



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMEN

# THÈSE

Présentée à :

**FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE**

**Pour l'obtention du diplôme de :**

**DOCTORAT EN SCIENCE**

**Spécialité: PHYSIQUE**

**ENERGIES RENOUVELABLES**

**Par :**

**Mr MANDI BENAÏSSA**

**Sur le thème**

---

**Modélisation, Simulation et Analyse du Comportement  
Thermo- énergétique d'un Projet de Distillateur Solaire  
A effet De serre, Projection Industrielle**

---

**Soutenue publiquement le 24 / 09 / 2019    Devant le jury composé de :**

<b>M<sup>me</sup> K.RAHMOUNE</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. N.E BIBITRIKI</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>Mr B.DRAOUI</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Bechar</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr.N.E. BENMOUSSA</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Tlemcen</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr M.E.BOUCLI HACENE</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Sidi- Bel-Abbès</b>	<b>Examineur</b>

*Unité de recherche de matériaux et des énergies renouvelables  
(U.R.M.E.R)*

## Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots  
qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,  
L'amour, le respect, la reconnaissance...

Aussi, c'est tout simplement que

Je dédie ce modeste travail

A notre Prophète Mohamed (alih salet wa salam)

A la mémoire de mon père

A ma mère, j'espère que vous êtes tout simplement fière  
de moi

A ma femme, pour son soutien et sa patience surtout  
dans les moments difficiles

Je le dédie également :

-A mes fils abd elillah , abd elrrahmane, Maria et  
Nour el yakine

-A mes sœurs et mes frères et à tous ma famille

Je le dédie à mes amies les plus proches et surtout à  
tout ce qui me sont chers.

## REMERCIEMENTS

---

### REMERCIEMENTS

*Au début, je remercie Dieu tout puissant, qui m'a donné la capacité et la patience de travailler.*

*Mes premiers remerciements Après notre Dieu tout puissant, s'adressent à mon encadreur, Mr BIBI-TRIKI Professeur à l'Université de Tlemcen, pour la qualité de son encadrement, ses compétences, ses conseils, sa disponibilité et ses qualités humaines qui m'ont permis de mener à bien cette thèse.*

*Je tiens à remercier très sincèrement Madame, K.RAHMOUNE Professeur à l'Université de Tlemcen, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider ce jury.*

*Je remercie également Monsieur, B.DRAOUI Professeur à l'Université de Béchar pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail et qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.*

*Je tiens à remercier très sincèrement Monsieur, N.E. BENMOUSSA. Professeur à l'Université de Tlemcen pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail.*

*Je tiens à remercier très sincèrement Monsieur, M.EL AMINE.BOUCLI HACENE. MCA à l'Université de Sidi-Bel-Abbès pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'expertiser ce travail.*

*Je tiens à remercier très sincèrement Messieurs, le Docteur DIDI FAOUZI et AKERMI Mustapha.*

## Résumé

---

### Résumé :

Dans ce modeste travail on a étudié des systèmes de distillation d'eau. Les systèmes sont divisés en trois modèles pour avoir une amélioration de rendement avec un coût faible dans diverses conditions climatiques. Physical thermos performances and their positive or negative effect on the operation of distillers have been studied. Le premier modèle est un distillateur passif à effet de serre couplé avec un générateur photovoltaïque possède des batteries stationnaires qui assurent le maximum de la puissance électrique. L'énergie électrique est convertie à l'énergie thermique pour élever la température du distillateur passif via des résistances électriques. Le deuxième modèle est constitué d'un distillateur passif et un générateur photovoltaïque (système hybride) couplé avec un concentrateur cylindro parabolique solaire. Le concentrateur sert à amplifier les caractéristiques thermiques et améliore la productivité et la performance du distillateur. Le troisième modèle est divisé en trois parties : le premier est un distillateur passif couplé avec un générateur photovoltaïque autonome, et le deuxième est un capteur cylindro parabolique, le troisième est un système de stockage d'énergie électrique. Le dernière modèle est caractérisé par la distillation d'eau pendant la nuit. Cette distillation est basée sur l'énergie électrique stockée via des batteries pendant la journée, qui convertit en énergie thermique pour évaporer l'eau.

---

### Abstract:

In this modest work we have studied systems of water distillation. The systems are divided into three models to have a performance improvement with low cost under various climatic conditions. Physical thermos performances and their positive or negative effect on the operation of distillers have been studied. The electrical energy is converted to thermal energy to raise the temperature of the passive distiller via electrical resistors. The second model consists of a passive distiller and a photovoltaic generator (hybrid system) coupled with a solar cylindro concentrator. The concentrator serves to amplify the thermal characteristics and improves the productivity and performance of the distiller. The third model is divided into three parts: the first is a passive distiller coupled with an autonomous photovoltaic generator, and the second is a parabolic cylindro sensor, the third is an electrical energy storage system. The last model is characterized by the distillation of water during the night. This distillation is based on the electrical energy stored via batteries during the day, which converts into thermal energy to evaporate water.

---

### خلاصة:

في هذا العمل المتواضع قمنا بدراسة أنظمة تحليط المياه في ظل الظروف المناخية المختلفة وتأثيرها الإيجابي أو السلبي على تشغيل المقطر. هذه الأنظمة مقسمة إلى ثلاثة مشاريع لتحسين كفاءة و إنتاج المقطر مع إمكانية خفض التكلفة ، النظام الأول مقطر يعتمد على ظاهرة الانحباس الحراري مقترنا مع مولد كهربائي ضوئي لديه بطاريات ثابتة التي تحافظ على الطاقة القصوى أوفي حالة ضعف الأشعة الشمسية أو تكون غير كافية بسبب السحاب أو الظلال. يتم تحويل هذه الطاقة الكهربائية إلى الطاقة الحرارية التي ترفع درجة حرارة جهاز التقطير السلبي عن طريق المقاومات الكهربائية. يتألف النظام الثاني من مقطر الانحباس الحراري مقترنا مع مولد كهربائي ضوئي لديه بطاريات ثابتة (نظام هجين) إلى جانب مكثف شمسي (قطع مكافئ) لتضخيم الخصائص الحرارية للتقطير الهجين وتحسين أداء التقطير على أساس الطاقة الحرارية الشمسية والكهربائية. ينقسم المشروع الثالث إلى ثلاثة أجزاء: الأول مقطر الانحباس الحراري مقرونا بمولد ضوئي ذاتي مستقل ، والثاني هو مركز أشعة الشمس (القطع المكافئ) ، والثالث هو نظام تخزين الطاقة الكهربائية التي ينتجها النظام الكهروضوئي لغرض إطالة وقت التقطير المائي أثناء الظلام. يعتمد هذا النظام مباشرة على الطاقة الكهربائية المخزنة في البطاريات خلال النهار والتي تتحول إلى طاقة حرارية لتبخير الماء داخل المقطر السلبي. مع دراسة إمكانية تقطير المياه معتدلة الملوحة أثناء غياب الإشعاع الشمسي أي مدة 24 ساعة اعتمادا على الطاقة الشمسية فقط وإمكانية رفع قدرة الإنتاج مع تكلفة منخفضة

# Nomenclatures

### Système Photovoltaïque :

EAC: énergie consommée en	CA (Wh)
EDC: énergie consommée en courant continu	(Wh)
Pi: Puissance nominale	(W)
tdi: Temps d'utilisation quotidien	(h)
ET: Energie réelle requise par le système (consommation)	(Wh)
hBAT: Performances de la batterie	
hINV: retours investisseurs	
E <sub>T</sub> : Énergie réelle requise	(Wh)
P <sub>p</sub> : pic de puissance du module	(W / kW / m <sup>2</sup> )
G <sub>mb</sub> : Radiation globale sur une surface inclinée un angle b	(kWh / m <sup>2</sup> )
P <sub>G</sub> : Facteur de perte global (varie généralement entre 0,65 et 0,9)	
N <sub>s</sub> : nombre de modules en série par branche	
V <sub>m</sub> : tension nominale des modules	(V)
C <sub>n</sub> : capacité nominale de la batterie	(Wh ou Ah)
E <sub>T</sub> : Énergie réelle requise	(Wh)
P <sub>d</sub> : Profondeur maximale de la décharge de la batterie	
V <sub>bat</sub> : tension nominale de la batterie	(V)
I <sub>G</sub> : Courant produit par le générateur	(A)
I <sub>R</sub> : Courant produit par chaque branche en parallèle du générateur	(A)
N <sub>R</sub> : Nombre de branches en parallèle du générateur	
P <sub>p</sub> : Puissance maximale du module photovoltaïque	(W)
h <sub>m</sub> : performance du module	
V <sub>m</sub> : Tension nominale des modules	(V)
IC: courant qui consomme la charge	(A)
PDC: chargez la puissance dans DC	(W)
V <sub>bat</sub> : Tension nominale de la batterie	(V)
PAC: charge la puissance dans AC	(W)
P <sub>PC</sub> : Pertes de puissance chez les conducteurs	(W)
I: Courant traversant les conducteurs	(A)
R <sub>C</sub> : Résistance ohmique des conducteurs	(W)
r: Résistivité du pilote	(W · mm <sup>2</sup> / m)
L: Longueur des conducteurs	(m)
S: section transversale du conducteur	(mm <sup>2</sup> )

## Nomenclatures

---

DC : Convertisseur de courant continu	A
DC Convertisseur de courant continue	A
AC Convertisseur de courant alternatif	A
DC/AC Convertisseur bidirectionnel	
Stc Condition de production nominale de panneau solaire	1000w/m <sup>2</sup> à25 °C
Pc Puissance crête	w/m <sup>2</sup>
E Energie électrique	J
N(h) Nombre d'heure	-
Cp Capacité de perte	Ah
In Courant nominal	A
Wt Energie	W
Energie quotidienne	W
Cb1 Capacité d'élément de batterie	Ah
Ub1 Tension d'élément de batterie	V
C1 Capacité de stockage	Ah
Cs Capacité de sécurité	Ah

## Concentrateur cylindro-parabolique (CCP) :

$q_{\text{absorbé}}$  : Quantité de chaleur absorbée au niveau du tube absorbeur.

$q_{\text{utile}}$  : Quantité de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et le fluide.

$q_{\text{interne}}$ : Quantité de chaleur interne (convection + conduction) dans l'espace annulaire entre l'absorbeur et la vitre.

$q_{\text{externe}}$  : Quantité de chaleur perdue vers l'extérieur (convection + conduction) entre la vitre et le milieu ambiant.

$D_{A,i}$  : Diamètre interne de l'absorbeur.

$D_{A,e}$  : Diamètre externe de l'absorbeur.

$D_{V,i}$  : Diamètre interne de la vitre, (ou l'enveloppe transparente).

$D_{V,e}$  : Diamètre externe de la vitre.

$T_F$  : Température du fluide.

$T_A$  : Température de l'absorbeur.

$T_V$  : Température de la vitre.

$\dot{V}$  : Débit volumique.

$f$ : la distance focale.



## Nomenclatures

---

$\lambda$  : est la longueur du spectre de longueur d'onde.  
 $\rho_F$  : Densité du fluide.  
 $c_F$  : Chaleur spécifique du fluide.  
 $\rho_A$  : la densité de l'absorbeur  
 $c_A$  : la chaleur spécifique de l'absorbeur.  
 $A_A$  : la surface de l'absorbeur.  
 $\rho_V$  : est la densité du vitrage.  
 $c_V$  : est la chaleur spécifique du vitrage.  
 $k_F$ : est la conductivité thermique du fluide..  
 $N_u$  : étant le nombre de Nusselt,  
 $k_F$ : est la conductivité thermique du fluide  
 $\mu_F$  : la viscosité dynamique du fluide.  
 $P_{rF}$  : étant le nombre de Prandtl  
 $\nu_F$  : La viscosité cinématique défini par :  
 $\alpha_F$ : est la diffusivité thermique du fluide :  
 $\sigma$ : est la constante de Stefan Boltzmann  
 $\varepsilon_A$  : est l'émissivité de l'absorbeur.  
 $\varepsilon_V$  : est l'émissivité du vitrage.  
 $g$  : est la gravité ( $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$ ).  
 $B_{\text{air}}$  : le coefficient de dilatation thermique volumétrique de l'air.  
 $\rho_m$  : Facteur de réflectance du miroir.  
 $\alpha$  : Coefficient de l'absorption du tube de l'absorbeur.  
 $\tau$  : Coefficient de transmission de la couverture.  
 $K$ : Angle incidence modifié.  
 $e_g$  : épaisseur de l'enveloppe transparente en verre.  
 $h_v$  : coefficient du transfert de chaleur du au vent.  
 $K_V$  : conductivité thermique du verre.  
 $\varepsilon_A$  : émissivité du tube absorbeur.  
 $\varepsilon_V$ : émissivité de l'enveloppe transparente en verre.

### **Distillateur à effet de serre :**

$A_i$	Surface d'un corps d'indice $i$	$\text{m}^2$
$a$	Diffusivité thermique du corps	$\text{m}^2/\text{s}$
$C_{pi}$	Chaleur massique à pression constante	$\text{j}/\text{Kg. } ^\circ\text{k}$

## Nomenclatures

---

$E_i$	Epaisseur du corps	M
$G$	Accélération de la pesanteur	$m/s^2$
$h^c_{ij}$	Coefficient d'échange thermique par convection	$W/m^2 \cdot ^\circ k$
$h^{ev}_{ij}$	Coefficient d'échange thermique par évaporations	$W/m^2 \cdot ^\circ k$
$h^{cd}_{ij}$	Coefficient d'échange indicées thermique par conduction	$W/m^2 \cdot ^\circ k$
$h^r_{ij}$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement	$W/m^2 \cdot ^\circ k$
$I_g$	Rayonnement global incident	$W/m^2$
$M_i$	Masse du corps d'indice i	Kg/s
$L_v$	Chaleur latente de vaporisation	Kj/Kg
$P^{si}_v$	Pression de la vapeur d'eau à la température du vitrage intérieur	Pa
$P^w_v$	Pression de la vapeur d'eau à la température de la saumure	Pa
$P_i$	Puissance solaire absorbée par le corps d'indice i	$W/m^2$
$q^c_{i-j}$	Flux de chaleur échangé par convection entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
$q^r_{i-j}$	Flux de chaleur échangé par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
$q^{ev}_{i-j}$	Flux de chaleur échangé par évaporation entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
$q^{cd}_{i-j}$	Flux chaleur échangée par conduction entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
$q_{gi}$	Flux de chaleur échangé entre la vitre et l'intérieur	W
$q_{ge}$	Flux de chaleur échangée entre l'isolant et l'extérieur	W
$T_i$	Température du corps d'indice i	$^\circ k$
$V$	Vitesse du vent	m/s
$\alpha$	Coefficient d'absorption	-
$\beta$	Inclinaison de la vitre	$^\circ$
$\varepsilon$	Emissivité	-
$\eta$	Efficacité	%
$\lambda$	Conduction thermique	$W/m \cdot ^\circ k$
$\mu$	Viscosité dynamique	kg/m.s
$\nu$	Viscosité cinématique	$m^2/s$
$\rho$	Masse volumique	$kg/m^3$
$\tau$	Coefficient de transmission	-
A	Air ambiant	-
B	Bac absorbant	-
C	Ciel	-
G	Vitre (glass)	-
Gi	Vitrage intérieur	-

## Nomenclatures

---

Ge	Vitrage extérieur	-
Is	Isolant	-
Isi	Isolant intérieur	-
Ise	Isolant extérieur	-
W	Eau (water)	

LISTE DES TABLEAUX

# LISTE DES TABLEAUX

---

## **Chapitre I :**

Tableau. I.1. Salinité moyenne des océans et des mers de la planète

## **Chapitre II :**

Tableau. II.1. Durée moyenne d'ensoleillement

Tableau. II.2. Le quantième du jour de l'année

Tableau. II.3. Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique

Tableau. II.4. Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

Tableau. II.5. Valeurs de l'albédo du sol ( $\rho$ )

Tableau. II.6. Classification en fonction du facteur de concentration

## **Chapitre III :**

Le tableau.III.1. Évaluation des différentes caractéristiques des méthodes de dessalement

## **Chapitre IV :**

Tableau. IV.1 Analogie entre les grandeurs thermiques et grandeurs électriques

## **Chapitre V :**

Tableau .V.1. Latitude et longitude des lieux

Tableau .V.2. Paramètres du capteur cylindro parabolique

Tableau .V.3. Propriétés optiques des matériaux

Tableau .V.4. . Coût et puissance des éléments électriques

Tableau .V.5. Caractéristiques électriques de panneaux solaires

LISTE DES FIGURES

# LISTE DES FIGURES

---

## Chapitre I :

- Fig. I.1. Distribution de l'eau sur terre
- Fig. I.2. Croissance actuelle prévue du marché du dessalement à travers le monde. [87]
- Fig. I.3. La consommation mondiale d'eau
- Fig. I. 4. Superficie équipée pour l'irrigation en pourcentage des terres cultivées par pays.

## Chapitre II :

- Fig. II.1. Rayonnement solaire reçu par Terre
- Fig. II.2. Répartition annuelle moyenne de l'irradiance solaire sur la surface de la Terre.
- Fig. II.3. Zenith, Altitude Azimuth.
- Fig. II.4. Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil [92]
- Fig. II.5. Les coordonnées géographiques
- Fig. II.6. Les coordonnées horaires
- Fig. II.7. Les coordonnées horizontales
- Fig. II.8. Mouvement de soleil et l'angle  $w$
- Fig. II.9. Représentation des vecteurs unitaires
- Fig. II.10. Cellule Photovoltaïque.
- Fig.11. Symbole du panneau solaire et son caractéristique Courant - tension [CHAVARRIA 2010].
- Fig. II.12. Les différents modules solaires.
- Fig. II.13. Interconnexion des modules photovoltaïques série - parallèle.
- Fig. II.14. Apparence des maximales de puissance locale.
- Fig. II.15. Collecteur plat pour l'air
- Fig. II.16. Capteur en tubes à vide
- Fig. II.17. Les premières centrales électriques paraboliques en Europe. Les plus grandes centrales solaires au monde - Andasol 1 à 3
- Fig. II.18. Schéma du suivi solaire vers un axe d'un CCP
- Fig. II.19. Diagramme d'un disque parabolique
- Fig. II.20. Diagramme d'un STC

## Chapitre III :

- Fig. III.1. Distillation multi flashe
- Fig. III.2. Schéma de dessalement d'évaporation multi-effets
- Fig. III.3. Processus d'électrodialyse.
- Fig. III.4. Distillation par compression de vapeur.
- Fig. III.5. Diagramme d'un distillateur solaire.
- Fig. III.6. Schéma d'un distillateur solaire

## LISTE DES FIGURES

---

- Fig. III.7. Des variantes Formes de base d'alambics solaires [9]  
Fig. III.8. Distillateur solaire avec un toit en plastique  
Fig. III.9. Distillateur solaire pliable Léger  
Fig. III.10. Distillateur à tube concentrique horizontal solaire  
Fig. III.11. Distillateur à haute performance  
Fig. III.12. Type cylindrique parabolique [122]  
Fig. III.13. Stationnaire double bassin avec de l'eau qui coule sur le bassin supérieur  
Fig. III.14. Mèche inclinée solaire  
Fig. III.15. Simple distillateur solaire. [8]  
Fig. III.16. Distillateur à simple gouttière  
Fig. III.17. Distillateur double pente.  
Fig. III.18. Distillateur solaire cascade.  
Fig. III.19. Distillateur sphérique solaire  
Fig. III.20. Distillateur hybride PV/T  
Fig. III.21. Couplage entre l'éclairage solaire conventionnel et un film capillaire solaire.  
Fig. III.22. Distillation au moyen d'un concentrateur solaire parabolique  
Fig. III.23. Distillateur solaire à mèche  
Fig. III.24. Distillateur solaire vertical  
Fig. III.25. Distillateur solaire à cascade mobile.

### **Chapitre IV :**

- Fig. IV.1. Fonctionnement d'un capteur cylindre-parabolique.  
Fig. IV.2. Dimensions relatives d'un concentrateur cylindre-parabolique.  
Fig. IV.3. Différentes surfaces caractérisant d'un CCP.  
Fig. IV.4. Angle incidence d'un capteur solaire  
Fig. IV.5. Schéma d'un élément du tube absorbeur.  
Fig. IV.6. Bilan thermique d'un élément de surface du collecteur cylindre parabolique  
Fig. IV.7. Schématisation du modèle du capteur solaire  
Fig. IV.8. Bilan énergétique d'un distillateur solaire plan( à effet de serre)  
Fig. IV.9. Distillateur hybride  
Fig. IV.10. Distillateur hybride avec un Ccp  
Fig. IV.11. Distillateur hybride avec un Ccp et générateur autonome

### **Chapitre V :**

- Fig. V.1. Variation temporelle des puissances solaires  
Fig. V.2. Variation temporelle des températures du distillateur



## LISTE DES FIGURES

---

- Fig. V.3. Variation temporelle de la température ambiante et de ciel
- Fig. V.4. Variation temporelle de la température engendrée par le générateur PV
- Fig. V.5. Variation de la production du distillateur en fonction de la conductivité de la saumure
- Fig. V.6. Variation de la production du distillateur en fonction de la conductivité thermique de l'air
- Fig. V.7. Variation de la production en fonction de la chaleur latente
- Fig. V.8. Variation de la production en fonction de la masse volumique
- Fig. V.9. Variation temporelle de la masse volumique du distillateur
- Fig. V.10. Variation temporelle de la viscosité dynamique de la saumure
- Fig. V.11. Variation temporelle de la conductivité thermique de la saumure
- Fig. V.12. Variation temporelle de l'efficacité globale du distillateur hybride
- Fig. V.13. Variation temporelle de l'efficacité interne
- Fig. V.14. Variation temporelle du facteur de la performance du distillateur hybride
- Fig. V.15. Variation temporelle de la chaleur latente du distillateur
- Fig. V.16. Effet de l'inclinaison sur la production du distillateur
- Fig. V.17. Effet de vitesse de vent sur la production du distillateur
- Fig. V.18. L'effet de trouble atmosphérique sur la production du distillateur
- Fig. V.19. Effet de l'épaisseur du film d'eau sur la production du distillateur hybride
- Fig. V.20. Variation temporelle de la production du distillateur hybride sous l'effet de la résistance
- Fig. V.21. Variation temporelle de la production durant les quatre mois de l'année
- Fig. V.22. Variation temporelle de la production du distillateur hybride
- Fig. V.23. Variation temporelle de la production dans différentes régions
- Fig. V.24. Variation temporelle d'irradiation solaire dans la région d'Adrar et Annaba, Tlemcen, Alger
- Fig. V.25. Variation des températures des éléments du distillateur hybride couplé avec un CCP
- Fig. V.26. Variation temporelle de la température des éléments de ccp
- Fig. V.27. Variation temporelle de la masse volumique du distillateur
- Fig. V.28. Variation temporelle de la chaleur latente du distillateur hybride couplé avec un CCP
- Fig. V.29. Variation temporelle de la chaleur spécifique du distillateur avec un CCP
- Fig. V.30. Variation temporelle de la Conductivité thermique du distillateur hybride couplé avec un Ccp
- Fig. V.31. Variation temporelle de la viscosité dynamique du distillateur hybride avec CCP
- Fig. V.32. Variation temporelle de la production du distillateur hybride couplé avec Ccp
- Fig. V.33. Variation temporelle de l'efficacité globale du distillateur hybride couplé avec Ccp
- Fig. V.34. Variation temporelle de l'efficacité interne du distillateur hybride couplé avec Ccp

## LISTE DES FIGURES

---

- Fig. V.35. Variation temporelle de la performance du distillateur hybride couplé avec CCP
- Fig. V.36. Variation temporelle de la performance des distillateurs
- Fig. V.37. Variation temporelle de la production sous l'effet du débit.
- Fig. V.38. Variation de l'efficacité interne en fonction du débit
- Fig. V.39. Variation de la température de l'eau du distillateur sous l'effet du débit
- Fig. V.40. Variation de la performance du distillateur sous l'effet du débit
- Fig. V.41. Variation temporelle de l'efficacité globale sous l'effet du débit
- Fig. V.42. Variation temporelle de la température produit par PV sous l'effet du débit
- Fig. V.43. Variation temporelle de la température de fluide Ccp sous l'effet du débit
- Fig. V.44. L'effet de la résistance électrique sur la température de l'eau  $T_w$
- Fig. V.45. L'effet de la résistance électrique sur la performance du distillateur
- Fig. V.46. L'effet de la résistance électrique sur la production du distillateur
- Fig. V.47. L'effet de la résistance électrique sur la température engendré par le générateur PV
- Fig. V.48. L'effet de la résistance électrique sur l'efficacité globale du distillateur
- Fig. V.49. Variation temporelle de la production dans les mois de l'année
- Fig. V.50. Variation temporelle de la température  $T_f$  durant les mois de l'année
- Fig. V.51. Variation temporelle de  $T_w$  durant les mois de l'année
- Fig. V.52. Variation temporelle de la production dans différentes régions
- Fig. V.53. Variation temporelle de la chaleur l'attente de l'eau
- Fig. V.54. Variation temporelle de nombre de batteries en fonction du temps de distillation
- Fig. V.55. Variation temporelle de nombre de panneaux en fonction du temps de distillation
- Fig. V.56. Variation temporelle de la puissance électrique
- Fig. V.57. Variation temporelle de la puissance thermique
- Fig. V.58. Variation temporelle de la production du distillateur hybride autonome
- Fig. V.59. Variation temporelle de la chaleur spécifique de l'eau
- Fig. V.60. Variation temporelle de l'efficacité globale
- Fig. V.61. Variation temporelle de l'efficacité interne
- Fig. V.62. Effet de la résistance électrique sur le coût d'installation
- Fig. V.63. Effet d'irradiation solaire sur le nombre de panneaux solaires
- Fig. V.64. Variation du coût en fonction de la production
- Fig. V.65. Variation temporelle de la performance
- Fig. V.66. Variation temporelle de la résistance électrique
- Fig. V.67. Effet de l'irradiation sur le coût d'installation
- Fig. V.68. Effet d'irradiation solaire sur le nombre de batterie

## LISTE DES FIGURES

---

Fig. V.69. Variation du coût en fonction du nombre de panneaux

Fig. V.70. Variation du coût en fonction du nombre de batteries

Fig. V.71. Variation temporelle du coût d'installation

Fig. V.72. Variation de la température d'eau au couché du soleil

Fig. V.73. Effet de la résistance sur la production de 18h à 24h

Fig. V.74. Variation de la température d'eau en fonction de la résistance électrique

Fig. V.75. Variation de la puissance thermique en fonction de la température de l'eau

Fig. V.76. Variation temporelle de la production du distillateur hybride couplé avec CCP et le système d'autonomie

Fig. V.77. Effet du retard de fonctionnement de l'autonomie sur la Variation temporelle de la production du distillateur hybride couplé avec un CCP et l'autonomie

Fig. V.78. Variation temporelle de la production sous l'effet des pertes thermique de CCP

Fig. V.79. Variation temporelle des distillateurs et le distillateur couplé avec le système d'autonomie

TABLE DES MATIERES

## TABLE DES MATIERES

---

### **INTRODUCTION GENERALE**

---

<b>Introduction générale</b>	1
------------------------------	---

### **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

<b>Etude bibliographique</b>	5
------------------------------	---

### **CHAPITRE I : L'EAU**

---

I.1. Source de l'eau	11
I.2. La crise de l'eau	
I.2.1. Consommation d'eau	12
I.2.2. Croissance démographique mondiale :	
I.2.3. L'eau et l'industriel	
I.2.4. Pollution des eaux de surface:	13
I.3. L'eau dans l'alimentation et l'agriculture :	
I.4. Nature d'eau	
I.4.1. Eau douce :	
I.4.2 .Eau saline	14
I.5. Eau désionisée et déminéralisée (Eau distillée, déminéralisée et déminéralisée et mesure de pureté)	
I .5.1. Déionisation:	
I .5.2. Déminéralisation	
I .5.3. Eau ultra pure	15
I.6. Conductivité de l'eau :	
I .6.1. Conductivité typique des eaux	
I.7. Qualité d'eau :	

### **CAHPITRE II : ENERGIE SOLAIRE**

---

II.1.Introduction	17
II.1.1. Le rayonnement solaire	
II.1.2. Rayonnement direct	18
II.1.3. rayonnement Global et diffus.	
II.1.4. Potentiel de l'énergie Solaire	
II.1.4. 1. Potentiel solaire en Algérie	
II.2. Gisement solaire	19
II.2.1. Mouvements de la terre	20
II.2.2. Les coordonnées célestes	

## TABLE DES MATIERES

---

II.2.2.1. Les coordonnées géographiques	
II.2.2.2. Les coordonnées horaires	21
II.2.2.3. Les coordonnées horizontales	22
II.2.3. Les temps solaires	
II.2.3.1. Le temps solaire vrai (T.S.V)	
II.2.3.2. Le temps solaire moyen (T.S.M)	23
II.2.3.3. Le temps universel (T.U)	
II.2.3.4. Le temps légal (TL)	
II.2.4. Direction des rayons solaires	24
II.3.1. Rayonnement solaire au sol	25
II.3.1.1. Rayonnement direct	
II.3.1.2. Rayonnement diffus	26
II.3.1.3. Rayonnement global	
II.4.1. Types d'énergie solaire	27
II.4.2. Énergie solaire passive	
II.4.3. Énergie solaire thermique	
II.4.4. Energie solaire photovoltaïque	
II.5.1. Le panneau ou le module photovoltaïque	
II.5.2. Modules photovoltaïques groupés	28
II. 6. Energie solaire thermique	29
II.6.1. Types Collecteurs des rayons solaire	
II.6.2. Taux de concentration	30
II.6.3. Collecteurs non concentrés	
II.6.4. Collecteurs concentrateurs	31
II.6.4. 1. Collecteur parabolique composé. CPC	32
II.6.4. 2. Collecteur cylindro-parabolique. CCP	
II.6.4. 2.1. Le Réflecteur Cylindrique Parabolique	
II.6.4. 3. Disque parabolique	33
II.6.4.4. Systèmes de tour centrale. STC	34

## CHAPITRE III : TECHNIQUE DE DESSALEMENT DE L'EAU

---

INTRODUCTION	36
III.1. Technologies de dessalement	

## TABLE DES MATIERES

---

III.2. Principes fondamentaux des procédés thermiques	
III.2. 1. Flash distillation par effet flash (MSF)	
III.2.2. La distillation multi-effets (MED)	37
III.2.3.. Distillation par membranes.	38
III.2.4. Electrodialyse (ED)	
III.2.5. Distillation par compression de vapeur MVC	39
III.3. Avantages et Inconvénients des procédés de dessalement	
III. 4. La distillation Solaire	40
III. 4.1. Distillateur solaire	
III. 4.2. Distillateur solaire à simple face	44
III. 4.3. Distillateur solaire à double pente	45
III. 4.4. Distillateur à cascade solaire	
III. 4.5. Distillateur sphérique avec Balayeuse	46
III. 4.6. Système de distillation PV hybride	47
III.4.7. Distillateur solaire à double pente couplé à un film capillaire dans le sud de l'Algérie	
III.4.8. Dessalement d'eau saumâtre au moyen d'un concentrateur solaire parabolique	48
III.4.9. Distillateur solaire a mèche	49
III.4.10. Distillateur solaire vertical	50
III.4.11. Distillateur solaire à cascades mobile	

## CHAPITRE IV : MODELISATION ET ETAT DE L'ART

---

Introduction	53
IV .1. Etude théorique générateur autonome photovoltaïque	
IV .2. Conception et dimensionnement	
IV .3. Méthodes de dimensionnement	
IV .4. Méthode proposée pour le dimensionnement du système	54
IV .5. Caractéristiques d'un concentrateur CCP	
IV .5. 1. Analyse optique théorique	
IV .5. 1.1 Facteur de concentration	55
IV .5. 1.2 Angle d'incidence	56
IV .6. Modes de transfert de chaleur dans un concentrateur	
IV .7. Méthode de réduction des pertes thermiques	57
IV .7.1. Surface sélective	
IV .8. Description du capteur cylindro-parabolique	
IV .8. 1. Bilan thermique	58

## TABLE DES MATIERES

---

IV .8. 1. 1. Bilan énergétique pour le fluide	59
IV .8. 1.2. Bilan énergétique pour l'absorbeur	60
IV .8. 1.3. Bilan énergétique de la vitre	
IV .8.2.4. L'énergie absorbée	
IV .9. Pertes de puissance thermiques	
Dans un concentrateur cylindro-parabolique	61
IV.10. Etude théorique distillateur à effet de serre	
IV.10.1. Equation des échanges thermiques	62
IV.10.2. Bilan thermique en régime permanent	63
IV.10.2.1. Distillateur à effet de serre	
a- Au niveau de la vitre	
b- Au niveau de la masse d'eau	64
c- Au niveau du bac absorbant	
d- Au niveau de l'isolant	
IV .10.3. Echange par conduction à travers l'isolant	
IV.11. Distillateur couplé avec le système photovoltaïque	65
IV.11.1. Bilan thermique en régime transitoire	
IV .11.2. Distillateur plan	
IV .11.2.1. Dans la couverture	
IV.11.2.2. Dans la saumure	66
IV .11.2.3. Dans le bac absorbant	
IV .11.2.4. Dans l'isolant	
IV.11.3. Distillateur hybride	
IV.11.3. Expression des différents coefficients d'échange thermique	
IV.11.4. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire	
IV.11.4.1. Le rendement	
IV.11.4.2. L'efficacité	
IV.11.4.3. L'efficacité globale	
IV.11.4.4. L'efficacité interne	67
IV.11.4.5. Performance	
IV.12. Etat de l'art	68

## **CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION**

---

Introduction	74
V.1. Paramètres du capteur cylindro parabolique	75
V.2. Propriétés optiques des matériaux utilisés	
V.3. Paramètres système hybride autonome avec Le capteur cylindro parabolique	
V.4. Organigramme de concentrateur cylindro parabolique	77
V.5. Organigramme système hybride avec le concentrateur cylindro-parabolique ccp	
Et le système d'autonomie	78
V.6. Résultat de simulation	80
V.6.1. Distillateur hybride	



## TABLE DES MATIERES

---

V.6.2. Distillateur hybride couplé avec un concentrateur cylindroparabolique	96
V.6.3. Distillateur hybride couplé avec un concentrateur cylindro parabolique et un générateur autonome	120

### **CONCLUSION GENERALE**

---

Conclusion générale	140
Annexe A	143
Annexe B	147
Annexe C	151
Annexe D	154

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	158
-----------------------------	-----

# Introduction Générale

# Introduction Générale

---

## **Introduction :**

L'eau et l'énergie sont deux éléments essentiels à la vie et pousse le monde moderne vers l'évolution. Dans le monde développé, l'énergie et l'eau en abondance ont stimulé son développement économique alors que dans le monde en voie de développement caractérisé par les pénuries d'eau et d'énergie ont provoqué de graves crises économiques. En 2025, les deux tiers du monde connaîtront une carence en eau (PNUE, 2012), le secteur agricole en consomme 85 % et les changements climatiques devraient réduire les précipitations de 20 % et augmenter les taux d'évaporation ce qui aggrave cette situation. Ainsi que, la situation géographique caractérisée par une répartition inégale des ressources en eau entrave ce développement [1]. L'eau joue un rôle important dans les développements sociaux économiques des nations en voie de développement, comme en Afrique, en l'Asie, le Pacifique et au Moyen-Orient.

L'eau deviendra de plus en plus rare à mesure que la population augmente dans ces régions. Il y a lieu donc d'adopter des solutions respectueuses de l'environnement. Les solutions traditionnelles ne répondent plus à nos aspirations [2]. En conséquence, la croissance démographique et le développement agroindustriel dans les pays émergents accélèrent rapidement la dégradation et l'épuisement des ressources en eau.

De nombreux chercheurs ont travaillé et continue à ce jour de publier et à chercher les solutions adéquates à cette situation préoccupante du monde future en matière d'approvisionnement en eau.

La solution la plus favorable est La distillation et le dessalement de l'eau de mer. Ces techniques sont indispensables dans la production de l'eau et dans le développement socio-économique durable.

La distillation solaire est une alternative économique et écologique pour la production d'eau de qualité distillée [3]. Dans un distillateur classique, la production d'un litre d'eau distillée engage une énergie de 1kwh et 20 à 25 litres d'eau pour le refroidissement [4 ,5]. D'après les travaux antérieures, l'avantage d'un distillateur solaire travaille à basse température, l'évaporation est lente et la réduction de contamination du produit est réalisable [6].

Depuis plusieurs années, des travaux ont été réalisés sur la modification de la géométrie des distillateurs solaires dans le but d'améliorer leurs performances. Les distillateurs sont en phase

## Introduction Générale

---

d'évaluation de leur capacité de production. La fabrication de ces distillateurs est possible à l'aide de matériaux disponibles dans le marché à faible coût.

Des chercheurs de (l'UNSL) ont mis au point des distillateurs solaires à conversion thermique à petite et moyenne utilisation. Ces systèmes de distillation sont considérés en tant qu'alternative fiable et massive à l'utilisation.

Les différents profils des systèmes basés sur l'énergie solaire permettent la production d'eau chaude, d'air chaud, d'eau distillée, le chauffage des habitations et de nouvelles applications de processus thermodynamique.

Les recherches sont concentrées sur la conversion thermique à petite et moyenne échelle par l'application de l'énergie rayonnante du soleil. Dans ce type d'utilisation, l'efficacité de production atteint 40% à 60% et leurs inconvénients sont mineurs. Alors que dans les grandes installations de distillation sont caractérisées par des déperditions relativement élevées à cause de la faible inertie du système.

D'autres recherches récentes traitent la conversion photo-thermique par le couplage du distillateur aux concentrateurs solaires. En distingue plusieurs profils d'applications notamment, Le couplage aux systèmes de concentration parabolique à collecteur creux (CPC), aux systèmes de récepteurs centraux (SRC), aux systèmes à tour centrale (STC), aux disques paraboliques (DP) ainsi qu'aux paraboloïdes de révolution.

Dans les régions situées dans la ceinture solaire comprise entre les latitudes de 35° nord et 35° sud, sont des régions les plus favorables pour la production de l'eau distillée et peuvent en parallèle générer de l'électricité, surtout que ces zones sont les plus touchées par la pénurie d'eau et isolées des réseaux électriques.

La modélisation, la simulation et l'optimisation de l'efficacité thermo-énergétique du système de distillation solaire est nécessaire pour approcher et analyser son comportement énergétique. Il y a lieu de définir tout d'abord la base des données météorologique de la région et procéder à la définition de la conception et orienter la configuration du système de distillation optimale le plus approprié et économique.

Notre thèse se compose de cinq chapitres :

Premier chapitre :

## Introduction Générale

---

Dans ce chapitre nous traitons les généralités sur l'eau et ses qualités et exigences nutritifs y compris le dessalement des eaux salines, de la crise mondiale de l'eau et son impacte sur le développement des pays touchées par la sécheresse.

Deuxième chapitre :

Dans ce chapitre nous traitons le potentiel de gisement solaire et les aspects qui en découlent, aussi nous présentons les collecteurs thermiques plans et collecteurs à concentration solaire avec ses différentes composantes.

Troisième chapitre :

Dans ce chapitre nous traitons une introduction sur le dessalement et la distillation de l'eau suivi par les principes fondamentaux des procédés thermique. Nous citons les technologies des procédés thermiques existantes notamment dans les membranes d'osmose couramment utilisé dans le dessalement de l'eau saumâtre et les techniques des systèmes de distillations conventionnelles et solaires.

Quatrième chapitre :

Le quatrième chapitre est réservé à la modélisation et à la mise au point des modèles de connaissances nécessaires à l'étude et la conception des systèmes de la distillation.

Le premier est à effet de serre couplé au photovoltaïque, le seconde système de distillation est couplé au concentrateur cylindro-parabolique (CCP), dont le but d'améliorer les performances thermique. Le troisième système est composé d'un distillateur hybride avec CCP couplé avec un générateur photovoltaïque autonome. En outre, l'étude des bilans thermiques et énergétiques des systèmes ont été établi. La résolution numérique a été réalisée à l'aide d'un programme sous MATLAB.

Cinquième chapitre :

Ce dernier chapitre est consacré exclusivement au domaine numérique par l'établissement des organigrammes des systèmes et la simulation des modèles par MATLAB. Les résultats obtenus nous ont permis de définir notre choix à travers les facteurs les plus influents sur la production et l'efficacité des systèmes de distillation.

Cette thèse est couronnée par des discussions, commentaires et une conclusion générale de nos travaux, mettant en relief notre apport dans ce domaine, en plus des perspectives de thèmes qui demeurent non résolus.

### Étude bibliographique :

Des travaux de recherche intensifs ont été menés au passé pour augmenter la production de distillation solaire conventionnelle. Ils ont trouvé que la différence de température entre l'eau du bassin et la couverture en verre est importante et améliorée le rendement en distillat, ainsi de nombreuses méthodes actives et passives sont utilisées pour augmenter la différence de température entre l'eau du bassin et la couverture.

**Frick et Sommerfield** (1973) [7] ont introduit un alambic solaire à mèche unique avec une capacité thermique négligeable, ce qui augmente la température de l'eau et améliore ainsi le taux d'évaporation.

**Sodha et al** (1981) [8] ont proposé un nouveau modèle d'alambic en mèche, dans lequel des toiles de jute mouillées et noircies avaient les bords supérieurs trempés dans de l'eau saline. Ils ont rapporté une efficacité thermique globale de 34%.

**Tiwari et al** (1984) [9] ont introduit une conception modifiée avec un alambic solaire à double mèche multiple à condensation. L'une des méthodes connues étudiées par plusieurs chercheurs **Tiwari et al.** (1985)[10],

**Lawrence et al.** (1990)[11], **BassamAK et Abu-hijleh** (1996, 1997)[15] et **Badran** (2009)[12]. **Somwanshi et Tiwari** (2014)[13 ] ont proposé l'écoulement de l'eau refroidie du thermomètre mouillé, provenant du réservoir d'un refroidisseur, écoule par-dessus de la couverture en verre d'un alambic solaire à une seule pente. Ils ont signalé une augmentation annuelle de rendement comprise entre 56,5% et 41,3% pour différentes zones climatiques en Inde. Ils ont suggéré que l'eau d'un refroidisseur puisse être utilisée pour refroidir la couverture de plusieurs alambics solaires en fonction de la taille du refroidisseur d'air.

L'analyse économique du système de distillation solaire est essentielle pour déterminer le coût de la production de l'eau, divers chercheurs l'ont déjà effectué.

**Mukherjee et Tiwari** (1986) [14] ont procédé à l'analyse économique de trois types différents d'alambics solaires. Plastique simple renforcé de fibres de verre (FRP), FRP à double pente alambic solaire et un alambic en béton à double pente pour les conditions climatiques indiennes. Ils ont évalué le coût minimum de l'eau distillée produite à partir d'alambics solaires classiques.

**Delyannis et al** (1985) [15] ont effectué une analyse technico-économique d'une petite installation de distillation solaire d'une capacité de 1 m<sup>3</sup> / j et ont estimé que le coût de l'eau distillée doit être de 12 USD / m<sup>3</sup>.

## Étude bibliographique

---

**Tleimat et Howe** (1996) [16] ont signalé que les installations de distillation solaire d'une capacité inférieure à 200 L / jour sont plus économiques que les autres types d'installations.

**Madani et Zaki** (1995) [17] ont étudié l'effet expérimental de la poudre de carbone et de l'isolation du bassins sur le rendement solaire. Ils ont procédé à une analyse économique du projet d'installation de 50 m<sup>3</sup> / j et ont estimé le coût à 2,4 USD / m<sup>3</sup>.

**Singh et Tiwari** (2011) [18] ont présenté une méthode de calcul du coût du cycle de vie pour l'évaluation économique de diverses conceptions d'alambics solaires. Ils ont observé que le coût de l'eau distillée par m<sup>2</sup> était le plus économique pour l'unité de distillation à plusieurs effets à double effet en raison de la faible profondeur de l'eau dans le bassin et de la réutilisation de la chaleur latente de vaporisation.

**Adhikari et Kumar** (1999) [19] ont présenté une analyse techno-économique du plateau solaire empilé à étages multiples (MSST) couplé à un capteur solaire. Leur analyse montre que les paramètres du système doivent être optimisés, ce qui entraîne un coût minimum en eau distillée.

**Palenzuela et autres.** (2015)[20] ont suggéré de combiner le dessalement avec de l'énergie solaire concentrée (CSP). Ils ont estimé que le développement du dessalement à grande échelle par énergie solaire était une opportunité des plus réalistes. De plus, la disponibilité de l'énergie solaire et de la chaleur résiduelle dans les centrales de CSP offre des possibilités à la fois Système d'osmose inverse (RO) et de dessalement thermique.

**Guillén-Burrieza et al.** (2015)[21] ont présenté une analyse économique d'une usine de dessalement solaire de 100 m<sup>3</sup> basée sur la technologie existante MD à plaque et à cadre, couplée à un champ de capteurs solaires statiques comme source principale de chaleur.

**Khalifa**, 2009 [22] a étudié l'angle d'inclinaison le plus proche de la latitude du site correspondant est considéré comme optimal pour une production de distillats tout au long de l'année dans des alambics solaires en raison de la réflexion minimale de la radiation solaire incidente sur la couverture en verre.

**Kumar et al.** [23] ont effectué une comparaison détaillée de différents types d'alambics solaires, notamment les systèmes passifs et actifs.

**Badran et al.** [24] ont étudié les effets de l'intégration d'un capteur solaire à plaque plate sur l'efficacité d'un système de distillation solaire. Les résultats ont montré que la sortie solaire peut atteindre la valeur la plus élevée pour la basse profondeur de l'eau de 2 cm dans le bassin. En outre, l'efficacité totale réduite en augmentant la profondeur de l'eau dans le bassin.

## Étude bibliographique

---

**Chaouchi** et al. [25] ont développé une unité de dessalement solaire équipée d'un concentrateur parabolique. Les résultats ont montré qu'il existait une erreur relative entre les résultats expérimentaux et les analyses théoriques, avec une valeur moyenne de 42% pour le taux du débit de distillat. Le pourcentage d'erreur plus élevé fait référence aux imperfections de la géométrie du miroir parabolique, au suivi manuel du soleil et à la variation d'inclinaison du système tout au long de la journée.

**Kumar** et **Tiwari** [26] ont mis au point un alambic solaire actif hybride (PV / T) d'une efficacité 5,5 fois supérieure à celle d'un système de distillation solaire passive. Les résultats ont montré que, pour une profondeur de 0,05 m d'eau salée dans le bassin, le coefficient de transmission énergétique des systèmes de distillation passive et active était respectivement de 0,78 et 2,41 W/m<sup>2</sup>.

**K. Dwivedi** et **Tiwari** [27] ont mis au point un alambic solaire actif à double pente par circulation naturelle. Les résultats ont montré que le type actif présente une efficacité accrue de 51% par rapport au type passif.

**Kabeel** et **El-Agouz** [28] ont examiné les alambics solaires à simple effet et les alambics solaires couplés à différents dispositifs tels que le suivi du soleil et les matériaux à changement de phase. Ils ont démontré que l'utilisation du suivi du soleil est plus efficace et peut améliorer la productivité totale.

**H.Kargarsharifabad** et al. [29] ont expérimenté les performances d'un capteur solaire à plaques aplaties, améliorées par l'utilisation d'un caloduc pulsé en boucle fermée. Les résultats ont montré que l'utilisation de caloducs solaires pourrait augmenter les performances des systèmes solaires.

**S.Gorjian** et autres [30] ont mis au point un alambic solaire parabolique autonome à focalisation ponctuelle qui a été évalué expérimentalement pendant sept jours ensoleillés, légèrement nuageux et poussiéreux en octobre. L'effet de variables environnementales telles que le rayonnement solaire direct, la vitesse du vent, la température de l'air et la salinité de l'eau d'alimentation sur le taux de production du système a été examiné. Les résultats ont montré que les facteurs les plus critiques affectant le taux de production du système sont le rayonnement solaire direct et la température de surface de l'absorbeur. Un taux de production maximale de 5,12 kg toutes les 5 heures par jour a été signalé, le rayonnement solaire moyen étant de 628,8 W /m<sup>2</sup>.

Un examen détaillé des divers paramètres qui influent sur la productivité des alambics solaires a été présenté par **Prakash** et **Velmurugan**, 2015) [31]. Une comparaison des effets dus aux modifications dans environ 60 alambics solaires et des diverses méthodes et modifications de



structure utilisées pour améliorer la productivité des alambics solaires ont été incluse dans leur revue (**Kabeel** et al. El-**Agouz**, 2011) [32].

Une revue des différentes méthodes utilisées pour améliorer la productivité du solaire à effets multiples a été présentée par (**Rajaseenivasan** et al. 2013) [33]. Parmi les paramètres contrôlables qui affectent la performance des alambics solaires, la profondeur de l'eau du bassin est le paramètre principal qui affecte la productivité de l'alambic (**Prakash** et **Velmurugan**, 2015, **Kabeel** et **El-Agouz**, 2011, **Tiwari** et al. [34].

Effet de la profondeur de l'eau sur le coefficient de transfert massique par évaporation pour un système de distillation passif à pente unique dans des conditions de climat estival (Tiwari et Tiwari, 2006)[150]. Sur la base de leur étude, ils ont constaté que la plus grande production et l'efficacité sont à plus faible profondeur.

L'effet de l'épaisseur de la couverture en verre sur la performance de l'énergie solaire a été étudié expérimentalement par (**Panchal** et **Shah**, 2011) [35]. Ils ont constaté que la productivité augmente avec une diminution de l'épaisseur. L'effet de l'épaisseur de l'isolation sur la productivité du type de bassin solaire a été étudié expérimentalement par (**Khalifa** et **Hamood**, 2009) [36]. Ils ont conclu que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant augmente la production de l'alambic solaire jusqu'à 80%.

Différentes méthodes ont été utilisées pour améliorer la productivité des alambics solaires selon différentes approches.

Certaines de ces approches sont :

L'augmentation de la température de l'eau en couplant l'alambic solaire aux.

- capteurs solaires (**Tiwari** et al., 2009)[37],
- aux concentrateurs paraboliques (**Abdel-Rehim** et **Lasheen**, 2007)[38]
- et aux bassins solaires (**Saleh** et al., 2011)[39],
- introduire plus de radiations solaires dans l'alambic en installant des réflecteurs externes et internes (**Tanaka**, 2009, **Khalifa** et **Ibrahim**, 2009)[ 40]
- coupler l'alambic solaire avec un système de suivi solaire (**Abdallah** et al., 2008)[41].
- En améliorant l'absorption du rayonnement solaire, et facilitant le processus d'évaporation en augmentant la surface de la plaque absorbante et la surface libre de l'eau,
- En intégrant des ailettes (**Velmurugan** et al. 2008) [42] dans le bassin de l'immobile,
- En immergeant le gravier noir (Nafey et al. 2001) [43]

## Étude bibliographique

---

- En immergeant des cubes d'éponges (**Abu-Hijleh** et **Rababa'h**, 2003) [44] dans le bassin de l'alambic.
- En remplaçant le bassin plat par un bassin par étapes (**Abdallah** et al.2008 ;**Kabeel** et al. 2015) [45],
- En récupérant la vapeur latente en utilisant un alambic solaire multi-effet (**Tanaka** et al.2002 ; 1996) [46],
- En utilisant la technologie du vide (**Al-Kharabsheh** et **Goswami**, 2003) [47] (créant un vide sous lequel l'eau peut s'évaporer rapidement à des températures beaucoup plus basses et avec moins d'énergie que les techniques conventionnelles).

L'amélioration de la condensation est une autre approche utilisée pour améliorer la performance de l'abaisseur solaire. (**Madhlopa** et **Johnstone** 2009)[48].

# Chapitre I

# L'eau

# Chapitre I : L'eau

## I.1. Source de l'eau :

Actuellement, l'accès à l'eau est un problème épineux, qui s'aggrave en raison de la pollution et l'explosion démographique. Les ressources d'eau mondiales sont déclinées et inégalement réparties à travers le monde. La plus grande partie est impropre à la consommation, malgré 70 % de la surface de la Terre est couverte d'eau avec des réserves globales d'eau d'environ 1,4 milliard de km<sup>3</sup>, environ 97,50% sont dans les océans et les 2,5% restants sont de l'eau douce présente dans l'atmosphère, des montagnes de glace, des lacs d'eau douce, des rivières et des eaux souterraines et 1% disponible pour les êtres humains et d'autres organismes ( Fig.1)[46].

Le dessalement de l'eau est la solution favorable et représente 65% de la capacité mondiale, alors que seulement 1% de l'eau dessalée est basée sur l'énergie provenant de sources renouvelables.(fig .2) [47].

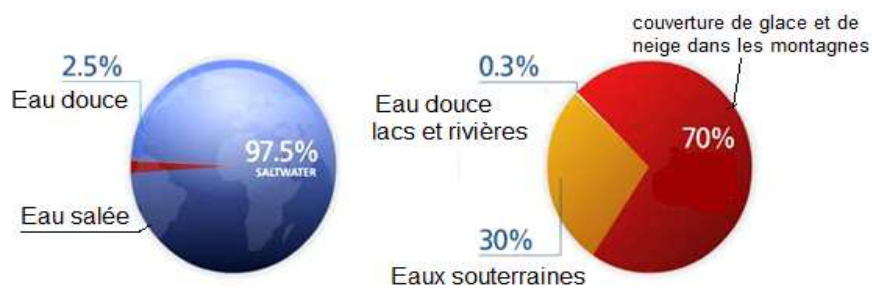


Fig.1. Distribution de l'eau sur terre

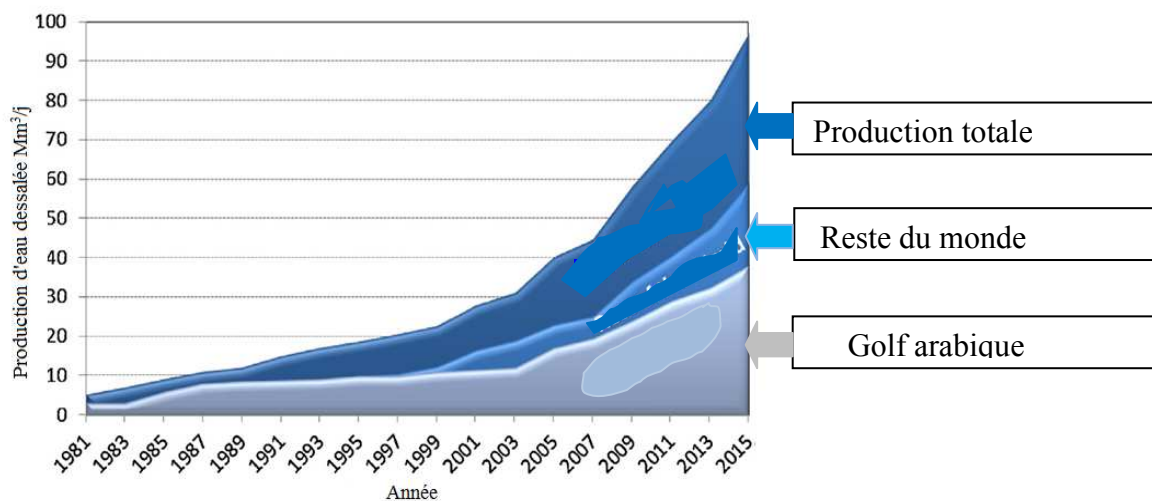


Fig. 2. Croissance actuelle et prévue du marché du dessalement à travers le monde. [48]

## I.2. La crise de l'eau :

En 2013, 17 000 personnes dans le monde sont mortes de maladies causées de l'insuffisance d'eau et Près d'un cinquième du monde souffre de cette insuffisance. Le gaspillage, la pollution et l'utilisation de manière irrationnelle de l'eau, provoquent une grave pénurie d'eau dans le monde.

# Chapitre I : L'eau

La pollution de l'eau : Les sources d'eau sont menacées par la pollution, En raison de leur contamination par le pétrole, les produits chimiques industriels.

La surconsommation d'eau : le gaspillage de l'eau et la consommation irrationnelle par l'homme.

La Sécheresse : Les zones désertiques du monde souffrent d'un manque de sources d'eau adéquate.

## I.2.1. Consommation d'eau :

La consommation mondiale d'eau est dépassée de deux fois la croissance démographique. En 2025, la demande dépassera l'offre en eau de 56 %, et environ trois milliards de personnes n'ont pas accès à une source d'eau [49].

## I.2.2. Croissance démographique mondiale :

L'augmentation incontrôlable de la démographie et la consommation croissante provoque les conséquences suivantes :

- En 2030, 47% de la population mondiale vivra dans des zones de stress hydrique élevé.
- Une augmentation de la demande en eau d'environ 64 milliards de mètres cube par an.
- Les prélèvements d'eau ont triplé au cours des 50 dernières années.
- La demande alimentaire stimule le développement rapide de l'irrigation, et la poursuite de la croissance des économies basées sur l'agriculture.

## I.2.3. L'eau et l'industriel :

L'eau est élément essentielle dans l'industrie, qui son développement augmente la consommation élevée d'eau quotidiennement (fig.3). L'eau industrielle sert également à la fabrication, au lavage, au traitement, au refroidissement, à la dilution, au transport des produits, aux fonderies, aux raffineries de pétrole, aux équipements de réfrigération, aux équipements de réfrigération utilisés dans la fabrication des produits alimentaires, dans toutes les industries produisant des produits chimiques, des produits alimentaires et des produits en papier.

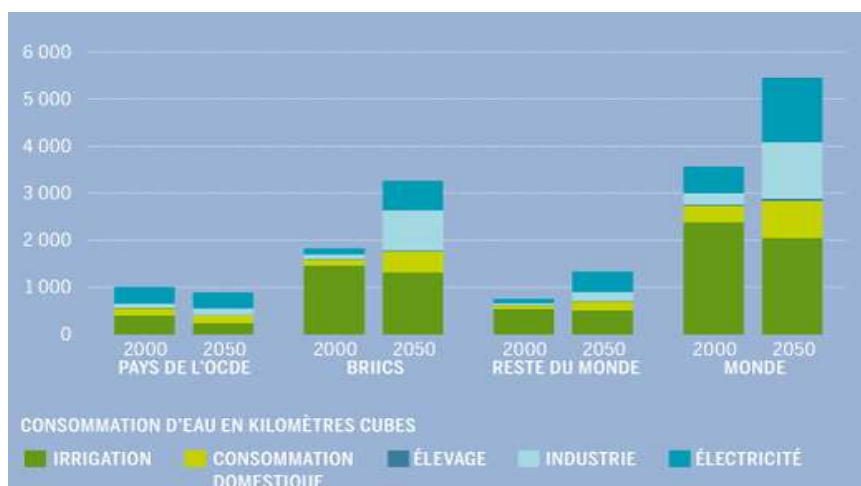


Fig.3. La consommation mondiale d'eau

## I.2.4. Pollution des eaux de surface:

Les liquides de fracturation hydraulique, les pesticides agricoles, les produits chimiques industriels et les diverses d'ordure humaine, beaucoup d'entre eux sont toxiques et cancérogènes [50]. Ils peuvent affecter les ressources d'eau et nuire la qualité d'environnement, s'ils ne sont pas traités, ou directement déversés sur les terres ou dans les cours d'eau, les rivières et les lacs.

## I.3. L'eau dans l'alimentation et l'agriculture :

L'alimentation et l'agriculture sont les plus grosses consommatrices d'eau.

- 70 % de l'eau d'irrigation, est prélevée dans les rivières et les nappes. (fig .4)
- 10 % dans les applications domestiques
- 20 % dans l'industrie.
- 3 600 km<sup>3</sup> d'eau douce sont prélevés pour l'usage humain.
- 90 % de l'eau prélevée pour usage domestique est retournée dans les rivières et les aquifères comme eaux usées
- 900 km<sup>3</sup> d'eau d'irrigation par an pour les cultures vivrières.

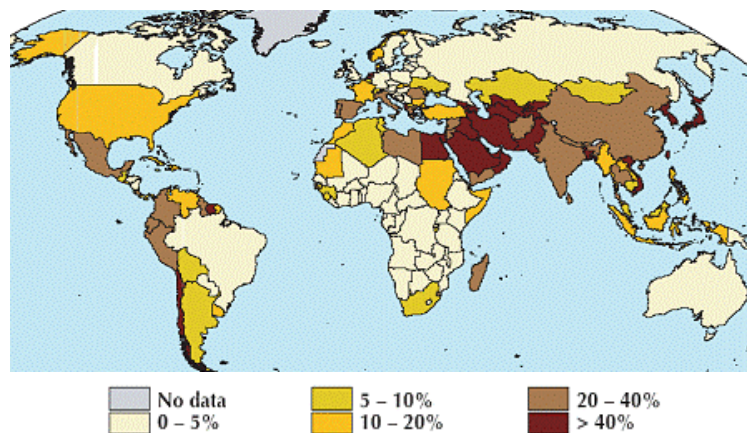


Fig.4. Superficie équipée pour l'irrigation en pourcentage des terres cultivées par pays.

## I.4. Nature d'eau :

L'eau est dans deux états: liquide et solide.

### I.4.1. Eau douce :

L'eau douce est caractérisée par de faibles concentrations de sels dissous et d'autres solides dissous. Elle comprend l'eau contenue dans les calottes glaciaires, les glaciers, les icebergs, les tourbières, les étangs, les lacs, les rivières, les ruisseaux, et même les eaux souterraines.

L'eau douce n'est pas la même chose que l'eau potable. Une grande partie de l'eau douce de la terre est impropre à la consommation sans traitement. L'eau est essentielle à la survie de tous les

# Chapitre I : L'eau

---

organismes vivants. Certains organismes peuvent prospérer sur l'eau salée, mais la grande majorité des plantes et la plupart des mammifères ont besoin d'eau douce pour vivre.

## **I.4.2 .Eau saline :**

L'eau saline signifie souvent l'eau des mers et des océans. La plupart de l'eau de mer contient environ 35 ppm de sel. Mai, les lacs salés peuvent être jusqu'à dix fois plus salées.

L'eau douce a une densité de 1 g/ml, tandis que l'eau de mer salée a une densité moyenne d'environ 1,025 g/ml. Malgré la salinité d'eau, elle est utilisée pour fabriquer ou conserver des aliments, cette eau est généralement plus salée que l'eau de mer et s'appelle saumure.

La salinité des mers et des océans de la planète.

Mer /Océan	La salinité (Ppm de TDS)
Mer baltique	28.000
Mer du nord	34.000
Océan pacifique	33.600
Océan atlantique sud	35.000
Méditerranée	36000
Mer rouge	44.000
Golfe persique	43.000-50.000
Mer morte	50.000-80.000

Tableau.1.Salinité moyenne des océans et des mers de la planète

## **I.5. Eau désionisée / déminéralisée (Eau distillée, déminéralisée et déminéralisée et mesure de la pureté) :**

La distillation est moyen utilisée pour purifier l'eau, alors que, Les contaminants dissous comme les sels sont éliminés à laide de la vapeur d'eau, le pH est généralement de 4,5 à 5,0.

### **I .5.1. Désionisation:**

Ce procédé élime les sels ionisés de l'eau par l'utilisation des résines échangeuses d'ions.

Il Peut théoriquement éliminer à 100 % des sels, mais n'élimine pas les matières organiques, les virus ou les bactéries, sauf par des résines anioniques à base forte spécialement conçues pour éliminer les bactéries [51]. Ce processus est appelé échange d'ions et peut être utilisé de différentes manières pour produire de l'eau désionisée de diverses qualités [52].

### **I .5.2. Déminéralisation:**

L'eau déminéralisée est l'eau dont les minéraux ou les sels sont éliminés. Il est utilisé dans les applications où l'eau à faible teneur en sel ou à faible conductivité est requise. Par exemples :

- Eau d'alimentation de la chaudière
- Applications pharmaceutiques
- Industrie électronique
- Applications alimentaires

-Applications industrielles

Pour chaque application, une conductivité requise est utilisée. La meilleure qualité d'eau a une conductivité de 0,055 micro Siemens par cm.

### **I .5.3. Eau ultra pure:**

L'eau ultra pure est une eau qui a été purifiée selon des spécifications très strictes, contenant par définition uniquement des ions  $H_2O$ , et des ions  $H^+$  et  $OH^-$  en équilibre, par conséquent, la conductivité de l'eau ultra pure est d'environ 0,055 uS/cm à 25° C.

L'eau ultra pure est principalement utilisée dans l'industrie des semi-conducteurs et de l'industrie pharmaceutique.

### **I .6. Conductivité de l'eau :**

La conductivité d'une substance est la capacité ou le pouvoir de conduire ou de transmettre la chaleur, l'électricité ou le son. Dans l'eau et les matériaux ou fluides ioniques, un mouvement d'ions chargés peut se produire. Ce phénomène produit un courant électrique et s'appelle la conduction ionique.

L'eau distillée ordinaire en équilibre avec le dioxyde de carbone de l'air a une conductivité d'environ 20 dS/m, parce que le courant électrique est transporté par les ions en solution. La conductivité augmente à mesure que la concentration des ions augmente, ainsi que la conductivité augmente à mesure que l'eau dissout avec les espèces ioniques.

#### **I .6.1. Conductivité typique des eaux:**

Eau ultra pure  $5,5 \cdot 10^{-6}$  S / m

Eau potable 0,005 - 0,05 S / m

Eau de mer 5 S / m

### **I.7. Qualité d'eau :**

Les eaux dessalées sont réparties en trois paramètres :

- pH: doit être équilibré de sorte que l'eau ne soit pas agressive.
- Alcalinité: doit avoir au moins 30 mg / l de  $HCO_3$
- Dureté: doit avoir au moins 60 mg / l de  $Ca^{++}$ .



## Chapitre II

# Energie solaire

## Chapitre II : Energie Solaire

### Introduction :

Le Soleil Situé à une distance moyenne de 150 millions de kilomètres, dans son noyau des réactions atomiques de fusion nucléaire sont produites en continu, qui transforme l'hydrogène en hélium.

On estime qu'à l'intérieur du Soleil, environ 700 millions de tonnes d'hydrogène brûle par seconde, dont 4,3 millions sont transformés en énergie. Une partie importante de cette énergie est émise par rayonnement vers les planètes, les lunes, les astéroïdes et les comètes qui composent notre système solaire. Une quantité d'énergie solaire sur la Terre est équivalente à  $(1,7 \cdot 10^{14} \text{ KW})$ , ce qui représente la puissance correspondant à 170 millions de réacteurs nucléaires de 1 000 MW d'énergie électrique, ou qui est identique à 10 000 fois la consommation du monde [53].

### II.1.1. Le rayonnement solaire :

Le rayonnement Solaire est réparti sur une large gamme de longueurs d'onde, l'énergie rayonnée comprise entre 0,2 et 3,0  $\mu\text{m}$  (fig .1) . [54,55]

Environ la moitié de cette énergie est enfermée dans la bande visible (0,39 - 0,77  $\mu\text{m}$ ). Le reste correspond presque entièrement au rayonnement infrarouge, avec un faible pourcentage de rayonnement ultraviolet [56].

