

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE

Thème

ETUDE THEORIQUE ET EXPERIMENTAL D'UN DISTILLAIEUR
SOLAIRE HOT BOX

Soutenu le : 24 / 05 / 2017

Présenté par :

KERROUMI RACHIDA

MEKKIDI NORA

Encadré par : Mr. MOUNGAR HOUCINE

URER.MS.Adrar

Co-encadreur : Mr. HAIDA ABDELKARIM

URER.MS.Adrar

Président : Mr. OMARI BOUMADIANE

Université d'Adrar

Examineurs : Mr. MEDIANI AHMED

URER.MS.Adrar

2016-2017



REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier notre ***dieu*** qui nous a donné la chance, la volonté et surtout le courage de satisfaire notre souhait et de mener ce travail à terme.

Nous tenons à exprimer nos remerciements à nos encadreurs Dr **Houssine Moungar** pour leur conseils et leur orientations et qu'il n'est jamais cessé de donner pour réaliser ce travail

Nous Tenons à exprimer tout nos remerciements à :

- *l'équipe* de unité recherche énergie solaire en milieu saharien
- *l'équipe* de physique de l'université d'Adrar

Nous remercions également les membres du jury qui nous ont fait honneur d'accepter de jury notre travail

Cette liste sera incomplète si on ne mentionne pas nos professeurs durant les années d'étude . A la fin nous remercions toutes les personnes qui ont contribués que se soit de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



SOMMAIRE



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

**Mes parents*

**Mes frère et sœurs*

**Mes amies*

**Mes professeures*

**Mes collègues*

*À tous ma famille, que ce soit à l'intérieure ou
l'extérieure*

De la wilaya d'Adrar

Rachida et Nora

Nomenclature

E	Epaisseur	m
T	Température	°C
ΔT	Différents de température	°C
Q	Flux de chaleur	W
q_{ev}	Flux évaporation	W/m ²
Q_{eau}	Flux absorbé par l'eau distillée	W/m ²
L_v	Chaleur latent d'évaporation	1/Kg
P	Pressions de saturation	mm Hg
m_{ev}	Débit d'évaporation	Kg/s. m ²
m_d	Débit du distillat	Kg/s
W	vitesse du vent	m/s
L	Longueur	M
H	Coefficient de transfert de chaleur	w/(m ² . K°)
H	Puissance solaire reçue par le condenseur	M
C_p	Chaleur spécifique	J/Kg.K°)
TC	Heure du lever du soleil	
TU	Temps Universel	
TSM	Temps solaire moyen	H
TSV	Temps solaire vrai	H
T	Temps	s

α_s	Hauteur solaire	Degré
Δt	Correction de l'équation du temps	
E	Equation de correction du temps	mn
N	Numéro du jour par rapport à l'année	
A	Coefficient d'absorption	
T	Coefficient de transmission	
E	Emissivité	
A	Longitude du lieu	

Indices Designation

B	Absorbeur
C	Ciel
V	Vitre
C	Convection
Ev	Evaporation
R	Rayonnement
A	Ambient
W	Eau
Is	Insolent
F	Fond du distillateur ou fluide
Eff	Effective
Wv	Eau – Vitre
Va	Vitre-ambiance

Bw	absorbeur-eau
Isb	Insolent- absorbeur
Isa	Insolent-ambiance
Sol	Sol
Bi	Absorbeur – interieure
Be	Absorbeur – exterieure

Nombres adimensionnels

P_r	Number de PRANDLT
R_a	Number de RAYLEIGH
N_u	Number de NUSSELT

Nomenclature

Introduction général.....	1
----------------------------------	----------

Chapitre I : Le gisement solaire

I-1Introduction	2
I.1. Le soleil	2
I.1.1-Présentation générale	2
I.1.2-La constant solaire	3
I-2- Origine de l'énergie solaire	4
I.3-Géométrie solaire	4
I.3.1-Le système terre-soleil	4
I.3.2-Le mouvement de la terre et le mouvement du soleil	5
I.3-Composantes du rayonnement solaire	6
I.3.1-Le rayonnement direct	7
I.3.2-Le rayonnement diffuse	8
I.3.3- Le rayonnement solaire global	8
I.3.4- Le rayonnement réfléchi	9
I.4-la trajectoire apparente du soleil	9
a-Coordonnées équatoriales	9
b)-Coordonnées horizontales	11
I.6.Le temps solaire	12
I-7. Le temps solaire vrai	12
I.8-La durée de l'ensoleillement	13

Chapitre II : étude théorique du distillateur solaire

II.1.Introduction	18
II.2.Le problème de l'eau	18
II.2.1 -Le dessalement de l'eau de saumâtre	18
II.2.2.L'eau saumâtre	18
II.2.3. Les technologies de dessalement des eaux	18
II.3. Le distillateur	19
II.3.1. Principe de la distillation solaire	19
II.4.Les types de distillateur solaire	20
II.5. Distillateur à double inclinaisons (hot box)	22
II.5.1- Introduction	22
II.5.2. Caractéristique de distillateur hot box	23
II.5.3. Description du système	23
II.6.Etude théorique	
II.6.1.Bilan thermique de la vitre V	25
II.6.2.Bilan thermique de La masse d'eau	26
II.6.3.Bilan thermique de l'absorbeur	26
II.6.4.Bilan thermique de L'isolant	26
II.7- Organigramme de calcul	33
III. Etude expérimental	34

III.1. Les étapes rénovation de hot-box	35
III.2. L'emplacement des thermocouples	38

Chapitre III :

III.1. Résultats théoriques	39
III.2. Résultats expérimentaux	41
III.3. Comparaisons	49
Conclusion générale	51
Références bibliographiques	52

Introduction générale

The image features the text 'Introduction générale' in a bold, sans-serif font. Each letter is filled with a different color from a rainbow spectrum, starting with purple on the left and transitioning through red, orange, yellow, green, and blue to purple on the right. The text is presented in a 3D perspective, with a grey shadow cast beneath it onto the white background.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est source de vie, c'est un élément indispensable à la survie des êtres vivants. Malheureusement certaines régions de notre planète sont menacées par de graves pénuries d'eau. Il touche également une grande partie du monde industrialisé, où les exigences de confort plus élevées et les importantes quantités d'eau consommées par les industries à grande échelle appauvrissent les réserves aquatiques naturelles. Cette pénurie est aggravée par la pollution due aux déchets toxiques et à l'utilisation abusive de fumier et de fertilisants. On considère de dessalement des eaux salées apparaît comme l'une des solutions possibles à la survie de l'humanité, donc la technique de distillation solaire peut être une solution très intéressante surtout pour les zones arides et désertiques.

Dans l'objectif de contribuer au développement de cette technique, notre travail porte sur l'étude théorique et expérimental d'un distillateur hot box.

Nous avons établi les équations régissant leur fonctionnement en régime stationnaire et la résolution du système a été abordée par une approche numérique basée sur la méthode de Gauss-Seidel .

Le travail présenté dans ce mémoire se classe en deux parties détaillées avec une conclusion générale, référence bibliographique ce mémoire:

Le premier chapitre, qui est consacré aux caractéristiques générales du rayonnement solaire.

Le deuxième chapitre, est consacré à l'étude théorique et expérimentale.

Le troisième chapitre contient les résultats théoriques et expérimentaux.

Les résultats obtenus nous permettront de choisir la meilleure configuration.

En fin nous terminons notre travail par une conclusion permettant de donner les futures perspectives proposées.

Chapitre I

Le gisement solaire

I. Introduction :

Le gisement solaire est un ensemble de données l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les application énergétiques et la distillation d'eau.[1]

I.1-Le soleil :

Le soleil est une étoile autour de laquelle gravite la terre. Son énergie provient des réactions thermonucléaires de fusion de l'hydrogène en hélium. Sa température superficielle moyenne est estimée à 5800K. La surface lumineuse habituellement visible, ou photosphère, est d'environ 100 km d'épaisseur. La chromosphère est la couche inférieure de l'atmosphère solaire, entre la photosphère et la couronne. Les taches solaires sont des taches sombres sur la surface de la photosphère qui correspondent à des zones plus froides, elles ont une très grande diversité de forme et d'étendue. Les observateurs comme Galilée, ont vu que les taches se déplaçaient au fil du temps, toujours dans le même sens, ainsi montrant la rotation du soleil. Le globe solaire limité par la photosphère à un rayon égal à 696000km, soit environ 109 fois le rayon équatorial de la terre. Sa densité moyenne n'est que de 1,41 de sorte que sa masse est seulement 333.000 fois celle de la terre, pour un volume 1300000 fois plus important. La distance moyenne de la terre au soleil est voisine de 150 millions de km. Le rayonnement solaire met environ 8 minutes pour nous parvenir.[2]

I.1.1-Présentation générale :

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus. Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99.9% de lamasse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil [3], [5].

Les caractéristiques principales du solaire sont regroupées dans le tableau I.1 :

Tableau N°1. Caractéristiques principales du soleil

Diamètre(Km)	1392000
Masse(Kg)	2.10^{30}
Surface(Km ²)	$6.09. 10^{12}$
Volume(Km ³)	$1.41. 10^{18}$
Masse volumique moyenne(Kg/m ³)	1408
Vitesse(Km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée(Km)	$2.5. 10^{17}$

I.1.2 La constante solaire :

C'est la densité de l'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est approximativement égale à 1367 (cependant elle varie de $\pm 3\%$ dans l'année à cause des légères variations de la distance terre-soleil) . On peut calculer la valeur du flux du rayonnement solaire I reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires par la relation :[7]

$$I = I_0 \cdot \exp\left[1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360j}{365}\right] \quad (\text{w/m}^2) \quad (1)$$

Où

J : est le numéro du jour de l'année.

I_0 : la constante solaire

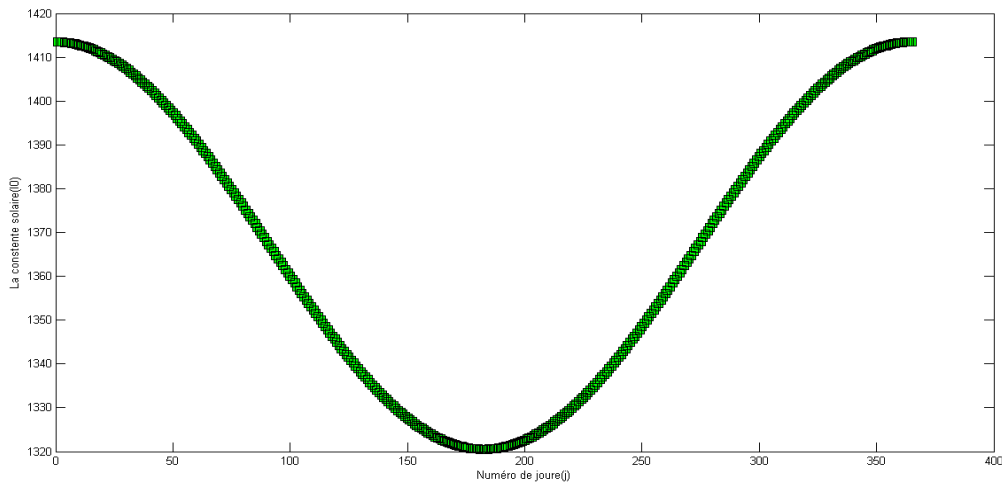


Figure 1.1 :variation de la constante solaire en fonction de jour

I-2- Origine de l'énergie solaire :

Le soleil tire son énergie des réactions thermonucléaires se produisant en permanence dans son noyau, dont la température atteint 15 millions de degrés. Compte tenu des températures et des pressions énormes qui y règnent, toute la matière se trouve à l'état gazeux ou sous forme de plasma. La couche externe du soleil, le photosphère, celle qui est visible de la terre, a une température considérablement plus faible qui décroît vers l'extérieur, jusqu'à environ 5 800°K. Les réactions thermonucléaires qui se produisent dans le noyau du soleil transforment chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium selon l'équation suivante.



L'hydrogène qui représente 71 % de la masse dans la photosphère n'est plus présent qu'à 34 % dans la partie centrale du soleil, du fait de cette transformation permanente engagée Il y a 4,5 milliards d'années. Et les 4 millions de tonnes manquantes volatilisées désintégrées dans de gigantesques explosions nucléaires, Le processus mis en jeu est bien compris depuis la célèbre relation d'Albert Einstein ($E = mc^2$) qui montre que toute disparition de masse (m) entraîne une production d'énergie égale au produit de cette masse par le carré de la vitesse de la lumière.

I.3-Géométrie solaire :

I.3.1-Le système terre-soleil :

Le Système solaire est un système planétaire composé d'une étoile, le Soleil, et des corps célestes ou objets définis gravitant autour de lui. La Terre est la troisième planète du Système solaire par ordre de distance croissante au Soleil, et la quatrième par taille et par masse croissantes.

La Terre orbite autour du Soleil à une distance moyenne d'environ 150 millions de kilomètres suivant une période de 365,2564 jours solaires ou une année sidérale. De la Terre, cela donne un mouvement apparent du Soleil vers l'est par rapport aux étoiles à un rythme d'environ 1° /jour ou un diamètre solaire toutes les 12 heures. Du fait de ce mouvement, il faut en moyenne 24 heures, un jour solaire, à la Terre pour réaliser une rotation complète autour de son axe et que le Soleil revienne au plan méridien. La vitesse orbitale de la Terre est d'environ 29,8 km/s (107 000 km/h).

Du fait de l'inclinaison axiale de la Terre, la quantité de rayonnement solaire atteignant tout point de la surface varie au cours de l'année. Cela a pour conséquence des changements saisonniers dans le climat avec un été dans l'hémisphère nord lorsque le pôle nord pointe vers le Soleil et l'hiver lorsque le pôle pointe dans l'autre direction. Durant l'été, les jours durent plus longtemps et le Soleil monte plus haut dans le ciel. En hiver, le climat devient généralement plus froid et les jours raccourcissent. Au-delà du cercle Arctique, il n'y a aucun jour durant une partie de l'année, ce qui est appelé une nuit polaire. Dans l'hémisphère sud, la situation est exactement l'inverse. Par convention astronomique, les quatre saisons sont déterminées par les solstices, le point de l'orbite où l'inclinaison vers ou dans la direction opposée du Soleil est maximale et les équinoxes lorsque la direction de l'inclinaison de l'axe et la direction au Soleil sont perpendiculaires. Dans l'hémisphère nord, le solstice d'hiver a lieu le 21 décembre, le solstice d'été est proche du 21 juin, l'équinoxe de printemps a lieu autour du 20 mars et l'équinoxe d'automne vers le 21 septembre. Dans l'hémisphère sud, la situation est inversée et les dates des solstices d'hiver et d'été et celles des équinoxes de printemps et d'automne sont inversées. [5]

I.3.2-Le mouvement de la terre et le mouvement du soleil :

Le mouvement du soleil vu par un observateur situé sur la surface de la terre s'apparente à une trajectoire relativement demi-circulaire qui dépend de la latitude et la longitude du lieu où il se trouve. La position du soleil à un instant considéré est donnée par l'azimut du soleil et son élévation(h), angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan de l'horizon. L'azimut est l'angle entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le Soleil, compté négativement vers l'est.

Latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0 à 90° dans l'hémisphère nord) [4].

Quant à la longitude, c'est également un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich (arc de cercle passant par les 2 pôles et la ville de Greenwich en Angleterre) en se déplaçant vers l'Est.

