

République Algérienne Démocratique et Populaire

Centre Universitaire Larbi Ben M'hidi

Oum-El-Bouaghi

Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister

Filière : Génie Civil

Option : Installations Thermique du Bâtiment

THEME

*Etude & Analyse de la performance Optique
d'un Distillateur Solaire à Effet de Serre :
Etude de l'Impact de Certains Paramètres
Thermo physiques*

**PAR
TRAD ABDERACHID**

Soutenu le : 12 Novembre 2007

Devant le Jury :

Président : Mr A.Ayadi. Professeur. Centre Universitaire Larbi ben Mhidi,
Oum EL Bouaghi

Rapporteur : Mr A. Kaabi Professeur. Université Mentouri, Constantine

Examineurs: Mr A. Belhamri Professeur Université Mentouri, Constantine

Mr Y.Khatib M.C. Université Mentouri, Constantine

REMERCIEMENTS

Je remercie **Dieu** qui m'a donné la patience pour réaliser ce modeste travail.

Avec la profonde reconnaissance à Monsieur **Abdenacer Kaabi**, Professeur et chef de département de Génie Climatique à l'Université Mentouri de Constantine, qui sous sa direction m'a éclairé le chemin avec ses orientations et ses conseils précieux pour avoir entamé cette thèse.

Mes vifs remerciements et mon estime s'adressent aux enseignants, qui m'ont donné l'honneur d'avoir accepté de juger ce travail.

Monsieur **A .BELHAMRI** .Professeur à l'Université Mentouri Constantine

Monsieur **A .AYADI** .Professeur au Centre Universitaire d'Oum el Bouaghi

Monsieur **Y.KHATIB** . Professeur à l'Université Mentouri Constantine

Tous mes remerciements s'adressent surtout aux enseignants qui nous ont assuré toute formation au C.U Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi

à tous mes collègues et à toute personne ayant contribué de près ou loin à réaliser ce travail.



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- A la mémoire de mes parents q'ils reposent en paix
- A ma femme qui mérite le prévilège d'être remercié pour son soutien illimité et ses encouragements durant ce parcours.
- A Mme K .Mehdi pour son aide et sa gentillesse.
- A toute la famille.

Résumé

La présente étude est inspirée de l'idée qui adopte la distillation solaire comme moyen efficace pour atténuer les problèmes de manque d'eau. Cette étude est faite sur un distillateur solaire à double exposition implantée dans la région de Constantine. Une approche théorique a été mise en place et qui consiste à simuler le comportement de certains paramètres thermo physiques tels que : la vitesse du vent, l'angle d'inclinaison, la profondeur de l'eau dans le bassin, les températures des différents composants et les différences temporelles de température entre la surface d'évaporation et celle de condensation, et leur influence sur la performance du système durant la période d'ensoleillement. La résolution mathématique du système d'équation décrivant la balance d'énergie de chaque composant du distillateur solaire, nous a permis de conclure ce qui suit :

- La production journalière augmente avec l'augmentation de la vitesse du vent jusqu'à une valeur critique égale à 10m/s ou la production atteint sa valeur maximale.
- La production horaire et journalière varient en fonction des angles d'inclinaison du capteur. Nous avons constaté que la valeur optimale de l'angle d'inclinaison égale à 10° favorise les phénomènes d'évaporation et de condensation, ce qui nous a permis d'obtenir la meilleure production.
- L'efficacité et la production du système sont considérablement élevées pour des faibles profondeurs d'eau du bassin.
- Sous l'effet de l'intensité du rayonnement solaire incident qui augmente avec le temps, la différence de température entre la vitre et l'eau du bassin augmente en conséquence, d'où on aura une meilleure production journalière.
- La conception de ce type de distillateur à double pente lui permet d'intercepter le maximum de rayonnement solaire, ce qui favorise l'augmentation de la production.

Parallèlement à cette étude de simulation, certaines perspectives à l'horizon sont envisagées :

- Une étude future qui tient compte des caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'appoint (son degré de salinité, sa température, son PH ...etc.) est souhaitable, afin de pouvoir vérifier son influence sur le rendement du distillateur solaire.
- Pour pouvoir améliorer davantage les résultats obtenus, on doit en principe augmenter l'écart de température ΔT ($t_w - t_{gi}$), en utilisant le chauffage de l'eau saumâtre par de l'énergie solaire, des études en ce sens sont en cours.

Mots clés : distillateur solaire, paramètres thermo physiques, optimisation, performance, production, rayonnement solaire.

Sommaire

Introduction	01
CHAPITRE I : Analyse Bibliographique	
I.1. Historique.....	03
I.2. Nature et Caractéristiques de l'eau	03
I.2.1. La nature de l'eau.....	03
I.2.2. Les caractéristiques d'une eau potable	04
I.2.3. Les eaux de mer.....	04
I.2.4. Les eaux saumâtres.....	04
I.3. Procédés et techniques de dessalement	05
I.3.1. Procédés à l'électrodialyse.....	05
I.3.2. Procédés par l'osmose inverse.....	06
I.4. Procédés de distillation.....	06
I.4.1 La distillation Solaire	07
I.5. Types de distillateurs solaires	07
I.5.1. Distillateur solaire à effet de serre avec une couverture à un seul versant.....	07
I.5.2. Distillateur solaire à étages multiples avec récupération de chaleur	08
I.5.3 Distillateur solaire à film capillaire à multiples effets	10
I.5.4. Distillateur solaire plan	11
I.5.5. Distillateur solaire Sphérique.....	12
I.5.6. Distillateur solaire fonctionnant en mode indirect.....	13
I.5.7. Conception de trois types de distillateurs solaires avec diverse pente de la couverture et d'angles d'inclinaison de la base.....	14
I.5.8. Distillateur à cascades.....	14
I.5.9. Distillateur solaire à film capillaire.....	15
I.5.10. Distillateur type vertical.....	16
I.5.11. Distillateur solaire type active couplé avec capteur.....	17
I.5.12. Distillateur solaire vertical de Diffusion à multiple effet couplé avec à un capteur réflecteur.....	18
CHAPITRE II : Gisement solaire	
II.1.1. Le soleil : genèse de l'étoile et structure.....	20
II.1.2. Données astronomiques concernant le système terre soleil.....	21

CHAPITRE III : Etude Théorique

III.1. Paramètres du système de distillation.....	35
III.1.1 Paramètres externes.....	35
III.1.2. Paramètres internes.....	35
III.1.2.1 Paramètres géométriques	36
III.1.2.1.1 Paramètres de position.....	36
III.1.2.2. Paramètres de fonctionnement.....	36
III.1.2.3. Paramètres de conception.....	36
III.1.2.3.1. la couverture.....	37
III.1.2.3.2. Le vide entre la surface d'évaporation et la surface de condensation.....	37
III.1.2.3.3. la masse d'eau à distiller.....	37
III.1.2.3.4. L'absorbeur.....	37
III.1.2.3.5. L'isolant.....	38
III.1.3. Les paramètres optiques.....	38
III.1.3.1. l'émissivité.....	38
III.1.3.2. l'absorptivité.....	38
III.1.3.3. Réflexion et diffusion.....	38
III.1.3.4. Transmissivité (transparence et opacité).....	39
III.1.4. Paramètres thermo physiques.....	39

CHAPITRE IV : Modélisation du système

IV.1. Description du modèle	40
IV. 2. Hypothèses simplificatrices.....	41
IV.3. Bilan thermique en régime permanent	42
IV.3.1. Bilan thermique de la vitre.....	42
IV.3.1.1.Echange de chaleur entre la face extérieure de la vitre et le milieu extérieur ambiant.....	42
IV.3.1.2. Echange de chaleur par conduction entre la face intérieure et la face extérieure de la vitre.....	42
IV.3.2 Bilan thermique de la masse d'eau.....	43
IV.3.3. Bilan thermique de l'absorbeur.....	43
IV.3.4. Bilan thermique de l'isolant	44
IV.4.Modélisation mathématique	44
IV.4.1. Bilan thermique en régime transitoire.....	45
IV.4.1.1. L'analogie électrique.....	46

IV.4.2. Les équations du modèle.....	48
IV.5. Expression des coefficients de transfert thermiques.....	49
IV.5.1. Echange thermique par conduction.....	50
IV.5.2. Echange thermique par convection	50
IV.5.2. Echange thermique par rayonnement.....	53
IV.5.4. Echange thermique avec changement de phase.....	54
IV.6. Caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire	54
IV.6.1. Le rendement.....	54
IV.6.2. L'efficacité.....	54
IV.6.2.1. L'efficacité globale η_g (%).....	54
IV.6.2.2.L'efficacité interne η_i (%)	55
IV.6.2.3.La performance	55
IV.7. Principe de programmation	56
IV.8. Les étapes du programme	56
IV.9.Organigramme général	59
IV. 10. Discrétisation des équations de transfert thermique.....	61
IV. 10. 1. Au niveau de la couverture.....	61
IV. 10. 2. Dans la saumure.....	61
IV. 10. 3. Dans le bac absorbant.....	61
IV. 10. 4. Dans l'isolant.....	61
CHAPITRE V : Interprétation et discussion des résultats	
V. Interprétation et discussion des résultats.....	65
V.1.Variation temporelles des températures ambiantes et des températures du ciel.....	66
V.2. Variation de l'intensité du rayonnement solaire et des puissances absorbées en fonction du temps local	67
V. 3. Influence de la profondeur de l'eau du bassin sur la production	68
V. 4. Variation des températures des différents composants du distillateur en fonction du temps	70
V.5. Influence de la vitesse du vent sur la production du distillateur solaire.....	71
V.6. Influence de l'angle d'inclinaison sur la production journalière	73
V.7. Variation de la production horaire (md) en fonction du temps.....	77
V.8. Variation de la différence de température ΔT ($T_w - t_{gi}$) en fonction du temps	78
V.9 Influence de la différence de température ΔT sur la production horaire.....	79
V.10.Variation de l'énergie par évaporation en fonction de ΔT	80

V.11. Variation de la différence de température $\Delta T(T_w - t_{gi})$ en fonction de la vitesse du vent	81
V.12. Variation de la différence de température $\Delta T(T_w - T_{gi})$ en fonction de l'angle d'inclinaison β	82
V.13. Variation de la différence de température $\Delta T(T_w - T_{gi})$ en fonction de la profondeur de l'eau du bassin.....	83
V.14. Influence de la nature de l'absorbeur sur la production du distillateur solaire	84
V.15. Influence des caractéristiques thermo physiques de l'isolant sur la production du distillateur solaire.....	85
V.16. Tableaux relatifs aux résultats obtenus.....	88
Conclusion et Recommandations	96
Références	98
ANNEXES	
Annexe A: Résolution des systèmes d'équations linéaires par Les méthodes itératives.....	102
Annexe B: Caractéristiques thermo physiques de quelques éléments utilisées dans la distillation solaire.....	104
Annexe C: Nombres Adimensionnelles.....	106
Annexe D: Programmation.....	108
Annexe E. Tableaux relatifs aux résultats obtenus.....	123

NOMENCLATURE

- a** : L'azimut du soleil (degré)
- Ab** : Surface de l'absorbeur (m^2)
- Ag** : Surface du capteur (m^2)
- Aw** : Surface de l'eau (m^2)
- C_{pg}** : Chaleur massique de la vitre (j/kg.°C)
- C_{pw}** : Chaleur massique de l'eau (j/kg.°C)
- C_{pb}** : Chaleur massique de l'absorbeur (j/kg.°C)
- C_{pis}** : Chaleur massique de l'isolant (j/kg.°C)
- d** : Longueur caractéristique du distillateur (m)
- e_G** : Epaisseur de la vitre (m)
- e_{is}** : Epaisseur de l'isolant (m).
- F.P.B** : Facteur de performance brut (%)
- F.P.H** : Facteur de performance horaire (%)
- F.P** : Facteur de performance (%)
- g** : Accélérateur due à la pesanteur (m/s^2)
- Gr** : Nombre de Grashoff
- h** : La hauteur du soleil
- h_{gc}^r** : Coefficient d'échange de chaleur par rayonnement entre la vitre et le milieu ambiant ($w/m^2.°C$).
- h_{wg}^r** : Coefficient d'échange de chaleur par rayonnement entre la masse d'eau et la vitre ($w/m^2.°C$).
- h_{wg}^c** : Coefficient d'échange de chaleur par convection entre la masse d'eau et la vitre ($w/m^2.°C$).
- h_{wg}^{év}** : Coefficient d'échange de chaleur par évaporation entre la masse d'eau et la vitre ($w/m^2.°C$).
- h_{ga}^c** : Coefficient d'échange de chaleur par convection entre la vitre et milieu extérieur ($w/m^2.°C$).
- h_{b.is}^{cd}** : Coefficient d'échange de chaleur par conduction entre l'absorbeur et l'isolant ($w/m^2.°C$).
- h_{bw}^c** : Coefficient d'échange de chaleur par convection entre le l'absorbeur et la masse d'eau ($w/m^2.°C$).
- i** : Angle d'incidence (°)
- I_G** : Intensité du rayonnement solaire globale (w/m^2)

- $I_{D,b}$: Intensité du rayonnement solaire direct sur un plan horizontal (w/m^2)
- $I_{d,b}$: Intensité du rayonnement diffus par rapport à l'horizontale (w/m^2)
- jj : Indique le numéro du jour du mois.
- K_G : Coefficient d'extinction du verre [m^{-1}]
- L : Longitude (degré)
- L_{hw} : L' épaisseur (hauteur) de la saumure (m)
- L_b : L' épaisseur de l'absorbeur (m).
- L_v : Chaleur latente de vaporisation de l'eau ($j/m.^{\circ}C$)
- mm : Le numéro du mois de l'année.
- m_d : Débit d'eau distillé ($l/m^2.h$).
- n : Numéro du jour
- Nu : Nombre de Nusselt
- PG : Puissance absorbée par la vitre (w/m^2)
- Pw : Puissance absorbée par la nappe d'eau (w/m^2)
- Pb : Puissance absorbée par l'absorbeur (w/m^2)
- Pr : Nombre de Prandtl
- q_{eau} : Quantité de chaleur absorbée par l'eau (w)
- Q_{wg}^r : Quantités de chaleur échangée par rayonnement entre la vitre et la masse d'eau (w) .
- Q_{wg}^c : Quantité de chaleur échangée par convection entre la vitre et la masse d'eau (w) .
- $Q_{wg}^{év}$: Quantité de chaleur échangée par évaporation entre la vitre et la masse d'eau (w) .
- Q_{gc}^r : Quantité de chaleur échangée par rayonnement entre la vitre et le ciel (w).
- Q_{ga}^c : Quantité de chaleur échangée par convection entre la vitre et le milieu ambiant (w).
- Q_g^{cond} : Quantité de chaleur échangée par conduction entre la face intérieure et la face extérieure de la vitre (w)
- Q_{bw}^c : Quantité de chaleur échangée par convection entre la masse d'eau et l'absorbeur (w).
- $Q_{b,isi}^{cd}$: Quantité de chaleur échangée par conduction entre l'absorbeur et la face intérieure de l'isolant (w)
- $Q_{ise,a}^r$: Quantité de chaleur échangée par rayonnement entre face extérieure de l'isolant et le milieu ambiant (w)
- R_D : Caractérise la réflectivité de la vitre
- R_w : Coefficient de réflexion de la saumure
- Ra : Nombre de Reyleich
- Re : Nombre de Reynolds
- T : Temps (s)

T_a : Température ambiante (°C)

T_{aw} : Coefficient de transmission du à l'absorption de l'eau

T_b : Température de l'absorbeur (°C)

T_c : La température du ciel (°C)

T_D : coefficient de transmission global du rayonnement direct

T_{ge} : Température extérieure de la vitre (°C)

T_{gi} : Température intérieure de la vitre (°C)

T_{ise} : Température de la face extérieure de l'isolant (°C).

T_{isi} : Température de la face intérieure de l'isolant (°C)

T.L : Temps local ou légal (h)

Tr : Le coefficient de transmission du à la réflexion.

T.S.V : Temps solaire vrai (h)

T.S.M : Temps solaire moyen (h)

T.U : Temps universel (h)

T_w : Température de l'eau du bassin (°C)

Lettres Grecques

- α : L'angle entre le méridien local et la normale du plan (degré)
- α_{GD} : Le coefficient d'absorption pour le rayonnement direct
- α_w : coefficient d'absorption de la nappe d'eau
- α_b : coefficient d'absorption de l'absorbeur
- ε_{eff} : facteur d'émission effective
- ε_g : facteur d'émission de la vitre
- ε_w : facteur d'émission de l'eau de bassin
- τ_d : La transmissivité totale de la couche atmosphérique pour le rayonnement diffus
- τ_g : coefficient de transmission de la vitre
- τ_w : coefficient de transmission de la nappe d'eau
- β : l'angle d'inclinaison de la vitre (degré)
- β' : coefficient d'expansion volumétrique de l'eau [K^{-1}]
- μ : viscosité dynamique du fluide (Ns/m^2)
- ν : viscosité cinématique du fluide (Ns/m^2)
- ρ_w : la masse volumique de l'eau (kg/m^3)
- σ : La constante de stefan Boltzmann = ($5,67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{K}^4$)
- η_g : L'efficacité globale (%)
- η_i : L'efficacité interne (%)
- ΔT : la différence de Température effective entre la masse d'eau et la vitre ($^{\circ}K$)
- θ : L'angle de réfraction du rayon au niveau de la vitre (degré)
- δ : La déclinaison (degré)
- φ : La latitude géographique
- ω : L'angle horaire (degré)
- γ : L'angle entre le plan horizontal et plan considéré (degré)
- λ_g : coefficient de conductivité thermique de la vitre [$W/m/^{\circ}K$]
- λ_{is} : coefficient de conductivité thermique de l'isolant [$W/m/^{\circ}K$]
- λ_b : conductivité thermique de l'absorbeur [$W/m/^{\circ}K$]

Symboles

a : ambiant

b : absorbeur

c : convection ou ciel

cond ou cd : conduction

dir : direct

d : direct

D : diffus

e : extérieur

év : évaporation

g : capteur ou vitre

h : horizontal

i : interieur

is : isolant

P : pertes

r : rayonnement

w : eau

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Degré de salinité des eaux de mers.....	4
---	---

Chapitre II

Tableau II.1. Valeurs des coefficients de trouble (a) et (b).....	30
---	----

Tableau II.2 Valeurs de l'albédo du sol (ρ).....	30
--	----

Tableau II.2.3 Valeurs des coefficients de réflexion, d'absorption, de transmission Vis à vis du rayonnement solaire incident.....	33
---	----

Chapitre IV

Tableau IV.1. Analogie entre le système thermique et le système électrique.....	47
---	----

Chapitre V

Tableau V.1.Variation Temporelle de l'intensité du rayonnement solaire global et des puissances absorbées en fonction du temps local (cas optimal).....	88
--	----

Tableau V.2. Variation temporelle des températures des différents composants du distillateur solaire à double exposition avec la variation de l'intensité du rayonnement solaire (IG), (Cas optimal).....	89
---	----

Tableau V.3. Variation temporelle des propriétés de l'eau en fonction de la température de l'eau du bassin, dans les conditions optimales.....	90
---	----

Tableau V.4. Variation temporelle de la production horaire (md) en fonction de la température de l'eau du bassin avec la variation des quantités de chaleur évaporées et quantités de chaleur reçue.....	90
--	----

Tableau V.5. Variation temporelle de l'efficacité et du facteur de performance horaire.....	91
---	----

Tableau V.6. Variation temporelle des coefficients d'échange de chaleur dépendant de la température.....	92
---	----

Tableau V.7. Effet de la variation de l'épaisseur de l'absorbeur avec la variation de l'épaisseur de l'isolant en polystyrène sur la production journalière.....	93
---	----

Tableau V.7a. Cas de l'absorbeur en aluminium avec l'isolant en polystyrène.....	93
--	----

Tableau V.7b. Cas de l'absorbeur en cuivre avec l'isolant en polystyrène	93
--	----

Tableau V.7c. Cas de l'absorbeur en acier inoxydable avec l'isolant en polystyrène	93
--	----

Tableau V.8. Effet de la variation de l'épaisseur de l'absorbeur avec la variation de l'épaisseur de l'isolant en laine de verre sur la production journalière.....	94
--	----

Tableau V.8a. Cas de l'absorbeur en aluminium avec l'isolant en laine de verre.....	94
---	----

Tableau V.8b. Cas de l'absorbeur en cuivre avec l'isolant en laine de verre.....	94
--	----

Tableau V.8c. Cas de l'absorbeur en acier inoxydable avec l'isolant en laine de verre.....	94
Tableau V.9. Effet de la variation de l'épaisseur de l'absorbeur avec la variation de l'épaisseur de l'isolant en polyuréthane sur la production journalière.....	95
Tableau V.9a. Cas de l'absorbeur en aluminium avec l'isolant en polyuréthane.....	95
Tableau V.9b. Cas de l'absorbeur en cuivre avec l'isolant en polyuréthane	95
Tableau V.9c. Cas de l'absorbeur en acier inoxydable avec l'isolant en polyuréthane	95

Annexe B :

Tableau B.1, Données thermo physiques.....	105
--	-----

Annexe E : Tableaux relatifs aux résultats obtenus

Tableau .1. Influence des différentes profondeurs d'eau respectivement sur les pressions de la vitre et la saumure.....	123
Tableau.1a. Pression de la vitre.....	123
Tableau .1b. Pression de la saumure.....	123
Tableau.2. Influence de différentes profondeurs d'eau sur les propriétés d'eau.....	124
Tableau 2a.Chaleur latente de vaporisation.....	124
Tableau. 2b. Masse volumique.....	124
Tableau 2c. Conductivité thermique.....	125
Tableau 2d. Capacité calorifique.....	125
Tableau 2e. Coefficient de dilatation volumique.....	126
Tableau 2f. Viscosité dynamique.....	126
Tableau 3. Influence de différentes profondeurs d'eau sur la quantité de chaleur par évaporation et la quantité de chaleur effectivement reçu par l'eau du bassin.....	127
Tableau .3a. Q_{evwg}	127
Tableau 3b Q_w	127
Tableau 4. Influence de différentes profondeurs d'eau sur la production horaire.....	128
Tableau 5. Influence de différentes profondeurs d'eau sur les coefficients d'échange par rayonnement, par convection et par évaporation.....	128
Tableau 5a. h_{rga}	128
Tableau 5b. h_{rwg}	129
Tableau 5c. h_{cwg}	129
Tableau 5d. h_{evwg}	130
Tableau 5e. h_{cbw}	130
Tableau 6. Influence de différentes profondeurs d'eau sur les températures des composants du distillateur solaire.....	131

Tableau 6a. Température de la face extérieure de la vitre.....	131
Tableau 6b. Température de la face intérieure de la vitre.....	131
Tableau 6c. Température de l'eau du bassin.....	132
Tableau 6d. Température de l'absorbeur.....	132
Tableau 6e. Température de la face intérieure de l'isolant.....	133
Tableau 6f. Température de la face extérieure de l'isolant.....	133
Tableau 7. Influence de différentes vitesses du vent sur la production horaire.....	134
Tableau 8. Influence des différents angles d'inclinaison avec les températures des composants du distillateur solaire.....	135
Tableau 8a. Température de la face extérieure de la vitre.....	135
Tableau 8b. Température de la face intérieure de la vitre.....	135
Tableau 8c. Température de l'eau du bassin.....	136
Tableau 8d. Température de l'absorbeur.....	136
Tableau 8e. Température de la face intérieure de l'isolant.....	137
Tableau 8f. Température de la face extérieure de l'isolant.....	137
Tableau 9. Influence des différents angles d'inclinaison sur les pressions de la vitre.....	138
Tableau 9a. Pression de la vitre.....	138
Tableau 9.b. Pression de l'eau de bassin.....	138
Tableau 10. Influence de différents angles d'inclinaison sur la production horaire.....	139

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Principe de l'osmose inverse.....6

Figure I .2. Distillateur simple à effet de serre.....8

Figure. I.3. Schéma de principe d'une installation de désalement de l'eau de mer.....9

Fig.I.4. Principe de construction du distillateur à plusieurs étages.....9

Figure I.5. Schéma d'une étage d'évaporation condensation.....11

Figure I .6. Schéma de principe d'un distillateur solaire de six étages.....11

Figure I.7. Le distillateur solaire plan.....12

Figure I.8. Schéma d'un distillateur solaire sphérique.....12

Figure I.9. Schéma de principe du système fonctionnant en mode indirect.....13

Figure I.10. Schéma de trois modèles de distillateurs solaires conçus pour divers angles d'inclinaison.....14

Figure I.11. Schéma d'un distillateur solaire expérimental à cascades.....15

Figure I.12. Schéma d'un distillateur solaire à film capillaire.....16

Figure I.13. Schéma d'un distillateur solaire type vertical.....17

Figure I.14. Schéma d'un distillateur solaire actif couplé avec un capteur.....18

Figure I. 15. Schéma d'un distillateur solaire vertical à multiple effet couplé avec un capteur réflecteur.....19

Chapitre II

Figure II-1 Coupe schématique du soleil.....21

Figure II .2 Coordonnées horizontales d'un astre, hauteur h et azimut a, définies sur la sphère céleste.....22

Figure II.3 Les différents coordonnés angulaires utilisées en énergétique solaire.....23

Figure II.4 Représentation des vecteurs unitaires.....27

Figure II.5 Réfraction d'un rayon lumineux à la traversée d'un dioptre séparant deux milieux de réfringence différente.....31

Chapitre IV

Figure IV.1 Distillateur solaire à effet de serre à double exposition.....41

Figure IV.2. Les différents nœuds considérés dans la maille d'un distillateur solaire simple à effet de serre à double exposition.....45

Figure IV.3. Schéma des échanges thermiques dans la maille du distillateur solaire modèle à double exposition.....47

Figure IV.4. Schéma électrique équivalent du distillateur solaire à effet de serre à double exposition.....	48
 Chapitre V	
Figure V.1. Variation temporelle de la température ambiante et de la température du ciel.....	66
Figure V.2 Variation temporelle des puissances absorbées et de l'intensité du rayonnement solaire globale.....	67
Figure V. 3a. Variation de la production journalière en fonction de la Profondeur de l'eau du bassin.....	68
Figure V. 3b. Variation de la production horaire en fonction du temps avec la variation de la Profondeur de l'eau de bassin.....	69
Figure V.4. Variation des températures des différents composants du distillateur solaire en fonction du temps.....	70
Figure V. 5a. Variation de la production journalière en fonction de la vitesse du vent	71
Figure V.5b. Variation de la production journalière en fonction de la vitesse du vent avec la variation des différents angles d'inclinaison.....	72
Figure V.6a. Variation de la production journalière en fonction de l'angle d'inclinaison	73
Figure V.6b. Variation de la production journalière en fonction de l'angle d'inclinaison avec la variation des différentes profondeurs de l'eau du bassin.....	74
Figure V.6c. Variation de la production journalière en fonction de l'angle d'inclinaison avec la variation des différentes vitesses du vent.....	75
Figure V.7. Variation de la production horaire en fonction du temps.....	77
Figure V.8 Variation de la différence de température (ΔT) en fonction du temps.....	78
Figure V.9 Variation de la production horaire en fonction de ΔT	79
Figure V.10 Variation de l'énergie par évaporation en fonction de la différence de température ΔT	80
Figure V.11 Variation de ΔT en fonction de la vitesse du vent.....	81
Figure V.12. Variation de ΔT en fonction de l'angle d'inclinaison.....	82
Figure V.13. Variation de ΔT en fonction de la profondeur d'eau du bassin.....	83
Figure V.14. Influence de la nature du matériel de l'absorbeur sur la production journalière.....	84
Figure V. 15.a Variation de la production journalière en fonction des épaisseurs des isolants pour un absorbeur en aluminium	85

Figure V.15.b. Variation de la production journalière en fonction des épaisseurs des isolants pour un absorbeur en cuivre.....86

Figure V.15.c. Variation de la production journalière en fonction des épaisseurs des isolants pour un absorbeur en acier inoxydable.....87

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est la clef à la prospérité humaine; elle est intimement associée à l'évolution, à la civilisation et au destin. La consommation de l'eau douce a augmenté considérablement dans le monde cela est due au nombre de la population de la planète qui à chiffré, à la croissance rapide de l'industrie et de l'agriculture, et le niveau de vie élevée, tous ces facteurs ont soulevés de plus en plus le besoin en eau potable, néanmoins cette eau est devenu une monnaie rare dans plusieurs régions du monde ou les ressources sont extrêmement limitées à cause de la sécheresse due au Problème du réchauffement terrestre global et de l'épuisement des ressources fossiles, cette situation peut s'appliquer surtout sur les pays subméditerranéen dont l'Algérie, dont fort heureusement caractérisés par un gisement solaire très important qui constitue une source durable et inépuisable, inexhaustible, propre et disponible, mais aussi la solution la plus approprié et prometteuse surtout dans le domaine de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres qui relève d'un apport plus rentable et économique répondant aux urgences de l'eau, cette eau brute est généralement souillée avec les impuretés et les organisations chimiques nocif, dont la distillation solaire de l'eau saumâtre s'impose et devient une alternative pratique qui offre la vie à des régions où le manque d'eau douce gêne le développement, ajoutons en plus que le choix des distillateurs solaire est une contribution pour résoudre définitivement ce problème de manque d'eau, l'essentiel reste à entreprendre des mesures concrètes d'amélioration des systèmes de distillation.

Récemment, pour surmonter la productivité faible des distillateurs conventionnels, plusieurs installations ont été développées, parmi elles on trouve les systèmes qui utilisent un condenseur externe, et des systèmes qui utilisent la bonne isolation pour éviter les pertes de chaleur, tandis que d'autres systèmes font préchauffer l'eau saline avant qu'elle soit entrer dans le distillateur solaire [1] et rapporté par Dalyanis [2].

Si on se réfère au thème de notre travail, nous avons proposé dans notre étude un modèle de distillateur solaire à double exposition à effet de serre dont l'objectif finale est d'augmenter la production, qui peut avec une meilleure orientation intercepter le maximum de rayonnement solaire. Une caractéristique principale de ce modèle devait augmenter le taux d'évaporation en augmentant la différence de température entre l'eau saline dans le bassin et la couverture de verre, suivie d'une condensation sur la face intérieure de la vitre et récolter le maximum d'eau distiller.

Tous ces phénomènes réunis sont issus d'une influence des paramètres

thermo physiques, qui sont respectivement d'ordre de conception ou climatique telles que : l'angle d'inclinaison, la nature de l'absorbeur et de l'isolant, la profondeur de l'eau du bassin, la vitesse du vent, l'intensité du rayonnement solaire globale, la température. Par le biais d'une simulation mathématique développée par un programme (Matlab), nous avons mis en valeur la variation de ces paramètres thermo physiques et leur influence sur chaque composant du distillateur solaire, sous forme d'un système d'équation régissant le fonctionnement du distillateur solaire avec un apport maximum de transfert de chaleur internes et externe (par rayonnement, par convection, par conduction et par évaporation) ce qui nous a permis d'obtenir des résultats représentés graphiquement, suivie par une analyse et une discussion.

Enfin la récapitulation générale de notre travail est résumée en cinq chapitres et une partie annexe:

- **Chapitre I** : Une analyse bibliographique sur le dessalement de l'eau (la distillation solaire), les procédés et technique de distillation, les différents types de distillateurs solaire.
- **Chapitre II** : Une étude globale sur le gisement solaire est envisagée avec notamment les données relatives au soleil et au rayonnement solaire et les différentes puissances absorbées.
- **Chapitre III** : Etude théorique qui porte sur les paramètres du système de distillation à savoir les paramètres internes et externes.
- **Chapitre IV** : Ce chapitre est consacré à la modélisation du système proposée avec notamment la description des hypothèses du système, la présentation des différents équations gouvernant le fonctionnement du système, avec les coefficients d'échange intervenant et l'étude de simulation.
- **Chapitre V** : On a abordé l'interprétation et la discussion des résultats obtenus qui sont traduits en graphes, en histogramme et en tableaux.
- Conclusion et recommandation.
- **La partie annexe** : Dans la partie annexe on citera : quelques données des paramètres thermo physiques, les nombres adimensionnels, la méthode de résolution numérique utilisée, et les tableaux des résultats obtenus et non cités dans le chapitre V.

CHAPITRE I

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Analyse Bibliographique

I.1. Historique :

L'humanité a connu le dessalement par l'énergie solaire pendant des siècles, quand les marins grecs ont distillé l'eau de mer pour obtenir de l'eau douce (Eibling et al. 1979) [3]. Dans le quinzième siècle les scientifiques Arabes avaient utilisés les miroirs polis à Damas pour obtenir l'eau douce par distillation solaire, d'autres scientifiques et naturalistes ont utilisé les distillateurs solaires pendant les siècles qui ont suivie cette date, Délia Porta en 1589 et Mauchot en 1869 [4]. Lavoisier en 1862 a concentré le rayonnement solaire à l'aide des objectifs de verre pour distiller l'eau de mer. A Las salinas (Chili), la première unité solaire de distillation à grande échelle a été construite en 1874 par un ingénieur suédois Charles Wilson, c'était un grand bassin qui recueille de l'eau dont la salinité est très élevée (4 fois plus élevée que l'eau de mer), puis transformée en eau douce alimentant la mine de nitrate, et les agglomérations voisines, ces distillateurs solaires ont couvert une surface de 4700 m² et produisant une quantité d'eau de l'ordre de 23000 l/jour de l'eau fraîche. Depuis le début des années soixante de nombreux distillateurs solaires ont vu le jour : des distillateurs à double ou à multiple effet (passive ou active), ou leurs rendements étaient de l'ordre de (2-4l/m²) [5,6] selon la saison et le modèle. Cependant, on utilise les distillateurs solaires fonctionnant en mode passive lorsque l'énergie solaire chauffe l'eau saline directement, alors pour ceux qui fonctionnent en mode active, l'eau salée est préchauffée par un capteur extérieure avant son entrée dans le bassin .

I.2. Nature et Caractéristiques de l'eau :

I.2.1. La nature de l'eau :

L'eau constitue les $\frac{3}{4}$ de la surface de la planète, elle est connue par ses trois états (liquide, vapeur ou parfois solide). L'eau provient des océans, des mers, des nappes souterraines ou lacs, elle est considérée comme un solvant pour les produits organiques et minéraux, elle n'est pas utilisée directement mais subit généralement des traitements pour la rendre potable et consommable.

1.2.2 Les caractéristiques d'une eau potable :

Une eau potable est une eau douce inodore, incolore qui ne contient pas de produits toxiques, mais contient quelques sels minéraux avec des concentrations réglementés qui doivent être respectées, d'après l'OMS (l'Organisation Mondiale de la Santé), la salinité d'une eau potable destiné pour la consommation est comprise entre 0.1 et 1g/l d'eau, tandis que pour une utilisation industrielle, la salinité est de l'ordre de 20 à 50 mg/l, en revanche ces valeurs sont acceptables [7]. La concentration d'ions dans l'eau est mesurée avec son pH qui est généralement égale à 7.

1.2.3 Les eaux de mer :

L'eau de mer possède une salinité moyenne de 35 g/l (Océan Atlantique, Mer du Nord...), et avec une fortes variations dans certains cas : 39 /l en mer méditerranée, 42 g/l dans le golfe persique [8], et jusqu'à 270 g/l en mer morte [9], (tableau I.1).

Tableau I.1 Degré de salinité des eaux de mers.

Eau de mer	degré de salinité (g/l)
Mer Baltique	7
Mer Caspienne	13.5
Mer Noir	20
Mer adriatique	25
Océan Pacifique	33.5
Océan Indien	33.8
Océan Atlantique	35
Mer Méditerranée	39
Golfe Arabique	42
Mer rouge	43
Mer Morte	270

1.2.4. Les eaux saumâtres :

Les eaux saumâtres sont des eaux ayant une salinité inférieure à celle de l'eau de mer et supérieure à celle de l'eau potable, elles sont classés en trois catégories suivant le degré de salinité :

- Les eaux peu saumâtres $1000 < \text{salinité} < 3000$ (ppm)
- Les eaux moyennement saumâtres $8000 < \text{salinité} < 10000$ (ppm)

- Les eaux fortement saumâtres $10000 < \text{salinité} < 33000$ (ppm)

Les deux premières catégories se trouvent en particulier en Afrique du Nord, en moyen Orient et aux U.S.A. [8].

I.3. Procédés et techniques de dessalement :

Les techniques de dessalement de l'eau saumâtre et de l'eau de mer représentent une alternative importante pour palier au problème de pénurie d'eau, dont le choix approprié de la technologie après la considération des ressources énergétiques économiques, technologiques est essentiel. Fondamentalement deux concepts sont applicables pour des procédés de dessalement, l'un utilise l'énergie mécanique pour conduire ce processus tels que l'Osmose inverse (RO) et la compression de la vapeur (VC), et l'autre utilise l'énergie thermique pour conduire le processus comme la distillation à Multiple Effet (MED), le Flash à Plusieurs Etages (MSF), les transmembranes et les distillateurs solaires à plusieurs effets de serre et la distillation à l'électrodialyse.

Les procédés de dessalement utilisant l'énergie mécanique sont les systèmes économiques les plus efficaces surtout lorsque les besoins en eau douce sont importants. La taille des systèmes qui emploient les procédés thermiques de dessalement peut être réduite à une plus petite échelle sans pénaliser beaucoup le coût de l'eau douce produite. Les solutions les plus énumérées de ces techniques sont celles qui sont viables techniquement et économiquement parmi elles, on trouve : la distillation, l'électrodialyse, et l'osmose inverse.