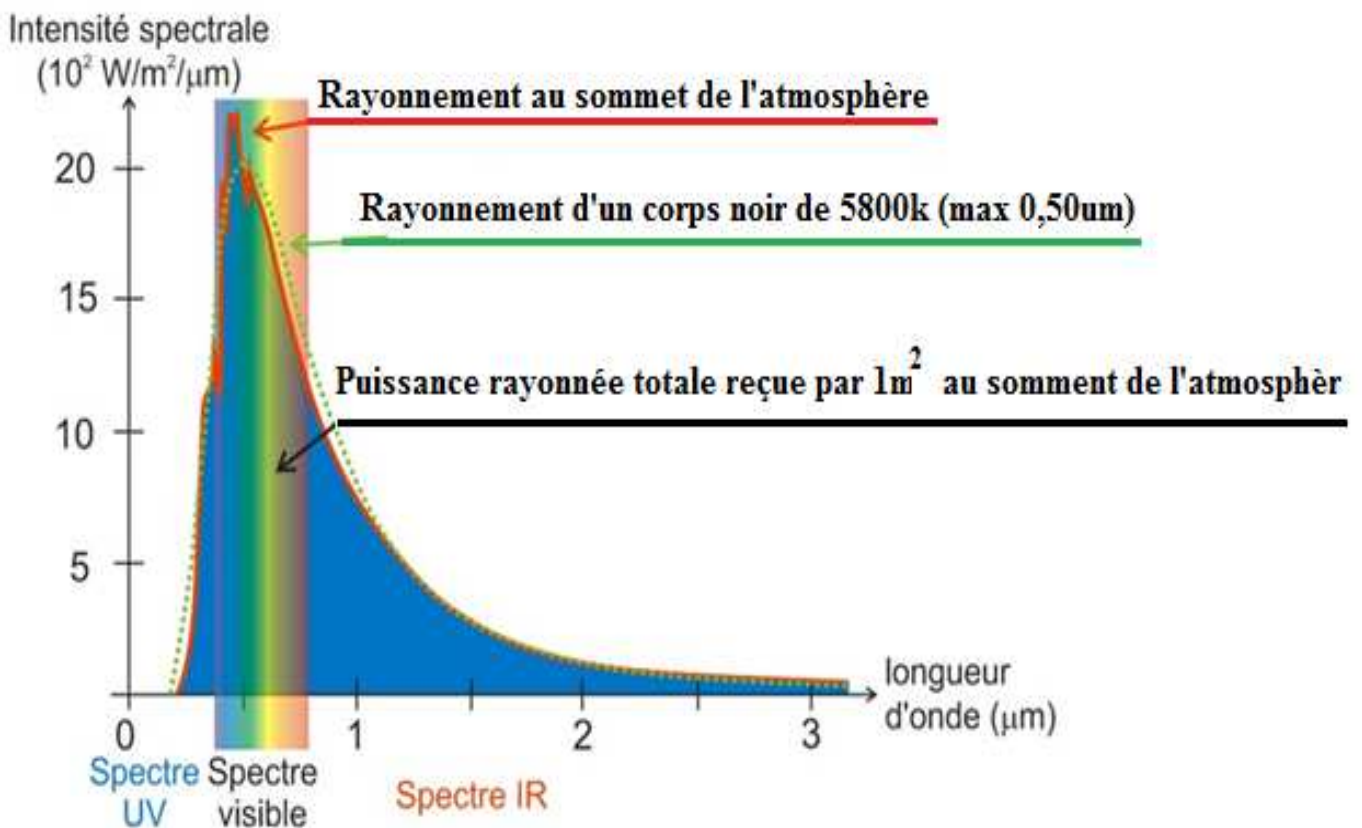


Fig.1. Rayonnement solaire reçus par Terre

## Chapitre II : Energie Solaire

### II.1.2. Rayonnement direct :

### II.1.3. Rayonnement global et diffus :

Le rayonnement global est défini comme le rayonnement solaire reçu d'un angle de  $2\pi$  stéradians sur une surface horizontale [57].

### II.1.4. Potentiel de l'énergie solaire :

Plusieurs facteurs (latitude, variation diurne, climat et variation géographique) sont largement responsables de la détermination de l'intensité des rayonnements solaires traversent l'atmosphère terrestre [58, 59,60].

La quantité moyenne de l'énergie solaire reçue à l'atmosphère terrestre est d'environ  $342 \text{ W} / \text{m}^2$ . Une partie de 30 % sont dispersés ou réfléchis dans l'espace, laissant 70 % disponible pour la récolte et la capture (fig .2). L'effectif annuel de l'irradiation solaire varie de 60 à  $250 \text{ W m}^2$  dans le monde [61].

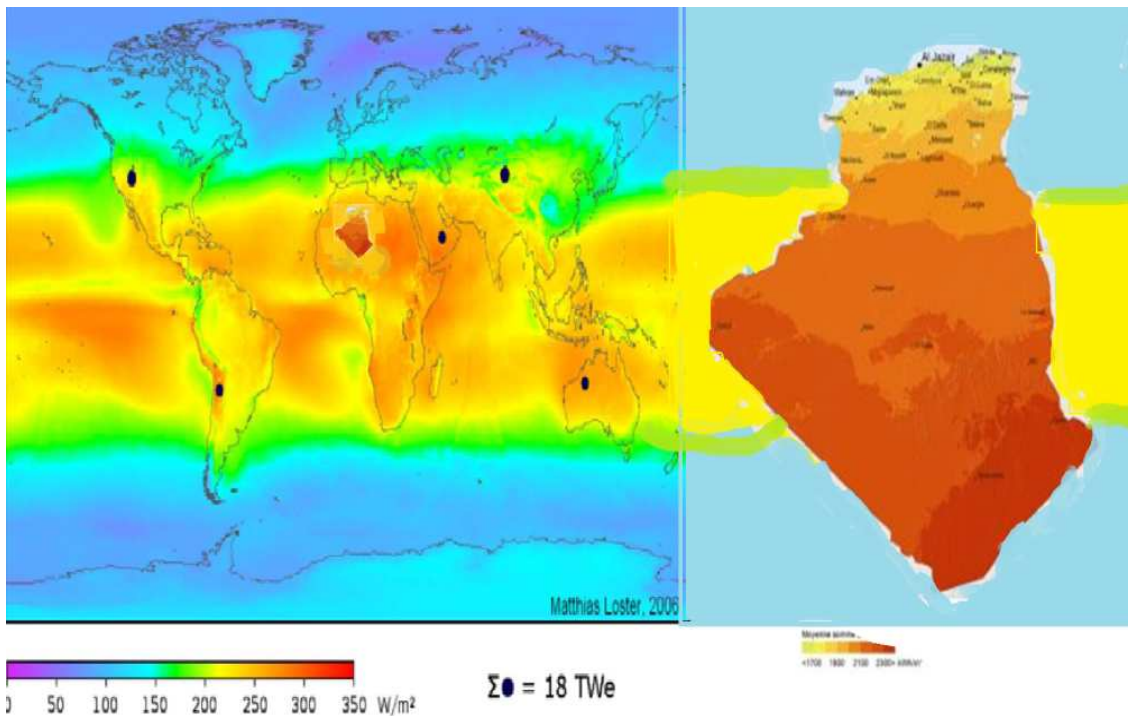


Fig.2.Répartition annuelle moyenne de l'irradiation solaire sur la surface de la Terre.

### II.1.4. 1. Potentiel solaire en Algérie :

L'Algérie est située dans une zone géographique importante, ce qui lui permet de collecter une grande quantité d'énergie qui dépasse l'ensemble du territoire national 2000 heures par an et peut atteindre jusqu'à 3 900 heures (hautes terres et désert).

L'énergie journalière reçue est de  $5 \text{ kWh} / \text{m}^2$  sur la plus grande partie du territoire national, d'environ  $1700 \text{ kWh} / \text{m}^2$  au nord et  $2263 \text{ kWh} / \text{m}^2$  dans le sud du pays. [62]

## Chapitre II : Energie Solaire

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m2/an)	1700	1900	2650

Tableau.1. Durée moyenne d'ensoleillement

### II.2.Gisement solaire :

Les analyses d'énergie solaire comprennent quatre étapes analytiques de base.[63]

- Rayonnement solaire à la latitude
- Facteurs climatiques et géographiques
- Ingénierie du site
- Matériaux

- L'irradiance solaire est la densité de flux du faisceau descendant sur une surface perpendiculaire à l'angle de rayonnement ( $\beta$ ) au plan horizontal [64,65].

La mesure de l'altitude et de l'azimut est essentielle pour analyser le chemin du soleil.

**L'altitude** : est la distance à laquelle un objet semble se trouver au-dessus de l'horizon. L'angle est mesuré à partir du point le plus proche de l'horizon. Il a une valeur maximale de  $90^\circ$  au zénith (fig .3).

**L'azimut** : L'azimut d'un objet est la distance angulaire le long de l'horizon jusqu'à l'emplacement de l'objet. Par convention, l'azimut est mesuré du nord vers l'est le long de l'horizon. Figure.4. Pour mesurer le rayonnement solaire dans les sites .Il y a trois paramètres :

Irradiation Normale Directe (DNI), Irradiation Horizontale Diffuse (DHI) et Global Horizontal Irradiation (GHI) [66].

Il y a deux paramètres principaux, l'angle de déclinaison ( $\delta$ ) et la hauteur du soleil, sont nécessaire pour décrire les emplacements relatifs de la Terre et du soleil [67].

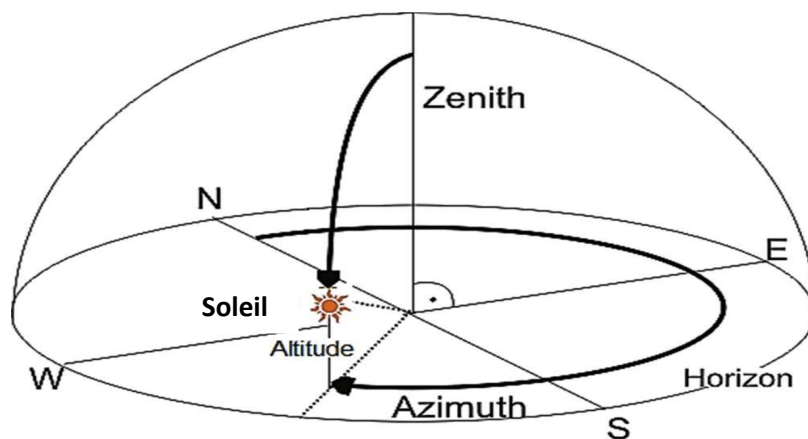


Fig.3. Zenith, Altitude Azimuth.

## Chapitre II : Energie Solaire

### II.2.1. Mouvements de la terre :

La terre circule autour du soleil et forme une trajectoire qui est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers, cette ellipse est appelé l'écliptique [68].

La distance entre la Terre et le Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de  $149\,675\,10^6$  km.

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  $23^{\circ}27'$  (Fig. 4). [68].

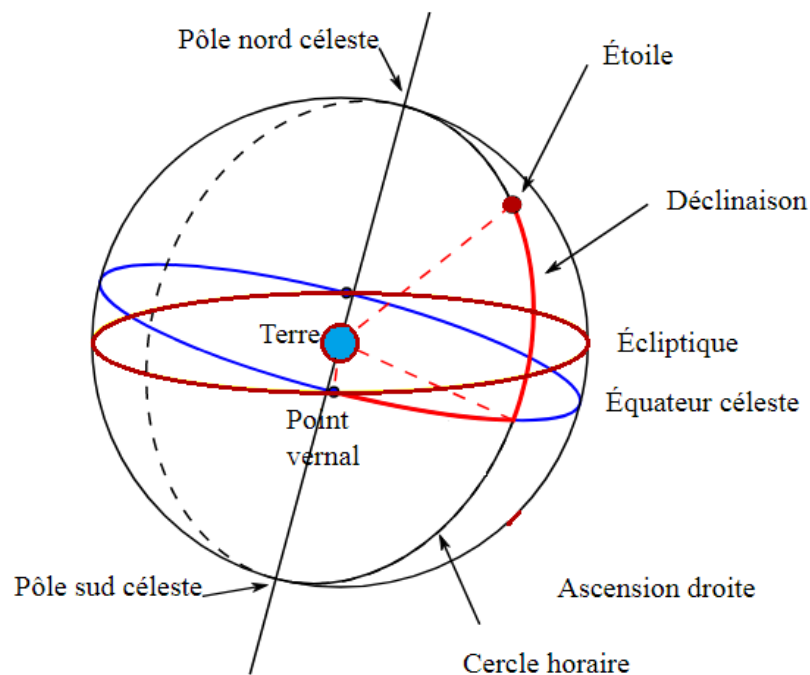


Fig. 4. Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil [69]

### II.2.2. Les coordonnées célestes

#### II.2.2.1. Les coordonnées géographiques :

Ils sont des coordonnées angulaires qui repèrent un point sur la terre. (Fig.5)

- **la longitude  $L$**  : elle est déterminée à partir du méridien de Greenwich, positivement vers l'est et négativement vers l'ouest. [69].

- **la latitude  $\Phi$**  : la valeur angulaire détermine la position d'un point sur la Terre par rapport à l'équateur. La latitude varie entre  $-90^{\circ}$  (Pôle Sud) et  $+90^{\circ}$  (Pôle Nord)

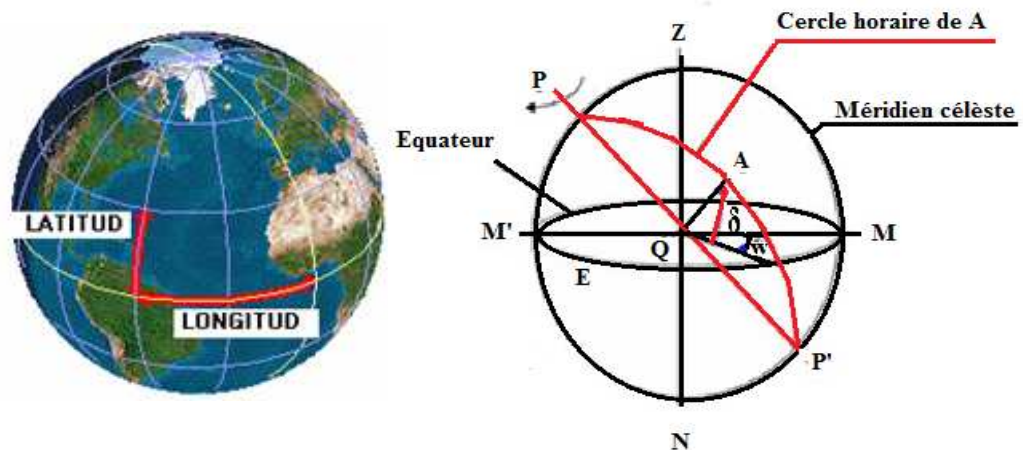


Fig.5. Les coordonnées géographiques

### II.2.2.2. Les coordonnées horaires

Sont :

- **La déclinaison  $\delta$**  : l'angle entre le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique est la déclinaison qui est varié au cours de l'année de  $+ 23^{\circ}27'$  à  $-23^{\circ}27'$ , et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle se détermine par la formule suivante [70, 71,72] :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{284+nj}{365} \times 360\right) \quad (\text{II.1})$$

-  $nj$  est le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1<sup>er</sup> janvier.

Mois	janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Numéro du 1 <sup>er</sup> jour de chaque mois dans l'année	1	32 2	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335

Tableau.2. Le quantième du jour de l'année

- **L'angle horaire ( $w$ )** : déterminé par la rotation de la terre autour de son axe. Il est compté positivement dans le sens rétrograde de  $0^{\circ}$  à  $360^{\circ}$ . (Fig.6)

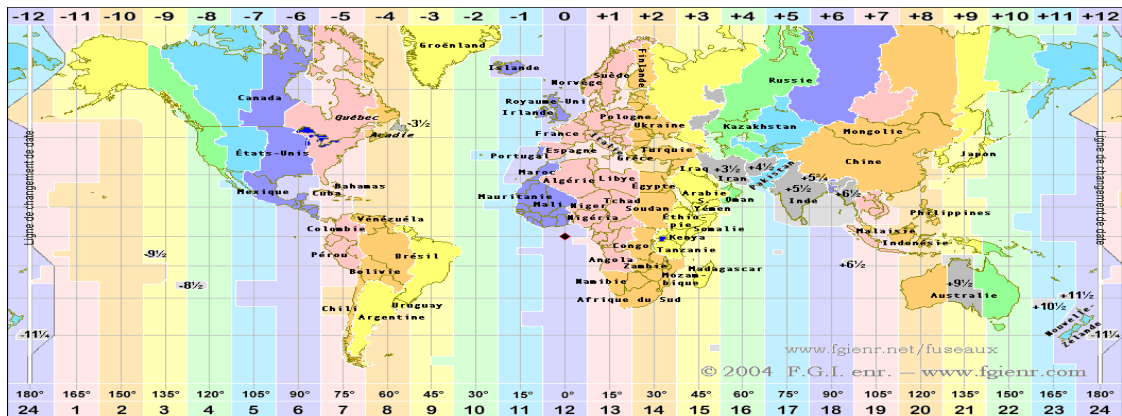


Fig.6. Les coordonnées horaires

### II.2.2.3. Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se détermine par l'intermédiaire de deux angles suivants (Fig.7) :

- L'**azimut A**, l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction sud.
- la **hauteur du soleil h**, l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection.

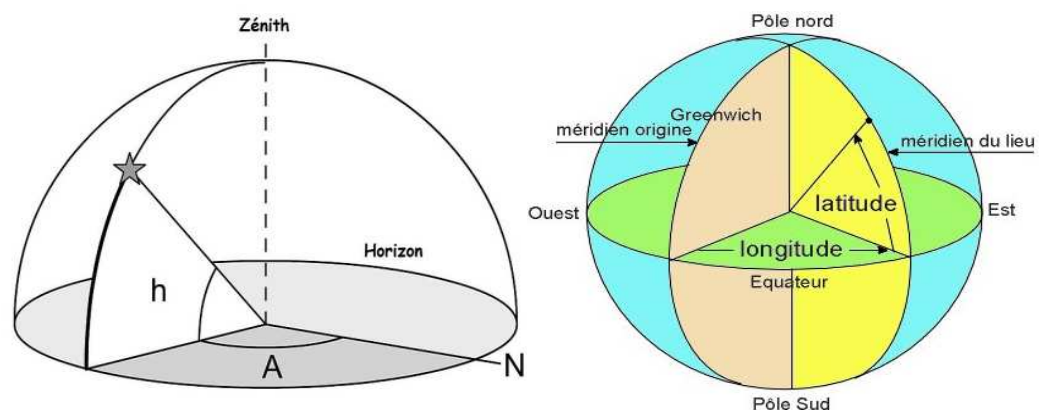


Fig. 7. Les coordonnées horizontales

L'équation des coordonnées horizontales aux coordonnées horaires est :

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

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

$$\sin(h) = \cos(\Phi) \times \cos(\delta) \times \cos(w) + \sin(\Phi) \times \sin(\delta) \quad (II.2)$$

### II.2.3. Les temps solaires :

On distingue :

#### II.2.3.1. Le temps solaire vrai (T.S.V)

Le temps solaire vrai à un moment donné est l'angle horaire du soleil  $w$  à ce moment. Il est donné par l'expression :

$$TSV = 12 + w/15 \quad (II.3)$$



## Chapitre II : Energie Solaire

W : est exprimé en degré.( Fig.8)

Si  $w = 0$ , TSV=12<sup>h</sup>.00

Si  $w < 0$ , la matinée.

Si  $w > 0$ , l'après-midi.

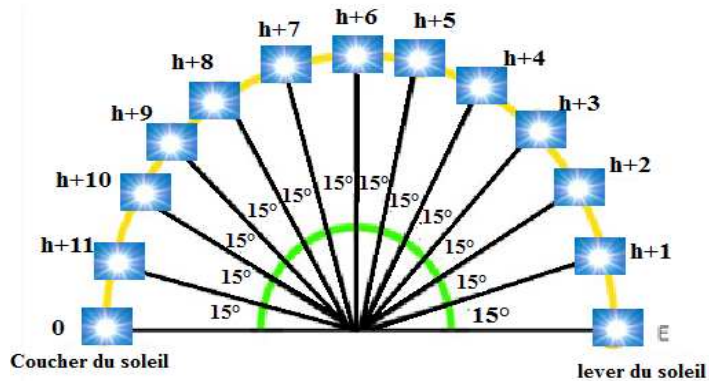


Fig.8. Mouvement de soleil et l'angle w

### II.2.3.2. Le temps solaire moyen (T.S.M)

Il est déterminé par la relation :

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

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

Et est donnée par la relation [73] :

$$Et = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \text{ [min]} \quad (II.5)$$

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

### II.2.3.3. Le temps universel (T.U)

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

$$TU = TSM - L/15 \quad (II.6)$$

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.2.3.4. Le temps légal (TL)

C'est le temps d'un état, il est donné par

$$TL = TU + \Delta H \quad (II.7)$$

Où :

$\Delta H$  : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

$\Delta H = 1$  heure pour l'Algérie.



## Chapitre II : Energie Solaire

### II.2.4. Direction des rayons solaires :

On considère un plan quelconque caractérisé par deux angles  $\alpha$  et  $\gamma$  (Fig.9) :

$\alpha$  : étant 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.

$\gamma$  étant 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.

$i$  : angle incidence ( $n, N$ )

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin(a) \times \cos(h) \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) \\ \vec{N} \cos(a) \times \cos(h) \vec{n} \quad \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) \\ \sin(h) \sin(\gamma) \end{array} \right\}$$

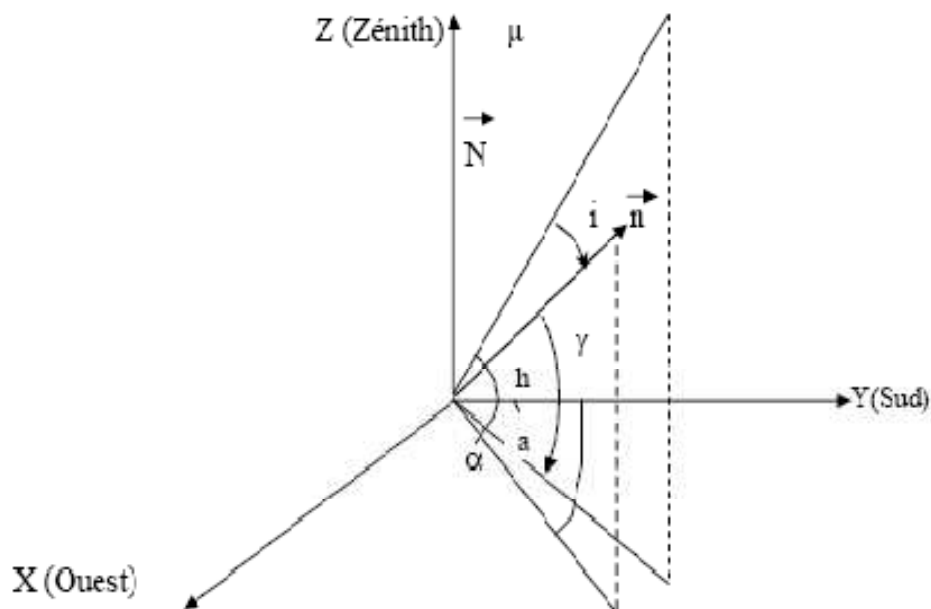


Fig.9. Représentation des vecteurs unitaires

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

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

## Chapitre II : Energie Solaire

$$\sin(h) \times \sin(\gamma) = \cos(i) \quad (\text{II.8})$$

Par conséquent

$$\cos(h) \cos(a - \alpha) \times \cos(\gamma) + \sin(h) \times \sin(\gamma) = \cos(i) \quad (\text{II.9})$$

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

$$\cos(i) = \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\sin(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) - \cos(\varphi) \times \sin(\delta) \times \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\cos(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) + \sin(\varphi) \times \sin(\delta)) \times \sin(\gamma) \quad (\text{II.10})$$

Dans les cas particulier où les surfaces sont horizontales ou verticales avec différents orientations,

L'expression II.10 devient :

· Surfaces horizontales :  $\gamma = \pi/2$

$$\cos(i) = \cos(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) + \sin(\varphi) \times \sin(\delta) \quad (\text{II.10 a})$$

· Surfaces verticales :  $\gamma = 0$

- Surfaces verticales orientées vers le Sud :  $\alpha = 0$

$$\cos(i) = \sin(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) - \cos(\varphi) \times \sin(\delta) \quad (\text{II.10 b})$$

- Surfaces verticales orientées vers le Nord :  $\alpha = \pi$

$$\cos(i) = \cos(\varphi) \times \sin(\delta) - \sin(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) \quad (\text{II.10 c})$$

- Surfaces verticales orientées vers l'Est :  $\alpha = -\pi/2$

$$\cos(i) = -\cos(\delta) \sin(\omega) \quad (\text{II.10d})$$

- Surfaces verticales orientées vers l'Ouest :  $\alpha = +\pi/2$

$\cos(i) = \cos(\delta) \times \sin(\omega)$  (II.10e) · Surface orientée vers le Sud et inclinée d'un angle  $b$  par rapport à l'horizontale :

$$\cos(i) = \cos(\delta) \times \cos(\omega) \times \cos(\varphi - B) + \sin(\delta) \times \sin(\varphi - B) \quad (\text{II.10 e})$$

### II.3.1. Rayonnement solaire au sol :

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 modification.
- Le rayonnement diffus est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère.
- Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et diffus.

#### II.3.1.1. Rayonnement direct :

L'expression du rayonnement direct d'un plan orienté vers le sud est [74]

$$I_D = I_c \times a \times \exp\left(\frac{b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right) \times \cos(i) \quad (\text{II.11})$$

**a** et **b**, coefficients traduisant les troubles atmosphérique (tableau.3).

**p**, la pression atmosphérique en fonction de l'altitude (tableau.4).

## Chapitre II : Energie Solaire

	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielles
a	0.87	0.88	0.91
b	0.17	0.26	0.43

Tableau. 3. Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique

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

Tableau.4. Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

### II.3.1.2. 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 ( $\varphi_1$ ), donnée par la relation :

$$\varphi_1 = \varphi_0 \times \frac{1+\cos(b)}{2} \quad (\text{II.12})$$

-Le flux émis par le sol ( $\varphi_2$ ), donné par la relation :

$$\varphi_2 = \rho \times \frac{1-\cos(b)}{2} \times (I_c \times \tau_{dr} \times \sin(h) + Q_0) \quad (\text{II.13})$$

Avec

$$\varphi_0 = I_c \times \sin(h) \times (0.271 - 0.2939 \times \tau_{dr}) \quad (\text{II.14})$$

$\tau_{dr}$  : La transmittivité totale de la couche atmosphérique dont l'expression est :

$$\tau_{dr} = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right) \quad (\text{II.15})$$

$\rho$ : L'albédo du sol, les valeurs de ce coefficient sont données par le tableau.5 :

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

Tableau.5. Valeurs de l'albédo du sol ( $\rho$ )

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

$$I_d = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (\text{II.16})$$

### II.3.1.3. Rayonnement global :

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

$$I_G = I_D + I_d \quad (\text{II.17})$$

### II.4.1. Types d'énergie solaire

Trois types d'énergie solaire sont présentés :

### II.4.2. Énergie solaire passive :

La plus ancienne utilisation directe du rayonnement solaire est appelée l'énergie solaire passive.

### II.4.3. Énergie solaire thermique :

Elle utilise la chaleur du rayonnement solaire et se présente sous différentes formes :

Centrales thermodynamiques solaires, eau chaude, chauffage, réfrigération solaire, séchoirs solaires et l'énergie solaire thermodynamique. [75]

### II.4.4. Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est une transformation produite à partir des rayons solaires grâce à des cellules photovoltaïques. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module solaire photovoltaïque et ces modules regroupés entre eux forment une installation solaire. (Fig.10)

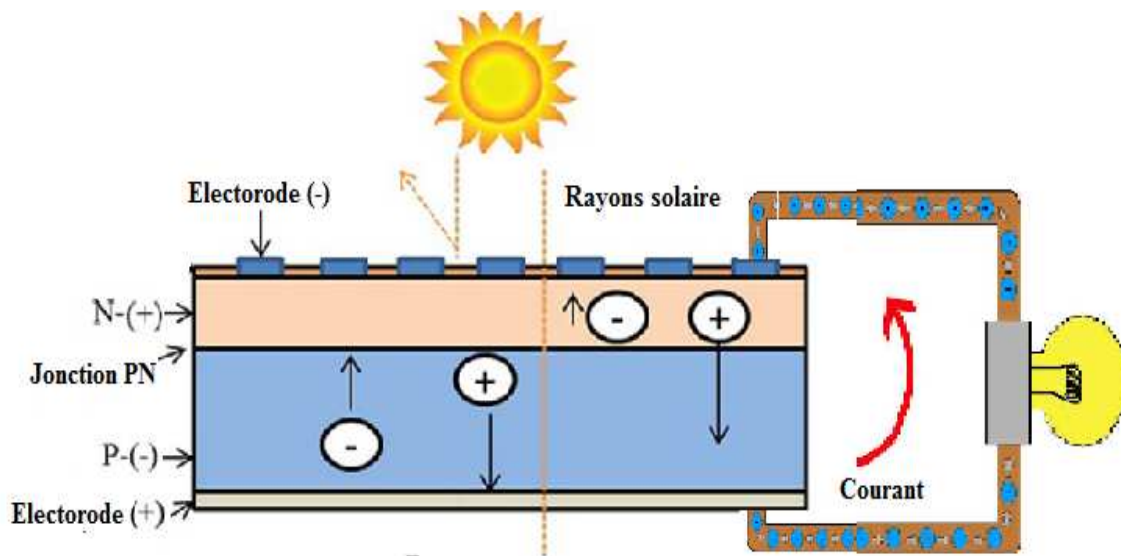


Fig. 10. Cellule Photovoltaïque.

### II.5.1. Le panneau ou le module photovoltaïque :

Les panneaux photovoltaïques sont constitués d'un ensemble de cellules (cellules photovoltaïques). Le panneau photovoltaïque est défini par sa caractéristique courant-tension (Figs.11 ,12) [76]. Son efficacité dépend de la taille des cristaux, mais aussi de leur poids, de leur épaisseur et de leur coût. Le rendement des monocristallins peut atteindre 20%, celui des polys cristallins 15%, alors que celui des amorphes ne peut atteindre 10%, cependant leur coût et leur poids sont beaucoup plus faibles [77].

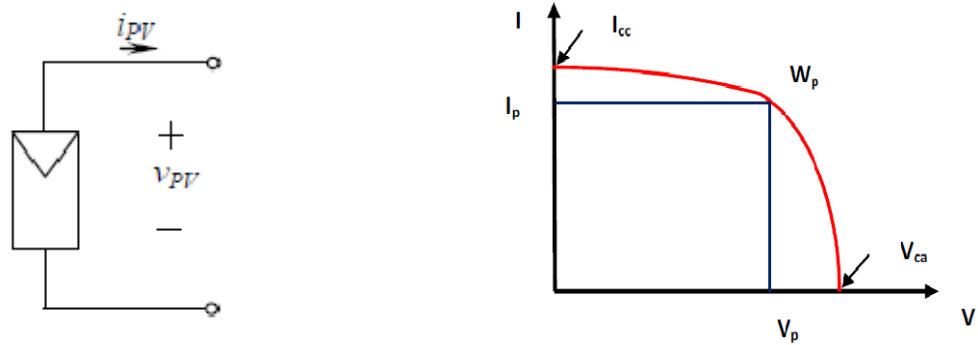


Fig.11.Symbole du panneau solaire et son caractéristique Courant - tension CHAVARRIA 2010].

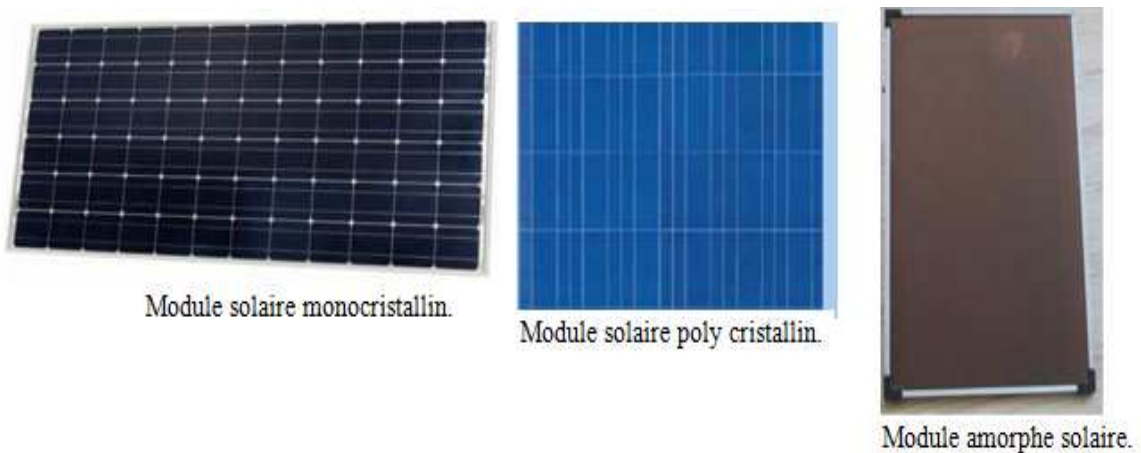


Fig. II.12. Les différents modules solaires

### II.5.2. Modules photovoltaïques groupés :

Des panneaux ou des modules photovoltaïques sont reliés en série sous forme des structures parallèles, connues comme le groupe de générateur photovoltaïque. Il est idéal de travailler avec des modules identiques et des températures de travail optimales pour chacun d'entre eux. (Fig.13)

Le regroupement des modules permet d'obtenir la courbe de puissance générale et donc de travailler au point de puissance maximum qui intègre tous les modules [78].

Les diodes de blocage montées en série dans chacune des branches empêchent en parallèle le passage du courant en isolant les branches défectueuses.

Les diodes de marche en parallèle avec chaque module, sont utilisées pour éviter la perte de puissance du générateur. (Fig.14)

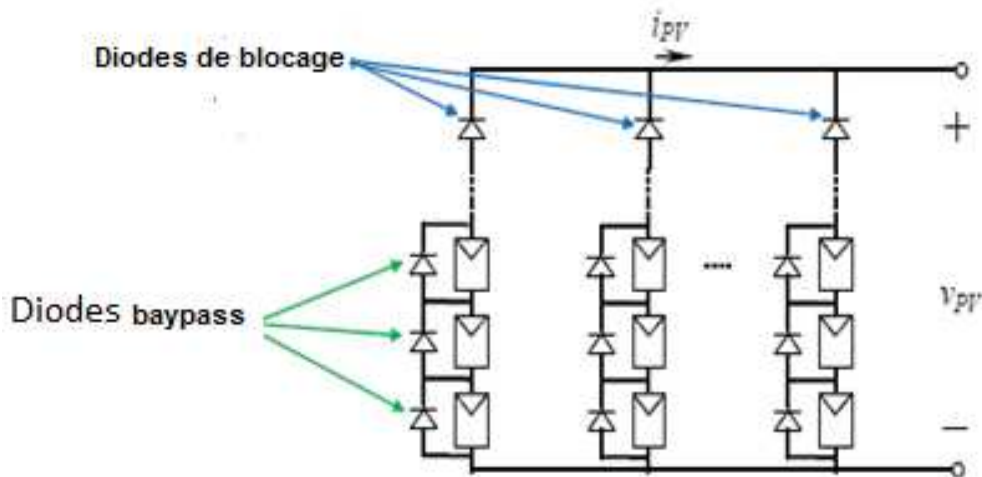


Fig. 13. Interconnexion des modules photovoltaïques série - parallèle.

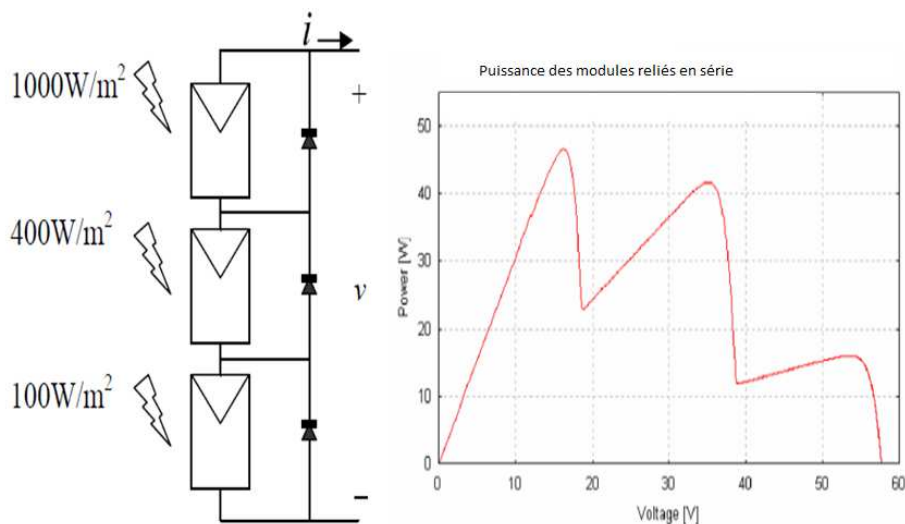


Fig.14. Apparence des maximales de la puissance locale.

### II.6. ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE :

L'intensité de l'énergie solaire disponible en un point donné sur Terre dépend de différents facteurs comme, le jour de l'année, l'heure et de la latitude [79], de plus, la quantité d'énergie solaire pouvant être collectée dépend de l'orientation du dispositif de réception. [80,81].

#### II.6.1.Types Collecteurs des rayons solaire :

Dispositif dans lequel le transfert de l'énergie thermique solaire au fluide circulant dans le collecteur.

##### a) Collecteur plat

1. Il capture la somme de l'énergie directe et diffuse
2. Il a seulement une orientation
3. Température <90 °C

##### b) Collecteur de concentration

1. Il capture uniquement l'énergie directe

## Chapitre II : Energie Solaire

---

2. Il doit être orienté directement vers le soleil

3. Température > 90 °C

### II.6.2. Taux de concentration :

Nous avons deux éléments de base dans le collecteur, le concentrateur et le récepteur [82].

Le premier constitue le système optique, et fait partie du collecteur qui dirige le rayonnement sur le récepteur qui est l'élément du système où le rayonnement est absorbé et devient un autre type d'énergie. Par conséquent, le rapport de concentration de surface est défini comme le quotient de la surface d'ouverture du concentrateur entre la zone d'absorption du récepteur [83] :

$$C = \frac{\text{la surface d'ouverture}}{\text{la surface d'absorption}} \quad (\text{II .24})$$

### II.6.3. Collecteurs non concentrés :

Ce type de capteurs sans concentration ( $C = 1$ ) est le plus utilisé dans les applications thermiques domestiques [84].

Il existe différents types de collecteurs :

- a) Collecteur plat pour l'eau est le plus utilisé dans les températures domestiques et basses, par exemple, le chauffage de l'eau domestique. (Fig.15)
- b) Collecteur d'air plat. Ils réagissent rapidement aux radiations et ne présentent pas de problèmes de gel ou de corrosion.
- c) Tubes à vide : Ces collecteurs sont utilisés individuellement, en groupes, en faisceaux ou en systèmes de concentration linéaire. (Fig.16)



Fig.15. Collecteur plat pour l'eau





Fig.16. capteur en tubes à vide

### II.6.4. Collecteurs concentrateurs :

Les collecteurs concentrateurs peuvent être classés selon deux caractéristiques fondamentales : La géométrie de l'absorbeur (concentration linéaire ou ponctuelle) et la concentration (réflexion ou réfraction). [85].

Le tableau (6) montre les différents collecteurs en fonction du rapport de concentration, ainsi que la plage de températures pouvant être atteinte :

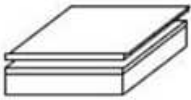

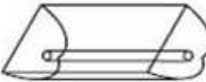



		Nom	Croquis	Concentration	Gamme Température atteint	
Stationnaire	Absorbeur plat	Capteur plat eau/air		$C \leq 1$	$30 < T^{\#} < 250$	
		Tubes à vide		$C \leq 1$	$50 < T^{\#} < 200$	
Suiveurs	Suiveurs à un axes	collecteur parabolique composite cpc		$1 < C < 15$	$70 < T^{\#} < 300$	
		Collecteur parabolique cylindrique ccp		$15 < C < 40$	$70 < T^{\#} < 350$	
	Suiveurs à deux axes	Absorbeurs ponctuels	Disque parabolique		$100 < C < 1000$	$70 < T^{\#} < 1500$
		Tour centrale		$100 < C < 1500$	$150 < T^{\#} < 1500$	

Tableau.6. Classification en fonction du facteur de concentration



## Chapitre II : Energie Solaire

### II.6.4.1. Collecteur parabolique composé. CPC :

Les CPC sont des réflecteurs paraboliques qui redirigent le rayonnement de l'ouverture vers l'absorbant. Dans la figure 23, les moitiés droite et gauche appartiennent à différentes paraboles. L'axe droit de la parabole forme un angle  $\theta_a$  avec le plan médian du collecteur et l'axe gauche forme un angle  $-\theta_a$  avec le plan, et ses foyers sont respectivement A et B Aux points C et D l'inclinaison est parallèle au plan milieu du collecteur.[86,87].

Une des caractéristiques angulaires de cette conception est que tous les rayons qui frappent l'ouverture avec l'angle d'acceptation angulaire, qui sont  $|\theta| > \theta_a$  sera réfléchi entre les deux surfaces et expulsé vers l'extérieur.

Les avantages de ces conceptions sont :

- La concentration est indépendante de la forme de l'absorbeur, mais dépend du périmètre et de l'angle d'acceptance de ce dernier.
- La restriction des angles de sortie du récepteur. C'est important parce que certains récepteurs ont une faible absorbance à des angles d'incidence élevés.
- Ils permettent l'orientation asymétrique de la source et de l'ouverture (pour les conceptions de collectionneurs présentant des variations saisonnières). Bien qu'ils puissent aussi être non-suiveurs
- Ils profitent du rayonnement diffus.
- Ils peuvent être utilisés pour des concentrateurs avec des rendements élevés.

### II.6.4.2. Collecteur cylindro-parabolique. CCP :

Les CCP concentrent des rayons solaires de foyer linéaire, qui transforment le rayonnement solaire direct en énergie thermique, grâce au réchauffement d'un fluide de travail pouvant atteindre  $400\text{ C}^\circ$  [88,89]. Comme la plate-forme. Solar de Almería Andasol 1 et Andasol 2. [90,91] (Fig.17)



Fig.17. Les premières centrales électriques paraboliques en Europe.  
Les plus grandes centrales solaires au monde - Andasol 1 à 3

Les principaux éléments de l'assemblage du collecteur, sont définis comme suit :

#### II.6.4.2.1. Le Réflecteur Cylindrique Parabolique :

C'est un miroir incurvé qui forme une parabole cylindrique, sa fonction est la réflexion des rayonnements solaires concentrés vers le tube absorbant. Les matériaux utilisés pour la réflexion, on

## Chapitre II : Energie Solaire

trouve des plastiques enduits de films d'argent ou d'aluminium, des tôles, du verre sur lequel une couche d'argent est déposée [92,93].

### a)- Le tube d'absorption ou Récepteur :

C'est un élément fondamental, car la performance globale du capteur dépend largement de la qualité thermodynamique de l'absorbeur. Il peut être constitué d'un seul tube ou de deux tubes concentriques. Dans ce dernier cas, le tube interne est en métal avec un pouvoir absorbant élevé ( $> 90\%$ ) et une faible émissivité ( $< 30\%$ ) dans le spectre infrarouge, ce qui se traduit par un rendement thermique élevé. D'autre part, le tube externe est en verre pour réduire les pertes thermiques par convection du tube métallique. [94].

### b)- Le système de suivi solaire :

La surveillance du soleil est faite avec l'objectif de capter le maximum des rayons solaire pendant des heures de lumière, de sorte que le rayonnement solaire est perpendiculairement au collecteur et reste dans le foyer linéaire continuellement [95]. (Fig.18)

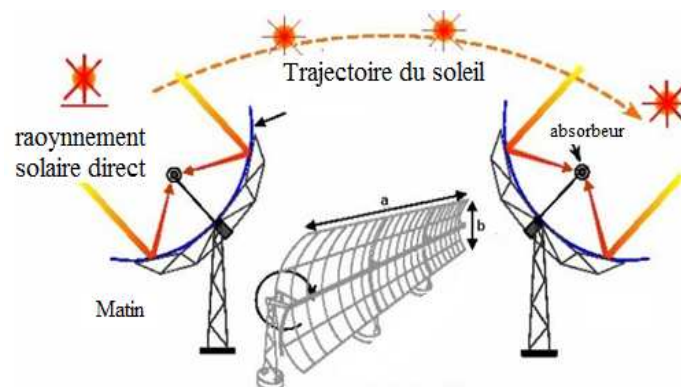


Fig.18.Schéma du suivi solaire vers un axe d'un CCP

### II.6.4.3. Disque parabolique :

DP Les systèmes à disque parabolique sont composés essentiellement d'un réflecteur, qui a la forme d'un paraboloïde, il a également un récepteur situé dans le point focal paraboloïde.

Le principe de fonctionnement est le même que pour les CCP, l'énergie thermique est convertie pouvant atteindre  $1500\text{ C}^\circ$  [96].

#### Composants :

Les principaux éléments du collecteur de disques paraboliques sont les suivants :

- **Concentrateur** : La forme de la surface réfléchissante est paraboloïde, dont la taille dépend de la puissance nominale et de l'énergie pour être produit dans un temps donné et dans des conditions de certaines radiations.

## Chapitre II : Energie Solaire

- **Récepteur** : Un système de disques paraboliques ont deux fonctions principales, d'une part, à absorber le rayonnement solaire réfléchi par le concentrateur et d'autre part chauffer un fluide de travail qui absorbe l'énergie. (Fig.19)

- **Système de suivi** : Afin de suivre la position du soleil tout au long, les disques paraboliques le suivent en deux axes. Il est réalisé selon deux types d'assemblage :

- Suivi en azimut-élévation, dans lequel le mouvement s'effectue selon deux axes, la vertical et l'horizontal.

- **Suivi polaire**, dans lequel le mouvement dans un axe est très lent, car seules les variations saisonnières du soleil doivent être suivies.

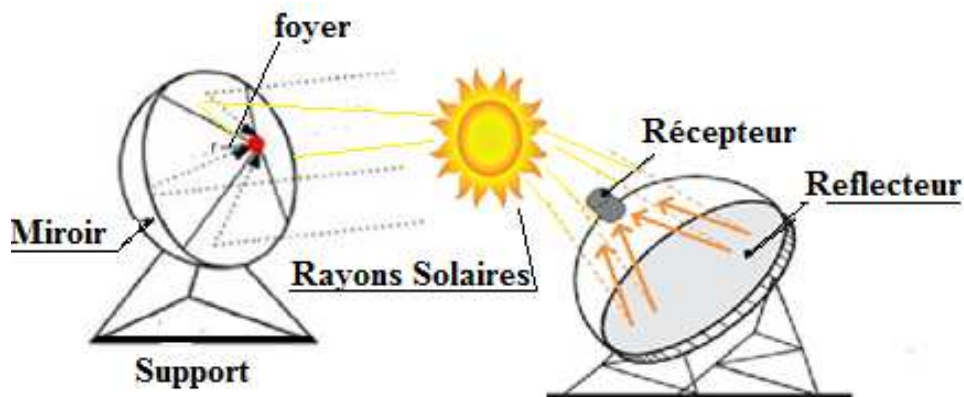


Fig.19.Diagramme d'un disque parabolique

### II.6.4.4. Systèmes de tour centrale. STC :

Ce système est caractérisé par un groupe collecteur, plus ou moins nombreux, de concentrateurs plats individuels appelés héliostats, qui dirigent le rayonnement solaire concentré vers un récepteur central situé au sommet d'une tour, par conséquent, la concentration de rayonnement se produit en trois dimensions, de sorte que la valeur du rapport de concentration est très élevée, ainsi que les températures peuvent atteindre 1500° C. [97]. (Fig.20)

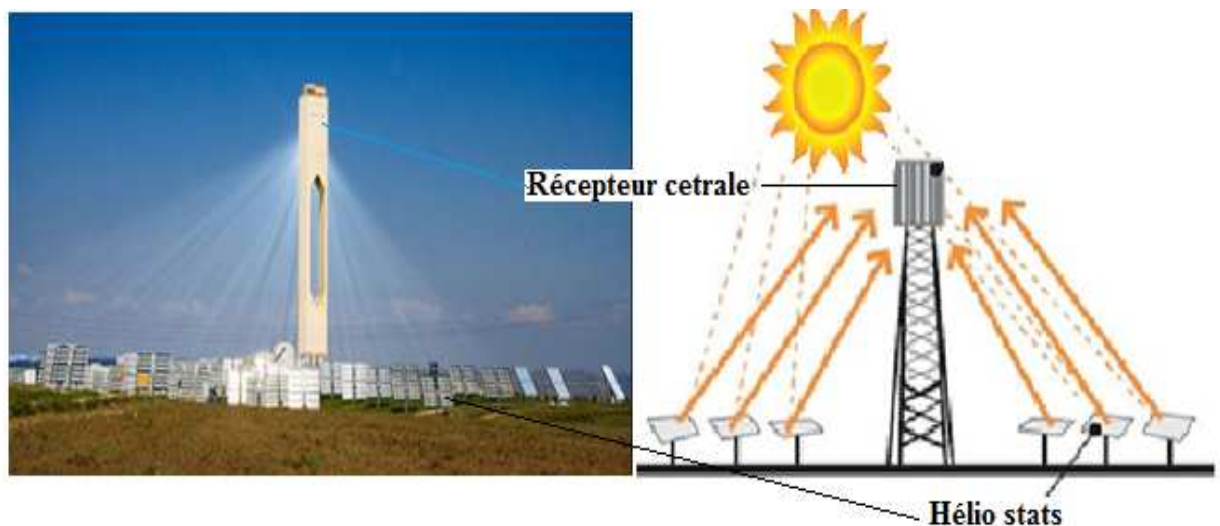


Fig.20.Diagramme d'un STC

## Chapitre III

# Technique de distillation

## Chapitre III : Technique de distillation

---

### **Introduction :**

Les techniques de la distillation sont les plus répandues sur le marché du dessalement de l'eau de mer. Aujourd'hui, elles occupent environ 60% du marché mondial du dessalement [98]. Elle utilise l'énergie thermique pour la séparation des mélanges de produits.

Ces procédés présentent un avantage, qui est la production de l'eau saine pour l'organisme, effectivement dans les conditions de température (100°C). Les microbes sont instantanément détruits, mais, elles présentent un inconvénient majeur, qui est la consommation énormément d'énergie et sont très coûteuses au niveau des installations industrielles.

Les trois procédés thermiques les plus utilisés sont :

- La distillation à simple effet.
- La distillation multi flash et à multiple effet.
- La distillation compression de vapeur.

Le dessalement solaire est une solution potentielle pour l'économie d'énergie et réduire la pénurie d'eau dans les zones pauvres et rurales, c'est la préoccupation principale des chercheurs, qui ont développé plusieurs recherches sur les méthodes et les matériaux qui permettent l'efficacité et la production d'eau dessalée par énergie solaire.

### **III.1. Technologies de dessalement :**

Les technologies de dessalement les plus couramment utilisées peuvent être classées en deux groupes : thermique et membrane. [99]

### **III.2. Principes fondamentaux des procédés thermiques :**

Le dessalement est basé sur la séparation des sels dissous dans l'eau, par la génération de vapeur. Deux méthodes sont utilisées pour générer de la vapeur [100,101]:

- 1) Alimentation en énergie thermique
- 2) Diminution brusque de la pression (vapeur instantanée).

Les technologies thermiques sont classées comme suivant :

- La distillation instantanée multi-étapes (MSF)
- Détection d'effets multiples (MED)
- Compression mécanique ou thermique de vapeur (MVC / TVC)

#### **III.2.1. Flash distillation par effet flash (MSF) :**

Un évaporateur est un arrangement de plusieurs chambres qui ont des pressions décroissantes de la première à la dernière.

L'eau de mer circule à l'intérieur des échangeurs de chaleur qui a pour fonction, d'une part, de préchauffer l'eau d'alimentation à travers des conduites d'eau, d'autre part pour condenser la vapeur produite à chaque étape, après préchauffage de l'eau d'alimentation, elle se dirige vers le

## Chapitre III : Technique de distillation

réchauffeur de la saumure ou augmente sa température qui correspondante à la pression manipuler. A l'entrée de la première cellule, l'eau de mer est surchauffée et évaporée, la vapeur produite est condensée sur l'échangeur tubulaire situé au sommet de l'échangeur. Le processus se répète lorsque l'eau est introduite dans l'étape suivante, et ainsi de suite jusqu'à l'étape la plus froide. L'eau distillée accumulée constitue la production de distillat qui est extraite de la phase la plus froide.

Enfin, le distillat est collecté dans chaque chambre, la saumure accumulée et sort du dernier stade. [102]. (Fig.1)

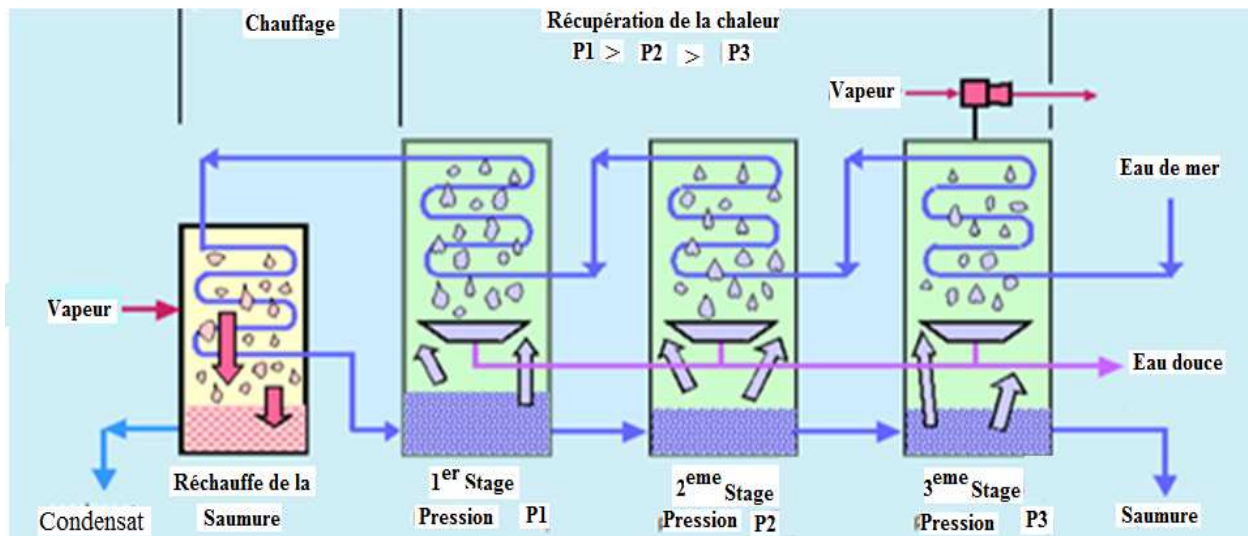


Fig.1. Distillation Multi flash

### III. 2. 2. La distillation multi-effets (MED):

Le procédé MED est l'effet d'évaporation consécutive avec des pressions décroissantes produisant de l'eau distillée. Le premier effet est un moyen de chauffage pour le second effet, et ainsi de suite. Plus les effets sont élevés, plus la performance est grande.

Dans le premier effet, l'eau chauffée par une source de température qui produit la vapeur, Celle ci réchauffe l'eau dans l'effet suivant qui est à une pression plus basse.

La source de chaleur dans le premier effet, est suffisante pour évaporer une partie de l'eau d'alimentation. La vapeur formée dans cet effet réchauffe l'effet suivant.

La production de vapeur dans chaque effet est utilisée pour chauffer l'effet suivant, et ainsi continuer à travers tous les effets jusqu'à ce que la vapeur du dernier effet soit condensée dans la phase finale. (Fig.2)

Le distillat est obtenu à partir de la condensation de la vapeur dans chaque effet. La saumure concentrée de chaque effet est envoyée à l'effet suivant, jusqu'à le dernier.



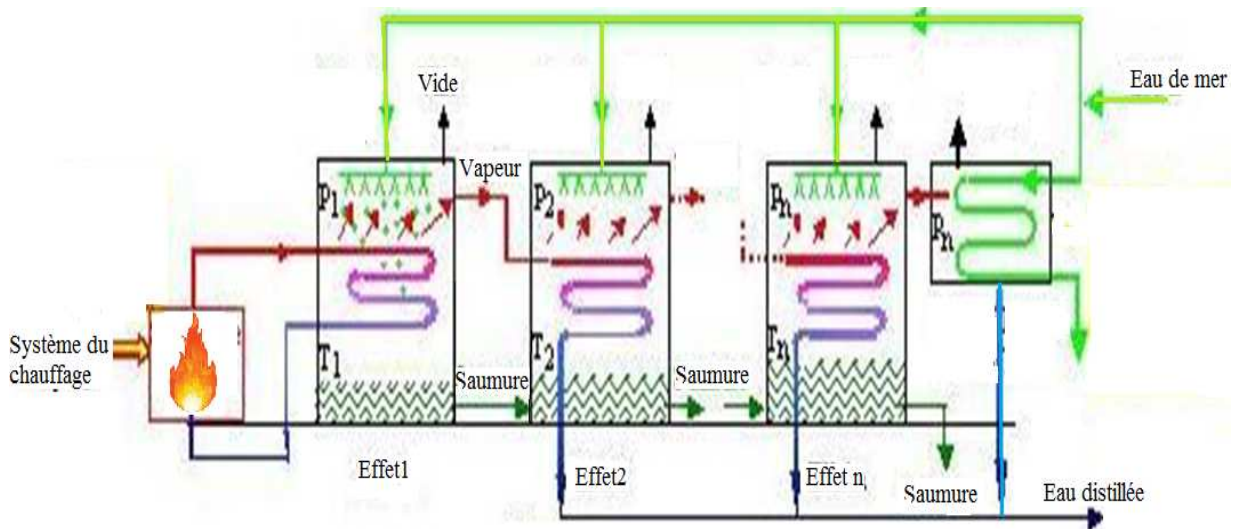


Fig.2. Schéma de dessalement d'évaporation multi-effets

### III.2.3. Distillation par membranes :

Cette opération consiste de combiner entre l'évaporation et la filtration. L'eau saline est chauffée et exposée à la membrane, ce qui permet à la vapeur de passer mais sans sels [103], après avoir traversé la membrane, la vapeur se condense sur une surface froide pour produire de l'eau dessalée, malheureusement, ce procédé n'a été évolué seulement au niveau des laboratoires par plusieurs groupes de recherche scientifique [104].

### III.2.4. Electrodialyse (ED) :

L'électrodialyse est un procédé électrochimique permet d'extraire les ions positifs et négatifs d'une solution ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ). Les anions (ions chargés négativement) contenus dans l'eau salée sont attirés vers l'anode (électrode positive) et les cations vers la cathode (électrode négative). En appliquant des champs électriques avec des différences de potentiel appliquées sur les électrodes et en utilisant des membranes sélectives qui permettent seulement le passage des ions dans une solution électrolytique telle que l'eau salée [105]. (Fig.3)

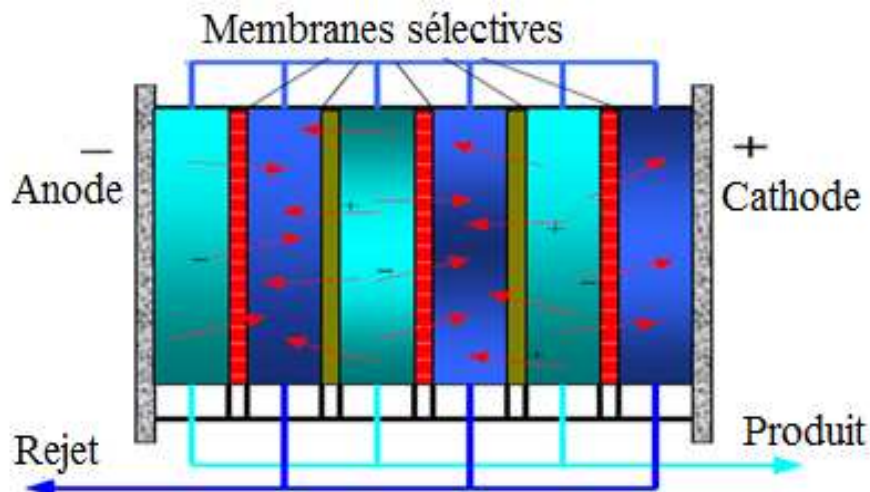


Fig.3. Processus d'électrodialyse.

## Chapitre III : Technique de distillation

### III.2.5. Distillation par compression de vapeur MVC :

Le principe de ce procédé est chauffé l'eau de mer jusqu'à l'évaporation, dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui augmente la température et la pression de la vapeur.

Cette vapeur haute pression est envoyée vers la partie basse de l'enceinte où elle se refroidit, en se condensant, la vapeur se transforme en eau douce. (Fig.4)

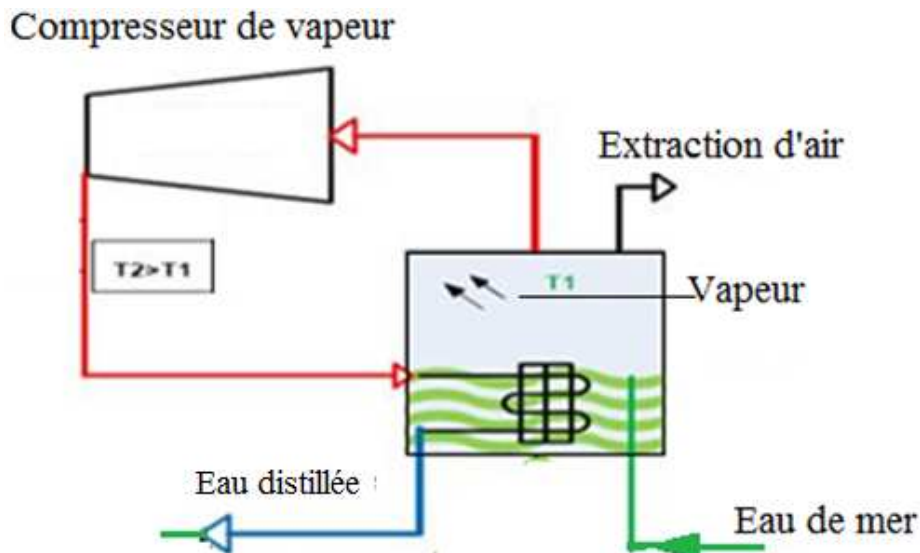


Fig.4. Distillation par compression de vapeur.

### III.3. Avantages et Inconvénients des procédés de dessalement :

Le tableau.1. Montre l'évaluation les caractéristiques des méthodes de dessalement viables à l'échelle industrielle.

	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
Type d'énergie	Thermique	Thermique	Electrique	Electrique	Electrique
Consommation d'énergie primaire (Kj/Kg)	Elevé (>200)	Elevé/moyen (150-200)	Moyen (100-150)	Bas (<80)	Bas (<30)
Coût d'installation	élevé	Elevé/moyen	Elevé	Moyen	Moyen
Capacité de production (m <sup>3</sup> /jour)	Elevé (>50.000)	Moyen (<20.000)	bas (<5.000)	Elevé (>50.000)	Moyen (<30.000)
Possibilité d'expansion	Difficile	Difficile	Difficile	Facile	Facile
Fiabilité opérationnelle	Elevé	Moyen	Bas	Elevé	Elevé
Eau de mer de dessalement (ppm)	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Qualité de l'eau dessalée	Elevé (<50)	Elevé (50)	Elevé (<50)	Moyen (300-500)	Moyen (<300)



## Chapitre III : Technique de distillation

Surface requise pour l'installation	Beaucoup	Moyen	Peu	Peu	Peu
-------------------------------------	----------	-------	-----	-----	-----

Tableau.1. Évaluation différente caractéristiques des méthodes de dessalement

### III.4. La distillation solaire :

Le procédé de distillation solaire est le plus ancien et le plus simple puisqu'il utilise l'énergie du soleil pour distiller l'eau. Depuis 1782 Le distillateur solaire a été utilisé dans les mines de nitrates du nord du Chili. Il permettait de fournir de l'eau potable à partir de l'eau salée de la mer.

Ce type de distillateur dépend sur l'effet de serre pour distillée l'eau salée, dans lequel l'eau saline est chauffée dans un bassin sur le sol, et la vapeur d'eau se condense sur le toit en verre incliné qui recouvre le bassin. La Figure.5 montre le diagramme d'un alambic solaire. [106,107,108].

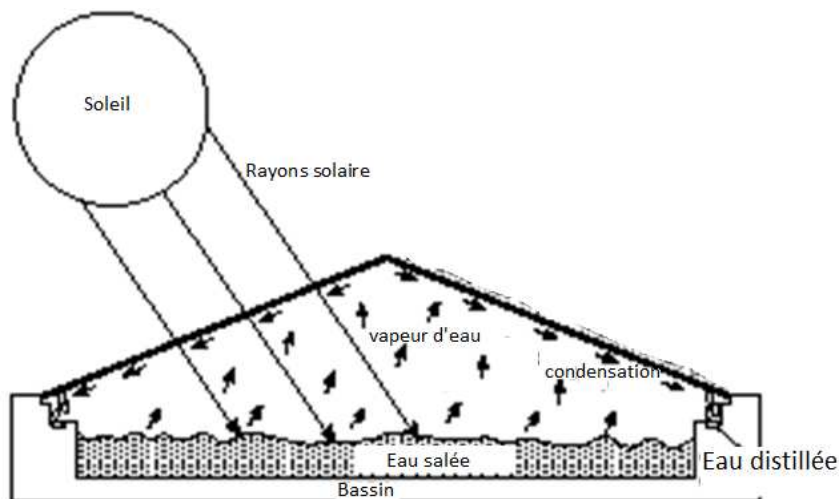


Fig.5. Diagramme d'un distillateur solaire.

#### III.4.1. Distillateur Solaire :

Des recherches intensives ont été faites pour utiliser des matériaux à faible coût et de nombreuses variantes de la forme de base ont été développées pour augmenter la production des distillateurs solaires. (Figs.6.7)

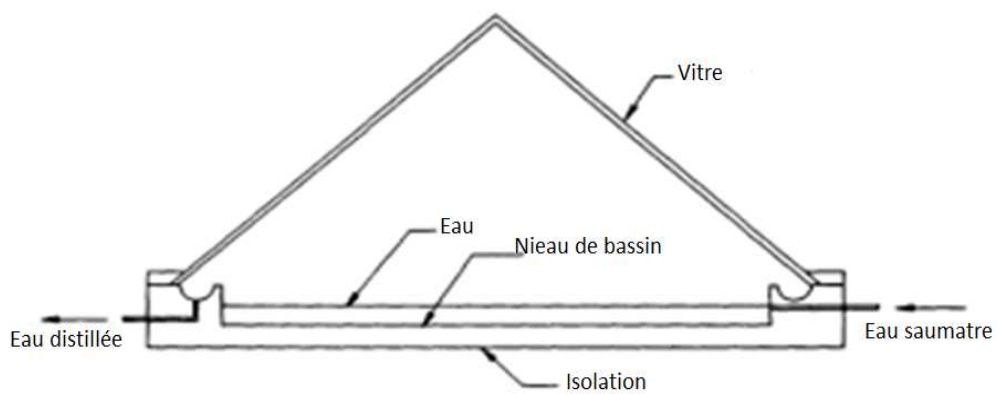


Fig.6. Schéma d'un distillateur solaire

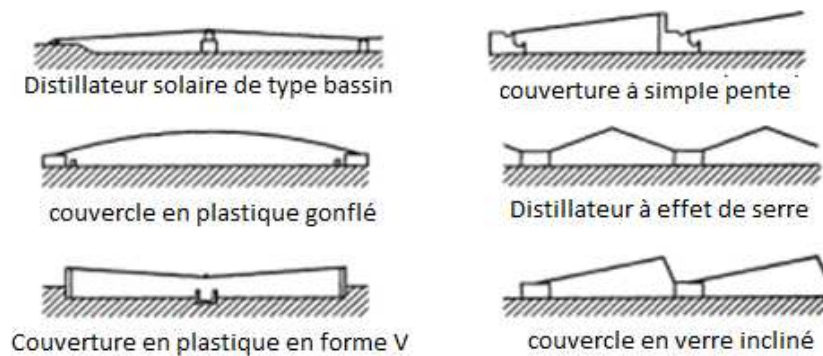


Fig.7. Des variantes formes de base d'alambics solaires [109]

Les alambics solaires ont un toit en plastique, sont pratiques à utiliser dans les lieux où les sources naturelles souterraines ne sont pas disponibles (Fig.8). Ce type d'alambic solaire se compose généralement d'une couverture en plastique, d'un bassin immobile solaire en plastique noir et d'une isolation fixe. La profondeur de l'eau ne doit pas dépasser 2 cm.