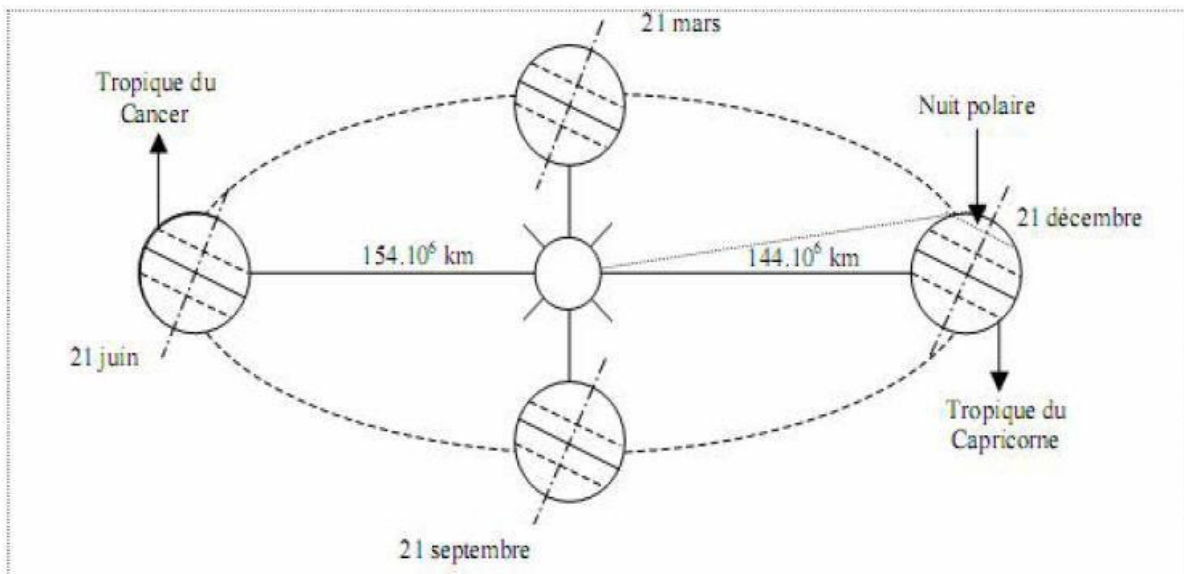


Figure I.2 : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil

I.4-Composantes du rayonnement solaire

Les radiations solaires arrivent au sommet de l'atmosphère sous forme d'ondes électromagnétiques. Elles se subdivisent, premièrement, en deux parties :

- La première est directement réfléchiée vers l'espace avant de pénétrer dans l'atmosphère.
- La deuxième partie s'enfonce dans l'atmosphère, subit des réfractions et des diffractions pour être à son tour soit, renvoyée vers l'espace soit, vers la terre.

En outre, dans l'atmosphère, la vapeur d'eau et de multiples gaz absorbent certaines radiations selon leurs longueurs d'ondes. Par exemple, la vapeur d'eau est le premier responsable de l'absorption des rayons infrarouge. Les radiations absorbées par les composantes de l'atmosphère sont ensuite émises dans toutes les directions. Il en résulte que parmi les radiations solaires arrivant finalement à la terre, quelques unes sont fournies par les nuages et les autres composantes de l'atmosphère. En arrivant au sol, une fraction est réfléchiée

directement vers le ciel, l'autre est reçue par la terre.

Nous pouvons regrouper les rayonnements solaires parvenant au sol en trois composantes principales qui sont:[13]

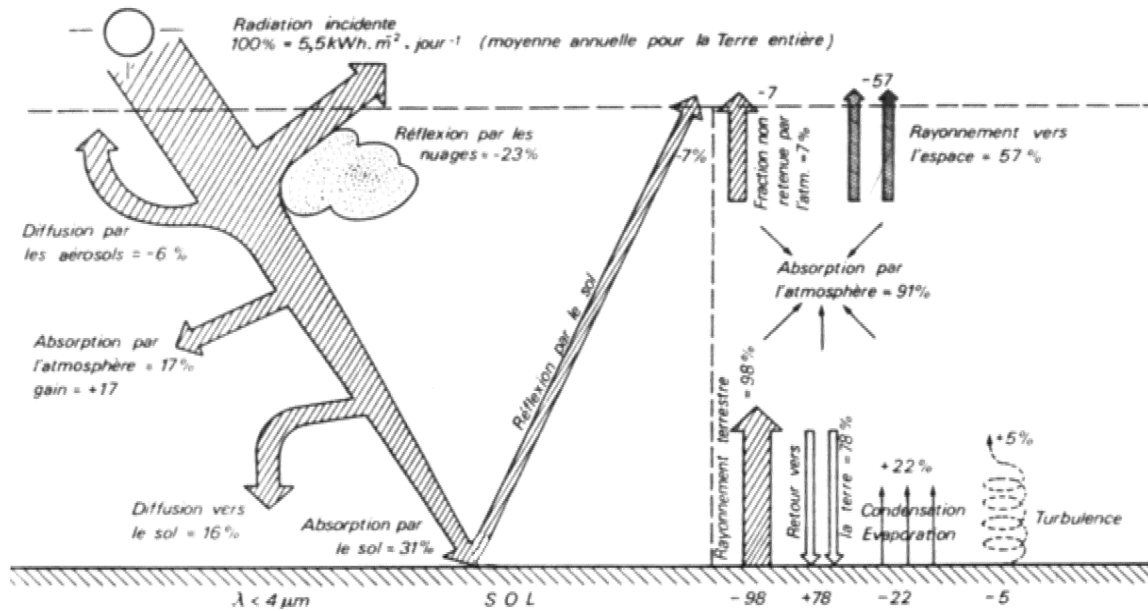


Figure I.3 : Bilan du rayonnement solaire et du rayonnement terrestre

I.4.1-Le rayonnement direct:

C'est le rayonnement parvenant directement du disque solaire et reçu sur un plan normal. Il est mesuré au moyen d'un pyréliomètre que l'on installe de façon que sa surface réceptrice soit orientée perpendiculairement aux rayons solaires, sur un support à la hauteur d'un mètre et demi du sol. Son axe de rotation doit être parallèle à celui de la terre.

Nous pouvons également estimer la valeur du rayonnement solaire direct par calcul en utilisant la formule suivante:

$$I = I_0 * \sin(\alpha_s) \tag{3}$$

Où I est calculé par la formule suivante :

$$I = I_s \cdot \alpha_*^m \tag{4}$$

$$M = 1/\sin(\alpha_s) \tag{5}$$

α_* : Coefficient de transmission.

Q : Hauteur du soleil.

I : L'éclairement énergétique au niveau du sol sous un ciel clair à incidence normale, qui se déduit de la constante solaire **I_s**

I.4.2-Le rayonnement diffuse

C'est le rayonnement parvenant de toute la voûte céleste à l'exception du disque solaire. Il s'agit du rayonnement de l'atmosphère dont la longueur d'ondes varie de 0.3 à 5 microns, diffusé par les aérosols, les gouttelettes et la vapeur d'eau vers le sol, reçu sur une surface horizontale. Le mécanisme de la diffusion est dû au changement d'indice optique du milieu traversé par les rayons solaires.

I.4.3- Le rayonnement solaire global

C'est le rayonnement solaire parvenant de la voûte céleste et du disque solaire sous un angle solide **L** reçu sur un plan horizontal. Il est mesuré à l'aide d'un radiomètre (pyranomètre).

Le rayonnement solaire global, parvenant au sol sur une surface horizontale, est la somme du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus. Il est désigné par la lettre **G**, nous obtenons la formule suivante :

$$\mathbf{G = I \cdot \sin(\alpha_s) + D} \quad (6)$$

Le rayonnement solaire global est mesuré avec le même instrument utilisé pour mesurer le rayonnement solaire diffus en mettant la thermopile du pyranomètre en position ouverte vers le ciel et le soleil.

Le rayonnement solaire global peut être estimé à partir des formules semi empirique .

Par exemples, celle d'ANGSTRÖM

$$\mathbf{G=G_0 \left(a + b \frac{n}{N} \right)} \quad (7)$$

Où

G₀ : La somme quotidienne du rayonnement solaire extra-terrestre reçu sur une surface horizontale.

n : durée d'insolation effective, mesurée à l'aide d'un héliographe.

N : durée d'insolation théorique, c'est-à-dire la durée du jour astronomique.

a et **b** doivent être déterminés expérimentalement ; ils varient d'un lieu à un autre et d'un intervalle de temps à un autre, d'après ANGSTRÖM avec **a = 0.235** et **b = 0.78**.

I.4.4- Le rayonnement réfléchi

Le rayonnement réfléchi est la composante de l'éclairement qui est réfléchi par le sol. Cette composante dépend essentiellement de la couleur de la surface réfléchissante intervenant dans la quantité du rayonnement réfléchi.

Nous mesurons le rayonnement réfléchi à l'aide d'un Pyranomètre de façon que son organe sensible soit orienté vers le sol ou vers la surface émettrice. A défaut de cet instrument, nous employons la formule, basée sur le principe que tout corps à une température supérieure à 0° Kelvin émet de l'énergie rayonnante :

$$E = \epsilon \delta T^4 \quad (8)$$

Dans laquelle E représente l'énergie émise, ϵ le coefficient d'émissivité, δ la constante de STEFAN BOLTZMANN $\delta = 5.6697 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ et T la température absolue. Le rapport entre le rayonnement global incident et celui réfléchi par le sol est appelé Albédo du sol que l'on mesure à l'aide d'un albedomètre ou d'un pyranomètre,

I.5-la trajectoire apparente du soleil :

- Pour un lieu donné, la position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents :
- Par rapport au plan équatorial de la terre (repère équatorial).
- Par rapport au plan horizontal du lieu (repère horizontal).

a-Coordonnées équatoriales :

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (δ, H).

- **Déclinaison solaire δ :**

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial la déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année :elle vaut 0 aux équinoxes et atteint ses deux valeurs extrêmes au solstice

d' ($-23^\circ.27$) et au solstice d'été ($+23^\circ.27$) ;plusieurs expressions ont été développées pour évaluer La déclinaison ,la plus simple est celle utilisée par Cooper.[5] [8]

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (j + 284) \right] \quad (9)$$

J : le numéro du jour de l'année (quantième), compté à partir du 1er janvier, c'est-à-dire il varie de 1 à 365 ou 366 selon l'année.

δ : varie entre deux valeurs extrêmes : $-\delta_0 \leq \delta \leq +\delta_0$ avec $\delta_0 = 23,45^\circ$.

La variation de la déclinaison du soleil au cours de l'année est représentée par la :

$\delta = 0$: Les équinoxes représentent les deux dates de l'année où le soleil traverse le plan équatorial, l'équinoxe automnal, le 23 septembre, marquant le début de la chute de la durée de la journée, et l'équinoxe vernal le 21 mars, marquant le début de l'accroissement de la durée du jour.

$\delta = 23,45^\circ$ (au Solstice été) : Le solstice d'été (au 21 juin), nous observons que le soleil est à son point le plus élevé dans le ciel. Elle marque le début de l'été dans l'hémisphère nordique.

$\delta = -23,45^\circ$ (au Solstice hiver) : Il coïncide avec le 21 décembre

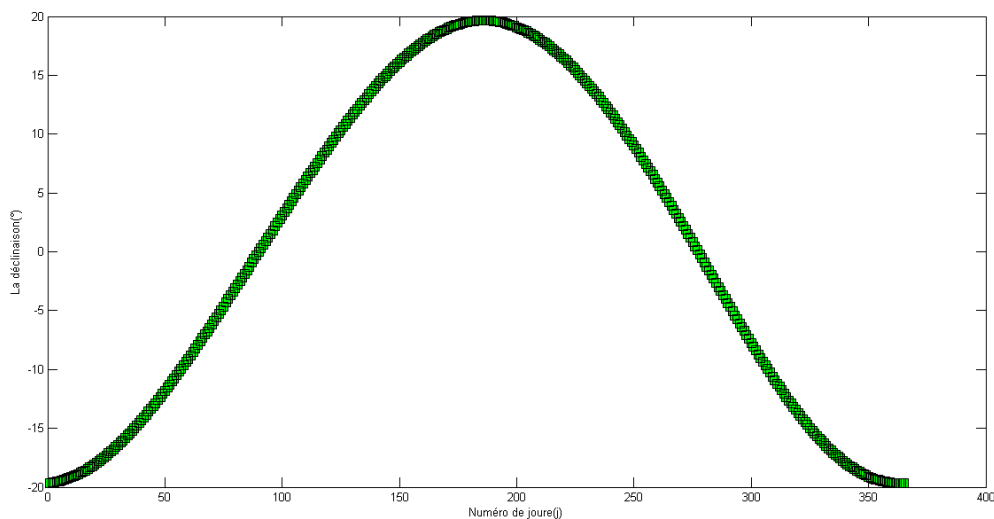


Figure 1.4: variation de la déclinaison solaire en fonction de jouer

- **Angle Horaire du soleil H :**

C'est l'angle que font les projections de la direction du soleil avec la direction du méridien du lieu, l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation.[6]

$$H = 15 * (TSV - 12) \quad (10)$$

Avec :

TSV est le temps solaire vrai qui coïncide la position zénithale du soleil à midi est donné par l'équation :

$$\mathbf{TSV} = \mathbf{TL} - \mathbf{TU}(\Delta t + 4\lambda 60) = \mathbf{TL} - (\mathbf{TU} - \lambda 15) + \Delta t 60 \quad (11)$$

TU : (Temps Universel) : Le décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich.

TL (Temps Légal) : Temps donné par une montre.

λ : longitude du lieu.

Δt : Correction de l'équation du temps donnée par :

$$\Delta t = 9.87 \sin^2(360365(j - 81)) - 7.35 \cos(360365(j - 81)) - 1.5 \sin(360365(j - 81)) \quad (12)$$

L'angle horaire H varie de -180° à $+180^\circ$ On prend :

$H > 0$ après midi.

$H < 0$ le matin.

$H = 0$ midi TSV.

b)-Coordonnées horizontales :

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et vertical du lieu. Dans ce repère, les coordonnées sont la hauteur h et l'azimut a . [9]

La hauteur du soleil :

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante : [6]

$$\mathbf{\sin(h)} = \mathbf{\cos(\delta)} * \mathbf{\cos(\varphi)} * \mathbf{\cos(H)} + \mathbf{\sin(\varphi)} * \mathbf{\sin(\delta)} \quad (13)$$

Avec :

δ est la déclinaison solaire.

φ est la latitude.

H est l'angle horaire du soleil.

On prend : $-h$ varie entre -90° à 90° .

$h > 0$ le jour, $h < 0$ la nuit et $h = 0$ aux lever et coucher.

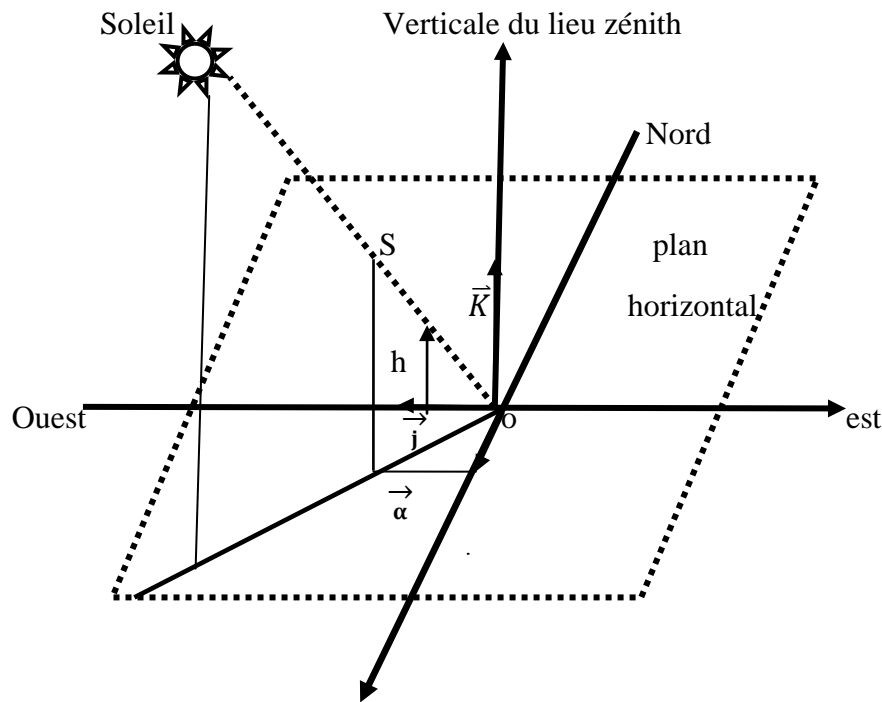


Figure I.5: système de coordonnées horizontales.