I. 3.1. Procédés à l'électrodialyse:

Connu aussi par le procédé à membranes, c'est une méthode électrochimique dans laquelle le sel est séparé de l'eau par un transfert d'ions. Les sels dissous dans l'eau sont ionisés, elles sont porteuses d'une charge positive ou négative. Pour activer la mobilité de ions à travers les membranes, On leur applique un champ électrique entre une cathode et une anode, les anions gagnent l'anode, les cations la cathode, dans ce cas les ions avec leurs mouvement transmettent les charges électriques aux électrodes. Le dessalement est assuré par une alternance de membranes cationiques (perméables aux cations) et de membranes anioniques (perméables aux anions), on trouve un compartiment qui recueille

les sels extraits. L'utilisation de la technique de procédé par l'électrodialyse est limitée, étant donnée qu'elle n'envisage surtout que des eaux saumâtres dont la salinité n'excède pas 1%.

I.3.2. Procédés par l'osmose inverse :

Dans ce procédé l'eau salée et l'eau douce sont séparées par une membrane semi permiable ou l'eau douce migre vers la solution la plus concentrée (eau saumâtre) (figure I.1.a et I.b) [10], mais lorsque on exerce une pression sur l'eau salée, le processus sera inversé d'où vient l'appellation Osmose inverse (figure I.c) [10]. On obtient une eau pure possédant des mesures parfaites pour la santé, l'inconvénient de ce procédé est qu'il n'est pas économique, ses équipements consomment énormément d'énergie électrique.

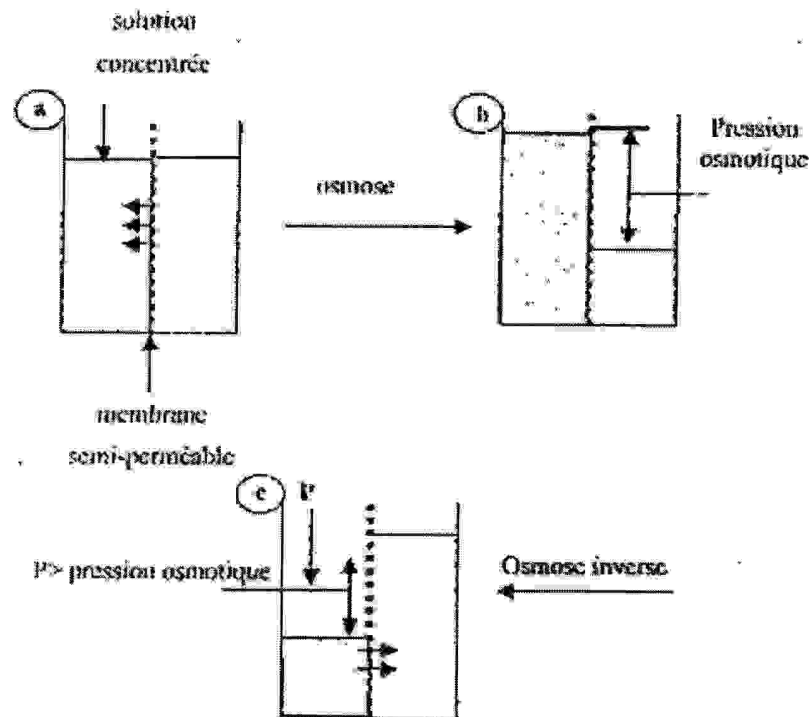


Figure I.1. Principe de l'osmose inverse

I.4. Procédés de distillation :

On appelle aussi procédé par changement d'état, c'est une opération qui peut être effectuée par le chauffage ou par la réduction de pression ou l'eau salée est transformée en vapeur d'eau, l'eau pure est ainsi obtenue par condensation. Le procédé par distillation

passé par trois phases : chauffage de l'eau, transfert de la vapeur au condenseur et récupération de l'eau douce.

I. 4.1 La distillation Solaire :

Les techniques utilisées dans le domaine de purification des eaux sont devenues un modèle qui puise l'énergie et l'économie, il y a une tendance réelle aujourd'hui vers l'exploitation de l'énergie solaire, dont les progrès réalisés dans ce domaine ont montré que la distillation solaire est économiquement la plus compétitive ou plusieurs types de distillateurs solaires ont été construits et testés.

I.5. Types de distillateurs solaires :

Dans les dernières années plusieurs types de distillateurs solaires ont été configurés et construits à travers le monde grâce aux efforts fournis et à la contribution surtout des chercheurs les plus renommés [11-16] et autres qui n'ont pas été cités.

Plusieurs modèles de distillateurs solaires ont été classifiés : les distillateurs solaires à effet de serre, les distillateurs solaires statiques et les distillateurs solaires à ruissellement.

I.5.1 Distillateur solaire à effet de serre avec une couverture à un seul versant :

Ce type de distillateur solaire se compose d'un bassin contenant de l'eau saumâtre et recouvert d'une couche noire absorbante et d'un toit transparent en verre ou parfois en plastique mis en pente (Figure I. 2) [17].

L'augmentation de la température due à l'effet de serre fait réchauffer l'eau qui s'évapore sous l'action du flux solaire incident, se condense sur le capteur ou elle est ensuite récupérée dans un récepteur placé à la fin de son extrémité. Une eau d'alimentation (eau d'appoint) doit compenser l'eau évaporée [17].

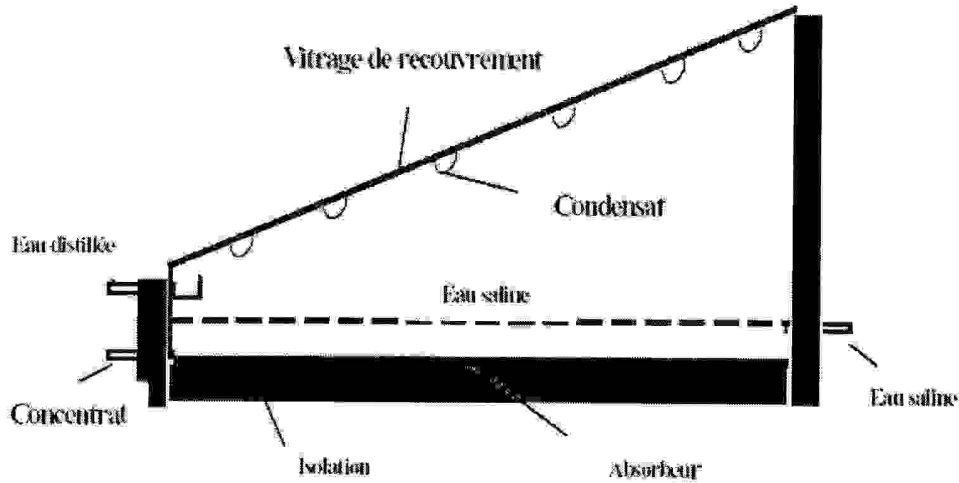


Figure I.2. Distillateur simple à effet de serre.

I.5.2. Distillateur solaire à étages multiples avec récupération de chaleur :

Contrairement au distillateur simple décrit précédemment, le système de distillation présenté dans ce travail [17] se compose de deux unités différentes: un capteur solaire dont la source de chaleur provenant de la cogénération et l'unité de distillation (Figure.I.3).

Le distillateur solaire est basé sur la construction d'un bâti constitué de plusieurs bassins contenant de l'eau saline, superposés les uns sur les autres et qu'on qualifie d'étages (Figure.I.4) [17], seul le bassin inférieur est alimenté en énergie thermique. Lorsque l'eau de ce bassin est réchauffée, elle s'évapore et se condense à la surface inférieure du bassin conique situé au dessus, il y a une formation de gouttes d'eau qui s'écoule vers une gouttière qui les conduit au stockage.

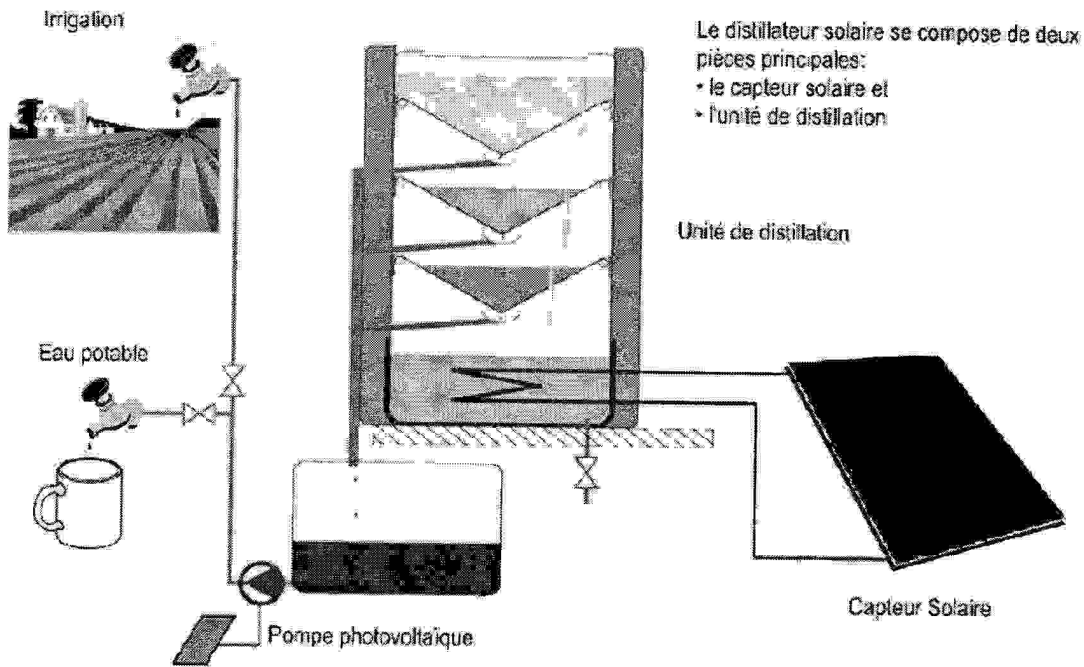


Figure. I.3. Schéma de principe d'une installation de désalement de l'eau de mer.

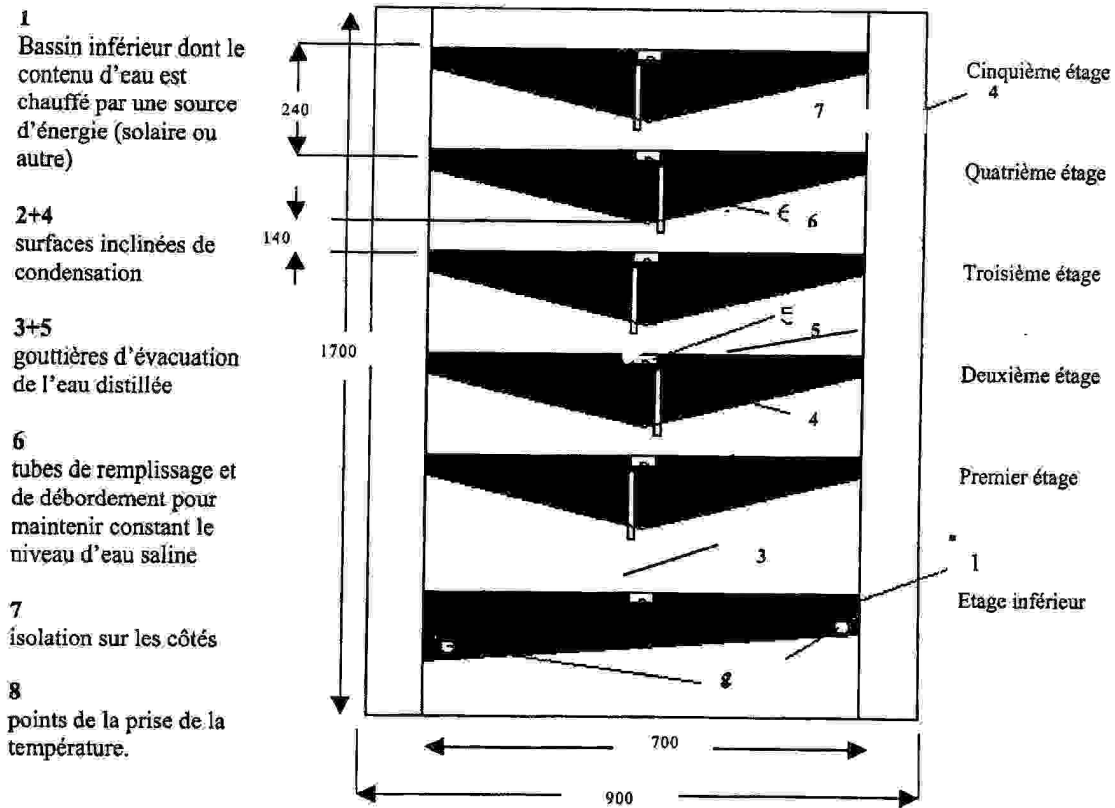


Figure.I.4. Principe de construction du distillateur à plusieurs étages.

I.5.3 Distillateur solaire à film capillaire à multiples effets :

L'appareil dans sa version à un seul étage est une cellule parallélépipédique formée par deux plaques métalliques (1m x 1m) disposées verticalement face à face et distantes de 4cm. L'eau saumâtre à distiller s'écoule lentement par gravité sur un côté de la plaque métallique. Sa bonne mouillabilité est assurée par un tissu (gaz hydrophile) qui adhère par capillarité sur la totalité de la surface de ruissellement. L'autre côté de la même plaque est peint en noir et est exposé au rayonnement solaire: c'est la plaque évaporante. La vapeur d'eau produite quitte le tissu (gaz hydrophile) et va se condenser sur la plaque qui se trouve juste en face, c'est la plaque condensante. L'eau distillée est recueillie au pied de cette même plaque puis conduit dans un collecteur tandis que le résidu est recueilli lui aussi au pied de la plaque évaporante par un autre collecteur. La (figure I.5) illustre le schéma du système contenant un seul étage d'évaporation condensation [18].

Ce distillateur offre aussi la possibilité d'associer en série plusieurs étages parallélépipédiques. On peut ainsi disposer d'un distillateur de deux à six étages, géométriquement identiques (figure I.6) [18] constitue une série thermique, c'est à dire la chaleur dégagée par la condensation de la vapeur sur une face de la paroi sert à l'évaporation d'un autre film d'eau saumâtre ruisselant sur l'autre face de la même paroi, ainsi la paroi condensant du premier étage est une paroi évaporante du deuxième étage et la paroi condensant du deuxième étage est une paroi évaporante du troisième étage ...etc....

Dans le cas d'un appareil à six étages, le rayonnement solaire est utilisé six fois de suite ce qui traduit bien la nomination de distillateur à multiples effets. Cependant ce double effet de ce type de distillateur est appelé comme étant à film capillaire qui favorise d'avantage les transferts de chaleur et de matière durant la double opération évaporation condensation et à multiple effets pour le but est d'utiliser plusieurs fois l'énergie solaire reçue par la première plaque.

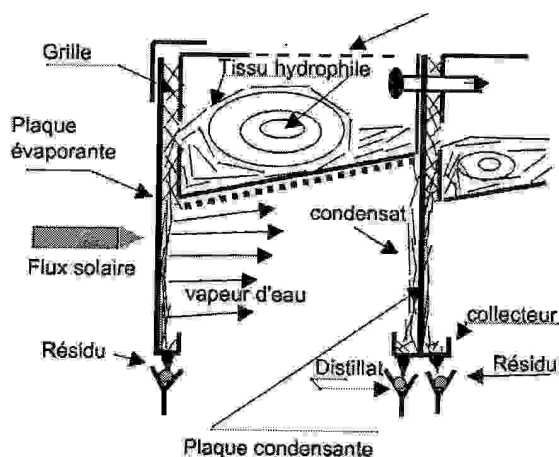


Figure I.5. Schéma d'une étape d'évaporation-condensation.

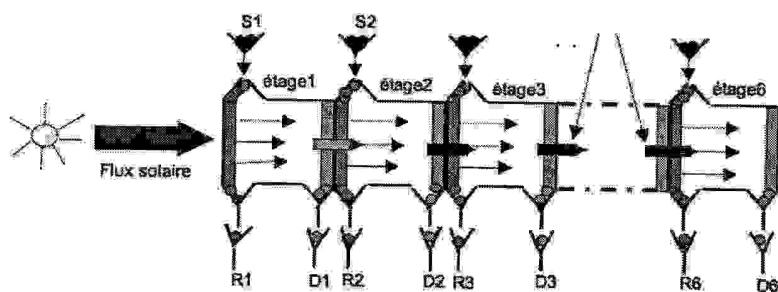


Figure I.6. Schéma de principe d'un distillateur solaire de six étages.

I.5.4. Distillateur solaire plan :

Un distillateur solaire plan [19] est essentiellement constitué :

- D'une capacité étanche surmontée d'une vitre (capteur), dans la partie inférieure se trouve le plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer)
- Un absorbeur.
- Un isolant qui recouvre l'absorbeur et permet de réduire les pertes de chaleur.
- Un appoint d'eau.

Sous l'action du flux solaire 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.

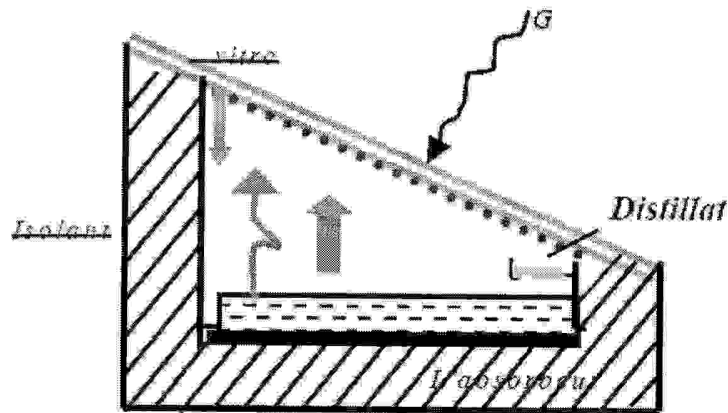


Figure I.7. Le distillateur solaire plan.

I.5.5. Distillateur solaire Sphérique :

C'est un distillateur en plexiglas [20] (figure I.8), composé de trois parties principales, 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 récupère le distillat et un bac horizontal en métal noirci contenant l'eau à distiller où se trouve dans le plan médian. Un essuie-glace entraîné par un moteur électrique, permet de maintenir la surface de condensation constamment, transparente au rayonnement, et permet d'assurer un drainage rapide des gouttelettes d'eau.

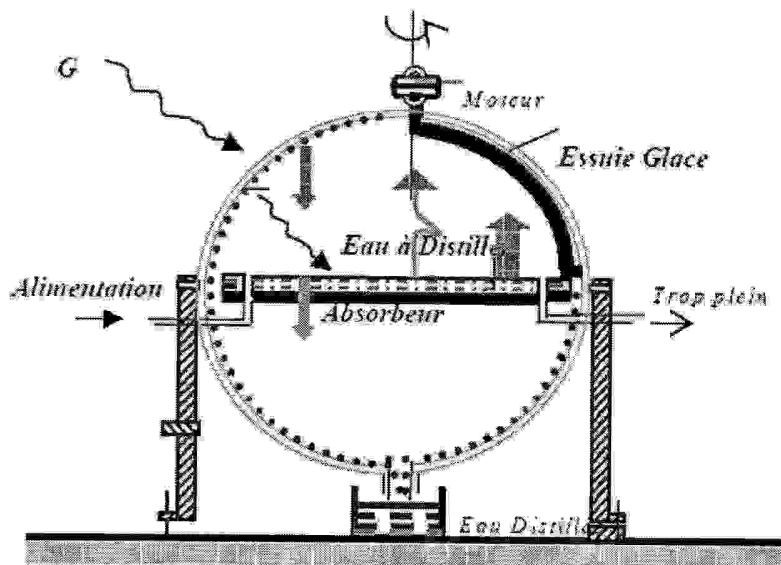


Figure I.8. Schéma d'un distillateur solaire sphérique

I.5.6. Distillateur solaire fonctionnant en mode indirect :

Ce type de distillateur présenté par plusieurs chercheurs [21-24] ; Faisant partie de la catégorie des distillateurs solaires dont la surface de condensation est séparée du chauffage de l'eau, le distillateur solaire de type indirect (figure I.9) se compose des éléments suivants :

- Un capteur solaire plan à tube dont la sortie est connecté à l'entrée de la chambre de distillation par l'intermédiaire d'un bac de tranquillisation qui favorise un écoulement en film de la saumure chaude sur la base de la cavité.
- Une chambre de distillation constituée d'une cavité rectangulaire thermiquement isolée à l'intérieur de laquelle est placé un échangeur plan à tube refroidi par une circulation d'eau. L'eau saumâtre est préchauffée une seconde fois dans un échangeur cylindrique contenant un serpentín dans lequel circule le résidu de saumure chaude. La vapeur produite dans la chambre de distillation lors de l'évaporation du film ruisselant de saumure chaude va se condenser sur les deux faces de l'échangeur plan à tube partitionnant la cavité. Les surfaces actives sont respectivement : la surface libre de la saumure chaude en écoulement sur la base de la cavité et les deux surfaces de l'échangeur plan à tube où s'effectue la condensation.

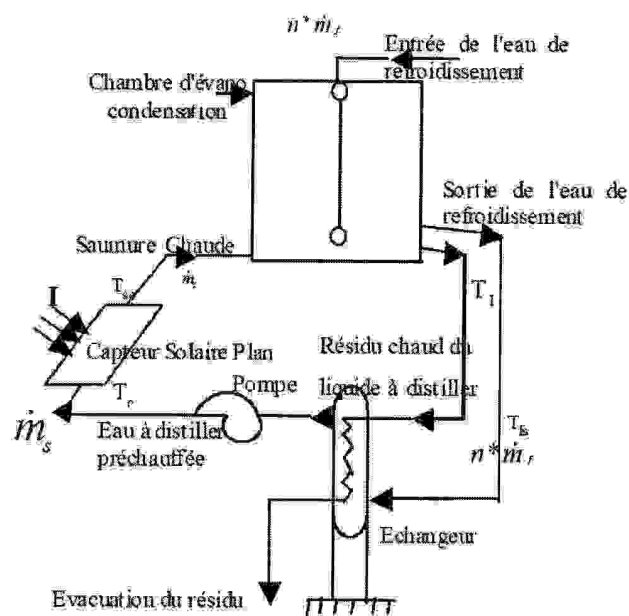


Figure I.9. Schéma de principe du système fonctionnant en mode indirect.

I.5.7. Conception de trois types de distillateurs solaires avec différentes pentes de la couverture et d'angles d'inclinaison de la base :

Dans l'objectif de choisir un modèle performant, trois types de distillateurs solaires ont été conçus et testés [25], dont la différence se situe dans les dimensions, la pente de la couverture et l'angle d'inclinaison de la base (figure I.10.). Le premier modèle immobile possédant une hauteur frontale $Z = 18\text{cm}$ et une hauteur latérale $H = 56\text{cm}$, le deuxième modèle $Z = 18\text{cm}$ et $H = 37\text{cm}$ et le troisième modèle avec $Z = 18\text{cm}$ et $H = 27\text{cm}$. La surface projetée pour chacun de ces modèles est 1m^2 , les parties inférieures et latérales sont fabriquées en acier galvanisé de 3mm d'épaisseur, la couverture est en verre de fenêtre de 3mm d'épaisseur orienté vers le nord géographique. L'eau à dessaler est desservie dans un collecteur logé du côté bas du distillateur. Pour réduire les pertes au maximum un isolant est mis du côté bas du distillateur. Les fonds des distillateurs solaires sont pigmentés avec un enduit en silicium de couleur noire formant une surface absorbante. Les trois modèles sont dotés de thermocouples pour mesurer les différentes valeurs de Températures enregistrés et un pyromètre pour mesurer l'isolation solaire. Le rendement des trois modèles de distillateurs solaire est surveillé pendant des intervalles horaires.

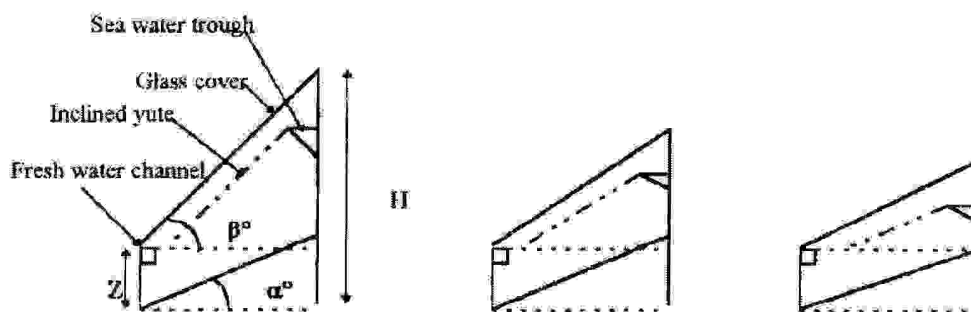


Figure I.10. Schéma des trois modèles de distillateurs solaires.

I.5.8. Distillateur solaire à cascades :

Le distillateur solaire à cascades fonctionne selon le principe de l'effet de serre. Il est formé par un absorbeur (3) en acier galvanisé constitué par neuf étapes identiques (figure I.11) [26], cet absorbeur contient une charge de l'eau saumâtre (2) et est protégé par une couverture transparente (1) en verre ordinaire. Le système est isolé thermiquement par un enduit de polystyrène et renforcé au fond par un deuxième enduit en laines de verre (8). Sur

les surfaces du bord est réalisé quatre orifices reliés aux canaux. Le premier orifice est destiné à l'alimentation du distillateur avec de l'eau salé (7), Le second pour la récupération du distillat (6) et le troisième pour contrôler le niveau d'eau du bassin quand le bassin est complètement rempli (trop plein) (5), le Quatrième est utilisé pour la conduite des thermocouples pendant les essais (4).

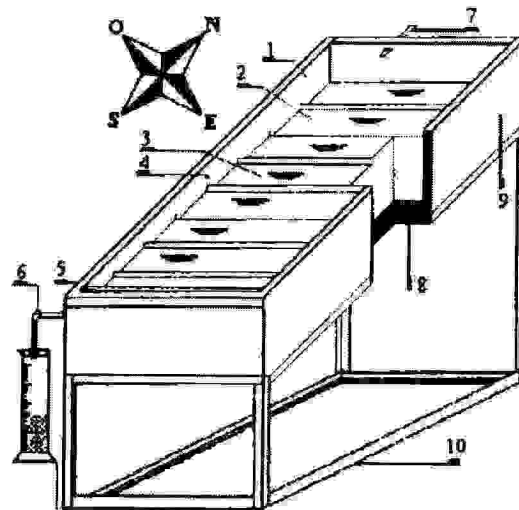


Figure I.11. Schéma d'un distillateur solaire expérimental à cascades.

I.5.9. Distillateur solaire à film capillaire :

Ce type de distillateur solaire à film capillaire [27] est destiné pour les zones arides et qui devraient être de construction très simples, maniables, et faciles à maintenir et à réparer par chaque artisan avec des moyens techniques limités [28]. Ce type de distillateur possède de multiples effets sur le phénomène de la distillation, comme il peut être couplé à un réservoir d'eau : c'est un appareil robuste, rustique et présente l'avantage du rétablissement de la chaleur (la réutilisation de la chaleur de la vapeur condensée pour évaporer une autre quantité d'eau) (figure I.12). Cet appareil peut être conçu à un seul étage comme il peut être à plusieurs étages, formé par deux plaques métalliques disposés verticalement, la première plaque peinte en noir est exposée au rayonnement solaire, c'est une plaque évaporante dont lequel le résidu est recueilli par un collecteur, en parallèle et juste en face se trouve la deuxième plaque : c'est la plaque condensante ou l'eau distillé est recueillie à sa limite inférieure.

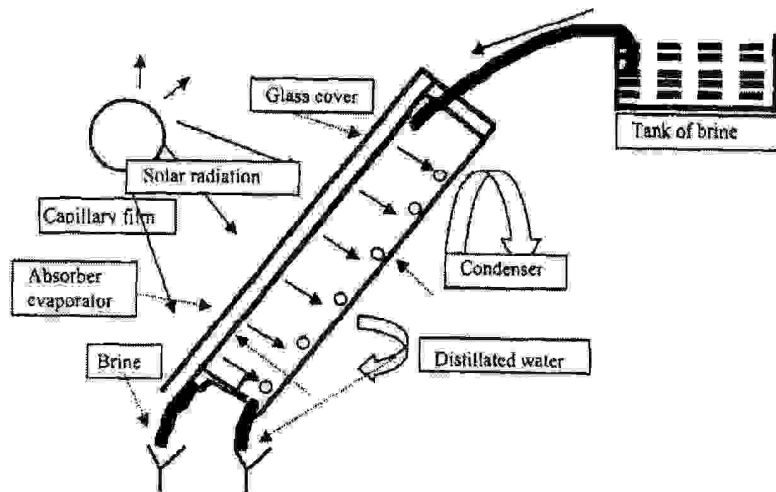


Figure I.12. Schéma d'un distillateur solaire à film capillaire.

I.5.10. Distillateur solaire type vertical :

Ce type de distillateur solaire de conception vertical est simple à installer, destiné pour les régions arides et lointaines où les eaux sous souterrains saumâtres peuvent être exploités [29]. Le prototype (figure I.13) se compose d'un absorbeur vertical en tissu épongé noir qui recouvre la surface totale de la vitre, d'un réservoir principal destiné pour les eaux saumâtres, et un support métallique. Le processus de fonctionnement est le suivant : L'eau saumâtre (1) entre dans le réservoir principal (2) qui est relié au distillateur solaire vertical (4), le débit de l'eau saumâtre est régularisé par une valve (3). Le passage de l'eau à distiller se fait par un distributeur horizontal en PVC troué, et la saumure tombe en bas par gravitation sur la surface absorbante spongieuse (5), elle atteint le fond et s'écoule à l'extérieur par un tube de cuivre (6). L'eau distillée est rassemblée dans un tube à essai (8).

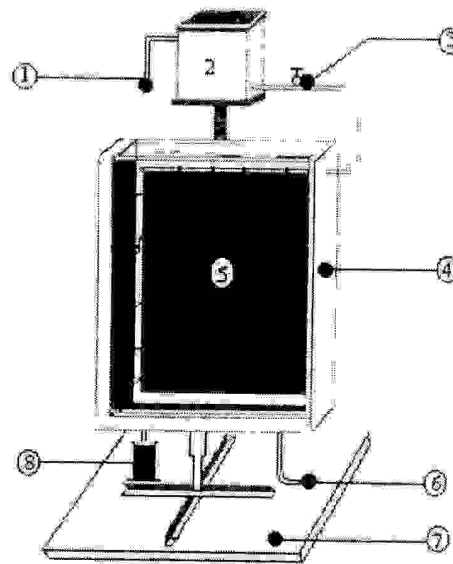


Figure I.13. Schéma d'un distillateur solaire type vertical.

I.5.11. Distillateur solaire type active couplé avec un capteur :

Ce modèle est étudié par Kumar et Tiwari (1996) [30] et rapporté par Tripathi et Tiwari (2005) [31]. La (figure I.14) montre le schéma d'un distillateur solaire active couplé avec un capteur et relié par l'intermédiaire de deux collecteurs bien isolés. Le fond du distillateur a été peint en noir pour obtenir une plus grande absorptivité et ayant une couverture en verre de 3mm d'épaisseur qui couvre le distillateur. Les surfaces du distillateur et du capteur ont été prises respectivement (1m^2) et (2m^2).

Pendant le déroulement du processus de distillation active, une pompe est servie pour amener l'eau chaude à partir du capteur jusqu'au bassin, afin d'augmenter la différence de température entre la vitre et l'eau de bassin. Cette pompe a été actionnée pendant seulement les heures d'ensoleillement pour éviter toute perte de chaleur provoquée par l'écoulement inverse, elle est en position d'arrêt pendant le processus passive. L'effet de stockage a été étudié par le remplissage du bassin du distillateur solaire avec différentes profondeurs : 0.05 m, 0.10m et 0.15 m.

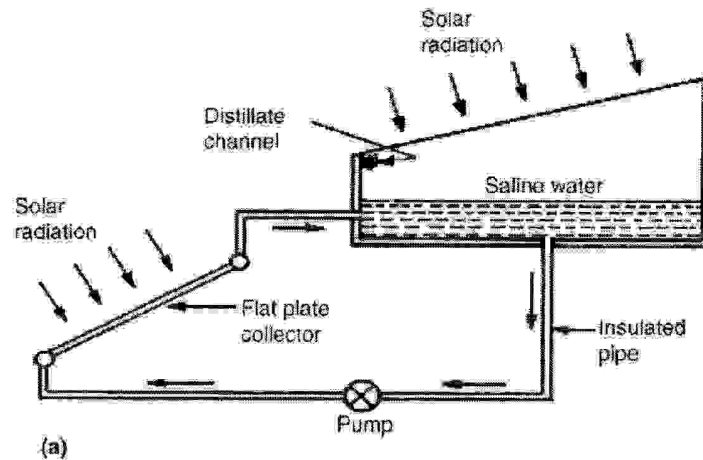


Figure I.14. Schéma d'un distillateur solaire actif couplé avec un capteur.

I.5.12. Distillateur solaire vertical de Diffusion à multiple effet couplé avec à un capteur réflecteur:

Ce type de distillateur solaire (figure I.15) est proposé par Tanaka et Nakatake (2005) [32] au Japon. Ce distillateur solaire est de type vertical, à multiple effet qui se compose : d'un capteur réflecteur, d'une couverture en verre et d'un certain nombre de cloisons verticales et parallèles séparés entre elle par des lames d'air étroites. Les cloisons sont en contact avec la saumure exceptée celles de l'extérieur. L'eau salée alimente le distillateur constamment. Les angles du capteur réflecteur et celui de l'azimut sont ajustés manuellement selon l'endroit et la saison de façon à recevoir le maximum de rayonnement solaire diffus. Le capteur solaire réfléchit le rayonnement solaire diffus qui sera transmis à travers la couverture en verre et absorbé par la surface plane de la première cloison, ainsi se produit l'évaporation de l'eau saumure. La vapeur d'eau forme une couche humide entre les cloisons et se condense sur la surface plane de chaque cloison. La chaleur latente de la condensation est récupérée à chaque cloison provoquant davantage l'évaporation de la saumure. De cette manière, l'énergie solaire est récupérée et réutilisée et le processus de l'évaporation - condensation est répété sur toutes les cloisons du distillateur, ce favorise l'augmentation de la productivité.

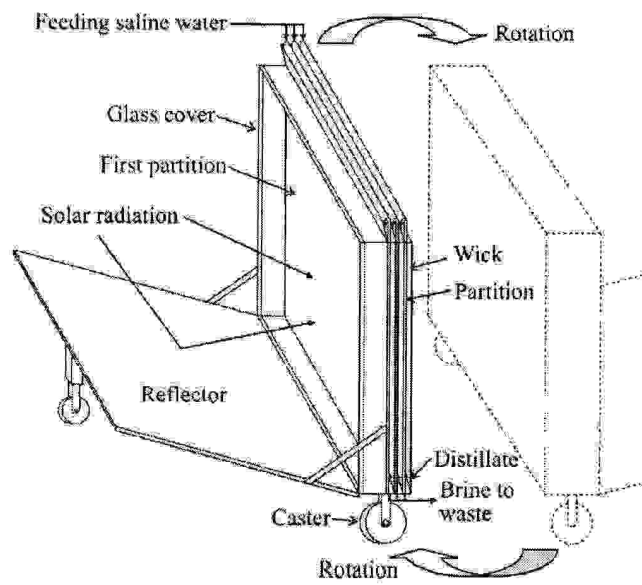


Figure I.15. Schéma d'un distillateur solaire vertical à multiple effet couplé avec un capteur réflecteur.

CHAPITRE II

GISEMENT SOLAIRE

LE GISEMENT SOLAIRE

II.1.1. Le soleil : Genèse de l'étoile et structure :

Le Soleil est une étoile (notre étoile) constituée la source du gisement solaire, située à environ 150 millions de kilomètres de la terre, cette étoile est énorme possédant un diamètre $d = 1391 \cdot 10^3$ km, sa masse $M_s = 2 \cdot 10^{30}$ kg, son rayon est de l'ordre de 109 fois celui de la terre (soit 696 000 km) et sa masse 333 000 fois celle de notre planète; vu de notre planète, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène, mais en réalité c'est une sphère gazeuse non homogène formée de trois régions principales (figure II-1) [19] :

- L'intérieur: le noyau où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire, la température atteint plusieurs millions de degrés, et la pression un milliard d'atmosphères.
 - La photosphère qui est une couche très mince (environ 300 km), responsable du rayonnement que nous recevons.
 - La chromosphère et couronne solaire : région à faible densité où la matière est très dénuée.
- L'énergie solaire provient de la fusion d'hydrogène en hélium au sein du noyau, deux cycles ont été imaginés pour décrire les étapes conduisant à cette fusion.
- Le cycle proton –proton fournit 90% de l'énergie solaire, il y a émission de positons β^+ (rayonnement bêta), de neutrinos (ν_e) et de photons γ (rayonnement électromagnétiques).
 - Le cycle du carbone (ou cycle de Bethe) fournit 10% restant. Les deux cycles sont résumés par l'équation :



Quatre protons fusionnent pour donner naissance à un noyau d'hélium avec émissions de deux positons β^+ , de deux neutrinos ν_e , accompagnés d'une énergie égale à 26.7 MeV (1 MeV = $1.6 \cdot 10^{-13}$ joules).

