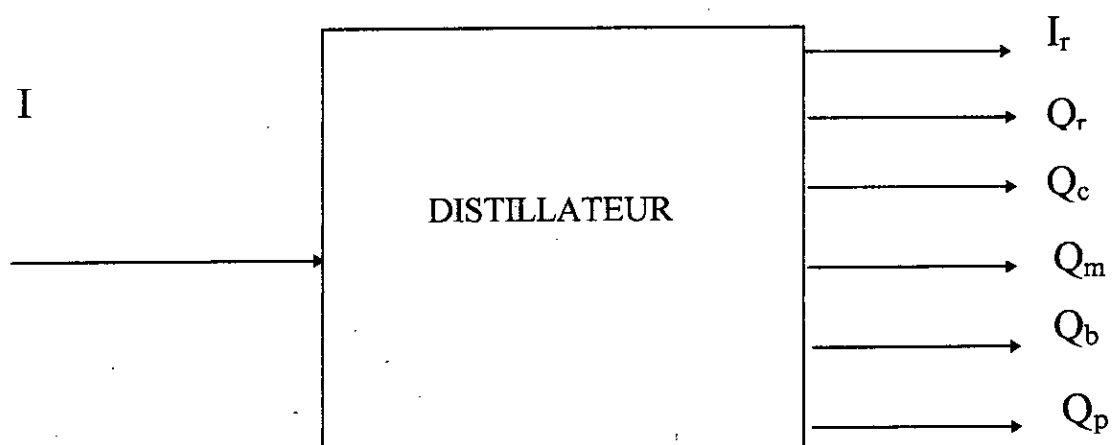
Elle reçoit de l'énergie par rayonnement direct et diffus . Cette énergie est soit transmise ,soit absorbée, soit réfléchiée par les différents éléments du distillateur (couvercle vitré , eau du bassin ,fond du bassin ...) qui vont échanger de la chaleur selon différents processus (rayonnement , convection, conduction).

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

Pour apprécier le bilan de l'énergie 'circulant' dans le distillateur , nous l'avons assimilé à un système thermodynamique ouvert, mesuré les flux d'énergie qu'il a reçu et calculé à l'aide de quelques relevés thermodynamiques les quantités de chaleur qu'il a perdues.

II-2. BILAN EXTERIEUR

Pour établir ce bilan, on choisi comme système thermodynamique le distillateur délimité par ses surfaces extérieures, on le schématise par le « flow sheet » suivant:



La relation de transfert d'énergie pour l'unité de distillateur est exprimée par l'équation suivante:

$$I = I_r + Q_r + Q_c + Q_m + Q_b + Q_p \quad (\text{II-1})$$

Les différents termes qui interviennent dans cette équation sont :

- Energie reçue par le distillateur I:

Cette énergie est proportionnelle à la projection horizontale de la surface totale A_p du distillateur.

On pose

$$I = I_0 A_p \quad (\text{II.2})$$

où I_0 est l'intensité de la radiation solaire globale (directe et diffuse) mesurée à l'aide d'un pyranomètre.

On définit de la même manière l'énergie de radiation solaire réfléchie qui est proportionnelle à la surface A_c du couvercle

$$I_r = r I_0 A_c \quad (\text{II.3})$$

On néglige les réflexions des autres parties du distillateur.

- Rayonnement externe du vitrage Q_r :

La surface extérieure du couvercle vitré rayonne vers la voûte céleste (on néglige dans cette voûte, la surface du soleil)

$$Q_r = A_c \varepsilon_c \sigma (T_{ce}^4 - T_{eff}^4) \quad (\text{II-4})$$

La Température effective du ciel dépend du site, mais selon Cooper [7] elle est inférieure de 12°C à la température ambiante durant la journée .

- Convection externe du vitrage Q_c :

La quantité de chaleur perdue par convection est :

$$Q_c = h_e A_c (t_{ce} - t_a) \quad (\text{II-5})$$

Nous avons choisi pour coefficient de convection externe (h_e) en régime laminaire la valeur donnée par Mac Adams [3] pour des surfaces horizontales chauffées regardant vers le haut :

$$h_e = 1.14 \left(\frac{t_{ce} - t_a}{l} \right)^{0.25} \quad (\text{II-6})$$

ou l est la longueur d'échange.

Nous avons fait les hypothèses suivantes :

- La convection vitre-atmosphère est une convection naturelle car on a négligé l'influence du vent.
- Le couvercle vitré est horizontal (faible pente).
- Pertes par convection par la base du distillateur avec le milieu extérieur Q_b : cette quantité est fonction de l'isolation et est donnée par:

$$Q_b = h'_e A_b (t_b - t_a) \quad (\text{II-7})$$

h'_e est le coefficient de convection naturelle donnée par la formule simplifiée de Mac Adams [3] pour un régime laminaire dans le cas d'une plaque horizontale, chauffée, regardant vers le bas.

$$h'_e = 0,51 \left(\frac{t_b - t_a}{l} \right)^{0.25} \quad (\text{II-8})$$

- Chaleur emportée par le distillat Q_m :

$$Q_m = m_d C_p (t_d - t_a) \quad (\text{II-9})$$

- Pertes Q_p :

Elles font intervenir deux termes : les pertes non mesurables Q_1 et les pertes non calculées Q_2 .

Ceux sont essentiellement :

- Les pertes par rayonnement et convection des structures latérales externes. Elles sont minimisées par l'isolation du bassin proprement dit, de ses surfaces. D'autre part ces surfaces sont chauffées par le rayonnement solaire.

- Les pertes par rayonnement du fond de l'appareil. Il est dirigé vers le sol dont on peut, en première approximation estimer que la température est celle du milieu ambiant.

- Les pertes par fuites d'eau chaude du bassin.

- Les pertes par fuites de vapeur vers l'atmosphère.

- Les pertes par fuites du distillat autre que la partie qui retombe dans le bassin (cette partie n'intervient pas dans le système que nous avons délimité).

L'équation (II-1) peut s'écrire, en remplaçant chaque quantité par son expression :

$$A_p I_0 = r A_c I_0 + A_c \varepsilon_c \sigma (T_{ce}^4 - T_{eff}^4) + h e A_c (t_{ce} - t_a) + m_d C_p (t_b - t_a) + h'_e A_b (t_b - t_a) + Q_1 + Q_2 \quad (\text{II-10})$$

Il est difficile d'approcher les valeurs exactes des quantités de chaleur (Q_r) et (Q_c) perdues par la vitre. En effet, ces deux quantités sont fonctions des températures extérieures qui sont influencées par les conditions atmosphériques (vent, nuage,...) et qui varient plus rapidement que les températures internes du distillateur.

De plus, estimer la température effective du ciel intervenant dans l'expression de Q_r et calculer le coefficient de convection externe à partir de mesures incertaines risque d'entraîner des erreurs appréciables sur le bilan.

Par conséquent, nous allons déterminer ces deux quantités en les calculant à partir des énergies internes du distillateur c'est à dire en définissant un deuxième système thermodynamique.

II-3.BILAN AUTOUR DU VERRE

Le système thermodynamique est le verre délimité par ses surfaces. La quantité Q_r et Q_c sont celles qui sortent du système. Le transfert d'énergie autour du couvercle vitré est décrit par la relation suivante :

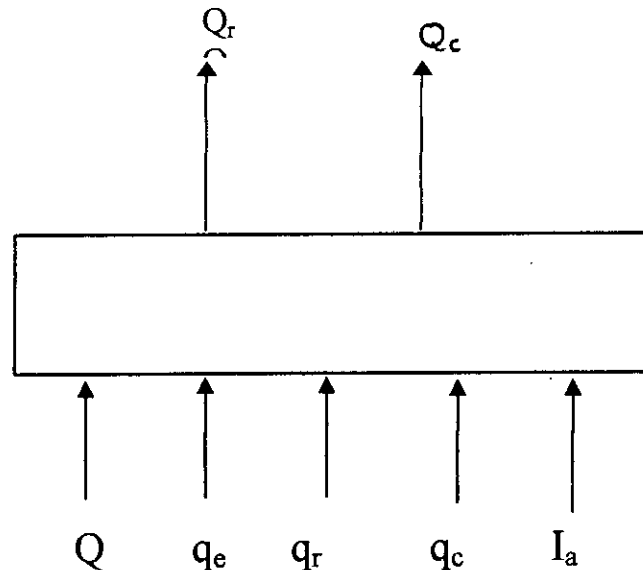


Fig II.2 Bilan autour du verre

$$Q_r + Q_c = I_a + q_e + q_c + q_r + Q \quad (\text{II-11})$$

Les termes apparaissant dans cette équation sont définis comme suit:

- La quantité de chaleur I_a absorbée par le couvercle vitré :

$$I_a = \alpha_c A_c I_c \quad (\text{II-12})$$

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

- La quantité de chaleur apportée par la condensation de la vapeur d'eau :

$$q_e = m_v L_v \quad (\text{II-13})$$

Elle est théoriquement définie comme étant le produit de la masse m_v d'eau évaporée et de la chaleur latente de vaporisation L_v de l'eau. Cette dernière est donnée par la formule de REGNAULT [3] :

$$L_v = 606,5 - 0,695 t_w \quad [\text{kcal/kg}] \quad (\text{II-14})$$

Mais si l'on suppose que toute la masse d'eau évaporée est recueillie on a alors :

$$m_v = m_d$$

où m_d est la masse de distillat recueilli, soit, à la température de l'eau t_w :

$$q_e = m_d (606,5 - 0,695 t_w) \quad (\text{II-15})$$

- Convection interne :

D'après GOMELLA [1], le mouvement convectif probable dans l'enceinte occupée par l'air humide est indiqué par le schéma suivant :

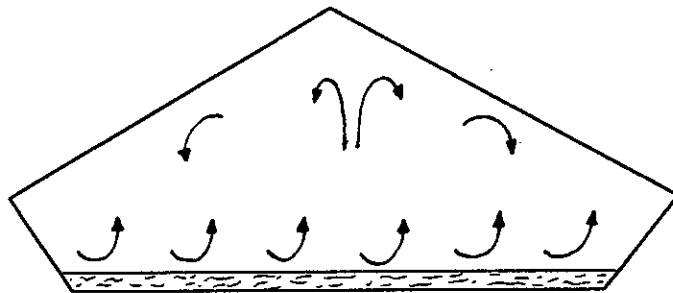


Fig II-3: Mouvement convectif intérieur

En admettant l'hypothèse d'un mouvement convectif intérieur tel qu'il est représenté sur la figure (II-3), q_c représente la quantité de chaleur échangée par convection entre les surfaces de l'eau et celle interne du vitrage.

Il est clair que le facteur réalisant cette convection est le mélange air sec + vapeur d'eau. Ce mouvement du mélange est dû au fait que la température de l'eau est supérieure à la température interne du vitrage.

$$q_c = h_{w c} A_w (t_w - t_c) \quad (\text{II-16})$$

Le coefficient de convection interne $h_{w c}$ est établi par Lof [8] comme étant une fonction des températures de l'eau du bassin et de la surface interne de la vitre :

$$h_{w c} = (0,123t_w - 3,818)(t_w - t_c)^{1/3} \quad (\text{II-17})$$

- Rayonnement interne :

L'énergie de la radiation infrarouge émise par la surface de l'eau du bassin et totalement absorbée par la vitre est donnée par la formule :

$$q_r = A_w \varepsilon \sigma (T_w^4 - T_c^4) \quad (\text{II-18})$$

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

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \quad (\text{II-19})$$

- Le terme Q comprend :

- les quantités de chaleur apportées par conduction et convection des structures internes du distillateur avec la surface interne de la vitre par l'intermédiaire du mélange humide.
- le rayonnement de ces mêmes structures vers la vitre.

En remplaçant chaque terme du second membre de l'équation (II-9) par son expression nous obtenons :

$$Q_r + Q_c = \alpha_c A_c I_0 + m_d L + h_{wc} A_w (t_w - t_c) + \varepsilon \sigma A_w (T_w^4 - T_c^4) + Q \quad (\text{II-20})$$

Nous avons supposé négligeable le rayonnement d'une vitre à l'autre et les pertes de chaleur dues à la chute de température du couvercle à travers le film de condensat.

II-4. BILAN ADOPTE

En combinant les équations (II-1) et (II-20) le bilan extérieur devient :

$$I = I_r + I_a + q_e + q_c + q_r + Q_m + Q_b + Q_1 + Q_2 + Q \quad (\text{II-21})$$

En nous basant sur les résultats des travaux effectués par Lof [8] qui a estimé à moins de 4% la valeur de $Q_2 + Q$, nous l'avons inclu dans les pertes inexplicées. Ce qui n'aura pas une grande influence sur les résultats du bilan.

Nous posons donc :

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q$$

Le bilan final aura donc pour expression:

$$I = I_r + I_a + q_e + q_c + q_r + Q_i + Q_m \quad (\text{II-22})$$

En remplaçant chaque quantité par son expression on aura alors :

$$A_p I_0 = (r + \alpha_c) A_c I_0 + m_d L + h_{wc} A_w (t_w - t_c) + \varepsilon \sigma (T_w^4 - T_c^4) + m_d C_p (t_d - t_a) + h_c A_b (t_b - t_a) + Q_i \quad (\text{II-23})$$

II-5. PRODUCTIVITE ET RENDEMENT DU DISTILLATEUR

La productivité spécifique d'un distillateur solaire est généralement définie comme étant la quantité d'eau distillée produite par jour et par unité de surface du bassin. Elle est exprimée dans le système métrique en litres ou grammes par jour et par mètre carré.

Le terme de productivité spécifique a peu d'importance si l'on veut rendre compte des performances du distillateur car il ne tient pas compte de la radiation solaire incidente.

La définition d'un rendement journalier a une meilleure signification physique. Cette nouvelle quantité sans dimensions, est défini comme le rapport de l'énergie nécessaire pour produire une masse M d'eau distillée par jour et de l'intensité de la radiation solaire arrivant sur toute l'unité de distillation pour la même période.

$$\text{soit : } \eta = \frac{ML}{I} \quad (\text{II-24})$$

où

M = masse d'eau distillée journalière [Kg].

L = chaleur latente moyenne de vaporisation de l'eau [W/Kg].

I = intensité de la radiation solaire journalière [W].

Chapitre 3

REALISATION

INTRODUCTION:

Le dispositif que nous avons réalisé se divise en deux parties distinctes . La première se trouvant sur la terrasse du laboratoire d'énergétique est formée du distillateur et de ses annexes. La deuxième partie à l'intérieur du laboratoire est le circuit d'alimentation eau distillée des appareils de travaux pratiques de transfert de chaleur.

III .1 REALISATION DU DISTILLATEUR

Le corps du distillateur est représenté sur les figures (III-1) et (III-2) agrémenté d'un élément de stockage d'eau courante ainsi qu'un système de régulation (figure (III-3)).