L'azimut du soleil :

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du Sud.

L'azimut du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation suivante :

$$\sin(\alpha) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(H)}{\cos(h)} \quad (14)$$

Avec : α varie de -180° à $+180^\circ$

Et $\alpha > 0$ vers l'ouest, $\alpha < 0$ vers l'est et $\alpha = 0$ vers le sud.

I.6. Le temps solaire :

L'énergie solaire reçue sur la terre varie selon le temps solaire vrai qui nous indique la position instantanée du soleil dans le ciel qui est reliée au temps local : [10]

I-7. Le temps solaire vrai

Le temps mis par le soleil entre deux passages consécutifs au méridien d'un lieu (direction Nord-Sud) a été nommé temps solaire vrai, on note TSV. Le temps solaire vrai est donc un temps local puisqu'il est lié directement à la rotation de la terre sur elle-même.

$$\text{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (15)$$

I-8 La durée et le taux d'insolation :

Par ciel clair et pendant la durée de jour d'ensoleillement S_0 (de lever au coucher du soleil), le sol reçoit le rayonnement solaire maximal. Mais la durée effective d'ensoleillement S d'une journée ordinaire est inférieure à cette durée maximale. Le taux d'insolation est donné par l'expression [11][12] :

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (16)$$

La durée maximale S_0 est calculée par l'expression suivante :

$$S_0 = \frac{2}{15} \omega_c = -\frac{2}{15} \cos^{-1}[\text{tg}(l) \cdot \text{tg}(\delta)] \quad (17)$$

Avec :

δ : La déclinaison

l : L'attitude du lieu

9-Le gisement solaire en Adrar

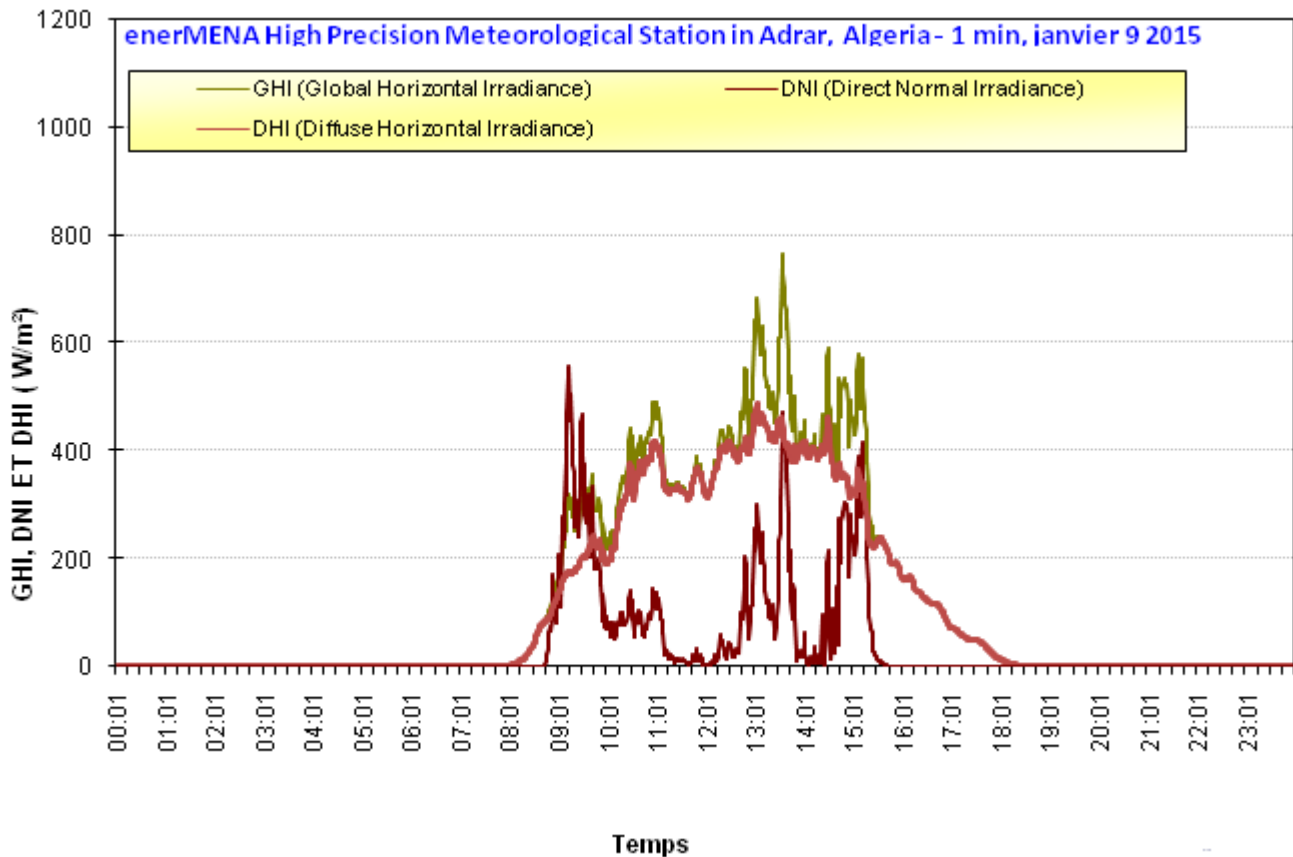


Figure I.6: Variation du rayonnement solaire (9 janvier 2015)

La figure I.6 représentante la variation du rayonnement solaire (direct, diffus et globale)en fonction de temps de 9 janvier 2015 [14]. On observe que le rayonnement solaire atteint la valeur de $780(w/m^2)$ (maximale) à midi puis il diminue, et sa valeur minimal est atteinte au levé et au couché de soleil (sous forme d'une cloche).

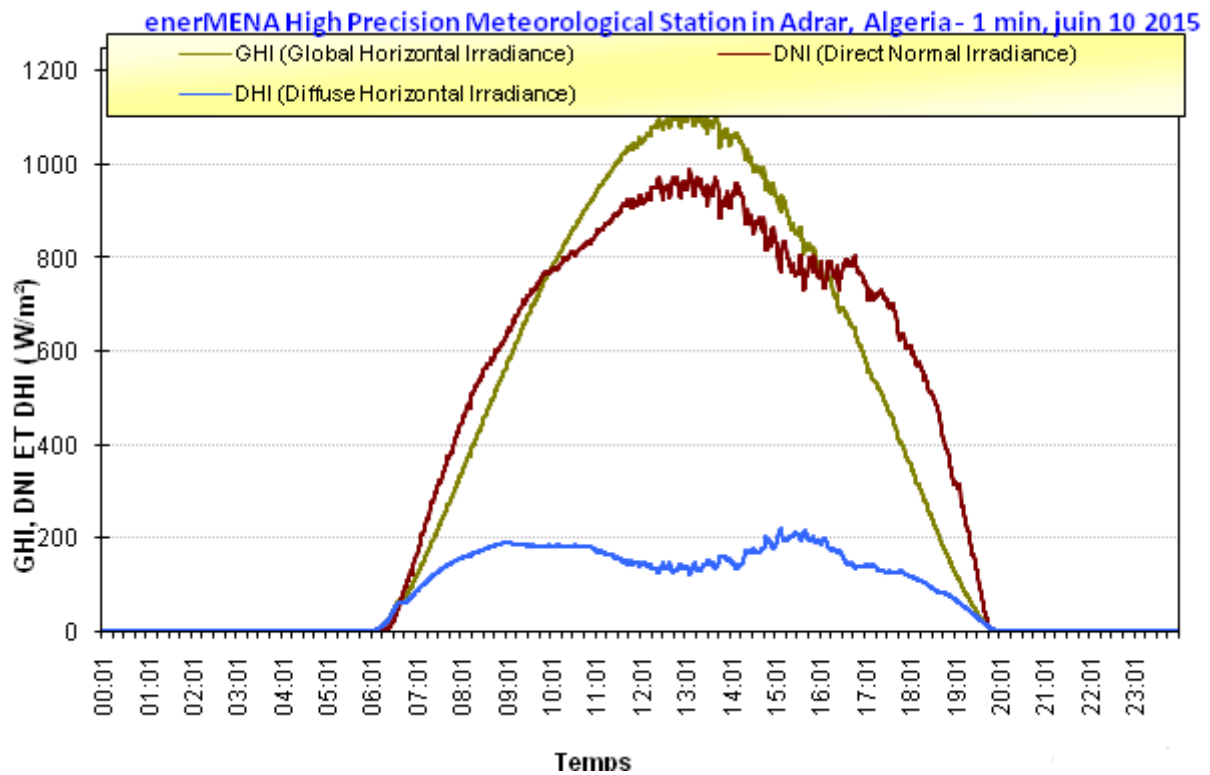


Figure I.7: Variation du rayonnement solaire (10 juin 2015)

La figure I.7 représente la variation du rayonnement solaire (direct, diffus et global) en fonction de temps de 10 juin 2015 [14]. On observe que le rayonnement solaire atteint une valeur maximale de 1100 (W/m^2) à midi, et sa valeur minimale est atteinte au lever et au coucher de soleil (sous forme d'une cloche).

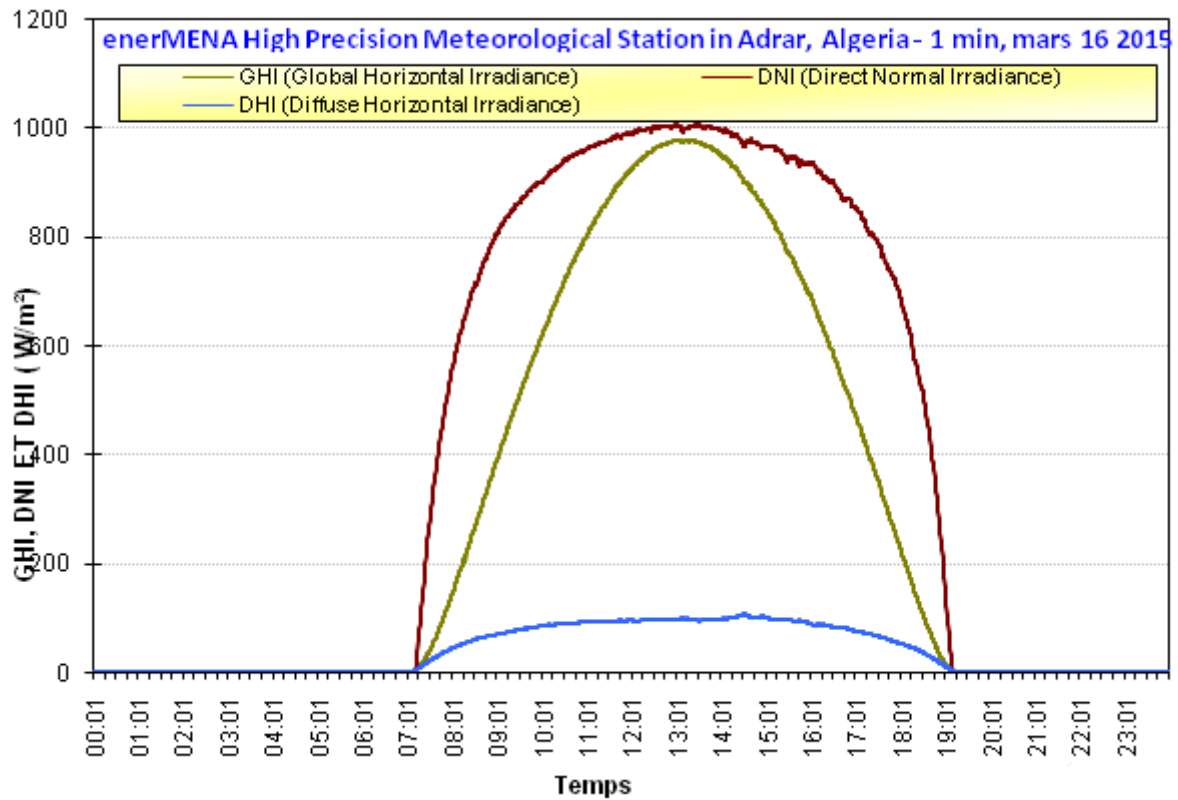


Figure I.8: Variation du rayonnement solaire (16 mars 2015)

La figure I.8 représente la variation du rayonnement solaire (direct, diffus et global) en fonction de temps de 16 mars 2015 [14]. On observe que le rayonnement solaire atteint la valeur de $1000 \text{ (w/m}^2\text{)}$ (maximale) à midi puis il diminue, (sous forme d'une cloche).

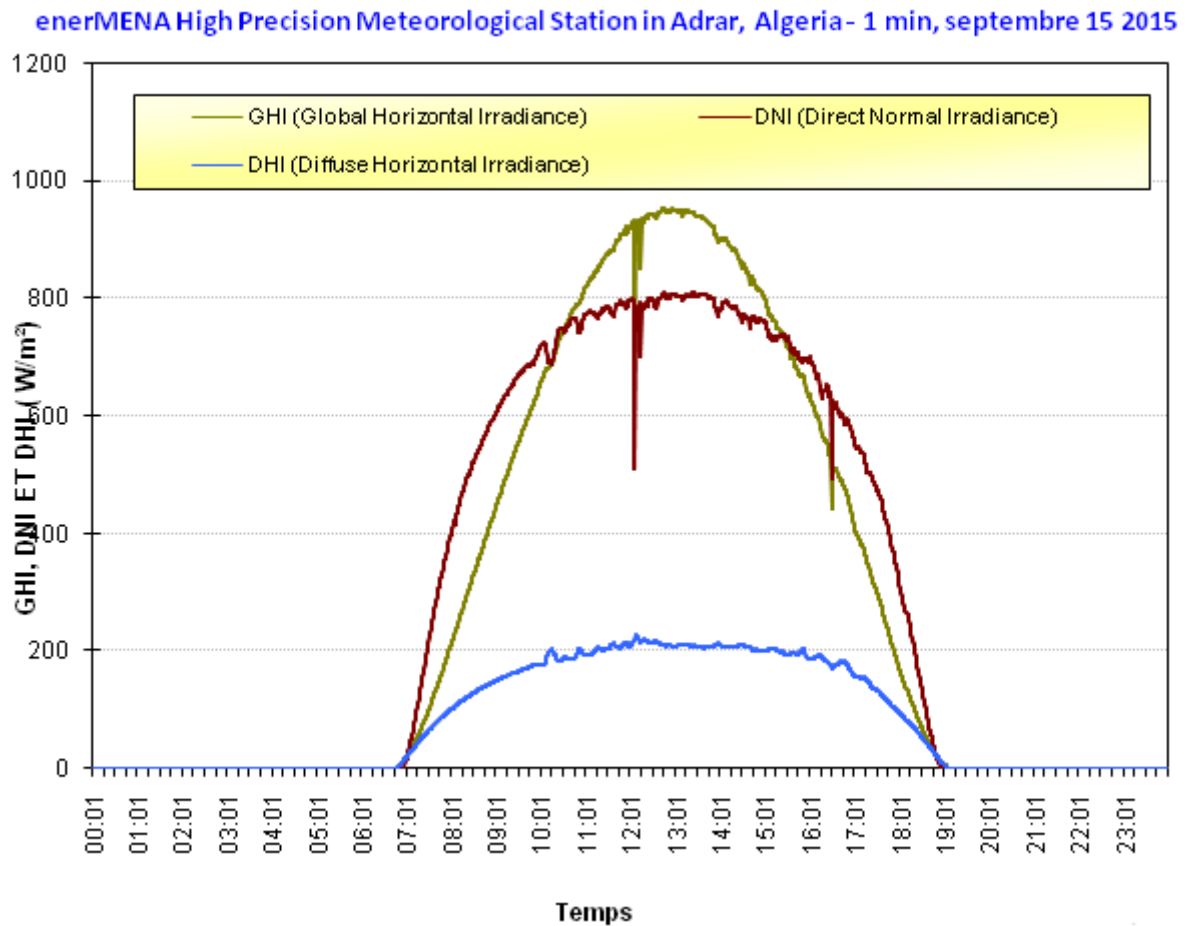


Figure I.9: Variation du rayonnement solaire (15 septembre 2015)

La figure I.9 représentante la variation du rayonnement solaire (direct, diffus et globale) en fonction de temps de 15 septembre 2015 [14]. On observe que le rayonnement solaire atteint la valeur de $970 \text{ (W/m}^2\text{)}$ (maximale) à midi puis il diminue, (sous forme d'une cloche).

