

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MANTOURI CONSTANTINE
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE CLIMATIQUE

MEMOIRE

N° d'ordre :
N° de série :

PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MAGISTERE
En Génie Climatique

THÈME

**ETUDE DE L'IMPACT DE L'ECART DE TEMPERATURE
(AMBIANCE-EAU) SUR LE RENDEMENT D'UN DISTILLATEUR
SOLAIRE A EFFET DE SERRE**

OPTION

THERMIQUE DU BATIMENT ET REFRIGERATION

PAR

BOUDJEBIR HIND

Soutenu le :18/02/2010

Devant le jury :

Président : **Mme. M.MARIR** Professeur. Université Mentouri, Constantine.

Rapporteur : **Mr. A.KAABI** Professeur. Université Mentouri, Constantine.

Examineurs : **Mr.Y.KHETIB** Maître de conférence. Université Mentouri, Constantine.

Mr.M.S.ROUBAH Maître de conférence. Université Mentouri, Constantine

Remerciements

Je remercie en premier lieu Dieu tout puissant pour avoir m'accordé la puissance et la volonté de terminer ce travail

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à monsieur Abdenacer Kaabi, Professeur à l'Université Mentouri, pour le sujet de recherche qu'il m'a proposé et lui exprimer ma profonde reconnaissance pour tout son aide, sa disponibilité, ses conseils, et surtout l'intérêt qu'il a porté à mon travail et l'attention toute particulière accordé à la lecture et à la correction de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à M^{me} M.Marir, Professeur à l'Université Mentouri, pour avoir accepté de présider le jury.

Mes vifs remerciements s'adressent également à :

- Mr.Y.Khetib, Maître de conférence à l'Université Mentouri.
- Mr.M.S.Rouabah, Maître de conférence à l'Université Mentouri.

D'avoir accepté de me faire l'honneur de juger ce travail et participer au jury de thèse.

Tous mes remerciements et mon estime à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste projet.

Dedicace

Je dédie ce travail à mes chers parents

A mes chers frères

Chawki, Mohamed Adel, Billal, Hamza

Nomenclature :

Symbole :

Symbole	Désignation	Unité
A_i	Surface d'un corps d'indice i	m^2
a	Diffusivité thermique du corps d'indice i	m^2/s
C_{pi}	Chaleur massique à pression constante	$J/kg \cdot ^\circ C$
e_i	Epaisseur du corps	m
g	Accélération de la pesanteur	m/s^2
$h_{i,j}^c$	Coefficient d'échange thermique par convection entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$h_{i,j}^r$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$h_{i,j}^{ev}$	Coefficient d'échange thermique par évaporation entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$h_{i,j}^{cd}$	Coefficient d'échange thermique par conduction entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
I_g	Rayonnement global incident	W/m^2
L_v	Chaleur latente de vaporisation	kJ/kg
M_i	Masse du corps d'indice i	kg/s
p_v^{gi}	Pression de la vapeur d'eau à la température du vitrage intérieur	Pa
p_v^w	Pression de la vapeur d'eau à la température de la saumure	Pa
P_i	Puissance solaire absorbée par le corps d'indice i	W/m^2
q_{i-j}^c	Flux de chaleur échangée par convection entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
q_{i-j}^r	Flux de chaleur échangée par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
q_{i-j}^{ev}	Flux de chaleur échangée par évaporation entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
q_{i-j}^{cd}	Flux de chaleur échangée par conduction entre les surfaces matérielles indicées i et j	W

q_{gi}	Flux de chaleur échangée entre la vitre et l'intérieur	W
q_{ge}	Flux de chaleur échangée entre la vitre et l'extérieur	W
q_{isi}	Flux de chaleur échangée entre l'isolant et l'intérieur	W
q_{ise}	Flux de chaleur échangée entre l'isolant et l'extérieur	W
T_i	Température du corps d'indice i	°C
v	Vitesse du vent	m/s

Indice :

Indices	Désignation
a	Air ambiant
b	Bac absorbant
c	Ciel
g	Vitre (glass)
gi	Vitrage intérieur
ge	Vitrage extérieur
is	Isolant
isi	Isolant intérieur
ise	Isolant extérieur
w	Eau (water)

Lettres grecques :

Lettres grecques	Désignation	Unité
ϕ	La latitude	Degré (°)
δ	Déclinaison	Degré (°)
ω	L'angle horaire	Degré (°)
α	Coefficient d'absorption	
θ	Angle de réfraction	Degré (°)
β	Inclinaison de la vitre pour le distillateur plan	Degré (°)
η_g	Efficacité globale	(%)
η_i	Efficacité interne	(%)
λ	Conductivité thermique	(w/m°C)
ν	Viscosité cinématique	(m ² /s)
μ	Viscosité dynamique	(kg/m.s)
ε	Emissivité	
ρ	L'albédo du sol	

Sommaire

TITRES	PAGES
Introduction	1
Chapitre 1 : Etude Bibliographique	
I.1.1. Introduction.....	3
I. I. 2.Ressources mondiales eaux	3
I.I.3.Les eaux distillables.....	3
I.1.3.1.L'eau de mer.....	3
I.1.3.2.Les eaux saumâtres.....	3
I.1.3.3.Les eaux naturelles.....	4
I.1.3.4.les eaux usées.....	4
I.1.4.L'eau potable.....	4
I.2. Techniques de dessalement.....	5
I.2.1. Procédés avec changement d'état (distillation).....	5
I.2.1.1. Procédé par détente successives ou "Multi Stage Flash" (MSF).....	5
I.2.1.2. Distillation à multi – effets (ME).....	6
I.2.1.3. Compression de la vapeur.....	7
I.3. La distillation solaire	9
I.3.1.Historique.....	9
I.3.2. Principe de la distillation solaire.....	10
I.3.3.Les différents types de distillateurs.....	10
I.3.3.1. Distillateur à simple effet.....	11
I.3.3.1.1.Distillateur à pente unique.....	11
I.3.3.1.2. Distillateur solaire à double pente.....	11
I.3.3.1.3. Distillateur solaire terre- eau.....	12
I.3.3.1.4. Distillateur sphérique à balayage.....	13
I.3.3.1.5 Distillateur solaire à film capillaire.....	13
I.3.3.2. Distillateurs à multi effets.....	14

I.3.3.2.1. Distillateur à diffusion.....	15
I.3.3.2.2. Distillateur solaire à cheminée.....	15
I.3.3.2.3. Distillateur à mèche évaporante.....	16

Chapitre II : Généralité sur le rayonnement solaire

II.1.Introduction.....	18
II.2.Le soleil.....	18
II.3.La constante solaire.....	18
II.4.Aspects géométriques du rayonnement solaire.....	19
II.5.Mouvements de la terre.....	19
II.6.La sphère céleste.....	20
II.7.Les coordonnées célestes.....	20
II.7.1.Les coordonnées géographiques.....	20
II.7.2.Les coordonnées horaires.....	22
II.7.3. Les coordonnées horizontales.....	23
II.8.Les temps solaires.....	24
II.8. 1.Le Temps Solaire Vrai (T.S.V).....	24
II.8.2. Le Temps Solaire Moyen (T.S.M).....	24
II.8.3. Le Temps Universel (T.U).....	24
II.8.4. Le Temps Légal (T.L).....	25
II.8.5. Le Temps Civil.....	25
II.9. Direction des rayons solaires par rapport à un plan.....	25
II.10. Aspects énergétiques du rayonnement solaire.....	27
II.11. Rayonnement solaire.....	28
II.11.1. Rayonnement direct.....	28
II.11.2. Rayonnement diffus.....	29
II.11.3. Rayonnement global.....	30
II.12.Calcul des puissances absorbées par les différents composants du distillateur.....	30
II.12.1. Puissance absorbée par la vitre.....	30

II.12.2. Puissance absorbée par la nappe d'eau.....	31
II.12.3. Puissance absorbée par le bac absorbant.....	32

Chapitre III : Etude théorique d'un distillateur solaire

III.1.Paramètres de Fonctionnement du Distillateur solaire à effet de serre.....	33
III.1.1. Paramètres Externes.....	33
III.1.2. Paramètres Internes.....	33
III.1.2.1. Les paramètre de position.....	33
III.1.2.2.Paramètres de construction.....	34
III.1.2.3. Paramètres optiques.....	35
III.1.2.4. Paramètres thermo physiques.....	36
III.2.Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire.....	36
III.2.1.Le rendement(le débit de distillat ou la production).....	36
III.2.2.L'efficacité.....	36
III.2.3.la performance.....	37
III.3.Bilan thermique d'un distillateur.....	38
III.3.1.Distillateur plan.....	38
III.3.2.Distillateur sphérique à balayage.....	39
III.4.Mise en équation des échanges thermiques.....	41
III.5.Bilan thermique en régime permanent	41
III.6.Bilan thermique en régime transitoire.....	45
III.7. Expression des différents coefficients d'échange thermique.....	48
III.7.1. Echange par conduction.....	48
III.7.2. Echange par convection	48
III.7.3. Echange par rayonnement.....	51
III.7.4. Echange pendant le changement de phase.....	51
III.8. Traitement informatique.....	52
III.8.1. Le problème physique.....	52
III.8.2. résolution numérique.....	52
III.8.3. Organigramme général.....	54

Chapitre IV : Résultat et discussion

IV.1.Introduction.....	58
IV.2.Variation temporelle des puissances absorbées.....	58
IV.3.Variation temporelle des différentes températures de distillateur.....	61
IV.4.Variation de la température ambiante et la température du ciel en fonction du temps.....	64
IV.5.Variation temporelle de l'efficacité globale et interne d'un distillateur simple.....	65
IV.6.Variation du facteur de performance en fonction du temps.....	67
IV.7.Quantité horaire de l'eau distillée.....	70
IV.8.Variation de la production en fonction de la température ambiante.....	74
IV.9.Variation de la production en fonction de la température de l'eau.....	77
IV.10.Variation de la production en fonction de l'écart de température (ambiance-eau).....	80
IV.11.Variation de l'efficacité globale et interne en fonction de l'écart de température ambiance-eau.....	84
IV.12.Variation du facteur de performance en fonction de l'écart de température (ambiance-eau).....	86
IV.13.Validation des résultats.....	89
Conclusion et recommandations.....	95
Bibliographie.....	97

Annexes

Annexe A : Technique de Dessalement a membrane

Annexe B: Nombres Adimensionnels

Annexe C : Propriétés thermophysiques de l'eau et du mélange Air-vapeur d'eau

Annexe D:Résolution des systèmes d'équations linéaires par les méthodes itératives

Annexe E : Discrétisation des équations de transfert thermique

Introduction

Introduction :

L'eau douce est une source de vie, et toute valorisation du niveau de vie de l'être humain doit passer par la procuration de l'eau de bonne qualité, nécessaire à sa survie. Malheureusement plus d'un tiers de l'humanité, appartenant généralement aux pays du tiers monde, n'a pas assez d'eau potable.

Les besoins en eau potable dans le monde augmentent d'une manière continue, alors que les réserves souterraines se trouvent constamment diminuées. Pour remédier à ce problème, les pays du tiers monde doivent essayer d'extraire de l'eau douce à partir de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre.

Une des solutions qui peut contribuer à l'augmentation des potentialités en eau dans le monde est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Le dessalement de ces eaux par des unités classiques de traitement nécessite beaucoup d'énergie électrique et /ou calorifique.

La distillation solaire s'avère donc un procédé de production d'eau douce fort économique, surtout dans les régions désertiques qui disposent d'un gisement solaire tout aussi important et qui semble beaucoup promettre.

Dans ce sens, plusieurs études ont été consacrées à la distillation solaire et qui ont pour but l'amélioration de la performance du distillateur.

L'objectif essentiel de ce présent travail concerne l'étude de l'influence de l'écart de température (ambiance-eau) sur le rendement, pour deux types de distillateurs solaires à effet de serre : le distillateur plan et le distillateur sphérique.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres :

- le premier chapitre est consacré à la présentation de quelques notions et définitions sur l'astronomie, couramment utilisées dans toute relation avec le domaine solaire.
- Un bref historique sur la distillation solaire, et une recherche bibliographique concernant les différents types de distillateurs, font l'objet du second chapitre.

- Dans le troisième chapitre, nous exposons l'étude théorique des deux types de distillateurs choisis, et nous présentons successivement le bilan thermique au niveau de chaque partie (chaque composant) du distillateur ainsi que l'expression explicite

des différents flux intervenant dans les échanges de chaleur. Nous terminons cette partie par la présentation de la méthode numérique utilisée pour la résolution du système d'équation de fonctionnement du distillateur.

- Le quatrième chapitre présente l'ensemble des résultats obtenus, ainsi que leurs interprétations.

Finalement la dernière partie de ce travail concerne les conclusions retenues de cette étude ainsi que les différentes recommandations pour de futurs travaux dans ce domaine.

Ces quatre chapitres sont complétés par une partie annexe contenant respectivement technique de dessalement a membrane, les différents nombres dimensionnels, les propriétés thermo physiques de l'eau, et du mélange air-vapeur, la discrétisation des équations de transfert thermique, la méthode de résolution numérique utilisée.

CHAPITRE I
Etude bibliographique

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.Dessalement des eaux salines :

I.1.1.Introduction :

Le manque d'eau potable et la rareté de ses ressources naturelles, devient un grand problème qui menace la vie des habitants dans plusieurs régions. Donc rechercher et produire de l'eau potable à partir d'autres ressources naturelles, est une extrême importance.

I. I. 2.Ressources mondiales en eaux :

Les ressources mondiales en eaux sont les mers, les océans, les glaciers, les fleuves, les eaux souterraines, et enfin les lacs, cependant l'eau douce ne représente que 2.5% de l'eau totale et sur les 2.5% d'eau douce, les lacs, les fleuves et les eaux souterraines représentent 14% soit l'équivalent de 0.35% de l'eau totale, et pour les 86% de l'eau douce qui reste sont gelés aux pôles.

Provenance de l'eau	Quantité (%)
Eau douce de lacs	0.009
Eau de rivières	0.0001
Eau souterraine (près de la surface)	0.005
Eau souterraine (en profondeur)	0.61
Eau dans les glaciers et les calottes glaciaires	2.15
Eau salée de lacs ou de mers intérieures	0.008
Eau dans l'atmosphère	0.0001
Eau des océans	97.2

Tableau I.1 : Répartition des eaux sur le globe

I.1.3.Les eaux distillables :

Les différentes eaux qui peuvent être distillées sont [15]:

I.1.3.1. L'eau de mer : la salinité des mers varie d'une mer à l'autre et elle est en moyenne de 35g/l.

I.1.3.2. Les eaux saumâtres : Ce sont les eaux non potables dont la salinité est inférieure à celle des eaux de mer et qui peuvent être classées en trois catégories :

- eau légèrement saumâtres —————> 1000 à 3000 ppm
- eau moyennement saumâtres —————> 8000 à 10000 ppm
- eau très saumâtres —————> 10000 à 33000 ppm

I.1.3.3. Les eaux naturelles :

Ce sont les eaux qui proviennent des lacs, fleuves, rivières et nappes souterraines. Elles ont une composition chimique différente et parfois elles sont polluées et impropres à la consommation. Elle représente près de 14% de l'eau douce.

I.1.3.4. les eaux usées : ce sont les eaux rejetées par les collectivités domestiques, industrielles ou agricoles.

I.1.4. L'eau potable :

D'après les normes sanitaires de l'O.M.S (Organisation Mondiale de la Santé) toute eau distribuée à une collectivité doit être potable.

Une eau est considérée comme potable si sa salinité totale est comprise entre 100 et 1000 ppm (partie pour million), soit 0.1 et 1g/l.

La salinité des mers varie d'une mer à une autre et elle est en moyenne de 35g/l, avec de fortes variations régionales dans certains cas : 39g/l en Méditerranée, 42g/l dans le Golfe Persique et jusqu'à 270g/l en mer morte [9] (**Tableau I.2**)

Mers	Salinité en (mg/l)
Mer Baltique	7 000
Mer Caspienne	13 500
Mer Noire	13 000
Mer Adriatique	25 000
Océan Pacifique	33 000
Océan Indien	33 800
Océan Atlantique	36 000
Mer Méditerranée	39 400
Golf Arabique	43 000
Mer Rouge	43 000
Mer Morte	270 000

Tableau I.2 : Degré de salinité de l'eau

I.2. Techniques de dessalement :

L'idée de dessaler l'eau n'est pas récente. De nos jours, plusieurs procédés de distillation ont vu le jour, dans ce sens il existe des procédés de dessalement actuellement utilisés, et qui peuvent être classés en deux groupes :

- Procédés avec changement d'état (distillation)
- procédés à membranes (voir l'annexe A).

I.2.1. Procédés avec changement d'état (distillation) :

I.2.1.1. Procédé par détente successive ou "Multi Stage Flash" (MSF) :

Comme son nom l'indique, ce procédé s'appuie sur une évaporation quasi instantanée (flash) d'une partie de l'eau salée chauffée à haute température (80°C à 120°C) sous une pression, $P_0 \approx 2\text{bars}$, lors d'une détente à l'entrée de la chambre de distillation qui est à la pression P_1 . La vapeur est condensée au niveau d'un échangeur où elle rétrocède sa chaleur latente de vaporisation à l'eau salée « source froide » qui se réchauffe. La saumure déjà peu concentrée, s'écoule sous l'effet de la pression vers la chambre de distillation de la cellule suivante, où une nouvelle vaporisation s'effectue à la pression $P_2 < P_1$. Et ainsi de suite jusqu'à la pression « P_n » de 0.05 bar, vers 30°C. C'est le principe des détente successive ; il peut avoir ainsi jusqu'à 50 cellules. Vu la température élevée dans les premières cellules, il est nécessaire d'effectuer un prétraitement important pour limiter l'entartrage. Afin de diminuer le volume d'eau salée à prétraiter, on recycle la saumure au maximum au lieu de l'évacuer. La consommation d'énergie thermique est de 50 à 70 000 kcal/m³, à laquelle se rajoute l'électricité pour la recirculation de l'ordre de 5 kWh/m³ [10].

L'intérêt principal de cette technologie apparue dans les années 50, qui est relativement facile à maîtriser, réside dans le fait qu'il est possible de construire des unités fiables de très grande taille. C'est donc elle qui est utilisée pour les grands complexes de dessalement, surtout dans les pays producteurs de pétrole, et elles sont assurées de plus de 60% de la capacité mondiale installée à ce jour sur l'eau de mer malgré son énorme consommation énergétique (**figure I.1**).

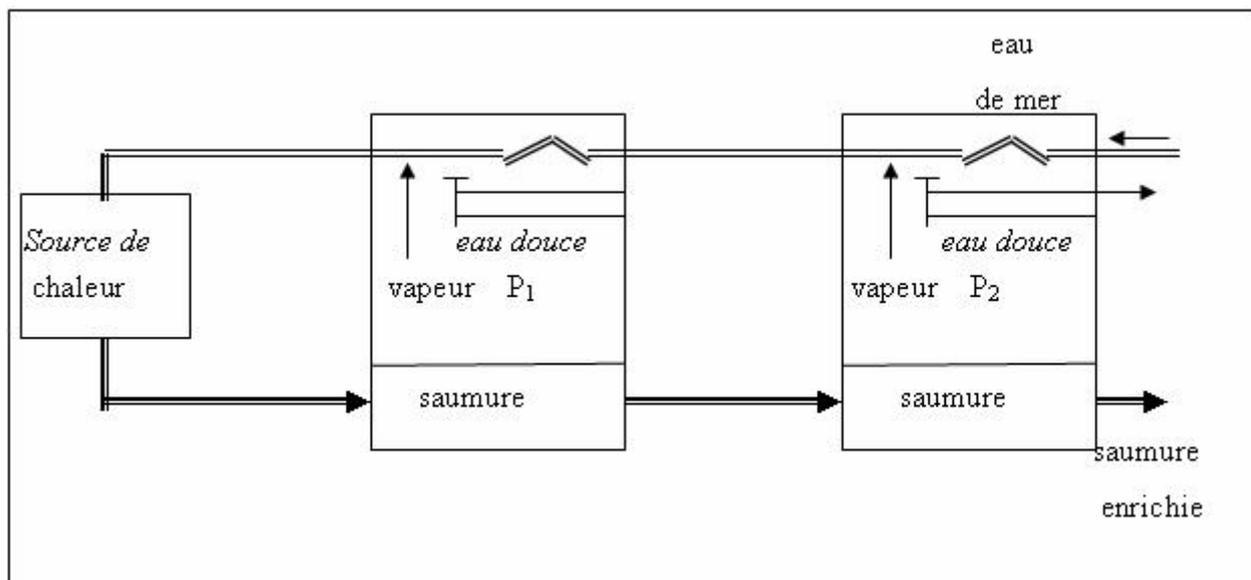


Figure I.1 : Distillation par détentes successives

I.2.1.2. Distillation à multi – effets (ME):

Avec ce procédé, l'idée est de récupérer au maximum l'énergie de la vapeur d'eau produite pour évaporer de l'eau salée, en effectuant des transferts de chaleur successifs appelés « effets » à des températures de moins en moins élevées. Dans ce cas et à l'opposé du MSF, l'eau reçoit l'essentiel de son énergie au moment où elle s'évapore, c'est à dire au contact de l'échangeur dans lequel la vapeur d'eau produite par l'effet précédent se condense. Cependant, plus l'écart de température est faible, plus la surface d'échange assurant le transfert d'énergie doit être grand. L'investissement est donc un peu plus important. On peut alors comprimer la vapeur pour faciliter le transfert en énergie (principe de la compression mécanique) en utilisant cette fois-ci un thermo compresseur (ou éjecteur à vapeur). Comme le procédé MSF, le ME n'utilise quasiment que de l'énergie thermique, s'y ajoute seulement 1 à 3 kWh/m³ d'énergie électrique (pas de recirculation de la saumure). Le procédé (ME), économique en énergie, a en outre l'avantage d'une relative souplesse de fonctionnement avec un débit de saumure plus faible, un rendement correct, et une sécurité accrue du point de vue salinité de l'eau. En revanche les capacités unitaires en fonctionnement varient de 20 m³/j à 20000 m³/j, ce qui est plus faible qu'en MSF [10] (figure I.2).

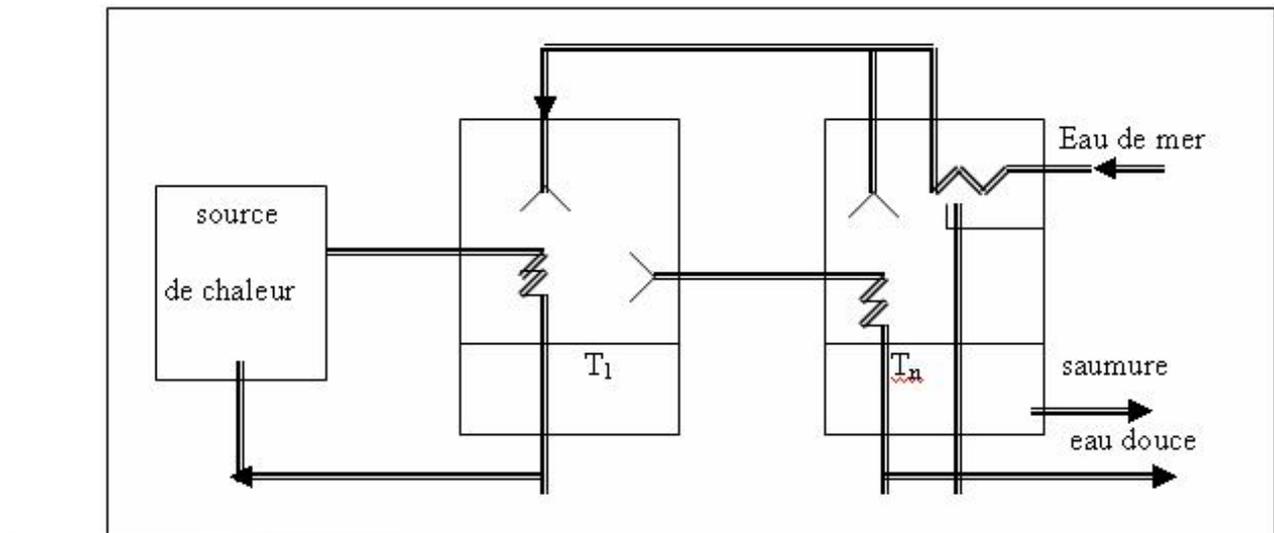


Figure I.2 : Distillation à multi effets

I.2.1.3. Compression de la vapeur :

Ce procédé fonctionne exactement sur le principe d'une pompe à chaleur, où c'est un compresseur qui fournit l'énergie. La vapeur produite est comprimée adiabatiquement ce qui accroît sa température de saturation. Lors de sa condensation, elle peut donc transmettre sa chaleur de vaporisation à l'eau salée avec un bon gradient thermique, ce qui permet un bon rendement. Le compresseur assure une faible pression dans la cellule permettant de fonctionner à une température réduite d'environ 60°C et d'éviter ainsi l'entartrage. C'est un procédé de distillation peu consommateur d'énergie dans l'absolu, puisqu'il fonctionne avec seulement 4.5 kWh/m³ mais qui utilise exclusivement de l'électricité. Les capacités unitaires traitées qui dépendent directement de la capacité du compresseur sont en augmentation : elles s'étendent aujourd'hui, de 15 à plus de 3800 m³/j [10] (**figure I.3**).

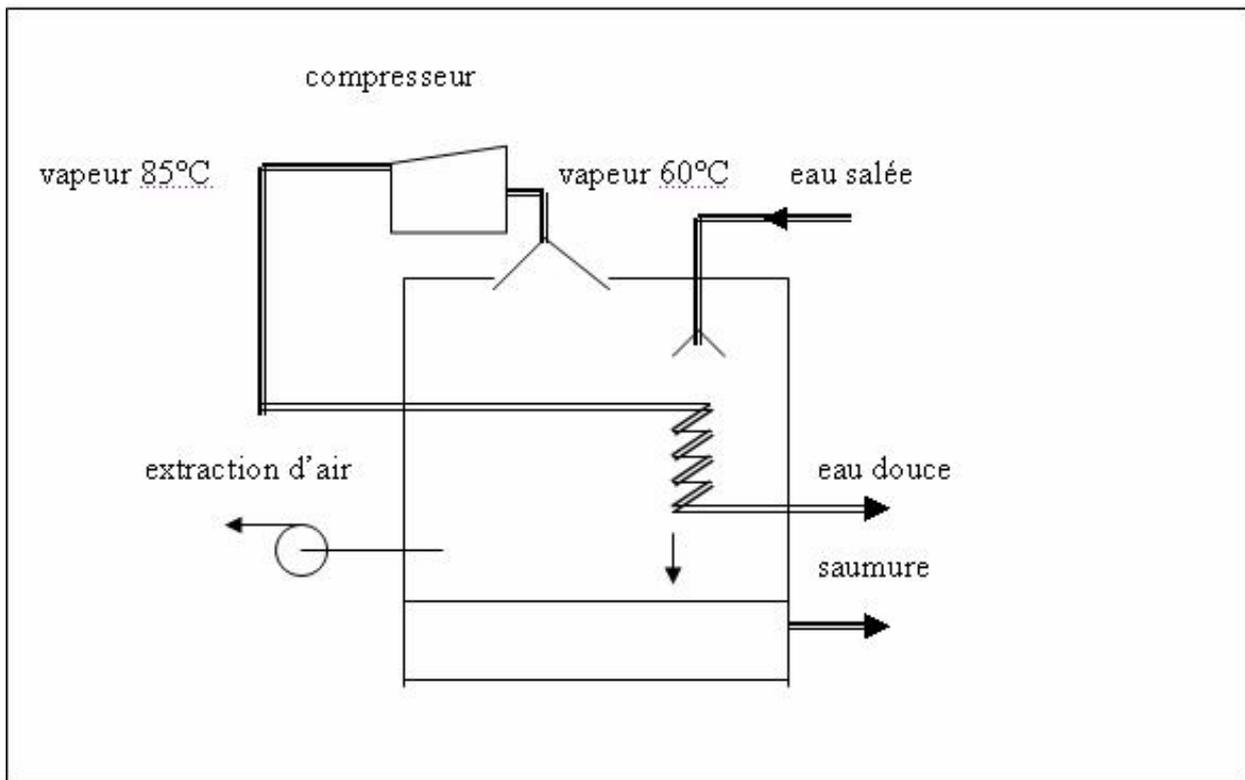


Figure I.3 : Compression de la vapeur

I.3.La distillation solaire :

Parmi les techniques de dessalement par changement de phase, il existe une technique ancienne et fort intéressante, qui est d'un emploi commode dans les régions arides ensoleillée utilisant des distillateurs solaires malgré qu'elle présente l'inconvénient de nécessiter des surfaces très importantes disponibles au sol , et des investissements importants, elle présente un meilleur avantage car elle utilise une énergie gratuite ;cette technique est appelée : « Distillation Solaire » [14 ,16].

I.3.1.Historique :

L'utilisation moderne de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau salée ou saumâtre a commencée en 1872, dans le nord du Chili par l'installation d'un distillateur solaire de type bassin par l'ingénieur Suédois Carlos Wilson. Il permettait de fournir de l'eau potable aux animaux de traite à partir de l'eau salée de la mer [9].

Ce système ne fonctionna que jusqu'en 1910 à cause de l'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur. La distillation solaire connut une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires; il en résulta l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné, etc.....) [9].

Une installation due à Ginistous groupant 30 appareils de 1 m² fut réalisée et exploitée à Bengardane en Tunisie en 1929. Au début des années 30, Trifinov proposa un distillateur incliné; en 1938 Abbot utilisa des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire, le tout est acheminé dans des tubes contenant de l'eau [9].

Maria Telks inventa en 1945 un nouveau type de distillateur solaire de forme sphérique, qui fut utilisé par la marine américaine; un grand nombre de ce modèle, environ 2000 a été utilisé pendant la deuxième guerre mondiale. En 1969, Cooper proposa une simulation pour analyser les performances d'un distillateur solaire type serre.

Depuis les années 70, plusieurs autres types de distillateurs ont été élaborés et étudiés.

I.3.2. Principe de la distillation solaire :

Les distillateurs solaires utilisent tous le même principe de fonctionnement; néanmoins, ils peuvent différer les uns des autres en conception et en matériau. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre [9].

Le distillateur solaire est un bassin isolé à parois adiabatiques contenant une quantité d'eau coiffée d'un couvercle transparent, généralement du verre, dont le fond est noirci.

L'énergie solaire entrant par le couvercle est absorbée par l'eau et le fond noirci; puis elle est transmise à l'air par conduction, convection et par rayonnement. Comme les parois sont hermétiquement closes et le verre opaque aux radiations infra-rouges de grandes longueurs d'ondes, l'énergie solaire se trouve ainsi emprisonnée (effet de serre) et l'air est chauffé.

La température du couvercle qui baigne dans l'air atmosphérique étant inférieure à celle du mélange air- vapeur d'eau, il se produit une condensation de la vapeur d'eau sur la surface du couvercle incliné. L'eau s'écoule suivant un film mince et peut être recueillie.

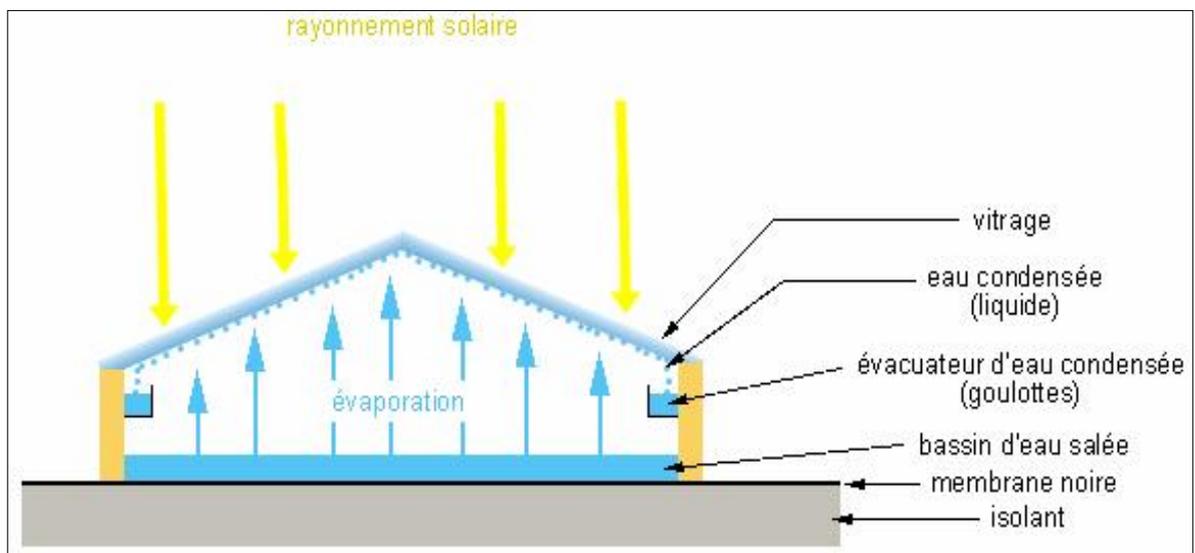


Figure I.4 : Distillateur solaire

I.3.3. Les différents types de distillateurs :

Il existe plusieurs types de distillateurs solaires. Ils peuvent être différents, en terme de conception et en terme de matériaux utilisés, mais ils utilisent tous le même principe et servent aux mêmes fonctions.

I.3.3.1. Distillateur à simple effet :

C'est un distillateur à un seul évaporateur, le plus connu est le distillateur type bassin [9]. Il existe plusieurs modèles de ce type.

I.3.3.1.1. Distillateur à pente unique :

Le distillateur à pente unique incliné d'un angle.

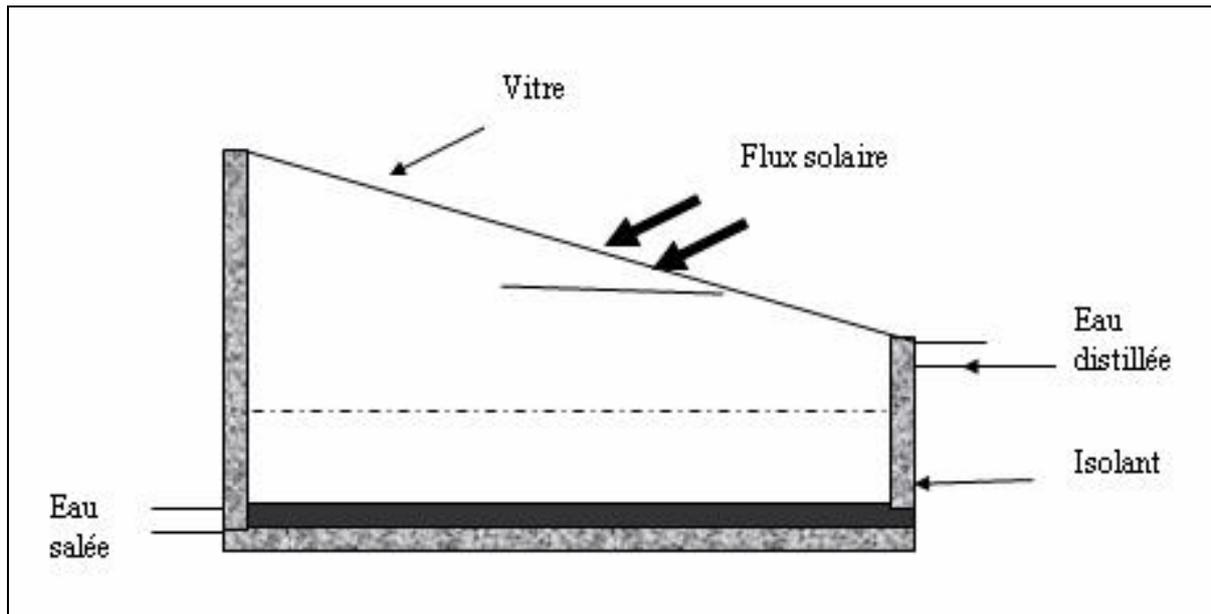


Figure I.5 : Distillateur à simple effet avec un seul capteur

I.3.3.1.2. Distillateur solaire à double pente:

C'est un distillateur à double capteurs où chacun d'eux est incliné d'un angle, son avantage est d'exposer un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation.

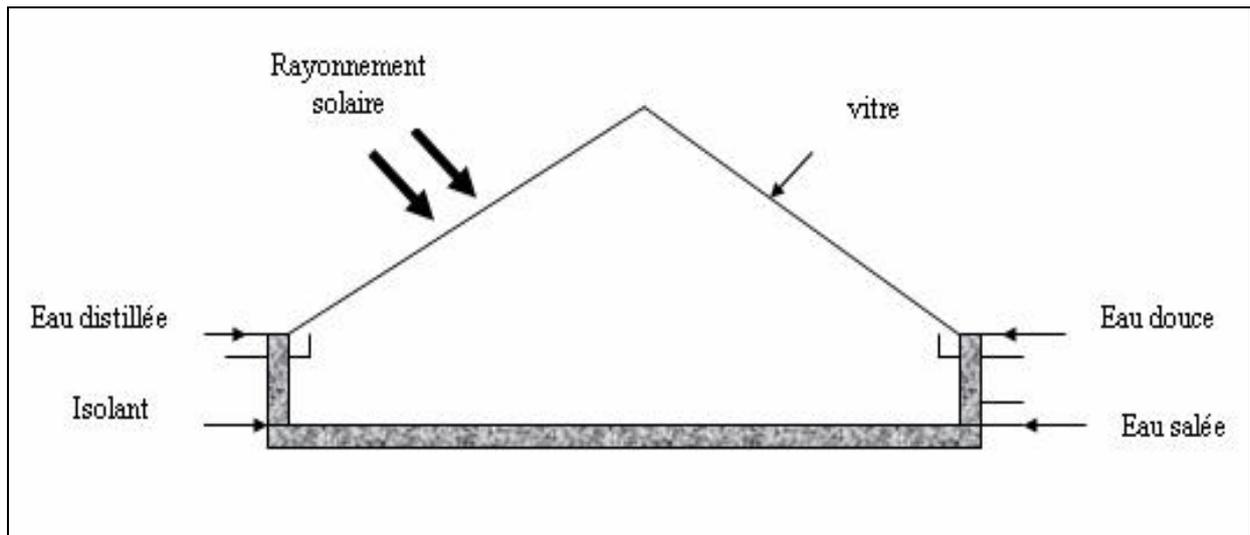


Figure I.6 : Distillateur solaire à simple effet avec deux capteurs

I.3.3.1.3. Distillateur solaire terre- eau :

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les régions arides. Cette humidité est retournée à l'atmosphère durant la saison chaude pour compléter le cycle hydrologique naturel. Pour exploiter ceci, on utilise le distillateur solaire terre-eau. C'est un distillateur contenu dans le sol. Il est similaire au distillateur à doubles pentes, sauf que le sol remplace le bassin noir.