- LE BATI

C'est un support simple en acier soudé à chaque extrémité. Ses dimensions sont:

Longueur: 134 cm

Largeur: 110 cm

64 cm

Hauteur:

- COFFRAGE EN BOIS

Ce coffrage est de forme prismatique. Il s'emboîte dans le bâti . Sa hauteur est de 16 cm sur les cotés latéraux et de 30 cm aux extrémités. Son rôle est de maintenir le bac et d'assurer l'isolation thermique latérale du distillateur .

- LE BAC

Il est en fibre de verre agglomérée. Sa surface a été recouverte par du goudron qui constitue un corps noir parfaitement opaque. Deux orifices effectués sur le fond du bac servent , l'un , à l'alimentation en saumure à distiller, l'autre, à la vidange et

Fig (III-2) Dimensionnement du
Distillateur Solaire

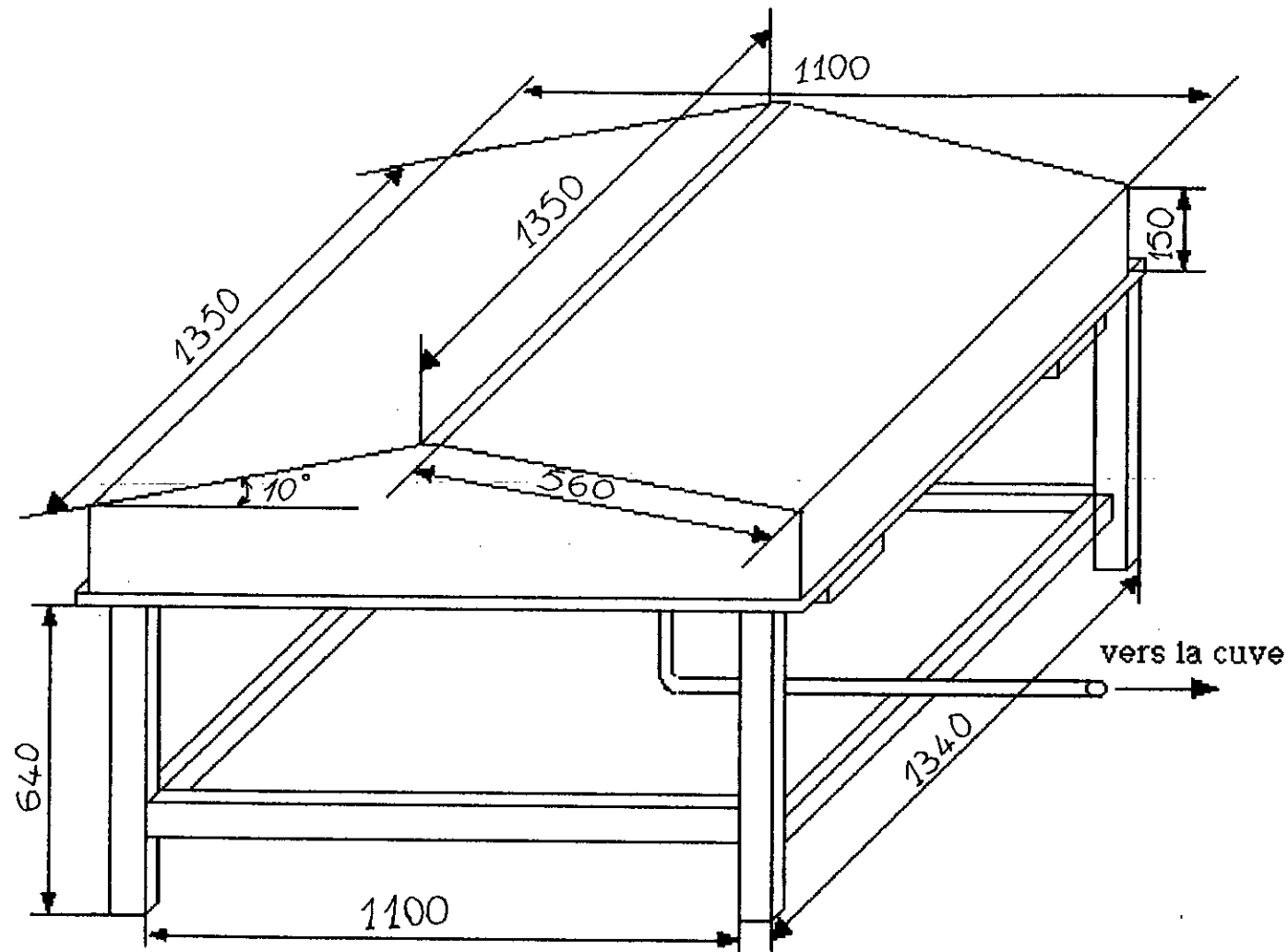
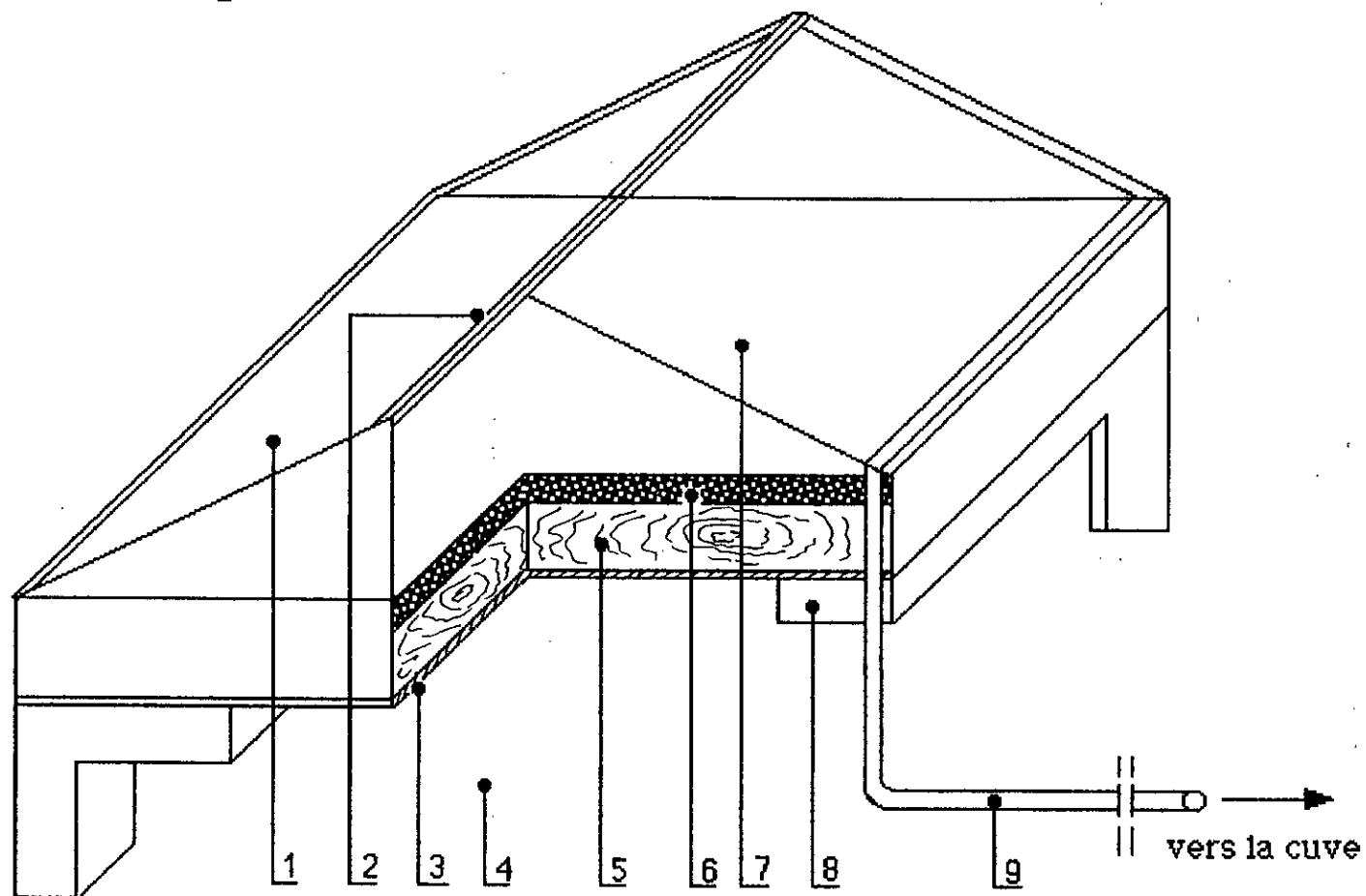


Fig (III.1) Vue en coupe du distillateur



1- toit en verre
2- joint d'étanchéité (caoutchouc)
3- contre-plaque
4- entrée de la saumure à distiller
5- isolant (liège)

6- trou de vidange
7- bac en fibre de verre
8- boîtier en bois
9- sortie du distillateur

vers la cuve

fait office de trop plein. Le bac est agrémenté de deux rigoles afin de récupérer l'eau distillée.

- TOITURE

Le toit du distillateur d'une inclinaison de 10° , est formé de deux plaques de verre de très bonne qualité. Ces plaques ont 134 cm de longueur, 56 cm de largeur ainsi que 4 mm d'épaisseur. Elles sont bien ajustées sur le bac grâce à de la colle P.V.C et des joints d'étanchéité en caoutchouc.

- SYSTEME DE REGULATION

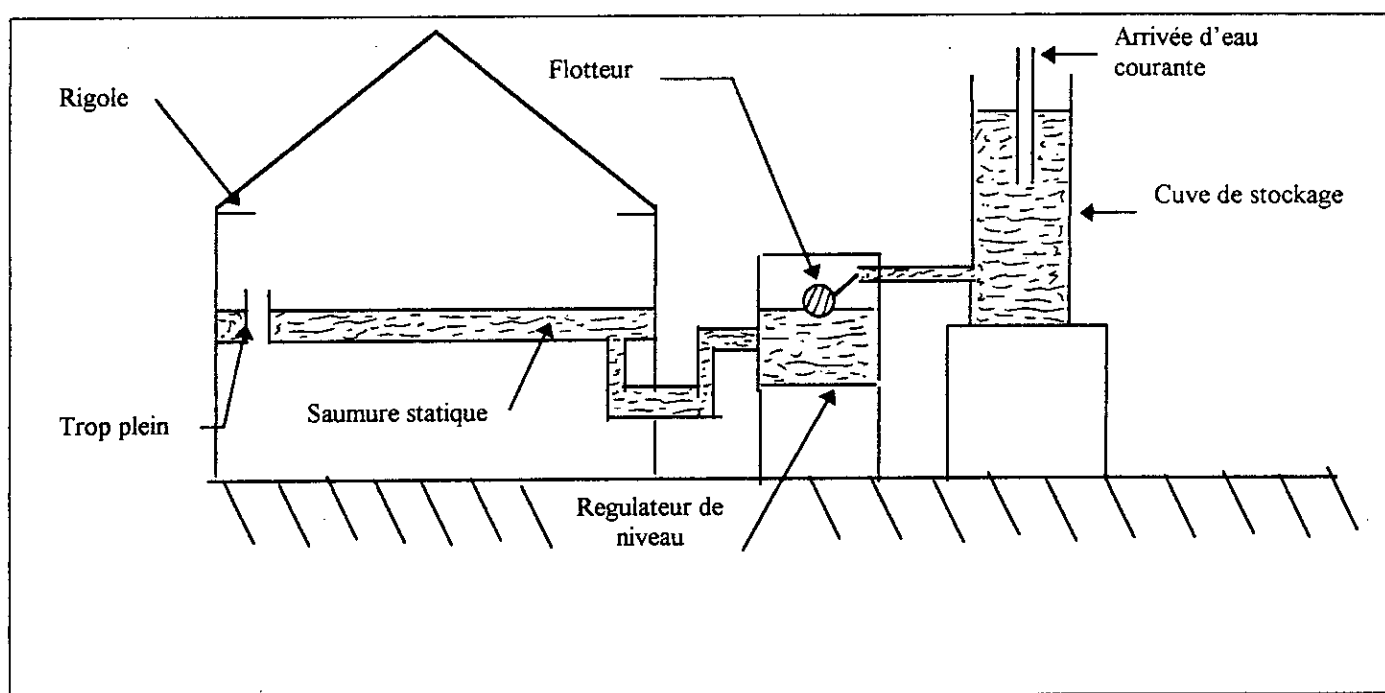


FIG (III-3) : DISPOSITION DU DISTILLATEUR ET SES ANNEXES SUR LE TOIT.

Le régulateur placé en amont du distillateur gère le débit d'eau lui parvenant. La régulation se fait donc à l'aide d'un flotteur placé à l'intérieur d'un bac de faibles dimensions (voir fig (III-3)). Grâce à ce système nous obtenons une hauteur d'eau prédéterminée à l'intérieur du régulateur et par conséquent la lame d'eau au fond du distillateur aura elle aussi une hauteur quasiment fixe. D'après des études

expérimentales, la hauteur optimalè de la lame d'eau est de 2 cm . C'est donc cette hauteur que nous avons retenue.

N.B: Nous avons placé une cuve de stockage en acier d'un volume de 100 l et ce afin de maintenir une pression constante et d'éviter le dessèchement du distillateur en cas de coupures d'eau. Cette cuve est alimentée en eau courante à partir d'un robinet situé à l'intérieur du laboratoire d'énergétique.

- ISOLANT

C'est une plaque en polystyrène de 4 cm d'épaisseur. Elle est placée sous le bac et l'isole thermiquement de l'atmosphère.

III . 2 REALISATION DE L'INSTALLATION A L'INTERIEUR DU LABORATOIRE D'ENERGETIQUE

Notre installation se compose des éléments suivants :

- UNE CUVE

Elle est en acier, à une capacité de 300 l et sert au stockage de l'eau distillée provenant du distillateur.