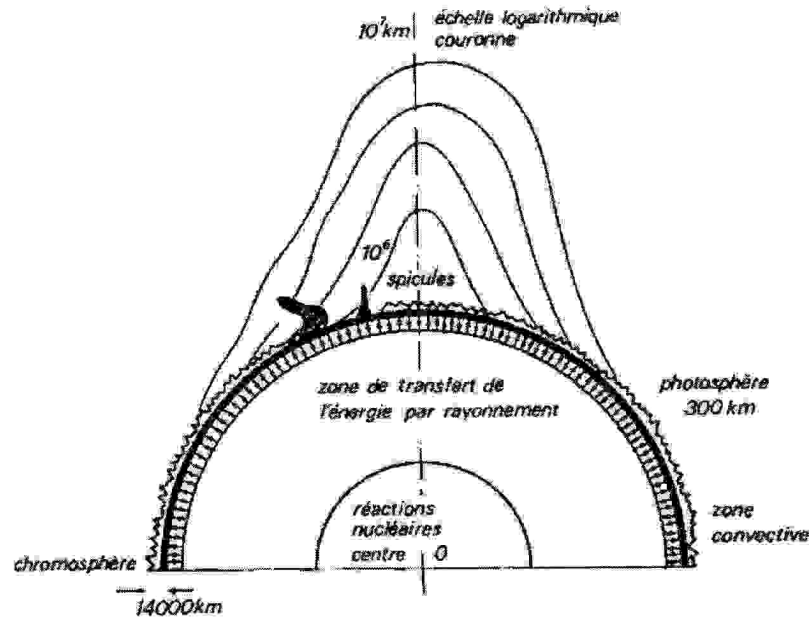


Figure II-1 Coupe schématique du soleil

II. 1 .2. Données astronomiques concernant le système terre Soleil :

La terre tourne autour du soleil en 365 jours ,5h ,48mn ,46 s (année tropique ou équinoxiale) et tourne autour d'elle-même par rapport à un axe Nord –sud. L'équateur est incliné par rapport à l'horizon d'un angle compris entre $-23^{\circ}27'$ en hiver et $+23^{\circ}27'$ en été, tandis que aux équinoxes printemps et automne il passe à 0° . Le mouvement apparent du soleil dans la sphère céleste constitue un événement important.

II.1.3. La sphère céleste :

C'est une sphère imaginaire de rayon arbitraire et de centre un point imaginaire de l'espace qui porte à sa surface les positions des astres telles qu'elles sont visibles dans le ciel à un certains instant donnée [19].

II.2 Les coordonnées géographiques :

II. 2 .1 Paramètres de position :

Tout point de la sphère terrestre est repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres [33] à savoir :

- La latitude φ : positive dans l'hémisphère nord, négative dans l'hémisphère sud.

- La longitude L : Elle est compté positivement à l'ouest, négativement à l'est en fonction du méridien d'origine c'est le méridien de Greenwich.

II. 3. Les coordonnées horizontales :

Le soleil est repéré par l'intermédiaire de deux angles appelés coordonnées horizontales (figure II .2), la hauteur angulaire et l'azimut de l'astre à l'horizon, dont la référence à l'horizon astronomique est (Nord, Ouest, Sud, Est), avec comme origine le zénith [33].

- La hauteur du soleil (h) : C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection, il est compté de 0° à 90° vers le zénith et de 0° à -90° vers le nadir.
- L'azimut du soleil (a): C'est l'angle qui détermine la position vertical de l'astre, il est compté négativement vers l'est, positivement vers l'ouest.

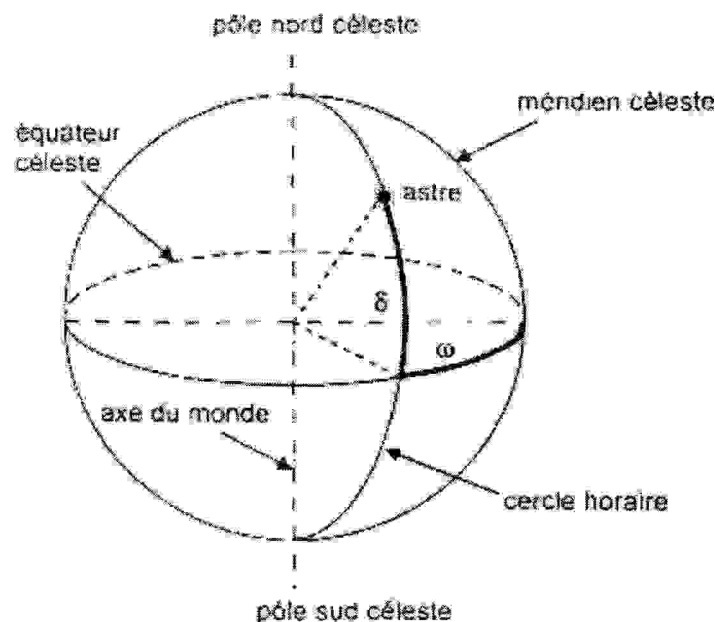


Figure II .2 Coordonnées horizontales d'un astre, hauteur h et azimut a , définies sur la sphère céleste.

II. 3. Les coordonnées horaires :

II.3.1 La déclinaison δ :

C'est l'angle que fait le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre soleil , elle varie de façon symétrique de $-23^\circ 26'$ à $+23^\circ 26'$, la valeur de la déclinaison peut être obtenue avec une bonne précision par la formule suivante [33]:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right) (\text{°}) \quad (\text{II.2})$$

avec n : numéro du jour de l'année compté à partir du 1^{er} janvier, il est calculé à partir de l'équation sous la forme :

$$n = jj + 31 \times (mm - 1) \quad (\text{II.3})$$

jj : indique le numéro du jour du mois.

mm: le numéro du mois de l'année.

II. 3.2 L'angle horaire (ω)

La rotation régulière de la terre autour de son axe définit l'angle horaire, il est compté sur l'équateur positivement à l'ouest, négativement à l'est. Cet angle dépend du lieu d'observation (figure II.3) [33].

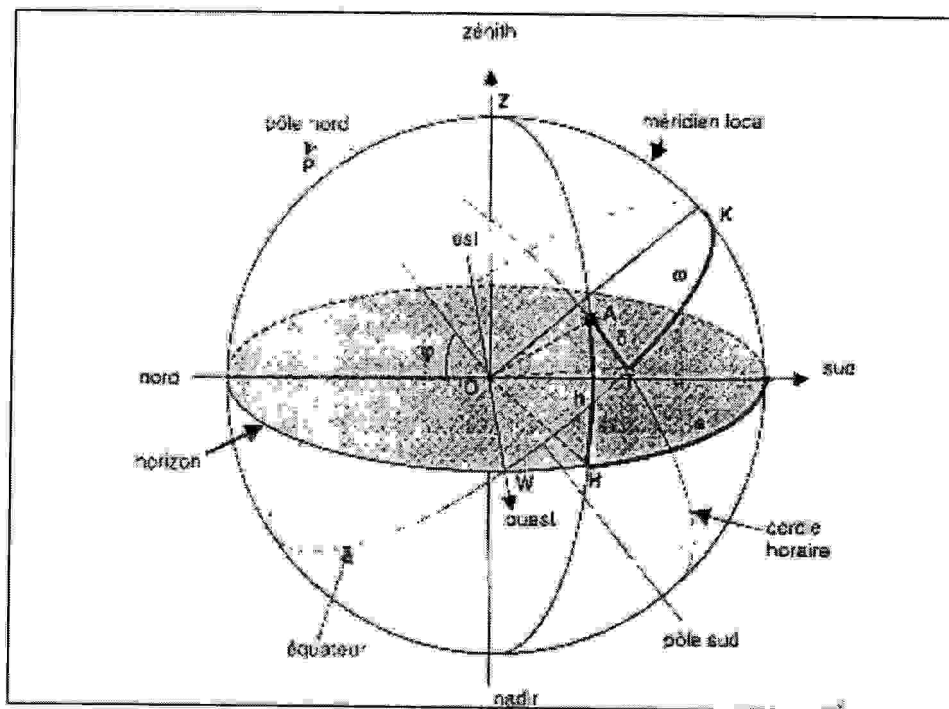


Figure II.3 Les différents coordonnés angulaires utilisées en énergétique solaire

II. 3.3. Liaison entre les coordonnées horaires et les coordonnées horizontales :

Les expressions de Gauss qui permettent de déterminer la liaison entre les coordonnées horaires et les coordonnées horizontales en un lieu donnée de latitude φ , elle sont données comme suit:

$$\cos h \cdot \sin a = \cos \delta \cdot \sin \omega \quad (\text{II.4})$$

$$\cos h \cdot \cos a = \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \sin \varphi - \sin \delta \cdot \cos \varphi \quad (\text{II.5})$$

$$\sin h = \cos \delta^* \cos \varphi^* \cos \omega + \sin \delta^* \sin \varphi \quad (\text{II.6})$$

II.5. Les paramètres du temps :

II. 5.1. Durée du jour :

Au moment du lever et du coucher du soleil, la valeur de $h=0$,

$$\sin h = \cos \delta^* \cos \varphi^* \cos \omega + \sin \delta^* \sin \varphi = 0 \quad (\text{II.7})$$

$$\cos \delta^* \cos \varphi (\cos \omega + \text{tg } \delta^* \text{tg } \varphi) = 0 \quad (\text{II.8})$$

$$\cos(\omega)_{C,L} = -\text{tg } \delta^* \text{tg } \varphi, \quad \omega_C > 0, \quad \omega_L < 0; \quad \omega_C = -\omega_L \quad (\text{II.9})$$

La durée du jour (D_j) est donnée en heures par l'équation :

$$D_j = \omega_C - \omega_L / 15, \text{ avec } D_j \text{ (h)} = 2/15 \arccos(-\text{tg } \delta^* \text{tg } \varphi) \quad (\text{II.10})$$

II. 5.2. Temps solaire vrai (T.S.V) :

La position du soleil dans le ciel à un angle horaire (ω) à un instant donné, nous renseigne du temps solaire vrai T.S.V, il est exprimé par la relation suivante:

$$\text{T.S.V} = 12 + \omega/15 \quad (\text{II.11})$$

Le soleil semble tourner dans le plan de l'équateur de 360° en 24 heures soit 15° par heure.

II. 5.3 Temps solaire moyen (T.S.M) :

On introduit la notion de temps solaire moyen (TSM), qui varie par rapport au TSV, ou le terme correctif (ET) qui désigne l'équation du temps :

$$\text{T.S.M} = \text{TSV} - \text{ET} \quad (\text{II.12})$$

L'équation du temps est donnée par la formule suivante :

$$\text{ET} = 9.87 \sin\left(\frac{2 \times 360(n-81)}{365}\right) - 7.53 \cos\left(\frac{360(n-81)}{365}\right) - 1.5 \sin\left(\frac{360(n-1)}{365}\right) \quad (\text{II.13})$$

Où n : le nombre de jours de l'année $1 \leq n \leq 365$

II. 5.4. Temps civil (T.C) :

C'est le temps qui a pour origine minuit :

$$T.C = T.S.M + 12 \quad (\text{II.14})$$

II. 5.5. Temps universel (T.U) :

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

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

L : La longitude exprimée en degré.

II. 5. 6. Temps local ou légal (T.L) :

Chaque pays possède un temps local qui est calculé par rapport à TU (origine Greenwich)

$$TL = TU + \Delta H \quad (\text{II.16})$$

ΔH : représente le décalage horaire.

II. 6.Rayonnement solaire :

L'énergie émise par le soleil sous forme de rayonnements électromagnétiques dont l'ensemble constitue le rayonnement solaire, qui est la seule source notable d'énergie pour l'atmosphère. Le rayonnement solaire se propage à la vitesse de la lumière pour atteindre l'atmosphère.

II. 6.1. Caractéristiques du rayonnement solaire :

Plusieurs lois ont été décrites pour définir les caractéristiques du rayonnement solaire :

II. 6.1.1. Loi de Plank:

Selon la loi de Plank le rayonnement solaire est constitué de la gamme de radiation comprise entre 0.1m et 24m , qui correspond au spectre du rayonnement émis par un corps noir porté à une température 588 °K.

Cette loi donne la répartition suivant la longueur d'onde (λ) du flux émis d'un corps noir à la température (T). La loi de Plank s'obtient en établissant la relation entre la densité volumique d'énergie électromagnétique des champs rayonnés et le flux partant ou incident, elle caractérise l'émission monochromatique du corps noir à la longueur d'onde (λ) et à la température (T) soit :

$$dF^{CN}_{emis} = \frac{2\pi h C^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{\frac{hc}{KB\lambda T}} - 1} \times d\lambda \quad (\text{II .17})$$

h : Constante de Plank = 6.63×10^{-34} (J.s)

K_B : Constante de Boltzman = 1.38×10^{-23} (J/°K)

C : vitesse de la lumière = 3.00×10^8 m/s

λ : longueur d'onde

T : Température du corps opaque (°K)

II. 6.1.2 Loi de Wien :

La loi de Wien dite loi de déplacement découle directement de la loi de Plank, pour une température donnée, elle donne la valeur de la longueur d'onde (λ_m) ou le flux est maximal :

$$\lambda_m \times T = 3000 \mu m \times K \quad (\text{II .18})$$

II. 6.1.3 Loi de Stéphane

Elle donne l'émittance totale du rayonnement du corps noir dans le vide en fonction de la température absolue, elle est obtenue en intégrant la loi de Plank sur l'ensemble du spectre rayonné :

$$F^{CN}_{emi} = \int_{\lambda=0}^{\lambda=+\infty} \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{\frac{hc}{KB\lambda T}} - 1} d\lambda = \sigma \times T^4 \quad (\text{II .19})$$

avec : $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} W.m^{-2}.K^4$

II.7. Direction des rayons solaire :

On étudie les différentes directions du flux de rayonnement solaire sur un plan quelconque, ce flux est caractérisé par deux angles :

- α : L'angle entre le méridien local et la normale du plan.
- γ : L'angle entre le plan horizontal et plan considéré.

Si $\alpha = 0$, le plan est orienté vers le sud

$\alpha = -\pi$, le plan est orienté vers le nord

$\alpha = -\pi/2$, le plan est orienté vers l'est

$\alpha = \pi/2$, le plan est orienté vers l'ouest

$\gamma = 0$, le plan est horizontal

$\gamma = \pi/2$, le plan est vertical

II. 7.1 Détermination de l'angle d'incidence (i) :

On représente sur la (figure II. 4) deux vecteurs unitaires qui forment l'angle d'incidence i (\vec{N}, \vec{n}).

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

\vec{n} : Représente le vecteur porté par la normale :

$$\vec{N} = \begin{pmatrix} \sin a \times \cos h \\ \cos a \times \cos h \\ \sin h \end{pmatrix} \quad \vec{n} = \begin{pmatrix} \sin \alpha \times \cos \gamma \\ \cos \alpha \times \cos \gamma \\ \sin \gamma \end{pmatrix}$$

$$\cos i = \vec{n} \cdot \vec{N} = \vec{n} \cdot \vec{N} \cdot \cos i$$

$$\cos i = \vec{N} \cdot \vec{n} = \sin a \cdot \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma - \cos a \cdot \cos h \cdot \cos \alpha \cdot \cos \gamma + \sin h \cdot \sin \gamma$$

On aura la forme générale de l'angle d'incidence :

$$\cos (i) = \cos h \cdot \cos \gamma \cdot \cos (a - \alpha) - \sin h \cdot \sin \gamma \tag{II .20}$$

• $\cos (i)$ peut s'écrire en coordonnées horaire

$$\cos i = \cos \delta \cdot \sin \omega \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma + \sin \varphi \cdot \cos \omega \cdot \cos \delta - \cos \varphi \cdot \sin \delta \cdot \cos \alpha \cdot \cos \gamma + \cos \varphi \cdot \cos \omega \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \omega \cdot \sin \gamma \tag{II .21}$$

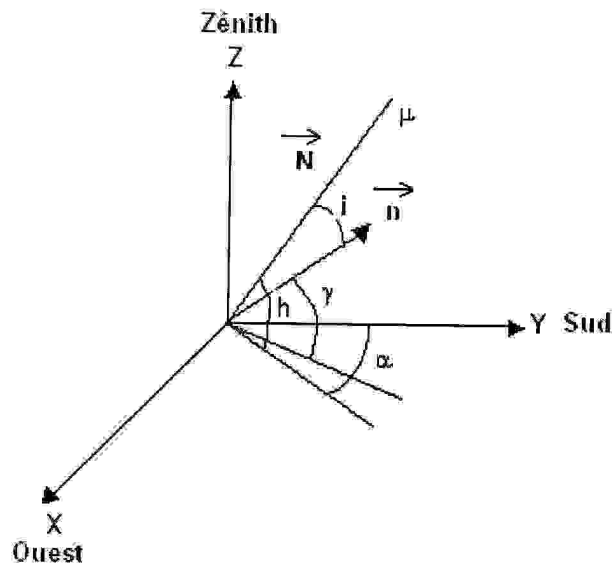


Figure II.4. Représentation des vecteurs unitaires

II. 7.2. Cas particuliers :

II. 7.2.1 Cas des surfaces horizontales ($\gamma = 0$) :

Dans ce cas : $\cos i = \cos \varphi \cdot \cos \omega \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \omega$ (II .22)

II. 7.2.2 Cas des surfaces verticales ($\gamma = \pi/2$) :

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

$$\cos i = \sin \varphi * \cos \omega * \cos \delta - \cos \varphi * \sin \delta \quad (\text{II .23})$$

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

$$\cos i = \cos \varphi * \sin \delta - \sin \varphi * \cos \omega * \cos \delta \quad (\text{II .24})$$

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

$$\cos i = -\cos \delta * \sin \omega \quad (\text{II .25})$$

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

$$\cos i = \cos \delta * \sin \omega \quad (\text{II .26})$$

- Surfaces verticales orientées vers le sud et inclinée d'un angle β par rapport à l'horizontale :

$$\cos i = \cos \delta * \cos \omega * \cos (\varphi - \beta) + \sin \delta * \sin (\varphi - \beta) \quad (\text{II .27})$$

II.7.3. La constante solaire:

L'énergie solaire totale reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère, sur une surface perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance terre soleil égale à sa valeur moyenne est appelée : constante solaire, sa valeur a été estimée à $1367 \text{ (w/m}^2\text{)}$ d'après des mesures effectuées par des radiomètres embarqués sur un satellite français.

La constante solaire I_0 est exprimée par l'expression suivante :

$$I = \sigma \times T^4 s \left(\frac{Rs}{D_{st}} \right)^2 \quad (\text{II .28})$$

Rs : c'est le rayon solaire

D_{st} : Distance terre- soleil

σ : Constante de Stephan Boltzmann = $5.67 * 10^{-8}$

La constante solaire peut changer d'un jour à l'autre et pendant l'année, elle est corrigée par un facteur "f" :

$$I_c = I_0 \times f$$

$$\text{avec } f = \left[1 + 0.034 \cos(30 \times (m - 1)) + n \right] \quad (\text{II .29})$$

$$I_0 = 1367 \text{ w/m}^2$$

n : nombre de jours dans le mois

m : nombre de mois dans l'année

II. 7.4. Rayonnement solaire global reçu par un distillateur solaire :

Le rayonnement solaire global correspond au flux solaire captée par la surface de la vitre d'un distillateur solaire après avoir subit des altérations et d'atténuations aléatoires en traversant l'atmosphère, au niveau du sol une partie du rayonnement solaire est directe, une autre partie est diffuse par réflexion, l'expression du rayonnement solaire global s'obtient :

$$I_G = I_D + I_d \quad (\text{II .30})$$

II.7.4.1.Rayonnement solaire direct :

La relation suivante exprime l'intensité du flux de rayonnement direct reçu par une surface de la vitre d'un distillateur solaire :

$$I_D = I_{D,h} \times \cos(i) \quad (\text{II .31})$$

$I_{D,h}$: Correspond au rayonnement solaire direct sur un plan horizontal :

$$I_{D,h} = I_0 \times C \times \tau_D \quad (\text{II .32})$$

$$\text{avec } C = \left[1 + 0.034 \times \cos\left(\frac{360 \times n}{365}\right) \right] \quad (\text{II .33})$$

τ_D : Représente la transmissivité totale de la couche atmosphérique, pour le rayonnement direct:

$$\tau_D = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sinh}\right) \quad (\text{II .34})$$

a et **b** représentent les coefficients de trouble du ciel dont leurs valeurs sont données selon les valeurs énumérés dans le tableau ci- dessous :

Tableau II.1. Valeurs des coefficients de trouble (a) et (b).

	Ciel dégagé	Conditions Normales	Zones industrielles
a	0,87	0,88	0,91
b	0,17	0,26	0,43

II.7.4.2. Rayonnement solaire diffus :

Le flux diffus reçu par la vitre provient du rayonnement émis par la voûte céleste et de celui émis par le sol.

$$I_d = I_{d,c} + I_{d,s} \quad (w/m^2) \quad (II.35)$$

• $I_{d,c}$: l'intensité émis par la voûte céleste qui atteint le capteur :

$$I_{d,c} = I_{d,h} * (1 + \cos \beta) / 2 \quad (II.36)$$

• $I_{d,h}$: Intensité du rayonnement diffus par rapport à l'horizontale

$$I_{d,h} = I_0 * C * \sin h * \tau_d \quad (II.37)$$

$$\sin h = \cos \delta * \cos \varphi * \cos \omega + \sin \delta * \sin \varphi$$

β : l'angle d'inclinaison de la vitre

• τ_d : La transmissivité totale de la couche atmosphérique pour le rayonnement diffus :

$$\tau_d = 0,2710 - 0,2939 * \tau_D \quad (II.38)$$

• $I_{d,s}$: l'intensité en provenance du sol atteint le capteur :

$$I_{d,s} = \rho * (1 - \cos \beta) / 2 * (I_{dh} * \sin h + I_{dh}) \quad (w/m^2) \quad (II.39)$$

ρ : Caractérise l'équivalence du facteur de réflexion, on appelle aussi l'albédo d'une surface est égal au rapport de l'énergie réfléchi sur l'énergie totale reçu sous forme de rayonnement. Suivant la nature du sol on trouve les valeurs de l'albédo solaire [33].

Tableau II.2 Valeurs de l'albédo du sol (ρ).

Nature du sol	Neige fraîche	Sol rocheux	Sol cultivé	forêt	étendue d'eau
Valeur de ρ	0.8 - 0.9	0.5 - 0.7	0.07 - 0.14	0.06 - 0.2	0.05

II.7.5. Puissances absorbées par les différents composants du distillateur solaire :

II.7.5.1. Puissance absorbée par la vitre :

Elle est exprimée par la relation suivante :

$$P_G = I_D * \alpha_{GD} + I_d * \alpha_{Gd} \quad (II.40)$$

• α_{GD} : Le coefficient d'absorption pour le rayonnement direct, exprimée par la relation :

$$\alpha_{GD} = I - R_D - T_D \quad (II.41)$$

•**T_D** : Le coefficient de transmission global du rayonnement direct, il est calculé par la formule :

$$T_D = T_r * T_a \tag{II .42}$$

•**T_r** : Le coefficient de transmission du à la réflexion.

$$T_r = 1 - R_D / 1 + R_D \tag{II .43}$$

•**T_a**: Le coefficient de transmission du à l'absorption

$$T_a = \exp [-K_G * e_G / \cos \theta] \tag{II .44}$$

K_G : coefficient d'extinction du verre [m⁻¹]

e_G : épaisseur de la vitre (m)

θ : L'angle de réfraction du rayon au niveau de la vitre

R_D : Caractérise la réflectivité de la vitre, donnée par l'expression :

$$R_D = R_N + R_P / 2 \tag{II .45}$$

$$R_N = \sin^2(\theta - i) / \sin^2(\theta + i) \tag{II .46}$$

et $R_P = \text{tg}^2(\theta - i) / \text{tg}^2(\theta + i) \tag{II .47}$

i et **θ** sont reliés par la relation de snell – Descartes comme représentés sur la figure(II.5)[33] :

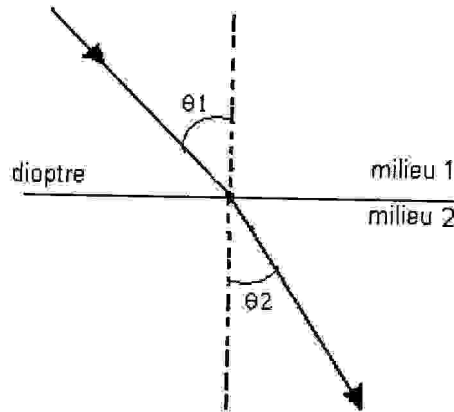


Figure II.5 Réfraction d'un rayon lumineux à la traversée d'un dioptr séparant deux milieux de réfringence différente.

$$n_1 * \sin i = n_2 * \sin \theta \tag{II .48}$$

n₁ : indice de réfraction absolue du milieu traversé par le rayon incident

n₂ : indice de réfraction absolue du milieu traversé par le rayon réfracté

• α_{Gd} : Le coefficient d'absorption pour le rayonnement diffus, se calcul comme celui du rayonnement direct pour les différents angles d'incidence i à chaque heure de la journée soit

$$\alpha_{Gd} = 1 - R_d - T_d \quad (\text{II .49})$$

II.7.5.2 Puissance absorbées par la nappe d'eau :

Elle est exprimée par la relation suivante :

$$P_w = I_D * \alpha_{wD} + I_d * \alpha_{wd} \quad (\text{II .50})$$

• α_{wD} : Coefficient d'absorption de la saumure pour le rayonnement direct

• α_{wd} : Coefficient d'absorption de la saumure pour le rayonnement diffus

$$\alpha_{wD} = T_D * [\alpha_w + T_{RW} * \alpha_b] \quad (\text{II .51})$$

• α_w : le coefficient d'absorption de la saumure : (constant)

• α_b : le coefficient d'absorption de l'absorbeur, dépend de la nature de l'absorbeur (constant).

$$T_{RW} = \alpha_w - R_w \quad (\text{II .52})$$

R_w : représente le coefficient de réflexion de la saumure :

$$R_w = R_{NW} + R_{PW} \quad (\text{II .53})$$

$$R_{NW} = \sin^2(\theta - i) / \sin^2(\theta + i) \quad (\text{II .54})$$

et

$$R_{PW} = \frac{\text{tg}^2(\theta - i)}{\text{tg}^2(\theta + i)} \quad (\text{II .55})$$

θ : l'angle de réfraction calculé par la formule suivante :

$$\theta = \arcsin [(n_1 / n_2) * \sin(i)] \quad (\text{II .56})$$

avec n_1 : indice de réfraction de l'air ($n_1 = 1$)

et n_2 : indice de réfraction de l'eau ($n_2 = 1.33$)

$$T_D = T_{RW} * T_{aw} \quad (\text{II .57})$$

• T_{aw} : coefficient de transmission du à l'absorption de l'eau :

$$T_{aw} = \exp [-K_{Gw} * e_w / \cos \theta] \quad (\text{II .58})$$

K_{Gw} : coefficient d'extinction de l'eau [m^{-1}]

e_w : épaisseur (hauteur) de la saumure : (m)

α_{wd} : Calcul du coefficient d'absorption de la saumure pour le rayonnement diffus varie par rapport à α_{wD} , cette variation est due à T_{dw} .

$$\alpha_{wd} = \tau_g \alpha_w + \tau_g \tau_w \alpha_b \tag{II .59}$$

τ_g : coefficient de transmission de la vitre

τ_w : coefficient de transmission de la nappe d'eau

α_w : coefficient d'absorption de la nappe d'eau

α_b : coefficient d'absorption de l'absorbeur

Les valeurs de τ_g , τ_w , α_w , α_b sont données en fonction des angles d'incidence tableau II.2 [19] :

Tableau II.2.3 Valeurs des coefficients de réflexion, d'absorption, de transmission vis à vis du rayonnement solaire incident.

Angle d'incidence du rayonnement en degrés		0 - 30	45	60
Vitre	Réflexion	5%	6%	10%
	Absorption	5%	5%	5%
	Transmission	90%	89%	85%
Nappe d'eau	Réflexion	2%	3%	6%
	Absorption	30%	30%	30%
	Transmission	68%	67%	64%
Fond distillateur	Réflexion	5%	5%	5%
	Absorption	95%	92%	95%
	Transmission	0%	0%	0%

II.7.5.3. Puissance absorbées par l'absorbeur (P_b) :

Elle est exprimée par la relation :

$$P_b = \alpha_b \times \frac{I_D \times T_{Db} + I_d \times T_{db}}{1 - (1 - \alpha_b) \times R_d} \tag{II .60}$$

T_{Db} : le coefficient de transmission global du rayonnement direct

$$T_{Db} = T_r \times T_{ab} \tag{II .61}$$

T_r : le coefficient de transmission du à la réflexion

$$T_r = (1 - R_D) / (1 + R_D) \quad (\text{II .62})$$

avec

$$R_D = [(n-1)/(n+1)]^2 \quad (\text{II .63})$$

T_{ab} : le coefficient de transmission du à l'absorption :

$$T_{ab} = \exp [-K_{Gb} * e_b / \cos \theta] \quad (\text{II .64})$$

K_{Gb} : Le coefficient d'extinction qui dépend de la nature de l'absorbeur

e_b : L'épaisseur de l'absorbeur.

T_{db} : de la même manière, on calcul pour le rayonnement diffus l'expression du coefficient de transmission global:

$$T_{db} = T_r * T_{ab} \quad (\text{II .65})$$

avec n_1 : le coefficient d'extraction de l'eau et n_2 : le coefficient d'extraction de l'absorbeur.

CHAPITRE III

ETUDE THEORIQUE

ETUDE THEORIQUE

III.1. Paramètres du système de distillation :

Les paramètres relatifs aux distillateurs solaires se présentent en deux catégories [19]:

- Paramètres externes
- Paramètres Internes

III.1.1 Paramètres externes :

Généralement ces paramètres sont liés au site d'implantation du distillateur solaire et qui influent sur son rendement et sur le bon fonctionnement, parmi ces paramètres cités on trouve :

- Paramètres géographiques, tel que : Les coordonnées du lieu (situation), La longitude, la latitude et la hauteur du soleil.
- Les paramètres météorologiques : Les conditions météorologiques régnantes dues à l'ensoleillement à savoir entre autres : L'éclairement énergétique du au rayonnement global, la position du soleil et la conception immobile solaire, la durée d'insolation, le Rayonnement solaire incident, l'intermittente des nuages, la vitesse du vent sur la vitre (capteur), la température sèche et ambiante et l'humidité relative.
- Nature de l'eau à traiter suivant ses caractéristiques et sa disponibilité dans le site.

III.1.2. Paramètres Internes:

Parmi les paramètres internes qui sont liés au distillateur solaire, on trouve généralement les catégories suivantes:

- Paramètres géométriques
- Paramètres de fonctionnement

- Paramètres de Conception (construction)

III.1.2.1 Paramètres géométriques

III.1.2.1.1. Paramètres de position :

- Paramètre d'emplacement
- Inclinaison de la vitre (capteur) sur le plan horizontal
- Orientation de la vitre.
- Dimensions des différentes parties du distillateur : les plus importantes sont ; la longueur, la largeur, l'épaisseur, la hauteur ou profondeur du niveau de la masse d'eau à distiller.
- Superficie du capteur (couverture): c'est celle de son ombre au soleil sur un plan parallèle au plan d'ouverture, quand le plan d'ouverture du capteur est normal aux rayons du soleil.

III.1.2.2. Paramètres de fonctionnement :

Les différentes températures du système et du fluide, en particulier :

- Température de l'eau d'appoint ou d'alimentation.
- Température de l'eau à distiller.
- Température des différentes parties du capteur (couverture)

III.1.2.3. Paramètres de conception :

Les paramètres de conception communs que partagent les distillateurs solaires se distinguent comme suit :

III.1.2.3.1. La couverture :

Représentée par le capteur d'un distillateur solaire, nommée aussi la partie froide du distillateur, constitué par des vitres transparentes simples ou parfois doubles mises en pente, à travers laquelle le rayonnement solaire peut traverser sans obstacles, la couverture est subordonnée à un certain nombre de propriétés telles que la résistance, la transparence, la mouillabilité par l'eau et l'étanchéité.

III.1.2.3. 2. Le vide entre la surface d'évaporation et la surface de condensation :

Les phénomènes d'évaporation et de condensation s'accroissent avec la réduction de la hauteur qui sépare la vitre à la masse de l'eau du bassin ce qui implique une augmentation de la performance du distillateur solaire [34].

III.1.2.3. 3. La masse d'eau à distiller :

La masse d'eau dans le distillateur constitue la matière première de tout le système, La variation de sa profondeur a un effet direct sur la production du distillateur solaire. Le coefficient de transfert thermique interne par convection [31] diminue avec l'augmentation de la profondeur de l'eau en raison de la diminution de la température de l'eau, cette température qui fluctue suivant l'intensité du rayonnement solaire et la production est d'autant plus importante que l'épaisseur est faible.

III.1.2.3. 4. L'absorbeur:

L'absorbeur est représentée par la base du distillateur solaire, parallèle à la couverture, teintée avec une couleur noire dans le but d'absorber les rayonnements solaires, divers matériaux peuvent être utilisés tel que : le béton, l'acier galvanisé, les matières synthétiques, le bois et autres. Le choix de ces matériaux est lié à leurs propriétés physiques et chimiques notamment l'inertie thermique, la corrosion sans oublier leur coût.

III.1.2.3. 5. L'isolant :

L'isolant est pratiquement utilisé à la base dont repose le distillateur solaire, qui représente un paramètre de conception important constitué de matière synthétique ou plastique (polyéthylène), parfois de bois ; il conserve la chaleur ce qui donne l'avantage de participer à l'augmentation de la production du distillateur solaire.

III.1.3. Les paramètres optiques:

On s'intéresse au comportement des surfaces du distillateur solaire par rapport aux rayonnement solaire, ce sont les paramètres optiques telles que : l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmissivité.

III.1.3.1. L'émissivité :

Un corps porté à une certaine température convertit son énergie interne (énergie microscopique en rayonnement thermique. Une unité de surface d'un corps émet durant une unité de temps une quantité d'énergie appelée flux d'émission.

III.1.3. 2. L'absorptivité :

Quand une surface reçoit un flux d'énergie, la fraction transformée en énergie interne est appelée flux absorbé.

III.1.3. 3. Réflexion et diffusion :

Le rayonnement incident sur une paroi peut être directement renvoyé par la paroi au lieu d'être absorbé. Deux cas existent:

- Le renvoi obéit aux lois de l'optique géométrique (un angle d'incidence, un angle de réflexion). Il s'agit alors de réflexion.
- Le renvoi se fait dans toutes les directions (même si l'on a une seule direction incidente). On parle alors de diffusion.

III.1.3.4 Transmissivité (transparence et opacité) :

Un milieu peut transmettre intégralement l'onde incidente, il est alors appelé milieu transparent. Le vide est un exemple de milieu transparent. En première approximation, le verre est aussi un milieu transparent pour des longueurs d'ondes dans le domaine du visible. Inversement, un corps ne transmettant aucune partie du rayonnement incident est dit corps opaque.

III.1.5. Paramètres thermo physiques :

Les paramètres thermo physiques sont représentés par les propriétés qui sont liées aux différents éléments du distillateur solaire, on trouve :

- Au niveau de la couverture et la surface absorbante :

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

- Au niveau du mélange air – vapeur

La conductivité thermique, la chaleur spécifique ,la viscosité dynamique ,la viscosité cinématique, le coefficient de dilatation thermique, la diffusivité thermique ,

CHAPITRE IV

MODELISATION DU SYSTEME

MODELISATION DU SYSTEME

IV.1. Description du modèle :

Le modèle proposé à l'étude est purement théorique par simulation numérique appliquée sur un distillateur solaire simple à effet de serre à double exposition (figure IV.1), implanté dans la région de Constantine, dont les caractéristiques géométriques et géographiques sont :

- Latitude : 36°. 22 Nord
- Longitude : 6°. 37 Est
- Température maximale : 41°C
- Vitesse du vent maximale : 28km/h
- Albédo : 0.20
- Jour de calcul : Le 22 Juillet, le jour le plus chaud aux cours des dix dernières années (journal de la météo : underground).

Le distillateur solaire (figure IV.1) qui se compose des éléments suivants :

- Un bassin conçu pour recevoir l'eau saumâtre, protégé par un isolateur étanche.
- Une couverture vitré, symétrique au centre du bassin et qui constitue une forme à deux versants, cette conception à double pente de la couverture permet au distillateur solaire d'être exposé le maximum de temps de la journée au rayonnement solaire ce qui favorise la position du système pour une meilleure production éventuelle.
- L'eau à l'intérieur du distillateur s'échauffe, s'évapore et se condense formant une couche adjacente sur la partie intérieure de la vitre qui s'écoule vers les parties bas de la couverture ou elle est rassemblée.

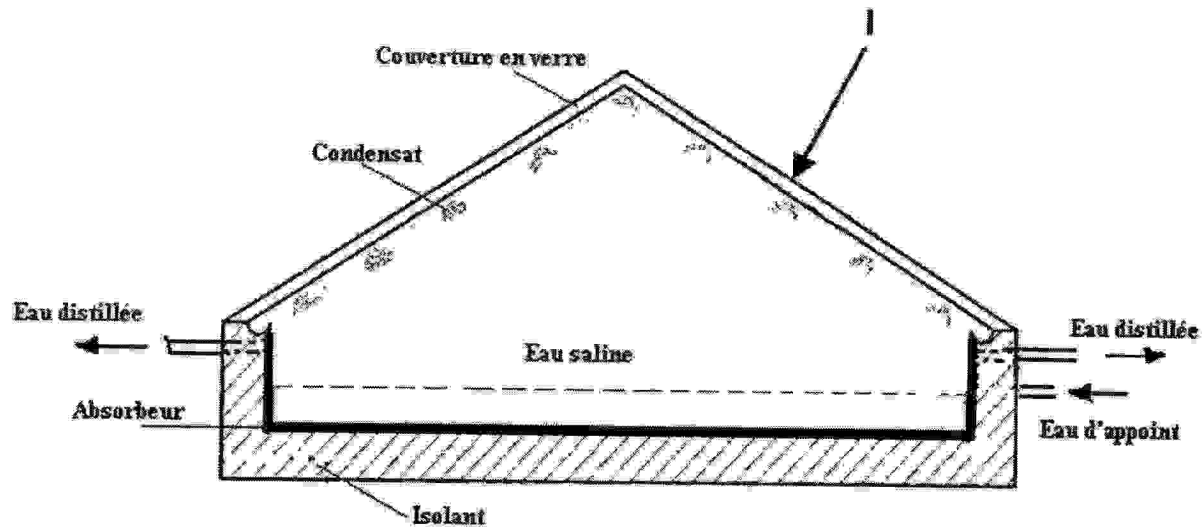


Figure IV.1 Distillateur solaire à effet de serre à double exposition.