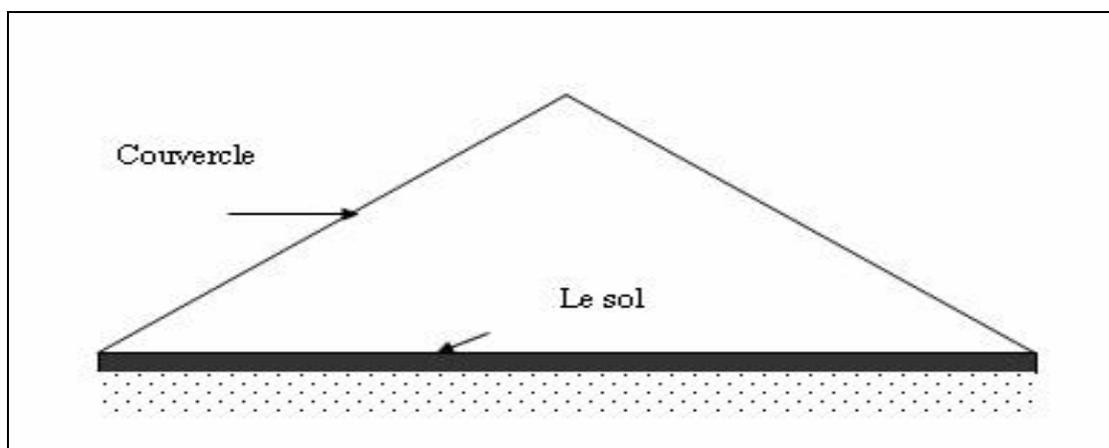


Figure I.7 : Distillateur solaire terre – eau

I.3.3.1.4. Distillateur sphérique à balayage :

C'est un distillateur en plexiglas ou autres matériaux plastiques transparents reposant sur des supports, il est essentiellement constitué par trois parties, une demi-sphère supérieure qui sert à transmettre le rayonnement solaire d'une part ; et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi sphère inférieure qui sert à récupérer le distillat, un bac horizontal en métal noir contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian de la sphère.

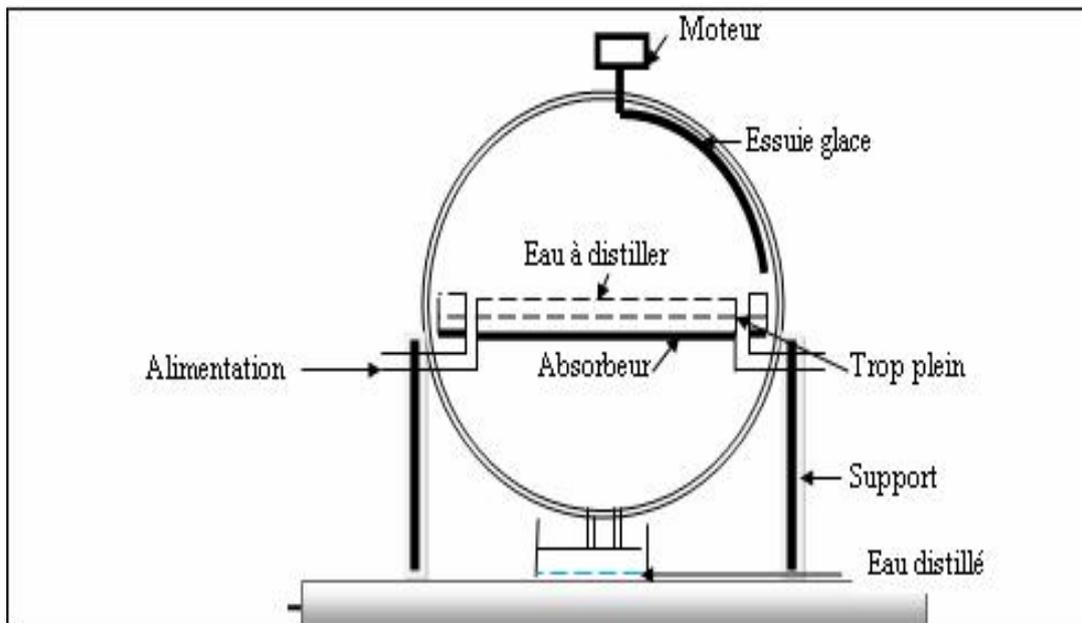


Figure I.8 : Distillateur solaire sphérique à balayage

I.3.3.1.5. Distillateur solaire à film capillaire :

Le distillateur solaire à film capillaire a été conçu par R. et C Ouahes et P. Le Goff. Il se compose comme suit :

D'une très mince couche de textile à mailles fines, imbibée d'eau qui se maintient d'elle-même au contact de la plaque jouant le rôle d'évaporateur. Les forces de tension inter faciales nettement supérieures à celles de la pesanteur, jouent un rôle très important dans la formation du film capillaire, de faible inertie thermique, en empêchant toute formation de bulles d'air.

Ce distillateur est composé des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l’alimentation. La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture. La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l’évaporation du film qui ruisselle sur l’autre face de cette même paroi.

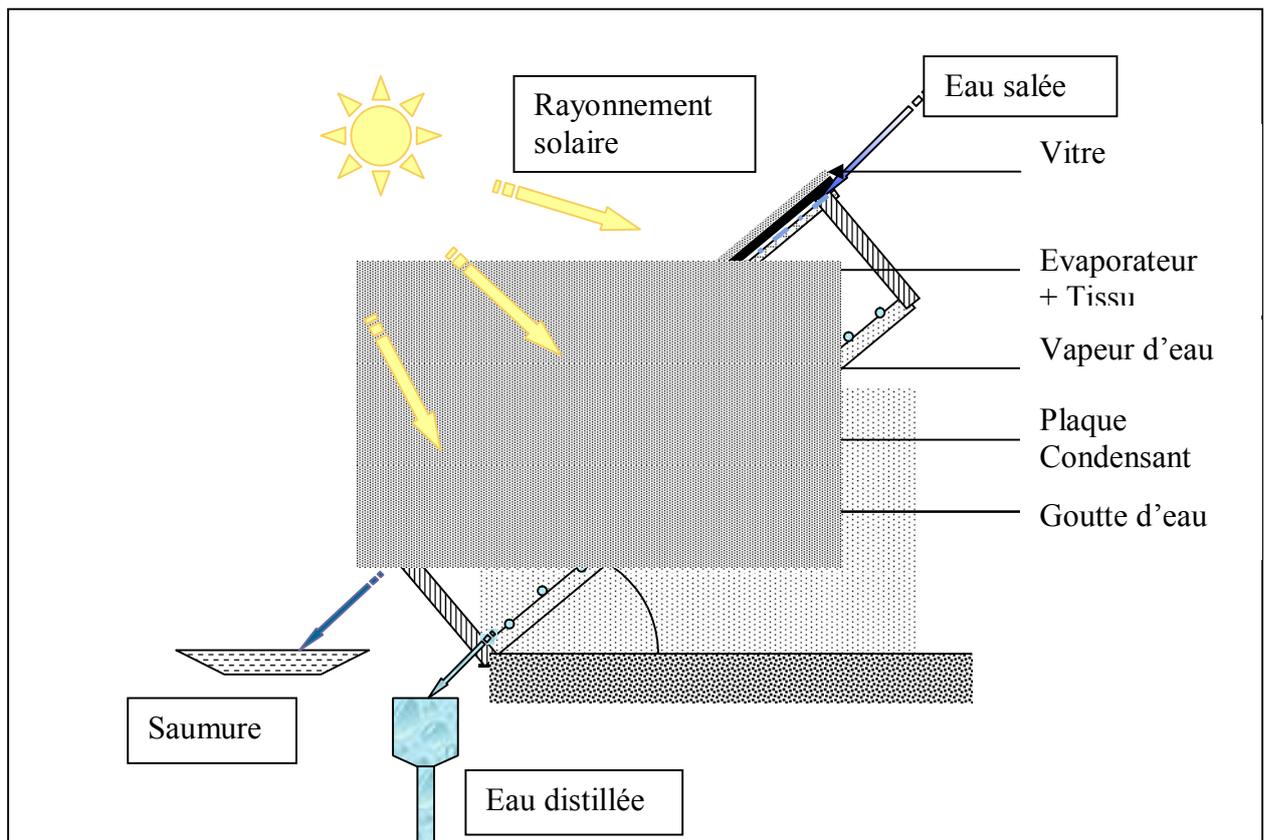


Figure I.9 : Distillateur à film capillaire avec un seul étage

I.3.3.2. Distillateurs à multi effets :

Le distillateur solaire à multi effets est constitué de plusieurs évaporateurs placés en série et opérant à des pressions décroissantes; l'effet de tête et l'effet de queue [9,11].

I.3.3.2.1. Distillateur à diffusion :

Cet appareil se compose principalement de deux parties, un réservoir de stockage relié à un capteur et une série de plaques métalliques parallèles et verticales. L'eau chaude provenant du réservoir de stockage échauffe la première plaque et provoque l'évaporation de l'eau qui coule sur le côté droit de celle-ci, la vapeur d'eau produite se condense sur le côté gauche de la deuxième plaque, la chaleur de condensation libérée servira à évaporer l'eau qui coule sur le côté droit de la deuxième plaque et ainsi de suite jusqu'à la dernière plaque où la chaleur de condensation va contribuer au préchauffage de l'eau salée d'alimentation [9,11,13].

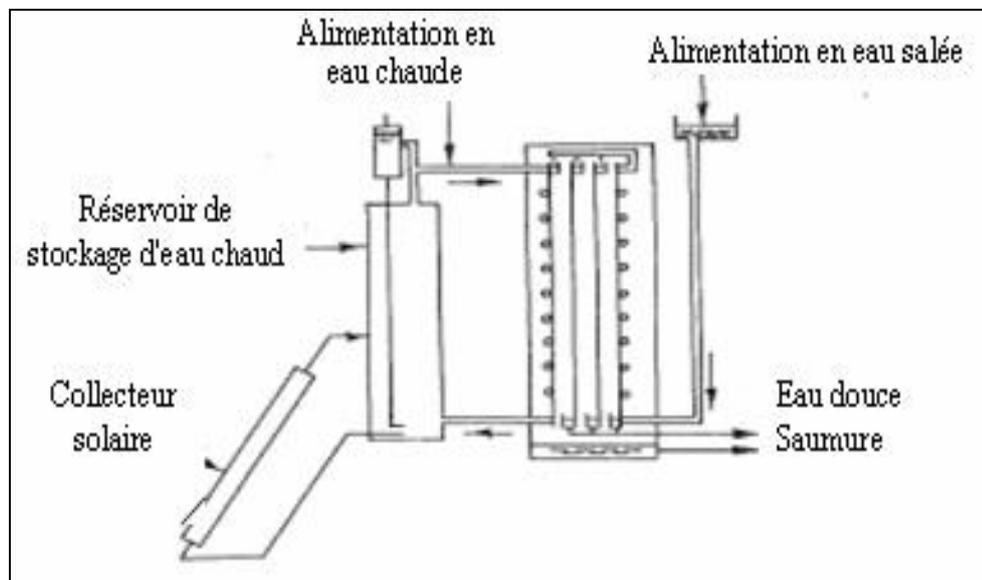


Figure I.10 : Distillateur à diffusion

I.3.3.2.2. Distillateur solaire à cheminée :

Ce distillateur se différencie des autres distillateurs conventionnels par l'adjonction d'une cheminée dans laquelle se trouve un échangeur de chaleur, le conduit plan couvert d'une vitre sert à capter l'énergie solaire [9,11].

Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau saumâtre qui coule dans le conduit s'évapore et monte dans la cheminée où elle se condense, la chaleur de condensation peut être utilisée pour le préchauffage de l'eau entrant dans le système [9,11].

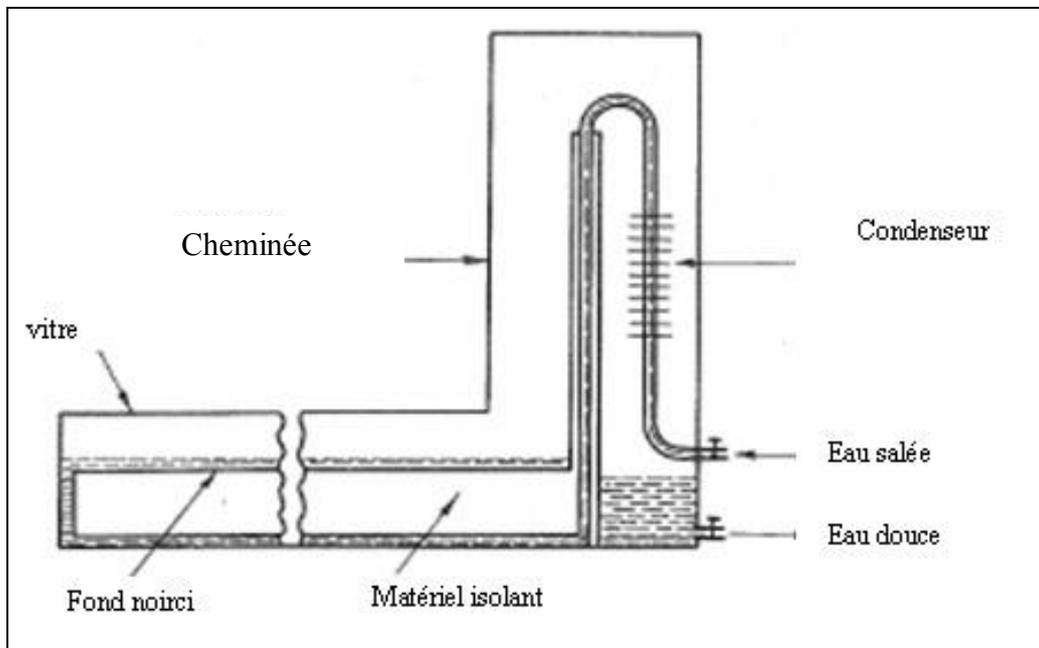


Figure I.11 : Distillateur à cheminée

I.3.3.2.3. Distillateur à mèche évaporante :

Ce distillateur a été construit pour économiser la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation. L'évaporateur est constitué par la juxtaposition de trois plaques parallèles légèrement espacées.

L'eau à distiller passe dans la première enceinte et arrive au capteur où elle s'échauffe puis s'évapore dans une deuxième enceinte, la condensation s'effectue sur la face inférieure du milieu. Les deux dernières plaques sont munies d'un grillage qui augmente l'échauffement et uniformise l'écoulement de l'eau [9,11].

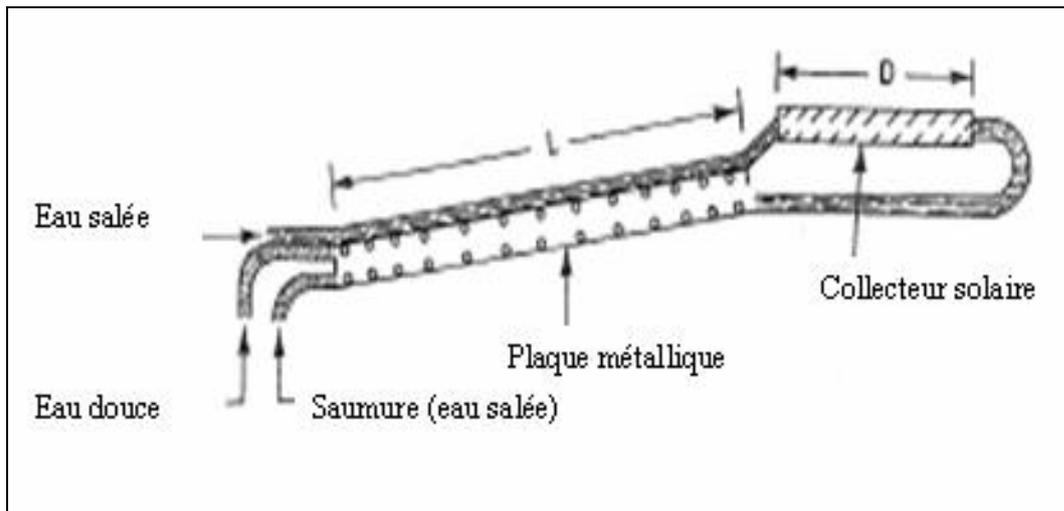


Figure I.12 : Distillateur à mèche évaporante

Il existe d'autres plusieurs types de distillateur qui sont développés à partir des distillateurs cités précédemment parmi lesquels :

- le distillateur thermo solaire à cascade [23]
- le distillateur thermo solaire muni d'une cuve de stockage [24]
- distillateur solaire fonctionnant en mode indirect [25]

CHAPITRE II
Généralité sur le rayonnement
Solaire

CHAPITRE II

GENERALITE SUR LE RAYONNEMENT SOLAIRE

II.1.Introduction :

La terre est animée d'un mouvement de rotation autour de l'axe des pôles (NORD-SUD).Le centre de la terre décrit une ellipse ayant le soleil comme foyer.

Au lieu de faire l'étude de la terre autour du soleil et de son axe ; il est plus important pour notre étude de s'intéresser au mouvement apparent du soleil dans la sphère céleste.

II.2.Le soleil :

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.10^{27} tonnes [1].

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564,106 tonnes d'hydrogène en 560,106 tonnes d'hélium, la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie ($E=mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.10^{22} KW. La terre étant à une distance de 150.10^6 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de $1,8.10^{14}$ KW [1].

II.3.La constante solaire :

La valeur du rayonnement solaire "**I_c**", reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne "**I₀**" appelée constante solaire est de l'ordre de 1354 W.m^{-2} . En première approximation, on peut calculer la valeur de "**I_c**" en fonction du numéro du jour de l'année "**n_j**" par la relation suivante [2, 3, 7,12] :

$$I_c = I_0[1+0.033 \times \cos (0.984 \times n_j)] \quad (\text{II.1})$$

II.4.Aspects géométriques du rayonnement solaire :

Dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la terre et orienté dans une direction fixée, notre intérêt va porter dans ce qui suit sur les aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la terre. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire [2,3,12].

II.5.Mouvements de la terre :

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'**écliptique** [3,4].

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de $\pm 1,7 \%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $149\,675\,10^6$ km [3,4].

La terre tourne également sur elle même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'**équateur**. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé **inclinaison** de l'ordre de $23^{\circ}27'$ [3].

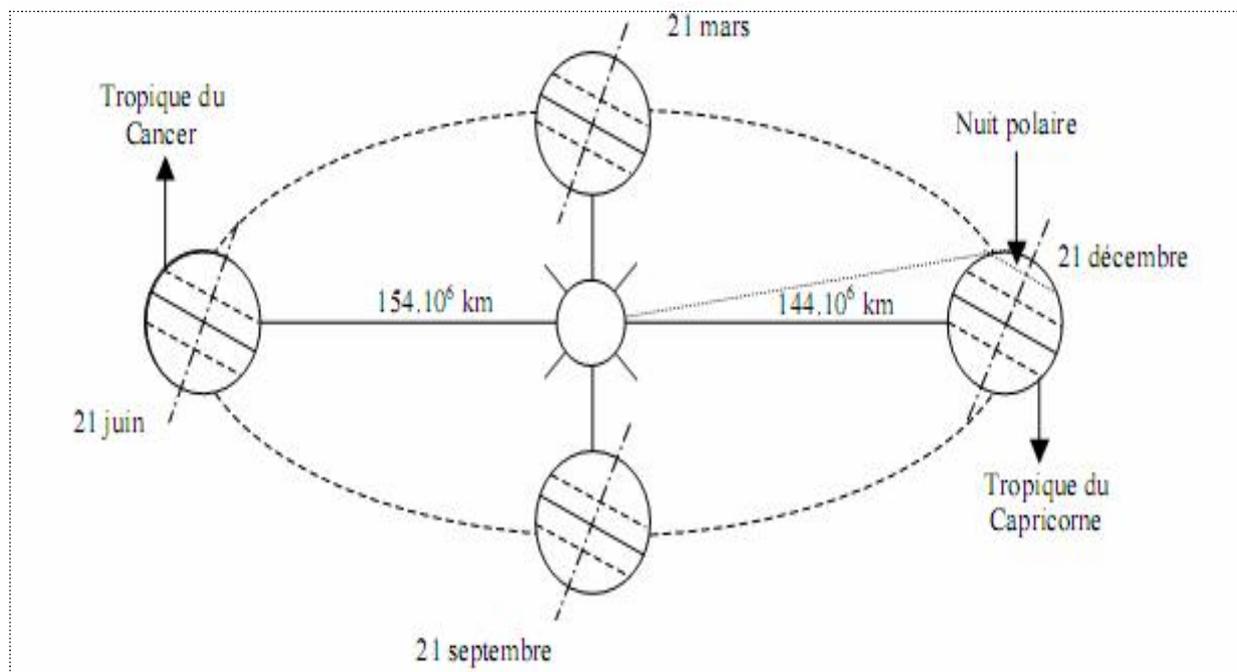


Figure II.1 : Schématisation de mouvement de la terre autour du soleil

II.6. La sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, qui admet pour centre la terre, et pour rayon la distance (terre – soleil). On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes

Caractéristiques sur la sphère elle-même comme c'est indiqué sur la figure (figure II.2).

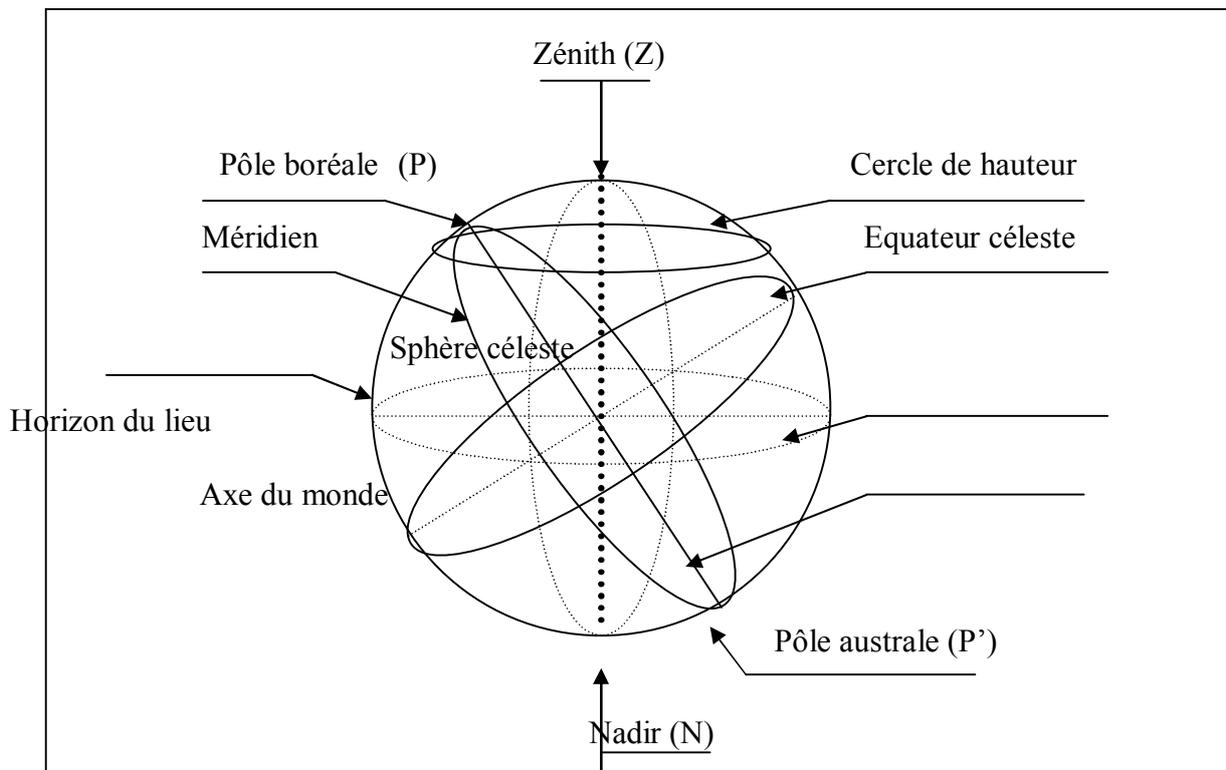


Figure II.2 : La sphère céleste

La direction des objets peut être quantifiée de façon précise à l'aide d'un système de coordonnées célestes.

II.7. Les coordonnées célestes :

II.7.1. Les coordonnées géographiques [12]:

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre (figure II.3).

- La longitude (L) :

C'est l'éloignement par rapport au méridien de Greenwich, mesuré en degré. Elle est comptée positivement vers l'est et négativement vers l'ouest, à partir du méridien **Greenwich**.

- La latitude (Φ) :

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesuré en degré (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud.

- L'altitude (Z) :

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre.

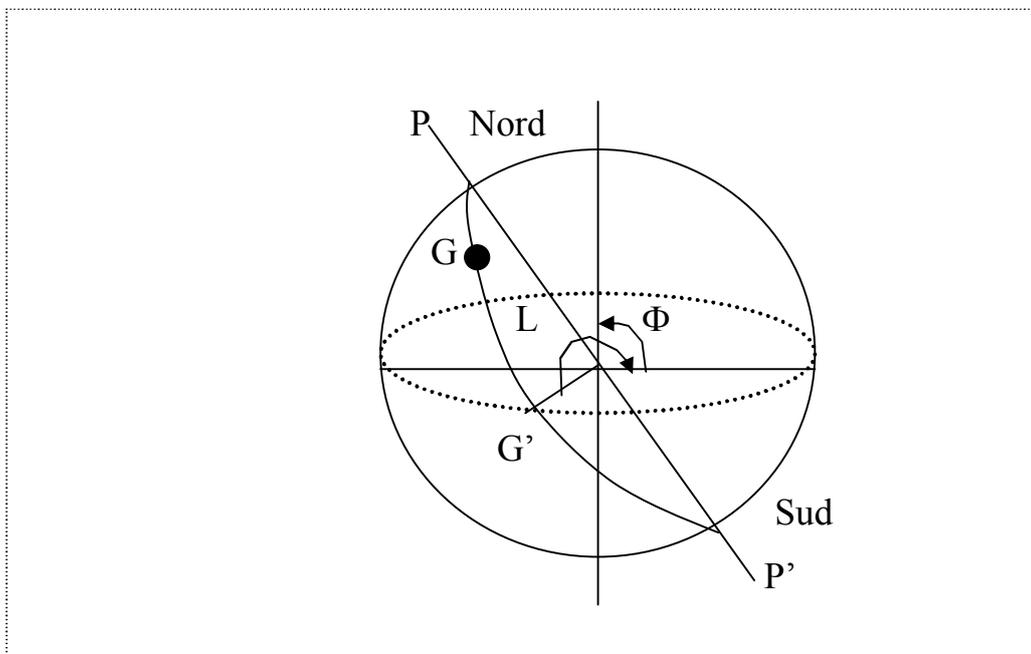


Figure II.3 : Les coordonnées géographiques

II.7.2. Les coordonnées horaires :

- La déclinaison (δ) :

C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de $+23^{\circ}27'$ à $-23^{\circ}27'$ et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante [4] :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{284 + n_j}{365} \times 360 \right] \quad [\text{Degré}] \quad (\text{II.2})$$

Où :

n_j : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1^{er} Janvier.

- L'angle horaire (ω) :

Il est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Il est compté positivement dans le sens rétrograde de 0° à 360° (figure II.4).

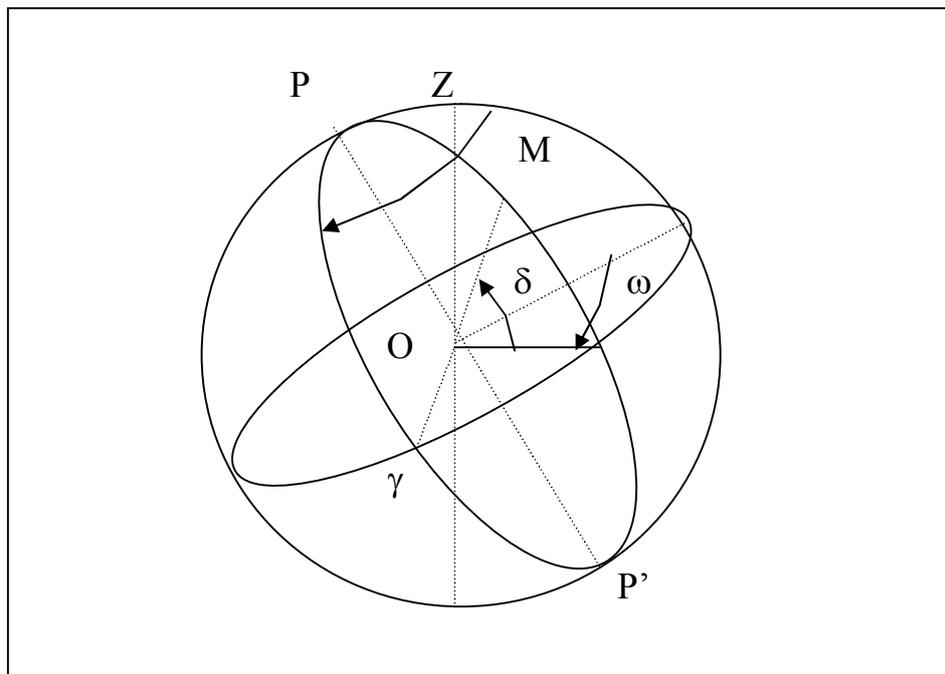


Figure II.4 : Les coordonnées horaires

II.7.3. Les coordonnées horizontales :

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

- L'azimut (a) :

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal avec la direction sud. Il est compté de 0° à 360° d'ouest en est, ou de 0° à 180° à partir du sud vers l'ouest.

- La hauteur (h) :

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est compté de 0° à 90° vers le **zénith** et de 0° à -90° vers le **nadir** (figure II.5).

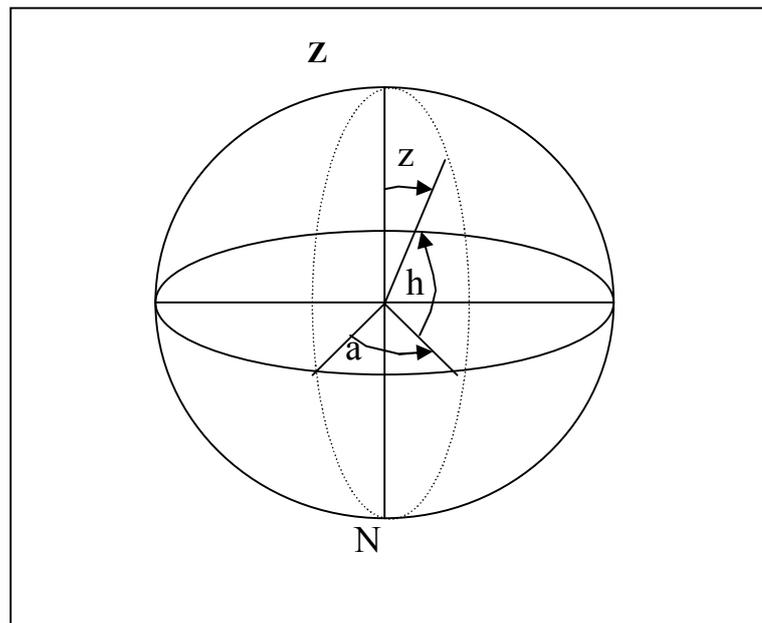


Figure II.5 : Les coordonnées horizontales

L'équation de passage des coordonnées horizontales aux coordonnées horaires est [4] :

$$\sin (a) \times \cos (h) = \cos (\delta) \times \sin (\omega)$$

$$\cos (a) \times \cos (h) = \cos (\delta) \times \cos (\omega) \times \sin (\Phi) - \cos (\Phi) \times \sin (\delta)$$

$$\sin (h) = \cos (\Phi) \times \cos (\delta) \times \cos (\omega) + \sin (\Phi) \times \sin (\delta)$$

II.8. Les temps solaires :

II.8.1. Le Temps Solaire Vrai (T.S.V) :

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil ω . Il est donné sous la forme suivante [5] :

$$\text{TSV} = 12 + \omega/15 \quad (\text{II.3})$$

ω : En degré.

Si $\omega = 0$, TSV=12^h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

II.8.2. Le Temps Solaire Moyen (T.S.M) :

Il est appelé parfois temps locale (TSM), Il est donné par la relation [5] :

$$\text{TSV} - \text{TSM} = \text{Et} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

Et ; l'équation du temps, qui corrige le T.S.V par rapport au T.S.M.

$$\text{Et} = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \quad [\text{min}]$$

$$N' = (n_j - 81) \times 360/365$$

Où : n_j est le numéro du jour dans l'année.

II.8.3. Le Temps Universel (T.U) :

C'est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine)

Appelé encore **GMT** (Greenwich Mean Time) [5]:

$$\text{TU} = \text{TSM} - (\text{L}/15) \quad (\text{II.5})$$

Où : L : est la longitude.

$L > 0$; pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

$L < 0$; pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

TU = TSM ; pour le méridien de Greenwich.

II.8.4. Le Temps Légal (T.L) :

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par [5] :

$$TL = TU + \Delta H$$

Où :

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

$\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie.

II.8.5. le Temps Civil :

Représente le temps qui a pour origine minuit [5].

II.9. Direction des rayons solaires par rapport à un plan :

On considère un plan quelconque situé dans un lieu de latitude Φ caractérisé par deux angles :

α : L'angle entre le méridien local et la normale au plan.

$\alpha = 0$; le plan est orienté vers le Sud.

$\alpha = \pi$; le plan est orienté vers le Nord.

$\alpha = -\pi/2$; le plan est orienté vers l'Est.

$\alpha = \pi/2$; le plan est orienté vers l'Ouest.

γ = l'angle entre le plan horizontal et le plan considéré.

$\gamma = 0$; le plan est horizontal.

$\gamma = \pi/2$; le plan est vertical.

Soit :

\vec{N} : le vecteur unitaire porté par la direction des rayons solaires.

\vec{n} : le vecteur unitaire porté par la normale à la surface.

i: L'angle d'incidence (\vec{n}, \vec{N}) (figure II.6)

$$\vec{N} \begin{cases} \sin(a) \times \cos(h) \\ \cos(a) \times \cos(h) \\ \sin(h) \end{cases} \quad \vec{n} \begin{cases} \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) \\ \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) \\ \sin(\gamma) \end{cases}$$

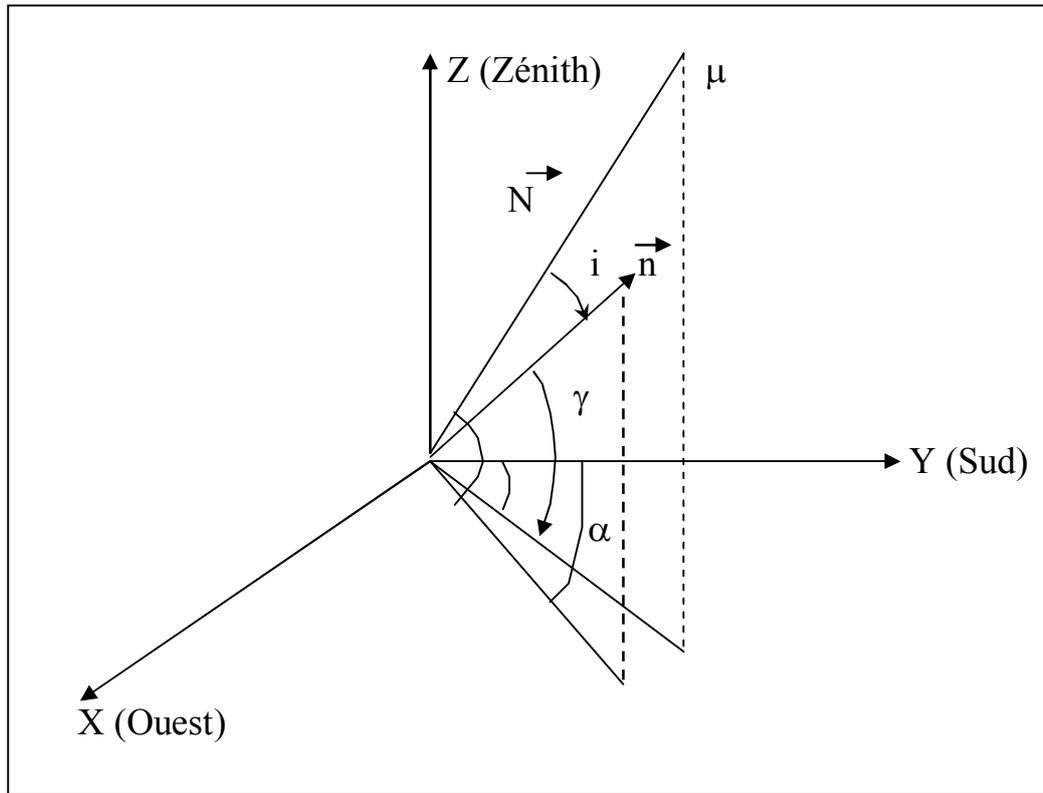


Figure II.6 : Représentation des vecteurs unitaires

$$\vec{N} \times \vec{n} = \|\vec{n}\| \times \|\vec{N}\| \times \cos(i) = \cos(i)$$

$$\vec{N} \times \vec{n} = \sin(a) \times \cos(h) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + \cos(a) \times \cos(h) \times \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) + \sin(h)$$

×

$$\sin(\gamma) = \cos(i)$$

Par conséquent:

$$\cos(i) = \cos(h) \times \cos(\gamma) \times \cos(a-\alpha) + \sin(h) \times \sin(\gamma)$$

Exprimons $\cos(i)$ en coordonnées horaires, il en résulte :

$$\cos(i) = \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\sin(\Phi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta)) \times \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\cos(\Phi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) + \sin(\Phi) \times \sin(\delta)) \times \sin(\gamma)$$

Dans les cas particuliers où les surfaces sont horizontales ou verticales avec différentes orientations, l'expression devient:

- Surfaces horizontales: $\gamma = \pi / 2$
 $\cos (i) = \cos (\Phi) \times \cos (\omega) \times \cos (\delta) + \sin (\Phi) \times \sin (\delta)$
- Surfaces verticales : $\gamma = 0$
 - Surfaces verticales orientées vers le Sud : $\alpha = 0$
 $\cos (i) = \sin (\Phi) \times \cos (\omega) \times \cos (\delta) - \cos (\Phi) \times \sin (\delta)$
 - Surfaces verticales orientées vers le Nord : $\alpha = \pi$
 $\cos (i) = \cos (\Phi) \times \sin (\delta) - \sin (\Phi) \times \cos (\omega) \times \cos (\delta)$
 - Surfaces verticales orientées vers l'Est : $\alpha = - \pi / 2$
 $\cos (i) = - \cos (\delta) \times \sin (\omega)$
 - Surfaces verticales orientées vers l'Ouest: $\alpha = + \pi / 2$
 $\cos (i) = \cos (\delta) \times \sin (\omega)$
- Surface orientée vers le Sud et inclinée d'un angle β par rapport à l'horizontale :
 $\cos (i) = \cos (\delta) \times \cos (\omega) \times \cos (\Phi - \beta) + \sin (\delta) \times \sin (\Phi - \beta)$

II.10. Aspects énergétiques du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire subit un certain nombre d'altération et d'atténuations aléatoires en traversant l'atmosphère; réflexion sur les couches atmosphériques, absorption moléculaire, diffusion moléculaire et par les aérosols (la poussière, les gouttelettes...)

Au niveau du sol, à cause de la diffusion, une partie du rayonnement est diffuse (c'est-à-dire isotrope). L'autre partie dite directe est anisotrope [3].

II.11. Rayonnement solaire :

L'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit :

- Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications.
- Le rayonnement diffus est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.
- Le rayonnement global qui est la somme du rayonnement direct et diffus.

Nous exposons dans ce qui suit les expressions et les principales caractéristiques des deux composantes du rayonnement global.

II.11.1. Rayonnement direct :

L'expression du rayonnement direct pour un plan orienté vers le sud est [2, 3, 6] :

$$I_D = I_C \times a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right) \times \cos(i) \quad (\text{II.6})$$

a et b : Coefficients traduisant les troubles atmosphérique (tableau II.1).

p : La pression atmosphérique en fonction de l'altitude (tableau II.2).