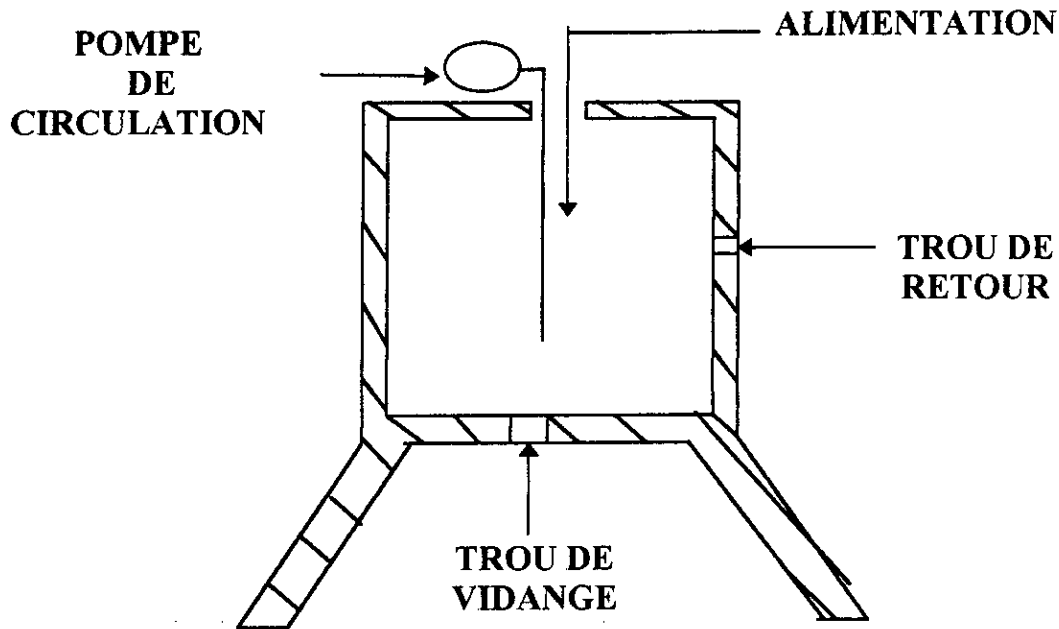


Fig (III-4) : SCHEMATISATION DE LA CUVE DE STOCKAGE

- UNE POMPE DE CIRCULATION

C'est une pompe fabriquée en ITALIE par la marque "PEDROLLO". Elle est désignée par "PK 60". Ces caractéristiques sont :

Alimentation en : 220v-50 Htz.

Hauteur d'aspiration : 7 m.

Hauteur de refoulement : 40 m.

Débit : 5 à 40 l/mn.

Cette pompe est fixée sur la cuve à l'aide de 4 boulons $\varnothing 10$. Son rôle est de faire circuler l'eau distillée de la cuve vers les appareils de travaux pratiques. A l'entrée de la pompe nous avons placé une crépine pour en assurer le désamorçage .

- UNE CONDUITE D'ALIMENTATION

C'est un circuit formé de tuyaux en P.V.C fixés au mur à l'aide de colliers disposés tous les 70 cm. Devants chaque appareil nous avons placé un raccord en té munis d'un robinet afin de gérer l'alimentation en eau distillée. Cette conduite part

de la pompe et se termine par une applique de dimensions 15/21 à laquelle est fixé un robinet.

- UNE CONDUITE DE RETOUR

C'est un circuit identique à celui de l'alimentation sauf qu'il se termine dans la cuve de stockage et ce pour récupérer l'eau distillée refoulée par les appareils.

Chapitre4

ETUDE EXPERIMENTALE

INTRODUCTION:

Le distillateur réalisé, installé et mis en marche, nous allons tenter d'en expliquer le fonctionnement détaillé. Pour y parvenir, certaines températures, l'intensité du rayonnement solaire et la production d'eau distillée ont été mesurées à des intervalles réguliers. Ce qui a permis de calculer de manière précise le bilan d'énergie régissant notre distillateur.

IV-1. MANIPULATIONS:

Comme il a été indiqué précédemment, trois types de mesures ont été effectuées: les mesures de températures, de l'intensité du rayonnement solaire et la production d'eau distillée. Chaque type de mesures a nécessité un appareillage adéquat.

Ainsi, Les mesures de températures ont été réalisées à l'aide de 8 thermocouples avec fils de jonction en cuivre, deux thermomètres à mercure ainsi qu'un galvanomètre à affichage digital PHILIPS. Les thermocouples utilisés étaient normalisés et étalonnés.

La mesure de l'insolation quand à elle, a été effectuée avec un pyranomètre intégrateur de type « *Kipp & Zonen* ».

Pour la mesure de la production d'eau distillée, on a utilisé deux éprouvettes graduées de 250 ml. Cependant, pour chaque type de mesure, il a été nécessaire d'élaborer une procédure appropriée afin d'utiliser au mieux les appareils de mesures.

-Relevé des températures

Comme nous l'avons déjà signalé, ces relevés ont été réalisés à l'aide de huit thermocouples et de deux thermomètres pour pouvoir enregistrer les dix températures suivantes :

- $T_1 = T_a$: température atmosphérique .
- $T_2 = T_{abs}$: température de l'absorbeur .
- $T_3 = T_{vap}$: température du mélange air-vapeur .
- $T_4 = T_{int\ EST}$: température de la vitre EST coté intérieur .
- $T_5 = T_{ext\ EST}$: température de la vitre EST coté extérieur .
- $T_6 = T_{int\ OUEST}$: température de la vitre OUEST coté intérieur .

- $T_7 = T_{\text{Text OUEST}}$: température de la vitre OUEST coté extérieur .
- $T_8 = T_{\text{eau}}$: température de la lame d'eau.
- $T_9 = T_{\text{bas}}$: température du bas du distillateur .
- $T_{10} = T_d$: température du distillat .

La température atmosphérique T_a et la température du distillat T_d ont été mesurées à l'aide des deux thermomètres . Le premier laissé à l'air libre et le second plongé dans l'orifice de récupération de l'eau distillée à la sortie du distillateur. Pour les huit relevés de températures restants nous avons utilisé les thermocouples. Leur emplacements sont désignés sur la figure(IV-1).

Nous avons effectué des relevés toutes les 30 mn de 9h à 17h. Nous avons rencontré des difficultés du fait que nous n'avions qu'un seul galvanomètre pour huit thermocouples. Nous devons donc mesurer les températures l'une après l'autre. Il y avait donc un décalage de une minute environ entre la première et la dernière mesure. Ce qui représente une erreur maximale de $0,3^\circ\text{C}$. On peut donc la considérer comme négligeable.

-Relevé des valeurs de l'insolation et de la production d'eau distillée

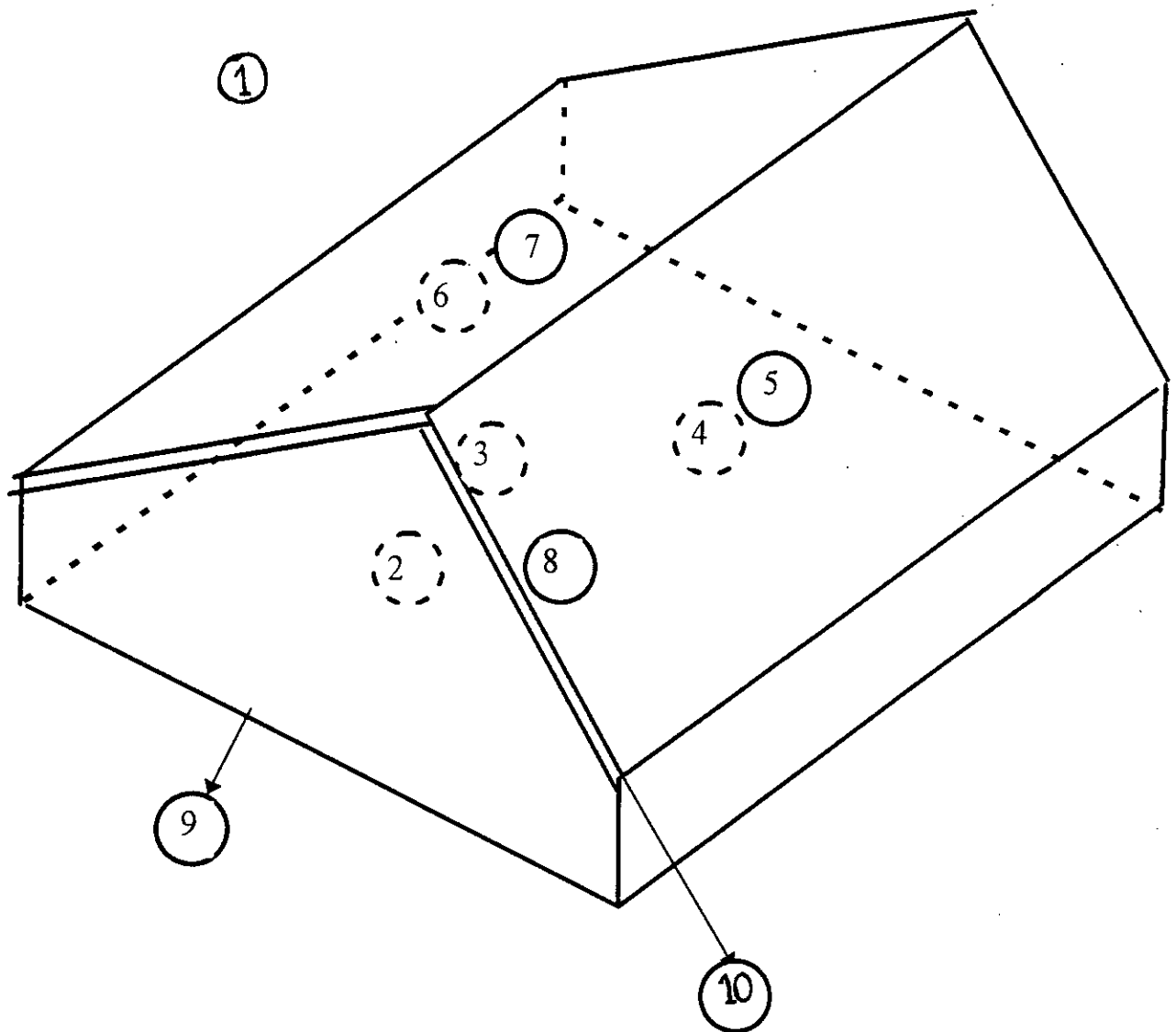
Nous avons procédé à ses relevés selon les mêmes intrvalles que ceux des températures. Nous avons donc éprouvé les mêmes difficultés car nous ne pouvions effectuer toutes les mesures au même instantant.

-Pour la mesure de la production d'eau distillée nous avons placé les deux éprouvettes graduées au niveau des orifices de sortie des deux rigoles.

-Pour l'évaluation de l'insolation , nous avons disposé le pyranomètre sur une surface parfaitement plane et ensoleillée en permanence.

N.B: Pour mesurer le débit total entre 17h et 9h, l'eau distillée a été récoltée dans un récipient vide dont le contenu a été ensuite évalué.

En conclusion, nous avons effectué plusieurs journées de mesures. Cependant, nous étions limités par certaines contraintes inhérentes aux hypothèses imposées lors de la formulation mathématique de notre bilan énergétique (Chap II).



Schématisation des points de prise de température dans le distillateur

- 1- Température atmosphérique.
- 2- Température de l'absorbeur.
- 3- Température du mélange air-vapeur.
- 4- Température intérieur de la vitre Est.
- 5- Température extérieur de la vitre Est.
- 6- Température intérieur de la vitre Ouest.
- 7- Température extérieur de la vitre Ouest.
- 8- Température de la lame d'eau.
- 9- Température du bas du distillateur.
- 10- Température du distillat.

Ainsi, nous devons étudier des journées parfaitement ensoleillées sans nuages et sans vent. Ce dernier paramètre n'était pas présent dans nos équations et nous n'avions aucun moyen de le quantifier. Il s'est donc avéré que les résultats obtenus au travers des divers journées de mesures étaient presque identiques. Nous avons donc choisi, pour notre étude, la journée la plus ensoleillée et la moins ventée (journée du 09/07/96). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau n°1.

H	Ta (°c)	T abs (°c)	Tair vap (°c)	Tv (°c) int-est	Tv (°c) ext-est	P (ml) est	Tv (°c) int-ouest	Tv (°c) int-ouest	P (ml) ouest	T eau (°c)	Tbas (°c)	Td (°c)	Lo w/cm ²
9 ^h	28.0	29.0	46.0	45.0	43.0	0	41.0	41.0	0	47.5	47.0	34.8	120
9 ^h 30	28.7	31.0	52.0	49.0	47.0	44	48.0	46.0	38	54.0	53.0	35.9	190
10 ^h	30.0	34.0	58.0	54.5	48.0	77	52.6	50.0	72	61.5	60.0	43.5	215
10 ^h 30	30.7	35.7	62.1	56.2	49.2	123	56.0	62.0	114	64.2	64.0	46.9	226
11 ^h	31.5	36.6	64.0	59.0	51.0	166	59.0	46.0	162	68.0	67.0	49.0	237
11 ^h 30	32.0	37.3	68.0	62.0	51.0	211	61.8	47.0	204	71.5	79.0	50.5	242
12 ^h	32.7	58.0	74.0	66.5	54.5	229	66.0	50.0	225	76.5	76.0	52.7	245
12 ^h 30	33.2	39.1	78.0	71.0	58.5	256	71.0	55.5	251	80.0	80.0	53.2	250
13 ^h	33.6	39.8	83.0	73.0	60.0	305	73.0	56.0	267	84.7	84.0	56.6	253
13 ^h 30	33.3	39.4	85.1	76.0	63.0	300	76.1	61.0	285	86.1	86.0	58.2	244
14 ^h	32.7	38.9	82.9	75.0	62.0	290	75.5	60.0	290	84.2	84.0	57.5	223
14 ^h 30	32.0	37.8	80.0	71.0	59.0	269	72.0	59.0	257	81.0	81.0	55.0	204
15 ^h	31.4	36.5	72.0	64.0	53.0	235	72.0	59.0	257	81.0	81.0	55.0	204
15 ^h 30	31.0	35.8	68.5	63.0	51.0	203	63.0	57.0	194	72.7	72.0	50.1	162
16 ^h	30.2	35.0	61.5	59.0	48.0	158	58.9	54.0	152	58.0	67.0	48.3	140
16 ^h 30	29.5	33.5	56	51.0	41.0	130	51.0	49.0	125	62.1	61.0	48.2	108
17 ^h	28.6	32.6	48.5	45.0	35.0	55	45.0	44.0	53	56.8	55.0	42.1	82

TABLEAU N° 1: Relevés effectués sur le distillateur.