La Figure.9 montre un alambic solaire pliable léger pour seulement quelques gallons par jour de production d'eau. Ces types d'alambics solaires sont généralement utilisés pour les cas d'urgence sur les zones qui n'ont pas des sources d'eau [109].

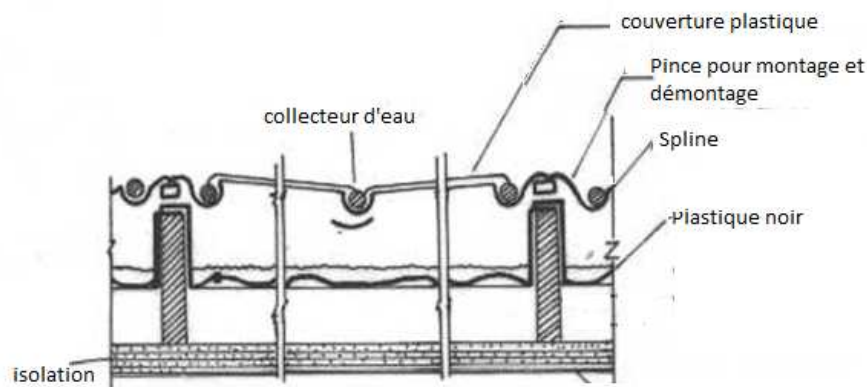


Fig.8. Distillateur solaire avec un toit en plastique [9]

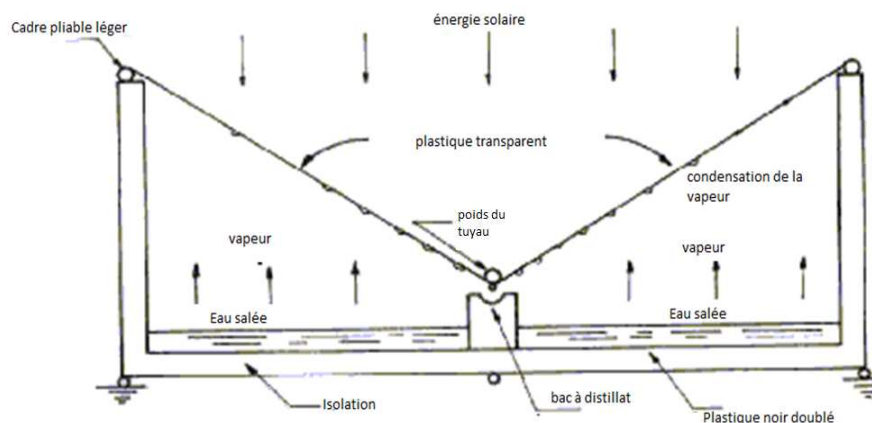


Fig.9. Distillateur solaire pliable Léger

## Chapitre III : Technique de distillation

La Figure.10, montre un alambic solaire horizontal qui utilise l'air. L'air transporte la vapeur d'eau de l'espace annulaire entre l'extérieur et le tube interne à travers l'intérieur du tube où la vapeur d'eau se condense et abandonne sa chaleur directement à l'eau de mer pulvérisée sur la surface externe du tube interne. La vapeur d'eau aura la tendance préférentielle à se condenser sur la surface interne du tube externe transparent.

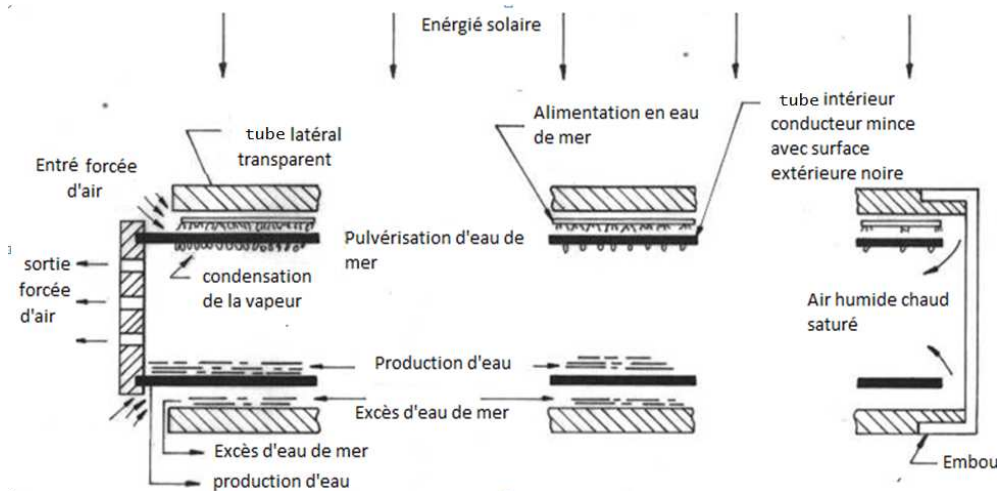


Fig.10. Distillateur à tube concentrique horizontal solaire

La Figure.11. Dans ce type, la chaleur de condensation de la vapeur d'eau est reçue par un fluide de travail qui circule autour de l'alambic solaire, la température du fluide est minimale au point 1 et maximal au point 2, d'où elle descend sur un plan incliné isolé vers l'échangeur de chaleur.

L'échangeur de chaleur est du type à double plaque ou à double tube, dans ce dernier cas, le tuyau externe présente des perforations. L'eau de mer pénètre dans l'espace annulaire et s'évapore en recevant la chaleur du fluide de travail. La vapeur d'émission s'élève et se condense sur une plaque de verre en abandonnant sa chaleur au fluide de travail.

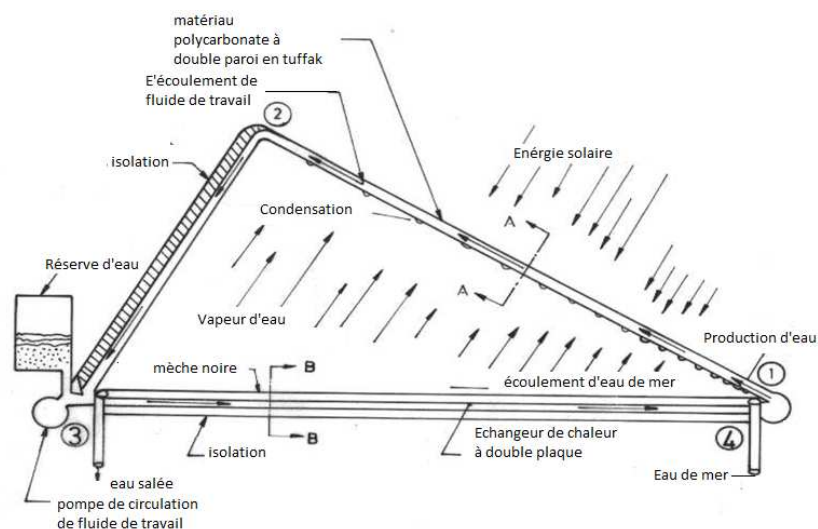


Fig.11. Distillateur à haute performance

## Chapitre III : Technique de distillation

Figure.12. Montre un alambic solaire qui a un réflecteur parabolique pour concentrer le rayonnement solaire qui incident sur la surface extérieure noire d'un plateau situé sur la ligne focale du réflecteur [110].

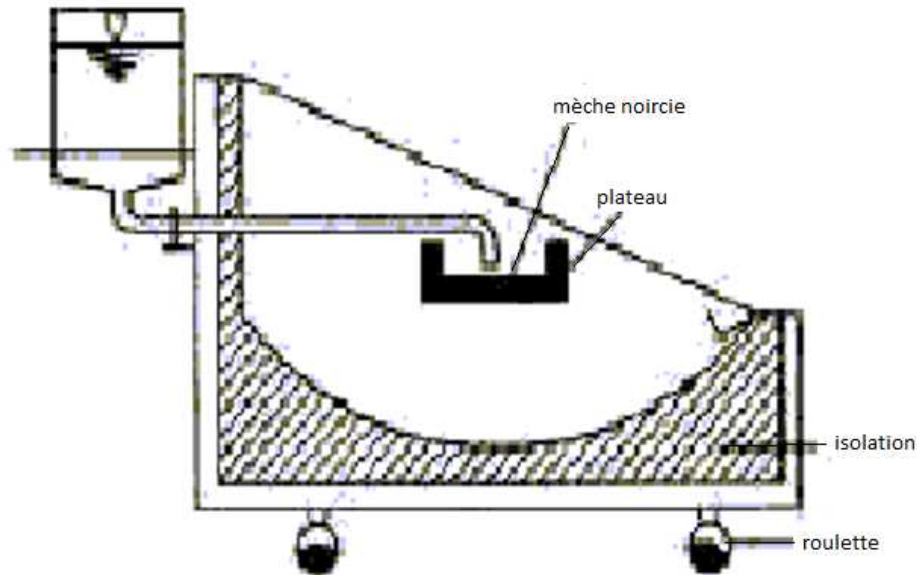


Fig.12.Type cylindrique parabolique

Figure.13. Montre un distillateur à double bassin solaire, le couvercle en verre transparent et la plaque de verre transmettent le rayonnement solaire. La plaque absorbante est ensuite chauffée directement par le rayonnement solaire. L'eau salée est introduite sur les surfaces supérieures des plaques absorbantes et de verre où une partie de l'eau s'évapore, tandis que le reste est recueilli au fond et jeté comme une saumure concentrée [111].

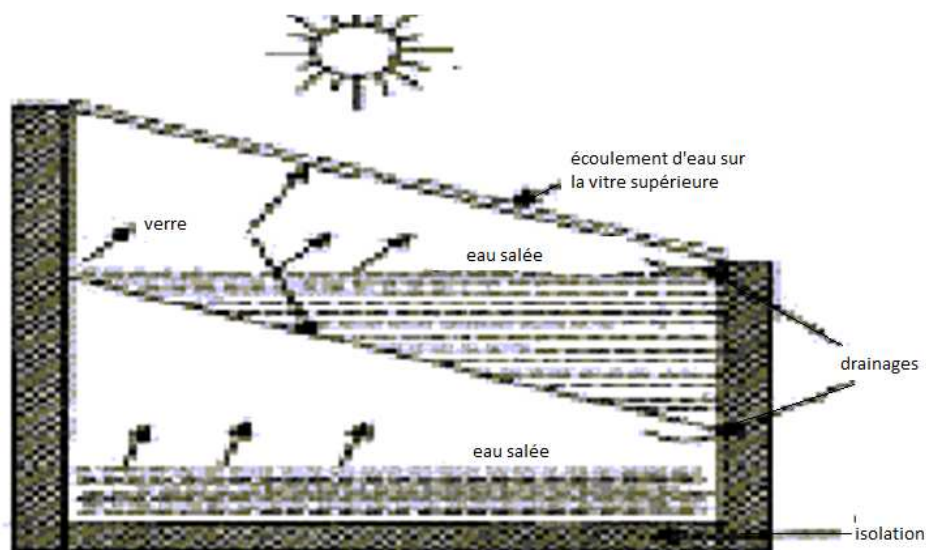


Fig.13. Stationnaire double bassin avec de l'eau qui coule sur le bassin supérieur.

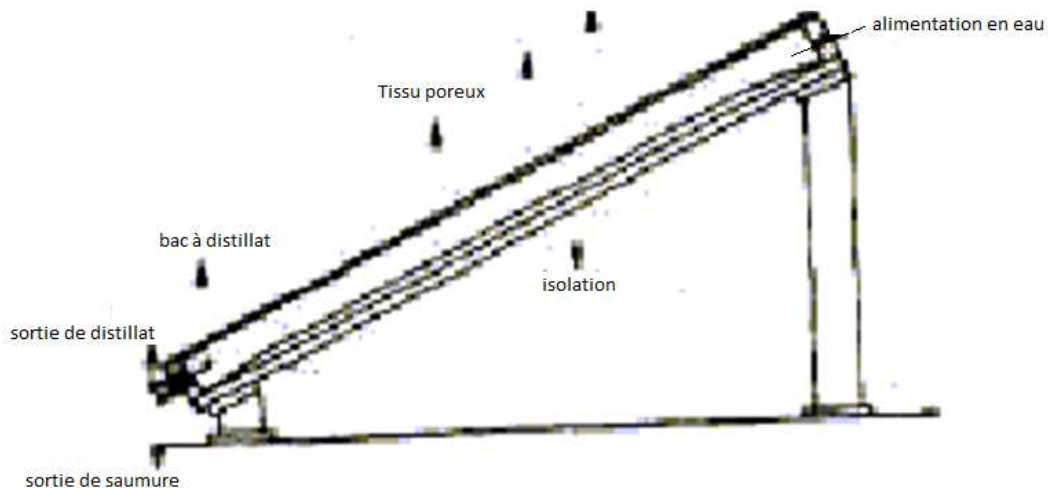


Fig.14. Mèche inclinée solaire

Figure.14. Le premier dispositif de distillation solaire ayant une capacité d'environ  $23 \text{ m}^3 / \text{j}$ . Utilise un bassin noir peu profond pour retenir l'eau salée et absorbe le rayonnement solaire. L'eau vaporisée par la saumure est condensée sur le dessous d'une couverture transparente inclinée et recueillie dans des réservoirs au bout de l'alambic.

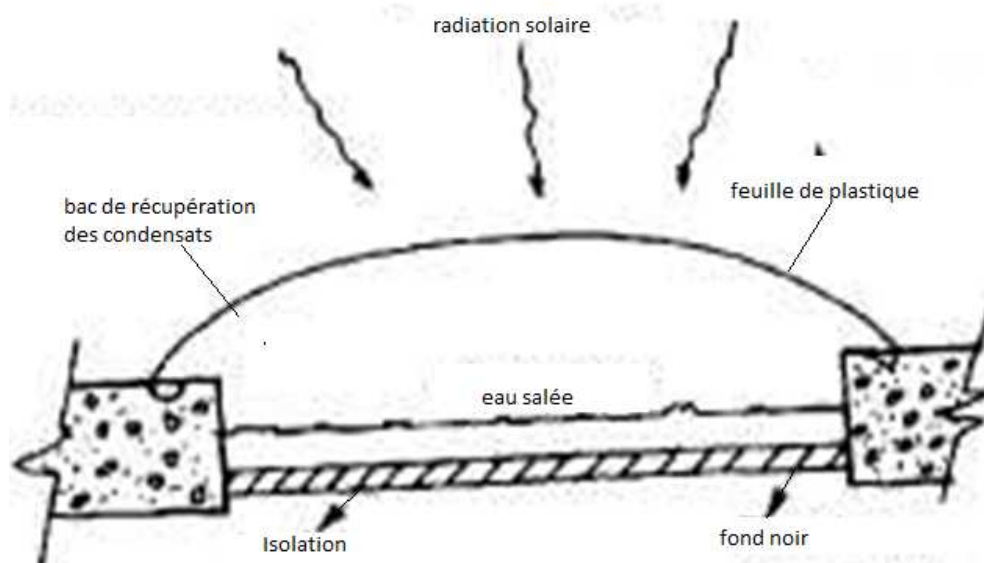


Fig.15. Simple distillateur solaire [112]

### III.4.2. Distillateur solaire à simple face :

Le distillateur solaire à une seule pente est la structure la plus simple, Figure.16.

C'est une boîte recouverte d'une couverture inclinée transparente. La boîte est divisée en deux compartiments, l'un avec le fond noir est placée où l'eau à évaporer et l'autre le collecteur où l'eau distillée est recueillie. Ces systèmes ont la possibilité de s'interconnecter pour étendre l'installation de manière modulaire. [113]

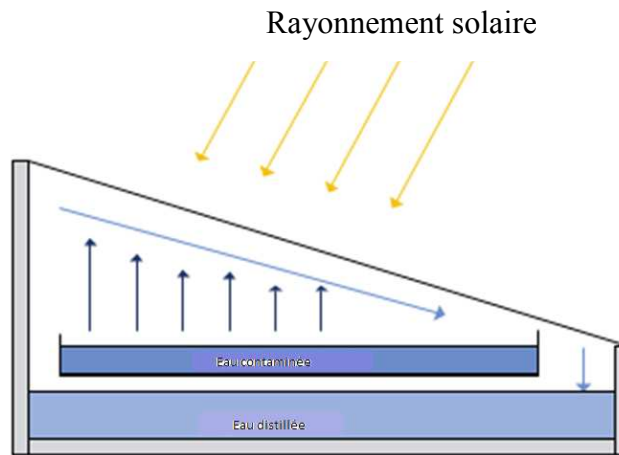


Fig.16. Distillateur à simple gouttière

### III.4.3. Distillateur solaire à double pente :

Ce distillateur solaire a une grande taille, Figure.17. Ce sont des structures de serre qui contiennent un étang d'eau peu profonde avec un fond noir pour capturer le rayonnement solaire. L'eau évaporée se condense sur les parois de la serre et glisse dans les gouttières situées à la base des murs [114].

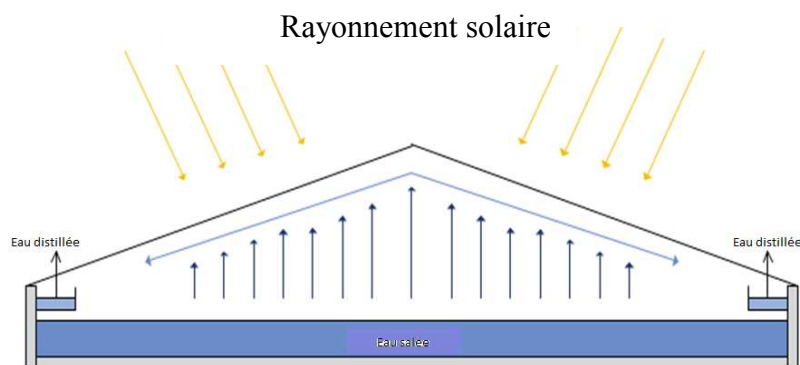


Fig.17. Distillateur double pente.

### III.4.4. Distillateur à cascade solaire :

Figure.18. Un modèle de distillateur sous forme de terrasses, au sommet de chacune des terrasses, il y a des bassins avec un fond noir rempli d'eau à distiller, lorsque le rayonnement solaire frappe le distillateur, l'évaporation commence et se condense sur une surface transparente disposée en pente sur les terrasses et glisse vers le récupérateur situé dans la partie inférieure du distillateur. [115]



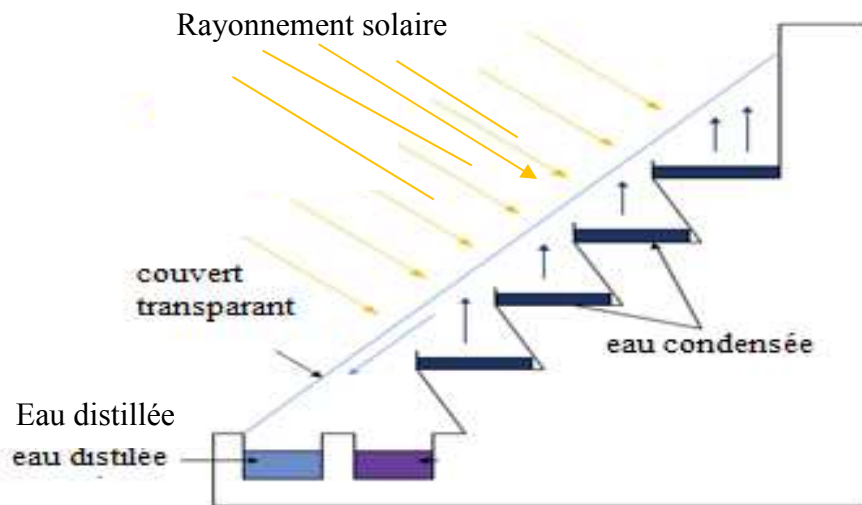


Fig.18. Distillateur solaire cascade.

### III.4.5. Distillateur sphérique avec Balayeuse:

Ce modèle est basé sur la forme sphérique du matériau transparent, Figure.19. L'eau à distiller est placée dans un bac avec un fond noir situé dans la partie centrale de la sphère, pendant ce temps, la racle tire les gouttelettes qui sont formées dans la sphère au fond où ils accumulent. Avec le balai système empêche les gouttes qui reflètent le rayonnement solaire et permet à l'eau évaporée de se condenser plus facilement dans les murs. [116].

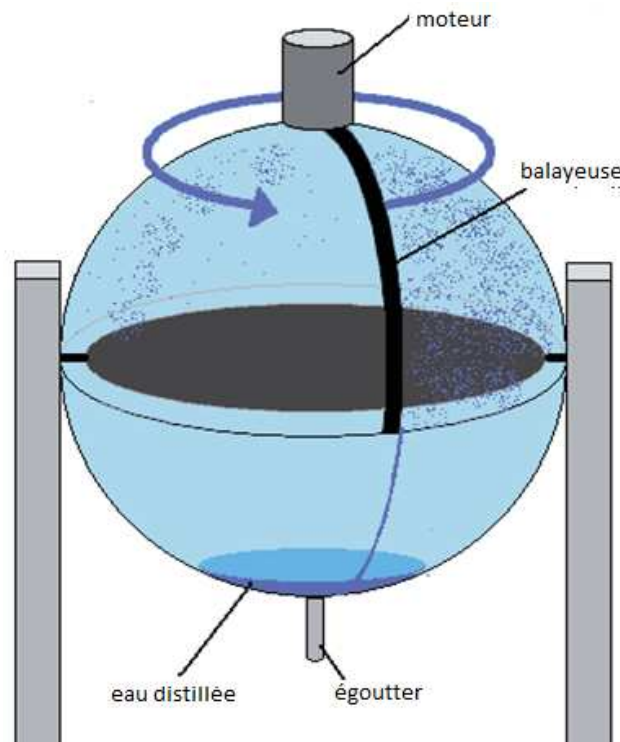


Fig.19. Distillateur sphérique solaire

### III.4.6. Système de distillation PV hybride :

La Figure.20. Montre les composants du système de distillation solaire PV / T. Le système est un alambic ordinaire de type simple-bassin avec une cellule PV / T, installée au fond de son bassin et couplé avec un condenseur à ailettes séparé. Le système est installé avec un réflecteur interne (miroir) pour recueillir plus de rayonnement solaire dans le bassin. L'unité de condenseur est située dans la zone d'ombre de l'alambic. La surface interne de la paroi gauche de la salle de condensation est isolée, les surfaces interne et externe du mur droit sont dotées d'ailettes pour maintenir le mur droit à une température proche de la température ambiante. La chambre de condensation est protégée du rayonnement solaire par un couvercle isolant opaque.

La couverture en verre permet au rayonnement solaire de passer dans l'eau saline du bassin. Une partie du rayonnement solaire incident est absorbée et a converti en électricité par la cellule photovoltaïque, le reste est utilisé pour chauffer l'eau saline [117]. Un ventilateur de faible puissance, alimenté par une partie de la puissance générée par la cellule PV, peut être utilisé pour améliorer le retrait de la vapeur d'eau de la chambre d'évaporation à la chambre de condensation en particulier à midi [118].

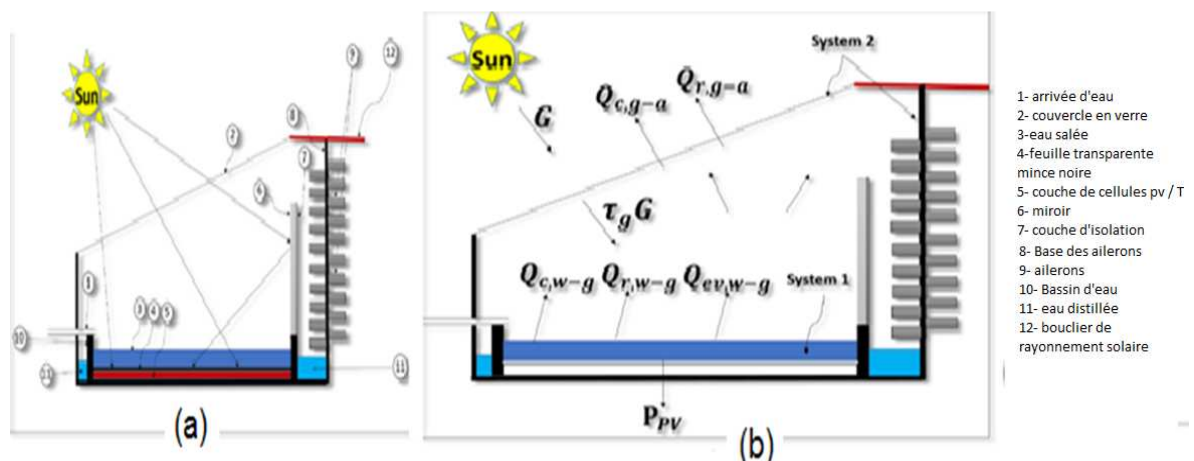


Fig.20. Distillateur hybride PV/T

### III.4.7. Distillateur solaire à double pente couplé à un film capillaire dans le sud de l'Algérie:

Figure.21. Le système est constitué d'un couplage entre un alambic solaire conventionnel (CSS) et un alambic solaire à film capillaire (CFSS).

Les principaux composants du système sont:

L'absorbeur de la (CSS) a été noirci sur la surface pour assurer une absorption maximale du rayonnement solaire pour un chauffage efficace de l'eau. La base de cet assemblage était fabriquée par une isolation en polystyrène épais. Cette base était couverte de verre orienté au sud et d'une plaque de métal orientée au nord. Une mèche a été placée de manière homogène sur la surface de la plaque métallique. Ce dernier était étroitement tenu avec un cadre en bois et recouvert d'une



## Chapitre III : Technique de distillation

couverture en verre qui a été scellée étroitement par un scellant de silicone pour empêcher toute fuite de vapeur [119]. La cellule solaire à film capillaire (CFSS) est inclinée avec un angle de  $60^\circ$ . La chaleur latente de vaporisation du premier dispositif est réutilisée pour chauffer une autre quantité d'eau saline dans la mèche fixée à la surface arrière de la plaque métallique. La vapeur d'eau diffuse à travers la couche d'air humide étroite entre les première et seconde plaques métalliques et se condense sur la surface avant opposée [120,121], de plus, cette configuration peut profiter du rayonnement réfléchi du bassin d'évaporation de surface.

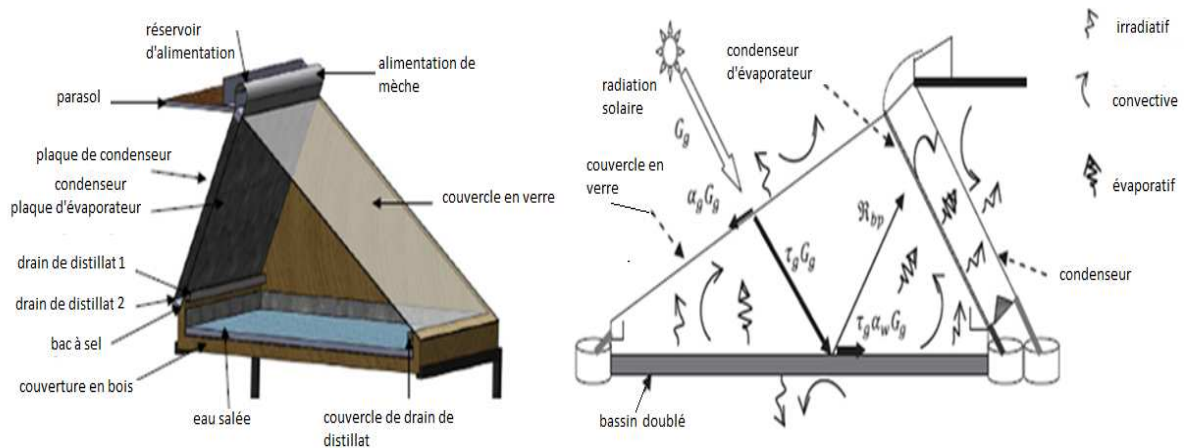


Fig.21. Couplage entre l'éclairage solaire conventionnel et un film capillaire solaire.

### III.4.8. Distillation d'eau saumâtre au moyen d'un concentrateur solaire parabolique :

Le dispositif expérimental présenté sur la Figure.22, est composé d'un type de collecteur parabolique solaire [122] et un récepteur qui est constitué de fibre de verre moulée avec 1,8 m d'ouverture diamètre. La surface de récepteur était recouverte de segments rectangulaires en tôle en acier inoxydable avec épaisseur de 1 mm [123].

La vapeur produite passe dans un condenseur à bobine où il est condensé. L'eau de refroidissement circule avec contre-courant dans la coque et avec un débit d'eau salée de 40 L / h. La condensation est faite à l'intérieur de l'horizontale tubes en cuivre et il est hors film, de la même manière, il fonctionne à la pression atmosphérique et il est suivi d'une étape de sous-refroidissement. Le distillat est collecté de manière appropriée. Un Conteneur permettant la mesure de son taux par heure et la saumure résultant de l'opération est envoyée vers l'égout.

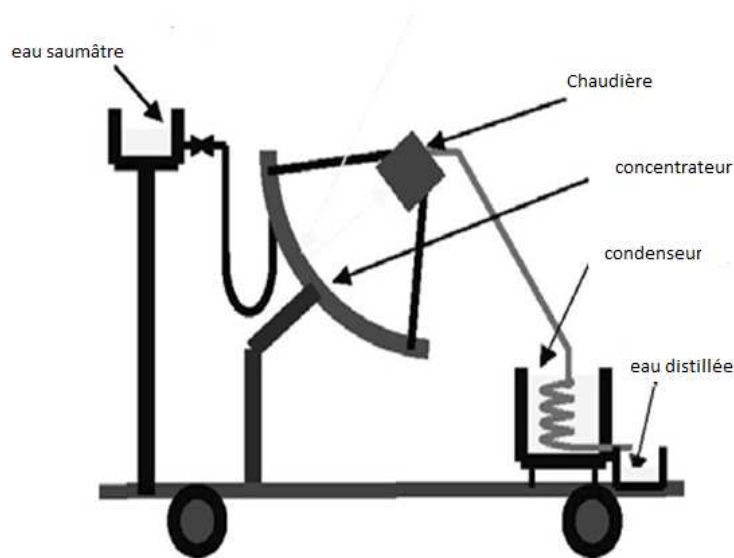


Fig.22. Distillation au moyen d'un concentrateur solaire parabolique

### III.4.9. Distillateur solaire à mèche :

Dans un distillateur à mèche (Fig.23), l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse absorbant les rayonnements (mèche) [124], deux avantages sont revendiqués sur les distillateurs de bassin.

D'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace).

En second lieu, moins d'eau d'alimentation est dans le distillateur à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée. Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues pour coûter moins qu'un distillateur à bassin du même rendement [125].

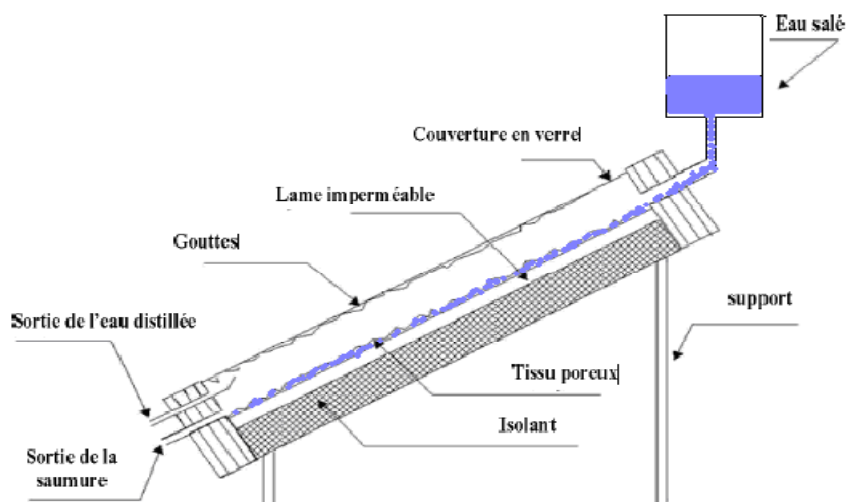


Fig.23. Distillateur solaire à mèche

## Chapitre III : Technique de distillation

### III.4.10. Distillateur solaire vertical :

La figure.24, présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical.

- 1- Le distillateur est alimenté par l'eau saumâtre à partir d'un réservoir
- 2- Le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre
- 3- Le débit d'eau à l'entrée est régulé à l'aide d'une vanne.
- 4- La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant.
- 5- Un distributeur d'eau muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux
- 6- L'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas.
- 7- L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur, s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers les deux ouvertures réalisées dans une cloison isolée vers le compartiment de condensation et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans la gouttière fabriquée en dessous de la plaque de condensation.

Le distillateur vertical présentent des inconvénients tels que :

- Un réglage difficile de débit de l'eau à distiller.
- Une perte de chaleur sensible emportée par l'excédent d'eau non évaporée [126].

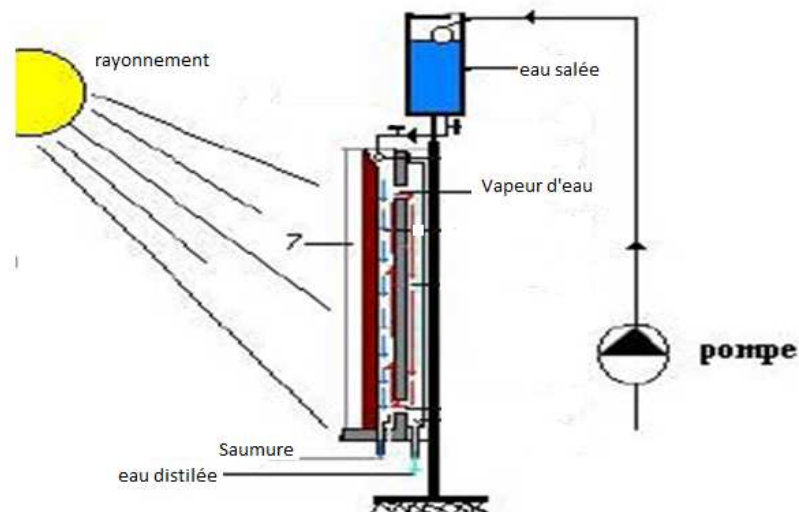


Fig.24. Distillateur solaire vertical

### III.4.11. Distillateur solaire à cascades mobile :

Le film d'eau est très faible dans ce distillateur et son orientation est facile par rapport au rayonnement incident. Un modèle de ce type, représenté dans la Figure.25, n'a été exécuté qu'en petites tailles. Ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux.

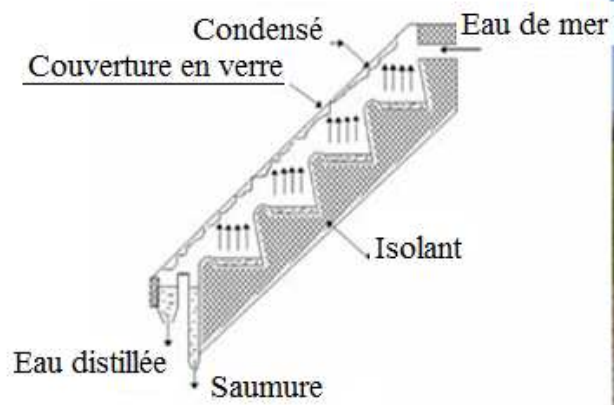


Fig.25. Distillateur solaire à cascade mobile.

## **CHAPITRE IV :**

# **Modélisation et l'état de l'art**

## Chapitre IV : Modélisation et l'état de l'art

---

### **Introduction:**

Les inconvénients des distillateurs solaires conventionnels ont incité les chercheurs à développer d'autres distillateurs. L'amélioration de la productivité des distillateurs solaires reste un défi pour les scientifiques. Cette amélioration peut être obtenue grâce à une modification de la conception de l'alambic et de son mode de fonctionnement en adoptant différentes techniques [127], en général, l'amélioration de la productivité est obtenue par l'amélioration de l'évaporation, la condensation, le stockage de chaleur et en réduisant les pertes thermiques.

La modélisation mathématique est un moyen efficace d'améliorer la productivité des alambics et d'optimiser leur conception [128].

Dans le passé, les méthodes traditionnelles dépendaient largement sur des expérimentations coûteuses et la construction de modèles réduits, mais maintenant, des approches plus flexibles et rentables sont disponibles grâce à l'utilisation de la simulation numérique et des codes informatiques avancés [129]. Les progrès récents de la technologie informatique ont permis de réaliser des calculs complexes beaucoup plus rapidement et avec plus de précision dans plusieurs conditions de fonctionnement. Les modèles thermiques sont généralement construits sur la base d'un bilan énergétique appliqué à chaque composant du système. Ces bilans sont formulés à travers d'un ensemble d'équations différentielles ordinaires. Le comportement thermique transitoire de l'alambic est prédit en résolvant les équations différentielles gouvernant pour déterminer la réponse du système dans différentes conditions météorologiques et vérifier la viabilité du modèle thermique développé.

### **IV.2. Etude théorique d'un générateur autonome photovoltaïque :**

#### **IV.2.1. Conception et dimensionnement :**

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque consistera principalement dans la détermination de la taille optimale du générateur photovoltaïque et de la batterie ou du groupe de batteries qui forment le système. Étant donné que ces deux éléments sont les plus importants du système photovoltaïque autonome, les autres éléments qui participent également à l'installation, tels que l'onduleur, le régulateur de charge et le câblage, doivent également être dimensionnés [130].

#### **IV.3. Méthodes de dimensionnement :**

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome est assez différent d'un système photovoltaïque connecté au réseau. Dans ce dernier, les défaillances éventuelles ne sont pas aussi cruciales que dans un système photovoltaïque autonome. Au contraire, le critère qui est suivi dans le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome n'est pas tant la production d'énergie maximale que le concept de fiabilité. [131,132]

### IV.4. Méthode proposée pour le dimensionnement du système :

Les étapes à suivre dans le dimensionnement proposé sont les suivantes:

- 1. Estimation de la consommation
- 2. Calcul de l'angle d'inclinaison optimal des panneaux
- 3. Dimensionnement du générateur photovoltaïque
- 4. Dimensionnement du système d'accumulation
- 5. Dimensionnement du régulateur
- 6. Dimensionnement de l'onduleur
- 7. Dimensionnement du câblage

### IV.5. Caractéristiques d'un concentrateur CCP :

Un concentrateur est utilisé en raison de son rendement plus élevé, par conséquent, le concentrateur de type parabolique a reçu une attention considérable au cours des dernières années. Ces types de concentrateurs sont largement utilisés dans la production d'énergie pour l'irrigation, le chauffage de l'eau, la climatisation et la production d'électricité.

#### IV.5.1. Analyse optique théorique :

Un concentrateur cylindro-parabolique est constitué d'une surface réfléchissante montée sur une structure de support de réflecteur ayant le profil d'une parabole (Fig.1). L'ensemble récepteur comprenant un tube absorbeur circulaire, avec un revêtement sélectif approprié et enfermé dans une enveloppe de verre concentrique est centré le long de la ligne focale du réflecteur.

L'un des paramètres les plus représentatifs de cette analyse est la concentration que le système peut atteindre. Le rapport de concentration ( $C$ ) est défini comme le rapport de la surface d'ouverture  $S$  entre la surface du récepteur  $s$  [133].

L'équation de la parabole en coordonnées cartésiennes est:

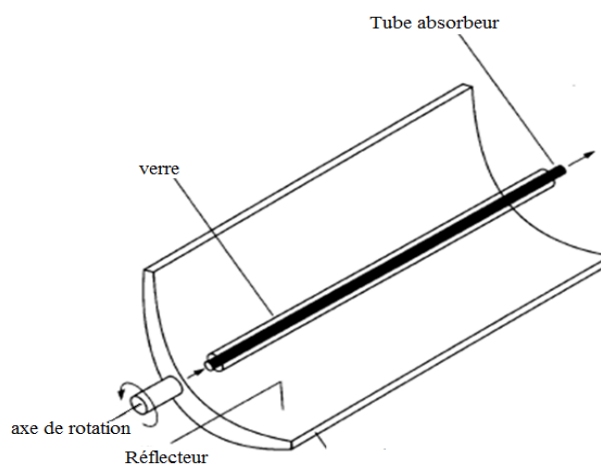


Fig.1. Fonctionnement d'un capteur cylindro-parabolique.

$$x^2 = 4 \cdot f \cdot Y \quad (IV.1)$$

L'ouverture  $W$  du concentrateur en fonction de l'angle d'ouverture ( $\varphi$ ) est donnée :

$$w = 2 \cdot r \cdot \sin(\varphi) = 4 \cdot f \cdot \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) \quad (IV.2)$$

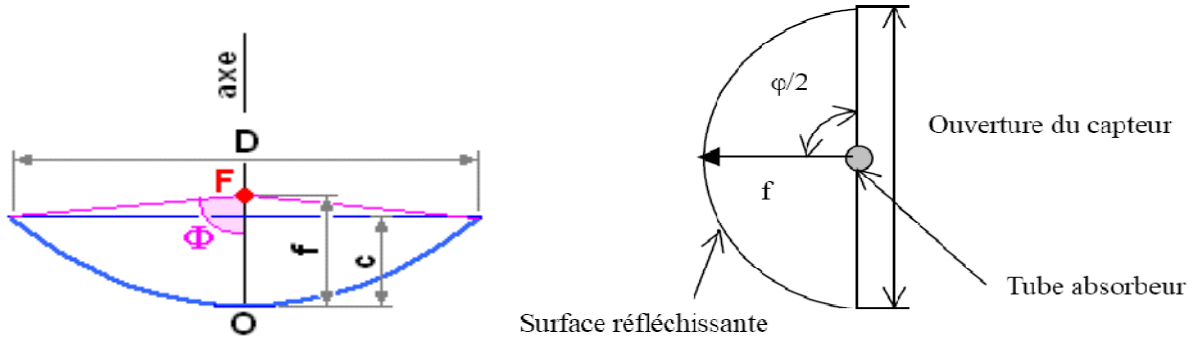


Fig.2. Dimensions relatives à un concentrateur cylindro-parabolique.

Pour tout point du réflecteur parabolique, le rayon local du miroir est:

$$r = \frac{2f}{1 + \cos\varphi} \quad (IV.3)$$

On suppose que la largeur de l'image solaire dans le plan focal augmente avec l'augmentation de l'angle d'ouverture (Fig.2).

### IV.5.1.1. Facteur de concentration :

Le taux de concentration géométrique :

- Définition géométrique, c'est le rapport entre la surface d'ouverture ( $S$ ) à la surface apparente de l'absorbeur ( $s$ ) (Fig.3). La concentration est exprimée par [134]:

$$C = \frac{S}{s} \quad (IV.4)$$

- Définition indique le rapport de l'intensité de flux au niveau de l'ouverture du capteur et l'intensité du flux sur l'absorbeur.

$$C_{flux} = \frac{I_o(\lambda)}{I_a(\lambda)} \quad (IV.5)$$

On intégrant sur un spectre de longueur d'onde solaire on obtient l'expression :

$$C_{flux} = \frac{I_o}{I_a} \quad (IV.6)$$



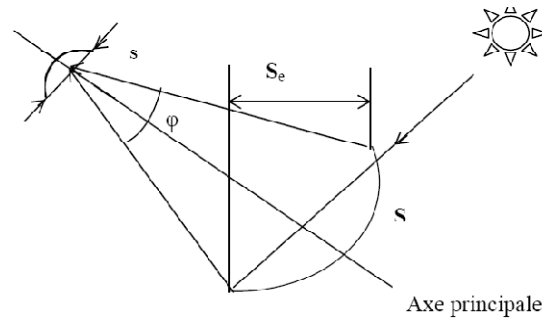


Fig.3. Différentes surfaces caractérisant un CCP.

**IV.5.1.2 Angle d'incidence :**

Deux paramètres déterminent l'énergie solaire incidente sur la surface d'ouverture d'un collecteur sont:

L'insolation normale direct et la position relative du soleil par rapport à la l'ouverture du capteur.

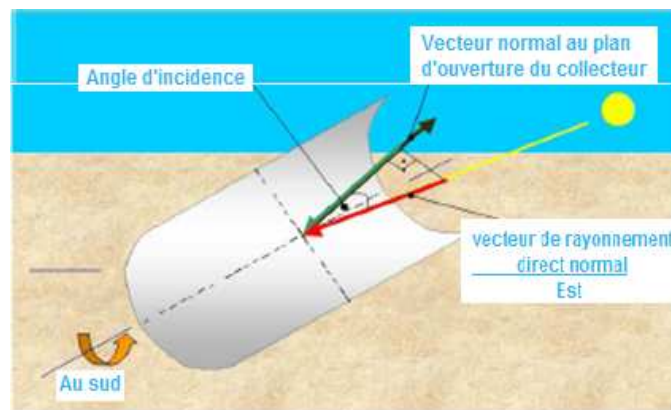


Fig.4. Angle incidence d'un capteur solaire

La relation de l'angle d'incidence (Fig.4) d'après (Duffie Et Beckman,1991) est donnée par :

$$\cos \theta = ((\cos \delta \cos L \cos \omega + \sin \delta \sin L)^2 + (\cos \delta)^2 \delta (\sin \omega)^2)^{0.5} \quad (IV.7)$$

Si ce collecteur et le tube de chaudière sont fixes comme dans notre cas, la relation de l'angle incidence se réduit à :

$$\cos \theta_\beta = \cos \delta \cos \omega \cos (L - \beta) + \sin \delta \sin (L - \beta) \quad (IV.8)$$

Donc la surface efficace ( $S_e$ ) touchée par la radiation solaire directe en fonction de l'angle d'incidence est :

$$S_e = L \cdot w - \left(\frac{w^3}{48 \cdot f} + f \cdot w\right) \cdot \tan(\theta_\beta) \quad (IV.9)$$

**IV.6. Modes de transfert de chaleur dans un concentrateur :**

On distinguer trois modes de transfert de chaleur particulier [135]:

- 1-conduction
- 2- rayonnement
- 3- convection

## Chapitre IV : Modélisation et l'état de l'art

---

### IV.7. Méthode de réduction des pertes thermiques:

Plusieurs paramètres affectent le rendement d'un capteur solaire, dont les principaux sont :

- Les propriétés optiques des matériaux utilisés.
- La conductance.
- Le degré de concentration.

Les températures élevées engendrent les déperditions par rayonnement dans l'absorbeur. Pour minimiser les pertes, on utilise des surfaces sélectives. L'utilisation des surfaces sélectives peut être rentable particulièrement dans les concentrateurs à faible et à moyenne concentration.

#### IV.7.1. Surface sélective :

Un absorbeur sélectif est un moyen d'augmenter sa température de fonctionnement et son efficacité, dont les propriétés optiques (facteurs de réflexion, d'absorption, de transmission ainsi que l'émissivité) dépendent de la longueur d'onde. [136]:

La surface sélective est un film mince d'une épaisseur de l'ordre de la grandeur d'onde du rayonnement solaire intercepté, qui a obtenu par plusieurs méthodes. Parmi les méthodes de réalisation des surfaces sélectives :

- Dépôt par projection sous vide.
- La pulvérisation cathodique.
- Dépôt par action chimique (C.V.D).
- Oxydation à chaud ou dépôt par pulvérisation (spray).
- Dépôt par voie d'électrolyse.
- L'oxydation anodique.

### IV.8. Description du capteur cylindro-parabolique :

Les principaux composants d'un capteur solaire à cylindre parabolique sont:

**Le réflecteur cylindro-parabolique** : La fonction du récepteur cylindro-parabolique est de concentrer le rayonnement solaire sur le tube absorbant [137].

**Le tube absorbeur:** Le tube absorbeur se compose de deux tubes concentriques séparés par une couche sous vide (Fig.5).

Le fluide de travail : fluide qui circule dans le tube interne est différent selon la technologie.

#### Le système de suivi du soleil :

Le système de suivi le plus courant consiste en un dispositif qui fait tourner les réflecteurs cylindro paraboliques du collecteur autour d'un axe, ce qui permet d'augmenter la capture du rayonnement solaire et d'optimiser l'angle d'incidence.

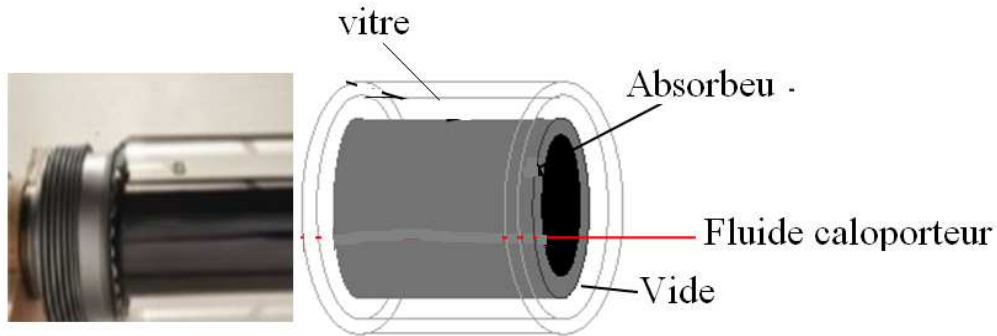


Fig. 5. Schéma d'un élément du tube absorbeur.

**IV.8.1. Bilan thermique :**

Pour le calcul du bilan énergétique on pose comme hypothèses (Figs.6, 7) :

- Le fluide caloporteur est incompressible.
- La forme de parbole est symétrique.
- La température ambiante autour du capteur est uniforme.
- La vitre est considérée comme opaque aux radiations infrarouges.
- L'écoulement du fluide est unidimensionnel.
- Les variations temporelles dans l'épaisseur de l'absorbeur et la vitre sont négligeables.
- L'échange par conduction dans l'absorbeur et la vitre est négligeable.
- L'effet de l'ombre du tube absorbeur sur le miroir est négligeable.
- Le flux solaire au niveau de l'absorbeur est uniformément réparti.

La modélisation de la température est basée sur les bilans énergétiques caractérisés par les équations différentielles des trois températures : TF(Fluide), TA (absorbeur) et TV (vitre).

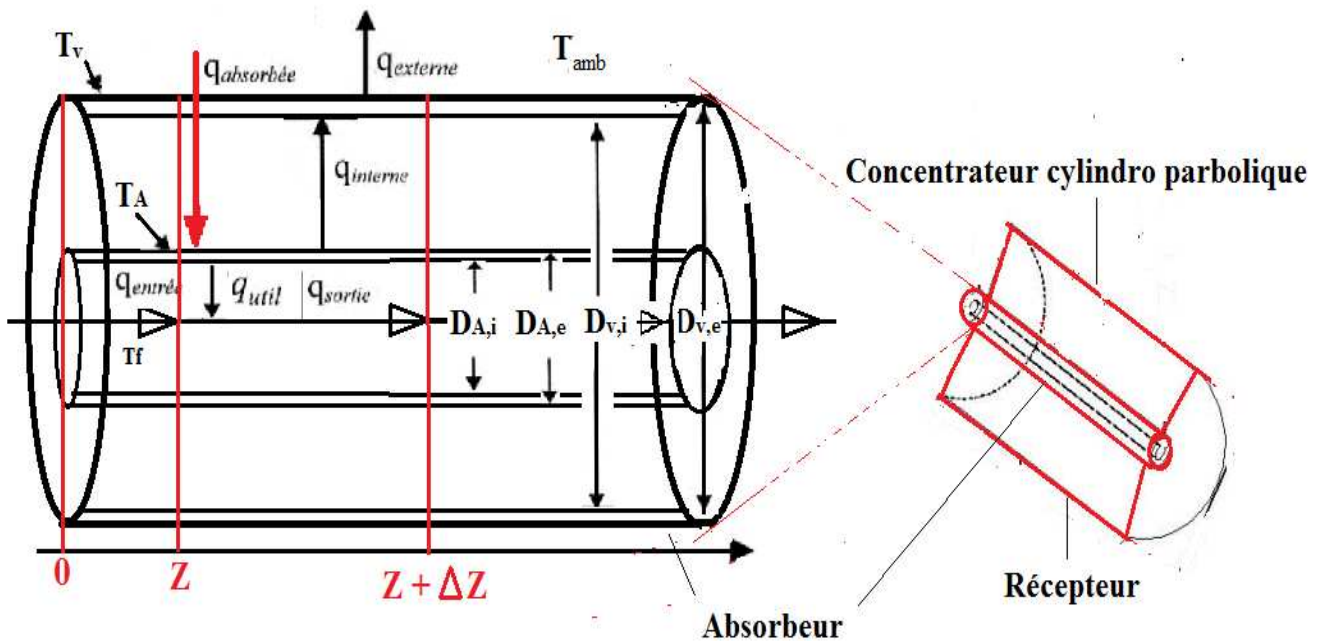


Fig.6. Bilan thermique d'un élément de surface du collecteur cylindro parabolique

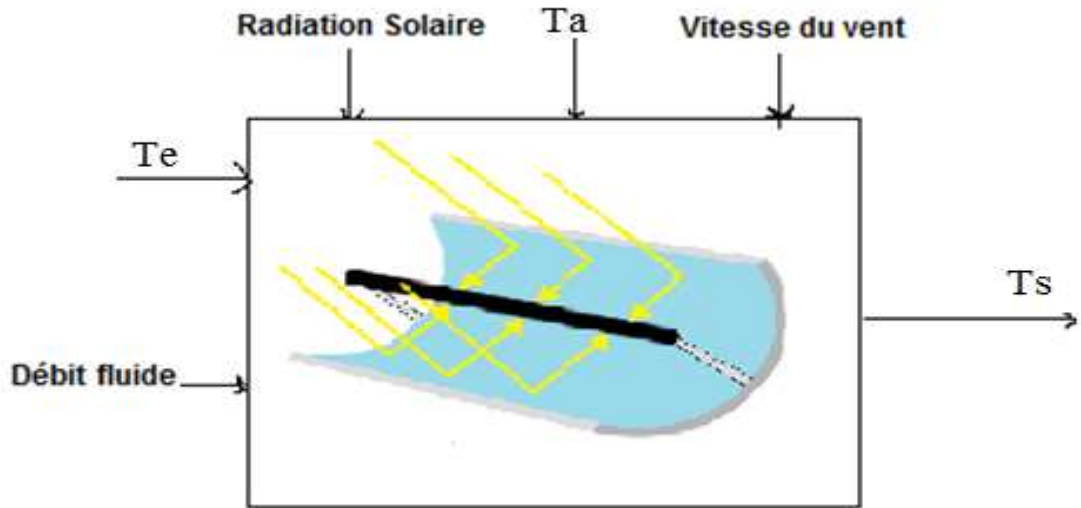


Fig.7.Schématization du modèle du capteur solaire

#### IV.8.1.1. Bilan énergétique pour le fluide:

Le bilan énergétique pour le fluide caloporteur qui circule dans le tube absorbeur est :

$$\frac{d}{dt} (\Delta Q_F(z, t)) = q_{\text{entré}}(z, t) - q_{\text{sortie}}(z + \Delta z, t) \cdot \Delta z \quad (\text{IV.10})$$

La quantité de chaleur récupérée par le fluide  $\Delta Q_F(z, t)$  dans l'intervalle  $\Delta z$  est :

$$(\Delta Q_F(z, t)) = \rho_F - c_F A_{\text{interne}} \cdot \Delta z T_F(z, t) \quad (\text{IV.11})$$

$A_{A, \text{interne}}$  : Surface d'échange interne de l'absorbeur par unité de longueur, qui est:

$$A_{A, \text{interne}} = \pi D_{A,i} \quad (\text{IV.12})$$

La quantité de chaleur à l'entrée et à la sortie dans l'élément de longueur  $\Delta z$  est :

$$q_{\text{entré}}(z, t) = \rho_F c_F 'V. T_F(z, t) \quad (\text{IV.13})$$

$$q_{\text{entré}}(z + \Delta z, t) = \rho_F c_F 'V. T_F(z + \Delta z, t) \quad (\text{IV.14})$$

'V: Le débit volumique du fluide caloporteur dans le tube absorbeur.

$q_{\text{utile}}$  : est le flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et le fluide.

$$\rho_F c_F A_{A, \text{interne}} \cdot \Delta z \frac{dT_F(z,t)}{dt} = \rho_F c_F 'V. T_F(z, t) - \rho_F c_F 'V. T_F(z + \Delta z, t) + q_{\text{sortie}}(z, t) \Delta z \quad (\text{IV.15})$$

La dérivée partielle par rapport à l'abscisse  $z$  est :

$$\frac{dT_F(z,t)}{\Delta z} = \frac{dT_F(z+\Delta z,t) - T_F(z,t)}{\Delta z} \quad (\text{IV.16})$$

Divisons par  $\Delta z$  et après substitution on obtient:

$$\rho_F c_F A_{A, \text{interne}} \frac{dT_F(z,t)}{dt} = -\rho_F c_F 'V. \frac{dT_F(z,t)}{dt} + q_{\text{utile}}(z, t) \quad (\text{IV.17})$$

## Chapitre IV : Modélisation et l'état de l'art

---

Les conditions initiales et les conditions aux limites sont:

$$T_F(0, t) = T_{F,entré}(t) = T_{amb}(t) \quad (IV.18)$$

$$T_F(z, 0) = T_{F,initial}(z) = T_{amb}(0) \quad (IV.19)$$

### IV.8.1.2. Bilan énergétique pour l'absorbeur :

Le bilan énergétique pour l'absorbeur est:

$$\frac{d(\Delta Q_A(z,t))}{dt} = (q_{absorbé}(t) - q_{entré}(z, t) - q_{utile}(z, t)). \Delta z \quad (IV.20)$$

$\Delta Q_A$  : Chaleur dans l'absorbeur:

$$\Delta Q_A(z, t) = \rho_F c_F A_A \cdot \Delta z \cdot T_A(z, t) \quad (IV.21)$$

Après substitution on obtient l'expression :

$$\rho_A c_A A_A \cdot \frac{dT_A(z,t)}{dt} = q_{absorbé}(t) - q_{interne}(z, t) - q_{utile}(z, t) \quad (IV.22)$$

Les conditions initiales sont :

$$T_A(z, 0) = T_{A,initial}(z) = T_{amb}(0) \quad (IV.23)$$

### IV.8.1.3. Bilan énergétique de la vitre :

Le bilan énergétique pour la vitre est :

$$\rho_V c_V A_V \cdot \frac{dT_V(z,t)}{dt} = q_{interne}(z, t) - q_{externe}(z, t) \quad (IV.24)$$

La quantité de chaleur externe  $q_{externe}$  entre le vitrage et le milieu ambiant est présentée

La condition initiale :

$$T_V(z, 0) = T_{V,initial}(z) = T_{amb}(0) \quad (IV.25)$$

### IV.8.2.4. L'énergie absorbée :

La puissance thermique émise par le soleil et reçue par le concentrateur est [93] :

$$q_{absorbé} = S_e R_d(\beta) \quad (IV.26)$$

La surface de l'absorbeur «  $A_A$  » recevant la même puissance que «  $S_e$  » on peut dire que la concentration a pour effet d'augmenter la puissance par unité de surface au niveau de «  $A_A$  », mais il y a des pertes optiques autour de l'enveloppe transparente et l'absorbeur, par conséquent la puissance par unité de longueur de l'absorbeur donnée par :

$$q_{absorbé} = \tau \cdot \alpha \cdot \rho_m S_e R_d(\beta) K(\theta) \quad (IV.27)$$

## Chapitre IV : Modélisation et l'état de l'art

La variation de l'angle d'incidence pour les collecteurs asymétriques comme les collecteurs cylindro-paraboliques est très complexe. Une équation récente été proposée par [138], qui donne le coefficient  $K(\theta)$  en fonction de l'angle d'incidence :

$$K(\theta) = 1 - b_0 \left( \frac{1}{\cos(\theta)} \right) \quad (\text{IV.28})$$

Où

$b_0$  : Le coefficient de l'angle modifié inférieur à zéro pour un concentrateur cylindro parabolique.

La variation de l'angle modifié en fonction de l'angle incidence est présente dans la figure suivante d'après Beckman et Duffie .

### IV.9. Pertes de puissance thermiques dans un concentrateur cylindro-parabolique :

Les pertes de chaleur d'un absorbeur tubulaire à couvercle de verre concentrique, généralement utilisé comme cible d'un concentrateur solaire linéaire, en suivant la procédure de base de Hottel et Woertz [139], l'expression semi-empirique suivante pour le facteur de perte de chaleur d'un absorbeur tubulaire à couvercle de verre concentrique a été obtenue [140]:

$$U_1 = \left( \frac{1}{C_1 \left( \frac{T_A - T_{amb}}{1+f} \right)^{0.25} + \frac{D_{A,i}}{D_{A,e}} \frac{1}{h_v}} \right)^{-1} + \left( \frac{\sigma(T_V^2 - T_{amb}^2)(T_A + T_{amb})}{\left( \varepsilon_A - 0.04(1 - \varepsilon_A) \left( \frac{T_A}{450} \right)^{-1} - \left( \frac{D_{A,i}}{D_{A,e}} \frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{f}{\varepsilon_v} \right) \right)} \right) \quad (\text{IV.29})$$

Où :

Le facteur  $f$  est un coefficient des pertes à cause de vent, et qui peut être obtenu par l'équation suivante :

$$f = \frac{D_{A,i}}{D_{A,i}^{1.4}} (0.61 + 1.3\varepsilon_A) h_v^{-0.9} \exp(0.00325(T_A - 273)) \quad (\text{IV.30})$$

Où

$C_1$  : est donné par l'expression empirique suivante :

$$C_1 = \frac{1.45 + 0.96(\varepsilon_A - 0.5)^2}{D_{A,i} \left( \frac{1}{D_{A,i}^{0.6}} + D_{A,e}^{0.6} \right)^{1.25}} \quad (\text{IV.31})$$

Où le coefficient par convection du vent est :

$$h_v = 4V_V^{0.58} D_{A,e}^{-0.42} \quad (\text{IV.32})$$

### IV.10. Etude théorique distillateur à effet de serre :

Il faut déterminer les principaux transferts de chaleur à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur (Figure.8) ; à savoir :

-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

## Chapitre IV : Modélisation et l'état de l'art

---

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 « $q_{g-a}^c$ » par convection.

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

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

### IV.10.1. Equation des échanges thermiques :

Les hypothèses suivantes ont été adoptées :

- 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.

## IV.10.2. Bilan thermique en régime permanent :

### IV.10.2.1. Distillateur à effet de serre :

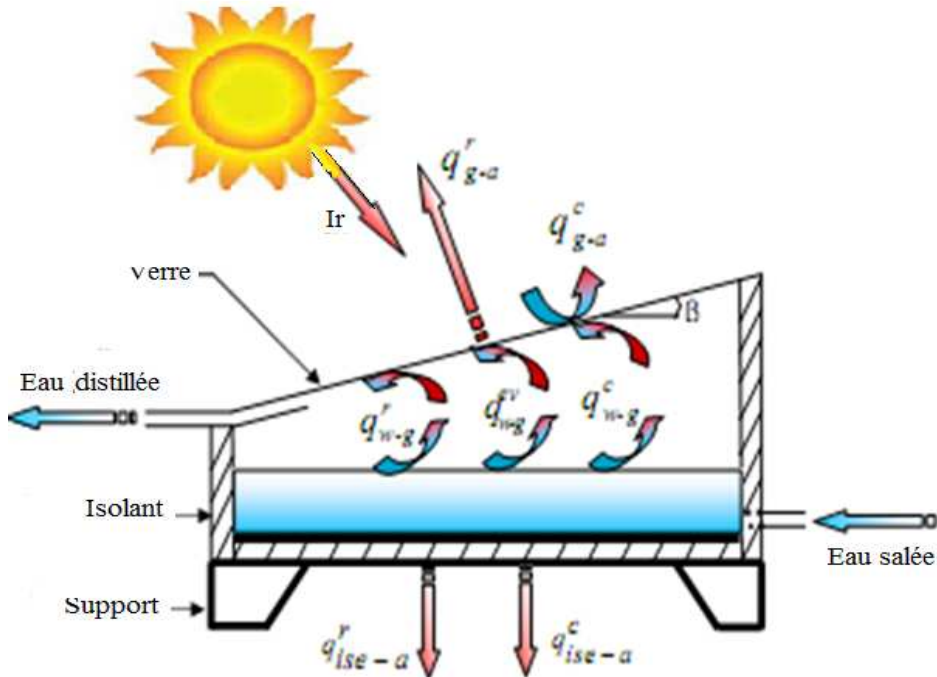


Fig.8. Bilan énergétique d'un distillateur solaire plan

#### a- Au niveau de la vitre :

La vitre reçoit :

$$q_{gi} = q_{wg}^c + q_{wg}^r + q_{wg}^{ev} + p_g \times A_g \quad (IV.33.a)$$

$p_g$  est la puissance absorbée par la vitre, déterminée par la relation suivante [141]:

$$p_g = (1 - R_g) \times \alpha_g \times I_g \quad (IV.33.b)$$

$R_g$  et  $\alpha_g$  sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la vitre.

La vitre cède :

$$q_{ge} = q_{ga}^c + q_{ga}^r \quad (IV.34)$$

Où:

$$q_{w-g}^c = h_{w-g}^c \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (IV.35)$$

$$q_{w-g}^r = h_{w-g}^r \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (IV.36)$$

$$q_{w-g}^{ev} = h_{w-g}^{ev} \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (IV.37)$$

$$q_{g-a}^r = h_{g-a}^r \times (T_{ge} - T_a) \times A_g \quad (IV.38)$$

$$q_{g-a}^c = h_{g-a}^c \times (T_{ge} - T_a) \times A_g \quad (IV.39)$$

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

$$q_g = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \times A_g \quad (IV.40)$$



### b- Au niveau de la masse d'eau :

$$p_w \times Aw + q_{b-w}^c = q_{w-g}^c + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r \quad (IV.41)$$

$$q_{b-w}^c = h_{b-w}^c \times (Tb - Tw) \times Aw \quad (IV.42)$$

Ou :

Pw est la puissance absorbée par la saumure donnée par la relation

$$Pw = (1 - Rg) \times (1 - \alpha g) \times (1 - Rw) \times \alpha w \times IG \quad (IV.43)$$

Avec :

Rg et  $\alpha g$  sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de vitre.

Rw et  $\alpha w$  sont respectivement les coefficients de réflexion et d'absorption de la saumure.

### c- Au niveau du bac absorbant :

$$Pb \times Ab = q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} \quad (IV.44)$$

Ou :

$$q_{b-isi}^{cd} = h_{b-isi}^{cd} \times (Tb - Tisi) \times Ab \quad (IV.45)$$

P<sub>b</sub> est la puissance absorbée par le bac absorbant et peut être calculée par la relation :

$$Pb = \alpha_b \times (1 - Rg) \times (1 - \alpha g) \times (1 - Rw) \times (1 - \alpha_w) \times IG \quad (IV.46)$$

### d- Au niveau de l'isolant :

#### e- Côté intérieur :

$$q_{isi} = q_{b-isi}^{cd} \quad (IV.47)$$

#### f- Côté extérieur :

$$q_{ise} = q_{ise-a}^r + q_{ise-a}^c \quad (IV.48)$$

$$q_{ise-a}^c = h_{ise-a}^c \times (T_{ise} - T_a) \times A_{is} \quad (IV.49)$$

$$q_{ise-a}^r = h_{ise-a}^r \times (T_{ise} - T_a) \times A_{is} \quad (IV.50)$$

Avec  $T_s \approx T_a$

### IV.10.3. Echange par conduction à travers l'isolant :

$$q_{is} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \times A_{is} \quad (IV.51)$$

## Chapitre IV : Modélisation et l'état de l'art

### IV.11. Distillateur couplé avec le système photovoltaïque :

Même équation avec le système précédent, au niveau de la vitre, au niveau de la masse d'eau et au niveau de l'isolant, mais au niveau de la saumure dans le bac absorbant est exprimé par :

$$p_w \times Aw + q_{b-w}^c = q_{w-g}^c + mcp(T_{ccp} - Tw_0) + mcp(T_{ele} - Tw_0) + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r \quad (IV.52)$$

Avec  $T_{b0}$  est la température thermique initiale

$T_{ele}$  est la température thermique produise par les résistances électrique

#### IV.11.1. Bilan thermique en régime transitoire :

Par analogie entre les grandeurs thermique et les grandeurs électrique (Tableau .1), on peut appliquer les lois d'ohm et de kirchauff. Nous considérons une section quelconque du système à l'instant t, soit i l'un des milieux représentés dans cette section  $M_i$  sa masse,  $C_{pi}$  sa chaleur spécifique et  $T_i$  sa température.

