

REpubLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE TLEMCEN ABOUBEKR BELKAID



DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

UNITE DE RECHERCHE DES MATERIAUX ET ENERGIES

RENOUVELABLES



MEMOIRE PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN
PHYSIQUE- ECOLE DOCTORALE
SPECIALITE
ENERGIES RENOUVELABLES

THEME

*Analyse thermo énergétique d'un procédé
de dessalement d'eau de mer par voie solaire*

Soutenu le :

Par :

MANDI BENAÏSSA

Devant le jury :

Président : BENYOUCEF Boumédiène, Professeur. Université de Tlemcen

Encadreur : SAIM Rachid, MCA, Université de Tlemcen

Examineur : BIBI TRIKI Nasreddine, Professeur, Université de Tlemcen.

Examineur : ZERGA Abdellatif, MCA, Université de Tlemcen

Année universitaire : 2012-2013

Remerciements

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

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à monsieur **Saim Rachid Maitre de conférence classe A à l'université de Tlemcen**, qui ma permis et aider, sous sa direction, à réaliser ce travail ainsi que pour ses précieux conseils tout le long de la recherche et sur sa disponibilité, sa gentillesse.

Mes vifs remerciements s'adressent également à Monsieur **BENYOUCEF Boumédiène, Professeur Université de Tlemcen** D'avoir accepté de me faire l'honneur de juger ce travail et le plaisir de présider le jury de thèse.

Je tiens également à exprimer mes remerciements à monsieur **TRIKI Nasreddine**, **Professeur, Université de Tlemcen** et à monsieur **ZERGA Abdellatif, MCA, Université de Tlemcen** qui m'ont fait l'honneur de participer à mon jury de soutenance.

Dédicace

Je dédie ce travail à notre prophète **Mohamed (Alieh el salat wa selem)**.

En suite à mes chers parents et sur tout ma mère et à ma conjointe (om Abd el illah) qui m'a poussé de terminer ce travail et sur sa patience.

Comme je dédie ce travail à toute ma famille et mes fils

Sommaire

- ❖ Nomenclature ...
- ❖ Indexe des tableaux
- ❖ Indexe des figures...
- ❖ Introduction

CHAPITRE I : Estimation de l'irradiation solaire

Introduction	1
❖ I.1. Le soleil	
❖ I.2. Aspects géométriques du rayonnement solaire.....	2
I.2.1. Mouvement de la terre.	
I.2.2. Les coordonnées célestes.	
I.2.2.1. Les coordonnées géographiques.	
I.2.2.2. Les coordonnées horaires.....	3
I.2.2.3. Les coordonnées horizontales.....	4
❖ I.2.3. les temps solaires.....	5
I.2.3.1. Le temps solaire vrai (T.S.V).	
I.2.3.2. Le temps solaire moyen (T.S.M).	
I.2.3.3. Le temps universel (T.U)	
I.2.3.4. Le temps légal (T.L).	
I.2.4. Direction des rayons solaires.....	6
I.3. Aspects énergétiques du rayonnement solaire.....	8
I.3.1. L'atmosphère terrestre.	
I.3.2. Rayonnement du ciel et de l'atmosphère.....	9
I.3.3. Rayonnement solaire au sol.....	10
I.3.3.1. Rayonnement direct.	
I.3.3.2. Rayonnement diffus.....	11
I.3.3.3. Rayonnement global...	
I.3.3.4. Puissances absorbées par les différents éléments du distillateur...	12
I.4.1- L'albédo.	
Conclusion.....	14

Chapitre II : La distillation solaire.

❖ Introduction.....	15
❖ II.1. Historique	
❖ II.2- Les principales technologies de dessalement des eaux.....	16
II. 2.1- Les procédés utilisant des membranes...	
II.2.1.1- L'osmose inverse.	
II.2.1.2- L'électrodialyse.....	17
❖ II.3.2- Les procédés thermiques.....	18
II.3.2.1- Le dessalement sous vide	
II.3.2.2- Le dessalement par congélation	
II.3.2.3- Les procédés de distillation.....	19
II.3.2.3.1- Distillation par longs tubes verticaux	
II.3.2.3.2- Distillation par compression de vapeur.	
II.3.2.3.3- Distillation à évaporation-éclairé	20
II.3.2.3.4- Distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF).	
II.3.2.3.5- Distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED).....	21
❖ II.4. Principe de la distillation solaire	
II.4.1. Les différents types de distillateurs	22
II.4.1.1. Distillateur à simple effet.	
II.4.1.2. distillateur à pente unique.	
II.4.1.3. distillateur solaire à double pente.....	23
II.4.1.4. distillateur solaire terre- eau.	
II.4.1.5. distillateur sphérique à balayage	
II.4.1.6. distillateur solaire à film capillaire.	24
❖ II.4.2.1. Distillateurs à multi effets	
II.4.2.2. Distillateur à diffusion	25
II.4.2.3. Distillateur solaire à cheminée.	
II.4.2.4. Distillateur à mèche évaporant	26
❖ II.5- Le système couplé distillateur plan-captateur.....	27

II.5.1- Description du système couplé distillateur plan -capteur.	
II.5.2- Description du système couplé distillateur hot box -capteur	
II.5.3. Distillateur solaire à étages multiples avec récupération de chaleur	28
II.5.4. Distillateur solaire incliné à cascades.....	29
Conclusion.....	30

Chapitre III : Recherche bibliographique

❖ Introduction.....	31
❖ III .1 . Distillateur solaire parabolique.	
III.1.2. Distillateur solaire à des miroirs	32
III.1.3 .Distillateur solaire pyramide et prisme	33
III.1.3.2 Distillateur hybride thermique	34
III. 1.4. Distillateur thermo électrique	35
III. 1.5. Distillateur à matériau de changement de phase	36
III. 1.6. Distillateur hybride	37
III. 1.7. Simple bassin solaire double pente avec matériaux de stockage.	
❖ III.2 .Le générateur photovoltaïque	38
III-2-1. Le panneau solaire	39
III-2.2. Système de stockage	
III-2.3.1. Les Caractéristiques principales d'une batterie	40
III-2-3-2. Types d'accumulateurs	
a)- Les Accumulateurs au plomb acide.....	41
a.1)- Composition d'une batterie solaire plomb- Acide ...	
III-2.4. Système de conversion	
III-2-5.1. Convertisseurs DC/DC	42
❖ III -2 -6 .Les régulateurs.	
a- Système de régulation	
b- Régulation de décharge	43
c- Régulation de la charge	

1) Régulations de charge série	
2) Régulateur de charge de coupure.....	44
3) Régulateur de charge à découpage	
4) Régulateur de charge série à coupure partielle ...	
5) Régulateur de charge parallèle	
❖ conclusion	46

CHAPITRE IV

Problème et Modélisation mathématique et numérique

❖ Introduction.	47
❖ IV.1. Problème	
IV.II.1 .Système photovoltaïque	
IV 1I.1.2. Système Thermique	48
IV.II.2..Système hybride.	
❖ IV. 3 . - Paramètres externes et internes.....	49
IV.3.1. Paramètres externes	
IV.3.2.. Paramètres internes	
IV.3.2.1. Paramètres de position	
IV.3.2.2. Paramètres de construction	
IV.3.2.3.. Paramètres optiques.....	50
IV.3.2.4. Paramètres thermo physiques	
❖ IV.4..Bilan thermique d'un distillateur.....	51
IV.4.1. Bilan thermique en régime permanent.....	52
IV.4.2 .Distillateur couplé avec le système photovoltaïque	54
IV.4.3. Bilan thermique en régime transitoire.	
IV .4.3.1. Distillateur plan	
IV .4.3.2 Distillateur hybride.....	55
❖ IV.5. Expression des différents coefficients d'échange thermique.	
IV.5.1.. Echange par conduction	
IV.5.2. Echange par convection.	
IV.5.2.1. Echange convectif entre la masse d'eau et le bac absorbant.	
IV.5.2.2.. Echange convectif entre la saumure et la vitre.....	56
IV.5.2.3. Echange convectif entre la vitre et le milieu ambiant.....	57
IV.5.2.4. Echange convectif entre la vitre et l'absorbeur	

IV5.3. Echanges par rayonnement.....	58
IV.5.3.1. Echange par rayonnement entre la saumure et la vitre	
IV.5.3.2. Echange par rayonnement entre la vitre et l'extérieur	
IV.5.4. Echange pendant le changement de phase.	
❖ IV.6. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire	
IV.6.1. Le rendement	
IV.6.2. L'efficacité.....	59
IV.6.2. 1. L'efficacité globale	
IV.6.2.2. L'efficacité interne	
IV.6.3. La performance.	
❖ IV.7 .Dimension de générateur photovoltaïque	60
IV-7.1. Puissance de générateur photovoltaïque	
IV-7.2.Type et nombre de batteries utilisées	61
IV-7-3. Température dissipé par la résistance électrique.....	62
IV-7-4. Convertisseur utilisé dans le système AC/DC	
❖ IV.8 .Méthode de résolution	63
IV.8 .1.- Conditions de convergence.....	64
IV.8.2- Résolution du système d'équations considère.	
❖ IV.9. Simulation	66
IV.9.1. Algorithme principal de résolution.	
IV.9.2. Organigramme	68
❖ Conclusion.....	70
CHAPITRE V : Résultats et discussion	
❖ V.1. Introduction.....	71
❖ V.2.Variation des puissances solaires absorbées.....	72
❖ V.3. Variation des températures.....	73
❖ V.4. Variation de la production, des efficacités globale et interne	75
❖ V.5. Performance du distillateur	77
❖ V.6. Effet des paramètres externes et internes sur le fonctionnement du distillateur solaire.....	79
V.6.1. Paramètres externes	
1. Effet du trouble atmosphérique	
2. Effet de la vitesse du vent.....	81
3. Effet de la température ambiante	83
➤ V.6.2. Paramètres internes.....	85

1. Effet de l'inclinaison	
2. Effet de l'épaisseur de la nappe d'eau	87
-3. Effet de la température de la saumure sur la production	88
➤ V.7. Influence des paramètres thermo-physiques	90
1. paramètres thermo physiques de la saumure	
2. Variation de la Chaleur Latente de Vaporisation :	
3. Variation temporelle de la masse volumique de saumure	92
5. Variation temporelle de la conductivité thermique	93
6. Effet de conductivité thermique sur production	95
7-Variation temporelle de la chaleur spécifique.	
8- Effet de la chaleur latente de vaporisation et de la masse volumique, de la viscosité cinématique et la chaleur spécifique	97
9. Variation temporelle de la Conductivité thermique de l'aire	103
10. Effet conductivités thermique de l'air sur la production	105
11. Variation temporelle de la chaleur spécifique cpm de l'air.....	106
12. Effet de chaleur spécifique et la viscosité Cinématique de l'air sur la production	108
➤ V.8- Variation temporelle du coefficient de Dilatation thermique	109
➤ V.9. Effet des propriétés thermo physiques de la surface absorbante sur le fonctionnement du distillateur	110
➤ V.10. Variation de production et l'efficacité globale, interne en fonction de résistance électrique	
1. Efficacité globale	111
❖ V.11. Variation de production dans les régions Adrar et Annaba, Tlemcen, Alger	113
❖ V.12. Variation de production pendant l'année	115
❖ Conclusion.....	117
❖ Résumé.....	118
❖ Références bibliographiques.	

Nomenclature

symbole	Désignation	Unité
A_i	Surface d'un corps d'indice i	m^2
A	Diffusivité thermique du corps d'indice i	m^2/s
C_{pi}	Chaleur massique à pression constante	$J/Kg. ^\circ C$
E_i	Epaisseur du corps	M
G	Accélération de la pesanteur	m/s^2
h^c_{ij}	Coefficient d'échange thermique par convection entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2. ^\circ C$
h^{ev}_{ij}	Coefficient d'échange thermique par évaporations entre les surfaces matérielles i et j	$W/m^2. ^\circ C$
h^{cd}_{ij}	Coefficient d'échange indicées thermique par conduction entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2. ^\circ C$
h^r_{ij}	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2. ^\circ C$
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^{el}_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 échangée par convection entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
q^r_{i-j}	Flux chaleur échangée par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
q^{ev}_{i-j}	Flux chaleur échangée 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 échangée entre la vitre et l'intérieur	W
A_i	Surface d'un corps d'indice i	m^2
A	Diffusivité thermique du corps d'indice i	m^2/s
C_{pi}	Chaleur massique à pression constante	$J/Kg. ^\circ C$
E_i	Epaisseur du corps	M
G	Accélération de la pesanteur	m/s^2

h^c_{ij}	Coefficient d'échange thermique par convection entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
h^{ev}_{ij}	Coefficient d'échange thermique par évaporations entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
h^{cd}_{ij}	Coefficient d'échange thermique par conduction entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
h^r_{ij}	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
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^{gl}_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 échangée par convection entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
q^r_{i-j}	Flux chaleur échangée par rayonnement entre les surfaces matérielles indicées i et j	W
q^{ev}_{i-j}	Flux chaleur échangée 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 échangée entre la vitre et l'intérieur	W
q_{isi}	Flux de chaleur échangée entre l'isolant 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	$^\circ C$
V	Vitesse du vent	m/s
α	Coefficient d'absorption	-
β	Inclinaison de la vitre	$^\circ$
ε	Emissivité	-
η	Efficacité	%
	Conduction thermique	$W/m \cdot ^\circ C$
μ	Viscosité dynamique	$kg/m \cdot s$
ν	Viscosité cinématique	m^2/s
ρ	Masse volumique	kg/m^3
τ	Coefficient de transmission	-
A	Air ambiant	-

B	Bac absorbant	-
C	Ciel	-
G	Vitre (glass)	-
Gi	Vitrage intérieur	-
Ge	Vitrage extérieur	-
Is	Isolant	-
Isi	Isolant intérieur	-
Ise	Isolant extérieur	-
W	Eau (water)	-
DC	Convertisseur de courant continue	A
AC	Convertisseur de courant alternatif	A
DC/AC	Convertisseur bidirectionnel	A
Stc	Condition de production nominale de panneau solaire	1000w/m ² à 25 °C
Pc	Puissance crête	w/m ²
E	Energie électrique	J
N(h)	Nombre d'heure	-
Cp	Capacité de perte	Ah
In	Courant nominale	A
Wt	Energie	W
Wj	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
Ctu	Capacité totale utile	Ah
Nb	Nombre d'élément de batterie	-
R	Resistance électrique	Ω
Tele	Température des résistances électriques	°C

Indexe des tableaux :

Tableau I.1 : Le quantième du jour de l'année.....	4
Tableau I.2 : Spectre électromagnétique.....	11
Tableau I.3. Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique	
Tableau I.4. Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude.....	12
Tableau I.5. Valeurs de l'albédo du sol (ρ)	
Tableau I.6. Proportions du flux solaire incident au niveau de différentes parties du distillateur.....	13
Tableau I.7. L'albédo des différentes soles	14
Tableau III.1 : Tableau comparatif des différentes technologies.....	42
Tableau IV.1 Analogie entre les grandeurs thermique et grandeurs électriques.....	54
Tableau V.1 Latitude et longitude des lieux	71

Indexe des figures :

Figure I.1 : Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère	2
Figure I.2 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil [2].....	3
Figure I.3 : les coordonnées géographiques.....	4
Figure I.4. Les coordonnées horaires.....	5
Figure I.5. Les coordonnées horizontales	
Figure I.6. Fuseau horaire.....	7
Figure I.7. Représentation des vecteurs unitaires.....	8
Figure I.8. Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre.....	10
Figure I.9. Spectre du rayonnement atmosphérique	
Figure II.1- Procédé de L'osmose inverse.....	17
Figure II.2 - L'électrodialyse.....	18
Figure II.3- Dessalement sous vide.....	19
Figure II.4- Distillation par longs tubes verticaux.....	20
Figure II.5- Distillation par compression de vapeur.....	21
Figure II.6- Distillation à évaporation	

Figure II.7- Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF) à 3 étages.....	22
Figure II.8- Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).	
Figure II.9. Distillateur solaire.....	23
Figure II.10. Distillateur à pente unique.....	24
Figure II.11. Distillateur à double pente unique.	
Figure II.12. Distillateur solaire terre- eau	
Figure II.13. Distillateur solaire sphérique à balayage.....	25
Figure II.14. Distillateur à film capillaire avec seul étage.	
Figure II.15. Distillateur à diffusion.....	26
Figure II.16. Distillateur à cheminée.....	27
Figure II.17. Distillateur à mèche évaporant.	
Figure II.18. Distillateur plan capteur.....	28
Figure II.19. Distillateur hot box –capteur.....	29
Figure II.20. Distillateur solaire à étages multiples..	
Figure II.21. Distillateur incliné à cascades (ou à marches).....	30
Figure III.1.a. Distillateur a concentrateur parabolique.....	32
Figure III.1.b. Variation temporelle de distilla et l'irradiation solaire	
Figure III.2.a. Distillateur à des miroirs concaves.....	33
Figure III.2.b. Variation de production en fonction d'irradiation solaire	
Figure III.3. Distillateur sous forme d'un prisme	34
Figure III.4.a. Distillateur sous forme d'une pyramide [43].....	35
Figure III.4.b. Production temporelle de distillateur sous forme d'une pyramide [43]	
Figure III.5. Production temporel du distillateur hybride.	
Figure III.6.a. Distillateur thermoélectrique	36
Figure III.6.b Distillateur thermoélectrique.	
Figure III.6.c. Production Distillateur thermoélectrique	
Figure III.6.d. Distillateur à matériau de changement de phase	37
Figure III.6.e. Variation temporelle de production.	
Figure III.6.f. Distillateur hybride thermique.....	38
Figure III.6.g. Simple bassin solaire double pente avec matériaux de stockage.	

Figure III.7.a . Panneaux de solaire [45].....	39
Figure III.-7.b Construction d'une batterie monobloc.....	41
Figure III.8. Rendement de l'onduleur.....	42
Figure. III.9 : Schéma de principe d'un régulateur de charge série.....	44
Figure III.10. Régulateur de charge à découpage	
Figure III.11 .Schéma de principe de charge parallèle.....	45
Figure IV1. Système photovoltaïque pour production de l'énergie électrique.....	47
Figure IV.2- Distillateur solaire simple à effet serre.....	48
Figure IV.3. Distillateur hybride	
Figure IV.4. Bilan énergétique d'un distillateur solaire plan.....	51
Figure IV. 5 Carte represente les dufférents facteurs régionaux d'ensoleillement.....	61
Figure IV.6. Système PV avec des convertisseurs.....	62
Figure IV.6. organigramme principal... ..	68

Introduction

Les besoins en eau potable dans le monde augmentent d'une manière continue, alors que les réserves souterraines se trouvent constamment diminuées. Les réserves d'eau saumâtres ont des teneurs en sel qui varient de 1500 à 2000 (ppm), dépassant les normes exigées pour une eau potable. Le dessalement de ces eaux ou des eaux de mer par des unités classiques de traitement nécessite beaucoup d'énergie électrique et/ou calorifique. Il s'avère que les régions où l'eau potable est un bien rare et l'énergie électrique nécessaire à la production de l'eau douce à partir d'eau saumâtre et/ou d'eau salée souvent inexistante, soient les zones les plus ensoleillées du globe. Aussi l'homme de ces régions déshéritées pourra pallier aux contraintes de ravitaillement et fourniture énergétiques en s'intéressant à l'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement. Plusieurs types de distillateurs solaires ont été construits et essayés à travers le monde.

L'objectif de ce travail est l'étude théorique et numérique de deux types de distillateurs solaires, le distillateur plan et le distillateur hybride. Nous avons établi les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire dans la résolution a été abordé par une approche numérique basé sur la méthode itérative de Gauss Seidel. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence l'effet de nombreux paramètres physique sur le fonctionnement de distillateur .

Notre intérêt à porté sur l'étude de la variation des caractéristiques thermo physiques et des différents composants du distillateur, ainsi que leurs influences sur la production en eau distillé.

Le mémoire est organisé en cinq chapitres :

- **Le premier chapitre** est consacré au gisement solaire où on a exposé notamment la méthode de détermination du flux solaire incident au distillateur ainsi que les différentes puissances absorbées.
- **Le deuxième chapitre** présente un bref historique sur la distillation solaire, et les principales technologies de dessalement.
- **Le troisième chapitre** est consacré à la recherche bibliographique concernant les nouveaux types de distillateurs solaire et le système photovoltaïque.
- **Le quatrième chapitre** présente la modélisation mathématique et numérique, la méthode d'itération de Gauss Seidel.
- **Le cinquième chapitre** présente l'ensemble des résultats obtenus de la simulation, ainsi quelques interprétations.
- **Enfin** la conclusion et les perspectives

CHAPITRE I

ESTIMATION DE L'IRRADIATION SOLAIRE

CHAPITRE I

ESTIMATION DE L'IRRADIATION SOLAIRE

Ce chapitre est consacré au gisement solaire et la méthode de détermination du flux solaire incident au distillateur ainsi que les différentes puissances absorbées.

Chapitre I

ESTIMATION DE L'IRRADIATION SOLAIRE :

I.1 Introduction :

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

I.1. Le soleil :

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de $2 \cdot 10^{27}$ tonnes [1].

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564,106 tonnes d'hydrogène en 560,106 tonnes d'hélium, la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie ($E=mc^2$), ce qui représente une énergie totale de $36 \cdot 10^{14}$ kw . la terre étant à une distance de $150 \cdot 10^6$ km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de $1,8 \cdot 10^{14}$ kw [1].

La valeur du rayonnement solaire I_c reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne I_0 appelée constante solaire est de l'ordre de $1,356 \text{ kw} \cdot \text{m}^2$. En première approximation, on peut calculer la valeur de I_c en fonction du numéro du jour de l'année n_j par la relation [1, 2, 3] :

$$I_c = I_0(1 + 0.003 \times \cos(0.984 \times n_j)) \quad (\text{I.1})$$

La répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère est illustrée par la figure I.1.

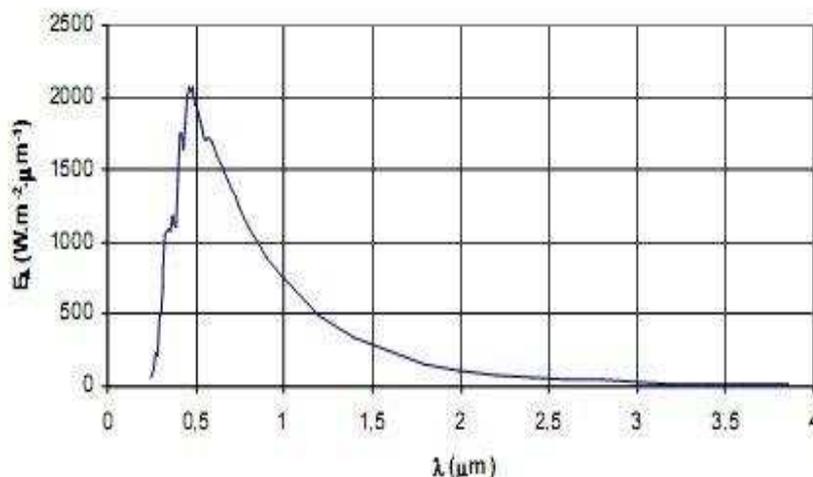


Figure I.1 : Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère

On notera que 98 % du rayonnement solaire est émis dans des longueurs d'ondes inférieures à $4 \mu\text{m}$.

En première approximation, le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777K [4].

I.2. Aspects géométriques du rayonnement solaire

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

I.2.1. Mouvements de la terre

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

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

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

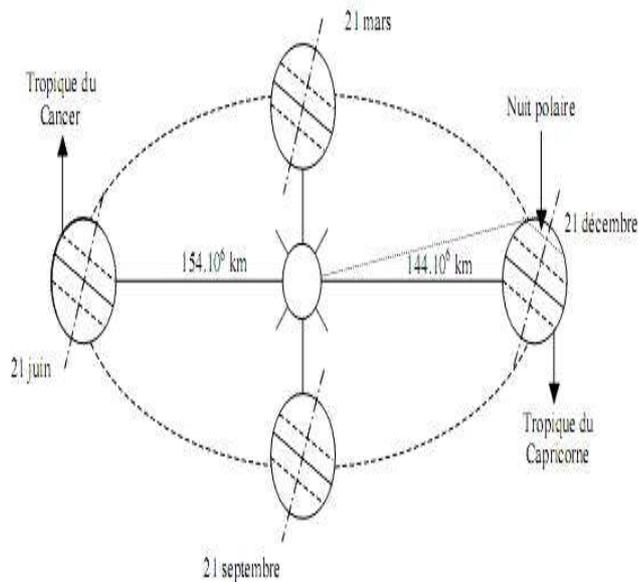


Figure I.2 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil [2]

I.2.2. Les coordonnées célestes

I.2.2.1. Les coordonnées géographiques

Ce sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre, on distingue notamment :

- **la longitude L** : elle est comptée positivement vers l'est et négativement vers l'ouest, à partir du

méridien de **Greenwich** [2,3].

- **la latitude Φ** : permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud [2,3].

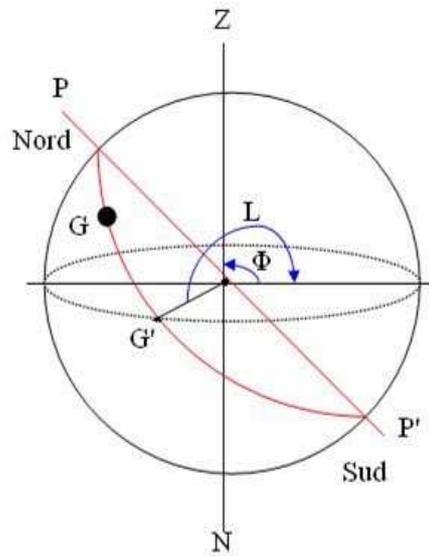


Figure (I.3) : les coordonnées géographiques

I.2.2.2. Les coordonnées horaires

Nous citerons :

- **La déclinaison δ** , qui est l'angle que fait le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de $+23^\circ27'$ à $-23^\circ27'$ et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante [2, 3,5] :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{284+nj}{365} \times 360\right) \quad (I.2)$$

- nj étant le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1^{er} janvier.

Mois	jan	fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Des
Numéro du 1 ^{er} jour de chaque mois dans l'année	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335

Tableau I.1 : Le quantième du jour de l'année

- **L'angle horaire w** , déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Il est compté positivement dans le sens rétrograde de 0° à 360° .

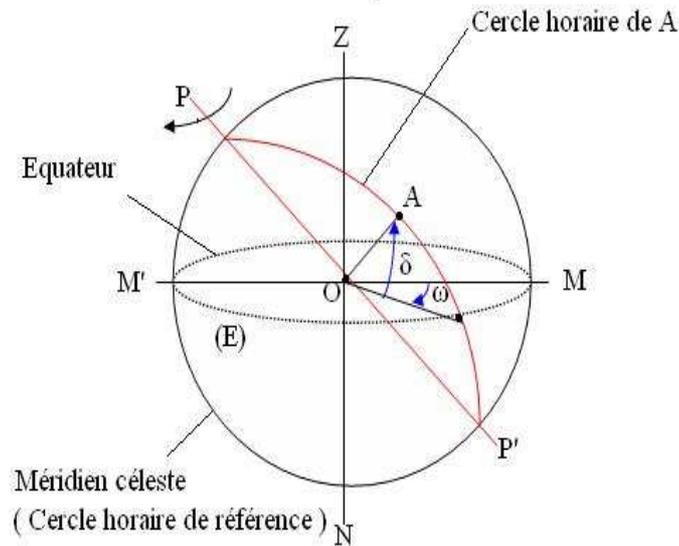


Figure I.4. Les coordonnées horaires

I.2.2.3. Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont [2,3] :

- **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.

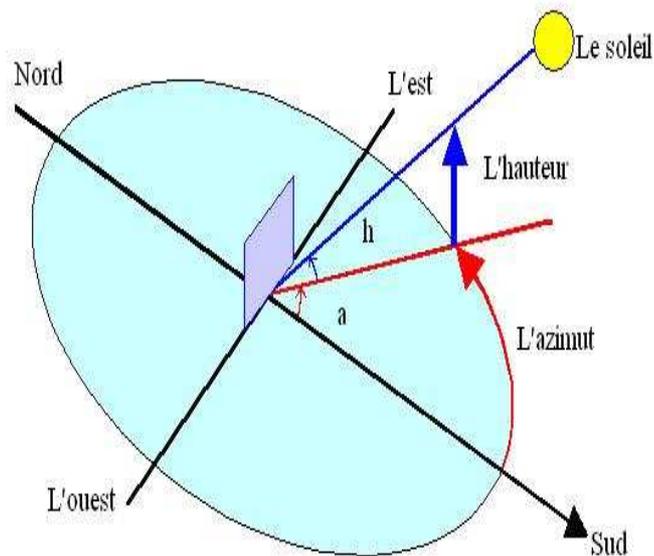


Figure I.5. Les coordonnées horizontales

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

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

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

$$\sin (h) = \cos (\Phi) \times \cos (\delta) \times \cos (w) + \sin (\Phi) \times \sin (\delta) \quad (I.3)$$

I.2.3. Les temps solaires

On distingue :

I.2.3.1. Le temps solaire vrai (T.S.V)

En un instant et à un lieu donné, le temps solaire vrai est l'angle horaire du soleil w . Il est donné par l'expression [2,3] :

$$TSV = 12 + w/15 \quad (I.4)$$

w est exprimé en degré.

Si $w = 0$, $TSV = 12^h .00$

Si $w < 0$, la matinée.

Si $w > 0$, l'après-midi.

I.2.3.2. Le temps solaire moyen (T.S.M)

Il est donné par la relation [2,3] :

$$TSV - TSM = Et \quad (I.5)$$

Et , est l'équation du temps, qui corrige le **T.S.V** par rapport au **T.S.M**, exprimée par la relation [2,3] :

$$Et = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \text{ [min]} \quad (I.6)$$

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

I.2.3.3. Le temps universel (T.U)

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) [2,3] :

$$TU = TSM - L/15 \quad (I.7)$$

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.

I.2.3.4. Le temps légal (TL)

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par [2,3] :

$$TL = TU + \Delta H \quad (I.8)$$

Où :

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

$\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie.

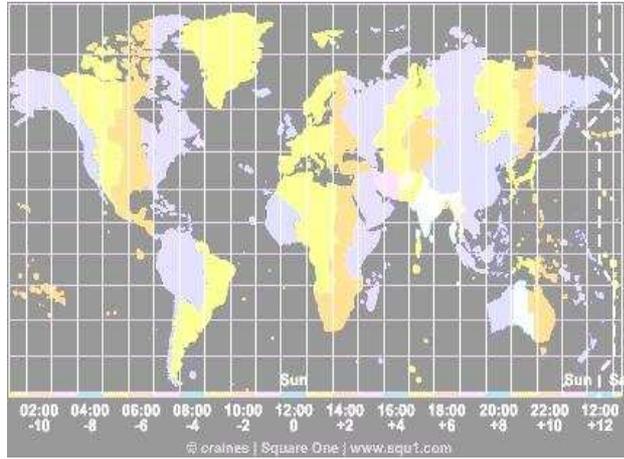


Figure I.6. Fuseau horaire

I.2.4. Direction des rayons solaires :

On considère un plan quelconque caractérisé par deux angles α et γ [2,3] :

α 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.

γ 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) (figure I.7)

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

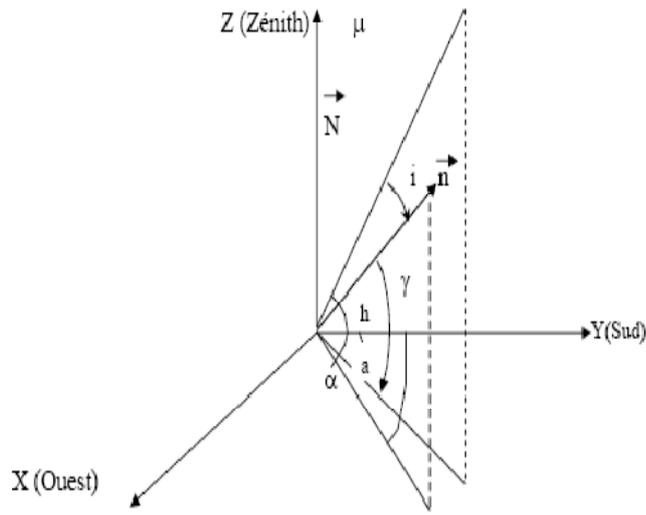


Figure I.7. Représentation des vecteurs unitaires

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

$$\vec{N} \times \vec{n} = \cos(h) \times \sin(a) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + \cos(a) \times \cos(h) \times \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) + \sin(h) \times \sin(\gamma) = \cos(i) \quad (I.8)$$

Par conséquent

$$\cos(h) \cos(a - \alpha) \times \cos(\gamma) + \sin(h) \times \sin(\gamma) = \cos(i) \quad (I.9)$$

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

$$\begin{aligned} \cos(i) = & \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\sin(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) - \cos(\varphi) \\ & \times \sin(\delta) \times \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\cos(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) + \sin(\varphi) \times \sin(\delta)) \times \sin(\gamma) \end{aligned} \quad (I.10)$$

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

L'expression I.10 devient :

· Surfaces horizontales: $y = \pi/2$

$$\cos(i) = \cos(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) + \sin(\varphi) \times \sin(\delta) \quad (I.10 a)$$

· Surfaces verticales : $y = 0$

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

$$\cos(i) = \sin(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) - \cos(\varphi) \times \sin(\delta) \quad (I.10 b)$$

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

$$\cos(i) = \cos(\varphi) \times \sin(\delta) - \sin(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) \quad (I.10 c)$$

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

$$\cos(i) = -\cos(\delta) \sin(\omega) \quad (I.10 d)$$

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

$$\cos (i) = \cos (\delta) \times \sin (w) \quad (\text{I.10 e})$$

· Surface orientée vers le Sud et inclinée d'un angle b par rapport à l'horizontale :

$$\cos (i) = \cos (\delta) \times \cos (w) \times \cos (\varphi - B) + \sin (\delta) \times \sin (\varphi - B) \quad (\text{I.10 f})$$

I.3. Aspects énergétiques du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire subit un certain nombre d'altérations et d'atténuations aléatoires en traversant l'atmosphère; réflexion sur les couches atmosphériques, absorption moléculaire, diffusion moléculaire et par les aérosols (poussière, gouttelettes...) Au niveau du sol, à cause de la diffusion, une partie du rayonnement est diffuse (c'est-à-dire isotrope). L'autre partie, dite directe est anisotrope.[42]

I.3.1. L'atmosphère terrestre

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches de caractéristiques différentes, qui sont :

- La troposphère, entre le sol et 15 Km d'altitude.
- La stratosphère entre 15 et 80 Km d'altitude.
- L'ionosphère entre 80 et 200 Km d'altitude.

Les caractéristiques absorbantes de l'atmosphère sont déterminées par la présence de:

- CO₂ (0.03 %)
- Vapeur d'eau en quantité variable caractérisée par l'épaisseur d'eau condensable qui est

L'épaisseur d'eau que l'on obtiendrait en condensant toute la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère.

- Ozone O₃ située entre 10 et 30 Km d'altitude.
- Aérosols, constitués de grains de sable, poussières, fumées...

La figure I.8 donne la répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre

Avec indication des gaz partiellement opaques qui filtrent selon ce rayonnement selon la longueur d'onde.

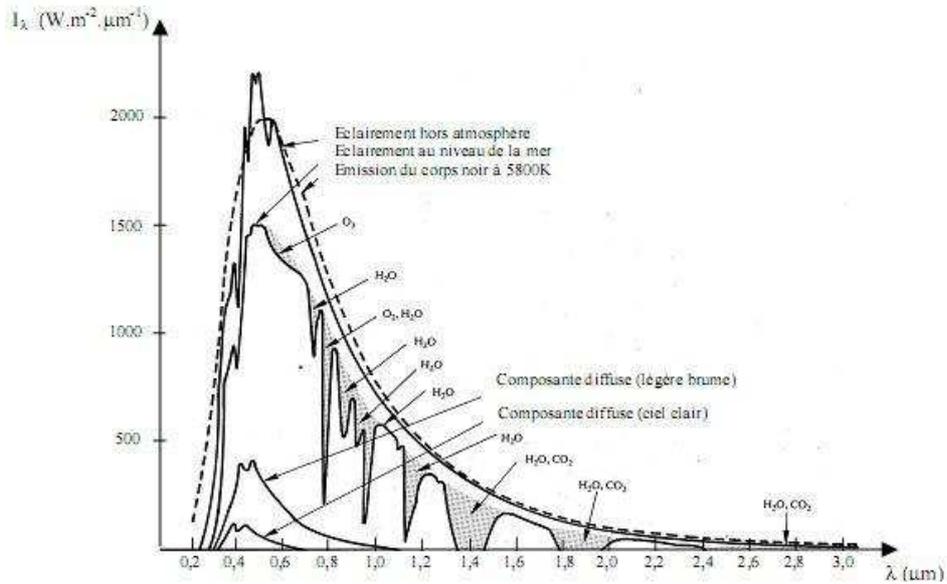


Figure I.8. Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre

I.3.2. Rayonnement du ciel et de l'atmosphère

Les gaz non transparents de l'atmosphère (CO_2 , O_3 , H_2O) émettent vers la terre un rayonnement dans les principales bandes suivantes :

- Ø Vers 14.7 mm pour le CO_2 .
- Ø Entre 5 et 7 mm et entre 14 et 20 mm pour la vapeur d'eau.
- Ø Vers 9.6 mm pour O_3 .

Ainsi et comme le montre la figure I.9, il s'agit d'un rayonnement émis dans les grandes longueurs d'ondes ($> 3\mu\text{m}$) contrairement au rayonnement solaire émis dans des longueurs d'ondes inférieures à $3\mu\text{m}$

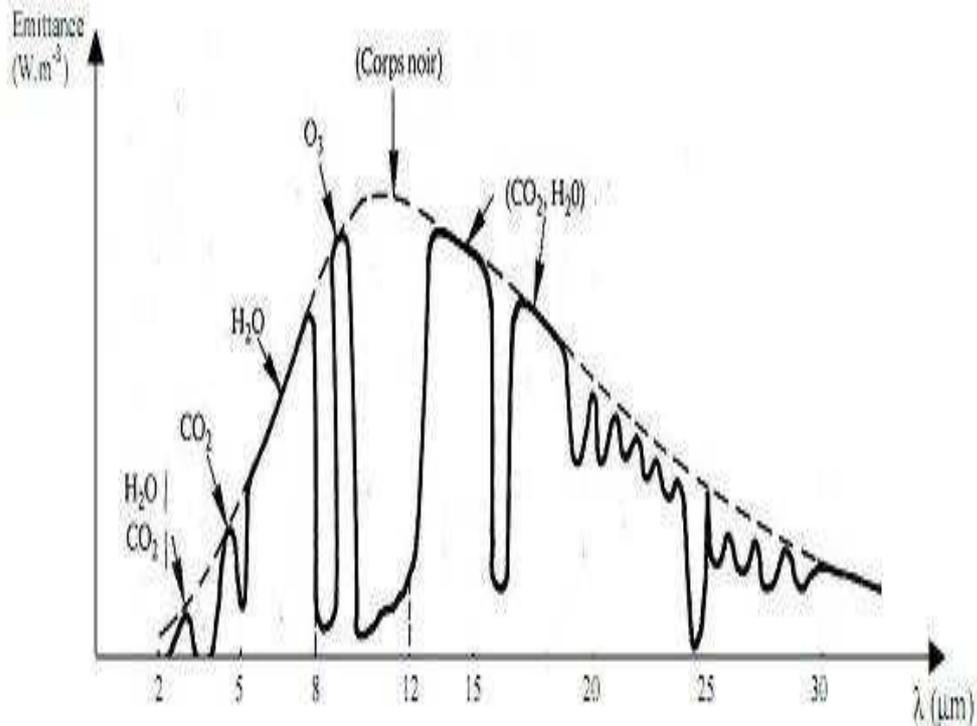


Figure I.9. Spectre du rayonnement atmosphérique

Les rayons	Gamme de longueur d'onde
Rayon X	0.01 à 1A
UV extrême	1 à 100 A
UV éloigné	10 à 100 nm
UV moyen	100 à 200 nm
UV proche	200 à 300 nm
Rayons Gamma	300 à 400 nm
Lumière Visible	400 à 770 nm
IR proche	770 à 2500 nm
IR moyen	2.5 à 30 um
IR éloigné	30 à 300 um
Micro – ondes	0.3 à 100 mm
Radio et télévision	0.1 à 1000m

Tableau I.2 : Spectre électromagnétique

I.3.3. Rayonnement solaire au sol

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit :

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

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

I.3.3.1. Rayonnement direct

L'expression du rayonnement direct pour un plan orienté vers le sud est [2, 3, 5, 6,7]

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

a et **b**, coefficients traduisant les troubles atmosphérique (tableau I.1).

p, la pression atmosphérique en fonction de l'altitude (tableau I.2).

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

Tableau I.3. Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique

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

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

I.3.3.2. 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 émit par la voûte céleste (φ_1), donnée par la relation :

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

– Le flux émis par le sol (φ_2), donné par la relation :

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

Avec

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

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

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

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

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

Tableau I.5. Valeurs de l'albédo du sol (ρ)

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

$$I_d = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (I.16)$$

I.3.3.3. Rayonnement global :

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

$$I_G = I_D + I_d \quad (I.17)$$

I.3.3.4. Puissances absorbées par les différents éléments du distillateur

La fraction solaire, pour les différents composants du distillateur solaire (TIWARI et al 1981) [17] est exprimée par les relations suivantes:

- Fraction du flux solaire absorbé par la vitre

$$\alpha'g = (1 - Rg) \times \alpha g \quad (I.18)$$

-Fraction du flux solaire absorbé par la saumure :

$$\alpha w = \alpha w \times (1 - Rg) \times (1 - \alpha g) \times (1 - R w) \quad (I.19)$$

Fraction solaire absorbé par l'absorbeur

$$\alpha b = \alpha b \times (1 - Rg) \times (1 - \alpha g) \times (1 - \alpha w) \times (1 - R w) \quad (I.20)$$

Les coefficients d'absorption et sont données dans le tableau suivant :

Composant	Réflexion (%)	Absorption(%)	Transmission(%)
Vitre	5	5	90
Nappe d'eau	2	30	68
Fond de distillateur	5	95	0

Tableau I.6. Proportions du flux solaire incident au niveau de différentes parties du distillateur

I.4.- L'albédo

En réalité la terre n'est pas un corps noir, une partie du rayonnement solaire incident est réfléchi par l'atmosphère (principalement par les nuages) et par le sol terrestre. Cette quantité est appelée le flux d'albédo. On définit généralement l'albédo comme étant le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incidente.

On utilise une échelle graduée de 0 à 1, correspondant respectivement au noir, pour un corps avec aucune réflexion, et au miroir parfait, pour un corps qui diffuse dans toutes les directions et sans absorption de tout le rayonnement visible qu'il reçoit. Le tableau I.4 regroupe les valeurs d'albédos pour différentes surfaces :

Nature de sol	Albédo
Surface de lac	0.02 à 0.04
Foret de conifères	0.05 à 0.15
Foret tropicale	0.12
Herbe verte	0.25
Sable léger et sec	0.25 à 0.45
Sol sombre	0.05 à 0.15
Glace	0.30 à 0.40
Mer chaude	0.05
Mer froide	0.15
Neige tassée	0.60
Neige fraîche	0.85
Nuage	0.86
Verre à vitres	0.10

Tableau I.7. L'albédo des différentes soles

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié le rayonnement solaire et ses composantes, les données astronomiques nécessaires pour déterminer l'énergie thermique et photovoltaïque ainsi que les puissances absorbées par le distillateur.

CHAPITRE II

LA DISTILLATION SOLAIRE

CHAPITRE II

LA DISTILLATION SOLAIRE

-Ce chapitre présente un bref historique sur la distillation solaire, et les principales technologies de dessalement.

CHAPITRE II

LA DISTILLATION SOLAIRE

Introduction :

La distillation constitue aujourd'hui 70% des usines de dessalement dans le monde .Elle devient un facteur important de développement et de civilisation. Dans ce qui suit, les différentes techniques de dessalements seront exposées.

II.1. Historique :

L'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement de l'eau a été envisagée dès 1872 dans le nord du Chili, par l'ingénieur suédois Carlos Wilson [8]. Il permettait de fournir de l'eau potable aux animaux de trait à partir de l'eau salée de la mer [8]. Ce système ne fonctionna que jusqu'en 1910 à cause de l'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur. La distillation solaire connut une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires; il en résulta l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné...etc.) [8].

Une installation due à Ginistous groupant 30 appareils de 1 m² fut réalisée et exploitée à Bengardane en Tunisie en 1929. Au début des années 30, Trifinov proposa un distillateur incliné; en 1938 Abbot utilisa des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire, le tout est acheminé dans des tubes contenant de l'eau[8] .

Maria Telks inventa en 1945 un nouveau type de distillateur solaire de forme sphérique, qui fut utilisé par la marine américaine; un grand nombre de ce modèle, environ 2000 a été utilisé pendant la 2^{ème} guerre mondiale. 1969, Cooper proposa une simulation pour analyser les performances d'un distillateur solaire type serre. Depuis les années 70, plusieurs autres types de distillateurs ont été élaborés et étudiés, parmi lesquels, nous pouvons, sans être exhaustif citer :

- Ø Le distillateur à effet multiple (Oltra, 1972; Bartali, 1976) [9]
- Ø Le plateau incliné ou le distillateur solaire incliné (Howa, 1961 Akhtamov et al, 1978) [10]
- Ø Le distillateur solaire type mèche inclinée ou type multiple mèches (Frick et Somerfeld 1973; Soda et al; 1980; Moustafa 1979)
- Ø Combinaison du distillateur solaire à effet de serre (Salcuk, 1970, 1971; Sodha et al, 1980)
- Ø Distillateur solaire chauffé indirectement (Soliman 1976; Malik et al 1973, 1978, Sodha et al 1981)

II.2- Les principales technologies de dessalement des eaux

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

II.2.1- Les procédés utilisant des membranes

Deux catégories :

II.2.1.1- L'osmose inverse :

L'osmose inverse (figure II.1) est un procédé de séparation de l'eau des sels dissouts au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et s'opposent au passage des sels dissouts et des molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée, c'est le phénomène d'osmose inverse [9]. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement électrique consommée principalement par les pompes haute pression. La teneur en sels de l'eau osmose est de l'ordre de 0,5 g/l. [36]

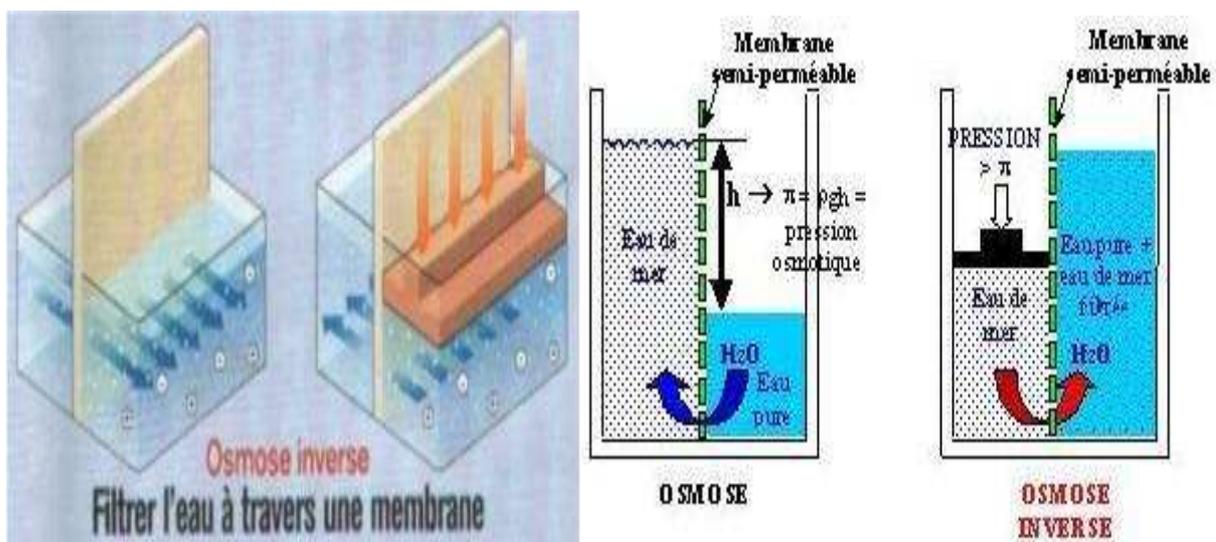


Figure II.1- Procédé de L'osmose inverse

Le gros intérêt de l'osmose inverse est la possibilité de pouvoir construire des stations pouvant produire de l'eau potable de $0,5 \text{ m}^3/\text{jour}$ à $120 \text{ m}^3/\text{jour}$, la qualité de l'eau est très supérieure car la membrane

permet de rejeter entre 90 et 99 % des éléments contenus dans l'eau, selon leur nature. Le chlore, les composés azotés, les parasites et les bactéries sont éliminés, ainsi que les virus (soit la plus petite entité vivante) et même la radioactivité.

L'eau peut ainsi être utilisée pour la consommation, l'irrigation, l'utilisation domestique, industrielle, l'élevage ou la production de glace pour la pêche.