Chapitre II

Etude théorique et expérimental

I. Introduction :

La distillation (ou dessalement) par énergie solaire des eaux salées ou usées est utilisée pour produire et approvisionner en eau potable de petites communautés dans des régions isolées et ensoleillées où l'eau douce est insuffisante et/ou de mauvaise qualité.

L'approche élémentaire de la distillation solaire est l'analogie faite avec le cycle Hydrologique naturel. En effet, l'homme a reproduit en un petit modèle ce cycle naturel qu'on appelle le distillateur solaire et qui consiste en :

La production de la vapeur d'eau à partir d'une solution salée, chauffée par énergie solaire via un absorbeur.

Le transport de cette vapeur par convection vers un condenseur transparent (vitre en verre ou couverture en plastique) où elle est condensé.

La collecte des gouttelettes condensées à l'aide de gouttières et le stockage de cette eau pour de futures utilisations.

II. Le problème de l'eau :

La terre est la planète de l'eau, 71 % de la surface en est recouverte; cependant 97 % de cette eau est salée, 3 % d'eau douce dont les 2/3 sont gelés aux pôles. Or, la demande en eau potable (1000 m³ par an et par habitant considéré comme étant le minimum vital) va de paire avec la croissance démographique et finira par rendre à plus ou moins court terme les réserves nettement insuffisantes. [9]

II.1-Le dessalement de l'eau de saumâtre :**II.1.2- L'eau saumâtre :**

On appelle eau saumâtre, une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissouts sont; CaCO₃, CaSO₄, MgCO₃ et Na Cl.

II.1.3-Les technologies de dessalement des eaux :

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories. Selon le principe appliqué, on distingue:

Les procédés à membranes, l'osmose inverse et l'électrodialyse.

Les procédés thermiques avec un changement de phases, la congélation et la distillation solaire.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau salée. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et à l'importance des investissements qu'ils requièrent[14].

II.2-Le distillateur solaire :

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau salée dans le bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Eventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer le sel, voir la figure ci-dessus (Figure II.1). [15]

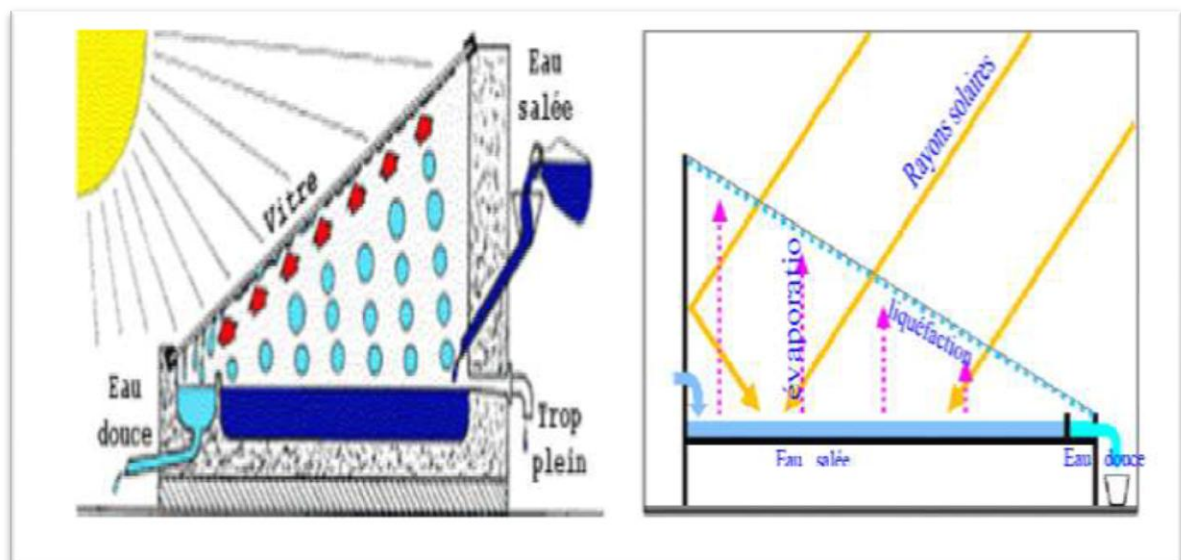


Figure II.1 : Distillateur solaire simple

II.3- Principe de la distillation solaire :

La distillation solaire est l'une des techniques utilisées pour la production de l'eau douce à partir d'eau saumâtre ou d'eau de mer, grâce à l'énergie solaire. Elle est basée sur l'effet de serre.

L'énergie incidente qui traverse une couverture transparente aux rayons de faible longueur d'onde, est absorbée par une surface (noire mate), celle-ci s'échauffe et émet dans le domaine

de grandes longueurs d'onde. Ces rayons ne peuvent plus retraverser la vitre, réalisant ainsi un piège à calories. [16]

Il y'a plusieurs modèles de distillateurs solaires qui utilisent ce procédé. Ils peuvent être différents en forme et en matériaux, mais tous utilisent le même principe et servent aux mêmes fonctions (Figure II.2).

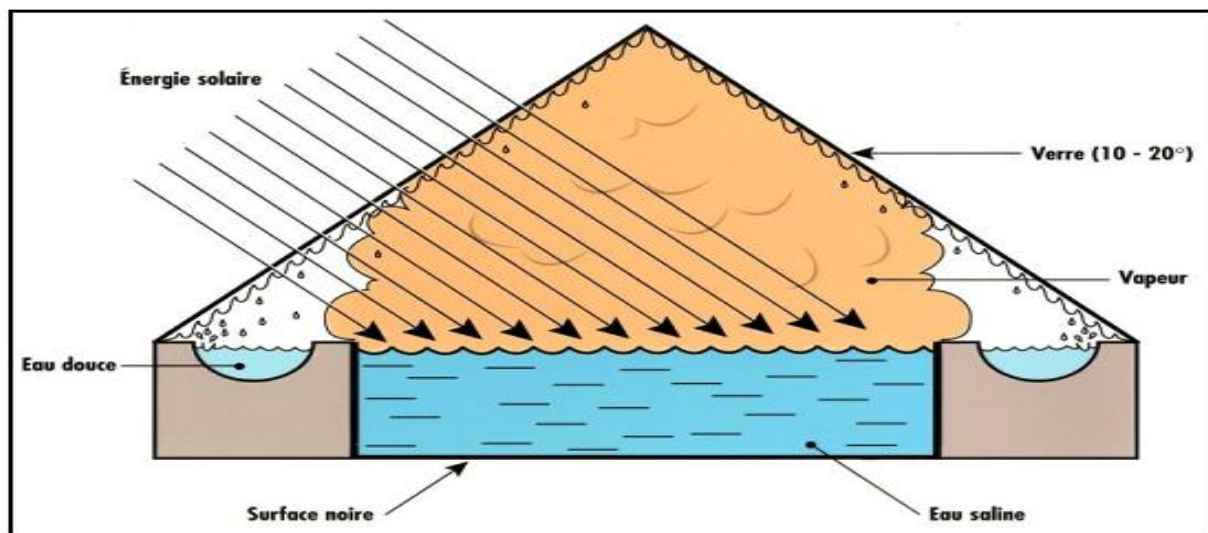


Figure II.2: Principe de construction et de fonctionnement d'un distillateur solaire à double inclinaisons (hot box)

II.4- Les types de distillateur solaire :

Depuis un siècle, des milliers de distillateurs solaires fonctionnent à travers le monde, la plupart servent pour un usage domestique. Ils sont construits artisanalement suivant le climat et la saison. Pour améliorer la production de l'eau potable, des amendements, sont introduits sur les structures des distillateurs. On peut classer les types de distillateurs selon de nombre paramètres. [9]

Figure II.2 : Les différents types de distillateur solaire

Type de Distillateur et définition	Figure
<p>Le distillateur plan :</p> <p>Distillateur à pente unique incliné d'un angle.</p>	
<p>distillateur sphérique :</p> <p>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.</p>	
<p>Distillateur solaire à double inclinaisons :</p> <p>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.</p>	

II.5-Distillateur à double inclinaisons (hot box) :**Introduction :**

L'avantage du distillateur à double inclinaisons (figure. II.3) est d'exposer un capteur Au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation. Un module de 2 mètres de Large sur 50 mètres de long produit 330 litres d'eau pure par jour dans un climat désertique. Aujourd'hui, on utilise toujours des systèmes de distillation comme celui-ci pour résoudre Les difficultés d'approvisionnement en eau douce dans les Caraïbes, dans certains pays désertiques du Moyen-Orient et dans le pourtour méditerranéen. [19]

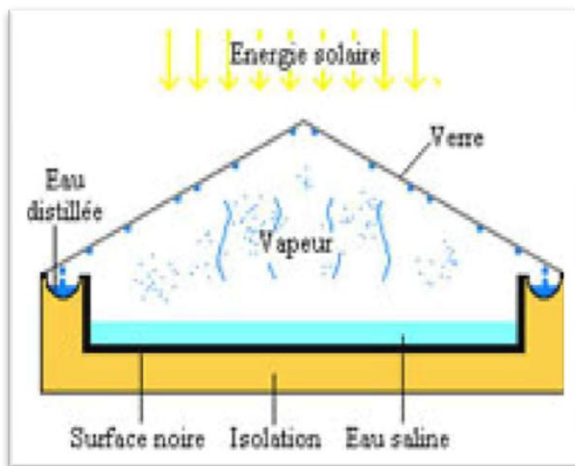


Figure II.3 : Distillateur solaire à double inclinaisons

II.5.1-Caractéristique de distillateur hot box:

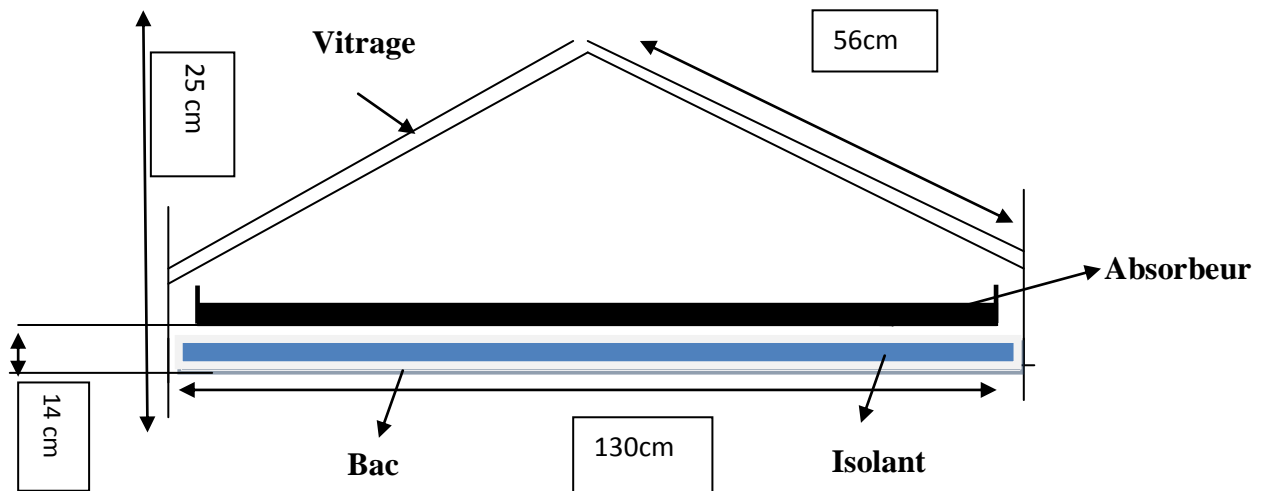


Figure II.4 : Distillateur hot box

✓ **Le bac:**

a-surface: $1.25 \times 0.93 = 1.16 \text{ m}^2$.

-Matière: Fibre de verre + la résine.

-Epaisseur: 4 mm.

✓ **L'isolation:**

-Matière: Mousse polyuréthane.

✓ **Le vitrage:**

-quatre vitres de dimensions $130 \times 56 \text{ cm} = 0.728 \text{ m}^2$.

- Epaisseur: 4 mm.

- Epaisseur: 5 mm.

-Inclinaison: 11° .

II.5.2-Description du système:

Le distillateur solaire double pente hot box (figure II.5) est conçu essentiellement d'un bac en fibre de verre, dont la partie supérieure est surmontée par deux vitres ordinaires, formant ainsi un toit en verre inversé, inclinée par rapport à l'horizontale. Les vitres sont fixées aux rebords du bassin par de la mastic silicone, ce dernier assure l'étanchéité du distillateur afin de réaliser l'effet de serre. Le système est asservi par un flotteur qui permet le réglage de l'épaisseur de l'eau saumâtre dans le bassin du distillateur. [20]

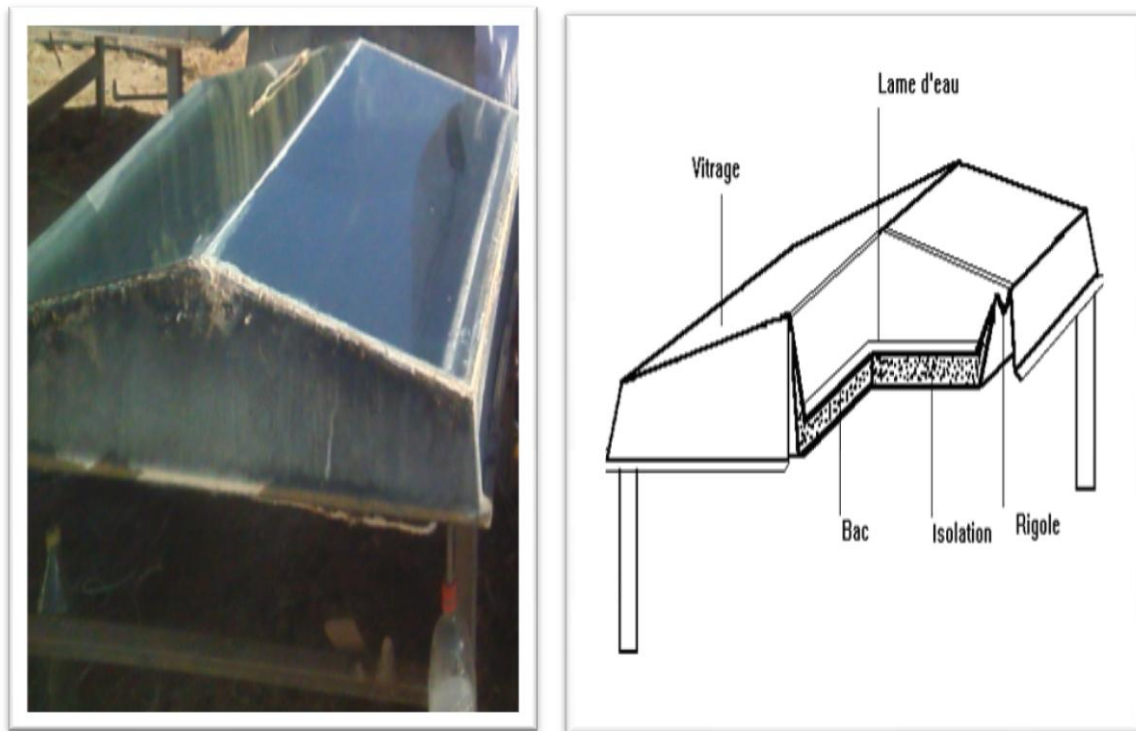


Figure II.5: Distillateur solaire

➤ **L'hypothèse simplification :**

- Régime supposé stationnaire.
- L'élément du distillateur sont représenté par un seul nœud.
- Rayonnement solaire absorbé par la couverture transparent et considéré négligeable.
- Rayonnement solaire absorbé par les gouttelettes d'eau est considéré négligeable.
- L'eau est transparente.
- La quantité de vapeur dans égala la quantité d'eau condenser.