IV-3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Nous allons tout d'abord exposer les conditions atmosphériques (Rayonnement solaire, température atmosphérique) qui représentent les facteurs extérieurs qui agissent sur le distillateur. Ensuite nous nous intéresserons au comportement thermique des éléments du distillateur à travers leurs températures ainsi qu'à l'évolution de la production d'eau distillée durant la journée. Enfin pour quantifier de manière plus concrète le

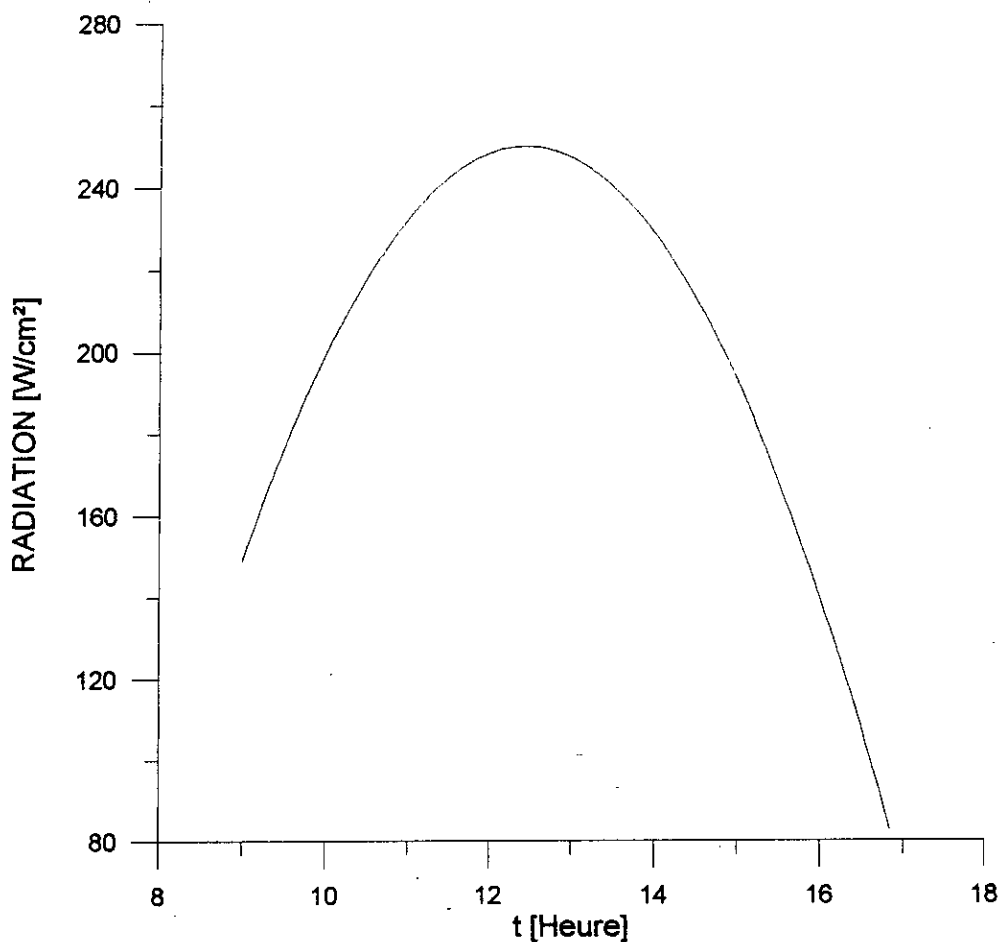
fonctionnement de notre dispositif nous procéderons à des interprétations relatives aux quantités d'énergie présentes dans le distillateur .

IV-2.1 EVOLUTION DES CONDITIONS EXTERIEURES

Comme il a été déjà mentionné , une journée très ensoleillée et sans vent a été retenue. Les conditions extérieures sont uniquement caractérisées par l'insolation et la température atmosphérique .

- Rayonnement solaire :

Le graphe n°1 qui représente courbe de l'évolution du rayonnement solaire en fonction du temps a l'allure d'une cloche . Son maximum se situe aux environs de 12h30 , et a une valeur d'environ 250 W/cm² .

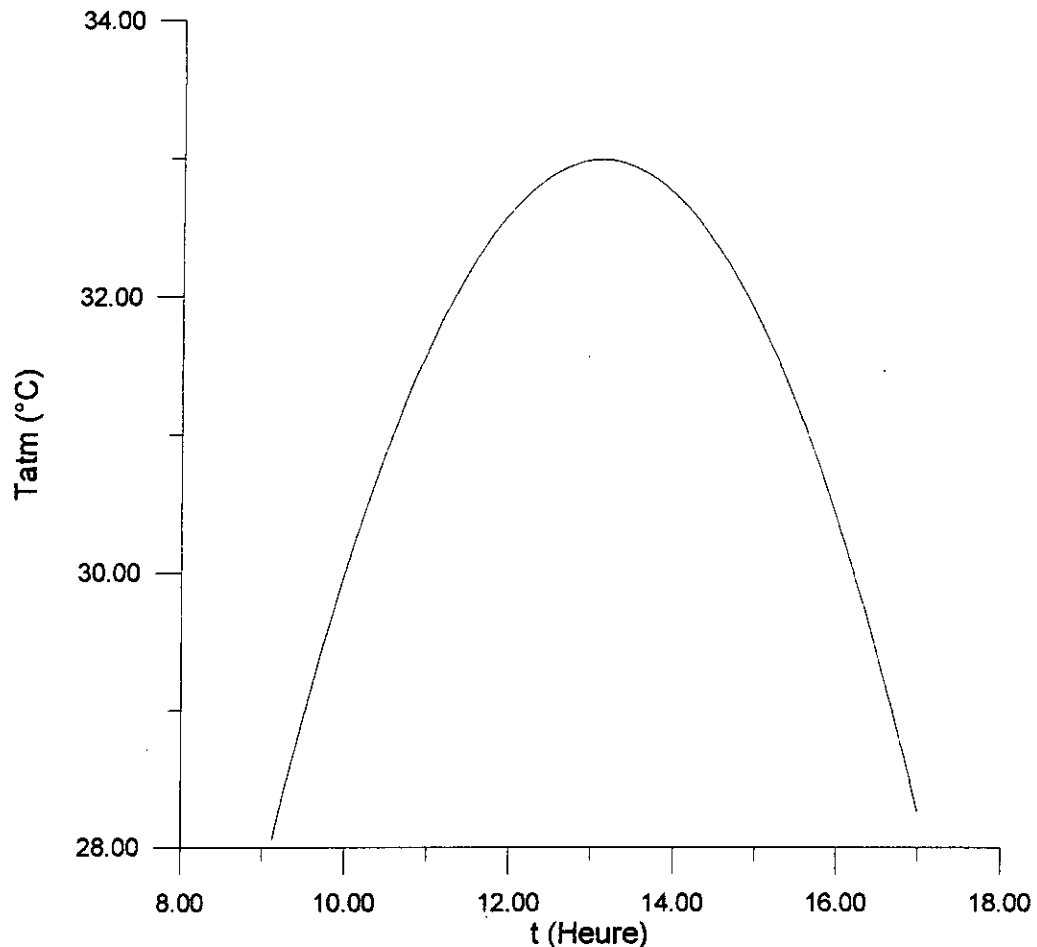


Graphe n°1: EVOLUTION DU RAYONNEMENT SOLAIRE
DANS LA JOURNEE

-Température atmosphérique(T_a) :

On constate selon le graphe n°2 que la température atmosphérique varie selon le même schéma que le rayonnement solaire.

Cependant il y a un léger décalage entre les deux maximums. Celui de la température se situe aux alentours de 13^h et on a $T_a \text{ max} = 33,6 \text{ }^\circ\text{C}$.



Graphe n°2: EVOLUTION DE LA TEMPERATURE ATMOSPHERIQUE DURANT LA JOURNEE

IV-2.2 EVOLUTION DES DIFFERENTS PARAMETRES LIES AU DISTILLATEUR :

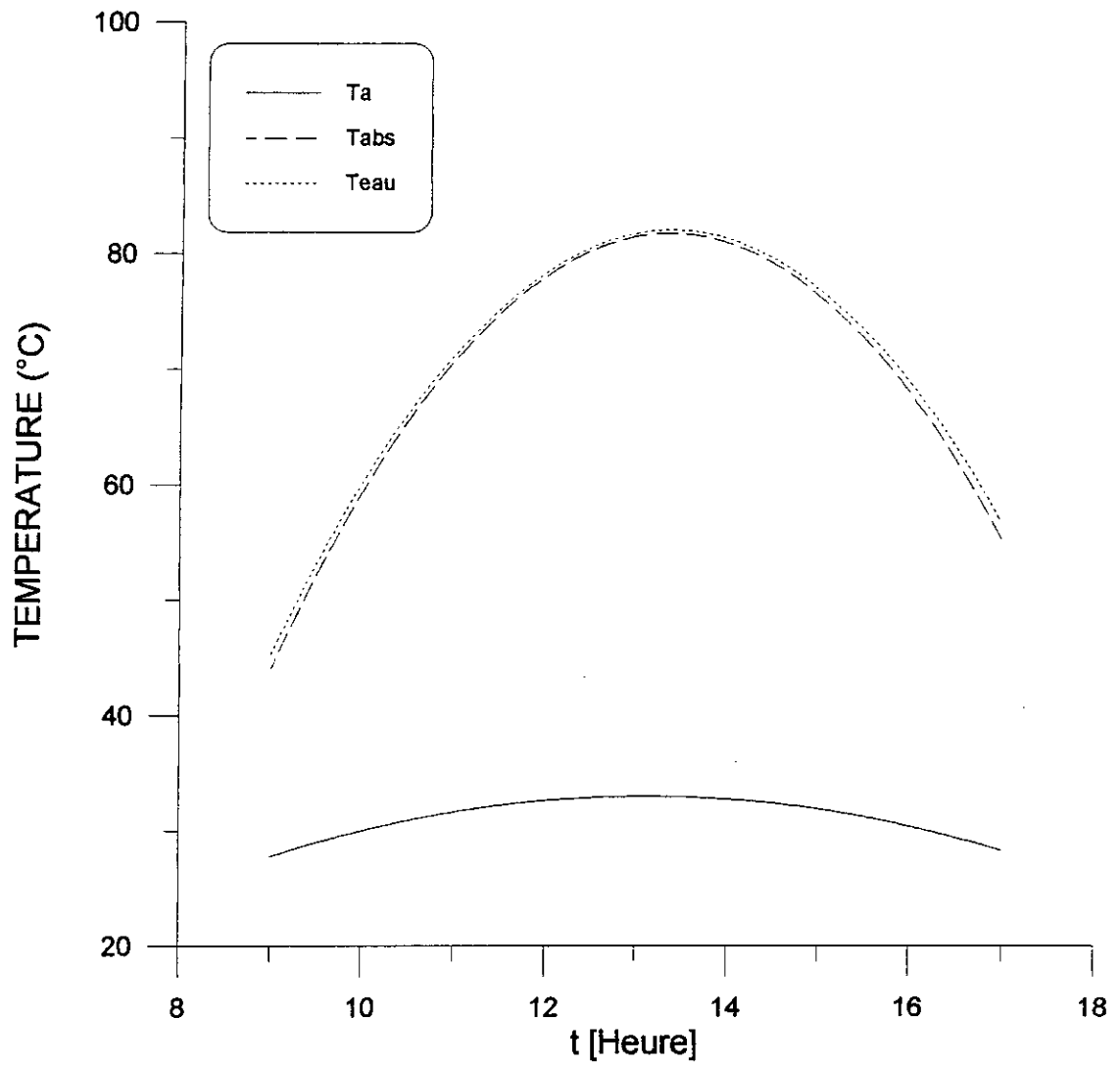
Les variations des paramètres extérieurs précédemment exposés influent sur le comportement thermique des éléments du distillateur . cette influence se traduit par une évolution des températures des composants de l'unité de distillation ainsi que par des variations du débit d'eau distillée.

Evolution de température de la lame d'eau (T_{eau}) et température de l'absorbeur (T_{abs}):

Sur le graphe n°3 , on peut voir que la température de l'eau varie de manière plus significative et plus rapide que la température atmosphérique. Cela est dû à l'effet de serre.

Il faut aussi constater que le maximum de la température de l'eau $T_{\text{eau max}} = 86.1 \text{ }^\circ\text{C}$ se situe vers 14h , donc après celui de la température atmosphérique. Ce phénomène s'explique par l'inertie thermique de la lame d'eau.

On remarque aussi que la température de l'absorbeur est pratiquement la même que celle de l'eau et ce à tout moment. L'absorbeur transmet donc toute l'énergie qui lui parvient.

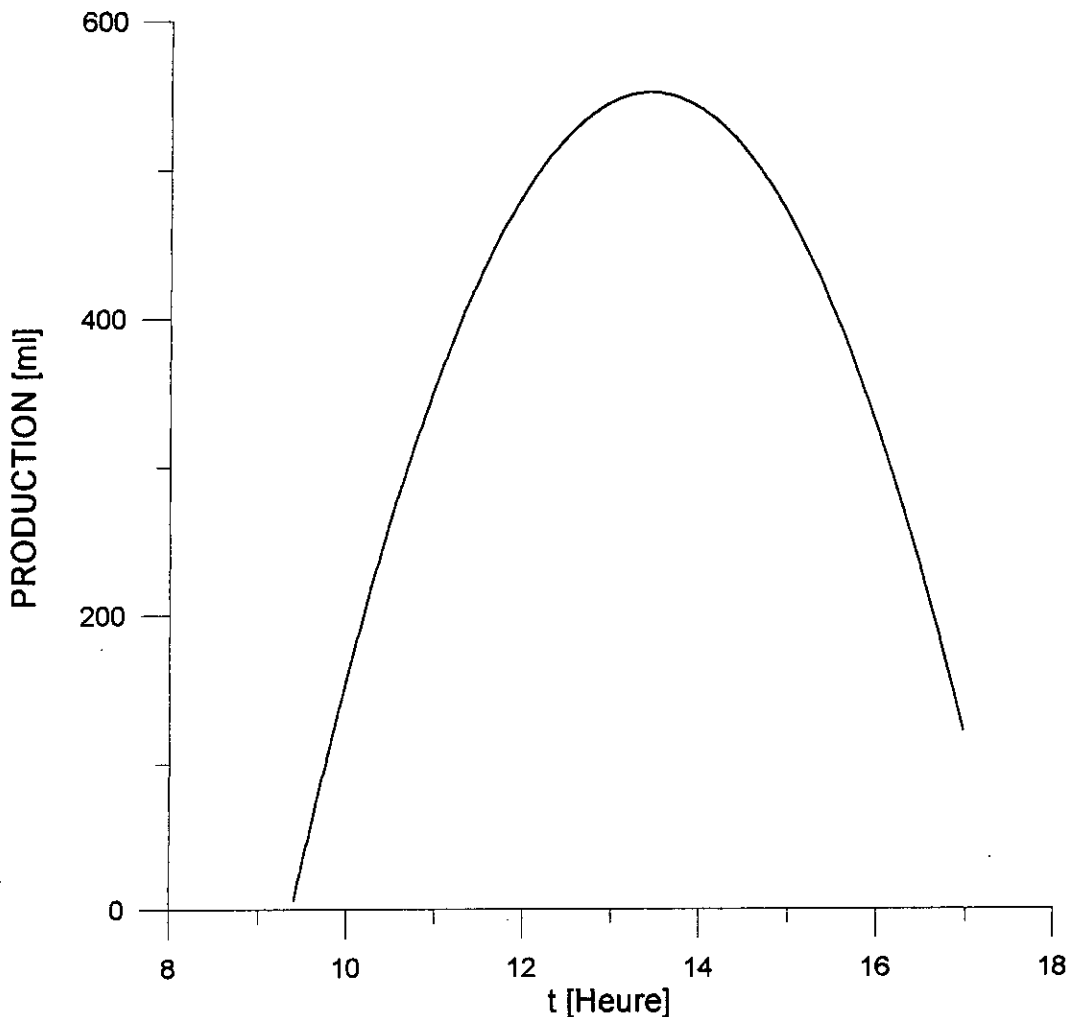


Graphe n°3: EVOLUTION DES TEMPERATURES
Ta, Teau ET Tabs DURANT LA JOURNEE

-Production d'eau distillée (P) :

La production d'eau distillée qui atteint 6 l de 9h à 17h varie avec la température de la lame d'eau de plus les deux paramètres atteignent leur maximum en même temps. La variation du débit est donc étroitement liée à l'évolution de la température de la saumure.