II.2.1.2- L électrodialyse :

Ce procédé consiste à éliminer les sels dans les eaux saumâtres par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. Les membranes anodiques et cathodiques placées intercalées laissent passer respectivement les anions Cl^- et les cations Na^+ . Dans l'électrodialyse, des membranes filtrantes imperméables pour les cations ou pour les anions, sont interposées alternativement entre les électrodes (figure II.2). La membrane qui laisse passer les cations a la propriété d'arrêter les anions

celle qui est imperméable aux anions oppose évidemment une barrière aux cations. Ainsi, des cellules où l'eau contient une concentration de sel alternent avec d'autres où l'eau a été déminéralisée. L'énergie consommée par ce procédé est directement proportionnelle à la salinité de l'eau. Ce procédé étant un grand consommateur d'énergie, il ne peut s'appliquer que pour les eaux saumâtres de très faible salinité (concentration en sel inférieure à 10 g/l). L'eau de mer n'est donc pas susceptible d'être traitée à grande échelle de cette façon. [36]

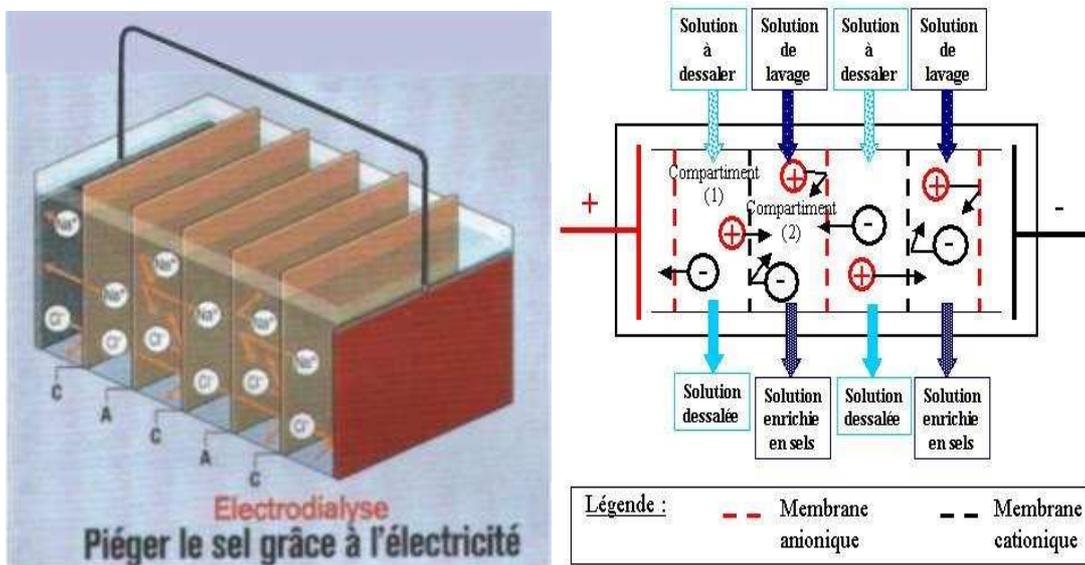


Figure II.2 - L électrodialyse

L'inconvénient majeur de ces systèmes est leur coût. Ces installations sont peu rentables

II.3.2- Les procédés thermiques

Ces procédés font intervenir un changement de phases [40]. Plusieurs techniques sont utilisées, parmi lesquelles nous avons :

II.3.2.1- Le dessalement sous vide :

L'eau de mer récupérée est refroidie par les échangeurs de chaleur, puis elle pénètre dans le compartiment inférieur du convertisseur, où la pompe entretient un vide (figure II.3). Il se produit ainsi à la fois une ébullition et une formation de cristaux de glace.

La vapeur s'échappe et les cristaux sont entraînés jusqu'au laveur, où de l'eau douce les rince. La saumure est en partie recyclée, le reste étant rejetée. Le groupe frigorifique entretient la basse température du laveur, d'où les cristaux de glace passent au convertisseur pour y être fondus par la chaleur de condensation de la vapeur de l'eau douce à 0°C. [37]

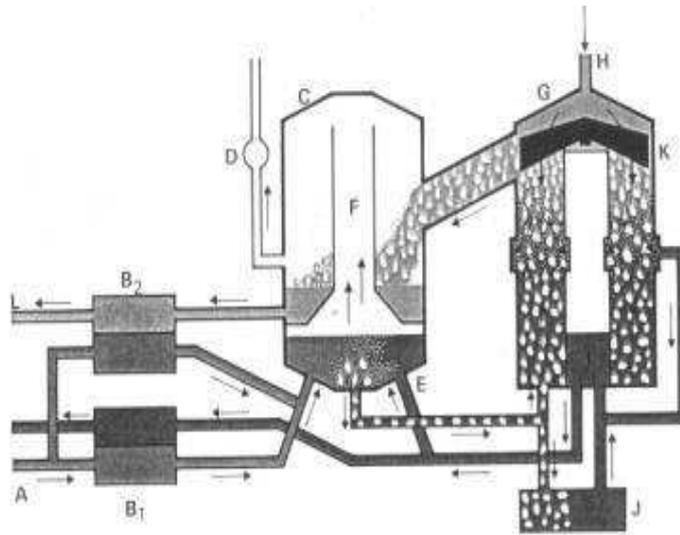


Figure II.3- Dessalement sous vide

II.3.2.2- Le dessalement par congélation :

Le principe du procédé de congélation sous vide est assez simple. Lorsque on fait geler de l'eau salée, les cristaux qui se forment consistent en de la glace pratiquement pure, le sel étant chassé de l'eau lors de la cristallisation et forme une saumure à la surface du cristal. Ce procédé de congélation sous vide pour le dessalement de l'eau entraîne un phénomène trop onéreux du point de vue commercial, d'abord, la congélation de l'eau salée, puis le lavage des cristaux et enfin la fusion pour obtenir de l'eau douce. Dans la pratique, les choses sont un peu plus compliquées. [41]

Une autre méthode fondée sur la congélation est celle du réfrigérant secondaire, dans laquelle le transfert de chaleur est obtenu par l'emploi de butane ou d'un autre hydrocarbure liquide non miscible dans l'eau. Le mélange de butane et de l'eau de mer passe par un échangeur de chaleur où l'échauffement fait bouillir le butane, ce qui entraîne la congélation de l'eau dans la saumure. Les cristaux de glace sont lavés, séparés et finalement fondus, moyennant l'échange de chaleur avec la vapeur de butane préalablement comprimée.

L'inconvénient de ces procédés est leur impact sur l'environnement. En effet pour produire 1 litre d'eau douce, ce sont deux litres d'eau fortement concentrés en sel qui sont rejetés dans la mer ou injectés dans les sols, pour ces derniers, le risque d'augmenter la salinité des nappes.

II.3.2.3- Les procédés de distillation :

Dans ces procédés, il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de la condenser pour obtenir de l'eau douce liquide. Plusieurs procédés de distillation sont utilisés, parmi lesquels :

II.3.2.3.1- Distillation par longs tubes verticaux

Le flux d'eau de mer entre dans les tubes verticaux et bout (figure II.4). La vapeur sert de source de la chaleur pour le niveau inférieur. Seul le premier niveau est alimenté en vapeur spécialement produite. A la fin du procédé, la vapeur se condense sur les tubes et l'eau douce peut ainsi être collectée.

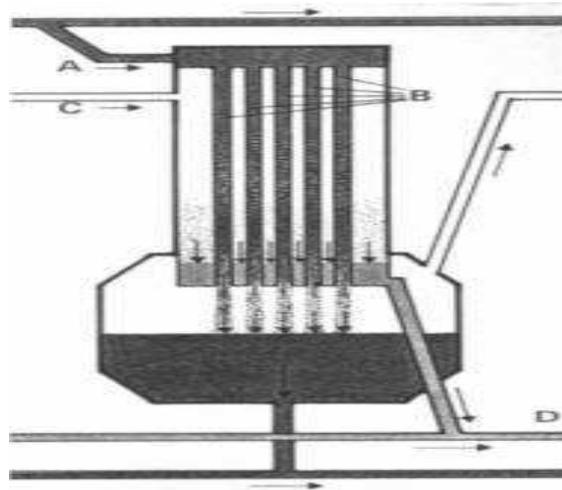


Figure II.4- Distillation par longs tubes verticaux.

II.3.2.3.2- Distillation par compression de vapeur

Le mélange eau de mer et de saumure est introduit par la pompe autour des tubes du condenseur (figure II.5). Le compresseur injecte dans la chambre de la vapeur d'eau qui évapore de l'eau salée ce qui entretient la masse de vapeur brassée par le compresseur. Cette technique sous pression, permet de générer en permanence de la vapeur qui vient se condenser dans les tubes. [36]

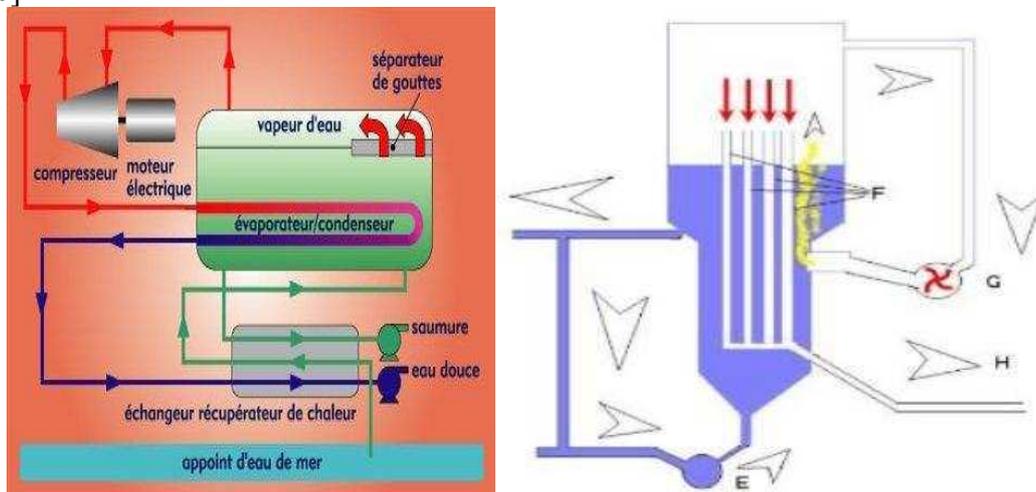


Figure II.5- Distillation par compression de vapeur.

II.3.2.3.3- Distillation à évaporation-éclair

Les serpentins condenseurs sont alimentés par la saumure sous pression. Elle est réchauffée dans l'échangeur et, revenant en sens contraire, subit l'évaporation-éclair, la vapeur se condensant sur les serpentins est collectée (figure II.6). La pression et la température des étages suivent un gradient vertical, diminuant de droite à gauche. La saumure restante regagne les condenseurs alimentés en eau de mer, puis elle est diluée par le flux d'eau entrant de la mer. Une partie du mélange est rejeté; le reste subissant le nouveau cycle de procédé est décrit ci-dessus.

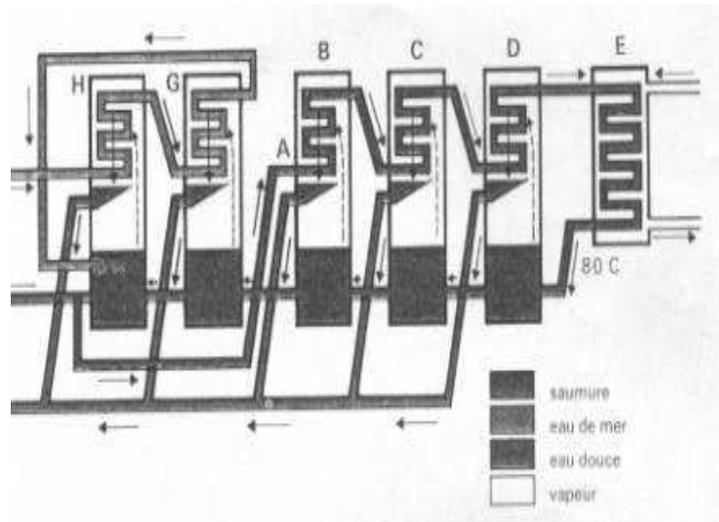


Figure II.6- Distillation à évaporation

II.3.2.3.4- Distillation à détonées étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)

Ce procédé dit "Flash" (figure II.7) consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore, puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré.

Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détonées successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle [36].

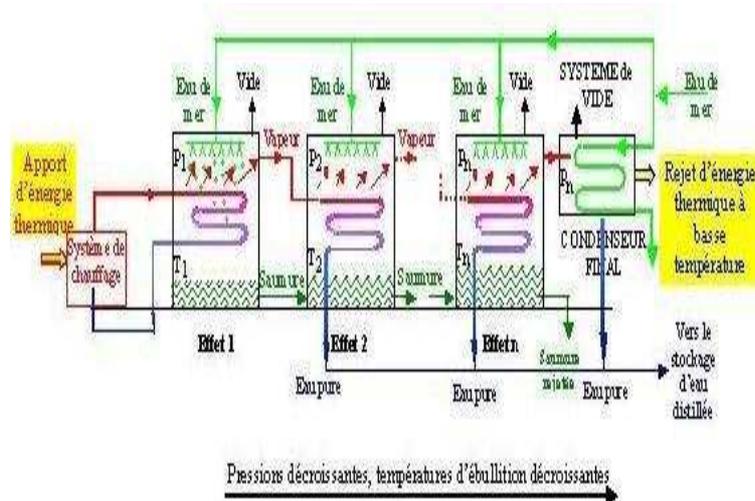


Figure II.7- Principe de fonctionnement d'un système par détonées successives (MSF) à 3 étages.

L'avantage principal du procédé MSF est que l'évaporation de l'eau de mer ne se produit pas autour des tubes de chauffe puisque le liquide « flashe » ceci limite les risques d'entartrage.

II.3.2.3.5- Distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED)

Le plus ancien évaporateur multiples effets a été breveté il y a plus de 80 ans, ce procédé (figure II.8) est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80 °C.

L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1^{er} effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite. Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite) [36].

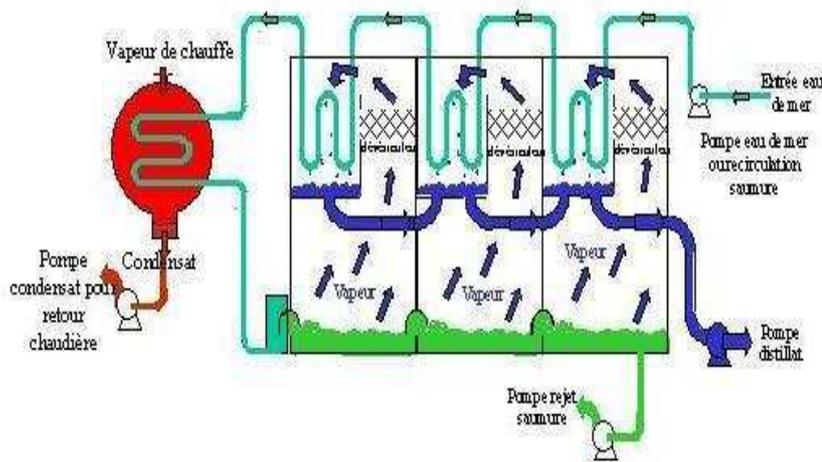


Figure II.8- Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer 1 kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100 °C). Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mise au point.

II.4. Principe de la distillation solaire

Les distillateurs solaires utilisent tous le même principe de fonctionnement; néanmoins, ils peuvent différer les uns des autres en conception et en matériau. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre [8].

Le distillateur solaire est un bassin isolé à parois adiabatiques dont le fond noirci contient une quantité

d'eau, il est coiffé d'un couvercle transparent, généralement du verre.

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

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

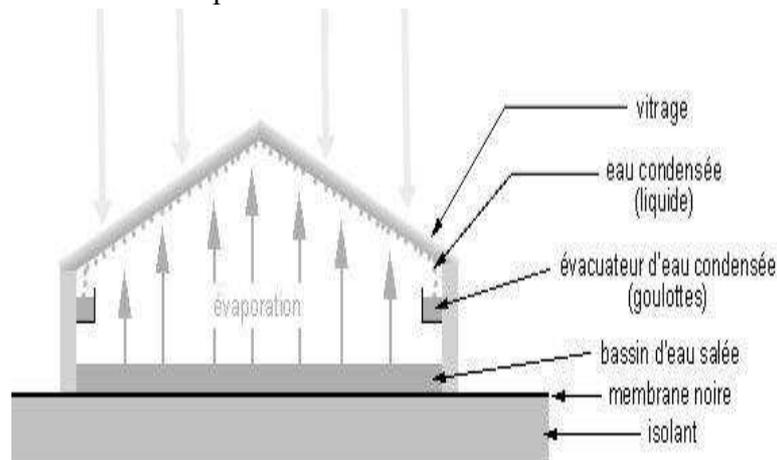


Figure II.9. Distillateur solaire

II.4.1 Les différents types de distillateurs :

II.4.1.1. Distillateur à simple effet :

C'est un distillateur à un seul évaporateur, le plus connu est le distillateur type bassin [8]. Il existe plusieurs modèles de ce type.

II.4.1.2. distillateur à pente unique

Le distillateur à pente unique incliné d'un angle.

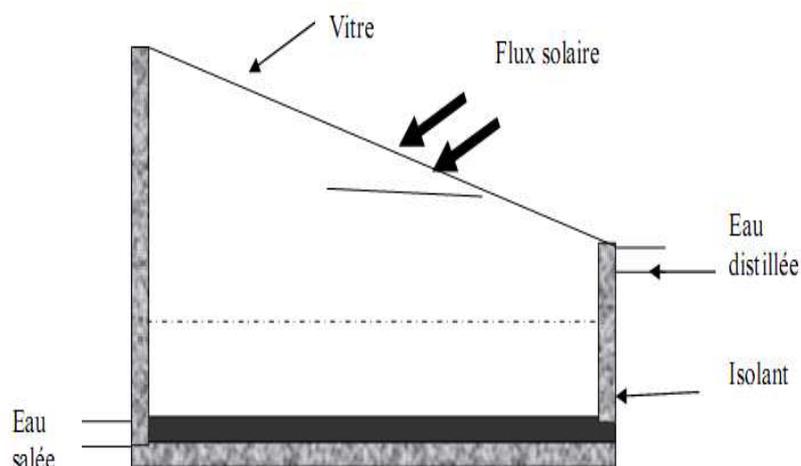


Figure II.10. Distillateur a pente unique

II.4.1.3. distillateur solaire à double pente

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

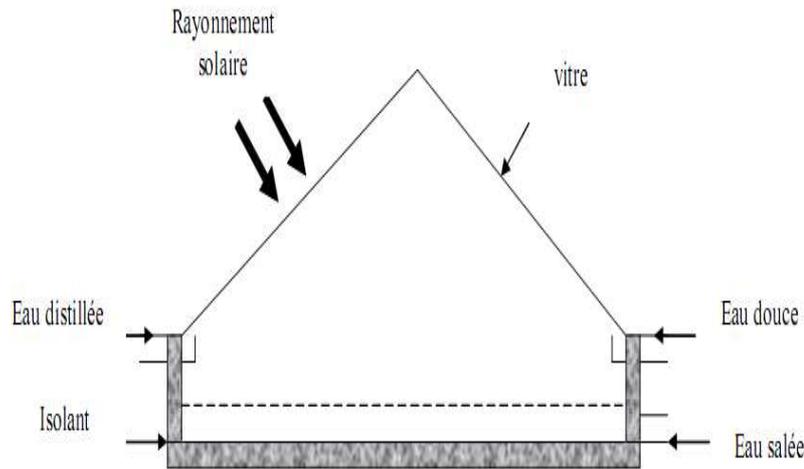


Figure II.11. Distillateur à double pente unique

II.4.1.4. distillateur solaire terre- eau

C'est un distillateur contenu dans le sol. Il est similaire au distillateur à doubles pentes, sauf que le sol remplace le bassin noir.

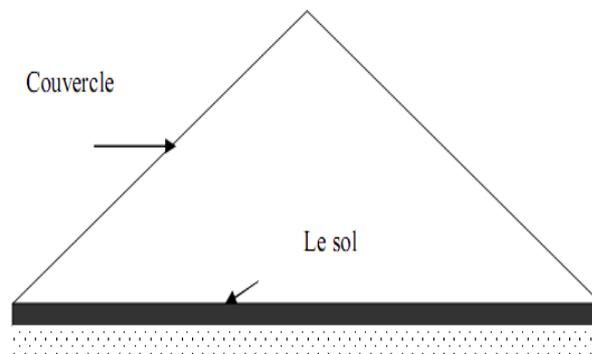


Figure II.12. Distillateur solaire terre- eau

II.4.1.5. distillateur sphérique à balayage

C'est un distillateur en plexiglas ou autres matériaux plastique transparents reposant sur des supports, il est essentiellement constitué par trois parties, une demi-sphère supérieure qui sert à transmettre le rayonnement solaire d'une part ; et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi sphère inférieure qui sert à récupérer le distillat, un bac horizontal en métal noir contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian de la sphère. [39]

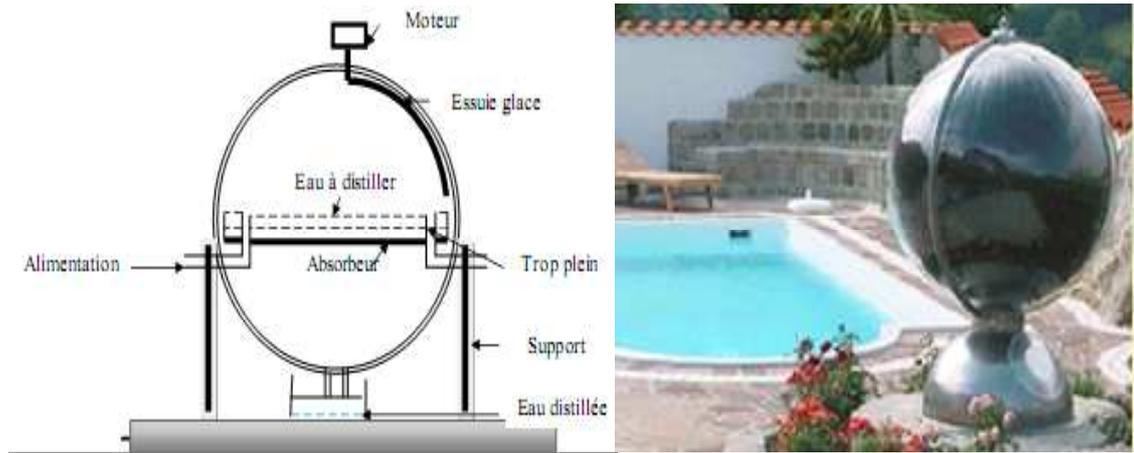


Figure II.13. Distillateur solaire sphérique à balayage

II.4.1.6. Distillateur solaire à film capillaire

Le distillateur solaire à film capillaire se compose comme suit :

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

Ce distillateur est composé des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l'alimentation. La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture.

La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l'évaporation du film qui ruisselle sur l'autre face de cette même paroi

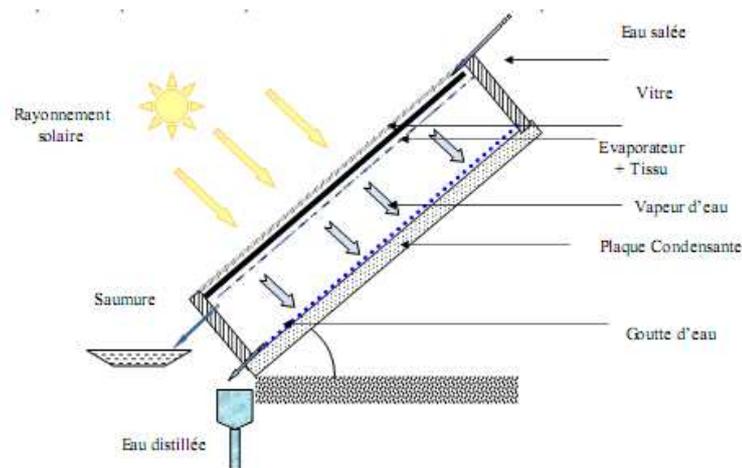


Figure II.14. Distillateur à film capillaire avec seul étage

II.4.2.1. Distillateurs à multi effets

Le distillateur solaire à multi effets est constitué de plusieurs évaporateurs placés en série et opérant à des pressions décroissantes; l'effet de tête et l'effet de queue. Dans ce qui suit, nous allons décrire brièvement la conception et le fonctionnement de quelques uns [8].

II.4.2.2. Distillateur à diffusion

Cet appareil se compose principalement de deux parties, un réservoir de stockage relié à un capteur et une série de plaques métalliques parallèles et verticales. L'eau chaude provenant du réservoir de stockage échauffe la première plaque et provoque l'évaporation de l'eau qui coule sur le côté droit de celle-ci, la vapeur d'eau produite se condense sur le côté gauche de la deuxième plaque, la chaleur de condensation libérée servira à évaporer l'eau qui coule sur le côté droit de la deuxième plaque et ainsi de suite jusqu'à la dernière plaque où la chaleur de condensation va contribuer au préchauffage de l'eau salée D'alimentation [8].

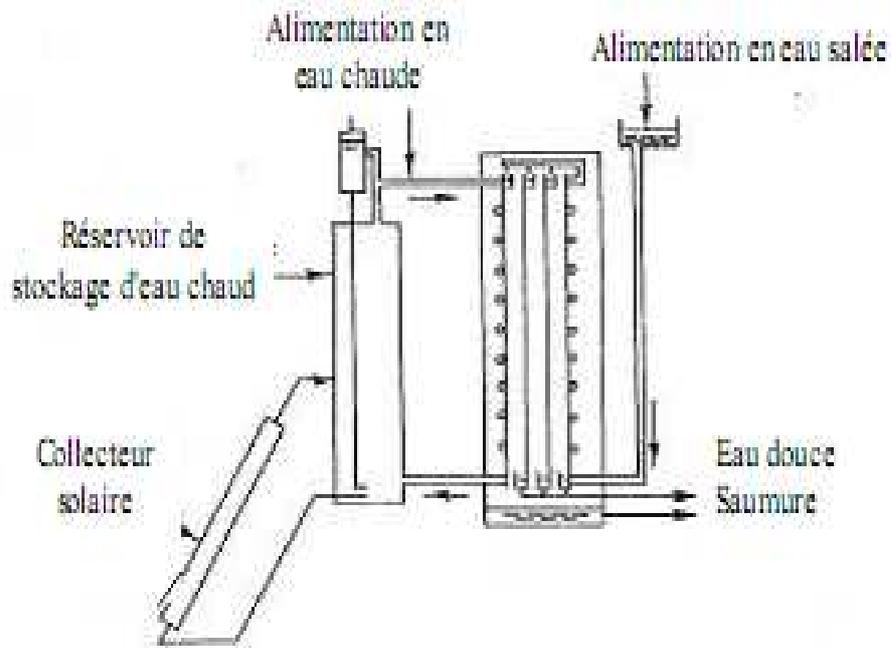


Figure II.15. Distillateur à diffusion

II.4.2.3. Distillateur solaire à cheminée :

Ce distillateur se différencie des autres distillateurs conventionnels par l'adjonction d'une cheminée Dans laquelle se trouve un échangeur de chaleur, le conduit plan couvert d'une vitre sert à capter l'énergie solaire [8].

Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau saumâtre qui coule dans le conduit s'évapore et monte dans la cheminée où elle se condense, la chaleur de condensation peut être utilisée pour le préchauffage de l'eau entrant dans le système [8].

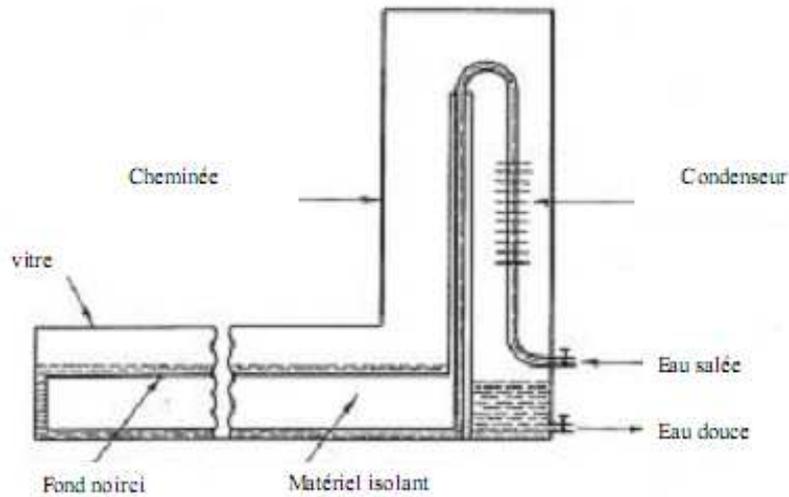


Figure II.16. Distillateur à cheminée

II.4.2.4. Distillateur à mèche évaporant :

Ce distillateur a été construit pour économiser la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation. L'évaporateur est constitué par la juxtaposition de trois plaques parallèles légèrement espacées. L'eau à distiller passe dans la première enceinte et arrive au capteur où elle s'échauffe puis s'évapore dans une deuxième enceinte, la condensation s'effectue sur la face inférieure du milieu.

Les deux dernières plaques sont munies d'un grillage qui augmente l'échauffement et uniformise l'écoulement de l'eau.

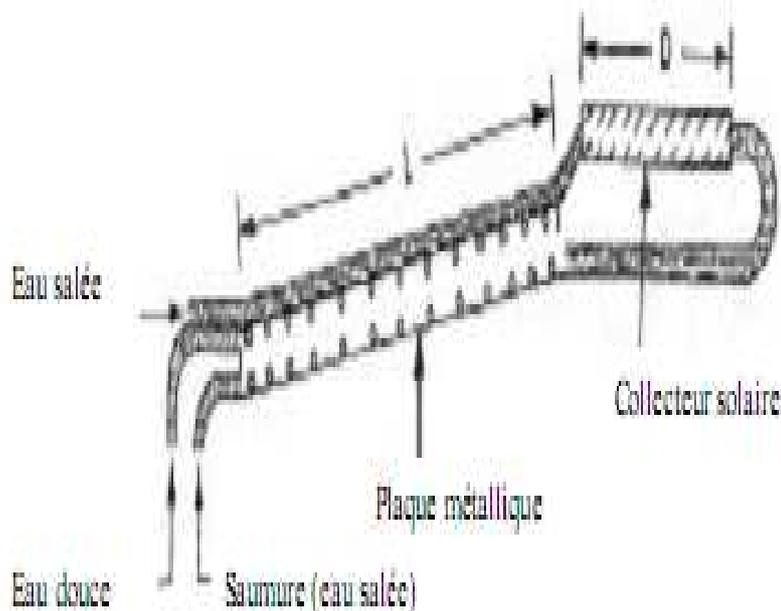


Figure II.17. Distillateur à mèche évaporant

II.5- Le système couplé distillateur plan-capteur

II.5.1- Description du système couplé distillateur plan -capteur

Dans cette installation (figure IV.1), le distillateur plan est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre. La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer). Sous l'action du flux solaire G , transmis par la couverture transparente, l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci s'évapore. La vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensât est récupéré par un récepteur. Un appoint d'eau compense le débit de distillat. Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur, les parois latérales et inférieures sont isolées. Le distillateur est raccordé par des tubes au capteur solaire plan à circulation de liquide caloporteur (eau) constitué d'un absorbeur avec un tube en cuivre en forme de serpentin, une couverture transparente en verre trempé et un coffre isolé par de la laine de verre ; le système fonctionne en thermosiphon.[12]

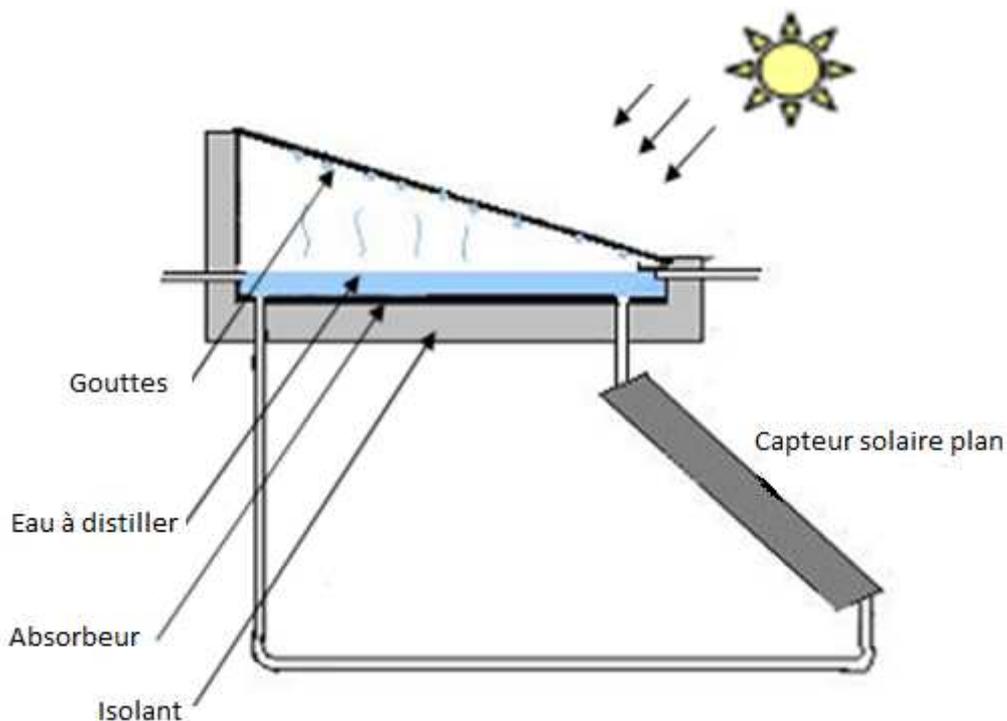


Figure II .1 8 Distillateur plan capteur

II.5.2- Description du système couplé distillateur hot box -capteur

Dans cette deuxième installation (figure IV.2) le distillateur plan est remplacé par un distillateur hot box. Ce type de distillateur est constitué d'un bac en fibre de verre, la partie supérieure du bac est surmontée par deux vitres ordinaires formant un toit en V inversé, inclinées par rapport à l'horizontale et fixées aux rebords du bac par de la mastic silicone, qui assure l'étanchéité extérieure et intérieure du distillateur. Le capteur a été étudié précédemment notre intérêt portera dans cette partie uniquement sur le distillateur hot box.

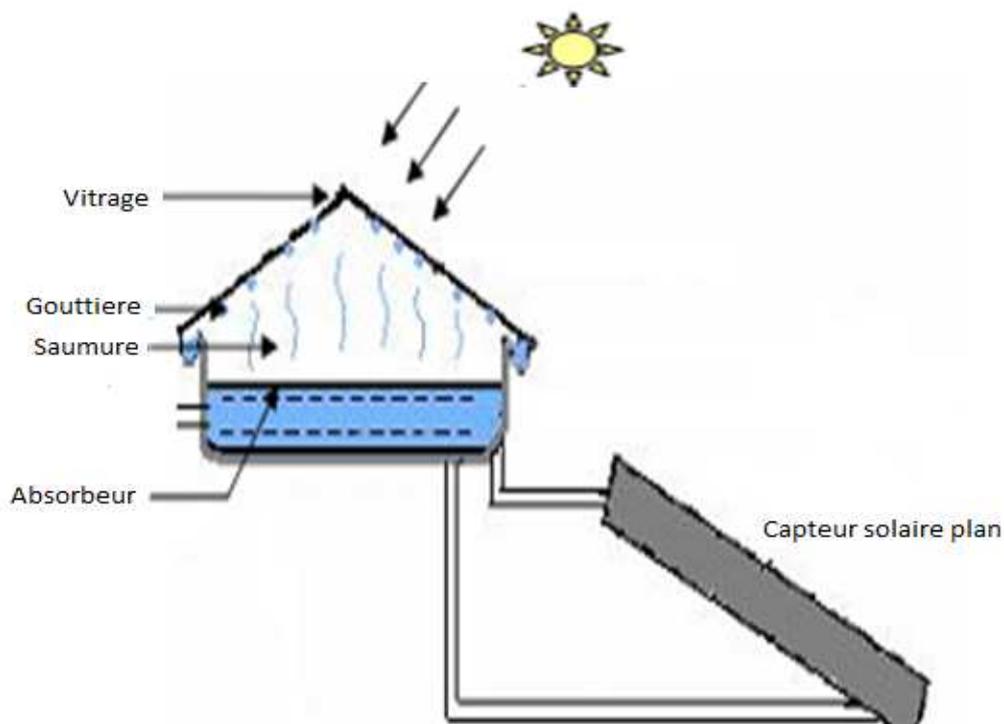


Figure II.19. Distillateur hot box -capteur

II.5.3. Distillateur solaire à étages multiples avec récupération de chaleur

Seul, le bassin inférieur est alimenté en énergie thermique (figure I.9). Lorsque l'eau de ce bassin est réchauffée, elle s'évapore et se condense la surface inférieure du bassin conique situé au-dessus.

Il y a une formation de gouttes d'eau qui s'écoulent vers une gouttière qui les conduit au stockage. A la condensation de la vapeur d'eau, l'énergie de conversion de phase, appelée aussi l'enthalpie d'évaporation, est libérée. Cette énergie réchauffe l'eau contenue dans l'étage supérieur qui s'évapore son tour et se condense la surface inférieure de l'étage suivant et ainsi de suite..

De cette manière, l'énergie, prévue pour réchauffer l'eau du bassin inférieur, est récupérée, du moins en grande partie, pour être plusieurs fois utilisée.

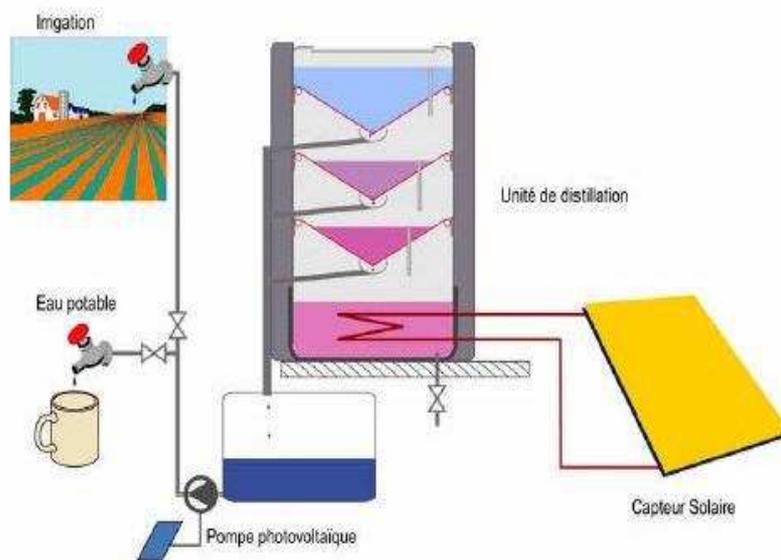


Figure II.20 - distillateur solaire à étages multiples

Ce processus de récupération de chaleur a un effet multiplicateur sur la production d'eau potable. Le remplissage du distillateur s'effectue partir du dernier étage, le système est alimenté en eau saline à un débit deux fois plus élevé que celui de l'eau évapore.

Cette quantité d'eau injecte continuellement à travers les tuyaux de débordement a pour but :

- de compenser la quantité d'eau évapore,
- d'éviter une accumulation des sels dans les bassins et de contribuer à conserver les gradients de température entre les étages.

Le circuit entre le capteur solaire l'unit de distillation fonctionne en thermosiphon ; il n'y a donc pas de pompe nécessitant une source d'énergie supplémentaire. Pour éviter une surpression, une huile végétale est utilisée comme fluide caloporteur car la température peut dépasser les 100°C [38].

II.5.4. Distillateur solaire incliné à cascades

Cet appareil présente deux avantages, la lame d'eau est tr s faible et l'orientation par rapport au rayonnement incident se rapproche davantage de l'optimum. Un modèle de ce type, représenté sur la figure I.7, n'a été exécuté qu'en petite taille. Ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux [29].

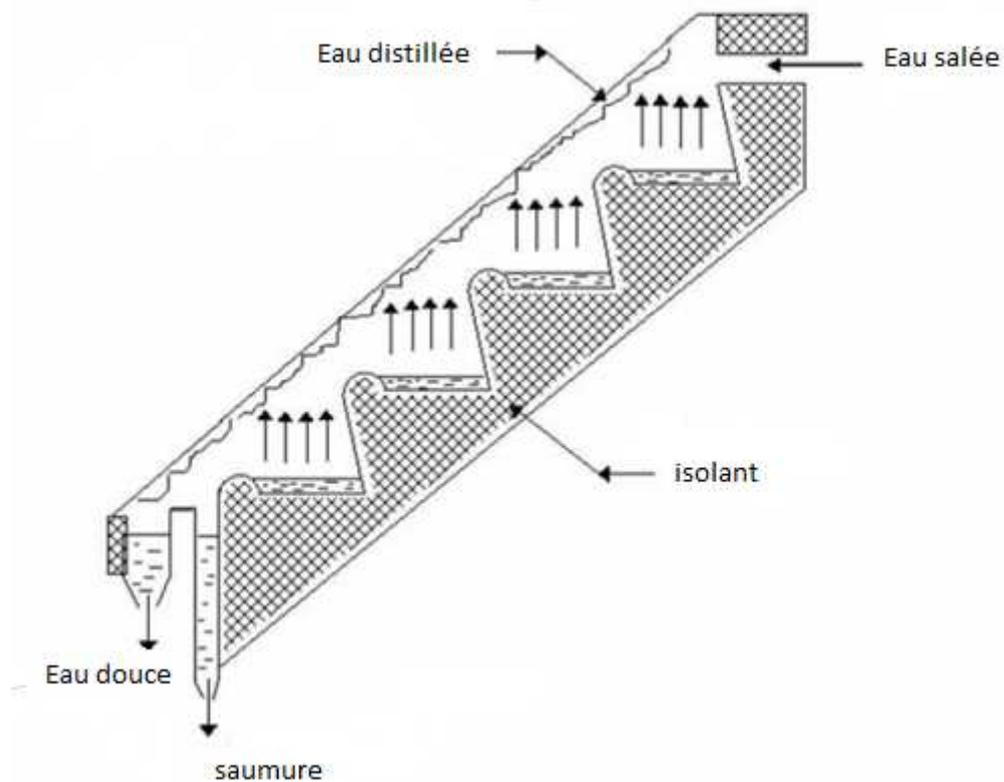


Figure II.21-Distillateur incliné à cascades (ou à marches)

Conclusion :

Toutes les techniques de distillation exigent de gros investissements que la plus part des pays en voie de développement ne peuvent supporter. Quelque soit le procédé de dessalement utilise une quantité d'énergie minimale. Donc la technique qui n'exige pas une énergie et probablement la mieux connue est la distillation solaire.

CHAPITRE III

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE III

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUES

Ce chapitre est consacré à la recherche bibliographique concernant les nouveaux types de distillateurs solaire et le système photovoltaïque.

Chapitre III

Introduction :

La distillation de l'eau saumâtre ou de l'eau de mer, par la voie solaire revêt une importance et ce pour deux raisons : nécessité d'économie de l'énergie et souci de procurer des nouvelles ressources en eau douce.

Pour atteindre ce but, nous avons illustré des nouvelles recherches de dessalement solaire dans ce qui suit.

III.1. Distillateur solaire parabolique :

Dessalement des eaux saumâtres au moyen d'un parabolique concentrateur solaire :

Le dispositif est composé d'un collecteur solaire parabolique. Qui concentre l'énergie vers l'absorbeur (antenne parabolique) et d'un condenseur de vapeur (figure III.1).

La conversion thermique de l'énergie solaire par un concentrateur parabolique solaire permet d'atteindre de hautes températures en mesure de faire bouillir l'eau avec des pressions supérieures ou égales à celle atmosphérique. [49]

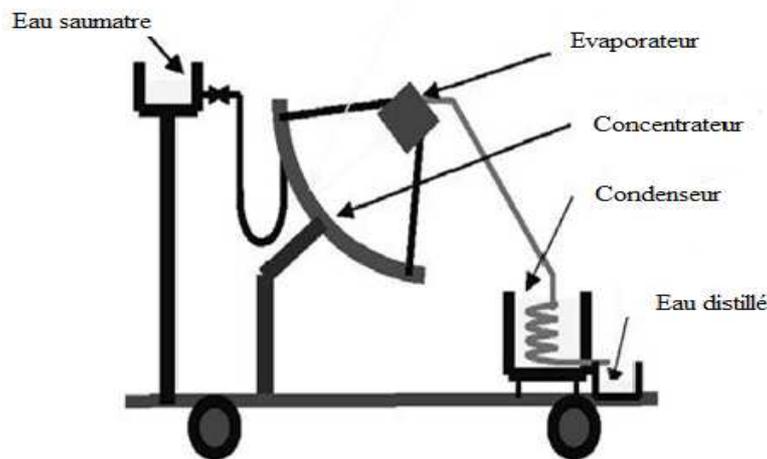


Figure III.1.a. Distillateur à concentrateur parabolique

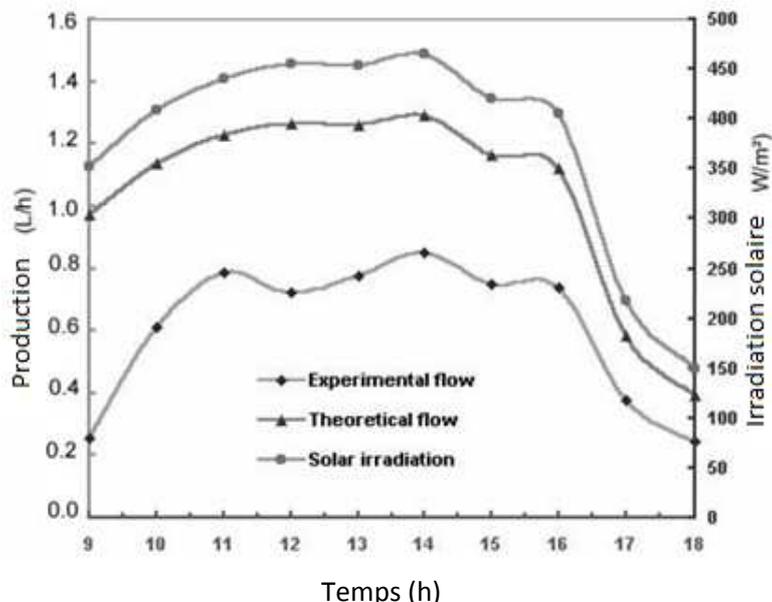


Figure III.1.b. Variation temporelle de distilla et l'irradiation solaire

III.1.2 Distillateur solaire à des miroirs :

L'intensité de l'énergie solaire a été concentrée par des moyens de miroir concave, qui reflète les rayons du soleil à la mise au point de la partie concave, le modèle expérimental est constitué d'elliptique. Un condenseur a été utilisé pour condenser la sortie de vapeur. Les résultats expérimentaux ont montré une amélioration significative de la productivité des eaux dessalées, environ 30% par rapport aux autres distillateurs solaires thermiques. En outre, l'augmentation du rapport de performance est d'environ 900% de plus que les systèmes de dessalement de toit de type solaire. [50]

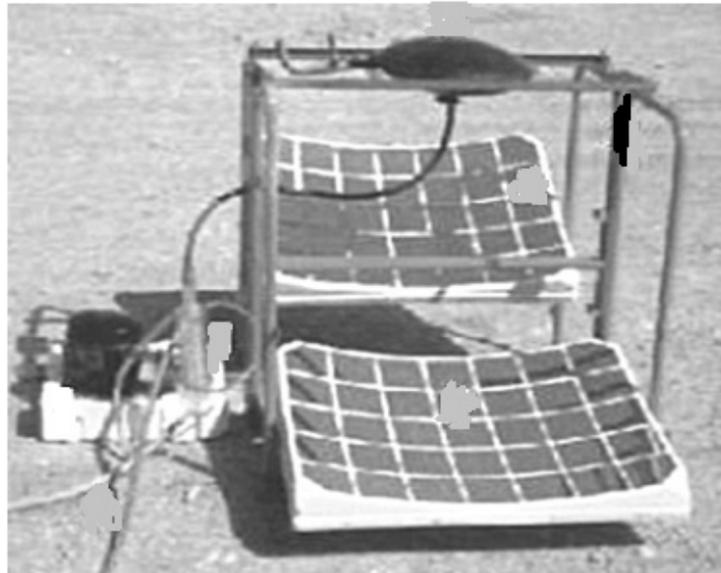


Figure III.2a. Distillateur à des miroirs concaves

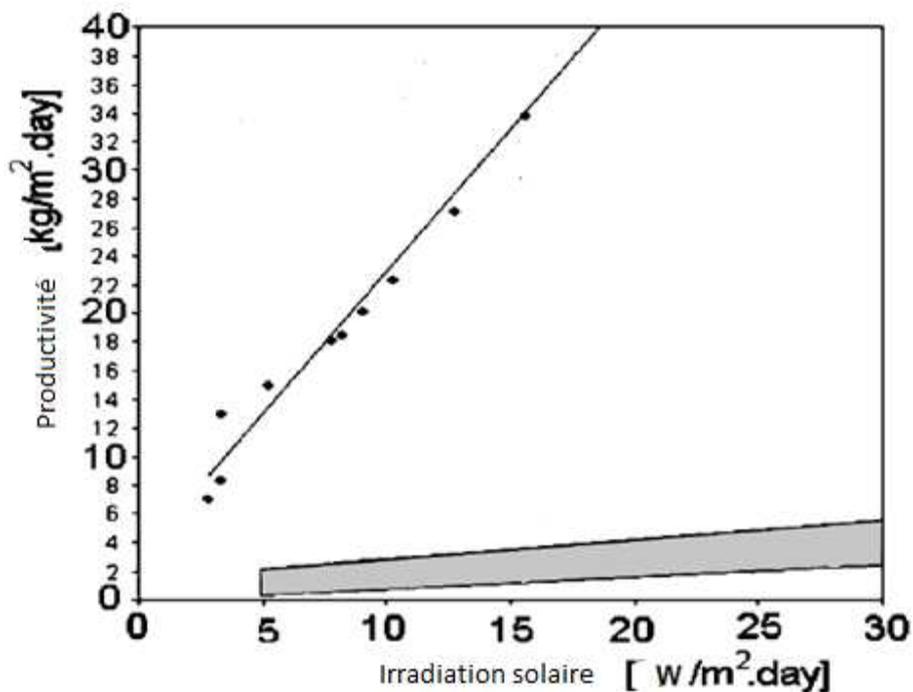


Figure III.2.b. Variation de production en fonction d'irradiation solaire

III.1.3 Distillateur solaire pyramide et prisme :

Le prisme triangulaire solaire comme le montre la Figure (III.3) a été conçu pour fonctionner à la manière suivante:

Le fond de l'alambic solaire composé de 6 drainages et de nettoyage trous garanti par des bouchons filetés. Les bouchons sont vissés de type similaire un bouchon de bouteille. En retirant les bouchons, il est possible de nettoyer l'intérieur le solaire encore et enlever tout sel ou de résidus. En gonflant le taux d'inflation, l'énergie solaire prend toujours sa forme comme un prisme triangulaire. Le condensat tombé dans les rectangles murs à un bac de collecte coudé. Le creux sera dirigé le distillat à un stockage.