Le bilan au nœud i donne :

$$M_i \times c_{pi} \times \frac{dT_i}{dt} = \sum_{i=1}^n q_{ij} + p_i \quad (IV.53)$$

Avec

$p_i$  : Terme de source ou de puits.

$$M_i \times c_{pi} \times \frac{dT_i}{dt} = 0 \quad \text{Dans les cas suivants :}$$

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

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

Tableau .1. Analogie entre les grandeurs thermique et grandeurs électriques

### IV .11.2. Distillateur plan:

#### IV .11.2.1. Dans la couverture

##### a) Face extérieure

$$\frac{M_g}{2} \times \frac{c_{pg}}{A_g} \times \frac{dT_{ge}}{dt} + q_{g-a}^c + q_{g-a}^r = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \quad (IV.54)$$

### b) Face intérieure

$$\frac{M_g}{2} \times \frac{cp_g}{A_g} \times \frac{dT_{gi}}{dt} + \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) = q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + p_g \quad (IV.55)$$

### IV .11.2.2. Dans la saumure

$$M_w \times \frac{cp_w}{A_w} \times \frac{dT_w}{dt} + q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} = p_w + q_{b-w}^c \quad (IV.56)$$

### IV .11.2.3. Dans le bac absorbant

$$M_b \times \frac{cp_b}{A_b} \times \frac{dT_b}{dt} + q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} = p_b \quad (IV.57)$$

### IV .11.2.4. Dans l'isolant

#### a) Face intérieure

$$\frac{M_{is}}{2} \times \frac{cp_{is}}{A_{is}} \times \frac{dT_{isi}}{dt} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) = q_{b-isi}^{cd} \quad (IV.58)$$

#### b) Face extérieure :

$$\frac{M_{is}}{2} \times \frac{cp_{is}}{A_{is}} \times \frac{dT_{ise}}{dt} + q_{is-a}^c + q_{is-a}^r = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \quad (IV.59)$$

### IV.11.3. Distillateur hybride

$$M_w \times \frac{cp_w}{A_w} \times \frac{dT_w}{dt} + q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} = p_w + mcp(T_f - T_{w0}) + mcp(T_{el} - T_{w0}) + q_{b-w}^c \quad (IV.60)$$

### IV.11.4. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire

On distingue constamment, le rendement, l'efficacité interne et globale et la performance.

#### IV.11.4.1. Le rendement

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.

#### IV.11.4.2. L'efficacité

#### IV.11.4.3. L'efficacité globale

L'efficacité globale est définie par le rapport :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{(I_G \times A_g)} \quad (IV.61)$$

### IV.11.4.4. L'efficacité interne

On définit donc une efficacité dite interne qui prend en considération ces paramètres et qui est définie par

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{q_w} \quad (IV.62)$$

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

$$q_w = \alpha_i \times I_G \times A_g \quad (IV.63)$$

$$\alpha_i = (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times \alpha_w \quad (IV.64)$$

### IV.11.4.5. Performance :

Le Stacunanathan et Hansen [142] ont défini le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) :

$$FPB = Q_{p24h} / Q_{E24h} \quad (IV.65)$$

$Q_{p24h}$  : Quantité d'eau produite au bout de 24 h

$Q_{E24h}$  : Quantité d'énergie entrée au bout de 24 H

$$FPH = Q_{eau1h} / Q_{E1h} \quad (IV.66)$$

$Q_{eau1h}$  = Quantité d'eau produite au bout d'une heure

$Q_{E1h}$  = Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure

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

$$F. P = \frac{m_A}{\alpha_i \times I_G \times A_g} \quad (IV.67)$$

## Chapitre IV : Modélisation et l'état de l'art

---

### IV.12. Etat de l'art :

La performance de l'alambic solaire (passif ou actif) est affectée par plusieurs paramètres, certains de ces paramètres sont incontrôlables tels que l'intensité du rayonnement solaire, la température ambiante et la vitesse du vent, tandis que d'autres paramètres sont contrôlables comme l'angle d'inclinaison, matériaux de fabrication et épaisseur de la couverture du distillateur.

Selon le processus de la recherche mentionné précédemment, pour développer l'efficacité et la performance de la distillation solaire, nous introduisons de nouveaux systèmes avec une étude de leur efficacité et productivité. Dans ces systèmes, on tente la cogénération de l'énergie solaire photovoltaïque et thermique produit par les capteurs ou les concentrateurs solaires et la possibilité d'utiliser la technologie de stockage pour le fonctionnement pendant des heures supplémentaires au couché du soleil.

La figure .9. Montre, le système proposé est un alambic ordinaire de type simple-bassin couplé à un générateur photovoltaïque pour construire un système hybride (distillateur hybride).

Le distillateur simple à effet de serre recueille le rayonnement solaire qui est absorbé par le bassin, en effet, la couverture en verre permet au rayonnement solaire de passer dans l'eau saline du bassin, qui absorbe une partie de ce rayonnement et la convertie en énergie thermique pour chauffer l'eau saline, qui commence à s'évaporer et la vapeur d'eau se condense sur la surface interne du verre. Ce distillateur à effet serre est couplé avec un système photovoltaïque composé par des panneaux photovoltaïque qui reçoit les rayons solaires et les convertie en énergie électrique.

Le générateur photovoltaïque se compose de :

- Des batteries stationnaires, pour assurer la puissance maximale du système,
- Un régulateur qui fait la régulation électrique pour protéger les batteries de la surcharge,
- Des convertisseurs (DC) de tension continue et des convertisseurs de tension alternative (AC),

Le convertisseur amplifie la puissance électrique faible à une grande puissance, qui alimente des résistances électriques installées au fond du bassin du distillateur à effet de serre.

Les résistances transforment l'énergie électrique en énergie thermique et augmentent la température à l'intérieur du système.

La figure .10. Montre, Le distillateur solaire hybride est couplé avec un concentrateur cylindro parabolique solaire, afin d'augmenter l'énergie thermique à l'intérieur du distillateur.

Le collecteur cylindro-parabolique (CCP) est un capteur solaire, qui transforme le rayonnement solaire direct en énergie thermique, celle-ci réchauffe l'eau par réflexion sur la ligne

## Chapitre IV : Modélisation et l'état de l'art

---

focale de la parabole, dans laquelle se trouve le tube absorbeur (récepteur). Le (CCP) est un générateur de température supplémentaire qui améliore la performance du distillateur hybride.

La figure .11 . Montre les composants du système de distillation solaire proposé, le système est le même que celui décrit précédemment dans La figure. 9, en ajoutant un système d'autonomie qui stocke l'énergie électrique via des batteries, pour produire l'énergie électrique puissante, et étendre l'alimentation électrique à des heures supplémentaires suivant les conditions de stockage, pendant l'absence des rayonnements solaires.

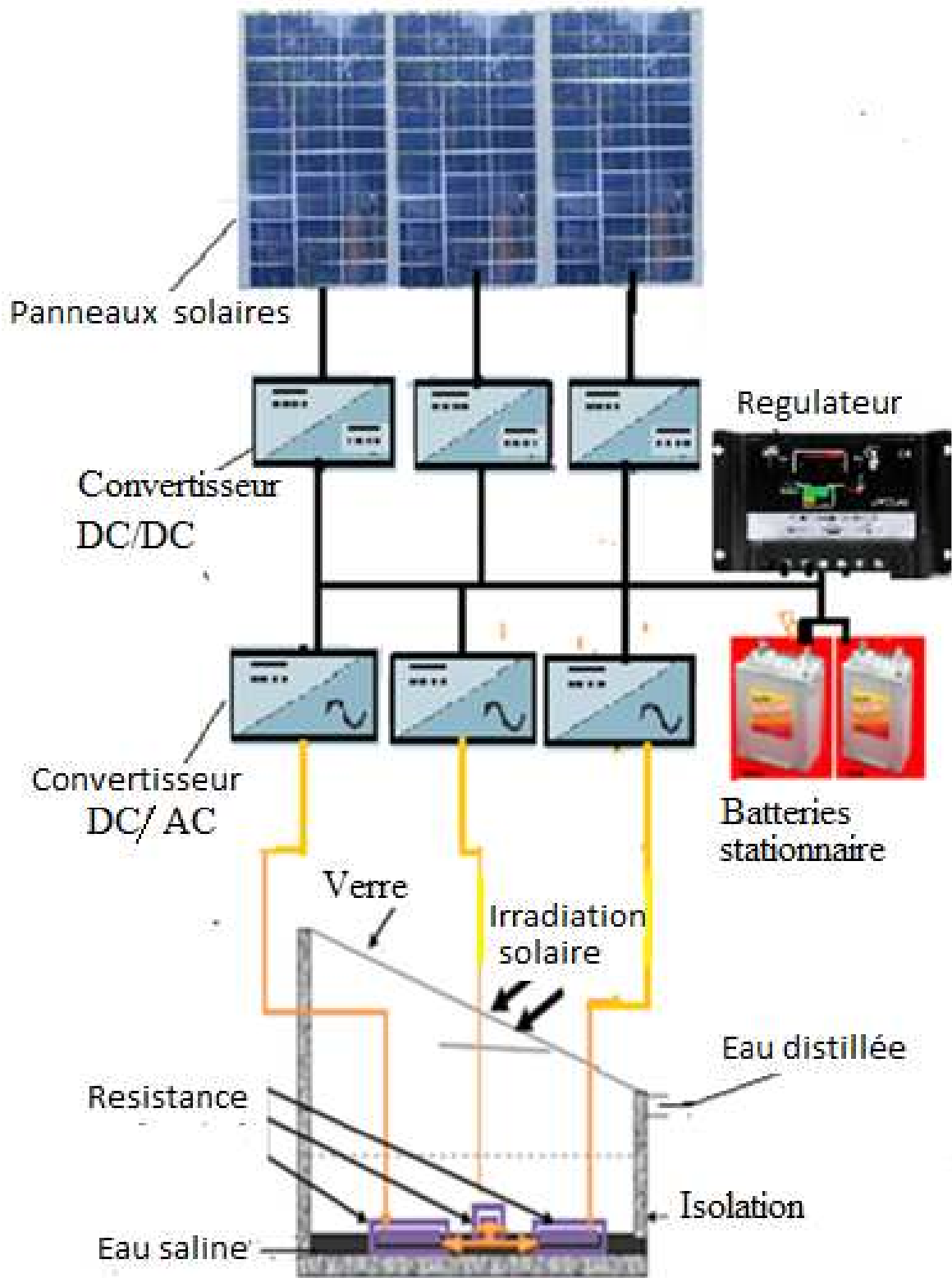


Fig.9. Distillateur Hybride

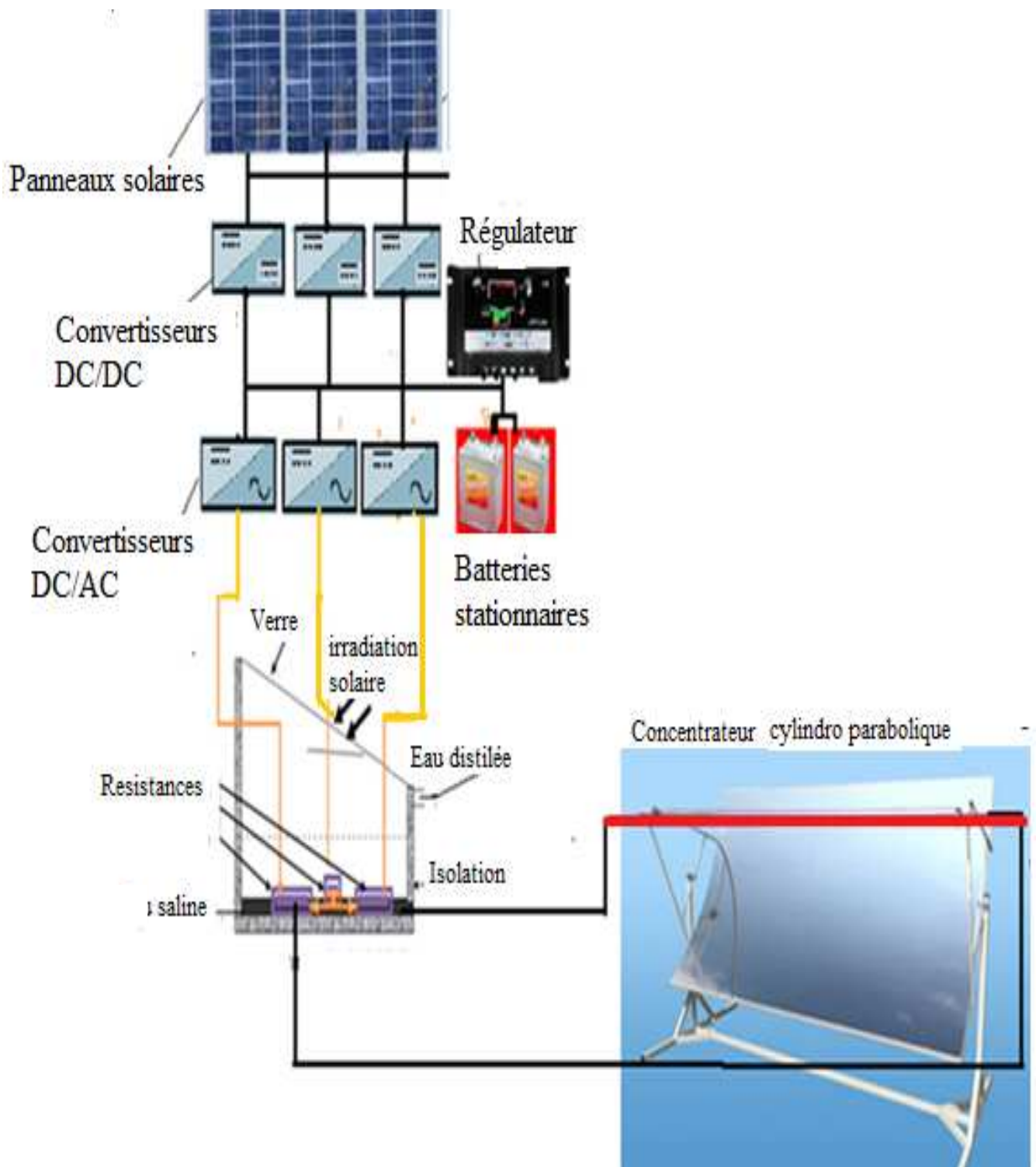


Fig.10. Distillateur Hybride avec un Concentrateur cylindro parabolique



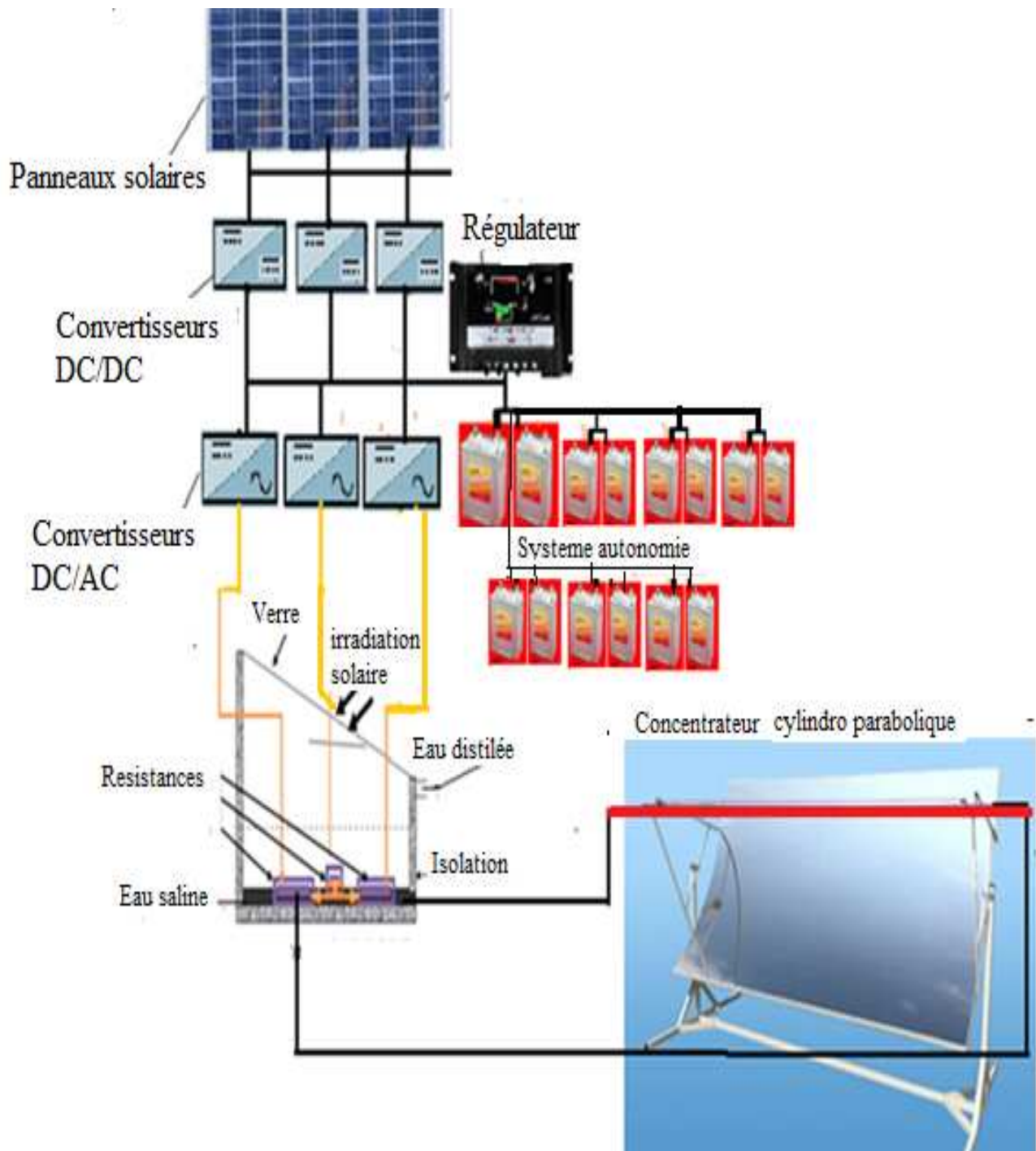


Fig.11. Distillateur Hybride avec un Concentrateur cylindro parabolique et générateur autonome

**CHAPITRE V**

**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

---

### INTRODUCTION :

Un programme informatique a été développé pour simuler le fonctionnement des distillateurs proposés et l'influence des paramètres physique sur la production, l'efficacité, la performance, la variation de la température et l'amélioration des systèmes couplés avec le distillateur à effet de serre. Le programme est écrit en langage MATLAB & SIMULINK, qui comporte les étapes suivantes :

- La température de sortie du fluide caloporteur, ainsi que la température de l'absorbeur et la vitre dans un concentrateur cylindro-paraboliques arrangé en lignes parallèles, fixé sur un support plan incliné.

- La résolution du système des équations, nous a permis d'obtenir des résultats en tenant compte des considérations suivantes :

- Les calculs sont effectués aux lieux suivants : Tlemcen et Annaba, Alger, Adrar, dont les coordonnées géographiques sont :

Lieu	Latitude	longitude
Tlemcen	34.883	-1.350w
Adrar	27.850	-0.317 <sup>E</sup>
Alger	36.833	3.000 <sup>E</sup>
Annaba	36.917	7.783 <sup>E</sup>

Tableau .1. Latitude et longitude des lieux

- Les calculs sont effectués à partir d'un instant initial " $t_0$ ", une température initiale et avec un pas de temps égal à une heure.

- L'inclinaison de la couverture est égale à  $30^\circ$  par rapport à l'horizontale et avec un azimut de  $0^\circ$  par rapport au sud.

- On a choisi le lieu de Tlemcen pour notre étude ensuite une comparaison entre les lieux mentionné au-dessus.

- Les résultats ont été traduits en graphe grâce au logiciel sigma plot.

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

### V.1.Paramètres du capteur cylindro parabolique :

Caractéristique géométrique	Valeur
Diamètre interne de l'absorbeur, DA, i	1.25cm
Diamètre externe de l'absorbeur, DA, e	1.4m
Diamètre interne de la vitre, DV, i	1.75cm
Diamètre externe de la vitre, DV, e	2cm
Largueur effectif du miroir, Weff	1m
Nombre de collecteur, Ntota	3
Elément de longueur, $\Delta z$	0.3m
Langueur de tube de chaque collecteur le tube	2m
Distance focale	0.235m

Tableau .2. Paramètres du capteur cylindro- parabolique

### V.2.Propriétés optiques des matériaux utilisés :

Propriétés	Valeurs
Coefficient d'absorption du tube absorbeur, $\alpha$	0.8
Transmittivité du type de vitre, $\tau$	0.8
Réflectance de la surface du miroir, $\rho_m$	0.85
Emissivité du tube absorbeur (visible), $\epsilon_A$	0.12
Emissivité du tube de la vitre, $\epsilon_V$	0.9

Tableau.3. Propriétés optiques des matériaux

### V.3. paramètres système autonome:

Eléments	Puissance	Prix unitaire (DA)
Régulateur	12V, 12A	12000
Convertisseur	12V /220V Rendement 98%	12000
Panneaux solaire	100Wc ,18.6v	12000
Batteries	12V /100Ah	8000

Tableau .4. Coût et puissance des éléments électriques

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

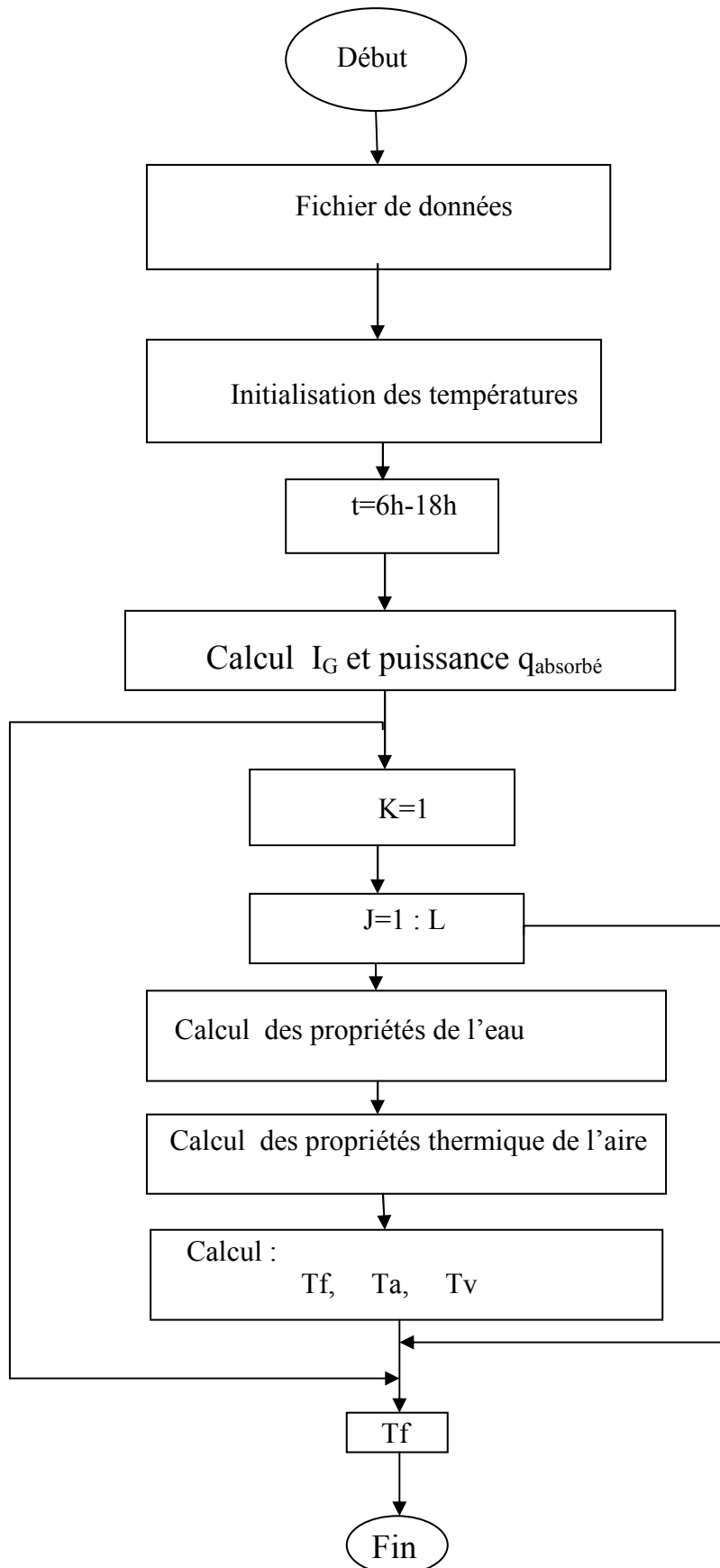
---

Le tableau suivant présente les caractéristiques d'un module photovoltaïque fabriqué de 36 cellules monocristallines

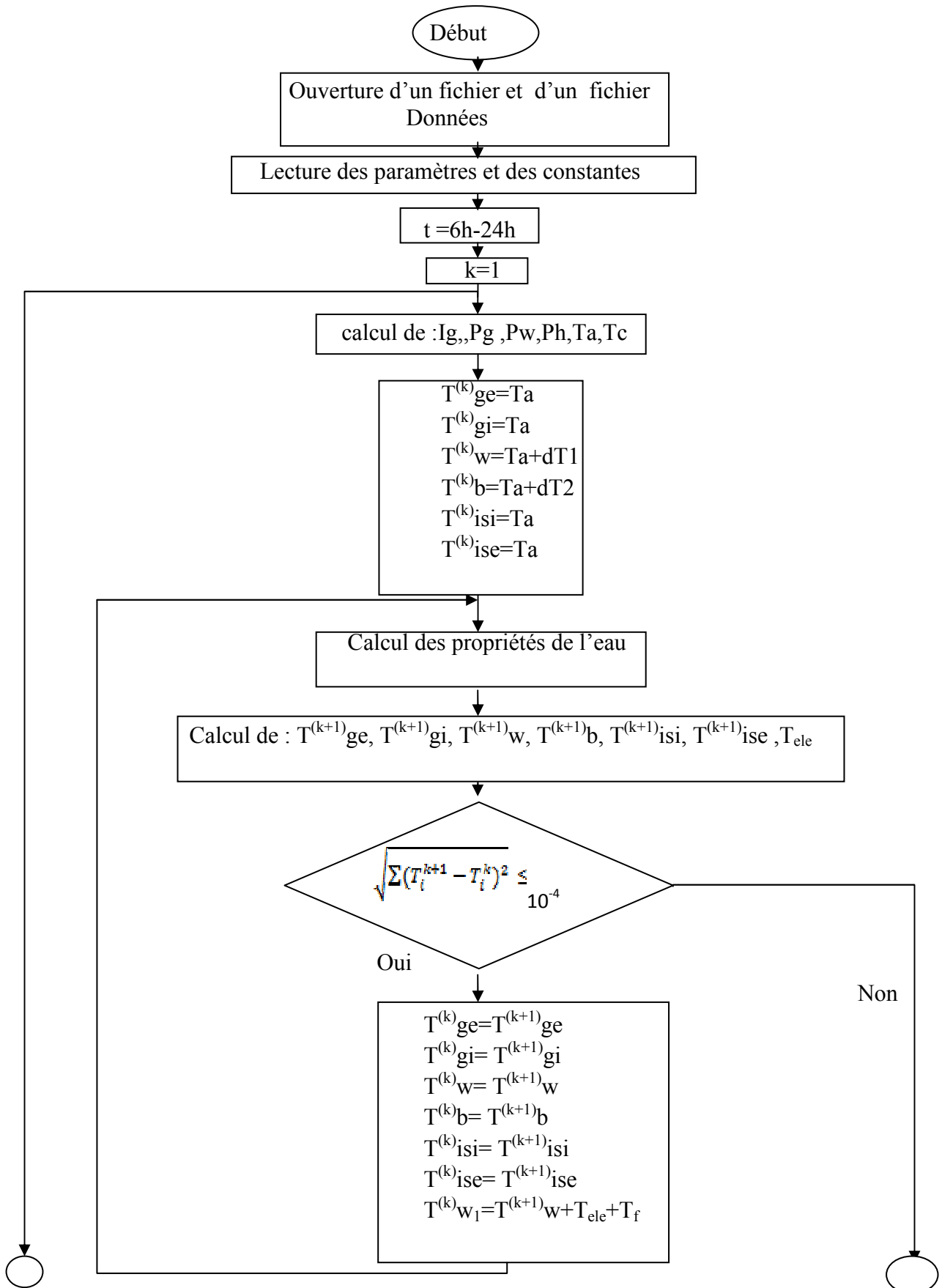
Caractéristiques électriques	
Puissance nominale	100w
Tension en circuit ouvert $V_{co}$	22.30V
Courant de court-circuit $I_{sc}$	6A
Tension $V_{mpp}$	18.6V
Courant $I_{mpp}$	5.5A
NOCT	45 $\pm$ 2°
Coefficient de température de puissance	-0.41%°C
Caractéristique mécanique	
Nombre de cellules par module	36(4x9)
Poids de module	8kg

Tableau.5. Caractéristiques électriques de panneaux solaires

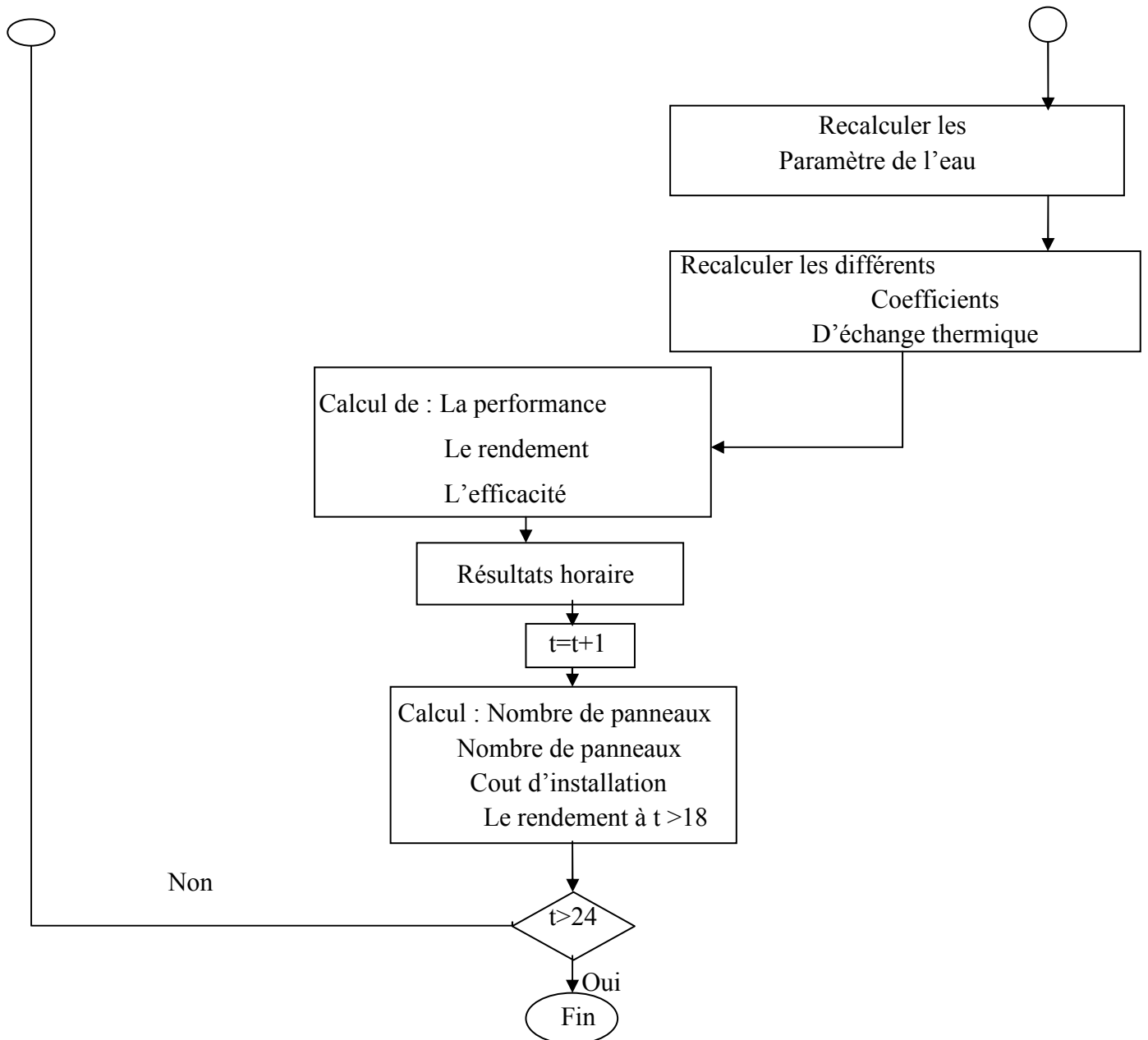
## V.4. Organigramme de concentrateur cylindro-parabolique:



V.5.Organigramme hybride avec le concentrateur cylindro- parabolique et le système d'autonomie :



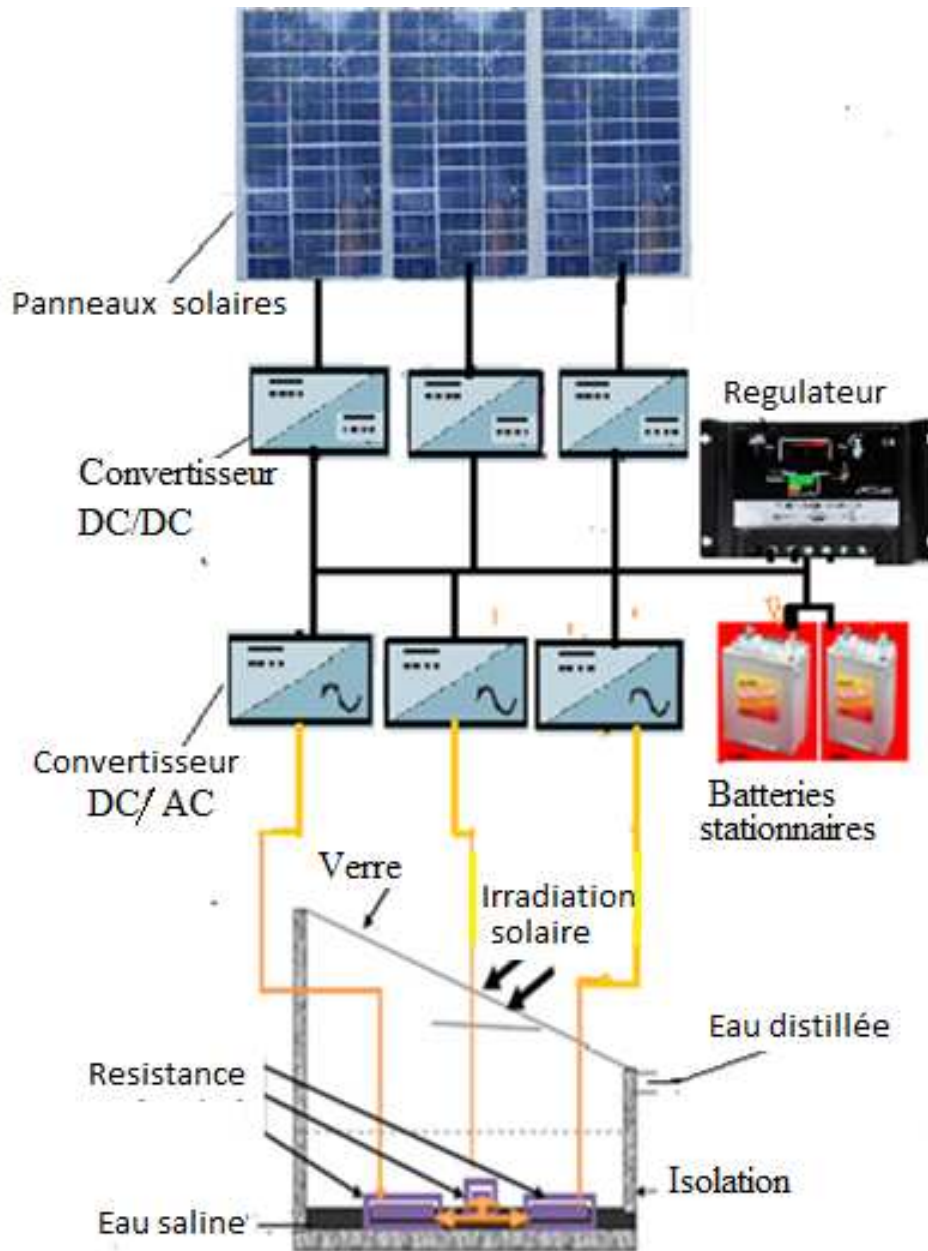
## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS





## V.6. Résultats de simulation :

### V.6.1. Distillateur Hybride :



Distillateur Hybride

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

La figure (1) montre la variation temporelle de l'irradiation solaire, et les puissances des éléments du distillateur qui prennent les valeurs maximales entre 11h et 14h, car les rayons solaires sont forts en cette période, suivi par la puissance de l'absorbeur au-dessous de la courbe d'irradiation solaire, ce qui explique la forte absorption des irradianations par l'absorbeur. Puis la courbe de la saumure d'eau, ensuite la courbe de la vitre qui a une faible absorption, à cause des propriétés physiques du verre.

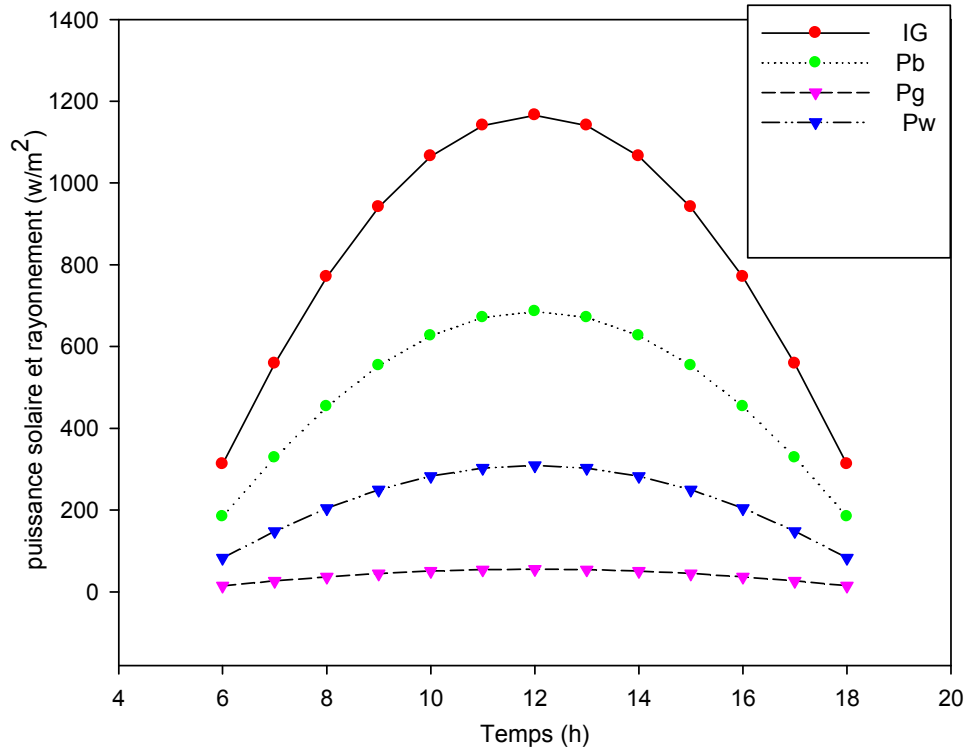


Fig.1. Variation temporelle des puissances solaires

La figure (2) montre la variation temporelle des températures des éléments du distillateur. On remarque que la température de l'absorbeur est plus élevée, suivi par la température de la saumure d'eau puis la température intérieure de la vitre et l'isolant à cause des propriétés physiques et l'emplacement de ces éléments. Les températures des cotés extérieurs des éléments précédents sont plus faibles, en raison de l'influence de la température extérieure.

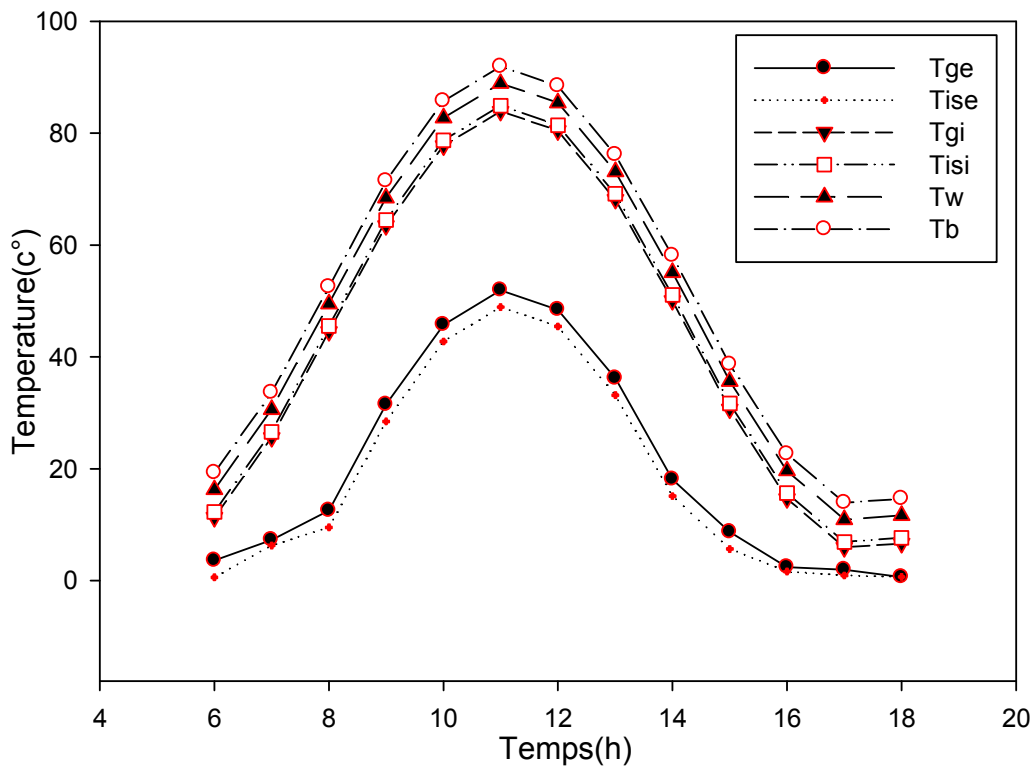


Fig.2. Variation temporelle des temperatures du distillateur

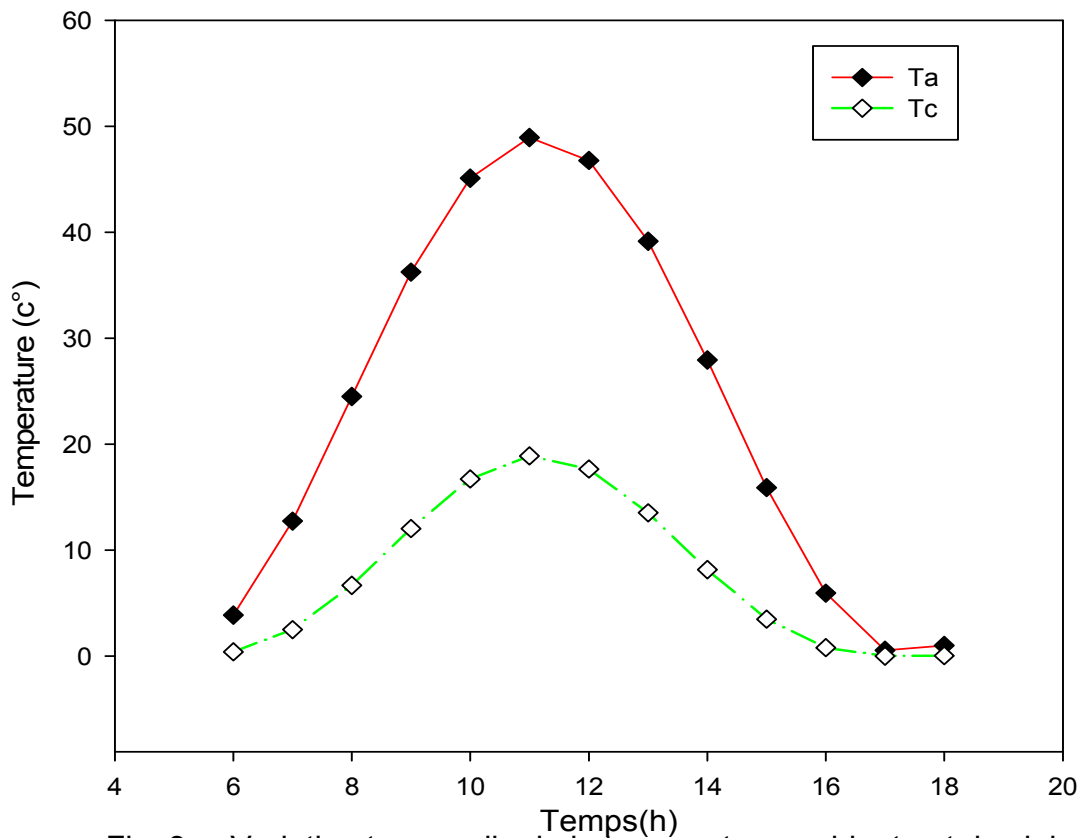


Fig .3 . Variation temporelle de la temperature ambiante et de ciel

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

---

La figure (3) montre la variation temporelle des températures ambiante et de ciel qui prennent des valeurs supérieures entre 11h et 14h, parce que la position du soleil est perpendiculaire, ce qui donne des rayons solaires intenses et forts.

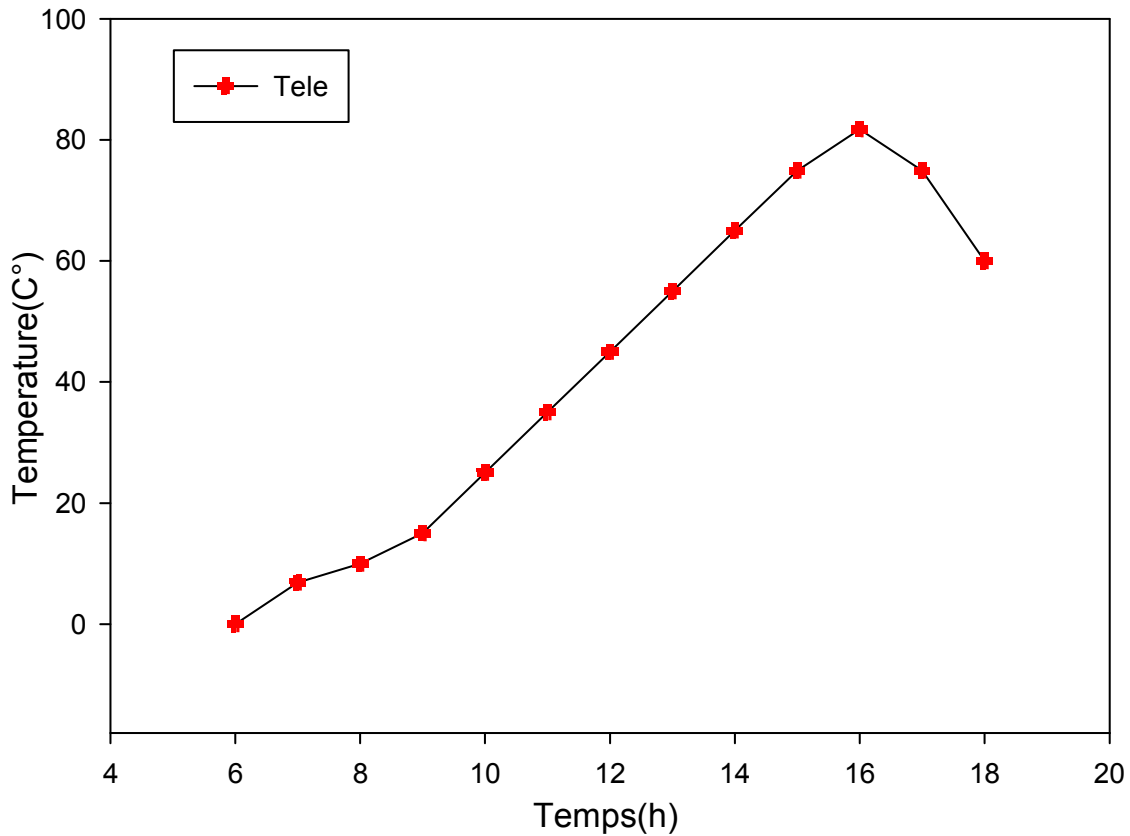


Fig.4.Variation temporelle de la température engendrée par le générateur PV

La figure (4) montre la température produite par le générateur photovoltaïque, elle est monotone grâce au système de stockage qui garde la température élevée via des batteries stationnaires, jusqu'à 17h commence à diminuer.

Les figures (5 ,6) montrent la variation de la production en fonction des éléments suivants : conductivité thermique de la saumure, conductivité thermique de l'air. La quantité d'eau est considérable lorsque les valeurs des éléments mentionnés ci-dessus augmentent suivant les propriétés thermo-physiques de l'eau et l'inverse.

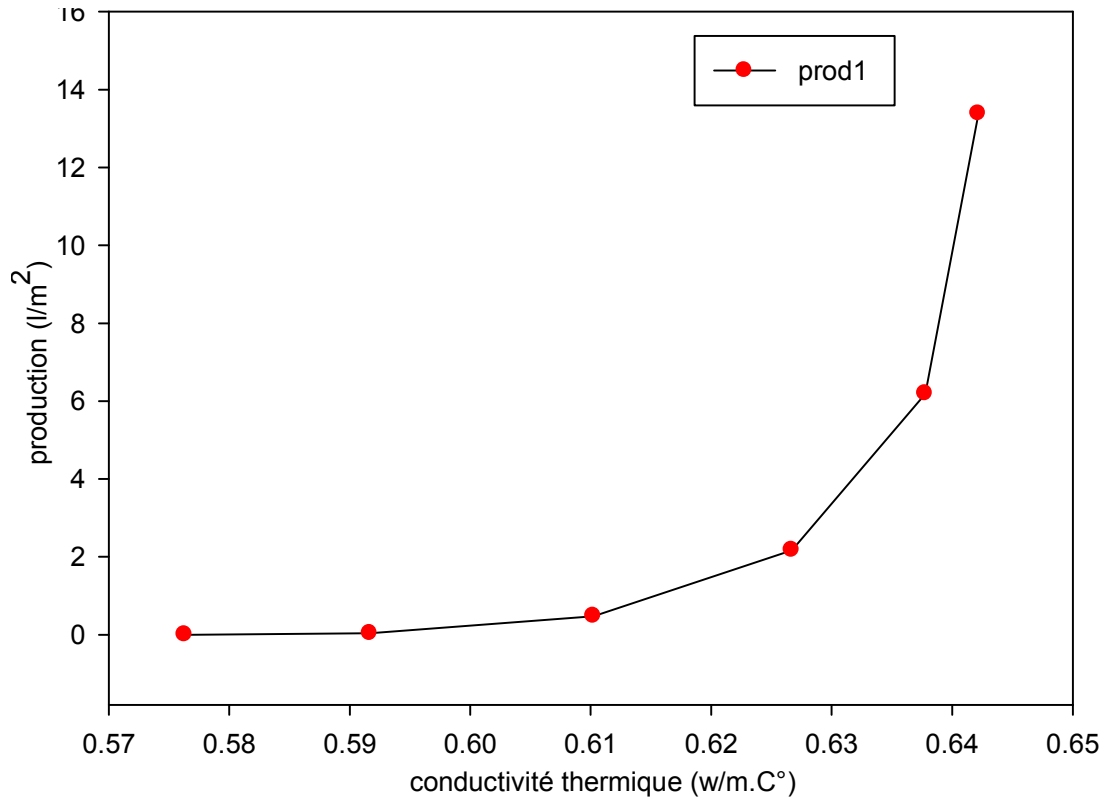


Fig. 5. Variation de la production en fonction de conductivité de la saumure

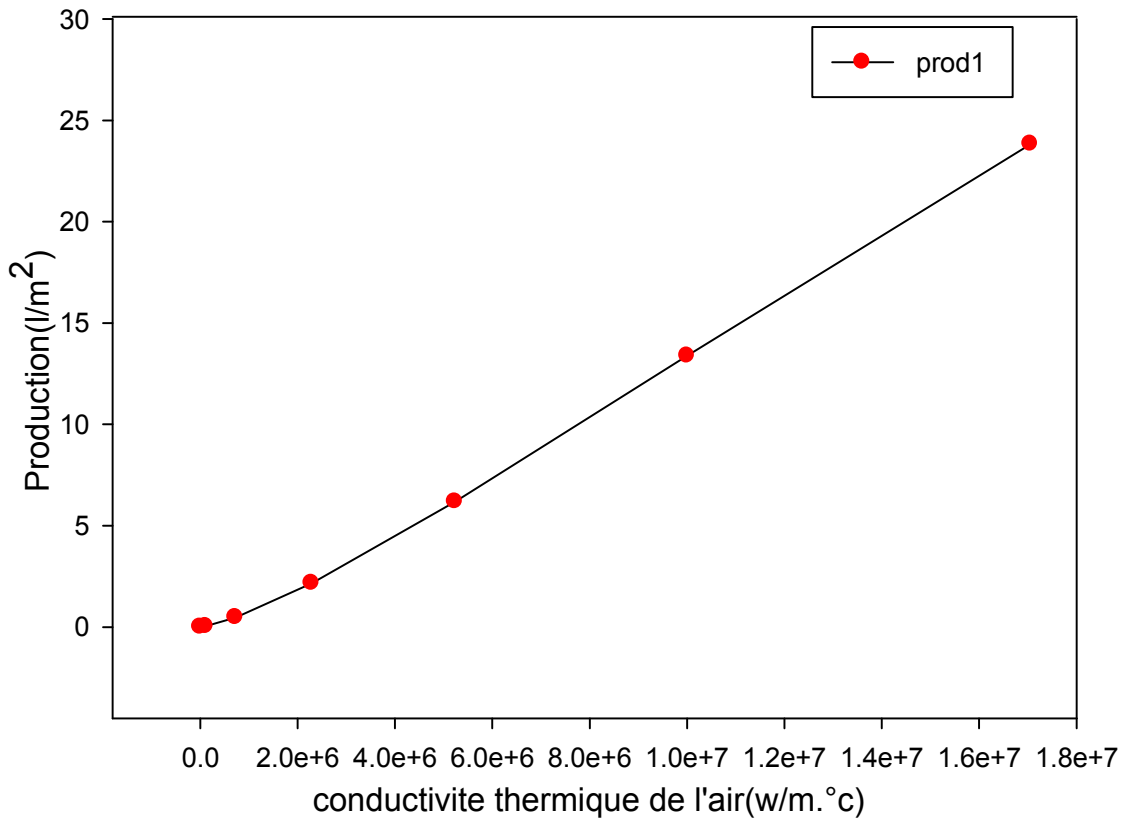


Fig.6.Variation de la production en fonction de la conductivité thermique de l'air

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les figures (7,8) montrent la variation de la production en fonction de la chaleur latente et la masse volumique. La production prend des valeurs maximales, lorsque les éléments précédents sont faibles et l'inverse, ce qui est expliqué par la relation entre ces éléments et la température de la saumure.

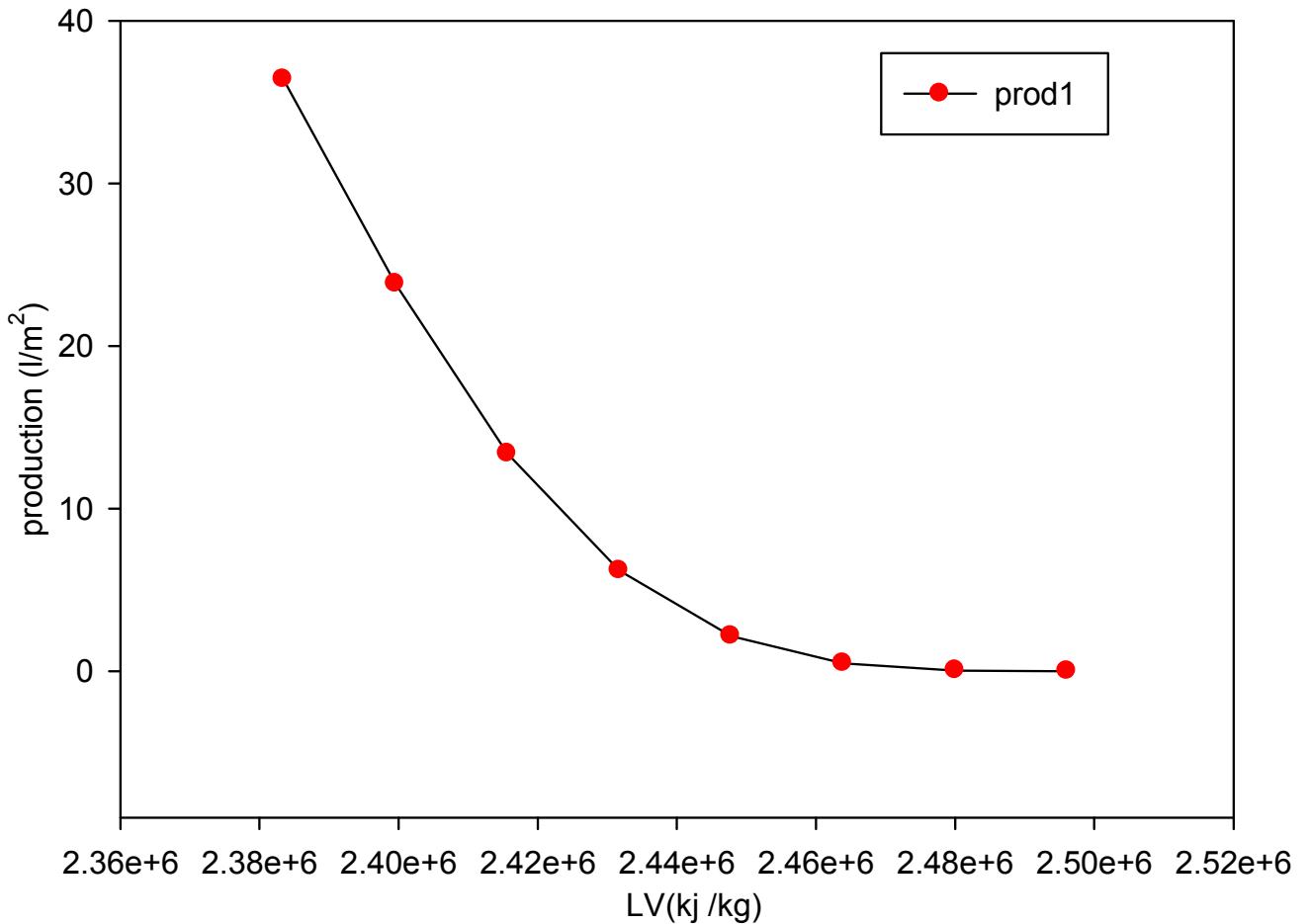


Fig.7. Variation de la production en fonction de la chaleur latente

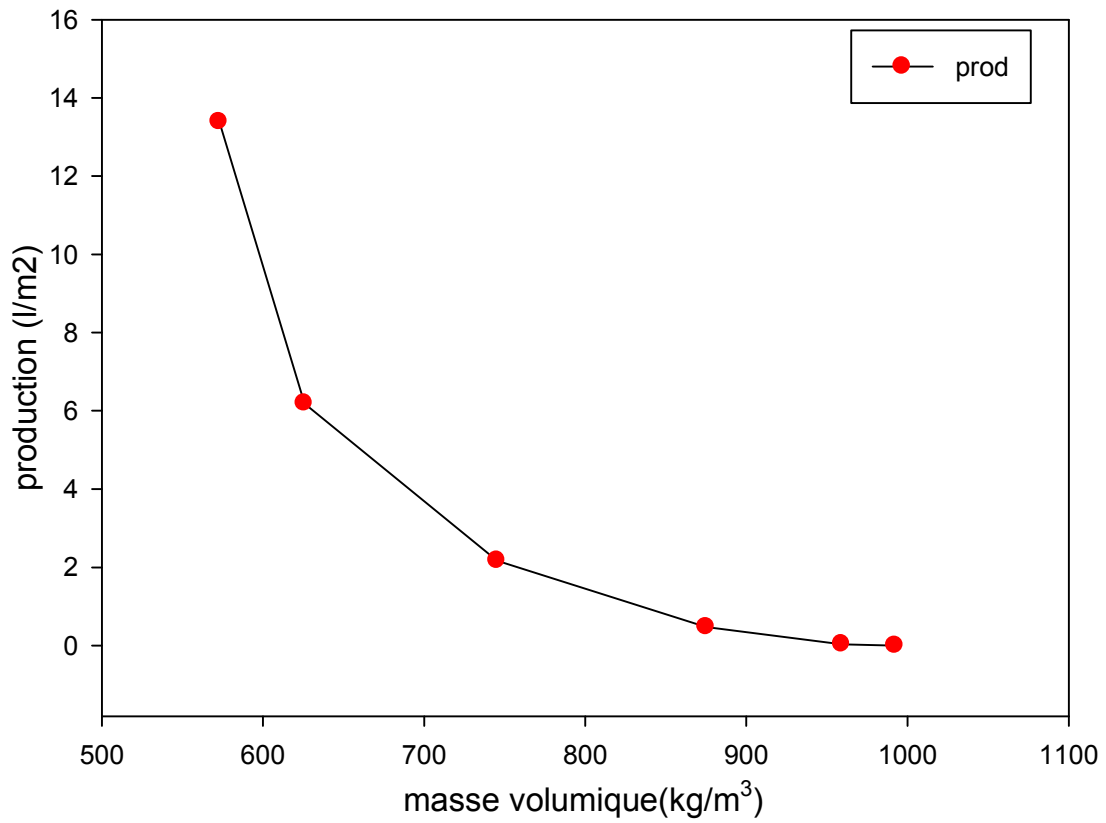


Fig.8. Variation de la production en fonction de la masse volumique

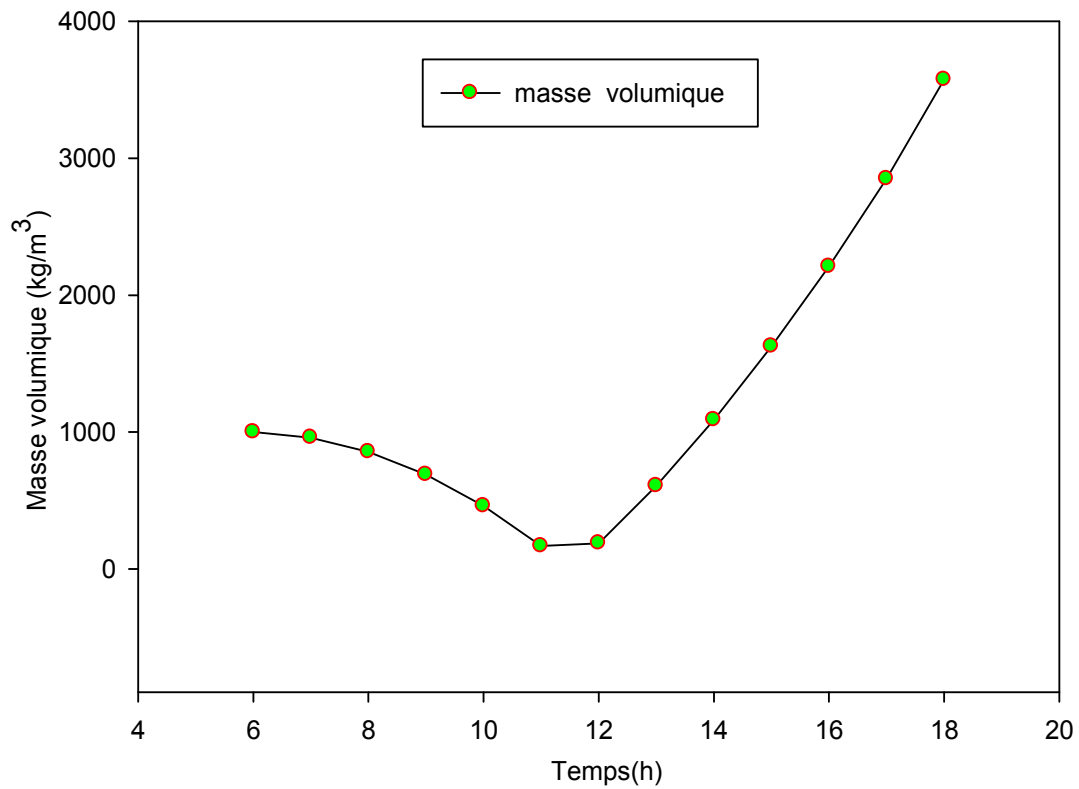


Fig.9. Variation temporelle de la masse volumique du distillateur

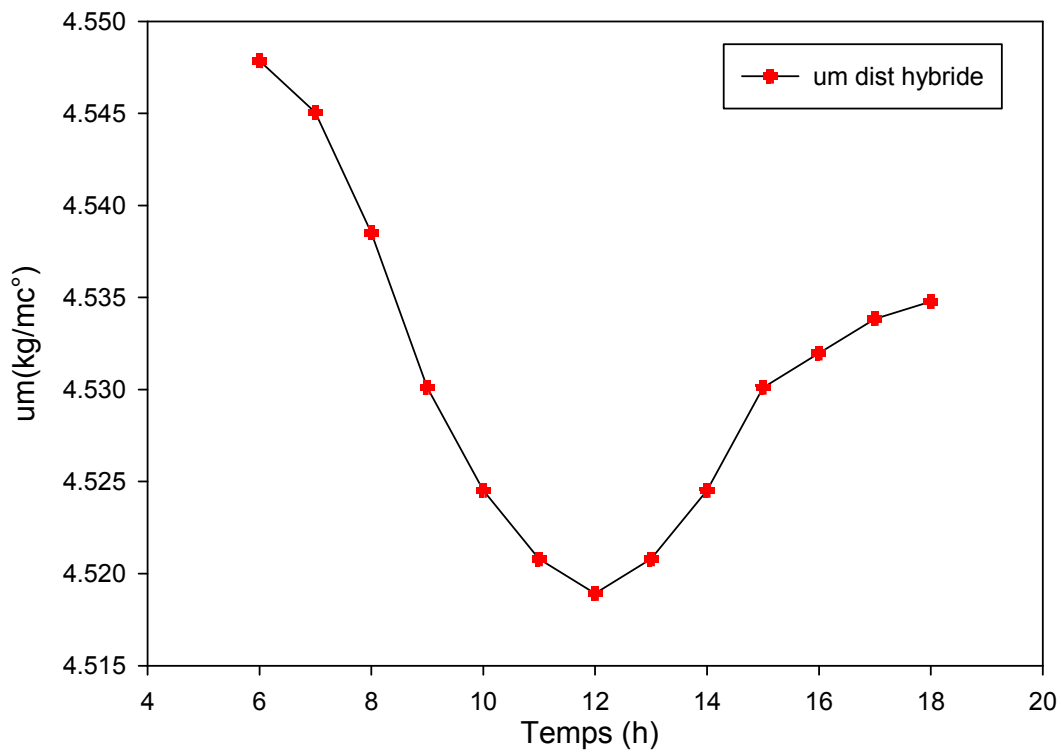


Fig.10. Variation temporelle de la viscosité dynamique de la saumure

Les figures (9, 10) montrent la variation temporelle de la masse volumique et la viscosité dynamique qui varient inversement à la température du distillateur.