Pour une meilleure compréhension , il est aussi intéressant de comparer la production en eau distillée des deux vitres. Nous procéderons donc à cette comparaison tout d'abord en fonction du temps et ensuite en fonction de l'ensoleillement .

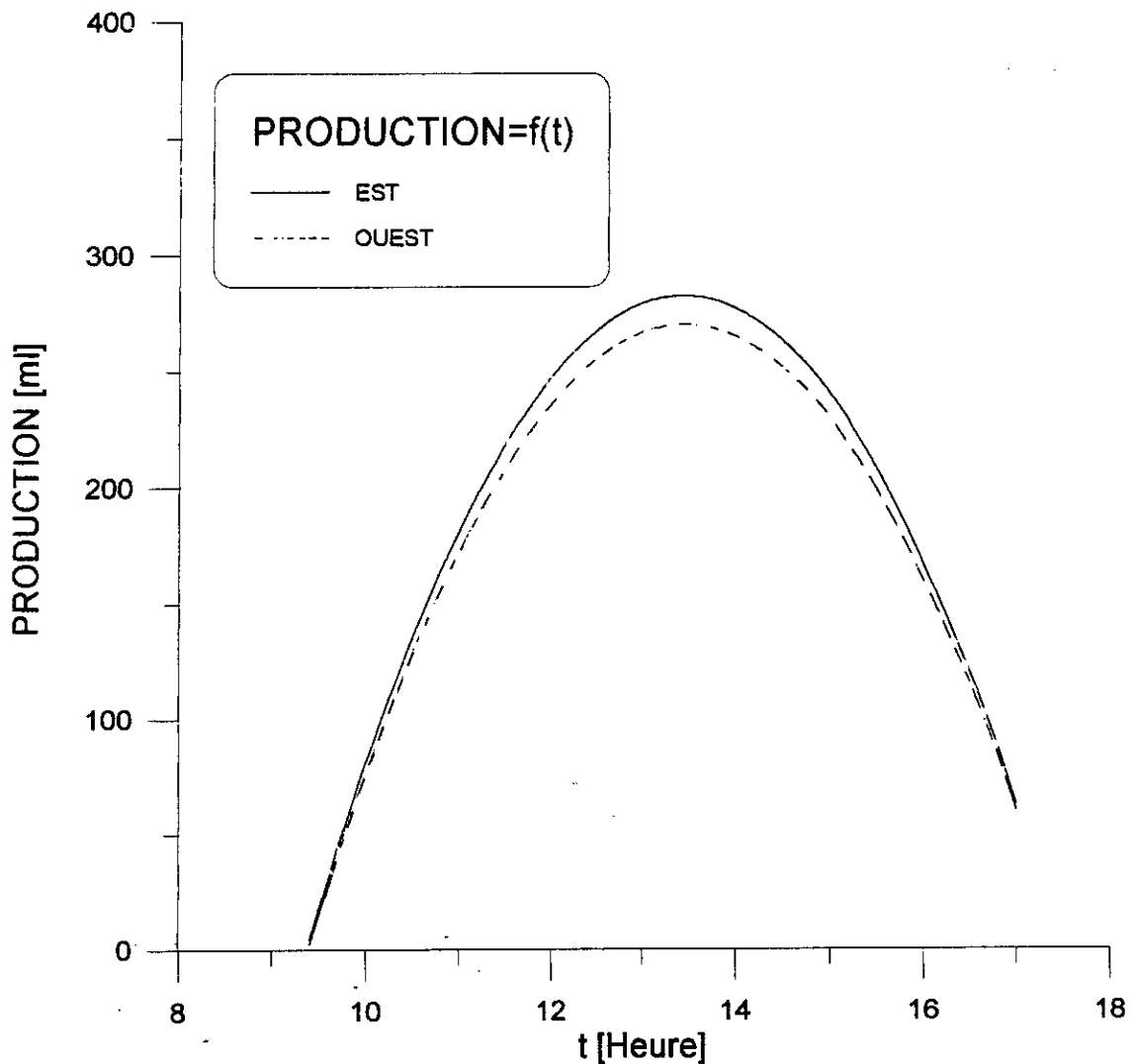


Grphe n°4: EVOLUTION DE LA PRODUCTION TOTALE DU DISTILLATEUR P(EST+OUEST) DURANT LA JOURNEE

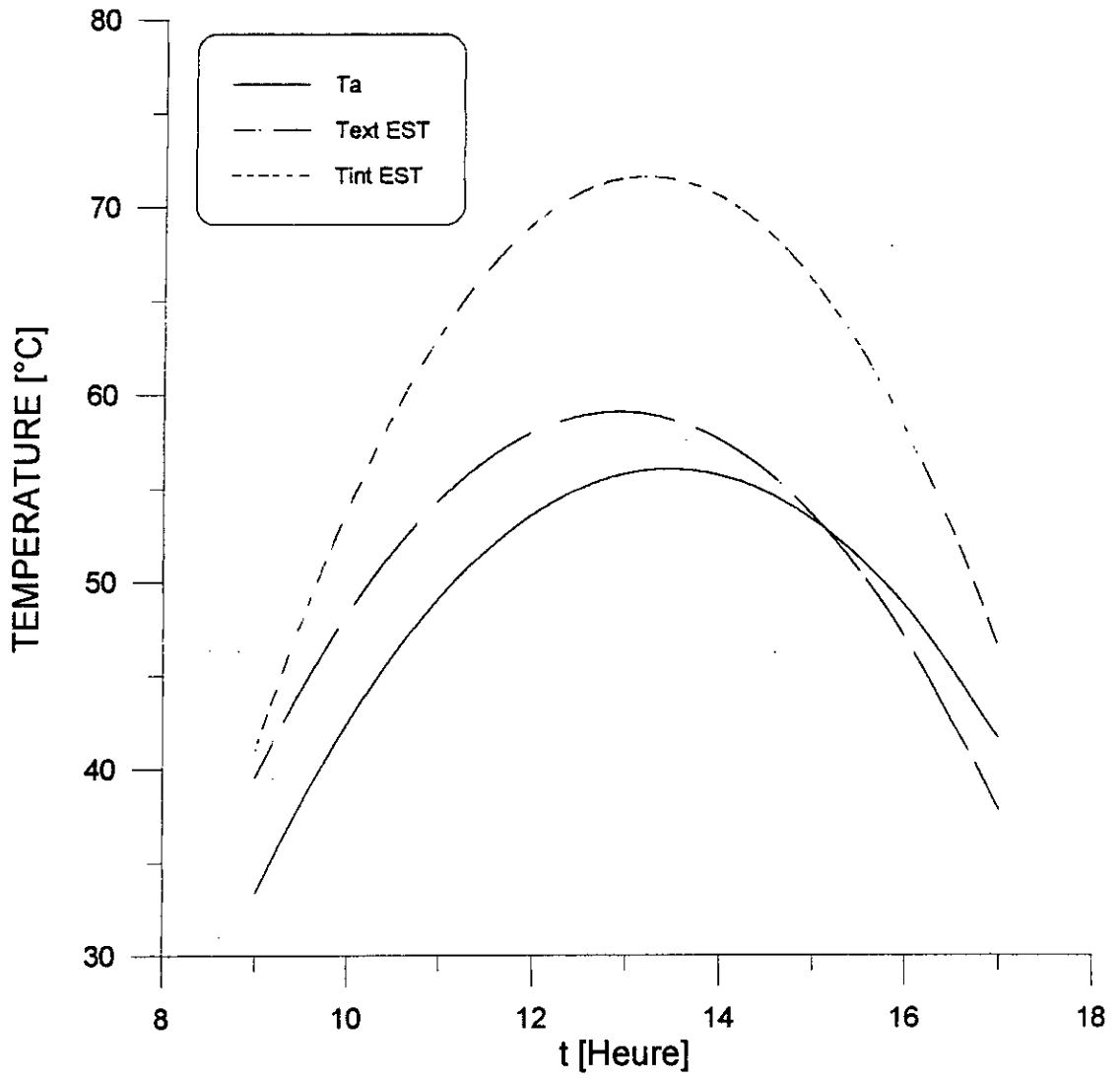
On constate que la production de la vitre Est est toujours supérieure à celle de la vitre Ouest tout au long de la journée. Ce phénomène est facilement compréhensible pendant toute la durée de l'exposition de la vitre Est au rayonnement solaire.

Cependant même après le passage du rayonnement direct de la vitre Est à la vitre Ouest, la supériorité de la production de la vitre Est persiste (Graphe n°5).

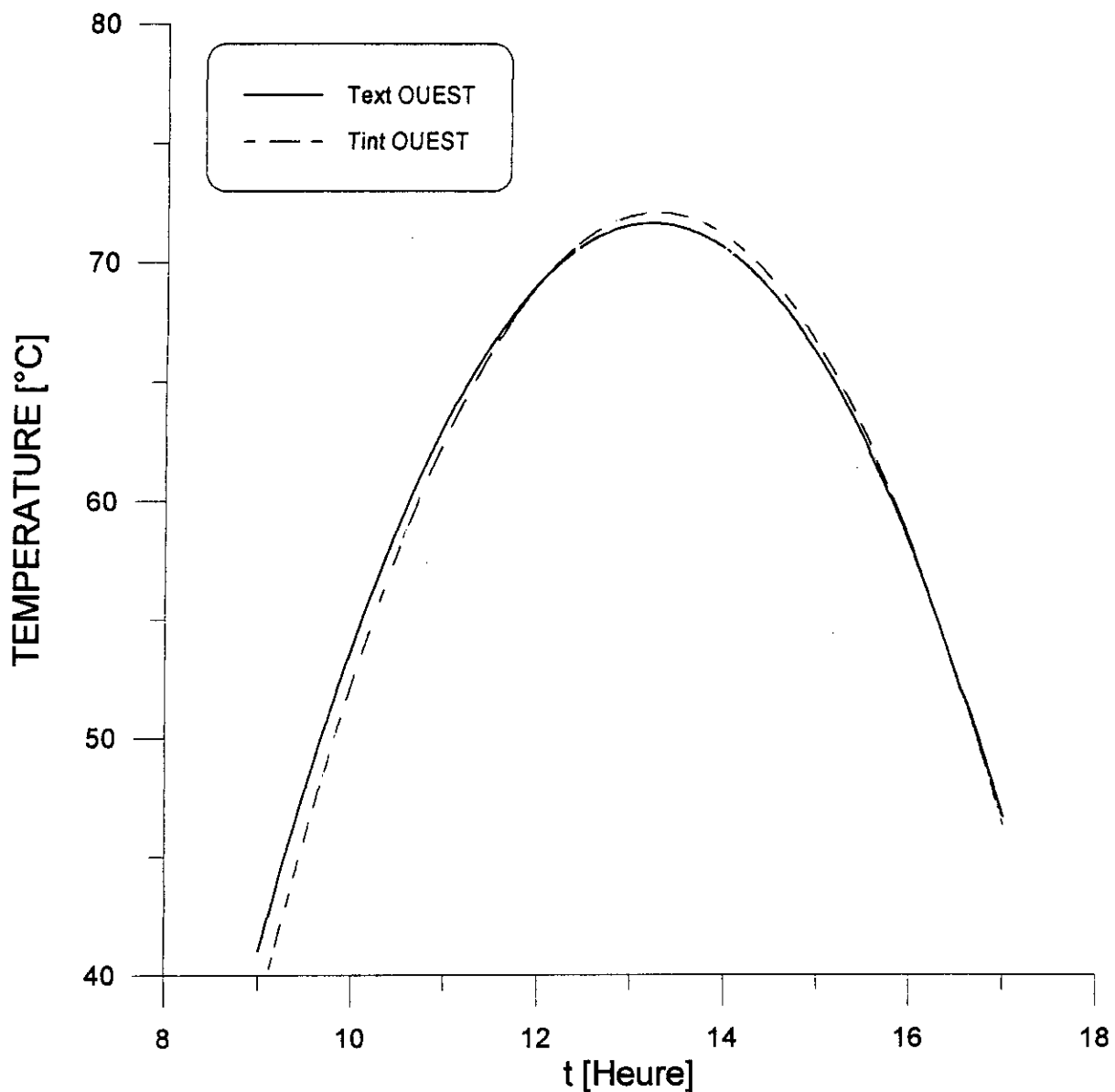
On peut donner comme explication le fait que la vitre Est stocke de l'énergie pendant la matinée et ne la perd que très lentement au cours de l'après-midi. Cela est nettement illustré sur le graphe n°8 sur lequel on constate que la température intérieure de la vitre Est reste supérieure à celle de la vitre Ouest jusqu'à 14 h environ. L'insolation est alors trop faible et décline trop vite pour que la vitre Ouest puisse atteindre un "régime" de distillation supérieur à celui de la vitre Est.