La présente recherche a mené l'étude sur le potentiel d'un faible coûté solaire portable pour un usage domestique. [43]

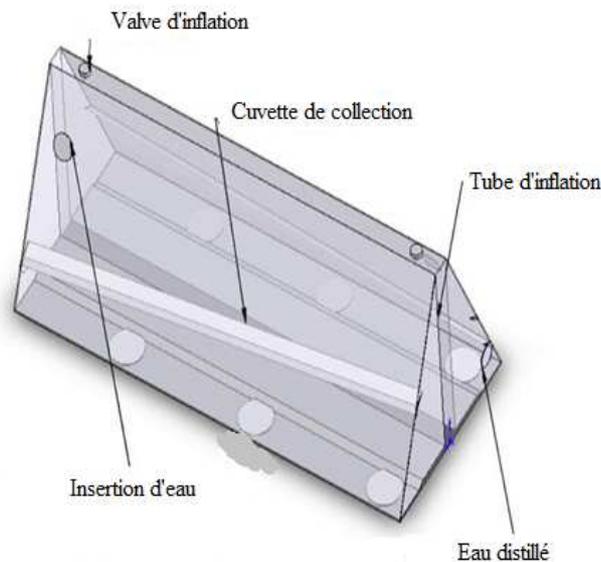


Figure III.3. Distillateur sous forme d'un prisme

III.1.3 a .Distillateur pyramide :

Le pyramidal était encore conçu pour fonctionner de la façon suivante :

Le dessus du solaire consisté toujours en un chapeau, avec un tube d'inflation joint. Une fois que le tube d'inflation est rempli de l'air, de l'eau polluée par l'intermédiaire d'un point d'insertion qui peut être ouvert ou fermé par l'intermédiaire d'un mécanisme fileté de chapeau. Si le tube d'inflation est endommagé, il est possible d'insérer un objet plein tel qu'une pipe pour maintenir l'intégrité structurale. Tandis que fonctionne toujours le condensat tombera vers le bas d'une cuvette de collecte, qui dirigera le distillat vers un stockage.

Le drainage du distillateur peut être réalisé par l'intermédiaire de dévisser toujours la prise au fond. Pour nettoyer toujours le fond du (du résidu et du sel), une plus grande prise (qui contient le soutien inférieur de possession du tube d'inflation) peut être dévissée.[43]

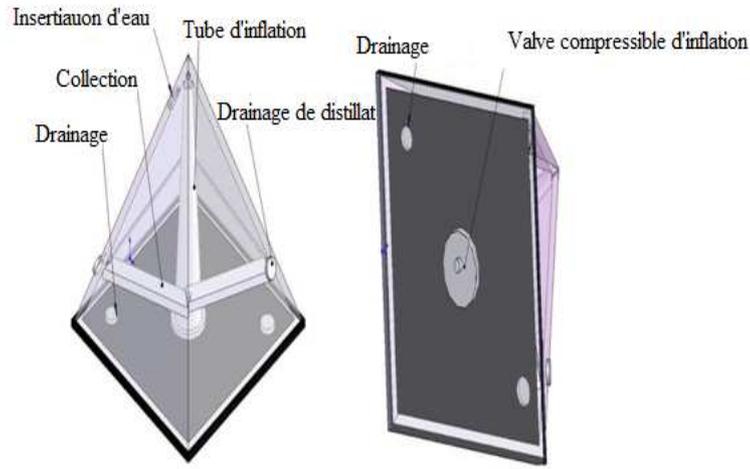


Figure III.4a. Production temporelle de distillateur sous forme d'une pyramide [43]

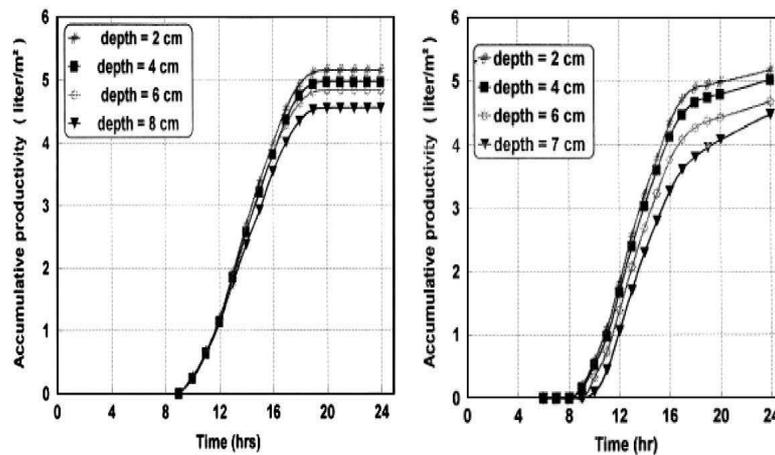


Figure III.4 .b. Production temporelle de distillateur sous forme d'une pyramide [43]

III.1.3.2 Distillateur hybride thermique :

Une modification de photovoltaïque thermique (PVT) à double pente solaire actif été conçu et fabriqué pour des sites éloignés. Le système a été installé sur le campus de KIET, Ghaziabad (Inde) et sa performance a été évaluée expérimentalement.

Le taux de production a été accéléré à 1,4 fois plus que la seule pente hybride solaire (PVT). [51]

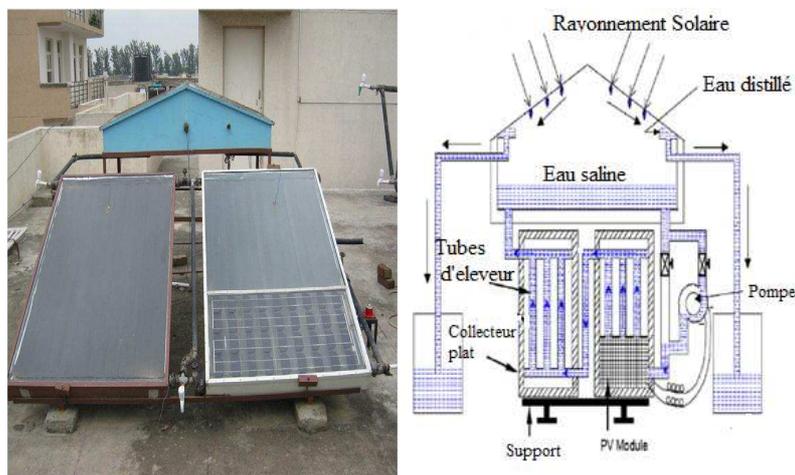


Figure III.5. Production temporelle du distillateur hybride

III. 1.4. Distillateur thermo électrique :

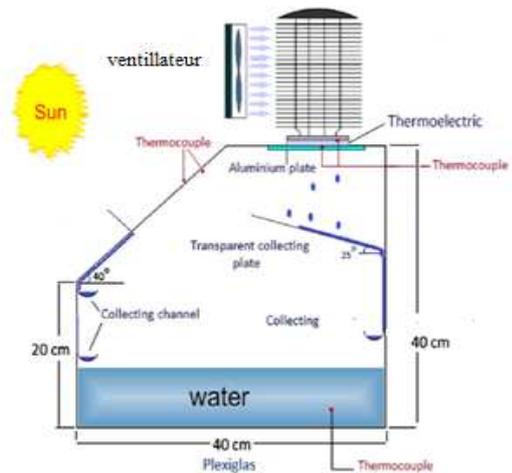
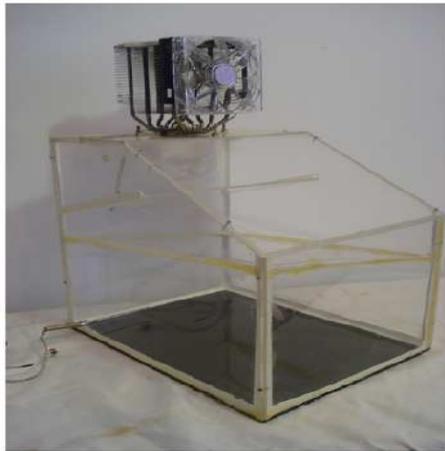


Figure III.6.a. Distillateur thermoélectrique

Une tentative a été faite pour concevoir un nouveau type thermoélectrique solaire, un module thermoélectrique est utilisé pour améliorer la différence de température entre l'évaporation et les zones de condensation. En outre, un dispositif de refroidissement est utilisé pour refroidir le côté chaud du refroidisseur thermoélectrique. Pour évaluer la performance de distillateur, l'équipement a été testé sous les conditions climatiques de Semnan (35 ° 33 'N, 53 ° 23' E), l'Iran.

Les résultats ont montré que la température ambiante et le rayonnement solaire ont un effet direct sur la performance, mais il est une réduction de la productivité de l'eau si la vitesse du vent augmente. [54]

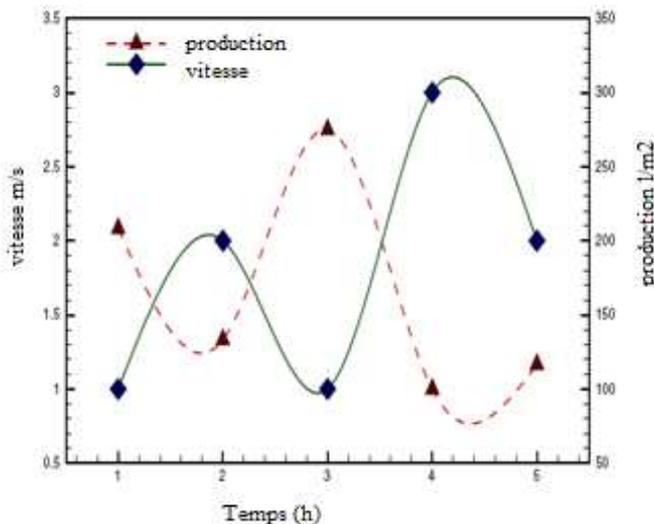


Figure III.6b. Variation temporelle de la vitesse de refroidissement et la production

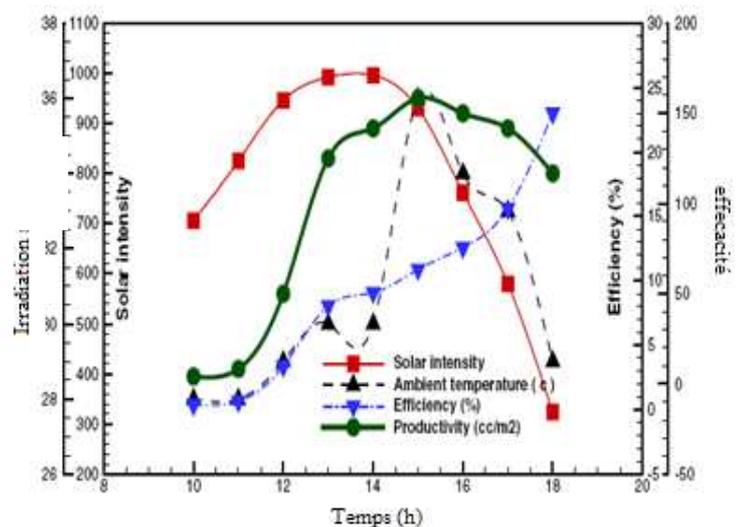


Figure III.6c. Variation temporelle de la température ambiante et l'efficacité, la production, irradiations solaire

III. 1.5. Distillateur à matériau de changement de phase :

Des distillateurs solaires ont été employés pour le dessalement de l'eau dans les terres arides avec le manque de l'eau dans les conditions climatiques. Deux distillateurs solaires de cascade ont été construits avec et sans le système de stockage de l'énergie. Le solide de paraffine est choisi pendant que le matériel de changement de phase (PCM) qui agit en tant que LHTESS, une couche mince de l'eau couvre la surface d'évaporation et réduit la canalisation. Des exécutions thermiques des distillateurs ont été comparées en jours ensoleillés et partiellement nuageux typiques. Basé sur les résultats obtenus, toute la productivité est presque la même pour les deux distillateurs en jour ensoleillé typique. Cependant, pendant un jour partiellement nuageux, le distillateur avec LHTESS a une productivité sensiblement plus élevée. Ainsi, le distillateur sans LHTESS est préféré pour des secteurs ensoleillés en raison de sa simplicité et bas coûts de construction, alors qu'on propose le distillateur avec LHTESS pour des secteurs partiellement nuageux dus à la productivité plus élevée. [52]

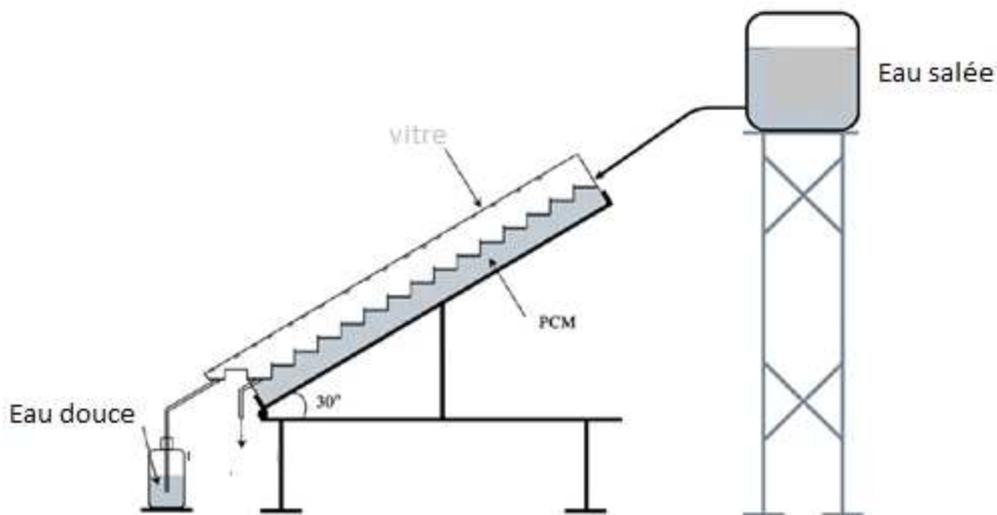


Figure III.6d. Distillateur à matériau de changement de phase

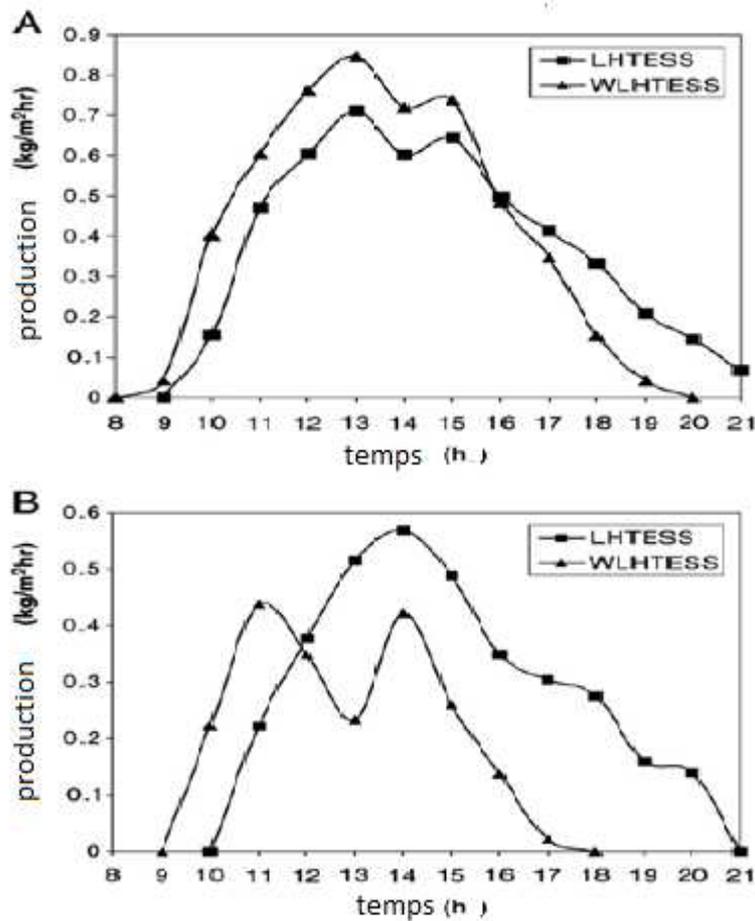


Figure III.6e. Variation temporelle de production

III. 1.6. Distillateur hybride :

Le caractère hybride d'un système de dessalement solaire constitué d'un "effet de serre" - type classique solaire couplé avec un champ de capteurs solaire et un réservoir de stockage d'eau chaude a été étudiée.

Ce système montre significativement un rendement plus élevé de l'eau distillée comparé au système désaccouplé et présente en outre l'avantage de fournir l'eau chaude à partir de son réservoir de stockage.

[25]

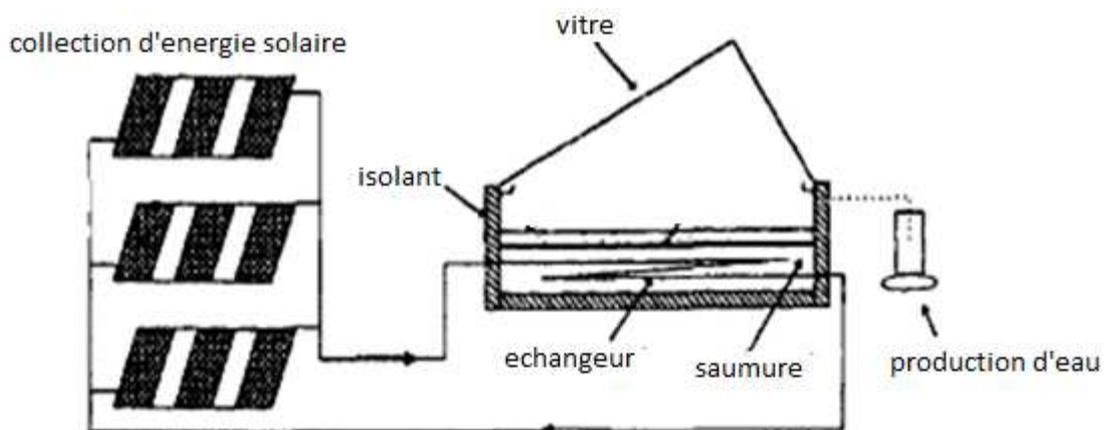


Figure III.6f. Distillateur hybride thermique

III. 1.7.Simple bassin solaire double pente avec matériaux de stockage :

Dispositif simple qui permet de convertir des eaux saumâtres disponibles en eau potable à l'aide l'énergie solaire. Une pente seul bassin solaire à double encore avec une taille de 2,08 m bassin intérieur, 0,84 m, 0,075 m et que de la taille du bassin externe de 2,3 m, 1m, 0,25 m a été fabriqué avec plaque d'acier doux et testé avec une couche d'eau et de différents matériaux sensibles de stockage de chaleur comme le rock, des morceaux de quartzite en briques rouges, cimenter morceaux de béton, des pierres à la chaux et des bouts de fer. Il se trouve que, le quartzite est le matériau du bassin efficace.[53]

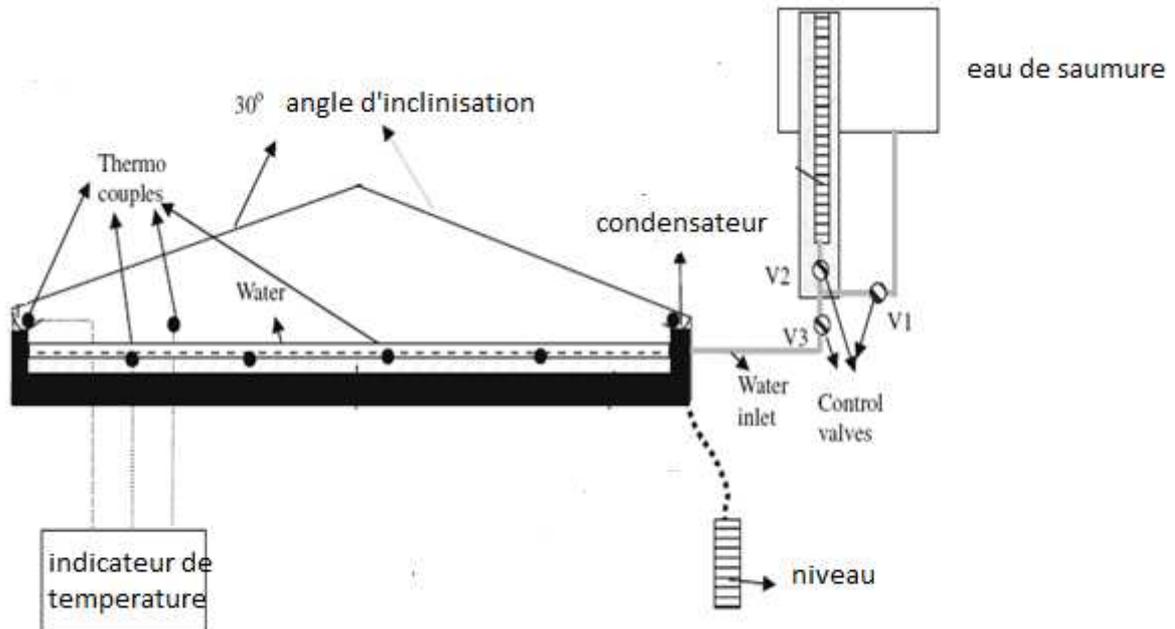


Figure III.6g. Simple bassin solaire double pente avec matériaux de stockage

III.2 .Le générateur photovoltaïque :

Le générateur photovoltaïque convertit la radiation solaire incidente en puissance électrique et en général, on distingue deux types d'installations :

-non autonomes ou « grid connected » , rattachées au réseau de distribution électrique. Dans Les systèmes reliés au réseaux, les consommateurs standard de puissance AC sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur DC/AC) parfois bidirectionnel (redresseur/onduleur). Le surplus d'énergie du générateur photovoltaïque est injecté au réseau publique et les demandes de puissance qui existent la capacité de production du générateur sont attachées sur le réseau.

- Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps.

Aussi l'autonomie du système est assurée par un système de stockage d'énergie. En général ces installations comprennent quatre éléments [45].

- Un ou plusieurs modules PV.
- Le système de régulation.

- Une ou plusieurs batteries
- L'onduleur.

III-2-1. Le panneau solaire :

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique. Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connexions entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.



Figure III.7.a. Panneau de solaire [45]

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux PV dépend :

- des besoins en électricité.
- la taille du panneau.
- L'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- La saison d'utilisation

La puissance délivrée par un panneau est importante dans les heurs d'ensoleillement maximal, ce qui nécessite un élément de stockage.

III-2.2. Système de stockage :

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite s'envisager des stockage suivant les conceptions météorologiques et qui vont répondre à deux fonction principales [47] :

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple)
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

III-2.3.1. Les Caractéristiques principales d'une batterie :

Capacité en Ampère heure : Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures. Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que : [47]

Rapports de chargement et déchargement : Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

- *Température* : Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie [47].

La durée de vie : Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quelque soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) [47].

Profondeur de décharge : La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel-

Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages.

La profondeur de décharge : Cependant, affecte même les batteries de cycle profond plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

La tension d'utilisation : C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

Le rendement : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

Le taux d'autodécharge : L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

III-3-3-2. Types d'accumulateurs :

Il existe plusieurs types de stockage dans le système PV, les puissances rencontrées sont inférieures au

MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. Les deux principaux types d'accumulateurs utilisés actuellement dans le système photovoltaïque sont :

a) Les Accumulateurs au plomb acide :

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale [45].

a-1) Composition d'une batterie solaire plomb- Acide :

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte.

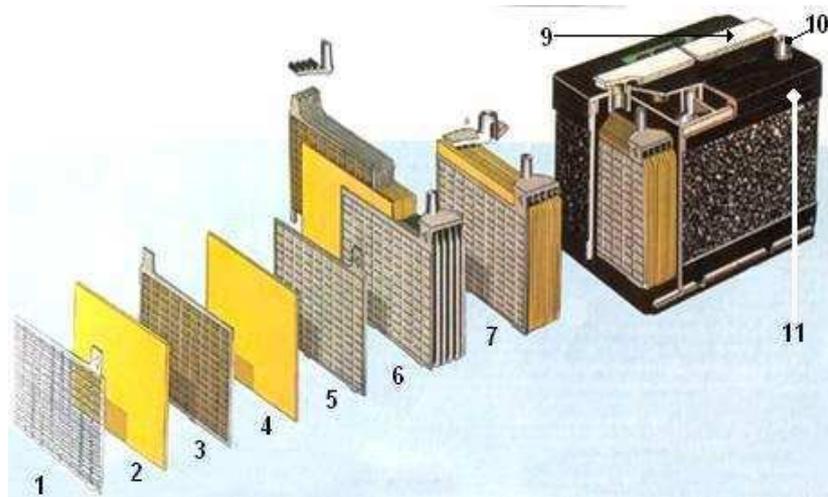


Figure III.-7.b. Construction d'une batterie monobloc

Le tableau comparatif des différentes technologies de batteries est donné comme suit :

Type	Energie massique	Tension d'un élément	Durée de vie (nombre de recharges)	Temps de charge	Auto -décharge par mois
Plomb	30- 50 wh/kg	2 V	200-300	8 -16 h	5%
Ni -Cd	48 -80 wh/kg	1.25V	1500	1h	20%
Ni -Mh	60 -120wh/kg	1.25V	300-500	2h -4h	30%
Li -ion	110 -160 wh/kg	3.7V	500-1000	2h - 4h	10%
Li -Po	100- 130 wh/kg	3.7V	300 -500	2h- 4h	10%

Tableau III.1 : Tableau comparatif des différentes technologies

III-2.4. Système de conversion:

L'onduleur est un dispositif de conversion, La charge étant alimentée en courant alternatif, un onduleur est donc présent entre le bus continu et la charge.

Il existe diverses équations pour définir le rendement d'un onduleur en fonction de la puissance délivrée. L'onduleur est considéré comme un dispositif de transformation en énergie alternative, d'une énergie de type continu provenant soit du système de stockage, soit directement de champ PV. De tels dispositifs devraient délivrer une tension alternative à fréquence déterminée c'est-à-dire le signal généré par ce dernier doit être le plus sinusoïdal possible. Ces onduleurs sont largement utilisés, mais les appareils existant ont l'inconvénient majeur de présenter des pertes, à vide ou à faible charge, très élevées, leur rendement n'est donc acceptable qu'à pleine charge. L'onduleur monophasé est caractérisé par son rendement en fonction de la puissance fournie à l'utilisation. La variation du rendement de l'onduleur en fonction de taux de charge est représentée sur la figure suivante:

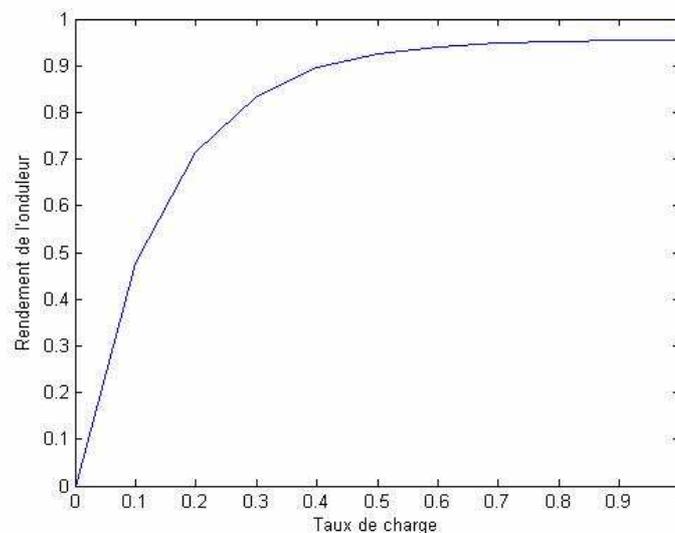


Figure III.8. Rendement de l'onduleur

III-2-5.1. Convertisseurs DC/DC :

Pour la conversion de puissance, il est essentiel que le rendement soit maintenu élevé pour éviter la dissipation de la puissance et les échauffements excessifs. Ce convertisseur est connu par le nom d'élevateur de tension, qui est l'étage d'adaptation entre les panneaux et la charge de sortie.

Cette structure correspond à un système plus communément appelé, système autonome. Il permet le plus souvent d'alimenter une batterie servant à stocker de l'énergie ou une charge qui ne supporte pas les fluctuations de la tension. Cet étage d'adaptation dispose d'une commande (MPPT) (maximum power point tracking) qui lui permet de rechercher (PPM) que peut fournir un panneau solaire photovoltaïque [46].

III -2 -6 .Les régulateurs :

a-Système de régulation :

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes positives. A partir de ce moment, il vaut mieux réduire le courant de charge non seulement pour

éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit. Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- la protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation.

La tension aux bornes de la batterie est l'indication sur la quelle s'appliquera le régulateur pour assurer sa fonction. Le régulateur mesure en permanence cette tension et la compare à deux seuils de tension préétablis : seuil haut et seuil bas. [46]

Il existe plusieurs types de régulateurs :

b-Régulation de décharge :

La régulation de décharge s'effectue par un comparateur qui compare la tension de la batterie à un seuil de tension préétabli bas et transmet l'information à un circuit de commande. Ce dernier arrête de décharger lorsque la tension par élément dépasse la tension de seuil.

c- Régulation de la charge :

La régulation de la charge effectuée par une réduction de courant lorsque la batterie est chargée, on évite la charge lorsque la tension par élément dépasse la tension de surcharge. Il existe plusieurs types de montage de régulation de charge pour les batteries au plomb.

1) Régulations de charge série :

Le principe consiste à intercaler entre le panneau PV et la batterie un dispositif qui module le courant. Le dispositif fonctionne de la manière suivante :

Tant que la tension U_{bat} aux bornes de la batterie est inférieure à la tension de la diode Zener U_Z , le courant délivré par le panneau charge la batterie à travers un transistor se bloque, et le courant ne passe qu'à travers la résistance.

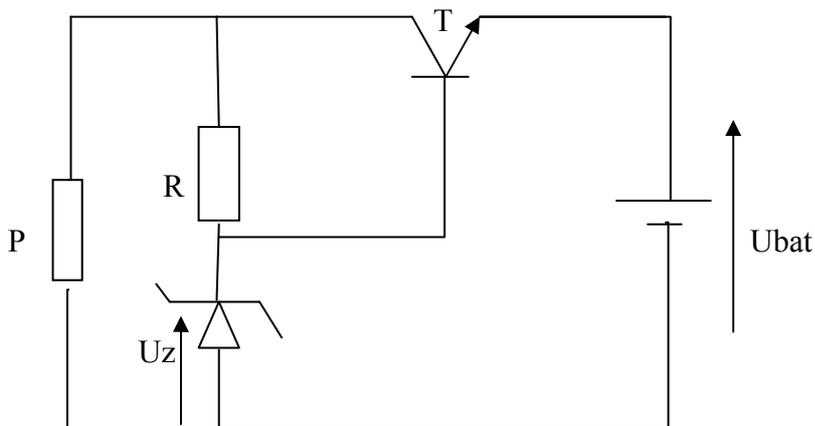


Figure. III.9 : Schéma de principe d'un régulateur de charge série

2) Régulateur de charge de coupure :

Ce régulateur comporte un relais qui connecte et déconnecte le générateur PV à deux seuils

différents et qui sont commandés par une unité de contrôle. Ils mesurent en permanence la tension aux bornes de la batterie. [46]

3) Régulateur de charge à découpage

Ce type de régulateur utilise un convertisseur continu - continu qui délivre à la batterie sa tension chaque fois que la tension de la batterie atteint le seuil haut.

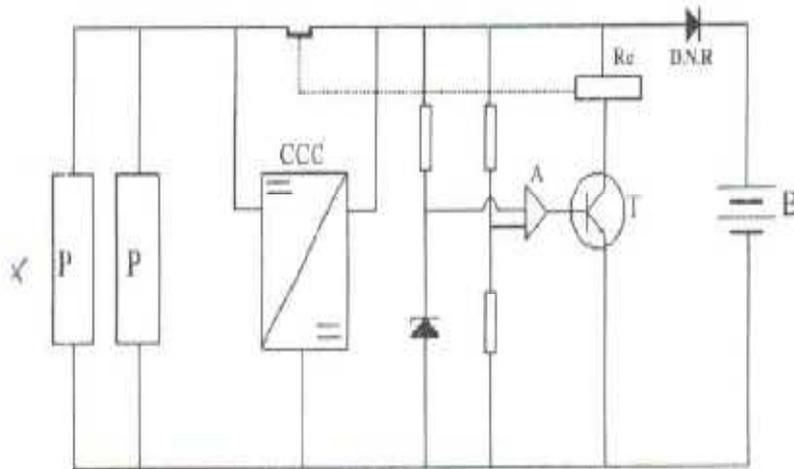


Figure III.10. Régulateur de charge à découpage

4) Régulateur de charge série à coupure partielle :

Ce type de régulateur permet de fractionner le panneau PV en deux parties. Chacune délivrer une même tension selon le principe suivant : une partie du panneau charge la batterie à travers un régulateur de charge série à coupure tant que l'autre partie est branchée directement pour la charge de la batterie en permanence.

5) Régulateur de charge parallèle :

Ce type de régulateur est utilisé en dérivation sur le panneau solaire. Il permet de dissiper l'énergie excédentaire sous forme calorifique grâce à des composants de puissances selon le principe suivant[46]:

Lorsque la tension de la batterie est faible, le transistor T est bloqué, le courant et la tension aux bornes de la résistance est faible alors tout le courant délivré par le générateur charge la batterie. Si la tension aux bornes de la diode Zéner atteint la valeur de référence, le courant I augmente brusquement, le transistor T devient passant et il délivre une partie du courant de charge.

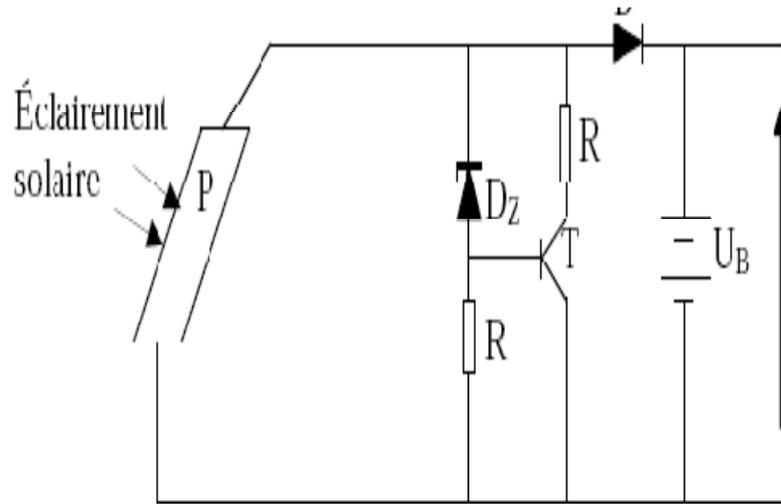


Figure III.11. Schéma de principe de charge parallèle

Conclusion :

L'influence sur les paramètres thermo-physique de distillateur conduit à une augmentation de production d'eau. L'énergie photovoltaïque est une source nécessaire au dessalement si on a transformé à une énergie thermique.

CHAPITRE IV

PROBLEME ET MODELISATION MATHEMATIQUE ET NUMERIQUE

CHAPITRE IV

Problème et Modélisation mathématique et numérique :

- Ce chapitre présente la proposition de problème et la modélisation mathématique et numérique, la méthode d'itération de Gauss Seidel.

CHAPITRE IV

Problème et Modélisation mathématique et numérique

Introduction :

Notre problème est l'utilisation de l'énergie photovoltaïque dans un distillateur solaire thermique pour améliorer le débit de distillat ainsi l'étude des caractéristiques de fonctionnements de distillateur solaire thermique, tenant compte de ces critères notre travail s'est porté sur deux distillateurs : distillateur thermique solaire et distillateur hybride (thermique, photovoltaïque)

IV.I. Problème :

Pour améliorer la production du distillat .On a additionné l'énergie thermique solaire et l'énergie photovoltaïque dans un seul distillateur thermique.

Nous avons étudié l'influence des paramètres thermo physiques sur le débit de ce distillateur et la comparaison avec le débit du distillateur thermique solaire.

IV.II.1. Système photovoltaïque :

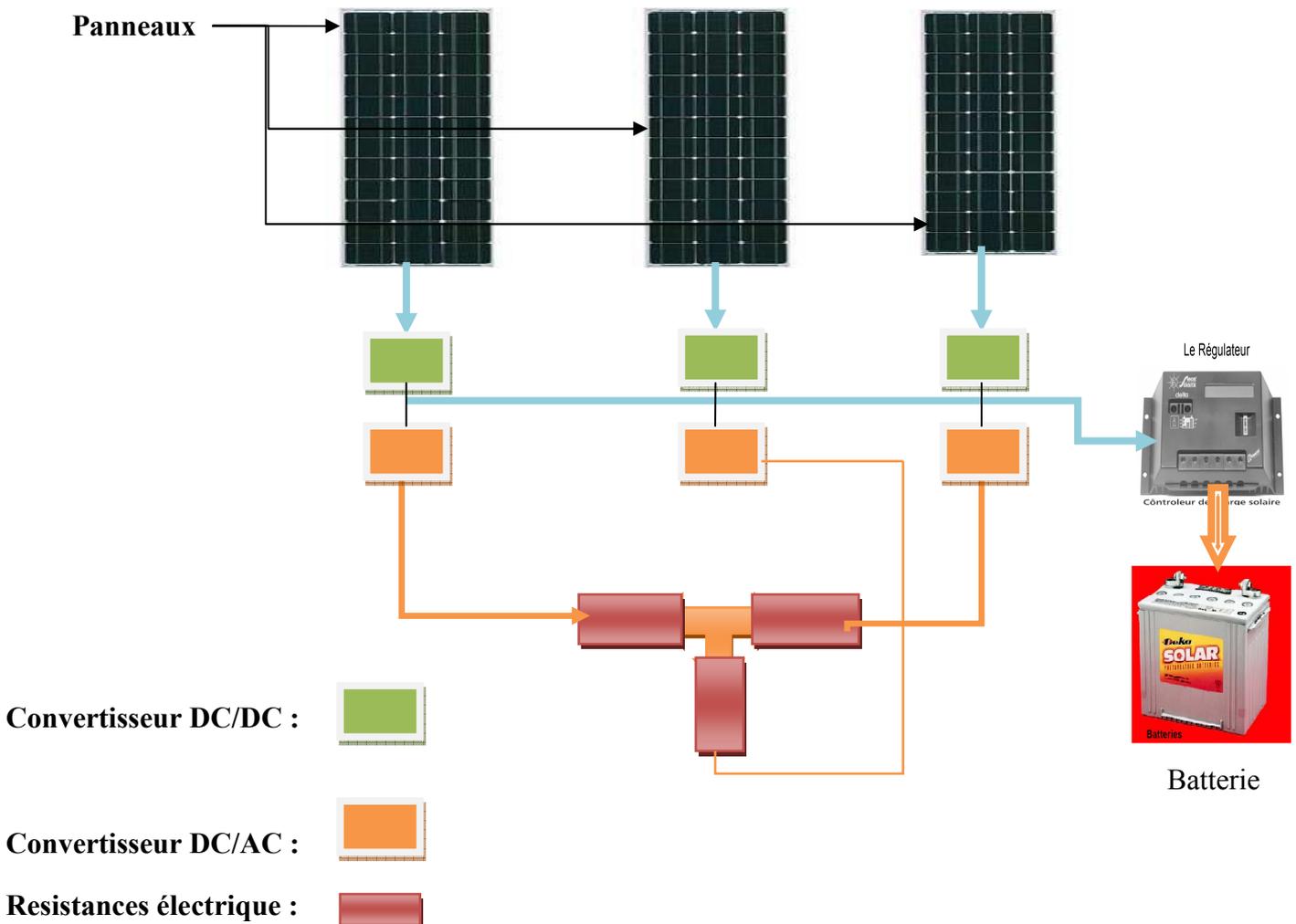


Figure IV1. Système photovoltaïque pour production de l'énergie électrique

IV II.1.2. Système Thermique :

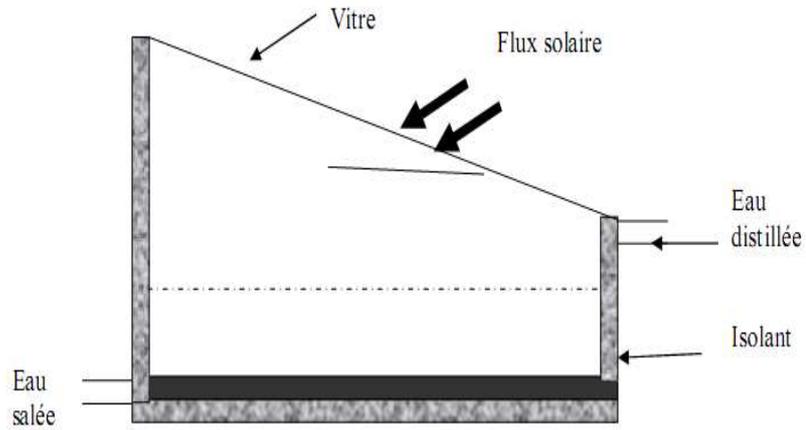


Figure IV.2-Distillateur solaire simple à effet serre

IV.II.2..Système hybride :

Dans ce distillateur, nous avons additionné les deux systèmes photovoltaïque et thermique pour avoir un système hybride figure (IV 3)

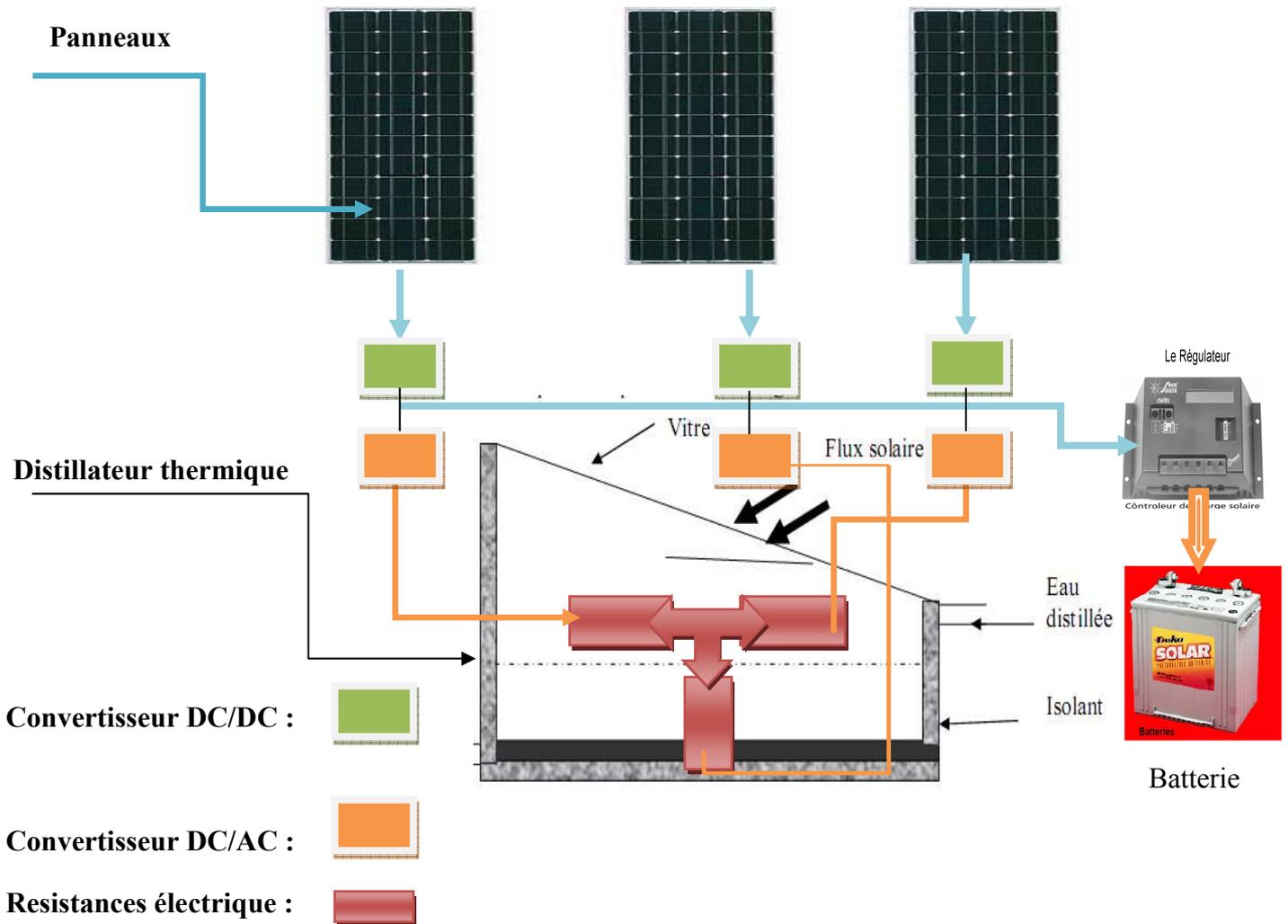


Figure IV.3. Distillateur hybride

IV.3. Paramètres internes et externes

On doit tenir compte de deux types de paramètres influant le système de distillation pour un site donné; les paramètres externes et les paramètres internes.

IV.3.1. Paramètres externes

Ces paramètres sont liés au site, nous pouvons citer:

Les paramètres géographiques tels que la longitude, la latitude et la hauteur du soleil.

Les paramètres météorologiques dont les plus fréquemment retenus sont :

· L'intermittence des nuages, le pourcentage du rayonnement diffus, le vent et la température ambiante.

· Nature de l'eau à traiter, choix du traitement, taux de conversion et rapport de performance.

IV.3.2. Paramètres internes

On distingue notamment:

IV.3.2.1. Les paramètre de position

· L'emplacement du distillateur est choisi de façon à éviter les obstacles " l'effet de masque", qui empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

· L'orientation dont dépend essentiellement le fonctionnement du distillateur pendant la journée.

Généralement on opte pour:

- Une orientation Est pendant la matinée.

- Une orientation Ouest pendant l'après - midi.

- Une orientation Sud si le distillateur doit fonctionner toute la journée.

· L'inclinaison : généralement elle est liée à la période de fonctionnement durant l'année

- Pour un fonctionnement estival, le distillateur doit être incliné d'un angle $B = \Phi - 10^\circ$,

Où Φ est l'altitude du lieu.

- Pour un fonctionnement hivernal, l'inclinaison est $B = \Phi + 20^\circ$.

- Pour un fonctionnement annuel, on choisi $B = \Phi + 10^\circ$.

IV.3.2.2. Paramètres de construction

a) La couverture

La couverture intervient essentiellement par :

- Sa nature.

- Sa mouillabilité par l'eau.

- Sa transparence au rayonnement solaire.

- Son opacité au rayonnement infra - rouge de grandes longueurs d'ondes.

- Sa résistance aux attaques du vent et des particules solides.

- Le nombre de vitres

b) La surface absorbante

La surface absorbante peut être construite en béton, en ciment, en bois, en matière synthétique ou en

métal ordinaire. Le choix de la

matière dépend de son inertie thermique, de sa résistance à l'oxydation par l'eau, des dépôts de minéraux et de son coût.

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

Satcunanathan et Hansen [15] ont montré qu'une réduction de ce paramètre augmente le facteur de performance brut. Il est plus déterminant que l'inclinaison de la vitre.

d) L'épaisseur de la nappe d'eau à distiller

Plus l'épaisseur de la nappe d'eau est importante, moins sa température fluctue au cours de la production.

La différence entre les distillateurs, à petite et à grande épaisseur de saumure, est notable pour les distillateurs dont la base est isolée thermiquement. La production est d'autant plus importante que l'épaisseur est faible ; d'autre part, plus l'épaisseur de la saumure est grande, plus longtemps dure la distillation après le coucher du soleil.

e) Les paramètres de la saumure

Ces paramètres sont :

- L'épaisseur de la nappe d'eau dont l'influence a été déjà précisée.
- La température de la saumure.

Pour le Distillateur à Effet de Serre, il a été observé que lorsque la température de la saumure augmente, un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau due à la formation de carbonates insolubles dans la saumure est observé [16]. Ceci empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface absorbante, entraînant ainsi une baisse dans la production.

- La concentration du sel ; on note une diminution de la production avec l'augmentation de la concentration du sel.

IV.3.2.3. Paramètres optiques

Ce sont les paramètres optiques (l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmission) de la surface absorbante et de la couverture.

IV.3.2.4. Paramètres thermo physiques

Les paramètres thermo physiques que l'on prendra en considération sont principalement :

- Au niveau de la couverture et la surface absorbante :

La conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique.

- Au niveau de la saumure :

La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique, la chaleur latente de vaporisation, le coefficient de dilatation thermique et la diffusivité thermique.

- Au niveau du mélange air - vapeur :

la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique et le coefficient de dilatation thermique.

IV.4. Bilan thermique d'un distillateur

a. distillateur plan

Avant d'établir le bilan énergétique global d'un distillateur solaire, il faut déterminer, en premier lieu, les principaux transferts de chaleur à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur (Figure III.1) ; à savoir :

-La saumure cède les flux de chaleur par rayonnement « q_w^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^{ev} ».

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

-Par conduction, le bac absorbant cède un flux de chaleur « q_b^{cd} » à l'isolant.

-La vitre cède au milieu ambiant, les flux de chaleur « q_g^r » par rayonnement et « q_g^c » par convection.