IV. 2. Hypothèses simplificatrices :

L'objectif final est d'obtenir un système performant qui répond aux exigences pour lequel il est construit : satisfaire les besoins en eau douce destiné pour l'alimentation, sous l'effet de conditions climatiques de la région en période estivale.

Un certain nombre d'hypothèses a été mise en place avant l'établissement du système:

- L'unité solaire est dans un état quasi- stationnaire.
- L'absorptivité de l'eau et de la couverture en verre est négligeable.
- la capacité de chaleur de la couverture est aussi négligeable.
- chaque composant est parfaitement isolé, tous les systèmes sont supposés adiabatiques.
- La température de chaque composant est uniforme.
- La couverture à doubles versants est en verre transparent propre, dont sa position est inclinée.
- L'absorbeur teinté en noir assimile le rayonnement solaire.
- La surface de l'eau et de la couverture sont supposées parallèles.
- La chaleur cédée à l'eau du distillat et la chaleur à l'eau d'appoint sont supposés négligeables.

- La condensation de l'eau se fait uniquement sur la partie intérieure de la couverture, qui est homogène et continue (possèdent une bonne mouillabilité).
- L'air entre la masse d'eau et la couverture est réduit pour avoir un transfert de chaleur parfait.
- La concentration de la saumure n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse.

IV.3. Bilan thermique en régime permanent :

Le bilan thermique d'un distillateur solaire est considéré en régime permanent, lorsque la chaleur absorbée par les parois est négligeable par rapport à celle reçue par la masse d'eau. On définit alors un régime permanent ou aussi stationnaire lorsque les grandeurs telles que : la masse volumique " ρ ", la pression : " p ", et la vitesse : " v ", caractéristiques du fluide et de l'écoulement sont indépendantes du temps " t ". Les équations régissant le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur se présentent successivement comme suit :

IV.3.1. Bilan thermique de la vitre.

IV.3.1.1 Echange de chaleur entre la face extérieure de la vitre et le milieu extérieur ambiant :

La vitre cède une quantité de chaleur qui sera transmise vers le milieu extérieur :

$$Q_{ge} = Q_{gc}^r + Q_{ga}^c \quad (IV.1)$$

Q_{gc}^r et Q_{ga}^c , étant les flux de chaleur échangés par rayonnement et par convection entre la vitre et le milieu ambiant.

• La vitre reçoit une quantité de chaleur dont laquelle se produit l'échange de chaleur entre la face intérieure de la vitre et la masse d'eau par rayonnement, par convection et par évaporation :

$$Q_{gi} = Q_{wg}^r + Q_{wg}^c + Q_{wg}^{év} + P_g * A_w \quad (IV.2)$$

Q_{wg}^r , Q_{wg}^c et $Q_{wg}^{év}$: respectivement les quantités de chaleur échangées par rayonnement, par convection et par évaporation entre la vitre et la masse d'eau.

IV.3.1.2. Echange de chaleur par conduction entre la face intérieure et la face extérieure de la vitre s'exprime par la relation :

$$Q_g^{cond} = (\lambda_g / e_g) (T_{gi} - T_{ge}) \quad (IV.3)$$

λ_g : coefficient de conductivité thermique de la vitre

e_g : épaisseur de la vitre

T_{gi} et T_{ge} , sont respectivement les Températures intérieure et extérieure de la vitre.

Les expressions des échanges de chaleur par convection, par rayonnement et par évaporation peuvent être traduits par leurs valeurs soit :

$$Q_{wg}^r = h_{wg}^r \cdot (T_w - T_{gi}) \cdot A_w \quad (IV.4)$$

$$Q_{wg}^c = h_{wg}^c \cdot (T_w - T_{gi}) \cdot A_w \quad (IV.5)$$

$$Q_{wg}^{év} = h_{wg}^{év} \cdot (T_w - T_{gi}) \cdot A_w \quad (IV.6)$$

$$Q_{gc}^r = h_{gc}^r \cdot (T_{ge} - T_c) \cdot A_g \quad (IV.7)$$

$$Q_{ga}^c = h_{ga}^c \cdot (T_{ge} - T_a) \cdot A_g \quad (IV.7)$$

h_{wg}^r , h_{wg}^c et $h_{wg}^{év}$ les coefficients d'échange de chaleur par rayonnement, par convection et par évaporation entre la masse d'eau et la vitre respectivement.

h_{gc}^r et h_{ga}^c les coefficients d'échange de chaleur par rayonnement et par convection entre la vitre et le milieu extérieur ambiant respectivement.

T_w et T_{gi} les températures de la masse d'eau et de la face intérieure de la vitre respectivement.

T_{ge} et T_a sont les températures de la face extérieure de la vitre et la température du milieu ambiant respectivement.

IV.3.2 Bilan thermique de la masse d'eau

L'échange de chaleur se fait d'une part entre la masse d'eau et la face intérieure de la vitre par convection, par rayonnement et par évaporation, et d'un autre côté l'échange de chaleur se fait entre la masse d'eau et l'absorbeur par convection.

$$P_g \cdot A_w + Q_{bw}^c = Q_{wg}^r + Q_{wg}^c + Q_{wg}^{év} \quad (IV.8)$$

$$Q_{bw}^c = h_{bw}^c \cdot (T_b - T_w) \cdot A_w \quad (IV.9)$$

h_{bw}^c : coefficient d'échange de chaleur par convection entre le bac (l'absorbeur) et la masse d'eau

T_b : Température de l'absorbeur.

IV.3.3. Bilan thermique de l'absorbeur:

L'échange de chaleur entre l'absorbeur et la face intérieure de l'isolant :

$$P_b \cdot A_b = Q_{bw}^c + Q_{b,isi}^{cd} \quad (IV.10)$$

$$Q_{b,isi}^{cd} = h_{b,isi}^{cd} \cdot (T_b - T_{isi}) \cdot A_b \quad (IV.11)$$

Q_{bw}^c et $Q_{b,isi}^{cd}$ les quantités de chaleur échangées par convection et conduction entre l'absorbeur et la face intérieure de l'isolant respectivement.

$h_{b, is}^{cd}$: coefficient d'échange de chaleur par conduction entre l'absorbeur et l'isolant.

T_{isi} : Température de la face intérieure de l'isolant

IV.3.4. Bilan thermique de l'isolant :

- L'échange de chaleur par conduction entre la face intérieure de l'isolant et l'absorbeur

$$Q_{isi} = Q_{b, is}^{cd} \quad (IV.12)$$

- L'échange de chaleur entre la face extérieure de l'isolant et le milieu ambiant par rayonnement et par convection :

$$Q_{ise} = Q_{ise, a}^r + Q_{ise, a}^c \quad (IV.13)$$

$Q_{ise, a}^r$ et $Q_{ise, a}^c$ les quantités de chaleur échangées par rayonnement et convection entre face extérieure de l'isolant et le milieu ambiant respectivement.

Les expressions des échanges de chaleur par rayonnement et par convection peuvent être écrites :

$$Q_{ise}^r = h_{ise, a}^r \cdot (T_{ise} - T_a) A_{is} \quad (IV.14)$$

$$Q_{ise, a}^c = h_{ise, a}^c \cdot (T_{ise} - T_a) A_{is} \quad (IV.15)$$

$h_{ise, a}^r$ et $h_{ise, a}^c$: sont respectivement les coefficients d'échange de chaleur par rayonnement et par convection entre la face extérieure de l'isolant et le milieu ambiant.

T_{ise} et T_a : sont respectivement les températures de la face extérieure de l'isolant et la température ambiante.

- L'échange de chaleur par conduction entre l'intérieur et l'extérieur de l'isolant s'exprime par la relation ci-dessous :

$$Q_{is} = (\lambda_{is} / e_{is}) (T_{isi} - T_{ise}) \quad (IV.16)$$

λ_{is} : coefficient de conductivité thermique de l'isolant

e_{is} : épaisseur de l'isolant.

IV.4. Modélisation mathématique :

Plusieurs méthodes de simulation ont été utilisées pour résoudre les équations complexes qui contiennent notamment des paramètres constantes et des paramètres variables appartenant à un système, la méthode suivie par Bliss et Whillier suppose que le régime du système ex :(distillateur) est permanent et que les éléments du distillateur se trouvent à une température constante, l'approche de cette méthode néglige les effets transitoires, mais

constitue un outil commode pour le calcul de conception, bien qu'il faille on doit donc procéder à des itérations.

La méthode suivie par Jordan et Lin, dont on procède aux calculs des rendements moyens d'un système ex : distillateur sur une période donnée, elle utilise la méthode d'intégration des équations.

La méthode que nous allons suivre : c'est la résolution des systèmes d'équation par pas à pas. Cette méthode permet de tenir en compte de l'évolution des températures de tous les éléments de notre système : distillateur solaire, dans le temps et dans l'espace en régime transitoire.

Le distillateur solaire est découpé en tranches fictives égales (maille), cette coupe est faite dans le sens de pénétration du rayonnement solaire incident (I), soit du haut en bas, ensuite en établi le bilan des échanges thermique qui interviennent aux niveau de chaque composant (nœud) figure IV.2.

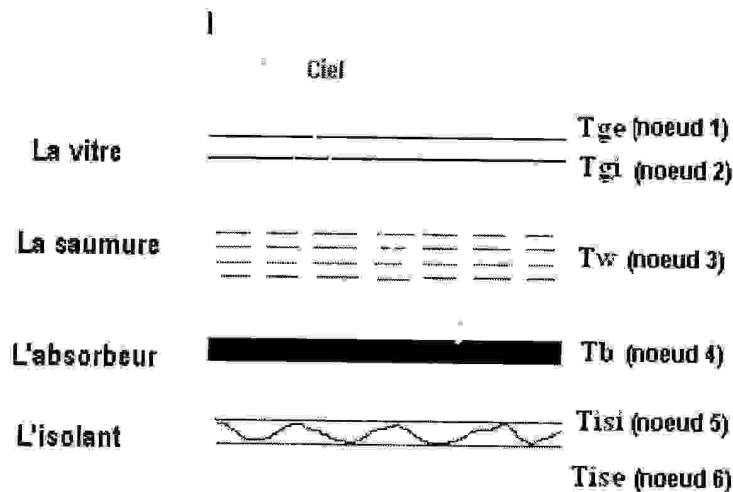


Figure IV.2. Les différents nœuds considérés dans la maille d'un distillateur solaire simple à effet de serre à double exposition.

IV.4.1. Bilan thermique en régime transitoire :

Pour pouvoir déterminer le bilan énergétique entre les nœuds du système, il serait plus commode d'utiliser les analogies qui existent entre le transfert de chaleur et le transfert électrique.

IV.4.1.1. L'analogie électrique:

Par analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques (tableau IV.1), on représente les échanges de chaleur (figure IV.3), par un schéma électrique (figure IV.4), sur lesquels on peut appliquer la loi d'Ohm et la loi de Kirchoff.

Lorsque le transfert de chaleur qui s'opère entre deux éléments suivant plusieurs modes simultanées (par exemple convection et rayonnement), le circuit électrique modèle comportera des résistances en parallèles.

Lorsqu'il s'effectue suivant plusieurs modes successifs (ex : par conduction et convection), le circuit électrique modèle comportera des résistances en séries.

D'une manière générale et par analogie de la loi d'Ohm, on considère un flux de chaleur échangée entre deux points l'un à une température T_1 et l'autre à une température T_2 soit :

$$Q_{1,2} = h (T_1 - T_2) \quad (IV.17)$$

En équivalence cette équation peut être interprété par la loi d'Ohm comme suit soit :

$$E_{1,2} = E_2 - E_1 = Req . I \quad (IV.18)$$

E_1 et E_2 : représentent les potentiels électriques aux points 1 et 2 du circuit.

Req : La résistance aux transferts de charges électrique entre les points 1 et 2.

I : L'intensité du courant.

La base théorique des nœuds est applicable à partir de la deuxième loi de Kirchoff qui admis que la somme algébrique des courants instantanée en un point est nulle.

En application des lois de d'Ohm et de Kirchoff sur notre cas : on considère une section quelconque représentée par la maille du système à l'instant "t", soit "i" l'un des milieu dans cette section qui représente un nœud de la maille.

M_i : représente la masse du milieu « i » du système en [kg].

C_{pi} : représente la capacité calorifique en [J/kg°C]

P_i : facteur de puit ou de source.

T_i : représente la température en [°C].

∂t : pas du temps

On applique la loi d'Ohm qui donne le bilan au nœud « i », on obtient :

$$M_i \times C_{pi} \times \frac{dT_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^n Q_{ij} + P_i \quad (IV.19)$$

Tableau IV.1. Analogie entre le système thermique et le système électrique.

Grandeur thermique			Grandeur électrique		
Paramètre	Symbole usuel	Unité	Paramètre	Symbole usuel	Unité
Température	T	[°C] ; [° K]	Potentiel électrique	U	Volt (V)
Flux de chaleur	Q ; Φ	[W] ;(Watt) [TH]	Intensité électrique	I	Ampère
Conductivité thermique	λ	[W/m/°C]	Conductivité électrique	K	A/m/V
Résistance thermique	R	[°C /W]	Résistance électrique	Re	Ω
Capacité thermique	Cp	[J/°C]	Capacité électrique	C	Farad

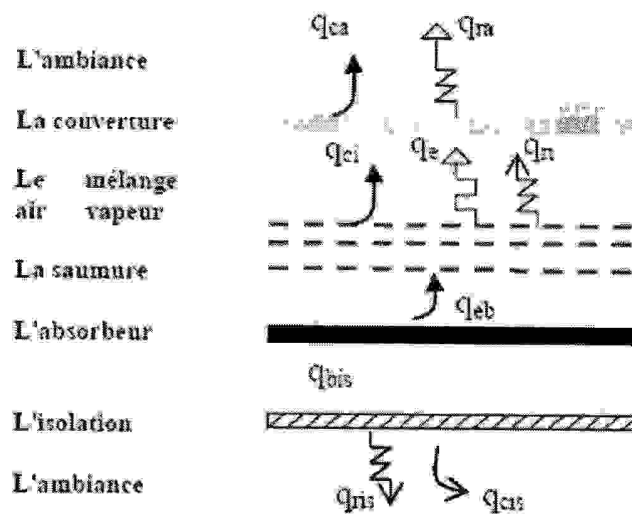
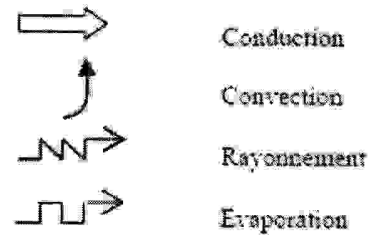


Figure IV.3. Schéma des échanges thermiques dans la maille du distillateur solaire modèle à double exposition.

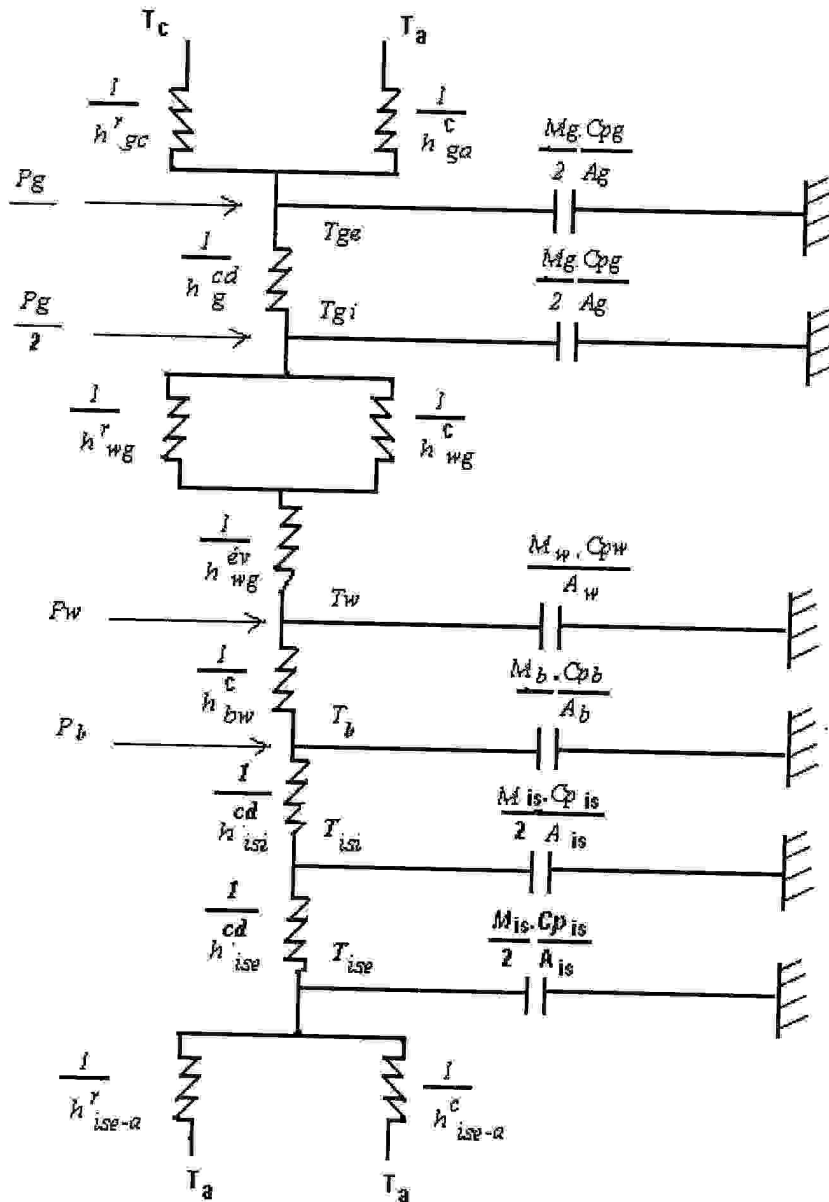


Figure IV.4. Schéma électrique équivalent du distillateur solaire à effet de serre à double exposition.

IV.4.2. Les équations du modèle :

En application de l'analogie électrique sur le système thermique, en tenant compte des hypothèses et des conditions cités. Les équations régissant le système à chaque nœud de la maille (figure IV.2.) en régime transitoire s'écrivent :

Au niveau de la couverture

- Nœud 1 : Face extérieure de la vitre

$$\frac{MgxCpg}{2Ag} x \frac{dTge}{dt} = Q'gc + Q^cga + Q^{cd}g + \frac{Pg}{2} \tag{IV.20}$$

- Nœud 2 : la face intérieure de la vitre

$$\frac{Mgx Cpg}{2Ag} x \frac{dTgi}{dt} = Q^r_{wg} + Q^c_{wg} + Q^{cd}_g + Q^{év}_{vwg} + \frac{Pg}{2} \quad (IV.21)$$

Au niveau de la masse d'eau

- Nœud 3 :

$$\frac{Mwx Cpw}{Aw} x \frac{dT_w}{dt} = Q^r_{wg} + Q^c_{wg} + Q^{év}_{wg} + Q^c_{bw} + P_w \quad (IV.22)$$

Au niveau de l'absorbteur

- Nœud 4 :

$$\frac{Mbx Cpb}{Ab} x \frac{dTb}{dt} = Q^c_{bw} + Q^{cd}_{b.isi} + P_b \quad (IV.23)$$

Au niveau de l'isolant

- Nœud 5 : Face intérieure de l'isolant

$$\frac{Misx Cpis}{2Ais} x \frac{dTis}{dt} = Q^{cd}_{b.isi} \quad (IV.24)$$

- Nœud 6 : Face extérieure de l'isolant

$$\frac{Misx Cpis}{2Ais} x \frac{dTise}{dt} = Q^r_{ise.c} + Q^c_{ise.a} + Q^{cd}_{b.isi} \quad (IV.25)$$

IV. 5. Expression des coefficients de transfert thermiques :

Les Bilans thermiques des différents composants d'un distillateur solaire ne peuvent être accomplis qu'après établissement des expressions donnant les coefficients de transfert de chaleur lors des échanges thermiques externes et internes d'un distillateur solaire, on trouve souvent les coefficients d'échange par conduction, par convection, par rayonnement, et par évaporation lors d'un changement de phase.

Les corrélations de Dunkle (1961) [35] sont utilisées respectivement pour calculer le coefficient d'échange de chaleur global interne (h_1) et le coefficient d'échange de chaleur global externe (h_2):

$$\text{soit} \quad h_1 = h^r_{wg} + h^c_{wg} + h^{év}_{wg} \quad (IV.26)$$

$$\text{et} \quad h_2 = h^r_{gc} + h^c_{ga} \quad (IV.27)$$

La forme générale qui donne le coefficient d'échange globale appliquée à un distillateur solaire est donnée par l'expression :

$$h_t^{-1} = (h_1)^{-1} + (e_g / \lambda_g) + (h_2)^{-1} \quad (IV.28)$$

IV.5.1. Echange thermique par conduction :

▪ Dans l'échange thermique par conduction à travers l'épaisseur de la vitre, le coefficient d'échange par conduction est donné par la relation suivante (Dunkle, 1961) [35]:

$$h^{cd}_g = \lambda_g / e_g \quad (IV.29)$$

λ_g : conductivité thermique de la vitre [W/m/°K] ;

e_g : épaisseur de la vitre [m]

▪ Le coefficient d'échange thermique par conduction à travers le bac absorbant est donné par la relation :

$$h^{cd}_b = \lambda_b / e_b \quad (IV.30)$$

λ_b : conductivité thermique de l'absorbant [W/m/°K] ;

e_b : épaisseur de l'absorbant [m]

▪ Le coefficient d'échange thermique par conduction à travers l'isolant est donné par la relation :

$$h^{cd}_{is} = \lambda_{is} / e_{is} \quad (IV.31)$$

λ_{is} : conductivité thermique de l'isolant [W/m/°K] ;

e_{is} : épaisseur de l'isolant [m]

IV.5.2. Echange thermique par convection :

▪ L'échange convectif entre la masse d'eau et la face intérieure de la vitre est exprimée en fonction des nombres adimensionnels Nu (Nusselt), Gr (Grashoff) et Pr (Prandtl), soit :

$$Nu = (h^c_{wg} \times d / \lambda) = C (Gr, Pr)^n \quad (IV.32)$$

d'où le coefficient d'échange par convection :

$$h^c_{wg} = \lambda \cdot C (Gr, Pr)^n / d \quad (IV.33)$$

Les valeurs de C et n sont des constantes données par Dunkle (1961), C = 0.075 et n = 1/3 et le nombre de Grashoff est donné par la relation suivante :

$$Gr = \frac{d^3 \times \rho^2 \times g \times \beta' \times \Delta T}{\mu} \quad (IV.34)$$

λ : Conductivité thermique de l'air humide (w/m°K)

d : longueur caractéristique du distillateur (m)

ρ : la masse volumique de l'eau (kg/m³)

μ : viscosité cinématique du fluide (Ns/m²)

g : accélérateur due à la pesanteur (m/s²)

β' : coefficient d'expansion volumétrique de l'eau [K⁻¹]

ΔT : la différence de Température effective entre la masse d'eau et la vitre (°K),

Elle peut être exprimé en fonction des pressions partielles de la masse d'eau et de la vitre:

$$\Delta T = \left[(T_w - T_{gi}) + \frac{(P_w - P_{gi}) \times (T_w + 273)}{268.9 \times 10^3 \times P_w} \right] \quad (IV.35)$$

Le nombre adimensionnel de Prandtl est donné par la relation suivante:

$$Pr = \frac{\mu \times C}{\lambda} \quad (IV.36)$$

▪ Dans l'échange par convection entre l'eau du bassin et la vitre, (Dunkle, (1961) [35] a proposé une autre relation qui exprime le coefficient d'échange thermique en fonction des nombres adimensionnels Nu (Nusselt) et Grashoff (Gr) pour les conditions suivantes :

$$\text{-Si : } Gr < 3 \cdot 10^3 ; Nu = 1$$

$$\text{-Si } 3 \cdot 10^3 < Gr < 5 \cdot 10^4 ; Nu = 0.0588 \cdot Gr^{0.37}$$

$$\text{-Si } Gr > 2 \cdot 10^5 ; Nu = 0.0354 \cdot Gr^{0.37}$$

$$Gr = \frac{B_w \times d^3 \times \rho^2 \times g \times (T_w - T_{gi})}{\mu^2 m} \quad (IV.37)$$

μ_m : La viscosité dynamique du mélange air – vapeur

L'expression d'échange par convection s'écrit :

$$h^c_{wg} = \frac{Nu \times \lambda_m}{d} \quad (IV.38)$$

λ_m : La conductivité thermique du mélange air – vapeur.

▪ Le coefficient d'échange h^c_{wg} peut être exprimée en fonction des Températures et des pressions partielles respectivement à la couche adjacente à la surface d'évaporation de l'eau de bassin qui est la face intérieure de la vitre et en fonction de l'angle d'inclinaison (β) de la couverture, la relation de Dunkle peut être écrite :

$$h^c_{wg} = 0.884 \times \left[\left\{ (T_w - T_{gi}) + \frac{(P_w - P_{gi}) \times (T_w + 273)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right\} \times \left\{ \frac{1 + \cos \beta}{2} \right\} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (IV.39)$$

A l'aide d'une interpolation polynomiale ou exponentielle on peut avoir les expressions des pression partielles suivantes :

$$P(T_g) = \exp \left[25.32 - \frac{5144}{T_g + 273} \right] \quad (IV.40) [36]$$

$$P(T_w) = \exp \left[25.32 - \frac{5144}{T_w + 273} \right] \quad (IV.41) [36,37]$$

Ou bien

$$P(T_g) = 7236.2 - 431.43 T_g + 10.76 T_g^2 \quad (IV.42) [38]$$

$$P(T_w) = 7236.2 - 431.43 T_w + 10.76 T_w^2 \quad (IV.43) [38]$$

▪ Dans l'échange convectif dû à la vitesse du vent entre la vitre et le milieu ambiant s'exprime à travers le coefficient d'échange de chaleur entre la face extérieure de la vitre et le milieu ambiant et qui donné par la corrélation de Malik [11]:

$$h_{ga}^c = 5.7 + 3.8 V \quad (IV.44)$$

V (m/s): Vitesse du vent qui souffle sur la partie supérieure du distillateur.

▪ Les relations déterminant les coefficients d'échange par convection du au vent lors des échanges thermique entre la vitre et le milieu extérieur, sont exprimées dans deux cas [39] par :

$$h_{ga}^c = 2.8 + 3.0 V, \quad V \leq 5 \text{ m/s} \quad (IV.45. a)$$

$$h_{ga}^c = 6.15^{0.8}, \quad V > 5 \text{ m/s} \quad (IV.45. b)$$

▪ Le coefficient d'échange par convection entre la masse d'eau et l'absorbeur est exprimée en fonction du nombre de Nusselt :

$$h_{bw}^c = Nu \times \frac{\lambda_w}{L} \quad (IV.46)$$

La valeur du nombre de Nusselt donnée par MacAdams, dépend essentiellement de nombre de Grashoff (Gr) :

$$Gr = \frac{B_w \times L^3 \times \rho^2 \times g \times (T_b - T_w)}{\mu_w^2} \quad (IV.47)$$

B_w : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau [K^{-1}]

L : Longueur équivalente (m)

ρ : la masse volumique de l'eau (kg/m^3)

μ_w : la viscosité dynamique de l'eau (Ns/m^2)

L : Longueur caractéristique (m)

g : L'accélérateur dû à la pesanteur (m/s^2)

• Si $Gr < 10^5$; $Nu = 1$

Dans ce cas l'échange se fait uniquement par conduction

• Si $10^5 < Gr < 2 \cdot 10^7$; $Nu = \left(\frac{\lambda_w}{L} \right) \times 0.54 \times (Gr \times Pr)^{0.25} \quad (IV.48)$

avec
$$Pr = \mu_w \times \frac{C_{pw}}{\lambda_w} \quad (IV.49)$$

C_{pw} : chaleur massique de l'eau

• Si $Gr > 2 \cdot 10^7$;
$$Nu = 0.14 \times (Gr \times Pr)^{0.33} \quad (IV.50)$$

Dans le même contexte les relations données par Malik (1982) [11] expriment dans deux cas possible, le coefficient d'échange de chaleur par convection :

• Si $Gr, Pr > 8.10^6$
$$h_{bw}^c = 0.54 (\lambda_w / L_b) (Gr, Pr)^{1/4} \quad (IV.51)$$

• Si $Gr, Pr < 8.10^6$
$$h_{wb}^c = 0.15 (\lambda_w / L_b) (Gr, Pr)^{1/3} \quad (IV.52)$$

λ_w : Conductivité thermique de l'eau, (W/m².°C)

L_b : Longueur caractéristique de l'absorbeur, (m)

IV.5.3. Echange thermique par rayonnement :

• Dans l'échange thermique par rayonnement entre la masse d'eau et la face intérieure de la vitre. Le coefficient d'échange par rayonnement est donné par l'expression [40] :

$$h'_{wg} = \varepsilon_{eff} \times \sigma [(T_w + 273)^2 + (T_g + 273)^2] \times [(T_w + T_g + 546)] \quad (IV.53)$$

Le coefficient d'échange peut être exprimé par la relation suivante :

$$h'_{wg} = \varepsilon_{eff} \times \sigma \frac{(T_w + 273)^4 - (T_g + 273)^4}{T_w - T_g} \quad (IV.54)$$

avec :

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

ε_{eff} : facteur d'émission effective

ε_g : facteur d'émission de la vitre

ε_w : facteur d'émission de l'eau de bassin

σ : Constante de stefan Boltzmann = (5,67x10⁻⁸ w/m²K⁴)

• Dans le même contexte, le coefficient d'échange par rayonnement entre la masse d'eau et la face intérieure de la vitre est donnée par la relation de Dunkle [35].

$$h'_{wg} = 0.9 \sigma (T_w^2 + T_g^2) (T_w + T_g) \quad (IV.55)$$

• Le coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et le ciel est donné par la relation de (Dunkle, 1961) [35] :

$$h'_{gc} = \varepsilon_g \sigma (T_{ge}^2 + T_c^2) (T_{ge} + T_c) \quad (IV.56)$$

• T_c : La température du ciel (°C ou °K) est donnée par Swinbank, rapporté par Duffie et Beckman, (1974) [41] en fonction de la Température de l'air ambiant :

$$T_c = 0.0552 \cdot T_a^{1.5} \quad (IV.57)$$

IV.5.4. Echange thermique avec changement de phase :

Dans l'échange de chaleur et de masse par évaporation et condensation entre la surface de la masse d'eau et la face intérieure de la vitre ,le transfert de chaleur qui accompagne le passage entre les deux phénomènes ,c'est un transfert de chaleur avec changement de phase évaporation - condensation :

Dans ce contexte Dunkle [35] est arrivé a évalué l'expression du coefficient d'échange de chaleur par changement de phase, par deux équations distinctes :

$$\text{Soit } h^{év}wg = f(h^cwg) , h^{év}wg = 16.273 \times 10^{-3} \times h^cwg \frac{P_w - P_{gi}}{T_w - T_{gi}} \quad (IV.58)$$

$$\text{et } h^{év}wg = 9.15 \times 10^{-7} \times \left[\frac{h^cwg(P_w - P_{gi}) \times L_v}{(T_w - T_{gi})} \right] \quad (IV.59)$$

L_v : Chaleur latente de vaporisation de l'eau

IV.6. Caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire :

Parmi les éléments essentiels qui caractérise la production d'eau, dont dépend le choix d'un tels distillateurs distillateur solaire .On distingue constamment : le rendement, l'efficacité globale, l'efficacité interne et la performance :

IV.6.1. Le rendement :

Il est représenté par le débit du distillat produit par unité de surface de plan noir pendant toute une journée .L'inconvénient majeur de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire qui arrive sur le distillateur.

IV.6.2. L'efficacité:

L'efficacité est représentée par :

IV.6.2.1. L'efficacité globale η_g (%):

L'efficacité globale représentée par le rapport de la quantité d'eau produite à l'énergie solaire tombant sur une surface horizontale, la quantité d'énergie qui entre dans le distillateur est subordonnée au lieu d'implantation et à la pente de la couverture, tout changement de ces deux facteurs fait varier la quantité d'énergie dans le distillateur [42]. L'efficacité globale est définie par l'expression suivante :

$$\eta_g(\%) = \frac{Q^{év}wg}{I_G \times A_g} = \frac{m_d \times L_v}{I_G \times A_g} \quad (IV.60)$$

η_g (%) :L'efficacité globale du distillateur

m_d : Le débit d'eau distillé.

L_v : Chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température de la source chaude

A_g : Aire de la vitre (superficie du capteur)

I_G : Intensité globale du rayonnement solaire

$Q_{wg}^{év}$: Flux de chaleur (quantité) de chaleur utilisée pour l'évaporation de l'eau par unité de temps.

IV.6.2.2.L'efficacité interne η_i (%) : Contrairement à l'efficacité globale, l'efficacité interne tient compte de tous les paramètres cités, elle est donnée par la relation :

$$\eta_i (\%) = \frac{Q_{wg}^{év}}{q_{eau}} = \frac{m_d \times L_v}{q_{eau}} \quad (IV.60)$$

• **Calcul de la quantité de chaleur q_{eau} :**

La quantité de chaleur effectivement absorbée par la masse d'eau par unité de temps dépend de l'angle d'incidence du rayonnement solaire par rapport à la vitre. Elle est déterminée en fonction des coefficients moyens globaux de réflexion, d'absorption, de transmission d'une vitre, d'une nappe d'eau et de fond du distillateur (Tableau (I.V.II) [19].

Pour une intensité globale I_G , l'expression de q_{eau} s'écrit :

$$q_{eau} = [\tau_v \cdot \alpha_e + \tau_v \tau_e \cdot \alpha_f] I_G \cdot A = \alpha_t \cdot I_G \cdot A \quad (IV.61)$$

α_t , étant le coefficient d'absorption fictif de la masse d'eau :

$$\alpha_t = \tau_v \cdot \alpha_e + \tau_v \tau_e \cdot \alpha_f \quad (IV.62)$$

α_e : facteur d'absorption de l'eau.

α_f : facteur d'absorption du fond de distillateur.

τ_v : Coefficient de transmission de la vitre

τ_e : Coefficient de transmission de l'eau

On admet que la chaleur absorbée par le fond du distillateur est cédée complètement à la masse d'eau par conductibilité convection, alors on définit un coefficient d'absorption α_t , Comme étant le coefficient d'absorption fictif de la masse d'eau.

IV.6.2.3.La performance :

Afin de caractériser un distillateur d'une manière plus générale, Satcunathan et Hansen (1973) [34] sont arrivés à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) :

$$F.P.B = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout de 24 heures}}{\text{Quantité d'énergie entrée au bout de 24 heures}} \quad (IV.63)$$

$$F.P.H = \frac{\text{Quantité d'eau produite au bout d'une heure}}{\text{Quantité d'énergie au bout d'une heure}} \quad (IV.64)$$

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

$$F.P = \frac{md}{\alpha t \times I_G \times A} \quad (IV.65)$$

IV.7. Principe de programmation :

Dans l'étude du système de distillation solaire, nous avons utilisé un programme de simulation numérique développée en langage Matlab, dont le principe consiste à mettre en valeur l'évolution des températures des différents composants du distillateur solaire dans les temps considéré soit à partir de (7h jusqu'à 19 heures) de la journée choisie du 22 juillet 2005. Les calculs sont effectués à partir d'un temps initial « t_0 », tout en affectant une température initiale pour chaque composant du distillateur solaire avec un pas de temps égale à une heure. Les paramètres qui interviennent dans un premier lieu, ce sont des données qui sont tiré soit des tableaux du journal (underground, (2007), dont on citera les paramètres météo logiques à savoir :

- La température ambiante
- La vitesse du vent

Ou par des formules approchées (la température du ciel).

Vu la complexité des calculs, la méthode de simulation numérique, ne peut être établie qu'avec l'usage de l'ordinateur.

IV.8. Les étapes du programme :

Première étape :

Consiste à calculer les différents coefficients d'échanges thermiques qui sont indépendant de la température :

- Les coefficients d'échange thermique par conduction à travers la couverture, l'absorbeur et l'isolant.
- Les coefficients d'échange thermiques par convection du à la vitesse du vent.

Deuxième étape:

On introduit le calcul du rayonnement solaire globale frappant sur un plan horizontal et un plan inclinée à chaque heure de la journée, suivie par le calcul des puissances absorbées

respectivement de la vitre (P_g), de la saumure (P_w) et du bac absorbant (P_b): qui sont fonction de l'intensité du rayonnement solaire globale.

Dans cette étape, on calcul à chaque heure de la journée les températures du ciel qui sont issus des températures ambiantes données.