	Ciel pur	Condition normale	Zones industrielles
a	0.87	0.88	0.91
b	0.17	0.26	0.43

Tableau II.1 : Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique

Altitude (m)	0	500	1000	1500	2000	5000
P(mbar)	1000	950	900	850	800	500

Tableau II. 2 : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

II.11.2. Rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus provient de tous les éléments irradiés par le soleil. Le flux diffus reçu par la surface de captation se caractérise par deux composantes du flux à savoir :

- Le flux diffus émis par la voûte céleste (φ_1), donné par la relation :

$$\varphi_1 = \varphi_0 \times \frac{1 + \cos(b)}{2} \quad (\text{II.7})$$

- Le flux émis par le sol (φ_2), donné par l'expression :

$$\varphi_2 = \rho \times \frac{1 - \cos(b)}{2} \times (I_c \times \tau_{dir} \times \sin(h) + \varphi_0) \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$\varphi_0 = I_c \times \sin(h) \times (0.271 - 0.2939 \times \tau_{dir}) \quad (\text{II.9})$$

τ_{dir} : Étant la transmissivité totale de la couche atmosphérique dont l'expression est :

$$\tau_{dir} = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right) \quad (\text{II.10})$$

ρ : L'albédo du sol, les valeurs de ce coefficient sont données par le tableau(II.3) :

Nature du sol	Neige fraîche	Neige ancienne	Sol rocheux	Sol cultivé	forêt	Etendue d'eau
Valeur de ρ	0.8-0.9	0.5-0.7	0.15-0.25	0.07-0.14	0.06-0.20	0.05

Tableau II.3 : Valeurs de l'albédo du sol" ρ "

Le flux diffus s'écrit par conséquent de la manière suivante :

$$I_d = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (\text{II.11})$$

II.11.3.Rayonnement global :

Le rayonnement global sur une surface est la somme du rayonnement direct (I_D) et du rayonnement diffus (I_d), soit :

$$I_G = I_D + I_d \quad (\text{II.11})$$

II.12. Calcul des puissances absorbées par les différents composants du distillateur :

II.12.1. Puissance absorbée par la vitre [6,12] :

$$P_G = I_D \times \alpha_{GD} + I_d \times \alpha_{Gd} \quad (\text{II.12})$$

Où :

α_{GD} et α_{Gd} : Sont les coefficients d'absorption respectivement pour les rayonnements direct et le diffus.

$$\alpha_{GD} = 1 - R_D - T_D \quad (\text{II.13})$$

Où :

T_D : le coefficient de transmission global du rayonnement direct, il est calculé par :

$$T_D = T_r \times T_a \quad (\text{II.14})$$

T_r : le coefficient de transmission dû à la réflexion

$$T_r = (1 - R_D) / (1 + R_D) \quad (\text{II.15})$$

T_a : le coefficient de transmission dû à l'absorption

$$T_a = \exp [-k_G \times e_G / \cos(\theta)] \quad (\text{II.16})$$

Où :

k_G : coefficient d'extinction du verre

e_G : épaisseur de la vitre [m]

R_D caractérise la réflectivité de la vitre, il est donné par :

$$R_D = (R_N + R_P) / 2 \quad (\text{II.17})$$

Avec :

$$R_N = \frac{\sin^2(\theta - i)}{\sin^2(\theta + i)} \quad (\text{II.18}) \quad \text{et} \quad R_P = \frac{\text{tg}^2(\theta - i)}{\text{tg}^2(\theta + i)} \quad (\text{II.19})$$

Où :

θ : Angle de réfraction du rayon au niveau de la vitre.

i et θ : Sont reliés par la relation de Snell-Descartes :

$$n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(\theta) \quad (\text{II.20})$$

Avec :

n_1 : indice de réfraction absolue du milieu traversé par le rayon incident

n_2 : indice de réfraction absolue du milieu traversé par le rayon réfracté

Le coefficient d'absorption pour le rayonnement diffus se calcule de manière similaire que celui du rayonnement direct avec un angle d'incidence $i = 60^\circ$.

$$\alpha_{Gd} = 1 - R_d - T_d \quad (\text{II.21})$$

II.12.2. Puissance absorbée par la nappe d'eau [6]:

$$P_W = I_D \times \alpha_{WD} + I_d \times \alpha_{Wd} \quad (\text{II.22})$$

α_{WD} et α_{Wd} : Sont respectivement les coefficients d'absorption de la saumure pour les rayonnements direct et diffus.

$$\alpha_{WD} = T_D \times [\alpha_W + T_{RW} \times \alpha_b] \quad (\text{II.23})$$

Avec :

α_W : Coefficient d'absorption de la saumure (constant)

T_{RW} : Coefficient de transmission de la saumure

$$T_{RW} = \alpha_W - R_W \quad (\text{II.24})$$

R_W : Coefficient de réflexion de la saumure, il est donné par la relation :

$$R_N = \left[\frac{\sin^2(\theta - i)}{\sin^2(\theta + i)} + \frac{\text{tg}^2(\theta - i)}{\text{tg}^2(\theta + i)} \right] \quad (\text{II.25})$$

Où :

θ : est l'angle de réfraction, calculé selon la relation :

$$\theta = \arcsin \left[\left(\frac{n_1}{n_2} \right) \sin(i) \right] \quad (\text{II.26})$$

Avec :

n_1 : indice de réfraction de l'air;

n_2 : indice de réfraction de la saumure.

α_b : coefficient d'absorption du bac absorbant.

Le coefficient d'absorption pour le rayonnement diffus $\alpha_{w d}$ varie par rapport à $\alpha_{w D}$; cette variation est due à T_d .

II.12.3. Puissance absorbée par le bac absorbant [6] :

Si α_b est le coefficient d'absorption du bac absorbant, on déduit la puissance P_b :

$$P_b = \alpha_b \frac{I_D \times T_D + I_d \times T_d}{1 - (1 - \alpha_b) \times R_d} \quad (\text{II.27})$$

CHAPITRE III
Etude théorique

Chapitre III

ETUDE THEORIQUE D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE

Le choix d'un distillateur solaire dépend d'une grandeur appelée caractéristique de fonctionnement : le débit de distillat, l'efficacité globale et l'efficacité interne, qui sont généralement influencés par les paramètres de fonctionnements [17].

III.1. Paramètres de Fonctionnement du Distillateur solaire à effet de serre :

Deux types de paramètres influençant le système de distillation pour un site donné doivent être pris en compte :

III.1.1. Paramètres Externes :

Ces paramètres sont liés au site :

- a) **Paramètre géographiques** : tels que la longitude, la latitude et la hauteur du soleil.
- b) **Paramètres Météorologiques** : dont les plus fréquemment retenus sont :
 - la vitesse du vent, qui intervient surtout dans l'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'ambiance
 - la température ambiante dont l'augmentation conduit à une décroissance de la production
 - d'autres paramètres atmosphériques tels que la pluie, la rosée, la poussière peuvent également avoir une influence.
 - paramètres d'ensoleillement (rayonnement global, position du soleil.....) :

Il est évident que la production dépend de la quantité de chaleur que reçoit le distillateur (l'irradiation globale incidente).

- c) **Nature de l'eau à traiter** : choix du pré-traitement, taux de conversion et rapport de la performance.

III.1.2. Paramètres Internes :

Il s'agit de l'influence de certains paramètres sur l'efficacité, tel que :

III.1.2.1. Les paramètre de position :

- L'emplacement du distillateur : où les distillateurs doivent être placés de façon à éviter les obstacles " l'effet de masque", qui empêchent le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

- L'orientation : elle dépend essentiellement du fonctionnement du distillateur pendant la Journée on distingue entre autres :
 - Fonctionnement pendant la matinée : orientation Est
 - Fonctionnement pendant l'après-midi : orientation Ouest
 - Fonctionnement durant toute la journée : orientation Sud
- L'inclinaison : où elle est généralement liée à la période de fonctionnement durant l'année :
 - Fonctionnement estival $\rightarrow \beta = \Phi - 10^\circ$
 - Fonctionnement hivernal $\rightarrow \beta = \Phi + 20^\circ$
 - Fonctionnement annuel $\rightarrow \beta = \Phi + 10^\circ$

D'où : Φ est l'altitude du lieu.

III.1.2. 2.Paramètres de construction :

Les matériaux utilisés dans la construction du distillateur ont une grande influence sur le fonctionnement de ce dernier, notamment :

a) La couverture :

La couverture intervient essentiellement par :

- Sa nature.
- Sa mouillabilité par l'eau.
- Sa transparence au rayonnement solaire.
- Son opacité au rayonnement infra - rouge de grandes longueurs d'ondes.
- Sa résistance aux attaques du vent et des particules solides.
- Le nombre de vitres.
- Son inclinaison par rapport à l'horizontal.

b) La surface absorbante :

Le rôle de l'absorbeur est de transformer le rayonnement solaire incident en un flux thermique.

Les caractéristiques idéales sont :

- Un facteur d'absorption proche de l'unité ;
- Une bonne conductivité thermique ;
- Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide qui le baigne ;
- Une faible inertie thermique ;
- Résistance aux grandes températures sans qu'il y ait une détérioration de la surface absorbante ;

On choisit généralement l'aluminium et le cuivre recouverts d'une mince couche de peinture

noire mate, pour augmenter le pouvoir d'absorption et réduire les pertes thermiques par réflexion et diffusion.

c) La distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation :

Ce paramètre détermine l'intensité des pertes thermiques latérales par convection, et la grandeur de la couche tampon qui freine l'échange entre la surface d'évaporation et la surface de condensation. Une étude menée par [18] a montré qu'une réduction de ce paramètre augmente le facteur de performance brut.

e) Les paramètres de la saumure :

Ces paramètres sont :

- **L'épaisseur de la nappe d'eau :**

Plus cette dernière est importante, moins sa température fluctue au cours de la production. L'inertie thermique augmente avec l'épaisseur de la nappe d'eau, et la durée de fonctionnement nocturne croît également avec l'épaisseur de la saumure. Cependant, la production moyenne pendant 24 heures diminue lorsque l'épaisseur augmente.

Des expériences ont montré que cette production suit la loi suivante [19] :

$$y = \frac{a}{x-b} + c \quad \text{(III.1)}$$

Avec :

y : La production

x : L'épaisseur de la saumure

a, b, c : Paramètres dépendant de la forme de l'appareil et des conditions locales.

- **La température de la saumure :**

Lorsque la température de la saumure augmente, un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau due à la formation de carbonates insolubles dans la saumure est observé [20]. Ceci empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface absorbante, entraînant ainsi une baisse dans la production.

- **La concentration du sel :**

La production du distillateur se trouve diminuée quand la concentration augmente.

III.1.2.3. Paramètres optiques :

Ces paramètres sont : l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmissivité de la surface absorbante et de la couverture.

III.1.2.4. Paramètres thermo physiques :

Les paramètres thermo physiques sont :

- La conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique de la couverture et la surface absorbante.
- La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique, la chaleur latente de vaporisation, le coefficient de dilatation thermique et la diffusivité thermique de la saumure.
- La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique et le coefficient de dilatation thermique du mélange air- vapeur.

III.2. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire :

Un distillateur solaire est caractérisé essentiellement par les grandeurs suivantes [19,21] :

III.2.1. Le rendement (le débit de distillat ou la production) :

C'est la quantité d'eau produite par unité de surface de plan noir et par jour. L'inconvénient majeur de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire incidente qui arrive sur le distillateur.

$$m_d = \frac{q_{ev}}{L_v} \quad (III.2)$$

q_{ev} : Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

III.2.2. L'efficacité :

III.2.2.1. L'efficacité globale :

L'efficacité globale est définie par le rapport de la quantité d'énergie évaporée par mètre carré, à la quantité de l'énergie globale incidente par mètre carré sur une surface horizontale.

Elle est donnée par la relation suivante :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{I_g \times A_g} = \frac{m_d \times L_v}{I_g \times A_g} \quad (III.3)$$

Avec :

q_{ev} : Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.

A_g : Superficie du capteur (aire de la vitre).

I_g : Énergie solaire globale incidente par mètre carré (m^2) sur une surface horizontale, pendant un jour.

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

m_d : Le débit du distillat.

III.2.2.2.L'efficacité interne :

Elle représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par mètre carré de surface, à la quantité d'énergie effectivement absorbée par la saumure par mètre carré de surface.

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{q_w} = \frac{m_d \times L_v}{\alpha_t \times I_g \times A_g} \quad (III.4)$$

Pour une intensité globale I_g , l'expression de q_w est :

$$\phi_w = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f) \times I_g A_g$$

En posant : $\alpha_t = \tau_v \alpha_e + \tau_v \alpha_e \alpha_f$

Donc : $\phi_w = \alpha_t \cdot I_g \cdot A_g$

Il en résulte : $\eta_i = \frac{\eta_g}{\alpha_t}$ (III.5)

α_t : Le coefficient d'absorption global du distillateur (coefficient d'absorption fictif de la masse d'eau, $\alpha_t = 0.85$)

III.2.3.la performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Satcunanathan et Hansen [18] à définir le facteur de performance brut(F.P.B) et le facteur de performance horaire(F.P.H) :

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout de 24 h}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout de 24 h}} \quad (III.6)$$

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure}} \quad (\text{III.7})$$

A un instant donné de la journée, le facteur de performance "F.P" est donné par la relation :

$$F.P = \frac{m_d}{\alpha_t \times I_G \times A_g} \quad (\text{III.8})$$

Cette partie (chapitre) est consacrée à l'étude de deux types de distillateurs : le distillateur solaire plan et le distillateur solaire sphérique. Nous présentons le principe de fonctionnement, et établirons le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur. Le système d'équations résultant est résolu par une approche numérique basée sur la méthode de Gauss Seidel d'itération.

III.3. Bilan thermique d'un distillateur :

Comme tous les appareils à effet de serre, le distillateur solaire est un système qui échange de la chaleur avec le milieu ambiant.

Avant d'établir le bilan énergétique global d'un distillateur solaire, il faut déterminer, en premier lieu, les principaux transferts de chaleur à l'intérieur et à l'extérieur.

III.3.1. Distillateur plan : (figure III.1)

- La saumure cède les flux de chaleur par rayonnement « q_{w-g}^r », par convection naturelle à la surface de condensation (vitre) « q_{w-g}^c », et le flux de chaleur perdu par la nappe d'eau au cours de changement de phase (évaporation) « q_{w-g}^{ev} ».
- Par conduction et par convection, la nappe d'eau reçoit du bac absorbant les flux de chaleur « q_{b-w}^{cd} » et « q_{b-w}^c ».
- Par conduction, le bac absorbant cède un flux de chaleur « q_{b-isi}^{cd} » à l'isolant.
- La vitre cède au milieu ambiant, les flux de chaleur « q_{g-a}^r » par rayonnement et par

« q_{g-a}^c » par convection.

- L'isolant échange avec l'extérieur les flux de chaleur par rayonnement « q_{ise-a}^r » et par convection « q_{ise-a}^c »

- Un rayonnement solaire, frappant la surface de la vitre sera absorbé par la vitre, par la saumure et par le bac absorbant, successivement.

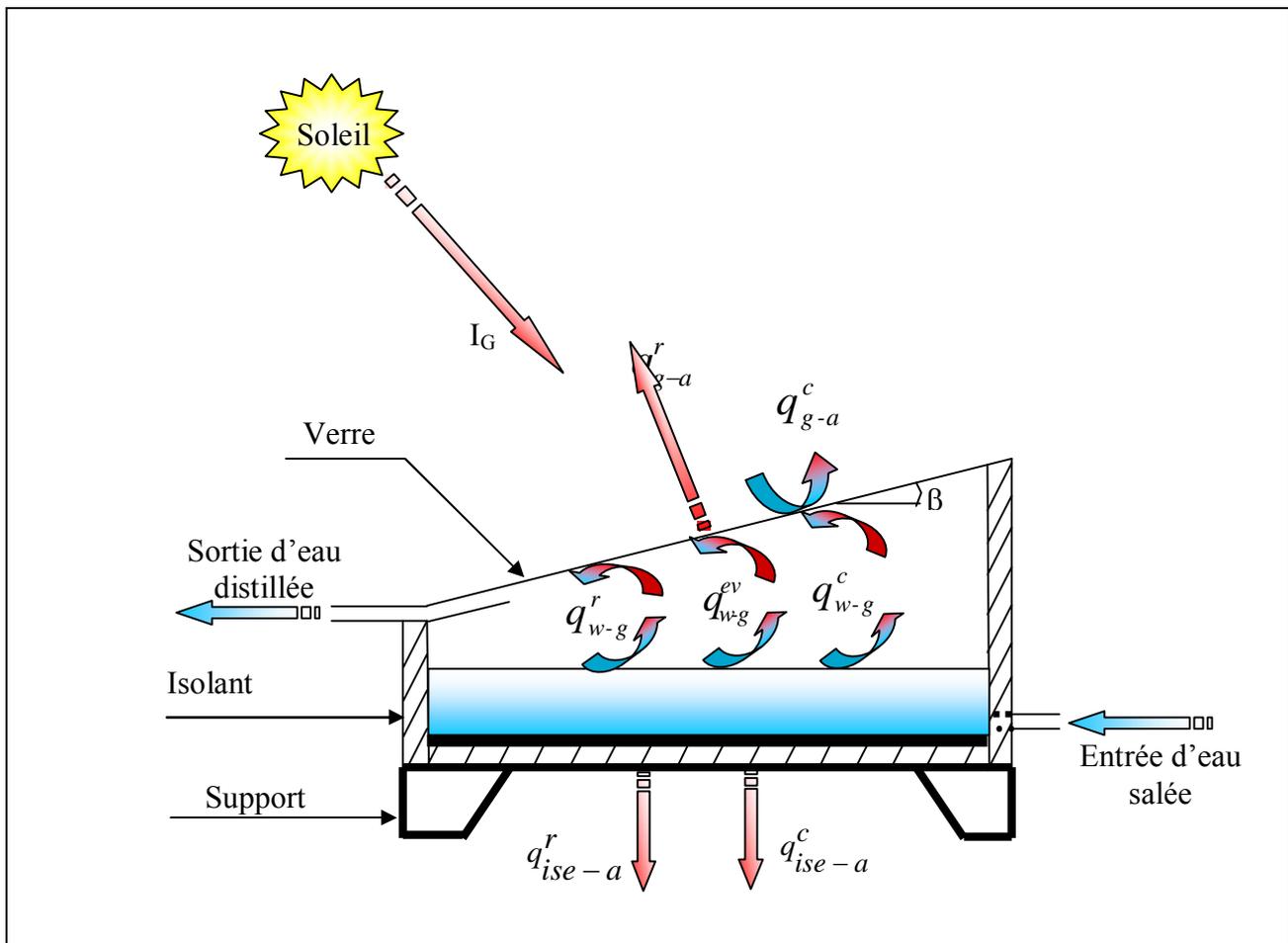


Figure III.1 : Bilan énergétique d'un Distillateur solaire à effet de serre simple (Distillateur plan)

III.3.2. Distillateur sphérique à balayage :

- Un rayonnement solaire, frappant la surface de la vitre supérieure sera absorbé par la vitre, par

la saumure et par le bac absorbant.

- La vitre cède au milieu ambiant, un flux de chaleur par convection « q_{g-a}^c », et un flux de chaleur par rayonnement « q_{g-a}^r ».

- La vitre reçoit de la nappe d'eau, des flux de chaleur par rayonnement « q_{w-g}^r », par convection naturelle « q_{w-g}^c », et par changement de phase « q_{w-g}^{ev} ».

- Par conduction et convection, la nappe d'eau reçoit du bac absorbant les flux de chaleur « q_{b-w}^{cd} » et « q_{b-w}^c ».

- Le bac absorbant cède à l'isolant un flux de chaleur par conduction « q_{b-isi}^c ».

- L'isolant cède à la vitre inférieure un flux de chaleur par convection « q_{ise-g}^c », et un flux de chaleur par rayonnement « q_{ise-g}^r ».

- La vitre inférieure cède au milieu ambiant des flux de chaleur par convection « q_{g-a}^c », et par rayonnement « q_{g-a}^r ».

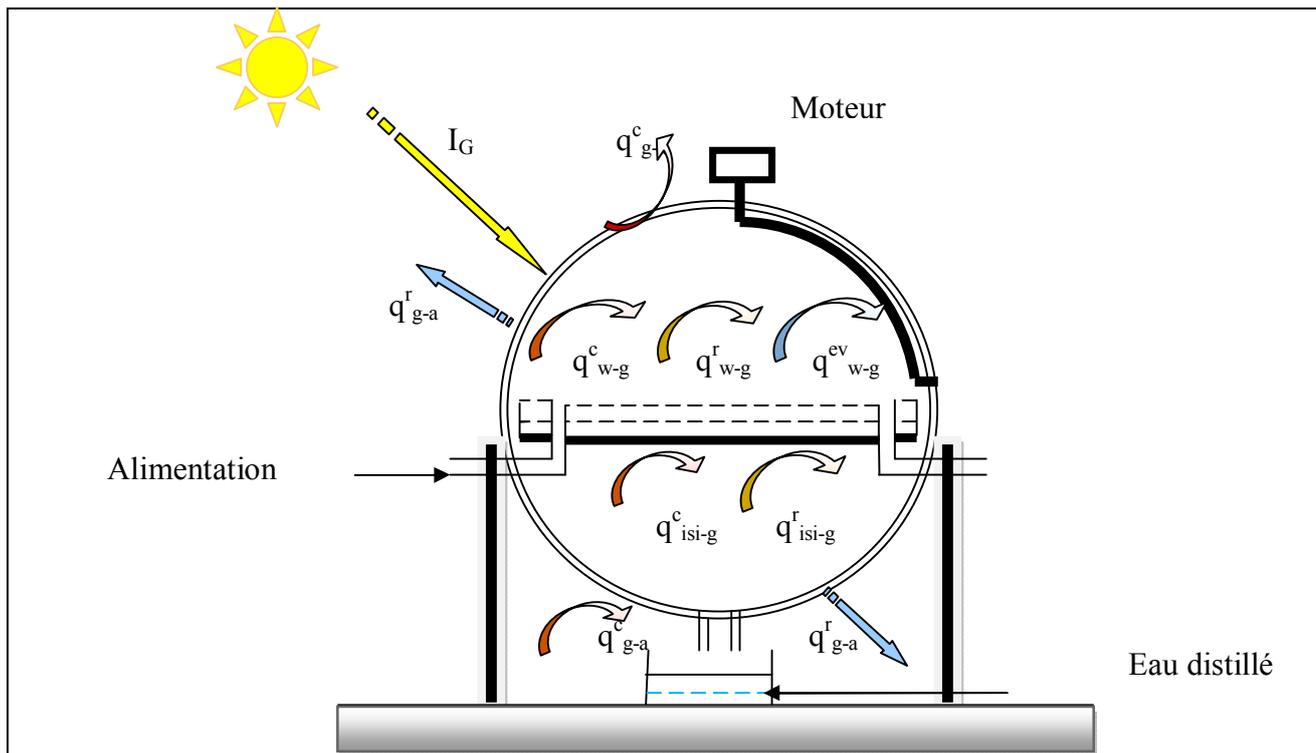


Figure III.2 : Bilan énergétique d'un Distillateur solaire à effet de serre (Sphérique à balayage)

III.4. Mise en équation des échanges thermiques :

Dans le cadre de cette étude, nous avons adopté les hypothèses simplificatrices suivantes:

- La couverture est propre.
- La température de chaque composant est uniforme.
- Le soleil est assimilé à un corps noir.
- La chaleur perdue par addition d'eau d'appoint et celle emportée par le distillat sont supposées négligeables.
- Les parois latérales sont supposées adiabatiques.
- Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes.
- La condensation se fait uniquement sur la couverture (il n'y a pas de condensation sur les parois latérales).
- La concentration de la saumure n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse à partir de et vers la saumure.

- La condensation de l'eau sur la couverture est homogène et continue (le verre possède une bonne mouillabilité).
- Le bassin est étanche.

III.5. Bilan thermique en régime permanent :

III.5.1. Distillateur plan :

- **Au niveau de la vitre :**

La vitre reçoit :

$$q_{gi} = q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + p_g \times A_g \quad (III.9)$$

Avec:

q_{gi} : La quantité de chaleur reçue par la vitre.

A_g : Aire de la vitre.

p_g : est la puissance absorbée par la vitre, déterminée par la relation suivante [18]:

$$p_g = (1 - R_g) \times \alpha_g \times I_G \quad (III.9a)$$

R_g et α_g : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la vitre.

La vitre cède :

$$q_{ge} = q_{g-a}^c + q_{g-a}^r \quad (III.10)$$

Où:

$$q_{w-g}^c = h_{w-g}^c \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (III.10a)$$

$$q_{w-g}^r = h_{w-g}^r \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (III.10b)$$

$$q_{w-g}^{ev} = h_{w-g}^{ev} \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (III.10c)$$

$$q_{g-a}^r = h_{g-a}^r \times (T_{ge} - T_a) \times A_g \quad (III.10d)$$

$$q_{g-a}^c = h_{g-a}^c \times (T_{ge} - T_a) \times A_g \quad (III.10e)$$

L'échange par conduction entre l'intérieur et l'extérieur est :

$$q_g = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \times A_g \quad (III.11)$$

- **Au niveau de la masse d'eau :**

$$p_w \times A_w + q_{b-w}^c = q_{w-g}^c + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r \quad (\text{III.12})$$

Où :

$$q_{b-w}^c = h_{b-w}^c \times (T_b - T_w) \times A_w \quad (\text{III.12a})$$

P_w : La puissance absorbée par la saumure donnée par la relation [18]:

$$(\text{III.12b}) p_w = (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times \alpha_w \times I_G$$

Avec:

R_g et α_g : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la vitre.

R_w et α_w : sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la saumure.

- **Au niveau du bac absorbant :**

$$P_b \times A_b = q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} \quad (\text{III.13})$$

Où :

$$q_{b-isi}^{cd} = h_{b-isi}^{cd} \times (T_b - T_{isi}) \times A_b \quad (\text{III.13a})$$

P_b : La puissance absorbée par le bac absorbant et peut être calculée par la relation [18]:

$$P_b = \alpha_b \times (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times (1 - \alpha_w) \times I_G \quad (\text{III.13b})$$

- **Au niveau de l'isolant :**

Coté intérieure :

$$q_{isi} = q_{b-isi}^{cd} \quad (\text{III.14})$$

Coté extérieur

$$q_{ise} = q_{ise-a}^r + q_{ise-a}^c \quad (\text{III.15})$$

Où :

$$q_{ise-a}^c = h_{ise-a}^c \times (T_{ise} - T_a) \times A_{is} \quad (\text{III.15a})$$

$$q_{ise-a}^r = h_{ise-a}^r \times (T_{ise} - T_s) \times A_{is} \quad (\text{III.15b})$$

Echange par conduction à travers l'isolant :

$$q_{is} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \times A_{is} \quad (\text{III.16})$$

III.5.2. Distillateur sphérique à balayage :

- **Au niveau de la vitre :**

$$q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + p_g \times A_g = q_{g-a}^c + q_{g-a}^r \quad (\text{III.17})$$

P_g : La puissance absorbée par la vitre, déterminée par la relation [18] :

$$p_g = (1 - R_g) \times \alpha_g \times I_G \quad (\text{III.18})$$

L'échange par conduction entre l'intérieur et l'extérieur est :

$$q_g = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \times A_g \quad (\text{III.19})$$

Où :

$$q_{w-g}^c = h_{w-g}^c \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (\text{III.19a})$$

$$q_{w-g}^r = h_{w-g}^r \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (\text{III.19b})$$

$$q_{w-g}^{ev} = h_{w-g}^{ev} \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (\text{III.19c})$$

$$q_{g-a}^r = h_{g-a}^r \times (T_{ge} - T_c) \times A_g \quad (\text{III.19d})$$

$$q_{g-a}^c = h_{g-a}^c \times (T_{ge} - T_a) \times A_g \quad (\text{III.19e})$$

- **Au niveau de la masse d'eau :**

$$p_w \times A_w + q_{b-w}^c = q_{w-g}^c + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r \quad (\text{III.20})$$

Où :

$$q_{b-w}^c = h_{b-w}^c \times (T_b - T_w) \times A_w \quad (\text{III.20a})$$

P_w : La puissance absorbée par la saumure exprimée comme suit [18]:

$$p_w = (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times \alpha_w \times I_G \quad (\text{III.20b})$$

- **Au niveau du bac absorbant :**

$$P_b \times A_b = q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} \quad (\text{III.21})$$

Où :

$$q_{b-isi}^{cd} = h_{b-isi}^{cd} \times (T_b - T_{isi}) \times A_b \quad (\text{III.21a})$$

P_b : la puissance absorbée par le bac absorbant peut être calculée par la relation suivante [18]:

$$P_b = \alpha_b \times (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times (1 - \alpha_w) \times I_G \quad (\text{III.21b})$$

- **Au niveau de l'isolant :**

Coté intérieur

$$q_{isi} = q_{b-isi}^{cd} \quad (\text{III.22})$$

Coté extérieur

$$q_{ise} = q_{ise-g}^r + q_{ise-g}^c \quad (\text{III.23})$$

Où :

$$q_{ise-g}^c = h_{ise-g}^c \times (T_{ise} - T_g) \times A_{is} \quad (\text{III.23a})$$

$$q_{ise-g}^r = h_{ise-g}^r \times (T_{ise} - T_g) \times A_{is} \quad (\text{III.23b})$$

Echange par conduction à travers l'isolant :

$$q_{is} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \times A_{is} \quad (\text{III.24})$$

- **Au niveau de la vitre inférieure :**

La vitre reçoit :

$$q_{gi} = q_{ise-g}^c + q_{ise-g}^r \quad (\text{III.25a})$$

La vitre cède :

$$q_{ge} = q_{g-a}^c + q_{g-a}^r \quad (\text{III.25b})$$

L'échange par conduction entre l'intérieur et l'extérieur :

$$q_g = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \times A_g \quad (\text{III.26})$$

Où :

$$q_{g-a}^c = h_{g-a}^c \times (T_{ge} - T_s) \times A_g \quad (\text{III.26a})$$

$$q_{g-a}^r = h_{g-a}^r \times (T_{ge} - T_s) \times A_g \quad (\text{III.26b})$$

III.6. Bilan thermique en régime transitoire :

Par analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques (tableau III.1), on peut appliquer les lois d'OHM et de KIRSHOFF. Considérons une section quelconque du système à l'instant t, soit "i" l'un des milieux représentés dans cette section, M_i sa masse, cp_i sa chaleur spécifique et T_i sa température.

Le bilan au nœud i donne :

$$M_i \times cp_i \times \frac{dT_i}{dt} = \sum_{i=1}^n q_{ij} + P_i \quad (\text{III.27})$$

Avec :

P_i : terme de source ou de puits.

$$M_i \times cp_i \times \frac{dT_i}{dt} = 0 \quad \text{dans les cas suivants :}$$

- Un distillateur à inertie thermique négligeable (faible masse de ses éléments, ou faible chaleur spécifique).
- Pour un régime permanent.

Grandeur thermique	Grandeur électrique
Température	Potentiel électrique
Flux thermique	Courant électrique
Résistance thermique	Résistance électrique
Capacité thermique	Capacité électrique

Tableau III.1 : Analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques

III.6.1. Distillateur plan :

- Dans la couverture :

Face extérieure

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{dT_{ge}}{dt} + q_{g-a}^c + q_{g-a}^r = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \quad (III.28)$$

Face intérieure

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{dT_{gi}}{dt} + \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) = q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + Pg \quad (III.29)$$

- Dans la saumure :

$$\frac{M_w \times cp_w}{A_w} \times \frac{dT_w}{dt} + q_{w-g}^c + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r = P_w + q_{b-w}^c \quad (III.30)$$

- Dans le bac absorbant :

$$\frac{M_b \times cp_b}{A_b} \times \frac{dT_b}{dt} + q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} = P_b \quad (III.31)$$

- Dans l'isolant :

Face intérieure

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is}} \times \frac{dT_{isi}}{dt} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) = q_{b-isi}^{cd} \quad (III.32)$$

Face extérieure :

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is}} \times \frac{dT_{ise}}{dt} + q_{is-a}^c + q_{is-a}^t = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \quad (III.33)$$

III.6.2. Distillateur sphérique à balayage :

- Dans la couverture :

Face extérieure :

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{dT_{ge}}{dt} + q_{g-a}^c + q_{g-a}^r = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \quad (\text{III.34})$$

Face intérieure :

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{dT_{gi}}{dt} + \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) = q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + Pg \quad (\text{III.35})$$

- Dans la saumure :

$$\frac{M_w \times cp_w}{A_w} \times \frac{dT_w}{dt} + q_{w-g}^c + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r = P_w + q_{b-w}^c \quad (\text{III.36})$$

- Dans le bac absorbant :

$$\frac{M_b \times cp_b}{A_b} \times \frac{dT_b}{dt} + q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} = P_b \quad (\text{III.37})$$

- Dans l'isolant

Face intérieure

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is}} \times \frac{dT_{isi}}{dt} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) = q_{b-isi}^{cd} \quad (\text{III.38})$$

Face extérieure

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is}} \times \frac{dT_{isi}}{dt} + q_{is-g}^r + q_{is-g}^c = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \quad (\text{III.39})$$

- Au niveau de la vitre inférieure :

$$\frac{M_g \times cp_g}{A_g} \times \frac{dT_g}{dt} + q_{g-a}^c + q_{g-a}^r = q_{is-g}^c + q_{is-g}^r \quad (\text{III.40})$$

III.7. Expression des différents coefficients d'échange thermique :

III.7.1. Echange par conduction :

Le transfert de chaleur par conduction à travers le bac absorbant est exprimé par le coefficient :

$$h_{b-is}^{cd} = \frac{\lambda_b}{e_b} \quad (\text{III.41})$$

III.7.2. Echange par convection :

III.7.2.1. Echange convectif entre la masse d'eau et le bac absorbant :

Le coefficient d'échange thermique entre la saumure et le bac absorbant est donné par :

$$h_{bw}^c = \frac{Nu \times \lambda_w}{L} \quad (\text{III.42})$$

La valeur du nombre de Nusselt calculée expérimentalement par MACADAMS [18] dépend du nombre de Grashoff (Gr) :

$$Gr = \frac{B_w \times L^3 \times g \times (T_b - T_w)}{v_w^2} \quad (\text{III.43})$$

Avec :

β_w : étant le coefficient d'expansion volumétrique de l'eau.

L : étant la longueur du bac absorbant.

- Si $Gr < 10^5$; $Nu=1$.

L'échange thermique entre la saumure et le bac absorbant se fait uniquement par conduction.

- Si $10^5 < Gr < 2 \times 10^7$;

$$Nu = \frac{\lambda_w}{L} \times 0.54 \times (Gr \times Pr)^{0.25} \quad (\text{III.42a})$$

- Si $Gr > 2 \times 10^7$

$$Nu = 0.14 \times (Gr \times Pr)^{0.33} \quad (\text{III.42b})$$

Avec :

Pr étant le nombre de Prandlt.

$$Pr = \frac{\mu_w \times c_{p_w}}{\lambda_w} \quad (\text{III.43})$$

III.7.2.2. Echange convectif entre la saumure et la vitre :

Selon BAUM [19et20], dans l'échange thermique et massique entre la surface libre de la saumure et la couverture transparente, il existe une " Zone Tampon", où la température et la

pression partielle de la vapeur d'eau sont constantes. Ceci implique que seule la couche adjacente à la surface d'évaporation (saumure) et à la surface de condensation (vitre), participe au processus de transfert de masse et de chaleur.

L'échange par convection entre la saumure et la vitre dépend du nombre de Grashoff (Gr) et de l'inclinaison de la couverture β .

Pour $\beta = 30^\circ$.

$$\text{Si : } Gr < 3 \times 10^3 ; Nu = 1. \quad (\text{III.44a})$$

$$\text{Si : } 3 \times 10^3 < Gr < 5 \times 10^4 ; Nu = 0.0588 \times Gr^{0.37} \quad (\text{III.44b})$$

$$\text{Si : } Gr > 5 \times 10^4 ; Nu = 0.0354 \times Gr^{0.37} \quad (\text{III.44c})$$

Avec :

$$Gr = \frac{B_w \times D^3 \times g \times (T_w - T_{gi})}{\nu_m^2} \quad (\text{III.45})$$

Où:

D : la longueur caractéristique du distillateur.

ν_m : étant la viscosité cinématique du mélange air- vapeur.

Et :

$$h_{w-g}^c = \frac{Nu \times \lambda_m}{D} \quad (\text{III.46})$$

λ_m : La conductivité thermique du mélange air- vapeur.

Dunkle [18] à mis en place une relation exprimant les différentes pressions partielles de la vapeur d'eau :

$$h_{w-g}^c = 0.884 \times \left[\left\{ (T_w - T_{gi}) + \frac{(p_v^w - p_v^{gi})}{268.9 \times 10^3 - p_v^w} \right\} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{III.47})$$

Les valeurs de P_v^w et P_v^{gi} pour des températures comprises entre 10°C et 90°C , peuvent être obtenues par les expressions suivantes [18] :

- Fernandez et Chargoy (1990) :

$$P(T) = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T + 273}\right) \quad (\text{III.48a})$$

- Keenan et Keyes (1936):

$$P(T) = 2.21 \times 10^{-\left[\frac{y}{T} \left(\frac{a + by + cy^3}{1 + dy} \right)\right]} \quad (\text{III.48b})$$

Avec :

$$Y=647.27-T_0, a=3.2438, b=5.8683 \times 10^{-3}, c=1.17024 \times 10^{-8}, d=2.1879 \times 10^{-3} \text{ et } T_0=T+273.$$

- Brooker et al (1978) :

$$P(T) = 6.893 \times 10^3 \exp(54.63 - 12301.6 \times T \times T_0 - 5.17 \ln T_0) \quad (\text{III.48c})$$

Avec :

$$T_0 = 1.8 T + 491.69.$$

- Kyokai (1978) :

$$P(T) = 133.32 \exp\left(18.6686 - \frac{4030.1824}{(T + 235.15)}\right) \quad (\text{III.48d})$$

- Palancz (1984) :

$$P(T) = 133.29 \times 10^{\left[0.662 + \frac{7.5 \times (T_0 - 273)}{T_0 - 35}\right]} \quad (\text{III.48e})$$

III.7.2.3. Echange convectif entre la vitre et le milieu ambiant :

L'échange thermique entre la vitre et l'extérieur qui dépend de la vitesse du vent, est donné par la corrélation de MACADAMS [18] :

$$h_{ga}^c = 5.7 + 3.8 \times v \quad (\text{III.49})$$

Où :

v: la vitesse du vent.

Le coefficient d'échange thermique par convection entre la face extérieure de l'isolant et le milieu ambiant h_{is-a}^c est analogue à h_{g-a}^c

III.7.3. Echange par rayonnement :

III.7.3.1. Echange par rayonnement entre la saumure et la vitre :

Par approximation, la couverture à faible pente est considérée horizontale. D'après P.I .Cooper et W.R.W [28] pour deux surfaces planes, infinies et en parallèles, le coefficient radiatif est donné sous la forme suivante :

$$h_{w-g}^r = \varepsilon_{w-g} \times \sigma \times (T_w^2 + T_{gi}^2) \times (T_w + T_{gi}) \quad (\text{III.50})$$

Avec :

$$\varepsilon_{w-g} = \left[\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right]^{-1}$$

III.7.3.2. Echange par rayonnement entre la vitre et l'extérieur :

$$h_{g-a}^r = \varepsilon_g \times \sigma \times (T_{ge}^2 + T_c^2) \times (T_{ge} + T_c) \quad (\text{III.51})$$

T_c : est la température du ciel.

Cette température est donnée en fonction de la température ambiante par les relations [18]:

$$T_c = T_a - 6 \quad (\text{III.52})$$

Swinbank propose la relation [26] :

$$T_c = 0.0552 \times (T_a)^{1.5} \quad (\text{III.53})$$

III.7.4. Echange pendant le changement de phase :

Par l'utilisation de la relation de la convection naturelle à l'intérieur du distillateur et par analogie entre le transfert de masse et de chaleur, Dunkle est arrivé à l'expression du coefficient de transfert thermique par évaporation [18et 22] :

$$h_{w-g}^{ev} = 16.276 \times 10^{-3} \times h_{w-g}^c \times \frac{(p_v^w - p_v^{gi})}{(T_w - T_{gi})} \quad (\text{III.54})$$

III.8. Traitement informatique :

III.8.1. Le problème physique :

Le problème consiste à déterminer, en fonction des paramètres externes (conditions météorologiques) et des paramètres internes (inclinaison de la vitre, épaisseur de la saumure) :

- Les températures au niveau de chaque partie composant le distillateur.
- La quantité d'eau distillée

- L'efficacité globale et interne du système.