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

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

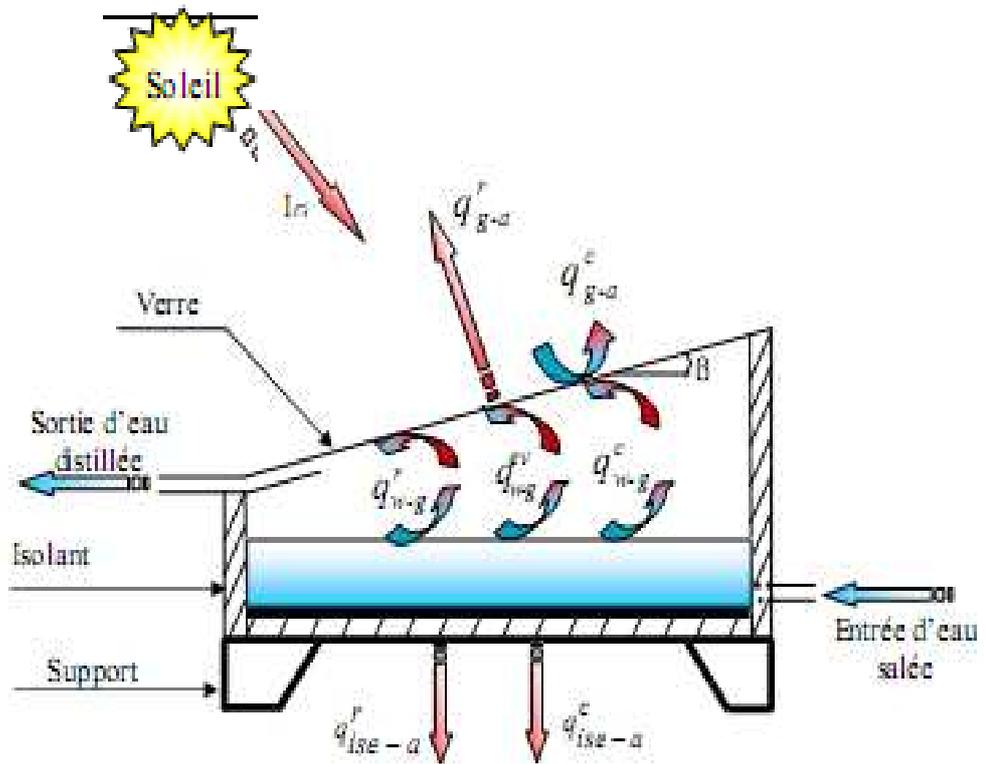


Figure IV.4. Bilan énergétique d'un distillateur solaire plan

. Mises en équation des échanges thermiques :

Les hypothèses suivantes ont été adoptées dans le cadre de ce travail :

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

IV.4.1. Bilan thermique en régime permanent

IV3.1.1. Distillateur plan

Au niveau de la vitre

La vitre reçoit :

$$q_{gi} = q_{wg}^c + q_{wg}^r + q_{wg}^{ev} + p_g \times A_g \quad (IV.1)$$

p_g est la puissance absorbée par la vitre, déterminée par la relation suivante [17]:

$$p_g = (1 - R_g) \times \alpha_g \times I_g \quad (IV.2)$$

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

La vitre cède :

$$q_{ge} = q_{ga}^c + q_{ga}^r \quad (IV.3)$$

Où:

$$q_{w-g}^c = h_{w-g}^c \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (IV.4)$$

$$q_{w-g}^r = h_{w-g}^r \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (IV.5)$$

$$q_{w-g}^{ev} = h_{w-g}^{ev} \times (T_w - T_{gi}) \times A_g \quad (IV.6)$$

$$q_{g-a}^r = h_{g-a}^r \times (T_{ge} - T_a) \times A_g \quad (IV.7)$$

$$q_{g-a}^c = h_{g-a}^c \times (T_{ge} - T_a) \times A_g \quad (IV.8)$$

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

$$q_g = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \times A_g \quad (IV.9)$$

Au niveau de la masse d'eau :

$$p_w \times Aw + q_{b-w}^c = q_{w-g}^c + q_{w-g}^{ev} + q_{w-g}^r \quad (IV.10)$$

$$q_{b-w}^c = h_{b-w}^c \times (T_b - T_w) \times Aw \quad (IV.11)$$

Ou :

P_w est la puissance absorbée par la saumure donnée par la relation [17]

$$P_w = (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times \alpha_w \times IG \quad (IV.12)$$

Avec :

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

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

Au niveau du bac absorbant :

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

Ou :

$$q_{b-isi}^{cd} = h_{b-isi}^{cd} \times (T_b - T_{isi}) \times Ab \quad (IV.14)$$

P_b est la puissance absorbée par le bac absorbant et peut être calculée par la relation [17]:

$$P_b = \alpha_b \times (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times (1 - \alpha_w) \times IG \quad (IV.15)$$

Au niveau de l'isolant

Côté intérieur

$$q_{isi} = q_{b-isi}^{cd} \quad (IV.16)$$

Côté extérieur

$$q_{ise} = q_{ise-a}^r + q_{ise-a}^c \quad (IV.17)$$

$$q_{ise-a}^c = h_{ise-a}^c \times (T_{ise} - T_a) \times A_{is} \quad (IV.18)$$

$$q_{ise-a}^r = h_{ise-a}^r \times (T_{ise} - T_a) \times A_{is} \quad (IV.19)$$

Avec $T_s \approx T_a$

Echange par conduction à travers l'isolant

$$q_{is} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \times A_{is} \quad (IV.20)$$

IV.42 .Distillateur couplé avec le système photovoltaïque :

Même équation avec le système précédent , au niveau de la vitre et au niveau de la masse d'eau, au niveau de l'isolant

Mais au niveau de la saumure bac absorbant il ya un changement de température

$$T_b = T_{b0} + T_{ele}$$

Avec T_{b0} est la température thermique initiale

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

$$q_{b-isi}^{cd} = h_{b-isi}^{cd} \times \frac{d(T_{b0} + T_{ele})}{dt} - T_{wq} \times A_b \quad (IV.21)$$

IV.4.3 Bilan thermique en régime transitoire

Par analogie entre les grandeurs thermique et les grandeurs électrique (tableau III.1), on peut appliquer les lois d'ohm et de kirchauff .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 :

$$M_i \times c_{pi} \times \frac{dT_i}{dt} = \sum_{i=1}^n q_{ij} + p_i \quad (IV.22)$$

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 IV.1 Analogie entre les grandeur s thermique et grandeurs électriques

IV .4.3.1 Distillateur plan

Dans la couverture

Face extérieure

$$\frac{M_g}{2} \times \frac{c_{pg}}{A_g} \times \frac{dT_{ge}}{dt} + q_{g-a}^c + q_{g-a}^r = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \quad (IV.23)$$

Face intérieure

$$\frac{M_g}{2} \times \frac{cp_g}{A_g} \times \frac{dT_{gi}}{dt} + \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) = q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + p_g \quad (IV.24)$$

Dans la saumure

$$M_w \times \frac{cp_w}{A_w} \times \frac{dT_w}{dt} + q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} = p_w + q_{b-w}^c \quad (IV.25)$$

Dans le bac absorbant

$$M_b \times \frac{cp_b}{A_b} \times \frac{dT_b}{dt} + q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} = p_b \quad (IV.26)$$

Dans l'isolant

Face intérieure

$$\frac{M_{is}}{2} \times \frac{cp_{is}}{A_{is}} \times \frac{dT_{isi}}{dt} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) = q_{b-isi}^{cd} \quad (IV.27)$$

Face extérieure :

$$\frac{M_{is}}{2} \times \frac{cp_{is}}{A_{is}} \times \frac{dT_{ise}}{dt} + q_{is-a}^c + q_{is-a}^r = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \quad (IV.28)$$

IV.4.3.2 Distillateur hybride

$$M_b \times \frac{cp_b}{A_b} \times \frac{d(T_b + T_{ele})}{dt} + q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} = p_b \quad (IV.29)$$

IV.5. Expression des différents coefficients d'échange thermique

IV.5.1. Echange par conduction

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

$$h_{b-isi}^{cd} = \frac{\lambda_b}{e_b} \quad (IV.30)$$

IV.5.2. Echange par convection

IV.5.2.1. Echange convectif entre la masse d'eau et le bac absorbant

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

$$h_{bw}^c = \frac{Nu \times \lambda_w}{L} \quad (IV.31)$$

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

$$Gr = \frac{B_w \times L^3 \times g \times (T_b - T_w)}{v_w^2} \quad (IV.32)$$

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

$$Nu = 0.54 \times \frac{\lambda_w}{L} \times (Gr \times Pr)^{0.25} \quad (IV.32)$$

3) Si $Gr > 2 \times 10^7$

$$Nu = 0.14 \times (Gr \times Pr)^{0.33}$$

(IV.32.a)

Avec :

Pr étant le nombre de Prandlt.

$$Pr = \frac{cp_w \times u_w}{\lambda_w} \quad (IV.33)$$

IV.5.2.2. Echange convectif entre la saumure et la vitre

Selon BAUM [18,19] dans l'échange thermique et massique entre la surface libre de la saumure et la couverture transparente, il existe une " Zone Tampon" où la température et la pression partielle de la vapeur d'eau sont constantes. Ceci implique que seule la couche adjacente à la surface d'évaporation (saumure) et la surface de condensation (vitre), participe au processus de transfert de masse et de chaleur.

L'échange par convection entre la saumure et la vitre dépend du nombre de Grashoff (Gr) et de l'inclinaison de la couverture β . Pour $\beta = 30^\circ$.

Si : $Gr < 3 \times 10^3$; $Nu=1$.

Si: $3 \times 10^3 < Gr < 5 \times 10^4$; $Nu = 0.0588 \times Gr^{0.37}$

Si : $Gr > 5 \times 10^4$; $Nu = 0.0354 \times Gr^{0.37}$

Avec :

$$Gr = \frac{B_w \times D^3 \times g \times (T_b - T_w)}{v_w^2} \quad (IV.34)$$

Où:

D étant la longueur caractéristique du distillateur.

v_w étant la viscosité cinétique du mélange air- vapeur

Et :

$$h_{w-g}^c = \frac{Nu \times \lambda_w}{D} \quad (IV.35)$$

λ_w étant la conductivité thermique du mélange air- vapeur. Dunkle [17] à donné la relation suivante, en fonction des pressions partielles de la vapeur d'eau :

$$h_{w-g}^c = 0884 \times \left[\left\{ (T_w - T_{gi}) + \frac{(P_v^w - P_v^{gi})}{268.9 \times 10^3 - P_v^w} \right\} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (IV 36)$$

Les valeurs de $P_{v,w}$ et $P_{v,gi}$ pour des températures comprises entre 10°C et 90°C, peuvent être obtenues par les expressions [17] :

Fernandez et chargoy (1990) :

$$P(T) = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T+273} \right) \quad (IV 37)$$

Keenan et Keyes(1936) :

$$P(T) = 2.21 \times 10^{-\left[\frac{y}{T} \left(\frac{e+by+cy^3}{1+dy} \right) \right]} \quad (IV 38)$$

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 :

$$P(T) = 6.893 \times 10^3 \exp (54.63 - 12301.6 \times T \times T_0 - 5.17 \ln T_0) \quad (IV39)$$

Avec :

$$T_0 = 1.8T + 491.69$$

Kyokai :

$$P(T) = 133.32 \exp \left(18.6686 - \frac{4030.1824}{T+235.15} \right) \quad (IV40)$$

Plancz :

$$P(T) = 133.29 \times 10^{\left[(0.662 + \frac{7.5(T_g - 273)}{T_b - 35}) \right]} \quad (IV41)$$

IV.5.2.3. Echange convectif entre la vitre et le milieu ambiant

L'échange thermique entre la vitre et l'extérieur qui dépend de la vitesse du vent, est donné par la corrélation de MACADAMS [17]:

$$h_{g-e}^c = 5.7 + 3.8 \times v \quad (IV42)$$

v étant la vitesse du vent.

Le coefficient d'échange thermique par convection entre la face extérieure de l'isolant et le milieu ambiant

$$h_{is-a}^c \text{ est analogue à } h_{g-a}^c$$

IV.5.3. Echange par rayonnement

IV.5.3.1. Echange par rayonnement entre la saumure et la vitre

Par approximation, la couverture à faible pente est considérée horizontale. D'après P.I .Cooper et W.R.W [20] pour deux surfaces planes, infinies, en parallèle, le coefficient radiatif est donné sous la forme :

$$h_{w-g}^r = \varepsilon_{w-g} \times \sigma \times (T_w + T_{gi}) \times (T_w^2 + T_{gi}^2) \quad (IV43)$$

Avec

$$\varepsilon_{w-g} = \left[\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right]^{-1} \quad (IV44)$$

IV.5.3.2. Echange par rayonnement entre la vitre et l'extérieur

$$h_{g-a}^r = \varepsilon_g \times \sigma \times (T_c + T_{ge}) \times (T_{ge}^2 + T_c^2) \quad (IV 45)$$

T_c est la température du ciel.

Cette température est donnée en fonction de la température ambiante par les relations [17]:

$$T_c = T_a - 6$$

$$T_c = T_a - 12$$

Swinbank propose la relation :

$$T_c = 0.0552x(T_a)^{1.5} \quad (IV 46)$$

IV.5.4. Echange pendant le changement de phase

Par l'utilisation de la relation de la convection naturelle à l'intérieur du distillateur et par analogie entre le transfert de masse et de chaleur, Dunkle est arrivé à l'expression du coefficient de transfert thermique par évaporation [17,21] :

$$h_{w-g}^{ev} = 16.276 \times 10^{-3} \times h_{w-g}^c \times \frac{(P_v^w - P_v^{gi})}{(T_w - T_{gi})} \quad (IV 47)$$

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}

IV.6. Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire

Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production d'eau d'un distillateur. On distingue constamment, le rendement, l'efficacité interne et globale et la performance.

IV.6.1. 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.6.2. L'efficacité

IV.6.2. 1. L'efficacité globale

L'efficacité globale est définie par le rapport :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{(I_G \times A_g)} \quad (IV.48)$$

IV.6.2.2. L'efficacité interne

Si l'efficacité globale rapporte la quantité d'eau produite à l'énergie solaire frappant une surface horizontale, elle ne fait pas mention de la quantité d'énergie entrant réellement dans le distillateur, d'autant plus qu'un distillateur est construit en général pour un lieu donné et avec une couverture fixe. Un changement de pente et de la localité fait varier la quantité d'énergie qui entre dans le distillateur. On définit donc une efficacité dite interne qui prend en considération ces paramètres et qui est définie par

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{q_w} \quad (IV.49)$$

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

$$P_w = (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times \alpha_w \times I_G \quad (IV.50)$$

$$q_w = \alpha_i \times I_G \times A_g \quad (IV.51)$$

$$\alpha_i = (1 - R_g) \times (1 - \alpha_g) \times (1 - R_w) \times \alpha_w \quad (IV.52)$$

IV.6.3. La performance

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Stacunanathan et Hansen [15] à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) :

$$FPB = Q_{p24h} / Q_{E24h} \quad (IV.53)$$

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

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

$$FPH = Q_{eau1h} / Q_{E1h} \quad (IV.54)$$

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 :

$$F. P = \frac{m_A}{\alpha_i \times I_G \times A_g} \quad (IV.55)$$

IV.7. Dimension de générateur photovoltaïque :

IV-7.1. Puissance de générateur photovoltaïque :

Un module photovoltaïque se caractérise par sa puissance crête $P_c(w)$, puissance dans les conditions stc (1000w/m² à 25°C) avec un spectre solaire AM1.5.

Si le module exposé dans ces conditions stc , il va produire à un instant donné une puissance crête , et si cela dure N heures ,il aura produit pendant ce laps de temps une énergie électrique E_{prod} égale au produit de la puissance crête par le **temps** [46]:

$$E_{prod}(wh) = N(h) * P_c(w) \quad (IV.56)$$

E_{prod} (wh): énergie électrique produite

$N(h)$: Nombre d'heure d'exposition on dru module

$P_c(w)$: puissance crête

Mais le rayonnement n'est pas constant pendant une journée d'ensoleillement, la puissance est proportionnelle au rayonnement instantané par exemple : pendant une journée à la station

Météo de trappes, en décembre, à l'orientation sud et l'inclinaison 60°, le soleil fournit 1.12kwh/m².j on assimile cette journée à 1.12h d'un rayonnement de 1000w/m² [46][d232]:

$$1120wh/m^2.j = 1.12h/j * 1000w/m^2.$$

On peut alors multiplier la puissance crête solaire par nombre d'heures équivalentes pour obtenir la production du module pendant la journée :

$$E_{prod} = N_e * P_c$$

$$N_e = E_{sol}/(1000w/m^2)$$

$$E_{prod} = E_{sol} * P_c \quad (IV.57)$$

Mais les calculs ci-dessus ne soit vrais que pour un panneau isolé, dans les conditions idéales. Dans les conditions réelles, on tient compte les pertes dans les calculs.

On reprend la formule précédente

$$Q_{prod} = C_p * E_{sol} * I_m \quad (IV.58)$$

C_p est varié entre 0.65 et 0.9

Calcul de nombre de panneaux utilisé dans notre système :

Type de panneaux solaires utilisés

•Puissance (P_1) d'un panneau solaire = 110 W

•Tension (U_1) d'un panneau solaire = 12 Vcc

•Tension (U) d'utilisation = 12 Vcc

-Quantité d'énergie quotidienne (W_{j1}) produit un panneau solaire de 110W



Figure IV. 5 Carte représente les différents facteurs régionaux d'ensoleillement

$$W_{j1} = P_1 \times Fr \quad (IV.59)$$

$$W_{j1} = 110 \times 5 = 550 \text{ Wh}$$

Nombre de panneaux solaires de 110W nécessaires pour alimenter le système

$$N = W_t / W_{j1} \quad (IV.60)$$

$$N = 3000 / 550 = 5.45 \text{ donc } N=6 \text{ panneaux solaires}$$

-Pour assurer le fonctionnement du système quelques heures au soir on ajoute des batteries

IV-7.2.Type et nombre de batteries utilisées :

•Capacité (C_{b1}) d'un élément de la rame de batterie = 75Ah

•Tension (U_{b1}) d'un élément de la rame de batterie = 12 Vcc

Calcul de la capacité de batterie requise :

Capacité de la rame de batteries [stockage d'énergie page 48]

$$C_1 = W_t / U \quad 3000 / 12 = 250 \text{ Ah} \quad (IV.61)$$

Perte à l'intérieur de la rame de batteries

$$C_p = 30\% \text{ de } C_1 = 75 \text{ Ah}$$

Capacité de sécurité de la rame de batteries :

cette capacité dépend énormément de la technologie de la batterie et surtout de la réduction de sa capacité de stockage aux températures basses. Introduire cette capacité revient à dire que la capacité réellement disponible sur le terrain est à tout moment égale à 30 % de la capacité nominale. [46].

$$C_s = (C_1 + C_p) \times 30\% = 97.5 \text{ Ah}$$

Capacité totale utilisée de la rame de batteries [d ch6 p2413emeedit] :

$$C_{tu} = (C_1 + C_p + C_s) \times N_{ja} = 422.5 \text{ Ah} \quad (IV.62)$$

Nombre d'éléments (N_b) nécessaires pour constituer la rame de batteries :

$$N_b = C_{tu} / C_{b1} = 422.5 / 75 = 5.63 \sim 6 \text{ batteries}$$

IV-7-3- Température dissipé par la résistance électrique:

Notre système constitué par un réseau photovoltaïque qui produire une énergie électrique alimente des résistances chauffantes en équilibre.

Chaque phase de ce réseau engendre une puissance de 100w.

Puissance totale des trois résistances est $P_t=100*3=300w$

$$Q = m. C_p. \Delta T \quad (IV.63)$$

$$P = V. R = R. I^2$$

$$Q = P. \Delta t \quad (IV.64)$$

$$\Delta T = P. \Delta t / m. C_p \quad (IV.65)$$

IV-7-4. Convertisseur utilisé dans le système AC/DC :

Le système est composé par :

- 6 modules solaires de 110W - 12Vcc
- 6 batteries de 75Ah - 12Vcc
- 3 régulateur de 12Vcc - 12A
- 3 convertisseur DC/AC -1800 W - 12Vcc/220v, Rendement =93% , $P_u=1674w$
- 3 convertisseur DC/DC -1800 W - 12Vcc/220v, Rendement =93%, $P_u=1674w$

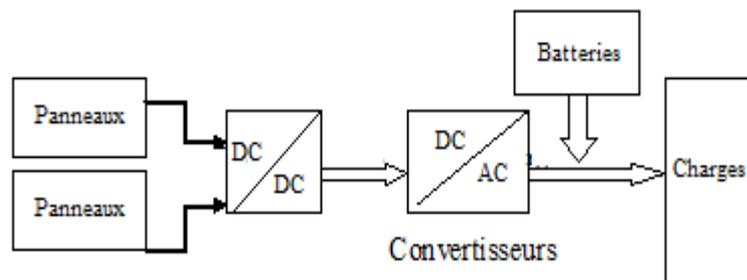


Figure IV. 6 .Système PV avec des convertisseurs

IV.8 .Méthode de résolution :

Pour résoudre un problème, la solution analytique n'est pas toujours facile à obtenir, et l'utilisation d'une méthode numérique est plus aisée. Dans le cadre de cette étude, la méthode de Gauss Seidel d'itération est choisie pour la résolution du système d'équations établi.

Nous décrivons la méthode de Gauss Seidel d'itération utilisée pour la résolution des différents systèmes d'équations figurant dans ce manuscrit.

IV.8 .1- METHODE DE GAUSS SEIDEL

_ Principe :

On veut résoudre le système linéaire suivant :

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

Où:

A: est une matrice carrée d'ordre $n \times n$

B: est la matrice colonne du deuxième membre d'ordre n .

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

Ecrivons A sous la forme:

$$A = M - N \quad (2)$$

Où

$$M = D - L \quad (3)$$

Avec:

D: matrice diagonale

L: matrice inférieure

U: matrice supérieure

Alors le système (IV.11) peut s'écrire :

$$(M - N) \times T = B \quad (4)$$

Dans la méthode de Gauss-Seidel, on réécrit (IV.14) à partir d'un vecteur initial $T^{(0)}$, de la manière suivante:

$$T^1 = (D - L)^{-1} \times U \times T^0 + (D - L)^{-1} \times B \quad (5)$$

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

$$(D - L) \times T^1 = U \times T^0 + B \quad (6)$$

Soit encore:

$$D \times T^1 = L \times T^1 + U \times T^0 + B \quad (7)$$

Où

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

Ce qui est équivalent à:

$$T^1 = D^{-1} \times L \times T + D^{-1} \times U \times T_p + D^{-1} \times B \quad (9)$$

En développant cette récurrence vectorielle on obtient:

$$T_1 = (b_1 - a_{12} \times T_{p2} - a_{13} \times T_{p3} - \dots - a_{1n} \times T_{pn})/a_{11}$$

$$T_2 = (b_2 - a_{21} \times T_1 - a_{23} \times T_{p3} - \dots - a_{2n} \times T_{pn})/a_{22}$$

.....

$$T_n = (b_n - a_{n1} \times T_1 - a_{n2} \times T_2 - \dots - a_{nn-1} \times T_{n-1})/a_{nn}$$

IV.8 .1.- Conditions de convergence

Le système d'équations converge si:

$$1- |T_i - T_{pi}| < eps \quad (10)$$

$$2- |T_i - T_{pi}|/|T_i| < eps \quad (11)$$

Ou bien

$$\sqrt{\sum(T_i - T_{pi})^2} < eps \quad (12)$$

IV.8.2- Résolution du système d'équations considère :

Les équations régissant le fonctionnement d'un distillateur solaire sont résolues par la méthode de Gauss-Seidel d'itération. Pour cela nous présentons les équations finales des divers bilans par rapport aux températures comme suit:

Au niveau de la vitre

Face extérieure

$$\frac{M_g}{2} \times \frac{cp_g}{A_g} \times \frac{dT_{ge}}{dt} + q_{g-a}^c + q_{g-a}^r = \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) \quad (IV.66)$$

Face intérieure

$$\frac{M_g}{2} \times \frac{cp_g}{A_g} \times \frac{dT_{ge}}{dt} + \frac{\lambda_g}{e_g} \times (T_{gi} - T_{ge}) = q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} + p_g \quad (IV.67)$$

Dans la saumure

$$M_w \times \frac{cp_w}{A_w} \times \frac{dT_w}{dt} + q_{w-g}^c + q_{w-g}^r + q_{w-g}^{ev} = p_w + q_{b-g}^c \quad (IV.68)$$

Dans le bac absorbant

$$M_b \times \frac{cp_b}{A_b} \times \frac{dT_b}{dt} + q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} = p_b \quad (IV.69)$$

Dans l'isolant

Face intérieure

$$\frac{M_{is}}{2} \times \frac{cp_{is}}{A_{is}} \times \frac{dT_{ise}}{dt} + \frac{\lambda_{se}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) = q_{b-isi}^{cd} \quad (IV.70)$$

Face extérieure :

$$\frac{M_{is}}{2} \times \frac{cp_{is}}{A_{is}} \times \frac{dT_{ise}}{dt} + q_{is-a}^c + q_{is-a}^r = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \times (T_{isi} - T_{ise}) \quad (IV.71)$$

Distillateur hybride

$$M_b \times \frac{cp_b}{A_b} \times \frac{d(T_b + T_{ele})}{dt} + q_{b-w}^c + q_{b-isi}^{cd} = p_b \quad (IV.72)$$

Ces équations forment un système d'équations linéaire sous forme $A \times T = B$, on résout ce système par la méthode itérative.

Dans les équations , dt désigne le pas de temps.

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

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_{gi} \\ T_{ge} \\ T_w \\ T_b \\ T_{isi} \\ T_{ise} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{pmatrix}$$

Avec

$a_{ij}(i=j=1,6)$ correspond aux coefficients de chaque température .

$b_i (i=1,6)$ correspond aux coefficients de second membre des équations considérées

IV.9. SIMULATION

Pour le régime transitoire, la plus rigoureuse est une simulation ' pas à pas', qui rend compte de l'évolution des températures de tous les éléments du distillateur dans le temps et l'espace. Les données météorologiques proviennent de fichiers (vitesse du vent et température ambiante) ou de formules approchées (température du ciel). Cette méthode nécessite des calculs numériques qui rendent indispensable l'usage de l'ordinateur.

La seconde démarche est celle suivie par HOTTEL, WHILLIER et BLISS [2]. Elle suppose que le régime est permanent et que les éléments du distillateur se trouvent chacun à une température moyenne constante. Cette approche néglige les effets transitoires mais elle constitue un outil commode pour un calcul de conception, bien qu'il faille, là aussi, procéder à des itérations. Les données météorologiques sont traitées comme précédemment.

IV.9.1. Algorithme principal de résolution

1) La première étape consiste à calculer les différents échanges thermiques qui sont indépendants de la température :

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

2) On calcule, à chaque heure de la journée :

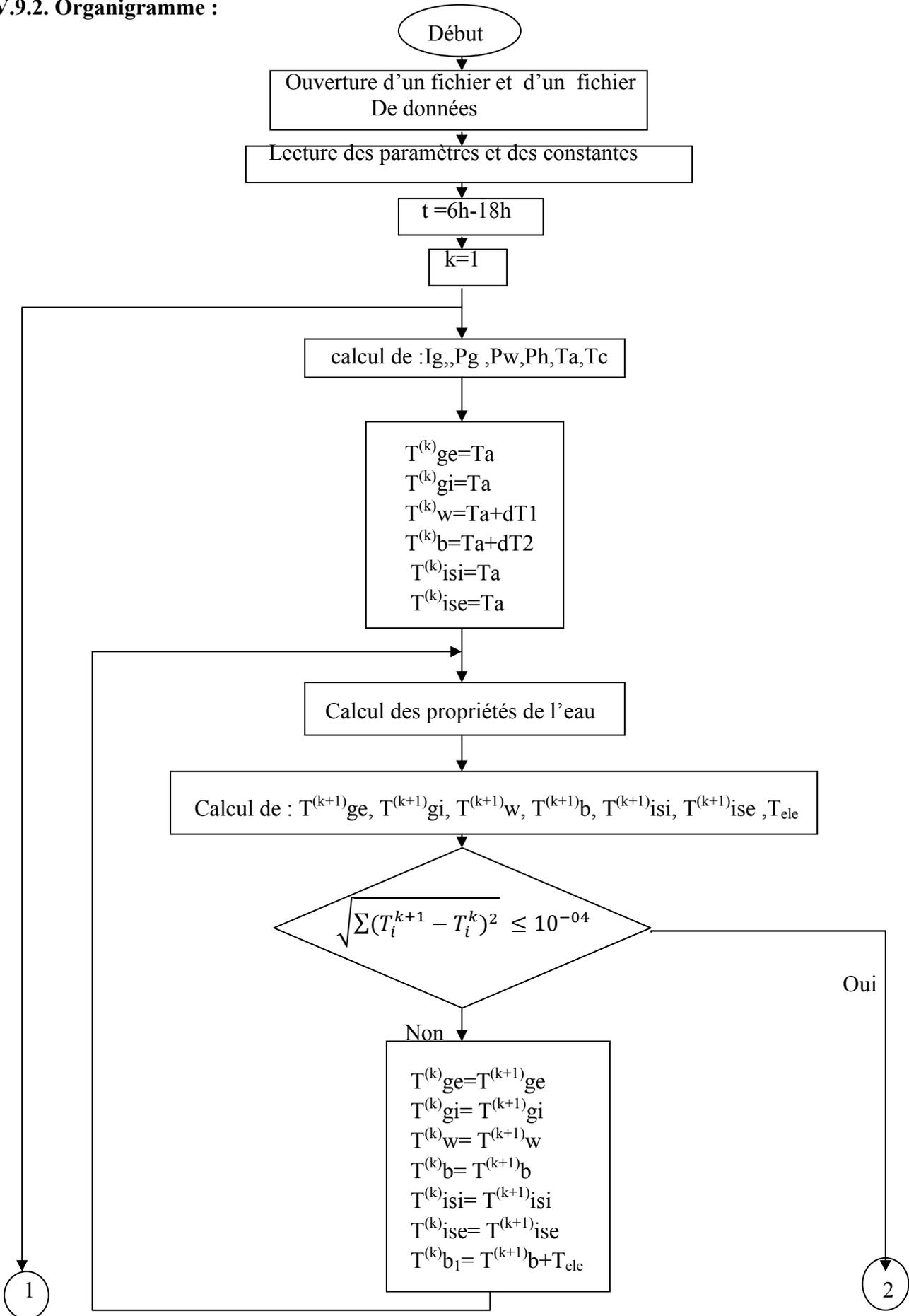
- Le rayonnement solaire frappant un plan horizontal et un plan incliné ;
- La puissance absorbée par la vitre, le bac absorbant, et la saumure ;
- la température ambiante et la température du ciel.
- la température produit par les résistances électriques.

3) On suppose que les différents composants du distillateur sont à la température ambiante, seulement la saumure et le bac absorbant sont à des températures supérieures à cette dernière, et on calcul pour les températures initiales :

- Les pressions partielles de la vapeur d'eau à la température de la saumure et la pression partielle de la vapeur à la température du côté intérieur de la couverture.
- A la température T_w , on calcule les propriétés de la saumure :
 - La masse volumique.
 - La conductivité thermique.
 - La viscosité cinématique et dynamique.
 - La capacité thermique.
 - La chaleur latente de vaporisation.
- Calcul des coefficients d'échange thermique par rayonnement entre la vitre (côté extérieur) , entre la vitre (côté intérieur) et la saumure et entre l'isolant (côté intérieur) et le sol.
- Calcul du coefficient d'échange thermique par convection entre :
 - Le bac absorbant et la saumure ;

- La saumure et la vitre.
 - Calcul du coefficient d'échange thermique par évaporation entre la saumure et la vitre.
 - Calcul des éléments de la matrice.
 - Résolution du système d'équation par la méthode de GAUSS-SEIDEL d'itération.
- 4) La troisième étape est reprise avec les températures obtenues.
- 5) Calcul de :
- L'efficacité globale ;
 - L'efficacité interne ;
 - La performance.

IV.9.2. Organigramme :



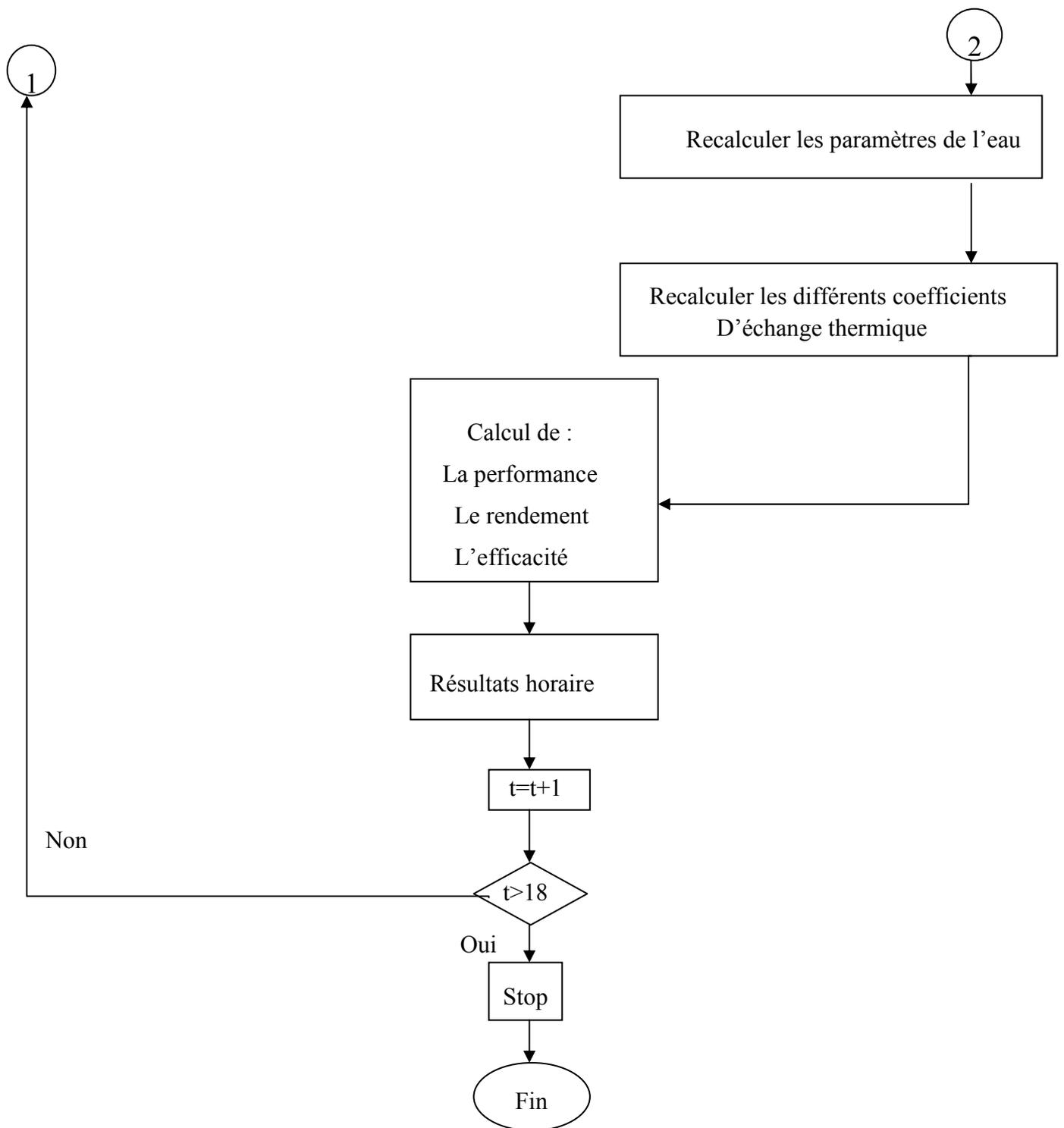


Figure IV.6. Organigramme principal

Conclusion :

Nous avons étudié théoriquement les deux types de distillateurs solaire 'distillateur solaire plan et le distillateur hybride' .on a présenté le principe de fonctionnement et le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur, la puissance électrique produit par le système photovoltaïque, les équations résultants sont résolues par une approche numérique basée sur la méthode de GAUSS Seidel d'itération et le principe de simulation, l'algorithme de programmation.

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

- Ce chapitre présente l'ensemble des résultats obtenus par la simulation, ainsi quelques interprétations.

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

V.1. Introduction

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 ^E
Alger	36.833	3.000 ^E
Annaba	36.917	7.783 ^E

Tableau V.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° par rapport à l'horizontale et avec un azimut de 0° par rapport au sud.
- Le 1 juin a été choisi comme jour de calcul.
- 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.

V.2 .Variation des puissances solaires absorbées :

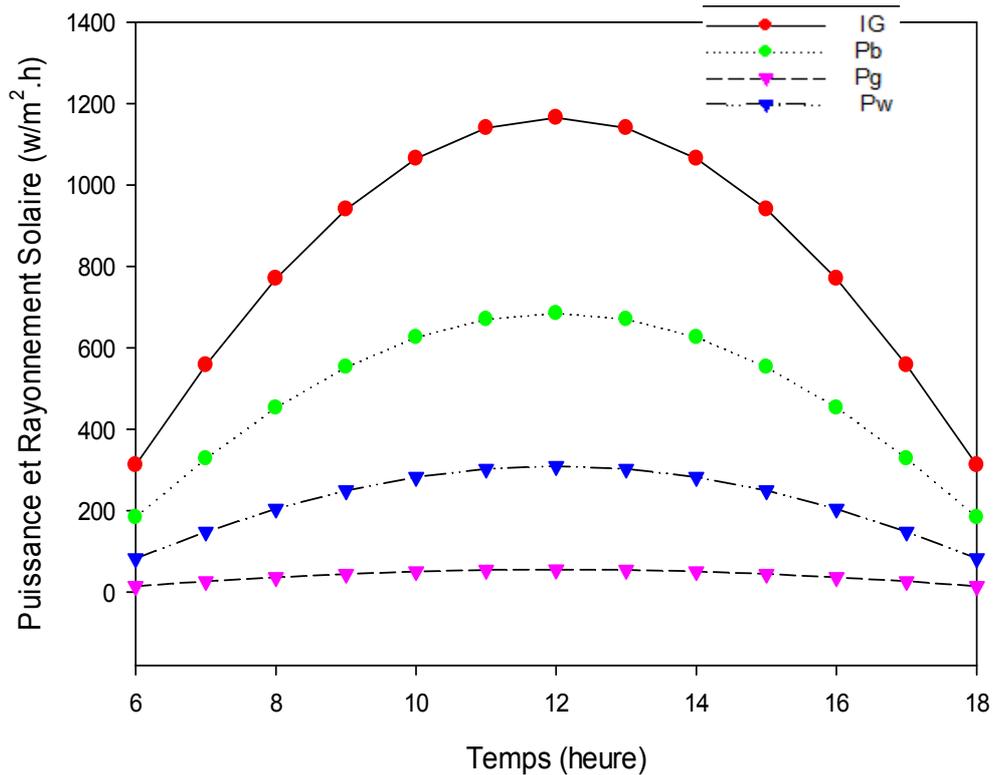


Figure V .1 Variation temporelle des rayonnements solaires et les Puissances absorbées par le distillateur

La Figure (V.1) Montre l'évolution temporelle du rayonnement solaire global, reçu par mètre carré de surface plane horizontale et des puissances absorbées par la saumure et par la vitre de distillateur.

On peut remarquer que la puissance atteint son maximum à 12^h00 (les valeurs maximales sont situées entre 10^h00 et 14^h00).

La puissance absorbée par la vitre reste toujours inférieure à celle absorbée par la saumure, ceci est due à ses caractéristiques géométriques (épaisseur faible) et optiques (coefficient d'absorption faible et coefficient de transmission élevé).

V.3. Variation des températures :

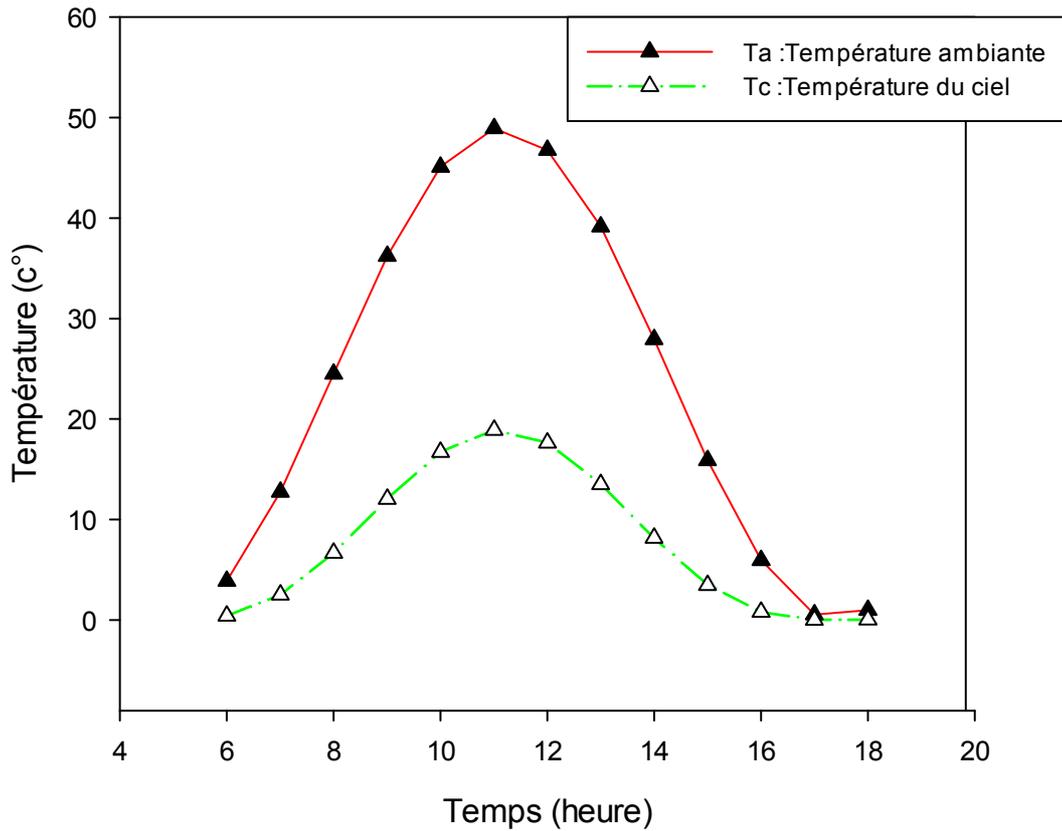


Figure V.2 - Variation temporelle de la température ambiante et la température de ciel

La température du ciel est variée en fonction de la température ambiante (T_a), il s'ensuit que les courbes représentent l'évolution temporelle de la température du ciel (T_c) et celle de l'ambiance ont la même allure (Figure V.2). Elles atteignent les valeurs maximales dans l'intervalle (10^h00 ; 14^h00).

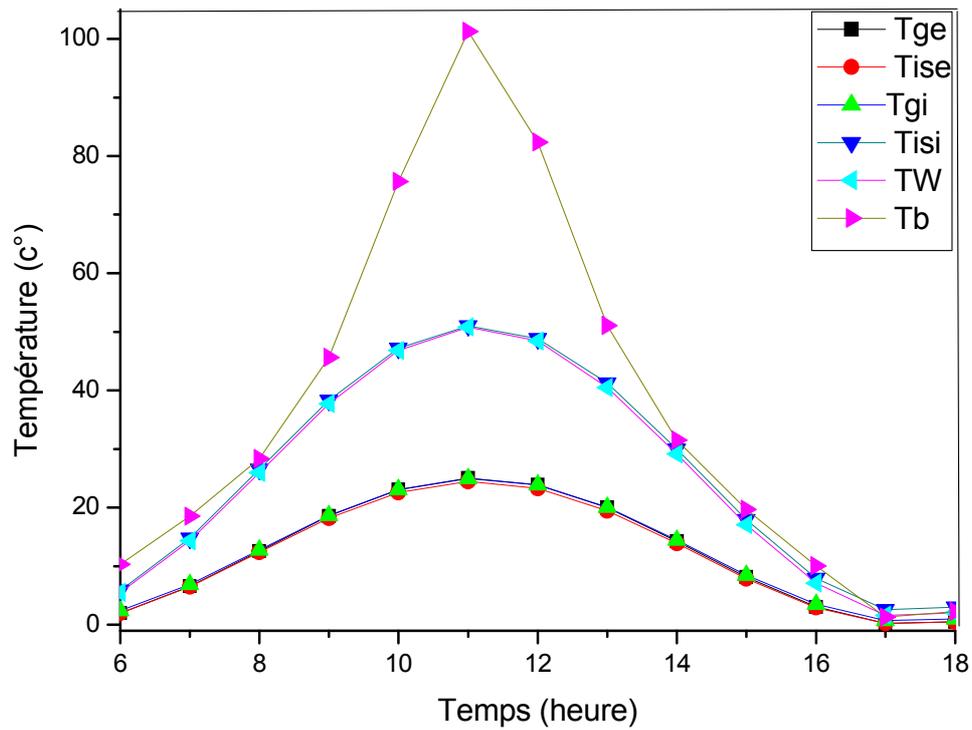


Figure V.3 a-Variation temporelle des différentes température de distillateur

- La variation des températures en fonction du temps est illustrée dans les Figures (V.3.a)

On observe que la température du bac absorbant est élevée et supérieure à celle absorbée par la saumure et la face intérieure de l'isolant par ailleurs la vitre et la face extérieure de l'isolant prennent les valeurs faibles à cause de leurs propriétés physique et thermique des deux éléments.

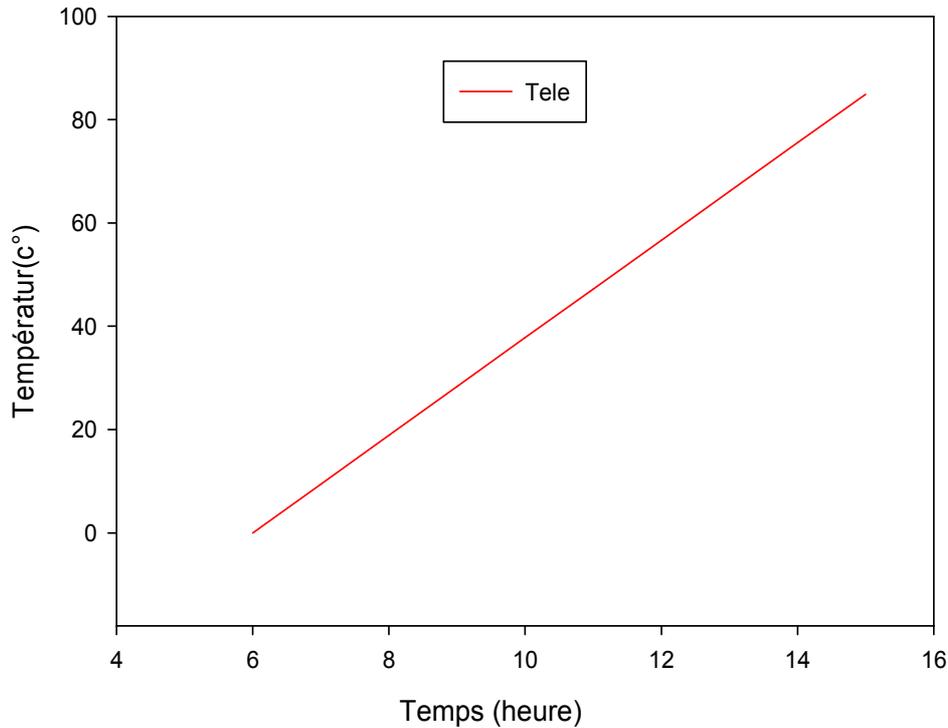


Figure V.3.b . Variation temporelle de la température produite par les résistances

- La Figure(V.3.b) montre la variation de la température engendrée par les résistances électriques en fonction de temps, elle atteint son maximum à 18h d'une façon monotone.

V.4. Variation de la production, des efficacités globale et interne :

La production horaire de l'eau distillée est représentée dans la figure (V.4). Cette production commence à être considérable à partir de 9h^h00 du matin.

Nous constatons d'une part que le distillateur hybride possède des valeurs supérieures entre 7h^h et 18^h Par comparaison avec les valeurs de production du distillateur thermique.

L'analyse des courbes de la figure (V.5) permet de noter que l'efficacité globale du distillateur thermique augmente pour atteindre le maximum à 13h ensuite diminue à des valeurs faibles à 18h.

L'efficacité globale du distillateur hybride augmente et atteint au maximum à 18h. Par comparaison entre les deux courbes, on a remarqué que l'efficacité globale de distillateur hybride est identique au distillateur simple de 6h à 11h, mais de 12h à 18h l'efficacité globale de distillateur hybride augmente jusqu'au maximum à 18h, l'efficacité globale de distillateur thermique est décroissante jusqu'au minimum à 18h.

Les courbes illustrant la variation temporelle de l'efficacité interne figure (V6) ont la même allure que celles de la figure (V5), néanmoins cette dernière est plus élevée que l'efficacité globale.