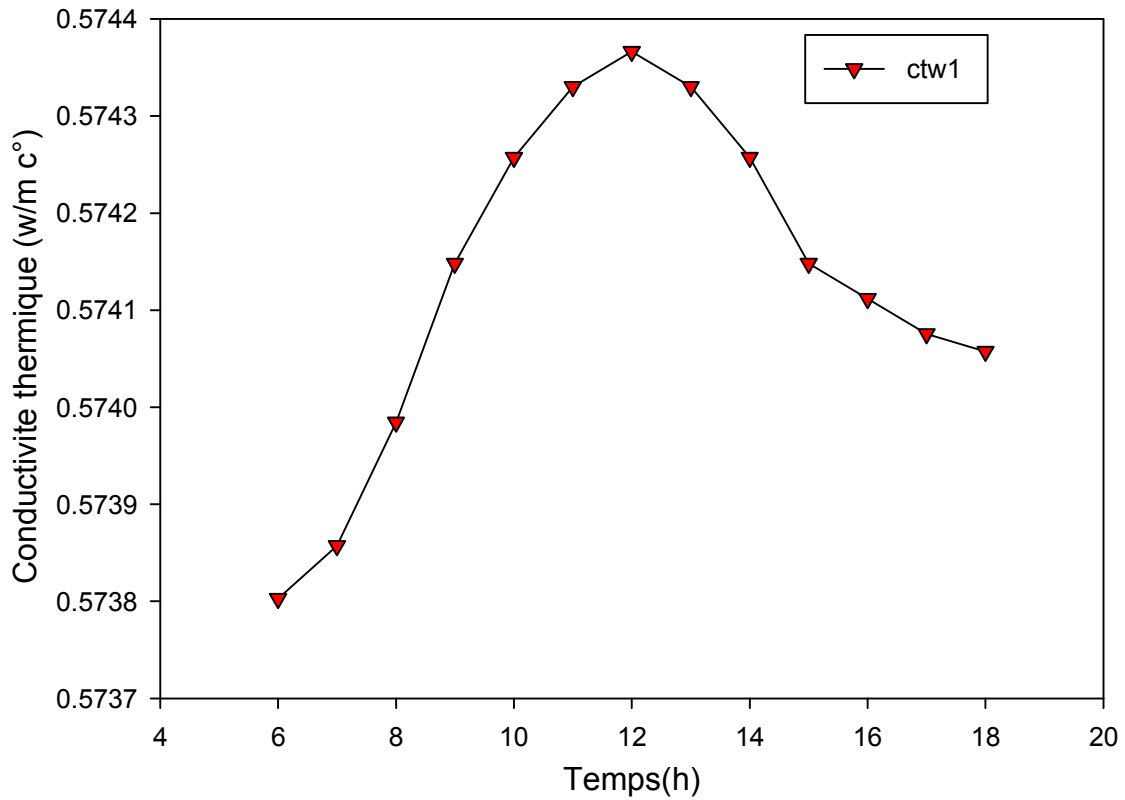


Fig.11. Variation temporelle de la conductivité thermique de la saumure

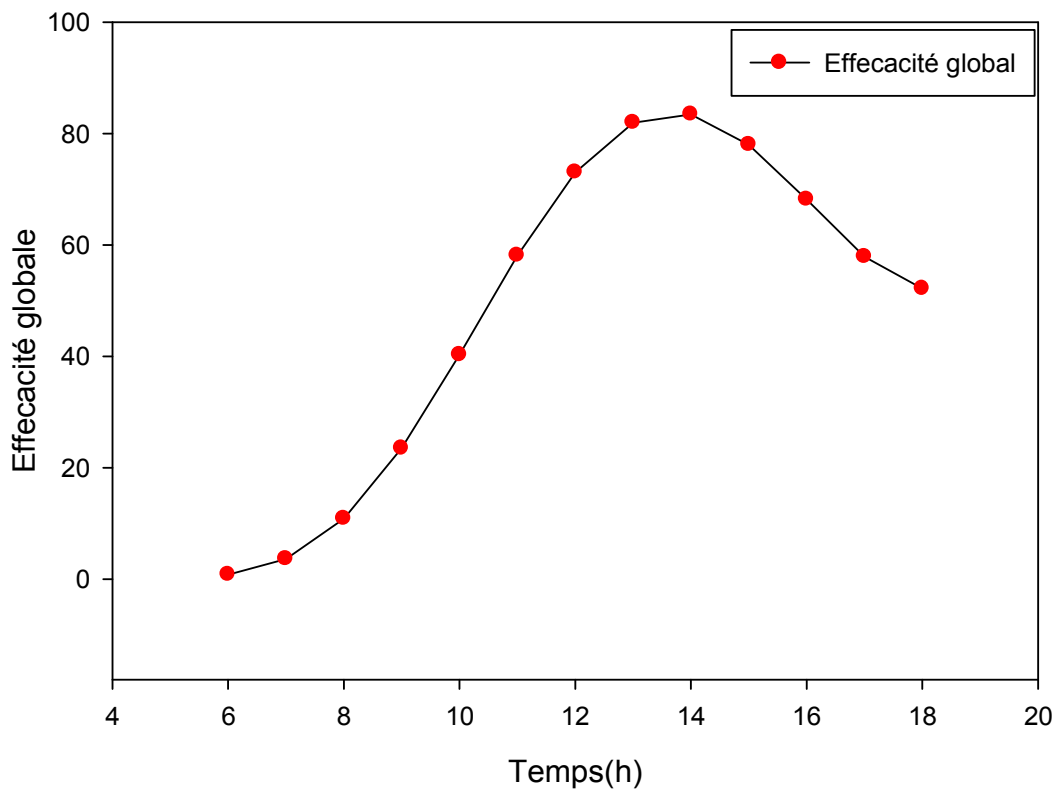


Fig.12. Variation temporelle de l'effécacité globale du distillateur hybride

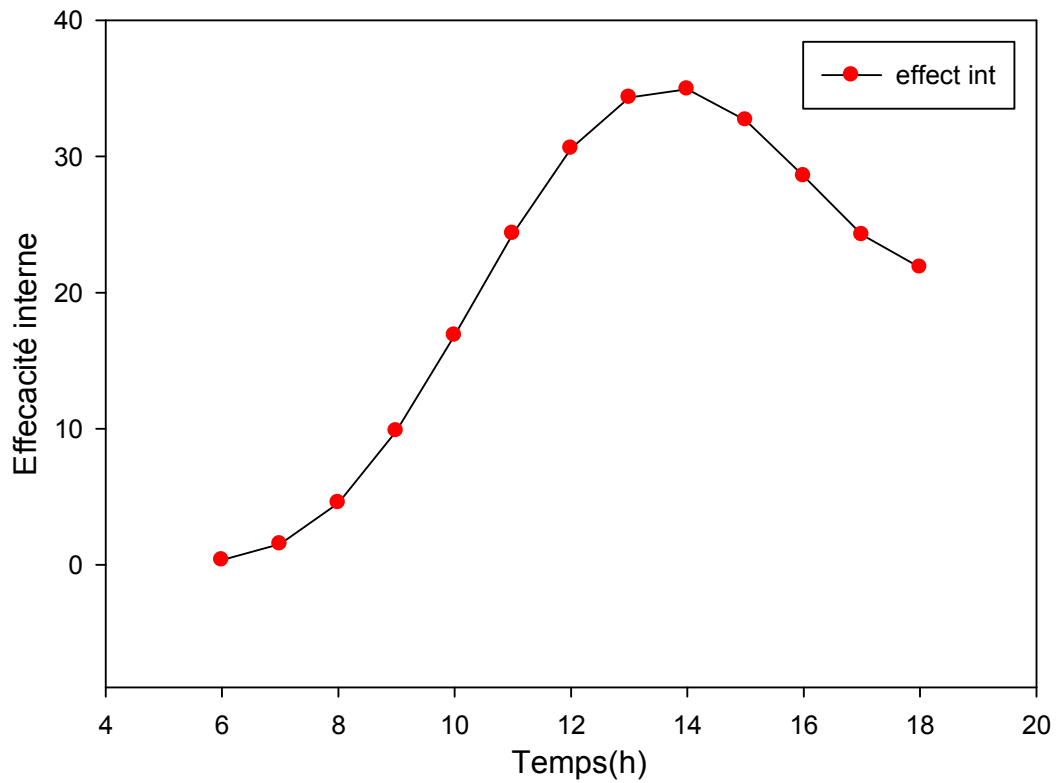


Fig.13. Variation temporelle de l'efficacité interne

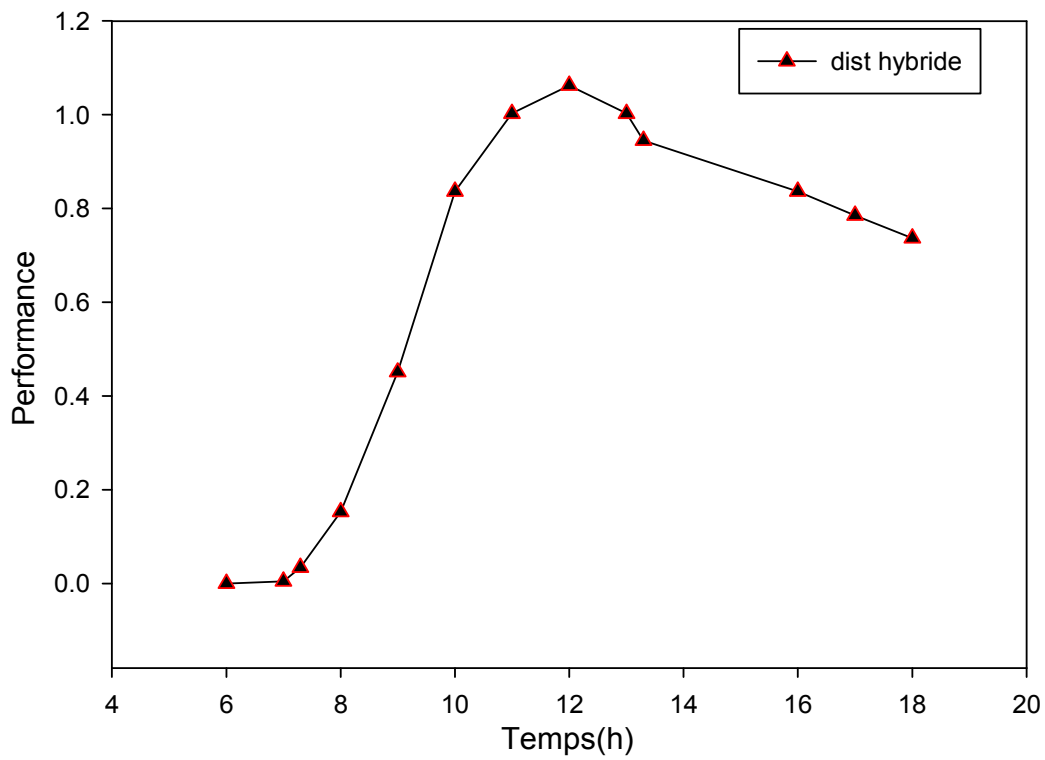


Fig.14. Variation temporelle du facteur de la performance du distillateur hybride

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les figures (11, 12,13 ,14) montrent la variation temporelle des éléments suivant : la conductivité thermique, l'efficacité globale, l'efficacité interne et la performance, qui augmentent avec l'augmentation de la température à l'intérieur du distillateur et l'inverse.

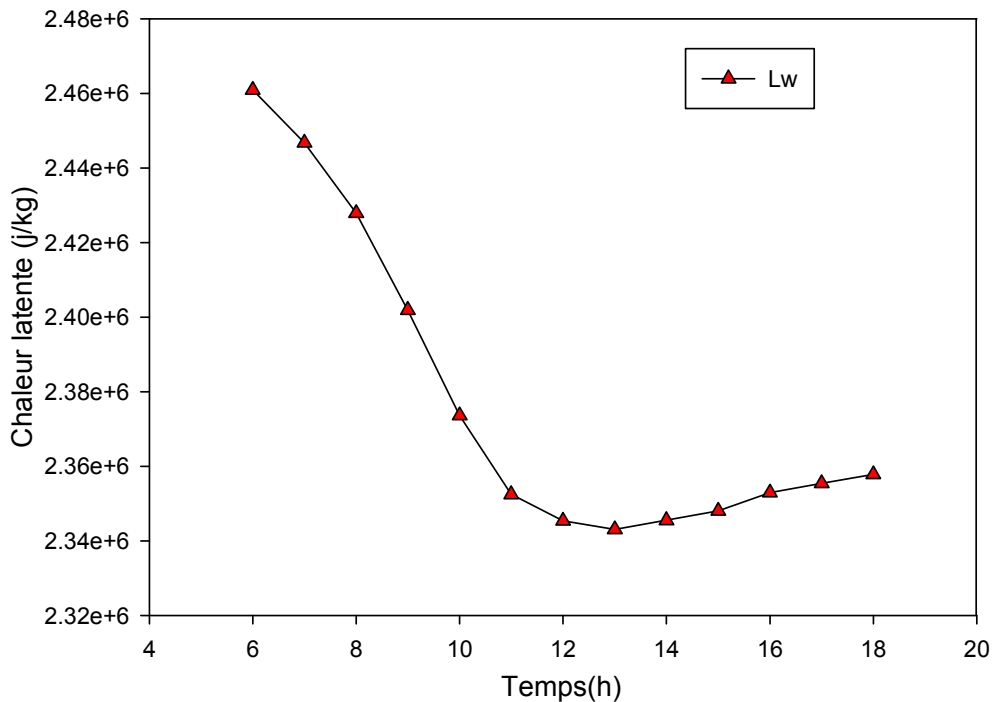


Fig.15. Variation temporelle de la chaleur latente du distillateur

La figure (15) montre la variation temporelle de la chaleur latente, qui prend des valeurs maximales à 6h et des faibles valeurs à 18h, à cause de la température du distillateur.

Les figures. (16, 17, 18, 19, 20,21) Montrent la variation de la production sous l'effet des éléments suivants : l'angle d'inclinaison, la vitesse de vent, les troubles atmosphériques, l'épaisseur du film d'eau, la résistance électrique et les mois de l'année. Ces éléments influent sur la température du distillateur qui leur augmentation augmente la production et l'inverse.

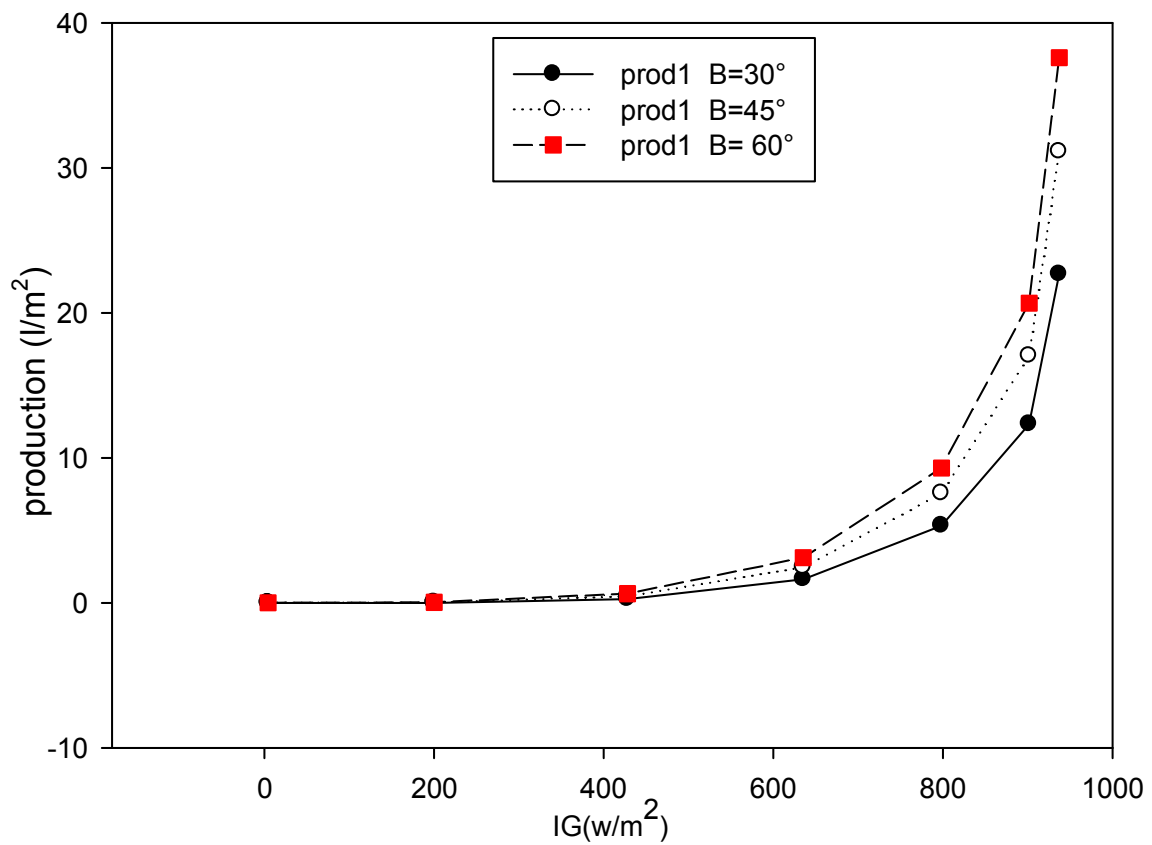


Fig. 16. Effet de l'inclinaison sur la production du distillateur

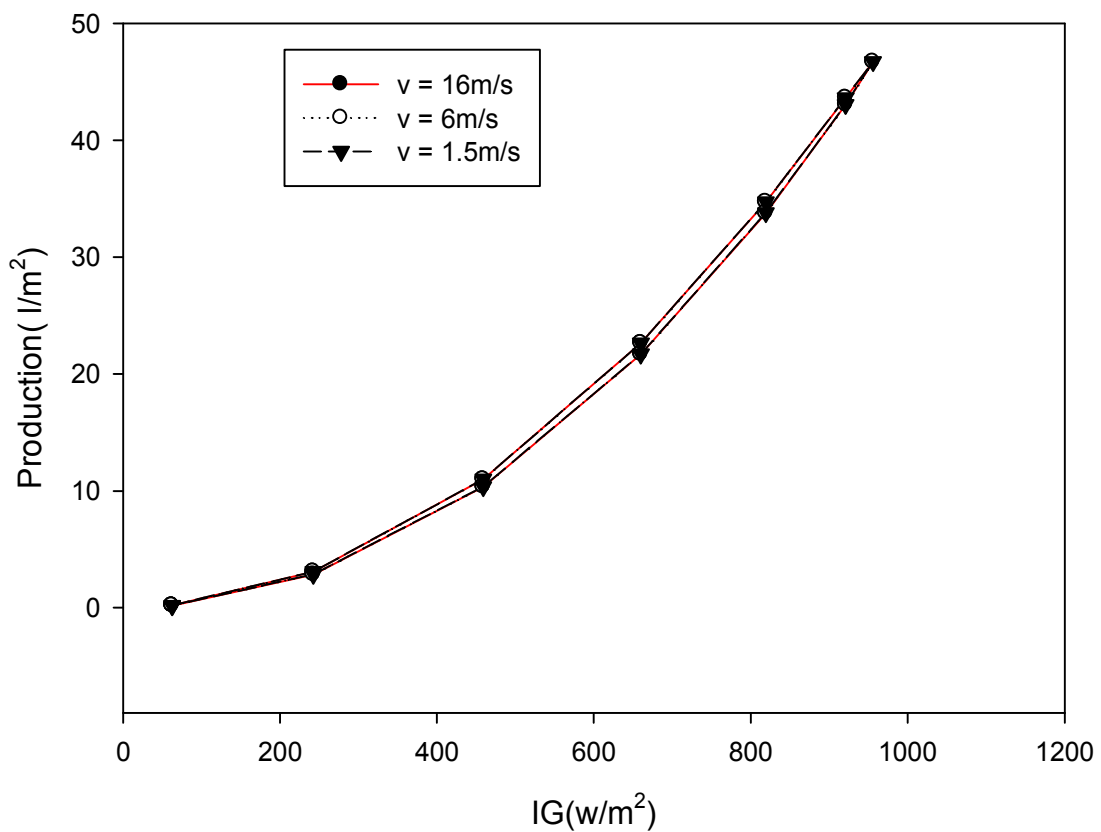


Fig.17. Effet de vitesse de vent sur la production du distillateur

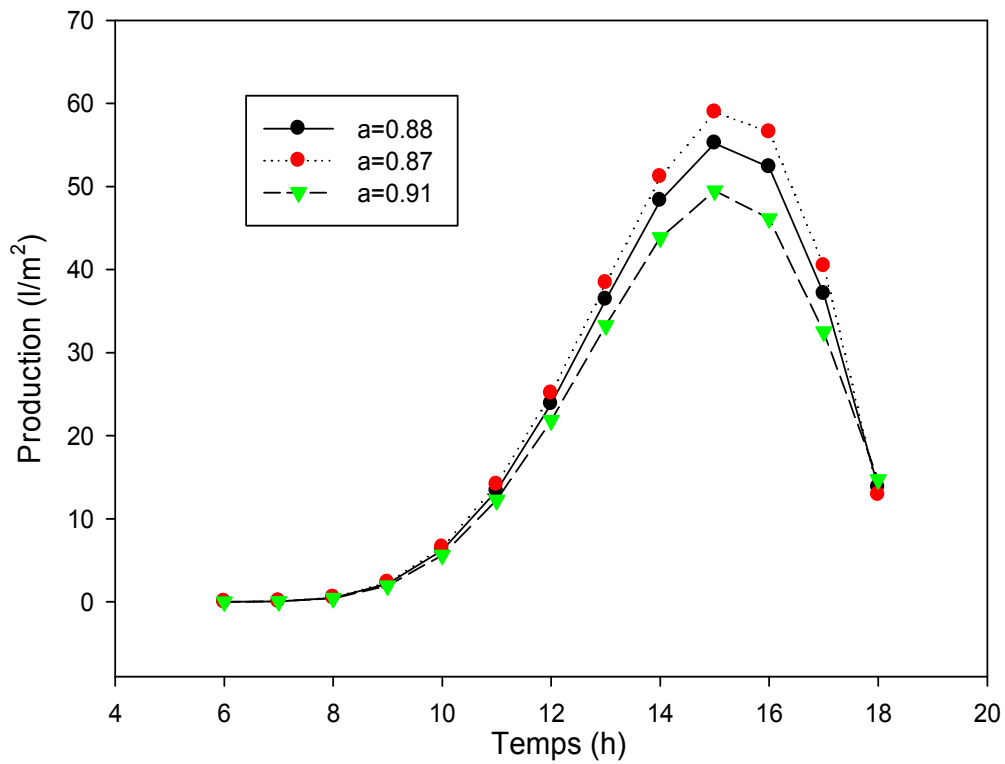


Fig.18. l'effet de trouble atmosphirique sur la production du distillateur

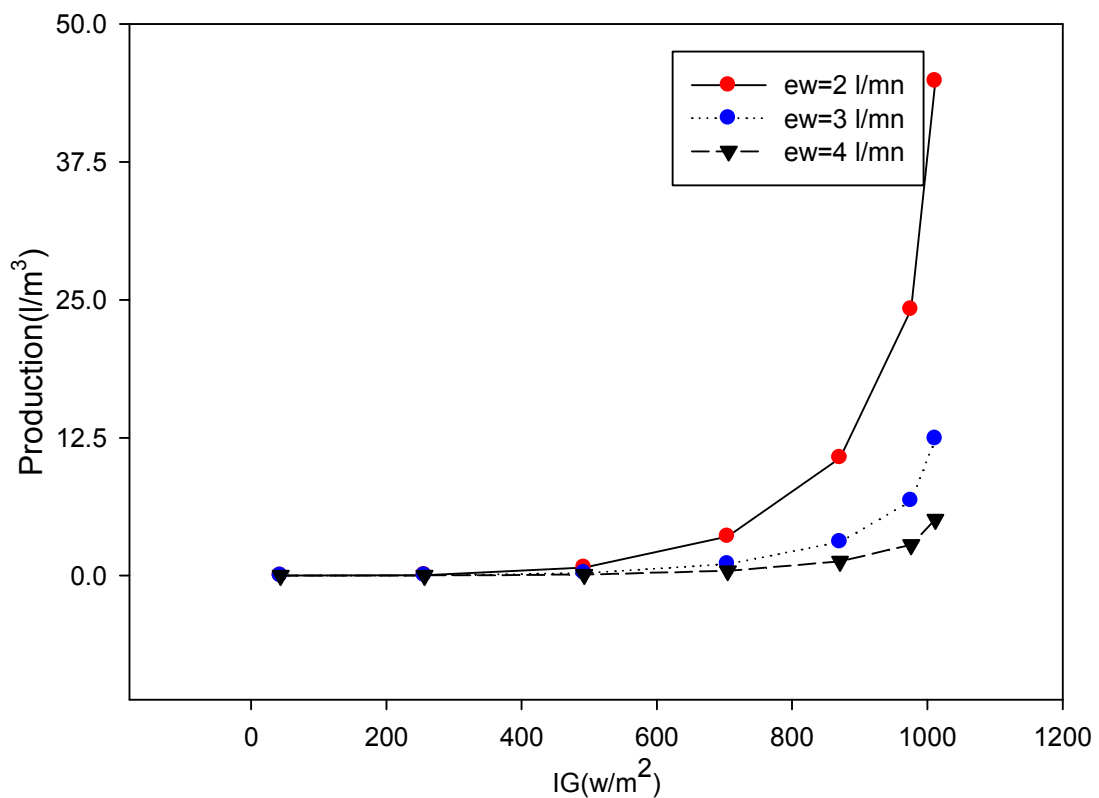


Fig.19. Effet de l'epaisseur du filme d'eau sur la production du distillateur hybride

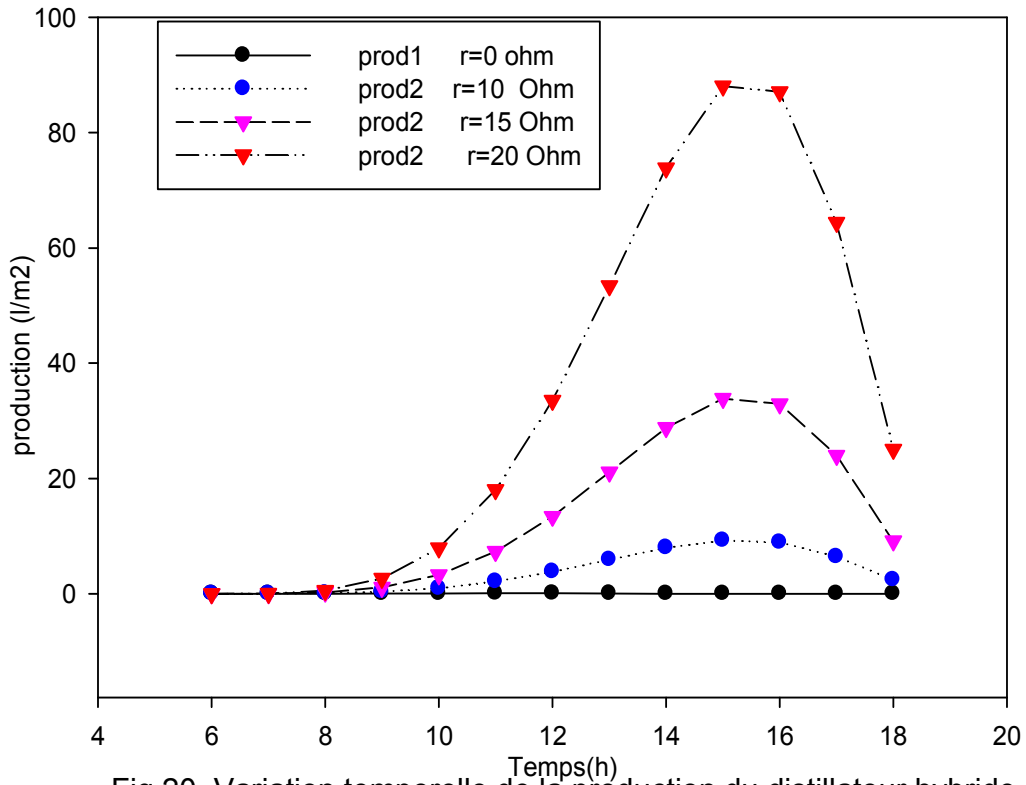


Fig.20. Variation temporelle de la production du distillateur hybride sous l'effete la resistance

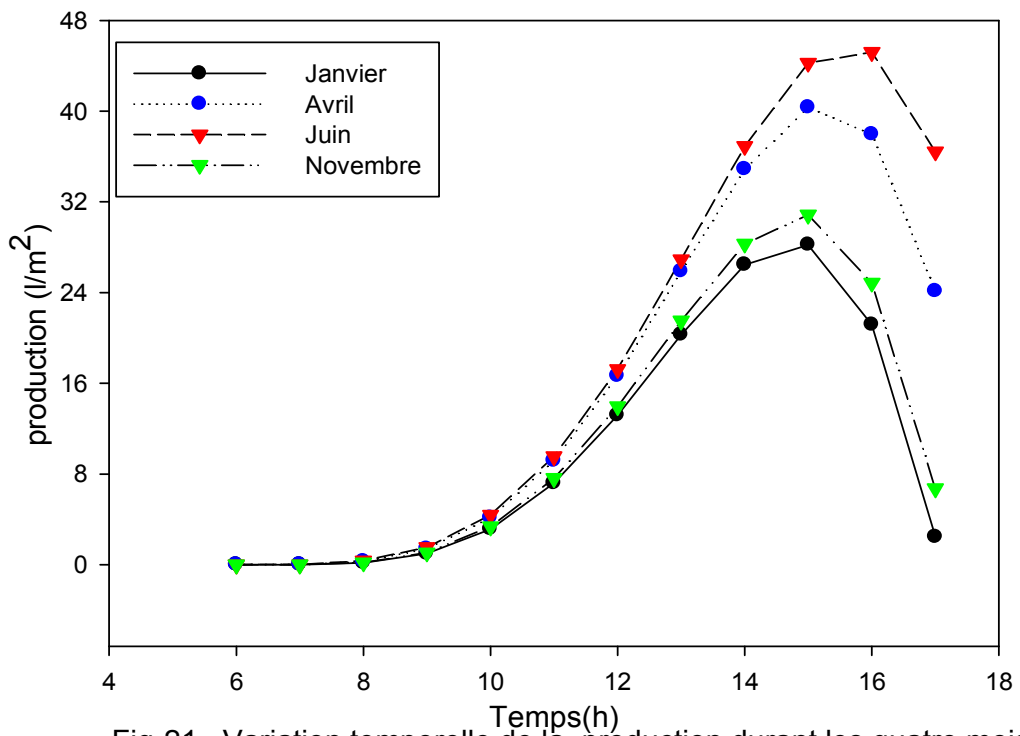


Fig-21. Variation temporelle de la production durant les quatre mois de l'année

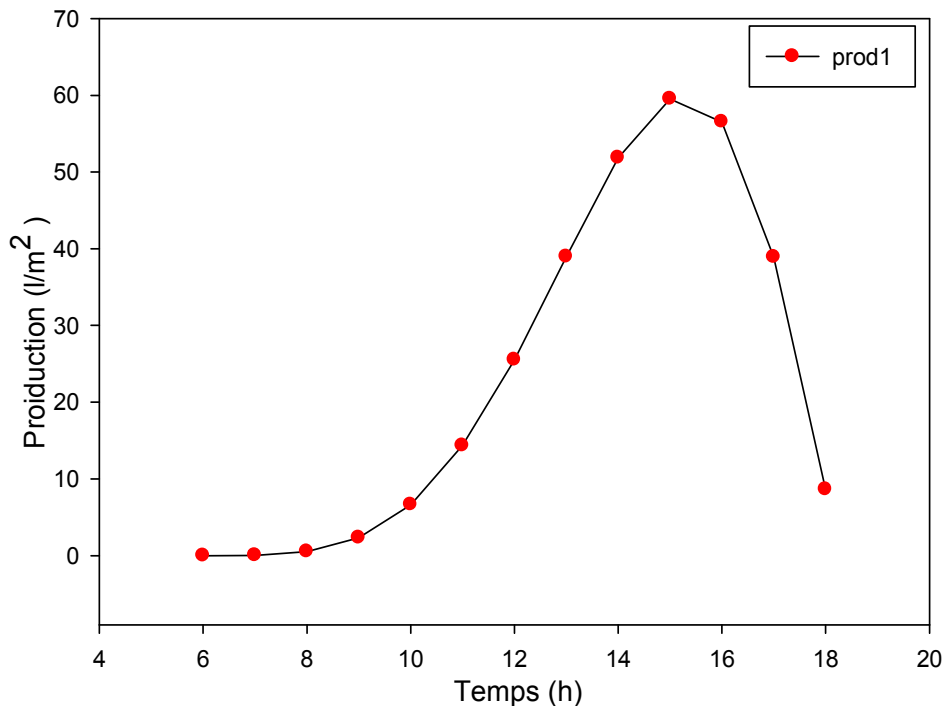


Fig.22. Variation temporelle de la production du distillateur hybride

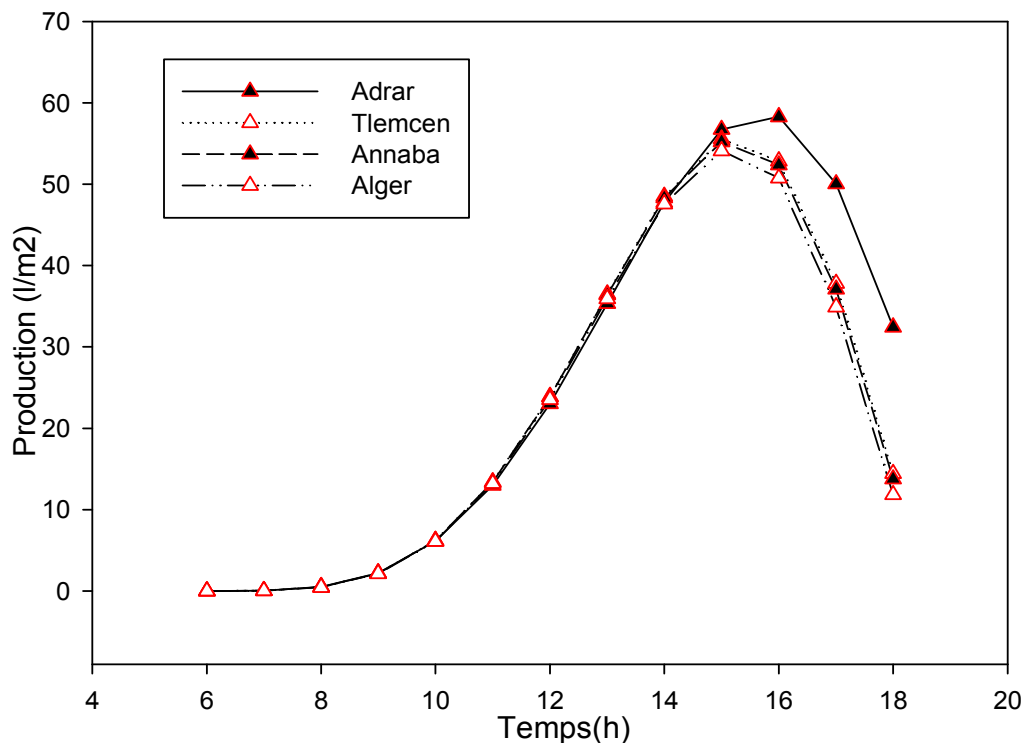


Fig.23. Variation temporelle de la production dans différentes régions

Les figures (22 ,23) montrent la variation temporelle de la production et l'effet de l'irradiation dans différentes régions suivant l'altitude et longitude, Adrar, Alger, Annaba, Tlemcen. L'irradiation dans la région d'Adrar est élevée par rapport aux autres régions, donc la production du distillateur est supérieure.

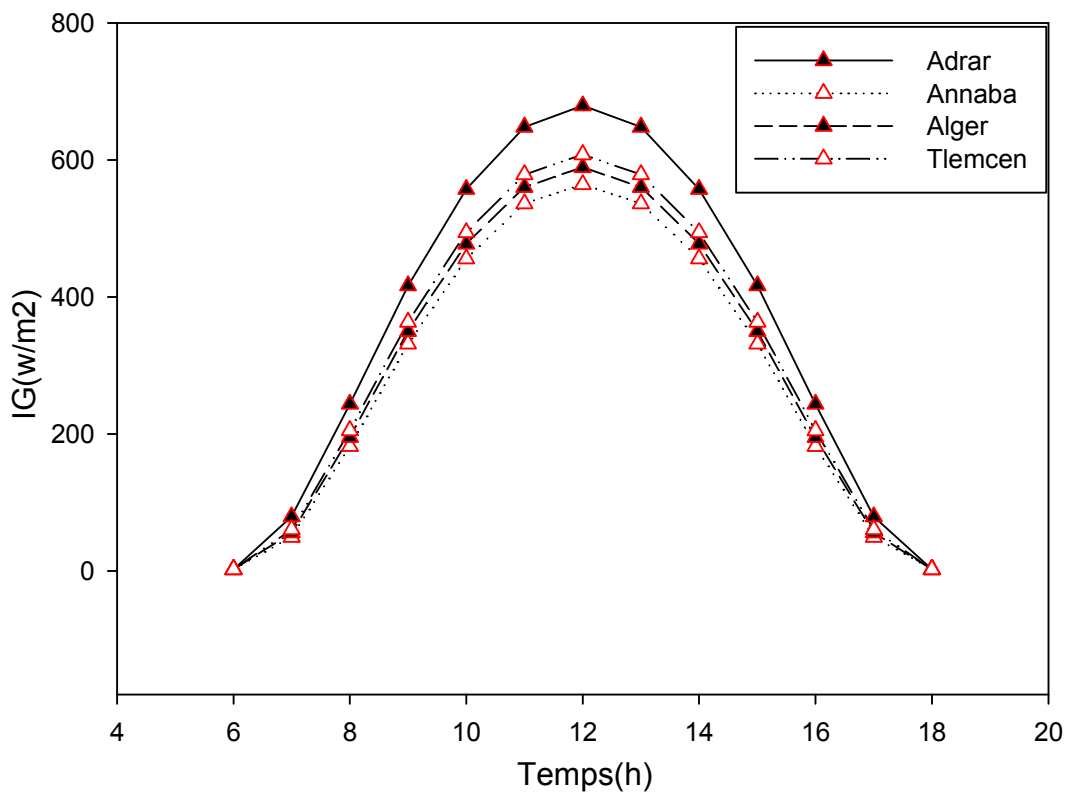
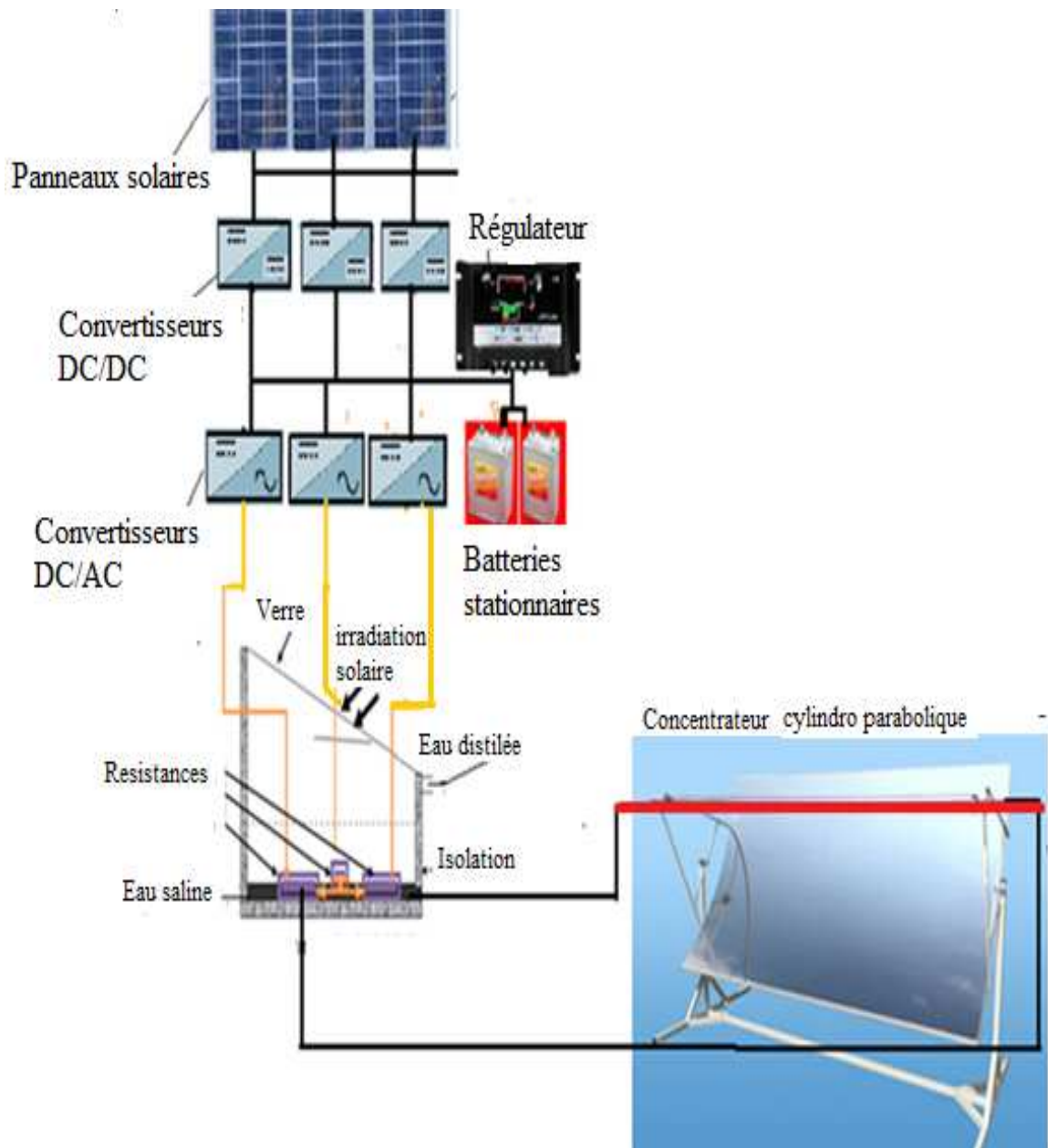


Fig.24 -Variation temporelle d'irradiation solaire dans les regions suivantes :Adrar et Annaba ,Tlemcen, Alger

Les figures 24, montrent la variation temporelle de l'irradiation dans différentes régions suivant l'altitude et longitude, Adrar, Alger, Annaba, Tlemcen. L'irradiation dans la région d'Adrar est élevée par rapport aux autres régions. En raison de climat désertique qui est caractérisé par la température élevée.



## V.6.2. Distillateur hybride couplé avec un concentrateur cylindroparabolique :



Distillateur Hybride avec un Ccp

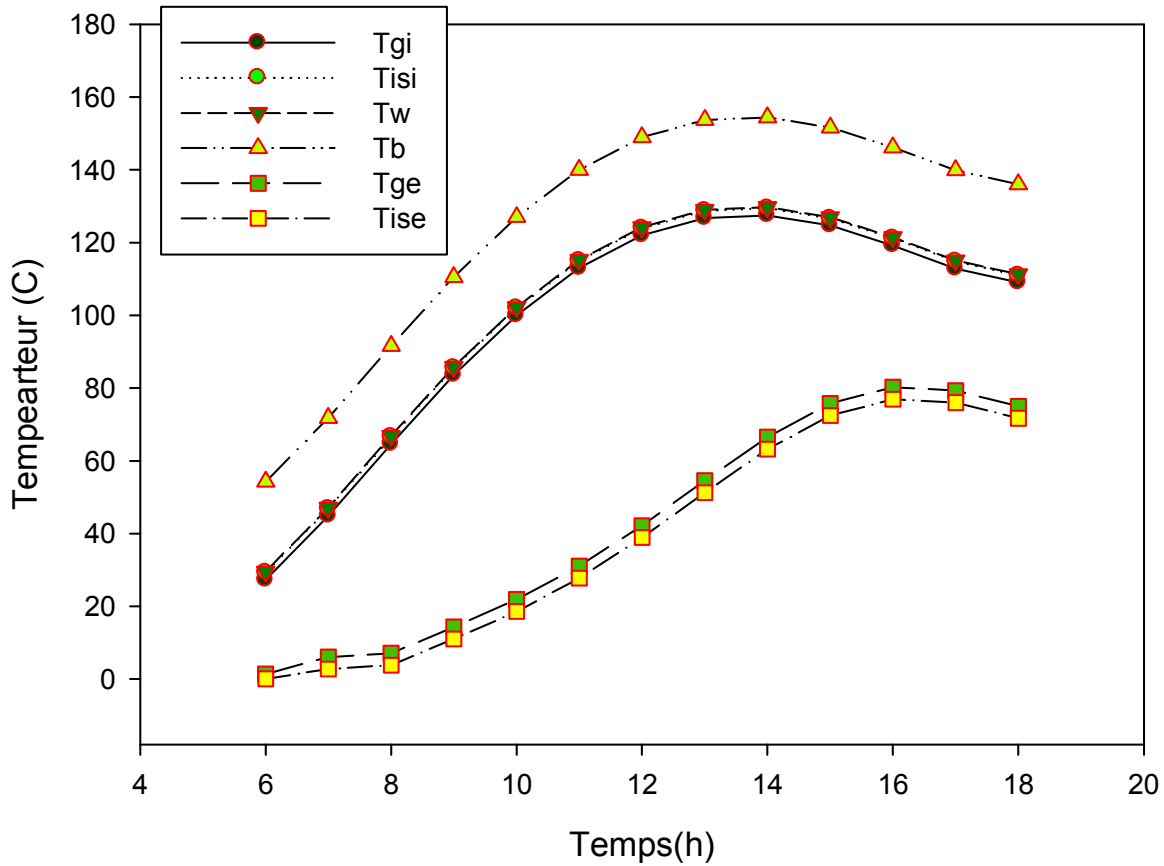


Fig.25.Variation des températures des éléments du distillateur hybride couplé avec ccp

La figure (25). On observe l'évolution de la température des éléments du distillateur solaire, qui précède par la température de la saumure. Elle est suivie par la température de l'eau et la température du verre interne, puis de la température des éléments extérieurs. Les valeurs de la température des éléments sont maximales entre 12h et 14 h, puis commencent à diminuer, et se réfère à la trajectoire du soleil.

On observe la température élevée du système hybride couplé avec CCP, par rapport au système précédent, cela est due au concentrateur solaire qui transforme les rayons solaires en chaleur et augmente l'efficacité thermique du système.

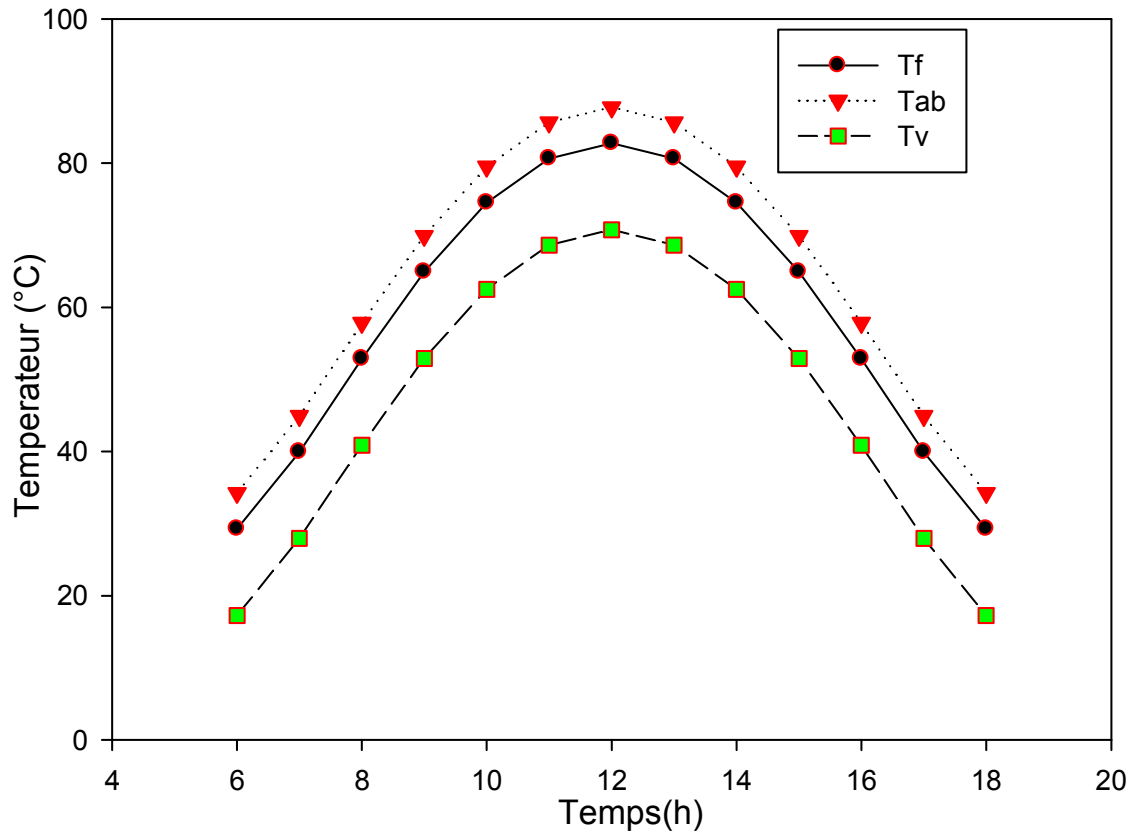


Fig.26.Variation temporelle de la température des éléments de ccp

La figure (26). Montre la température des éléments du système et note que la température de l'eau à l'intérieur du tube est supérieure à la température du verre extérieur, à cause des facteurs climatiques externes. On observe que la température de l'absorbeur est la plus grande que les autres éléments, en raison de la concentration de tout le rayonnement solaire vers l'absorbeur.

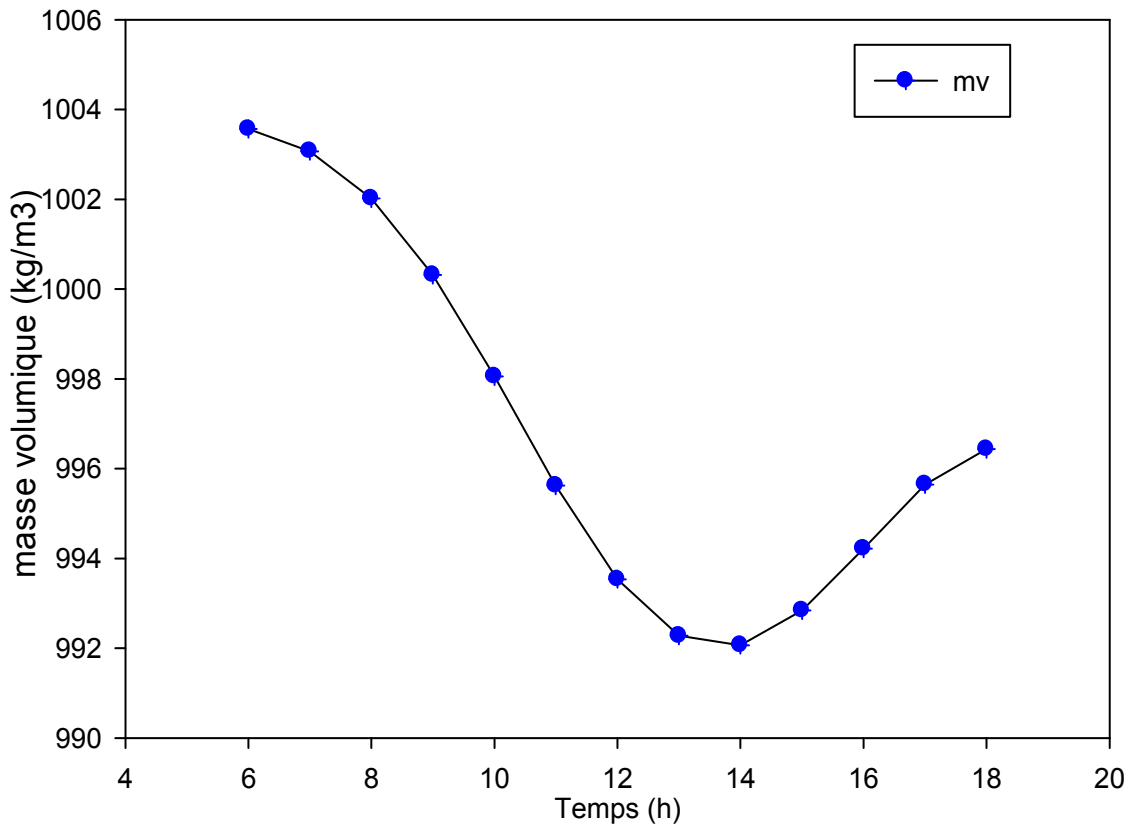


Fig.27.Variation temporelle de la masse volumique du distillateur

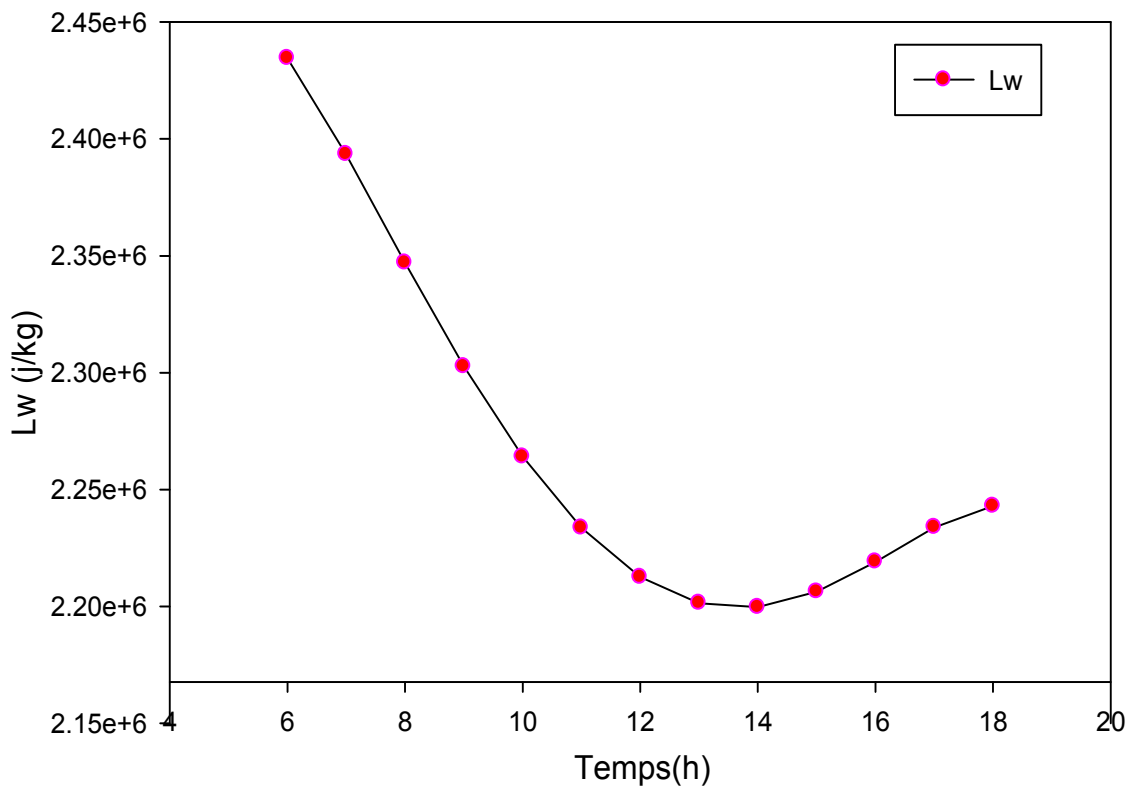


Fig.28.Variation temporelle de la chaleur latente de distillateur avec CCp

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les figures (27, 28) Montrent les valeurs de  $lw$  et la masse volumique, qui prennent des valeurs faibles quand la température est maximale et l'inverse, donc c'est une relation inversement proportionnelle

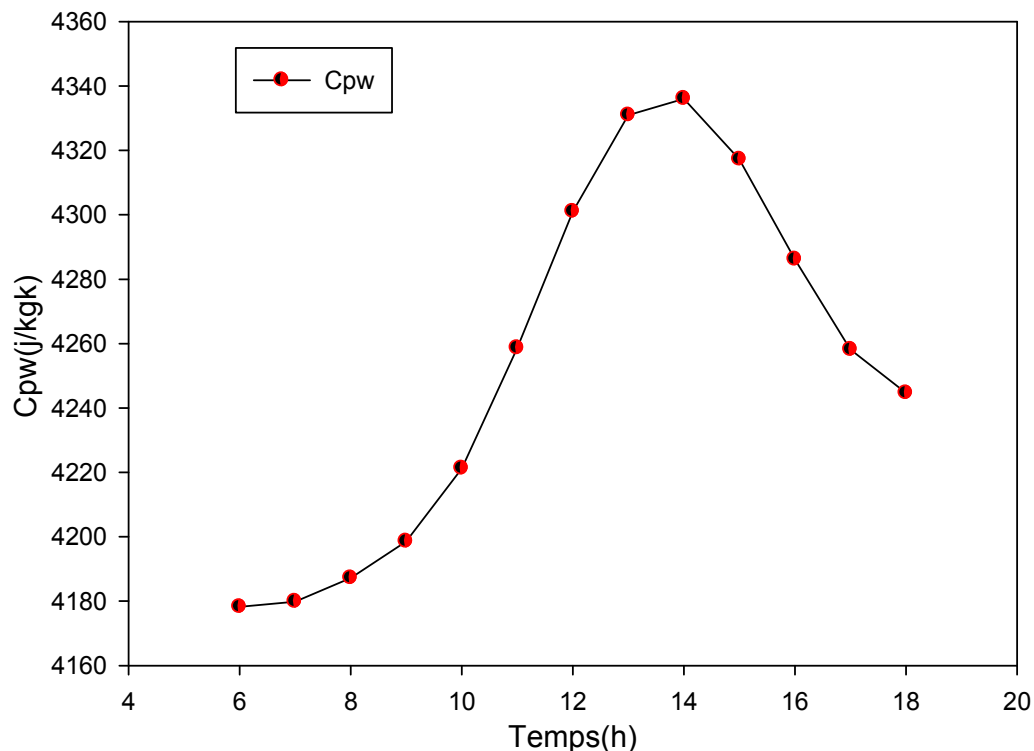


Fig.29.Variation temporelle de chaleur spécifique du distillateur hybride couplé avec Ccp

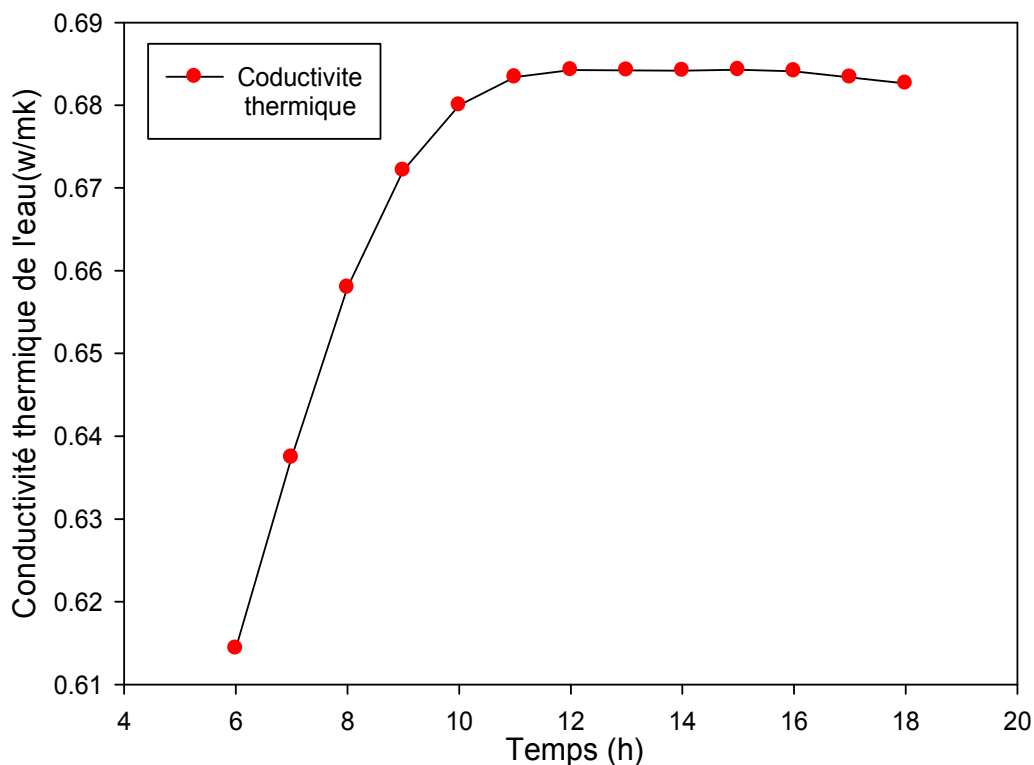


Fig.30.Variation temporelle de la conductivité thermique du distillateur hybride couplé avec Ccp

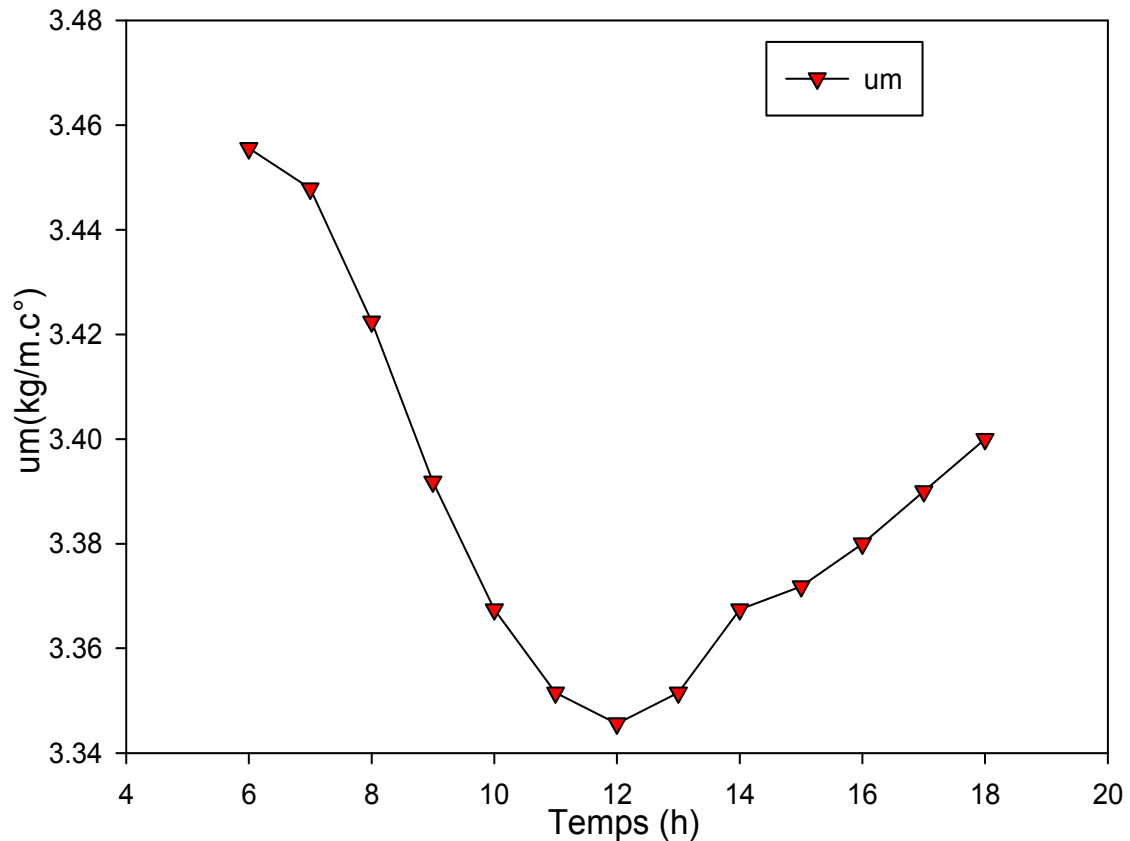


Fig.31.Variation temporelle de la viscosité dynamique du distillateur hybride avec ccp

Les figures (29, 30) montrent la variation temporelle de la chaleur spécifique d'eau et la conductivité thermique qui augmentent sous l'effet de la température de l'eau.

Les figures (32, 33,34 ,35) Montrent la variation temporelle de la production, l'efficacité globale et interne et la performance du distillateur. Les valeurs maximales des éléments précédents sont relatives aux valeurs supérieures de la température. La quantité de la production est plus élevée que celle donnée par le système hybride.