III.8.2. résolution numérique :

Les diverses étapes de résolution sont les suivantes :

1) calcule des différents échanges thermiques qui sont indépendants de la température à savoir :

- Les coefficients d'échange thermique par conduction à travers la couverture, le bac absorbant, et l'isolant
- Les coefficients d'échange thermique dû au vent.

2) calcule, à chaque heure de la journée :

Le rayonnement solaire frappant la surface extérieure de la vitre.

La puissance absorbée par la vitre, le bac absorbant, et la saumure ;

La température ambiante et la température du ciel.

3) nous supposons au départ que chaque composant du distillateur est à la température ambiante T_a sauf la température de la saumure et du bac absorbant qui sont à des températures légèrement supérieures à cette dernière, et on calcule pour les températures initiales :

- Les pressions partielles de la vapeur d'eau P_w à la température de la saumure et la pression partielle de la vapeur à la température intérieure de la vitre P_{vi} .
- En calcul les propriétés de la saumure à la température T_w .

- la masse volumique

- la conductivité thermique

- la viscosité cinématique et dynamique

- la capacité thermique

- la chaleur latente de vaporisation

- Calcul des coefficients d'échange thermique par rayonnement entre :

La vitre (coté extérieur) et la voûte céleste.

La vitre (coté intérieur) et la saumure.

L'isolant (coté extérieur) et le sol.

- Calcul des coefficients d'échange thermique par convection entre :

La vitre (coté intérieur) et la saumure.

Le bac absorbant et la saumure

- Calcul le coefficient d'échange thermique par évaporation entre la vitre (coté intérieur) et la saumure.

- Calcul des éléments de la matrice (annexe D)
- L'exécution de l'algorithme de GAUSS-SEIDEL d'itération.

4) si la convergence n'est pas atteinte la troisième étape est reprise avec les températures obtenues

5) calcul de :

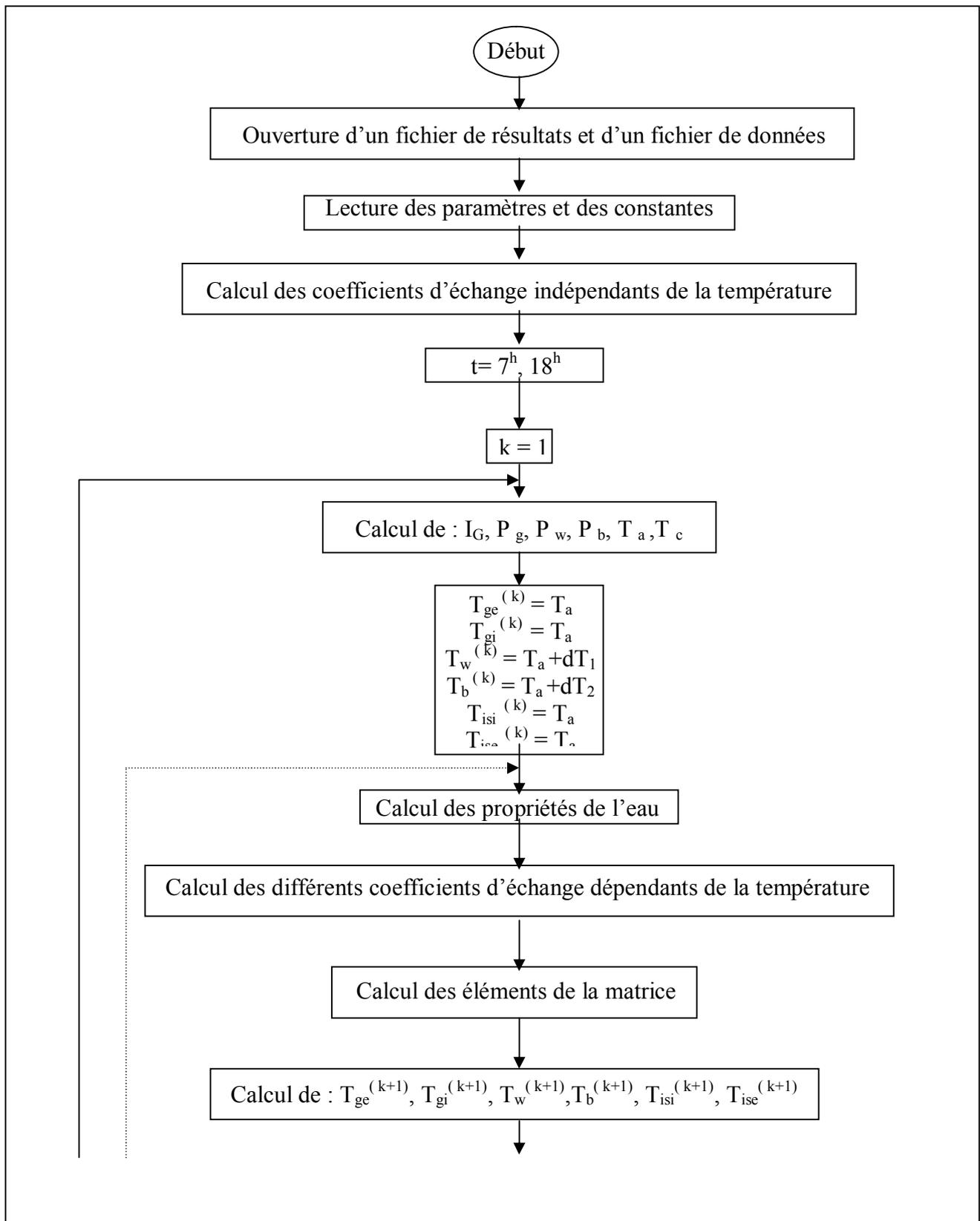
- L'écart de température.
- Le rendement.
- L'efficacité globale.
- L'efficacité interne.
- La performance.

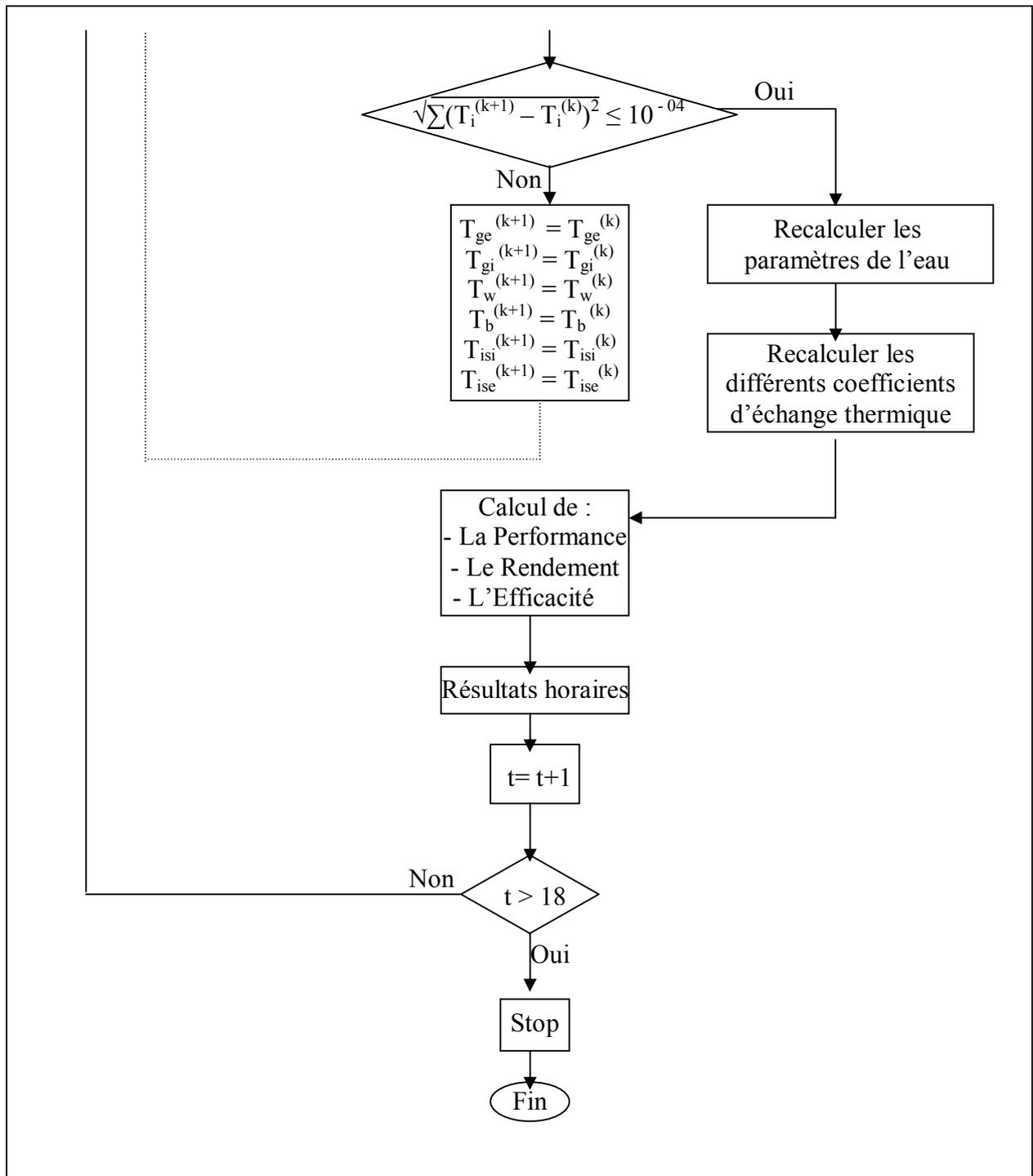
On refait les mêmes étapes de calcul pour le distillateur solaire sphérique.

Toutes ces étapes sont représentées dans l'organigramme qui suit. Le programme principal a été développé en langage matlab [31].

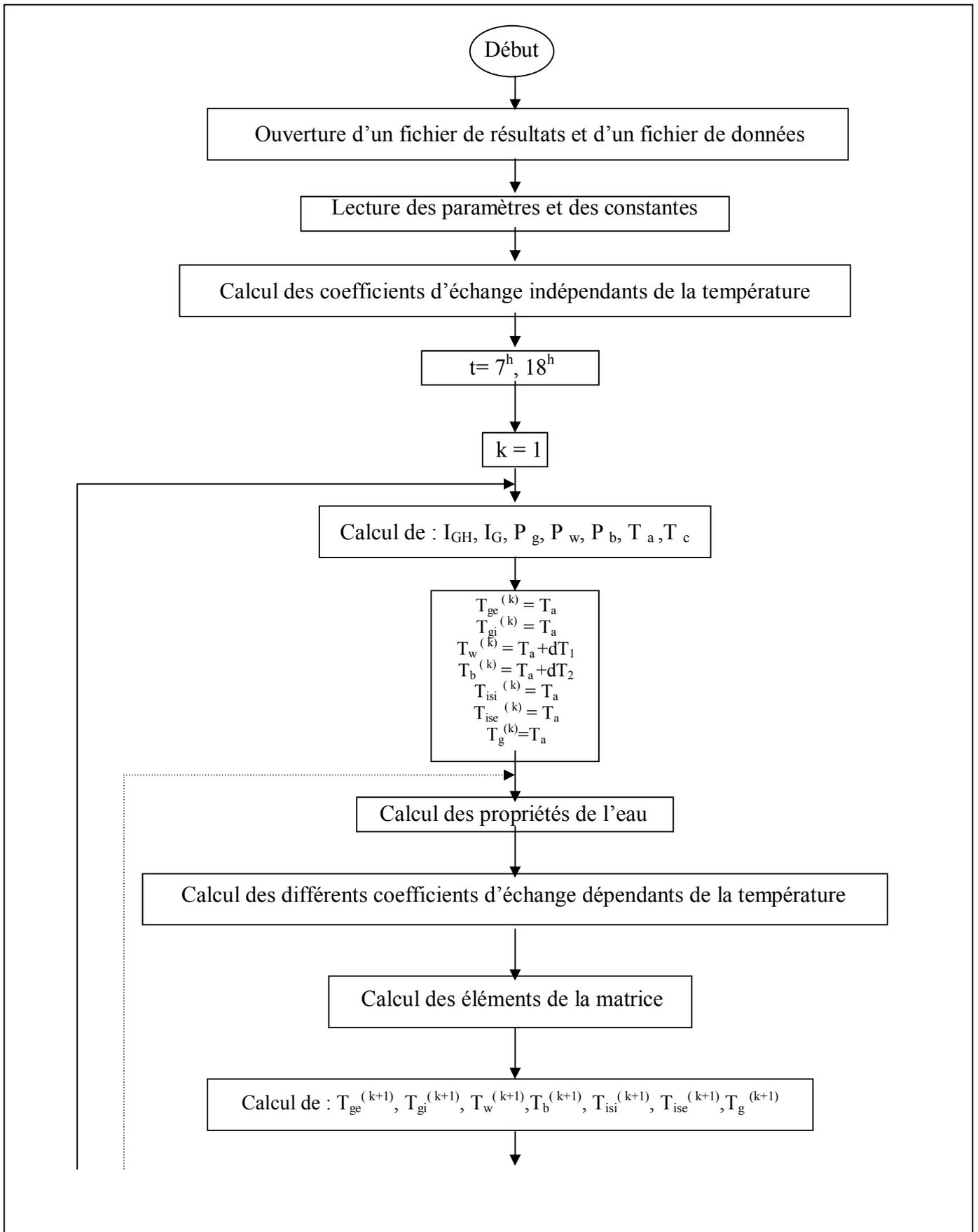
III.8.3. Organigramme général :

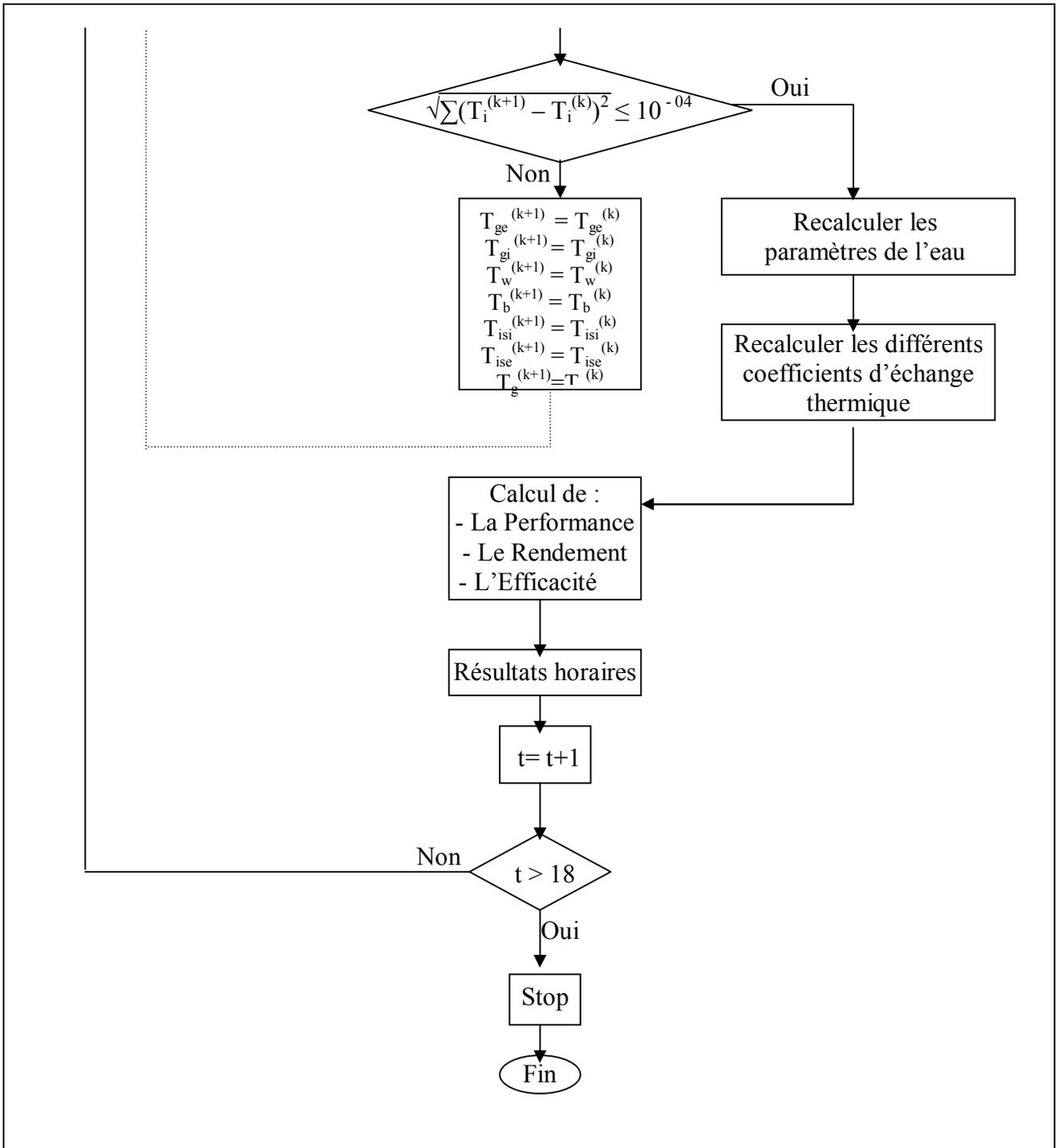
III.8.3.1. Distillateur plan :





III.8.3.2. Distillateur sphérique à balayage :





CHAPITRE IV
Résultats et discussions

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1 Introduction :

La résolution du système d'équation par un programme de simulation numérique a été élaborée pour déterminer les paramètres recherchés à partir des données de base.

Les résultats numériques obtenus permettent dans de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres (T_a , T_e) sur les caractéristiques de fonctionnement des deux types de distillateurs étudiés.

- Notre étude a porté sur la région de Ouargla, située au Sud-est algérien et ayant les coordonnées géographiques : latitude ($31^{\circ}.57$) Nord, longitude ($5^{\circ}.24$) Est, et un décalage horaire d'une heure.
- Pour nos calculs, nous avons choisi Le 17 juillet comme jour de calcul.
- Les résultats ont été traduit en graphes grâce au logiciel Origine 6, et à partir de ces résultats, une régression polynomiale a été obtenue par le biais de la méthode des moindres carrées, où " R^2 " représente le coefficient de détermination et " P " l'erreur relative.

IV.2 Variation temporelle des puissances absorbées :

Les figures IV.1 et IV.2 montrent l'évolution temporelle du rayonnement solaire globale reçu par mètre carré de surface plane horizontale (pendant une journée) selon le jour de calcul, d'où l'insolation est plus intense de 10^h00 à 15^h00 (les puissances atteignent leur maximum à 13^h00) tandis qu'elles soient moins intenses à la fin de la journée pour les deux types de distillateurs plan et sphérique à balayage.

Nous observons aussi une symétrie par rapport au midi solaire ce qui nous permet de déduire que le soleil attein son maximum à midi.

La puissance absorbée par la vitre n'est pas considérable, elle reste toujours inférieure à celle absorbée par la saumure et le bac absorbant .ceci est du à ses caractéristiques géométriques et optiques.

Par contre la puissance absorbée par le bac absorbant est la plus élevée : elle est largement supérieure à celle de la saumure en raison de la caractéristique de l'absorbant.

Nous pouvons constater aussi que la puissance globale atteint par un distillateur sphérique à balayage est supérieure à celle atteint par le distillateur plan.

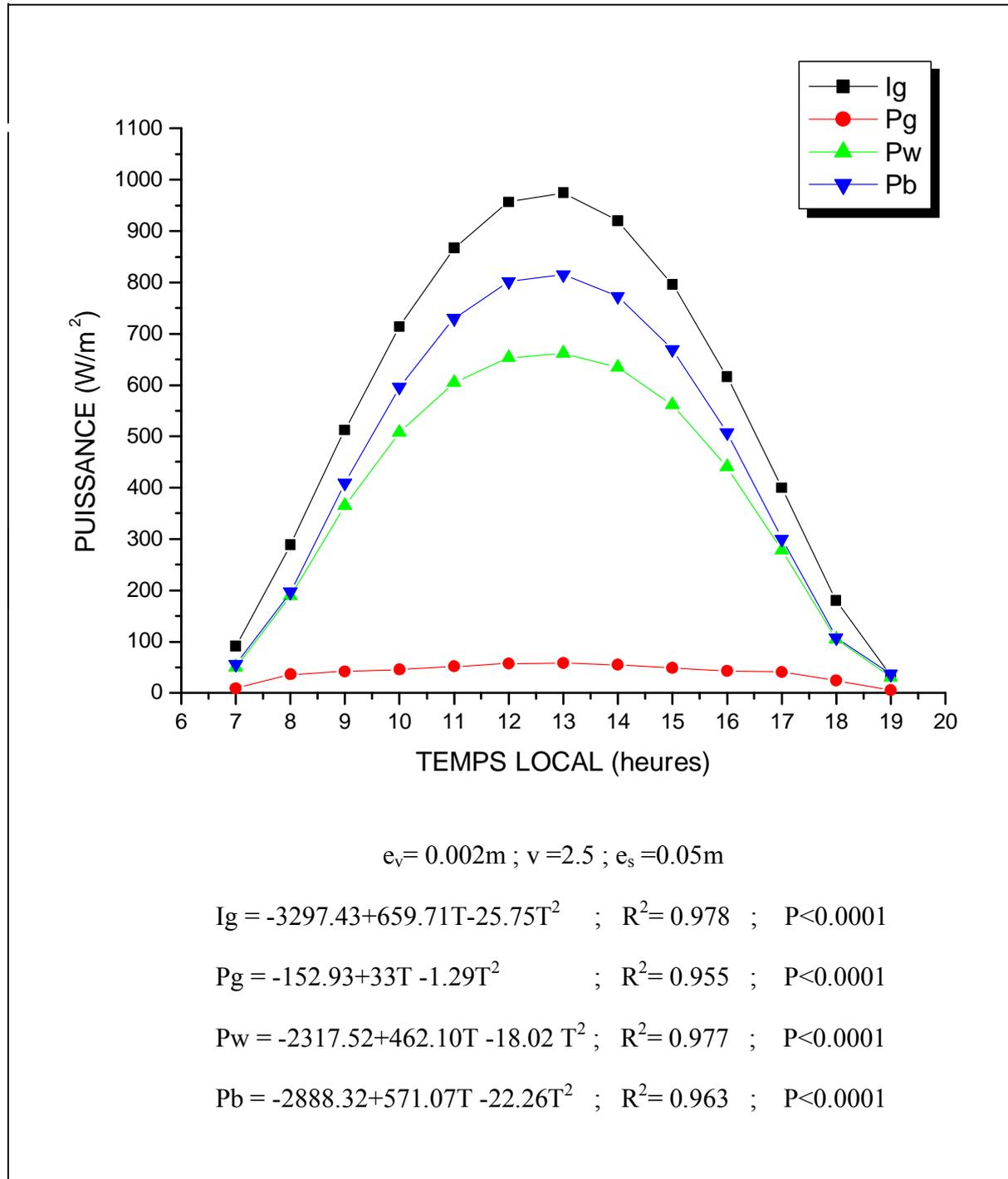


Figure IV.1 : Variation temporelle des puissances absorbées par un distillateur plan

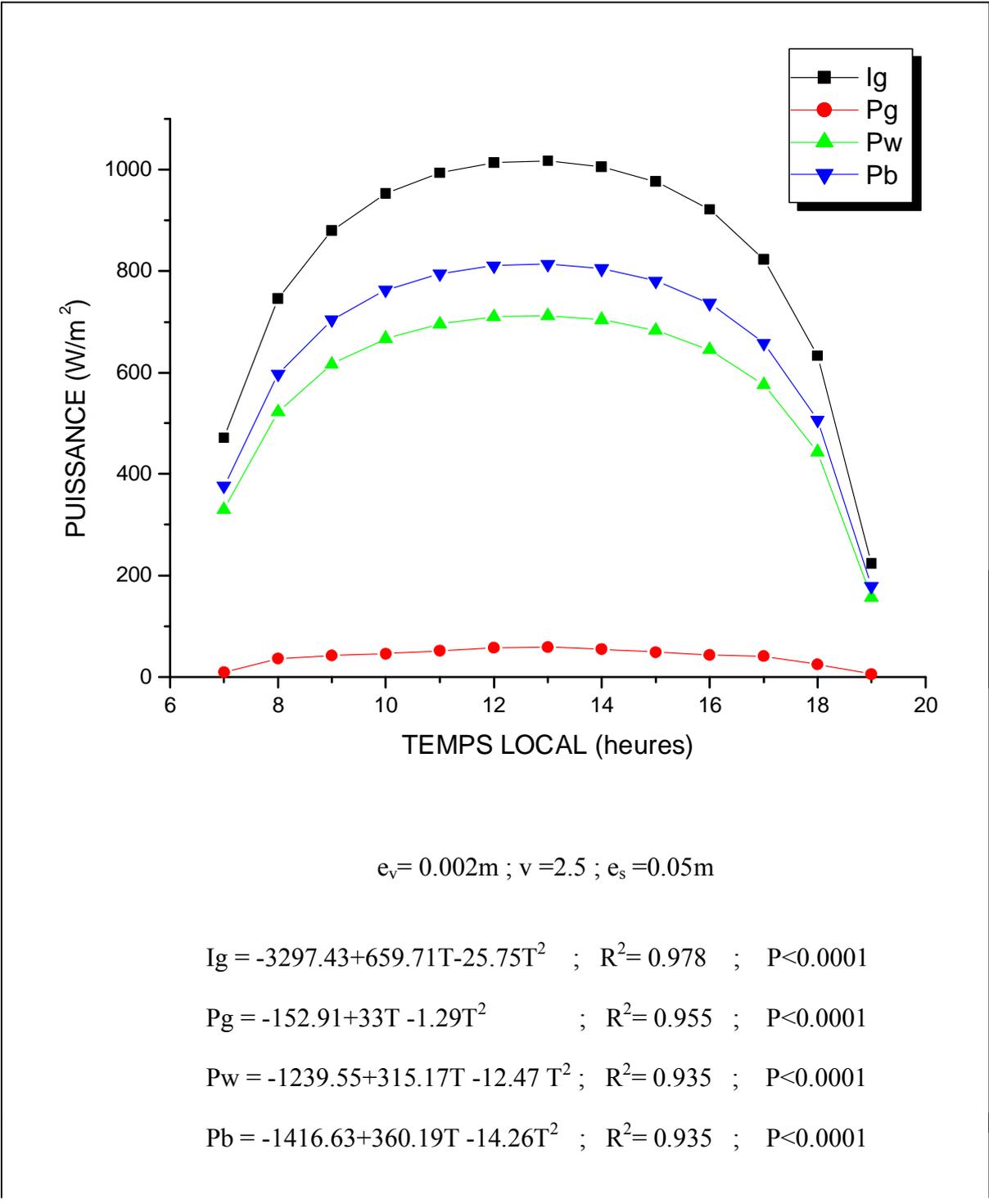


Figure IV.2: Variation temporelle des puissances absorbées par un distillateur sphérique à balayage

IV.3 Variation temporelle des différentes températures de distillateur :

La figure IV.3 et la figure IV.4 présentent l'évolution de la température de chaque composant du distillateur en fonction du temps (T_{vi} , T_{ve} , T_{eau} , T_{basin} , T_{isi} , T_{ise}) pendant le jour de calcul.

On remarque, en premier lieu, que les températures augmentent proportionnellement avec le temps et atteignent une valeur maximale pour chaque élément. On constate le long de l'intervalle du temps que les températures ne dépassent pas 70°C.

Nous pouvons observer que les températures du bac absorbant et la face interne de l'isolant (celle en contact directe avec l'absorbeur) sont les plus élevées.

La température du bac atteint une valeur maximale de 64°C, ceci s'explique par un coefficient d'absorption de la peinture noir assez élevé en plus le bac absorbant est constitué par un matériau de conductivité thermique élevé et de faible transmittivité.

La température de la saumure augmente progressivement, elle est proche de celle du bac mais reste inférieure à celle du bac absorbant. Cette dernière est chauffée surtout par la convection (convection naturelle) et d'un degré moindre par la conduction.

La faiblesse de la température de la vitre par rapport à celle de l'eau s'explique par l'échange convectif avec l'ambiance, ceci permet à la vapeur d'eau de se condenser sur la face intérieure de la vitre.

La température intérieure de la vitre T_{vi} est légèrement supérieure à la température de la face extérieure ; ceci s'explique par la quantité importante du flux reçu par la face intérieure (la chaleur cédée par la surface d'évaporation par rayonnement, évaporation et convection naturelle) tandis que la face extérieure est soumise à l'action du vent.

La température la plus basse est celle de l'isolant de la face arrière : la conductivité thermique est très faible [$\lambda = 0.025 \text{ W/mK}$].

Concernant le distillateur sphérique (figure IV.4), les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par le distillateur plan mais nous pouvons remarquer que les températures de la saumure et du bac absorbant sont supérieures à celles du distillateur plan.

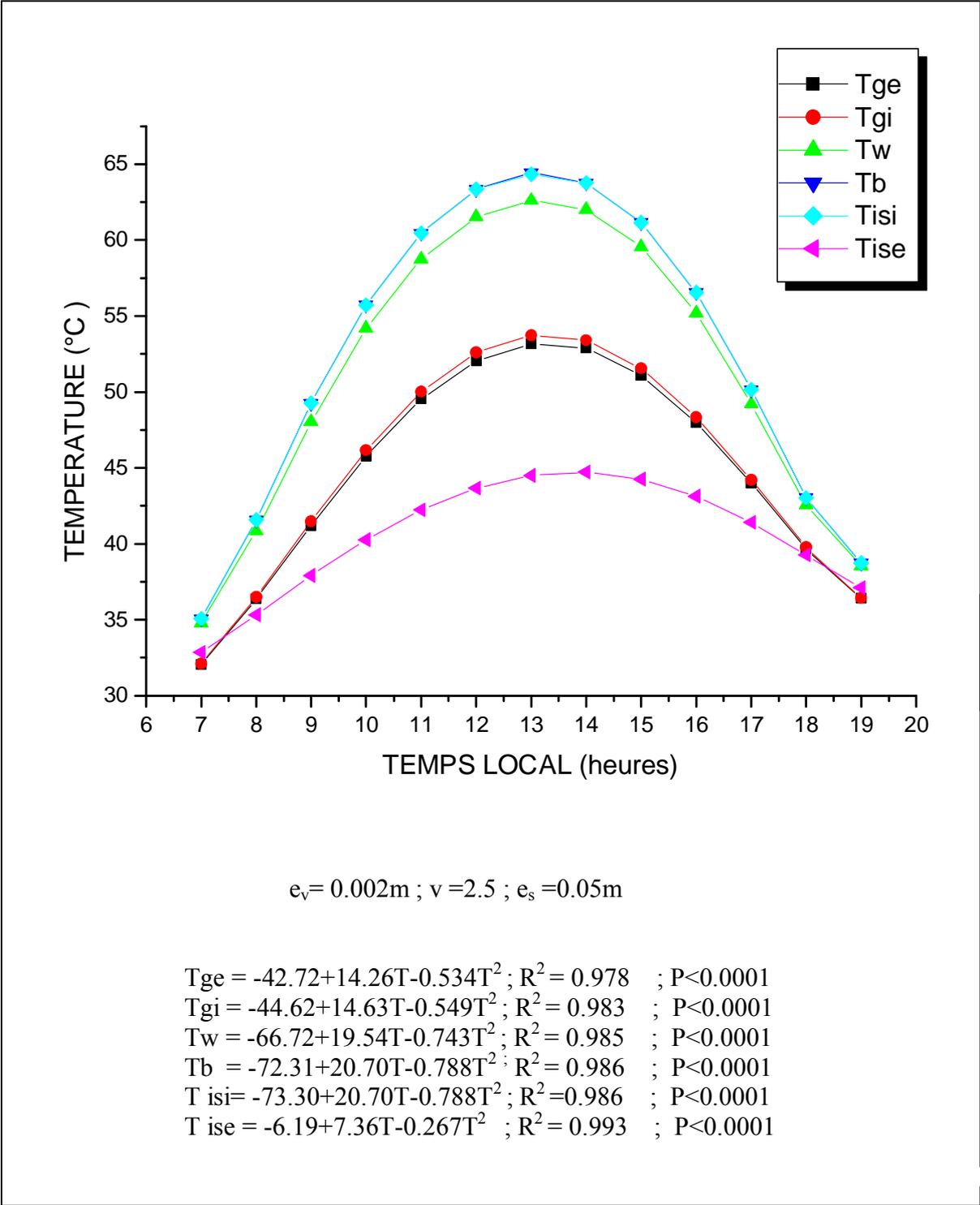


Figure IV.3: Variation temporelle des différentes températures d'un distillateur plan

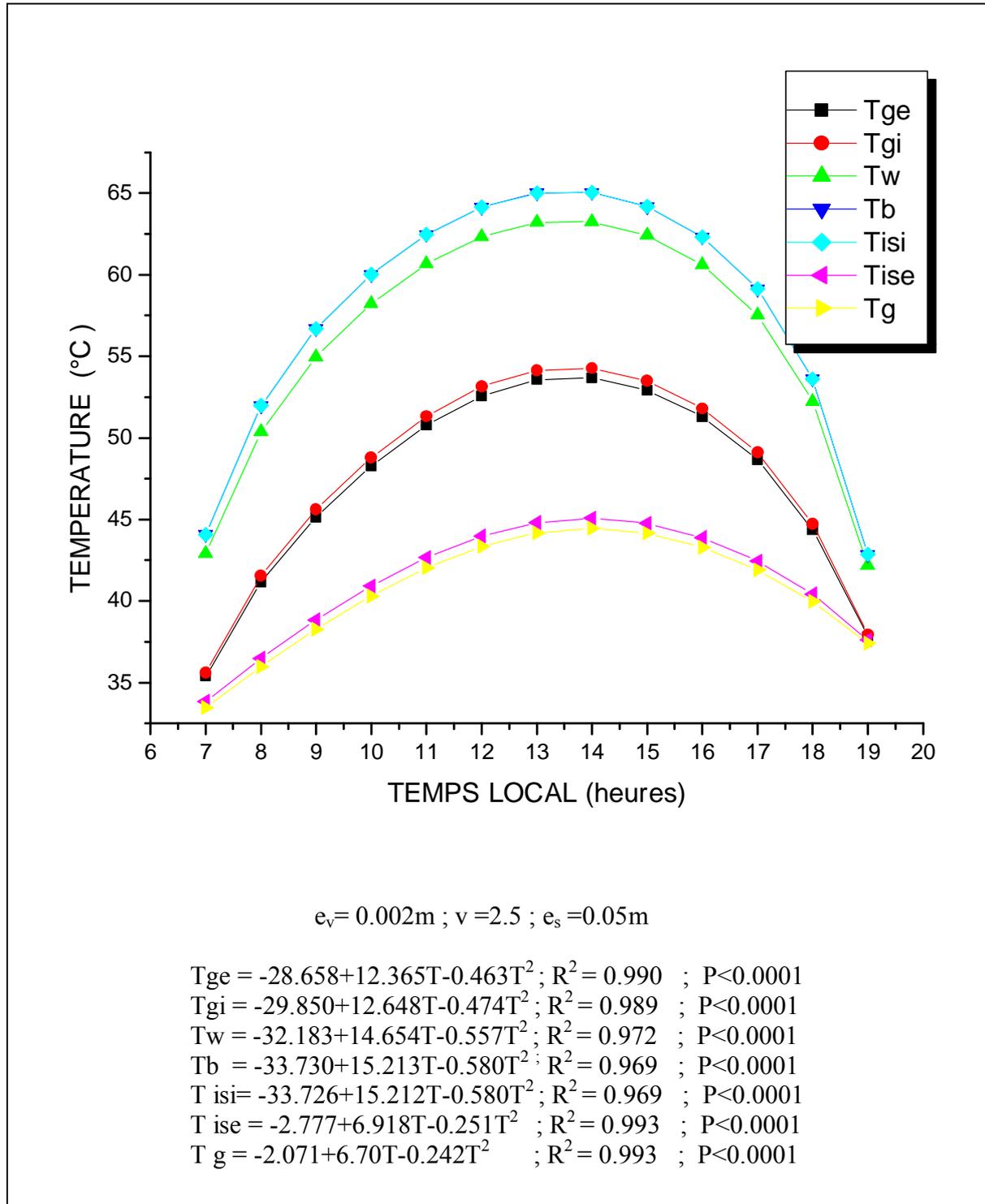


Figure IV.4 : Variation temporelle des différentes températures d'un distillateur sphérique à balayage

IV.4 Variation de la température ambiante et la température du ciel en fonction du temps :

La relation [(III.53)] montre que la température du ciel varie en fonction de la température ambiante, donc celles-ci suivent la même allure, elles atteignent leurs valeurs maximales à 13^h 00 où le flux solaire est important .figure (IV.5)

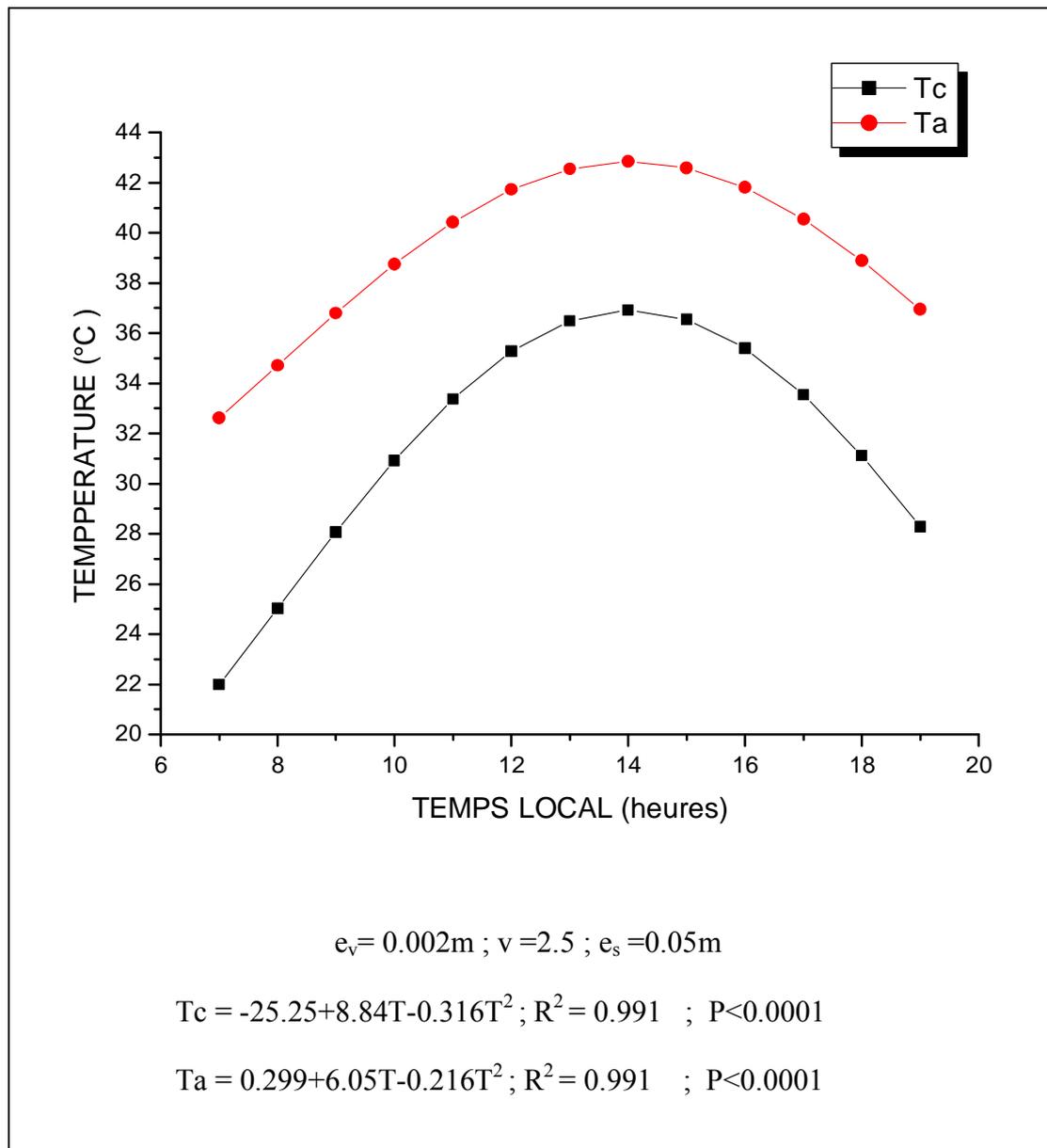


Figure IV.5 : Variation de la température ambiante et de la température du ciel en fonction du temps

IV.5 Variation temporelle de l'efficacité globale et interne d'un distillateur simple :

La figure IV.6 représente la variation de l'efficacité globale η_g , et interne η_i , en fonction du temps local et qui ont la même allure.