II.6-Etude théorique :

Le flux solaire I_g transmis à travers les vitres se répartit entre les différentes parties du Distillateur, ce flux radiatif provoque des échanges thermiques à l'intérieur et l'extérieur du distillateur. La figure II.6 représente le bilan thermique du distillateur.

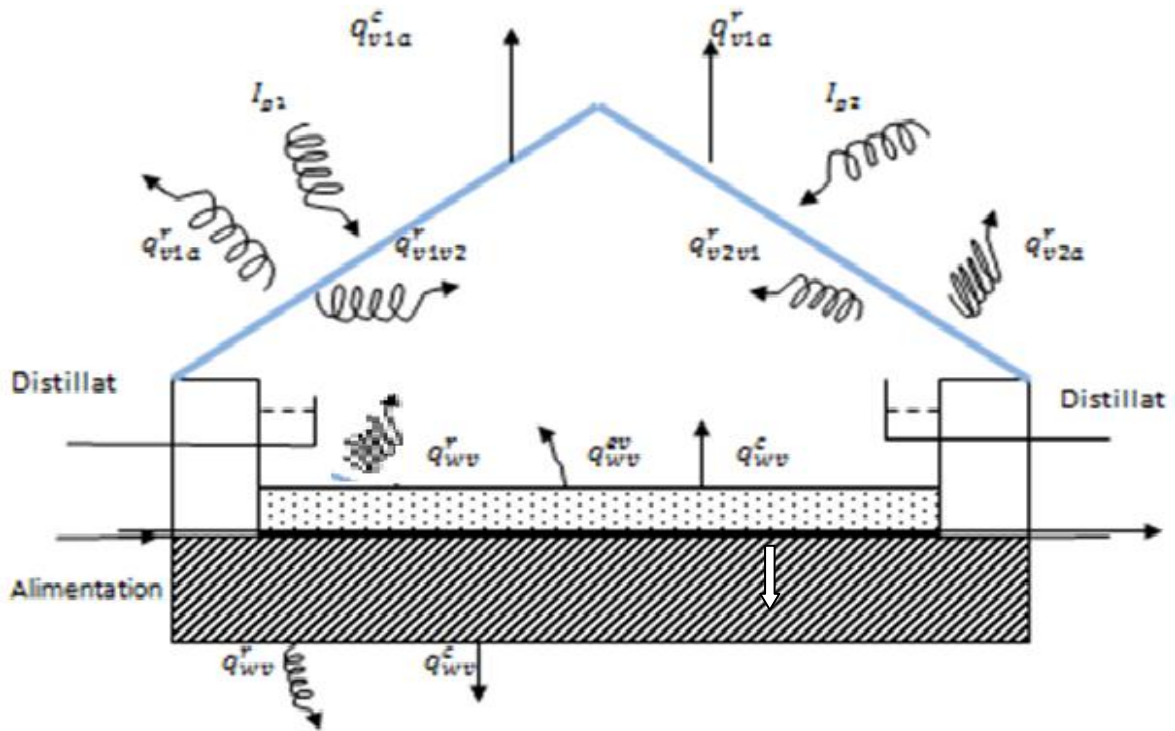


Figure II.6 : Echanges thermiques dans un distillateur solaire hot box

❖ Légende

→ Convection

↗ Rayonnement

↶ Evaporation

⇓ Conduction

II.6.1-Bilan thermique de la vitre V :

✓ La vitre V reçoit les flux ; q_{wv}^c par convection, q_{wv}^r par rayonnement et q_{wv}^{ev} par évaporation.

- ✓ Les flux cédés par la vitre sont ; q_{va}^c par convection et q_{va}^r par rayonnement à l'ambiance.
- ✓ L'échange intérieur extérieur s'effectue à travers la vitre par conduction q_v^c .

$$\alpha_v \cdot I_g + q_{wv}^{ev} + q_{wv}^r + q_{wv}^c = q_{va}^r \quad (18)$$

II.6.2-Bilan thermique de La masse d'eau :

On admet que le rayonnement incident transmis et absorbé par le bac est complètement cédé à la masse d'eau qui par ailleurs échange pendant le même temps avec la vapeur au dessus de plan d'eau les flux q_{wv1}^c et q_{wv2}^c par convection, q_{wv1}^r et q_{wv2}^r par rayonnement et q_{wv1}^{ev} et q_{wv2}^{ev} .

$$\tau_v \alpha_w \cdot I_{gt} + q_{wb}^c + q_{wb}^r = q_{wv}^c + q_{wv}^r \quad (19)$$

I_{gt} , représente le flux solaire total ($I_{gt} = I_{g1} + I_{gt}$)

τ_v : Coefficient de transmission de la vitre de l'eau

II.6.3-Bilan thermique de l'absorbeur :

L'absorbeur cède à la masse d'eau le flux de chaleur q_{wb}^c par convection.

L'échange intérieur extérieur s'effectue à travers l'absorbeur par conduction q_b^c

le flux de chaleur q_{ar} par l'air

$$q_{bw}^c + q_b^c = q_{ar} \quad (20)$$

II.6.4- Bilan thermique de L'isolant :

• Reçoit de l'absorbeur le flux q_b^c

- L'échange s'effectue à travers l'isolant par conduction q_{is}^c

$$\frac{1}{2} \cdot m_{is} c_{is} \frac{dT_{is}}{dt} + q_b^c = q_{is}^{co} \quad (21)$$

Avec :

I_g : Puissance solaire incidente

q_v^r : Le flux échangé par rayonnement de la vitre

q_{wv}^r : Le flux échangé par rayonnement entre le côté intérieur de la vitre orientée et la masse d'eau.

q_{wv}^c : Le flux échangé par convection entre le côté intérieur de la vitre orientée et la masse d'eau

q_{wv}^{ev} : Le flux de chaleur échangé par évaporation

q_{eau} : Puissance absorbée par l'eau distillée

➤ **Expression de différent flux thermique :**

La saumure échange le flux q_{wv}^c avec la vitre V par convection naturelle.

$$q_{wv}^c = h_{wv}^c \cdot (T_w - T_v) \cdot A_v \quad (22)$$

Ou :

T_v : Température de la vitre V

T_w : Température de la surface de l'eau

h_{wv}^c : Coefficient de convection donné empiriquement par la relation

$$h_{wv}^c = \frac{\lambda}{l} N_u \quad (23)$$

Ou :

$$N_u = C Ra^n \quad (24)$$

Les facteurs C et n sont définis selon le régime laminaire ou turbulent ainsi :

$$C=0.54 \text{ et } n = \frac{1}{4} \text{ si } 10^5 < Ra < 10^7$$

$$C=0.14 \text{ et } n = \frac{1}{3} \text{ si } 2 \cdot 10^7 < Ra < 3 \cdot 10^{10}$$

Ra est le nombre adimensionnel de Rayleigh. λ et l sont respectivement le coefficient de conduction thermique et la longueur caractéristique.

La température du ciel peut être estimée par la relation suivante :

$$T_s = T_a - 12 \quad (25)$$

Le coefficient de perte thermique arrière de la plaque d'absorption, est évalué à l'aide de la relation suivante :

$$h_{ar} = \frac{1}{h_w + \frac{\delta_{is}}{\lambda_{is}} + 2 \frac{\delta_p}{\lambda_p}} \quad (26)$$

La distribution de la température, dépend de l'humidité et de la géométrie du distillateur, Généralement pour calculer le coefficient de changement h_{wv}^c on utilise la relation :

$$h_{wv}^c = 0.884 \left[\left\{ (T_w - T_{vi}) + \frac{(P_w - P_{vi})(T_w + 273)}{268.9 \cdot 10^3 - P_w} \right\} \right]^{(1/3)} \quad (27)$$

Avec :

P_w , P_{vi} La pression partielle de la vapeur au niveau de la saumure et la vitre.

T_w , T_{vi} la température de la couche superficielle d'eau et de la face interne du la vitre.

L'absorbeur échange avec l'eau le flux q_{bw}^c par convection naturelle :

$$q_{bw}^c = h_{bw}^c (T_b - T_w) A_b \quad (28)$$

Ou :

$$h_{bw}^c = \frac{c_p \cdot k}{L} \left[\frac{L^3 \cdot \rho \cdot g \cdot \beta_0 \cdot c_p \cdot \Delta T}{\mu \cdot k} \right]^{1/4} \quad (30)$$

l : Profondeur de l'eau dans le bassin

ΔT : Différence de température entre l'absorbeur et l'eau ($T_b - T_w$)

L : Largeur du bassin

$$\beta_0 = 1/T_w \quad (31)$$

- **Entre la vitre v et le milieu ambiant :**

La vitre v1 échange le flux q_{v1a}^c avec l'ambiance par convection naturelle, on utilise la relation de Macadams:

$$5.7+3.8v \quad (32)$$

V : vitesse de vent.

➤ **Echange par rayonnement :**

• **Entre la saumure et la vitre v :**

La saumure cède à la vitre (côté intérieur), par rayonnement le flux q_{wv}^r :

$$q_{wv}^r = h_{wv}^r (T_w - T_v) \quad (33)$$

Le coefficient d'échange h_{wv}^r :

$$h_{wv}^r = F_{12} \cdot \varepsilon_{eff} \cdot \sigma [(T_w + 273)^2 + (T_{v2i} + 273)^2] \times [(T_w + 273) + (T_{v2i} + 273)] \quad (34)$$

F_{12} : Le facteur de forme entre la masse d'eau et la vitre v ($F_{12} = 0.64$).

• **Entre la vitre et l'ambiance :**

La vitre v échange avec l'ambiance le flux q_{va}^r par rayonnement :

$$q_{va}^r = h_{va}^r (T_v - T_a) \cdot A_v \quad (35)$$

Le coefficient d'échange h_{va}^r est donné par:

$$h_{va}^r = \varepsilon_v \cdot \sigma \cdot [(T_v + 273)^2 + (T_c + 261)^2] \times [(T_v + 273) + (T_c + 261)] \quad (36)$$

Avec:

T_v : La température moyenne de la vitre V.

T_c : La température équivalente du ciel.

• **Entre l'isolant et le sol :**

L'isolant (côté extérieur) échange par rayonnement avec le sol le flux q_{isa}^r :

$$q_{isa}^r = h_{isa}^r (T_{ise} - T_{sol}) \cdot A_{is} \quad (37)$$

La formule générale du coefficient d'échange h_{isa}^r est:

$$h_{isa}^r = \varepsilon_{is} \cdot \sigma \cdot [(T_{ise} + 273)^2 + (T_{sol} + 273)^2] \times [(T_{ise} + 273) + (T_{sol} + 273)] \quad (38)$$

T_{sol} : La température du sol.

➤ **Echanges intérieur :**

• **Echange par évaporation :**

Flux Le q_{wv}^{ev} échangé par évaporation est exprimé par la relation:

$$q_{wv}^{ev} = \Delta m_w \cdot L_v(T_w) \cdot A_w \quad (39)$$

Où: $q_{wv}^{ev} = h_{wv}^{ev} \cdot (p_w - p_{vi}) \quad (40)$

Avec:

Δm_w : La masse nette de vapeur d'eau transportée par unité de temps et de surface

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

L'expression du coefficient d'échange par évaporation est:

$$h_{wv}^{ev} = 16.276 \times 10^{-3} \times h_{wv}^c \times \frac{p_w - p_{vi}}{T_w - T_{vi}} \quad (41)$$

Dans la vitre :

Un échange par conduction entre les deux faces de la vitre q_{v2}^c pour v_1 et v_2 :

$$q_{v1}^c = \frac{1}{e_v} \cdot (T_{ve} - T_{vi}) \cdot A_v \quad (42)$$

$$q_v^c = \frac{\lambda_v}{e_v} \cdot (T_{ve} - T_{vi}) \cdot A_v \quad (43)$$

T_v , respectivement les températures intérieure et extérieure des vitres v .

• **Dans l'absorbeur :**

Un échange par conduction entre les deux faces de l'absorbeur q_b^c :

$$q_b^c = \frac{\lambda_b}{e_b} \cdot (T_{be} - T_{bi}) \cdot A_b \quad (45)$$

Avec :

T_b : La température de l'absorbeur ($T_b = T_{is}$)

• **Dans l'isolant :**

Un échange par conduction entre les deux faces de l'isolant q_{is}^c :

$$q_{is}^c = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \cdot (T_{ise} - T_{isi}) \cdot A_{is} \quad (46)$$

Avec :

T_{ise} , T_{isi} , les températures de l'absorbeur et de l'isolant côté intérieur

II.7- Résolution du système d'équation :

✓ **Au niveau e vitre :**

$$(1 - \tau_v) \cdot I_g + (h_{wv}^c + h_w^e + h_{wv}^r)(T_w - T_v) - h_{vc}^r(T_v - T_c) - h_v(T_v - T_a) - \frac{m_v \cdot c_v}{2 \cdot A_v} \cdot \frac{dT_v}{dt} \quad (1)$$

✓ **Au niveau de la masse d'eau :**

$$\tau_v \cdot \alpha_v I_g + h_{pw}^c \cdot (T_w - T_v) - \left(\frac{m_w c}{A_w} \right) \cdot \frac{dT}{dt} (h_{wv}^c + h_w^e + h_{wv}^r)(T_w - T_v) \quad (2)$$

✓ **Au niveau de l'absorb :**

$$\tau_v (1 - \alpha_w) \cdot \alpha_p I_g - h_{pw}^c \cdot (T_w - T_v) - \frac{\lambda_p}{e_p} (T_p + T_{is}) \quad (3)$$

✓ **Au niveau de l'isolant :**

$$\frac{\lambda_p}{e_p} (T_p + T_{is}) - \left(\frac{1}{\frac{1}{h_v} + \frac{e_{is}}{\lambda_{is}}} \right) (T_{is} + T_a) = 0 \quad (4)$$

On a:

$$-(h_{wv}^c + h_{wv}^r + h_{vc}^r + h_v)T_v + (h_{wv}^c + h_{wv}^r)T_w = -(h_v T_a + h_{vc}^r T_c + (1 - \tau_v) I_g) \cdot -q_w^{ev} \quad (1)$$

$$(h_{wv}^c + h_{wv}^r - h_{pw}^c)T_v - (h_{wv}^c + h_{wv}^r - h_{pw}^c)T_w = \tau_v \cdot \alpha_v I_g h_w^e - q_w^{ev} \quad (2)$$

$$h_{pw}^c \cdot T_v - h_{pw}^c \cdot T_w - \frac{\lambda_p}{e_p} T_p - \frac{\lambda_p}{e_p} T_{is} = \tau_v (1 - \alpha_w) \cdot \alpha_p I_g \quad (3)$$

$$\frac{\lambda_p}{e_p} T_p + \left(\frac{\lambda_p}{e_p} - \left(\frac{1}{\frac{1}{h_v} + \frac{e_{is}}{\lambda_{is}}} \right) \right) T_{is} = \left(\frac{1}{\frac{1}{h_v} + \frac{e_{is}}{\lambda_{is}}} \right) T_a \quad (4)$$