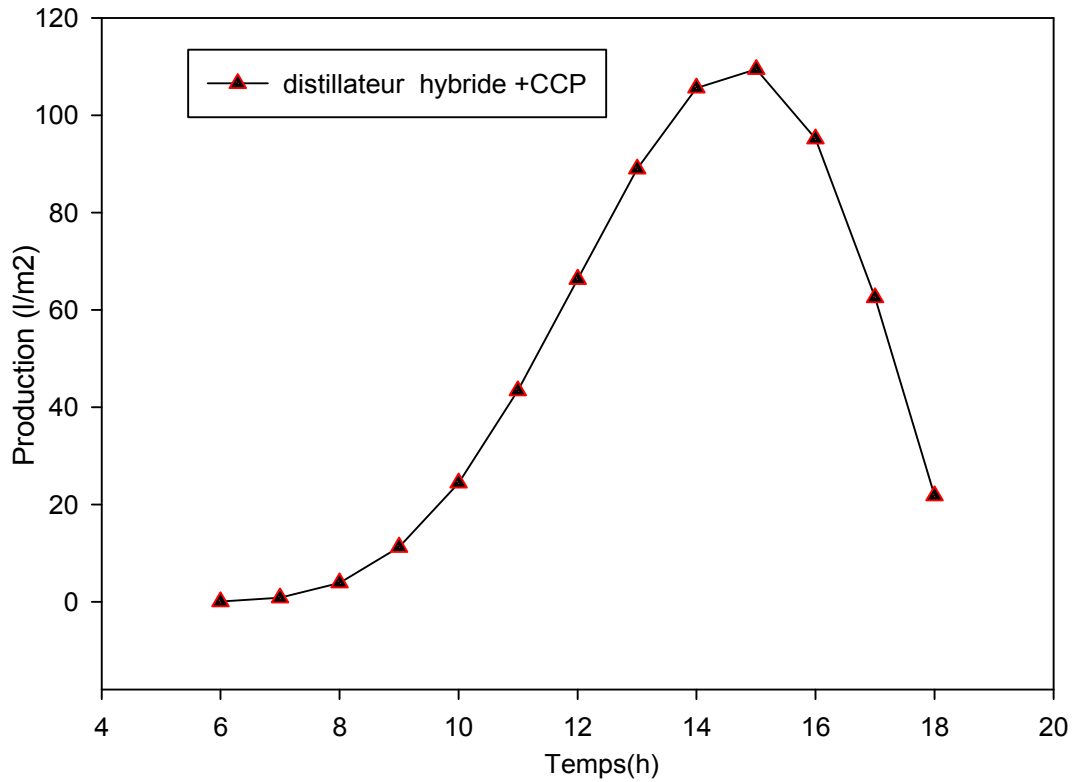


Fig.32. Variation temporelle de la production du distillateur hybride couplé avec CCP

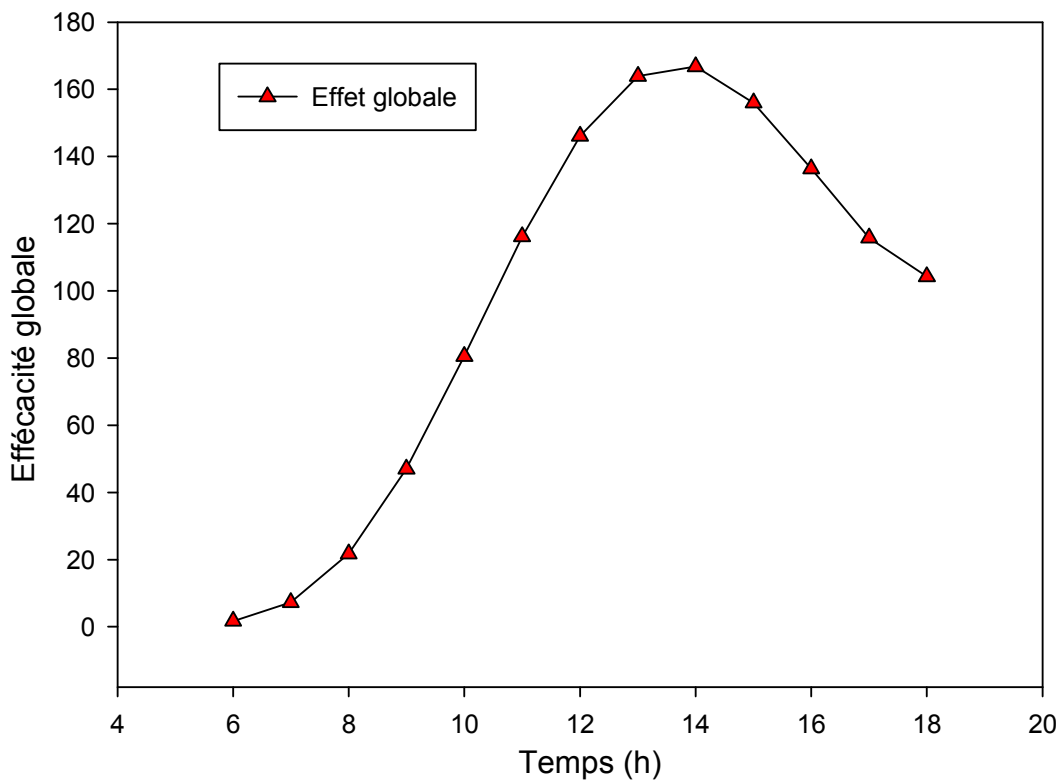


Fig.33. Variation temporelle de l'effecacité globale du distillateur hybride couplé avec Ccp

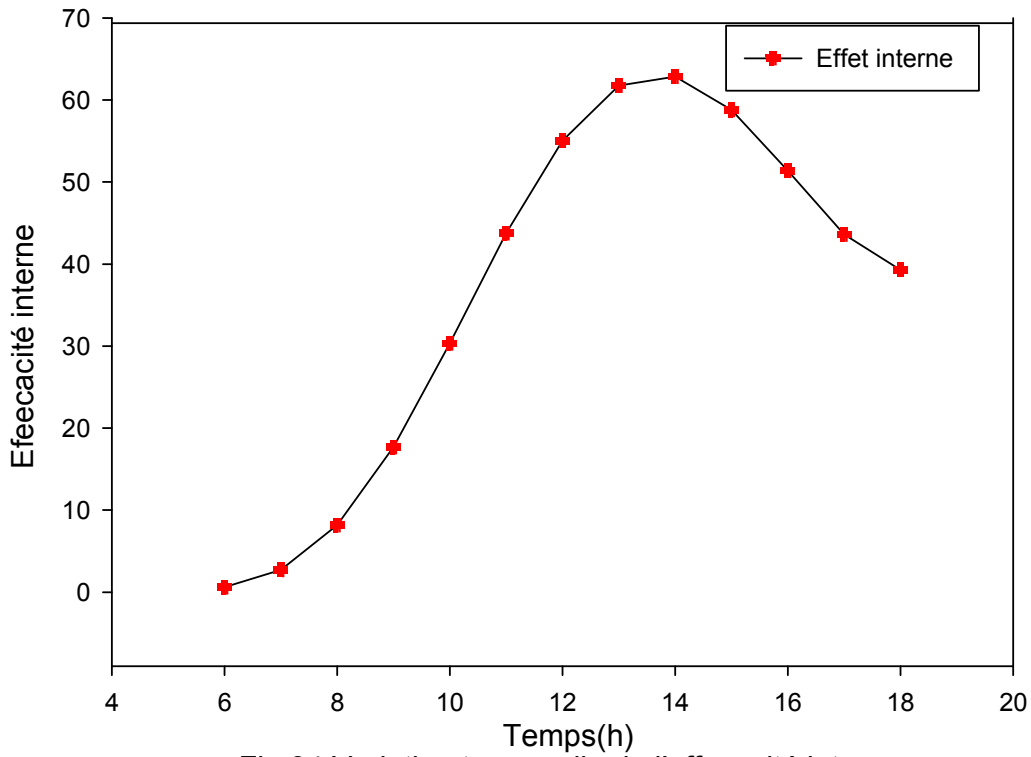


Fig.34.Variation temporelle de l'effecacité interne du distillateur hybride couplé avec Ccp

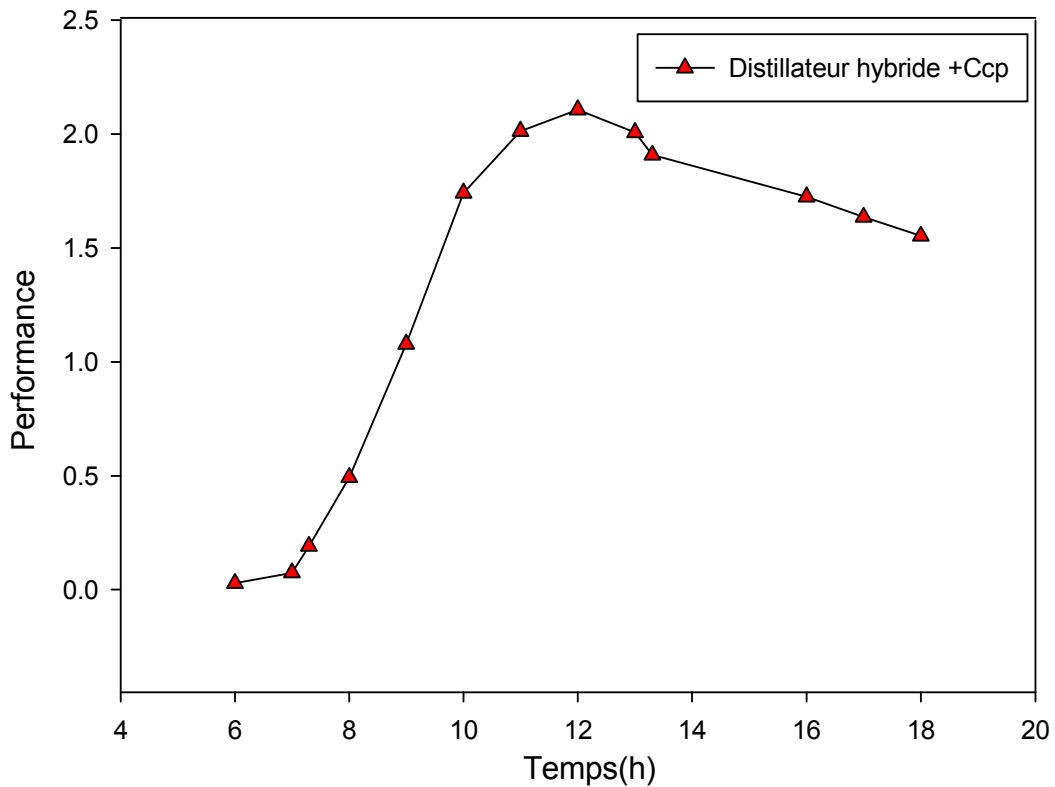


Fig.35.Variation temporelle de la performance du distillateur hybride couplé avec Ccp



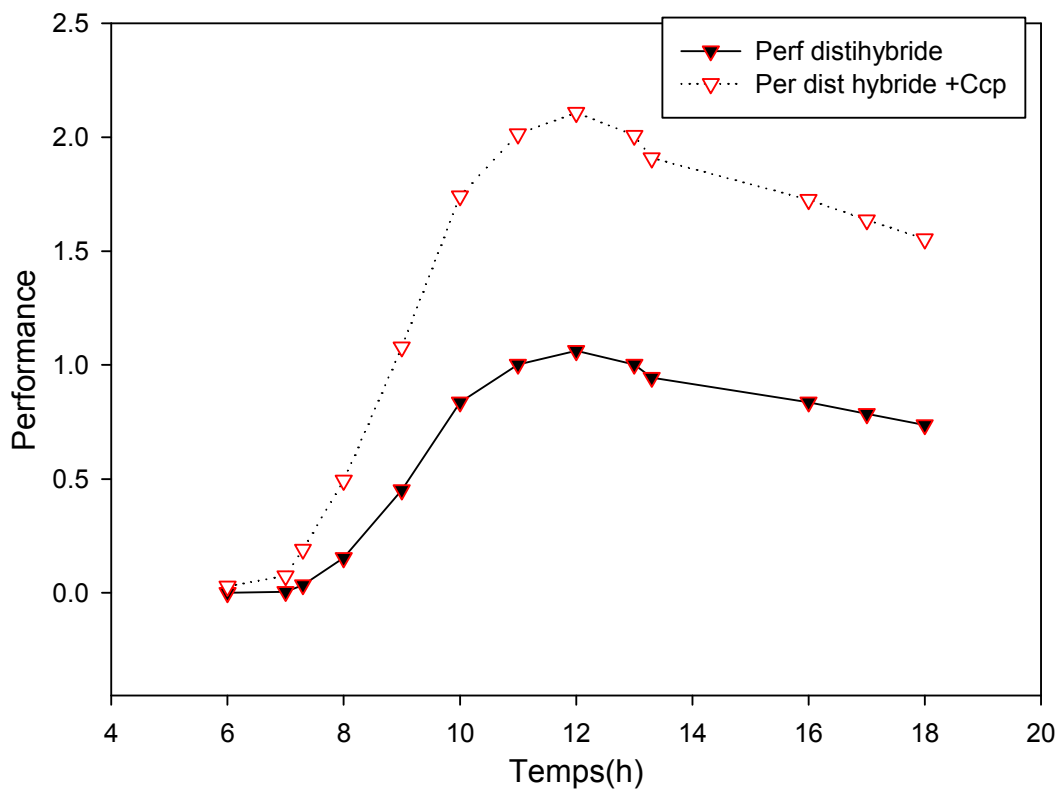


Fig.36. Variation temporelle de la performance des distillateurs

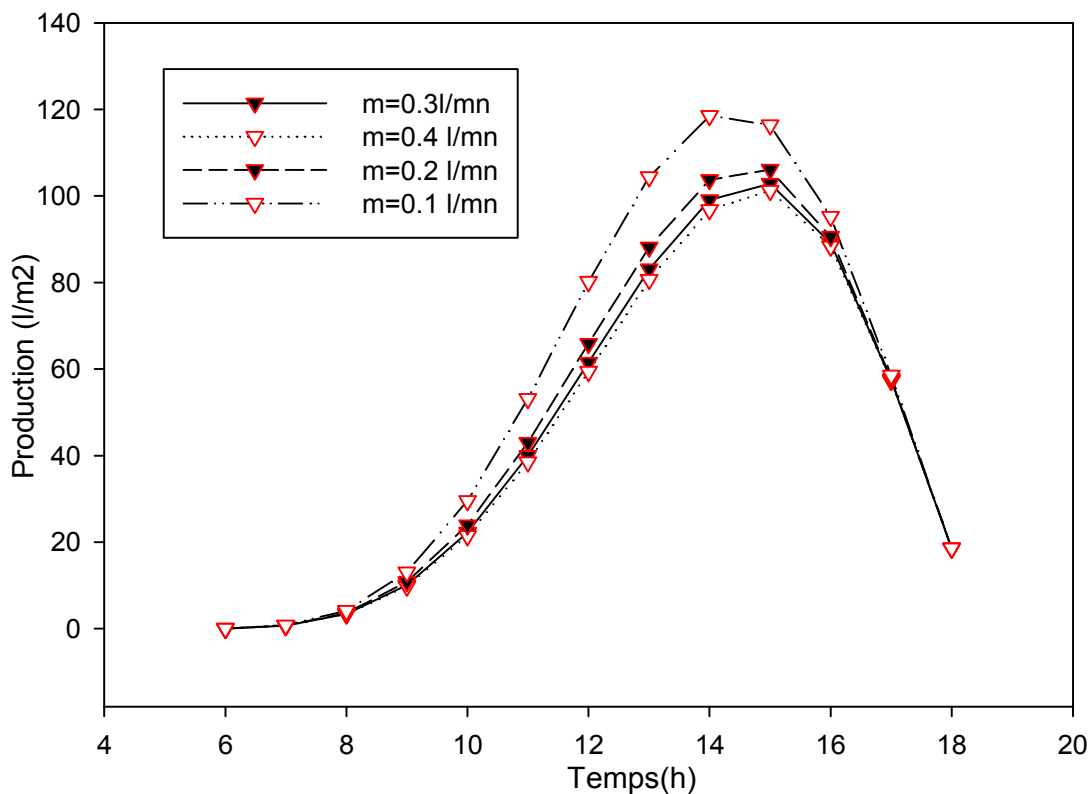


Fig.37. Variation temporelle de la production sous l'effet du débit

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

---

Le diagramme fig 37, montre la variation de production en fonction du temps sous l'influence de l'épaisseur du film d'eau  $m$ . On remarque trois parties, la première de 6h à 10h, la deuxième de 10h à 16h et la troisième de 16h à 18h.

De 6h à 8h les diagrammes sont identiques à cause des faibles valeurs de la température et l'insuffisance des rayonnements solaires.

De 8h à 10h la température du système augmente suivant l'intensité de rayonnement solaire qui augmente suivant la position du soleil dans le ciel. Il apparait un écart faible entre les diagrammes suivant l'épaisseur du film d'eau  $m$ . quand  $m=0,11/mn$  la production augmente à des valeurs intéressantes et l'inverse. Si  $m= 0,41/mn$ , la production a des valeurs faible par rapport les valeurs précédentes.

Cette différence entre les diagrammes est due au changement thermique entre la température de l'eau d'alimentation et la température à l'intérieure du distillateur.

De 10h à 16h la différence entre les diagrammes est devient plus grande, car la puissance thermique du distillateur est plus élevée à cause de l'intensité forte de rayonnement solaire.

Le début faible de l'épaisseur du filme d'eau  $m=0,11/mn$  est évaporé rapidement en raison de la température élevée à l'intérieure du distillateur et l'inverse.

De 16h à 18h les diagrammes sont semblables en raison de faible rayonnement solaire au soir.

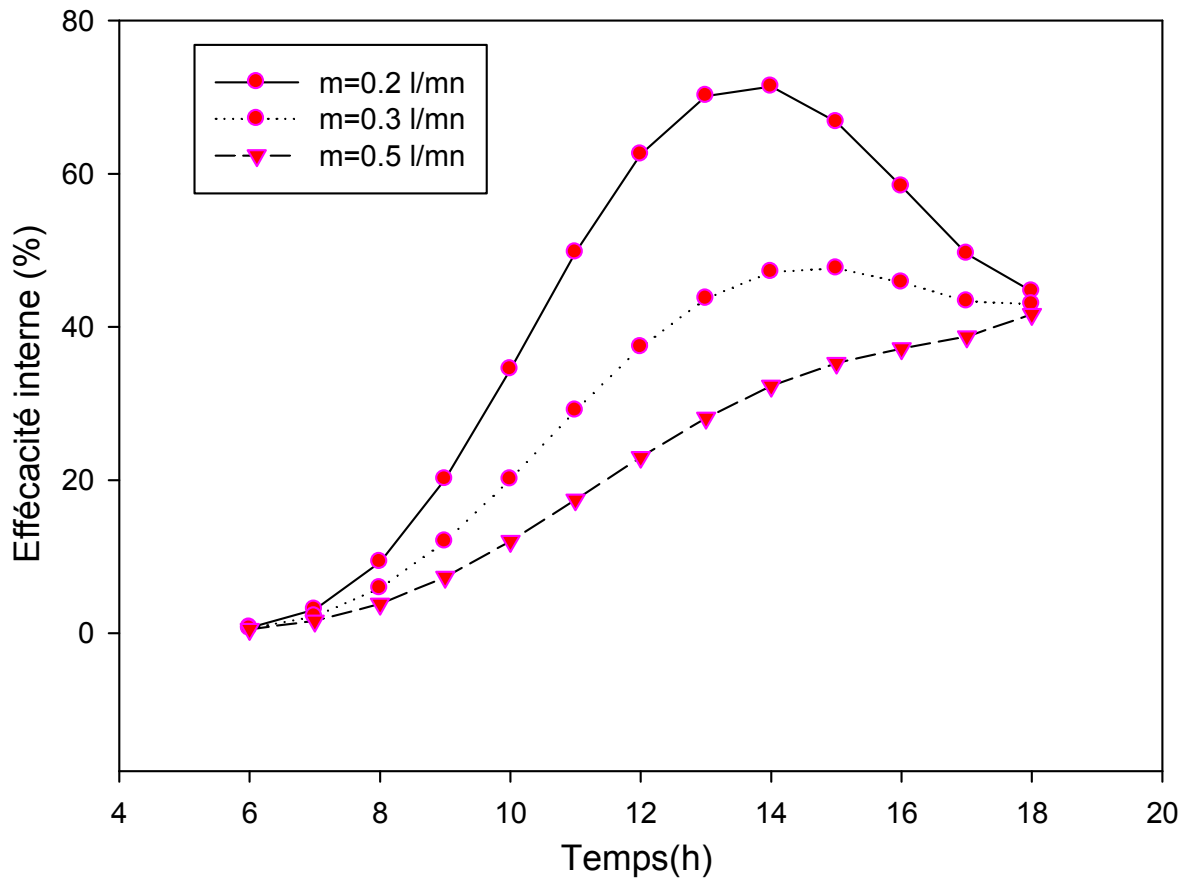


Fig.38. Variation de l'efficacité interne en fonction du débit

Figs (38, 39, 40,41). Les diagrammes montrent, la variation des éléments suivants : l'efficacité interne, température de l'eau, la performance et l'efficacité globale en fonction du temps sous l'influence de l'épaisseur du film d'eau  $m$ . On observe trois parties, la première de 6h à 8h, la deuxième de 8h à 16h et la troisième de 16h à 18h.

De 6h à 8h les diagrammes commencent de séparer suivant les valeurs différentes de l'épaisseur du film d'eau  $m$ . Les faibles valeurs de  $m$  conduisent à des valeurs supérieures des éléments précédents.

De 10h à 16h la température du système augmente en raison de l'intensité forte de rayonnement solaire qui augmente suivant la position du soleil dans le ciel. Il apparaît que l'efficacité interne, température de l'eau, la performance et l'efficacité globale sont plus élevés à  $m=0,2l/mn$  à cause de la température infernale à cette intervalle de temps et la vaporisation rapide de l'eau à faible épaisseur.

De 16h à 18h la différence entre les diagrammes est devient faible, car l'intensité de rayonnement solaire est faible au soir.

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

---

On observe à 18h les valeurs supérieures des éléments précédents en raison de la puissance thermique forte produit par les résistances électriques et au stockage électrique par les batteries du système photovoltaïque, ainsi que le stockage et l'isolation thermique du système.

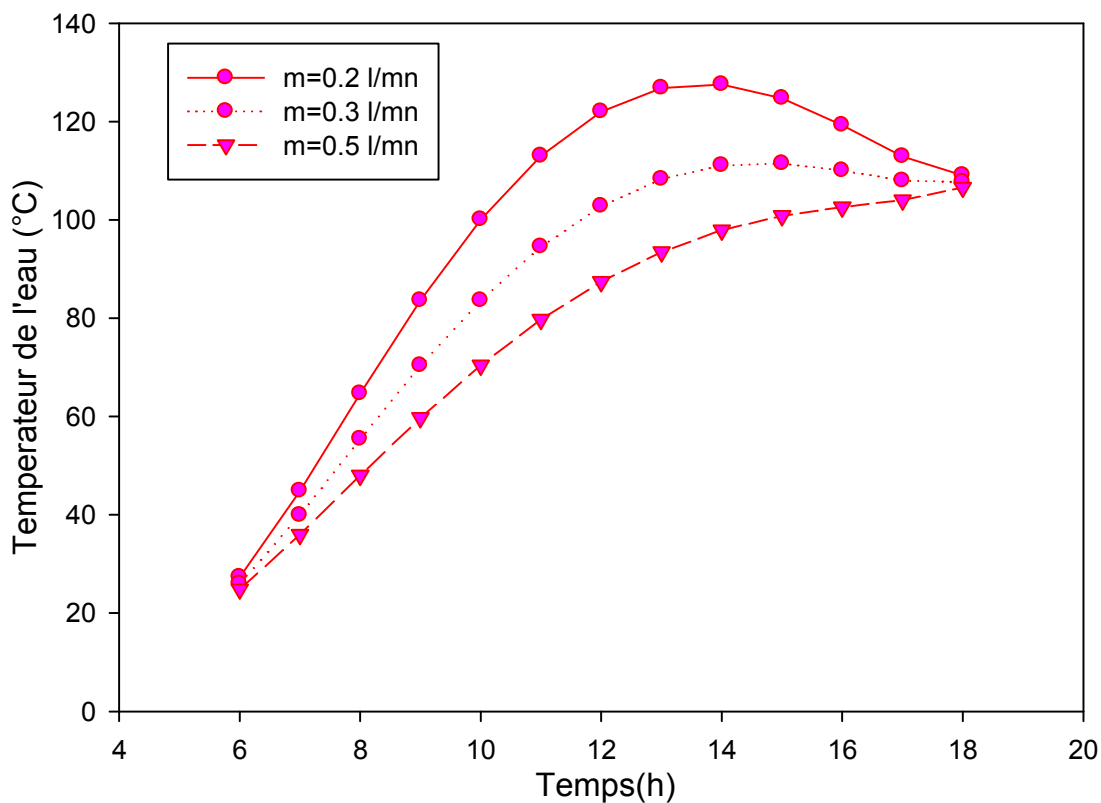


Fig.39.Variation temporelle de la temperature de l'eau du distillateur sous l'effet du débit

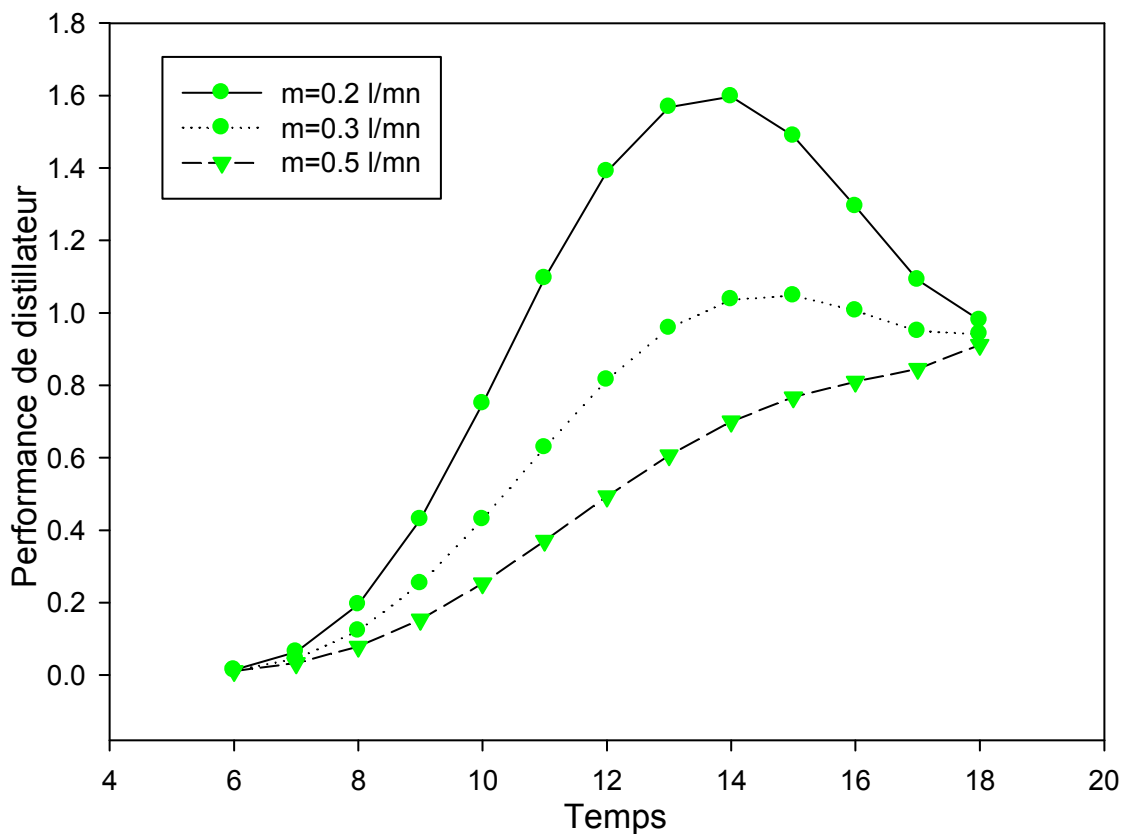


Fig.40.Variation temporelle de la performance du distillateur sous l'effet du débit

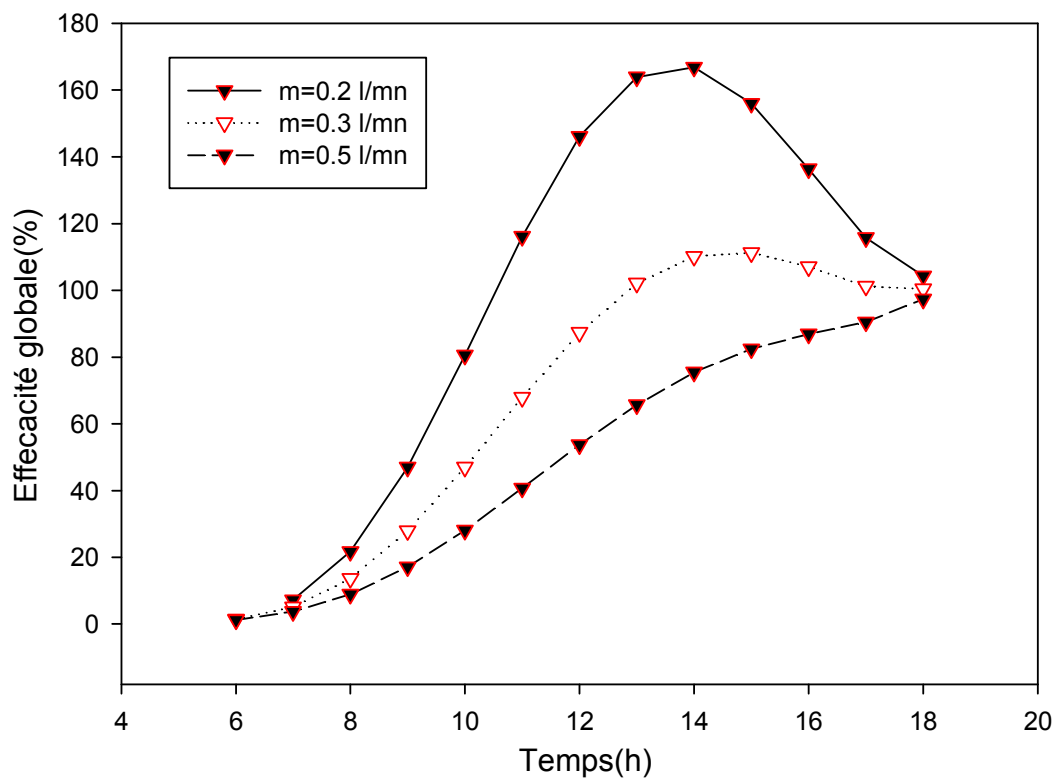


Fig.41.Variation temporelle de l'efficacité globale sous l'effet du débit

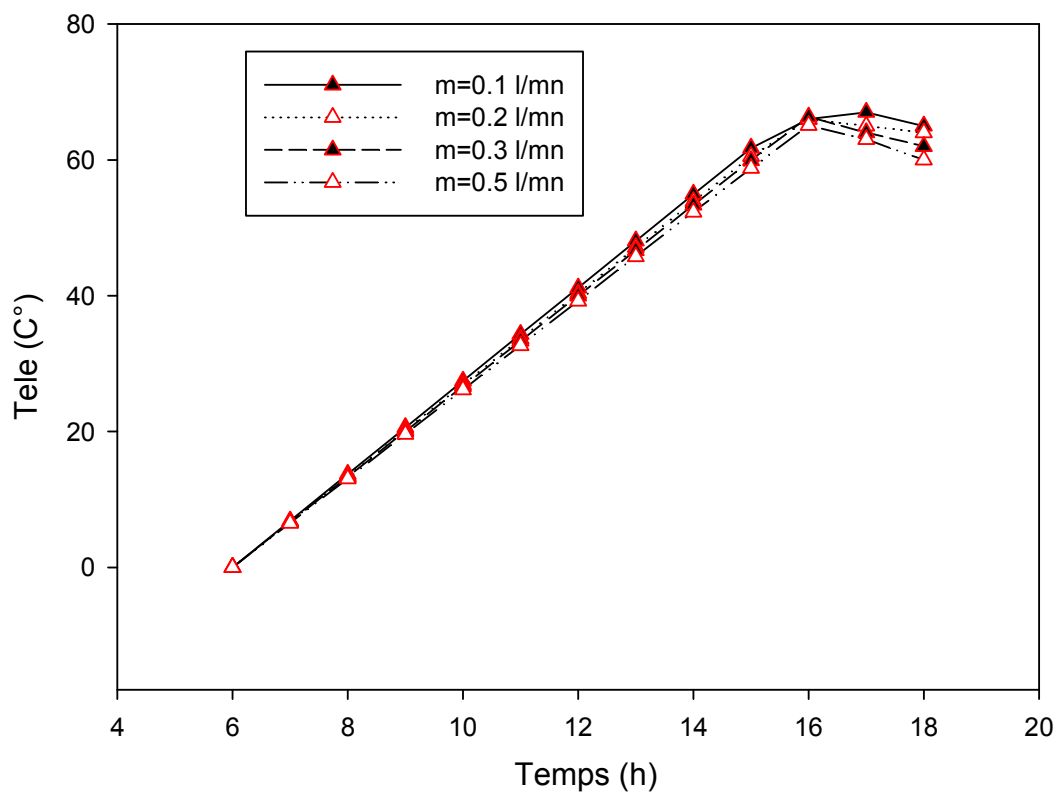


Fig.42 . Variation temporelle de la temperature produit par pv sous l'effet du débit

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le diagramme fig42, montre la variation de la température engendrée par le système photovoltaïque via des résistances électriques en fonction du temps sous l'influence de l'épaisseur du film d'eau  $m$ . Il existe plusieurs intervalles de temps, le premier de 6h à 10h, le deuxième de 10h à 16h et le troisième de 16h à 18h.

De 6h à 10h, il apparaît un faible décalage entre les diagrammes qui sont affectés par l'épaisseur de film d'eau  $m$ .

De 10h à 16h la température du système augmente suivant l'intensité de rayonnement solaire qui augmente suivant la position du soleil dans le ciel. Le décalage entre les diagrammes reste faible en raison de la température élevée qui produit par le système photovoltaïque. La variation de l'épaisseur du film d'eau affecte faiblement la température de du système photovoltaïque.

De 16h à 18h la température est diminuée et la différence entre les diagrammes reste faible, car l'intensité de rayonnement solaire est faible au soir.

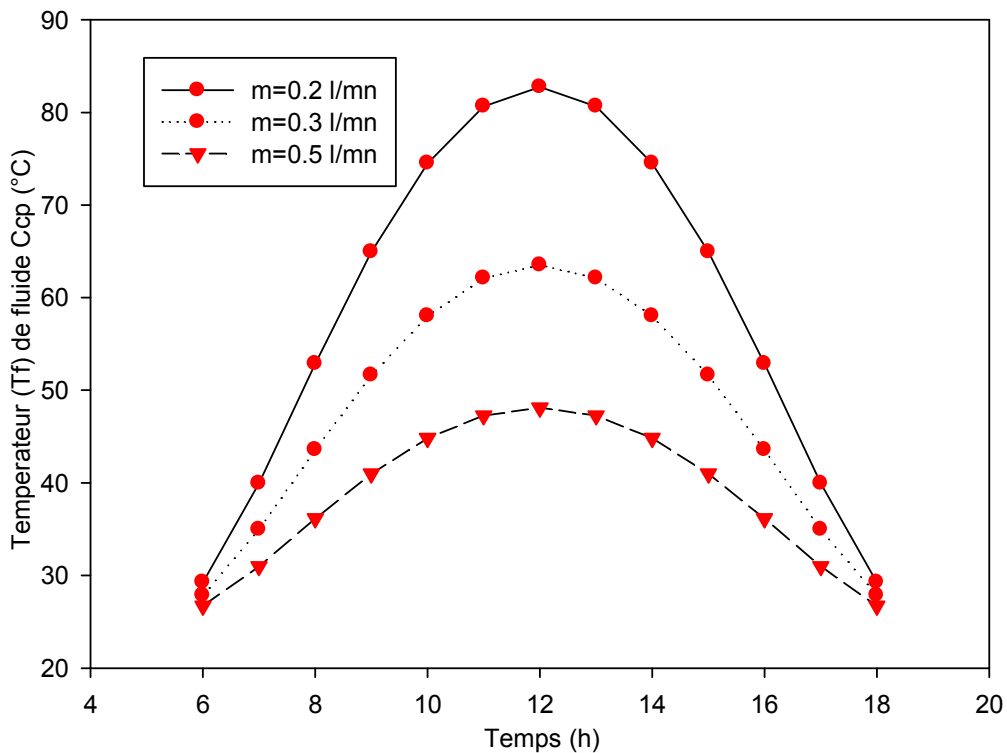


Fig.43.Variation temporelle de la température du fluide Ccp sous l'effet du débit

Le diagramme fig.43, montre la variation temporelle de la température de l'eau sous l'influence de l'épaisseur du film d'eau  $m$ .

On remarque, de 6h à 8h les diagrammes de la température prennent des valeurs faibles à cause de faibles rayonnements solaires. Il apparaît un faible décalage entre les diagrammes à cause de la variation de l'épaisseur du film d'eau  $m$ .

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Quand  $m=0,21/mn$ , la température de l'eau à l'intérieure de l'absorbeur est plus élevée par rapport aux autres valeurs.

De 8h à 15h la température du système augmente suivant l'intensité de rayonnement solaire qui augmente suivant la position du soleil dans le ciel. Il apparait un décalage élevé entre les diagrammes suivant l'épaisseur du film d'eau  $m$ . quand  $m=0,11/mn$  la température augmente à des valeurs intéressantes et l'inverse. Si  $m= 0,41/mn$ , la température a des valeurs faible par rapport les valeurs précédentes.

Cette différence entre les diagrammes est due au changement thermique entre la température de l'eau d'alimentation et la température à l'intérieure du distillateur.

De 15h à 18h la différence entre les diagrammes est devient plus faible car la puissance thermique du distillateur est diminuée à cause de l'intensité faible de rayonnement solaire.

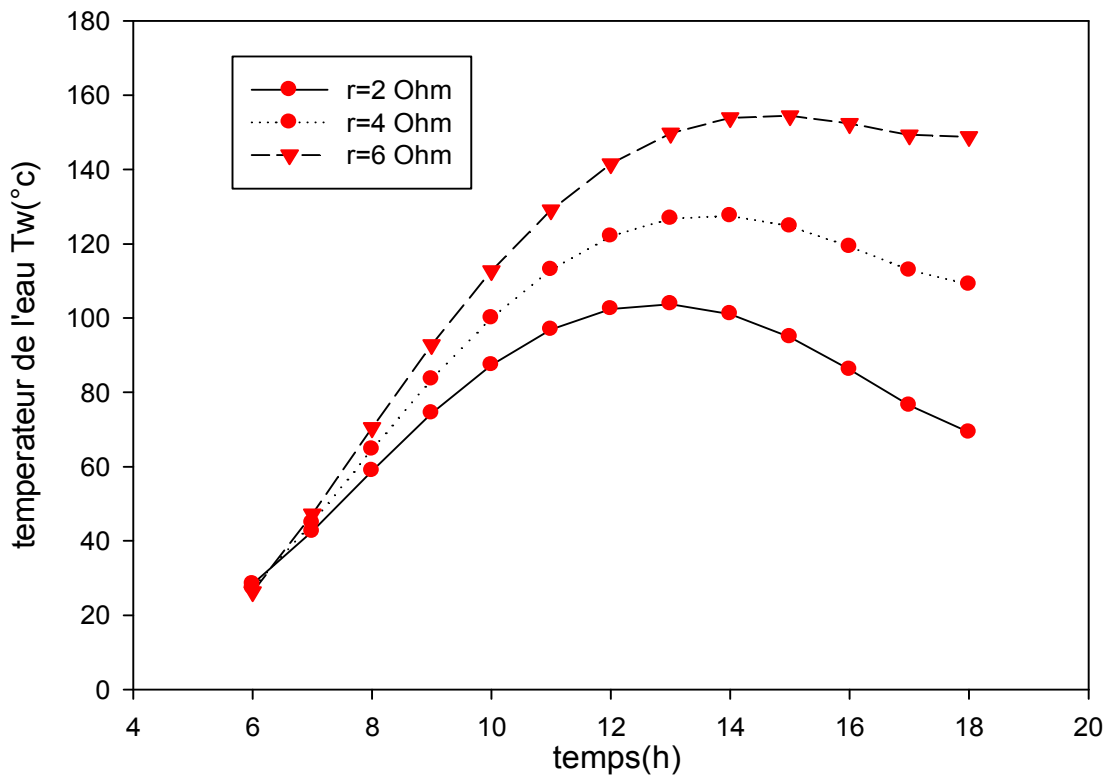


Fig.44.l'effet de la résistance électrique sur la tempertaur de l'eau  $T_w$



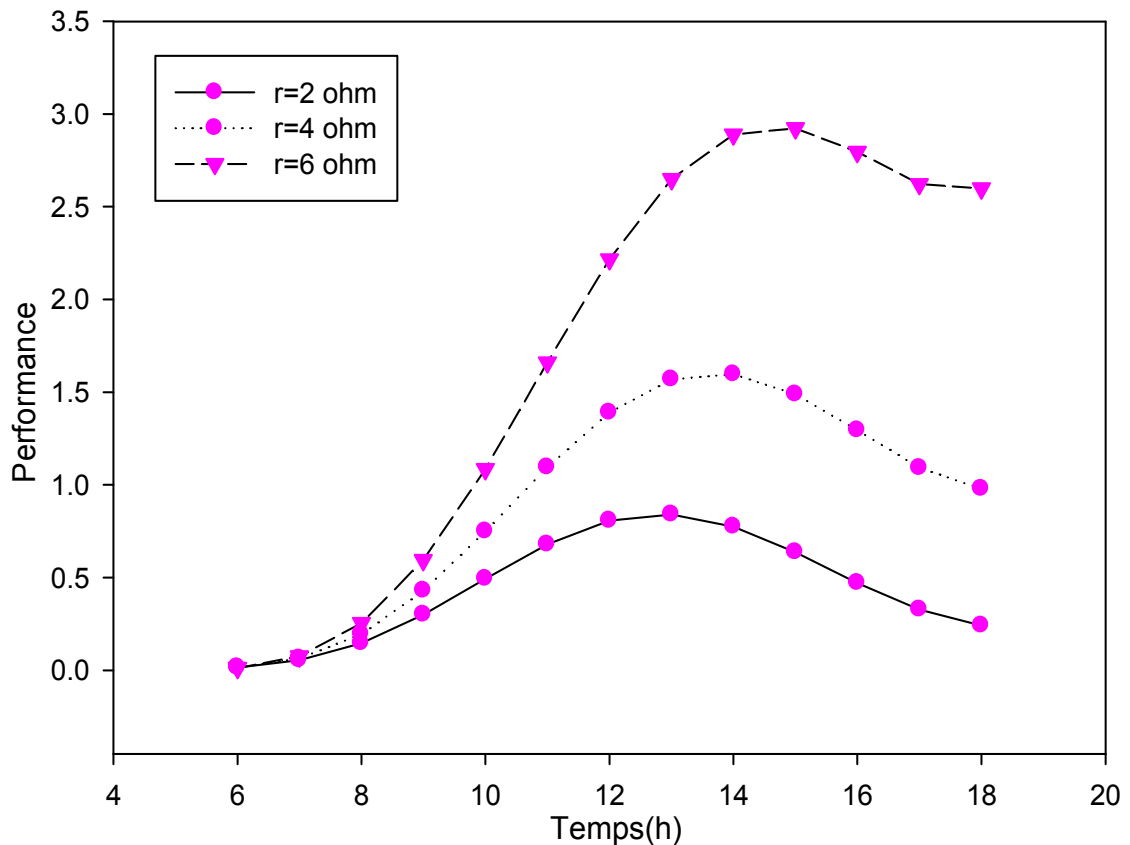


Fig.45. L'effet de la résistance électrique sur la performance du distillateur

Le diagramme fig. 44, 45,48, montre la température d'eau, la performance et l'efficacité globale en fonction du temps sous l'influence de la résistance électrique.

De 6h à 8h, il apparait un décalage entre les diagrammes à cause de la température du système qui augmente suivant les valeurs de la résistance.

De 8h à 16h les diagrammes sont plus élevés, à cause de la température produit par la résistance électrique ainsi que le décalage entre ces diagrammes.

Quand  $r=6$  ohm la température du système augmente à des valeurs très élevée et le décalage entre les autres diagrammes accroît d'une façon remarquable.

De 16h à 18h la différence entre les diagrammes est devient plus grande, car la puissance thermique du distillateur est plus élevée à cause de la température engendrée par la résistance électrique.

Les diagrammes de la température d'eau, la performance et l'efficacité globale sont diminués faiblement à 18h en raison du système de stockage électrique et l'isolation thermique qui plonge le temps de distillation.

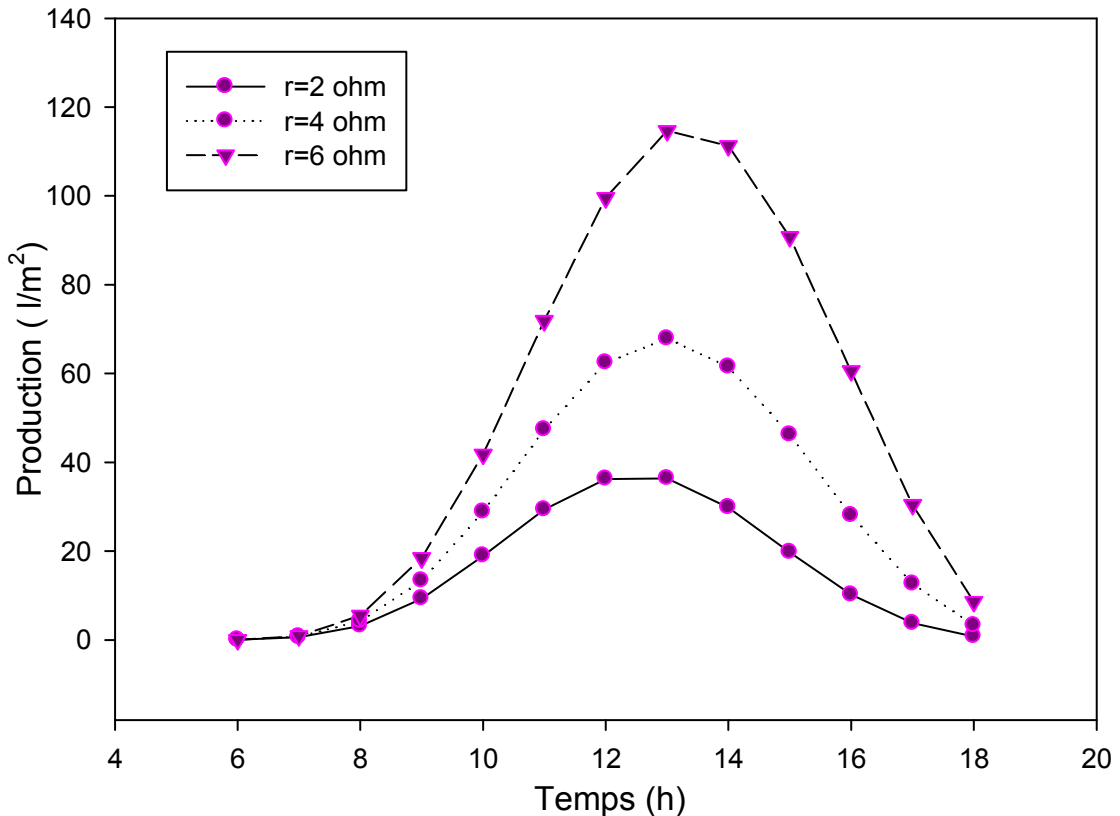


Fig.46.l'effet de la résistance électrique sur la production du distillateur

Le diagramme fig.46, montre la variation de la production en fonction du temps sous l'influence de la résistance électrique  $r$ . On remarque trois parties, la première de 6h à 10h, la deuxième de 10h à 16h et la troisième de 16h à 18h.

De 6h à 8h les diagrammes sont identiques à cause des faibles valeurs de la température et l'insuffisance des rayonnements solaires.

De 10h à 16h la température du système augmente par l'effet de l'intensité de rayonnement solaire qui augmente suivant la position du soleil dans le ciel. Il apparait un décalage faible entre les diagrammes suivant l'épaisseur du film d'eau  $m$ . quand  $r=6$  ohm, la production augmente à des valeurs intéressantes et l'inverse. Si  $m= 2$  ohm, la production prend des valeurs faible par rapport les valeurs précédentes.

Le décalage entre les diagrammes est due à la température produit par la résistance à l'intérieure du distillateur.

De 16h à 18h la différence entre les diagrammes est devient plus faible, car la puissance thermique du distillateur est plus faible à cause de l'intensité faible de rayonnement solaire au soir.

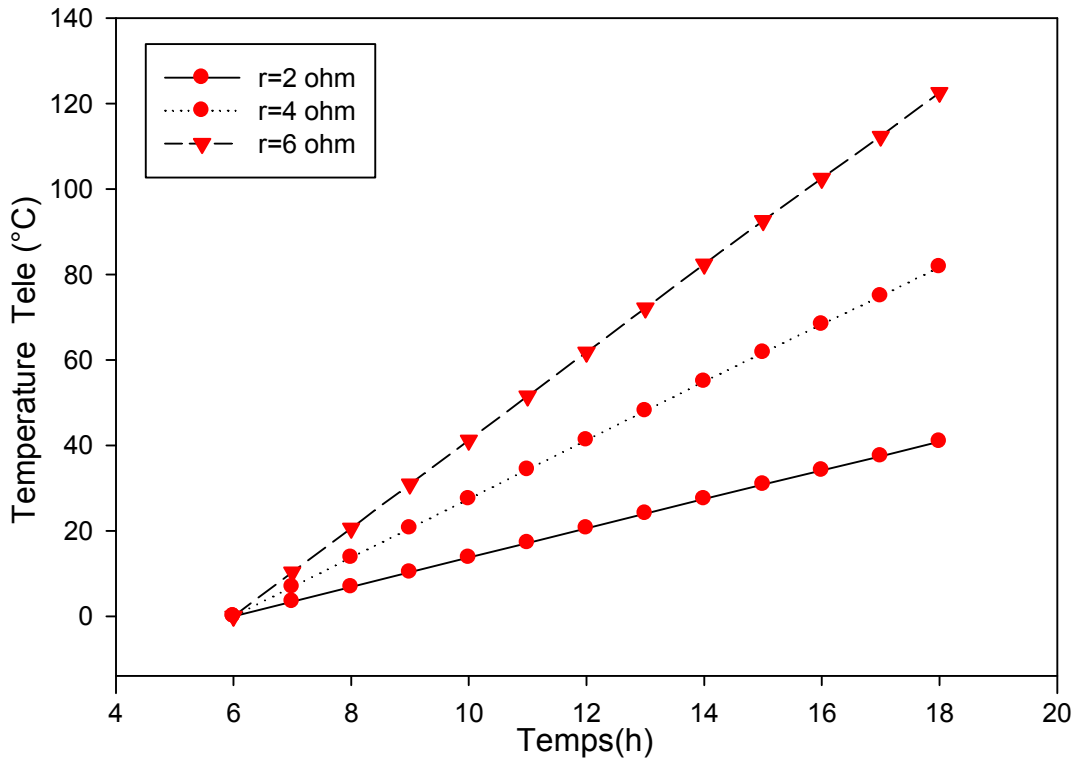


Fig.47. L'effet de la résistance électrique sur la température engendrée par le générateur PV

Le diagramme fig47, montre la variation de la température engendrée par le système photovoltaïque en fonction du temps sous l'influence de la résistance électrique.

De 6h à 18h, il apparaît un décalage entre les diagrammes qui sont affectés par de la résistance électrique. La température produit par la résistance augmente et atteint le maximum à 18h grâce au système de stockage via des batteries électriques et le stockage thermique à travers l'isolation.

On observe que l'augmentation de la résistance augmente la température produit par le système photovoltaïque à des valeurs intéressantes.

La température élevée accélérée l'évaporation de l'eau et la production du distillateur, elle offre un autre avantage, c'est le stockage thermique à une durée considérable.

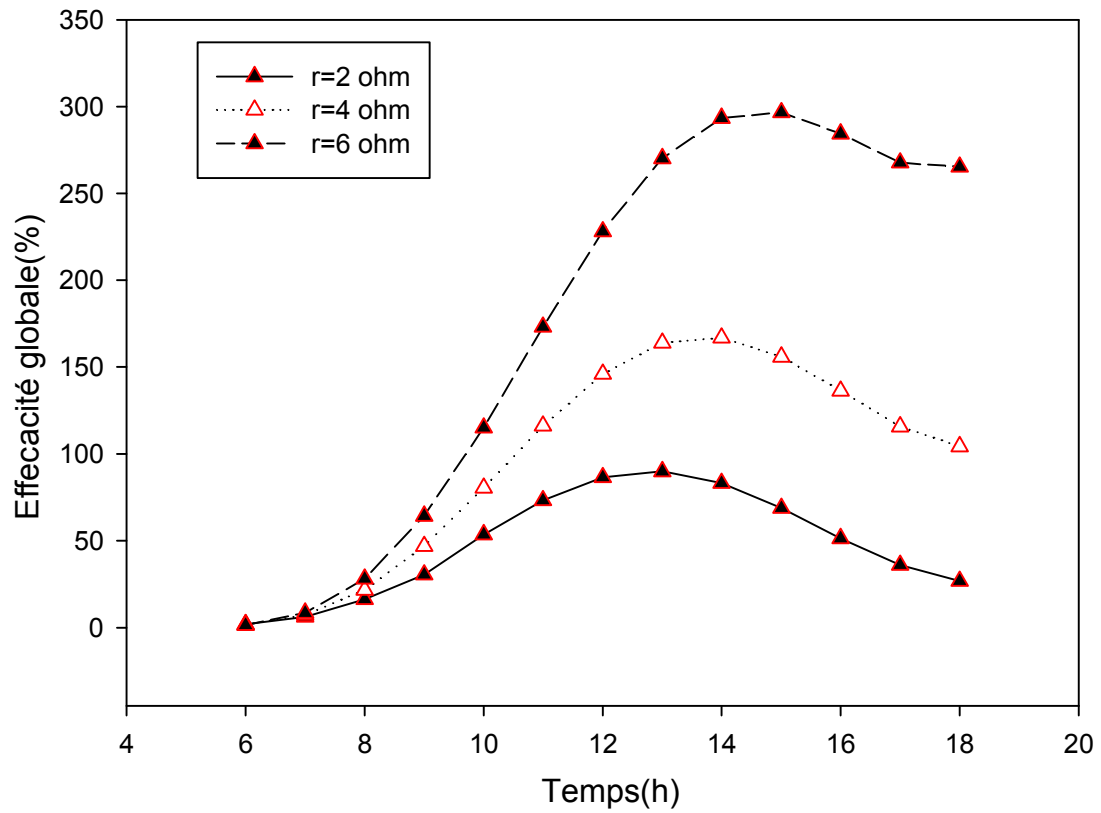


Fig.48.l'effet de la résistance électrique sur l'effécacité globale du disitillateur

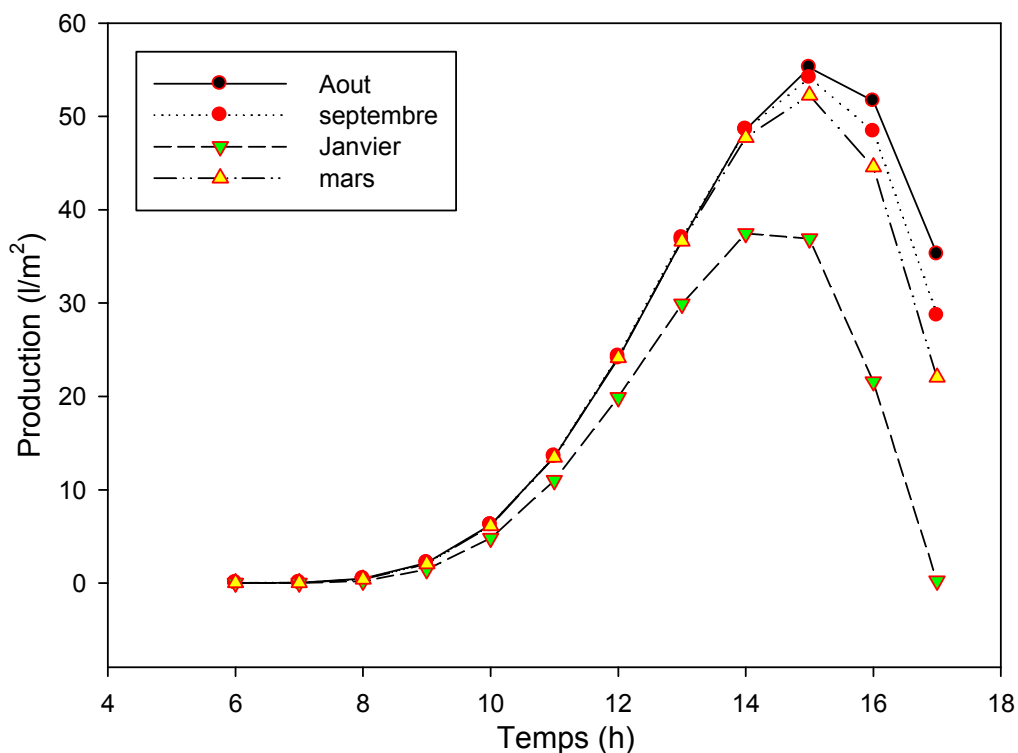


Fig.49.Variation de production dans les mois de l'année

Les diagrammes figs 49, 51, montrent la variation de production et la température de l'eau en fonction du temps dans différent mois de l'année. On remarque trois parties, la première de 6h à 10h, la deuxième de 10h à 16h et la troisième de 16h à 18h.

De 6h à 8h les diagrammes sont identiques à cause des faibles valeurs de la température et l'insuffisance des rayonnements solaires dans le matin.

De 8h à 10h la température du système augmente suivant l'intensité de rayonnement solaire qui augmente suivant la position du soleil dans le ciel. Il apparait un décalage faible entre les diagrammes. Le diagramme du mois Aout est plus élevé que les autres en raison de la température saisonnière (l'été).

De 10h à 16h la différence entre les diagrammes est devient plus grande, car la puissance thermique du distillateur est plus élevée à cause de l'intensité forte de rayonnement solaire. Le diagramme du mois Janvier est plus faible que les autres en raison de la température saisonnière (l'hiver).

De 16h à 18h les diagrammes sont diminués en raison de faible rayonnement solaire au soir jusqu' à 18h sont semblables.

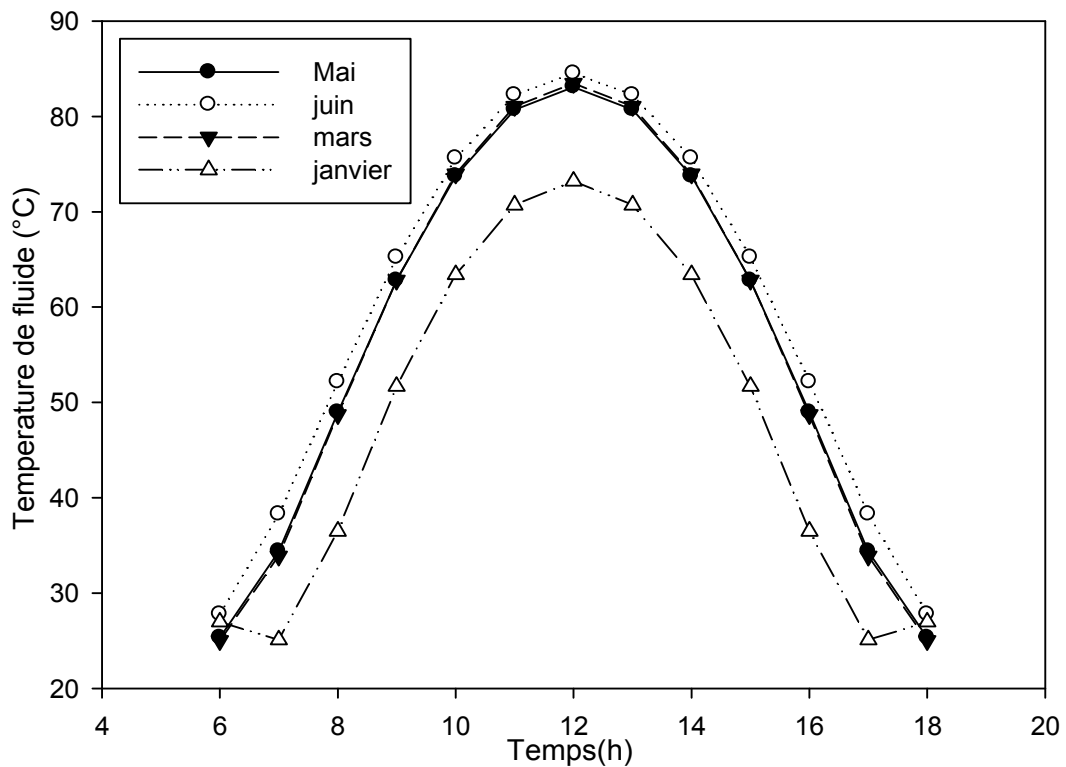


Fig.50. Variation temporelle de la température Tf durant les mois de l'année

Le diagramme fig 50, montre la variation de la température de l'eau dans l'absorbeur du concentrateur cylindro parabolique en fonction du temps dans différent mois de l'année.

On remarque, de 6h à 8h les diagrammes sont identiques à cause des faibles valeurs de la température et l'insuffisance des rayonnements solaires. Le diagramme du mois de Juin est plus élevé que les autres en raison de la température saisonnière (l'été).

De 8h à 16h la température du système augmente suivant l'intensité de rayonnement solaire qui augmente suivant la position du soleil dans le ciel. Il apparait un décalage élevé entre le diagramme de mois de Janvier et les autres diagrammes.

Les diagrammes des mois Juin, Mai, Mars, sont identiques, donc le fonctionnement du concentrateur cylindro parabolique est efficace. Le diagramme du mois Janvier est plus faible que les autres en raison de la température saisonnière (l'hiver).

De 16h à 18h les diagrammes sont diminués et garde le décalage entre les diagrammes en raison de faible rayonnement solaire au soir.

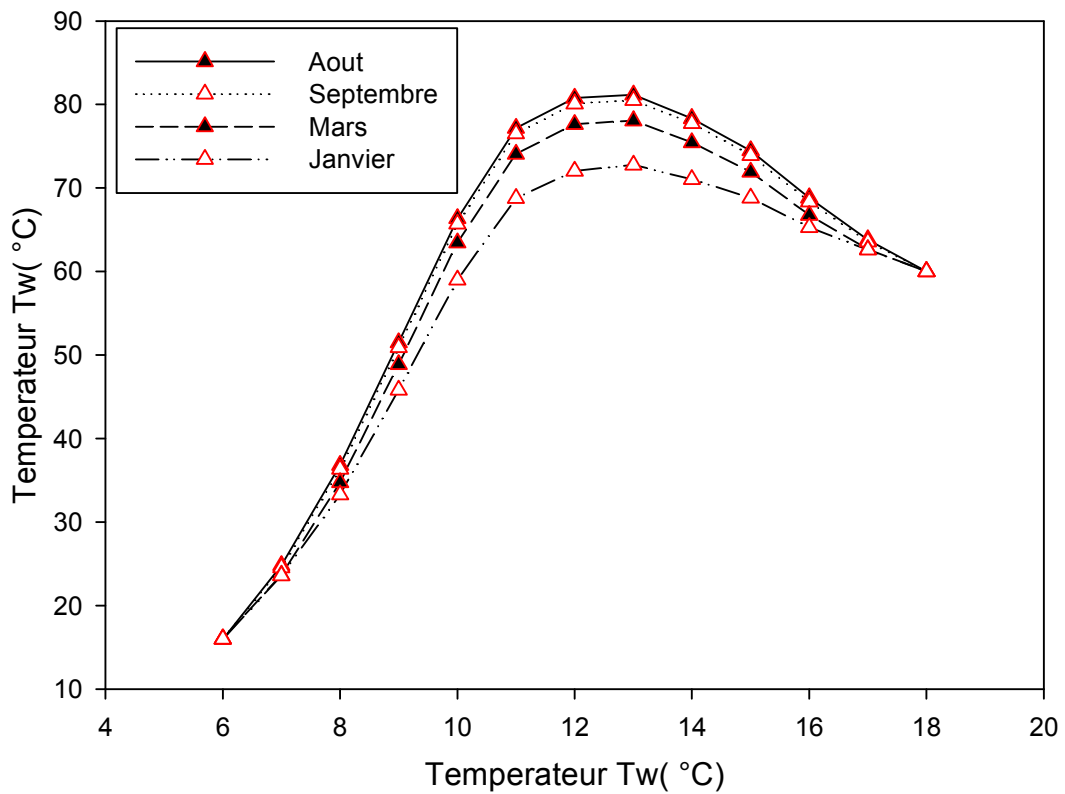


Fig.51. Variation temporelle de Tw durant les mois de l'année

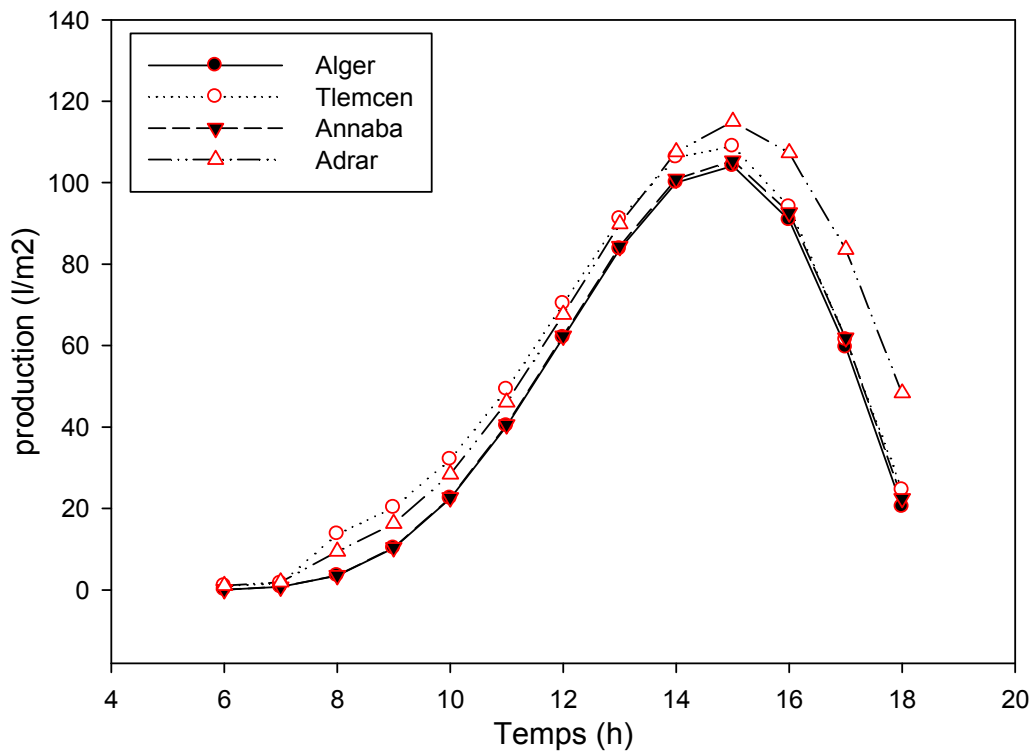


Fig.52. Variation temporelle de la production dans différentes regions

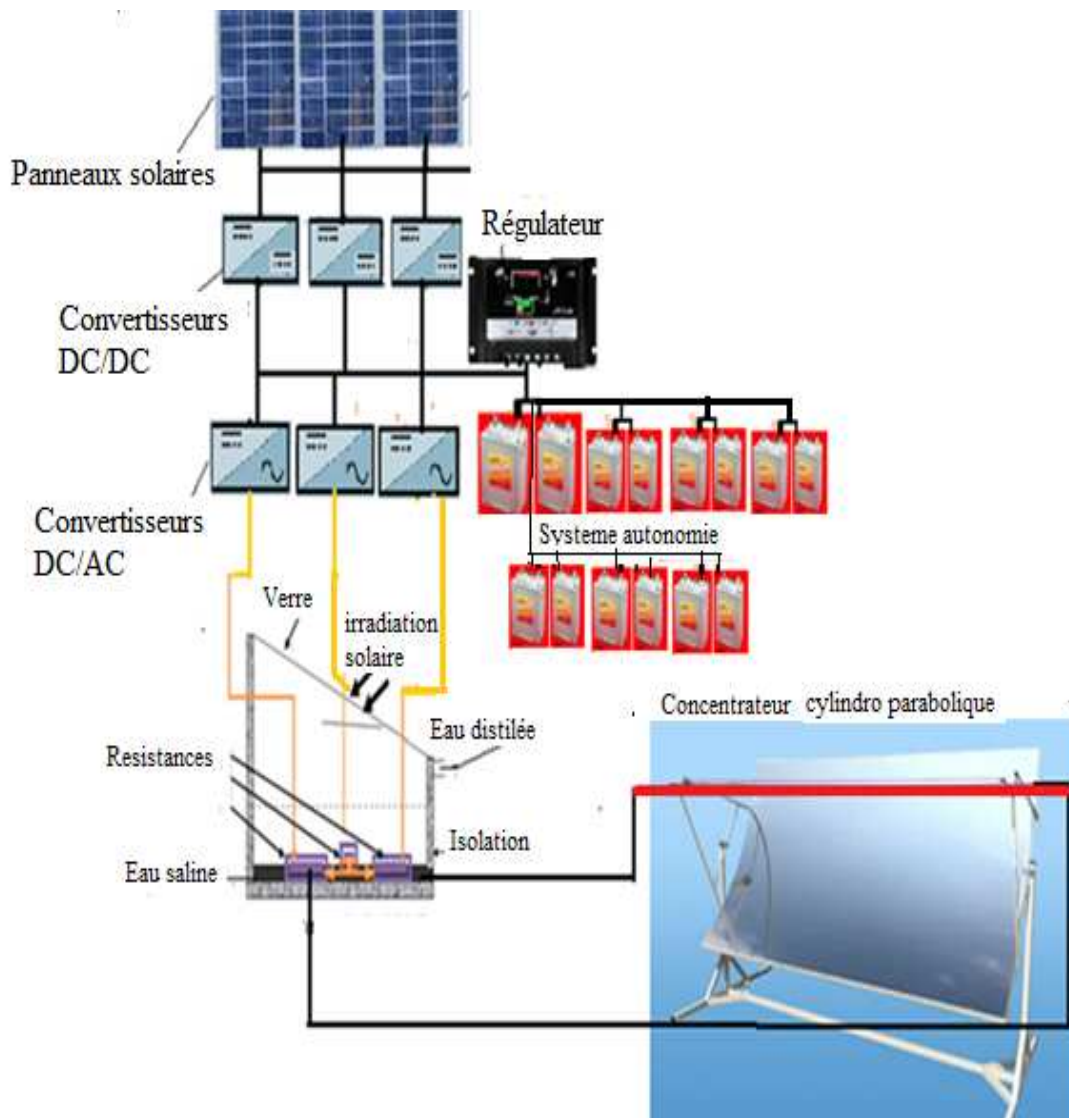
## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

---

La figure. 52. Montre la variation temporelle de la production dans différentes régions, la production de la région Adrar est supérieure à celle des régions de Tlemcen, Annaba et Alger, en raison des caractéristiques climatiques.