L'efficacité interne est proportionnelle à l'efficacité globale, ce qui implique que son comportement sera similaire à celui de l'efficacité globale comme illustré dans la figure IV.6.

D'après cette figure, on remarque aussi que les deux grandeurs à savoir l'efficacité globale et l'efficacité interne augmentent avec le temps donc elles augmentent avec l'accroissement du flux solaire.

Nous remarquons que les valeurs de l'efficacité interne sont plus élevée ce qui peut être aisément expliqué par les expressions de ces deux grandeurs. En effet, l'efficacité globale est le rapport de la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation et du rayonnement globale incident sur le distillateur, alors que l'efficacité interne représente le rapport de la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation et la quantité de chaleur effectivement reçue par la masse d'eau ; et puisque le rayonnement solaire globale incident sur le distillateur est plus élevé que le rayonnement absorbé par la saumure , l'efficacité interne sera donc plus élevée que l'efficacité globale.

Les mêmes observations sont valables pour un distillateur sphérique à balayage (figure IV.7).

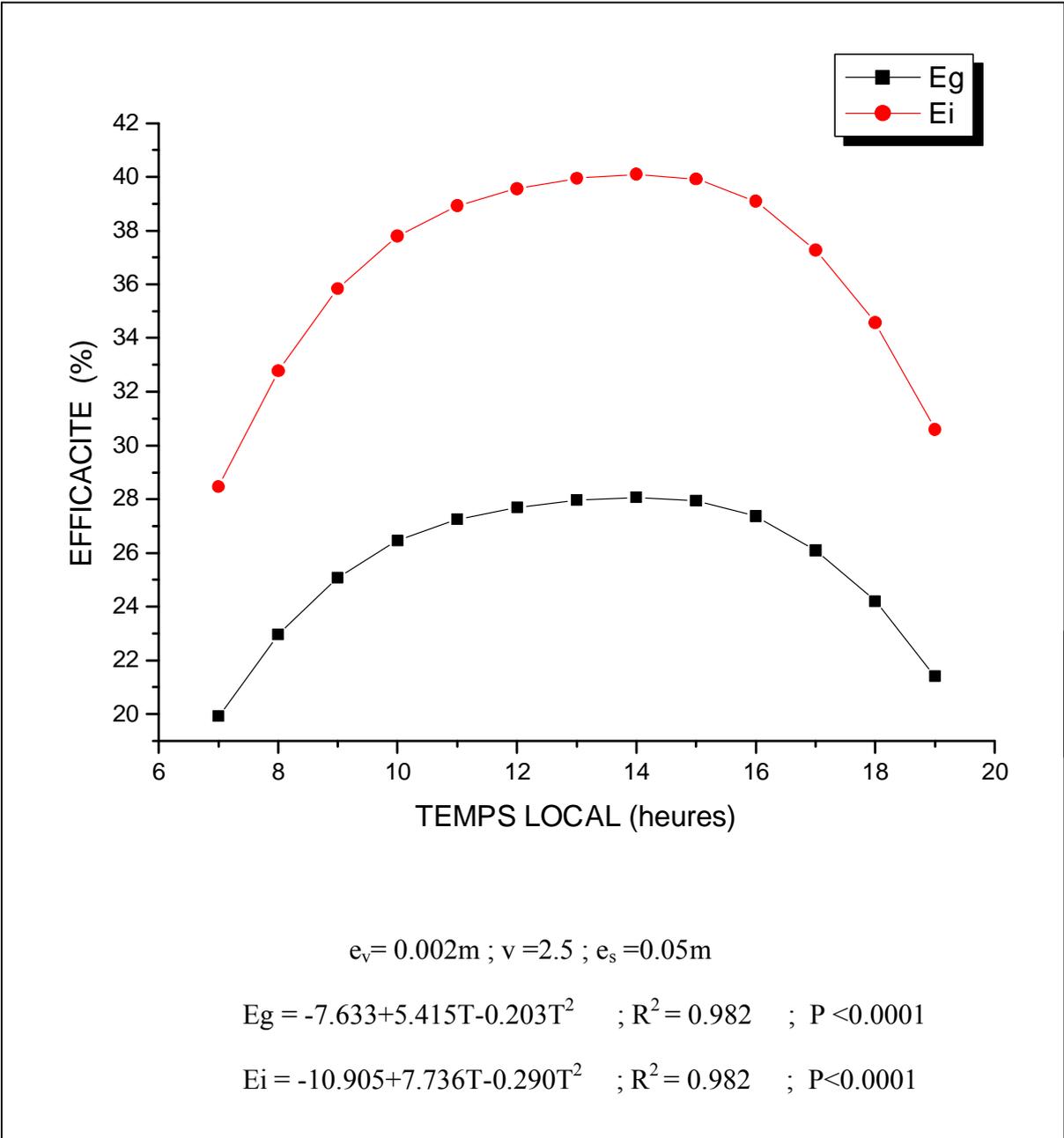


Figure IV.6 : Variation temporelle de l'efficacité globale et interne d'un distillateur simple

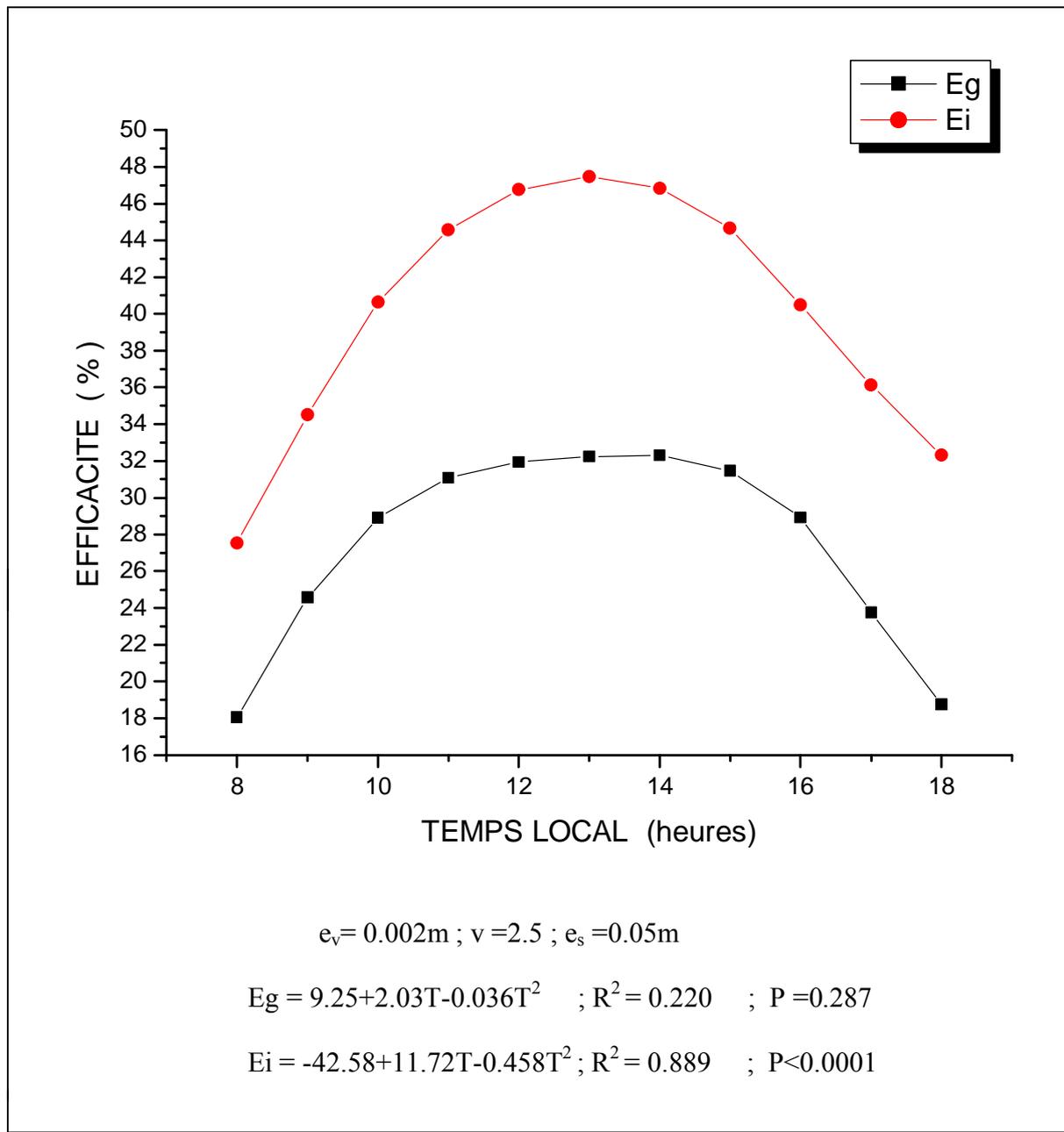


Figure IV.7 : Variation temporelle de l'efficacité globale et interne d'un distillateur sphérique à balayage

IV.6 Variation du facteur de performance en fonction du temps :

Les figures IV.8 et IV.9 représentent la variation du facteur de performance pour les deux types de distillateur. On remarque que les deux types de distillateurs deviennent plus

performant entre 11^h 00 et 16^h 00, ceci est du à la quantité d'eau produite, qui est plus importante dans cette intervalle du temps.

La comparaison entre les deux distillateurs permet de noter aussi que la performance du distillateur sphérique à balayage est nettement supérieure à celle du distillateur plan, car la puissance reçue par la saumure dans le distillateur sphérique est supérieure à celle reçue par le distillateur plan (figure IV.10).

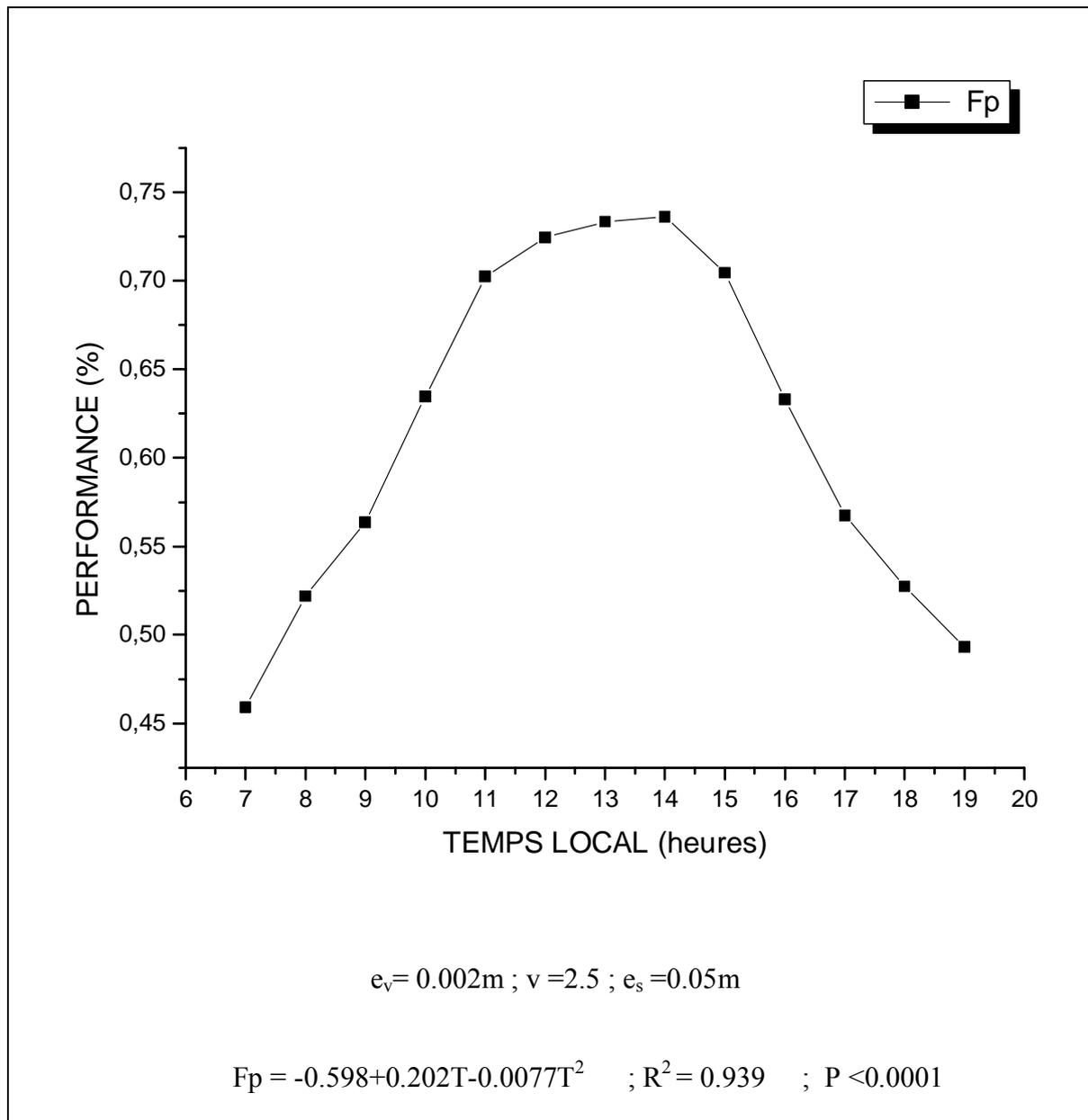


Figure IV.8 : Variation temporelle du facteur de performance d'un distillateur plan

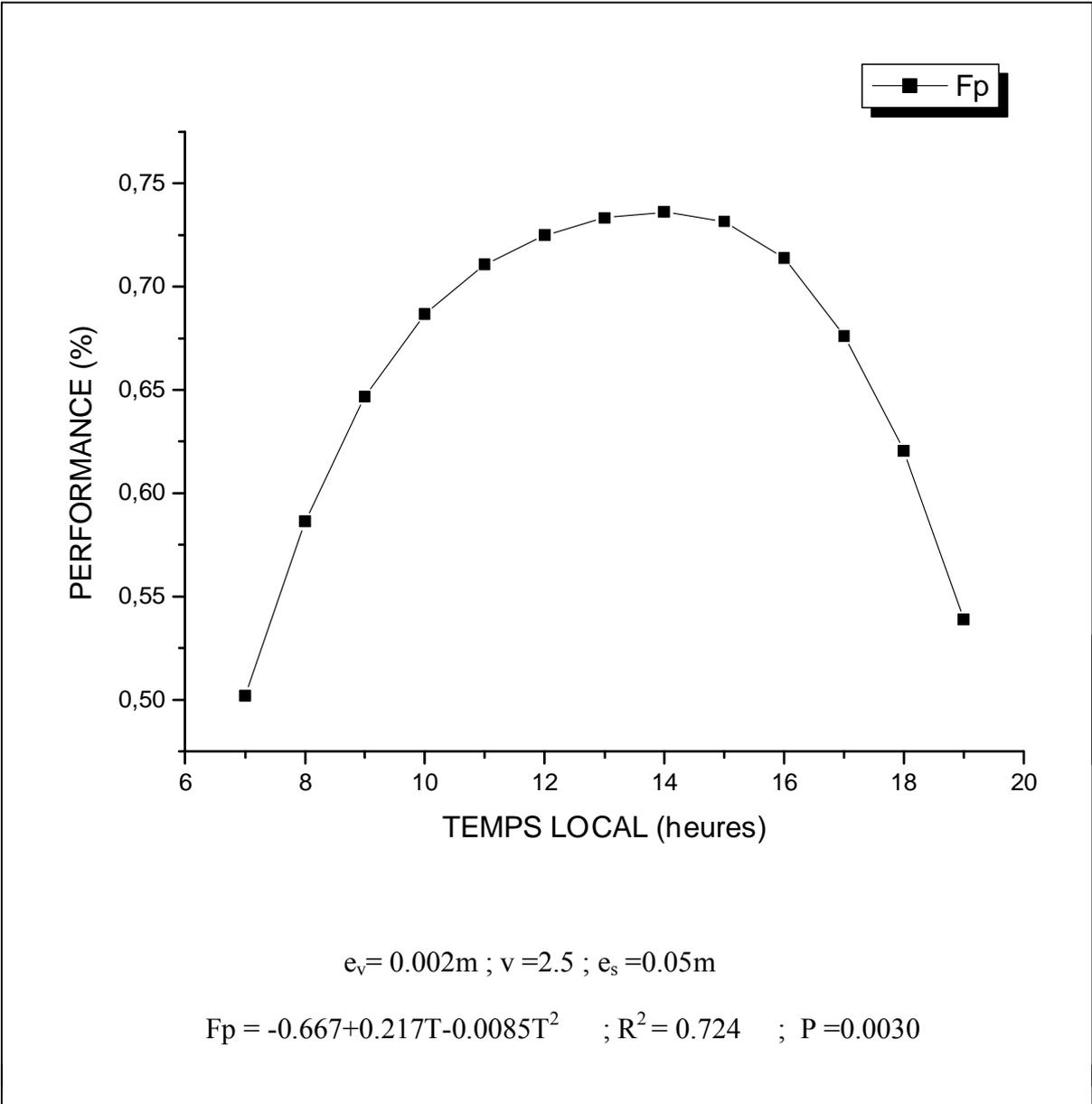


Figure IV.9 : Variation temporelle du facteur de performance d'un distillateur sphérique à balayage

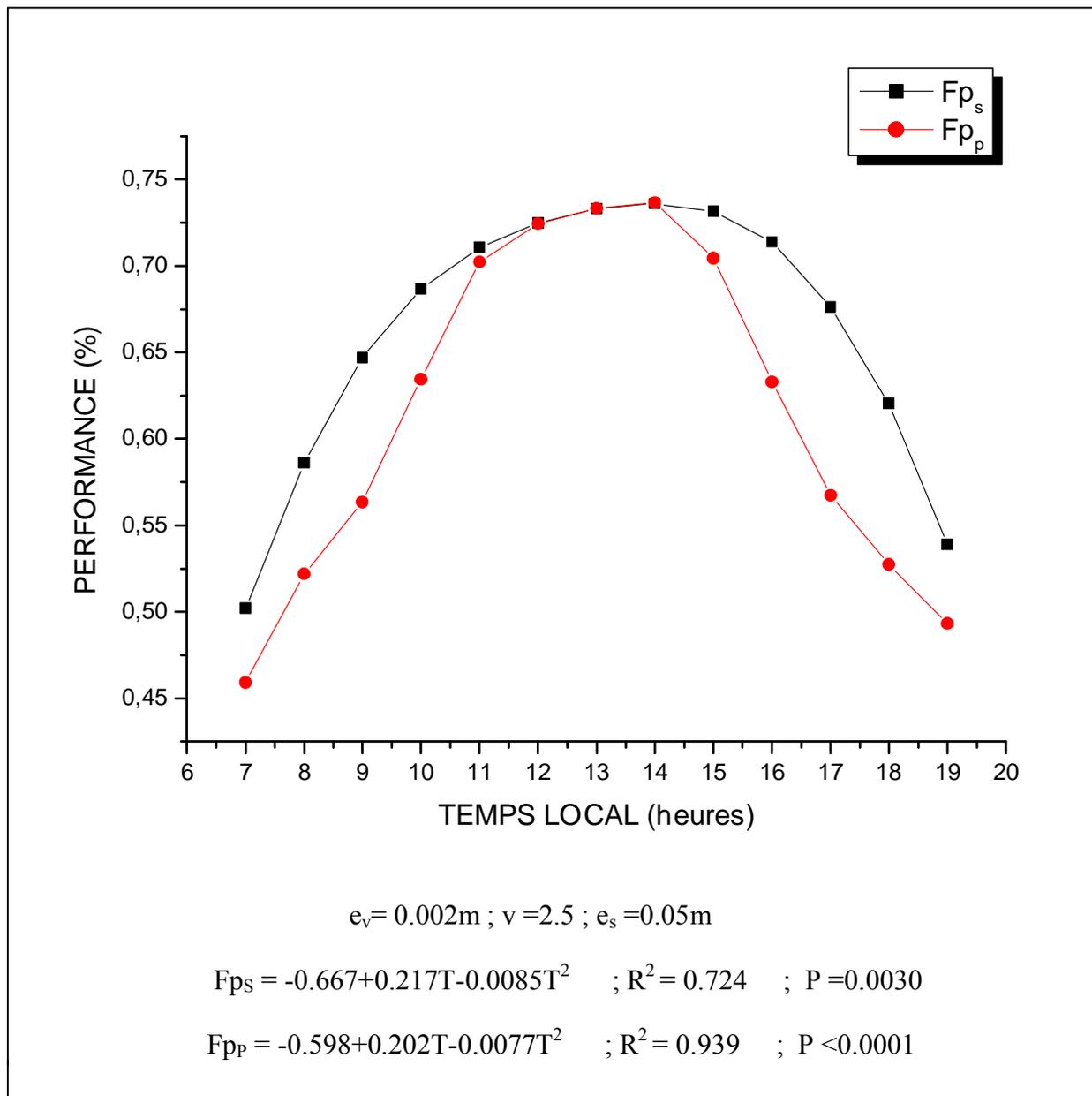


Figure IV.10 : Comparaison du coefficient de performance pour les deux types de distillateurs

IV.7 Quantité horaire de l'eau distillée :

La production horaire de l'eau distillée pour les deux types de distillateurs est représentée respectivement dans la figure IV.11 et la figure IV.12.

On remarque que la production commence à être considérable à partir de 9^h 00 du matin pour le distillateur sphérique et à partir de 11^h 00 pour le distillateur plan.

D'après les figures IV.11 et IV.12, on constate que le distillateur sphérique possède la plus grande production, qui atteint approximativement **4.5 l/jour/m²**. Par contre, pour un distillateur simple plan, la production journalière d'eau distillée est de **2.9 l/jour/m²** pour la même vitesse du vent et la même profondeur d'eau saumâtre.

L'analyse de la figure IV.13 permet de remarquer que la production du distillateur sphérique à balayage est supérieure à celle du distillateur plan grâce au système de balayage qui nous aide à recueillir le distillat à la base de la demi-sphère inférieure et qui laisse la face intérieure de la vitre nette (absence des gouttelettes qui s'accumulent sur la face interne de la vitre (surface de condensation)), ce qui influe sur la quantité d'eau produite.

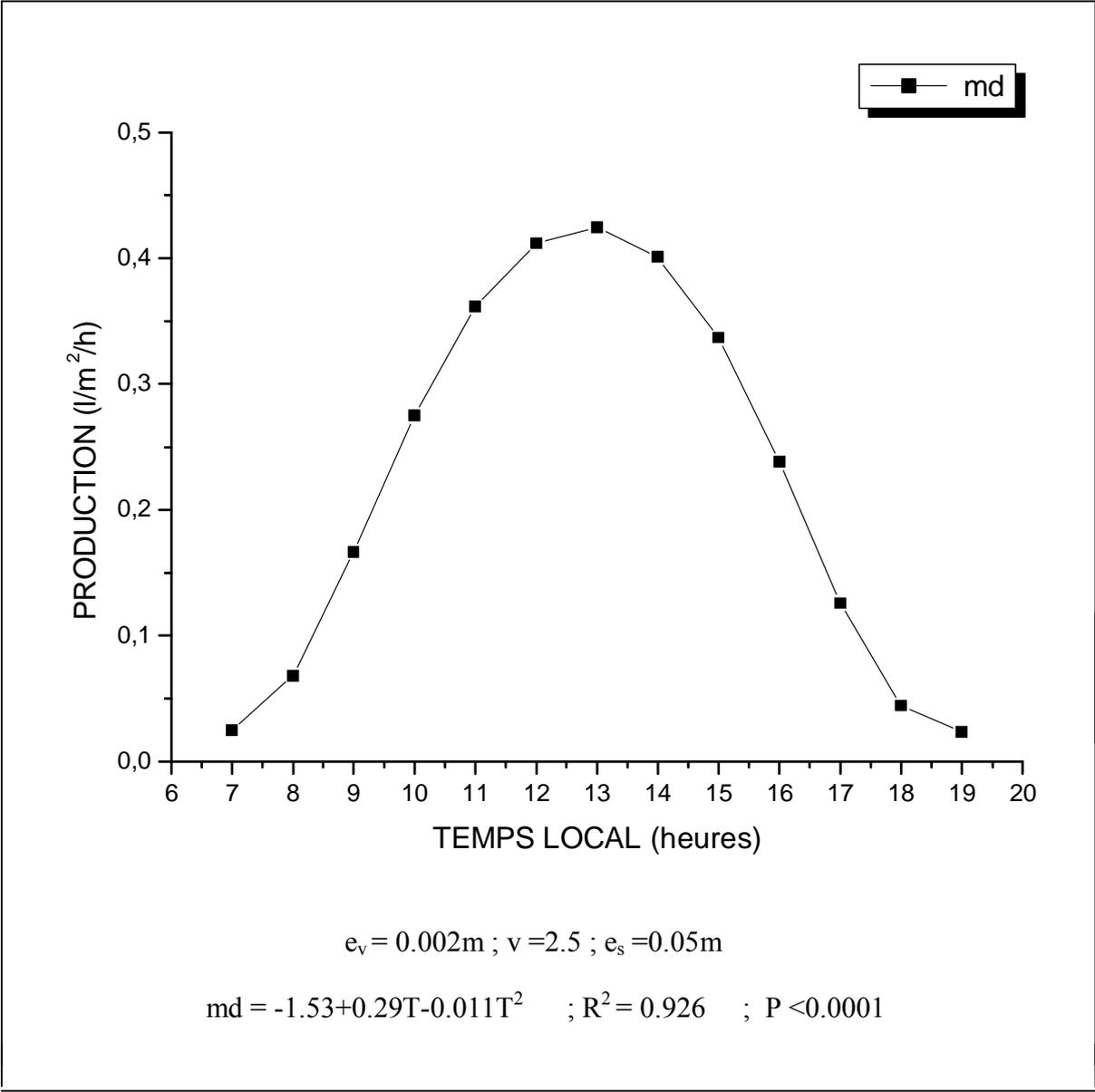


Figure IV.11 : Quantité horaire de l'eau distillée pour un distillateur simple

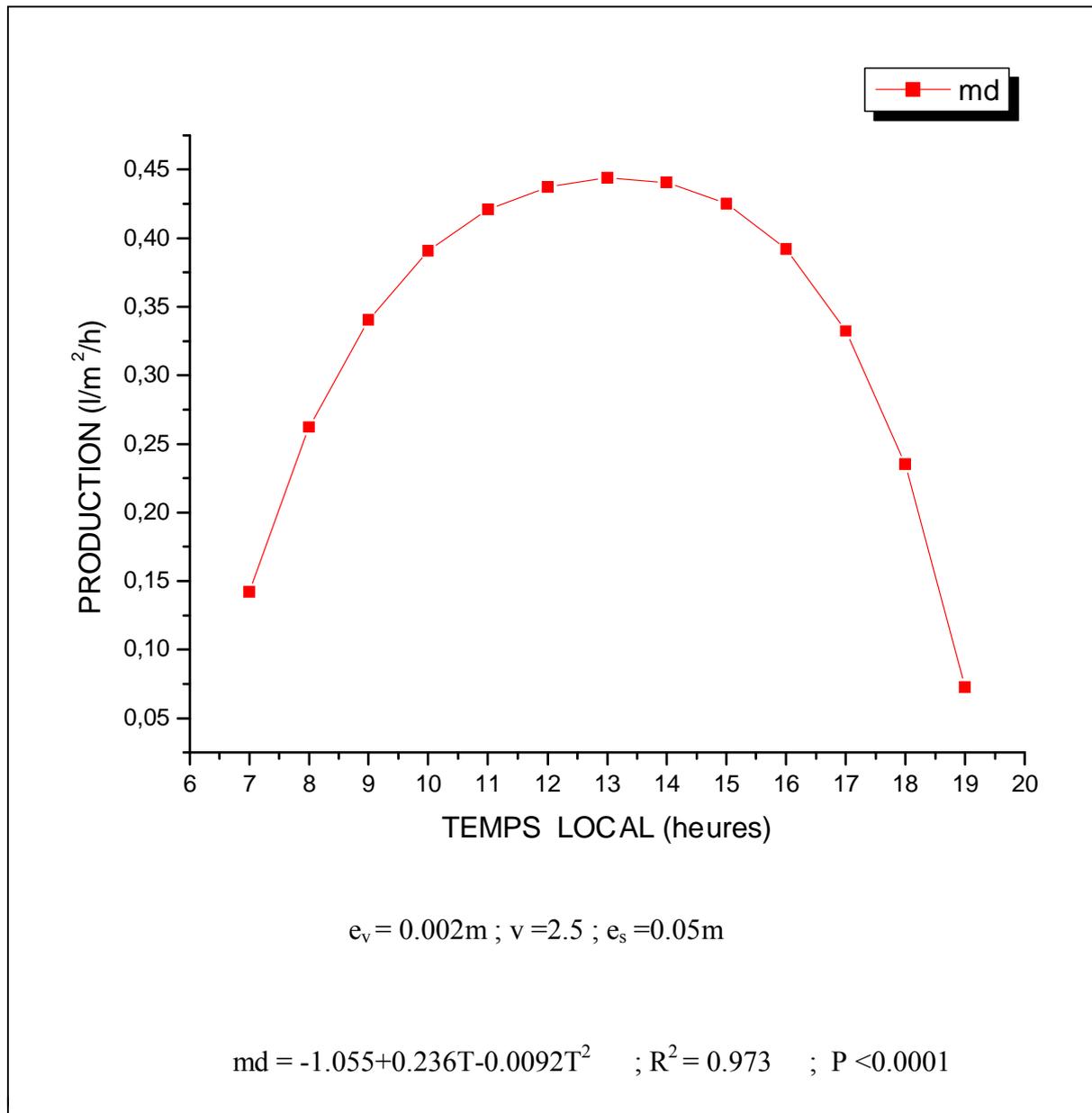


Figure IV.12 : Quantité horaire de l'eau distillé pour un distillateur sphérique à balayage

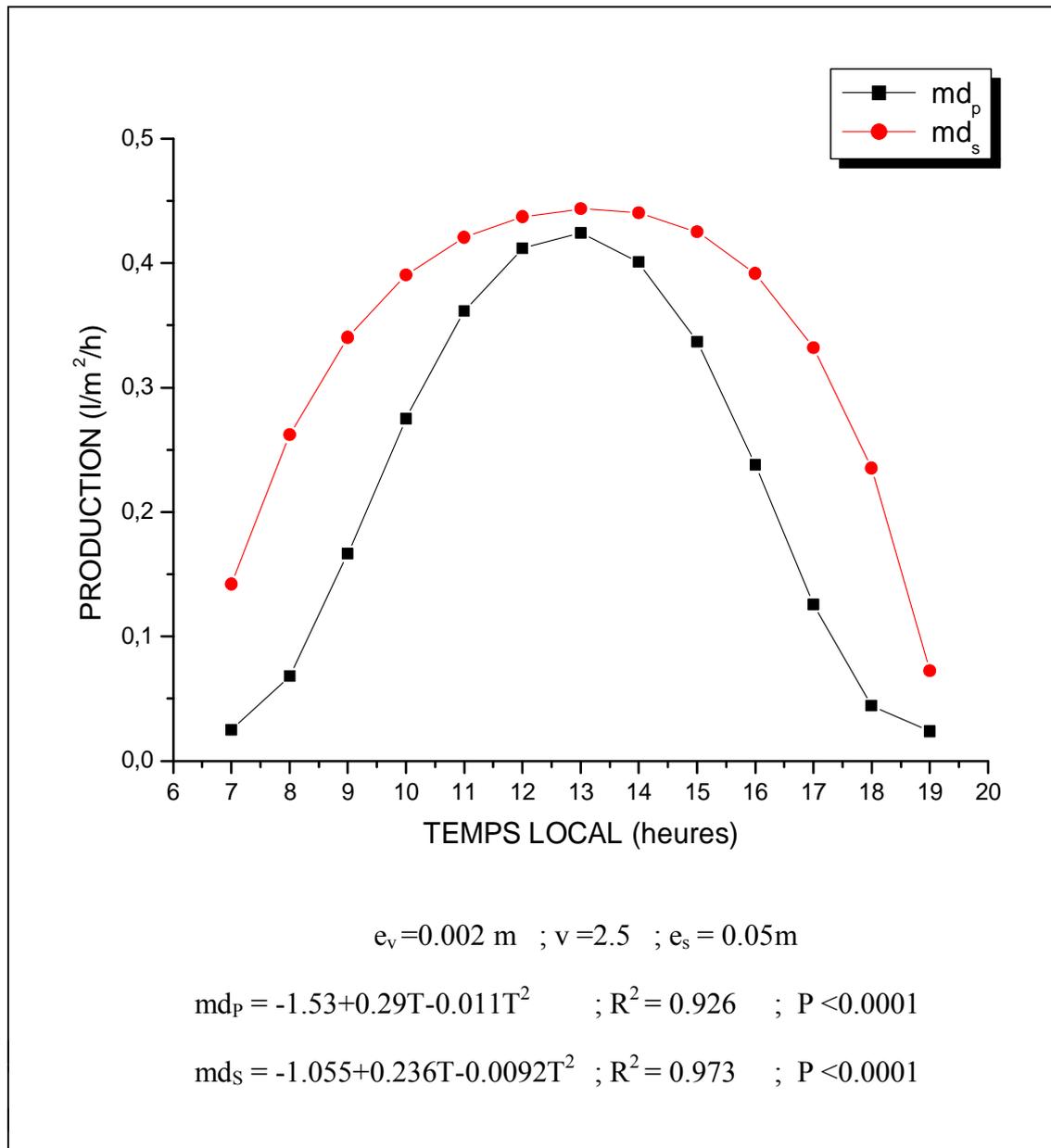


Figure IV.13 : Comparaison de la quantité horaire de l'eau distillée pour les deux types de distillateurs

IV.8 Variation de la production en fonction de la température ambiante :

La figure IV.14 permet de remarquer que pour un distillateur plan l'augmentation de la température ambiante entraîne une augmentation dans la production.

En fait, la température ambiante a un effet sur toutes les températures du distillateur, la diminution de celle-ci entraîne une chute de la température de la saumure. Le système est donc refroidi ce qui provoque la diminution de la production.

Pour le distillateur sphérique à balayage, représenté par la figure IV.15, la courbe montre que l'élévation de la température ambiante T_a , conduit à un accroissement de la production md . En outre, il faut noter que la production augmente de façon très rapide pour le distillateur sphérique.

Comme nous pouvons le remarquer sur la figure IV.16, une augmentation de la température ambiante T_a , conduit à un accroissement de la production md . En outre, il faut noter que la production augmente de façon très rapide pour le distillateur sphérique.