On veut résoudre le système linéaire de la forme suivante:

$$\mathbf{A} \times \mathbf{T} = \mathbf{B} \quad (47)$$

\mathbf{T} : La valeur des inconnus $T = (T_1, T_2, \dots, T_n)$

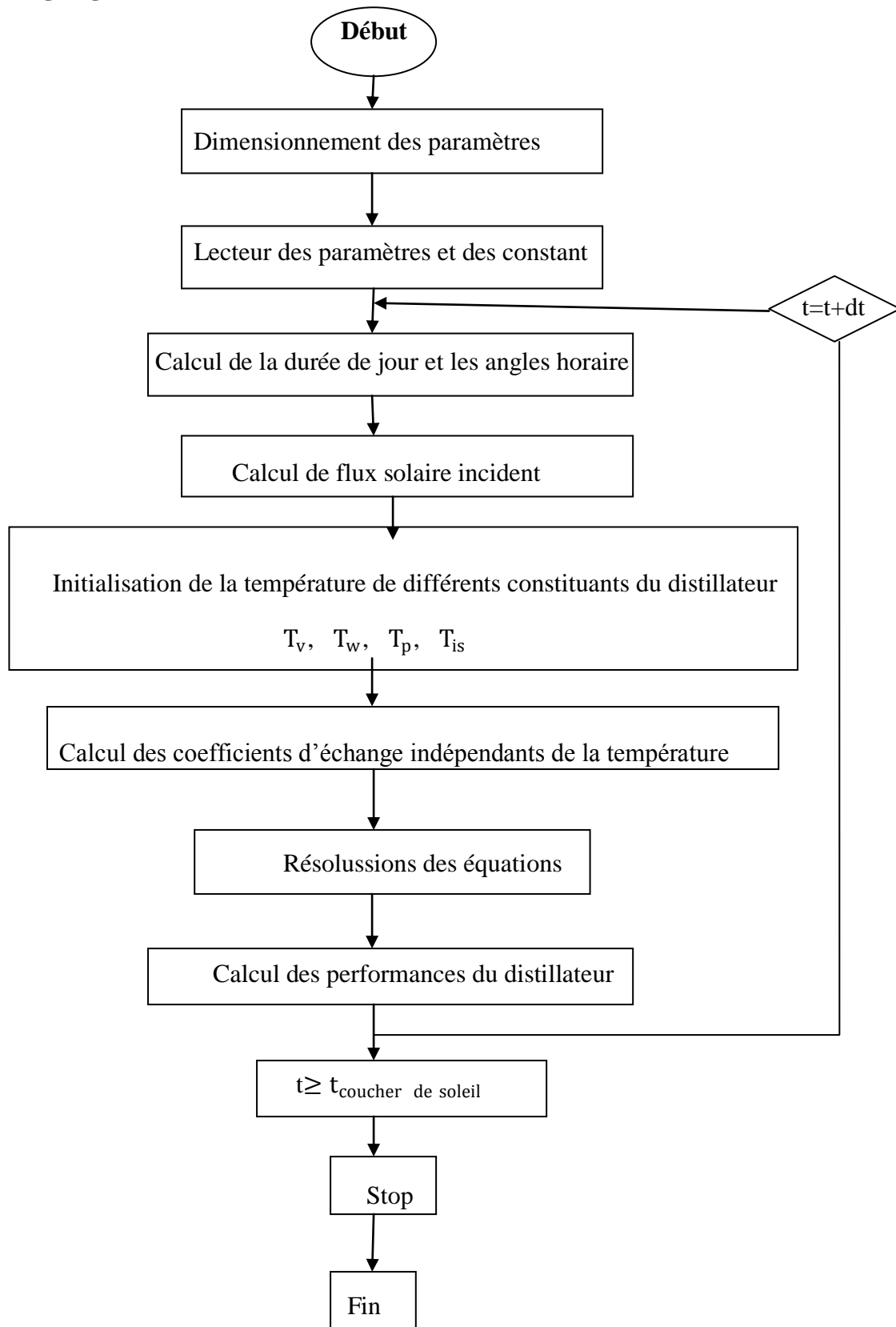
Ces équations forment un système d'équations linéaire sous forme : $\mathbf{A} \times \mathbf{T} = \mathbf{B}$

Dans ce système d'équations, les paramètres inconnus sont : T_v, T_w, T_p, T_{is}

Avec :

$$\mathbf{T} = \mathbf{B} * \mathbf{A}' \quad (48)$$

II.7- Organigramme de calcul :







III. Etude expérimental :

Tableau N°2: Matériaux utilisées

Matériau	Dimensions	Quantité	Observation
Silicone mécanique	—	1	
Silicone	—	6	
Peinture noire	1kg	1	
Téflon	12mm*0.075mm*12m	1	

III.1-Les étapes rénovation des distillateurs:

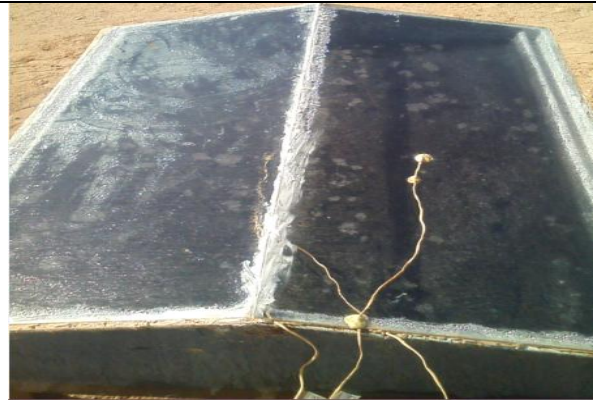
Tableau N°3 : Les étapes rénovation du hot-box

<p>- Peinture de l'intérieur du distillateur en noir.</p>	
<p>Peinture de la rigole d'eau distillée blanche.</p>	
<p>- Relie le distillateur au réservoir d'eau saline.</p>	
<p>- Mesure de l'épaisseur de la nappe d'eau.</p>	

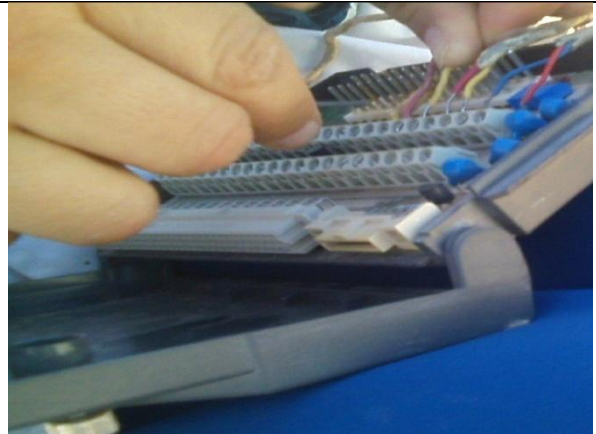
-Couverture transparent en verre.





-Emplacement des thermocouples



- Connexion des thermocouples au module de l'acquisition des données.



-Récupération du distillat.	
Mesure de l'eau distillée produite.	

III.2- L'emplacement des thermocouples :

Dans notre cas, les températures sont mesurées à l'aide des thermocouples type K.

Les thermocouples sont reliés à une acquisition des données type FLUK 2625.

1. Température de la face intérieure de la vitre (T1).
2. Température de l'eau saumâtre à l'intérieur du distillat (T2).
3. Température de Bac (plaque d'absorption) (T3).

Le schéma suivant montre l'emplacement des thermocouples :

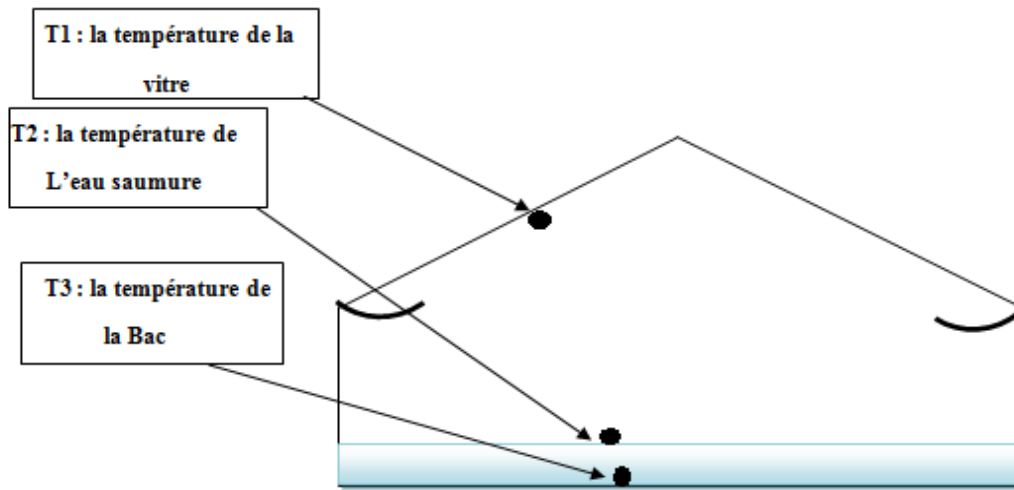


Figure III.1 : L'emplacement des thermocouples

Chapitre III

Les résultats théoriques et expérimentaux

III.1. Résultats théoriques :

Afin de résoudre le système d'équations précédentes, nous avons élaboré un programme sous MATLAB pour simuler l'évolution au fil du temps du comportement du système. L'étude a été effectuée sur le site d'ADRAR caractérisé par une longitude - 0.28°, latitude 27.88° et une altitude de 264 m.

Le programme de simulation que nous avons réalisé sur MATLAB nous a permis de suivre la variation temporelle de la température du distillateur Hot book pour le site d'Adrar.

En vue de simuler le fonctionnement de notre prototype, nous avons pris les journées représentatif de chaque saison, de façon qu'il soit à mi-saison, le 17 Janvier, 16 Mars, le 11 Juin et le 15 Septembre.

➤ Températures des différentes composantes de distillateur :

Les figures N°3, 4, 5 et 6 représentent l'évolution des températures de chaque composante du distillateur ;

T_v : Température du vitrage du distillateur.

T_w et T_p : La température de la saumure et la température de la plaque d'absorption

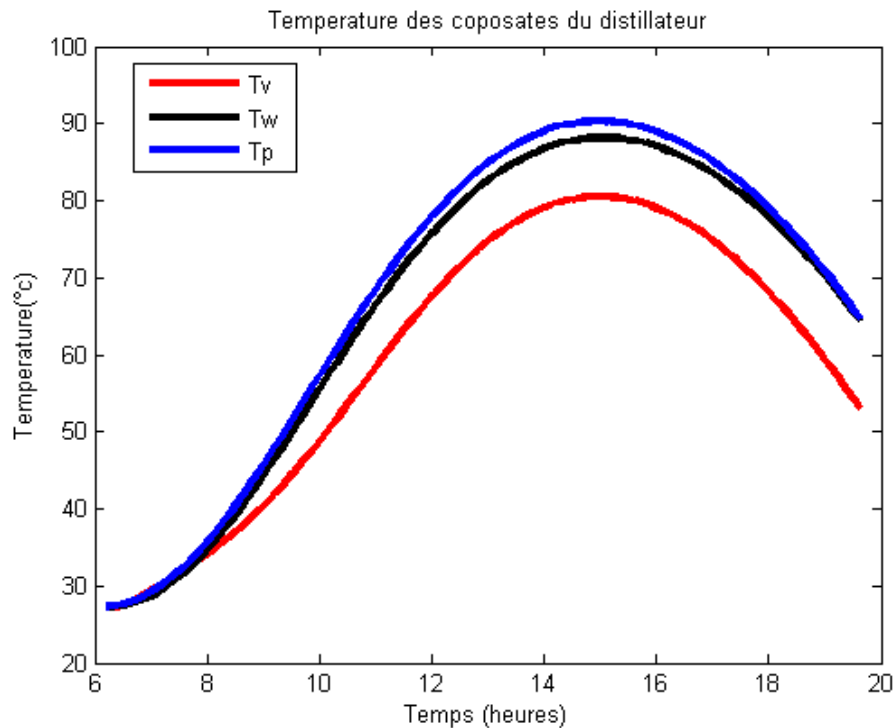


Figure III.1 : Température du distillateur pour la journée du 11 juin

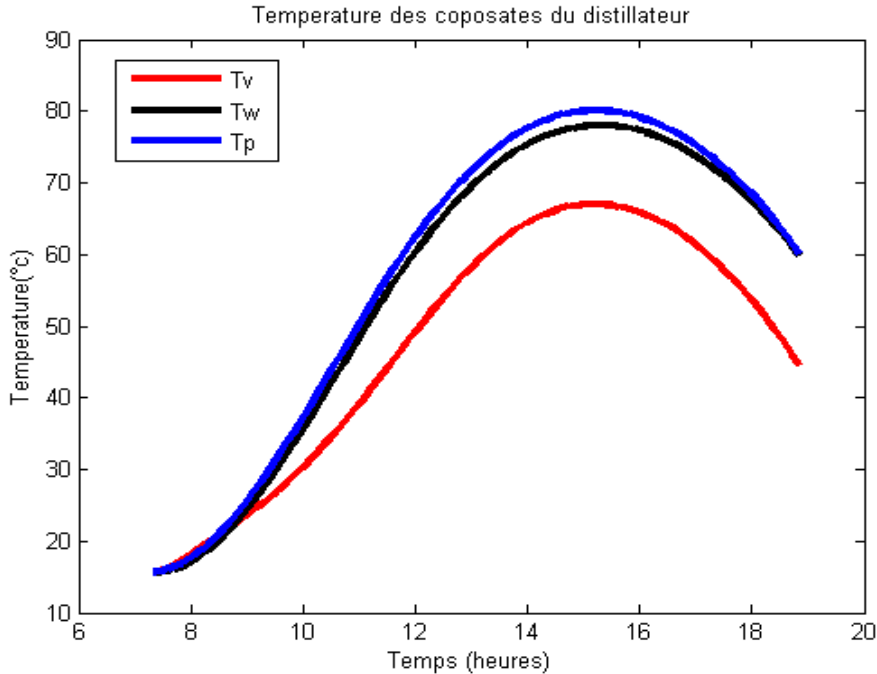


Figure III.2 Température du distillateur Pour la journée du 16mars

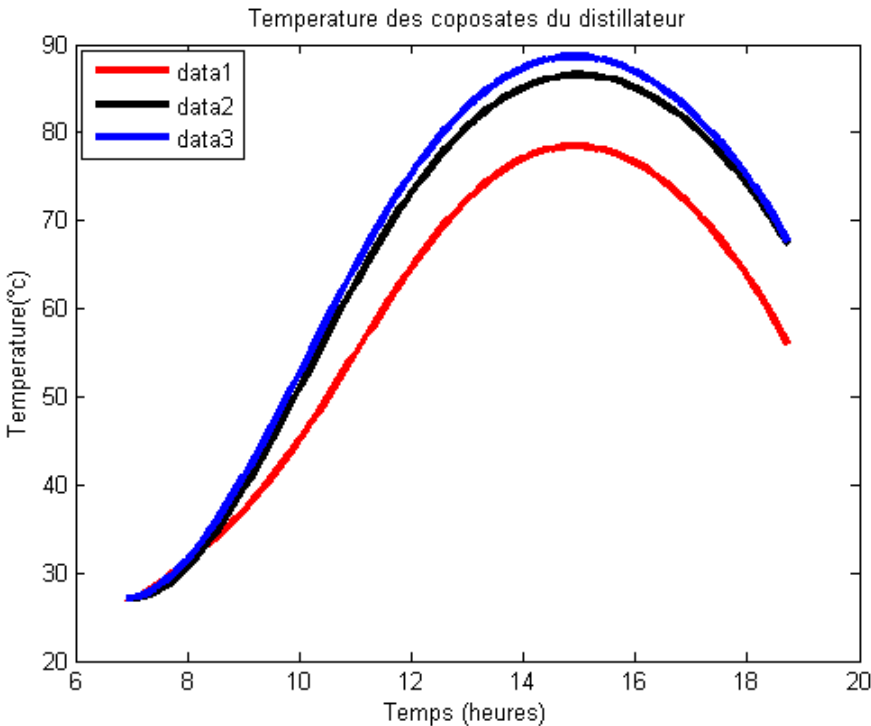
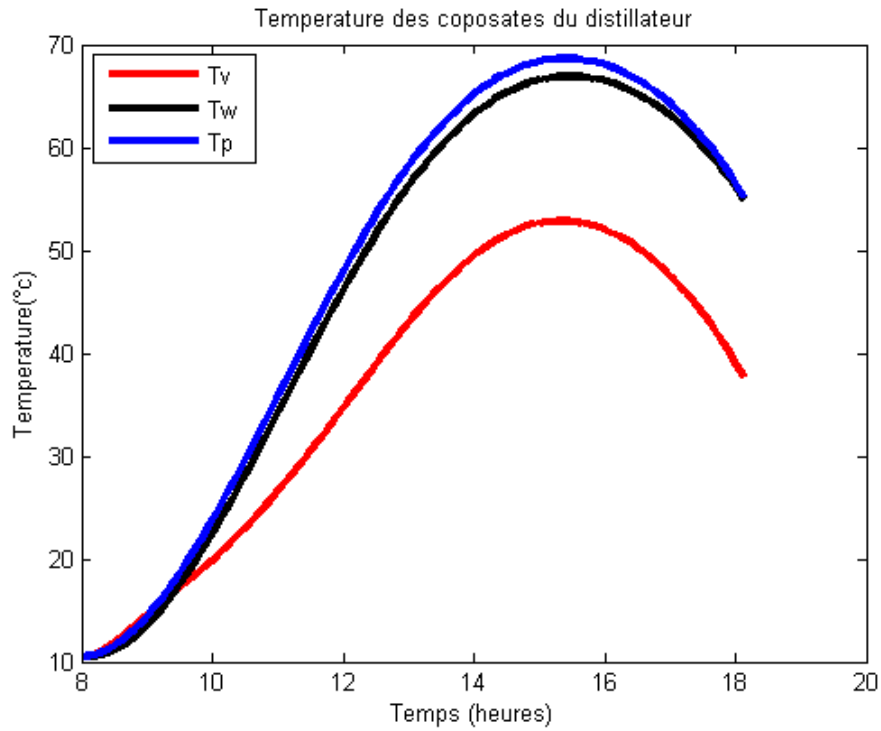