Troisième étape :

Cette étape est destinée par l'intégration des conditions initiales représentés par les températures initiales appliquées à chaque composant du distillateur solaire et qui sont égale à la température ambiante, seulement les températures qui sont affectés à la saumure et à l'absorbeur ont des valeurs supérieures. Ces températures sont respectivement cités pour chaque composants du distillateur comme suit :

- $T_{ge_0} = T_a$
- $T_{gi_0} = T_a$
- $T_{w_0} = T_a + 2$
- $T_{b_0} = T_a + 4$
- $T_{isi_0} = T_a$
- $T_{ise_0} = T_a$

Quatrième étape :

Lors de cette étape, on effectue des opérations qui nous permettent de calculer à chaque heure de la journée :

- ◦ Les pressions partielles de la vapeur d'eau à la température de la saumure et la pression partielles de la vapeur à la température du coté intérieur de la vitre.
- A la température (T_w), de la saumure, on calcul les propriétés de l'eau qui sont :
 - La masse volumique.
 - La conductivité thermique.
 - La viscosité dynamique et cinématique.
 - La capacité thermique.
 - La chaleur latente de vaporisation.
- Dans cette même étape, on calcul les différents coefficients d'échange thermique qui sont dépendant de la température soit :

- Les coefficients d'échange thermique par rayonnement, entre la vitre (coté extérieur) et la voûte céleste, entre la vitre (coté intérieur) et la saumure, entre l'isolant (coté extérieur) et le sol.
- Les coefficients d'échange thermique par convection, entre la saumure et la vitre, entre la saumure et l'absorbeur.
- Calcul du coefficient d'échange thermique par évaporation entre la saumure et la vitre.

On dispose à présent des valeurs des propriétés de l'eau et des différents coefficients d'échange qui vont nous permettre de calculer les différents éléments de la matrice A et du vecteur B (voir discrétisation IV.10), sous forme d'un système d'équation linéaire $Ax=T=B$ à résoudre.

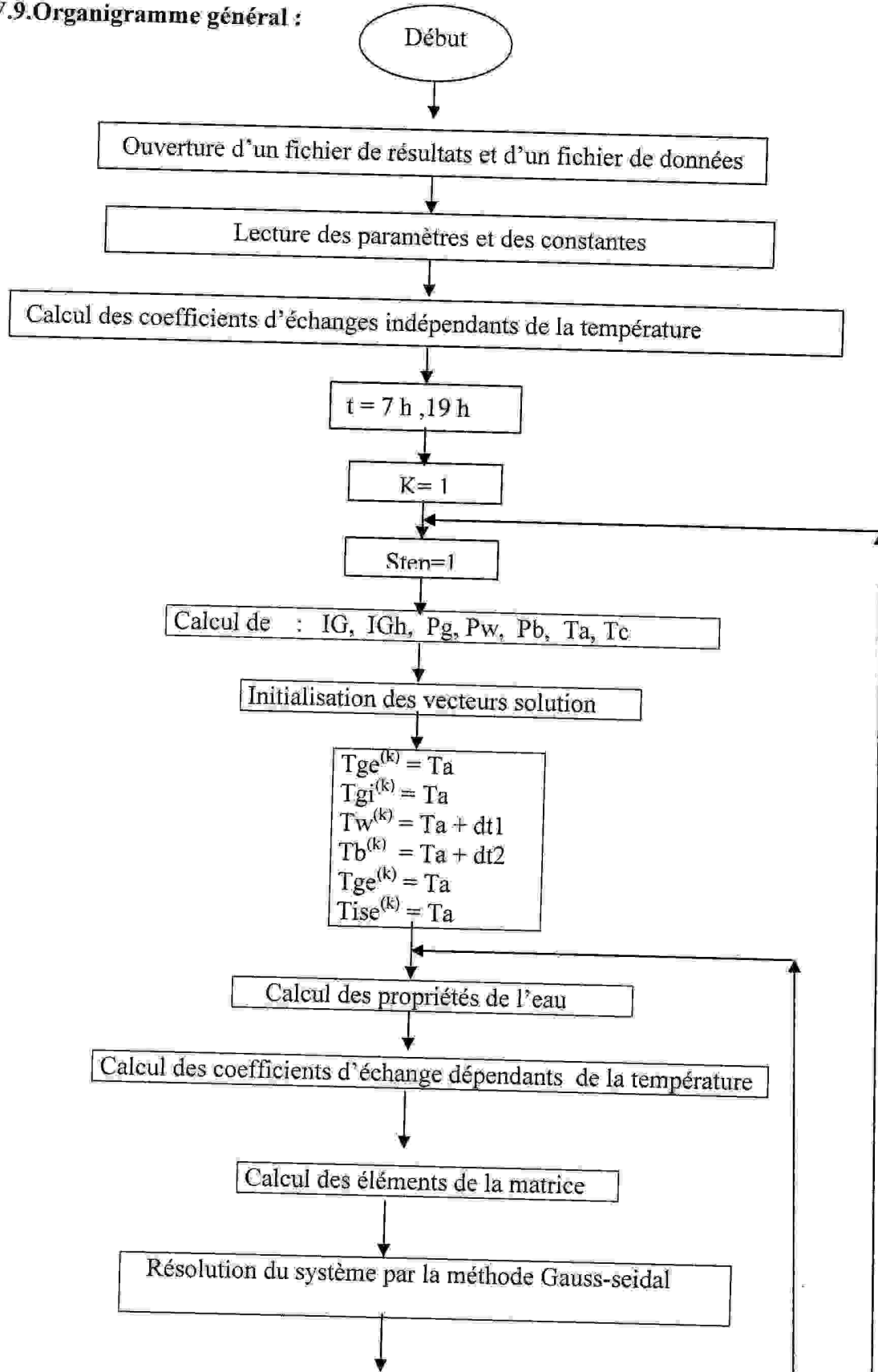
Il existe en mathématique plusieurs méthodes de résolution d'un tel système. Pour économiser l'espace mémoire, on a choisi la méthode Gauss Seidel avec la condition de convergence et une valeur d'epsilon qui sont déterminés (voir annexe). Le vecteur solution (T) généré englobe les différentes températures cherchées $T = (T_{ge}, T_{gi}, T_w, T_b, T_{isi}, T_{ise})$.

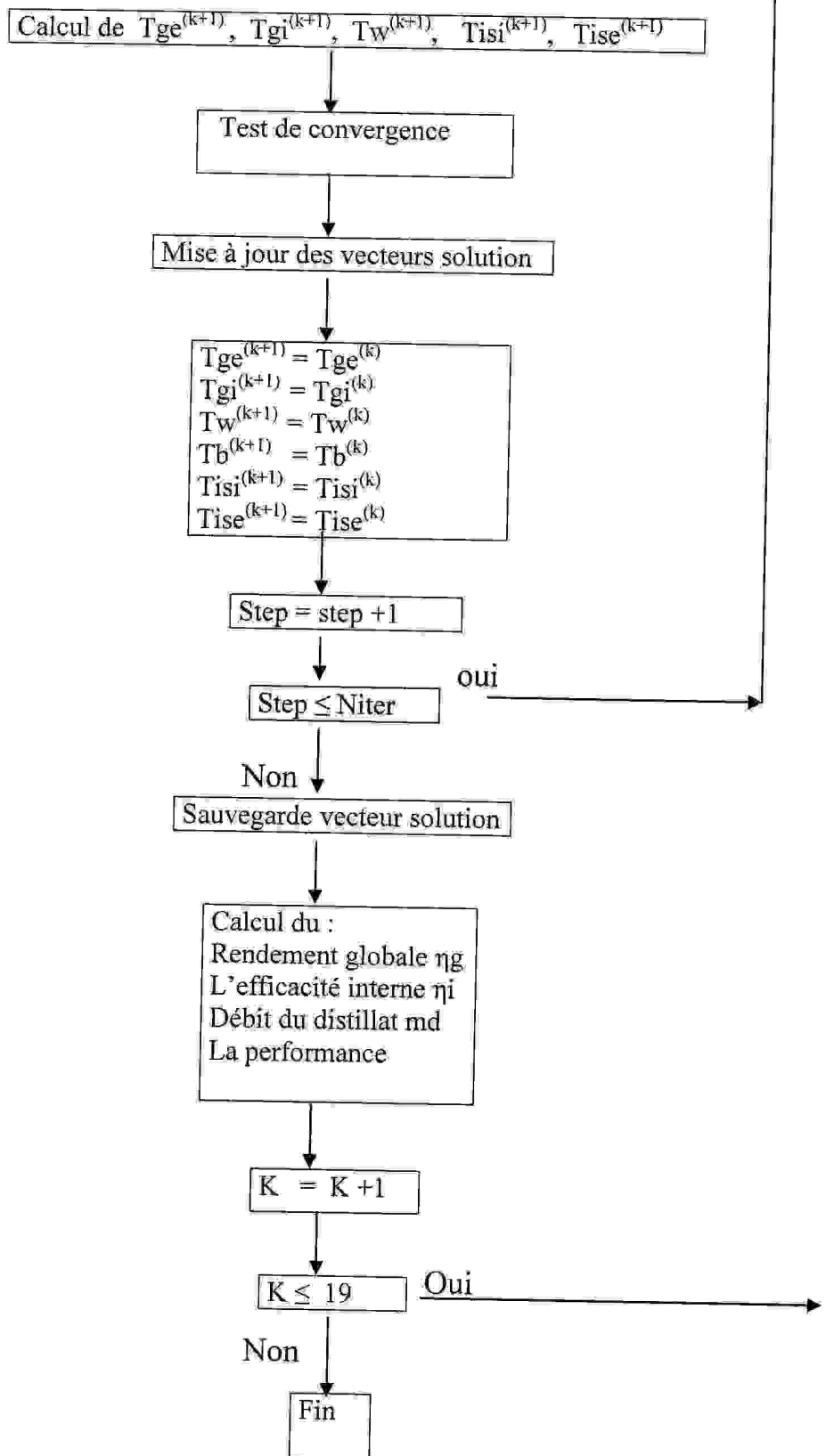
Cinquième étape :

Le calcul abordé dans cette étape du programme est représenté par la simulation des températures des différents composants pour chaque temps avec un intervalle égale à une heure.

Dans l'explication de l'enchaînement de ce processus du programme, on commence par le calcul des températures du temps initial à (7h) puis on lance la 1^{ère} itération pour calculer les variations des températures, les résultats trouvés sont considérées comme les températures initiales de l'itération suivante. Après déroulement de ce processus 1000 fois (testé expérimentalement), on aboutit aux températures résultats du temps initial (7h). On démarre à partir de ces températures pour calculer de la même manière les températures du temps suivant (8h), on refait ce processus jusqu'à expiration de tous les temps. En ce moment on peut évaluer nos résultats qui correspondent aux températures du système à chaque heure de la journée, et qui nous permet ensuite de calculer le rendement horaire et journalier, l'efficacité interne et globale et la performance du système.

IV.9. Organigramme général :





IV. 10. Discrétisation des équations de transfert thermique :

Les équations de transfert thermique, régissant le système à chaque nœud de la maille en régime transitoire sont discrétisées et ordonnées, par rapport aux température comme suit :

IV. 10. 1. Au niveau de la couverture :

▪ Face extérieure :

$$\frac{M_{gx}C_{pg}}{2A_{gx}} + \frac{(T_{ge}(j) - T_{ge}^*(j))}{\Delta t} + h'_{gax}(T_{ge}(j) - T_c) + h_{cgax}(T_{ge}(j) - T_a) = \frac{\lambda_g}{e_g} x(T_{gi}(j) - T_{ge}(j)) \quad (IV.66)$$

▪ Face intérieure

$$\frac{M_{gx}C_{pg}}{2A_{gx}} + \frac{(T_{gi}(j) - T_{gi}^*(j))}{\Delta t} + \frac{\lambda_g}{e_g} x(T_{gi}(j) - T_{ge}(j)) = h_1 x(T_w(j) - T_{gi}(j)) + P_g \quad (IV.67)$$

IV. 10. 2. Dans la saumure

$$\frac{M_{wx}C_{pw}}{A_w} + \frac{(T_w(j) - T_w^*(j))}{\Delta t} + h_1 (T_w(j) - T_{gi}(j)) = P_w + h^c_{bw} x(T_b(j) - T_w(j)) \quad (IV.68)$$

IV. 10. 3. Dans le bac absorbant

$$\frac{M_{bx}C_{pb}}{A_b} + \frac{(T_b(j) - T_b^*(j))}{\Delta t} + h^c_{bw} x(T_b(j) - T_w(j)) + h^{cd}_{bis} x(T_b(j) - T_{isi}(j)) = P_b \quad (IV.69)$$

IV. 10. 4. Dans l'isolant

▪ Face intérieure de l'isolant

$$\frac{M_{isx}C_{pis}}{A_{is}} + \frac{(T_{isi}(j) - T_{isi}^*(j))}{\Delta t} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} x(T_{isi}(j) - T_{ise}(j)) = h^{cd}_{bis} x(T_b(j) - T_{isi}(j)) \quad (IV.70)$$

▪ Face extérieure de l'isolant

$$\frac{M_{isx}C_{pis}}{A_{is}} + \frac{(T_{ise}(j) - T_{ise}^*(j))}{\Delta t} + h_2 x(T_{ise}(j) - T_a) = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} x(T_{isi}(j) - T_{ise}(j)) \quad (IV.71)$$

Note: Dans ces équations, Δt désigne le pas de temps et (*) le temps $(t - \Delta t)$.

Après développement le système d'équation sera ordonné comme suit :

1)

$$\frac{M_{gx}C_{pg}}{2A_{gx}\Delta t} + h^r g_a + h^c g_a + \frac{\lambda_g}{e_g} xT_{ge}(j) - \frac{\lambda_g}{e_g} xT_{gi}(j) = \frac{M_{gx}C_{pg}}{2A_{gx}\Delta t} xT_{ge}^*(j) + h^r g_a T_c + h^c g_a T_a \quad (IV.72)$$

$$2) \frac{\lambda_g}{e_g} xT_{ge}(j) + \left(\frac{M_{gx}C_{pg}}{2x_{A_{gx}}\Delta t} + \frac{\lambda_g}{e_g} + h_1 \right) xT_{gi}(j) - h_1 xT_w(j) = \frac{M_{gx}C_{pg}}{2A_{gx}\Delta t} xT_{gi}^*(j) + P_g \quad (IV.73)$$

$$3) -h_1 xT_{ge}(j) - \left(\frac{M_{wx}C_{pw}}{A_{wx}\Delta t} + h_1 + h^c_{bw} \right) xT_w(j) - h_{cbw} xT_b(j) = \frac{M_{wx}C_{pw}}{A_{wx}\Delta t} xT_w^*(j) + P_w \quad (IV.74)$$

$$4) -h^c_{bw} xT_w(j) + \left(\frac{M_{bx}C_{pb}}{A_{bx}\Delta t} + h^c_{bw} + h^{cd}_{bis} \right) xT_b(j) - h^{cd}_{bis} xT_{isi}(j) = \frac{M_{bx}C_{pb}}{A_{bx}\Delta t} xT_b^*(j) + P_b \quad (IV.75)$$

$$5) -h^{cd}_{bis} xT_b(j) + \left(\frac{M_{is}x_{Cp_{is}}}{2x_{A_{is}}\Delta t} + h^{cd}_{bis} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \right) xT_{isi}(j) - \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} xT_{ise}(j) = \frac{M_{is}x_{Cp_{is}}}{2x_{A_{is}}\Delta t} xT_{isi}^*(j) \quad (IV.76)$$

$$6) -\frac{\lambda_{is}}{e_{is}} xT_{isi}(j) + \left(\frac{M_{is}x_{Cp_{is}}}{2x_{A_{is}}\Delta t} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} + h_2 \right) xT_{ise}(j) = \frac{M_{is}x_{Cp_{is}}}{2x_{A_{is}}\Delta t} xT_{ise}^*(j) + h_2 xT_a \quad (IV.77)$$

Ces équations forment un système d'équation linéaire sous forme $A \times X = B$, on résout ce système par les méthodes itératives Gauss Seidel (voir annexe).

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

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & A_{25} & A_{26} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} & A_{35} & A_{36} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} & A_{45} & A_{46} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} & A_{56} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} & A_{65} & A_{66} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_{ge} \\ T_{gi} \\ T_w \\ T_b \\ T_{isi} \\ T_{ise} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{pmatrix} \quad (IV.78)$$

Avec

$$A_{11} = \frac{MgxCPg}{2xAgx\Delta t} + h_{ga}^r + h_{ga}^c + \frac{\lambda g}{eg}$$

$$A_{12} = -\frac{\lambda g}{eg}$$

$$A_{13} = 0$$

$$A_{14} = 0$$

$$A_{16} = 0$$

$$A_{21} = -\frac{\lambda g}{eg}$$

$$A_{22} = \left(\frac{MgxCpg}{2xAgx\Delta t} + \frac{\lambda g}{eg} + h_1 \right)$$

$$A_{23} = .h_1$$

$$A_{24} = 0$$

$$A_{25} = 0$$

$$A_{26} = 0$$

$$A_{31} = 0$$

$$A_{32} = -h_1$$

$$A_{33} = \left(\frac{MwxCpc}{Awx\Delta t} + h_{bw}^c + h_1 \right)$$

$$A_{34} = -h_{bw}^c$$

$$A_{35} = 0$$

$$A_{36} = 0$$

$$A_{41} = 0$$

$$A_{42} = 0$$

$$A_{43} = 0$$

$$A_{44} = \left(\frac{MbxCpb}{Abx\Delta t} + h_{bw}^c + h_{bis}^{cd} \right)$$

$$A_{45} = -h_{bis}^{cd}$$

$$A_{46} = 0$$

$$A_{51} = 0$$

$$A_{52} = 0$$

$$A_{53} = 0$$

$$A_{54} = -h_{bis}^{cd}$$

$$A_{55} = \left(\frac{M_{is} x C p_{is}}{2 x A_{is} x \Delta t} + h_{bis}^{cd} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \right)$$

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

$$A_{61} = 0$$

$$A_{62} = 0$$

$$A_{63} = 0$$

$$A_{64} = 0$$

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

$$A_{66} = \left(\frac{M_{is} x C p_{is}}{2 x A_{is} x \Delta t} + \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} + h_2 \right)$$

$$B_1 = \frac{M g x C p g}{2 A g x \Delta t} x T g e^*(j) + h^r g a x T c + h^c g a x T a$$

$$B_2 = \frac{M g x C p g}{2 A g x \Delta t} x T g i^*(j) + P g$$

$$B_3 = \frac{M w x C p w}{A w x \Delta t} x T w^*(j) + P w$$

$$B_4 = \frac{M b x C p b}{A b x \Delta t} x T b^*(j) + P b$$

$$B_5 = \frac{M_{is} x C p_{is}}{2 x A_{is} x \Delta t} x T_{int}^*(j)$$

$$B_6 = \frac{M_{is} x C p_{is}}{2 x A_{is} x \Delta t} x T_{ise}^*(j) + h_2 x T a$$

CHAPITRE V

INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

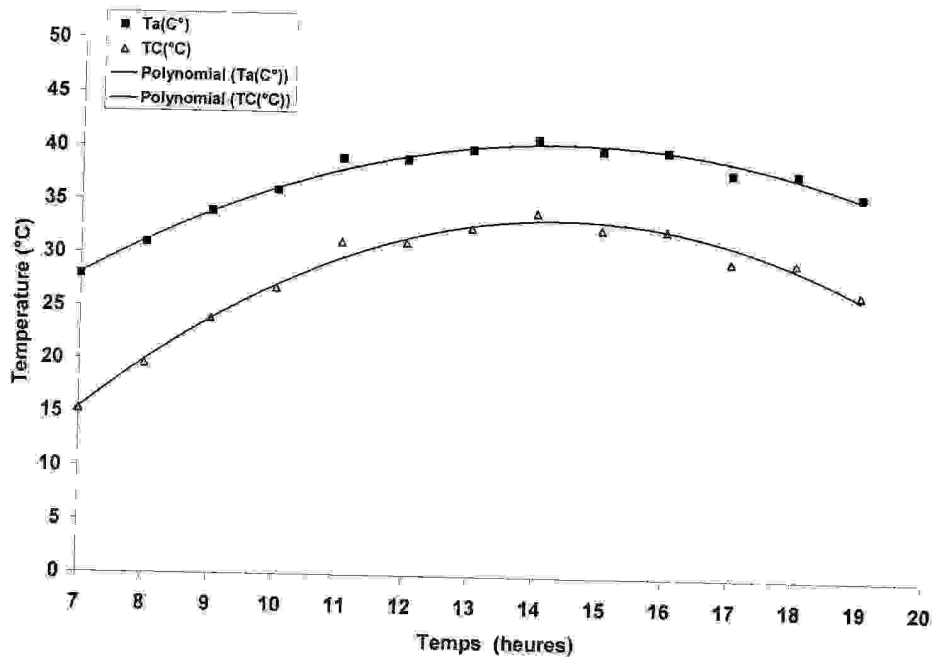
V. Interprétation et discussion des résultats :

La résolution du système d'équations par le biais d'un programme de simulation numérique développé en langage Matlab, nous a permis d'obtenir les résultats conformément aux objectifs fixés auparavant : étude et impact des paramètres thermo physiques sur la performance d'un distillateur solaire à double exposition implanté dans région de Constantine .En tenant compte des coordonnées géographiques avec une latitude :(36°22), longitude (6° 37), et des conditions climatiques ,dont le choix du jour de calcul s'est fait à partir des statistiques données par le Journal de la météo (underground) 2007; c'est la journée du 22 juillet 2005 qui a été solutionnée (choix décennal) ,étant donnée que la moyenne des températures de cette journée est relativement élevée par rapport aux autres journées.

Les calculs sont effectués à partir d'un temps initial « t_0 », tout en affectant une température initiale pour chaque composant du distillateur solaire avec un pas de temps égale à une heure. Les résultats obtenus sont traduits en graphes et histogrammes grâce au Logiciel Origin 6. Les résultats du cas optimal sont résumés dans des tableaux et d'autres résultats sont représentés dans la partie annexe.

V.1.Variation temporelle des températures ambiantes et des températures du ciel

Puisque la journée solutionnée est chaude et ensoleillée, ce qui engendre des températures ambiantes élevées et prolongées dans le temps ceci se traduit sur l'allure de la courbe des températures ambiantes (figure V.1.), ou elles atteignent leurs valeurs maximales entre 11h et 15 h. Hormis la courbe des températures du ciel qui suit la même allure, ceci s'explique par la relation de Swinbank, dont la variation des températures du ciel est fonction des températures ambiantes.

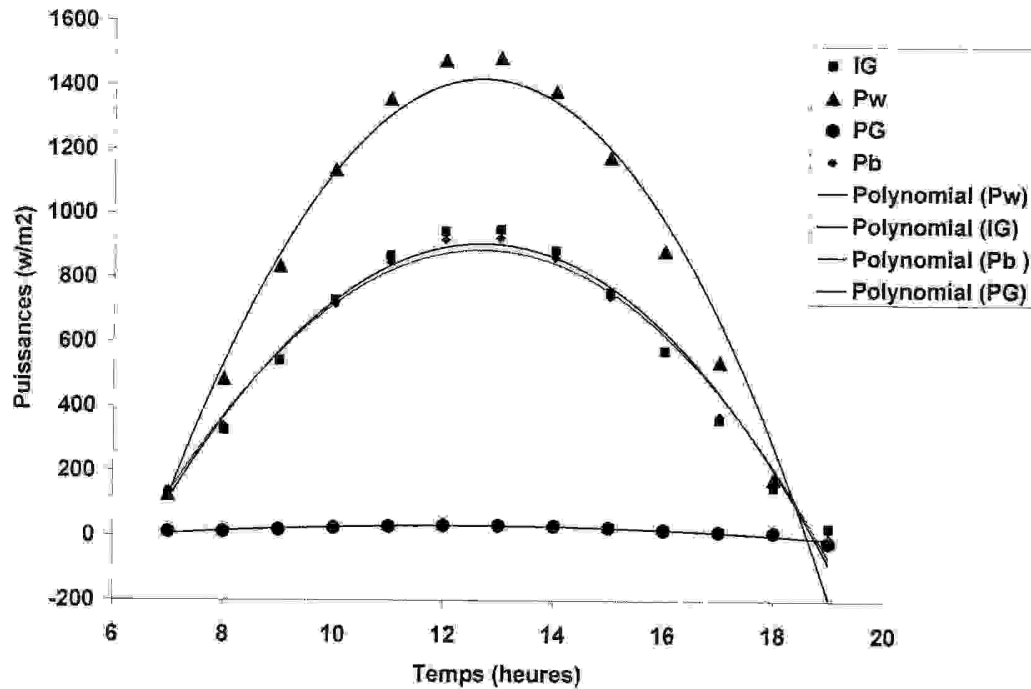


$$\underline{T_a} : Y = -0.2293 \times t^2 + 6.5929 \times t - 6.8282 ; R^2 = 0.9833 ; P < 0.0001$$

$$\underline{T_c} : Y = -0.3333 \times t^2 + 9.5817 \times t - 35.384 ; R^2 = 0.9833 ; P < 0.0001$$

Figure V.1. Variation temporelle de la température ambiante et de la température du ciel.

V.2. Variation de l'intensité du rayonnement solaire et des puissances absorbées en fonction du temps local :

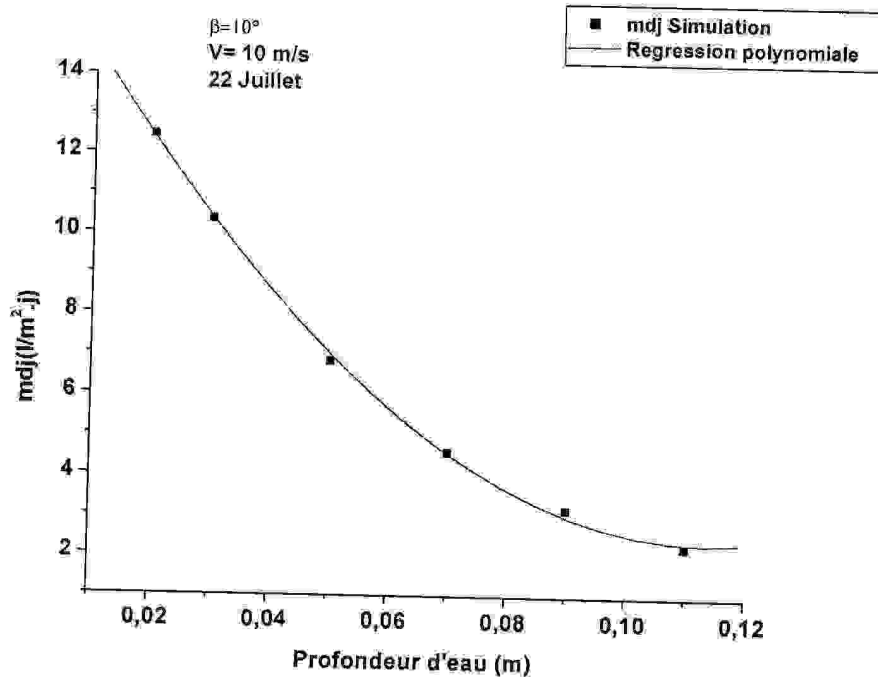


- P_w : $Y = -40,327 \times t^2 + 1022,5 \times t - 5062,4$; $R^2 = 0,9752$; $P < 0,0001$
- I_G : $Y = -24,727 \times t^2 + 626,74 \times t - 3065,9$; $R^2 = 0,9735$; $P < 0,0001$
- P_b : $Y = -23,678 \times t^2 + 599,41 \times t - 1907,9$; $R^2 = 0,9806$; $P < 0,0001$
- P_G : $Y = -0,9227 \times t^2 + 22,72 \times t - 108,44$; $R^2 = 0,8961$; $P < 0,0001$

Figure V.2. Variation de l'intensité du rayonnement solaire et des puissances absorbées en fonction du temps local.

Les valeurs élevées des températures ambiantes sont dues à l'intensité du rayonnement solaire, ou la figure V.2 illustre la courbe des valeurs de l'intensité du rayonnement globale en fonction du temps, les valeurs maximales sont enregistrées entre 11h et 15 heures. Le rayonnement solaire incident sera par la suite reçu par les différentes surfaces du distillateur (capteur, saumure et absorbeur), surtout que chacun de ses éléments possède des propriétés physiques propres qui sont représentés par des caractéristiques optiques telles que : Le degré de réflectivité, l'émissivité et l'absorptivité, ces facteurs nous permettent de connaître les valeurs des puissances absorbées (P_w , P_b , P_g). On constate sur la figure V.2 que la puissance absorbée par l'eau de bassin est la plus importante suivie par celle de l'absorbeur tandis que la puissance de la vitre se trouve à un degré moindre dont l'allure de sa courbe est monotone ce qui explique l'influence de son épaisseur.

V. 3. Influence de la profondeur de l'eau du bassin sur la production journalière:



$$e_g = 0.003\text{m}, \beta = 10^\circ, V = 10 \text{ m/s}, e_{b_{AL}} = 0.05\text{m}, e_{is_{Polyst}} = 0.05\text{m}$$

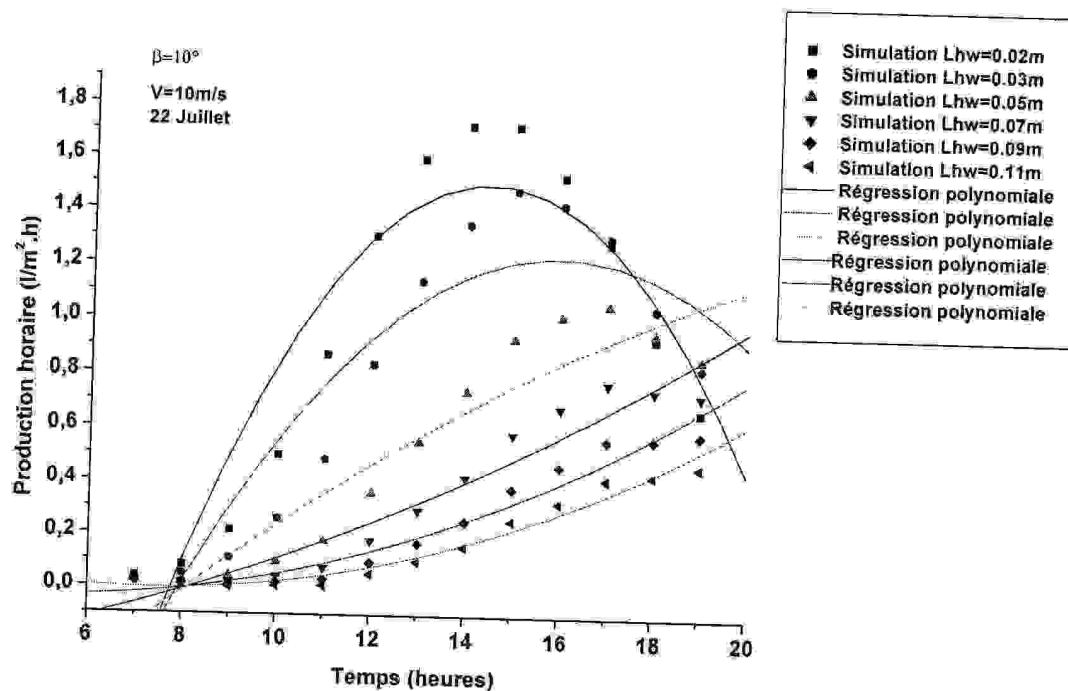
•Production journalière (mdj) :

$$Y = 17,13099 - 259,65044 \times X + 1140,66626 \times X^2; R^2 = 0,99908; P < 0.0001$$

Figure V.3a. Variation de la production journalière en fonction de la profondeur de l'eau du bassin.

Si on suit l'enchaînement des processus cités, on constate que la production de l'eau distillée est au maximum lorsque l'intensité du rayonnement solaire atteint les valeurs maximales, cela est subordonnée par l'augmentation des températures des différents composants du distillateur solaire en fonction du temps, surtout que la température de l'eau de bassin (T_w) peut même dépasser l'état d'évaporation et atteindre l'état d'ébullition. Cet état des températures nous conduit théoriquement à une collecte maximale brut d'eau distillée. Ce résultat peut s'accommoder à chaque profondeur de l'eau de bassin et en particulier pour des valeurs minimales (figure V.3a.). Le résultat trouvé peut être vérifié à chaque heure de la journée et pour chaque profondeur de l'eau de bassin (figure V.3b.), on a constaté que la production horaire augmente avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin ou elle atteint les valeurs maximales entre 11 h et 15 h, ou l'intensité du rayonnement solaire atteint son maximum, ce qui explique réellement l'influence des profondeurs d'eau de bassin sur la production du distillateur solaire pour des températures très tolérantes. Indépendamment des

conditions climatiques et géographiques et à travers des études élaborées sur des distillateurs solaires de conception similaires, Jubran et al (2002) [43], Touré et Meukam (1996) [38] ont constaté que la production journalière croît avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin.



$$eg = 0.003, \beta = 10^\circ, V = 10 \text{ m/s}, eb_{Al} = 0.05 \text{ m}, eis_{polyst} = 0.05 \text{ m}$$

• Prod horaire (md) (pour Lhw=0.02 m) :

$$Y = -5,56208 + 0,97988 \times X - 0,03397 \times X^2; R^2 = 0,87077; P < 0.0001$$

• Prod horaire (md) (pour Lhw=0.03 m) :

$$Y = -3,66708 + 0,61502 \times X - 0,0193 \times X^2; R^2 = 0,84946; P < 0.0001$$

• Prod horaire (md) (pour Lhw=0.05 m) :

$$Y = -1,26378 + 0,18086 \times X - 0,00307 \times X^2; R^2 = 0,89292; P < 0.0001$$

• Prod horaire (md) (pour Lhw=0.07 m) :

$$Y = -0,31427 + 0,02043 \times X + 0,00219 \times X^2; R^2 = 0,93258; P < 0.0001$$

• Prod horaire (md) (pour Lhw=0.09 m) :

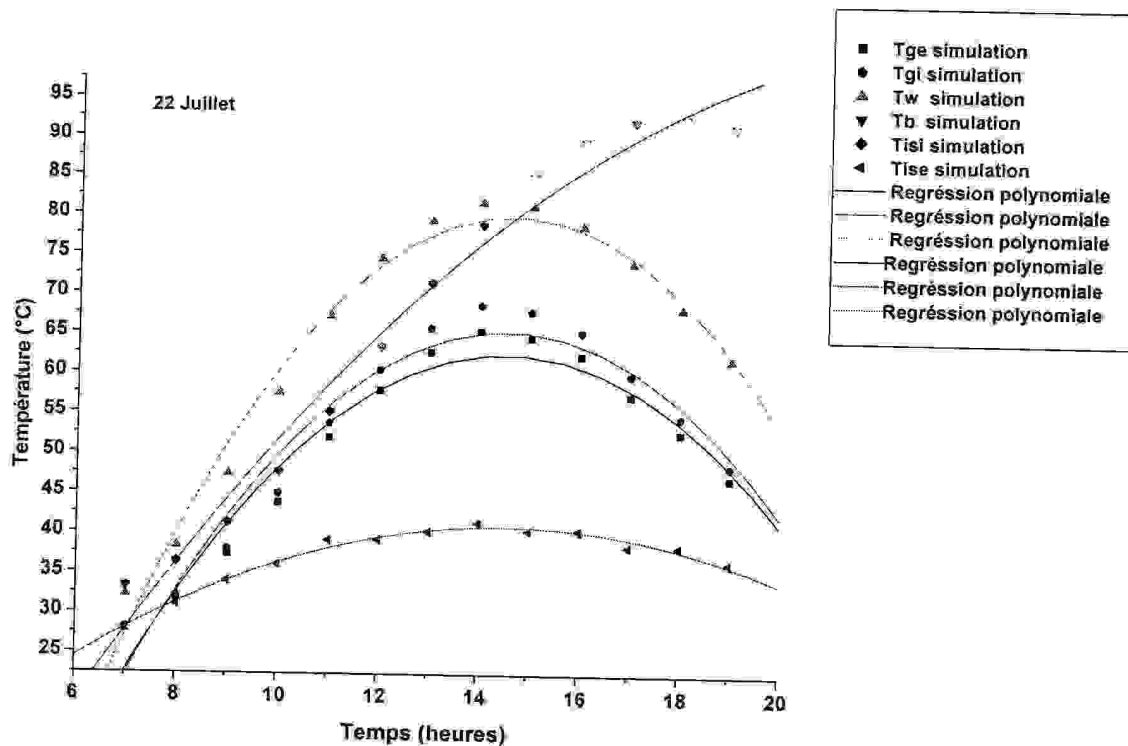
$$Y = 0,0567 - 0,03722 \times X + 0,00367 \times X^2; R^2 = 0,95051; P < 0.0001$$

• Prod horaire (md) (pour Lhw=0.11 m) :

$$Y = 0,20838 - 0,05785 \times X + 0,00393 \times X^2; R^2 = 0,95441; P < 0.0001$$

Figure V. 3b. Variation de la production horaire en fonction du temps avec la variation de la profondeur de l'eau de bassin.