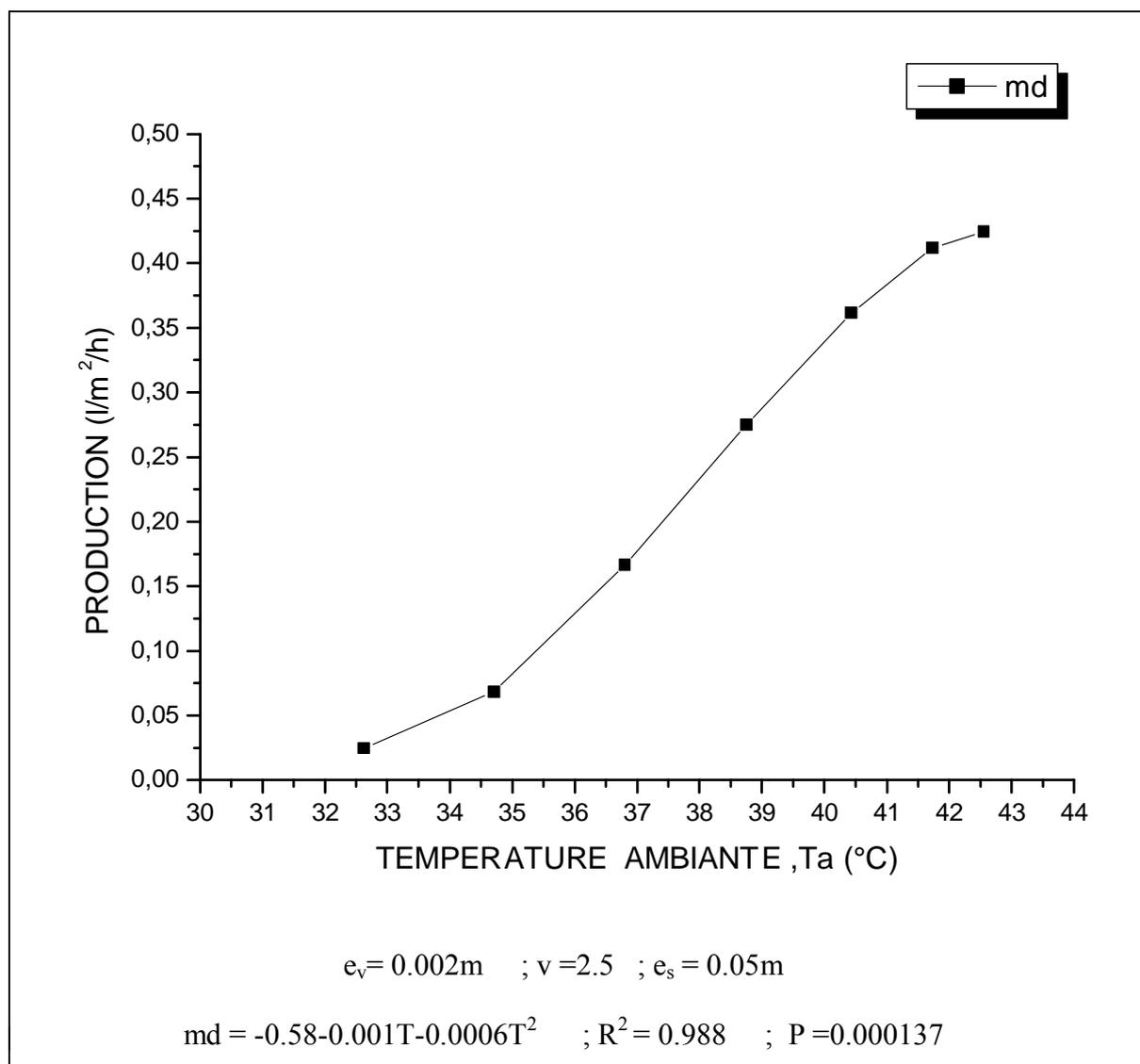


Figure IV.14: Variation de la production en fonction de la température ambiante pour un distillateur simple

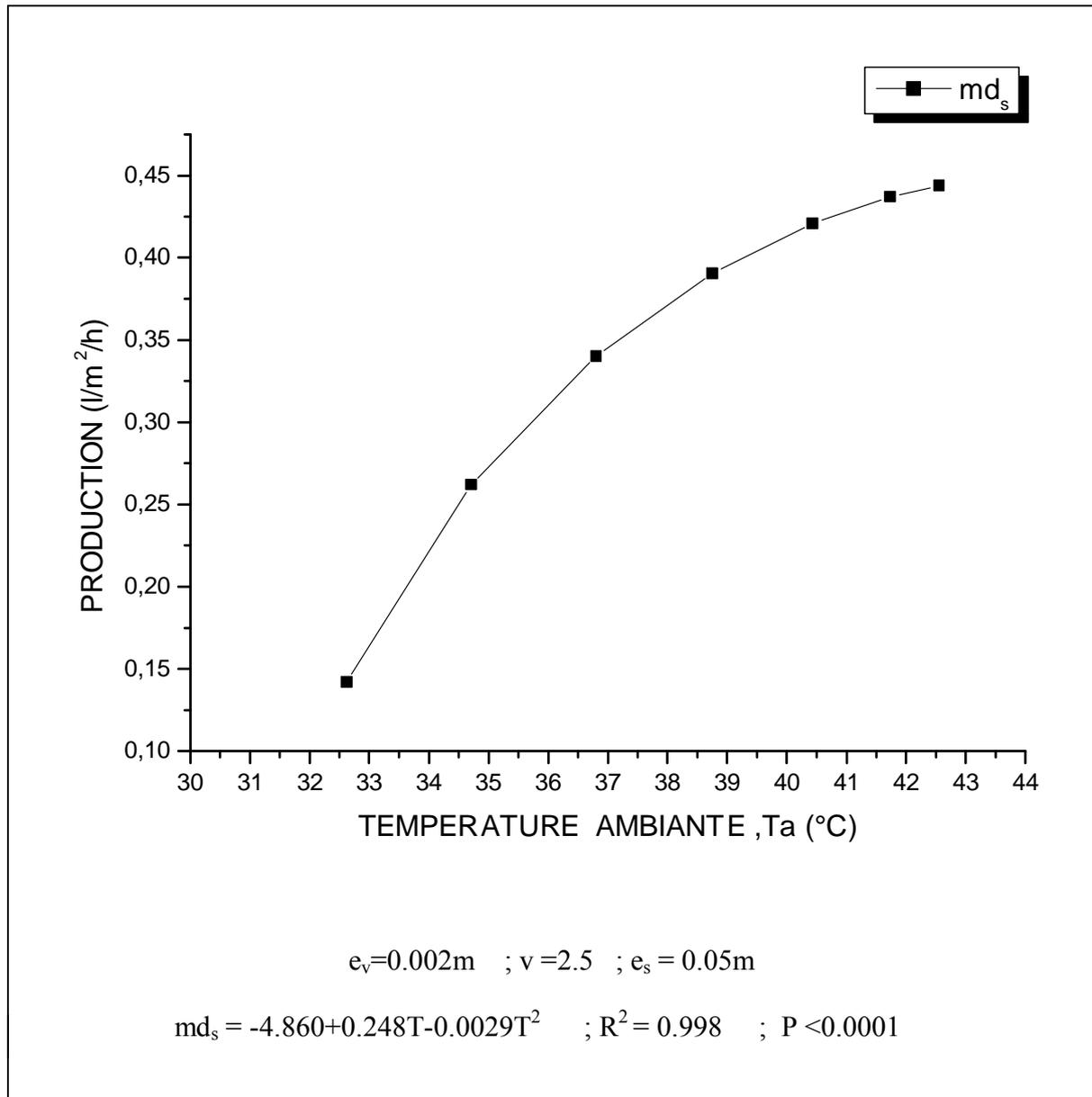


Figure IV.15: Variation de la production en fonction de la température ambiante pour un distillateur sphérique à balayage

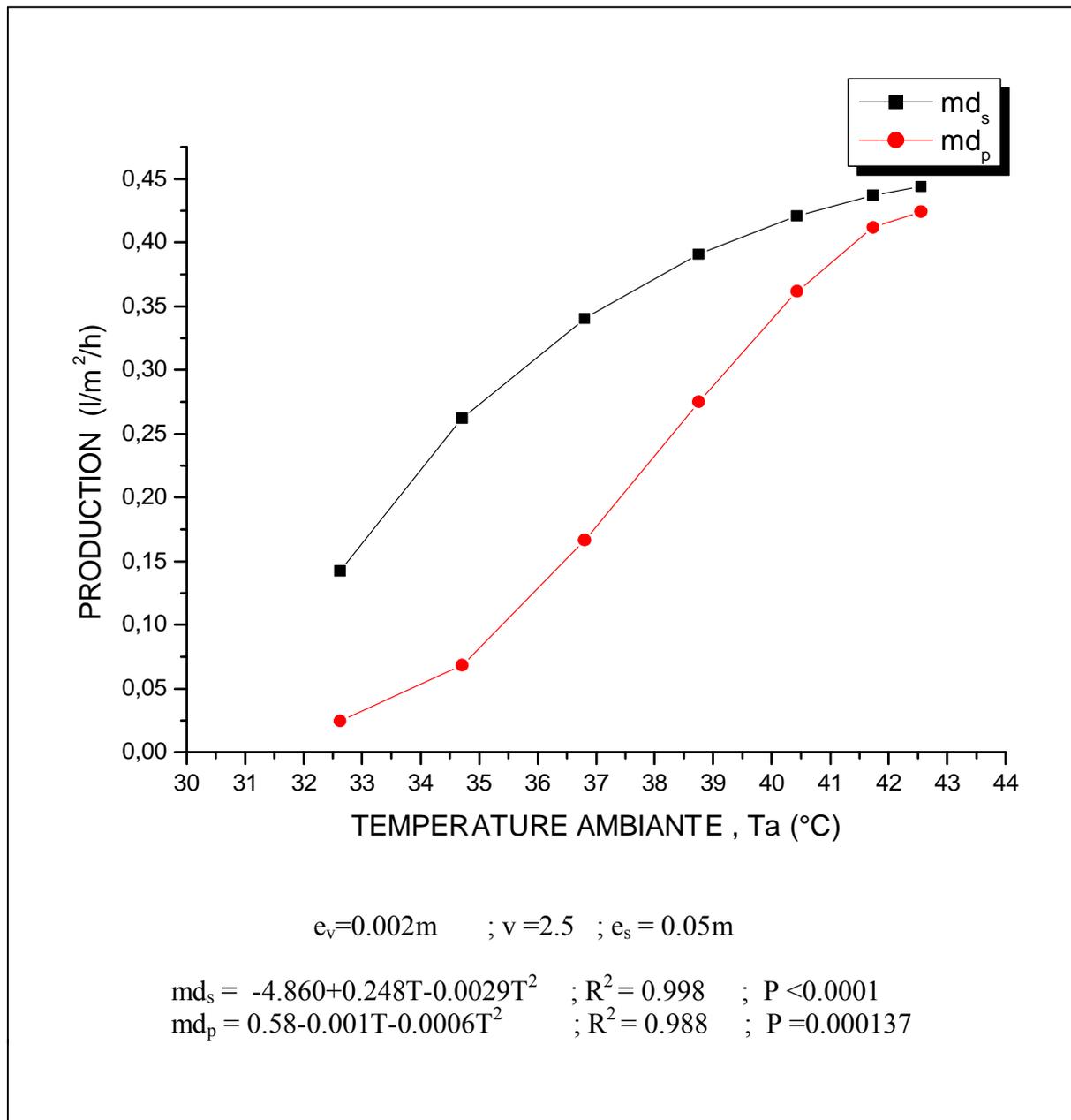


Figure IV.16 : Comparaison de la variation de la production en fonction de la température ambiante pour les deux types de distillateurs

IV.9 Variation de la production en fonction de la température de l'eau :

Dans les figures IV.17 et IV.18 on remarque que la production **md** augmente avec l'augmentation de la température de l'eau **T_w**, ce qui montre que l'élévation de la température

de l'eau a un effet favorable sur le rendement d'un distillateur pour les deux types de distillateur.

D'après la figure de comparaison IV.19 et en comparaison la production des deux distillateurs plan et sphérique, on remarque que la production dans un distillateur sphérique est plus élevée que dans le distillateur plan car la température de l'eau dans ce dernier est relativement inférieure par rapport au distillateur sphérique.

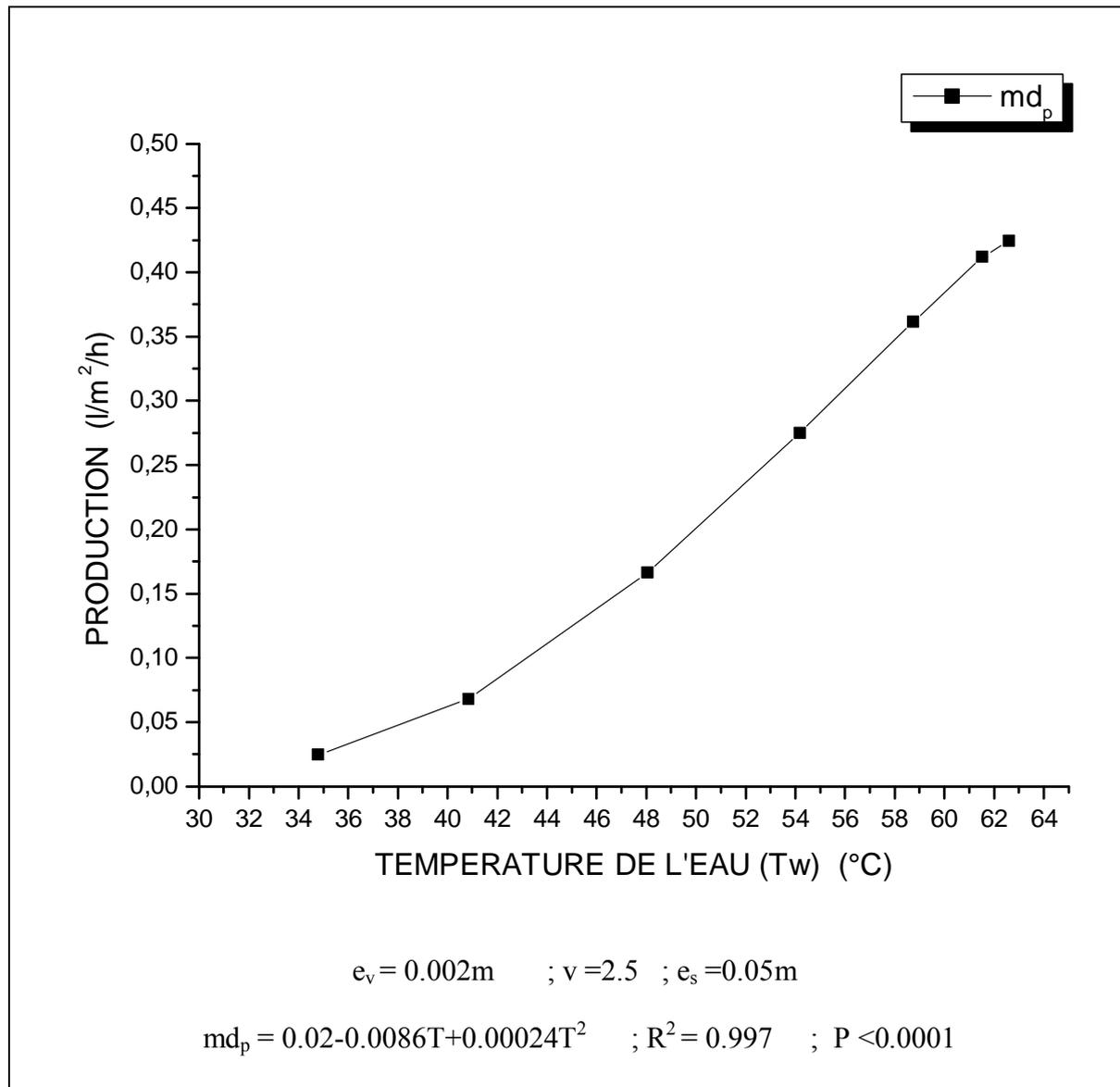


Figure IV.17 : Variation de la production en fonction de la température de l'eau pour un distillateur simple

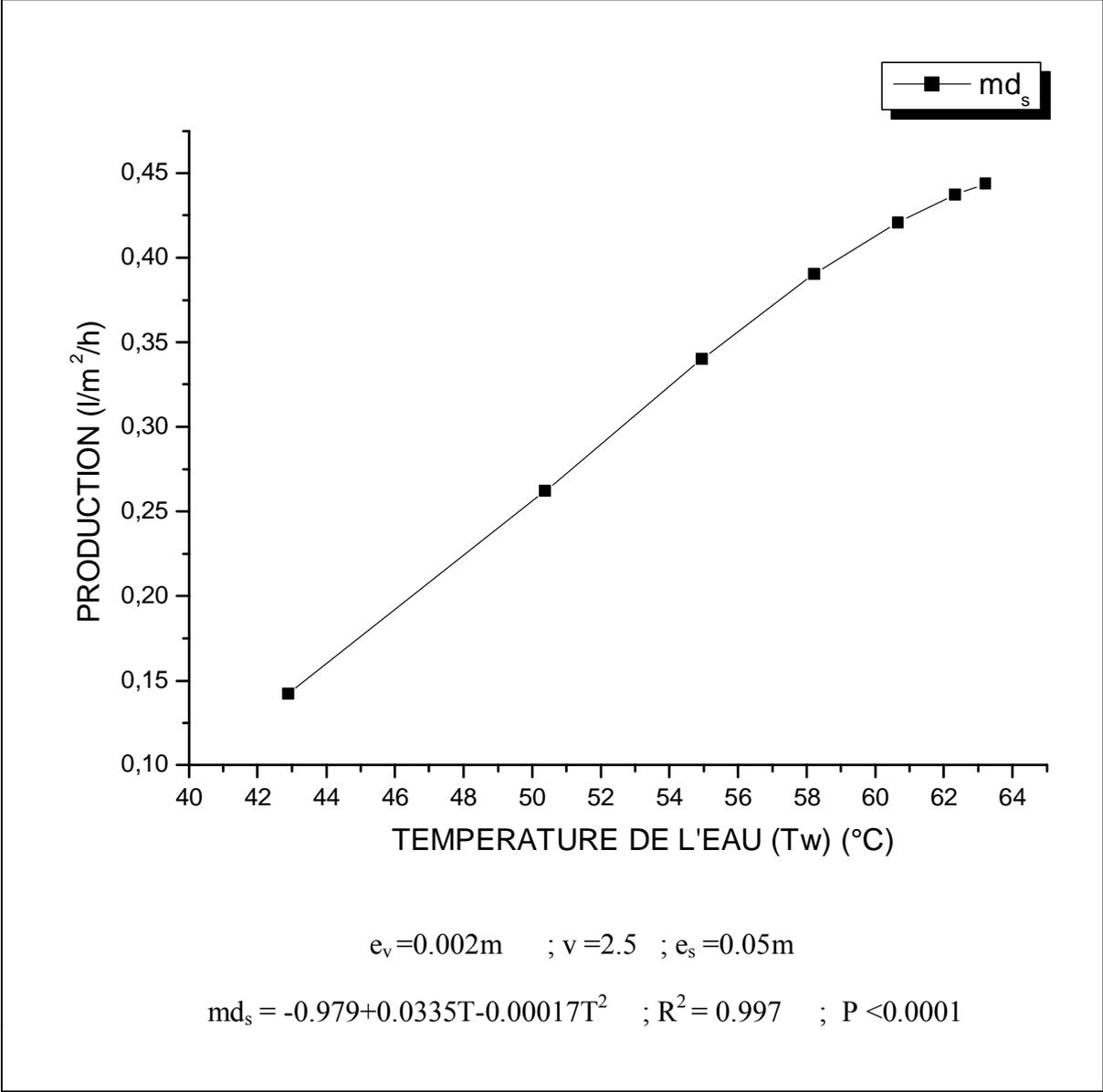


Figure IV.18 : Variation de la production en fonction de la température de l'eau pour un distillateur sphérique

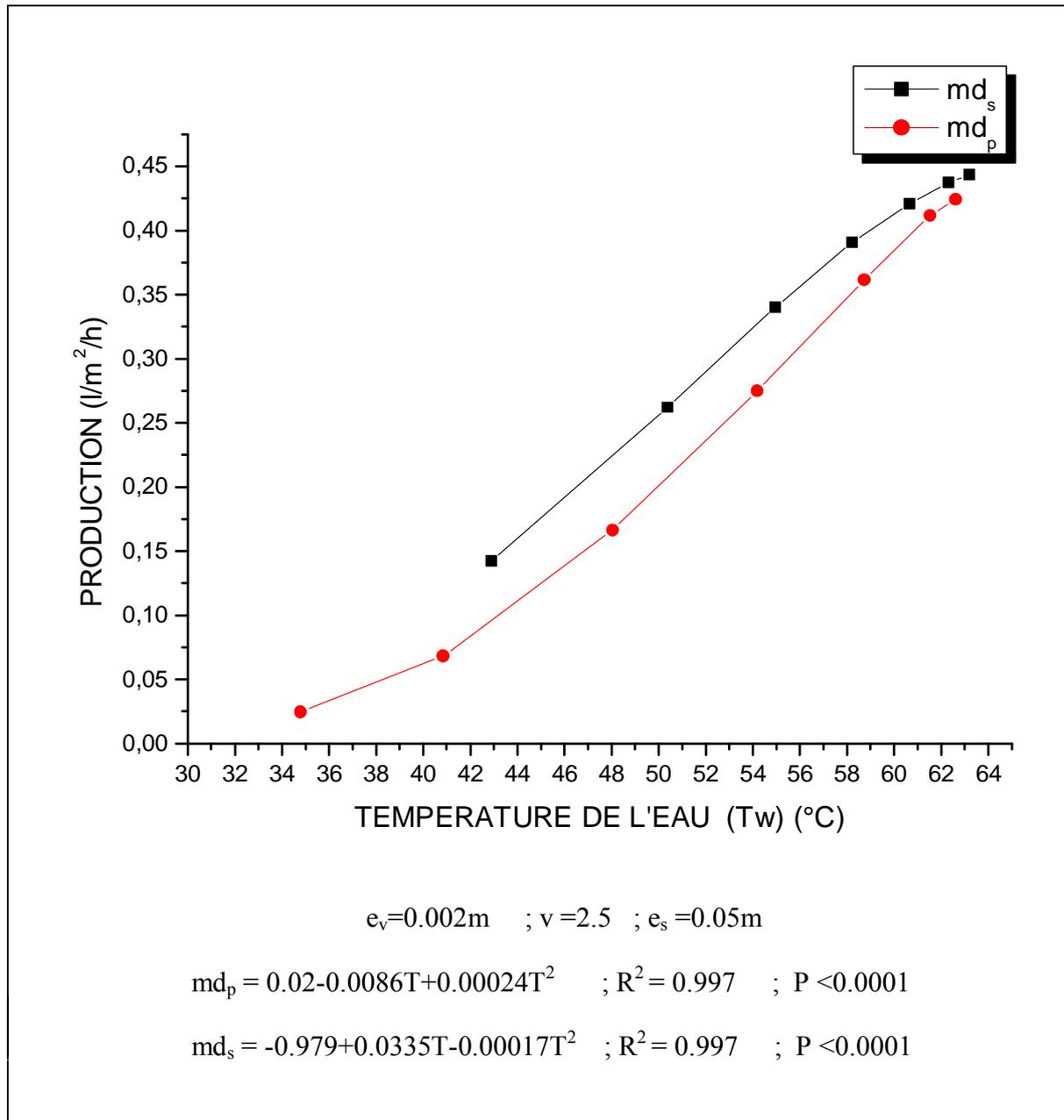


Figure IV.19 : Comparaison de la variation de la production en fonction de la température de l'eau pour les deux types de distillateur

IV.10 Variation de la production en fonction de l'écart de température (ambiance-eau):

La variation de la quantité d'eau distillée produite en fonction de la l'écart de température (Tw-Ta) en maintenant la vitesse du vent constante est représentée dans les figures IV.20 et IV.21 pour les deux types de distillateurs.

Il apparaît que l'accroissement de l'écart de température ($T_w - T_a$) fait augmenter la différence de température entre les surfaces intérieure et extérieure du distillateur. Cette dernière étant en contact avec l'air ambiant ; il en résulte un accroissement de la différence de pression partielle, ce qui provoque l'augmentation de la quantité d'eau condensée.

La figure IV.22 montre que la production horaire commence à être importante lorsque l'écart de température (ambiance-eau) atteint une valeur minimale de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ et plus cet écart augmente plus la production horaire augmente pour les deux types de distillateurs. D'après la figure IV.22 on constate que la production horaire pour un distillateur sphérique augmente plus rapidement que dans le cas d'un distillateur simple jusqu'à ce que l'écart de température (ambiance-eau) atteigne une valeur maximale de 20°C pour les deux types de distillateurs, où la production atteint aussi une valeur maximale et qui reste presque constante.

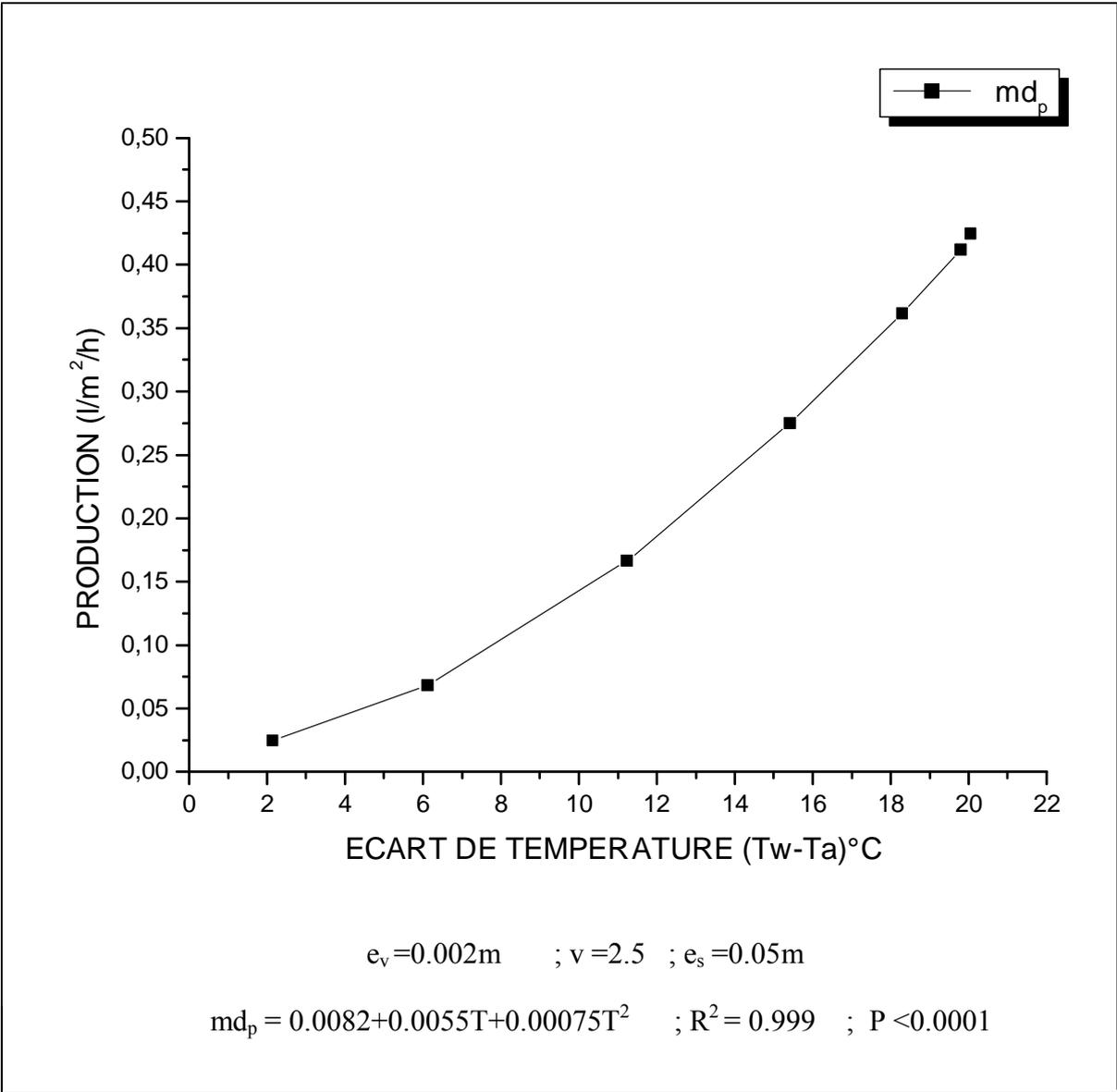


Figure IV.20 : Variation de la production en fonction de l'écart de température ambiance-eau pour un distillateur simple

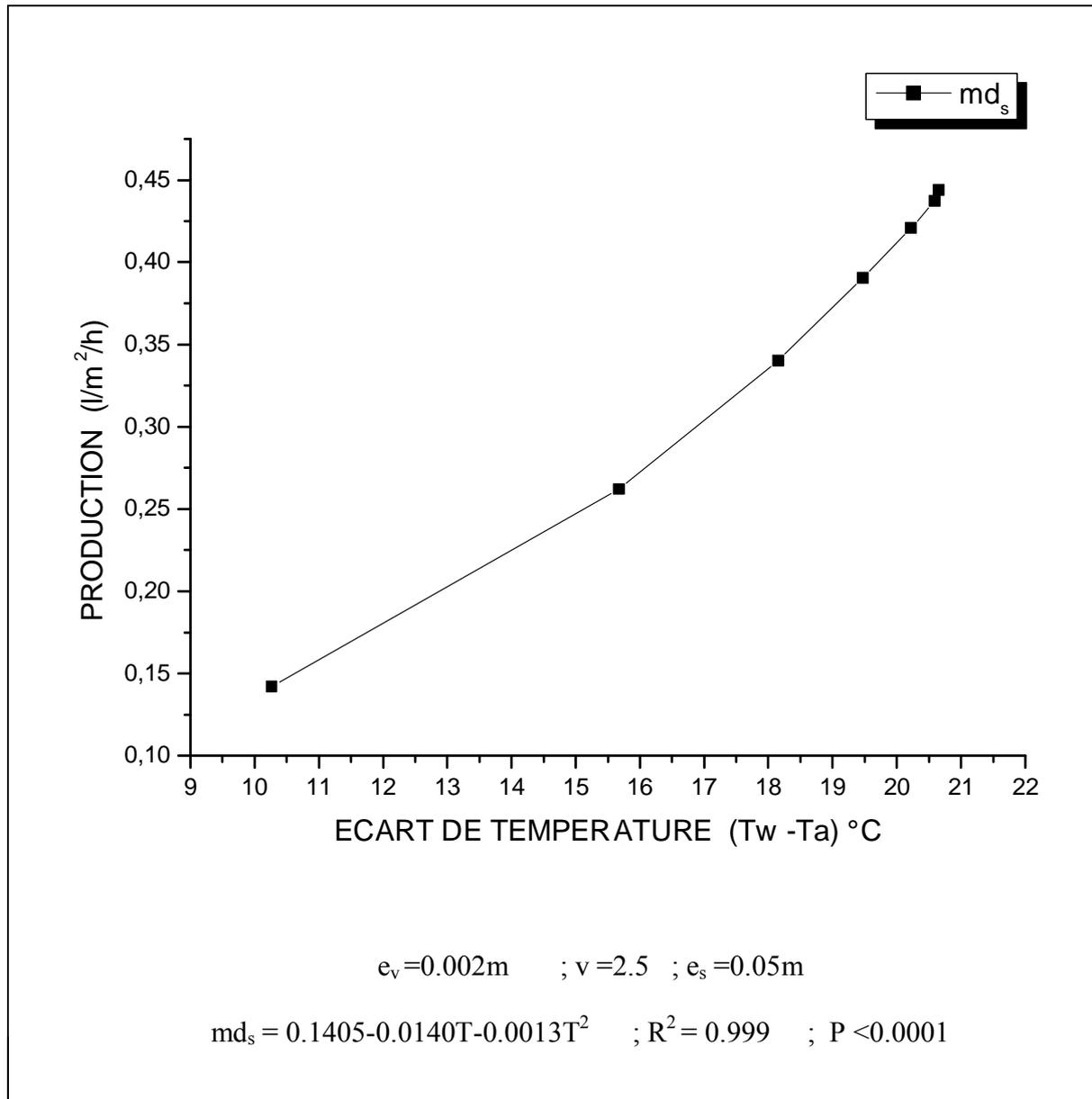


Figure IV.21 : Variation de la production en fonction de l'écart de température ambiance-eau pour un distillateur sphérique à balayage

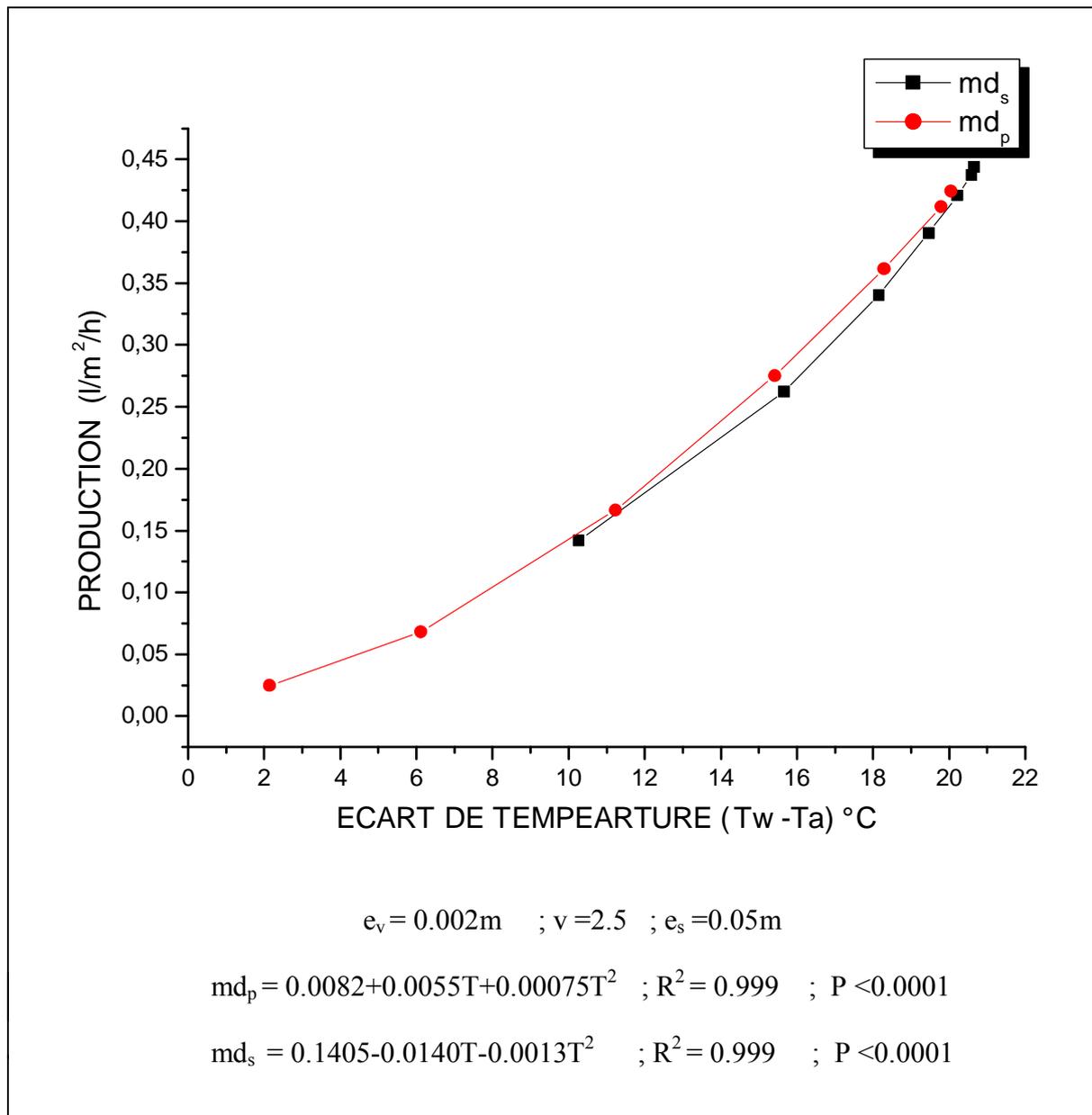


Figure IV.22 : Comparaison de la variation de la production en fonction de l'écart de température ambiance-eau pour les deux types de distillateur

IV.11 Variation de l'efficacité globale et interne en fonction de l'écart de température ambiance-eau :

La figure IV.23 permet de constater que pour un distillateur plan, l'augmentation de

l'écart de température (ambiance-eau) fait augmenter les efficacités interne et globale.

La diminution de cet écart provoque par contre la diminution de l'efficacité interne et globale, entraînant une chute de l'efficacité interne et globale.

Pour le distillateur sphérique à balayage, représenté par la figure IV.24 le même effet est observé pour les efficacités interne et globale.

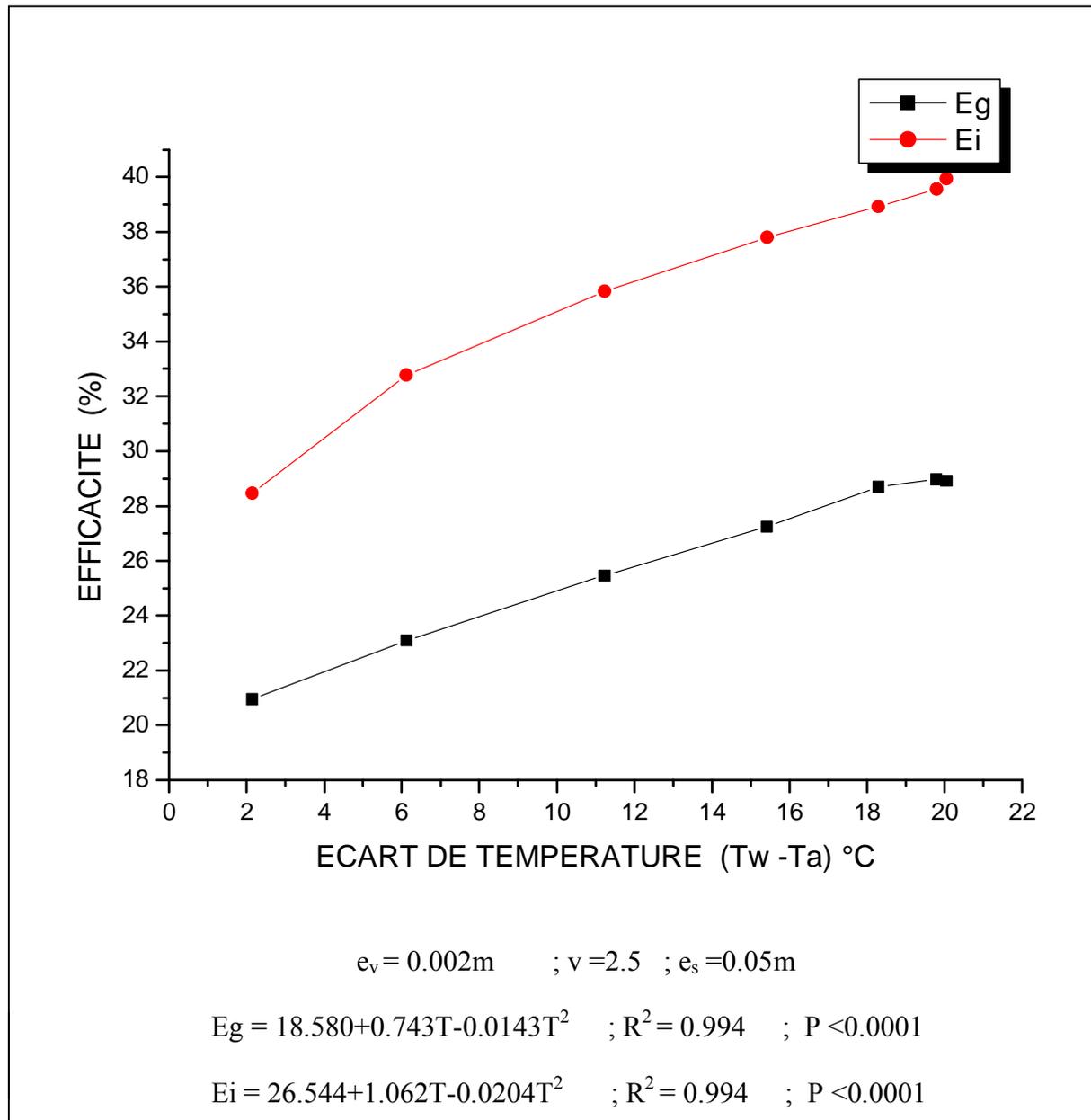


Figure IV.23 : Variation de l'efficacité globale et interne en fonction de l'écart de température ambiance-eau pour un distillateur simple

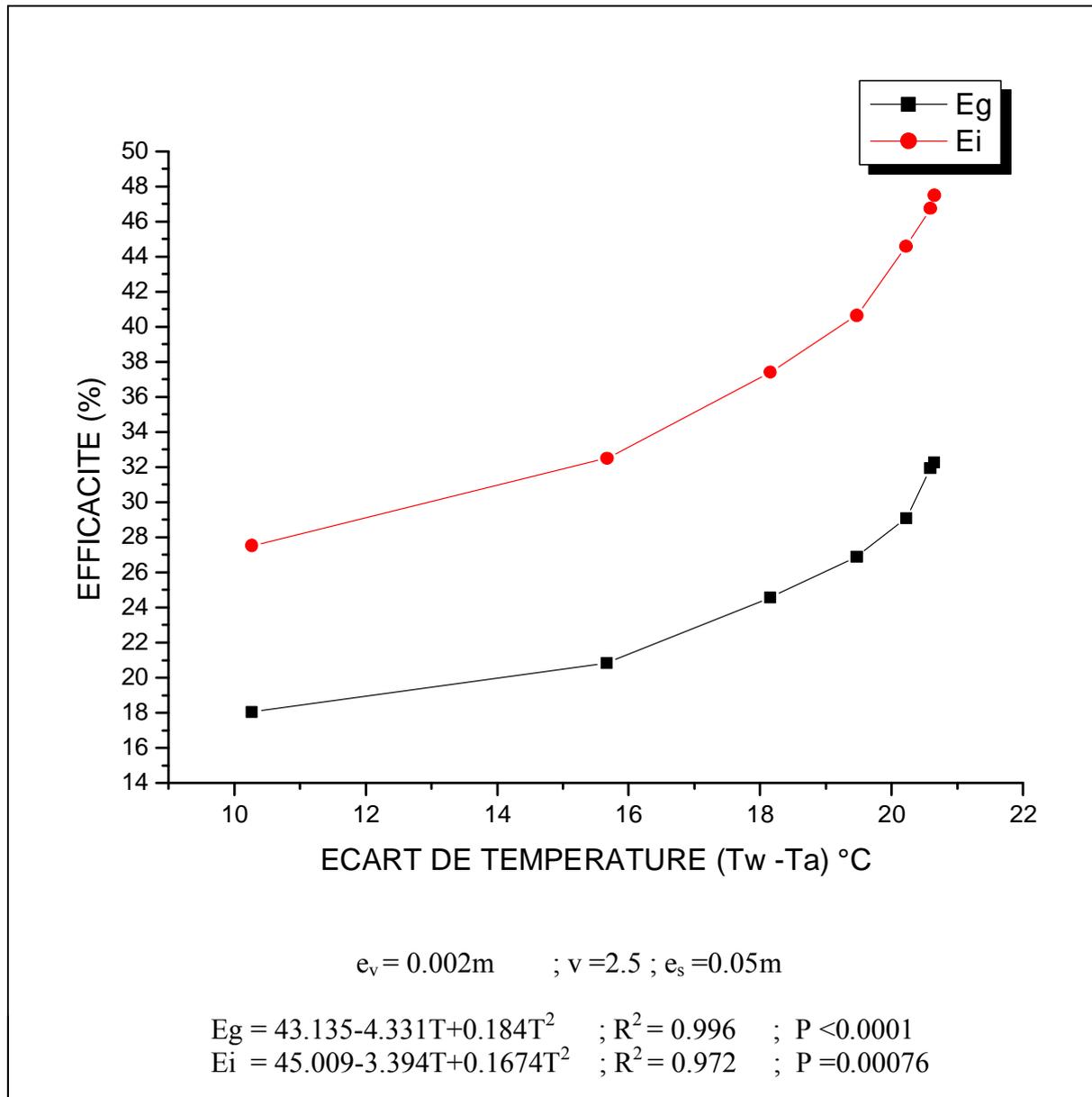


Figure IV.24 : Variation de l'efficacité globale et interne en fonction de l'écart de température ambiance-eau pour un distillateur sphérique à balayage

IV.12 Variation du facteur de performance en fonction de l'écart de température (ambiance-eau) :

Dans la figure IV.25 on constate que plus l'écart de température (ambiance-eau) augmente plus le distillateur devient effectivement performant, ceci est dû à la quantité d'eau produite qui devient importante à chaque fois que l'écart de température augmente.