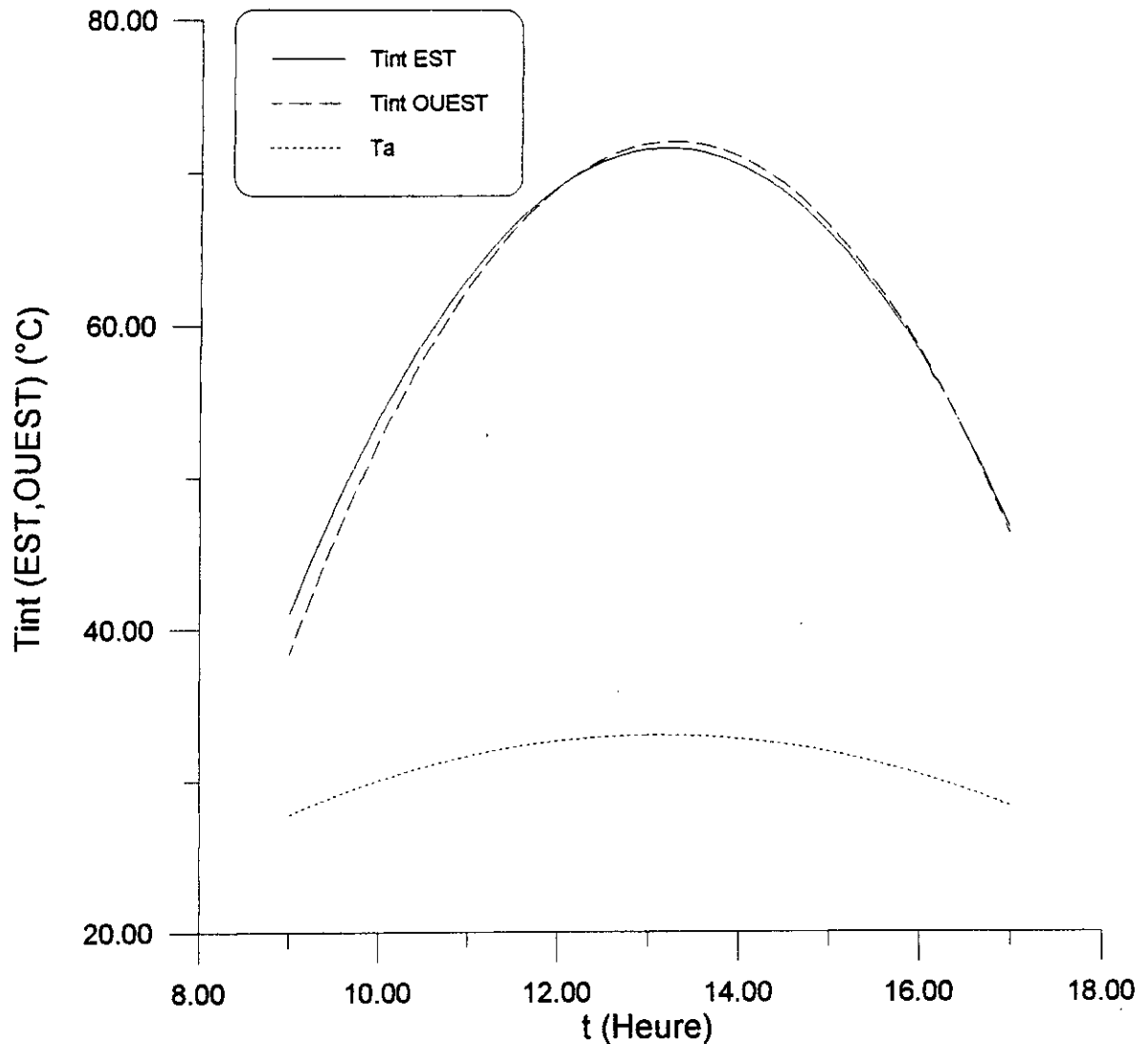
Grappe n°5: EVOLUTION DE LA PRODUCTION
DANS LA JOURNEE



Grphe n°6: EVOLUTION DES TEMPERATURES (Ta, Tint EST, Text EST) DURANT LA JOURNEE



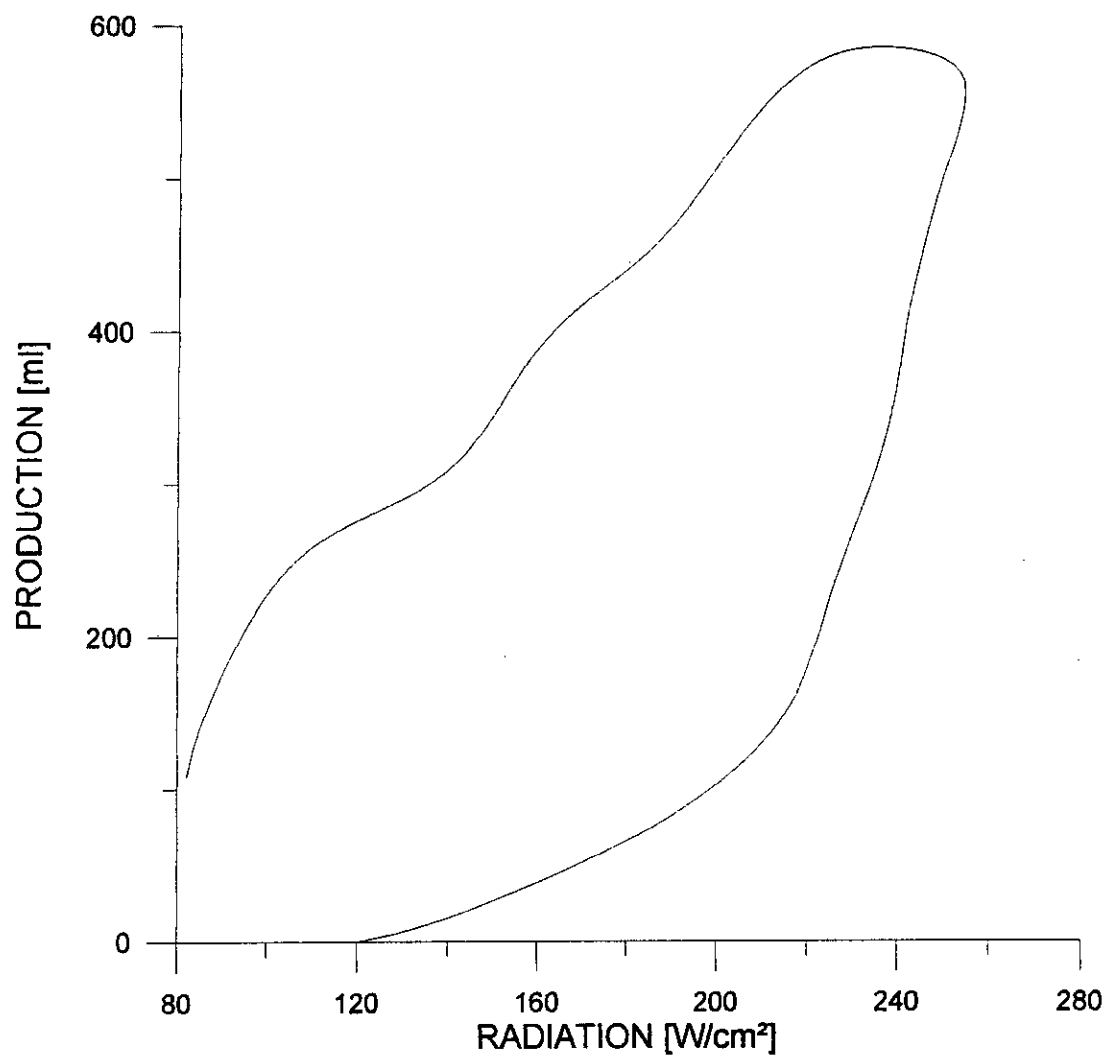
Graphe n°7: EVOLUTION DES TEMPERATURES (Ta, Tint OUEST, Text OUEST) DURANT LA JOURNEE



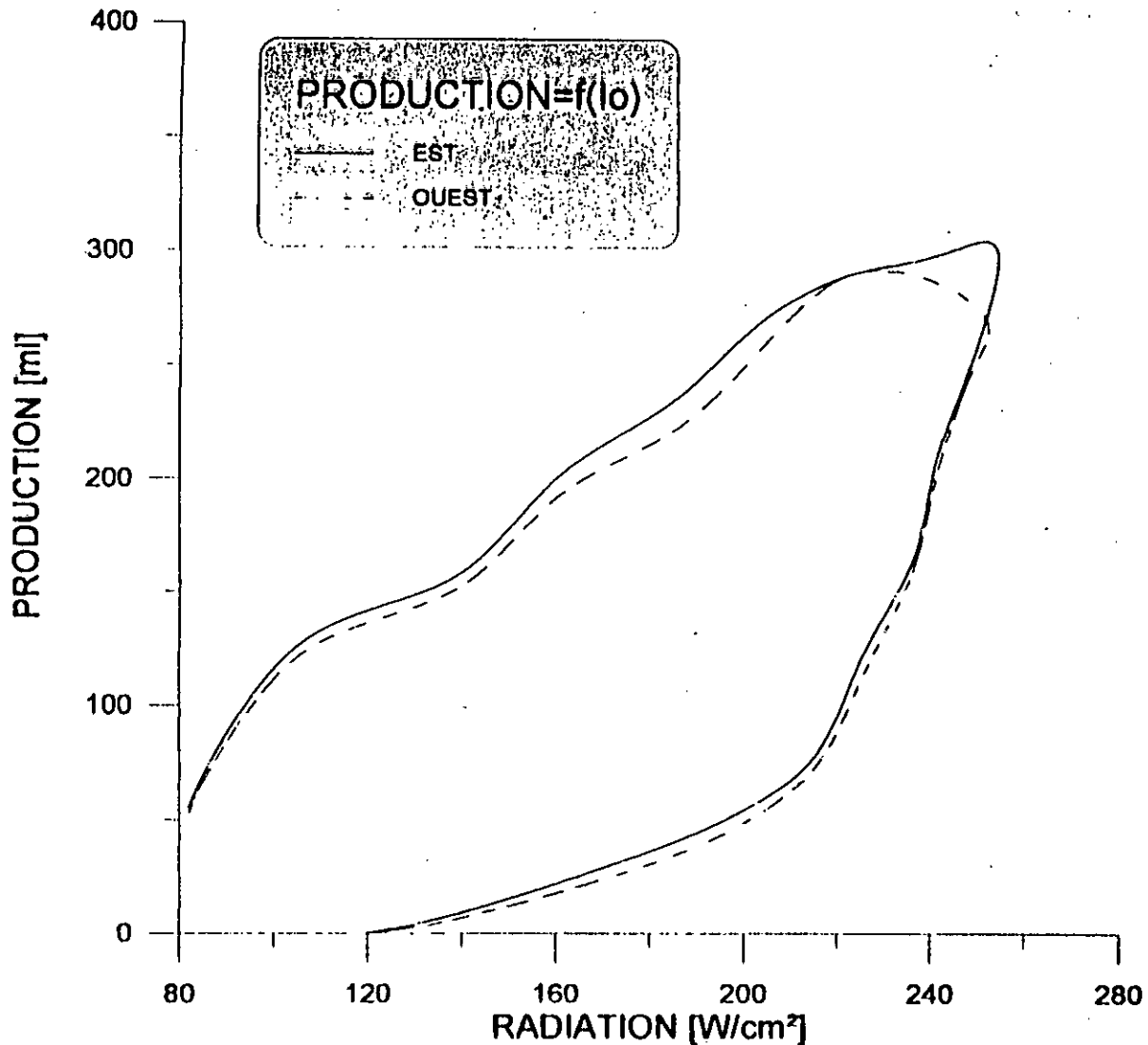
Graph n°8: Comparaison de TintEst et de TintOuest

En ce qui concerne la variation de la production en fonction de l'ensoleillement, nous pouvons faire les mêmes constatations, que précédemment. A savoir que la production de la vitre Est est toujours supérieure à celle de la vitre Ouest.

Il est cependant plus intéressant de constater que pour le même rayonnement solaire, selon le graphe n°11 la production est nettement supérieure pendant l'après-midi. Cela est dû au fait que l'énergie solaire n'est pas exploitée instantanément mais emmagasinée avant d'être ensuite utilisée. Nous détaillerons plus dans la partie suivante.



Grphe n°9: EVOLUTION DE LA PRODUCTION TOTALE
DU DISTILLATEUR P(EST+OUEST) EN FONCTION DE L'INSOLATION



Graph n°10: EVOLUTIONS DES PRODUCTIONS DES VITRES EST ET OUEST EN FONCTION DE LA RADIATION

IV-3 COMPORTEMENT ENERGETIQUE DU DISTILLATEUR:

Pour mieux illustrer les échanges énergétiques et thermiques ainsi que les pertes, nous avons injecté les résultats des mesures à l'intérieur des équations (II-2), (II-3), (II-5), (II-7), (II-13), (II-14), (II-15), (II-16), (II-17), et nous avons obtenu les valeurs exposées dans le tableau n°2 puis les graphes : n°11, n°12, n°13, n°14.

Nous pouvons constater d'après les graphes n° : 11, 12 et 13 que les diverses quantités de chaleur varient de la même manière que le rayonnement solaire mais avec un léger retard..

Ce décalage est dû à l'inertie du système. Ainsi l'exploitation de l'énergie solaire ne se fait pas de manière instantanée.

Cette énergie est tout d'abord stockée avant d'être convertie ou perdue sous différentes formes (rayonnement, convection, ...).

On remarque que la somme des chaleurs utilisées ou cédées par le distillateur est tout d'abord assez faible puis est pratiquement égale à l'énergie solaire avant d'être supérieure à celle-ci dans un troisième temps, ce qui est corroboré par le calcul des pertes à partir du tableau n°2 .

En posant: $Q_p \% = \frac{I - Q}{I}$, nous obtenons les résultats suivants:

Entre 9^h et 9^h30 :

$$Q_p \% = 52\%$$

Entre 12^h30 et 13^h :

$$Q_p \% = 7\%$$

Entre 16^h30 et 17^h :

$I < Q$

Avec :

$Q_p \%$: pourcentage des pertes.

$$Q = q_e + q_c + q_r + Q_m + Q_B + I_a + I_r.$$

On voit donc que le distillateur passe par trois phases distinctes de fonctionnement

- Pendant la première phase le distillateur se charge.
- La seconde est celle durant laquelle il est en régime permanent.
- Et finalement il y a une troisième phase de perte de régime.

A partir de 15^h30 environs, Q est supérieur à I. Ce qui est parfaitement possible, car comme nous l'avons signalé précédemment, le processus de distillation n'est pas instantané. Il y a stockage d'énergie.