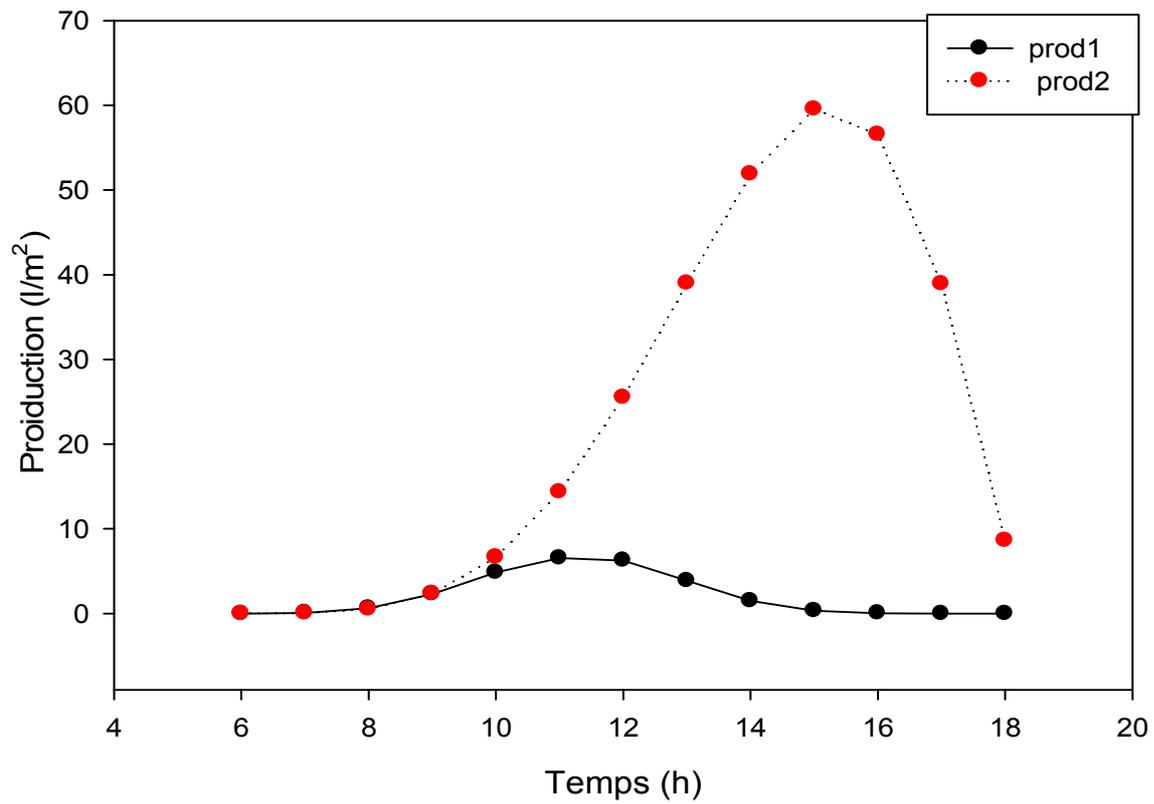


Figure V 4 . variation temporelle de production des deux distillateurs

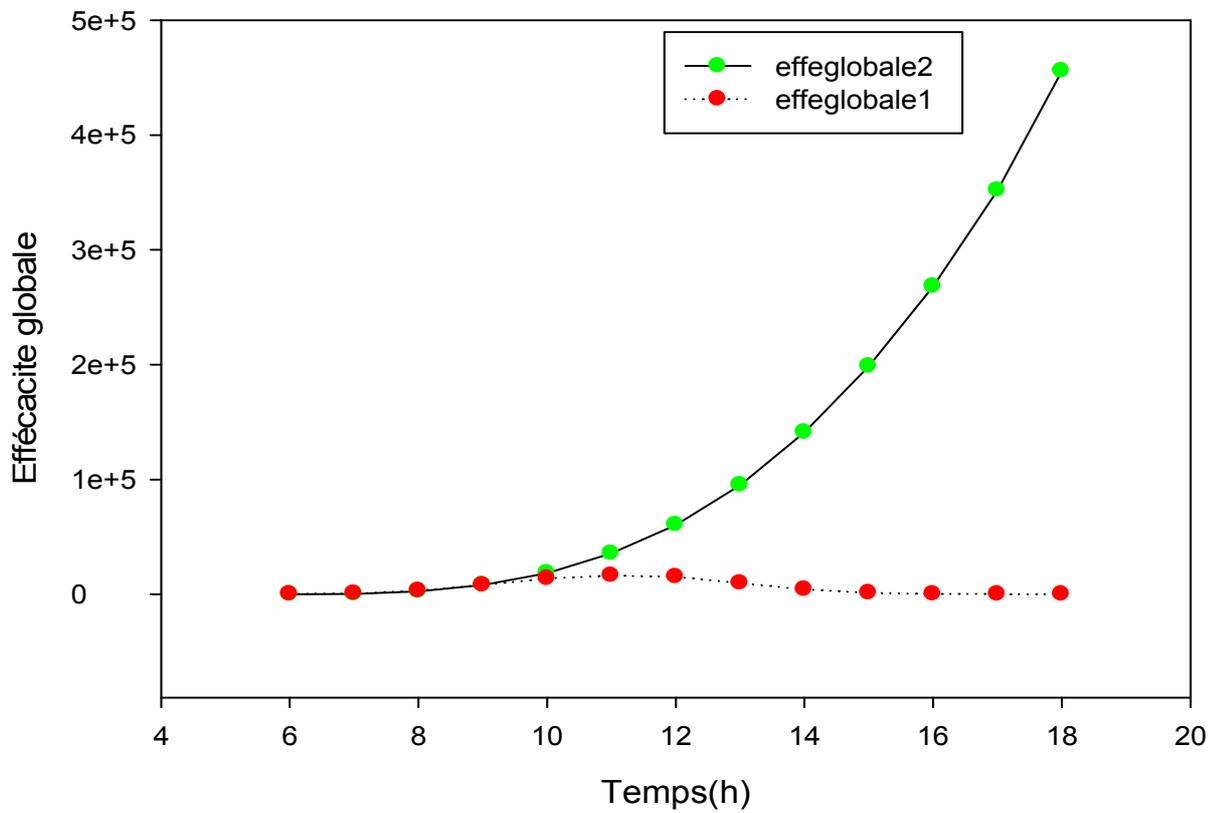


Figure V5. variation temporelle de l'efféacite globale

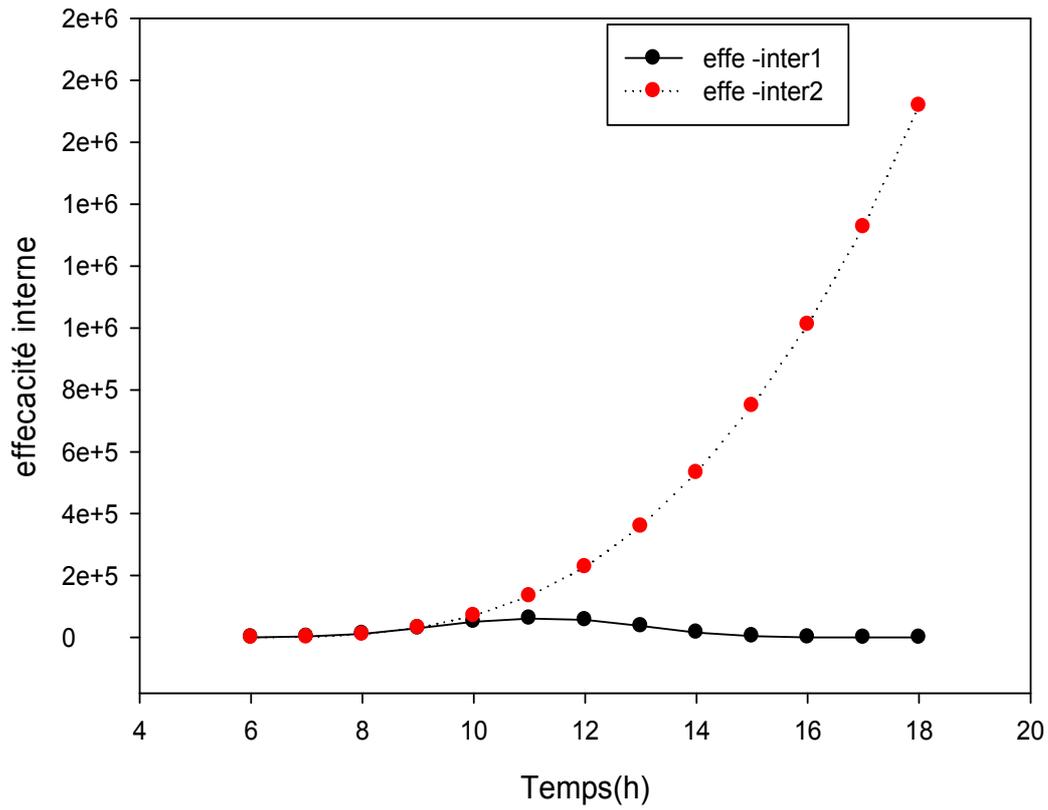


Figure V6. variation temporelle de l'efficacite interne

V.5. Performance du distillateur :

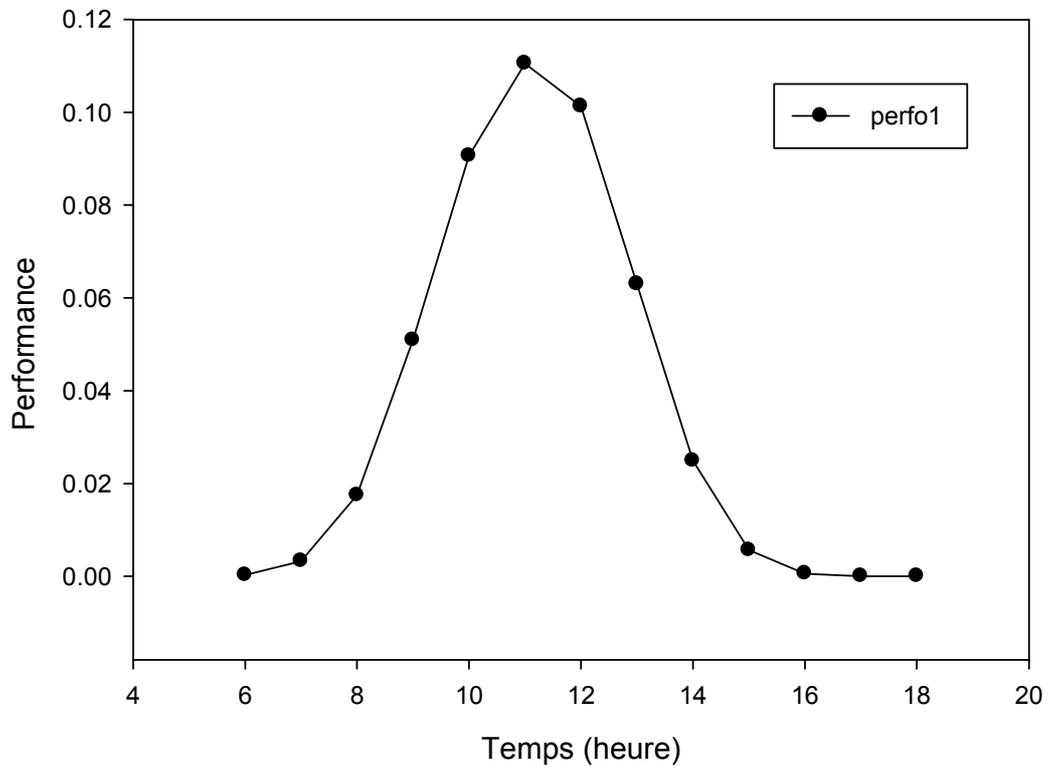


Figure V.7a.Variation temporelle du performance de distillateur simple

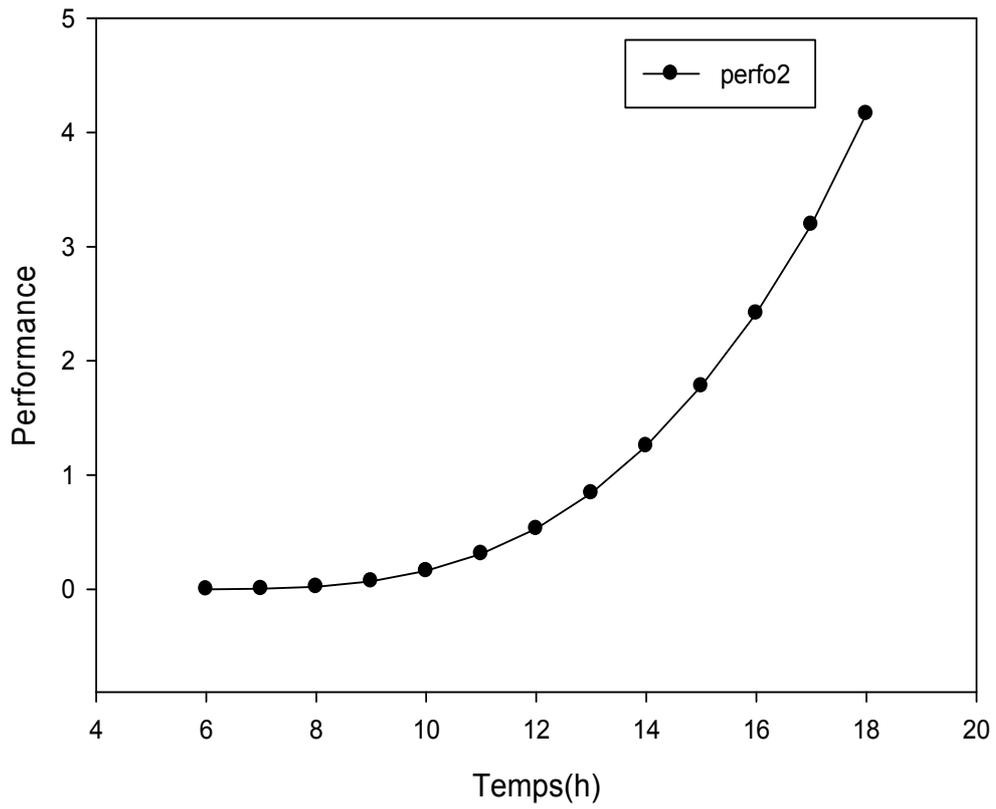


Figure V.7 b. la variation temporelle de performance de distillatur hybride

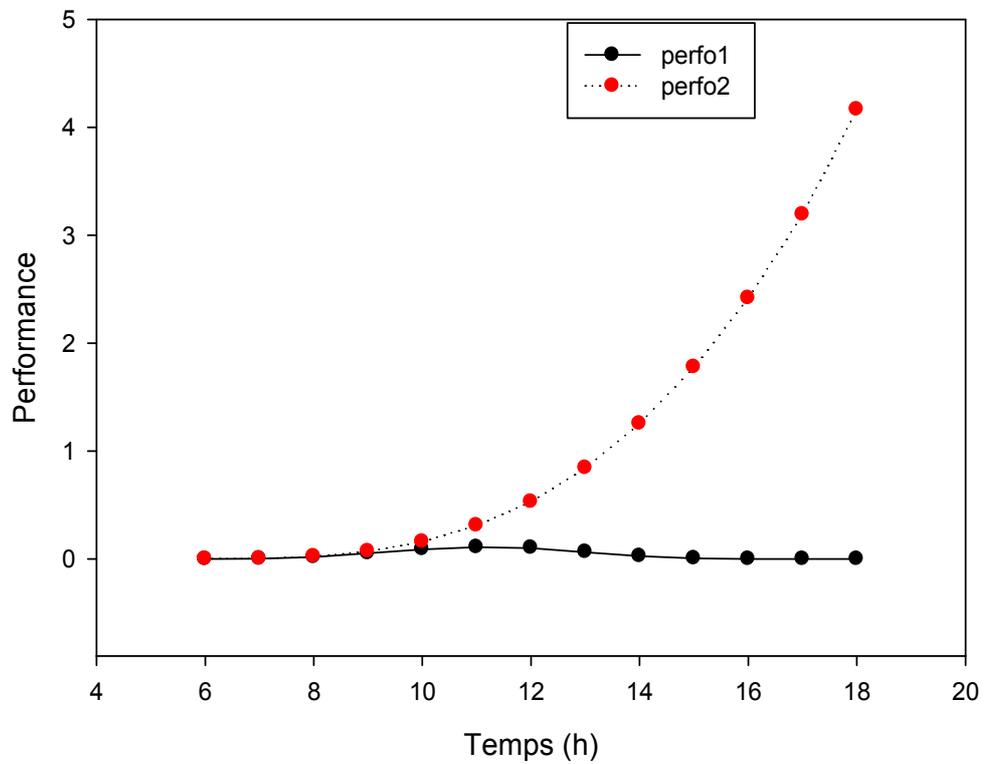


Figure V7c .la variatiron temporelle de performance des deux distillateurs

La figure (V7.a) illustre la variation temporelle de la performance du distillateur simple qui prend la même allure que la production, les sommets des valeurs se trouve entre 10h et 14h. La figure (V7 b) montre la variation de la performance de distillateur hybride qui atteint son maximum à 18h à cause de la température produit par les résistances électrique qui est évoluée en fonction de temps.

V.6. Effet des paramètres externes et internes sur le fonctionnement du distillateur solaire :

Après avoir étudié les principales variations des caractéristiques de fonctionnement des distillateurs solaires, notre intérêt va porter dans ce qui suit à l'effet des paramètres externes et internes sur le fonctionnement de ces distillateurs.

V.6.1. Paramètres externes :

1. Effet du trouble atmosphérique :

La Figure (V.8) montre l'effet de la nature de ciel sur la production temporelle des distillateurs. Si le ciel est claire la puissance solaire augmente et la production atteint son maximum, si la puissance solaire démunie la production seras décroît, les coefficients a et b déterminent la nature de ciel.

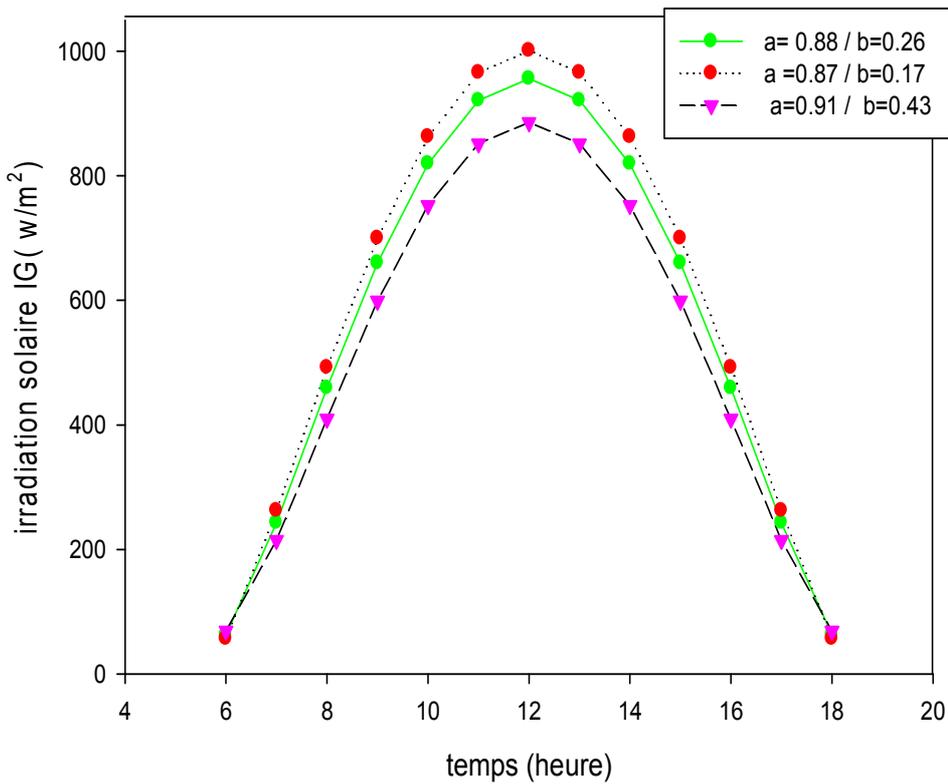


Figure V8a . variation d'irradiation solaire en fonction du trouble atmosphérique

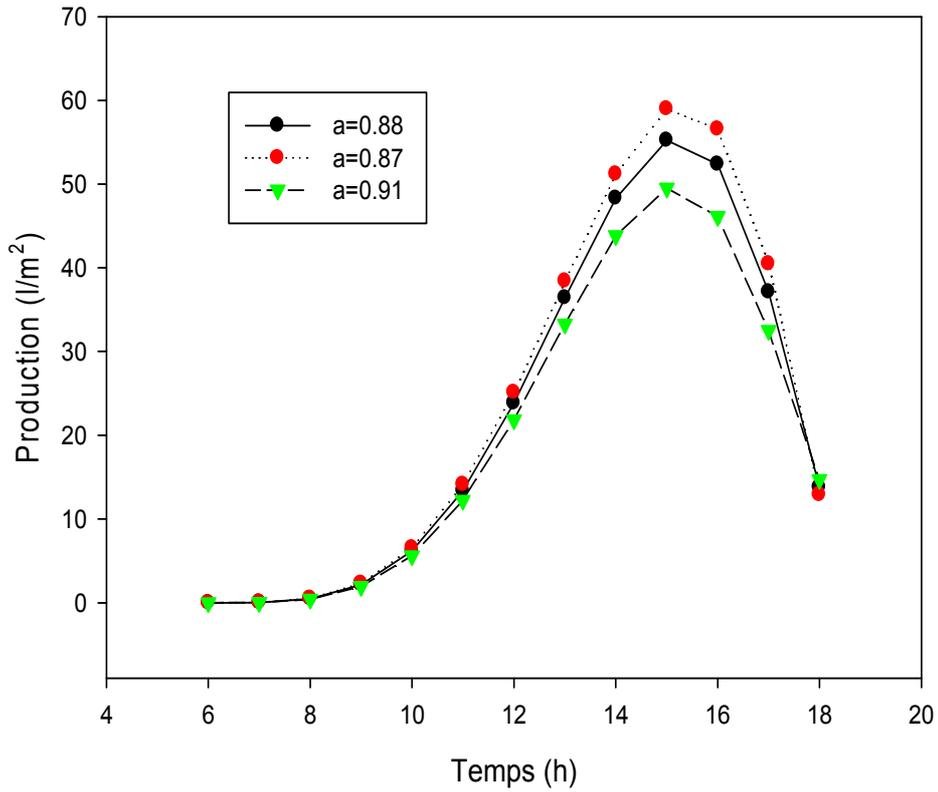


Figure V8b l'effet de trouble atmosphérique sur la production de distillateur hybride

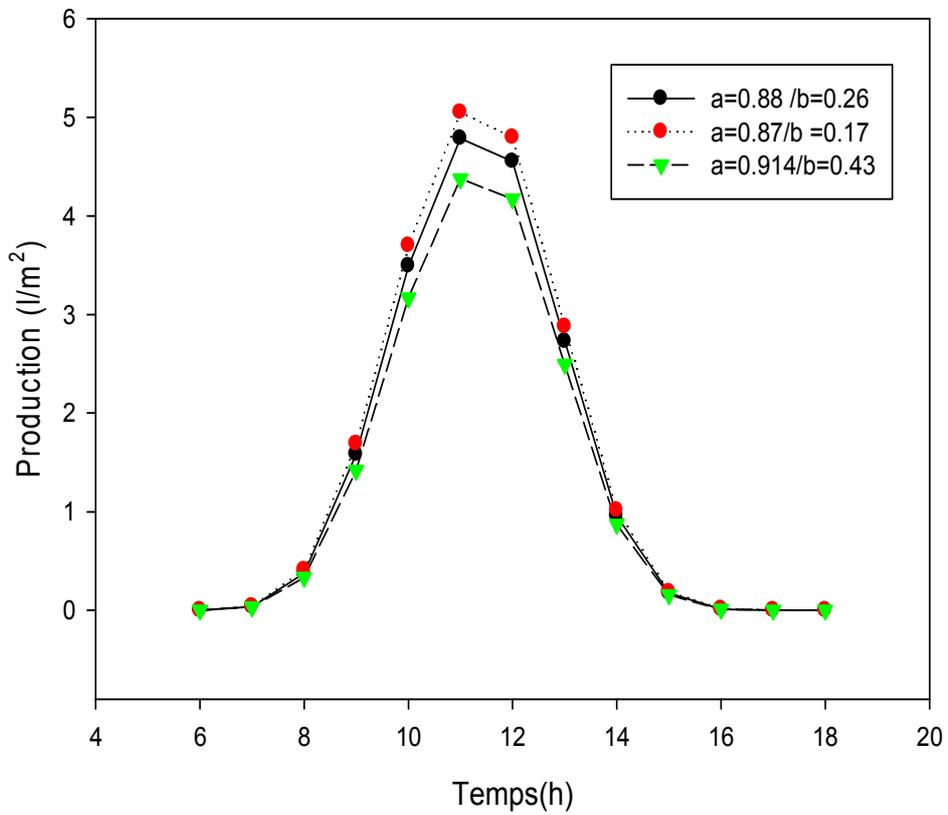


Figure V8c.l'effetr de trouble atmosphérique sur la production de distillateur simple

2. Effet de la vitesse du vent

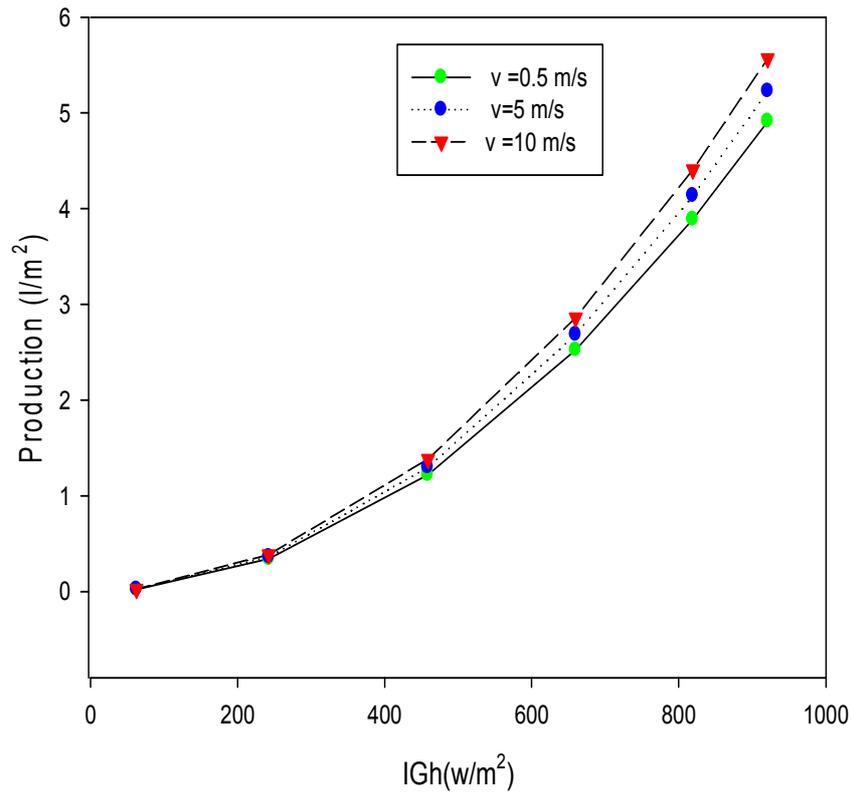


Figure V9a effet de la vitesse du vent sur la production de distillateur solaire thermique

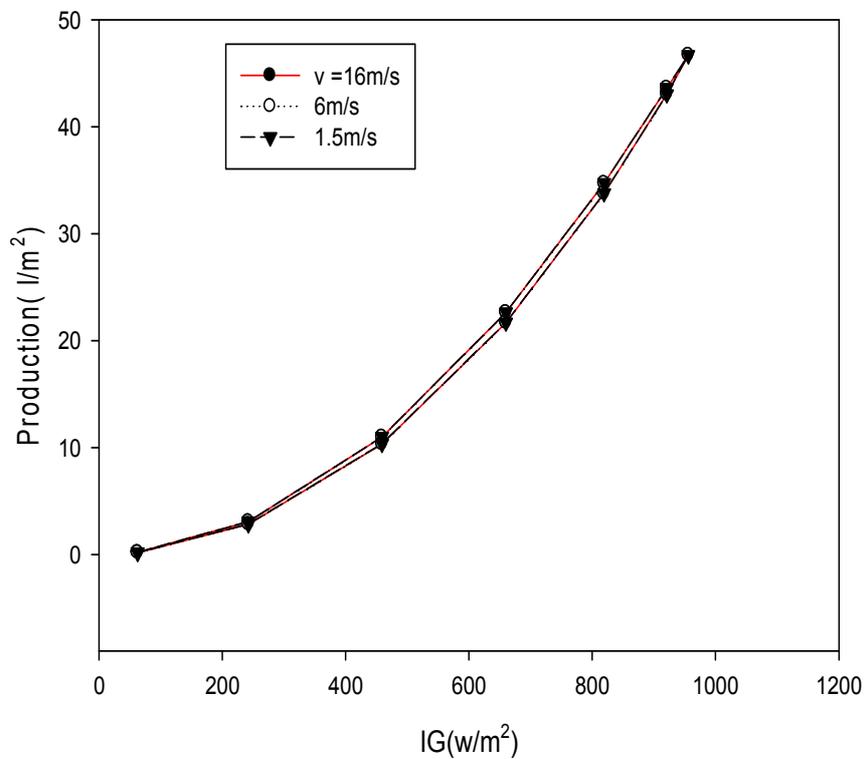


Figure V9b. effet de vitesse de vent sur la production de distillateur hybride

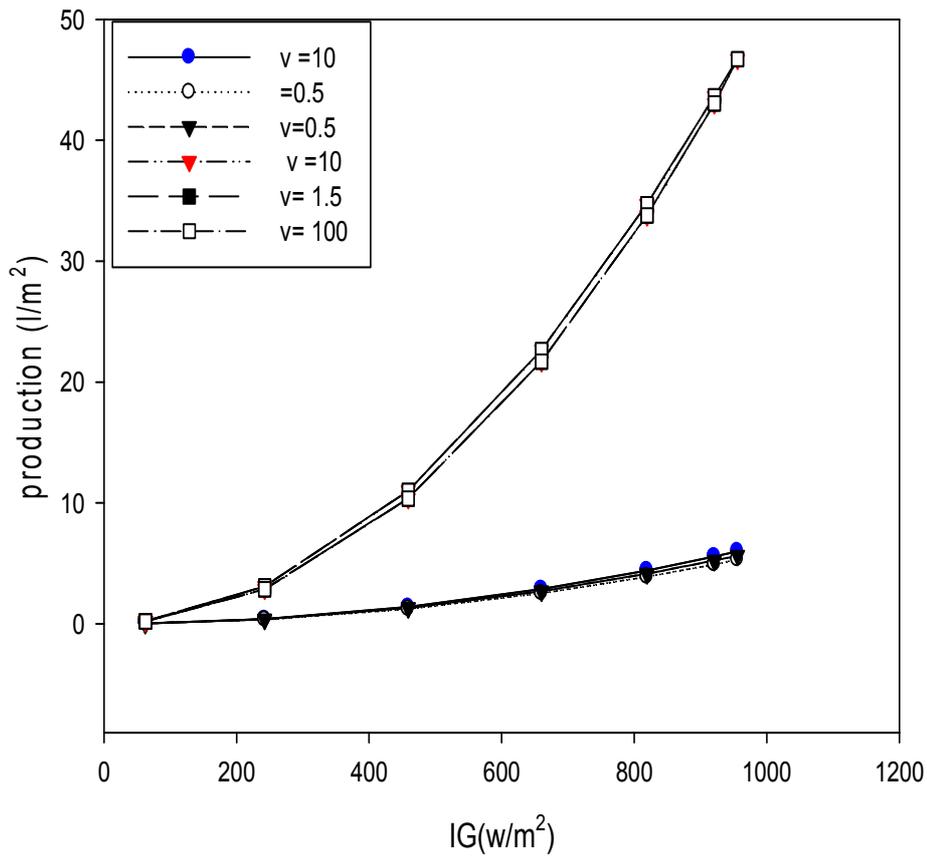


Figure V9c. effet de la vitesse de l'air sur la production des deux distillateurs

Les figures (V.9.a),(V.9.b), (V.9.c) illustrent l'effet du vent sur la production horaire des distillateurs solaire simple et hybride, ils montrent que l'augmentation de la vitesse du vent influe sur la production. En effet l'accroissement de la vitesse du vent engendra une chute de la température de la vitre, ce qui croît l'écart de température entre la saumure et la vitre conduisant à une augmentation de la production. Mais pour le distillateur hybride l'effet de vitesse est faible à cause de la température élevée engendrée par la résistance électrique.

3. Effet de la température ambiante :

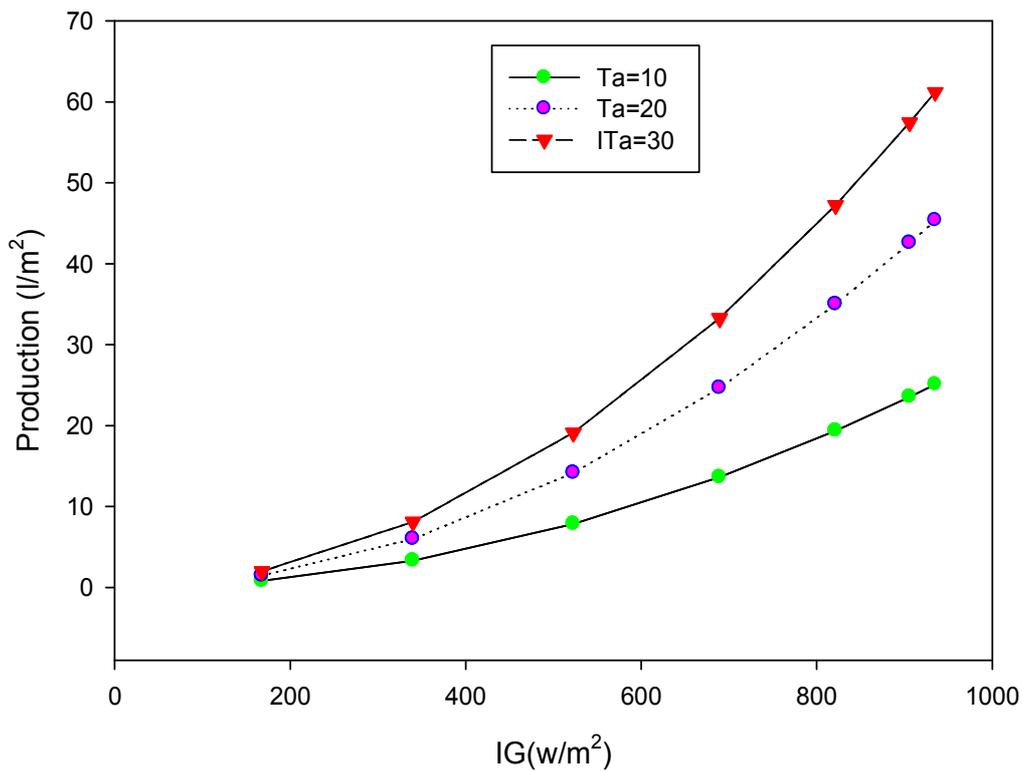


Figure V10a. effet de la température ambiante sur la production de distillateur simple

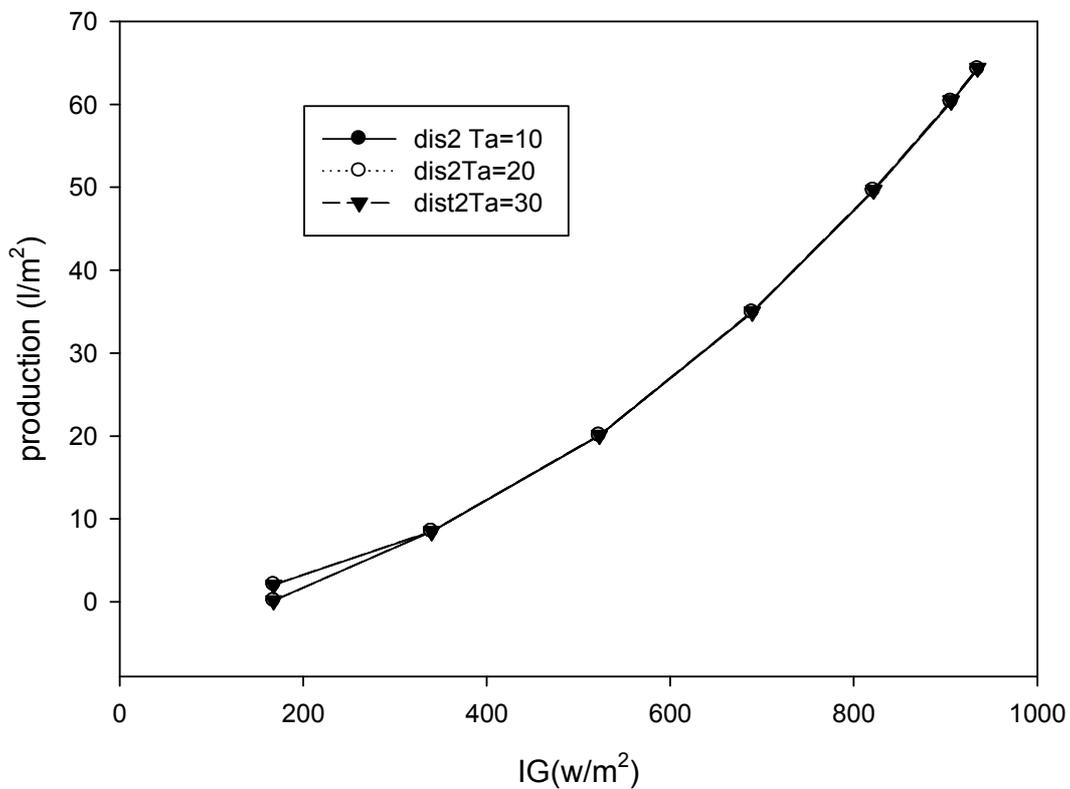


Figure V10b .effet de la température sur la production de distillateur hybride

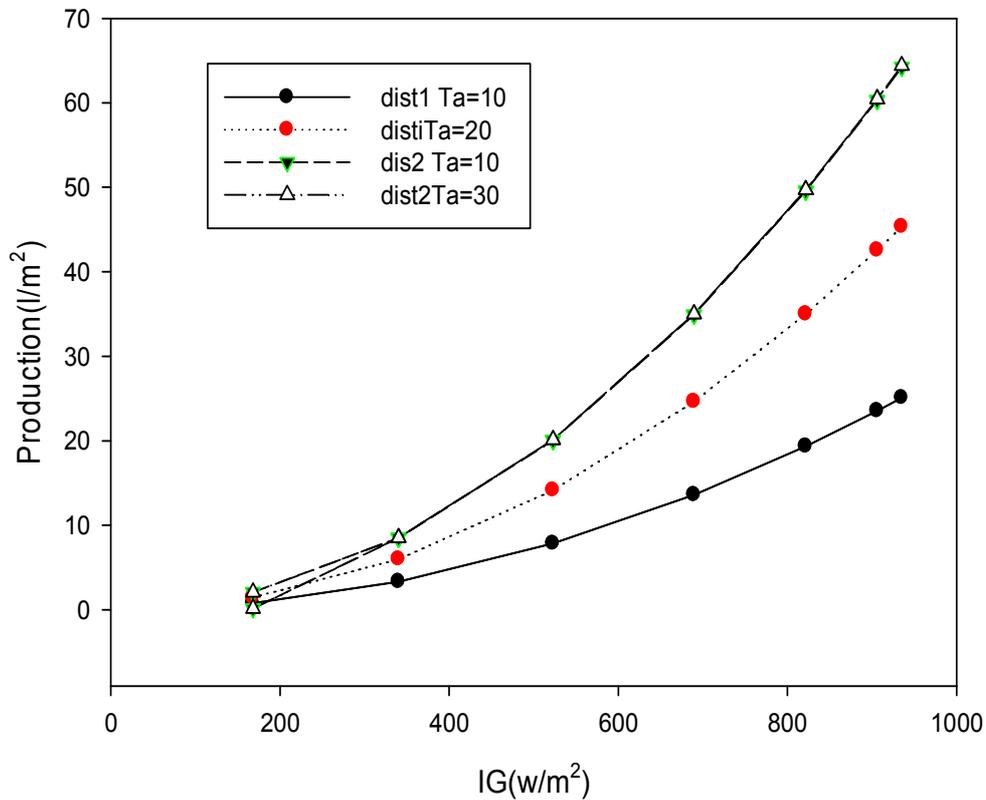


Figure V10c. effet de la température ambiante sur la production des deux distillateurs

La figure (V.10 a) permet de remarquer que pour le distillateur simple, l'augmentation de la température ambiante augmente la production. donc la température ambiante à un effet sur toutes les températures du distillateur, la diminution de celle-ci entraîne une chute de la température de la saumure, le système a refroidi ce qui provoque la diminution de la production.

Mais pour le distillateur hybride la variation de production est faible, puisque le distillateur utilise un autre générateur de température. L'augmentation de T_a augmente la production de distillateur hybride avec des valeurs faible figure (V10b).

La figure (V10c) illustre l'effet de la variation de T_a sur la production des deux distillateurs, on remarque que l'écart entre les courbes de production de distillateur simple est plus grand que l'écart entre les courbes de distillateur hybride.

V.6.2. Paramètres internes

-1. Effet de l'inclinaison :

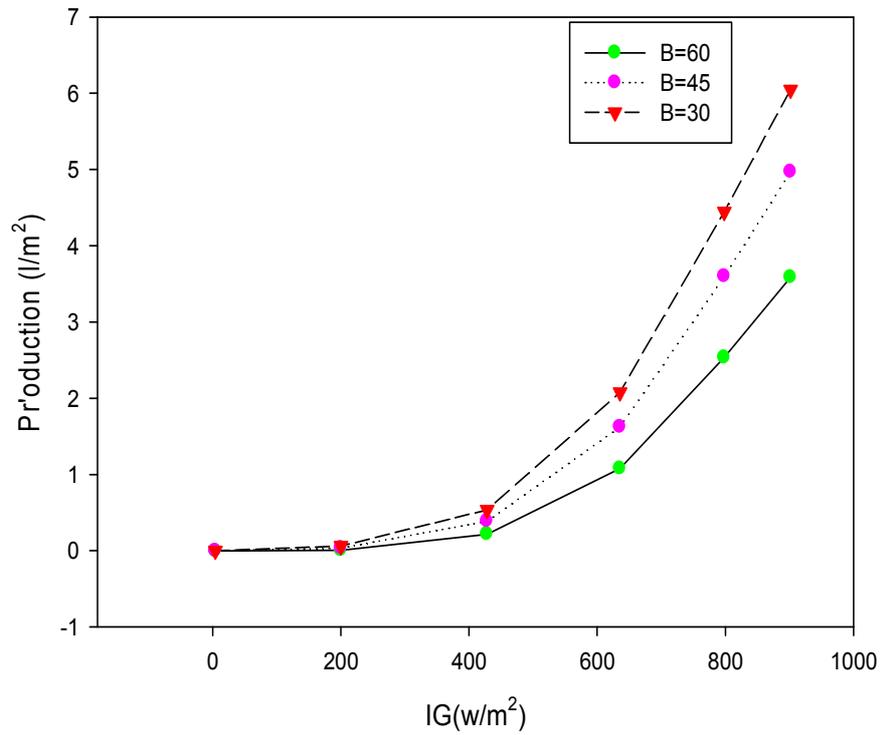


Figure V11a. effet de l'angle d'inclinaison sur la production distillateur simple

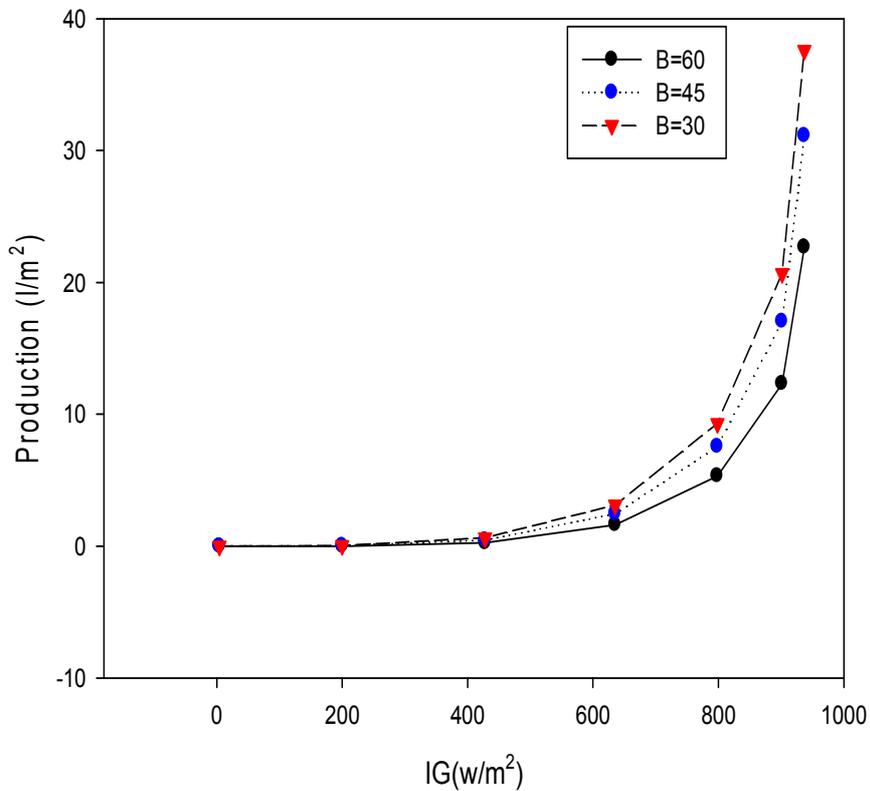


Figure V11b. effet de l'angle de l'inclinaison sur la production distillateur hybride

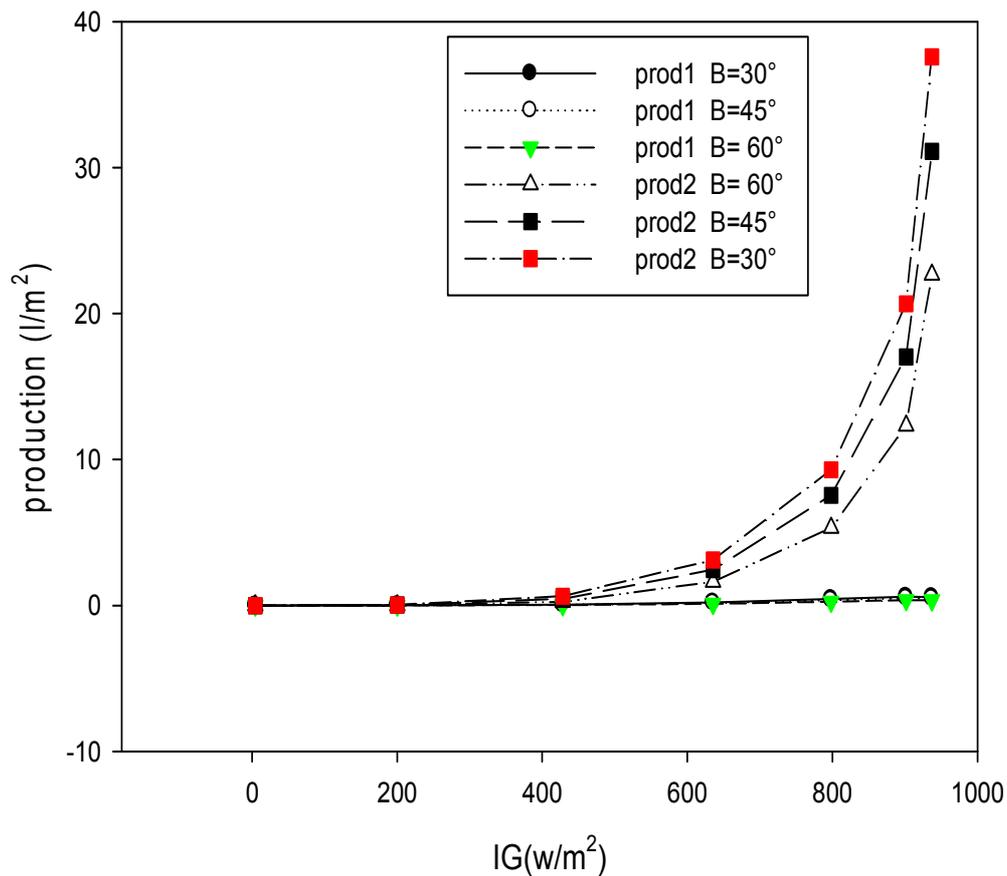
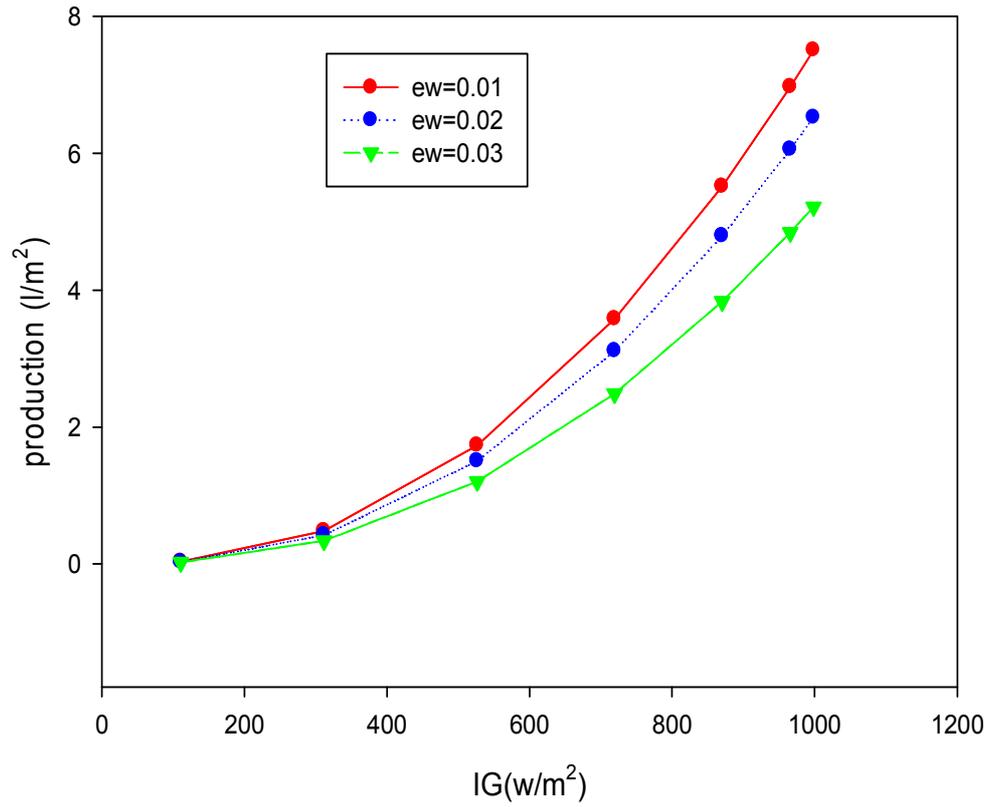


Figure V11c. effet de l'inclinaison sur la production des deux distillateurs

Il apparaît que l'augmentation de l'angle d'inclinaison conduit également à une baisse de production. Qui est plus élevée quand l'angle d'inclinaison ($B=30^\circ$) et plus faible quand $B=60^\circ$ à cause de la puissance solaire qu'est en maximum à $B=30^\circ$ est en minimum à $B=60^\circ$.