On peut noter que le distillateur sphérique est relativement plus performant qu'un distillateur plan (figure IV.26)

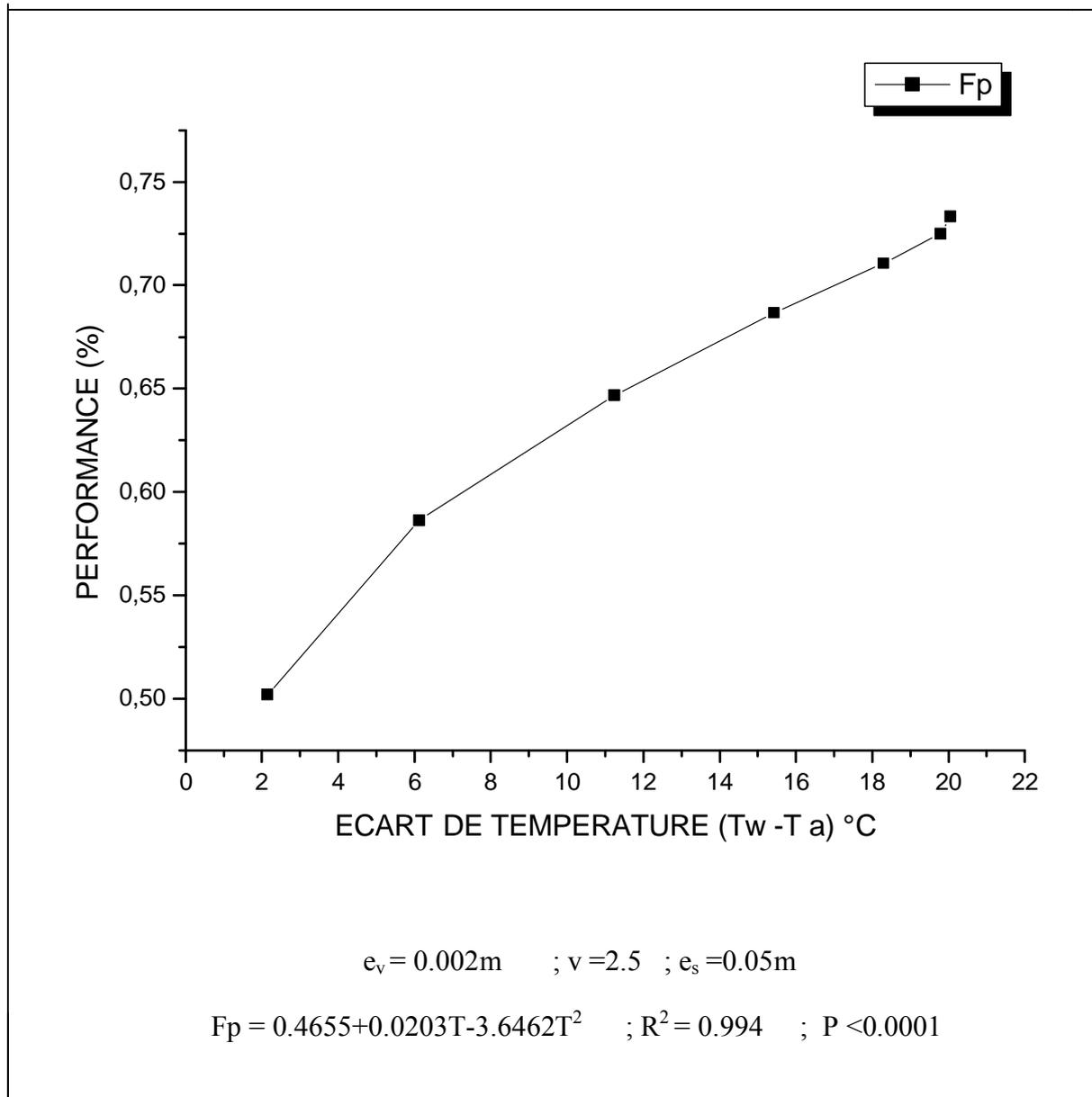


Figure IV.25 : Variation du facteur de performance en fonction de l'écart de température ambiance-eau pour un distillateur simple

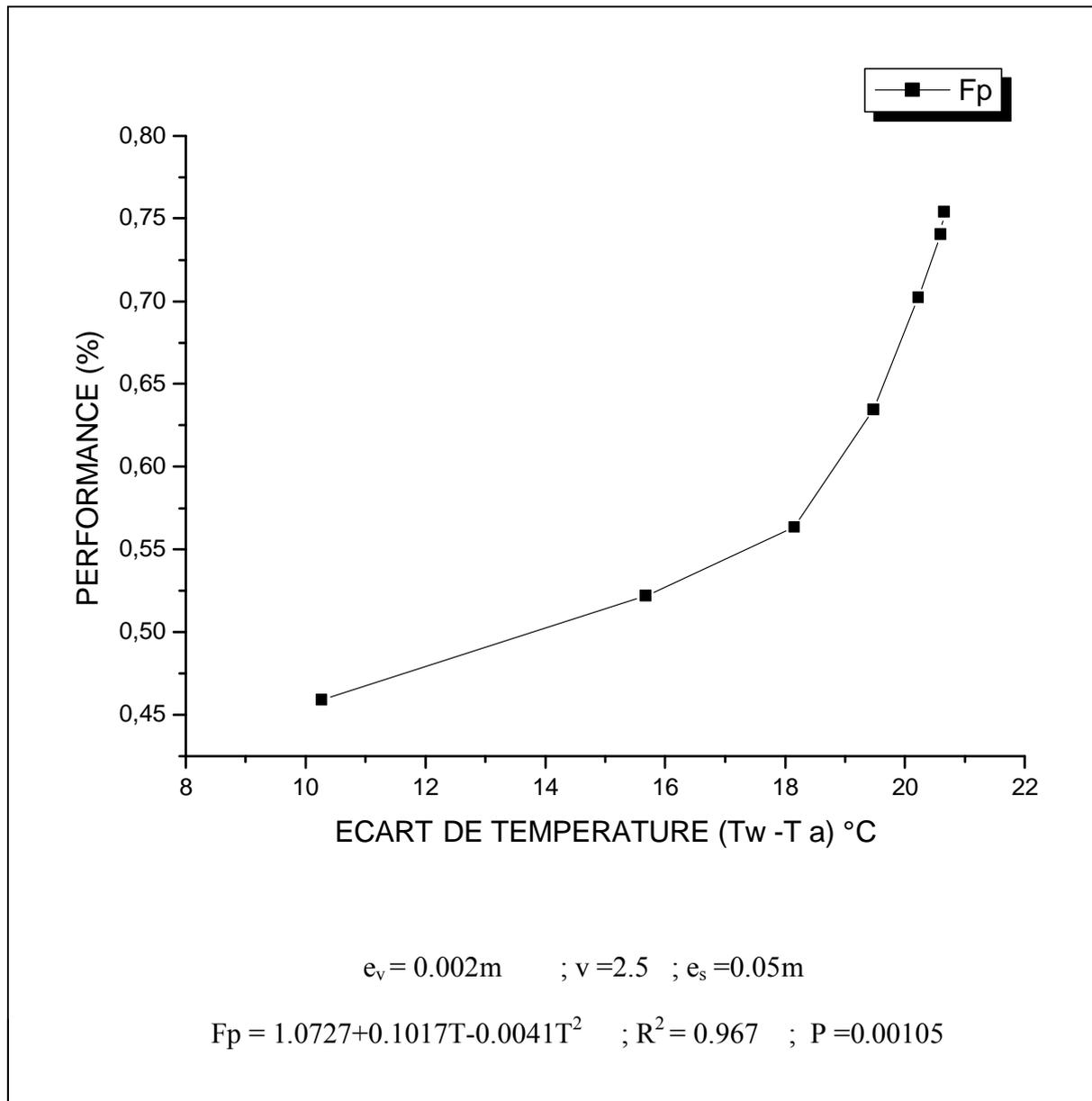


Figure IV.26 : Variation du facteur de performance en fonction de l'écart de température ambiance-eau pour un distillateur sphérique à balayage

IV.13 Validation des résultats :

Les résultats obtenus des essais concernant la température l'eau saumâtre et la quantité du distillat en fonction du temps (production horaire et production cumulée) pour un distillateur plan, et la variation de la production en fonction de l'écart de température (ambiance-eau) et en fonction de la température de l'eau pour un distillateur sphérique sont représentés respectivement sur les figures IV.27, IV.28, IV.29, IV.30 .et qui se trouvent en concordance avec nos résultats issus de notre étude.

Ces résultats sont réalisés par **N.Retiel**, **F.Abdessamed** [33] et **M.Bettahar** et **G.Menguy** [34].

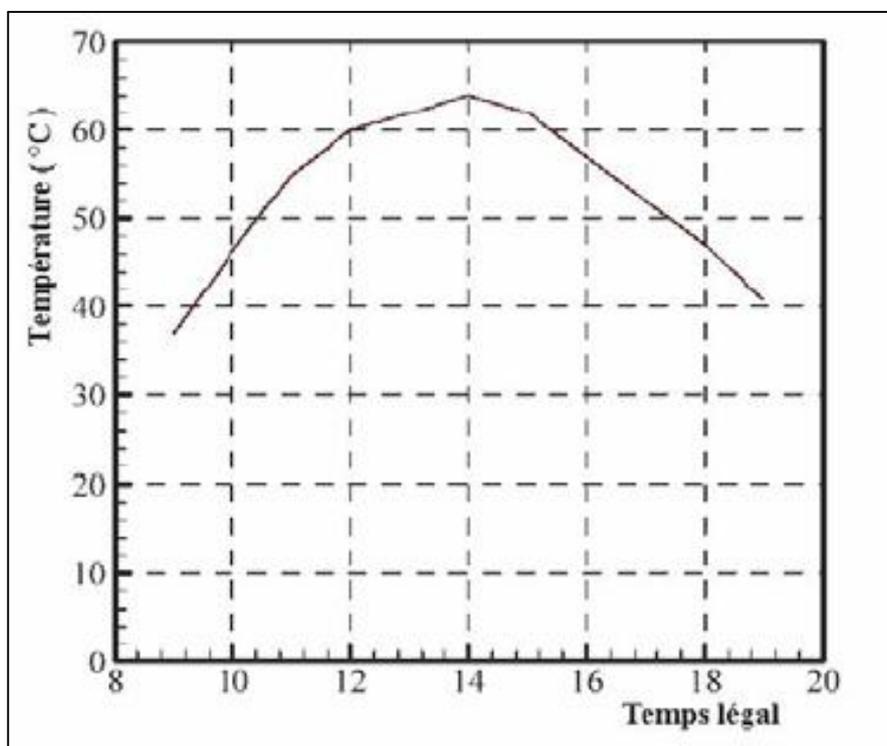
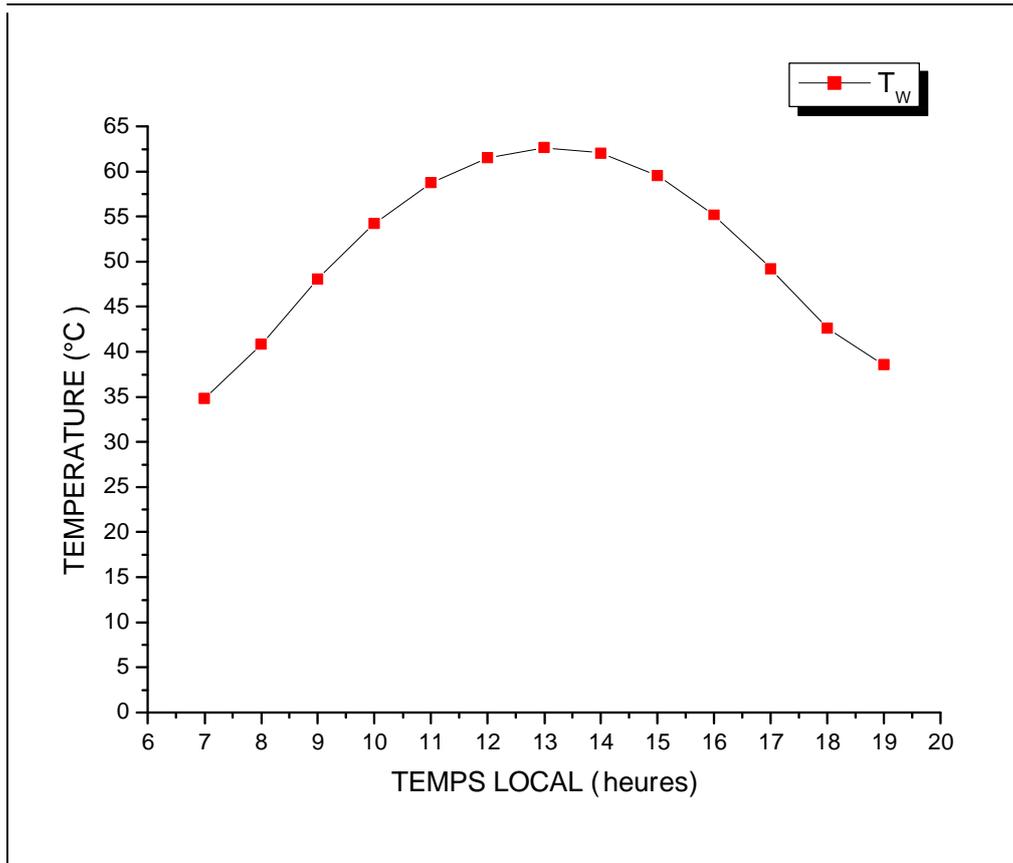


Figure IV.27 : Evolution de la température de la masse d'eau dans un distillateur plan (Expérimental)



**Figure IV.28 : Evolution de la température de la masse d'eau dans un distillateur plan
(Théorique)**

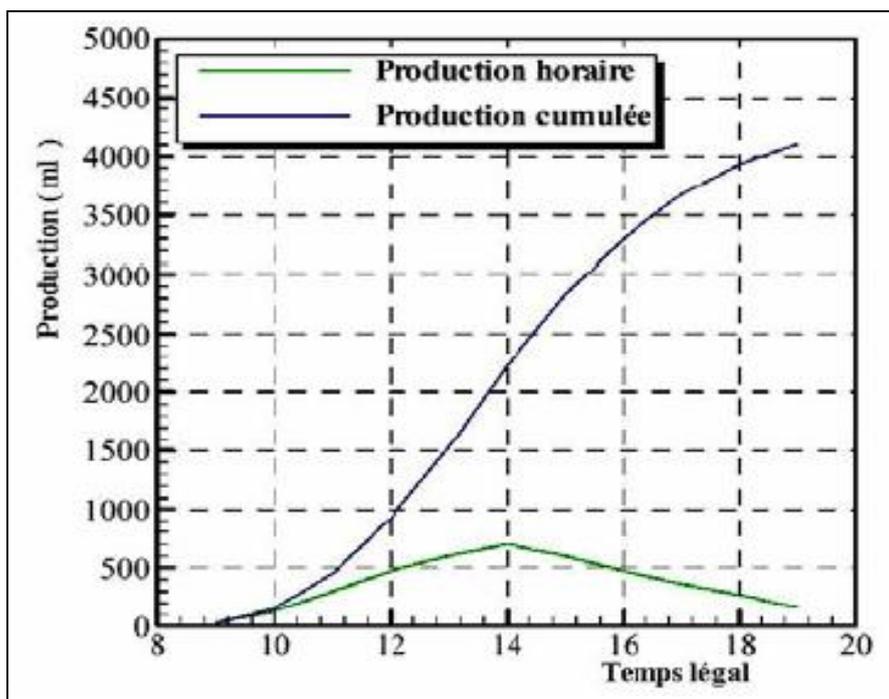


Figure IV.29 : Quantité du distillat en fonction du temps pour un distillateur plan
(Expérimental)

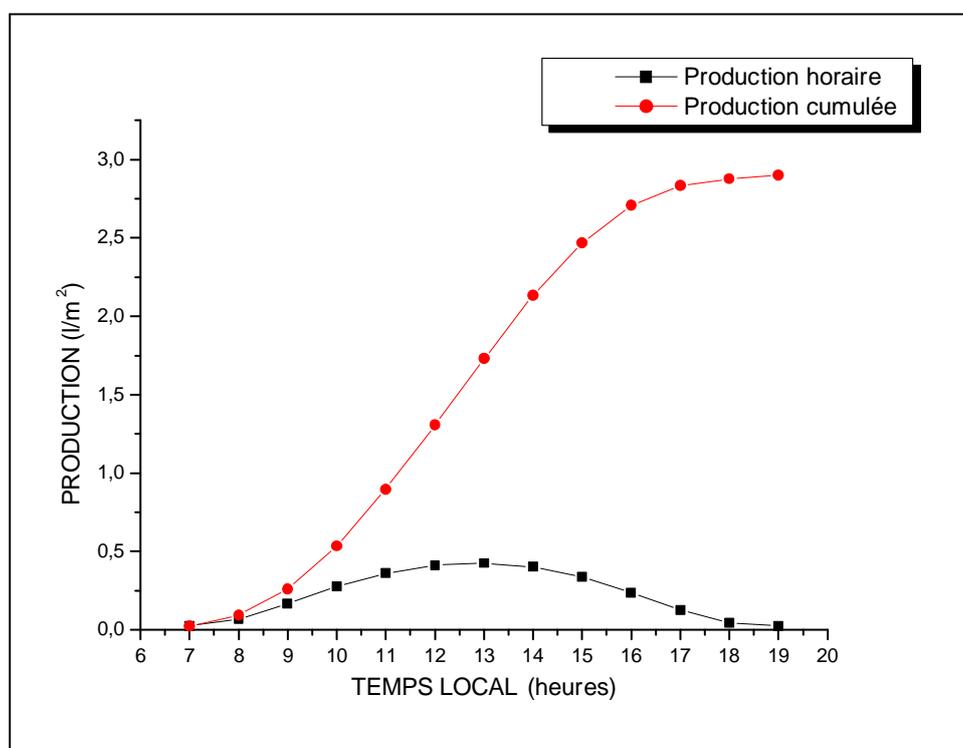


Figure IV.30: Quantité du distillat en fonction du temps pour un distillateur plan
(Théorique)

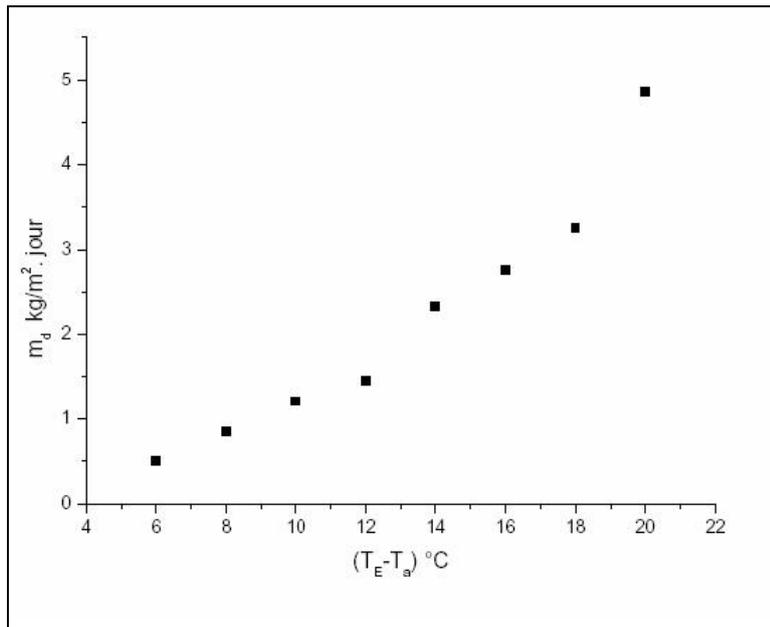


Figure IV.31 : Variation de la production en fonction de l'écart de température ($T_E - T_a$) pour un distillateur sphérique (Expérimental)

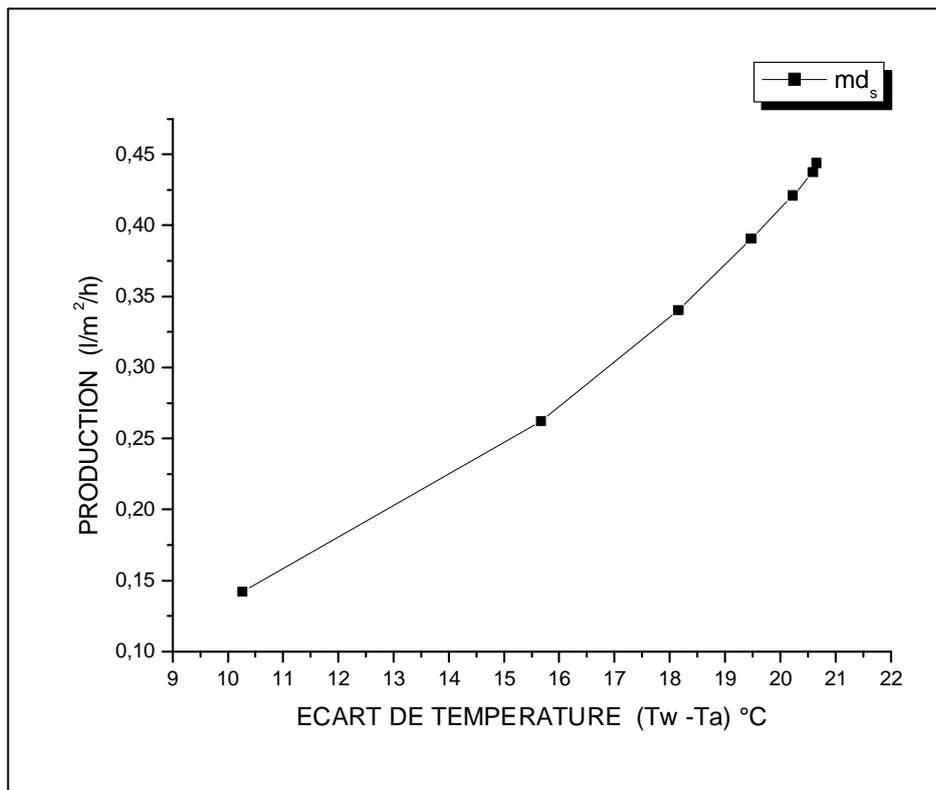


Figure IV.32 : Variation de la production en fonction de l'écart de température ambiance-eau pour un distillateur sphérique (Théorique)

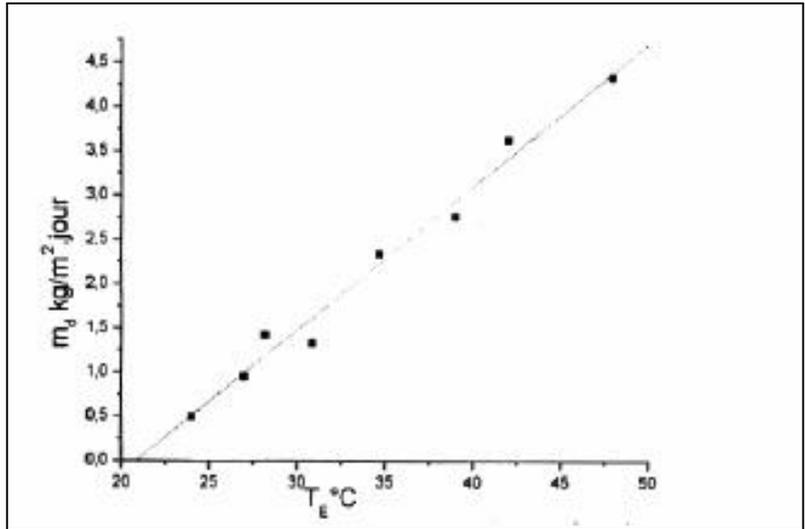


Figure IV.33 : Variation de la production en fonction de la température de l'eau pour un distillateur sphérique (Expérimental)

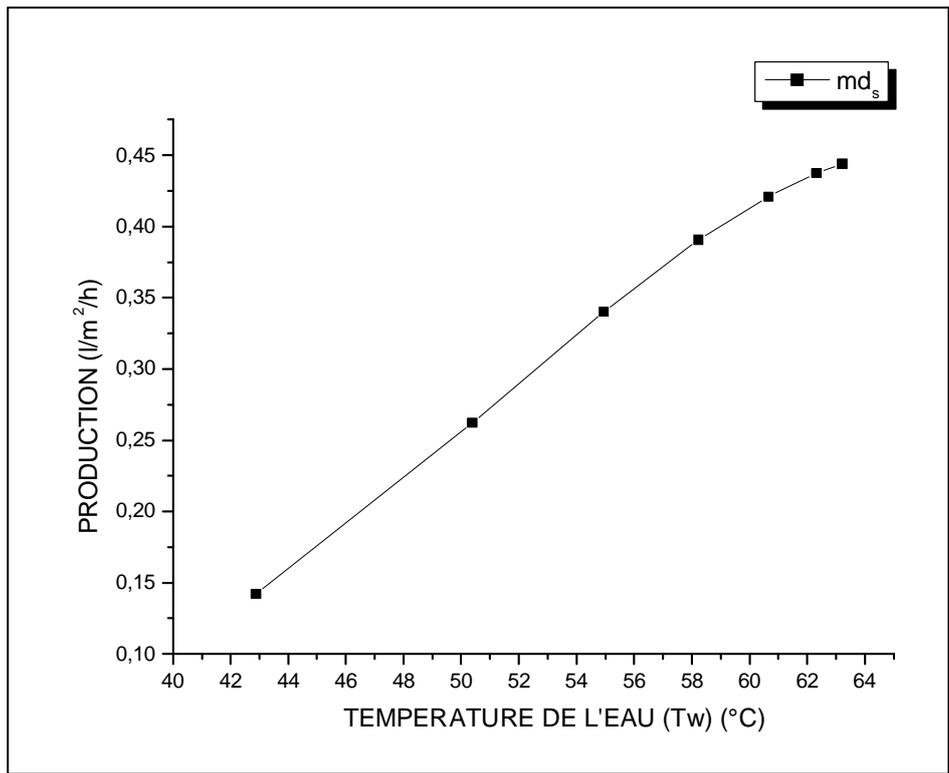


Figure IV.34 : Variation de la production en fonction de la température de l'eau pour un distillateur sphérique (Théorique)

À travers les résultats obtenus, on constate une forte concordance entre les résultats de la simulation numérique et ceux de l'expérience. Les écarts des températures sont dus probablement à la précision de la mesure d'une part et d'autre part aux hypothèses utilisées dans la simulation numérique.

Conclusions et recommandations

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'utilisation de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau est importante à deux points de vue : nécessité d'économiser l'énergie et souci de se procurer des nouvelles ressources hydriques.

Notre travail consiste à développer un système d'équations gouvernant le fonctionnement du système. Nous avons aussi élaboré un programme qui nous a permis de mettre en évidence les différents paramètres influant sur la production du distillat pour des périodes et des lieux différents et même pour des distillateurs différents.

Nous avons étudié l'évolution du débit de distillat en fonction du temps et en fonction de quelques paramètres internes et externes, et les résultats obtenus nous ont permis de faire une comparaison entre le rendement du distillateur solaire simple et à effet de serre et un distillateur sphérique et de définir le distillateur possédant le meilleur rendement.

En tenant compte des hypothèses considérées et des résultats issus du modèle proposé, on peut avoir les conclusions suivantes :

- L'augmentation de l'irradiation globale conduit à un accroissement dans les températures des différents composants du distillateur.
- Une température élevée de la saumure donne un meilleur rendement, donc une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevée.
- Un écart de température élevé est obtenu par une augmentation de la vitesse du vent, c'est-à-dire l'augmentation du coefficient d'échange par convection externe.
- L'augmentation de l'écart de température entre la saumure et l'ambiance provoque une meilleure efficacité ainsi qu'une meilleure production.
- L'utilisation d'un absorbeur possédant une conductivité et une chaleur spécifique élevée permet d'améliorer le rendement.
- Le meilleur isolant permettant de diminuer les pertes à travers la base est celui qui possède une conductivité et une chaleur spécifique très faibles.

Cette étude nous a permis d'aboutir à un certain nombre de recommandations, qui s'avèrent nécessaires pour développer l'utilisation des distillateurs solaires :

- Un préchauffage de la saumure avant son introduction au distillateur.
- Un renforcement adéquat de l'isolation thermique pour minimiser les pertes thermiques.
- Une étude future qui tient compte des caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'appoint (son degré de salinité, sa température, son PH ...etc) afin de pouvoir vérifier son influence sur le rendement du distillateur solaire, s'avère nécessaire.
- Enfin et parallèlement à cette étude de simulation et pour pouvoir concrétiser ces résultats, il est recommandé de valider ces résultats avec une étude expérimentale.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1]: **Fröhlich C, 1978:** World radiometric reference. World Meteorological Organization, Commission for instruments and methods of observation, report WMO 490, p 108-112.
- [2]:**Charles Chauliagnet:** L'énergie solaire dans le bâtiment, Editions Eyrolle 1981
P22, 32 et p147-148.
- [3] : **Jaques Bernard :** énergies solaire, Ellipses Edition 2004. p166.
- [4] : **Yves Jannot.** Thermique solaire. Paris (2007).
- [5] : **Pierre Henri Communay:** Héliothermiques; Le gisement solaire Méthodes et calculs.Grope de Recherche et d'Édition-2002.
- [6]: **R.Bernard, G.Merguy, M. Schwartz,** Le rayonnement solaire: conversion thermique et application. Technique et documentation, deuxième Edition-1980.
- [7]:**J.R.Vaillant,** utilisation et promesses de l'énergie solaire, Edition Eyrolle-1976.p31-32.
- [8]: **Michel Capderou, Atlas** Solaire de l'Algérie, office de publications universitaire, tome 3, volume 2,1986.
- [9] : **M.A.S. Malik, G.N. Tiwari, A. Kumar, M.S. Sodha,** Solar Distillation, A Practical Study of a Wide Range of Stills and Their Optimum Design, Construction and Performance, Pergamon Press Ltd, 1982, P11-86.
- [10] : **Perreau Benoit,** le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : les techniques d'hier et d'aujourd'hui, contexte économique et perspectives, février 1998.
- [11]: **M. Al-Shammiri, M. Safar:** Multi-effect distillation plants: state of the art; Desalination 126 (1999) 45–59.
- [12] : **Michel Daguenet:** les séchoirs solaires : théorie et pratique, Unisco, paris ; 1985.
- [13]: **Zekai Şen,** Solar Energy Fundamentals and Modelling Techniques, Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy, 2008 Springer-Verlag London Limited
- [14] : **Sadi Abdelkrim,** le dessalement solaire -considération techniques .
- [15]: **Raymond Desjardins,** Le traitement d'eaux, 2^{ème} édition de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 1990, P242, P6, P241, P248, P251.
- [16] : **Gille Morvan,** Potabilisation de l'eau et Désalinisation, les nouvelles d'Addis 2001.
- [17] : **Kerrouche, M.H.et Kerassi,** C.Etude comparative de deux distillateurs l'un type cascade et l'autre type chapelle, Institut mécanique. Université de Blida.chemss (2000).

- [18]: Satcunathna et Hansen.** An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. *Solar Energy*, Vol 14, pp 353-363(1973)
- [19]:** Conférence des Nation Unies sur les Sources Nouvelles d’Energie Californie(1979)
- [20]:M.Maalem,** Modélisation mathématique d’un distillateur solaire statique, à effet de serre et de géométrie régulière, Thèse de 3^{ème} cycle, U.S.T.H.B (1983)
- [21]: Zayouti, E. et Bouirden, L.**solar distillation : Amélioration of the condensation of the water, vapor in solar distillers, laboratoire de thermodynamique (Métallurgique et Rhéologie des Matériaux université Ibn Zohr, Bp28/S, Agadir, Maroc(2002)
- [22]: Khedim, A.** Mesure et caractérisation Thermodynamique d’un nouveau Systeme Solaire de Dessalement de l’eau de mer avec Récupération de chaleur.Rev. Energ.Rens.11^{ème} journées Internationales de thermique (2003).
- [23] : Messikh, L et Khelif, C.** Modélisation nocturne du comportement énergétique d’un distillateur thermo solaire à cascade.6^{ème} Séminaire Internationale sur la physique Energétique(2003).
- [24] : Harmim, A. et Amar, M.** Etude expérimentales d’un système de distillation thermo solaire muni d’une cuve de stockage. Station d’expérimentation des équipements Solaires en Milieu Saharien B.P478 Adrar Algérie (2003).
- [25] : Tchinda, R et Kaptouom, E.** Simulation numérique des performances d’un distillateur solaire fonctionnant en mode indirect.African Journal of Science and Technology(AJST) science and engineering series vol.5, pp.79-91. (2004).
- [26]: G.N.Tiwari,** Solar energy: Fundamentals, Design, Modelling and applications, Alfa Science International Ltd 2002, P79-80, P108-109, P 288-289.
- [27]: Cooper, P. I.,** Digital simulation of transient solar still process. *Solar Energy*, vol 12(3), P313-331(1969)
- [28]:P.I. Cooper and W.R.W. Read,** Design philosophy and generating experience for solar stills, Australia, *Solar energy*, vol 16, P1-8. (1989).
- [29]:L.Cherrared,** Amélioration du rendement d’un Distillateur solaire à effet de serre Rev .Energ.Ren (1999) p121-124.
- [30]: Kaabi Abdenacer, Smakdji Nafila:** Impact of temperature difference (water-solar collector) on solar-still global efficiency; *Desalination* 209 (2007) 309–316.
- [31]: Brian R.Hunt, Ronald L.Lipsman, Jonathan M. Rosenberg,** A guide to a matlab, for beginners and experienced users.
- [32]: Sergey E.Lyshevski,** Engineering and scientific computations using matlab.

[33]:N.Retiel, F.Abdessamed et M.Bettahar ; Etude expérimentale d'un distillateur plan ;
Laboratoire de Modélisation Numérique et Expérimentale. Université de Mostaganem 2008.

[34]:G.Menguy;Efficacité Interne d'un Distillateur Solaire Sphérique ; Laboratoire
d'Automatique et de Génie des Procédés, Université de Lyon .France ; Rev .Energ.Ren :
Journées de Thermique(2001)53-58.

Annexes

TECHNIQUE DE DESSALEMENT A MEMBRANE

PROCEDE A MEMBRANE

Procède à membranes :

Ce procédé s'appuie sur la propriété que possèdent certaines membranes semi-perméables pour séparer l'eau de ses sels dissouts ; ce sont des techniques simples utilisées à des températures ambiantes et consommant uniquement de l'énergie électrique ou mécanique [15].

Les principaux procédés à membranes utilisés dans le domaine du dessalement sont : L'électrodialyse et l'osmose inverse.

A.1. Electrodialyse à membrane sélective :

Ce procédé consiste à éliminer les sels dissout dans l'eau saumâtre .Ce procédé purement électrique repose sur des membranes sélectives imperméables soit aux anions soit aux cations.

Le sel est séparé de l'eau par le transfert d'ions suivant un principe des plus simples. Les sels dissouts sont ionisés, c'est-à-dire constitués par des atomes qui, au lieu d'être neutres, sont porteuses d'une charge positive ou négative. Par exemple, le sel de cuisine (Na Cl), lorsqu'il est dissout, donne dans l'eau des ions positifs de sodium (Na^+) et des ions négatifs de chlore (Cl^-). Lorsqu'on applique un courant continu à deux électrodes plongées dans une solution d'eau salée, le courant traverse le liquide. Les cations (ions positifs) sont attirés alors par la cathode (électrode négative) alors que les anions, de charge négative se déplacent vers l'anode (ou électrode positive). Tel est d'ailleurs le principe de l'électrodialyse [14].

L'électrodialyse est surtout utilisée pour traiter des eaux faiblement saumâtres (moins de 5g/l) destinées à des usages domestiques. La taille typique des unités d'électrodialyse est comprise entre 200 et 750 m³/j mais certaines installations peuvent traiter plus de 20000 m³/j. Les industries d'électrodialyse se concentrent en Russie, aux Etats-Unis et au Moyen Orient. Cette technique se caractérise par une grande consommation de l'énergie [10].

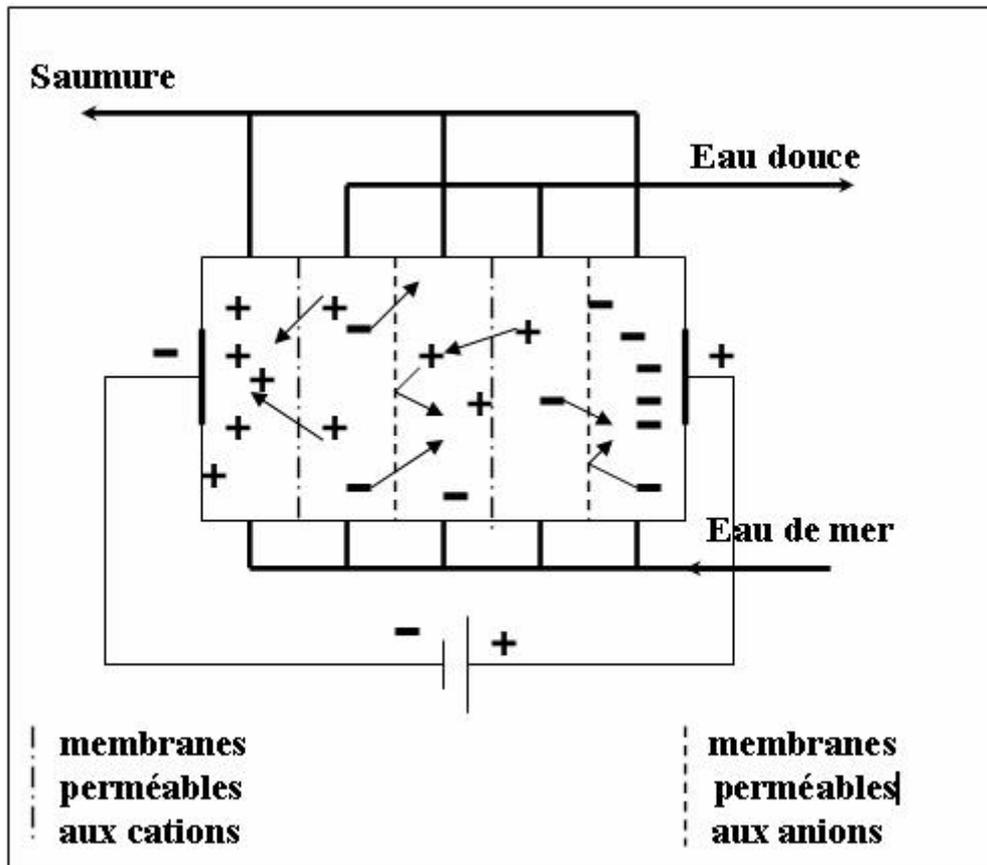


Figure A.1 : Schéma de principe d'une électrodialyse

A.2. Osmose inverse :

Quand une membrane semi-perméable (perméable aux solvants et imperméable aux solutés : pores de diamètre <0.5 nm) sépare une eau douce d'une eau saline, l'eau douce la traverse sous l'effet de ce que l'on appelle la pression osmotique pour équilibrer les concentrations : ce processus est l'osmose.