Figure III.3 : Température du distillateur pour la journée du 15 septembre



III.2. Résultats expérimentaux:

Les figures N 7 et 8 représentent la variation du rayonnement solaire incident sur un plan horizontal mesurée, pour les journées du 16 au 18 avril 2017. Nous remarquons que le rayonnement solaire suit l'évolution du

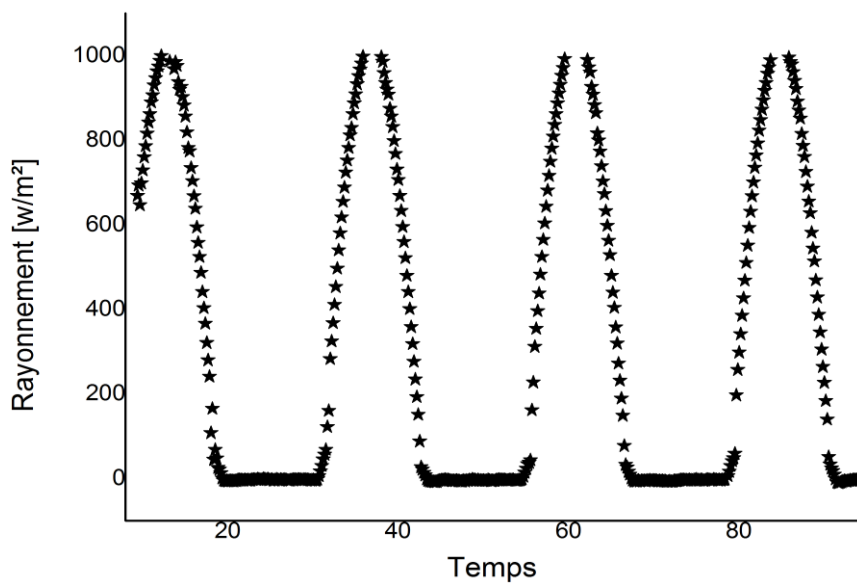


Figure III.5 : Variation du rayonnement solaire incident sur un plan horizontal au 18 avril

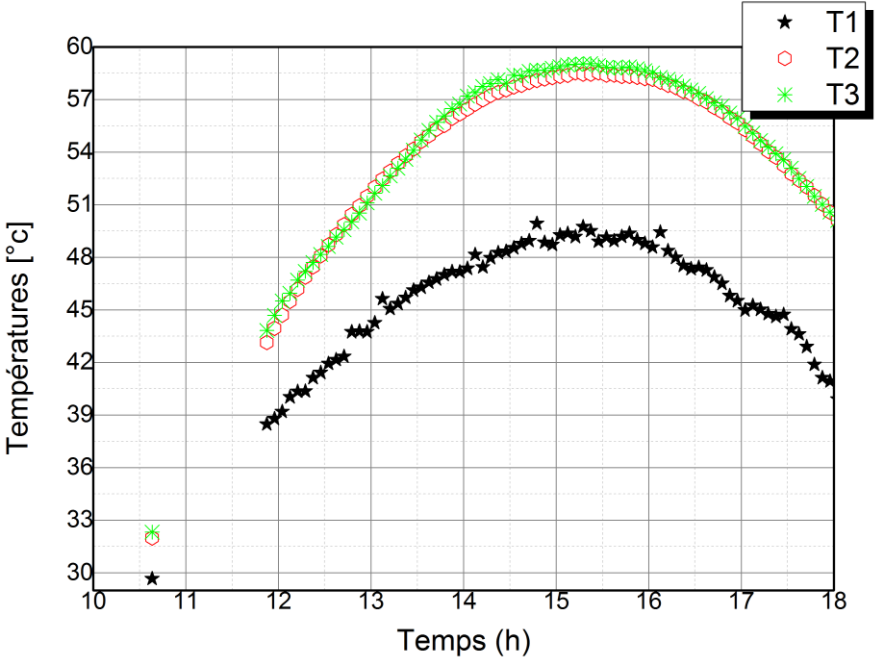


Figure III.6 : Energie reçue pour les journées du 18 avril.

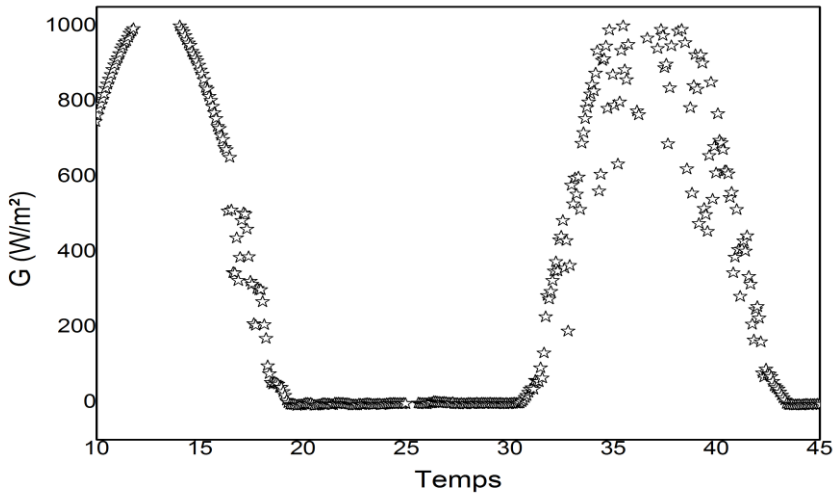


Figure III.7 : Variation du rayonnement solaire incident sur un plan horizontal au 16 avri

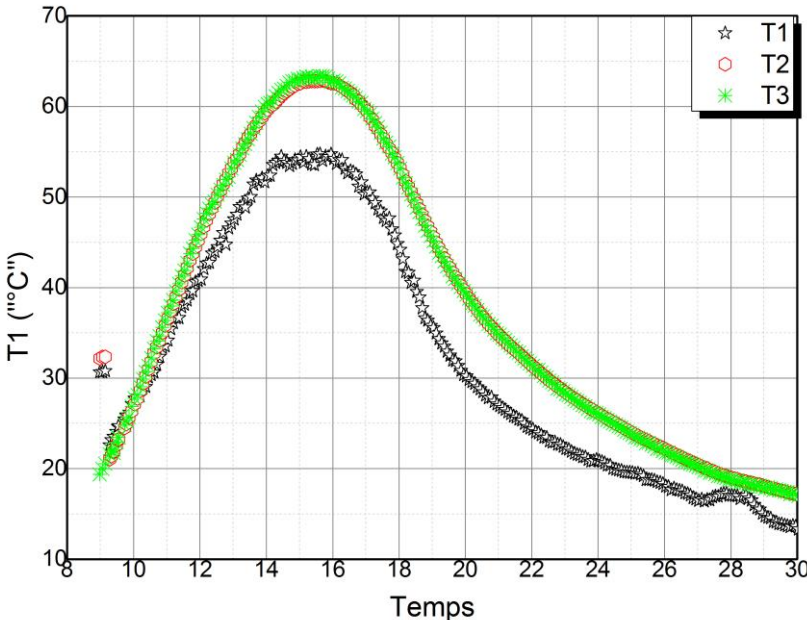


Figure III.8 : Température du distillateur en fonction de temps pour la journée 11Avril

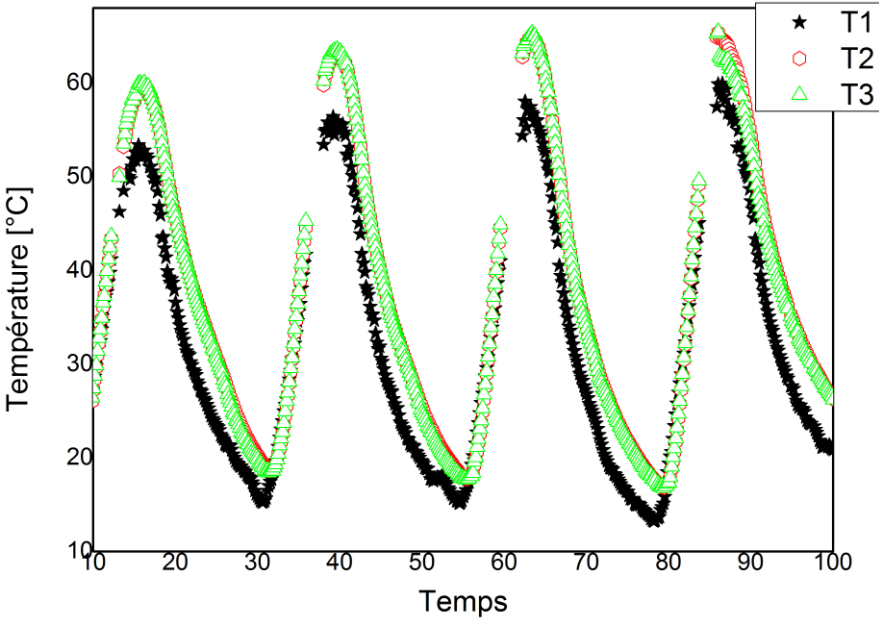


Figure III.9: Température du distillateur en fonction de temps pour les journées 12 et16Avril

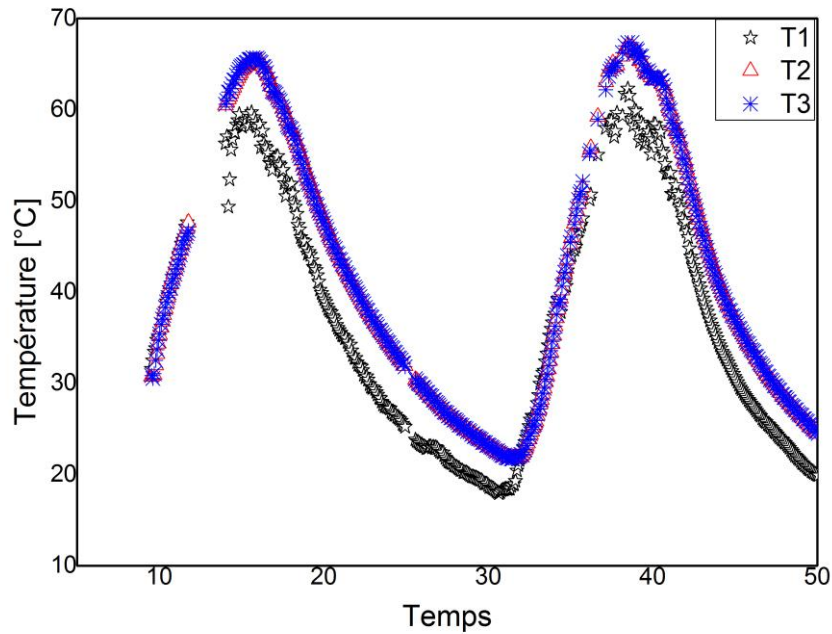


Figure .III.10 : Température du distillateur en fonction de temps pour la journée 18-04- 2017

Les figures : 07, 8, 9 et 10 représentent la variation de température des différentes composantes du distillateur solaire en fonction de temps.

On observe que la température atteint la valeur de 68°C (maximale) à midi puis il diminue, la température suit l'évolution du rayonnement solaire (sous forme d'une cloche), la même chose pour la 2^{ème} journée.

Tableau N°5: production du distillateur durant la période diurne et nocturne pour la journée du 10 Avril 2017

Production journalière du 10 avril 2017				
Temps	Distillateur vitre5mm		Distillateur vitre4mm	
	9h10	02	01	06
10h11	15	42	32	37
11h12	70	75	74	73
12h13	129	133	133	132
13h14	207	209	209	192
14h15	211	213	228	206
15h16	236	233	258	245
Totale	1776		1844	
Production nocturne	1270		1740	
Production nocturne total	3010			
Production journalière totale	6630			

Le Tableau N°5 représentent la production journalière des deux distillateurs pour la journée du 10 Avril 2017. La production maximale est atteinte à midi (469 et 503 mm) pour le distillateur avec vitrage d'peseur 5 et 4mm respectivement.

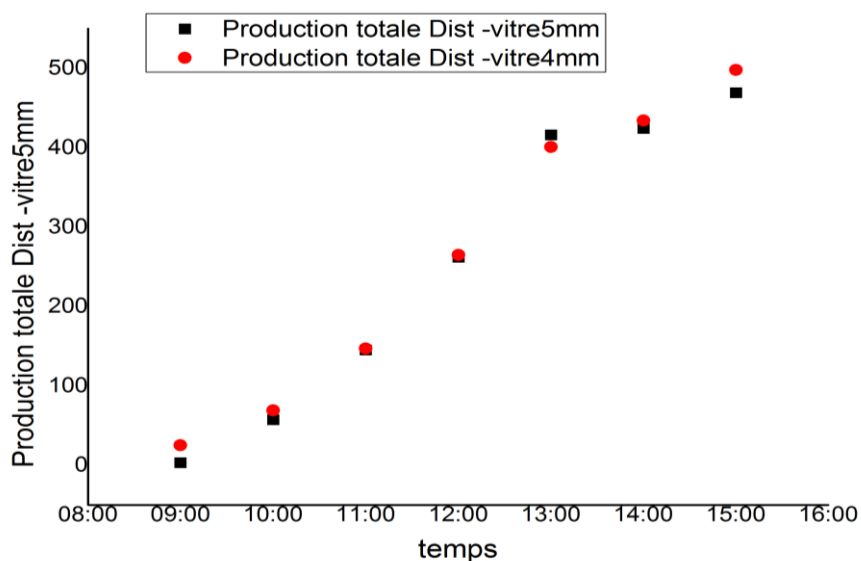


Figure .III.11 : la variation de la production de l'eau pour la journée du 10 Avril 2017 du distillateur solaire en fonction d'horaire

Tableau N°6: production du distillateur durant la période diurne et nocturne pour la journée du 11 Avril 2017

Production journalière du 11 avril 2017				
Temps	Distillateur vitre5mm		Distillateur vitre4mm	
	[ml]		[ml]	
8h9	02	0.5	06	08
9h10	01	0.2	04	12
10h11	03	12.5	24	33
11h12	60	90	75	80
12h13	120	140	130	125
13h14	212	225	235	220
14h15	229	235	229	215
15h16	245	280	290	260
Totale	1855.2			1946
Production nocturne	1030			1400
Production nocturne total	2430			
Production journalière totale	6231.2			

Le Tableau N°6 représentent la production journalière des deux distillateurs pour la journée du 11 Avril 2017. La production maximale est atteinte à midi (525 et 550 mm) pour le distillateur avec vitrage d'peseur 5 et 4mm respectivement.