La variation de production de distillateur simple est plus élevée par rapport au distillateur hybride à cause des caractéristiques de chaque distillateur.

- 2.Effet de l'épaisseur de la nappe d'eau :



FigureV12a. Effet de l'epaisseur d'eau sur la production simple

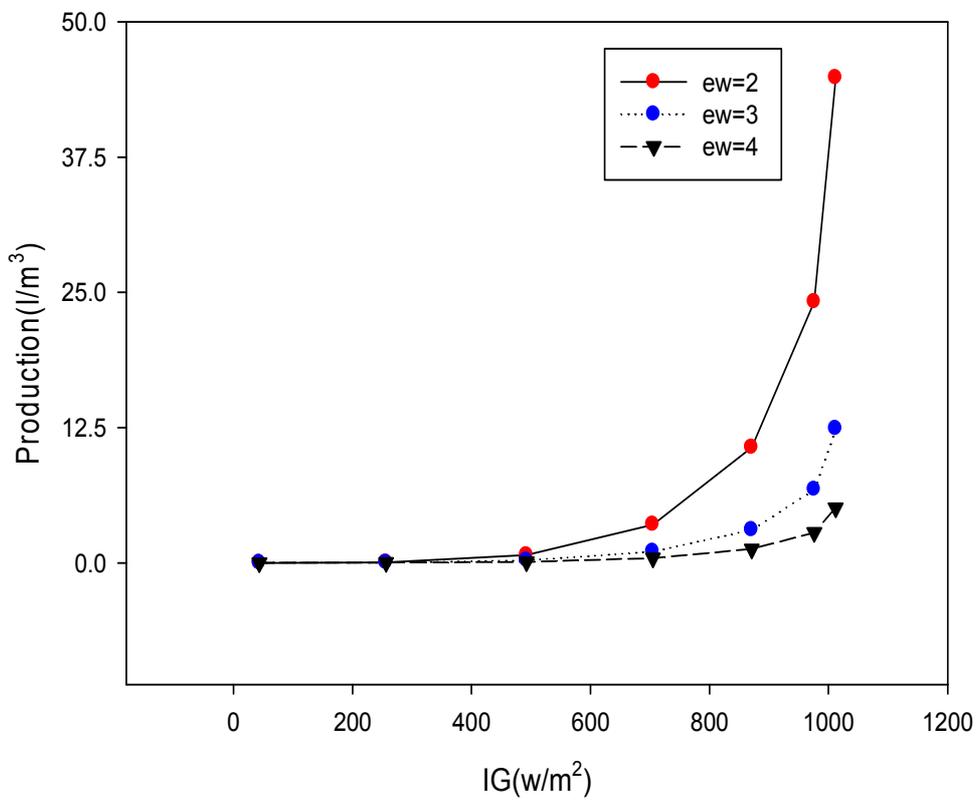


Figure V12b. effet de l'epaisseur d'eau sur la production distillateur hybride

L'effet de l'épaisseur de la saumure sur la production, d'un distillateur simple et distillateur hybride est respectivement mis en évidence sur les figures (V12a), Figure (V12b), qui montrent que la diminution de l'épaisseur de la couche d'eau conduit à l'augmentation de production des distillateurs.

-3. Effet de la température de la saumure sur la production :

La variation de la production des distillateurs simple et hybride en fonction de la température de la saumure est illustrée respectivement par les figures (V13a, V13b, V13c) qui montrent que l'augmentation de la température de saumure conduit à l'augmentation de la production.

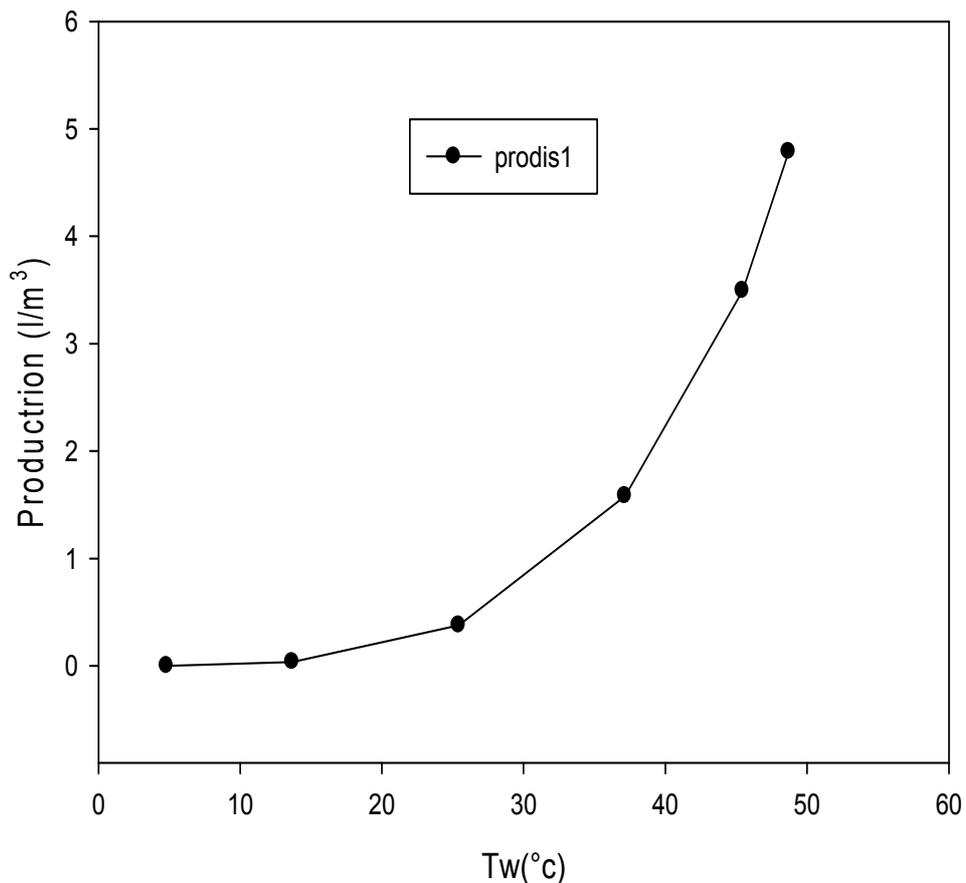
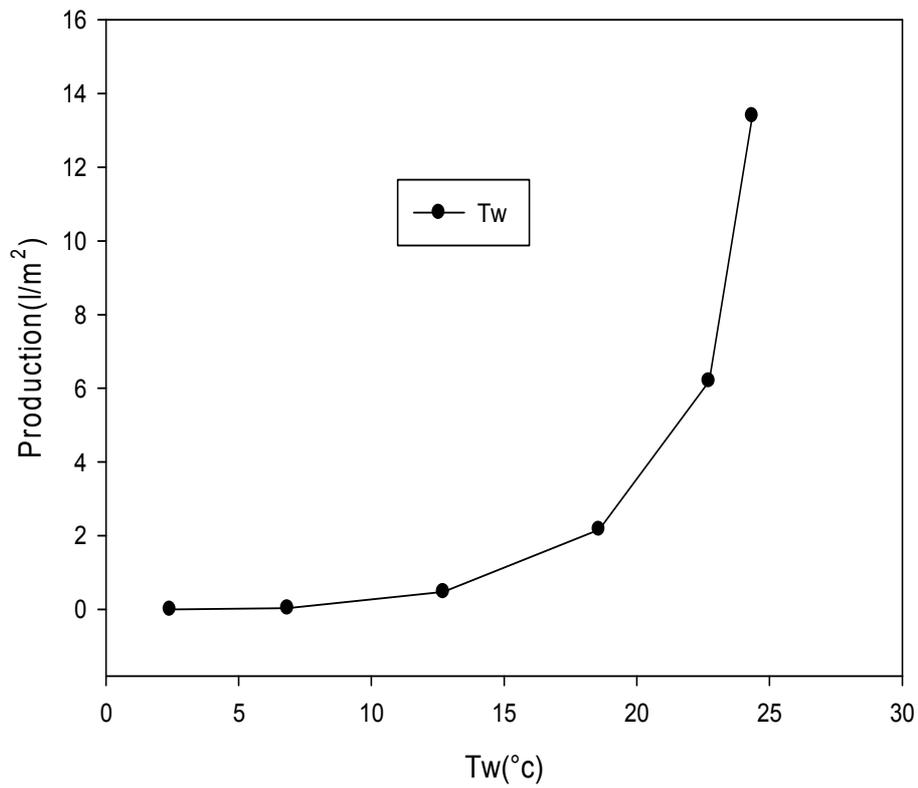


Figure V13a . variation de production en fonction de la température de la saumure



FigureV. .b variation de production en fonction de la température de la saumure distillateur hybride

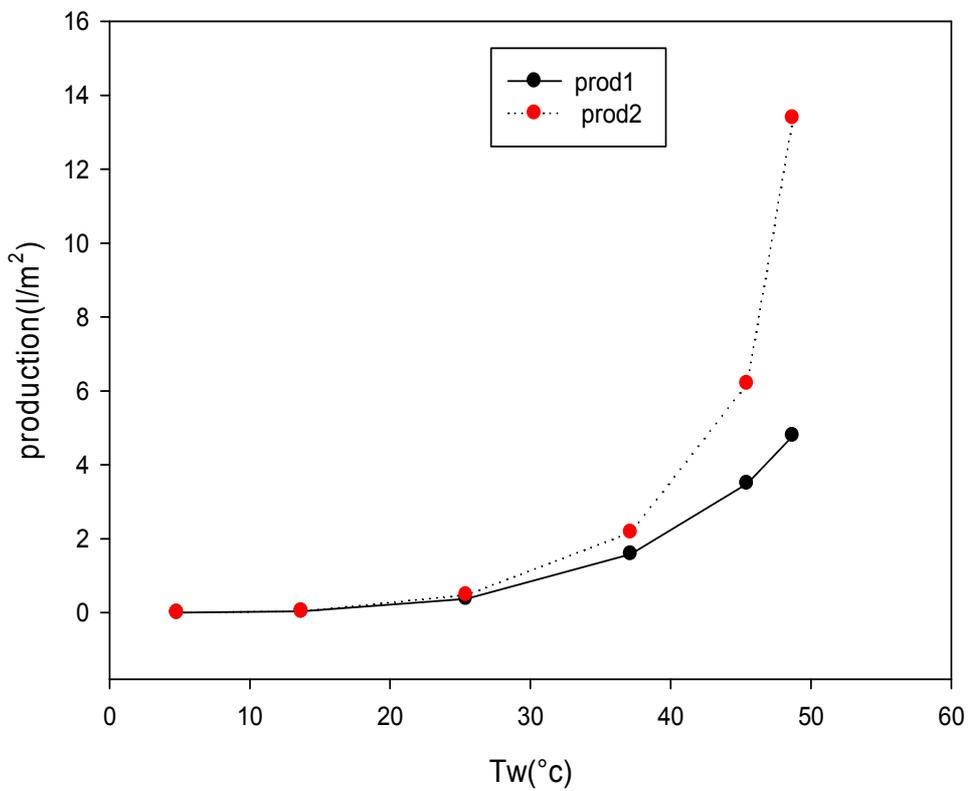


Figure V13c .la variation de production des distillateurs en fonction de la température de la saumure

V.7. Influence des paramètres thermo-physiques :

1- paramètres thermo physiques de la saumure :

Avant d'étudier l'influence des paramètres thermo physiques de la saumure sur le fonctionnement du distillateur, nous intéressons tout d'abord à la variation temporelle de ces paramètres.

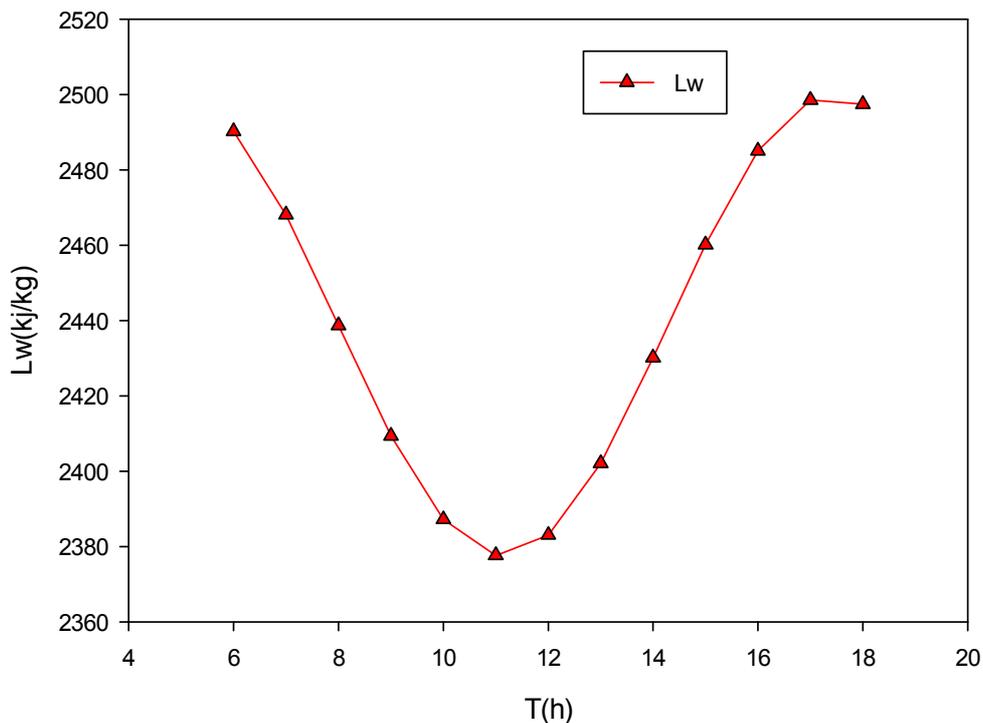
2- Variation de la Chaleur Latente de Vaporisation :

La figure (V.14.a) montre que la chaleur latente de vaporisation de la saumure dans le distillateur simple diminue au fur et à mesure que sa température augmente. Elle atteint des valeurs minimales entre 11^h00 et 13^h00.

On peut conclure qu'elle évolue en sens inverse de la température de la saumure.

La figure (V.14b) montre que la chaleur latente dans le distillateur hybride prend les valeurs maximales à 8h et les valeurs minimales à 18h.

La figure (V14c) illustre la différence entre la variation de la chaleur latente dans les deux distillateurs, qui a le même sens de 6h à 12h et s'oppose à partir de 12h à 18h, la chaleur de distillateur simple faible par rapport à la chaleur dans le distillateur hybride, ceci est dû à la température.



FigureV14a. La variation temporelle de la chaleur latente

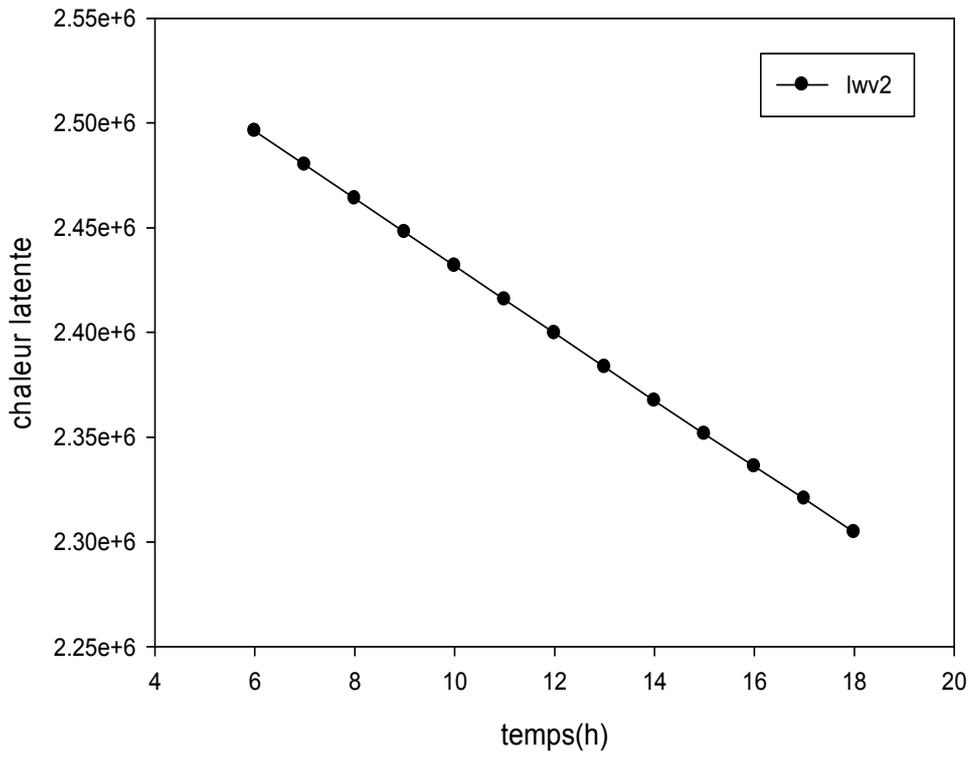


Figure V14b. variation de lachaleur latente en fonction du temps dans distillateur hybrid

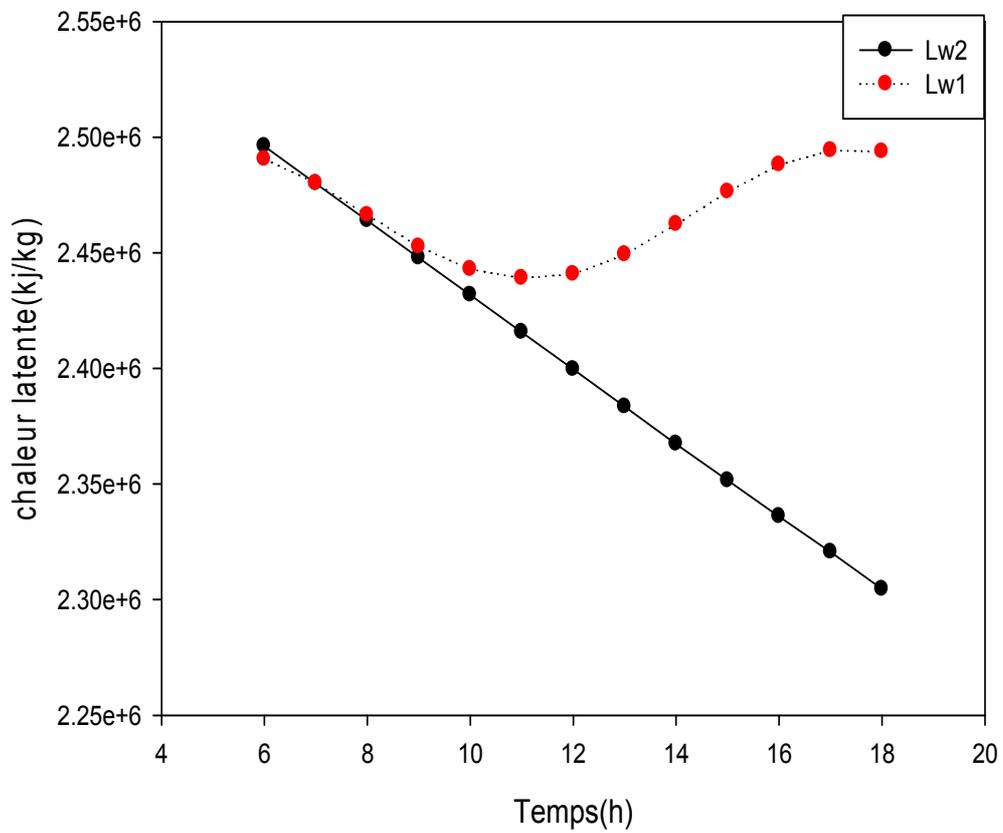


Figure V14c. variation temporelle de lachaleur latente des deux distillateurs

-3. Variation temporelle de la masse volumique de saumure :

La masse volumique de la saumure diminue lorsque la température de la saumure augmente (Figures V.15a, V 15b, V15c), ainsi la température de la saumure influe inversement sur la masse volumique, qui atteint des valeurs minimales entre 11h et 14h.

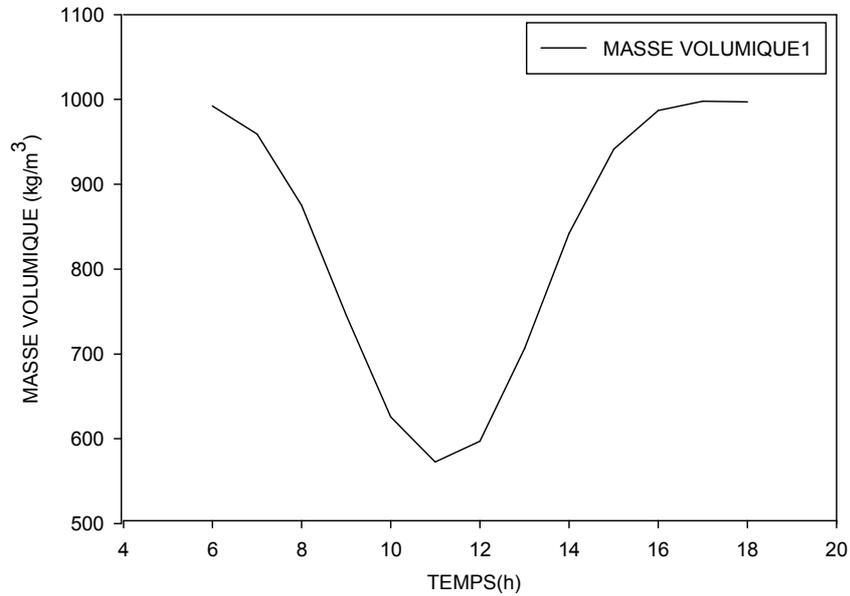


Figure 15a : Variation temporelle de la masse volumique du distillateur simple

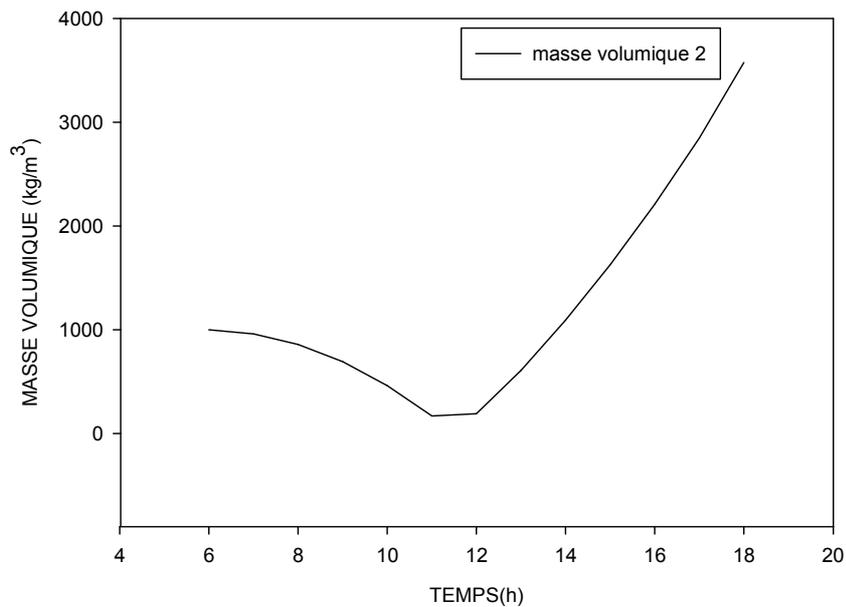


Figure 15 b : Variation temporelle de la masse volumique du distillateur hybride

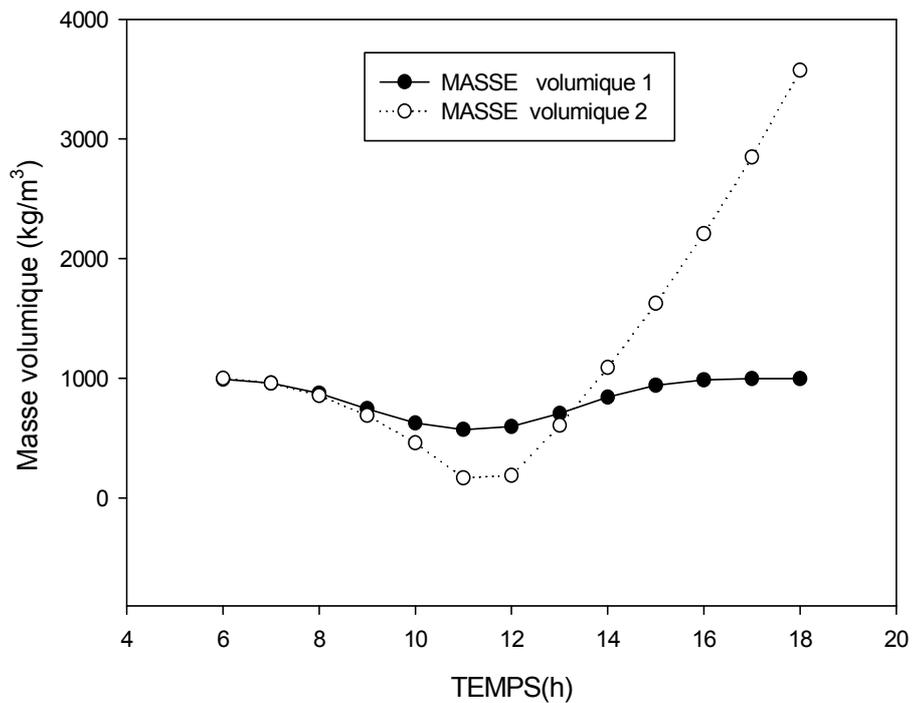


Figure 15c : Variation temporelle de la masse volumique des distillateurs, simple et hybride

5. Variation temporelle de la conductivité thermique :

Nous pouvons remarquer que les courbes des figures (V17.a) illustrant l'évolution temporelle de la conductivité thermique de la saumure qui atteint leurs valeurs maximales approximativement de 11h à 14h. La température de la saumure influe directement sur ces caractéristiques.

La figure (V17.b) de distillateur hybride montre que la conductivité thermique atteint leur maximum à 18h

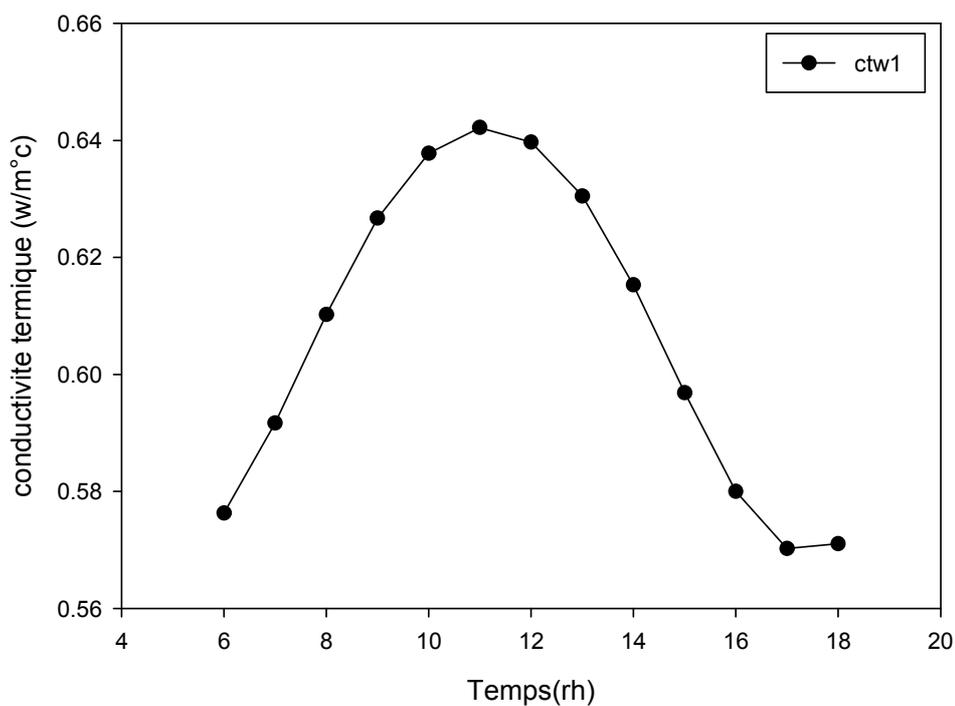


Figure V 17a. Variation temporelle de la conductivité thermique du distillateur simple

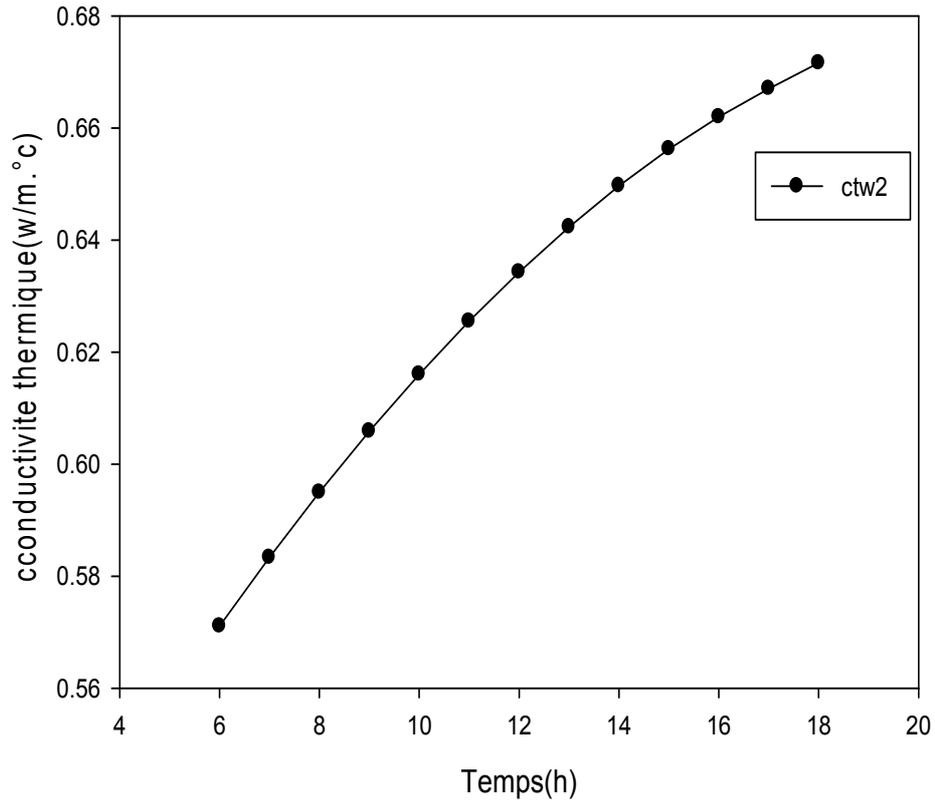


Figure V17b variation temporelle de conductivite thermique du distillateur hybride

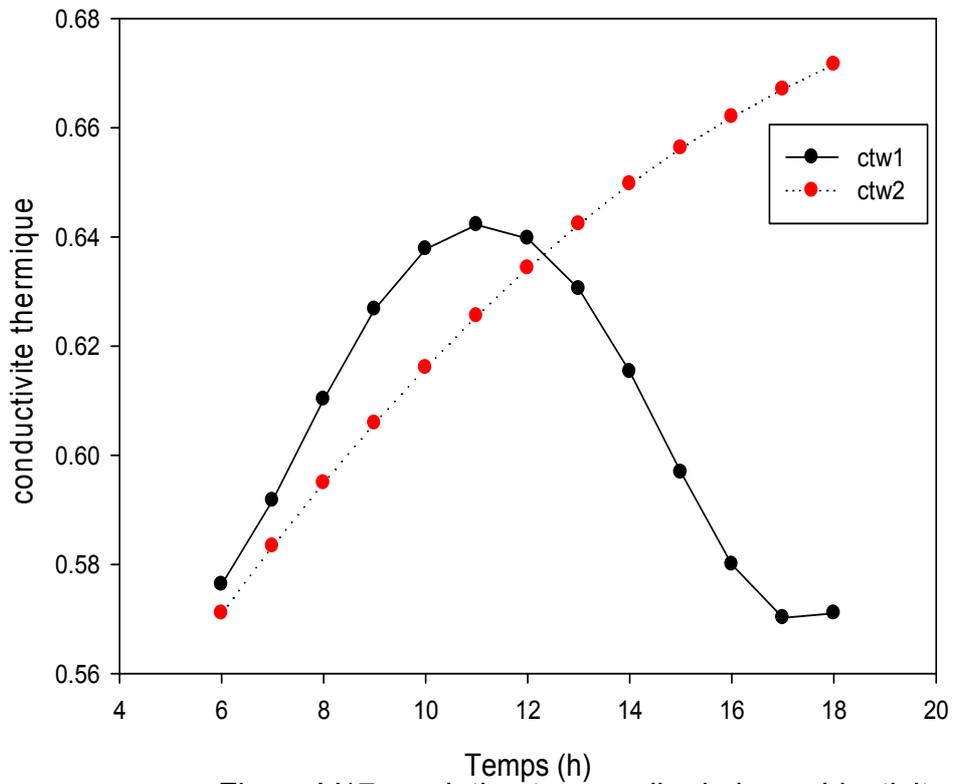


Figure V17c.variation temporelle de la conjductivite thermique des deux distillateurs

6. Effet de conductivité thermique sur production :

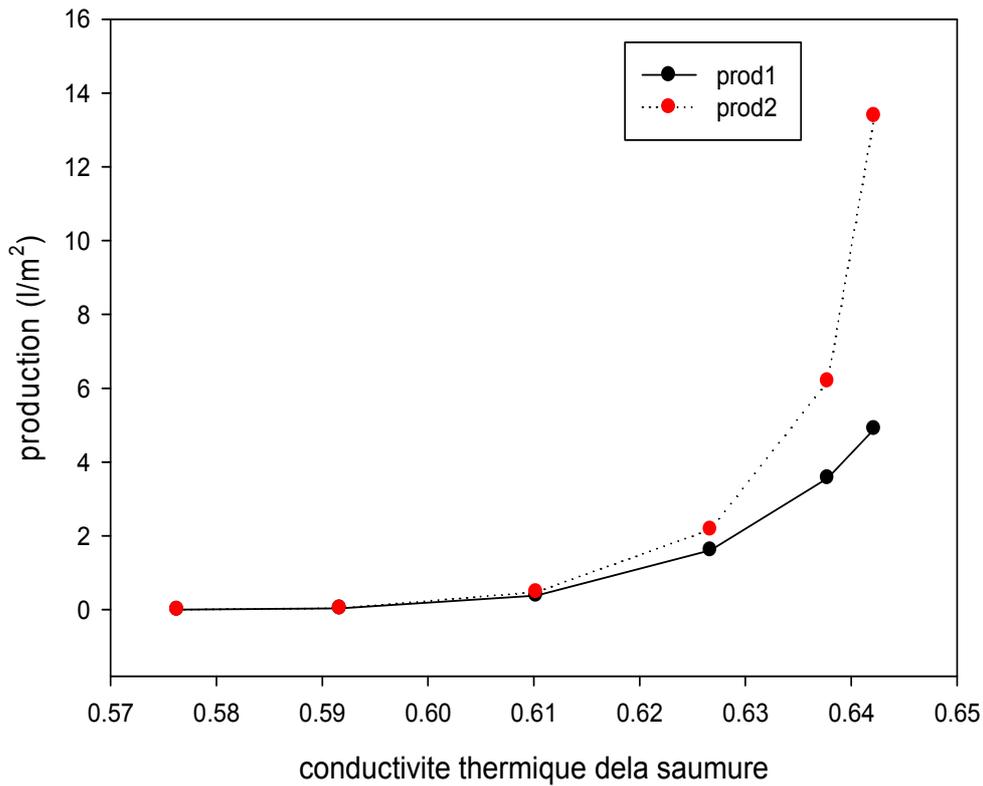


Figure IV18 variation de production en fonction de la conductivite thermique de la saumure des deux distillateurs

7-Variation temporelle de la chaleur spécifique :

Les figures (V19a, V19b, V19c) montrent la variation temporelle de la chaleur spécifique des deux distillateurs qui est évoluée dans le sens inverse.

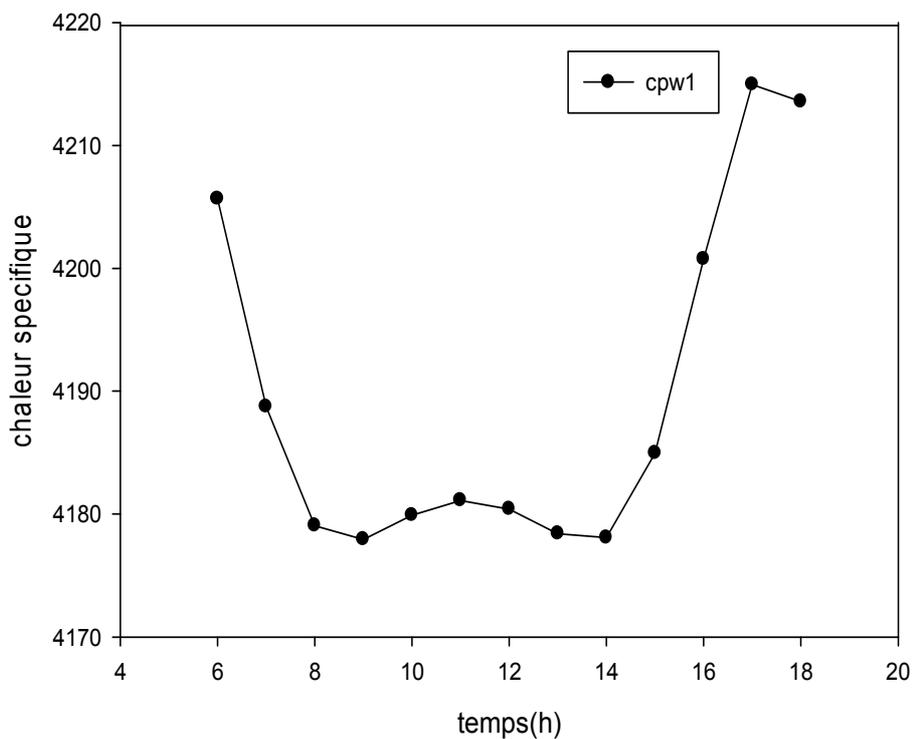


Figure V19a variation temporelle de la chaleur specifique du distillateur simple

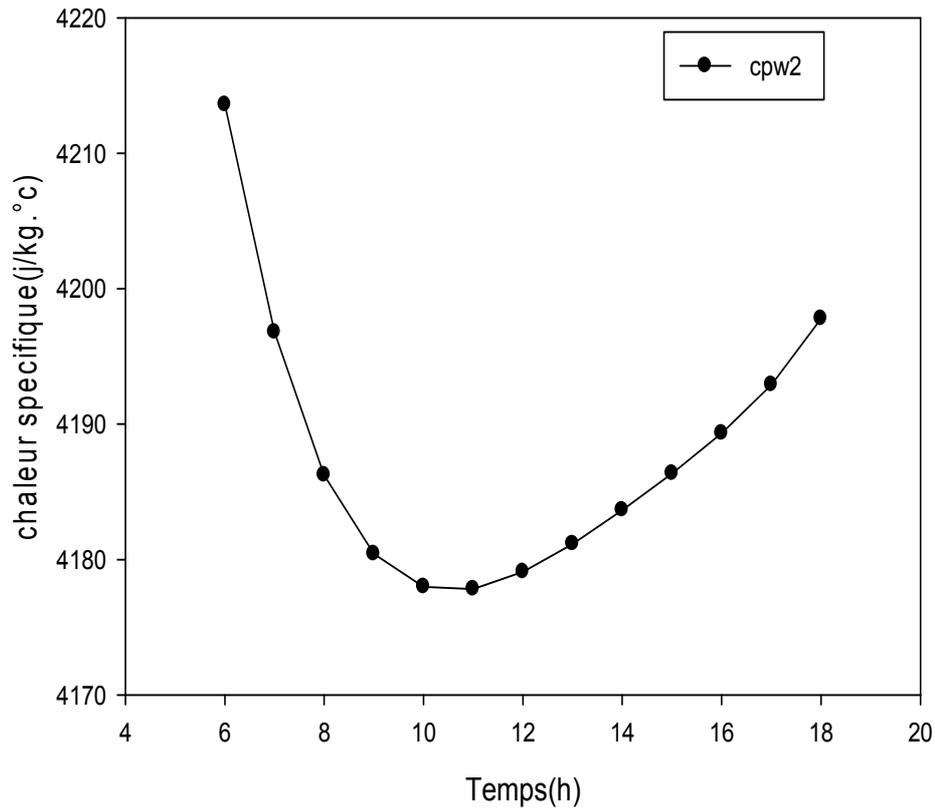


Figure V19b variation temporelle de la chaleur spécifique du distillateur hybride

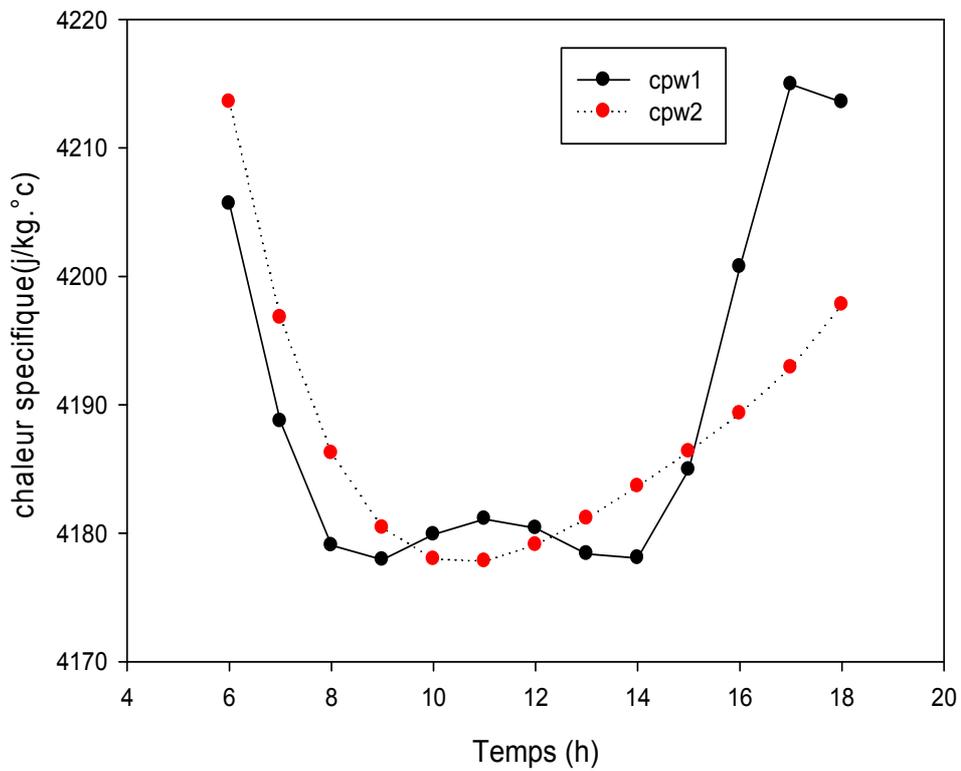


Figure V19c variation temporelle de la chaleur spécifique des deux distillateurs

8- Effet de la chaleur latente de vaporisation et de la masse volumique, de la viscosité cinématique et la chaleur spécifique :

Les figures (V20.a, V20b et V20c) illustrent la variation de la production en fonction de la chaleur latente, la production diminue quand la chaleur latente augmente. Même remarque pour les autres graphes.

Les figures (V21a, V21b, V21c, V22a, V22b, V22c, V23a, V23b, V23c) illustrent respectivement l'effet de la masse volumique et la viscosité cinématique, la chaleur spécifique sur la production des deux types de distillateurs. On remarque que la production augmente quand ces paramètres diminuent.