V. 4. Variation des températures des différents composants du distillateur en fonction du temps :



$$eg = 0.003m, V=10m/s, eb_{AL}=0.05m, eis_{Polyst}=0.05m, Lhw=0.02 m$$

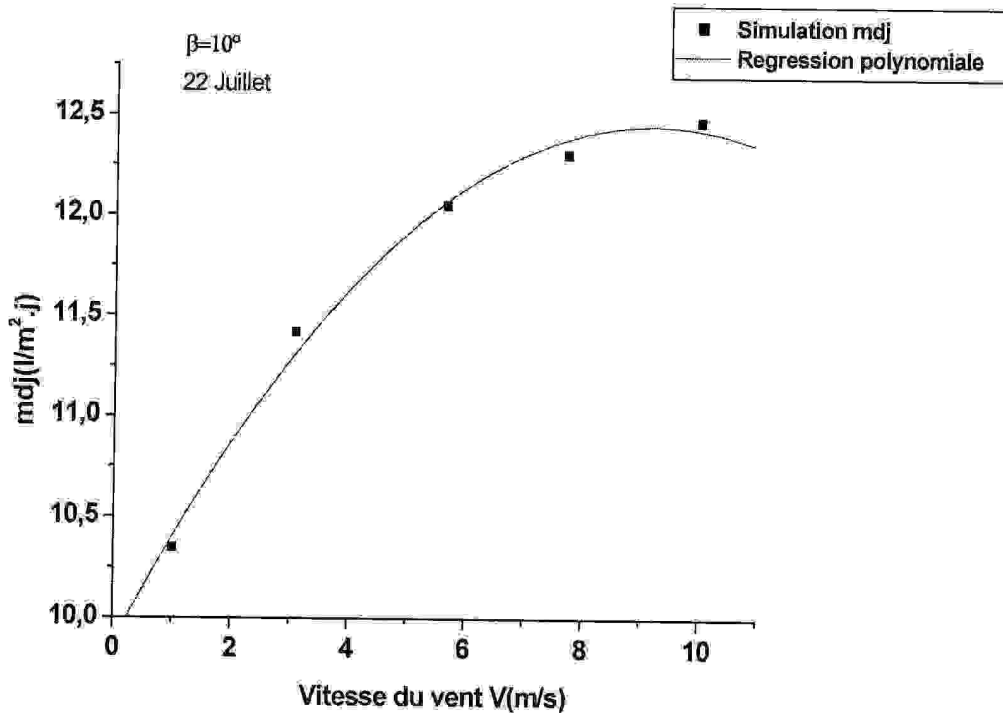
- Tge : $Y = -85,94112 + 20,46365x X - 0,70502x X^2$; $R^2 = 0,95363$; $P < 0.0001$
- Tgi : $Y = -95,71846 + 22,2094x X - 0,76522x X^2$; $R^2 = 0,95009$; $P < 0.0001$
- Tw : $Y = -114,07527 + 26,54742x X - 0,90808x X^2$; $R^2 = 0,98007$; $P < 0.0001$
- Tb : $Y = -45,47281 + 12,2454x X - 0,25193x X^2$; $R^2 = 0,97893$; $P < 0.0001$
- Tisi : $Y = -45,46671 + 12,24471x X - 0,25193x X^2$; $R^2 = 0,97892$; $P < 0.0001$
- Tise : $Y = -7,19052 + 6,64472x X - 0,22931x X^2$; $R^2 = 0,98533$; $P < 0.0001$

Figure V.4. Variation des températures des différents composants du distillateur solaire en fonction du temps.

L'évolution des températures des différents composants du distillateur avec le temps est parfaitement illustrée sur la figure V.4, plus l'intensité du rayonnement global augmente plus leurs valeurs sont élevées. On remarque que les températures intérieures des différents composants : les températures de la saumure (Tw), celles de l'absorbeur (Tb), de l'isolant intérieure (Tisi) et de la face intérieure de la vitre sont plus élevées, ceci s'explique par l'emprisonnement du rayonnement solaire à l'intérieur du distillateur ou se produit le phénomène d'évaporation –condensation d'une part et d' autre part par le degré d'absorption

du rayonnement solaire pour chacun des éléments du distillateur solaire . Par ailleurs, on trouve que les températures de la face extérieure de la vitre et celle de l'isolant sont les plus faibles, qui est due à leurs conductivités thermiques et aux propriétés optiques de ces éléments.

V.5. Influence de la vitesse du vent sur la production du distillateur solaire :



($eg = 0.003$, $\beta = 10^\circ$, $Lhw = 0.02$ m, $eb_{AL} = 0.05$ m, $eis_{Polyst} = 0.05$ m)

•Production Journalière (mdj) :

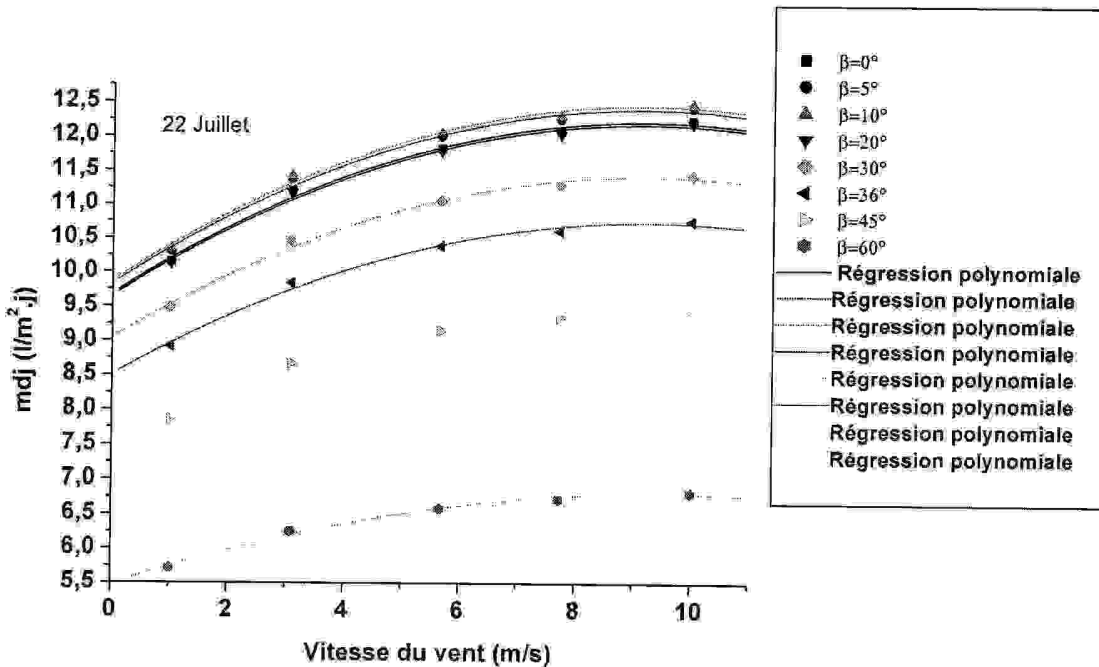
$$Y = 9,87118 + 0,56151 \times X - 0,0306 \times X^2 ; R^2 = 0,9924 ; P < 0,0076$$

Figure V. 5a. Variation de la production journalière en fonction de la vitesse du vent.

Parmi les agents climatiques qui ont une influence directe sur la production du distillateur solaire c'est la vitesse du vent, dans notre cas les valeurs prises sont celles de la journée de calcul (22 juillet en 2005, Journal de la météo underground, 2007). Comme la vitesse du vent constitue un fluide refroidisseur du condenseur, son augmentation entraîne l'augmentation du coefficient d'échange par convection qui fait diminuer la température (T_{ge}) de la face extérieure de la vitre et augmenter la production du distillateur, cela est remarqué sur (figure V.5a.). La production journalière (mdj) atteint sa valeur maximale avec

une plus grande vitesse ($V=10$ m/s). Ce résultat peut être vérifié dans le cas où on intègre la variation des différents angles d'inclinaison (figure. V.5b.). On constate que la production journalière atteint sa valeur maximale pour une vitesse du vent égale à 10m/s et un angle d'inclinaison égale à 10° .

Le résultat trouvé est en concordance avec plusieurs études réalisées auparavant [44-48] Ces chercheurs ont constaté que la production journalière augmente avec l'augmentation de la vitesse du vent jusqu'à une valeur critique de l'ordre de 10m/s, et au delà de cette valeur la croissance de la production devient insignifiante.

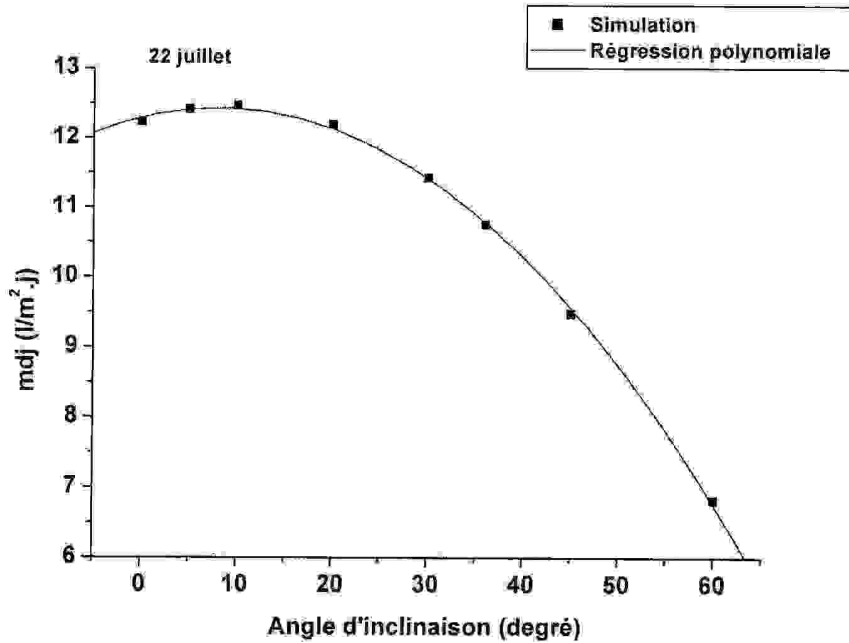


$$L_{hw}=0.02 \text{ m, } e_g=0.003 \text{ m, } e_{b_{AI}}=0.05\text{m, } e_{is_{polyst}}=0.05\text{m}$$

- mdj (pour $\beta=0^\circ$): $Y = 9,68462 + 0,55053x X - 0,02996x X^2$; $R^2 = 0,99242$; $P < 0,00758$
- mdj (pour $\beta=5^\circ$): $Y = 9,82894 + 0,55882X - 0,03044x X^2$; $R^2 = 0,99241$; $P < 0,00759$
- mdj (pour $\beta=10^\circ$): $Y = 9,87118 + 0,56151 X - 0,0306 x X^2$; $R^2 = 0,9924$; $P < 0,0076$
- mdj (pour $\beta=20^\circ$): $Y = 9,65038 + 0,5498 X - 0,02994 x X^2$; $R^2 = 0,99241$; $P < 0,00759$
- mdj (pour $\beta=30^\circ$): $Y = 9,04074 + 0,51515 X - 0,02799 x X^2$; $R^2 = 0,99246$; $P < 0,00754$
- mdj (pour $\beta=36^\circ$): $Y = 8,50645 + 0,48338 X - 0,02619 x X^2$; $R^2 = 0,99252$; $P < 0,00748$
- mdj (pour $\beta=45^\circ$): $Y = 7,50683 + 0,42077 X - 0,02267 x X^2$; $R^2 = 0,99266$; $P < 0,00734$
- mdj (pour $\beta=60^\circ$): $Y = 5,47708 + 0,28102 X - 0,01489 x X^2$; $R^2 = 0,99329$; $P < 0,00671$

Figure V.5b Variation de la production journalière en fonction de la vitesse du vent pour les différents angles d'inclinaison.

V.6. Influence de l'angle d'inclinaison sur la production journalière :

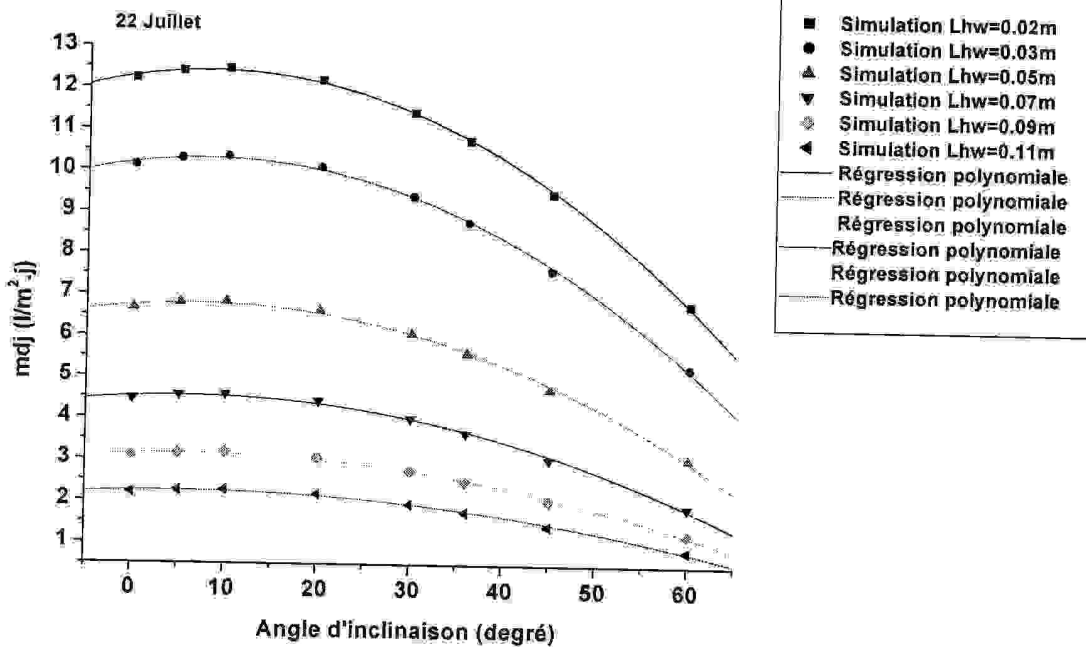


$e_g = 0.003 \text{ m}$, $V = 10 \text{ m/s}$, $L_{hw} = 0.02 \text{ m}$, $eb_{\Delta l} = 0.05 \text{ m}$, $e_{is_{polyst}} = 0.05 \text{ m}$

• Production journalière (mdj):

$$Y = 12,29331 + 0,03381 \times X - 0,0021 \times X^2 ; R^2 = 0,99921 ; P < 0.0001$$

Figure V.6a. Variation de la production journalière en fonction de l'angle d'inclinaison



$$e_g = 0.003\text{m}, V = 10\text{m/s}, e_{bAL} = 0.05\text{m}, e_{is_{polyst}} = 0.05\text{m}$$

• mdj (pour Lhw=0.02m) :

$$Y = 12,29331 + 0,03381 \times X - 0,0021 \times X^2; R^2 = 0,99921; P < 0.0001$$

• mdj (pour Lhw=0.03m) :

$$Y = 10,2003 + 0,02816 \times X - 0,00185 \times X^2; R^2 = 0,99884; P < 0.0001$$

• mdj (pour Lhw=0.05m) :

$$Y = 6,7386 + 0,01689 \times X - 0,00131 \times X^2; R^2 = 0,99768; P < 0.0001$$

• mdj (pour Lhw=0.07m) :

$$Y = 4,52666 + 0,00974 \times X - 9,00633 \cdot 10^{-4} \times X^2; R^2 = 0,99646; P < 0.0001$$

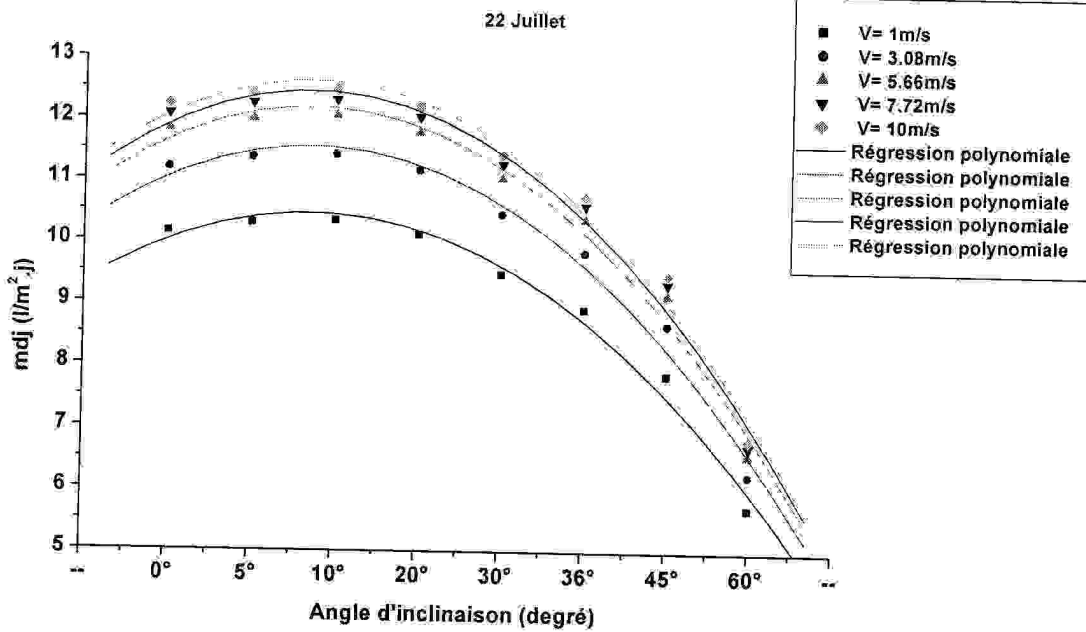
• mdj (pour Lhw=0.09m) :

$$Y = 3,14115 + 0,00573 \times X - 6,28529 \cdot 10^{-4} \times X^2; R^2 = 0,99539; P < 0.0001$$

• mdj (pour Lhw=0.11m) :

$$Y = 2,24825 + 0,00386 \times X - 4,58424 \cdot 10^{-4} \times X^2; R^2 = 0,995; P < 0.0001$$

Figure V.6b. Variation de la production journalière en fonction de l'angle d'inclinaison avec les différentes profondeurs d'eau du bassin.



$$L_{hw} = 0.02 \text{ m}, e_g = 0.003 \text{ m}, e_{b_{Al}} = 0.05 \text{ m}, e_{is_{polyst}} = 0.05 \text{ m}$$

•Prod.Jour (mdj), pour $V=1 \text{ m/s}$:

$$Y = 8,3193 + 1,16297 \times X - 0,15786 \times X^2 ; R^2 = 0,9839 ; P < 0.0001$$

•Prod.Jour (mdj), pour $V=3.08 \text{ m/s}$:

$$Y = 9,13896 + 1,30545 \times X - 0,17666 \times X^2 ; R^2 = 0,98306 ; P < 0.0001$$

•Prod.Jour (mdj), pour $V=5.66 \text{ m/s}$:

$$Y = 9,62825 + 1,38634 \times X - 0,18737 \times X^2 ; R^2 = 0,98266 ; P < 0.0001$$

•Prod.Jour (mdj), pour $V=7.72 \text{ m/s}$:

$$Y = 9,82973 + 1,417 \times X - 0,1914 \times X^2 ; R^2 = 0,98246 ; P < 0.0001$$

•Prod.Jour (mdj), pour $V=10 \text{ m/s}$:

$$Y = 9,961 + 1,43475 \times X - 0,19374 \times X^2 ; R^2 = 0,9823 ; P < 0.0001$$

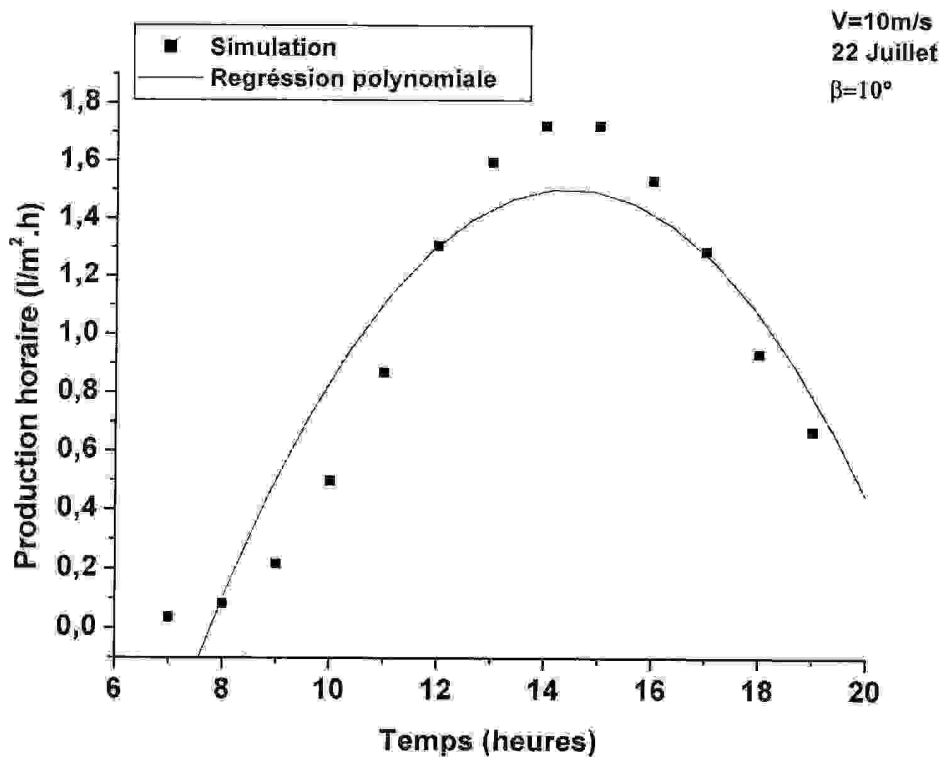
Figure V.6c Variation de la production journalière en fonction de l'angle d'inclinaison pour les différentes vitesses du vent.

L'angle d'inclinaison du distillateur solaire est limité par la surface de la vitre et la surface de l'absorbeur. Dans ce cadre, nous avons étudié la variation de l'angle d'inclinaison et son influence sur la production journalière du distillateur solaire. On constate que la production commence à augmenter à partir de $\beta = 0^\circ$, et atteint la valeur critique pour $\beta = 10^\circ$ (figure V.6a). Pour tester la variation de la production en fonction de l'angle d'inclinaison, on fait intervenir un autre paramètre variable (les différentes profondeurs de l'eau du bassin et

un paramètre constant (la vitesse du vent égale à 10 m/s), on constate dans un premier lieu, que la production journalière commence à augmenter à partir de l'angle $\beta = 0^\circ$ avec les différentes profondeurs de l'eau du bassin, en atteignant leurs sommet avec un angle d'inclinaison égale à 10° (figure V.6b.), mais la plus grande valeur enregistrée de la production journalière (mdj) correspond à un angle d'inclinaison $\beta=10^\circ$ et une profondeur minimale de 0.02m. Au delà d'un angle $\beta>10^\circ$, La production journalière commence à se dégrader et atteint sa valeur minimale à un angle d'inclinaison $\beta =60^\circ$, et par conséquent la plus grande valeur de la profondeur de l'eau du bassin est de (0.11m). Dans un autre cas, on a pris comme paramètre variable avec l'angle d'inclinaison, la vitesse du vent, on constate que la production journalière atteint le maximum avec un angle d'inclinaison égale à 10° et une vitesse du vent égale à 10 m/s.

On tire conclusion qu'avec les valeurs respectivement de l'angle d'inclinaison égale à 10° et pour une profondeur minimale de l'eau de bassin égale à 0.02m et une vitesse du vent optimale égale à 10 m/s (figure V.6c.), on obtient la meilleure production journalière du distillateur solaire. Ce résultat est en conformité avec plusieurs études expérimentales réalisées [49] sur un distillateur solaire testé en période estivale pour un angle d'inclinaison égale à 10° , la production journalière est au maximum.

V.7 Variation de la production horaire (md) en fonction du temps:



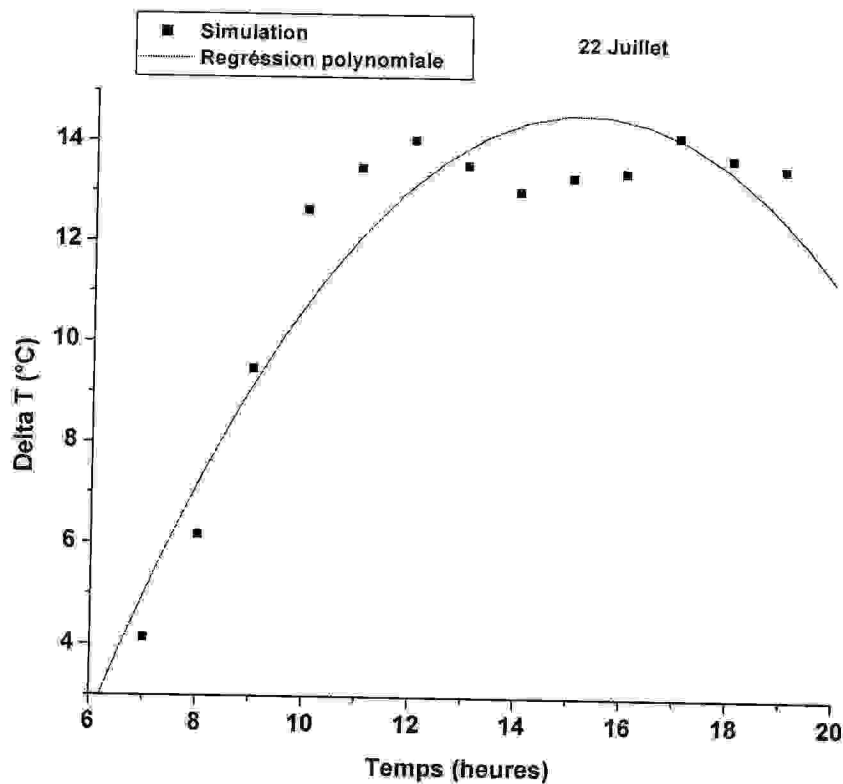
$$e_g = 0.003, \beta = 10^\circ, V = 10 \text{ m/s}, e_{b_{AL}} = 0.05 \text{ m}, e_{i_{s_{Polyst}}} = 0.05 \text{ m}$$

$$\bullet \text{Production horaire (md)} : Y = -5,56208 + 0,97988 \times X - 0,03397 \times X^2 ; R^2 = 0,87077 ; P < 0.0001$$

Figure V.7. Variation de la production horaire en fonction du temps.

La variation de la production horaire en fonction du temps de la journée est illustrée dans sur la figure V.7. Elle est prise pour les valeurs optimales de $\beta = 10^\circ$, $V = 10 \text{ m/s}$, et $L_{hw} = 0.02 \text{ m}$. On constate que cette production augmente avec le temps et atteint les valeurs maximales sous l'influence du rayonnement solaire incident qui atteint son maximum entre 12 et 15 heures.

V.8. Variation de la différence de température $\Delta T(T_w - t_{gi})$ en fonction du temps :

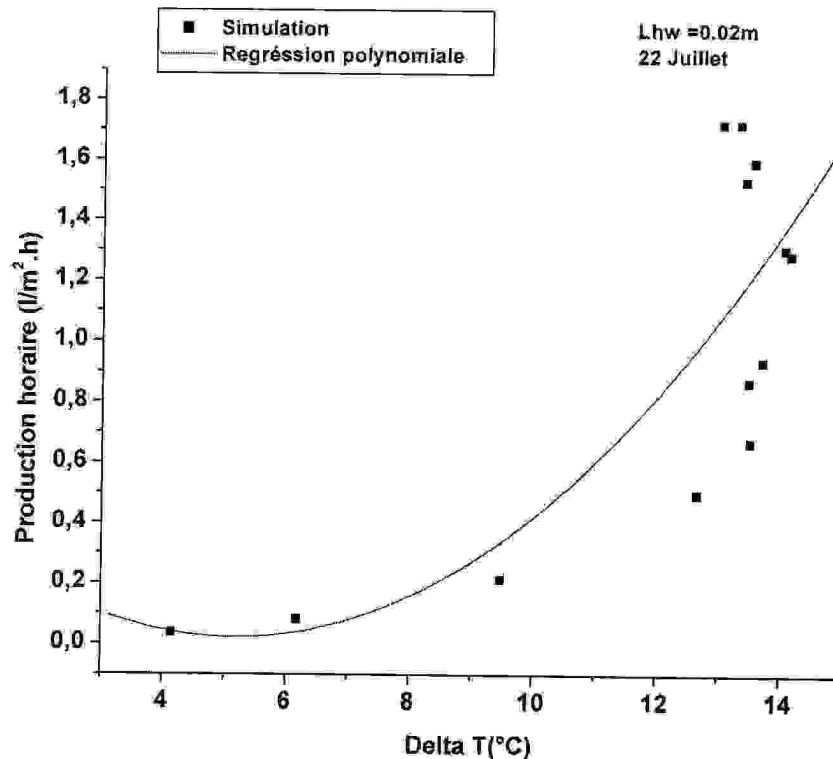


$$e_g = 0.003 \text{ m}, V = 10 \text{ m/s}, \beta = 10^\circ, L_{hw} = 0.02 \text{ m}, L_{b_{AL}} = 0.05 \text{ m}, e_{i_{\text{Polyst}}} = 0.05 \text{ m}$$

$$\bullet \Delta T: Y = -18,35742 + 4,33832 \times X - 0,14287 \times X^2; R^2 = 0,88759; P < 0.0001$$

Figure V.8 Variation de la différence de température (ΔT) en fonction du temps.

L'écart de température $\Delta T(T_w - T_{gi})$ entre respectivement l'eau de bassin et la face intérieure de la vitre varie sensiblement au fur et mesure avec le temps. Son augmentation est due à la valeur de l'intensité globale du rayonnement solaire. On constate que l'écart ΔT atteint la valeur maximale entre 11 h et 15 heures, à partir de ce temps le rayonnement solaire commence à diminuer et la courbe de ΔT commence à descendre progressivement (Figure V.8).

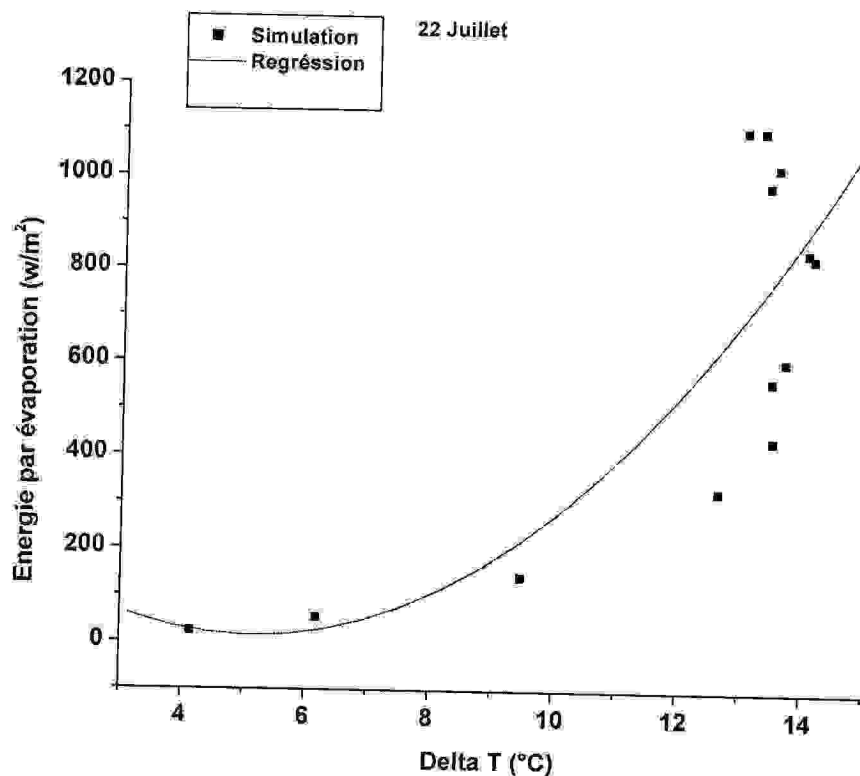
V.9. Influence de la différence de température ΔT sur la production horaire :

$e_g = 0.003m$, $V=10m/s$, $\beta = 10^\circ$, $L_{hw}=0.02m$, $e_{b_{AL}}=0.05m$, $e_{i_{Polyst}}=0.05m$

• md: $Y = 0,47955 - 0,17743 \times X + 0,01713 \times X^2$; $R^2 = 0,6153$; $P = 0,00843$

Figure V.9 Variation de la production horaire en fonction de ΔT .

Pour une profondeur minimum de l'eau de bassin et un angle optimum d'inclinaison égale à 10° , l'intensité du rayonnement solaire atteint sa valeur maximum surtout entre 11h et 15 heures. Dans ce cas, les transferts de chaleur par rayonnement, par convection et par évaporation peuvent être accomplies en même temps. Tous ces facteurs réunies tendent possible l'augmentation de la production horaire (md) du distillateur solaire avec l'augmentation de l'écart de température entre l'eau du bassin et celle de la face intérieure de la vitre. On constate que la production horaire croît progressivement avec l'augmentation de ΔT (figure V.9), elle paraît plus faible au début de la mise en marche du distillateur (pendant la matinée) par la suite elle atteint ses valeurs maximum suivies d'une importante production de l'énergie par évaporation.

V.10. Variation de l'énergie par évaporation en fonction de ΔT :

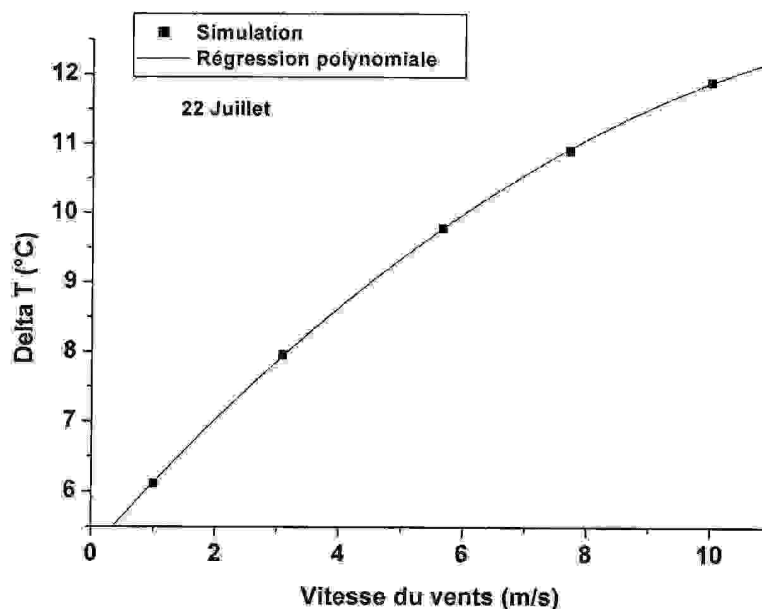
$e_g = 0.003\text{m}$, $\beta = 10^\circ$, $V = 10\text{m/s}$, $L_{hw} = 0.02\text{m}$, $e_{b_{AL}} = 0.05\text{m}$, $e_{is_{Polyst}} = 0.05\text{m}$

• Q^{ev}_{wg} : $Y = 306,3094 - 113,04457 \times X + 10,9624 \times X^2$; $R^2 = 0,62307$; $P = 0,00761$

Figure V.10. Variation de l'énergie par évaporation en fonction de la différence de température ΔT .

Lorsque l'intensité du rayonnement solaire atteint son maximum entre 11h et 15 heures, il se produit à l'intérieur du distillateur solaire deux phénomènes physiques, en l'occurrence le phénomène de l'évaporation de l'eau de bassin qui est lié à la température de l'eau (T_w) et le phénomène de condensation sur la face interne de la vitre qui est lié à la température (T_{gi}). Si on veut convertir ces deux phénomènes, on les conçoit avec une différence de température $\Delta T(T_w - T_{gi})$, qui est considérée comme un élément essentiel dans la détermination de la quantité de chaleur par évaporation (Q^{ev}_{wg}), il est proportionnelle à sa valeur. On constate que la quantité de chaleur par évaporation augmente avec l'augmentation de ΔT . Ce résultat est obtenu avec des valeurs optimales de l'angle d'inclinaison ($\beta = 10^\circ$) et de la vitesse du vent $V = 10\text{ m/s}$ et avec une profondeur de l'eau égale à 0.02m (figure V.10).

V.11. Variation de la différence de température $\Delta T = (T_w - t_{gi})$ en fonction de la vitesse du vent :



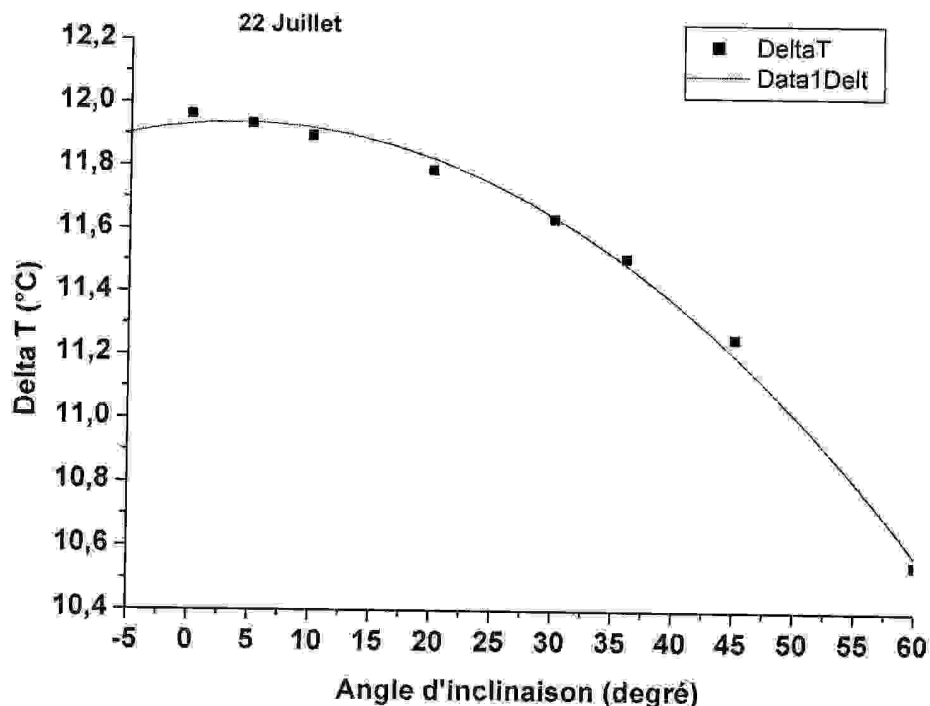
$$e_g = 0.003\text{m}, \beta = 10^\circ, L_{hw} = 0.02\text{m}, e_{b_{Al}} = 0.05\text{m}, e_{i_{S_{polyst}}} = 0.05\text{m}$$

$$\Delta T: Y = 5,153 + 1,00641 \times X - 0,03334 \times X^2; R^2 = 0,99993; P < 0.0001$$

Figure V.11 Variation de ΔT en fonction de la vitesse du vent.