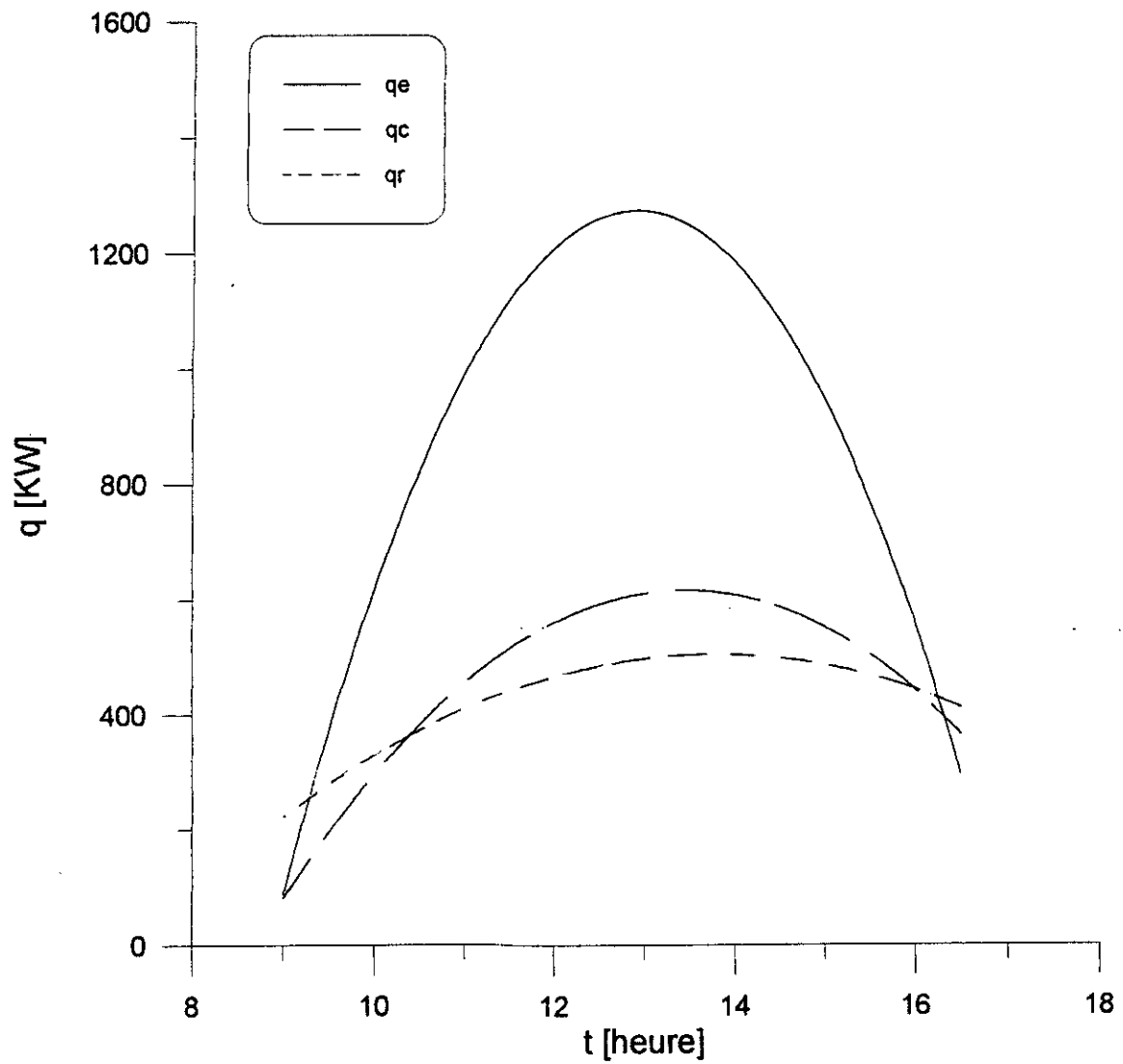
Ainsi le distillateur entre en fonctionnement ~~avant d'~~ ^{après} avoir atteint un certain seuil d'énergie emmagasinée. Il a donc toujours, durant sa période de productivité une réserve d'énergie non utilisée.

Donc la quantité de chaleur qui « fuit » le distillateur durant la troisième phase de fonctionnement n'est pas uniquement celle apportée à ce moment par le rayonnement solaire. La chaleur emmagasinée précédemment par les divers parties du distillateur viennent s'y ajouter.

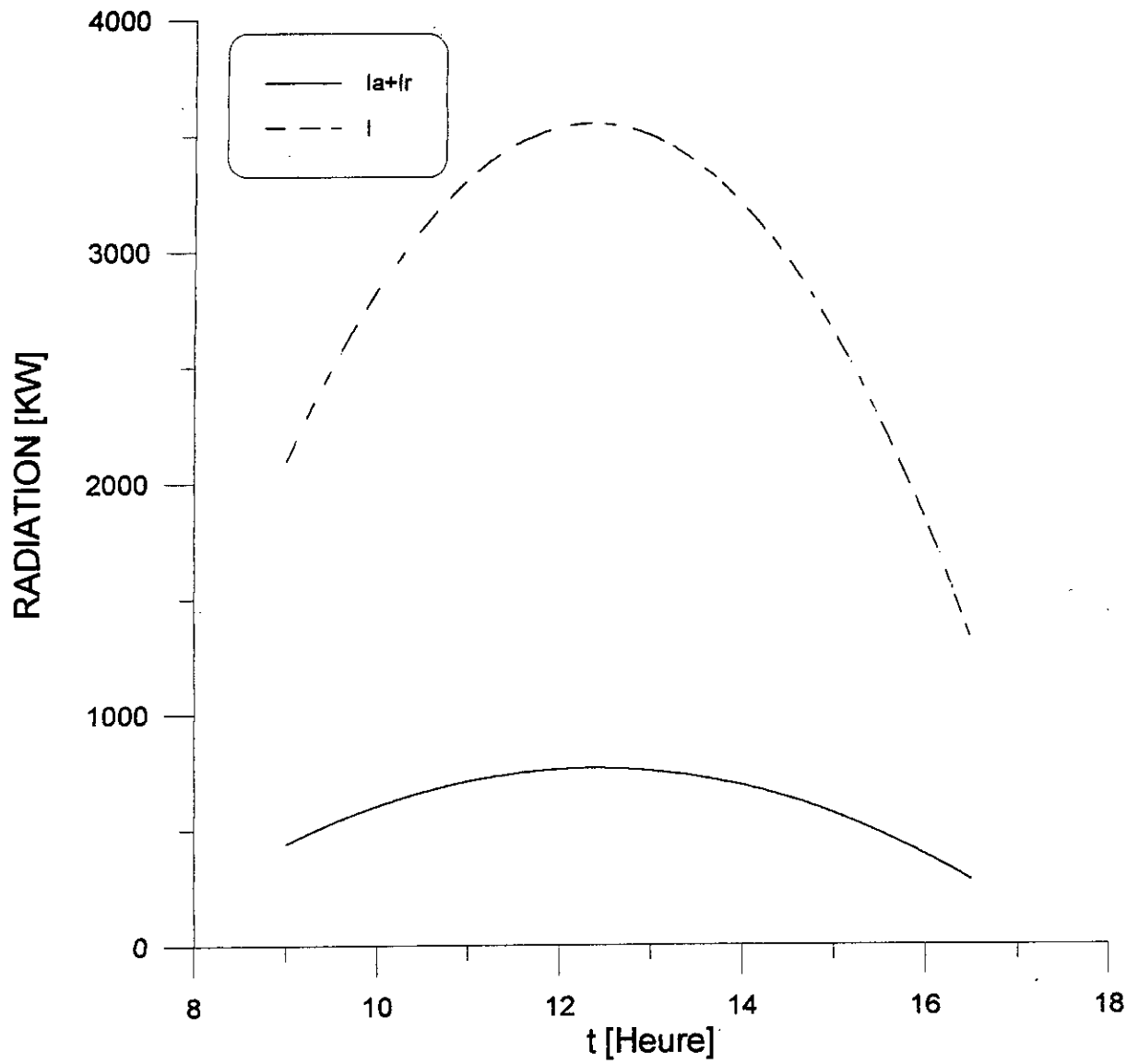
Dans ces conditions on comprend aisément que les pertes puissent être supérieures à l'insolation instantanée.

H	T _{eau} (°C)	T _d (°C)	T _c (°C)	T _{ds} (°C)	T _a (°C)	m _d Kg	I KW	q _e KW	q _c KW	q _r KW	Q _m KW	Q _b KW	I _a +I _r KW	T _{bas} (°C)
9 ^h -9 ^h 30	50.8	35.4	45.8	50.0	28.4	0.082	1797,4	195,0	95,7	193,1	2,5	3,8	362,4	30.0
9 ^h 30-10 ^h	57.8	39.7	51.0	56.5	29.4	0.149	2675,2	352,0	195,6	278,0	6,3	8,8	573,9	32.5
10 ^h -10 ^h 30	62.9	45.2	54.8	62.0	30.4	0.237	3027,2	557,2	297,2	344,9	14,6	13,8	649,2	34.9
10 ^h 30-11 ^h	66.1	48.0	57.6	65.5	31.1	0.328	3182,2	768,7	345,3	371,6	23,0	16,3	682,6	36.2
11 ^h -11 ^h 30	69.8	49.8	60.5	69.0	31.8	0.415	3336,9	969,0	430,1	418,8	31,4	16,7	715,6	37.0
11 ^h 30-12 ^h	74.0	51.6	64.1	73.5	32.4	0.454	3407,5	1055,9	518,3	461,5	36,4	64,4	731,1	47.7
12 ^h -12 ^h 30	78.3	53.0	68.7	78.0	33.0	0.507	3449,8	1174,2	547,2	465,2	42,2	66,0	739,9	48.6
12 ^h 30-13 ^h	82.	54.9	72.0	82.0	33.4	0.572	3520,0	1320,0	623,2	499,1	51,4	20,5	754,9	39.5
13 ^h -13 ^h 30	85.1	57.4	74.6	85.0	33.5	0.585	3562,2	1346,0	705,6	537,1	58,5	20,5	764,1	39.6
13 ^h 30-14 ^h	85.2	57.9	75.7	85.0	33.0	0.580	3435,5	1334,3	618,6	488,6	60,2	20,9	736,9	39.2
14 ^h -14 ^h 30	82.6	56.3	73.4	82.5	32.4	0.526	3140,0	1213,0	564,3	463,1	52,7	20,1	673,4	38.4
14 ^h 30-15 ^h	78.1	53.8	67.9	78.0	31.7	0.497	2872,5	1058,8	591,1	493,0	42,2	18,0	616,1	37.2
15 ^h -15 ^h 30	74.0	51.4	63.7	73.5	31.2	0.397	2618,8	923,4	546,3	479,0	33,4	15,9	561,8	36.2
15 ^h 30-16 ^h	70.4	49.2	61.0	69.5	30.6	0.310	2281,0	723,6	443,1	425,1	24,2	15,0	489,5	35.4
16 ^h -16 ^h 30	65.1	46.8	55.0	64.0	29.9	0.255	1881,0	598,2	422,2	434,3	18,0	13,8	395,0	34.3
16 ^h 30-17 ^h	59.5	43.7	48.0		29.1	0.112	1371,0	264,2	419,3	467,3	6,7	12,1	288,0	33.1

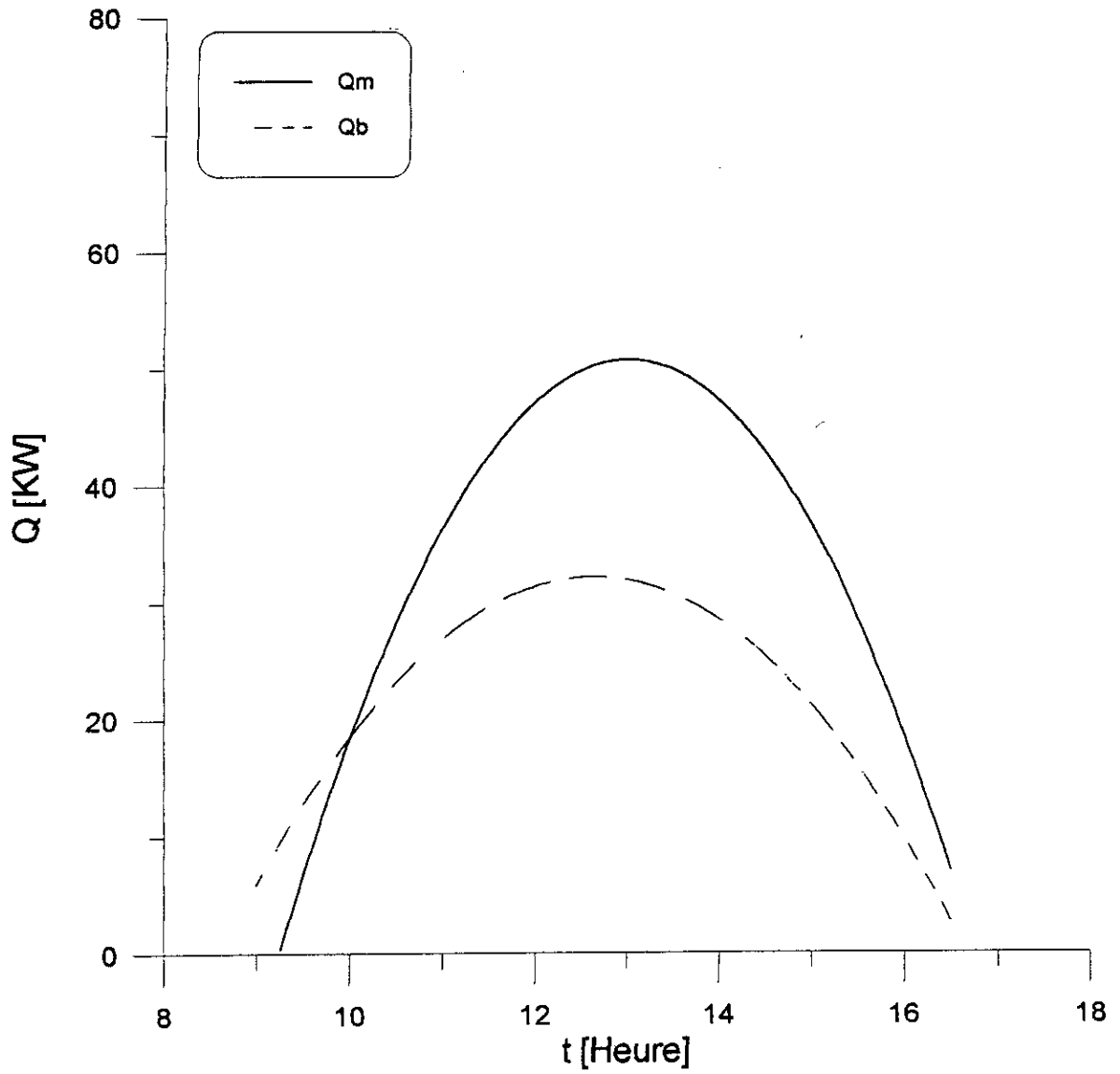
TABLEAU N° 2: Resultats des bilans d'énergie sur le distillateur