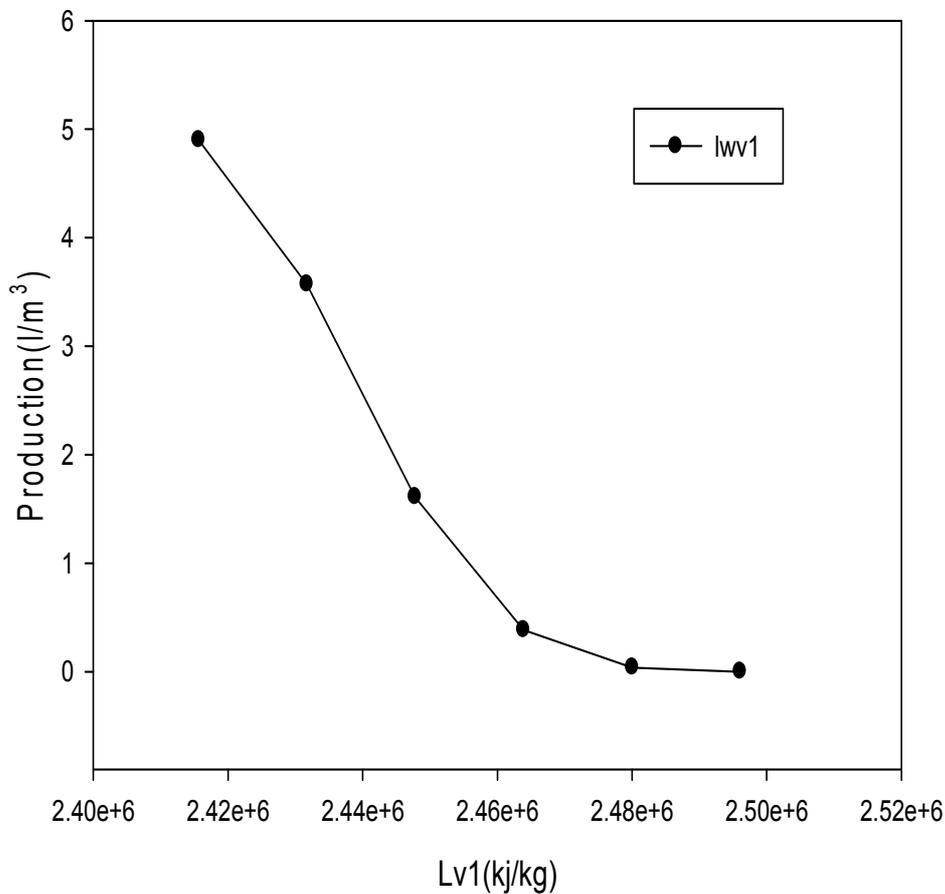


Figure V 20 variation de production en fonction de la chaleur latente de distillateur simple

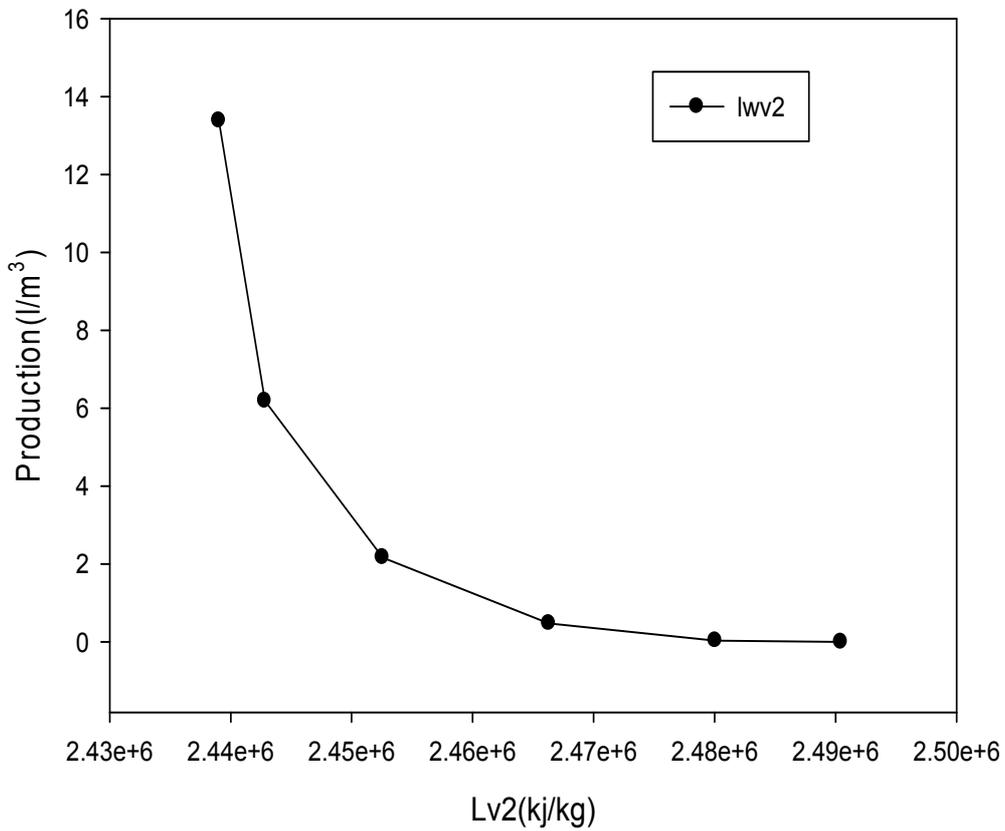


Figure V20b variation de production en fonction de la chaleur thermique de distillateur hybride

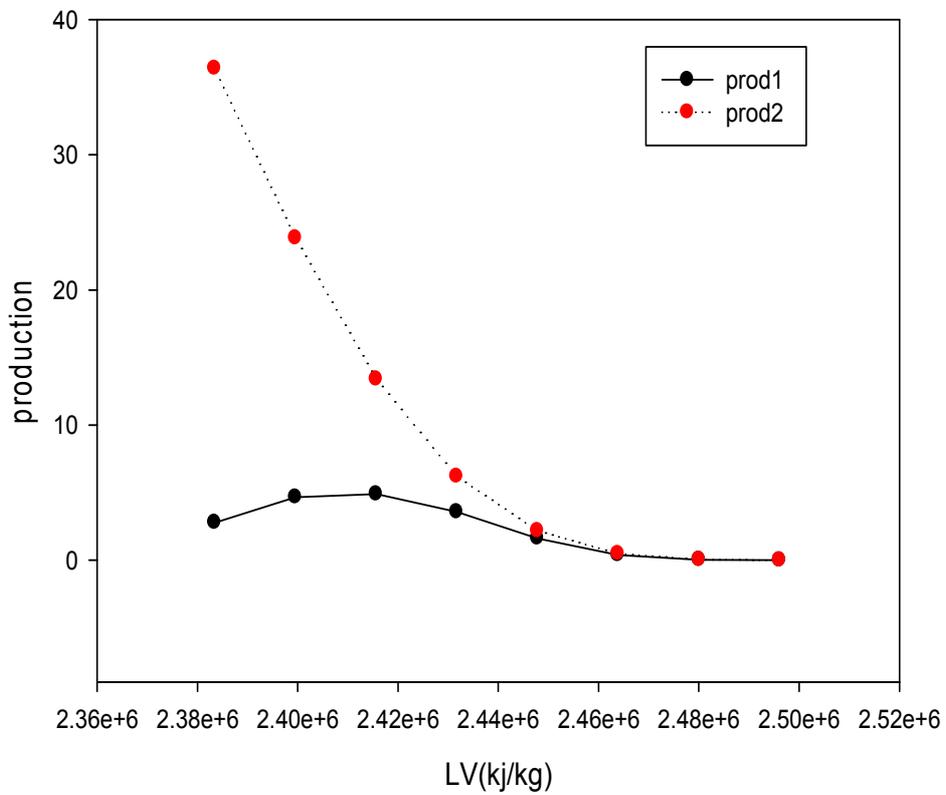


Figure V20c variation de production en fonction de la chaleur latente des deux distillateurs

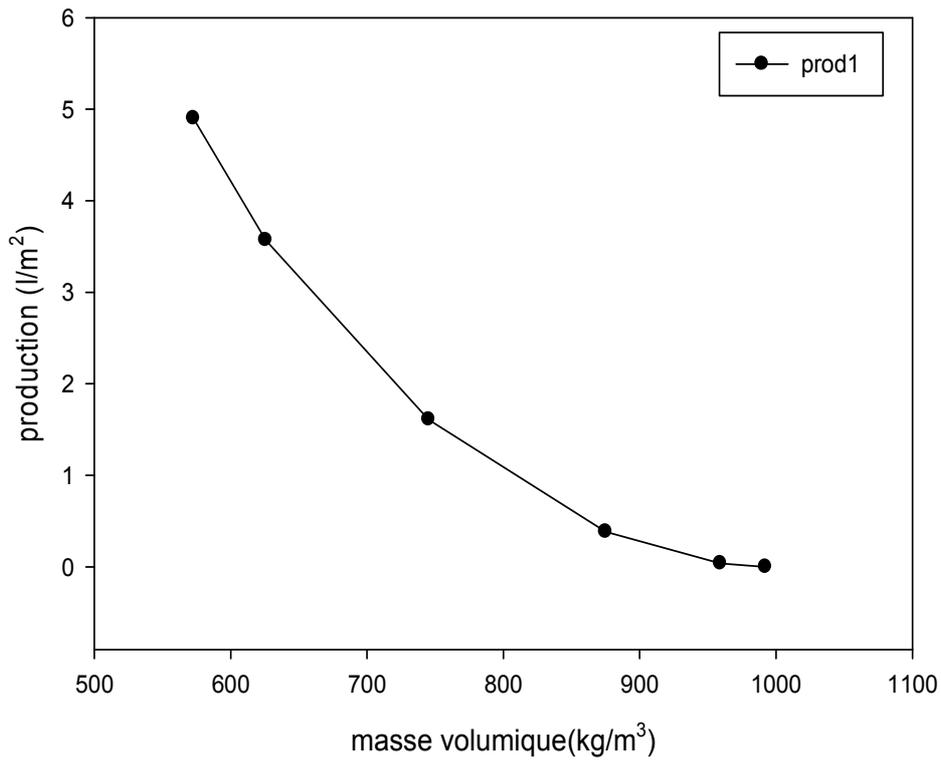


Figure V21a variation de production en fonction de la masse volumique du distillateur simple

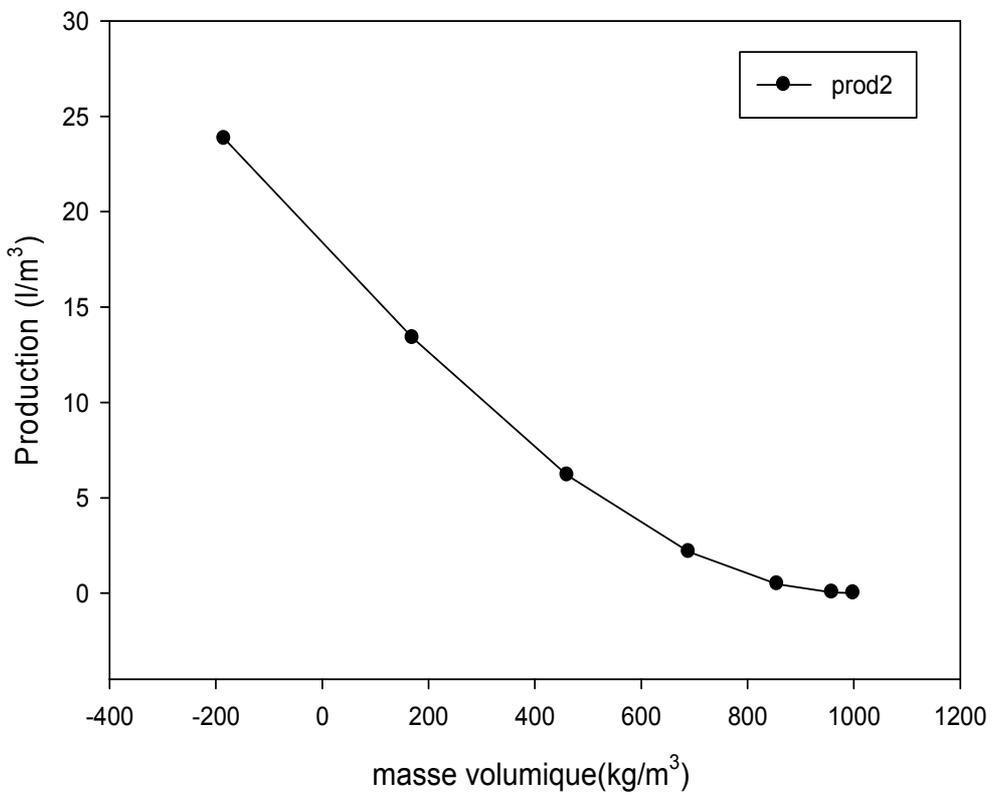


Figure V21b variation de production en fonction de la masse volumique du distillateur hybride

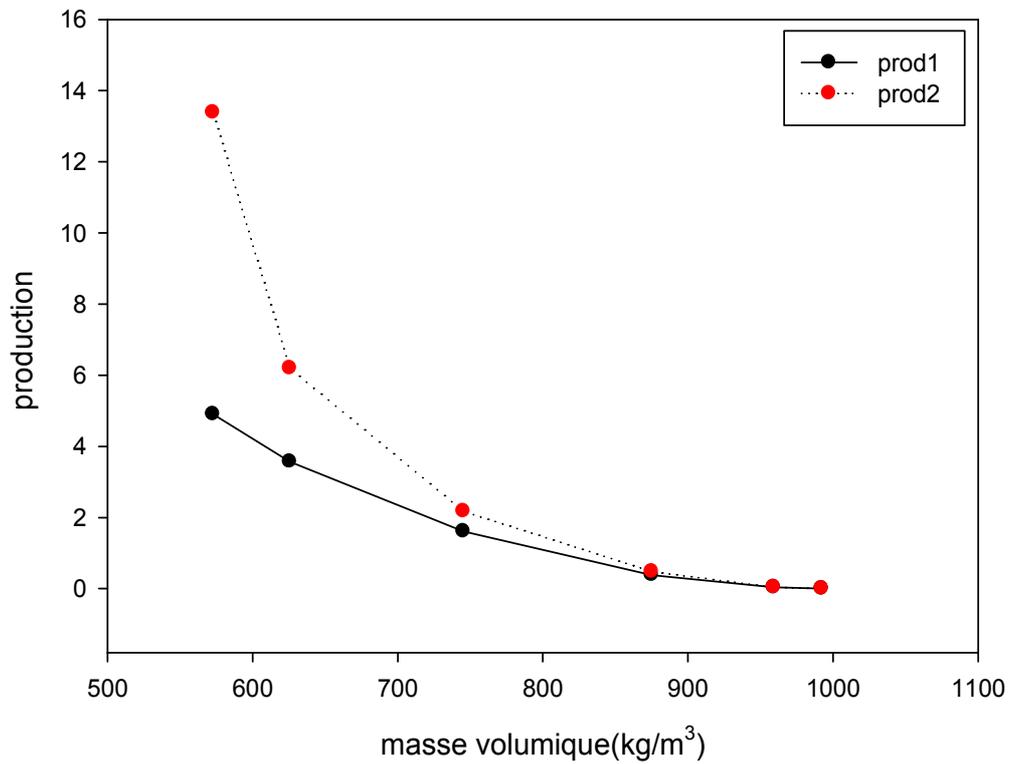


Figure V21c variation de production des deux distillateurs en fonction de la masse volumique

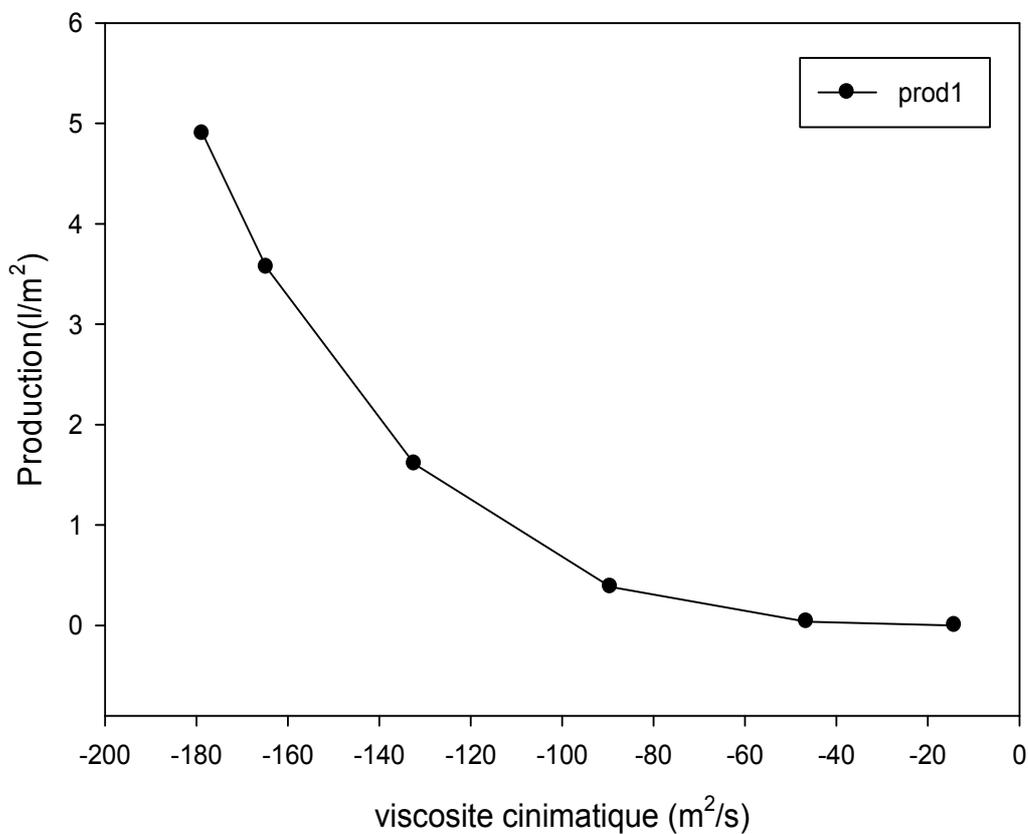


Figure V22a variation de production en fonction de la viscosite cinmatique e de distillateur simple

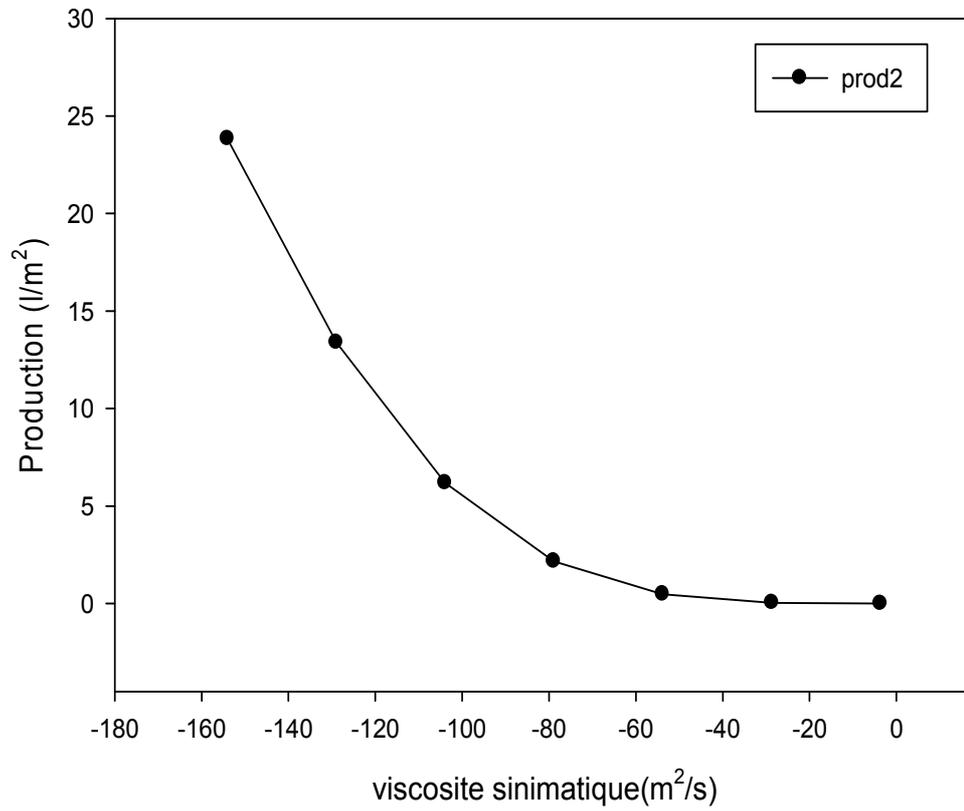


Figure V22b variation de production en fonction de la viscosite cinématique de distillateur hybride

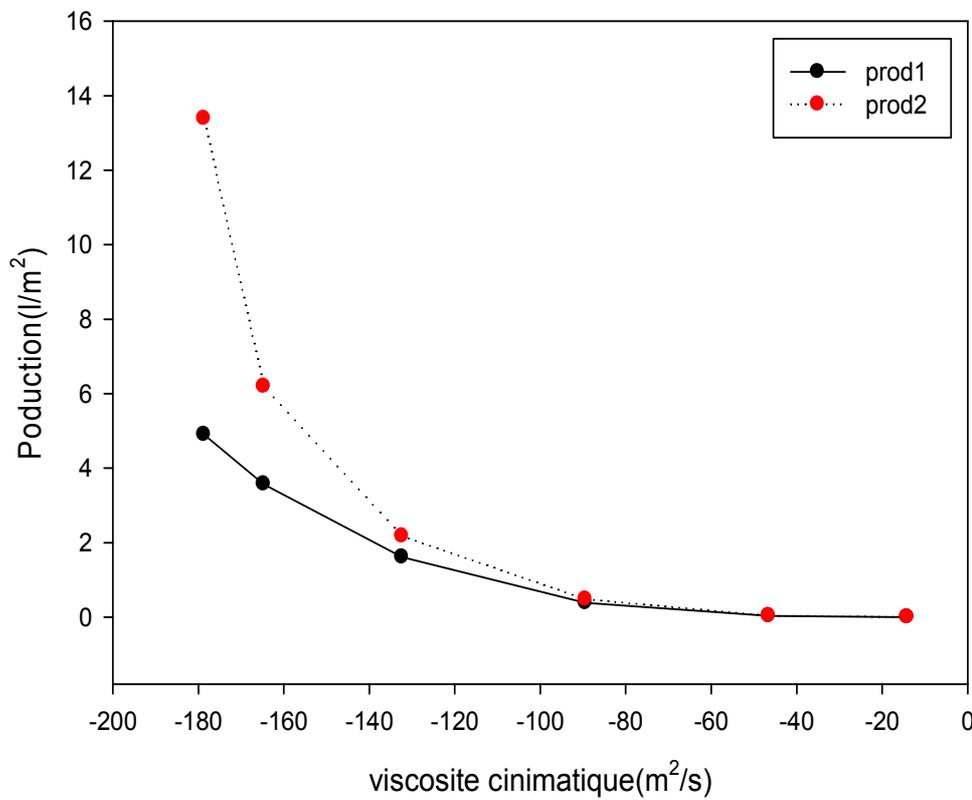


Figure V22c variation de production en fonction de la viscosite cinématique des deux distillateurs

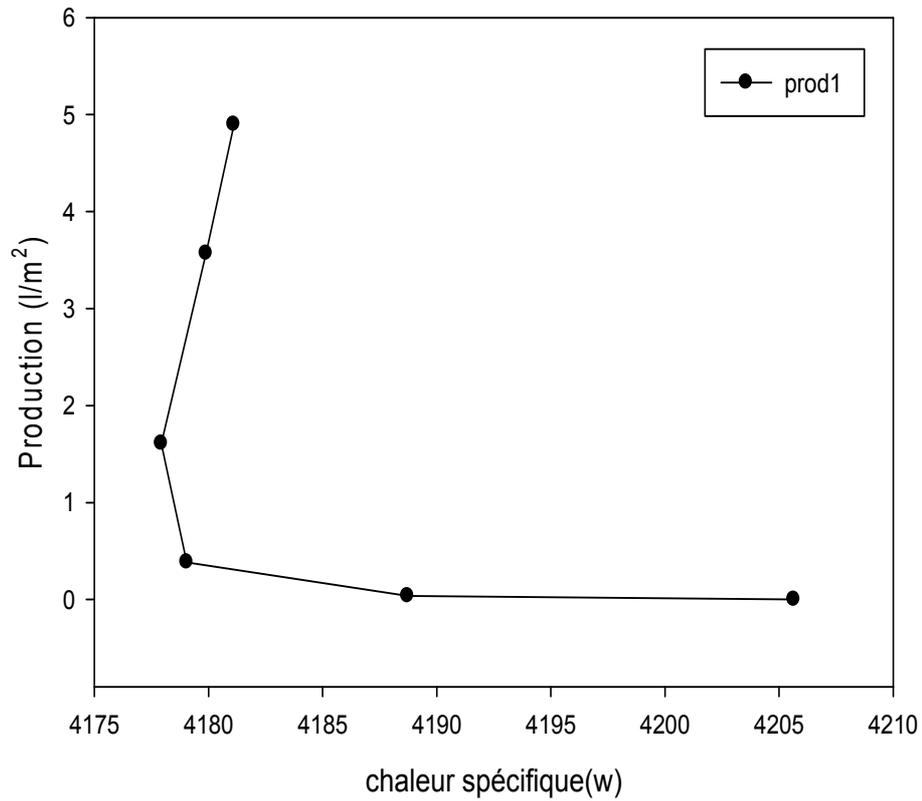


Figure V23a variation de production en fonction de la chaleur spécifique du distillateur simple

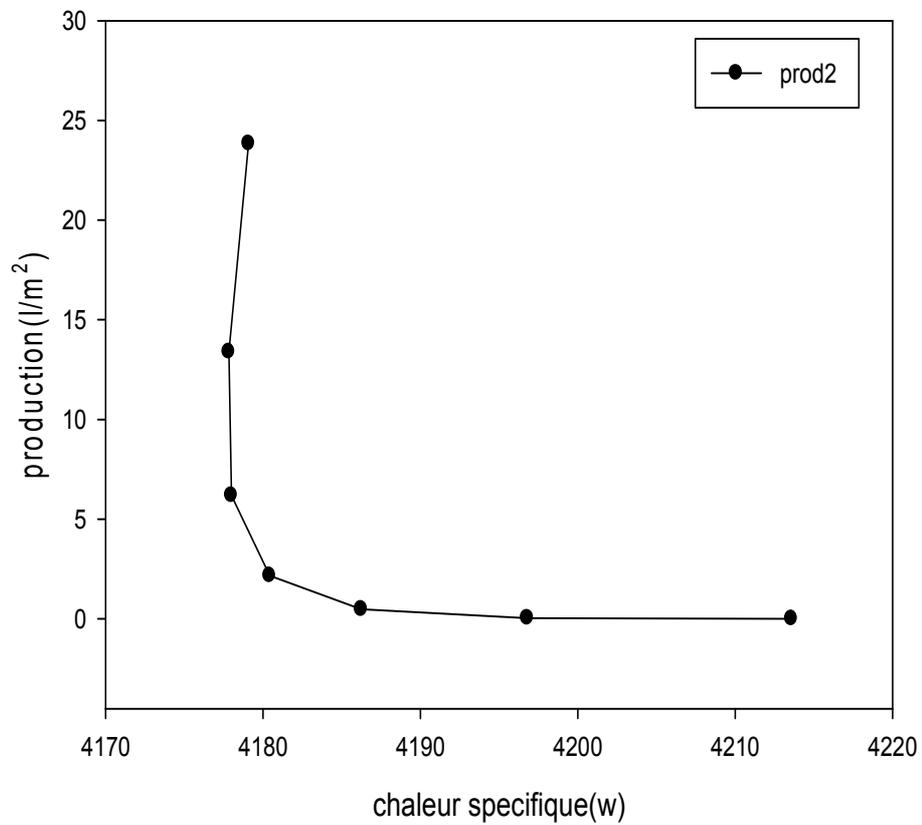


Figure V23b variation de production en fonction de la chaleur spécifique de distillateur hybride

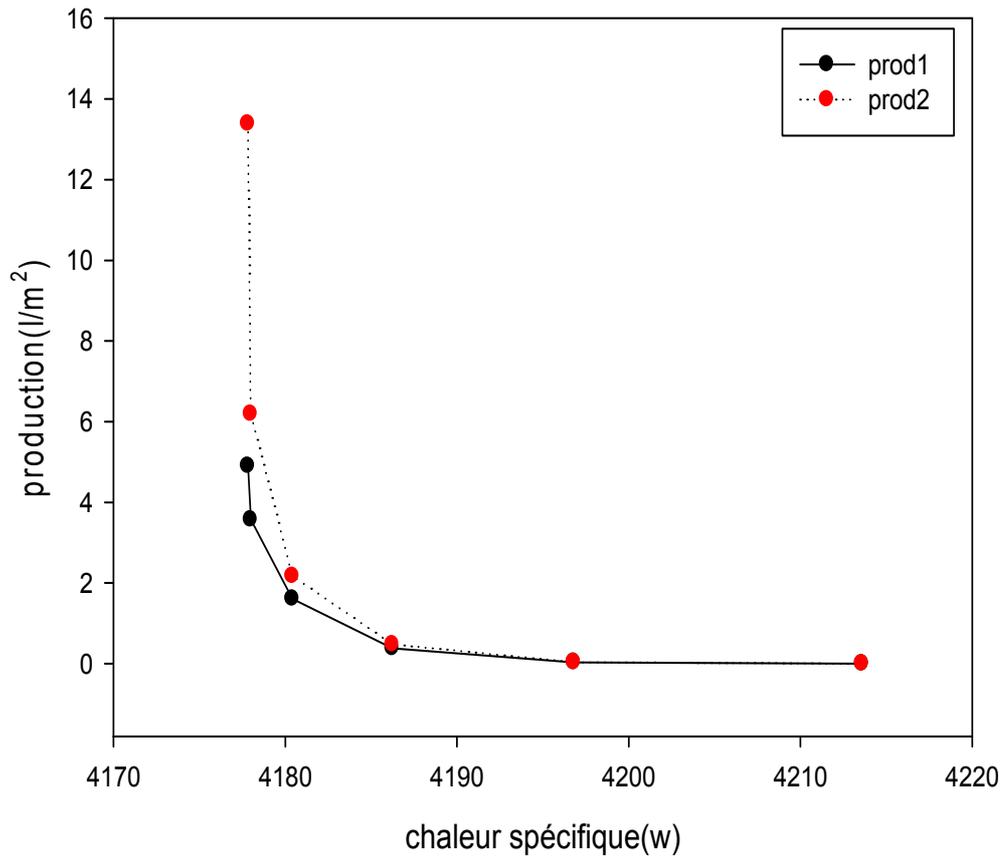


Figure V23c variation de production en fonction de la chaleur spécifique des distillateurs

9.Variation temporelle de la Conductivité thermique de l'aire :

La figure (V24a) montre la variation temporelle de la conductivité thermique de l'aire qui atteint les valeurs maximales de 11h à 14h.

La figure(V24b) illustre la variation temporelle de la conductivité thermique de l'aire de distillateur hybride qui évolue en fonction de temps et atteint la valeur maximale à 18h.

La figure (V24c) montre la variation de la conductivité thermique des deux distillateurs, on observe que la conductivité de l'aire de distillateur hybride est supérieure de distillateur simple.

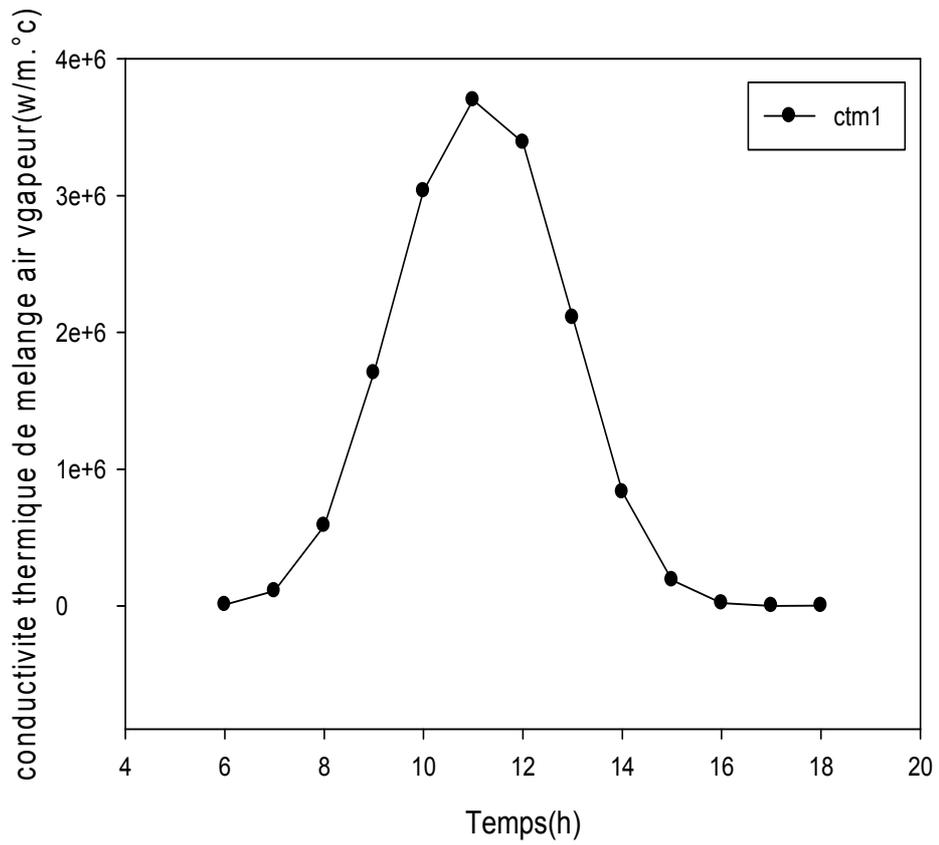


Figure V24a variation temporelle conductivite trhermique de lair de distillateur simple

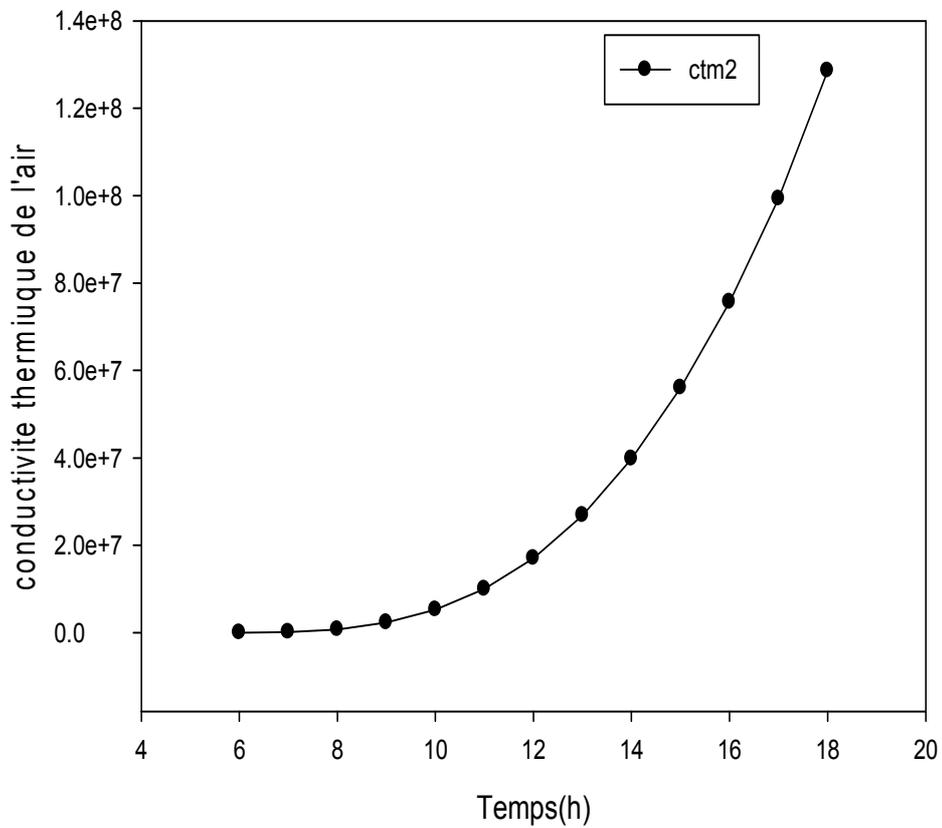


Figure V24b variation temporelle de conductivite thermique de l'air de distillateur hybride

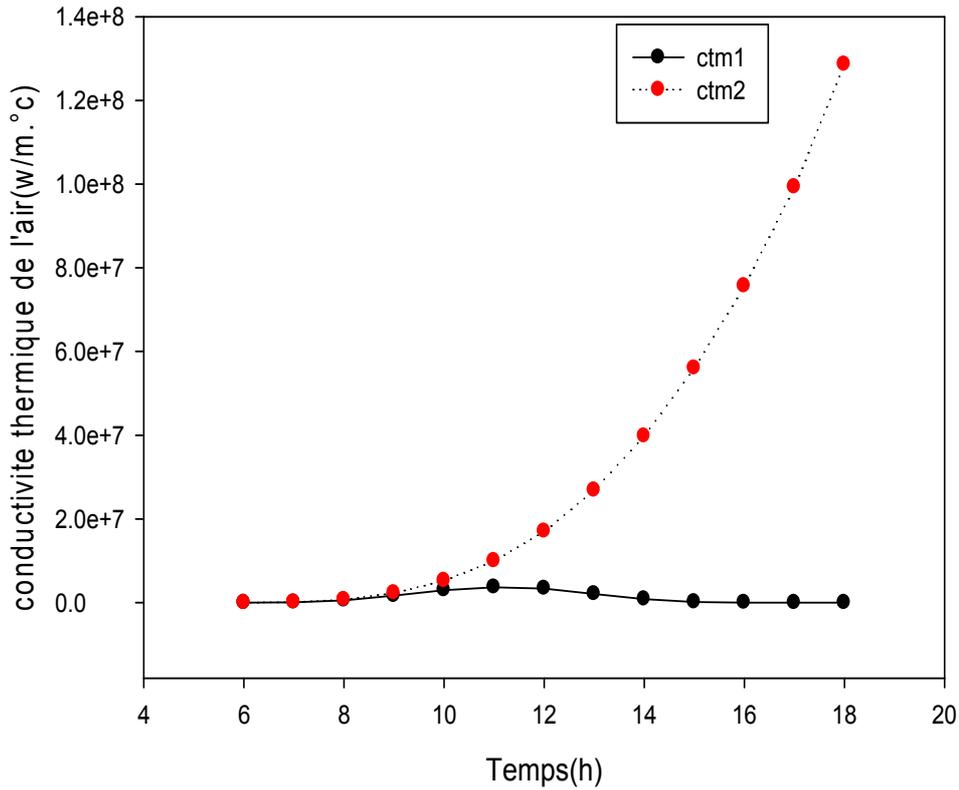


Figure V24c variation temporelle de la conductivite thermique de l'air des deux distillateurs

10.Effet conductivités thermique de l'air sur la production :

Les figures (V25a, V25b, V 25c), montrent que l'augmentation de la conductivité thermique conduit à une augmentation de production et l'inverse.

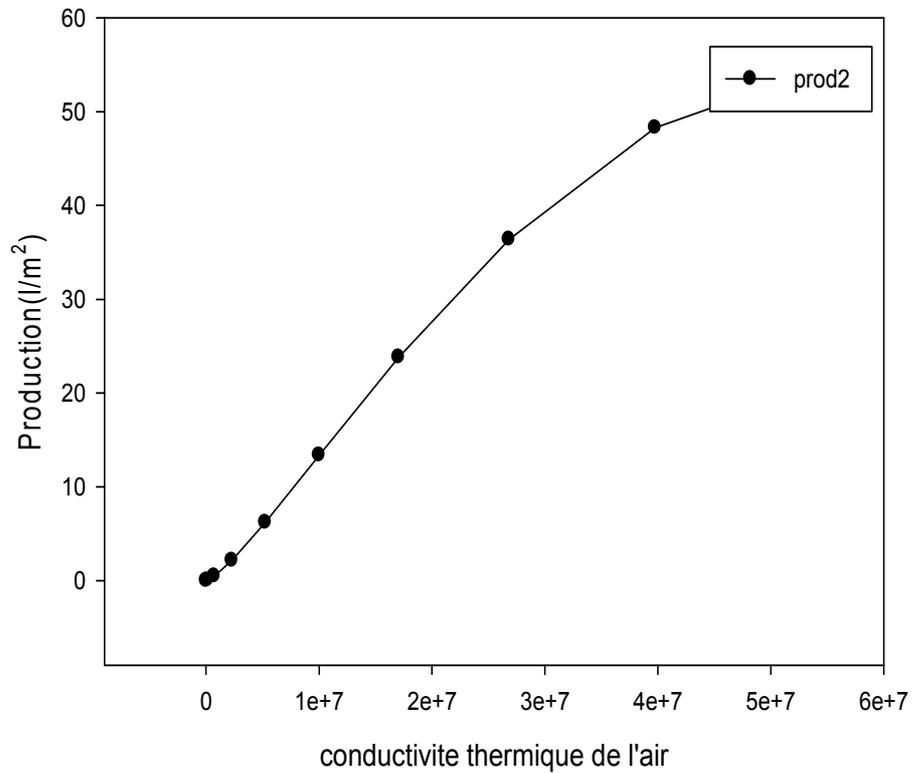


Figure V25b variation de production enb fonction de conductivite thermique de l'air de diustillateur hybride

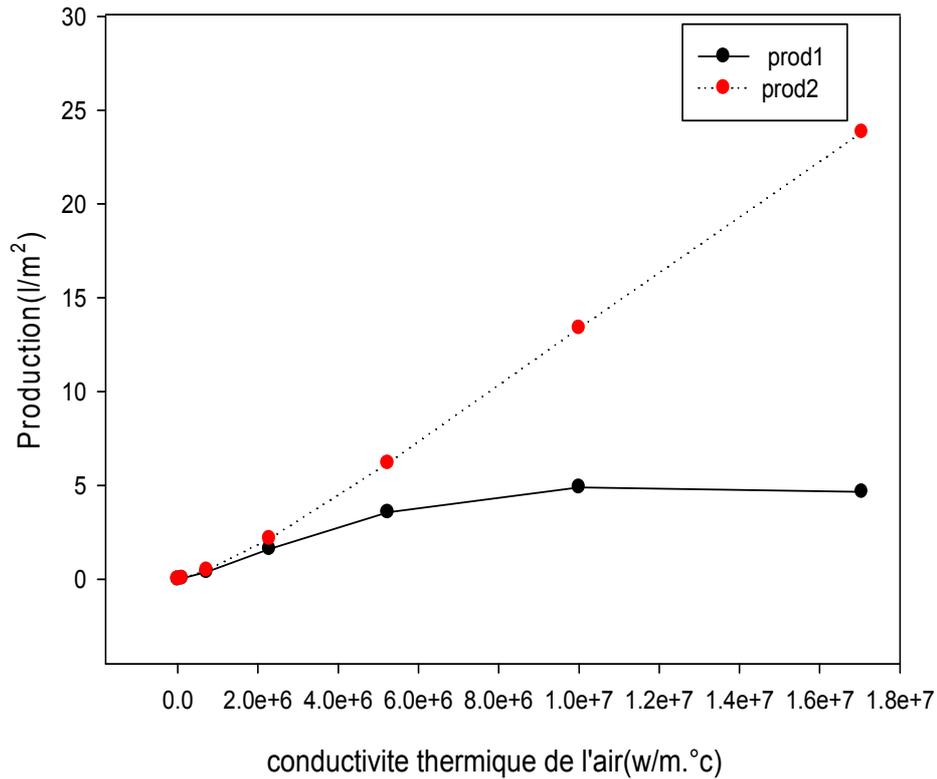


Figure V25c variation de la production en fonction de la conductivite thermique des deux distillateurs

11. Variation temporelle de la chaleur spécifique cpm de l'air :

Les figures (V26a, V26b, V26c) montrent que la chaleur spécifique de l'air des deux distillateurs proportionnelle inversement avec le temps.

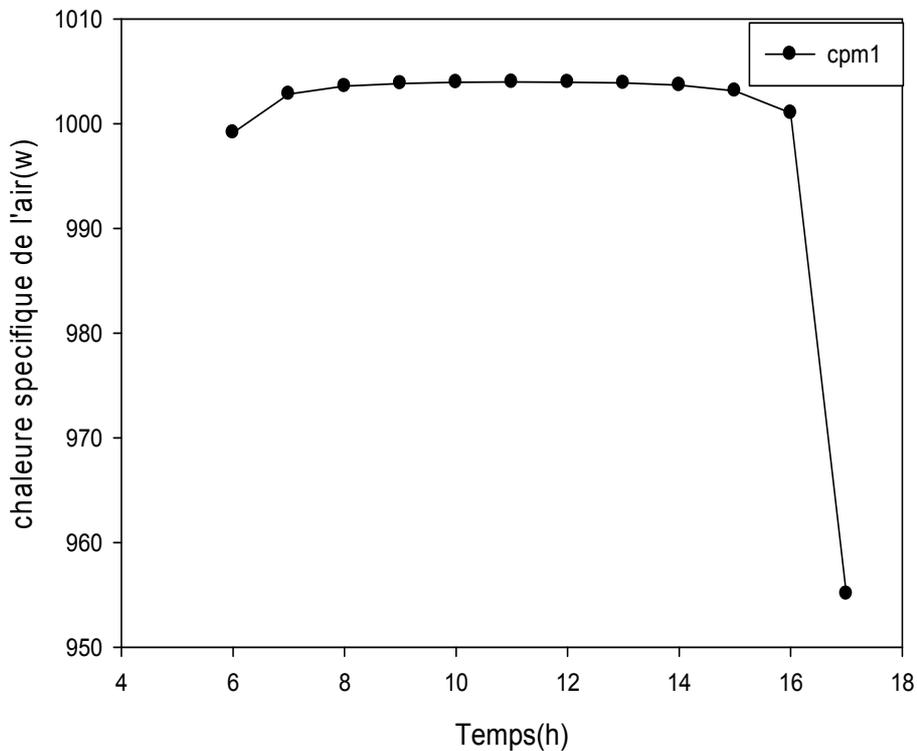


Figure V26a variation temporelle de la chaleur specifique de distillateur simpl

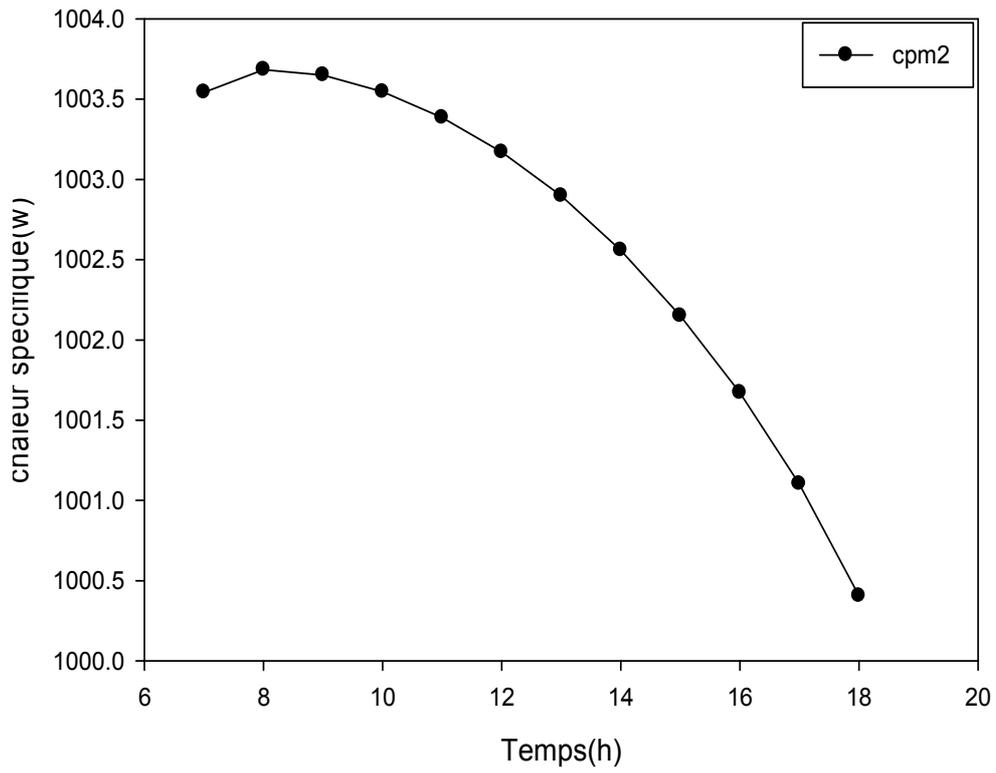


Figure V26b variation temporelle de la chaleur specifique de l'air de distillateur hybride

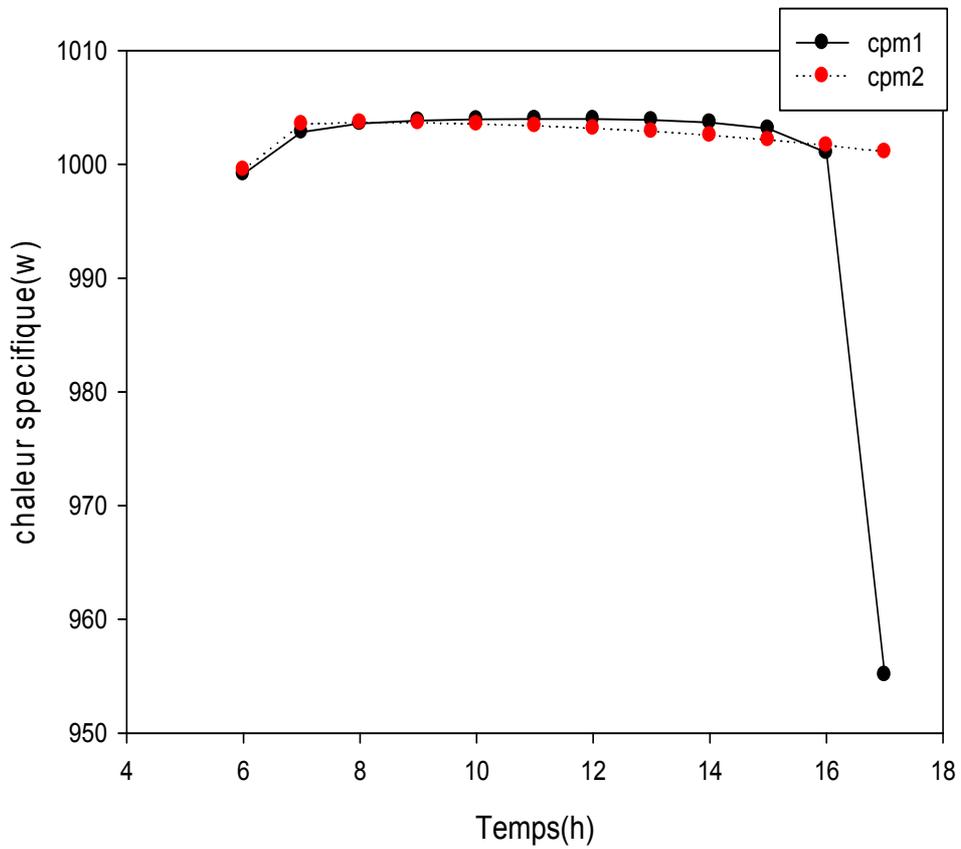


Figure V26c variation temporelle de la chaleur specifique de l'air des distillateurs

12.Effet de chaleur spécifique et la viscosité cinématique de l'air sur la production :

Les figures (V27, V28) illustrent l'effet de la chaleur spécifique et la viscosité cinématique de l'air respectivement, l'augmentation de la chaleur spécifique et la viscosité cinématique de l'air produit une augmentation de la production du distillateur.

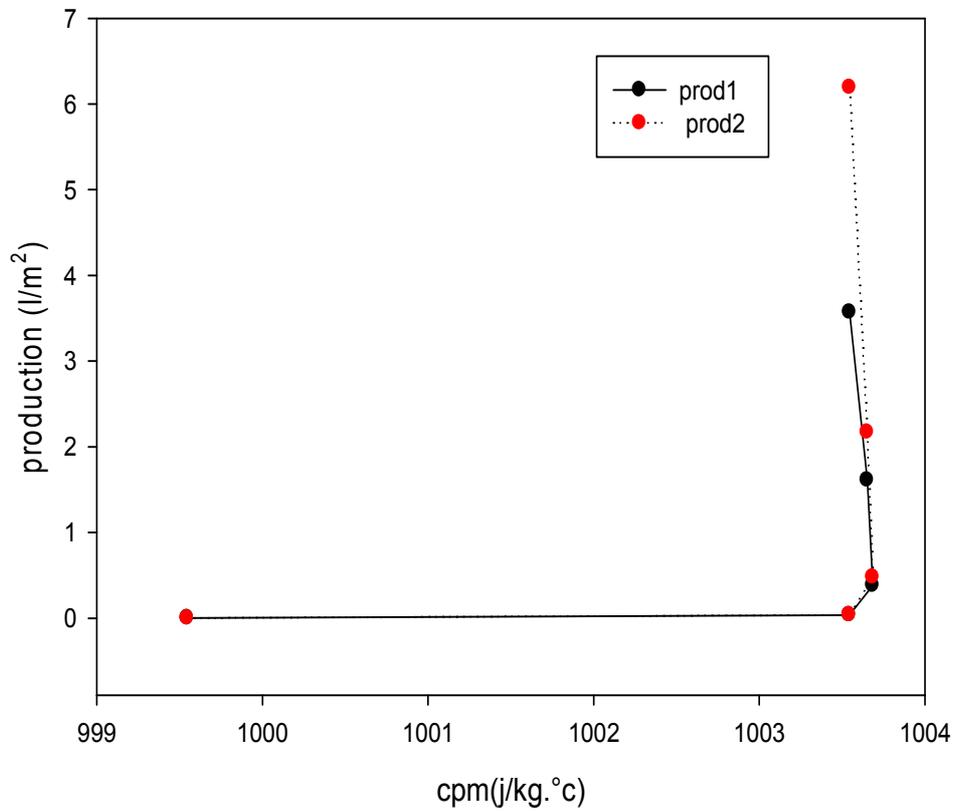


Figure V27 variation de production en fonction de la chaleur spécifique

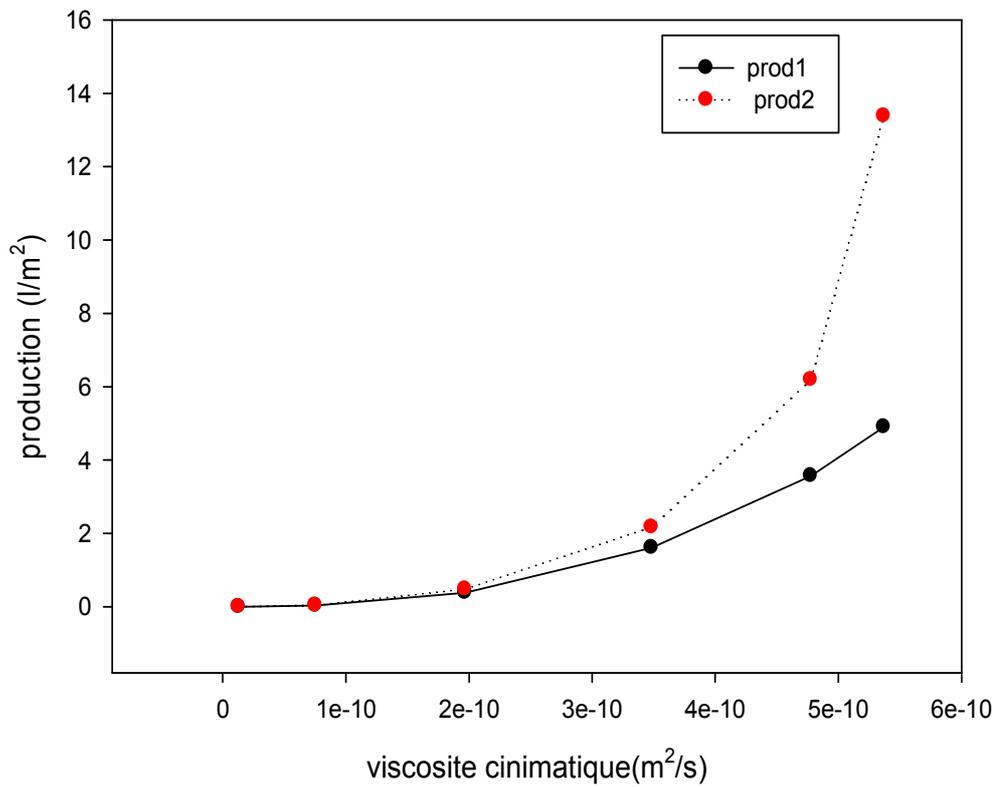


Figure V 28 variation de production en fonction de viscosite cinimatique des deistillateurs

V.8-Variation temporelle du coefficient de Dilatation thermique :

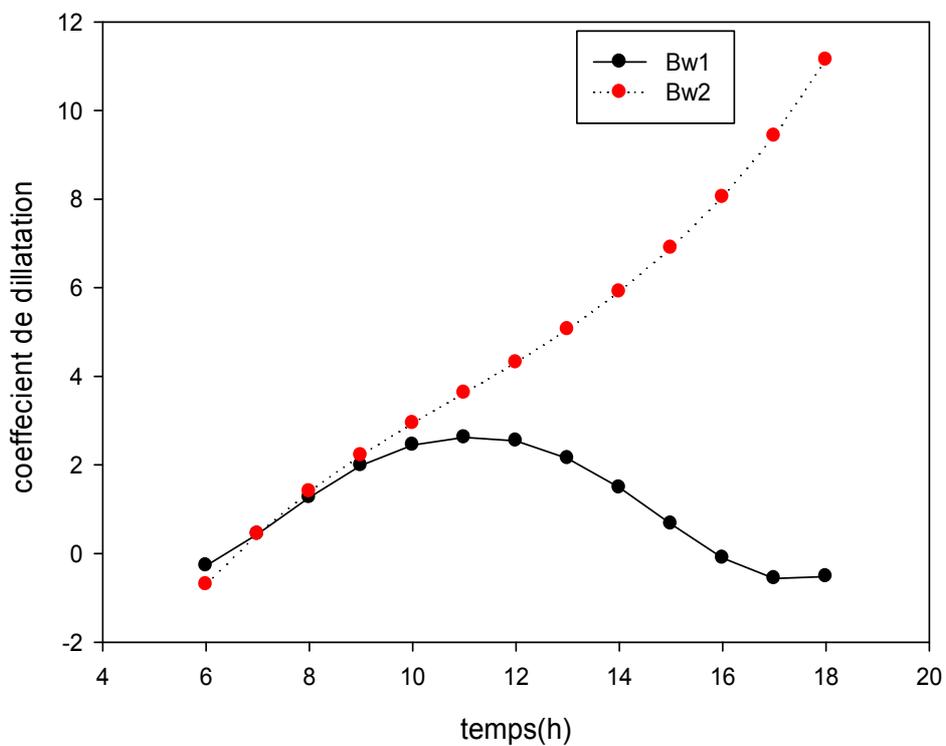


Figure V29 variation temporelle de coefficient de dillatation thermique des deux distillateurs

La figure (V29) illustre la variation temporelle du coefficient de dilution ,qui atteint le maximum entre 10h et 14h pour le distillateur thermique .mais pour le distillateur hybride atteint le maximum à 18h.