On constate que l'écart de température ΔT est une fonction de la vitesse du vent, ou pour des valeurs élevées de ΔT , il lui correspond des valeurs élevées de la vitesse du vent, on aura par conséquent une augmentation de la production horaire du distillateur solaire (figure V.11). La vitesse du vent constitue un agent extérieur qui joue le rôle d'un refroidisseur du capteur, pour une évaporation maximum de l'eau du bassin qui est subordonnée à une température (T_w) élevée, on aura en face un important écoulement du distillat sur la face intérieure de la vitre avec une température (T_{gi}), qui est un phénomène de condensation. Ce phénomène ne peut être accompli qu'avec l'influence de ce facteur extérieur, on conclut que la différence de température entre l'eau du bassin la vitre croît avec l'accroissement de la vitesse du vent, ce résultat est conformes aux différentes études réalisées auparavant [44, 50].

V.12. Variation de la différence de température $\Delta T = (T_w - T_{gi})$ en fonction de l'angle d'inclinaison β :



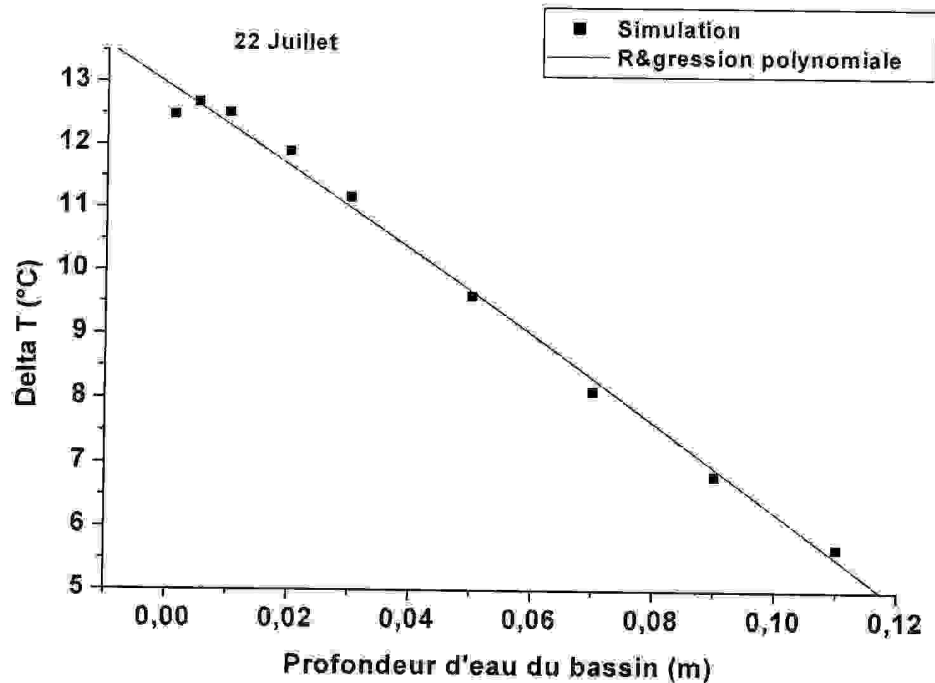
$$e_g = 0.003\text{m}, V = 10\text{m/s}, L_{hw} = 0.02\text{m}, e_{b_{AI}} = 0.05\text{m}, e_{i_{s_{polyst}}} = 0.05\text{m}$$

$$\Delta T: Y = 11,93144 + 0,00328 \times X - 0,0043168 \times X^2 ; R^2 = 0,99583; P = 3,14134 \times 10^{-4}$$

Figure V.12. Variation de ΔT en fonction de l'angle d'inclinaison

L'augmentation de la production du distillateur solaire est subordonnée non seulement au facteur évaporation qui est lié à l'augmentation de ΔT , mais aussi à l'angle d'inclinaison β . On peut constater que la valeur de ΔT est au maximum lorsque l'angle d'inclinaison optimale est égal à 10° (figure V.12). La valeur de ΔT diminue avec l'augmentation de la valeur de β par la suite.

V.13. Variation de la différence de température ΔT ($T_w - T_{gi}$) en fonction de la profondeur de l'eau du bassin :



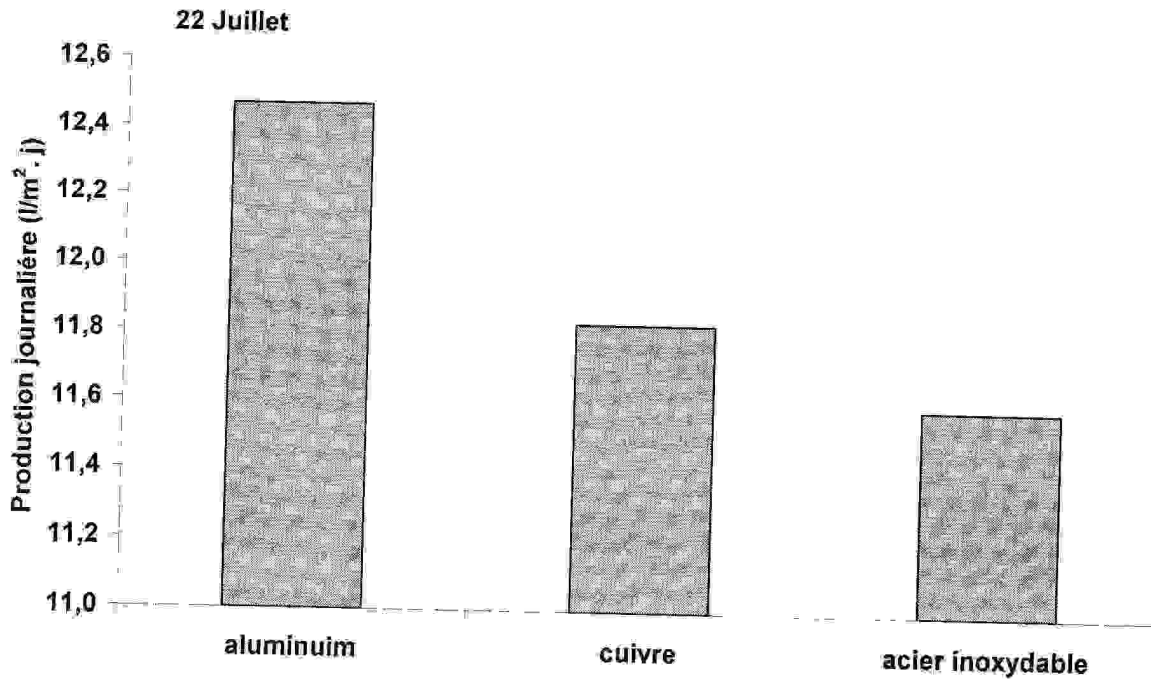
$$eg = 0.003\text{m}, V=10\text{m/s}, \beta = 10^\circ, eb_{AI} = 0.05\text{ m}, eis_{polyst} = 0.05\text{m}$$

$$\Delta T: Y = 12,95329 - 64,00086 \times X - 32,25796 \times X^2; R^2 = 0,99348; P < 0.0001$$

Figure V.13. Variation de ΔT en fonction de la profondeur d'eau du bassin

L'inertie thermique est grande lorsque la profondeur de l'eau du bassin est importante. Ainsi pour diminuer cette inertie, on doit diminuer la profondeur de l'eau (L_{hw}), ce qui aboutit directement à l'augmentation de ΔT , ou on aura une meilleure évaporation et une meilleure production, on constate aussi que la valeur de ΔT décroît avec l'augmentation de L_{hw} (figure V.13).

V.14. Influence de la nature de l'absorbeur sur la production du distillateur solaire :



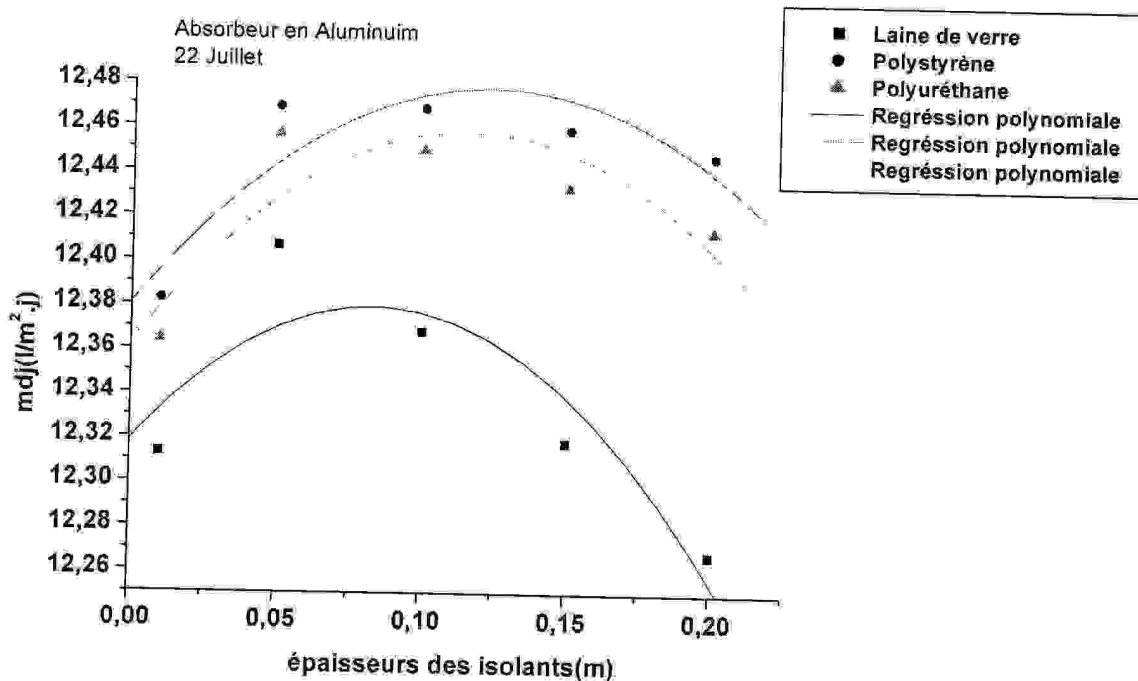
$$e_g = 0.003\text{m}, V=10\text{m/s}, \beta = 10^\circ, L_{hw} = 0.02\text{m}, e_{is_{polyst}} = 0.05\text{m}$$

Figure V.14. Influence de la nature du matériel de l'absorbeur sur la production journalière.

Dans l'étude comparative portant sur l'influence sur la production journalière de trois matériaux différents composant l'absorbeur: l'aluminium, le cuivre et de l'acier inoxydable, dont leur caractéristiques se différent. On constate que l'aluminium avec ses qualités physiques donne les meilleurs résultats (figure V.14). L'utilisation de l'aluminium comme matériau composant l'absorbeur fait augmenter la production journalière du distillat(eau distillée) surtout lorsqu'il est émaillé par une couche sélective (noir de nickel), suivie par celle du cuivre puis celle de l'acier inoxydable qui vient en dernier. Ce résultat peut être observé dans les tableaux énumérés de (V.7 à V.9), ou nous avons variés les épaisseurs des absorbeurs cités avec notamment les épaisseurs des isolants utilisés dans notre étude, nous avons constatés que la meilleur production journalière est celle de l'absorbeur en aluminium, avec une épaisseur égale à 0.05 m, inférieure à cette valeur, nous avons obtenue une production journalière plus importante, mais elle est insignifiante puisque les températures des différents composants deviennent très élevées et inacceptable.

El Hinaï et al. (2002) [37] ont indiqué dans une étude similaire sur un distillateur solaire à double exposition que l'aluminium est le matériau le mieux placé pour donner un rendement plus élevé que l'acier et le cuivre.

V.15. Influence des caractéristiques thermo physiques de l'isolant sur la production du distillateur solaire :



$$e_g=0.003, L_{hw}=0.02m, e_{b_{AL}}=0.05m, V=10 \text{ m/s}, \beta=10^\circ$$

•Production journalière (mdj) Laine de verre :

$$Y = 12,31849 + 1,47254 \times X - 8,91529 \times X^2; \quad R^2 = 0,79615; \quad P = 0,20385$$

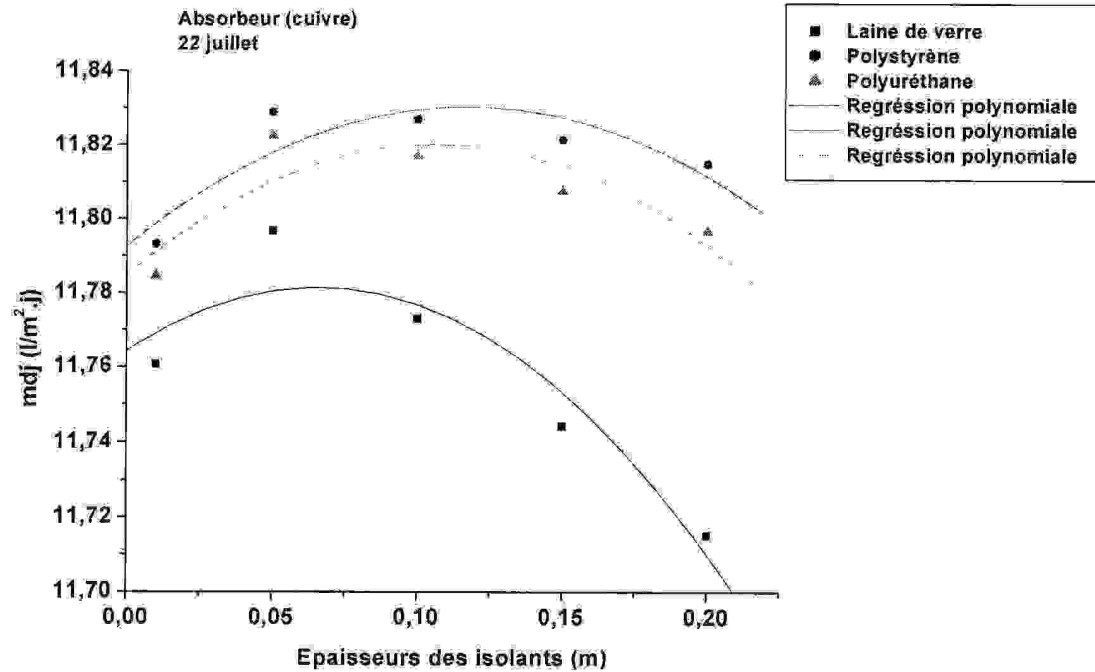
•Production journalière (mdj) Polystyrène :

$$Y = 12,38074 + 1,57563 \times X - 6,41516 \times X^2; \quad R^2 = 0,786; \quad P = 0,214$$

•Production journalière (mdj) Polyuréthane :

$$Y = 12,36306 + 1,65377 \times X - 7,22928 \times X^2; \quad R^2 = 0,74103; \quad P = 0,25897$$

Figure V. 15a. Variation de la production journalière en fonction des épaisseurs des isolants pour un absorbeur en aluminium.



$$eg=0.003, Lhw=0.02m, eb_{Cu}=0.05m, V=10 \text{ m/s}, \beta=10^\circ$$

•Production journalière (mdj) Laine de verre :

$$Y = 11,76429 + 0,51972 \times X - 3,95355 \times X^2; \quad R^2 = 0,87821; P = 0,12179$$

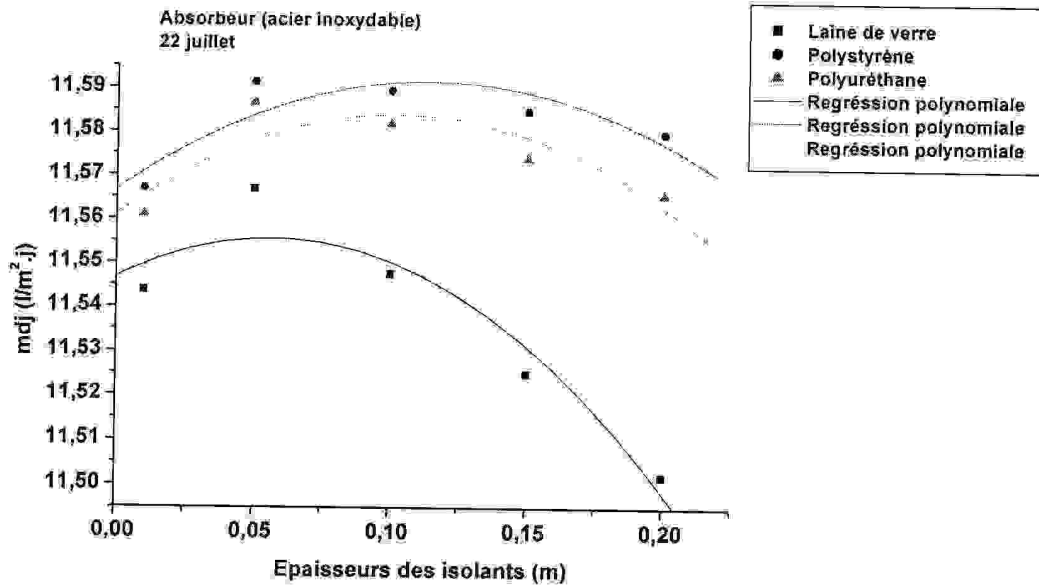
•Production journalière (mdj) Polystyrène :

$$Y = 11,79261 + 0,64338 \times X - 2,74781 \times X^2; \quad R^2 = 0,75328; P = 0,24672$$

•Production journalière (mdj) Polyuréthane :

$$Y = 11,78472 + 0,66426 \times X - 3,11968 \times X^2; \quad R^2 = 0,71773; P = 0,28227$$

Figure V.15b. Variation de la production journalière en fonction des épaisseurs des isolants pour un absorbeur en cuivre.



$$e_g=0.003, L_{hw}=0.02\text{m}, e_{b_{AC}}=0.05\text{m}, V=10\text{ m/s}, \beta=10^\circ$$

•Production journalière (mdj) Laine de verre :

$$Y = 11,54678 + 0,31079 \times X - 2,75913 \times X^2; R^2 = 0,90699; P = 0,09301$$

•Production journalière (mdj) Polystyrène :

$$Y = 11,56668 + 0,43642 \times X - 1,91554 \times X^2; R^2 = 0,73819; P = 0,26181$$

•Production journalière (mdj) Polyuréthane :

$$Y = 11,56117 + 0,4443 \times X - 2,17801 \times X^2; R^2 = 0,71907; P = 0,28093$$

Figure V.15c. Variation de la production journalière en fonction des épaisseurs des isolants pour un absorbeur en acier inoxydable.

Pour observer l'influence de la nature du matériel de l'isolant sur la production journalière du distillateur solaire, nous avons testé trois types d'isolant qui sont : la laine de verre, le polystyrène et le polyuréthane. Après avoir simulé les trois types d'isolant dans les conditions optimales obtenues avec : ($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $L_{hw}=0.02\text{ m}$ et $e_b=0.05\text{m}$), tout en variant à chaque fois les mêmes épaisseurs des isolants et en fixant à chaque fois un absorbeur qui soit constitué en aluminium, en cuivre ou en acier inoxydable, nous avons constatés ce qui suit :

a) La meilleure production journalière obtenue est celle qui correspond à une épaisseur égale à 0.05m , ce résultat est valable pour les différents isolant avec les différents absorbeur (figure V.15.a, figure V.15.b, figure V.15.c)

b) La valeur de la production journalière la plus élevée obtenue est celle qui correspond à une épaisseur égale à 0.05 m, lorsque le polystyrène est utilisé comme isolant quelque soit la nature de l'absorbeur.

c) Enfin, on conclut pour dire que d'après une comparaison faite entre les trois isolants avec notamment les trois absorbeurs considérées dans notre étude nous avons déduit que :

L'isolant en matière polystyrène est plus compatible avec l'absorbeur en aluminium, du fait qu'il donne la meilleure production journalière du distillateur solaire .Ces résultats sont énumérés dans les tableaux (de V.7 à V.9).

V.16. Tableaux relatifs aux résultats obtenus

Tableau V.1. Variation Temporelle de l'intensité du rayonnement solaire global

et des puissances absorbées en fonction du temps local (cas optimal).

($e_g=0,003m$, $L_{hw}=0,02m$, $e_{Al}=0,05m$, $e_{is_{polyst}}=0.05m$, $V=10m/s$, $\beta=10^\circ$); 22 Juillet

TL (h)	Ta(°C)	Tc(°C)	I _G (w/m ²)	Pw(w/m ²)	PG(w/m ²)	Pb (w/m ²)
7	28	15,2629463	171,34096	224,637095	9,41042134	161,989256
8	31	19,5832456	380,47515	574,637968	12,807349	360,53771
9	34	23,9249151	588,28390	908,137044	19,1450077	557,404153
10	36	26,831182	765,49059	1190,17524	25,1981892	725,254255
11	39	31,2082367	894,59915	1395,4337	29,7257995	847,542864
12	39	31,2082367	964,52963	1506,60529	32,1964084	913,778897
13	40	32,6719476	969,61027	1514,68247	32,3767976	918,582163
14	41	34,1379985	909,43581	1419,01977	30,24918	861,59572
15	40	32,6719476	788,86416	1227,3392	26,0133389	747,393267
16	40	32,6719476	618,11450	955,675489	20,141649	585,660292
17	38	29,7468696	413,53612	628,162884	13,7065306	391,863849
18	38	29,7468696	201,76222	277,272793	9,56707063	190,976353
19	36	26,831182	41,20965	11,5057535	5,90957603	34,7489253

On constate que les puissances (Pw, PG et Pb) augmentent avec l'augmentation du rayonnement solaire global (IG), qui atteint sa valeur maximale à 13 heures.

Tableau V.2. Variation temporelle des températures des différents composants du distillateur solaire à double exposition avec la variation de l'intensité du rayonnement solaire (IG), (Cas optimal)

($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $L_{hw}=0,02\text{ m}$, $e_g=0,003\text{m}$, $e_{b_{AL}}=0,05\text{m}$, $e_{is_{polyst}}=0,05\text{m}$) ; 22 juillet

TL(h)	Ta(C°)	I _G (w/m ²)	T _{ge} (°C)	T _{gi} (°C)	Tw(°C)	T _b (°C)	T _{isi} (°C)	T _{ise} (°C)
7	28	171,34	27,95	28,10	32,24	33,32	33,32	28,05
8	31	380,48	31,92	32,20	38,37	36,39	36,39	31,05
9	34	588,28	37,38	37,96	47,43	41,25	41,25	34,07
10	36	765,49	43,81	44,94	57,59	47,67	47,67	36,12
11	39	894,60	52,02	53,80	67,28	55,26	55,26	39,16
12	39	964,53	57,99	60,52	74,57	63,41	63,41	39,24
13	40	969,61	62,82	65,82	79,37	71,49	71,48	40,31
14	41	909,44	65,50	68,70	81,73	78,88	78,87	41,37
15	40	788,86	64,73	67,95	81,27	85,08	85,08	40,44
16	40	618,11	62,44	65,35	78,77	89,65	89,64	40,49
17	38	413,54	57,46	59,99	74,13	92,22	92,22	38,54
18	38	201,76	52,77	54,70	68,40	92,74	92,73	38,55
19	36	41,21	47,09	48,56	62,07	91,63	91,62	36,56

On constate que les températures des différents composants du distillateur solaire augmentent avec l'augmentation du rayonnement solaire global (IG), et atteignent leurs valeurs maximales à 14 heures. La température de l'eau (Tw) possède la plus grande valeur ce qui favorise le phénomène de l'évaporation, la température (Tise) de l'isolant possède la valeur minimale ce qui indique qu'il y a moins de pertes chaleur avec le polystyrène comme isolant.

Tableau V.3. Variation temporelle des propriétés de l'eau en fonction de la température de l'eau du bassin, dans les conditions optimales.

($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $L_{hw}=0,02\text{ m}$, $eg=0,003\text{m}$, $eb_{AL}=0,05\text{m}$, $eis_{polyst}=0,05\text{m}$), (22 juillet).

TL	Ta	Tw	ρ_w	λ_w	cp_w	Bd	μ_w	Lv	Prw	Prg
(h)	(C°)	(°C)	(kg/m ³)	(w/m.°C)	(j/kg.°C)	(1/°K)	(kg/m.s)	(j/kg)	(N/m ²)	(N/m ²)
7	28	32,244	995,154	0,62131	4177,78	498,19	769,52	2425213,91	4758,932	3775,198
8	31	38,371	993,035	0,62944	4178,42	548,16	675,99	2410616,32	6629,177	4747,089
9	34	47,431	989,320	0,64044	4180,92	614,67	565,65	2388871,05	10574,492	6485,750
10	36	57,593	984,433	0,65132	4184,85	682,82	481,58	2364249,95	17320,916	9327,736
11	39	67,28	979,180	0,66025	4189,35	743,99	440,56	2340556,37	26975,950	14458,650
12	39	74,57	974,914	0,66604	4193,53	787,97	434,88	2322581,69	37044,009	19859,631
13	40	79,369	971,985	0,66942	4196,98	815,71	442,95	2310680,06	45321,060	25277,137
14	41	81,734	970,512	0,67096	4198,96	828,92	450,39	2304794,29	49957,128	28730,090
15	40	81,267	970,802	0,67066	4198,55	826,35	448,75	2305950,68	49016,131	27797,756
16	40	78,769	972,353	0,66902	4196,51	812,33	441,44	2312157,34	44216,032	24759,718
17	38	74,13	975,172	0,66572	4193,26	785,43	434,61	2323646,88	36369,898	19382,197
18	38	68,398	978,535	0,6612	4189,93	750,92	438,26	2337779,82	28359,575	15104,567
19	36	62,07	982,063	0,65564	4186,83	711,55	457,82	2353293,61	21337,461	11194,636

On constate que les valeurs des propriétés de l'eau augmentent avec l'augmentation de la température de l'eau. Elle atteint sa valeur maximale à 14 heures.

Tableau V.4. Variation temporelle de la production horaire (md) en fonction de la température de l'eau du bassin avec la variation des quantités de chaleur évaporées et quantités de chaleur reçues.

($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $L_{hw}=0,02\text{ m}$, $eg=0,003\text{m}$, $eb_{AL}=0,05\text{m}$, $eis_{polyst}=0,05\text{m}$), (22 juillet)

TL (h)	Ta(C°)	IG (w/m ²)	Tw(°C)	md (l/m ² .h)	Qw (w/h)	Qévwg(w)
7	28	171,341	32,2437	0,03648586	145,88	24,58
8	31	380,4752	38,3714	0,08204337	323,94	54,94
9	34	588,2839	47,4306	0,2158883	500,86	143,26
10	36	765,4906	57,5928	0,49783848	651,74	326,95
11	39	894,5992	67,2802	0,86871058	761,66	564,80
12	39	964,5296	74,57	1,3049927	821,20	841,93
13	40	969,6103	79,3694	1,59542631	825,53	1024,03
14	41	909,4358	81,7341	1,72206184	774,29	1102,50
15	40	788,8642	81,2674	1,72144649	671,64	1102,66
16	40	618,1145	78,7691	1,5331418	526,26	984,68
17	38	413,5361	74,1302	1,28615957	352,08	830,16
18	38	201,7622	68,3977	0,93477179	171,78	607,03
19	36	41,20965	62,0702	0,66983173	35,09	437,86

On constate que la production horaire (md) augmente avec l'augmentation de la température de l'eau du bassin pour des quantités de chaleur reçue et évaporées élevées. La production horaire maximale est enregistrée à 14 heures.

Tableau V.5. Variation temporelle de l'efficacité et du facteur de performance horaire ($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $L_{hw}=0,02\text{ m}$, $eg=0,003\text{m}$, $L_{b_{AL}}=0,05\text{m}$, $e_{is_{polyst}}=0,05\text{m}$), (22 juillet)

TL (h)	Ta(C°)	IG(w/m2)	ng(%)	η_i (%)	FPH(%)
7	28	171,341	2,56	3,00	0,45916721
8	31	380,4752	1,15	1,35	0,20677869
9	34	588,2839	0,74	0,87	0,13373501
10	36	765,4906	0,57	0,67	0,10277612
11	39	894,5992	0,49	0,57	0,08794347
12	39	964,5296	0,45	0,53	0,08156738
13	40	969,6103	0,45	0,53	0,08113997
14	41	909,4358	0,48	0,57	0,08650875
15	40	788,8642	0,56	0,65	0,09973092
16	40	618,1145	0,71	0,83	0,12728087
17	38	413,5361	1,06	1,24	0,19024735
18	38	201,7622	2,17	2,55	0,389935
19	36	41,20965	10,63	12,48	1,90911964

Les valeurs de l'efficacité globale, internes et celles du facteur de performance horaire sont faibles, au cours de la journée, tandis que pendant la matinée et le soir leurs valeurs sont élevées. En ce moment, l'intensité du rayonnement solaire atteint ses valeurs minimales à cause de la conservation de l'eau du bassin d'une quantité de chaleur qui est due à l'effet de l'inertie thermique.

On constate aussi que l'efficacité interne est plus élevée que l'efficacité globale, cela est due à l'intensité du rayonnement global absorbée par la vitre et la saumure.

Tableau V.6. Variation temporelle des coefficients d'échange de chaleur dépendant de la température.

($\beta=10$, $V=10\text{m/s}$, $L_{hw}=0,02\text{m}$, $e_g=0,003\text{m}$, $e_{b_{AL}}=0,05\text{m}$, $e_{is_{polyst}}=0.05\text{m}$), (22 juillet)

	IG	Tge	Tgi	Tw	Tb	hrga	hrwg	hcwg	hévwg	hcbw
TL(h)	w/m ²	°C	°C	°C	°C	w/m ² .°C	w/m ² .°C	w/m ² .°C	w/m ² .°C	w/m ² .°C
7	171,3	27,950	28,105	32,244	33,316	4,932	5,688	1,535	5,938	1,816
8	380,5	31,925	32,199	38,371	36,394	5,143	5,981	1,793	8,900	2,229
9	588,3	37,380	37,958	47,431	41,248	5,400	6,423	2,152	15,123	3,170
10	765,5	43,810	44,944	57,593	47,671	5,654	6,962	2,513	25,848	3,789
11	894,6	52,016	53,798	67,280	55,259	6,010	7,577	2,773	41,891	4,129
12	964,5	57,992	60,521	74,570	63,414	6,187	8,064	3,011	59,930	4,108
13	969,6	62,817	65,819	79,369	71,489	6,375	8,428	3,140	75,570	3,772
14	909,4	65,498	68,698	81,734	78,879	6,501	8,621	3,192	84,576	2,923
15	788,9	64,733	67,949	81,267	85,083	6,434	8,577	3,193	82,792	3,142
16	618,1	62,440	65,352	78,769	89,652	6,364	8,390	3,110	73,389	4,088
17	413,5	57,460	59,987	74,130	92,223	6,130	8,031	3,003	58,697	4,633
18	201,8	52,766	54,697	68,398	92,739	5,991	7,646	2,814	44,306	4,940
19	41,21	47,086	48,560	62,070	91,628	5,747	7,227	2,653	32,410	5,080

Les coefficients d'échanges par rayonnement, par convection augmentent légèrement pendant toute la journée avec l'augmentation des températures Tge, Tgi, Tw et Tb des différents composants du distillateur solaire, éxépté les valeurs du coefficient d'échange par évaporation qui sont faibles au début de la mise en marche du distillateur, au fur et à mesure avec temps lorsque l'intensité du rayonnement solaire augmente, l'eau du bassin s'échauffe et sa température augmente, ce qui produit en conséquence une évolution des valeurs du coefficient d'échange par évaporation (hévwg), qui atteint sa valeur maximale avec la plus grande valeur de la température de l'eau (Tw) à 14 heures.

Tableau V.7. Effet de la variation de l'épaisseur de l'absorbeur avec la variation de l'épaisseur de l'isolant en polystyrène sur la production journalière (mdj).
($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $l_{hw}=0,02\text{m}$)

Tableau V.7a. Cas d'un absorbeur en aluminium

Epaisseur de l'absorbeur en aluminium (m)	Epaisseur de l'isolant en polystyrène (m)				
	0,01	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	16,76029	18,17839	18,27751	18,22086	18,12547
0,05	12,38269	12,46879	12,46817	12,45868	12,44706
0,1	11,39349	11,41140	11,40953	11,40577	11,40154
0,15	10,97233	10,97867	10,97718	10,97497	10,97258
0,2	10,73829	10,74034	10,73913	10,73762	10,73605

Tableau V.7b. Cas d'un absorbeur en cuivre

Epaisseur de l'absorbeur en cuivre (m)	Epaisseur de l'isolant en polystyrène (m)				
	0,01	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	15,65492	16,59770	16,64798	16,59717	16,52182
0,05	11,79310	11,82880	11,82689	11,82126	11,81474
0,1	10,99511	11,00195	11,00045	10,99816	10,99568
0,15	10,67351	10,67466	10,67354	10,67221	10,67083
0,2	10,50227	10,50168	10,50078	10,49988	10,49897

Tableau V.7c. Cas d'un absorbeur en acier inoxydable

Epaisseur de l'absorbeur en acier inoxydable (m)	Epaisseur de l'isolant en polystyrène (m)				
	0,01	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	15,11301	15,86000	15,89447	15,84957	15,78558
0,05	11,56689	11,59130	11,58936	11,58484	11,57969
0,1	10,84744	10,85121	10,84986	10,84805	10,84612
0,15	10,56693	10,56687	10,56588	10,56483	10,56376
0,2	10,41932	10,41824	10,41747	10,41675	10,41604

Tableau V.8. Effet de la variation de l'épaisseur de l'absorbeur avec la variation de l'épaisseur de l'isolant en laine de verre sur la production journalière (mdj).
($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $l_{hw}=0,02\text{m}$)

Tableau V.8a. Cas d'un absorbeur en aluminium avec isolant en laine de verre

Epaisseur de l'absorbeur en aluminium (m)	Epaisseur de l'isolant en laine de verre (m)				
	0,01	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	15,906523	17,5055781	17,2940261	16,8917558	16,4737102
0,05	12,313173	12,4065635	12,3679514	12,3183439	12,2678127
0,1	11,375525	11,391736	11,3755746	11,3568374	11,3377744
0,15	10,964789	10,9683913	10,9587694	10,9481698	10,9374612
0,2	10,734815	10,734061	10,7274735	10,7205174	10,7135406

Tableau V.8b. Cas d'un absorbeur en cuivre avec l'isolant en laine de verre

Epaisseur de l'absorbeur en cuivre (m)	Epaisseur de l'isolant en laine de verre (m)				
	0,01	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	15,0484	16,1088	15,9212	15,6158	15,3056
0,05	11,7606	11,7966	11,7729	11,7443	11,7151
0,1	10,9871	10,9912	10,9813	10,9703	10,9592
0,15	10,6709	10,6693	10,6635	10,6574	10,6513
0,2	10,5015	10,4985	10,4944	10,4905	10,4865

Tableau V.8c. Cas d'un absorbeur en acier inoxydable avec l'isolant en laine de verre

Epaisseur de l'absorbeur en acier inoxydable (m)	Epaisseur de l'isolant en laine de verre (m)				
	0,01m	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	14,61839	15,4572876	15,2910703	15,0339325	14,7748249
0,05	11,543728	11,5668158	11,5476069	11,525029	11,5021073
0,1	10,842389	10,8432489	10,8353604	10,8268921	10,8184054
0,15	10,565622	10,5629601	10,5583419	10,5536934	10,5490988
0,2	10,419181	10,4158947	10,40782177	10,4096549	10,4066683

Tableau V9. Effet de la variation de l'épaisseur de l'absorbeur avec la variation de l'épaisseur de l'isolant en polyuréthane sur la production journalière (mdj).
($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $l_{hw}=0,02\text{m}$)

Tableau V.9a. Cas d'un absorbeur en aluminium avec l'isolant en polyuréthane.

Epaisseur de l'absorbeur en aluminium (m)	Epaisseur de l'isolant en polyuréthane (m)				
	0,01m	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	16,512862	18,0304795	18,08272	17,9604895	17,7973428
0,05	12,363974	12,4562616	12,449399	12,4325686	12,4135081
0,1	11,388867	11,4076451	11,4034066	11,3970105	11,3901103
0,15	10,970443	10,9767523	10,9738982	10,9702115	10,9663329
0,2	10,737458	10,7391978	10,7370676	10,7346066	10,7320718

Tableau V.9b. Cas d'un absorbeur en cuivre avec l'isolant en polyuréthane.