### V.6.3. Distillateur hybride couplé avec un concentrateur cylindro parabolique et un générateur autonome :



Distillateur hybride avec un Ccp et générateur autonome

La Fig.53. Montre la variation temporelle de la chaleur latente qui prend la valeur minimale à 18h et augmente à une valeur maximale à 24h, en outre la température du distillateur décroît, à cause de la baisse de la température extérieure et l'absence des rayons solaires, de plus l'influence négative de la température de l'eau d'alimentation.

Les Figures (54, 55). Montrent la variation temporelle des paramètres suivants : le nombre de batteries et le nombre de panneaux en fonction du temps de la distillation de 18h à 24h qui prennent des valeurs faibles à 18h et croissent jusqu'à 24, grâce à l'énergie électrique stockée.

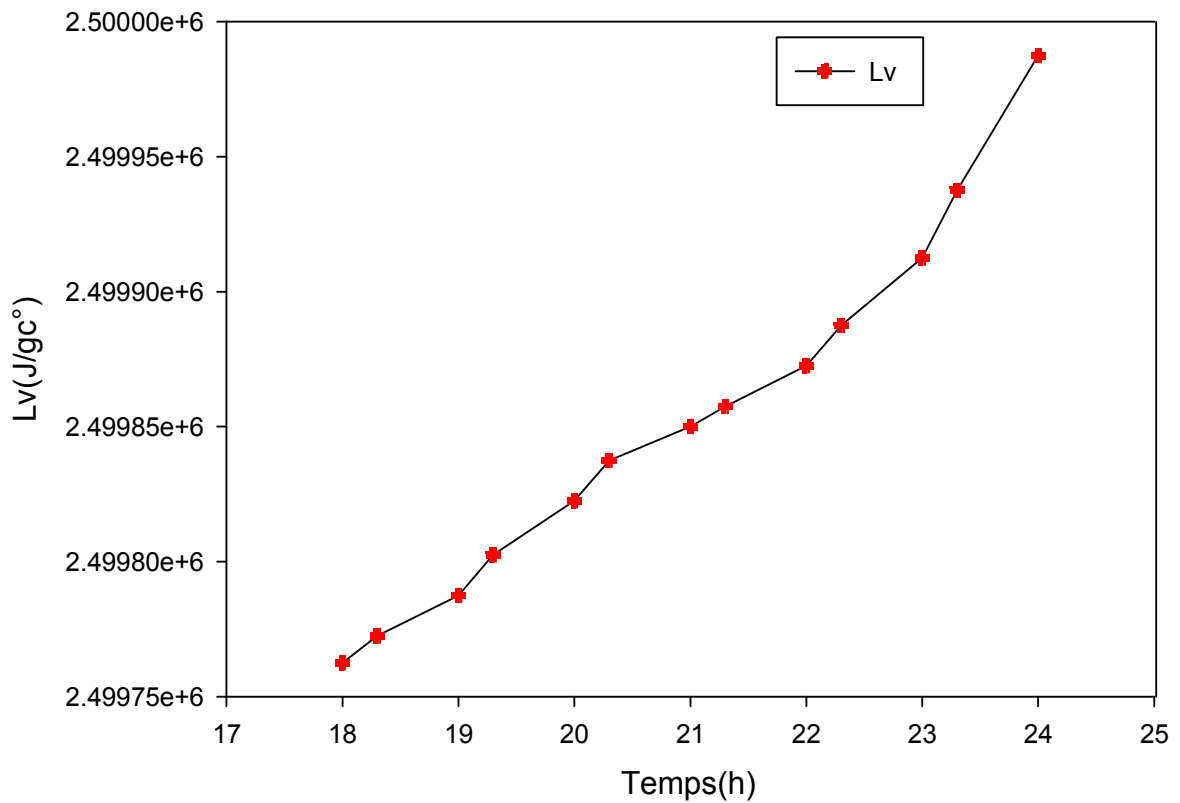


Fig.53 . Variation temporelle de chaleur l'atente d'eau

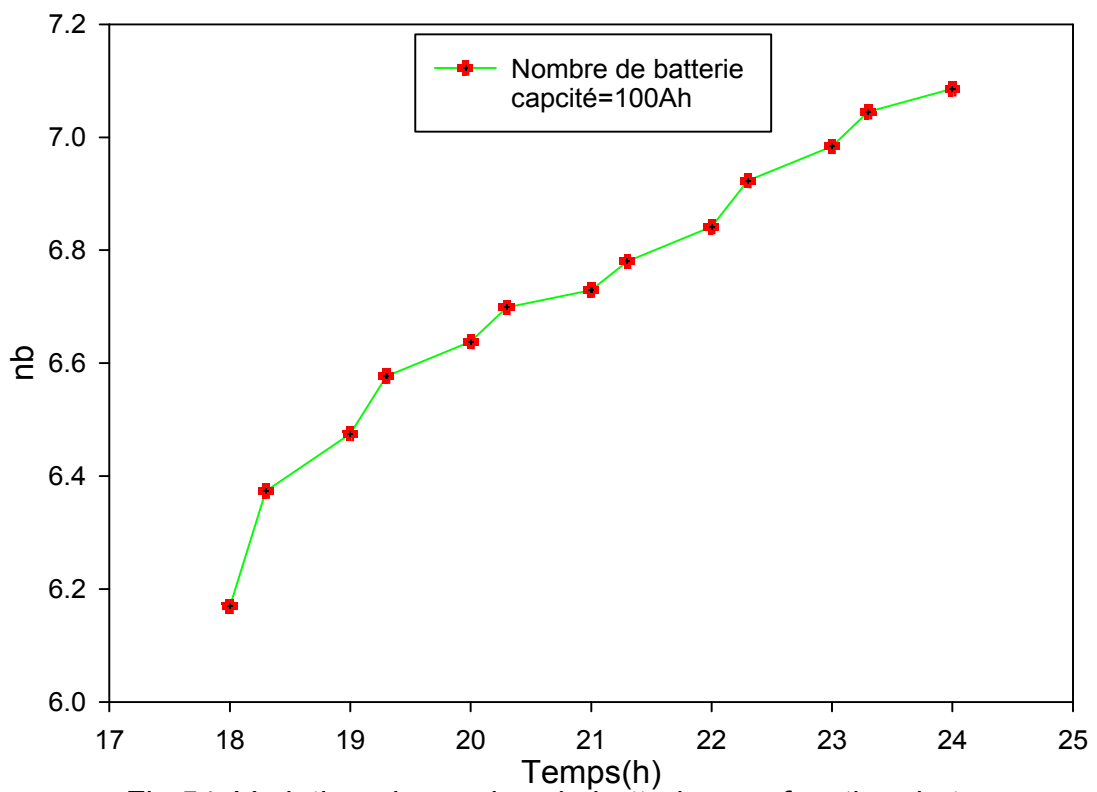


Fig.54. Variation du nombre de batteries en fonction du temps de distillation

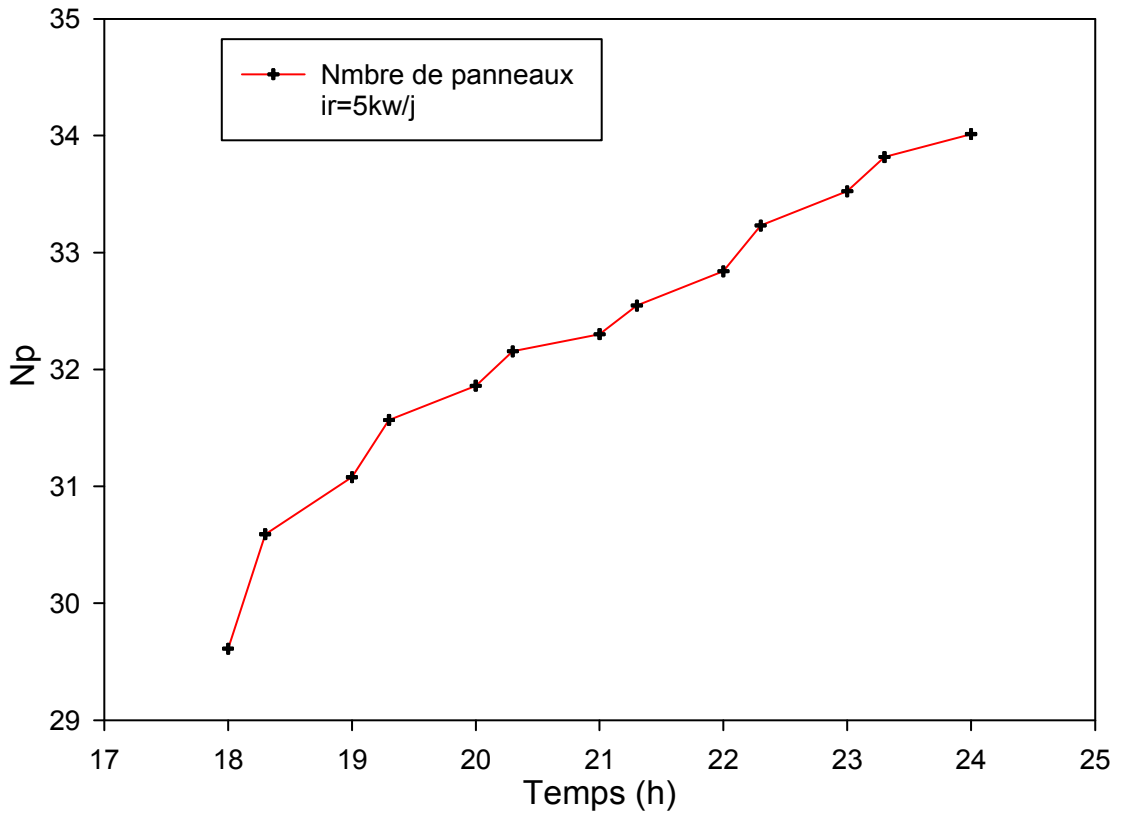


Fig.55. Variation du nombre de panneaux en fonction du temps de distillation

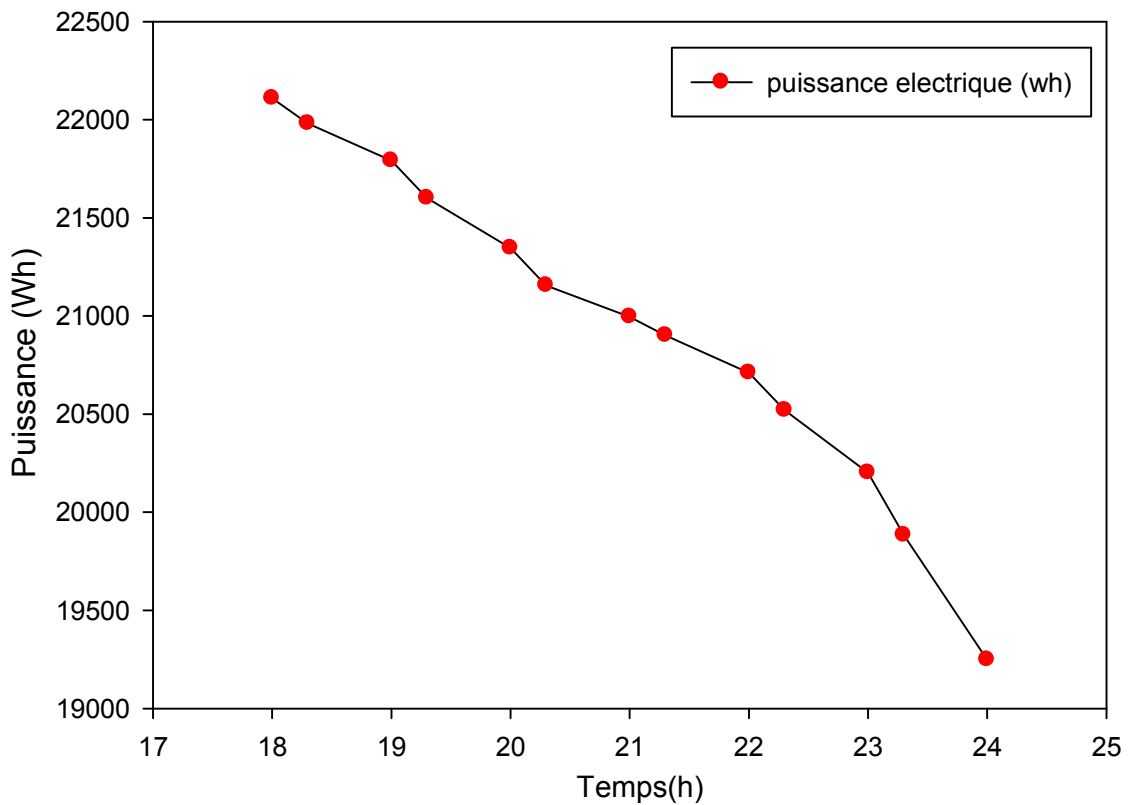


Fig.56. Variation temporelle de la puissance électrique

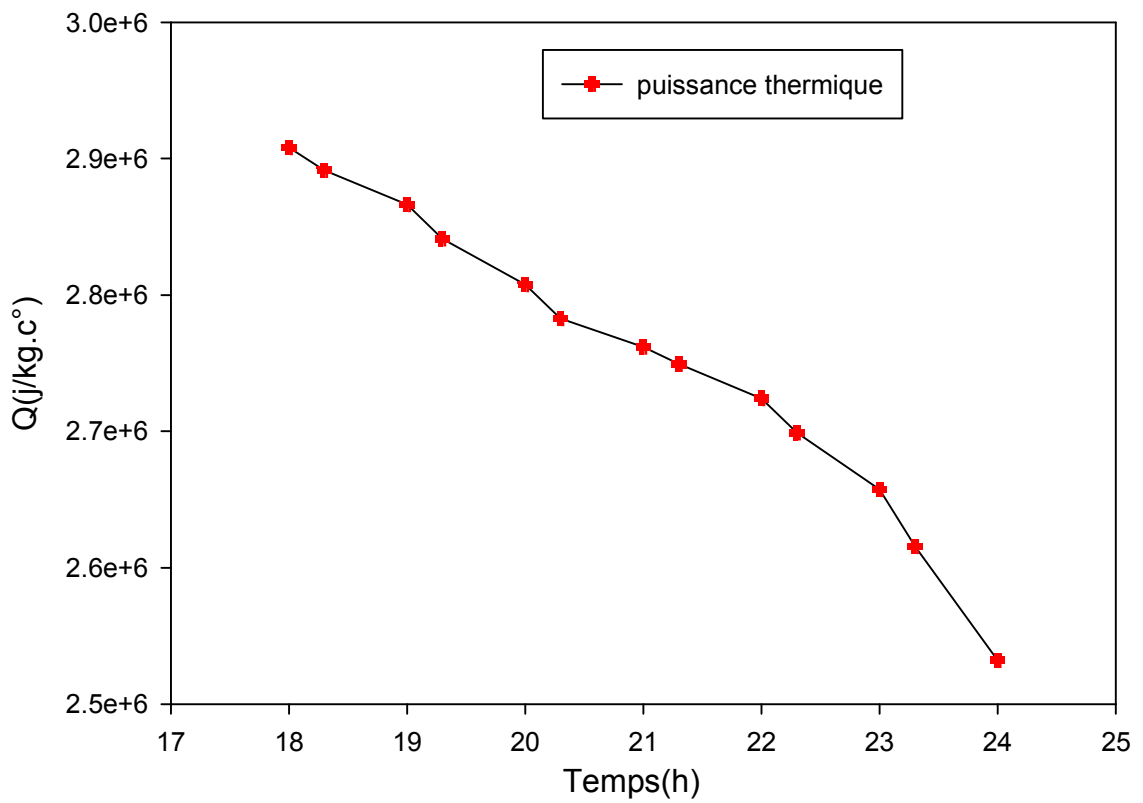


Fig.57. Variation temporelle de la puissance thermique

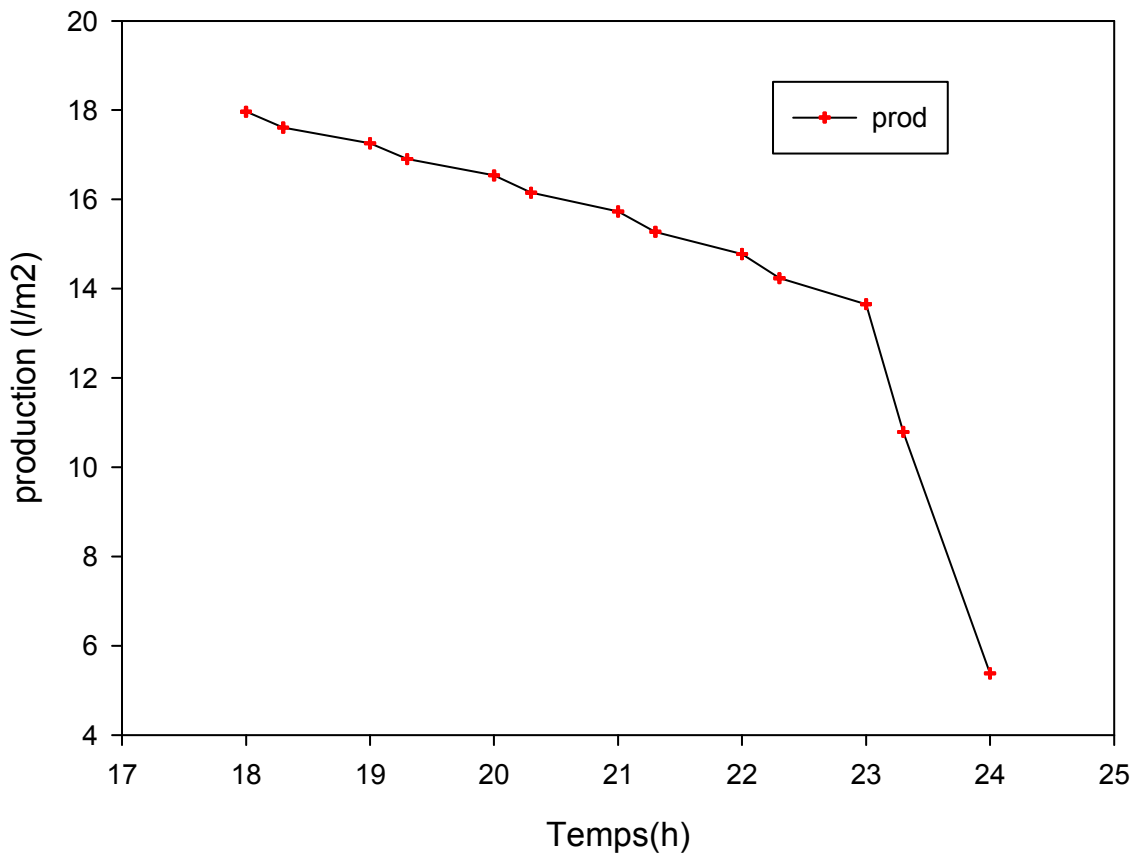


Fig.58. Variation temporelle de la production du distillateur hybride autonome

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les Figures. 56, 57. Montre la variation temporelle de la puissance thermique et la puissance électrique en fonction de temps qui prend des valeurs maximales à 18h et des faibles valeurs à 24h, en raison de l'abaissement de la température du système et l'influence négative de la température extérieure pendant l'absence des rayons solaires.

La Fig.58. Montre la variation temporelle de la production qui continue de 18h à 24h et prend des valeurs moyennes, grâce à l'autonomie du système de stockage énergétique avec une possibilité de poursuite la production jusqu'à 6h du matin. C'est-à-dire la possibilité de la production 24h /24h, en conséquence, le dimensionnement du système photovoltaïque et le coût d'installation augmentent.

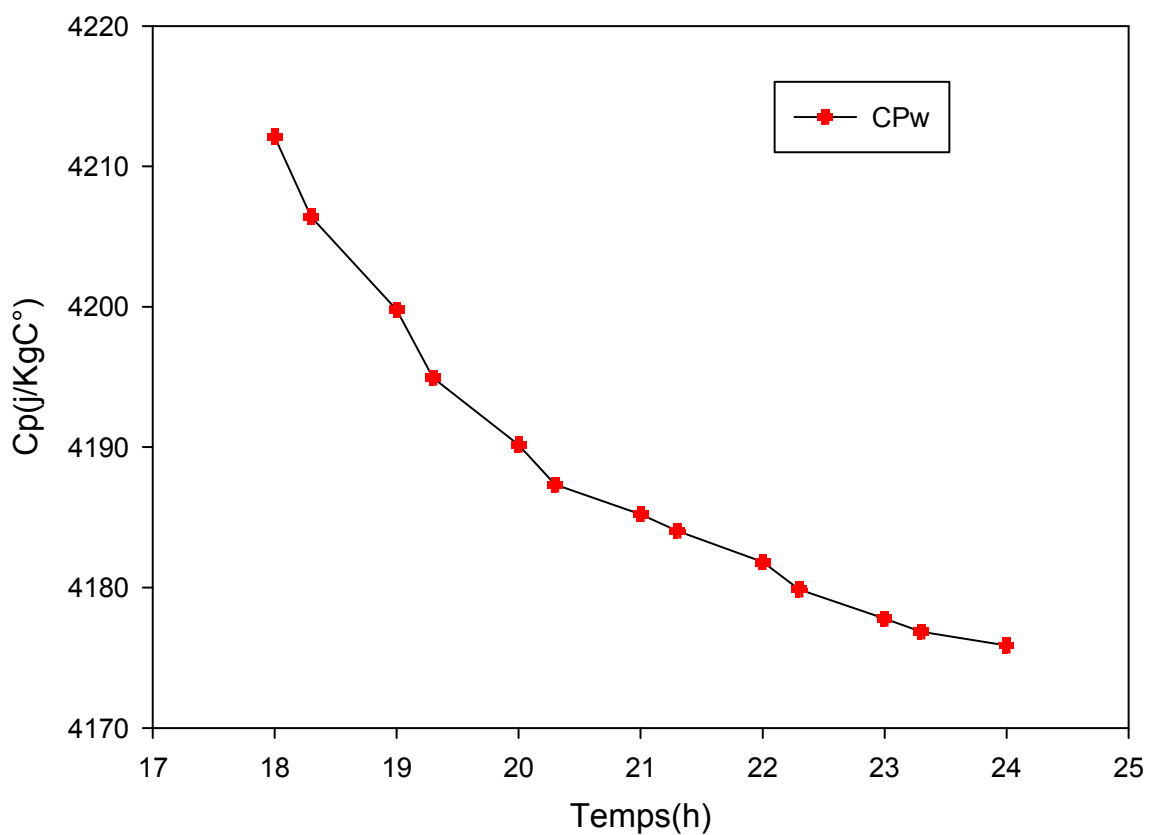


Fig.59. Variation temporelle de la chaleur spécifique de l'eau

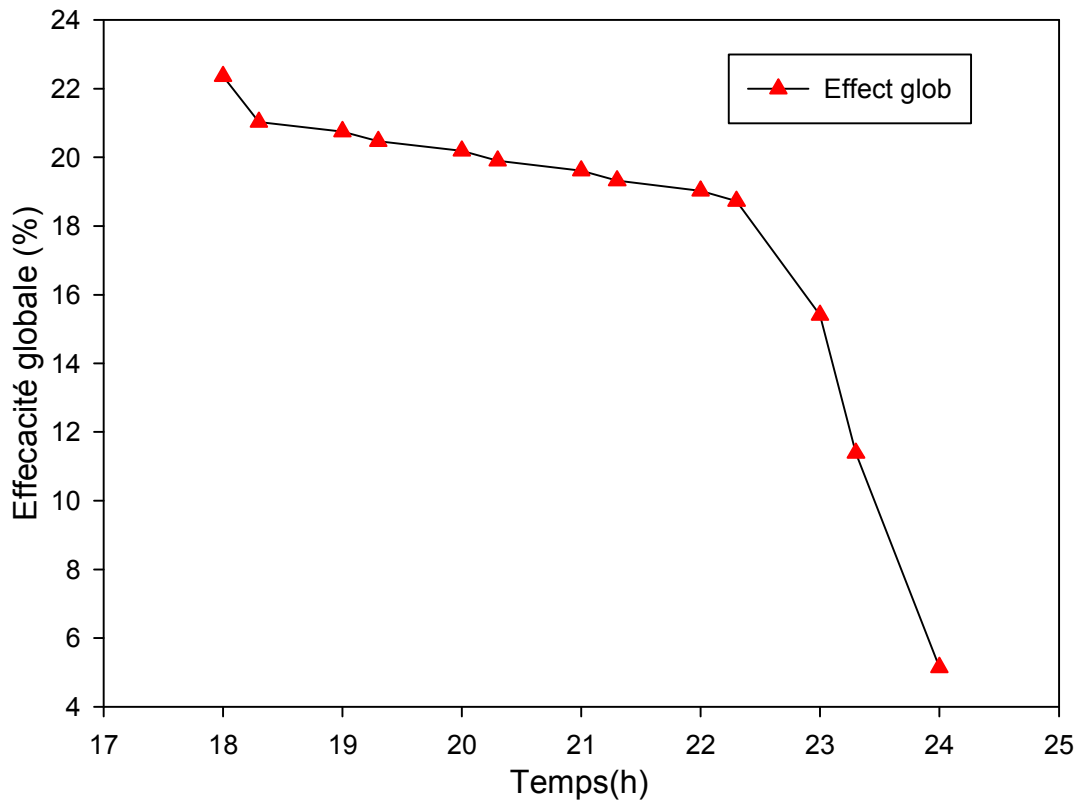


Fig.60. Variation temporelle de l'efficacité globale

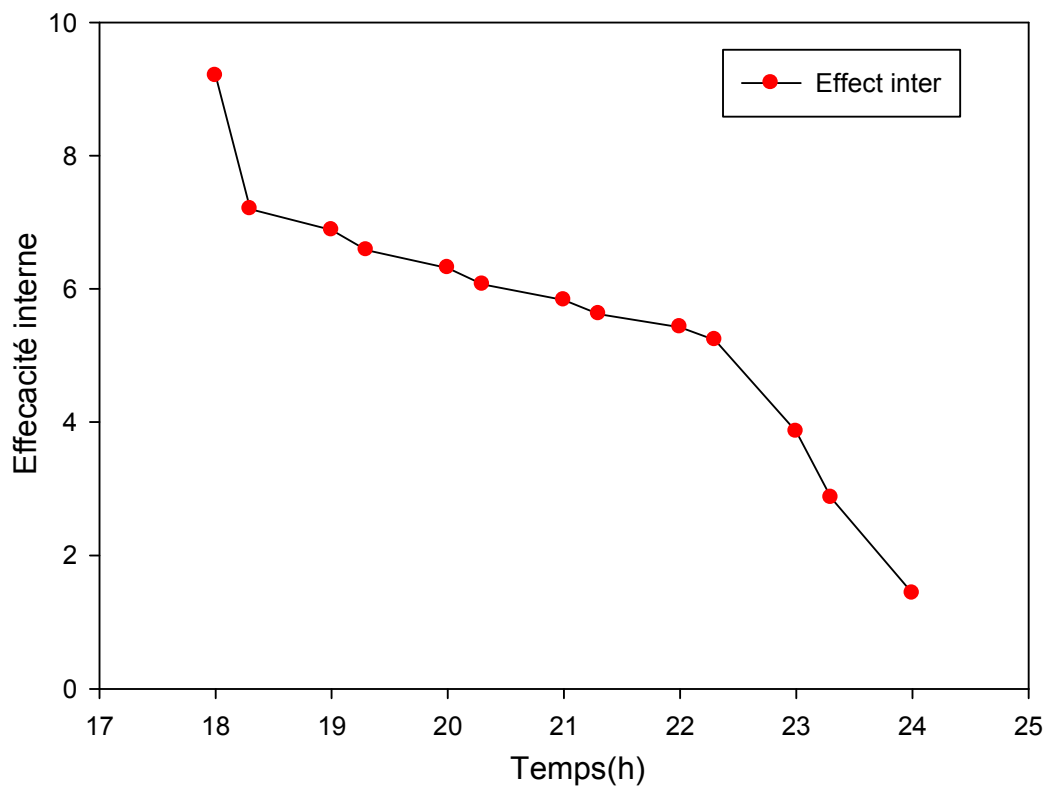


Fig.61. Variation temporelle de l'efficacité interne

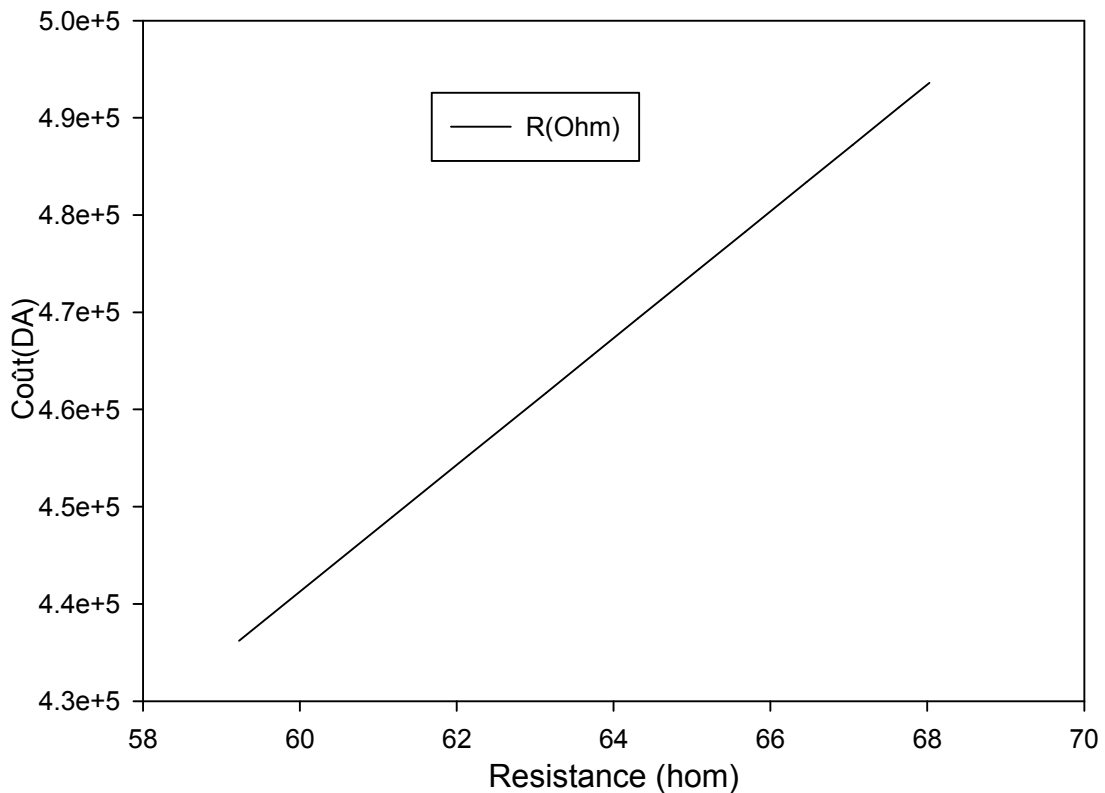


Fig.62. Effet de la résistance électrique sur le coût d'installation

Les figures. (60.61). Montre la variation temporelle de l'efficacité globale et l'efficacité interne qui prend des valeurs maximales à 18h, puis diminue à des valeurs minimales à 24h, suivant la variation de la température du système.

La figure.62. Montre la variation du coût d'installation en fonction de la résistance électrique, l'augmentation de la résistance provoque l'augmentation du coût du système autonome.

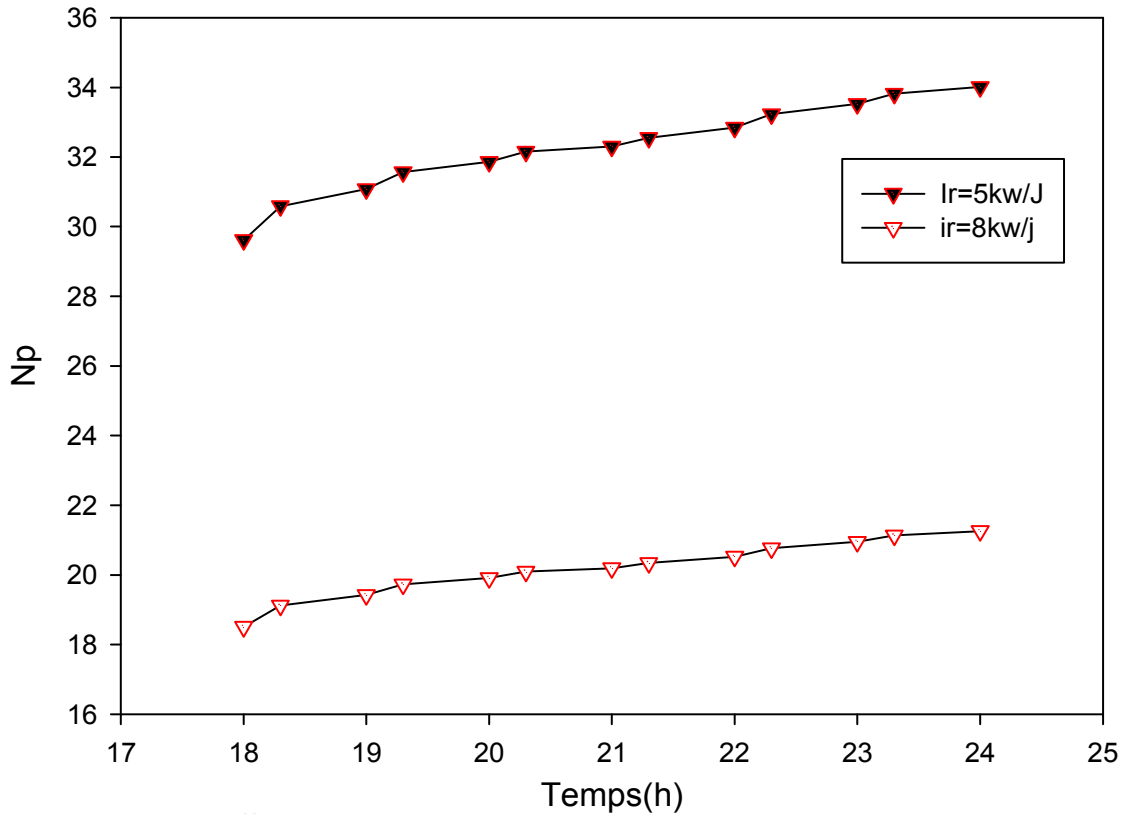


Fig.63. Effet d'irradiation solaire sur le nombre de panneau solaire en fonction du temps de distillation

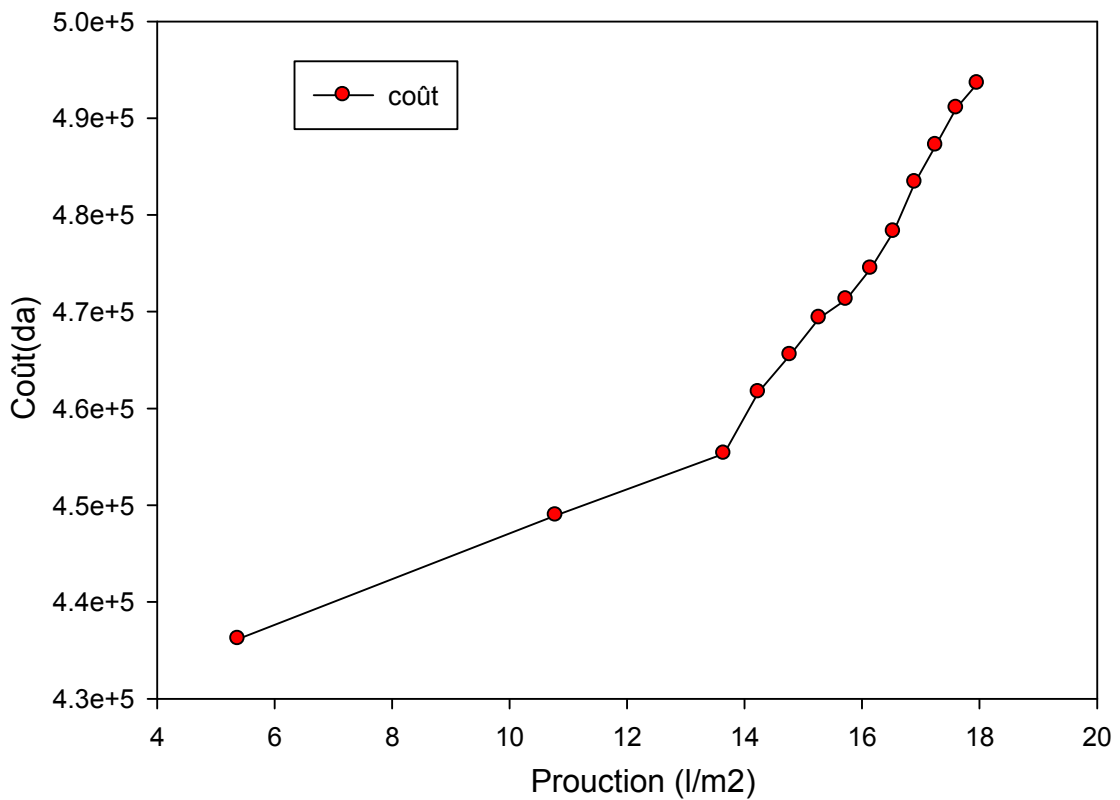


Fig.64.Variation du coût en fonction de la production



## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

La Fig. (63, 67,68). Montrent l'effet d'irradiation pendant la journée sur le nombre de panneaux solaires et le nombre de batteries, qui augmentent quand  $I_r = 5 \text{kw/j}$  et décroissent quand  $I_r = 8 \text{kw/j}$ , donc l'irradiation solaire provoque un effet inversement proportionnelle avec le dimensionnement photovoltaïque.

La Fig.64. Montre la variation du coût de 18h à 24h qui augmente avec l'augmentation de la production sous l'effet de l'absence des rayons solaires et l'abaissement de la température extérieure.

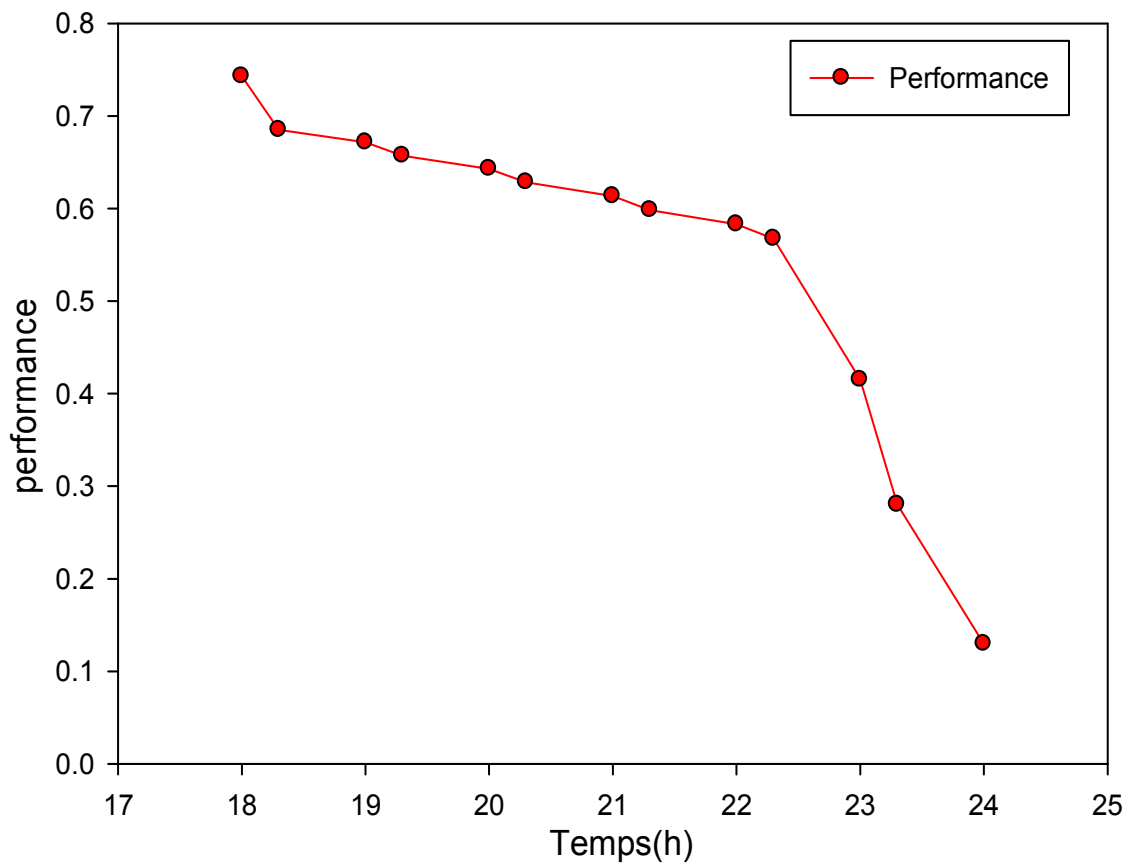


Fig.65.Variation temporelle de la performance

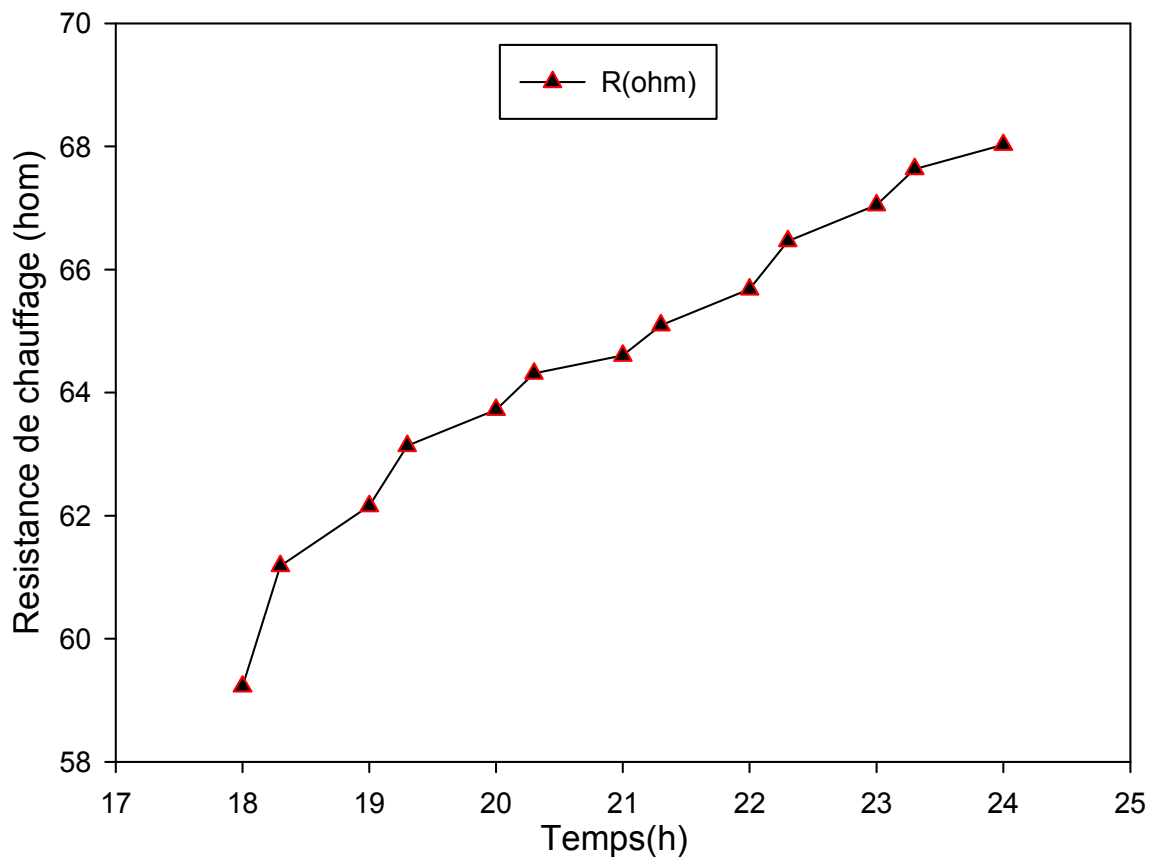


Fig.66. . Variation temporelle de la resistance électrique

La Fig.66. Montre la variation de la résistance électrique en fonction du temps de 18h à 24h qui augmente inversement avec la température du système, à cause de l'absence des sources thermiques solaires et l'influence de la température extérieure qui diminue de 18h à 24h.

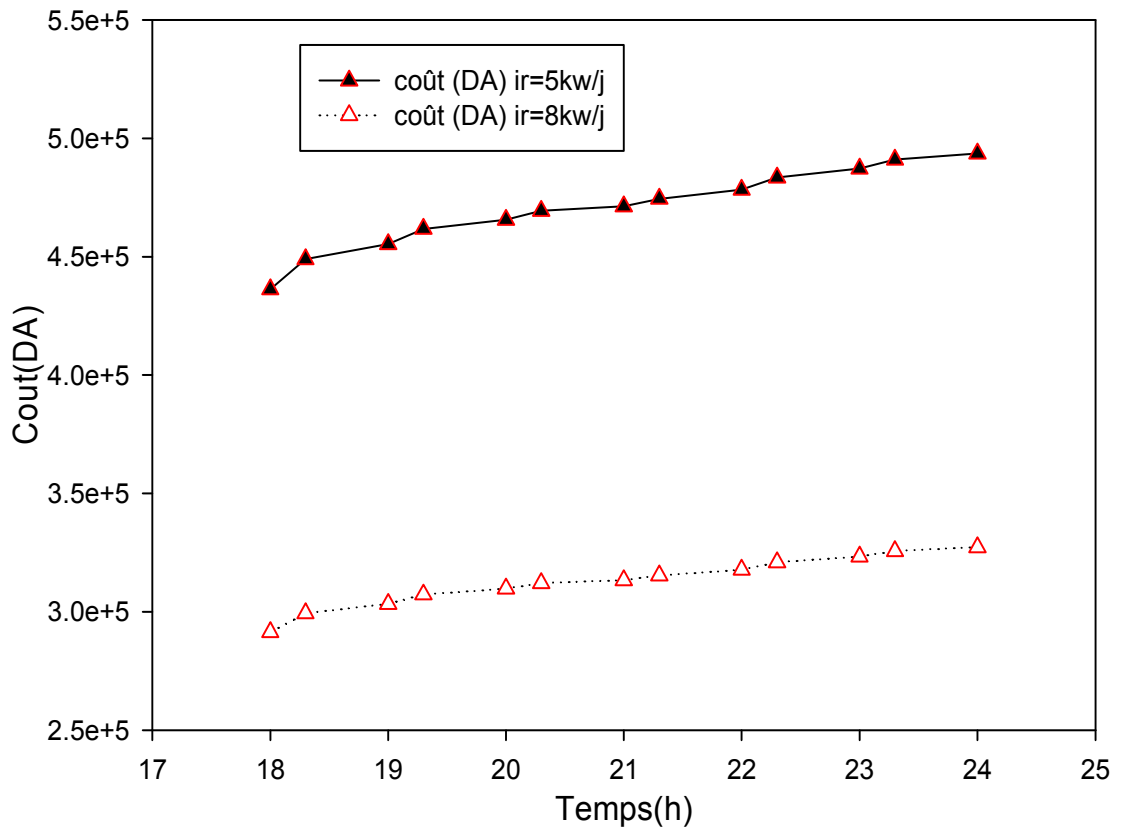


Fig.67. Effet de l'irradiation sur le coût d'installation

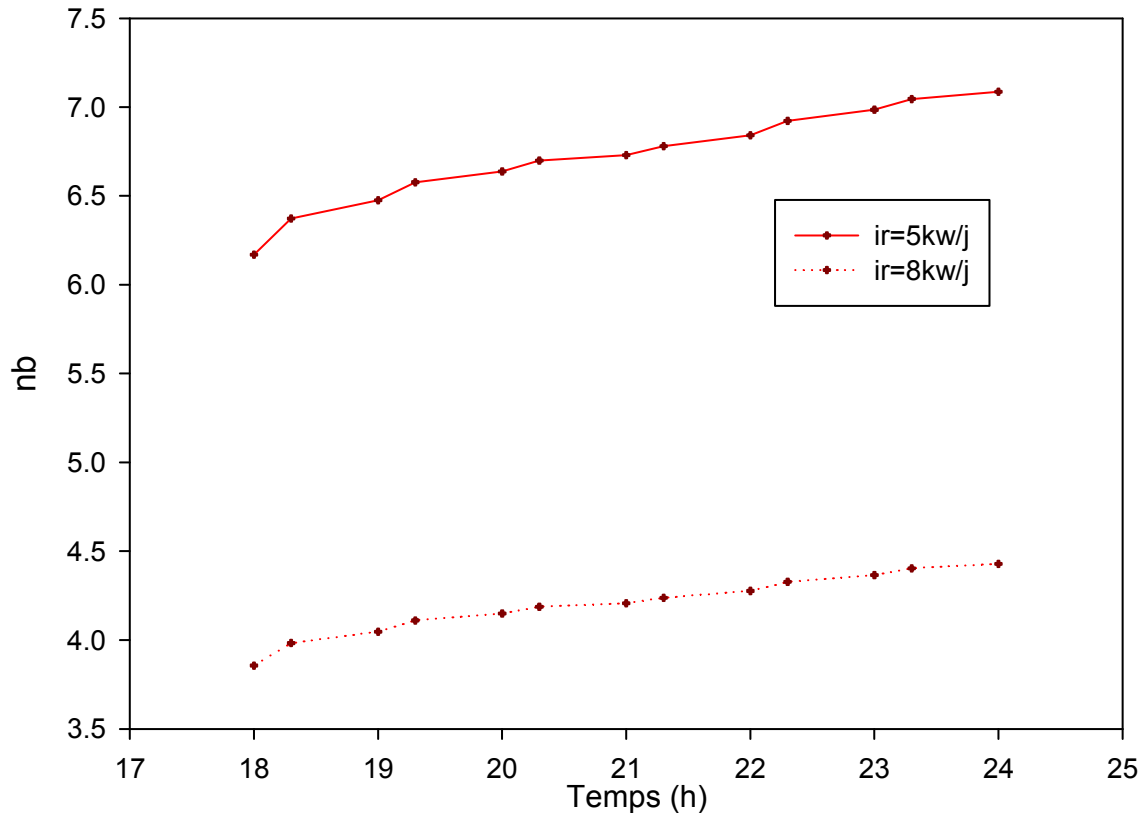


Fig.68. Effet d'irradiation solaire sur le nombre de batterie en fonction du temps de distillation

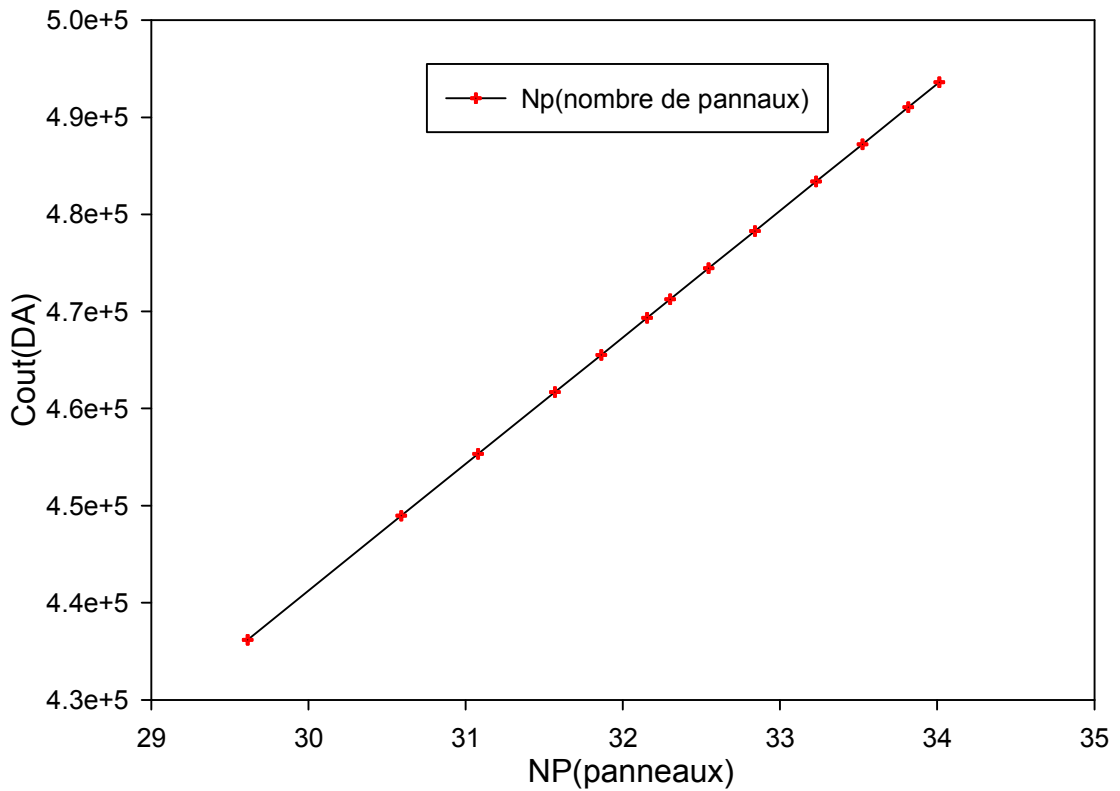


Fig.69. Variation du coût en fonction du nombre de panneaux

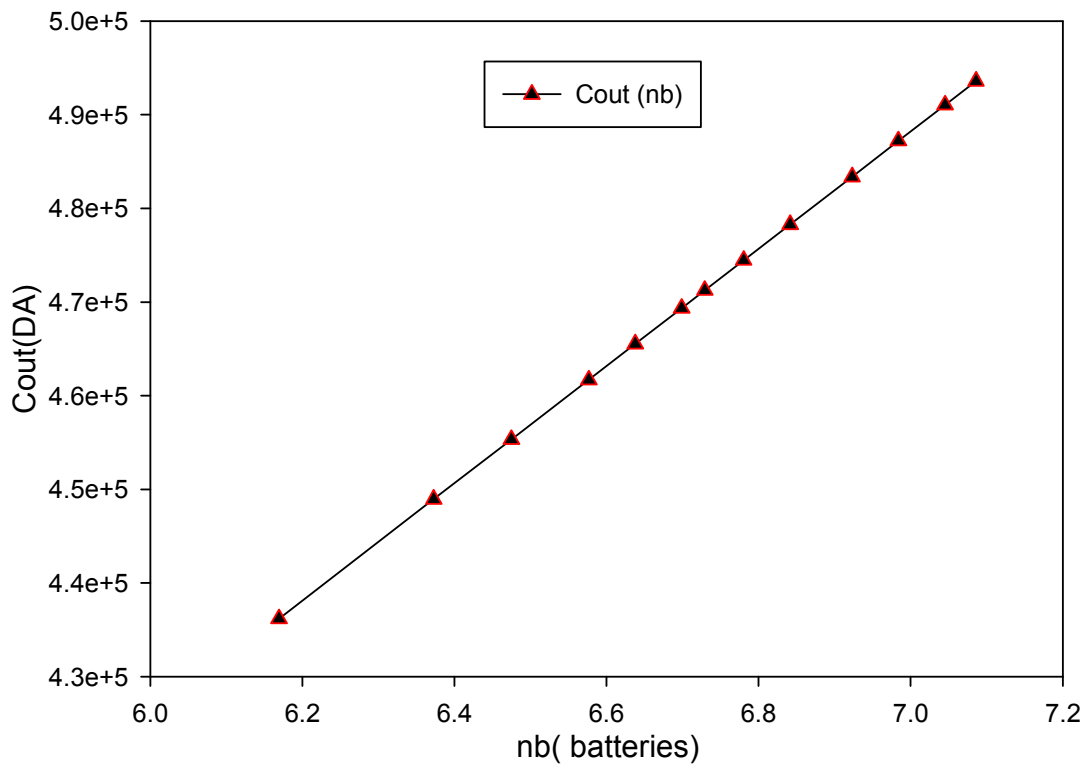


Fig.70. Variation de Cout en fonction du nombre de batteries

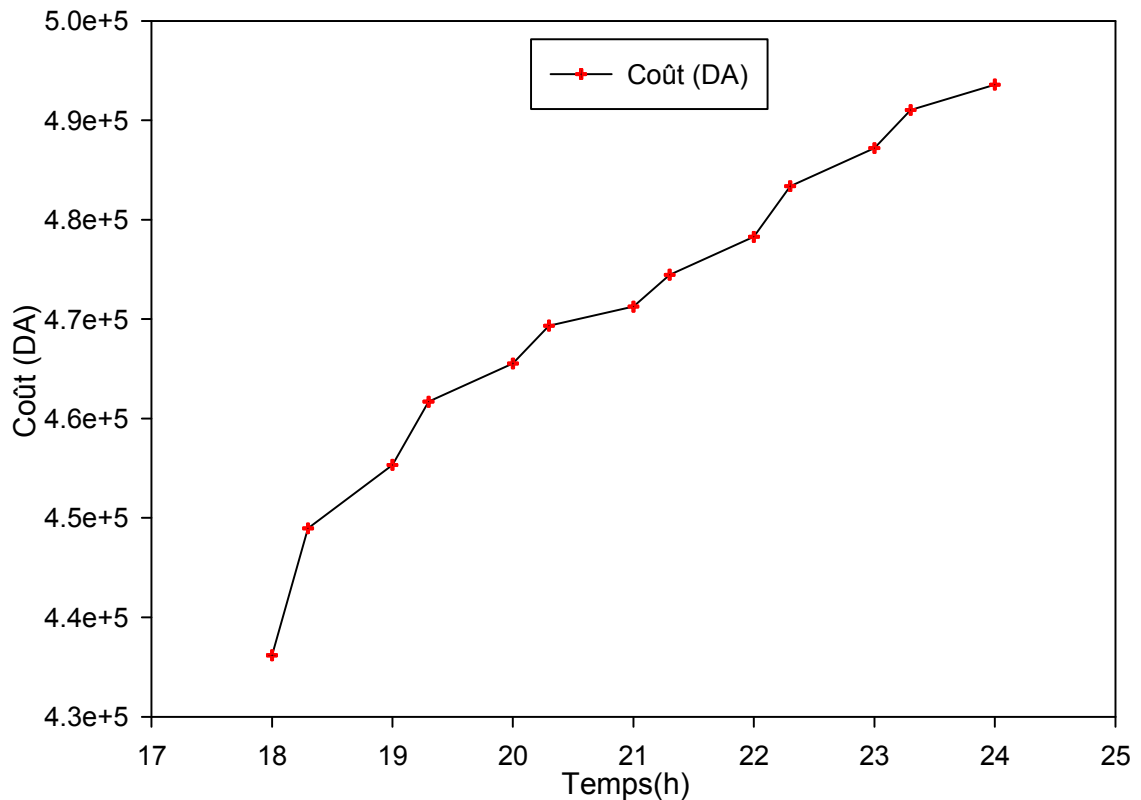


Fig.71. Variation temporelle du coût d'installation

Les Fig. (69 ,70) Montrent la variation du coût d'installation en fonction de nombre de panneaux solaires et nombre de batteries de stockage respectivement, l'augmentation des deux éléments provoque une augmentation du coût d'installation et l'agrandissement du système.

La Fig. 71. Montre la variation temporelle du coût d'installation qui augmente de 18h à 24h suivant le besoin de la température de l'eau engendrée par le système d'autonomie.

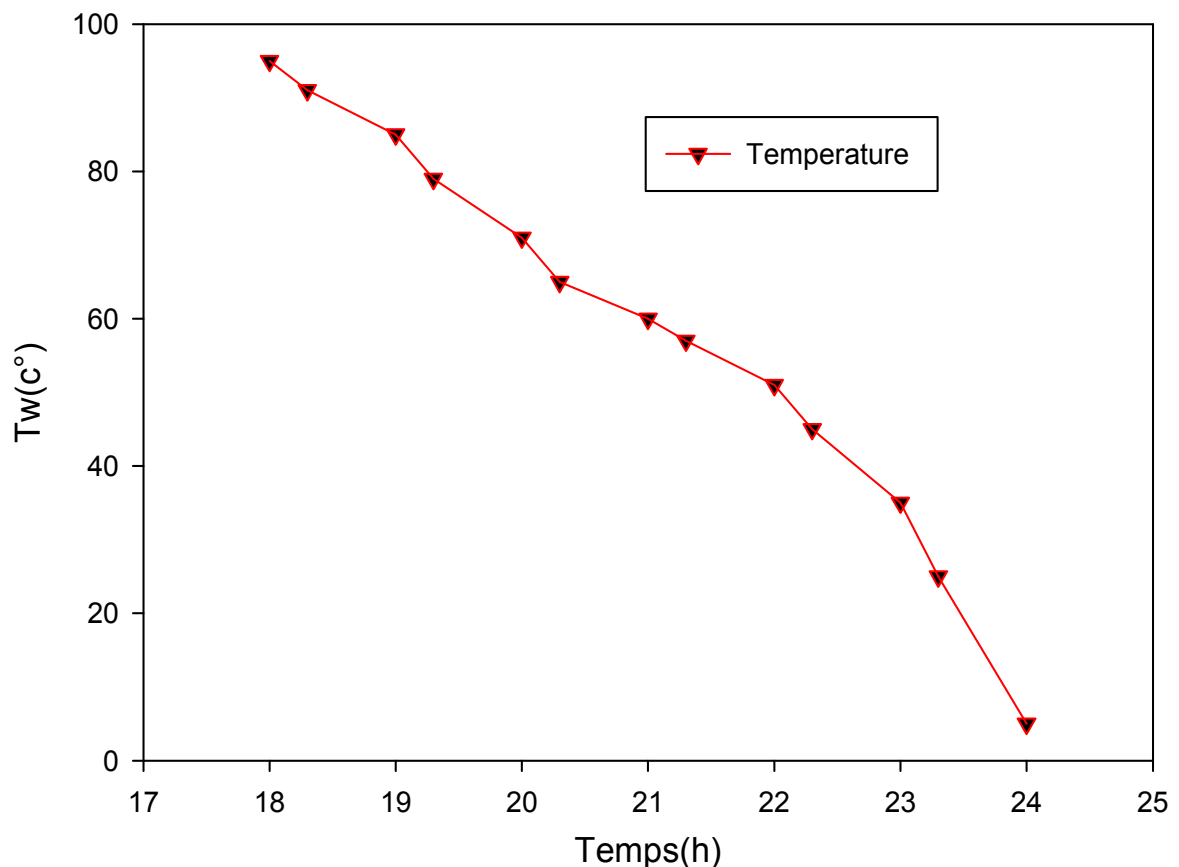


Fig.72. Variation de la température d'eau au couché du soleil

La Fig.72. Montre la variation temporelle de la température de l'eau de 18h à 24h qui prend des valeurs maximales à 18h à cause de la température du système thermique solaire et le rayonnement solaire et prend des valeurs minimales à 24h, en raison de l'influence de la température extérieure et la température de l'eau d'alimentation.

La Fig73. Montre la variation de la production en fonction de la résistance électrique, son augmentation garde la production à des valeurs moyennes suivant la condition de l'autonomie, car on augmente la résistance pour récupérer l'abaissement de la température qui décroît sous l'influence des paramètres extérieurs comme la température extérieure et l'absence des rayons solaires.

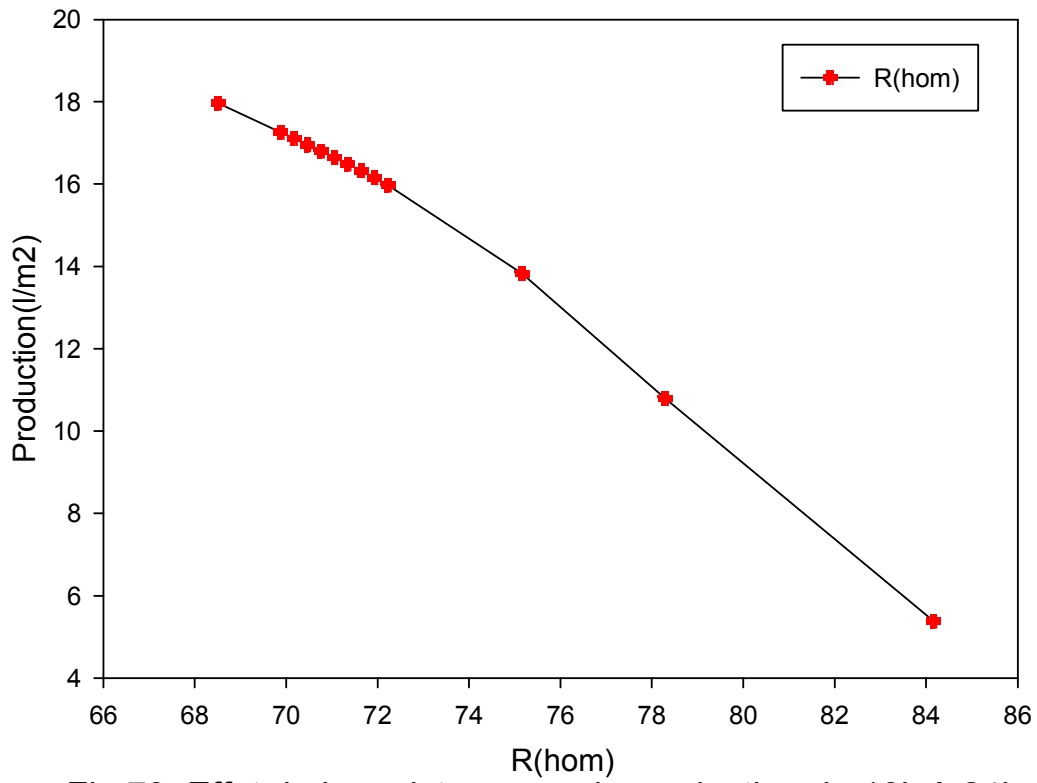


Fig.73. Effet de la resistance sur la production de 18h à 24h

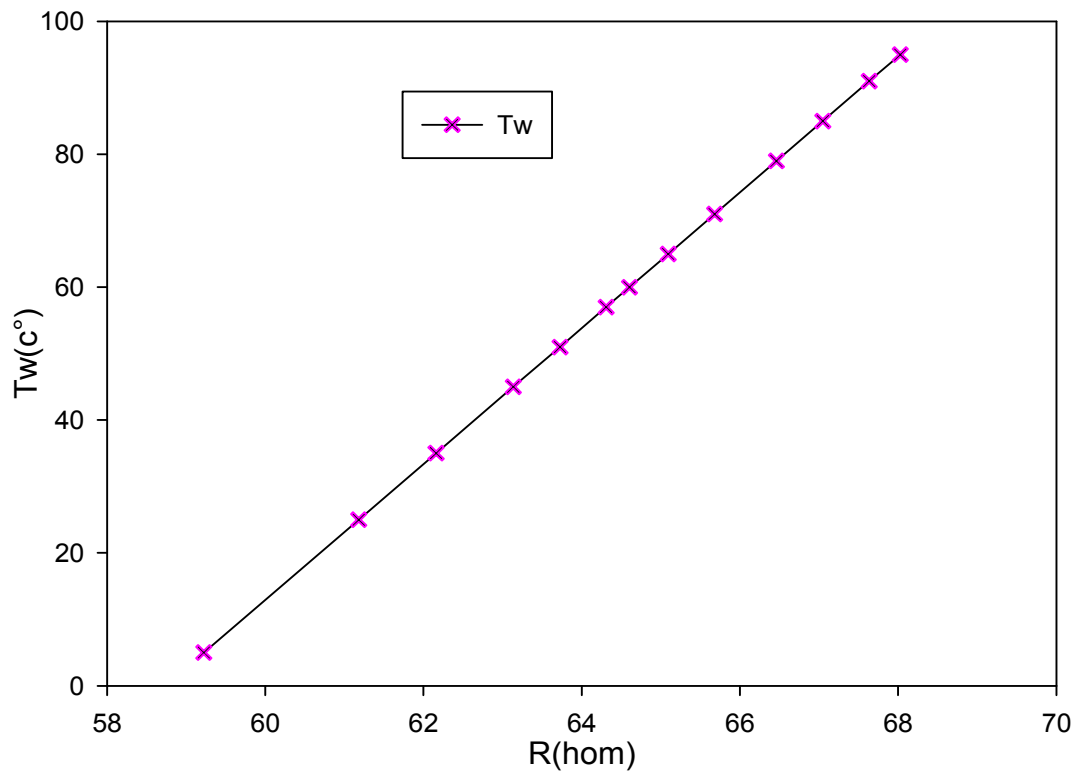


Fig.74. variation de la température d'eau en fonction de la résistance électrique

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

La Fig.74. Montre la variation de la température de l'eau en fonction de la résistance électrique, son augmentation provoque une augmentation de la température de l'eau et l'inverse, à cause de la conversion électrique thermique nécessaire pour le système.