V.9.Effet des propriétés thermo physiques de la surface absorbante sur le fonctionnement du distillateur :

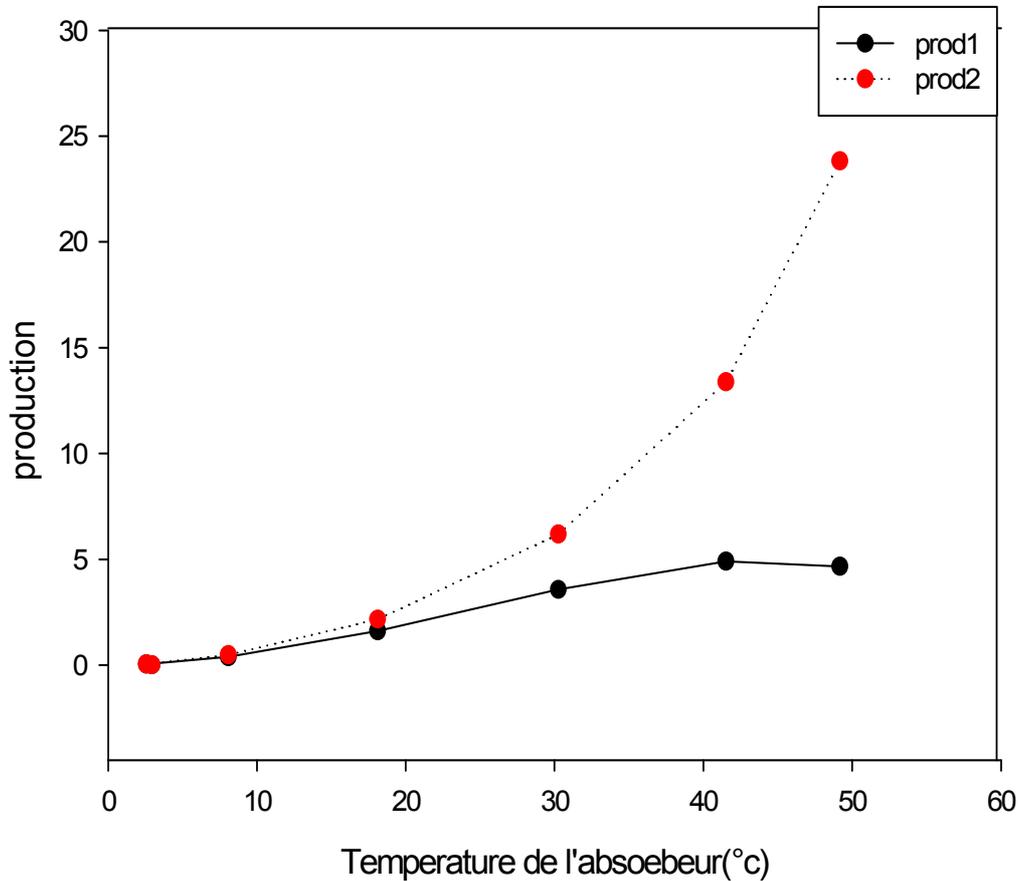
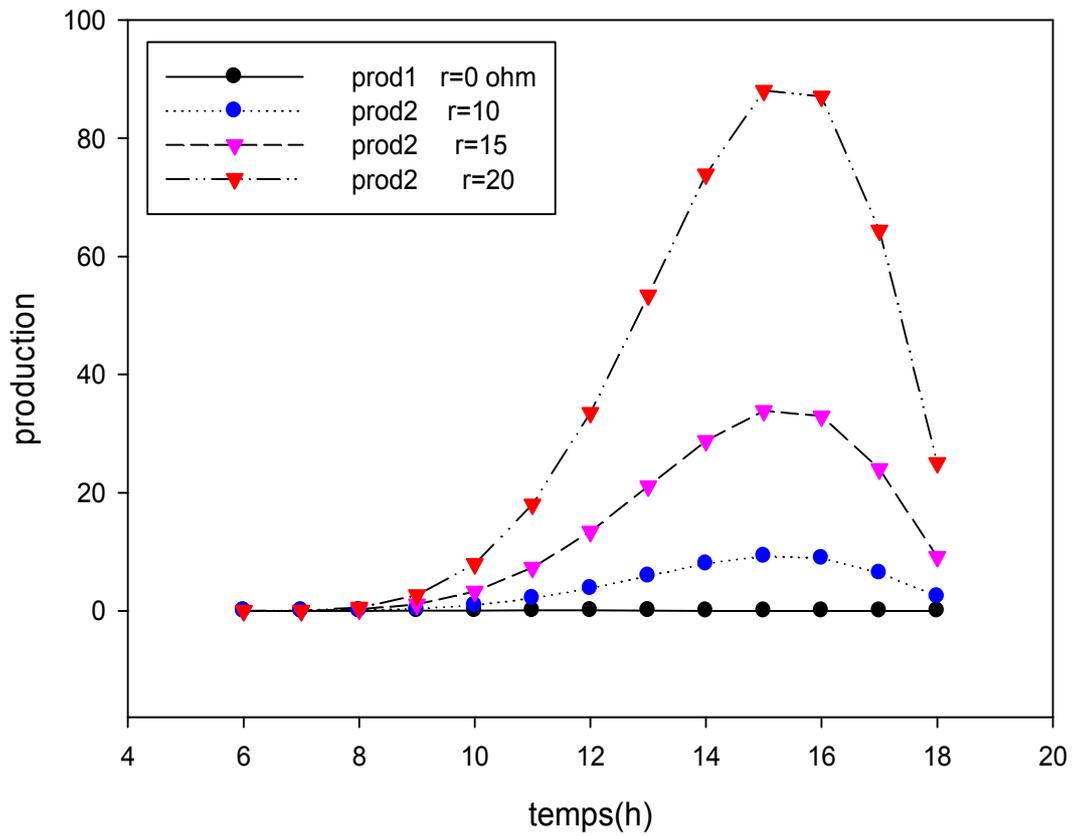


Figure V30 variation de production en fonction de la température de l'absorbeur

V.10.Variation de production et l'efficacité globale, interne en fonction de résistance électrique :

La figure (V31) montre la variation de la production des distillateurs en fonction de temps. Pour le distillateur simple on remarque que la résistance électrique ne possède aucune influence sur la production. Mais pour le distillateur hybride, la variation de la résistance électrique provoque une variation sur la production, l'augmentation de la résistance augmente la production de distillateur hybride et l'inverse

Donc la variation de production est proportionnelle à la variation de la résistance électrique



FigureV31 variation de production en fonction de la résistance électrique

1.1 Efficacité globale :

La figure (V32) et la figure (V33) illustrent la variation temporelle de l'efficacité globale et interne sont proportionnelles à la variation de la résistance électrique, l'augmentation de la résistance produit une augmentation de l'efficacité globale et interne et inverse.

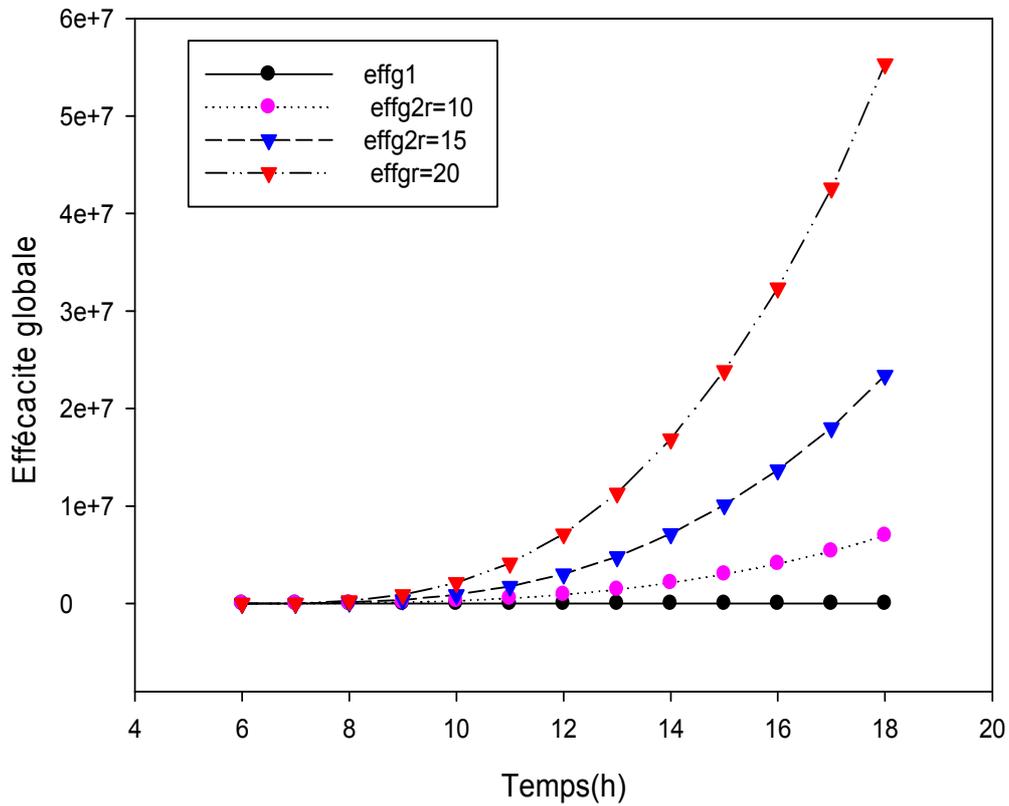


Figure V32 variation temporelle de l'efféacacite globale sous l'effet de la resistance électrique

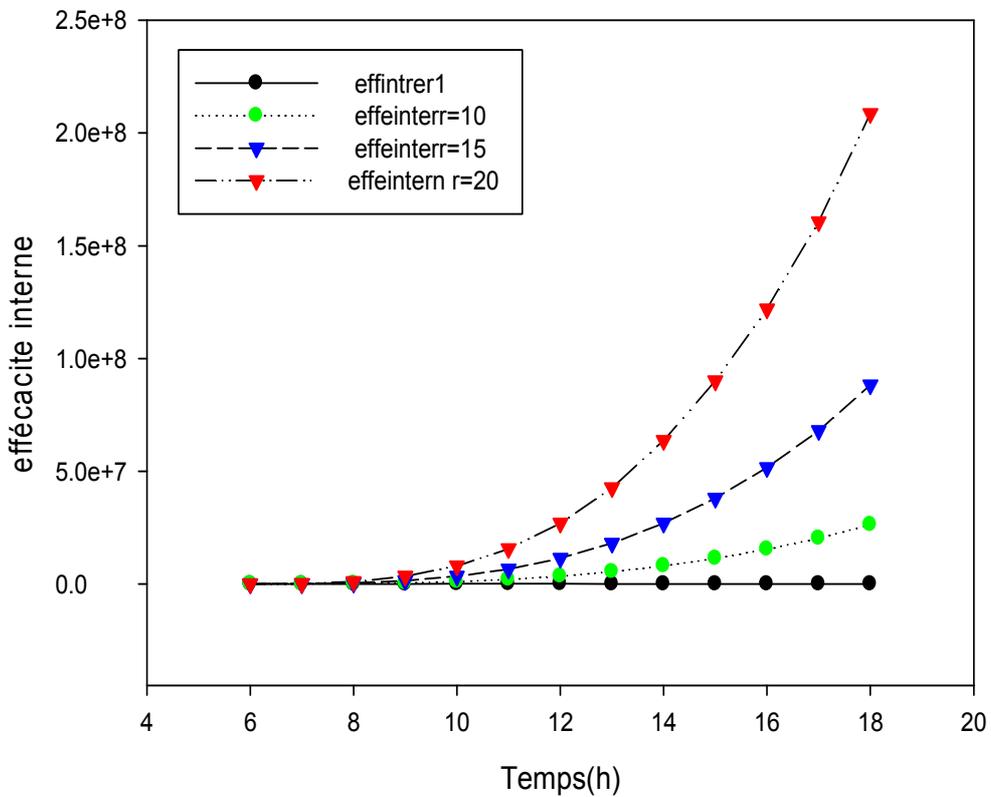


Figure V33 variation temporelle de l'efféacacite interne sous l'effet de la résistance électrique

V.11.Variation de production dans les régions Adrar et Annaba, Tlemcen, Alger :

La figure (V 3) montre la variation d'irradiation solaire dans différentes régions de l'Algérie. On remarque que la Puissance solaire est supérieur dans la région d'Adrar par rapport les autres régions.

Les autres régions, Annaba et Alger, Tlemcen presque eux la même puissance solaire.

Les figure (V35), figure(V36) montrent la variation de production de distillateur thermique et le distillateur hybride dans les quatre régions ,la production est supérieure où est la puissance d'irradiations solaire est supérieur , donc la production dans la région d'Adrar est élevé par rapport les autres régions, la production à Annaba et l'Algérie ,Tlemcen est presque identique .

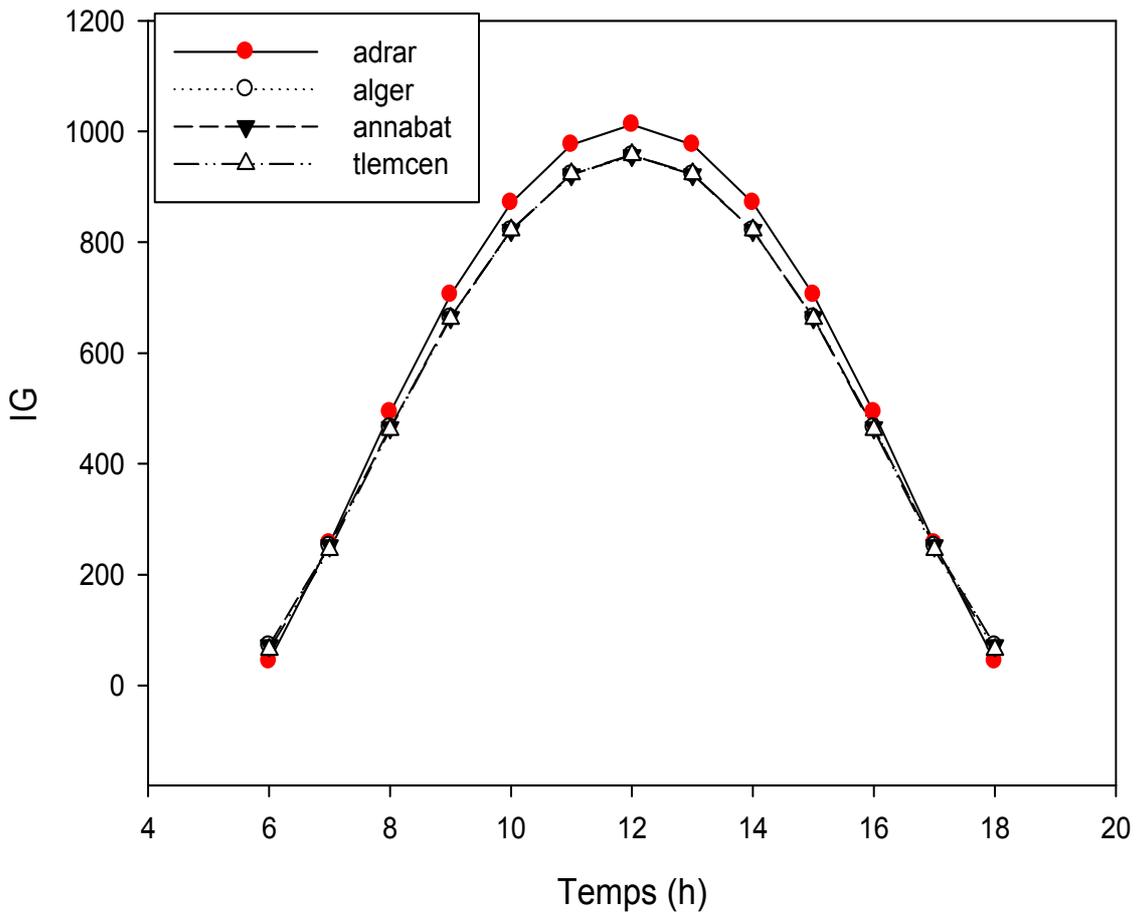


Figure V34 variation temporelle des radiation solaire des quatre regions

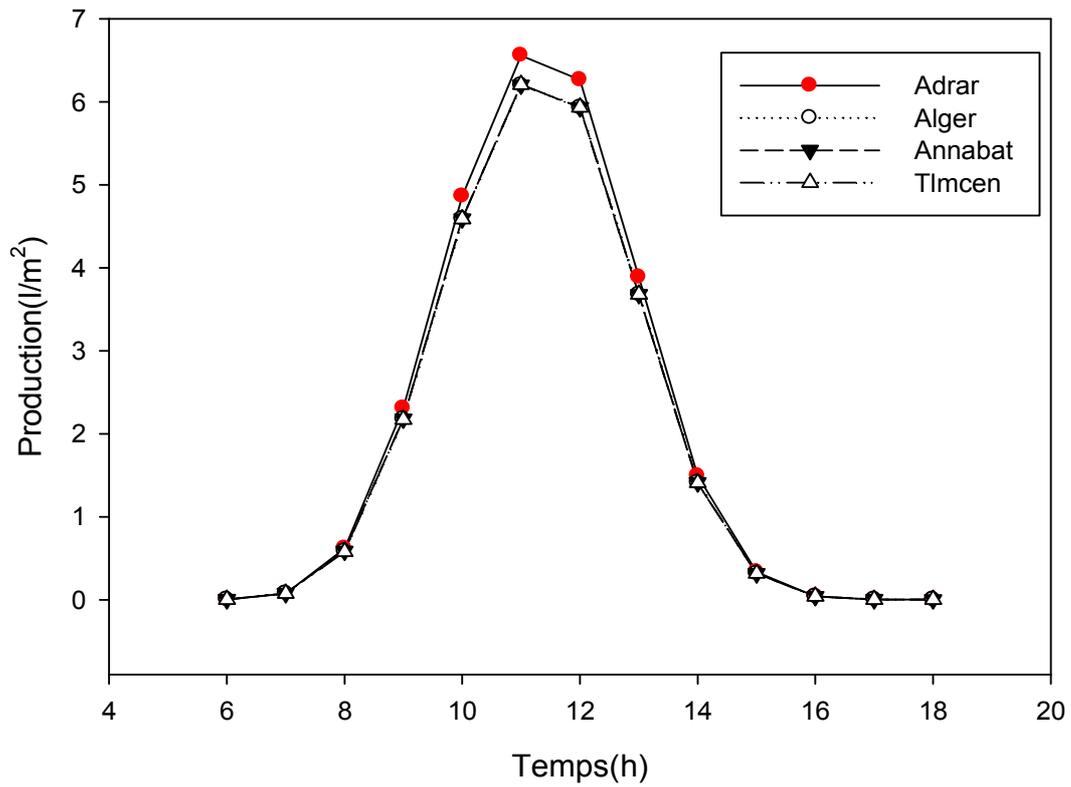


Figure V35 variation temporelle de la production du distillateur simple dans les quatres regions differentes

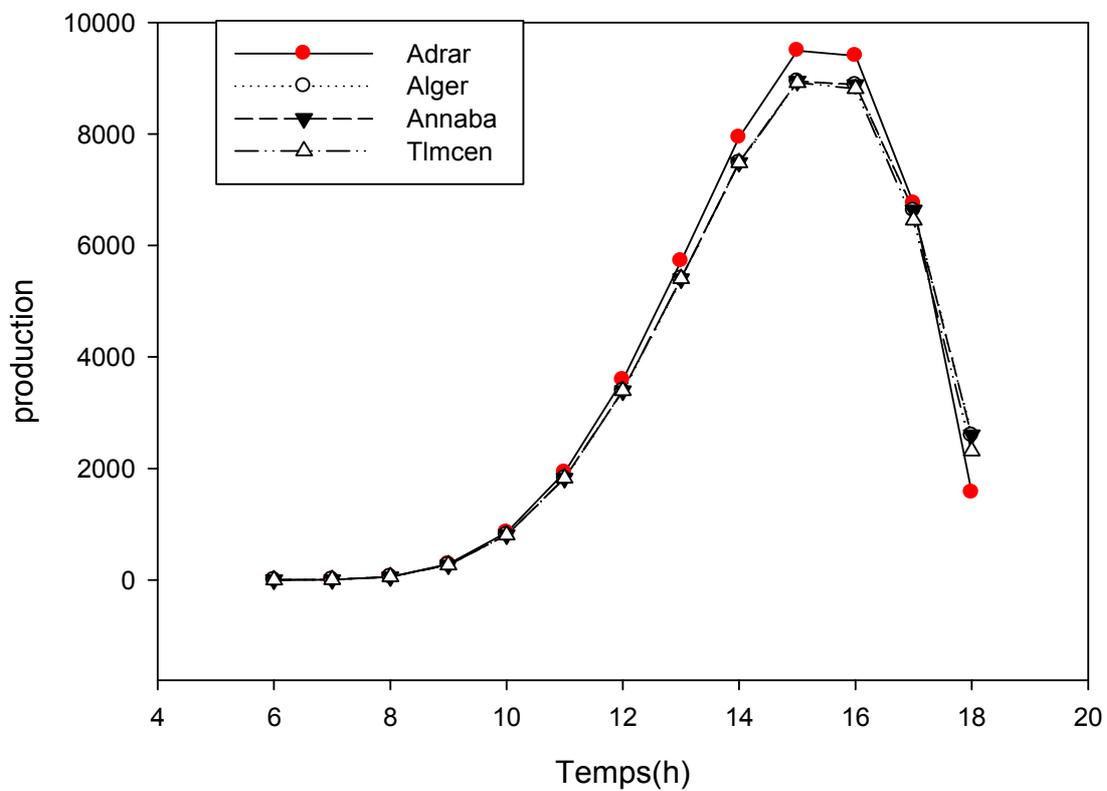


Figure V36 variation temporeelle de production dans les qutres regeions du distillateur hybride

V.12. Variation de production pendant l'année :

Les figures (V37, V38, V39) montrent la variation temporelle de la production des distillateurs pendant l'année.

On observe que la production est plus élevée dans le mois de juin suivi par la production de mois d'avril ensuite la production dans le mois de novembre et le plus faible dans le mois de janvier. Ceci est expliqué par la puissance solaire qui est plus élevée dans le mois de juin et plus faible dans le mois de janvier.

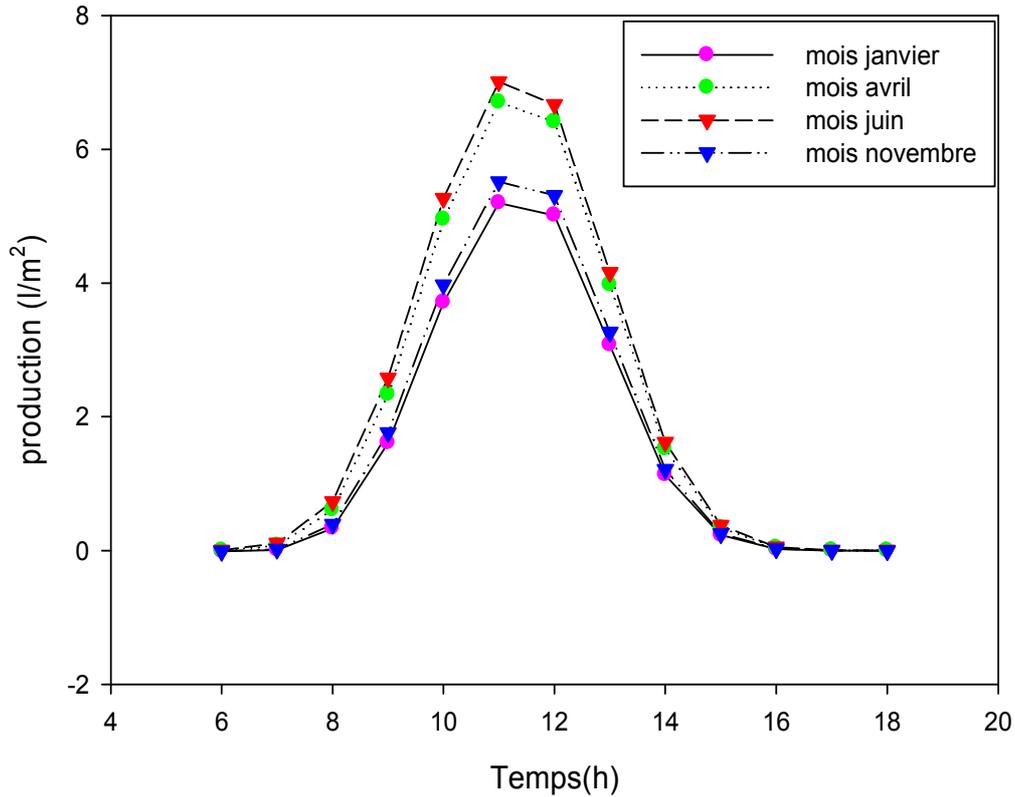


Figure V37 variation temporelle de production dans les quatre mois de l'année de distillateur simple

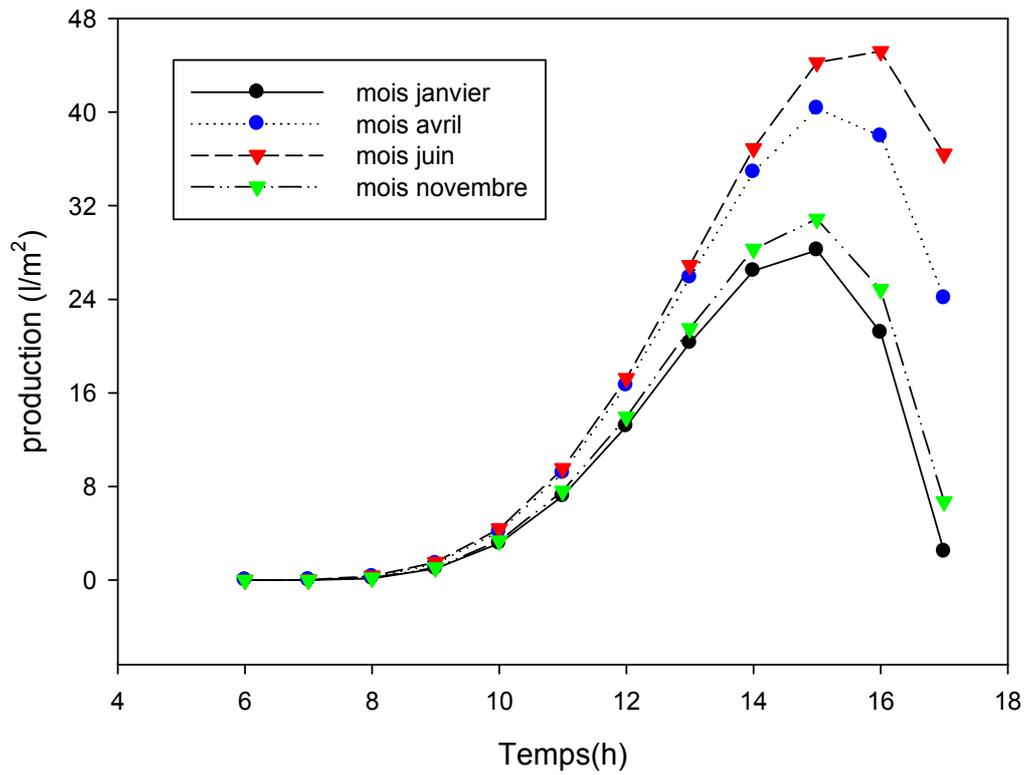


Figure V38 variation temporelle de production dans les quatres mois de l'année de distillateur hybride

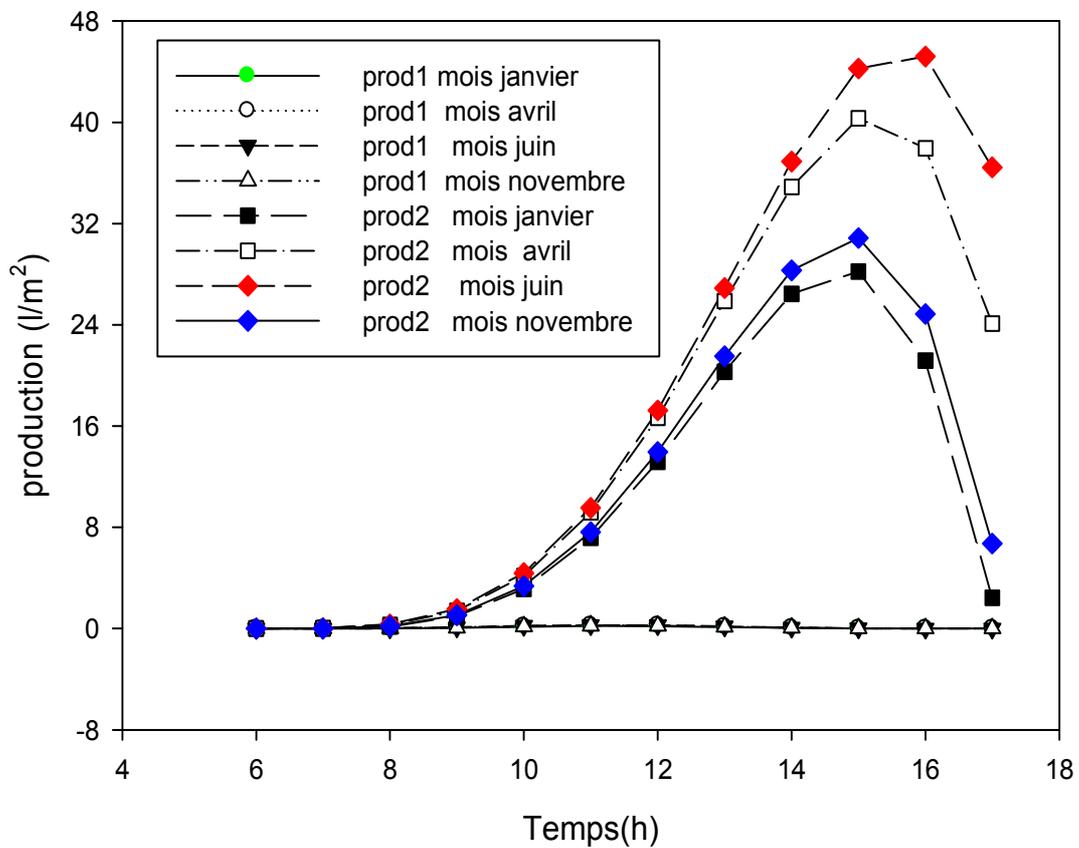


Figure V39 variation temporelle de production dans les quatre mois de l'année

Conclusion :

La distillation de l'eau par voie solaire est importante pour deux raisons, le premier est l'économie de l'énergie et le deuxième est procuré des nouvelles ressources d'eau douce.

Pour atteindre ce but, nous avons illustré dans ce travail l'étude théorique et numérique d'un distillateur solaire à effet de serre et d'un distillateur hybride en régime transitoire.

Après avoir introduit des notions sur l'irradiation solaire et le gisement solaire, ainsi qu'un bref historique sur la distillation solaire et les différents procédés de dessalement particulièrement le procédé de la distillation solaire et les nouveaux types de distillateurs. Ceci nous amène à entreprendre une étude des phénomènes physiques qui conditionnent le fonctionnement du distillateur solaire (rayonnement, conduction et convection , et la puissance électrique du système photovoltaïque), à travers l'étude et la résolution des différentes équations régissant les échanges thermiques pour les deux distillateurs .

Le système d'équations obtenu est résolu par la méthode itérative de Gauss Seidel. Et nous avons élaboré un programme qui nous a permis de mettre en évidence les différents paramètres influant sur la production du distillat pour n'importe quel lieu ou période de l'année.

Les résultats obtenus nous ont permis de faire une comparaison entre le rendement du distillateur simple à effet de serre et le distillateur hybride. et de définir le quel des deux distillateurs donne le meilleur rendement.

Il apparaît en particulier qu'une augmentation de l'irradiation solaire globale qui reste le paramètre le plus influant, conduit à un accroissement de ces caractéristiques. Concernant la vitesse du vent, nous avons montré qu'une augmentation de la vitesse du vent favorise l'échange. Il en résulte une augmentation de la production.

Les paramètres thermo physique de la saumure et du mélange air vapeur d'eau influent considérablement sur la production, puisqu'ils dépendent des températures de la saumure et du mélange et qui sont elles même influencées par les paramètres d'ensoleillement, de l'ambiance et de la construction.

Il apparaît qu'une augmentation de la résistance électrique dans le distillateur hybride, conduit à un accroissement de production plus élevé par rapport au distillateur thermique solaire.

Il ressort de cette étude de nombreuses observations sur les quelles peuvent s'axer des travaux, qui permettraient d'améliorer le rendement :

- Etude d'un système de refroidissement de la vitre.
- Etude d'un système de stockage de l'énergie solaire
- Etude de système d'isolation

Résumé :

En Algérie, comme dans les pays en voie de développement, le problème d'approvisionnement en eau potable devient de plus en plus crucial, du fait de la croissance démographique et de l'élévation du niveau de vie. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres est désormais envisageable pour répondre à la demande en eau potable. Parmi les différents procédés, la distillation solaire est une solution intéressante.

L'objectif de ce travail est l'analyse thermo physique de la production d'un distillateur par voie solaire. Pour améliorer le rendement du distillateur, on a couplé les deux formes d'énergie solaire (solaire photovoltaïque et solaire thermique) dans un distillateur hybride.

Un système d'équations régissant le fonctionnement des deux distillateurs a été résolu par la méthode d'itération de Gauss Seidel.

Une simulation mathématique a permis d'obtenir des résultats qui montrent clairement l'effet des paramètres internes et externes notamment, l'irradiation solaire incidente qui reste le facteur le plus influant sur le comportement du distillateur thermique solaire, ainsi que la résistance électrique sur le comportement du distillateur hybride. On observe l'effet de vitesse du vent et la température ambiante sur la production des distillateurs. Il apparaît en outre que les paramètres thermo physique et photovoltaïque jouent également un rôle très important dans l'amélioration du rendement des distillateurs .

Abstract:

In Algeria, as in developing countries, the problem of drinking water supply became more and more critical, because of population growth and the rise in the standard of living. Desalination of seawater and brackish water is now possible to meet the demand for drinking water. Among the different processes, Solar distillation is an interesting solution.

The objective of this work is the physical thermo analysis of production a Distiller by solar way. To improve the performance of the Distiller, was coupled the two forms of solar energy (solar photovoltaic and solar thermal) in a hybrid Distiller.

A system of equations governing the operation of two distillers has been solved by the Gausse Seidel iteration method.

A mathematical simulation to obtain results that clearly show the effect of external and internal parameters notably, incident solar radiation which is the factor most affecting the behaviour of the solar thermal Distiller, and electrical resistance on the behavior of the hybrid Distiller. Observed the effect of wind speed and the temperature on the production of the distillers. It also appears that the thermo photovoltaic and physical parameters also play a very important role in the improvement of the performance of distillers

ملخص:

في الجزائر، كما هو الحال في البلدان النامية، تعاني مشكلة نقص مياه الشرب التي أصبحت ذات أهمية متزايدة، وذلك بسبب النمو السكاني وارتفاع مستويات المعيشة.

لهذا قمنا بدراسة طرق توفير المياه المتمثلة في تحلية مياه البحر أو المياه الراكدة. من بين أهم الطرق الاقتصادية في الطاقة هي طرق تحلية بواسطة الطاقة الشمسية.

هدف دراستنا هو البحث عن حل لتحسين مردود طريقة تحلية المياه بالطاقة الشمسية المعروفة بالتقطير الشمسي.

النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة، تتيح بوضوح تأثير العوامل الفيزيائية الداخلية و الخارجية على مردود طريقة التقطير الشمسي من بين هاته العوامل مايلي:

- سرعة الرياح

- درجة الحرارة المحيطة

- الشدة الضوئي

- حجم الماء المراد تحليته

- العازل لجوانب القطرات الشمسية

بالتركيز على دراسة مكونات المقطرات نستطيع تحسين مردودها من بين هذه المكونات العوازل و تسرع عملية التكتيف.

Références Bibliographiques:

- [1] **Fröhlich C.** World radiometric reference. World Meteorological Organization, Commission for instruments and methods of observation, report WMO 490, p 108-112. (1978)
- [2] **Michel Daguenet.** Les séchoirs solaires : théorie et pratique, Unesco, paris (1985).
- [3] **Yves Jannot .** Thermique solaire. Paris (2007).
- [4] **Berger A.** d'ozone et prix Nobel de chimie. La Météorologie 8^{ème} série, 13, p 63-73. (1995).
- [5] **Kamal Skeiker .**Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus province, Syria. Energy Conversion and Management 47 p 331–345 (2006)
- [6] **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)
- [7] **Kaplanis .S et Kaplani ,E.** model to predict expected mean and stochastic hourly global Solar radiation $I(h;n_j)$ values. Renewable Energy 32. P1414–1425(2007)
- [8] **Malik, M.A.S ; TIWIRI, G ; KUMAR, S et SLDHA, MS.** Solar distillation. Oxford, pergamon press (1982).
- [9] **Al-Shammiri ,M, et Safar,M** Multi-effect distillation plants: state of the art; Desalination 126. p 45–59.(1999)
- [10] **Hikmet Ş.Aybar.** Mathematical modeling of an inclined solar water distillation system. Desalination 190, p 63–70.(2006)
- [11] **Abdenacer Kaabi et Halima Zaidi.** Study and Optimisation of Thermo-Physical Parameters for a Solar-Still Performance; Proceedings of the 2nd International Conference on Thermal Engineering Theory and Applications January 3 - 6, Al Ain, United Arab Emirates. (2006)
- [12] **Kaabi .A et Smakdji. N.** Impact of temperature difference (water-solar collector) on solar-still global efficiency; Desalination 209. p309–316 (2007)
- [13] **Siaka Toure et Pierre Meukam.** numerical model and experimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan (Cote d'Ivoire), PII: SO960-14810 (1996)
- [14] **Bernard.R ; Merguy.G et Schwartz.G** Le rayonnement solaire: conversion thermique et application. Technique et documentation, deuxième édition (1980).
- [15] **Satcunanathan et Hasen,** investigation of some of parameters involved in solar distillation, solar energy, vol 14, pp 353-363,(1973).
- [16] **Maalem.M.** Modélisation mathématique d'un distillateur solaire statique, à effet de serre et de géométrie régulière. Thèse de 3^{ème} cycle, U.S.T.H.B. (1983).
- [17] **Tiwari.G.N.** energy: Fundamentals, Design, Modelling and Application. Alpha science, England. (2006).
- [18] **Kreith.f.** Transmission de la chaleur et thermodynamique, p 484-488, (1967).

- [19] **Kerrouche.M.H, kerssi .C, O. Belleche et Hamid.A.** Comparative entre deux distillateurs solaires l'un type cascade l'autre chapelle, revue Internationale d'Héliotechnique (2000).
- [20] **Cooper.P.I et Read.W.R.W .** Design philosophy and generating experience for solar stills, Australia, Solar energy, vol 16, P1-8. (1989)
- [21] **Dunkle.R.V** water distillation: The Roof type still and a Multiple Effect Diffusion Still, Commonwealth scientific and industrial reseach organization, Victoria, Australia, p 895902(1961).
- [22] **Capderou , M.** Atlas solaire de l'Algérie. O.P.U (1986).
- [23] **Soliman S. J.** Effect of wind on solar distillation. Solar Energy, vol 13, p 403. (1972)
- [24] **Cooper, P. I.** Digital simulation of transient solar still process. Solar Energy, vol 12(3), p313-331(1969)
- [25] **Voropoulos .K ; Mathioulakis .E et Belessiotis.V.** Experimental investigation of the behavior of a solar still coupled with hot water storage tank . Desalination 156 p315–322. (2003)
- [26] **Perreau Benoit.** Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : les techniques d'hier et d'aujourd'hui, contexte économique et perspectives (1998).
- [27] **Maurel, A.** Desalination of sea water and brackish water, Saint Paul Lez Durance, CEA, P14, (1990).
- [28] **Smith et M. Sidem.** Production d'eau douce par dessalement, Paris, P43.(2004)
- [29] **Sadi A.** « Le Dessalement Solaire : Considérations Techniques ». (2003)
- [30] **Raymond Desjardins,** Le traitement d'eaux, 2^{ème} édition de l'Ecole Polytechnique de Montréal, P242, P6, P241, P248, P251(1990)
- [31] **Sidem,** fresh water through desalination, Paris, p27, (1997)
- [32] **Tleimat.B.W** Solar distillation: The state of the art, Sea water conversion laboratory, Richmond, U.S.A.(2000)
- [33] **M.L. Khanna.M.L et Mathur.K.N.** “ Experiments on demineralization of water in North India,New Delhi. (2003).”
- [34] **Maria Telkes.** Solar stills, Research Division College Of Engineering, New York University. (1998).
- [35] **Axcell.B.P.** A simple equation for the effect of multiple reflections on the solar radiation absorbed by a collector with a double glazed cover plate .Renewable Energy vol 13, p389-391(1998).
- [36] **Galus .C;** « les technique de dessalement de l'eau de mer prennent de l'essor » extrait du Monde (000),p24.
- [37] **Maurel. A;** « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce ».Lavoisier Tec&Doc(2001)

- [38] **Khedim.A** « Mesure et caractérisation thermodynamique d'un Nouveau Système solaire de dessalement de l'eau de mer avec récupération de chaleur » REv.Energ .Ren .2003.
- [39] **Chaker.A. Menguy.G** « Efficacité interne d'un distillateur solaire sphérique » .Energ.Ren.(2001) pp53.58.
- [40] **Renaudin,V** « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre ».Laboratoire des sciences du génie chimique ,Nancy,(2003)
- [41] **Khawaji,A, Kutubkhanah.IK. wie.J.** advances in sea waters desalination technologies , desalination 221. 2008
- [42] **Rivet,P** Energie solaire photovoltaïque ,volume1,unisco,1993
- [43] **Peter,Wassouf,Tompeska,Randeep singh,** aliakbar.a.energy conservation and renewable .2011.
- [44] **Gajendra singh , Shiv kumar, Tiwari.G.N .** "design, fabrication and performance evaluation of a hybride photovoltaic thermal (PVT) double slope active solar still" 2011.Science Direct
- [45] **Bernard.C, Chauvin.J, lebrun .D.,fmusaz .J, Stassi . P** .station solaire autonome pour L'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection a l'observation pierre Auger 2006
- [46] **Dunode, 3eme édition** « énergie solaire photovoltaïque » année 2006..
- [47] **Achaibou .N, Malek.A, Bacha.N** « modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans L' installation pv »n special'chemss).2000
- [48] **Rahbar .N , Esfahani.J.A** Experental study of a novel portable solar still by utilizing the heatpipe and thermoelectric module .2011
- [49] **Chaouchi. B, Zrelli.A, Gabsi.S.** Desalination of brackish water by means of a parabolli solar concentrator. Science Direct .207
- [50] **Yasser.F.N, Saib.A.Y, Awidat.A.S.**The second generation of the solar desalination systems.Science Direct .2007
- [51] **Gajendra.S, Shiv.K,Tiwari.G.T .** Desing, fabrication and performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PVT) double slope active solar still. 2011. Science Direct.
- [52] **Farshad .F.T, Mohamed . D, Hamid .M .** Experimental investigation of a weir –type cascade solar still with built- in latent heat thermal energy storage system . 2010. Science Direct.
- [53] **Kaldasa.M,S .SivAkumar . J .Riaz Ahamed ,Kn.K.S.K.Chockalingam,K.Srithar.** Single basin double slope solar still with minimum basin depth and energy storing materials .2010, Science Direct.
- [54] **Rahbar.N, J.A.Esfahani** Experimental study of a novel portable solar still by utilizing the heatpipe and thermoelectric module .2012 . Science Direct.

Résumé :

En Algérie, comme dans les pays en voie de développement, le problème d'approvisionnement en eau potable devient de plus en plus crucial, du fait de la croissance démographique et de l'élévation du niveau de vie. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres est désormais envisageable pour répondre à la demande en eau potable. Parmi les différents procédés, la distillation solaire est une solution intéressante.

L'objectif de ce travail est l'analyse thermo physique de la production d'un distillateur par voie solaire. Pour améliorer le rendement du distillateur, on a couplé les deux formes d'énergie solaire (solaire photovoltaïque et solaire thermique) dans un distillateur hybride.

Un système d'équations régissant le fonctionnement des deux distillateurs a été résolu par la méthode d'itération de Gausse Seidel.

Une simulation mathématique a permis d'obtenir des résultats qui montrent clairement l'effet des paramètres internes et externes notamment, l'irradiation solaire incidente qui reste le facteur le plus influant sur le comportement du distillateur thermique solaire, ainsi que la résistance électrique sur le comportement du distillateur hybride. On observe l'effet de vitesse du vent et la température ambiante sur la production des distillateurs. Il apparaît en outre que les paramètres thermo physique et photovoltaïque jouent également un rôle très important dans l'amélioration du rendement des distillateurs

Abstract:

In Algeria, as in developing countries, the problem of drinking water supply became more and more critical, because of population growth and the rise in the standard of living. Desalination of seawater and brackish water is now possible to meet the demand for drinking water. Among the different processes, Solar distillation is an interesting solution.

The objective of this work is the physical thermo analysis of production a Distiller by solar way.

To improve the performance of the Distiller, was coupled the two forms of solar energy (solar photovoltaic and solar thermal) in a hybrid Distiller.

A system of equations governing the operation of two distillers has been solved by the Gausse Seidel iteration method.

A mathematical simulation to obtain results that clearly show the effect of external and internal parameters notably, incident solar radiation which is the factor most affecting the behaviour of the solar thermal Distiller, and electrical resistance on the behavior of the hybrid Distiller. Observed the effect of wind speed and the temperature on the production of the distillers. It also appears that the thermo photovoltaic and physical parameters also play a very important role in the improvement of the performance of distillers

. ملخص :

في الجزائر، كما هو الحال في البلدان النامية، تعاني مشكلة نقص مياه الشرب التي أصبحت ذات أهمية متزايدة، وذلك بسبب النمو السكاني وارتفاع مستويات المعيشة.

لهذا قمنا بدراسة طرق توفير المياه المتمثلة في تحلية مياه البحر أو المياه الراكدة. من بين أهم الطرق الاقتصادية في الطاقة هي طرق تحلية بواسطة الطاقة الشمسية.

هدف دراستنا هو البحث عن حل لتحسين مردود طريقة تحلية المياه بالطاقة الشمسية المعروفة بالتقطير الشمسي.

النتائج المتحصلة عليها في هذه الدراسة، تتبين بوضوح تأثير العوامل الفيزيائية الداخلية والخارجية على مردود طريقة التقطير الشمسي من بين هاته العوامل مايلي:

- سرعة الرياح

- درجة الحرارة المحيطة

- الشدة الضوئية

- حجم الماء المراد تحليته

- العازل لجوانب القطرات الشمسية

بالتركيز على دراسة مكونات المقطرات نستطيع تحسين مردودها، من بين هذه المكونات العوازل وتسرع عملية التكثيف.