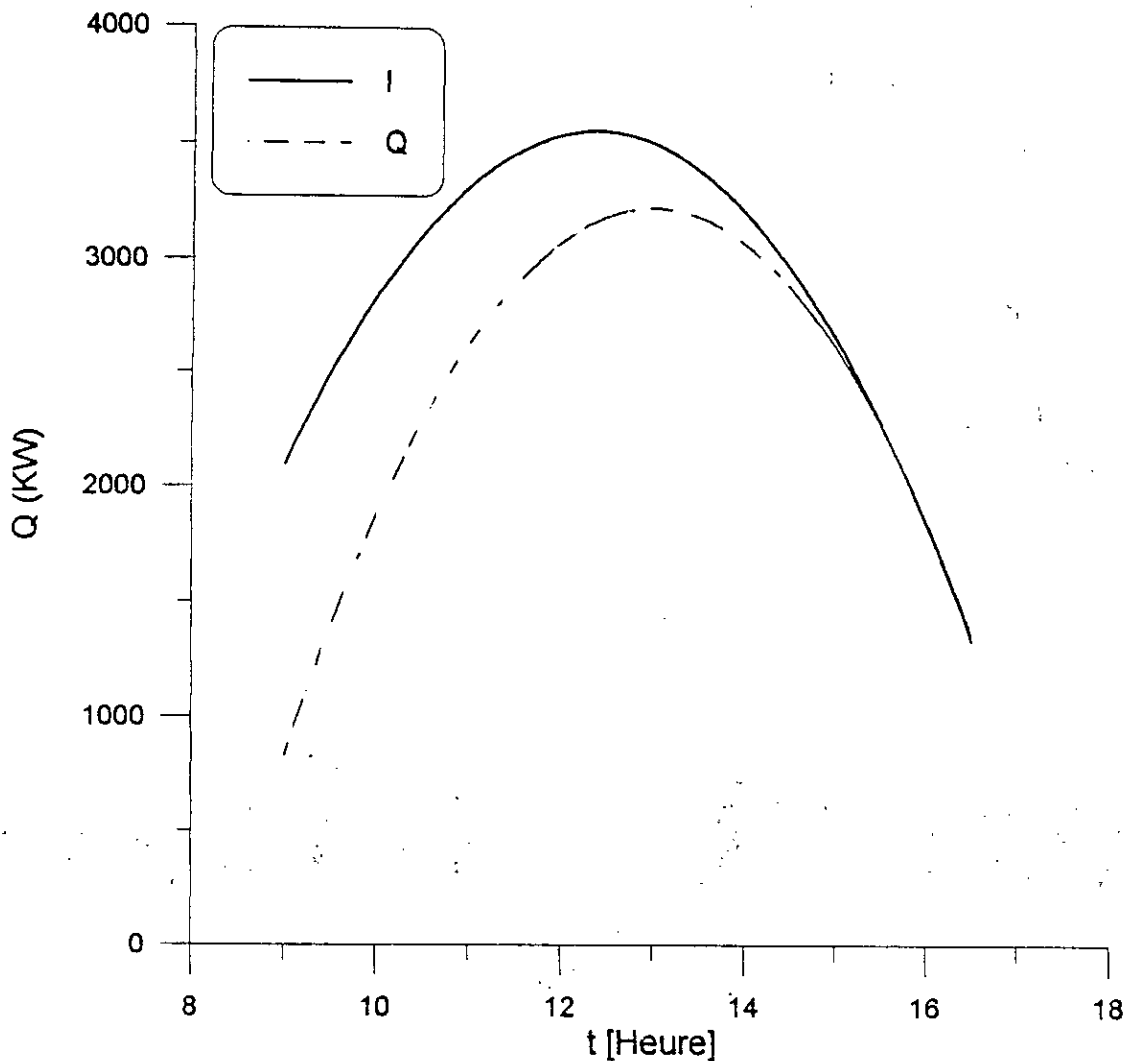
Graphe n°11: Evolution de la chaleur apportée par la condensation de la vapeur d'eau (q_e), de la chaleur échangée par convection entre la surface de l'eau et celle du vitrage (q_c) et de la chaleur émise par le fond noir (q_r)



Graphe n°12: Evolution durant la journée des chaleurs absorbée et réfléchie par le couvercle vitré la et lr .



Grphe n°13: Evolution durant la journée de la chaleur ~~apportée~~ *emportée* par le distillateur Q_m et de la chaleur perdue par convection par ~~le distillat~~ *le bas du distillateur* Q_b .



Graph n°14: Comparaison de l'évolution de la chaleur reçue instantanément I et celle perdue ou absorbée Q par le distillateur.

IV-4 RENDEMENT UTILE η :

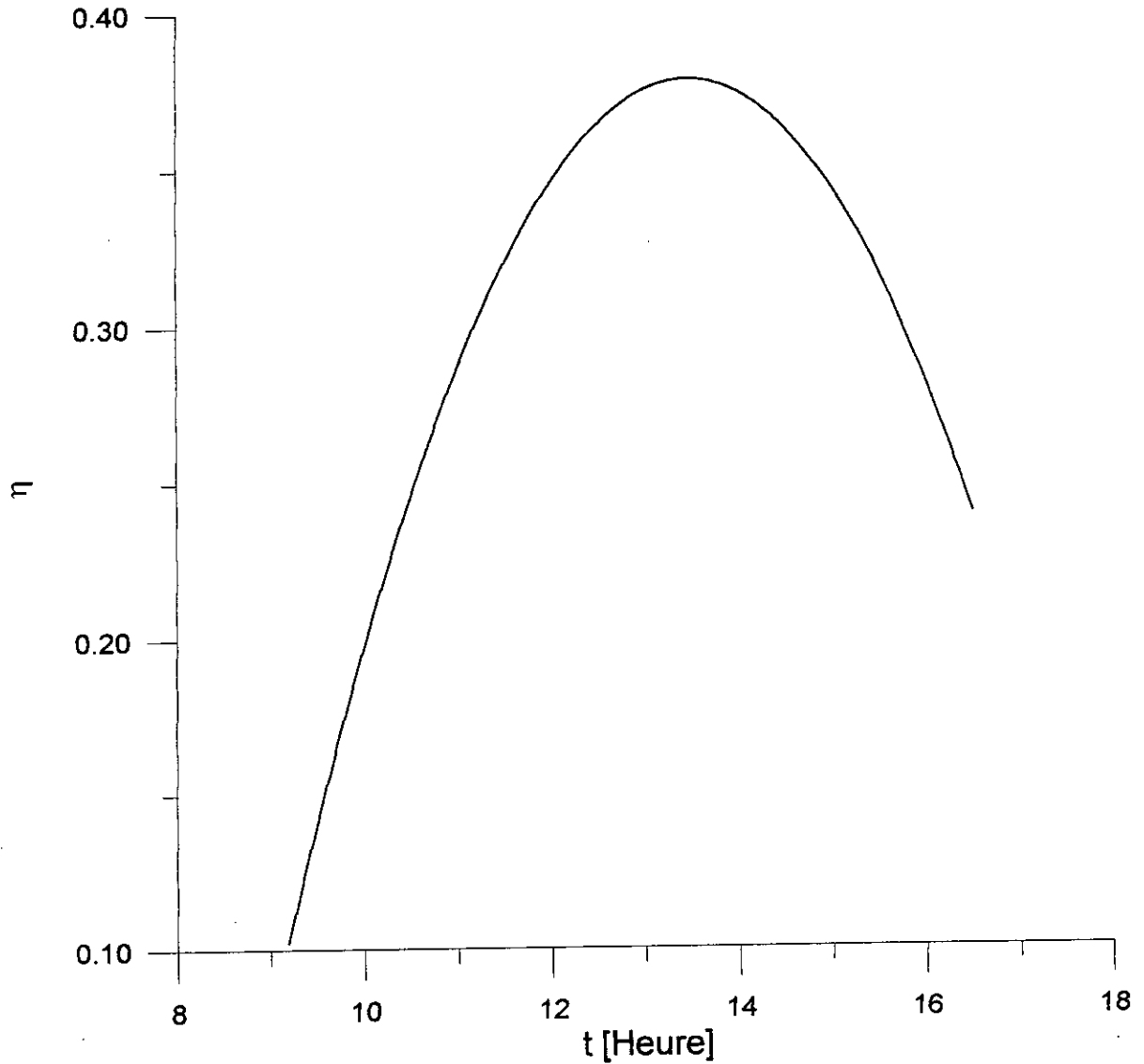
En injectant les valeurs du tableau N°1 dans les équations : (II-14) et (II-24), nous obtenons les rendements instantanés exposés dans le tableau n°3.

D'après le graph n°15, on observe que le rendement utile varie de la même manière que le rayonnement solaire. Avec bien sûr le retard dû à l'inertie du système. Le rendement maximal est atteint vers 13h30 et est approximativement égal à 38%. Ce rendement peut paraître faible. Cependant seule la quantité de chaleur q_e est utilisée à l'évaporation de l'eau. Le reste de la chaleur disponible étant perdue ou cédée sous diverses formes. Ce qui explique la difficulté d'obtenir un rendement utile plus élevé.

H	9 ^h	9 ^h 30	10 ^h	10 ^h 30	11 ^h	11 ^h 30	12 ^h	12 ^h 30	13 ^h	13 ^h 30	14 ^h	14 ^h 30	15 ^h	16 ^h	16 ^h 30
	9 ^h 30	10 ^h	10 ^h 30	11 ^h	11 ^h 30	12 ^h	12 ^h 30	13 ^h	13 ^h 30	14 ^h	14 ^h 30	15 ^h	15 ^h 30	16 ^h 30	17 ^h
η	0.11	0.13	0.18	0.24	0.29	0.31	0.31	0.37	0.38	0.39	0.39	0.35	0.32	0.32	0.19

- Tableau N° 3 -

EVOLUTION DU RENDEMENT UTILE DURANT LA JOURNEE



Graphe n°15: EVOLUTION DU RENDEMENT DURANT LA JOURNEE

ETUDE ECONOMIQUE

V-1 ETUDE ECONOMIQUE DU DISTILLATEUR

Pour la réalisation du distillateur, nous avons utilisé:

-Un profil en acier d'une longueur de 8m ,pour la réalisation du support.

$$8*30(\text{DA/m}) = 240 \text{ DA}$$

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

$$10*5 = 50 \text{ DA}$$

-Un coffrage en bois estimé à: 300 DA

-2 vitres de 4 mm d'épaisseur :

$$2*600 = 1200 \text{ DA}$$

-Une cuve en acier estimée à: 400 DA

-2 pots de peinture noire:

$$2*50 = 100 \text{ DA}$$

-Une feuille de zinc, pour réaliser le réservoir à niveau constant et la réglette: 200 DA

-De la tuyauterie pour lier les trois éléments (distillateur, réservoir, cuve) : 200 DA

-Un flotteur estimé à: 250 DA

-Les différentes colles pour l'étanchéité: 500 DA

-L'isolation thermique estimée à: 300 DA

PRIX TOTAL DU DISTILLATEUR :2740 DA

V-2. ETUDE ECONOMIQUE DE L'INSTALLATION DANS LE LABORATOIRE

Pour réaliser l'installation dans le laboratoire d'énergétique, nous avons utilisé:

- 45 m de tuyauterie en P.V.C estimés à:
 $45 \times 100 \text{ (DA/m)} = 4500 \text{ DA}$
- 10 robinets :
 $10 \times 50 = 500 \text{ DA}$
- 8 téés et 5 coudes:
 $13 \times 25 = 325 \text{ DA}$
- Une pompe:
3300 DA
- 2 réducteurs + une crépine:
270 DA
- 4 mamelons :
 $4 \times 50 = 200 \text{ DA}$

PRIX TOTAL DE L'INSTALLATION: 9095 DA

V-3 ESTIMATION UNITAIRE DE L'EAU DISTILLEE:

Dans cette partie, le prix de revient d'un litre d'eau distillée sera évalué.

On supposera que l'entretien est assuré par l'école. La durée de vie de notre distillateur est estimée à cinq ans. Durant cette période, le changement des éléments d'étanchéité et d'isolation thermique se fera deux fois par an.

Ce qui représentera un coût de : $(300 + 500) \times 10 = 8000 \text{ DA}$

Nous obtenons donc une dépense globale de :

$2740 + 8000 = 10740 \text{ DA}$

Si une production quotidienne moyenne de 5l est obtenue, ce qui fera une production globale de: $5 \times 365 \times 5 = 9125 \text{ l}$.

D'où, le prix unitaire correspondant sera donc: $10740/9125 = 1,17 \text{ DA le litre}$.

Conclusion

CONCLUSION GENERALE

Notre étude d'un distillateur à effet de serre à toiture inclinée et la réalisation de l'installation d'alimentation en eau distillée du laboratoire d'énergétique, nous ont permis de relier l'étude théorique directement avec sa réalisation pratique. Notre travail étant à dominante expérimentale, nous avons du faire face à des difficultés financières et d'autres relatives aux appareils de mesures.

Des problèmes techniques ont également surgi lors de la réalisation de l'installation. ces dernières étaient dues au choix limité quand au matériel qui n'était pas toujours approprié. Nous avons donc fait appel à notre savoir faire à de multiples reprises. Il est aussi à noter que notre inexpérience dans le domaine de la plomberie nous a parfois retardé lors de la réalisation. En ce qui concerne les résultats de l'étude expérimentale, ils permettent de dire que la production du distillateur est bonne comparée aux normes établies par d'autres études du même type qui situent la production par 24h de 3 à 5 l par m² sous des climats chauds et ensoleillés. Notre unité de distillation a fourni 7,2 l en 24h, soit environ 4,8 l/m².

Nous pouvons également faire les conclusion suivantes:

- Pour qu'ils soient utiles les distillateurs, vu leur production relativement faible, doivent couvrir de très grandes surfaces. L'idéal est de disposer les uns à côté des autres un grand nombre d'unités.

- L'influence de beaucoup de paramètres agissant sur les distillateurs reste encore mal quantifiées. C'est le cas pour la vitesse du vent totalement absente des équations que nous avons utilisées.

- Il faut étendre la recherche vers d'autres types de distillateurs plus performants. Il en existe déjà divers modèles à effet de serre légèrement plus productifs. Cependant des distillateurs fonctionnant selon le principe d'adsorption

représentent l'innovation la plus efficace en matière de distillation solaire et sont de loin les plus performants.

Quelques suggestions seraient utiles pour un meilleur fonctionnement et une bonne exploitation du distillateur et de son installation. Pour cela nous préconisons un nettoyage très fréquent du vitrage (une fois par semaine) afin de limiter les dépôts de poussière. Il faut également prévoir une vidange annuelle du distillateur et de ses annexes. Il est aussi nécessaire de refaire l'isolation et l'étanchéité deux fois par an.

Il serait aussi intéressant d'intégrer l'étude expérimentale du distillateur parmi les travaux pratiques prévus au programme. Mais pour cela il faut acquérir les appareils de mesure appropriés et prendre garde lors du montage et démontage des organes du distillateur.

Finalement en dépit des multiples difficultés que nous avons surmontées, nous pensons avoir atteint le but qui nous était assigné. Nous sommes arrivés à la conception d'une installation parfaitement autonome non seulement utile à un meilleur fonctionnement du laboratoire d'énergétique mais également apte à couvrir, en partie, les besoins en eau distillée de l'école.



WAIKIKI

BIBLIOGRAPHIE

• **Liste des ouvrages:**

[1] GOMELLA. « Application thermique de l'énergie solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie ». Ed Eyrolles, Paris 1978.

[2] KREITH. « Transmission de la chaleur et thermodynamique ». Ed Masson, Paris 1967.

[3] MAC ADAMS. « Transmission de la chaleur ». Dunod, Paris 1964.

[4] SFEÏR, GUANACINO. « Ingénierie des systèmes solaires ». Technique et documentation, Paris 1980.

[5] VAILLANT, « Utilisation et promesses de l'énergie solaire », Ed Eyrolles, Paris 1978.

[6] WIEDER, « An introduction to solar energy for scientist and engineers », Ed J. Willey, New York 1983.

• **Liste des articles:**

[7] COOPER, « Solar energy », Vol 12, Septembre 1968.

[8] LOF, « Energy balances in solar distillers.

[9] READ & MORSE, « Solar energy », Vol 15, Septembre 1973.