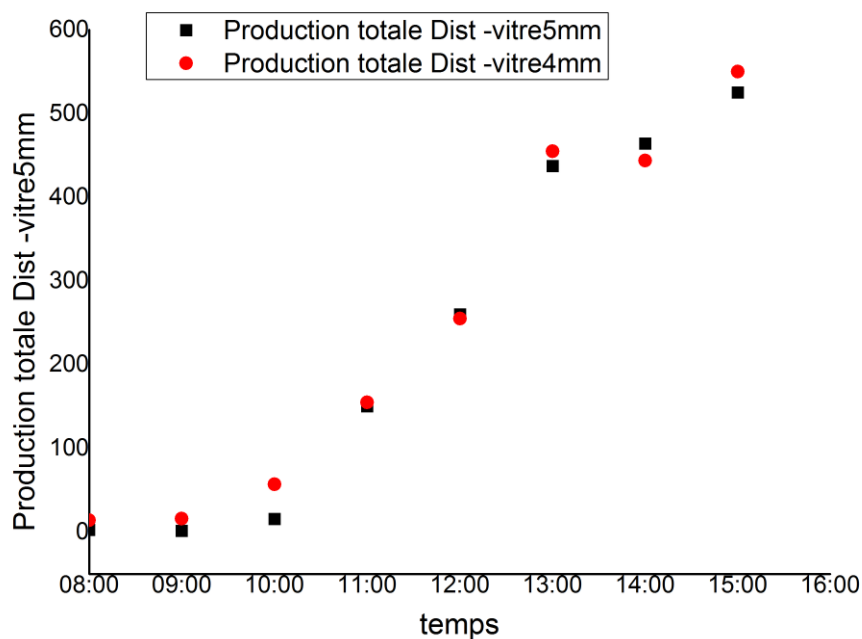


Figure III.12 : Variation de la production de l'eau pour la journée du 16 Avril 2017 de du distillateur solaire en fonction d'horaire

Tableau N°7: production du distillateur durant la période diurne et nocturne pour la journée du 16 Avril 2017

Production journalière du 16 avril 2017				
Temps	Distillateur vitre5mm		Distillateur vitre4mm	
	[ml]		[ml]	
9h10	0	2	26	50
10h11	28.5	50	120	122
11h12	90	108	240	260
12h13	212	232	190	200
13h14	300	320	310	350
14h15	300	280	380	380
15h16	380	390	320	310
Totale	2692.5		3258	
Production nocturne				
Production nocturne total				
Production journalière totale	5950.5			

Le Tableau N°7 représentent la production journalière des deux distillateurs pour la journée du 16 Avril 2017. La production maximale est atteinte à midi (770 et 630 mm) pour le distillateur avec vitrage d'peseur 5 et 4mm respectivement.

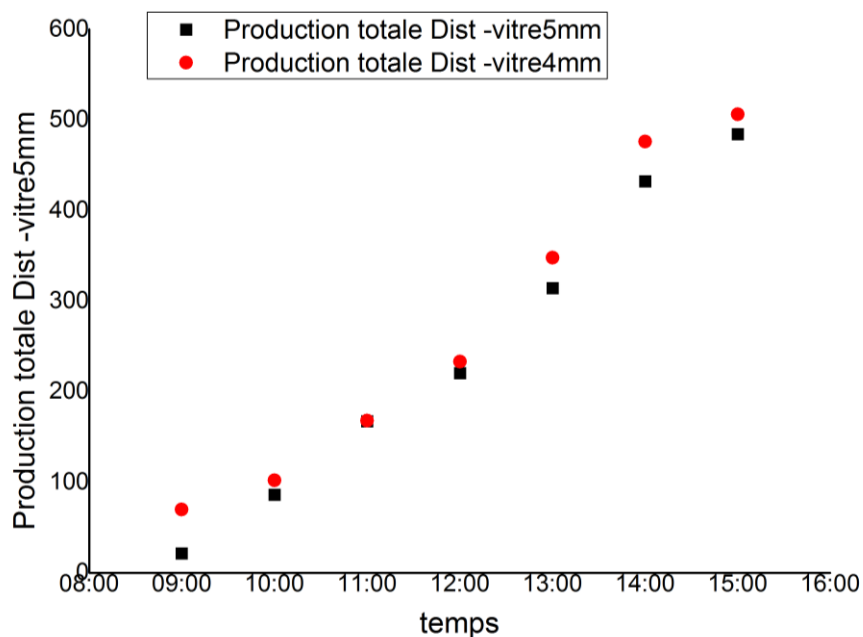


Figure .III.13: Représentent la variation de la production de l'eau pour la journée du 16 Avril 2017 du distillateur solaire en fonction d'horaire

Tableau N°8: production du distillateur durant la période diurne et nocturne pour la journée du 18 Avril 2017

Production journalière du 18 avril 2017				
Temps	Distillateur vitre 5mm		Distillateur vitre 4mm	
	[ml]		[ml]	
9h10	5	32	5	14.5
10h11	94	124	28	40
11h12	308	390	90	120
12h13	220	230	204	220
13h14	340	350	300	325
14h15	410	400	280	270
15h16	320	320	370	360
Totale	3543		2626.5	
Production nocturne	1080		1370	
Production nocturne total	2450			
Production journalière totale	8619.5			

Le Tableau N°8 représentent la production journalière des deux distillateurs pour la journée du 18 Avril 2017. La production maximale est atteinte à midi (640 et 730 mm) pour le distillateur avec vitrage d’peseur 5 et 4mm respectivement.

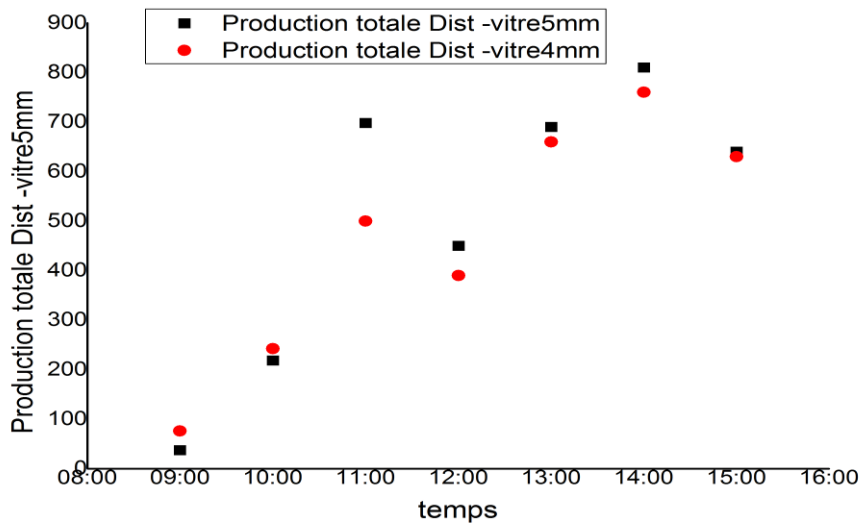


Figure .III.14: Représentent la variation de la production de l’eau pour la journée du 18 Avril 2017 de différentes composantes du distillateur solaire en fonction d’horaire

Tableau N°9: production du distillateur durant la période diurne et nocturne pour la journée du 20 Avril 2017

Production journalière du 20 avril 2017				
Temps	Distillateur vitre5mm		Distillateur vitre4mm	
	[ml]	[ml]	[ml]	[ml]
8h9	6.5	23	12	28
9h10	78	24	62	86
10h11	198	230	151	172
11h12	320	360	300	310
12h13	380	350	330	340
13h14	340	300	340	320
14h15	240	178	320	310
15h16	58	56	216	232
Totale	2934.5		3529	
Production nocturne	1030		1400	
Production nocturne total	2430			
Production journalière totale	8893.5			

Le Tableau N°9 représentent la production journalière des deux distillateurs pour la journée du 10 Avril 2017. La production maximale est atteinte à midi (114 et 448 mm) pour le distillateur avec vitrage d'espaisseur 5 et 4mm respectivement.

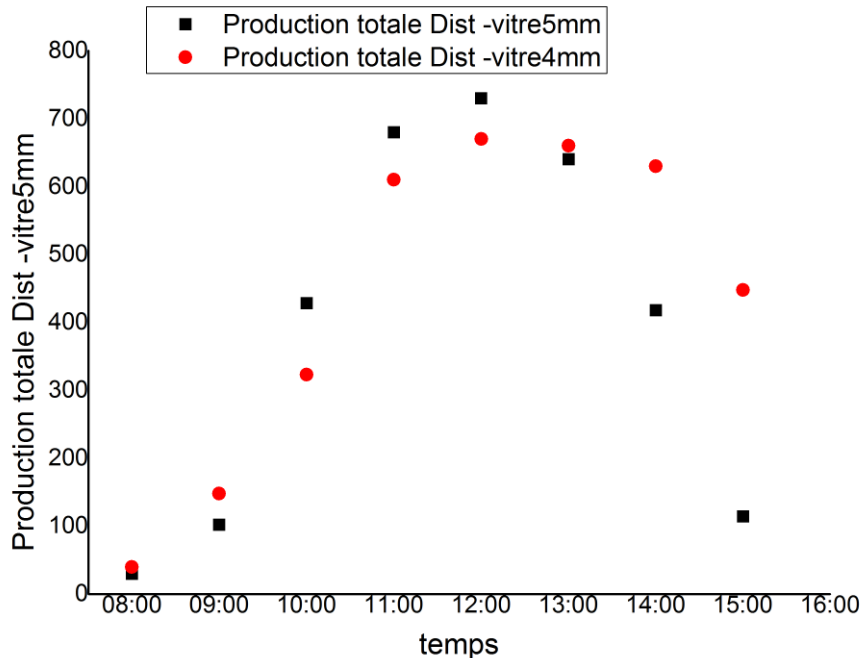


Figure .III.15: Représentent la variation de la production de l'eau pour la journée du 20 Avril 2017 du distillateur solaire en fonction d'horaire

La figure 11, 12, 13, 14 et 15 représente la variation temporelle de la production d'eau distillé produite, on observe que la quantité d'eau distillé produite est proportionnel à la température c.-à-d. sui l'évolution du rayonnement solaire, la production du prototype atteins 800ml à 13^h:30, c'est la valeur maximal qui corresponde a une intensité du rayonnement solaire maximale dans cette période, les fluctuations sont au passage nuageux. Avec une production nocturne total considérable qui atteint 2430 ml pour la journée du 20 Avril 2017 et 3010 ml pour la journée du 10 Avril 2017, en absence du rayonnement solaire ce qui signifie l'existence du stockage d'énergie thermique.

III.3.Comparaisons :

Les résultats théorique sont proches des résultats expérimentaux. Enfin, le modèle mathématique nous a permis de prédire la production du distillateur.

La production du distillateur avec vitrage d'épaisseur 4mm est plus élevée du distillateur avec vitrage d'épaisseur 5mm. ; Ce qui nous a permis de déduire que le distillateur avec couverture transparente d'épaisseur (4mm) est le meilleur.

La production du distillateur est entre 6 ~ 9 (l /j/m²).

Finalement nous proposons comme perspective d'étudier prochainement le montage de plusieurs distillateurs en serré pour augmenter la productivité en eau distillait.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude théorique et expérimentale d'un distillateur solaire. Deux distillateurs solaires hot box de même configuration avec couvertures transparentes différentes épaisseurs (vitrage 4 et 5 mm d'épaisseur), ont été choisis.

Après avoir établi les bilans thermiques globaux en régime stationnaire, puis la résolution des Systems d'équation par la méthode de GAUSS-SEIDEL. Afin de calculer la température au niveau de chaque composant du distillateur.

Le montage des prototypes expérimentaux et la récolte des données.

Une comparaison entre les résultats théorique et expérimentaux.

Le distillateur avec couverture transparente de 4mm a une production plus élevée que celle de 5mm, se qui s'explique par sa faible inertie thermique.

La production journalière est limitée de 6 à 8 l/ m²/j. On constate que la production de distillat suit l'évolution du rayonnement solaire sous forme d'une cloche, il atteint la valeur maximale de 760 ml du 14^h à 15^h.

Référence bibliographique

Référence bibliographique :

[1] Mandi Benaissa .Analyse thermo énergétique d'une procède de dessalement d'eau de mer par voie solaire, Diplôme memoire Magister en physique.2013.

[2] Géométrie solaire sur site Internet. [Http://www.outilssolaires.com/Glossaire/spin geometrie.htm](http://www.outilssolaires.com/Glossaire/spin_geometrie.htm) (Consulté le 22/05/2009).

[3] S, SOUAD. Effet des Paramètres opérationnels sur les Performances d'un capteur solaire plan. /2010,

[4] J.A. Duffie and W.A. Beckman, 'Solar Engineering of Thermal Processes', 3rd Ed. John Wiley and Sons, 2006. [1] J, Bernard. Energies solaire calculus et optimization, Ellipse –

[5] A.Zeroual,contribution à l'teude statistique et stochastique des données solaire ausite de Marrakech,Diplôme d'étude supérieur de 3^{eme} cycle sience physiques,sécialité traitement du signal,Université CADI AYYAD .1988.

[6] LABOURET, A. CUMMUNEL, P. BAUM, J. FARAGGI, B. *Cellules solaires les bases de l'énergie, photovoltaïque*, Edition techniques et scientifique française (2005).

[7] Z, Sen. Solar energy fundamentals and modeling techniques, Springer. (2008).

[8] MEZIANI ,Fariza.Dètermination du solaire par traitement d'images MSG

[9] Cheknane Ali, Introduction au gisement solaire algérien, Université Amar Telidji

[10] Salima KARROUTE, Etude théorique et numérique des systèmes couples : Distillateur plane-capteur et distillateur HOT BOX-CAPTEUR, Mémoire magister en physique .2009

[11] Mohamed Lakhdar LOUAZENE, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ouargla, Mémoire de Magister.2008

[12] M. Caderou, « Atlas solaire de l'Algérie », Office des publications universitaire

Référence bibliographique

Tome 1' Tome 2, Algérie 1986.

[13] Houcine MOUNGAR, Modélisation et expérimentale d'un distillateur solaire couplé à un condenseur, Mémoire de magistère .2012.

[14] Station NEAL Adrar.

[15] BOUTEBILA Hichem, Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole, Mémoire doctorat, 08/07/ 2012.

[16] GALUS.C; « Les techniques de dessalement de l'eau de mer prennent de l'essor, extrait du Monde. (2000). p.24.

[17] FEDALI SAIDA : « Modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas cout pour les communautés rurales » mémoire de magister en mécanique, p71, 2008.

[18] A.harmim et M.Boukar, Production nocturne d'un distillateur solaire couplé à un capteur plan en milieu saharien, Rev. Energ.Ren.:valorisation. (1999). 91-96.

[19] N. Boukezaza, A.chaker et Z.Haddad, Influence de l'irradiation globale sur les caractéristique de fonctionnement d'un distillateur solaire, Revue des énergies renouvelables ICRESD-07 Tlemcen. (2007).229-234.

[20] Souad KAROUT.des pertes théorique des systèmes de dessalement par voie solaire, Mémoire magister.2009.