L'osmose inverse consiste à exercer une forte pression sur l'eau saline (supérieure à la pression osmotique) pour inverser ce mouvement et produire de l'eau douce.

La pression osmotique croissant avec la concentration (1 g/l de salinité \Rightarrow 0.7 bar), donc on travaille à des pressions de l'ordre de 80 bar pour l'eau de mer pour avoir un débit suffisant. [10].

Après l'osmose inverse, on obtient une eau très pure comme les eaux provenant des sources les plus naturelles.

Mais il nécessite un prétraitement poussé et coûteux afin d'éliminer le sable et les colloïdes en suspension dans l'eau susceptibles de "boucher" la membrane.

Ce procédé, peu gourmand en énergie, équipe aujourd'hui toutes les usines de traitement des eaux saumâtres.

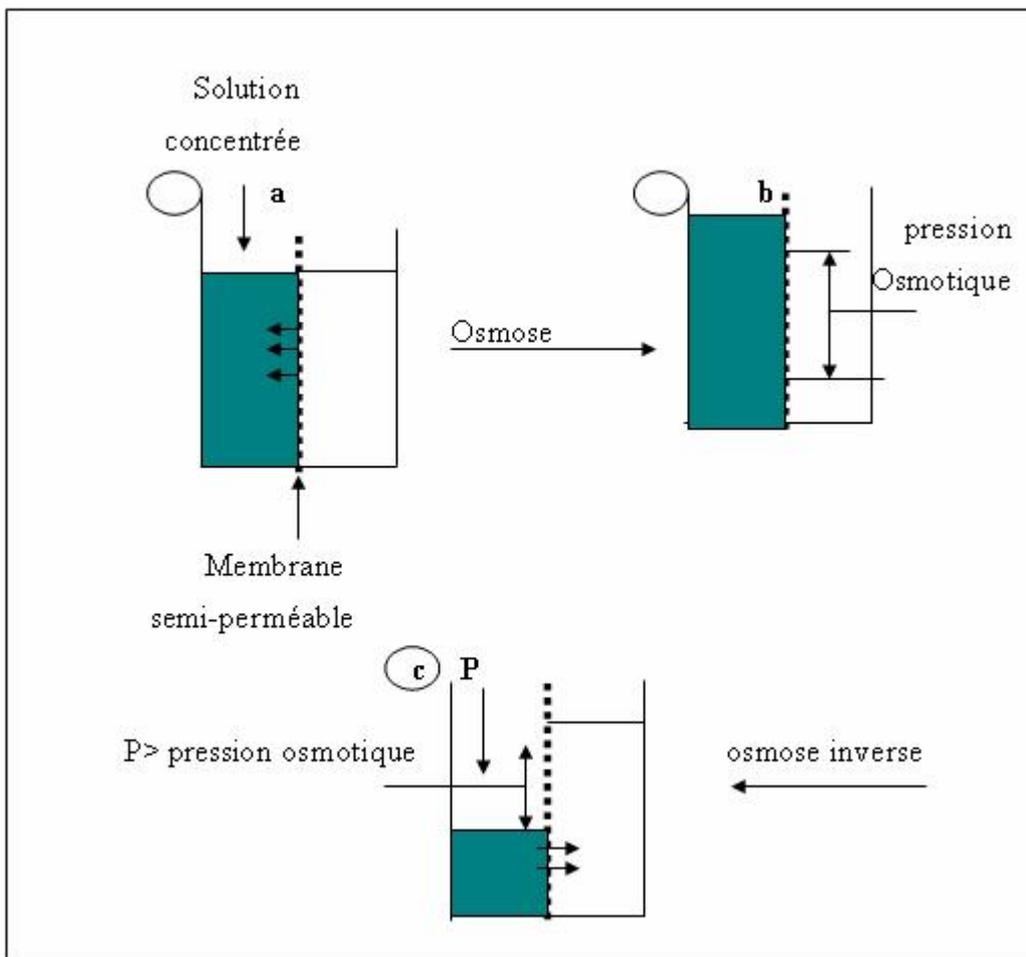


Figure A.2 : Schéma de principe de l'osmose inverse

NOMBRES ADIMENSIONNELLES

B.1. Nombre de Nusselt

La combinaison du coefficient d'échange de chaleur par convection, de la longueur caractéristique et de la conductivité thermique du fluide est appelée module ou nombre de Nusselt.

C'est le rapport du gradient de température dans le fluide en contact immédiat avec la surface au gradient de température de référence. Il caractérise l'intensité de l'échange de chaleur sur la limite fluide - surface.

$$Nu = \frac{\overline{h_c} \times L}{\lambda_f} \quad (\text{B.1})$$

$\overline{h_c}$: Coefficient de convection thermique [w/m².°C]

L : Longueur caractéristique [m]

λ_f : Coefficient de conductivité thermique du fluide [w/m.°C]

B.2. Nombre de Grashoff

Ce nombre caractérise la transmission de chaleur en convection naturelle, il exprime le rapport entre les forces de viscosité et les forces ascensionnelles créées dans le fluide par les différences de température qui y règnent.

$$Gr = \frac{\beta \times \rho^2 \times g \times L^3 \times \Delta T}{\mu^2} = \frac{\beta \times g \times L^3 \times \Delta T}{\nu^2} \quad (\text{B.2})$$

β : est le coefficient de dilatation thermique rapporté à la température moyenne du fluide ($\beta = \frac{1}{T}$ pour un fluide parfait) [1/°C]

g : L'accélération de la chute libre [m/s²]

L : Une dimension caractéristique (par exemple : la hauteur d'une plaque plane verticale) [m].

B.3. Nombre de Prandtl

Ce nombre représente le rapport de la viscosité cinématique à la diffusivité thermique ; il caractérise les propriétés physiques du fluide.

$$Pr = \frac{\mu \times C_p}{\lambda_f} = \frac{\nu}{a} \quad (B.3)$$

C_p : La chaleur spécifique à pression constante [j/kg.°C]

λ_f : La conductivité thermique du fluide [w/m.°C]

a : La diffusivité thermique [m²/s]

Plus la viscosité est grande plus l'énergie dépensée nécessaire pour véhiculer le fluide est élevée et plus la diffusivité est grande plus le fluide extrait facilement la chaleur de la paroi.

B.4. Nombre de Reynolds

Ce nombre est une mesure de la grandeur relative des forces d'inertie par rapport aux forces de viscosité dans l'écoulement.

$$Re = \frac{\rho \times v \times L}{\mu} = \frac{v \times L}{\nu} \quad (B.4)$$

v : est la vitesse caractéristique du fluide [m/s]

L : La dimension linéaire caractéristique du corps [m]

μ : La viscosité dynamique [kg/m.s]

ν : La viscosité cinématique [m²/s]

ρ : La densité du fluide [kg/m³]

B.5. Nombre de Peclet

Il exprime le rapport des flux thermiques par convection et par conduction dans un échange de chaleur convectif. Ce nombre intervient surtout dans les problèmes d'écoulements à faible nombre de Prandlt : c'est à dire pour les métaux liquides.

$$Pe = Pr \times Re = \frac{v \times L}{a} \quad (B.5)$$

B.6. Nombre de Stanton ou de Margoulis

Ce nombre est aussi un coefficient de transfert de chaleur sans dimension : il exprime le rapport entre le flux thermique total et par convection dans un échange de chaleur convectif.

$$St = \frac{Nu}{Re \times Pr} = \frac{q}{\rho \times Cp \times v \times L^2 \times \Delta T} \quad (B.6)$$

B.7. Nombre de Rayleigh

Il exprime la relation entre les nombres de Grashoff et de Prandlt. Ce nombre peut fournir un critère de passage de la convection naturelle laminaire à la convection naturelle turbulente.

$$Ra = Gr \times Pr \quad (B.7)$$

B.8. Nombre de Graetz

$$Gr = Re \times Pr (L/D) \quad (B.8)$$

L et D sont des dimensions caractéristiques du conduit.

CARACTERISTIQUES THERMOPHYSIQUES DE L'EAU ET DU MELANGE AIR-VAPEUR

C.1. Caractéristiques thermo physiques de l'eau

Dans ce paragraphe, nous avons exprimé les caractéristiques thermo physiques de l'eau en fonction de la température exprimé en °C.

B.1.1. Conductivité thermique λ [w/m °C]

$$\lambda = 0.5692 + 0.1858 \times 10^{-2} \times T_f \text{ ó } 0.7499 \times 10^{-5} \times T_f^2 \quad (\text{C.1})$$

C.1.2. Capacité calorifique C_p (j/kg °C)

$$C_p = 4216.664 \text{ ó } 3.165 \times T_f + 0.886 \times 10^{-1} \times T_f^2 - 0.101 \times 10^{-2} \times T_f^3 + 0.445 \times 10^{-5} \times T_f^4 \quad (\text{C.2})$$

C.1.3. Coefficient de dilatation volumique β [1/°K]

$$\beta = (-0.884 + 0.188 \times T_f \text{ ó } 0.26 \times 10^{-2} \times T_f^2 + 0.252 \times 10^{-4} \times T_f^3 \text{ ó } 0.975 \times 10^{-7} \times T_f^4) \times 10^{-4} \quad (\text{C.3})$$

C.1.4. Chaleur latente de vaporisation L_v [kj/kg]

Une valeur empirique donne avec une très bonne approximation la valeur de la chaleur latente de vaporisation pour $0^\circ\text{C} < T < 200^\circ\text{C}$:

$$L_v = 2500.8 \text{ ó } 2.48 \times T_f \quad (\text{C.4})$$

Formule que l'on peut arrondir avec une erreur négligeable de façon à la retenir plus facilement :

$$L_v = 2500 \text{ ó } 2.5 \times T_f \quad (\text{C.5})$$

On peut aussi utilisé la formule suivante :

$$L_v = 4185 \times [597 \text{ ó } 0,56 \times T_f] \quad (\text{C.6})$$

C.1.5. Viscosité dynamique μ [kg/m.s]

$$\mu = 5.449 \text{ ó } 0.1067 \times T_f + 7.325 \times 10^{-4} \times T_f^2. \quad (\text{C.7})$$

C.1.6. Viscosité cinématique ν [m^2/s]

$$\nu = \begin{cases} 3.65 \times T_f + 1.788 \times 10^{-6} & \text{pour } T_f \in [0, 20]^\circ\text{C} ; \\ 1.725 \times (T_f - 20) + 1.006 \times 10^{-6} & \text{pour } T_f \in [20, 40]^\circ\text{C} ; \\ 0.875 \times (T_f - 40) + 0.568 \times 10^{-6} & \text{pour } T_f \in [40, 60]^\circ\text{C} ; \\ 0.587 \times (T_f - 60) + 0.478 \times 10^{-6} & \text{pour } T_f \in [60, 80]^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (\text{C.8})$$

C.2. Mélange air-vapeur d'eau

C.2.1. Définition

Nous allons considérer le mélange air-vapeur d'eau à l'intérieur du distillateur, comme un mélange de gaz parfaits et nous utilisons donc la loi de Dalton qui nous dit que « la pression, l'énergie interne, l'enthalpie et l'entropie d'un mélange de gaz parfaits sont respectivement égales à la somme des pressions partielles, des énergies internes partielles, des enthalpies partielles et des entropies partielles qu'auraient les gaz constituants s'ils occupaient seuls le volume total à la température du mélange. » .

C.2.2. Pression partielle

La pression partielle de l'air humide est donnée par la loi de Dalton :

$$P = P_a + P_v \quad (\text{C.9})$$

P_a : pression partielle de l'air sec ;

P_v : pression partielle de la vapeur d'eau.

B.2.3. Humidité relative

Par définition, l'humidité relative de l'air humide est :

$$Hr = \frac{\rho_v}{\rho_{vs}} = \frac{m_v \times P_v}{m_{vs} \times P_{vs}} = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (m_v = m_{vs}) \quad (\text{C.10})$$

ρ_v : masse volumique de la vapeur ;

ρ_{vs} : masse volumique de la vapeur saturée ;

m_v : masse molaire de la vapeur ;

m_{vs} : masse molaire de la vapeur saturée.

C.2.4. Concentration de la vapeur d'eau dans l'air

On définit la concentration de la vapeur d'eau dans l'air (ou bien la fraction massique de l'air humide) par la relation suivante :

$$c_v = \frac{0.622 \times P_v}{P - 0.378} \quad (C.11)$$

P : pression atmosphérique.

C.3. Caractéristiques thermo physiques de l'air humide

C.3.1. Conductivité thermique λ_m [w/m.°C]

$$\lambda_m = \lambda_0 + 0.00476 \times (c_v / 1 - c_v) \quad (C.12)$$

où λ_0 est la conductivité de l'air à la température T, qui peut être approchée par un polynôme de degré trois :

$$\lambda_0 = 0.0243 + (9.7416 \times T + 0.1825 \times T^2 + 0.00227 \times T^3) \times 10^5 \quad (C.13)$$

Où T est exprimée en °C.

C.3.2. Viscosité dynamique μ_m [kg/m.s]

$$\mu_m = \frac{\mu_v \times g \times h}{\frac{P_v}{v} + \frac{P_a}{a}} \quad (C.14)$$

où pris égal à l'unité, g est l'accélération de la pesanteur.

μ_v et μ_a représentent respectivement la viscosité dynamique de la vapeur d'eau et de l'air sec avec :

$$\mu_v = 30.147 \times 10^{-7} \times \sqrt{\frac{T}{273}} \times \left(1 + \frac{673}{T}\right)^{-1} \quad [\text{kg/m.s}]$$

$$\mu_a = 25.393 \times 10^{-7} \times \sqrt{\frac{T}{273}} \times \left(1 + \frac{122}{T}\right)^{-1} \quad [\text{kg/m.s}]$$

P en atm et T en °k.

C.3.3. Viscosité cinématique ν_m [m²/s]

$$\nu_m = \frac{\mu_m}{\rho_m} \quad (C.15)$$

Où : ρ_m est la masse volumique du mélange air - vapeur ;

$$\rho_m = \frac{1}{R \times T} \times [(m_v - m_a) \times P_v + m_a \times P_a] = \frac{32.989}{T} \times \left(1 - \frac{0.378 \times c_v}{0.622 + 0.378 \times c_v}\right) \times P \quad (C.16)$$

Où : P et P_v sont exprimés en atm et T en °k.

C.3.4. Chaleur spécifique cp_m [j/kg.°C]

Considérons une masse m du mélange la température T . Pour élever sa température de dT en une seconde, il faudrait lui fournir une énergie ($m \times cp_m \times dT$) telle que :

$$m \times cp_m \times dT = m_v \times cp_v \times dT + m_a \times cp_a \times dT \quad (C.17)$$

cp_a et cp_v étant les chaleurs spécifiques de l'air et de la vapeur d'eau.

$$\text{Comme : } m = m_v + m_a \quad \text{et} \quad \frac{m_v}{m_a} = \frac{0.622 \times P_v}{P - 0.378 \times P_v}$$

L'expression de la chaleur massique du mélange s'écrit :

$$cp_m = cp_a + \frac{0.622 \times P_v}{P - 0.378 \times P_v} \times (cp_v - cp_a) \quad (C.18)$$

$$cp_v = 1862.3 \text{ j/kg.}^\circ\text{C}$$

$$cp_a = 1004.4 \text{ j/kg.}^\circ\text{C}$$

C.3.5. Coefficient de dilatation thermique β_m [K⁻¹]

Il est défini comme suit :

$$\beta_m(T) = -\frac{1}{\rho_m} \times \left(\frac{\partial \rho_m}{\partial T} \right)_{P, c_v} \quad (C.19)$$

En dérivant ρ_m par rapport à T , pression P et concentration c_v constantes, et en négligeant l'expression $\frac{1}{R \times T} (m_v - m_a) \times \left(\frac{\partial P_v}{\partial T} \right)_{P, c_v}$, le coefficient de dilatation s'exprime ainsi :

$$\beta_m(T) \approx \frac{1}{T} \quad (C.20)$$

C.3.6. Coefficient de dilatation massique β_m^*

Il est défini de la façon suivante :

$$\beta_m^*(T) = -\frac{1}{\rho_m} \times \left(\frac{\partial \rho_m}{\partial T} \right)_{P, T} \quad (C.21)$$

En tenant compte des relations (B.15) et (B.10), l'expression du coefficient de dilatation massique devient :

$$\beta_m^*(T) = 0.61 \times \left(1 - 0.378 \times \frac{P_v}{P} \right) \quad (C.22)$$

RESOLUTION DES SYSTEMES D'EQUATION LINEAIRES PAR LES METHODES ITERATIVES

D.1. Introduction

Les méthodes itératives sont généralement préférées pour les grands systèmes linéaire $A \times T = B$ à matrice A creuse parce qu'elles ne modifient pas la matrice A et que dans un grand nombre d'applications A est creuse et présente une structure particulière (tri diagonale, penta diagonale) ce qui lui permet de ne pas être mémorisées explicitement et d'assurer pratiquement la convergence.

Dans les méthodes élémentaires, la méthode de Gauss-Seidel est préférée, parce qu'elle consomme moins de mémoire et converge plus vite.

D.2. Méthode de Gauss Seidel

On veut résoudre le système linéaire :

$$A \times T = B \quad (D.1)$$

Où :

A : est une matrice carrée d'ordre n ;

B : est une matrice colonne ;

T : est le vecteur des inconnues ; $T = (T_1, T_2, \dots, T_n)$.

Ecrivons A sous la forme :

$$A = M \dot{E} N \quad (D.2)$$

Où :

$$M = D \acute{o} L \quad (D.3)$$

$$N = U \quad (D.4)$$

Avec:

D : matrice diagonale

L : matrice inférieure

U : matrice supérieure

Donc la matrice « A » s'écrit comme suit :

$$\mathbf{A} = (\mathbf{D} - \mathbf{L}) \mathbf{E} \mathbf{U} \quad (\text{D.5})$$

A partir d'un vecteur initial $T^{(0)}$ on peut écrire :

$$T^{(1)} = (\mathbf{D} - \mathbf{L})^{-1} \times \mathbf{U} \times T^{(0)} + (\mathbf{D} - \mathbf{L})^{-1} \times \mathbf{B} \quad (\text{D.6})$$

Comme l'inverse de $(\mathbf{D} - \mathbf{L})$ peut être compliqué à calculer, on préfère écrire le système comme suit :

$$(\mathbf{D} - \mathbf{L}) \times T^{(1)} = \mathbf{U} \times T^{(0)} + \mathbf{B} \quad (\text{D.7})$$

$$\mathbf{D} \times T^{(1)} = \mathbf{L} \times T^{(1)} + \mathbf{U} \times T^{(0)} + \mathbf{B} \quad (\text{D.8})$$

Où :

$$T^{(1)} = \mathbf{D}^{-1} \times \mathbf{L} \times T^{(1)} + \mathbf{D}^{-1} \times \mathbf{U} \times T^{(0)} + \mathbf{D}^{-1} \times \mathbf{B}$$

í .

$$T^{(k+1)} = \mathbf{D}^{-1} \times \mathbf{L} \times T^{(k+1)} + \mathbf{D}^{-1} \times \mathbf{U} \times T^{(k)} + \mathbf{D}^{-1} \times \mathbf{B}$$

En développant cette récurrence vectorielle on obtient:

$$T_1^{(k+1)} = (B_1 \text{ ó } A_{12} \times T_2^{(k)} \text{ ó } A_{13} \times T_3^{(k)} - \text{í í í í} - A_{1n} \times T_n^{(k)}) / A_{11}$$

$$T_2^{(k+1)} = (B_2 \text{ ó } A_{21} \times T_1^{(k+1)} \text{ ó } A_{23} \times T_3^{(k)} - \text{í í í í} - A_{2n} \times T_n^{(k)}) / A_{22}$$

í í

$$T_n^{(k+1)} = (B_n \text{ ó } A_{n1} \times T_1^{(k+1)} \text{ ó } A_{n2} \times T_2^{(k+1)} - \text{í í í í} - A_{nn-1} \times T_{n-1}^{(k)}) / A_{nn}$$

D.3. Condition de convergence

Le système de ces équations précédente converge si :

$$1) |T_j^{(k+1)} - T_j^{(k)}| < esp \quad (\text{D.9})$$

Ou bien :

$$2) \frac{|T_j^{(k+1)} - T_j^{(k)}|}{|T_j^{(k+1)}|} < \epsilon \quad (\text{D.10})$$

Ou bien :

$$3) \sqrt{\sum_{j=1}^n (T_j^{(k+1)} - T_j^{(k)})^2} < \epsilon \quad (\text{D.11})$$

DISCRETISATION DES EQUATIONS DE TRANSFERT THERMIQUE

D-1- Distillateur plan

Les équations de transfert thermique, en régime transitoire, sont discrétisées est ordonnées, par rapport aux températures comme suite:

1- Dans la couverture

- Face extérieure

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{(T_{ge}(j) - T_{ge}^*(j))}{\Delta t} + h_{g-a}^r \times (T_{ge}(j) - T_c) + h_{g-a}^c \times (T_{ge}(j) - T_a) = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi}(j) - T_{ge}(j))$$

- Face intérieure

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{(T_{gi}(j) - T_{gi}^*(j))}{\Delta t} + \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi}(j) - T_{ge}(j)) = h_2 \times (T_w(j) - T_{gi}(j)) + P_g$$

2- Dans la saumure

$$\frac{M_w \times cp_w}{A_w} \times \frac{(T_w(j) - T_w^*(j))}{\Delta t} + h_2 \times (T_w(j) - T_{gi}(j)) = P_w + h_{b-w}^c \times (T_b(j) - T_w(j))$$

3- Dans le bac absorbant

$$\frac{M_b \times cp_b}{A_b} \times \frac{(T_b(j) - T_b^*(j))}{\Delta t} + h_{b-w}^c \times (T_b(j) - T_w(j)) + h_{b-is}^{cd} \times (T_b(j) - T_{isi}(j)) = P_b$$

4- Dans l'isolant

- Face intérieure

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is}} \times \frac{(T_{isi}(j) - T_{isi}^*(j))}{\Delta t} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi}(j) - T_{ise}(j)) = h_{b-is}^{cd} \times (T_b(j) - T_{isi}(j))$$

- Face extérieure

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is}} \times \frac{(T_{ise}(j) - T_{ise}^*(j))}{\Delta t} + h_{ise-a}^c \times (T_{ise}(j) - T_a) + h_{ise-a}^r \times (T_{ise}(j) - T_s) = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi}(j) - T_{ise}(j))$$

Avec :

$$h_1 = h_{g-a}^c + h_{g-a}^r$$

$$h_2 = h_{w-g}^r + h_{w-g}^c + h_{w-g}^{ev}$$

$$h_3 = h_{ise-a}^r + h_{ise-a}^c$$

Dans ces équations, Δt désigne le pas de temps et l'astérisque (*), le temps $t-\Delta t$.

Après développement, on aura:

$$\begin{aligned}
 1) & \left(\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} + h_1 + \frac{\lambda_g}{e_g} \right) \times T_{ge}(j) - \frac{\lambda_g}{e_g} \times T_{gi}(j) = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} \times T_{ge}^*(j) + h_{g-a}^r \times T_c + h_{g-a}^c \times T_a \\
 2) & -\frac{\lambda_g}{e_g} \times T_{ge}(j) + \left(\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} + h_2 + \frac{\lambda_g}{e_g} \right) \times T_{gi}(j) - h_2 \times T_w(j) = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} \times T_{gi}^*(j) + P_g \\
 3) & -h_2 \times T_{gi}(j) + \left(\frac{M_w \times cp_w}{A_w \times \Delta t} + h_2 + h_{b-w}^c \right) \times T_w(j) - h_{b-w}^c \times T_b(j) = \frac{M_w \times cp_w}{A_w \times \Delta t} \times T_w^* + P_w \\
 4) & -h_{b-w}^c \times T_w(j) + \left(\frac{M_b \times cp_b}{A_b \times \Delta t} + h_{b-w}^c + h_{b-is}^{cd} \right) \times T_b(j) - h_{b-is}^{cd} \times T_{isi}(j) = \frac{M_b \times cp_b}{A_b \times \Delta t} \times T_b^*(j) + P_b \\
 5) & -h_{b-is}^{cd} \times T_b(j) + \left(\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} + h_{b-is}^{cd} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \right) \times T_{isi}(j) - \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times T_{ise}(j) = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} \times T_{isi}^*(j) \\
 6) & -\frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times T_{isi}(j) + \left(\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} + h_3 \right) \times T_{ise}(j) = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} \times T_{ise}^*(j) + h_{is-a}^c \times T_a + h_{is-a}^r \times T_s
 \end{aligned}$$

Ces équations forment un système des équations linéaire sous forme $A \times T = B$, on résout ce système par les méthodes itératives.

On forme la matrice A qui s'écrit comme suit:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & A_{25} & A_{26} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} & A_{35} & A_{36} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} & A_{45} & A_{46} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} & A_{56} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} & A_{65} & A_{66} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_{ge} \\ T_{gi} \\ T_w \\ T_b \\ T_{isi} \\ T_{ise} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{pmatrix}$$

Avec:

$$A_{11} = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} + h_1 + \frac{\lambda_g}{e_g}$$

$$A_{12} = -\frac{\lambda_g}{e_g}$$

$$A_{13} = 0$$

$$A_{14} = 0$$

$$A_{15} = 0$$

$$A_{16} = 0$$

$$A_{21} = -\frac{\lambda_g}{e_g}$$

$$A_{22} = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} + h_2 + \frac{\lambda_g}{e_g}$$

$$A_{23} = -h_2$$

$$A_{24} = 0$$

$$A_{25} = 0$$

$$A_{26} = 0$$

$$A_{31} = 0$$

$$A_{32} = -h_2$$

$$A_{33} = \frac{M_w \times cp_w}{A_w \times \Delta t} + h_2 + h_{b-w}^c$$

$$A_{34} = -h_{b-w}^c$$

$$A_{35} = 0$$

$$A_{36} = 0$$

$$A_{41} = 0$$

$$A_{42} = 0$$

$$A_{43} = -h_{b-w}^c$$

$$A_{44} = \frac{M_b \times cp_b}{A_b \times \Delta t} + h_{b-w}^c + h_{b-is}^{cd}$$

$$A_{45} = -h_{b-is}^{cd}$$

$$A_{46} = 0$$

$$A_{51} = 0$$

$$A_{52} = 0$$

$$A_{53} = 0$$

$$A_{54} = -h_{b-is}^{cd}$$

$$A_{55} = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} + h_{b-is}^{cd} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}}$$

$$A_{56} = -\frac{\lambda_{is}}{e_{is}}$$

$$A_{61} = 0$$

$$A_{62} = 0$$

$$A_{63} = 0$$

$$A_{64} = 0$$

$$A_{65} = -\frac{\lambda_{is}}{e_{is}}$$

$$A_{66} = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} + h_2 + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}}$$

$$B_1 = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} \times T_{ge}^*(j) + h_{g-a}^r \times T_c + h_{g-a}^c \times T_a$$

$$B_2 = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} \times T_{gi}^*(j) + P_g$$

$$B_3 = \frac{M_w \times cp_w}{A_w \times \Delta t} \times T_w^*(j) + P_w$$

$$B_4 = \frac{M_b \times cp_b}{A_b \times \Delta t} \times T_b^*(j) + P_b$$

$$B_5 = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} \times T_{isi}^*(j)$$

$$B_6 = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} \times T_{ise}^*(j) + h_{is-a}^c \times T_a + h_{is-a}^r \times T_s$$

D-2- Distillateur sphérique à balayage

1- Dans la couverture

- Face extérieure

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{(T_{ge}(j) - T_{ge}^*(j))}{\Delta t} + h_{g-a}^r \times (T_{ge}(j) - T_c) + h_{g-a}^c \times (T_{ge}(j) - T_a) = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi}(j) - T_{ge}(j))$$

- Face intérieure

$$\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} \times \frac{(T_{gi}(j) - T_{gi}^*(j))}{\Delta t} + \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi}(j) - T_{ge}(j)) = h_2 \times (T_w(j) - T_{gi}(j)) + P_g$$

2- Dans la saumure

$$\frac{M_w \times cp_w}{A_w} \times \frac{(T_w(j) - T_w^*(j))}{\Delta t} + h_2 \times (T_w(j) - T_{gi}(j)) = P_w + h_{b-w}^c \times (T_b(j) - T_w(j))$$

3- Dans le bac absorbant

$$\frac{M_b \times cp_b}{A_b} \times \frac{(T_b(j) - T_b^*(j))}{\Delta t} + h_{b-w}^c \times (T_b(j) - T_w(j)) + h_{b-is}^{cd} \times (T_b(j) - T_{isi}(j)) = P_b$$

4- Dans l'isolant

- Face intérieure

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is}} \times \frac{(T_{isi}(j) - T_{isi}^*(j))}{\Delta t} + \frac{\lambda_{isi}}{e_{isi}} \times (T_{isi}(j) - T_{ise}(j)) = h_{b-is}^{cd} \times (T_b(j) - T_{isi}(j))$$

- Face extérieure

$$\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is}} \times \frac{(T_{ise}(j) - T_{ise}^*(j))}{\Delta t} + h_3 \times (T_{ise}(j) - T_g(j)) = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi}(j) - T_{ise}(j))$$

5- vitre inférieure

$$\frac{M_g \times cp_g}{A_g} \times \frac{(T_{ge}(j) - T_{ge}^*(j))}{\Delta t} + h_{g-a}^r \times (T_{ge}(j) - T_s) + h_{g-a}^c \times (T_{ge}(j) - T_a) = h_3 \times (T_{ise}(j) - T_g(j))$$

Avec :

$$h_1 = h_{g-a}^c + h_{g-a}^r$$

$$h_2 = h_{w-g}^c + h_{w-g}^r + h_{w-g}^{ev}$$

$$h_3 = h_{ise-g}^c + h_{ise-g}^r$$

$$h_4 = h_{g-a}^c + h_{g-a}^r$$

Après développement, on aura :

$$1) \left(\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g} + h_1 + \frac{\lambda_g}{e_g} \right) \times T_{ge}(j) - \frac{\lambda_g}{e_g} \times T_{gi}(j) = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} \times T_{ge}^*(j) + h_{g-a}^r \times T_c + h_{g-a}^c \times T_a$$

$$2) - \frac{\lambda_g}{e_g} \times T_{ge}(j) + \left(\frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} + h_2 + \frac{\lambda_g}{e_g} \right) \times T_{gi}(j) - h_2 \times T_w(j) = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} \times T_{gi}^*(j) + P_g$$

$$3) - h_2 \times T_{gi}(j) + \left(\frac{M_w \times cp_w}{A_w \times \Delta t} + h_2 + h_{b-w}^c \right) \times T_w(j) - h_{b-w}^c \times T_b(j) = \frac{M_w \times cp_w}{A_w \times \Delta t} \times T_w^* + P_w$$

$$4) - h_{b-w}^c \times T_w(j) + \left(\frac{M_b \times cp_b}{A_b \times \Delta t} + h_{b-w}^c + h_{b-is}^{cd} \right) \times T_b(j) - h_{b-is}^{cd} \times T_{isi}(j) = \frac{M_b \times cp_b}{A_b \times \Delta t} \times T_b^*(j) + P_b$$

$$5) - h_{b-is}^{cd} \times T_b(j) + \left(\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} + h_{b-is}^{cd} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \right) \times T_{isi}(j) - \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times T_{ise}(j) = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} \times T_{isi}^*(j)$$

$$6) -\frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times T_{ise}(j) + \left(\frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} + h_3 + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \right) \times T_{ise}(j) - h_3 \times T_g(j) = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} \times T_{ise}^*(j)$$

$$7) -h_3 \times T_{ise}(j) + \left(\frac{M_g \times cp_{ig}}{A_g \times \Delta t} + h_3 + h_4 \right) \times T_g(j) = \frac{M_g \times cp_g}{A_g \times \Delta t} \times T_g^*(j) + h_{g-a}^c \times T_a + h_{g-a}^r \times T_s$$

Ces équations forment un système linéaire sous forme $A(7,7) \times T(7) = B(7)$.

On forme la matrice qui s'écrit comme suit :

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} & A_{17} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & A_{25} & A_{26} & A_{27} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} & A_{35} & A_{36} & A_{37} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} & A_{45} & A_{46} & A_{47} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} & A_{56} & A_{57} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} & A_{65} & A_{66} & A_{67} \\ A_{71} & A_{72} & A_{73} & A_{74} & A_{75} & A_{76} & A_{77} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_{ge} \\ T_{gi} \\ T_w \\ T_b \\ T_{isi} \\ T_{ise} \\ T_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \\ B_7 \end{pmatrix}$$

Avec:

$$A_{11} = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} + h_1 + \frac{\lambda_g}{e_g}$$

$$A_{12} = -\frac{\lambda_g}{e_g}$$

$$A_{13} = 0$$

$$A_{14} = 0$$

$$A_{15} = 0$$

$$A_{16} = 0$$

$$A_{17} = 0$$

$$A_{21} = -\frac{\lambda_g}{e_g}$$

$$A_{22} = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} + h_2 + \frac{\lambda_g}{e_g}$$

$$A_{23} = -h_2$$

$$A_{24} = 0$$

$$A_{25} = 0$$

$$A_{26} = 0$$

$$A_{27} = 0$$

$$A_{31} = 0$$

$$A_{32} = -h_2$$

$$A_{33} = \frac{M_w \times cp_w}{A_w \times \Delta t} + h_2 + h_{b-w}^c$$

$$A_{34} = -h_{b-w}^c$$

$$A_{35} = 0$$

$$A_{36} = 0$$

$$A_{37} = 0$$

$$A_{41} = 0$$

$$A_{42} = 0$$

$$A_{43} = -h_{b-w}^c$$

$$A_{44} = \frac{M_b \times cp_b}{A_b \times \Delta t} + h_{b-w}^c + h_{b-is}^{cd}$$

$$A_{45} = -h_{b-is}^{cd}$$

$$A_{46} = 0$$

$$A_{47} = 0$$

$$A_{51} = 0$$

$$A_{52} = 0$$

$$A_{53} = 0$$

$$A_{54} = -h_{b-is}^{cd}$$

$$A_{55} = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} + h_{b-is}^{cd} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}}$$

$$A_{56} = -\frac{\lambda_{is}}{e_{is}}$$

$$A_{57} = 0$$

$$A_{61} = 0$$

$$A_{62} = 0$$

$$A_{63} = 0$$

$$A_{64} = 0$$

$$A_{65} = -\frac{\lambda_{is}}{e_{is}}$$

$$A_{66} = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} + h_3 + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}}$$

$$A_{67} = -h_3$$

$$A_{71} = 0$$

$$A_{72} = 0$$

$$A_{73} = 0$$

$$A_{74} = 0$$

$$A_{75} = 0$$

$$A_{76} = -h_3$$

$$A_{77} = \frac{M_g \times cp_g}{A_g \times \Delta t} + h_3 + h_4$$

$$B_1 = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} \times T_{ge}^*(j) + h_{g-a}^r \times T_c + h_{g-a}^c \times T_a$$

$$B_2 = \frac{M_g \times cp_g}{2 \times A_g \times \Delta t} \times T_{gi}^*(j) + P_g$$

$$B_3 = \frac{M_w \times cp_w}{A_w \times \Delta t} \times T_w^*(j) + P_w$$

$$B_4 = \frac{M_b \times cp_b}{A_b \times \Delta t} \times T_b^*(j) + P_b$$

$$B_5 = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} \times T_{isi}^*(j)$$

$$B_6 = \frac{M_{is} \times cp_{is}}{2 \times A_{is} \times \Delta t} \times T_{ise}^*(j)$$

$$B_7 = \frac{M_g \times cp_g}{A_g \times \Delta t} \times T_g^*(j) + h_{g-a}^c \times T_a + h_{g-a}^r \times T_s$$

Résumés

ملخص

إن تموين البشرية بالماء الصالح للشرب يعد مشكل أساسيا و هو في تزايد مستمر و إذا كانت الحاجة إلى المياه العذبة الصالحة للشرب قليلة (أي لبعض المترات المكعبة في اليوم) فعملية التقطير الشمسي المباشر تعد حلا بديلا مهما و خصوصا في غياب اليد العاملة , كما أن هذه العملية تتوافق في المناطق البعيدة و المعزولة إن المردود و الفعالية الإجمالية للمقطر الشمسي يتأثران بالعوامل الفيزيائية و خصائص مركبات المقطر الشمسي، خاصة تأثير فارق درجة الحرارة بين سطح التبخر و المحيط الخارجي الهدف من عملنا هو دراسة تأثير بعض العوامل الداخلية و الخارجية على المنتج بغرض تحسينه , كذلك مقارنة منتج المياه العذبة بين مقطر شمسي بسيط و مقطر شمسي كروي النتائج المحصل عليها أثبتت أن بعض الخصائص تؤثر على الإنتاج لأنها متعلقة بدرجة حرارة الماء المالح التي تؤثر مباشرة على المردود. كذلك الدراسة تبرز لنا انه لنفس مدة التشغيل أن المقطر الشمسي الكروي له إنتاج أحسن أي مردود أحسن مقارنة بالمقطر الشمسي العادي (البسيط) يبقى في المستقبل دراسة تغير الخصائص الفيزيوجرارية مع الأخذ بعين الاعتبار بأنها تتغير بتغير درجة الحرارة و تركيز الملح في الماء. و إثبات مصداقية النموذج المقترح عن طريق النتائج التجريبية.

كلمات المفتاح
تقطير شمسي, مقطر شمسي بسيط, مقطر شمسي كروي, فارق درجة الحرارة, المردود

Résumé :

L'approvisionnement de l'humanité en eau douce est un problème qui revêt une importance de plus en plus accrue. Si les besoins en eau douce sont faibles (quelques m³ par jour), la distillation solaire directe apparaît comme une solution intéressante en particulier lorsqu'une main d'œuvre local n'est pas disponible. De plus, elle s'adapte à des régions éloignées ou isolées.

Le rendement et l'efficacité d'un distillateur solaire à effet de serre, sont influencés par des paramètres physiques et de construction, en particulier par l'écart de température entre la surface d'évaporation (l'eau saumâtre) et la température ambiante.

L'optimisation de cet écart nous permet d'obtenir un distillateur de meilleur rendement.

Notre travail a pour but l'étude de la production d'eau douce et l'efficacité en fonction de l'écart de température entre la surface de vaporisation et la température ambiante à travers une comparaison de la performance d'un distillateur simple et à effet de serre avec celle d'un distillateur sphérique à effet de serre.

Les résultats issus de ce travail montrent que pour le même intervalle de fonctionnement le distillateur sphérique a une meilleure production donc un meilleur rendement que le distillateur simple à effet de serre.

Mots clés : distillation solaire, distillateur simple, distillateur sphérique, effet de serre/écart de température et rendement.

Abstract:

The supply of mankind in fresh water is a problem of a great importance. If the need for fresh water is low (about m³ per day), direct solar distillation appears as an attractive solution, especially when local labour is not available. In addition, it suits with remote or isolated areas.

The performance and efficiency of a solar still with greenhouse effect are affected by physical and construction parameters, especially by the temperature difference between surface evaporation (brackish water) and the ambient temperature. The optimization of the gap allows us to obtain a distiller with better performance.

The aim of our work has is to study fresh water production and efficiency according to the temperature difference between surface evaporation, through a comparison of the performance of a single-effect distiller with a greenhouse effect with that of a spherical distiller with a greenhouse effect as well.

The results issued from this work show that for the same range of operating process, spherical distillers have better production so a better performance than the distiller with simple greenhouse effect.

Key words: Solar distillation, single distiller, spherical distiller s, greenhouse effect, temperature difference and performance.