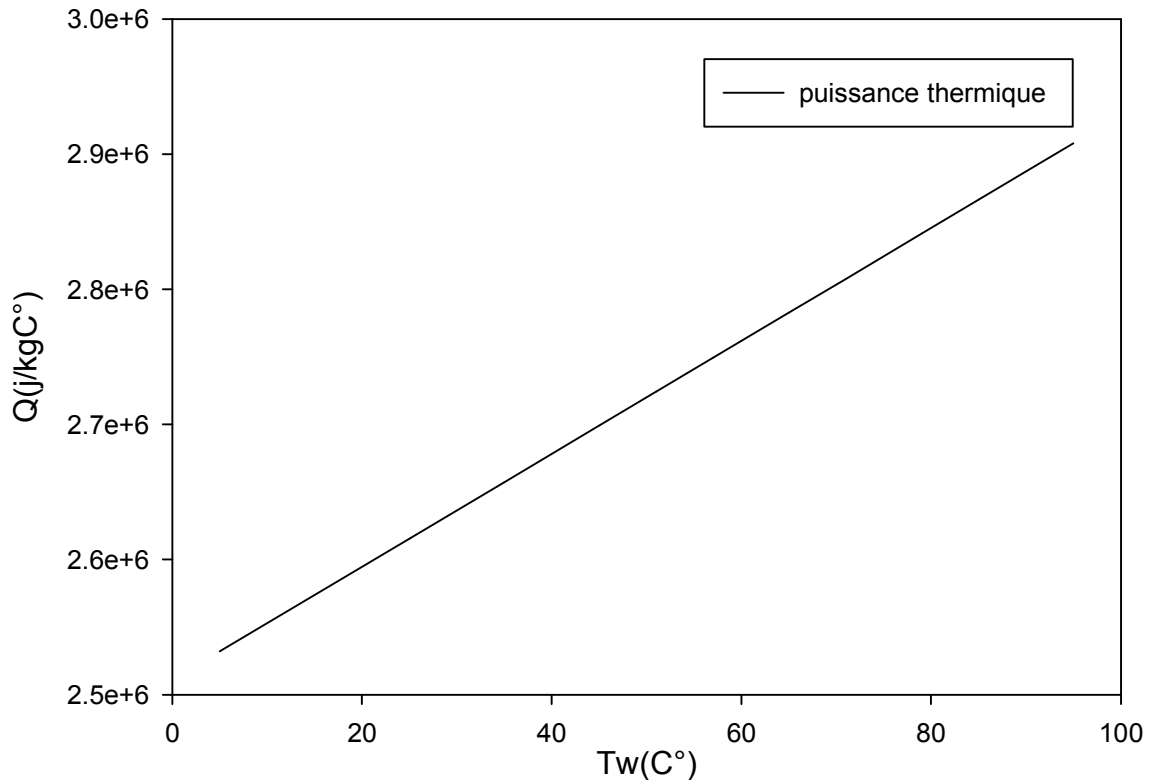


Fig.75. Variation de la puissance thermique en fonction de la température de l'eau

La Fig.75. Montre la variation de la puissance thermique en fonction de la température de l'eau, car l'augmentation de la température fait augmenter la puissance thermique et l'inverse, à cause des caractéristiques thermiques de l'eau (liaison proportionnelle).

La Fig. 76. Montre la variation temporelle de la production du distillateur hybride couplé avec un concentrateur solaire cylindro parabolique et un système d'autonomie. La production atteint le maximum de 12h à 14h, car les radiations solaires à cet intervalle de temps sont fortes, mais commence à diminuer de 16h jusqu'à 18h et prend des valeurs faibles, en raison que les rayons solaires sont faibles. De 18h à 24h, la production du distillateur prend des valeurs moyennes, malgré l'absence totale des rayons solaires grâce à l'autonomie du système.



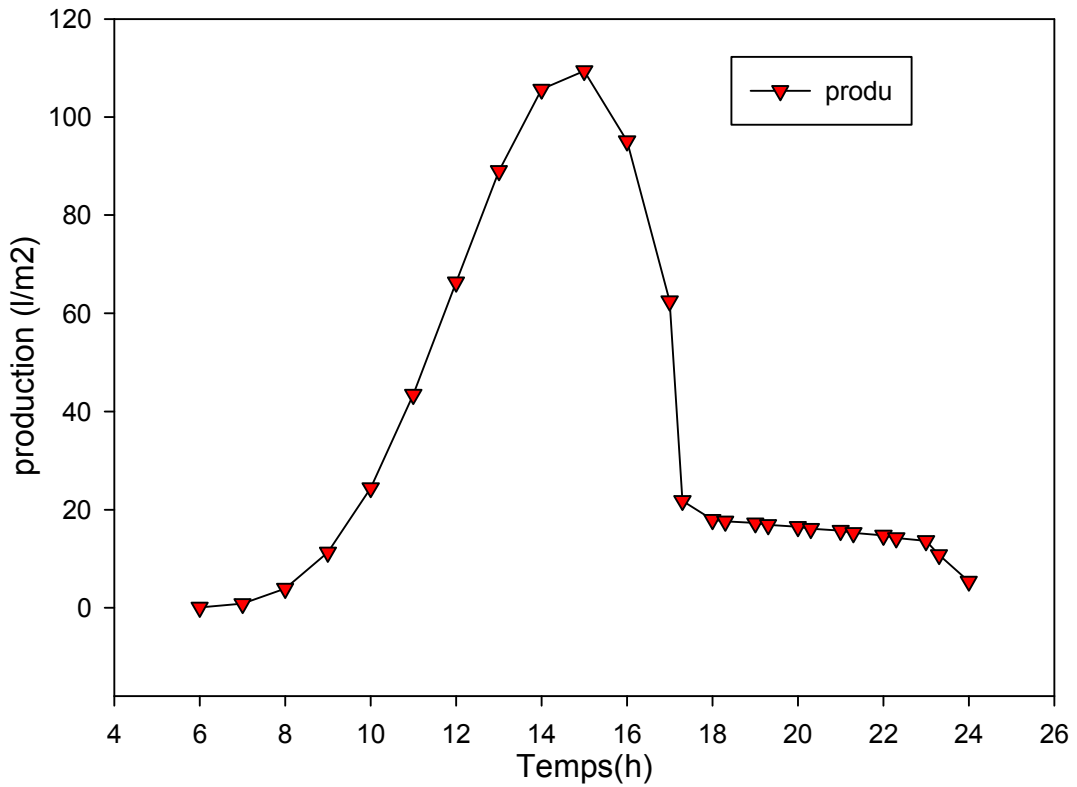


Fig.76. Variation temporelle de la poduction du distillateur hybride couplé avec Ccp et le systeme d'autonomie

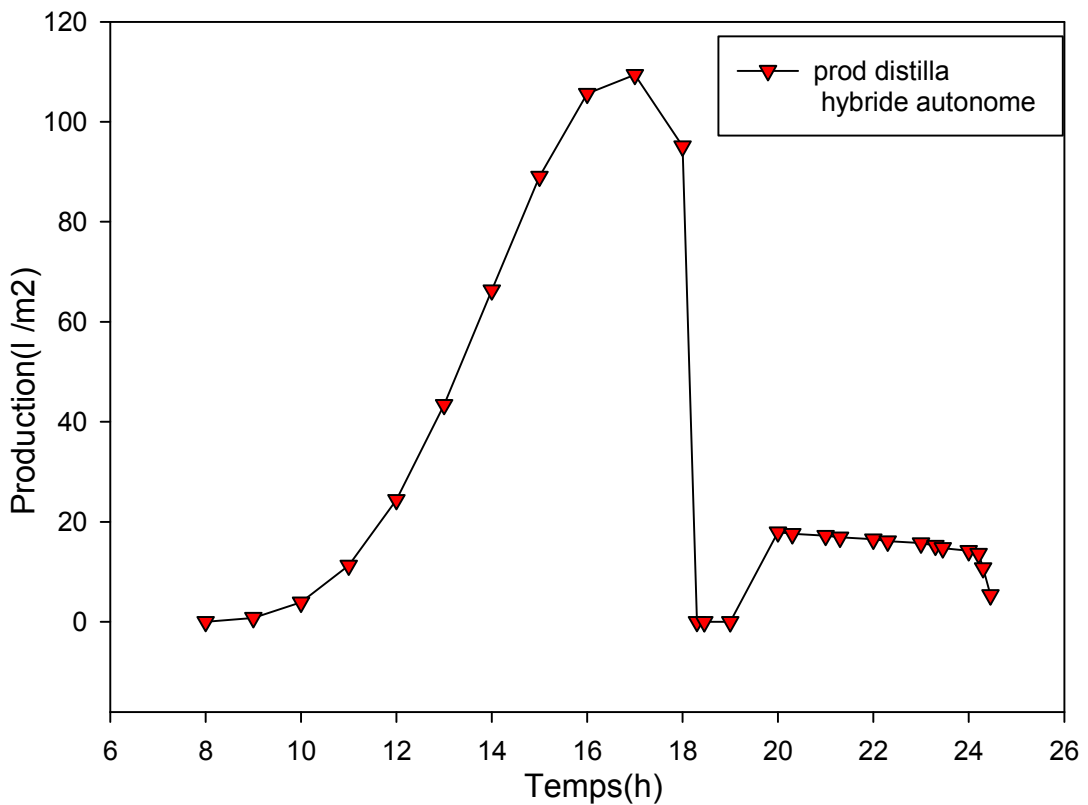


Fig.77.. Effet du retard de fonctionnement de l'autonomie sur la Variation temporelle de la production du distillateur couplé avec un CCP et l'autonomie

## CHAPITRE. V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

La Fig.77. Montre la variation temporelle de la production du distillateur hybride couplé avec Ccp et un système d'autonomie avec un décalage de temps pour retarder le fonctionnement de l'autonomie de 18h à 19h qui apparait clairement dans la figure de la production, puis le système d'autonomie commence a fonctionné et augmente la production à des valeurs moyennes à partir de 19h à 24h.

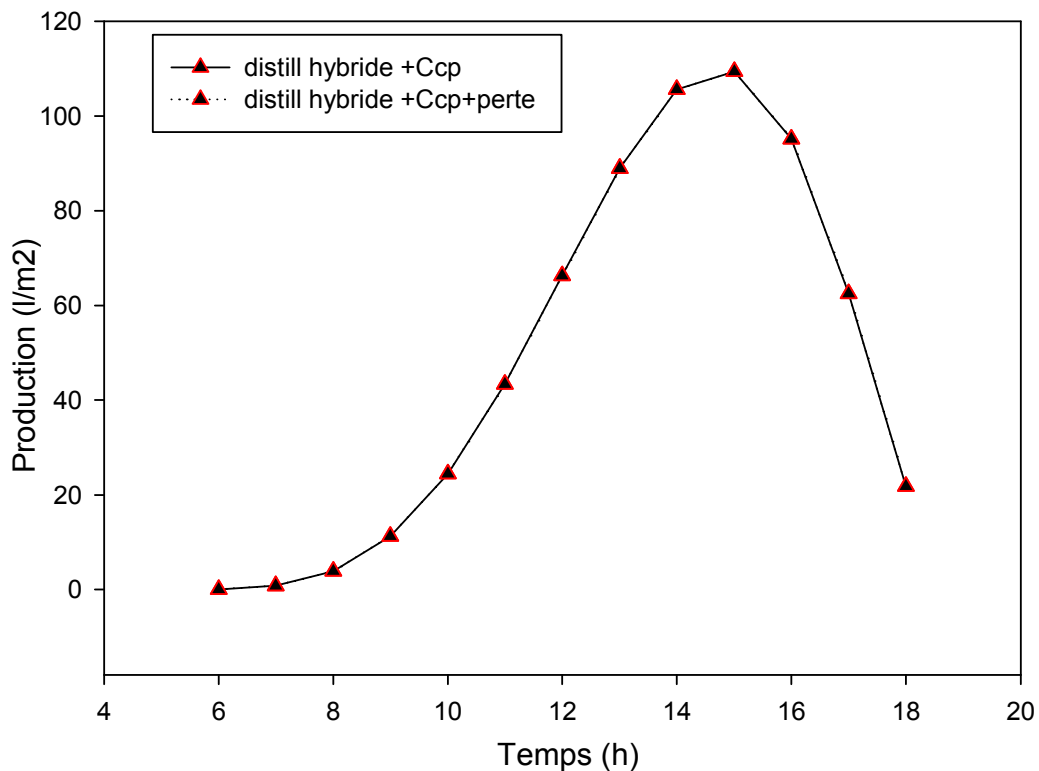


Fig.78. Variation temporelle de la production sous l'effet des pertes thermiques de CCP

La Fig. 78. Montre la production temporelle du distillateur hybride couplé avec un CCP sans pertes thermiques de CCP et la production du même distillateur avec les pertes thermiques de CCP, on remarque que les deux courbes sont identiques, donc les pertes n'ont pas d'effet sur la production du distillateur, car le distillateur est composé par plusieurs sources thermiques qui récupèrent la température perdue du système.

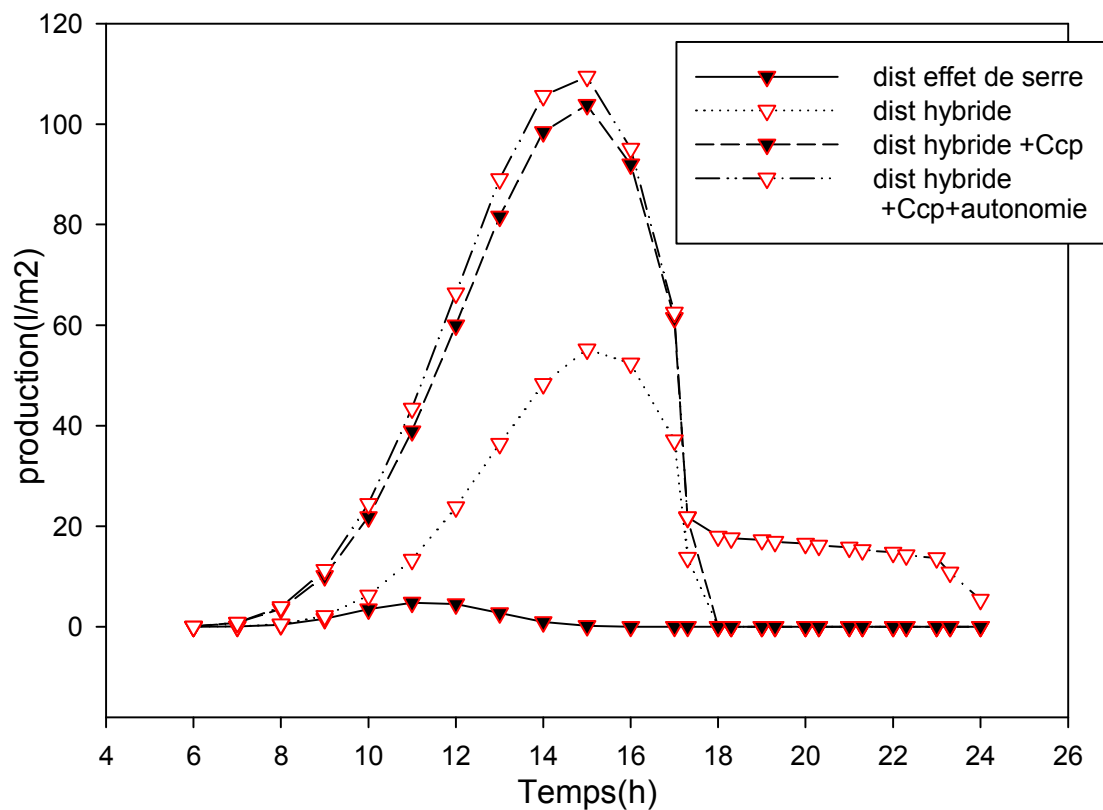


Fig.79. Variation temporelle de la production des distillateurs

Fig.79. montre la variation temporelle des distillateurs suivants : distillateur à effet de serre, le distillateur hybride, le distillateur hybride couplé avec CCP et le distillateur hybride couplé avec CCP et un système d'autonomie, le dernier distillateur est plus efficace que les autres et offre un avantage de distillation qui dure de 18h à 24h.

## **Conclusion Générale**

## CONCLUSION Générale

---

### **Conclusion générale :**

Les travaux de notre thèse ont été consacrés spécifiquement à la modélisation, la simulation et l'analyse du comportement thermo-énergétique d'un projet de distillateur solaire à effet de serre en projection industrielle l'approche a été faite pour différentes variantes de distillateurs d'eau.

Plusieurs méthodes ont été abordées pour améliorer les performances, l'efficacité de la production par distillation d'eau. L'étude nous a permis d'analyser le comportement thermo-énergétique des systèmes à travers divers variantes proposées. Les programmes et organigrammes numériques ont été simulés et couronnés par des résultats, qui nous ont permis d'analyser les propriétés et paramètres de chaque système et leurs performances de production.

D'après les résultats de simulation des modèles, les figures 14, 35, 65 montrent le degré de performance des distillateurs d'eau en fonction de l'effet de serre qui se produit à l'intérieure du système. Le modèle hybride couplé simultanément au photovoltaïque et au concentrateur cylindro parabolique (CCP) présente des résultats satisfaisants, alors que le dernier projet de distillation d'eau couplé simultanément au concentrateur cylindro parabolique en hybride avec une installation photovoltaïque à autonomie énergétique présente des performances meilleures et une efficacité de production intéressante.

Les figures 12,33 et 60 montrent les degrés d'efficacité globale de production par distillation et par modèle :

- L'efficacité globale de production par la distillation du modèle conventionnelle est faible en raison de la source énergétique d'appoint généré par le système photovoltaïque.
- Le second modèle hybride couplé simultanément au photovoltaïque et au concentrateur cylindro parabolique (CCP) est caractérisé par une efficacité globale relativement intéressante
- Alors que l'efficacité de la troisième variante, qui est couplé à une installation photovoltaïque autonome présente des résultats meilleures en stabilité, efficacité et performance de production.

A travers les diagrammes des figures 16,17, 18, 19, 20, 21 et 24, on remarque l'influence des paramètres tel que l'angle d'inclinaison des capteurs de distillation, de l'influence des données métrologique, des capacités de la résistance électrique et de l'épaisseur du filme d'eau à distiller.

## CONCLUSION Générale

---

Les diagrammes de la figure 67 montre l'influence de la puissance d'irradiation solaire sur le choix de l'investissement dans le domaine de la distillation d'eau, ce qui détermine le niveau de production d'eau distillée et par conséquent implique le coût de litre d'eau.

Le résultat illustré dans la figure 77, montre le profile de production à deux niveaux l'un de jours, l'autre de nuit séparer par un décalage temporelle de fonctionnement, ces résultats démontrent le degré de stabilité thermo-énergétique du système.

La Figure 79 montre le niveau de production des modèles étudiés. On remarque que le modèle couplé à plusieurs sources thermiques permet une production élevée de jours comme de nuit en comparaison avec les autres modèles.

En perspective nous recommandons le traitement de l'isolation thermique des systèmes de distillation, pour augmenter l'effet de serre nécessaire à la vaporisation de l'eau à distiller et à éviter les déperditions thermiques qui peuvent se produire et influent sur la rentabilité de production.

Nous recommandons aussi l'étude, la conception et la mise au point des systèmes de stockage énergétique.

En dernier nous proposons l'étude, la conception d'un distillateur d'eau à caractère industriel à base d'énergie magnétique.

## Annexes

**Annexe A** : Echanges thermiques dans un Concentrateur cylindro-parabolique

**Annexe B** : Distillateur à effet de serre

Expression des différents coefficients d'échange thermique

**Annexe C** : Le système Photovoltaïque

**Annexe D** : Programme MATLAB

# Annexes

---

## Annexe. A :

Concentrateur cylindro- parabolique :

### I. Echanges thermiques :

#### I.1. Echanges thermiques entre l'absorbeur et le fluide :

Le flux de chaleur échangé par convection entre le tube absorbeur cylindrique et le fluide circulant à l'intérieur de l'absorbeur, par unité de longueur est :

$$q_{\text{utile}} = h_F A_{A,\text{interne}} \cdot (T_A - T_F) \quad (1)$$

Dont l'expression du coefficient d'échange thermique par convection  $h_f$  est :

$$h_F = \frac{N_u k_F}{D_{A,i}} \quad (2)$$

Avec

$N_u$  : étant le nombre de Nusselt, donné par la corrélation de Gnielinsky [143] :

$$N_u = \frac{\frac{f}{8}(Re_f - 1000)Pr_f}{1 + 12.7\sqrt{\frac{f}{8}}(Pr_f^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (3)$$

Où

$f$ : est le coefficient de frottement calculé à partir de la relation de Petukhov :

$$f = (000790 \ln Re_f - 1.64)^{-2} \quad (4)$$

$Re_f$  : le nombre de Reynolds qui exprimé par la relation suivante [144] :

$$Re_f = \frac{4 \cdot \rho_F \cdot V}{\pi D_{A,i} u_F} \quad (5)$$

Avec

$N_u$  : étant le nombre de Nusselt, donné par la corrélation de Gnielinsky :

Où

$f$ : est le coefficient de frottement calculé à partir de la relation de Petukhov :

$$Pr_f = \frac{v_F}{\alpha_F} \quad (6)$$

$Re_f$  : le nombre de Reynolds qui exprimé par la relation suivante :



# Annexes

$$v_f = \frac{u_f}{\rho_f} \quad (7)$$

$$\alpha_f = \frac{k_f}{\rho_f \cdot c_f} \quad (8)$$

$\alpha_f$ : est la diffusivité thermique du fluide :

-Pour l'écoulement laminaire ( $Re_f < 2300$ ), le nombre de Nusselt est exprimé par la valeur suivante [145] :  $Nu = 4.36$ .

-Pour l'écoulement turbulent ( $Re_f > 2300$ ), le nombre de Nusselt est calculé par la Corrélation de Gnielinsky .

## I.2. Echanges thermiques entre l'absorbeur et la vitre :

L'échange thermique entre l'absorbeur et la vitre,  $q_{interne}$  est calculé à partir des échanges par convection et par rayonnement est:

$$q_{interne} = q_{interne,convection} + q_{interne,rayonnement} \quad (9)$$

L'échange par rayonnement  $q_{interne,rayonnement}$  dans l'espace annulaire est [146] :

$$q_{interne,rayonnement} = \frac{\sigma A_{A,externe}(T_A^4 - T_V^4)}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1 - \varepsilon_v}{\varepsilon_v} \left(\frac{D_{A,e}}{D_{v,i}}\right)} \quad (10)$$

L'échange thermique interne par convection  $q_{interne,convection}$  dans la lame d'air comprise entre l'absorbeur et le vitrage, est donné par [28], sachant que cette lame d'air est mobile:

$$q_{interne,convection} = \frac{2 \cdot \pi K_{eff,air}}{\ln\left(\frac{D_{v,i}}{D_{A,e}}\right)} (T_A - T_V) \quad (11)$$

Avec  $K_{eff,Air}$  est la conductivité thermique équivalente de l'air, donnée par la relation:

$$\frac{K_{eff,air}}{K_{air}} = 0.386 \left( \frac{Pr_{air}}{1 + Pr_{air}} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \left( \frac{\left( \ln\left(\frac{D_{v,i}}{D_{A,e}}\right) \right)^4}{L^3 \left( D_{A,e}^{\frac{-3}{5}} + D_{v,i}^{\frac{-3}{5}} \right)^3} \right) Ra_{al} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (12)$$

Où

L: est l'épaisseur moyenne de la couche annulaire située entre l'absorbeur et la vitre, égale à :

$$L = 0.5(D_{v,i} - D_{A,e}) \quad (13)$$

$Ra_L$  : le nombre Rayleigh pour l'air est donné par l'expression suivante :

$$Ra_{al} = \frac{g \beta_f (T_A - T_V) L^3}{\alpha_{air} \cdot \nu_{air}} \quad (14)$$

avec

# Annexes

$\alpha_{\text{air}}$  : la diffusivité thermique de l'air calculé par :

$$\alpha_{\text{air}} = \frac{K_{\text{air}}}{\rho_{\text{air}} \cdot c_{p,\text{air}}} \quad (15)$$

$\rho_{\text{air}}$ ,  $c_{p,\text{air}}$  et  $k_{\text{air}}$  : sont respectivement la densité, la chaleur spécifique et la conductivité thermique de l'air.

$\nu_{\text{air}}$ : est la viscosité cinématique de l'air, exprimée par :

$$\nu_{\text{air}} = \frac{\mu_{\text{air}}}{\rho_{\text{air}}} \quad (16)$$

Avec

$\mu_{\text{air}}$  : la viscosité dynamique de l'air.

Si en absence de convection (lame d'air est immobile) entre l'absorbeur et la vitre, le flux par unité de longueur est [147] :

$$q_{\text{interne,convection}} = \frac{2 \cdot \pi K_{\text{air}}}{\ln\left(\frac{D_{v,i}}{D_{A,e}}\right)} (T_A - T_V) \quad (17)$$

Pour le calcul de la température moyenne dans l'espace annulaire, une équation semi empirique est utilisée pour la détermination de cette température pour un absorbeur de forme cylindrique est :

$$T_{\text{moy,annulaire}} = 320 + ((0.11 \cdot \varepsilon_A) + 0.57)(T_V - 320) \quad (18)$$

D'autre part la température moyenne dans l'espace annulaire, peut être exprimé par :

$$T_{\text{moy,annulaire}} = 0.5(T_A + T_V) \quad (19)$$

### I.3. Echange thermique entre la vitre et le milieu ambiant :

Le transfert thermique entre l'enveloppe transparente et l'environnement est aussi du à l'échange par convection et par rayonnement.

$$q_{\text{externe}} = q_{\text{externe,convection}} + q_{\text{externe,rayonnement}} \quad (20)$$

La quantité de chaleur convective  $q_{\text{externe,convection}}$  du vitrage vers l'environnement est :

$$q_{\text{externe,convection}} = h_v A_{v,\text{externe}} (T_V - T_{\text{amb}}) \quad (21)$$

Avec

$h_v$  : étant le coefficient d'échange du au vent est :

$$h_v = 5.7 + 3.8 \quad (22)$$

$$0 < V_v < 4 \text{ m.s}^{-1}$$

$$h_v = 7.3 V_v \quad (23)$$

$$0.84 < V_v < 40 \text{ m.s}^{-1}$$

$V_v$ : est la vitesse du vent en [ $\text{m.s}^{-1}$ ].

# Annexes

---

La quantité de chaleur par rayonnement du vitrage vers l'environnement externe rayonnement  $q$ , peut être exprimée par la relation :

$$q_{\text{externe,rayonnement}} = \sigma A_{A,\text{externe}} (T_V^4 - T_{\text{amb}}^4) \quad (24)$$

Souvent on suppose que la température du ciel est égale à la température ambiante par conséquent ( $T_{\text{ciel}}=T_{\text{amb}}$ ).

# Annexes

## Annexe B :

### Distillateur à effet de serre

#### I. Expression des différents coefficients d'échange thermique

##### I.1. Echange par conduction

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

$$h_{b-is}^{cd} = \frac{\lambda_b}{e_b} \quad (1)$$

##### I.2. Echange par convection :

##### I.3. 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 :

$$h_{bw}^c = \frac{Nu \times \lambda_w}{L} \quad (2)$$

La valeur du nombre de Nusselt calculée expérimentalement par dépend du nombre de Grashoff (Gr) :

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

avec

$B_w$  étant le coefficient d'expansion volumétrique de l'eau.

$L$ , étant la longueur du bac absorbant.

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

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

$$2) \text{ Si } 10^5 < Gr < 2 \times 10^7 \\ Nu = 0.54 \times \frac{\lambda_w}{L} \times (Gr \times Pr)^{0.25} \quad (4)$$

$$3) \text{ Si } Gr > 2 \times 10^7 \\ Nu = 0.14 \times (Gr \times Pr)^{0.33} \quad (5)$$

Avec :

$Pr$  étant le nombre de Prandlt.

$$Pr = \frac{c_{p_w} \times u_w}{\lambda_w} \quad (6)$$

##### I.4. Echange convectif entre la saumure et la vitre :

Selon BAUM [148] dans l'échange thermique et massique entre la surface libre de la saumure et la couverture transparente, il existe une Zone où la température et la pression partielle

# Annexes

de la vapeur d'eau sont constantes. Ceci implique que seule la couche adjacente à la surface d'évaporation (saumure) et 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  $\beta$ . Pour  $\beta = 30^\circ$ .

$$\text{Si : } Gr < 3 \times 10^3 ; Nu = 1.$$

$$\text{Si : } 3 \times 10^3 < Gr < 5 \times 10^4 ; Nu = 0.0588 \times Gr^{0.37}$$

$$\text{Si : } Gr > 5 \times 10^4 ; Nu = 0.0354 \times Gr^{0.37}$$

Avec :

$$Gr = \frac{B_w \times D^3 \times g \times (T_b - T_w)}{v_w^2} \quad (7)$$

Où:

D : étant la longueur caractéristique du distillateur.

$v_w$  : étant la viscosité cinétique du mélange air- vapeur

Et :

$$h_{w-g}^c = \frac{Nu \times \lambda_w}{D} \quad (8)$$

$\lambda_w$  étant la conductivité thermique du mélange air- vapeur. Dunkle [149] à donné la relation suivante, en fonction des pressions partielles de la vapeur d'eau :

$$h_{w-g}^c = 0884 \times \left[ \left\{ (T_w - T_{gi}) + \frac{(P_v^w - P_v^{gi})}{268.9 \times 10^3 - P_v^w} \right\} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

Les valeurs de  $P_v$  et  $P_v^{gi}$  pour des températures comprises entre  $10^\circ\text{C}$  et  $90^\circ\text{C}$ , peuvent être obtenues par les expressions :

Fernandez et chargoy (1990) :

$$P(T) = \exp \left( 25.317 - \frac{5144}{T+273} \right) \quad (10)$$

Keenan et Keyes (1936) :

$$P(T) = 2.21 \times 10^{-\left[ \frac{y}{T} \left( \frac{e+by+cy^3}{1+dy} \right) \right]} \quad (11)$$

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 :

$$P(T) = 6.893 \times 10^3 \exp (54.63 - 12301.6 \times T \times T_0 - 5.17 \ln T_0) \quad (12)$$

Avec :

# Annexes

$$T_0 = 1.8T + 491.69$$

Kyokai :

$$P(T) = 133.32 \exp \left( 18.6686 - \frac{4030.1824}{T+235.15} \right) \quad (13)$$

Plancz :

$$P(T) = 133.29 \times 10^{\left[ 0.662 + \frac{7.5(T_g - 273)}{T_b - 35} \right]} \quad (14)$$

## I.5. 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:

$$h_{g-e}^c = 5.7 + 3.8 \times v \quad (15)$$

v étant 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  $h_g^c$

## I.6. Echange par rayonnement

### I.7. Echange par rayonnement entre la saumure et la vitre

Le coefficient radiatif est donné sous la forme :

$$h_{w-g}^r = \varepsilon_{w-g} \times \sigma \times (T_w + T_{gi}) \times (T_w^2 + T_{gi}^2) \quad (16)$$

Avec

$$\varepsilon_{w-g} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right]^{-1} \quad (17)$$

### I.8. Echange par rayonnement entre la vitre et l'extérieur :

$$h_{g-a}^r = \varepsilon_g \times \sigma \times (T_c + T_{ge}) \times (T_{ge}^2 + T_c^2) \quad (18)$$

$T_c$  est la température du ciel.

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

$$T_c = T_a - 6$$

$$T_c = T_a - 12$$

Swinbank propose la relation :

$$T_c = 0.0552 \times (T_a)^{1.5} \quad (19)$$

### I.9. Echange pendant le changement de phase

Dunkle est donné l'expression du coefficient de transfert thermique par évaporation :

$$h_{w-g}^{ev} = 16.276 \times 10^{-3} \times h_{w-g}^c \times \frac{(p_v^w - p_v^{gi})}{(T_w - T_{gi})} \quad (20)$$

# Annexes

---

Le coefficient d'échange thermique par évaporation entre l'évaporateur et le condenseur du distillateur à film capillaire  $h_{ev}^{ev-cd}$  est analogue à  $h_w^{ev-g}$

# Annexes

---

## Annexe C :

### Le système Photovoltaïque

#### I.1. Estimation de la consommation :

La puissance de tous les appareils qui seront constitués de l'installation doit être déterminée individuellement, ainsi que la durée moyenne d'utilisation de chacun d'entre eux. En cas de doute, la puissance et la durée moyenne d'utilisation doivent être arrondies [150]. En distinguant les dispositifs de courant alternatif et continu sera:

$$E_{AC} = \sum P_{(AC)i} \cdot t_{di} \quad (1)$$

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)i} \cdot t_{di} \quad (2)$$

Pour calculer la consommation totale, en appliquant l'expression suivante:

$$E_T = \frac{E_{DC}}{BAT} + \frac{E_{AC}}{(BAT \cdot INV)} \quad (3)$$

#### I.2. Dimensionnement du générateur photovoltaïque :

Le nombre total de modules photovoltaïques devant être installés peut être calculé à partir de l'expression suivante [151]

$$N_T = \frac{E_T}{P_p G_m \beta P_G} \quad (4)$$

Le nombre de modules devant être connectés en série est calculé comme suit:

$$N_S = \frac{V_{Bat}}{V_m} \quad (5)$$

Et le nombre de branches en parallèle à connecter pour fournir la puissance nécessaire, est donnée par:

$$N_p = \frac{N_T}{N_S} \quad (6)$$

$N_p$  étant le nombre de modules à connecter dans des branches parallèles.

#### I.3. Dimensionnement du système d'accumulation (batterie) :

Pour définir la taille de l'accumulateur, les paramètres suivants doivent être pris en compte [152]:

##### I.3. 1. Profondeur maximum de décharge:

C'est le niveau maximum de décharge qui est permis à la batterie avant la déconnexion du régulateur.



# Annexes

---

## I.3. 2. Jours d'autonomie:

C'est le nombre de jours consécutifs que, en l'absence de lumière du soleil, le système d'accumulation est en mesure de répondre à la consommation, sans dépasser la profondeur maximale de décharge de la batterie.

Les expressions qui sont utilisées pour trouver la capacité en Wh (watt heure) et en Ah (ampère heure) sont:

$$C_n(\text{Wh}) = \frac{E_T N}{P_d} \quad (7)$$

$$C_n(\text{Ah}) = \frac{C_n(\text{Wh})}{V_{\text{bat}}} \quad (8)$$

## I.4. Dimensionnement du régulateur :

Le régulateur est l'élément qui contrôle les charges et les décharges de la batterie, permettant le processus de chargement du générateur photovoltaïque et le processus de décharge à travers les éléments de consommation électrique du système global.

L'objectif principal du régulateur est d'obtenir le courant maximum qui circulera à travers l'installation. Par conséquent, nous devons calculer le courant produit par le générateur, le courant qui consomme la charge, et le maximum de ces deux courants sera celui que le régulateur doit supporter en fonctionnement [153]:

$$I_G = I_R \cdot N_R \quad (9)$$

$$I_R = \frac{P_{pm}}{V_m} \quad (10)$$

L'intensité consommée par la charge est déterminée en tenant compte de toutes les consommations en même temps:

$$I_c = \frac{P_{DC}}{V_{batm}} + \frac{P_{AC}}{220} \quad (11)$$

De ces deux courants, le maximum des deux sera celui que le régulateur devra supporter, et ce sera celui qui sera utilisé pour son éléction.

$$I_R = \max(I_G, I_C) \quad (12)$$

## I.5. Dimensionnement du convertisseur :

Les caractéristiques de fonctionnement qui définissent un onduleur ou convertisseur DC-AC sont :

- Puissance nominale (kW)
- Tension d'entrée nominale (V)
- Tension nominale de sortie (V)
- Fréquence de fonctionnement (HZ)

# Annexes

---

· Performance (%).

Lors du dimensionnement de l'onduleur, la puissance demandée par la charge AC sera prise en compte, de sorte qu'un onduleur dont la puissance nominale est légèrement supérieure au maximum sera choisi. [154].

L'expression de la puissance de l'onduleur:

$$P_{\text{Rinv}} \approx P_{\text{AC}} \quad (13)$$

## I.6. Dimensionnement du câblage :

Dans les câbles d'alimentation de la charge, il y aura des pertes dues aux chutes de tension. Ces pertes ohmiques doivent répondre à la restrictive des deux conditions suivantes:

1. Vérifier les normes électrotechniques basse tension
2. La perte d'énergie doit être inférieure à une quantité prédéfinie.

Sa valeur peut être calculée avec les expressions suivantes:

$$P_{\text{PC}} = I^2 \cdot R_{\text{C}} \quad (14)$$

$$R_{\text{C}} = \frac{\rho \cdot L}{S} \quad (15)$$

## I.7. Conversion de l'énergie électrique à l'énergie thermique :

Notre système constitué par un réseau photovoltaïque qui produit une énergie électrique alimente des résistances chauffantes, qui convertissent l'énergie électrique à l'énergie thermique.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (16.a)$$

$$P = V \cdot I = R \cdot I^2 \quad (16.b)$$

$$Q = P \cdot \Delta t \quad (17)$$

$$\Delta T = P \cdot \Delta t / m \cdot C_p \quad (18)$$





# Annexes

---

```
Tge=Ta;
Tgi=Ta;
Tw=Ta+1;
Tb=Ta+2;
Tisi=Ta;
Tise=Ta;
Tg=Ta;
Tf=Ta;
%%#####elements de la matrice#####
h1=hcga+hrga;
h2=hrwg+hcwg+hevvg;
h3=hrisea+hcisea;
A11=(Mg*cpg/2*Ag*dt)+h1+(yg/eg);
A12=-yg/eg;
A13=0;
A14=0;
A15=0;
A16=0;
A21=-yg/eg;
A22=(Mg*cpg/2*Ag*dt)+h2+(yg/eg);
A23=-h2;
A24=0;
A25=0;
A26=0;
A31=0;
A32=-h2;
A33=(Mw.*cpw./Aw.*dt)+h2+hcbw;
A34=-hcbw;
A35=0;
A36=0;
A41=0;
A42=0;
A43=-hcbw;
A44=(Mb*cpb/Ab*dt)+hcdbis+hcbw;
A45=-hcdbis;
A46=0;
A51=0;
A52=0;
A53=0;
A54=-hcdbis;
A55=(Mis*cpis/2*Ais*dt)+hcdbis+(yis/eis);
A56=-yis/eis;
A61=0;
A62=0;
A63=0;
A64=0;
A65=-yis/eis;
A66=(Mis*cpis/2*Ais*dt)+h2+(yis/eis);
B1=(Mg*cpg/2*Ag.*dt).*Tge+hrga.*Tc+hcga.*Ta;
dt=TL;
b1=((Mg*cpg)/(2*Ag)).*(1./dt);
b2=b1.*(Tgi);
B2=b2+(Pg);
B3=(Mw*cpw/2*Aw.*dt).*Tw+Pw;
B4=(Mb*cpb/Ab*dt).*Tb+Pb;
B5=(Mis*cpis/2*Ais*dt).*Tisi;
B6=(Mis*cpis/2*Ais*dt).*Tise+hcisea*Ta+hrisea.*Tc;
%000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
% methode de gauss #####
for d=1
    for f=1:1:13
        BB=[B1(d,f) B2(d,f) B3(d,f) B4(d,f) B5(d,f) B6(d,f)];
        AA=[ A11(d,f) A12 A13 A14 A15 A16 ;
              A21 A22(d,f) A23(d,f) A24 A25 A26 ;
              A31 A32(d,f) A33(d,f) A34(d,f) A35 A36
              A41 A42 A43(d,f) A44(d,f) A45 A46;
              A51 A52 A53 A54 A55(d,f) A56 ;
              A61 A62 A63 A64 A65 A66(d,f) ];
```

# Annexes

---

```
#####iteration de gauss #####
x0=zeros(1,6);
x1=x0;
kmax=1000;
erp=0.0001;
for k=1:kmax
    for h=1:6
        s1=0.0;
        s2=0.0;

        for m=1:h-1

            s1=s1+AA(h,m)*x1(m);
        end

        for m=h+1:6
            s2=s2+AA(h,m)*x0(m);
        end
        x1(h)=(BB(h)-s1-s2)/AA(h,h);
        end
        if abs(x1-x0)<= erp
            break;

        else
            x0=x1;
        end
    end
end
x=x1;

disp('##### temperature des diffirents elements
#####');
Tgel=x(1,1) ;
Tgil=x(1,2)
Tw2=(Tele+x(1,3)) ;
Tw1=x(1,3)
Tb1=x(1,4) ; Tis1=x(1,5) ; Tisel=x(1,6);
T=[x(1,1) x(1,2) x(1,3) x(1,4) x(1,5) x(1,6)];
```

## **Références bibliographiques**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- [1] J.A.Duffie and W.A Beckman. Solar Energy thermal Processes. Wiley, New York 1974.
- [2] Mashaly, A.F., Alazba, A.A., Al-Awaadh, A.M., Mohamed, A., Mattar, A., 2015. Predictive model for assessing and optimizing solar still performance using artificial neural network under hyper arid environment. Sol. Energy 118, 41-58.
- [3 ] A. Kabeel, S. El-Agouz, Review of researches and developments on solar stills, Desalination 276 (2011) 1–12.
- [ 4 ] Bernard.R ; Merguy.G et Schwartz.G Le rayonnement solaire: conversion thermique et application. Technique et documentation, deuxième édition (1980).
- [ 5 ] Chaibi, M. T. (2000). An overview of solar desalination for domestic and agriculture water needs in remote arid areas. Desalination, 127(2), 119–133.
- [6] B.MEINEL, and MARJORIE P.MEINEL, Applied solar .Ed. ADDISON – WESLEY IN PHISICS .1976.
- [7] Frick, G., Sommerfield, J.V., 1973. Solar still of inclined evaporating cloth. Sol. Energy 14, 427.
- [8] Sodha, M.S., Tiwari, G.N., Tyagi, R.C., 1981. Simple multiplewick solar still: analysis andperformance. Sol. Energy 26, 127
- [9] Tiwari, G.N., Sharma, S.B., Sodha, M.S., 1984. Performance of double condensing mul-tiple wick solar still. Energy Convers. Manage. 24, 193–199.
- [10] Tiwari, G.N., Maduri, Garg, H.P., 1985. Effect of waterflow over the glass cover of asinglebasin solar still with an intermittentflow of waste hot water in the basin. Energy Convers. Manage. 25 (3), 315–322.
- [11] Lawrence, S.A., Gupta, S.P., Tiwari, G.N., 1990. Effect of heat capacity on the perfor-mance of solar still with waterflow over the glass cover. Energy Convers. Manage. 30–3, 277–285.
- [12] Abdel-Rehim, Z.S., Lasheen, A., 2007. Experimental and theoretical study of a solar desalination system located in Cairo, Egypt. Desalination 217, 52–64.
- [13 ] Badran, O.O., Abu-Khader, M.M., 2007. Evaluating thermal performance of a single slope solar still. Heat Mass Transfer 43, 985–995
- [14] Tiwari, G.N., Singh, H.N., Tripathi, R., 2003. Present status of solar distillation. Sol. Energy 75, 367–373.
- [15] Madani, A.A., Zaki, G.M., 1995. Yield of stills with porous basins. Appl. Energy 52, 273.
- [16]- DS Rajput, [K Sudhakar](#) PDF] [Effect of dust on the performance of solar PV panel](#) International Journal of ChemTech , 2013
- [17] Tleimat, B.W., Howe, E.D., 1996. Nocturnal production of solar distillers. Sol. Energy 10, 61–65
- [18] Singh, A.K., Tiwari, G.N., 2011. Techno-economic analysis of various solar stills based on monthly performance: Technical note. Int. J. Ambient Energy 16, 89–94.
- [19] Adhikari, R.S., Kumar, A., 1999. Cost optimization studies on a multi-stage stacked tray solar still. Desalination 125, 115–121.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [20] Palenzuela, P., Alaron-Padilla, D.-C., Zaragoza, G., 2015. Large-scale solar desalination by combination with CSP: Techno-economic analysis of different options for the Mediterranean Sea and the Arabian Gulf. *Desalination* 366, 130–138.
- [21] Guillén-Burrieza, E., Alarcón-Padilla, D.-C., Palenzuela, P., Zaragoza, G., 2015. Techno economic assessment of a pilot-scale plant for solar desalination based on existing plate and frame MD technology. *Desalination* 374, 70–80.
- [22] Khalifa, A.-J.N., Hamood, A.M., 2009. Effect of insulation thickness on the productivity of basin type solar stills: an experimental verification under local climate. *Energy Convers. Manage.* 50, 2457–2461.
- [23] Kumar, S., Tiwari, G.N., 1996. Estimation of convective mass transfer in solar distillation systems. *Sol. Energy* 57 (6), 459–464.
- [24] Badran, O.O., Abu-Khader, M.M., 2007. Evaluating thermal performance of a single slope solar still. *Heat Mass Transfer* 43, 985–995
- [25] B. Chaouchi, A. Zrelli, S. Gabsi, Desalination of brackish water by means of a parabolic solar concentrator, *Desalination* 217 (1) (2007) 118–126.
- [26] Dev, R., Tiwari, G.N., 2011. Solar distillation, In: Ray, C., Jain, R., (Eds.), *Drinking water treatment-strategies for sustainability*. Springer Science-Business, Media B.V, pp. 159–210.
- [27] Kabeel, A.E., El-Agouz, S.A., 2011. Review of researches and developments on solar stills. *Desalination* 276, 1–12.
- [28] H. Kargarsharifabad, S.J. Mamouri, M. Shafii, M.T. Rahni, Experimental investigation of the effect of using closed-loop pulsating heat pipe on the performance of a flat plate solar collector, *J. Renew. Sustain. Energy* 5 (2013) 013106.
- [29] S. Gorjian, B. Ghobadian, T.T. Hashjin, A. Banakar, Experimental performance evaluation of a stand-alone point-focus parabolic solar still, *Desalination* 352 (2014) 1–17.
- [30] Prakash, P., Velmurugan, V., 2015. Parameters influencing the productivity of solar stills – a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 49, 585–609.
- [31] Rajaseenivasan T, Murugavel KK. Theoretical and experimental investigation on double basin double slope solar still. *Desalination* 2013;319:25–32
- [32] Tiwari, A.Kr., Tiwari, G.N., 2006. Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition. *Desalination* 195, 78–94.
- [33] Panchal, H.N., Shah, P.K., 2011. Effect of varying glass cover thickness on performance of solar still: in a winter climate conditions. *Int. J. Renew. Energy Res.* 1 (4), 212–223.
- [34] Saleh, A.J., Qudeiri, A., Al-Nimr, M.A., 2011. Performance investigation of a salt gradient solar pond coupled with desalination facility near the Dead Sea. *Energy* 36, 922–931.
- [35] Abdel-Rehim, Z.S., Lasheen, A., 2007. Experimental and theoretical study of a solar desalination system located in Cairo, Egypt. *Desalination* 217, 52–64.
- [36] Tiwari, G.N., Dimri, V., Chel, A., 2009. Parametric study of an active and passive solar distillation system: energy and exergy analysis. *Desalination* 242, 1–18.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [ 37] Tanaka, H., 2009. Experimental study of a basin type solar still with internal and external reflectors in winter. *Desalination* 249, 130–134.
- [38] Velmurugan, V., Gopalakrishnan, Raghu, R., Srithar, K., 2008. Single basin solar still with fin for enhancing productivity. *Energy Convers. Manage.* 49, 2602–2608.
- [39] Nafey, A.S., Abdelkader, M., AbdelmotalipMabrouk, A.A., 2001. Solar still productivity enhancement. *Energy Convers. Manage.* 42 (11), 1401–1408
- [ 40] Abu-Hijleh, B., Rababa, H.M., 2003. Experimental study of a solar still with sponge cubes in basin. *Energy Convers. Manage.* 44, 1411-8.
- [41] Abdallah, S., Badran, O., Abu-Khader, M.M., 2008. Performance evaluation of a modified design of a single slope solar still. *Desalination* 219, 222–230.
- [42] Kabeel, A.E.Z., Omara, M., Younes, M.M., 2015. Techniques used to improve the performance of the stepped solar still—a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 46, 178–188.
- [43] Fath, H.E.S., 1996. High performance of a simple design, two effect solar distillation unit. *Desalination* 107, 223–233.
- [ 44] Al-Kharabsheh, S., Goswami, D.Y., 2003. Analysis of an innovative water desalination system using low-grade solar heat. *Desalination* 156, 323–332.
- [45] Madhlopa, A., Johnstone, C., 2009. Numerical study of a passive solar still with separate condenser. *Renew. Energy* 34, 1668–1677.
- [46] - World resources. <http://www.wrsc.org/attach image/total-water-resources> accessed 26.09.12.
- [47]- Water Desalination Using Renewable Energy, <http://www.irena.org/ /Water Desalination Using RenewableEnergy - Technology Brief.pdf> accessed 24.09.12.
- [48]- Lattemann, S., Kennedy, M. D., Schippers, J. C., & Amy, G. (2010). C. E. Isabel, & I. S. Andrea (Eds.), *Global desalination situation. Sustainability science and engineering* (pp. 7–39). Elsevier. Chapter 2
- [49] - Safe drinking-water from desalination <http://whqlibdoc.who.int/hq/2011/WHOHSE WSH 11.03 eng.pdf> accessed 24.09.12.
- [50]-Wang, Q.,Chen,X.,Jha,A.N.,Rogers,H.,2014.Naturalgasfromshaleformation – the evolution,evidencesandchallengesofshalegasrevolutioninUnitedStates. *Renew. Sustain.EnergyRev.* 30,1–28.
- [51] Buros, O. K. (2000). *The ABCs of desalting* (2nd edition). Massachusetts, USA: Inter-national Desalination Association., p. 30
- [52] Klaus Töpfer , James D. Wolfensohn ,Jonathan Las . World Resources 2000-2001 People and Ecosystems The Fraying Web of Life 2000, Pages 103–118
- [ 53] - Solar sail near the Sun: Point-like and extended models of radiation source V. Koblik a,b,† , E. Polyakhova c , L. Sokolov c
- [54] Incropera, F.P.D., Dewitt, P., Bergman, T.L., Lavine, A.S., 2011. Radiation, 7th ed. In: *Principles of Heat and Mass Transfer*, 8–12. International Student Version: Wiley.
- [55] I. Tinoco, K. Sauer, J.C. Wang, *Physical Chemistry*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 1995

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [56 ] Burlov-Vasiljev et al., 1995; Colina et al., 1996; Johnson, 1954; Lockwood ... Labs, 1984; The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models
- [57] - Radiation Balance and Solar Radiation Spectrum I N Sokolik, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA <sup>a</sup> 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.
- [58] Mehmet Yorukoglu et Ali Naci Celik .A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. *Energy Conversion and Management* 47 p 2441–2450. (2006)
- [59] Kaplanis .S et Kaplani ,E. model to predict expected mean and stochastic hourly global Solar radiation I(h;nj) values. *Renewable Energy* 32. P1414–1425(2007)
- [60] Buzás, J., Farkas, I., Biró, A., & Németh, R. (1998). Modelling and simulation aspects of a solar hot water system. *Mathematics and Computers in Simulation*, 48(1),33–46.
- [61] - Al-Kharabsheh, S. (2003). Theoretical and experimental analysis of water desalination system using low grade solar heat. PhD dissertation, University of Florida, USA.
- [62 ] - Ministère de l'énergie Algérie (site des données d'énergie)
- [63]- M Paulescu, E Paulescu, P Gravila. Solar radiation measurements – Weather Modeling and ..., 2013 – Springer
- [64] -(Paulescu et Badescu, 2013) et (Shukla et al., 2015a; Shukla et al., 2015b). Evaluation of the potential of solar energy utilization in Famagusta, Cyprus M Ouria, H Sevinc - Sustainable Cities and Society, 2018 – Elsevier
- [65] - Steinhilber, Beer, & Frohlich, 2009. Total solar irradiance during the Holocene- Geophysical Research ..., 2009
- [ 66] -(Cogliani, 2014),(Shukla et al., 2015a; Shukla et al., 2015b). Evaluation of the potential of solar energy utilization in Famagusta, Cyprus .M Ouria, H Sevinc - Sustainable Cities and Society, 2018 – Elsevier
- [67] - The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities. GE Cooper, RP Harper Jr - 1969
- [68] Yves Jannot . Thermique solaire. Paris (2007).
- [69] Michel Daguene. Les séchoirs solaires : théorie et pratique, Unesco, paris (1985).
- [70] Alain Ferrire et Gilles Flamant, captation transformation et conversion de l'énergie solaire par les technologies a concentration. Thème 7. Solaire thermique, édition : Académie des sciences et Technologies, 2002
- [71] R. Winston, solar energy, edition: Handbook of optics, 1974
- [72] M. Abdolzadeh, M.A. Mehrabian, The optimal slope angle for solar collectors in hot and dry parts of Iran, *Energy Sources Part: A* 34 (2012) 519–530
- [ 73] Boglietti A, Carpaneto E, Cossale M, et al., 2016. Stator-winding thermal models for short-time thermal transients: definition and validation. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 63(5), 2713-2721.
- [74] Kamal Skeiker .Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus province, Syria. *Energy Conversion and Management* 47 p 331–

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

345 (2006)

[75] E.D. Brennan, P.V.D. Heen, *The Koppers Hydrate Process for Saline Water Conversion: Experimental and Engineering Studies*, U.S. Dept. of the Interior (1964).

[ 76 ] E. Lorenzo, '*Solar Electricity: Engineering of Photovoltaic System*', Progensa, Sevilla, 1994.

[77] V Badescu, 'Single Optimization Procedure for Silicon-Based Solar Cell Interconnection in a Series-Parallel PV Module', *Energy Conversion and Management*

[ 78 ] W. De Soto, S.A. Klein and W.A. Beckman, 'Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance', *Solar Energy*, Vol. 80, N°1, pp.78 - 88, 2006.

[79] V.V. Pasichny and B.A. Uryukov, Theoretical aspects for optimization of solar radiation concentrators with plane facets, *Solar Energy*, 73 (2002) 239.

[80] S.B. Riffat, X. Zhao, P.S. Doherty, Developing a theoretical model to investigate thermal performance of a thin membrane heat-pipe solar collector, *Appl. Therm. Eng.* 25 (2005) 899–915

[81] Omara, Z.M., Kabeel, A.E., Younes, M.M., 2014. Enhancing the stepped solar still performance using internal and external reflectors. *Energy Convers. Manage.* 78, 876-881.

[ 82 ] Balbir Singh Mahinder Singh, Fauziah Sulaiman. Designing a Solar thermal cylindrical parabolic trough concentrator by simulation, Int. Rio3 Congress, World Climate Event, Rio de Janeiro, Brazilia, December 1-5, 2003

[83 ] A. Harmim, M. Boukar et M. Amar, 'Etude Expérimentale d'un Cuiseur Solaire Boîte à Trois Réflecteurs Plans et une Surface d'Ouverture Inclinée', *Revue des Energies Renouvelables*, Vol 10, N°1, pp 31 – 38, 2007.

[84] Wang, Z, Li, Y., 2015. Irreversibility analysis for optimization design of plate fin heat exchangers using a multi-objective cuckoo search algorithm. *Energy Convers. Manage.* 101, 126-135.

[85] K. Ogilvie, '*L'Abc des Technologies de l'Energie Renouvelable*', Pollution Probe, Canada, Septembre 2003.

[86] J.A. Duffie and W.A. Beckman, '*Solar Engineering of Thermal Processes*', 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc, New York, pp. 331 - 375, 1991.

[87] J.M. Chasseriau, '*Conversion Thermique du Rayonnement Solaire*', Ed. Dunod, France, pp. 99- 113 et pp. 217 - 240, 1984.

[88] Soteris A. Kalogirou, *Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science* 30 (2004)

[ 89 ] Haitao Zhanga, Yiling Sunb, Lu Wuc, Xiaokun Zhangd, Yong Xiange. Tracking mechanism and cosine effect study of Module-Heliostat Solar Collector. 4th International Conference on Machinery, Materials and Information Technology Applications (ICMMITA 543 2016). *Advances in Computer Science Research*,

[90] W. Chekirou, N. Boukheit et T. Kerbache, 'Analyse Thermique pour l'Absorbeur d'un Concentrateur Solaire Cylindro Parabolique', 12ème Journées Internationales de Thermique, pp. 61 – 64, Maroc, 2005.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [91] Pradeep Kumar K V, Srinath T, Venkatesh Reddy, Design, Fabrication and Experimental 533 Testing of Solar Parabolic Trough Collectors with Automated Tracking Mechanism, *International journal of research in aeronautical and mechanical engineering* 1 (2013) 37-55.
- [92] J.K. Lin, H.F. Fang, I. Eastwood, U.O. Qujjano, Concept study of a 35-m spherical reflector antenna for NEXRAD in space application, in: *Proceedings of 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/AS Structural, Structural Dynamics, and Materials Conference*, Newport, Rhode Island, 2006, pp. 1–12, AIAA 2006-1604.
- [93] R.Y. Nuwayhid, F. Mrad and R. Abu-Said, The realization of a simple solar tracking concentrator for university research applications, *Renewable Energy*, 24 (2001) 207–222.
- [94] Dudley V, Kolb G, Sloan M, Kearney D. SEGS LS2 Solar Collector-Test results. Report of Sandia National Laboratories. SAN94-1884; 1994.
- [95] Capuano Raffaele, Fend Thomas, Schwarzbozl Peter, Smirnova Olena, € Stadler Hannes, Hoffschmidt Bernhard, et al. Numerical models of advanced ceramic absorbers for volumetric solar receivers. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;58:656e65
- [96] H.E.S. Fath, *Desalination Technology, the Role of Egypt in Region IWT C*, Alexandria, Egypt, 2000.
- [97] N. Ghaffour, T.M. Missimer, G.L. Amy, Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability, *Desalination* 309 (2013) 197–207,
- [98] Khawaji,A, Kutubkhanah.IK. wie.J. advances in sea waters desalination technologies ,*desalination* 221. 2008
- [99] Y. Yang and N. Lior, Performance analysis of combined humidified gas turbine power generation and multi-effect thermal vapor compression desalination systems Part1: the Desalination unit and its combination with a 5 steam-injected gas turbine power system. *Desalination*, 196 (2006) 84-104
- [100] Frick, G., Sommerfield, J.V., 1973. Solar still of inclined evaporating cloth. *Sol. Energy* 14, 427. desalination systems combined with vapor compression heat pumps, *Desalination* 114 (1997) 253–275
- [101] N. Lior, Sustainability as the quantitative norm for water desalination impacts, *Desalination* 401 (2017) 99–111.
- [102] N.H. Aly, A.K. El-Fiqi, Mechanical vapor compression desalination systems - a case study, *Desalination* 158 (2003) 143–150.
- [103] H. Dong, L. Zhao, L. Zhang, H. Chen, C. Gao, W.S. Winston Ho, High-flux reverse osmosis membranes incorporated with NaY zeolite nanoparticles for brackish water desalination, *J. Membr. Sci.* 476 (2015) 373–383,
- [104] F. Al-Juwayhel, H. El-Dessouky and H. Ettouney, Analysis of single-effect evaporator desalination systems combined with vapour compression heat pumps, *Desalination*, 114 (1997) 253
- [105] G.Atagündüz, .*Solar Desalination*, . Ege University
- [106] M.T. Chabi, .An Overview of Solar Desalination for Domestic and agriculture water needs in Remote Arid Areas ., *Desalination*. 127, (2000), 119-133.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [107] P.. Kumar, A. Kumar, O. Prakash, A.K. Kaviti, Solar stills system design: a review, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 51 (2015) 153–181
- [108]- Quteishat, K., & Abu-Arabi, Promotion of solar desalination in the MENA region, Middle East Desalination Research Center, Muscat, Oman, <http://shebacss.com/rd/docs/rdresrs003.pdf> accessed 24.09.12.
- [ 109] Al-Hayek I, Badran OO. The effect of using different designs of solar stills on water distillation. *Desalination* 2004;169:121–7
- [110] Rajaseenivasan T, Murugavel KK. Theoretical and experimental investigation on double basin double slope solar still. *Desalination* 2013;319:25–32
- [ 111] A.E. Kabeel, Performance of solar still with a concave wick evaporation surface, *Energy* 34 (2009) 1504-1509.
- [112] Al-Shammiri et Safar, 1999.. Multi-effect distillation plants: state of the art. Water Desalination Department, Water Resources Division, Kuwait Institute for Scientific Research. PO Box 24885, Safat 13109, Kuwait.
- [113] Dhiman NareshK. Transient analysis of a spherical solar still. *Desalination* 1988;69(1):47–55.
- [114] Moh'd A. Al-Nimr 1, Wahib A. Al-Ammari. A novel hybrid PV-distillation system. *Solar Energy* 135 (2016) 874–883
- [115] Mohamed Mustapha Belhadj a,b,, Hamza Bouguettaia b, Yacine Marif a, Moussa Zerrouki a Numerical study of a double-slope solar still coupled with capillary film condenser in south Algeria *Energy Conversion and Management* 94 (2015) 245–252
- [116] Bouchekima B, Gros B, Ouahes R, Diboun M. The performance of the capillary film solar still installed in South Algeria. *Desalination* 2001;137:31–8.
- [117] S. Kumar, G. Tiwari, Estimation of internal heat transfer coefficients of a hybrid (PV/T) active solar still, *Sol. Energy* 83 (9) (2009) 1656–1667.
- [ 118] Zhili Chen a,b, Jingtang Peng a, Guanyi Chen b,†, Lian Hou c, Tao Yu a, Yang Yao a, Hongfei Zheng Analysis of heat and mass transferring mechanism of multi-stage stacked-tray solar seawater desalination still and experimental research on its performance. *Solar Energy* 142 (2017) 278–287
- [ 119] Byung-Ju Lima, Sang-Seok Yub, Kyung-Yul Chunga, Chang-Dae Parka,c. Numerical analysis of the performance of a tiltable multi-effect solar distiller. *Desalination*. (2017)
- [120] Rahmani A, Boutriaa A, Hadeef A. An experimental approach to improve the basin type solar still using an integrated natural circulation loop. *Energy Conver Manag* 2015;93:298e308.
- [ 121] Nabil Hussain RahimA. Utilization of a forced condensing technique in a moving film inclined solar desalination still. *Desalination* 1995;101:255–62.
- [122] Tanaka Hiroshi. Experimental study of vertical multiple-effect diffusion solar still couple with a flat plate reflector. *Desalination* 2009;249: 34–40.
- [123] Boukar M, Harmim A. Development and testing of a vertical solar still. *Desalination* 2003;158:179.
- [124] Hansen RS, Narayanan CS, Kalidasa Murugavel K. Performance analysis on inclined solar still with different new wick materials and wire mesh. *Desalination* 2015;358:1–8



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [125] R.A. McCormack, G.A. Niblock, Build and operate a clathrate desalination pilot plant, Water Treatment Technology Program Report No. 31, U. S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, 1998.
- [126] Maalem, M.S., Benzaoui, A., Bouhenna, A., 2014. Modeling of simultaneous transfers of heat Renew. Energy 34, 1668–1677.
- [127] Soteris, A.K., 2005. Seawater desalination using renewable energy sources. Prog. Energ. Combust. Sci. 31, 242-281.
- [128] El-Samadony, Y.A.F., Kabeel, A.E., 2014. Theoretical estimation of the optimum glass cover water film cooling parameters combinations of a stepped solar still. Energy 68, 744-750.
- [129] Setoodeh, N., Rahimi, R., Ameri, A., 2011. Modeling and determination of heat transfer coefficient in a basin solar still using CFD. Desalination 268, 103-110
- [130] M. Sidrach-de-Cardona, Ll. Mora López. A general multivariate qualitative model for sizing stand alone photovoltaic systems. Solar Energy Materials and Solar Cells 59 (1999) 185-197.
- [131] T Munnner. Solar radiation and daylight models. Elsevier Oxford 2004.
- [132] JC Lam, DHW Li. Correlation between global solar radiation and its direct and diffuse components. Build. Environ. 31 (1996) 527-535
- [133] SACADURA J. F., Initiation aux transferts thermiques, Cast, INSA de Lyon, Technique et Documentation de Paris, 1980.
- [134] J.J. O’Gallagher. Nonimaging Optics in Solar Energy, Morgan and Claypool Publishers, series, 2008.
- [135] JOHN H.LIENHARD IV and JOHN H.LIENHARD V. A HEAT TRANSFER TEXTBOOK third edition. 2003
- [136] THORSTEN A.STUETZELE, Automatic Control of the 30 Mwe SEGS VI parabolic trough plant, A thesis for the degree of the degree of master of science, University of Wisconsin – Madison.2002.
- [137] Jean-Pierre PETIT, Convection Naturelle, Ecole Centrale Paris, 1989-1990.
- [138] Al-Shammiri ,M, et Safar,M Multi-effect distillation plants: state of the art; Desalination 126. p 45–59.(1999)
- [139] H. C. Hottel and B. B. Woertz, The performance of flat-plate solar heat collectors. *Trans. ASME* 64, 94- 104 (1942).
- [140] Satcunanathan et Hasen, investigation of some of parameters involved in solar distillation, solar energy,vol 14, pp 353-363,(1973).
- [141] Renaudin,V « Le dessalement de l’eau de mer et des eaux saumâtre ».Laboratoire des sciences du génie chimique ,Nancy,(2003)
- [142] Satcunathna et Hansen. An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. Solar Energy, Vol 14, pp 353-363(1973)
- [143] J.A. Duffie, W. A . Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc, Interscience, 1991.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [ 144] Bonnet, M.Alphilippe , P.Stouffs , Conversion thermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance :Réflexion sur choix du meilleur degré de concentration, Rev. Energ.Ren : 11ème Journées internationales de thermique (2003)73-80.
- [145] T. Das & K. Pramanik ,Modelling and Performance Evaluation of Solar Water Heating Systems, Word Renewable Energy Congress VIII (WREC 2004 )
- [ 146] Dunode, 3eme édition « énergie solaire photovoltaïque » année 2006..
- [147] M. Li and L.L. Wang, 'Investigation of Evacuated Tube Heated by Solar Trough Concentrating System', Energy Conversion and Management, Vol. 47, N°20, pp. 3591 – 3601, 2006.
- [ 148] Rivet,P Energie solaire photovoltaïque ,volume1,unisco,1993
- [149] Dunkle.R.V water distillation: The Roof type still and a Multiple Effect Diffusion Still, Commonwealth scientific and industrial research organization, Victoria, Australia, p 895902(1961).
- [150] L.B. Begrambekov, The small solar MEDdesalination plant, MEDRC Series of R&D Reports, Project: 98-AS-024a, Oman, 2004.
- [ 151] Dahbi S, Aboutni R, Aziz A, Benazzi N, Elhafyani M, Kassmi K. Optimised hydrogen production by a photovoltaic electrolysis system DC/DC converter and water flow controller. Int J Hydrogen Energy 2016;41:20858e66
- [152]- Kalogirou, S. (2005). Seawater desalination using renewable energy sources.Pgress in Energy and Combustion Science, 31, 242–281
- [153] J. Desautel. Les capteurs héliothermiques, EDISUD, Paris, (1979)16- 83. [223] A. Fernandez-Garcia, E. Zara, L. Valenzuela, M. Perez. Parabolic trough solar collectors and their applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews , 14 ( 7 ) (2010) 1695-1721.
- [154] J.A.Duffie and W.A Beckman. Solar Energy thermal Processes. Wiley, New York 1974.