Epaisseur de l'absorbeur en cuivre (m)	Epaisseur de l'isolant en polyuréthane (m)				
	0,01m	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	15,481844	16,492076	16,5044587	16,404184	16,2786758
0,05	11,784603	11,8225322	11,8170153	11,8072973	11,796615
0,1	10,993096	10,9999553	10,9970283	10,99321	10,9891855
0,15	10,672902	10,6737024	10,6717656	10,6696045	10,6673941
0,2	10,502126	10,5011177	10,4996789	10,4982299	10,496782

Tableau V.9c. Cas d'un absorbeur en acier inoxydable avec l'isolant en polyuréthane

Epaisseur de l'absorbeur en acier inoxydable (m)	Epaisseur de l'isolant en polyuréthane (m)				
	0,01m	0,05	0,1	0,15	0,2
0,01	14,97283	15,7736736	15,775664	15,6893385	15,5835462
0,05	11,560865	11,586574	11,5817624	11,5740346	11,5656388
0,1	10,846191	10,8497369	10,8472784	10,8442857	10,8411752
0,15	10,566644	10,5661755	10,5645572	10,562865	10,5611624
0,2	10,419336	10,4178414	10,4166418	10,4155024	10,4143834

A partir des tableaux énumérés de (V.7 à V.9), on constate que les meilleures valeurs de la production journalière sont enregistrées pour une épaisseur de l'absorbeur qui soit en matière aluminium, en cuivre ou acier inoxydable est égale à 0.01 m avec les différentes épaisseurs des trois isolants considérés dans notre étude, mais ces valeurs de la production ne peuvent être maintenues, puisque les températures de certains composants du distillateur solaire sont très élevées (T_b et T_{isi} qui dépassent les 150°C), elles deviennent insignifiantes, dans ce cas l'épaisseur de l'absorbeur qui est valable pour notre système et qui donne une meilleure production journalière est celle de l'absorbeur en aluminium qui est égale à 0.05 m, en face celle de l'isolant en polystyrène qui est égale à 0.05m.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'utilisation de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau est devenue une nécessité pour parer aux problèmes de manque d'eau utilisées pour les besoins domestiques ou industriels surtout notre pays (Algérie), où les périodes d'ensoleillement sont disponibles durant toute l'année. Dans ce contexte, nous proposons un modèle de distillateur solaire dont la conception du capteur possède deux versants. Ce modèle peut capter le maximum de rayonnement solaire durant toute la journée avec une meilleure orientation, ce qui ramène à obtenir une meilleure production de l'eau distillée. Cette conception a été suivie par une optimisation des paramètres thermo physiques rentrant le schéma final du modèle souhaité, à l'aide d'une simulation numérique développée par le programme Matlab, et en tenant compte de toutes les données nécessaires. Ce programme nous a permis d'obtenir les résultats du modèle comme suit :

- L'augmentation de la différence de température entre le capteur et l'eau de bassin fait augmenter la production du distillateur solaire.
- La prise en compte de l'angle d'inclinaison s'avère justifiée ou avec une valeur optimale de ($\beta = 10^\circ$), on aura une meilleure production du distillateur solaire d'où la supposition d'un capteur horizontale est rejetée.
- La valeur idéale de la profondeur de l'eau de bassin est la valeur minimale ou pour notre cas, elle est égale à 0,02 m qui donne une meilleure production de l'eau distillée.
- Une vitesse du vent allant jusqu'à 10 m/s, influe directement sur l'augmentation de la production, et au delà de cette valeur, l'augmentation de la production devient insignifiante.
- L'absorbeur en aluminium donne une meilleure production de l'eau distillée, il doit être revêtu d'une couche noire épaisse afin de donner une meilleure absorption du rayonnement solaire.

- L'isolant doit être en Polystyrène qui limite les pertes de chaleur à travers la base ce qui permet d'augmenter la production. On peut aussi renforcer l'isolant avec un support métallique ou en bois.

Recommandations :

- Parallèlement à cette étude de simulation et pour pouvoir concrétiser ces résultats, il est recommandé de valider ces résultats avec une étude expérimentale.
- Une étude future qui tient compte des caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'appoint (son degré de salinité, sa température, son PH ...etc.) est souhaitable afin de pouvoir vérifier son influence sur le rendement du distillateur solaire.
- Avec le même modèle de distillateur asymétrique, on peut proposer un capteur à double vitrages et deux miroirs intérieurs fixés sur les murs latéraux reflétant les rayonnements solaires ce qui favorise l'augmentation des températures intérieures du distillateur et accélèrent les phénomènes évaporation-condensation. Cette proposition est une projection qui peut être valable pour une future étude afin de vérifier son influence sur la production.
- Afin de pouvoir améliorer davantage les résultats obtenus, on doit augmenter l'écart de température $\Delta T = (T_w - t_{gi})$, en utilisant le chauffage de l'eau saumâtre par de l'énergie solaire, des études en ce sens sont en cours.

REFERENCES

Références bibliographiques

- [1] R.N. Morse and W.R.W. Read, A rational basis for the engineering development of a solar still, *Sol. Energy*, 12 (1968) 5.
- [2] A. Delyannis. *Desalination*, 50 (1984) 71-81.
- [3] J.A. Elbling, S.G. Talbert and G.O.G. Lof, Solar stills for community used-digest of technology, *Sol. Energy*, 13 (1971) 263-76.
- [4] A. Eggers-Iura, *Solar energy in developing countries*, Pergamon Press, Oxford, England, 1979.
- [5] J. Ayoub and R. Alward, Water requirements and remote arid areas. The need for small-scale desalination, *Desalination*, 107 (1996) 113-47.
- [6] I.K. Al-Hussaini and H. Smith, Enhancing of solar still productivity using vacuum technology, *Energy Conversion and Management*, 36(1) (1995) 1047-51.
- [7] B. Benoit, *Le dessalement de l'eau de mer des eaux saumâtres: Les techniques d'hier et aujourd'hui contexte économique et perspectives*, Fév, 1998.
- [8] A. Maurel, *Desalination of sea water and brackish water*, Saint Paul Lez Durance, CEA, May 1990, p14.
- [9] M. Smith and Sidem., *Production d'eau douce par dessalement*, Paris, p43.
- [10] Sidem., *Fresh water through desalination*, Paris, Mai 1997, p27.]
- [11] M.A.S. Malik, G.N. Tiwari, A. Kumar and M.S., Sodha, *Solar Distillation*, Pergamon Press, UK, 1982.
- [12] D. Njomo, *Contribution à l'étude d'un distillateur à effet de serre. Modélisation des transferts radiatifs, thermiques et de matière couplés dans un distillateur à ruissellement utilisant un stockage d'énergie par chaleur latente*, thèse de doctorat de l'université de Poitiers, 1986.
- [13] Ashok Kumar and G.N. Tiwari, Effect of temperature dependent internal heat transfers on the performance of a solar still, *Int. J. of Solar Energy*, 6 (1) (1988) 51.
- [14] P.I. Cooper, *Solar distillation - State of the Art and Future Prospects*, Arab. Int. Solar Energy, Conf, Kuwait, 1988, pp.311.
- [15] V.B. Sharma and S.C. Mullick, Calculation of hourly output of solar still, *J. Solar Energy Engng*, 115 (1993) 231.
- [16] G.M. Zaki, T. Dali and M. El-Shafiey, Improved performance of solar stills, *Solar Energy and the Arab World 1st Arab International Solar Energy Conference*, Kuwait, December 1983.

- [17] A. Khedim, K. Schwarzer, C. Faber and C Müller, Production décentralisée de l'eau potable à l'énergie solaire, *Desalination* 168 (2004) 13–20.
- [18] P.J. Legoff, Assembly and operating instruction for a deficit system, France 1990.
- [19] R. Bernard, G. Menguy and M. Schwartz, Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications. Technique et documentation; 2^{ème} édition. 1980.
- [20] A. Chaker, N.Bellel and G. Monguy, Pertes thermiques dans un distillateur sphérique, *Revue Internationale D'Héliothermie*, 28 (2003) 46-49.
- [21] M.M. EL-Kassaby, Parabolic type solar still, *Renewable Energy*, 1(4) (1991) 449.
- [22] D. K. Dutt, A. Kumar, J.D. Anand and G.N. Tiwari, Improved design of a double effect solar still, *Energy. Convers. Mgmt*, 34 (6) (1993) 507-517.
- [23] D. Njomo, R. Tchinda and E. Kaptouom, Heat and Mass Transfer From a Streaming Hot Saline Water in an Enclosure Partitioned by an Active Baffle, *J. Solar Energy Engng., Trans. ASME*, 118(3) (1996) 177.
- [24] R. Tchinda, E. Kaptouom and D. Njomo, Etude d'un modèle nouveau de distillateur solaire, *Sciences, Technologies et Développement*, 7 (1)(2000) 58-66.
- [25] M. Abd Elkader, An investigation of the parameters involved in simple solar still with inclined yute, 14 (1-4) (1998) 333-338.
- [26] C. Khelif and B. Touati, Semi-empirical characterization of a greenhouse-effect cascades solar distiller, *Renewable Energy* 19 (2000) 103-110.
- [27] B. Bouchekima, Plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria *Desalination* 153 (2002) 65-69.
- [28] R. Ouahas, P. Le Goff and C. Ouahas, CNRS Patent 2 583 738, INPI, Paris, 1986.
- [29] M. Boukar and A. Harmim. Parametric studies of a vertical solar still under desert climatic conditions, *Desalination*, 168 (2004) 21–28.
- [30] S. Kumar and G.N. Tiwari, Estimation of convective mass transfer in solar distillation systems, *J. Sol. Energy*, 57 (1996) 459.
- [31] R.Tripathi and G.N. Tiwari, Thermal modelling of passive and active solar stills different depths of water by using the concept of solar fraction, *Sol. energy*, 80 (2006) 956-967.
- [32] H.Tanaka and Y. Nakatake, Factors influencing the productivity of a multiple-effect diffusion –type solar still coupled a flat plate reflector. *Desalination*, 186(2005) 299-310.
- [33] J. Bernard, Génie énergétique, Energie solaire, calculs et optimisation, Ellipes édition marketing, 2004.

- [34] Satcunathan Hansen, An investigation of some of the parameters involved in solar distillation, *Sol. Energy*, 14 (1973) 353-363.
- [35] R.V. Dunkle, Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect diffusion still, *International developments in heat transfer*, A.S.M.E, part V, section A, 1961 pp.0 895.
- [36] J.L Fernandez, N. Chargoy, Multi-stage indirect heated solar still, *Sol. Energy*, 44 (1990) 215-23.
- [37] H. Al-Hinai, M.S. Al-Nassri and B.A. Jubra, Parametric investigation of double-effect solar still in comparison with a single-effect solar still, *Desalination* 150 (2002) 75-83.
- [38] S. Toure and P. Meukam, A numerical model and experimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan (Cote d'ivoire), *Renewable energy*, 11 (3) (1997) 319-330.
- [39] J.H. Wattmuf, W.W.S. Charters and D. Proctor, Solar and wind induced external coefficients for solar collectors, *Complex* 2 (1977) 56.
- [40] S.K. Shukla and V.P.S. Sorayan, Thermal modelling of solar stills: an experimental validation, *Renewable Energy* 30 (2005) 683-699.
- [41] J.A.Duffie and W.A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. 2nd edition, New York, Wiley Inter-Science, 1991.
- [42] Zayouti et al. ; 2002, amélioration de la condensation de la vapeur d'eau dans les distillateurs solaire, fier (Tétouan) Maroc.
- [43] H. Al-Hinai, M.S. Al-Nassri and B.A. Jubran, Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still *Energy, Conversion and Management* 43 (2002) 1639-1650
- [44] A.A. El-Sebaï, Effect of wind speed on active and passive solar stills, *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 1187-1204.
- [45] P.I. Cooper, Digital simulation of transient solar still performance, *Sol. Energy*, 12 (1969) 313-331.
- [46] A.K. Rajvanshi, Effect of various dyes on solar distillation, *Sol. Energy*, 27 (1981) 51-65.
- [47] S.H. Soliman, Effect of wind on solar distillation, *Solar Energy*. 13 (1972) 403-15.
- [48] M.A.S. Malik and V. Tran, A simple mathematical model for predicting the nocturnal out put of a solar still, *Sol. Energy*, 14 (1973) 371-85.
- [49] S. Aboul-Enein, A.A. El-Sebaï and E. El-Bialy, Investigation of a single-basin solar still with deep basins, *Renewable Energy*, 14 (1-4) (1998) 299-305.

- [50] A. Kaabi and N. Smakdji, Impact of temperature difference (water-solar collector) on solar-still global efficiency, *Desalination*, 209 (2007) 309-316.
- [51] A. Gordan and M. Boumahrat, *Méthodes numériques appliquées*, office de publication universitaire, Alger, 1993.
- [52] J.F. Sacadura, *Initiation aux Transferts Thermiques*, Techniques et Documentations, Paris, 1982.

ANNEXES

ANNEXE A

Résolution des systèmes d'équations linéaires par

La méthode itérative

A.1. Introduction :

Les méthodes les plus fréquemment utilisées dans la résolution des systèmes d'équation linéaires sont des méthodes itératives stationnaires ou on a une formule itérative à un pas dans lesquelles on génère une suite vectorielle $(X^{(0)}, X^{(1)}, \dots, X^{(n)})$ convergente et plus rapidement possible, vers le vecteur solution (X^*) , dans cas on dira que la méthode converge.

A.2. Méthode de Gauss Seidel [51] :

Il existe plusieurs méthodes itératives qui peuvent solutionner les systèmes d'équation linéaires parmi lesquelles qu'on a choisi : la méthode de Gauss seidel d'itération qui est plus rapide en convergence et qui permet d'économiser plus de mémoire.

On veut résoudre le système d'équation linéaire ci-dessous qui correspond à notre modèle :

$$\text{Soit} \quad A x T = B \quad \text{A.1}$$

- A ; désigne une matrice carré d'ordre n ;
- B ; est une matrice colonne ;
- T ; représente le vecteur des inconnus ; $T = (T_1, T_2, T_3, \dots, T_n)$.

La matrice A étant décomposée en :

$$A = M - N \quad \text{A.2}$$

$$\text{Ou} \quad M = D - L \quad \text{A.3}$$

$$\text{Et} \quad N = U \quad \text{A.4}$$

Avec D : matrice diagonale

L : matrice inférieure

U : matrice supérieure

La matrice A peut s'écrire comme suit :

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

La méthode itérative associée à l'égalité précédente consiste à partir d'un vecteur initial $T^{(0)}$ à générer la suite $T^{(1)}, T^{(2)}, \dots, T^{(k+1)}$ de la manière suivante :

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

Ce système peut être écrit :

$$(D - L) x T^{(l)} = U x T^{(0)} + B \quad \text{A.7}$$

$$D x T^{(l)} = L x T^{(l)} + U x T^{(0)} + B \quad \text{A.8}$$

On aura :

$$T^{(l)} = D^{-l} \times L \times T^{(l)} + D^{-l} \times U \times T^{(l)} + D^{-l} \times B \quad \text{A.9}$$

$$T^{(k+1)} = D^{-l} \times L \times T^{(k+1)} + D^{-l} \times U \times T^{(k+1)} + D^{-l} \times B \quad \text{A.10}$$

En développant cette récurrence vectorielle on obtient :

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

$$T_2^{(k+1)} = (B_2 - A_{21} \times T_1^{(k+1)} - A_{23} \times T_3^{(k)} - \dots - A_{2n} \times T_n^{(k)}) / A_{22} \quad \text{A.12}$$

$$T_n^{(k+1)} = (B_n - A_{n1} \times T_1^{(k+1)} - A_{n2} \times T_2^{(k+1)} - \dots - A_{n,n-1} \times T_{n-1}^{(k+1)}) / A_{nn} \quad \text{A.13}$$

A.3 Algorithme et condition de convergence

L'algorithme de Gauss- seidel se résume comme suit :

$$T_i(k+1) = \left[B_i - \sum_{j=1}^{i-1} A_{ij} \times T_j^{k+1} - \sum_{j=i+1}^n A_{ij} \times T_j^{(k)} \right] / A_{ii} \quad \text{A.14}$$

On arrête les itérations si le système d'équations converge on aura :

$$\circ |T_i^{k+1} - T_i^{(k)}| < \varepsilon \quad \text{A.15}$$

Où

$$\circ \frac{|T_i^{k+1} - T_i^{(k)}|}{|T_i^{(k+1)}|} < \varepsilon \quad \text{A.16}$$

$$k = 1, 2, \dots, k_{max}$$

ANNEXE B

Caractéristiques thermo physiques de quelques
éléments utilisées dans la distillation solaire

Les propriétés de l'eau peuvent être exprimées par les équations suivantes :

B.1.1 Conductivité thermique de l'eau λ [$w / m^{\circ}C$]

$$\lambda = 0.5692 + 0.1858 \times 10^{-2} \times T_w - 0.74999 \times 10^{-5} \times T_w^2 \quad (\text{B.1})$$

B.1.2. Masse volumique de l'eau ρ_w [kg / m^3]

$$\rho_w = 999.879 + .04694 \times T_w - 0.66725 \times 10^{-2} \times T_w^2 + 0.208229 \times 10^{-4} \times T_w \times 10^3 \quad (\text{B.2})$$

B.1.3. Chaleur spécifique de l'eau Cp_w [$j / kg. ^{\circ}C$]

$$Cp_w = 4216.664 - 3.165 \times T_w + 0.0886 \times T_w^2 - 0.101 \times 10^{-2} \times T_w^3 + 0.449 \times 10^{-5} \times T_w^4 \quad (\text{B.3})$$

B.1.4. Coefficient de dilatation volumique βd [$1 / ^{\circ}K$]

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

B.1.5. Chaleur latente de vaporisation L_v [kJ / kg]

$$L_v = 3044205.5 - 1679.1109 \times T_w - 1.14258 \times T_w^2 \quad (\text{B.5})$$

B.1.6 Viscosité dynamique μ_w [$kg / m.s$]

$$\mu_w = (5.449 - 0.1067 \times T_w + 7.325 \times 10^{-4} \times T_w^2) / 3600 \quad (\text{B.6})$$

B.2.1 Pression partielle de la vitre Pr_g [N / m^2]

$$Pr_g = \exp(25.32 - 5144 / T_{gi}) \quad (\text{B.7})$$

B.2.2 Pression partielle de la l'eau du bassin du distillateur [N / m^2]

$$Pr_w = \exp(25.32 - 5144 / T_w) \quad (\text{B.8})$$

B.3. Propriétés de quelques matériaux utilisées comme absorbeur ou isolant (Tableau B.1).

Tableau B.1. Données thermo physiques [52]

Nature du corps	Masse Volumique ρ (kg/m ³)	Chal. massique Cp(J/kg.K)	Conductivité λ (w(m.K)	Diffusivité a (m ² /s)
Cuivre	8940	0.38×10^3	389	1.14×10^{-4}
Aluminium	2700	0.86×10^3	200	0.86×10^{-4}
Argent	10500	0.23×10^3	418	1.71×10^{-4}
Acier inox	7900	0.51×10^3	16	0.04×10^{-4}
Béton	2300	0.96×10^3	0.92	0.42×10^{-6}
Granit	2600	0.87×10^3	2.5	1.10×10^{-6}
Bois	410	1.25×10^3	0.23	0.45×10^{-6}
PVC	1380	1.0×10^3	0.166	0.12×10^{-6}
Polystyrène exp	20	1.50×10^3	0.025	1.33×10^{-6}
Polyuréthane	40	0.840×10^3	0.029	0.6×10^{-6}
Laine de verre	200	0.670×10^3	0.04	1.07×10^{-6}

ANNEXE C

Nombres Adimensionnelles

C.1. Nombre de Nusselt :

Caractérise l'intensité de l'échange de chaleur sur la limite fluide – surface, le module de Nusselt est le rapport entre le produit du coefficient d'échange par convection par la longueur caractéristique (L) sur la conductivité thermique du fluide :

$$Nu = \frac{\overline{hc} \times L}{\lambda} \quad (\text{C.1})$$

\overline{hc} : Coefficient d'échange thermique moyen $[w/m^2 \cdot ^\circ C]$

L : longueur caractéristique $[m]$

λ : coefficient de conductivité thermique du fluide $[w/m \cdot ^\circ C]$

C.2. Nombre de Grashoff

Le nombre de Grashoff exprime le rapport entre les forces de viscosité et les forces créées dans le fluide par la différence de température qui y règne et caractérise la transmission de chaleur en convection naturelle. Il est donné par la relation suivante :

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

βd = Coefficient de dilatation volumique rapporté à la température moyenne du fluide

$$\beta d = 1/T [1/^\circ C] \quad (\text{C.3})$$

g : L'accélération $[m/s^2]$

L : Longueur caractéristique $[m]$

C.3. Nombre de Prandtl :

La relation de Prandtl, caractérise les propriétés physiques du fluide, elle constitue le rapport de la viscosité cinématique à la diffusivité thermique :

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \times Cp}{\lambda} \quad (\text{C.4})$$

Cp : Chaleur spécifique à pression constante $[j/kg \cdot ^\circ C]$

λ : Conductivité thermique du fluide $[w/m \cdot ^\circ C]$

a : La diffusivité thermique $[m^2/s]$

C.4. Nombre de Rayleigh :

Le nombre de Rayleigh est exprimé en fonction des nombres de Grashoff et de Prandtl il peut constituer un critère de passage de la convection laminaire à la convection naturelle turbulente.

$$Ra = Gr \times Pr \quad (C.5)$$

C.5. Nombre de Reynolds :

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

$$Re = \frac{\rho \times v \times L}{\mu} = \frac{v \times L}{\nu} \quad (C.6)$$

$Re > 2300$ Le régime d'écoulement est turbulent

$Re < 2300$ Le régime d'écoulement est laminaire

$Re = 2300$ Le régime d'écoulement est critique

ν : La vitesse caractéristique du fluide (m/s)

C.6. Nombre de Peclet :

Le nombre de Peclet est exprimé en fonction des nombres de Prandtl et Reynolds, il constitue le rapport des flux thermiques par convection et par conduction.

$$Pe = Pr \times Re = \frac{v \times L}{a} \quad (C.7)$$

C.7. Nombre de Margoulis :

Ce nombre exprime le rapport entre le flux thermique total et par convection dans un échange de chaleur convectif.

$$Ma = \frac{Nu}{Re \times Pr} = \frac{q}{\rho \times Cp \times v \times L \times \Delta T} \quad (C.8)$$

ANNEXE D
PROGRAMME DE CALCUL
Programme informatique en langage "Matlab"

Programme principal

Les structures de données utilisées:

* Lecture des paramètres et des constantes

NIter=1000;

format long

lambdag = 1.20;

eg = 0.003;

%aluminium absorbeur% lambdab = 200; Rob=2700, cpb =860

% cuivre absorbeur, lambdab=389, eb=0.05, Rob= 8940, cpb=380

%acier inoxydable, lambdb=16, eb=0.05, Rob=7900, Cpb=510

%aluminium

lambdab =200;

eb = 0.05;

Rob=2700;

cpb=860;

% laine de verre, lambdais=0.04, Rois =200, eis=0.01, Cpis=670

%polystyrène, lambdais=0.025, Rois =20, eis=0.01, Cpis=1500

% polyuréthane,lambdais=0.029, Rois =30, eis=0.01, Cpis=1600

%polystyrène

lambdais =0.025;

Rois=20;

eis = 0.05;

Cpis = 1500;

Lhw=0.02;

Et = -0.103; fonction du temps (heure)

%Ic = 1366.069;

Ro = 0.2; Albédo

Bêta =10; % angle d'inclinaison en degré

Io = 1367; % constante solaire

C = 0.97;

$F_i = 36.22$; % Latitude en degré

$L = 6.37$; % longitude

$\Sigma = 19.14$; % angle en degré

$a = 0.88$; % a et b: Coefficient de trouble du ciel

$b = 0.26$;

$V = 10 * \text{ones}(13, 1)$; Vitesse du vent (m/s)

$T_a = [301; 304; 307; 309; 312; 312; 313; 314; 313; 313; 311; 311; 309]$;

$T_l = [7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19]$;

$T_u = T_l - 1$;

$T_{g_i} = \text{zeros}(13, 1)$; % 13 lignes une colonne

$T_{g_e} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_w = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_b = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{i_s} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{i_e} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{hrg_a} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{hrwg} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{hcwg} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{hevwg} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{hcbw} = \text{zeros}(13, 1)$;

$P_{rw} = \text{zeros}(13, 1)$;

$P_{rg} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{Row} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{\lambda_{daw}} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{cpw} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{\beta_{ad}} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{\mu_w} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{L_v} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{Q_{evwg}} = \text{zeros}(13, 1)$;

$T_{md} = \text{zeros}(13, 1)$;

***** TRAITEMENT *****

% calcul des coefficients d'échange indépendant de la température

- Coefficient d'échange Thermique par conduction à travers la vitre
 $hcdg = \lambda_{dg} / e_g;$

- Coefficient d'échange Thermique par conduction à travers l'absorbeur
 $hcdbis = \lambda_{db} / e_b;$

- Coefficient d'échange Thermique par conduction à travers l'isolant
 $hcdis = \lambda_{dis} / e_{is};$

- Coefficient d'échange Thermique par convection due à la vitesse du vent
 entre la vitre et le milieu ambiant

$hcga = [13; 1];$

$hcga = 5.7 + 3.8 * V;$

%*****calcul de l'intensité du rayonnement global "IG " *****

calcul_IG (w/m²);

% Les angles sont en radian

disp ('Tl=');

disp (Tl);

disp('Tu=');

disp(Tu);

$W = 15 * (Tu - 12) + L + Et / 4;$ % angle horaire

disp ('W=');

disp (W);

%-----

$Sinh = \cos(Fi * \pi / 180) * \cos(\Sigma * \pi / 180) * \cos(W * \pi / 180) + \sin(Fi * \pi / 180) * \sin(\Sigma * \pi / 180);$

disp('Sinh = ');

disp (Sinh);

%-----

$ToD = a * \exp(-b ./ Sinh);$ %

Disp('ToD = ');

disp (ToD);

%-----

$IDh = I_o * C * ToD;$

disp('IDh = ');

```

disp(IDh);
%-----
Cosi = cos((Fi-Beta)*pi/180)*cos(Sigma*pi/180)*cos(W*pi/180)+sin((Fi-Beta)*pi/180)...
    *sin(Sigma*pi/180);%i angle d'incidence
disp('Cosi = ');
disp(Cosi);
%-----
ID = IDh .* Cosi;
disp('ID = ');
disp(ID);
%-----
Tod = 0.2710 - 0.2939 * ToD ; %
disp ('Tod = ');
disp (Tod);
%-----
Idh = Io * C*Sinh.*Tod;
disp ('Idh = ');
disp (Idh);
%-----
Idc = Idh * (1+cos (Beta*pi/180))/2
disp ('Idc = ');
disp (Idc);
%-----
Ids = Ro * (1-cos(Beta*pi/180))/2 * (Idh.*Sinh+Idh);
disp ('Ids = ');
disp (Ids);
%-----
Id = Idc + Ids;
disp ('Id = ');
disp (Id);
%-----
IG = ID +Id;
%IG (14:17, :) =0;
disp ('IG = ');

```

```
disp (IG);
```

```
-----fin-----
```

```
%***** calcul de la puissance absorbée par la vitre "Pg" *****
```

```
calcul_Pg(w/m2);
```

- Pour le rayonnement direct

```
RD=0.04;
```

```
TD = 0.923071;
```

```
alphagD = 1-RD-TD;
```

```
disp('alphagD=');
```

```
disp(alphagD);
```

- Pour le rayonnement diffusé

```
i=acos(Cosi); angle d'incidence
```

```
sinteta=0.667*sin (i); n1/n2 =1/1.5=0.667
```

```
teta=asin(sinteta);
```

```
RNg = (sin(teta-i).^2./sin(teta+i)).^2;
```

```
RPg = (tan(teta-i).^2./tan(teta+i) ).^2;
```

```
Rdg = (RNg +RPg)/2;
```

```
KG = 0.002;
```

```
Tag = exp (-KG*eg/cos(teta));
```

```
Trg = (1- Rdg)/(1+Rdg);
```

```
Tdg = Trg .* Tag';
```

```
alphaGd = 1- Rdg - Tdg;
```

- Pg = (ID * alphagD) + (Id .*alphaGd);

```
***** calcul de la puissance absorbée par la nappe d'eau Pw *****
```

```
calcul_Pw (w/m2);
```

```
alphawD = 1.59537534607637;
```

```
n1=1; coef d'extraction de l'air
```

```
n2=1.33; coef d'extraction de l'eau
```

```
Sinteta=0.751879699*sin(i); n1/n2=0.751879699
```

```
teta=asin(Sinteta);
```

```
RNw =(sin(teta-i).^2./sin(teta+i)).^2;
```

```
RPw = (tan(teta-i).^2./tan(teta+i) ).^2;
```

```

Rw = RNw + RPw;
alphaw = 0.3;
alphab = 0.95;
TRw = alphaw - Rw;
Rdw = RNw + RPw;
Trw = (1 - Rdw)/(1 + Rdw);
Kw = 0.0000004714;
Taw = exp(-Kw * Lhw / cos(teta));
Tdw = Trw .* Taw';
alphawd = Tdw .* (alphaw + Trw * alphab);
% 2 manieres pour alphawd
• Pw = (ID * alphawD) + (Id .* alphawd);

%*****calcul de la puissance absorbée par l'absorbeur "Pb" *****
calcul_Pb (w/m2);
TDb = 0.996951;
n3 = 1.33; coef d'extraction de l'eau
n4 = 1.44; coef d'extraction de l'absorbeur
sinteta = 0.923611111 * sin(i);
teta = asin(sinteta);
RNb = (sin(teta - i) .^ 2 ./ sin(teta + i) .^ 2);
RPb = (tan(teta - i) .^ 2 ./ tan(teta + i) .^ 2);
Rdb = (RNb + RPb) / 2;
Tab = exp (-KG * eb / cos(teta));
Trb = (1 - Rdb) / (1 + Rdb);
Tdb = Trb .* Tab';
• Pb = alphab * ( (ID * TDb) + (Id .* Tdb) ) ./ ( 1 - (1 - alphab) * Rdb);

***** calcul de la temperature du ciel " Tc" *****
calcul_Tc(°K);
Ta températures ambiantes en degré (°K)
Tc = 0.0552 * (Ta) .^ 1.5;

```

```

*****conditions initiales*****
Initialisation des vecteurs solution conditions; températures à 7h ;
tge = Ta(1,1);
tgi = Ta(1,1);
tw = Ta(1,1) +2;
tb = Ta(1,1) +4;
tisi = Ta(1,1) ;
tise= Ta(1,1);
% pour chaque temps on fait NIter itérations
for tps =1:13 ;
    for step=1:NIter

*****calcul des propriétés de l'eau*****
Calcul des _propriétés_ de l'eau;
●Prg(tps,1) = exp(25.32- 5144/tgi);
●Prw (tps,1) = exp(25.32- 5144/tw);
●Row = 999.879395+0.04694*(tw-273)-0.66725*0.01*(tw-273)^2+0.208229*0.0001*(tw-
273)^3;
●lambdaw =0.5692+0.1858*0.01*(tw-273)-0.74999*0.00001*(tw-273)^2;
●cpw =4216.664 - 3.165*(tw-273)+0.0886749*(tw-273)^2-0.10106375*0.01*(tw-
273)^3+0.44909529*0.00001*(tw-273)^4;
●Betad =( 0.884 + 0.188*(tw-273)- 0.26*0.01*(tw-273)^2 + 0.252*0.0001*(tw-273)^3 -
0.975*0.0000001*(tw-273)^4) *0.0001;
●Muw =(5.449- 0.1067*(tw-273)+ 7.325*0.0001* (tw-273)^2)/3600;
●Lv = 3044205.5 -1679.1109 * tw - 1.14258 *tw^2;

*****calcul des coefficients d' échange dépendant de la température *****
Calcul des coefficients d'échange par rayonnement entre la vitre et le milieu extérieur;
Epsg = 0.85;
Sigma =0.0000000567;
● hrga = 0.85* 0.0000000567 *( (tge.^4 - Tc(tps,1).^4) / (tge -Tc(tps,1)) );
%Epsw = 0.90;

```

Calcul du coefficient d'échange par rayonnement entre l'eau du bassin et face intérieure de la vitre;

- $hrwg = 0.90 * 0.0000000567 * ((tw.^4 - tgi.^4)/(tw - tgi));$

Calcul du coefficient d'échange par convection entre l'eau du bassin et face intérieure de la vitre;

- $hcwg = 0.884 * ((tw - tgi + ((Prw(tps,1) - Prg(tps,1)) * tw) / (268.9 * 1000 - Prw(tps,1))) * ((1 + \cos(\text{Beta} * \pi / 180)) / 2))^{1/3};$

- $hcwg = 0.884 * \text{abs}((tw - tgi + ((Prw(tps,1) - Prg(tps,1)) * tw) / (268.9 * 1000 - Prw(tps,1))) * ((1 + \cos(\text{Beta} * \pi / 180)) / 2))^{1/3};$

Calcul du coefficient d'échange par évaporation entre l'eau du bassin et face intérieure de la vitre;

- $hevwg = 16.273 * 0.001 * (hcwg) * (Prw(tps,1) - Prg(tps,1)) / (tw - tgi);$

$g = 9.81;$

$\%Gr = (\text{Betad} * Row.^2 * 9.81 * 0.03.^3 * (tb - tw)) / Muw.^2;$

$Gr = \text{abs}(\text{Betad} * Row.^2 * 9.81 * Lhw.^3 * (tb - tw)) / Muw.^2;$

$Pr = (Muw * cpw) / \text{lambdaw};$

Calcul du coefficient d'échange par convection entre l'eau du bassin et l'absorbeur ;

- $hcbw = 0.074 * (Gr * Pr)^{0.25};$

Calcul du coefficient d'échange interne ;

- $h1 = hrwg + hcwg + hevwg;$

Calcul du coefficient d'échange externe ;

- $h2 = hcga(tps,1) + hrga;$

$\%*****calcul des éléments de la matrice*****$

Les éléments de la matrice;

$Rog = 2530;$

$cpg = 840;$

$dt = 1;$

$\text{lambdag} = 1.20;$

$A = \text{zeros}(6,6);$

$A(1,1) = (Rog * eg * cpg) / (2 * dt) + hrga + hcga(tps,1) + (\text{lambdag} / eg);$

$A(1,2) = -\text{lambdag} / eg;$

$A(2,1) = -\text{lambdag} / eg;$

$h1 = hrwg + hcwg + hevwg;$

```

A(2,2) = ( (Rog * eg * cpg) / (2 * dt) ) + (lambdag / eg) + h1;
A(2,3) = -h1;
A(3,2) = -h1;
A(3,3) = (Row * Lhw * cpw / dt) + h1 + hcbw;
A(3,4) = -hcbw;
A(4,4) = (Rob * eb * cpb) / (1) + hcbw + hcdbis;
A(4,3) = -hcbw;
A(4,5) = -hcdbis;
A(5,4) = -hcdbis;
A(5,5) = Rois * eis * Cpis / 2 * dt + hcdbis + lambdais / eis;
A(5,6) = -lambdais / eis;
A(6,5) = -lambdais / eis;
h2 = hcga(tps, 1) + hrga;
A(6,6) = Rois * eis * Cpis / 2 * dt + lambdais / eis + h2;
B(1,1) = ( (Rog * eg * cpg) / (2 * dt) ) * tge + hrga * Tc(tps, 1) + hcga(tps, 1) * Ta(tps, 1);
B(2,1) = ( (Rog * eg * cpg) / (2 * dt) ) * tgi + PG(tps, 1);
B(3,1) = (Row * Lhw * cpw / dt) * tw + Pw(tps, 1);
B(4,1) = (Rob * eb * cpb) * tb + Pb(tps, 1);
B(5,1) = (Rois * eis * Cpis / 2 * dt) * tisi;
B(6,1) = (Rois * eis * Cpis / 2 * dt) * tise + (h2 * Ta(tps, 1));
***** fin elements_mat*****

```

```

*****methode Gauss Seidel*****

```

```

fonction Gauss_Seidel

```

```

Entrées : matrice carrée A, vecteur colonne Bn,1

```

```

Sorties : vecteur solution Xn,1

```

```

résoudre  $A X = B$  ,

```

```

n=6;

```

```

Eps = 0.00000000001 * ones(n,1);

```

```

kmax = 100;

```

```

initialisation du vecteur solution

```

```

Xkplus à l'itération k+1

```

```

Xkplus = Xk;

```

```

clc;

```

```

for k= 1:kmax
  for i=1:n % indice du tableau X
    S1 =0;
    for j=1:i-1
      S1 =S1 + A(i,j)*Xkplus(j);
    end %for j
    S2 =0;
    for j=i+1: n
      S2 =S2 + A(i,j)*Xk(j);
    end %for j
    Xkplus(i) = ( B(i,1) -S1 -S2)/A(i,i) ;
  end % for i
  if (abs (Xkplus - Xk)./ abs (Xkplus))< Eps
    break; %sortie de la boucle k
  end %if
  Xk = Xkplus;
end % for k
*****fin fonction Gauss_Seidel*****

```

```

***** Test de convergence *****

```

```

S= zeros(1,n);
for i= 1,n
  for j=1,n
    if i<>j
      S(1,i)=S(1,i)+abs(A(i,j)/A(i,i))
    end
  end
end
Un = ones(1,n)
if S < Un
  disp(" méthode convergente")
else
  disp(" méthode non convergente")
end

```

***** Fin test de convergence*****

***** Résolution du système par Gauss Seidel*****

- Initialisation du vecteur solution de la méthode Gauss Seidel

Xk(1,1)=tge;

Xk(2,1)=tgi;

Xk(3,1)=tw;

Xk(4,1)=tb;

Xk(5,1)=tisi;

Xk(6,1)=tise;

disp('step=');

disp(step);

disp('Xk='); vecteur solution trouvé par Gauss

disp(Xk);

- Mise à jour des vecteurs solution (températures)

tge=Xk(1,1);

tgi=Xk(2,1);

tw=Xk(3,1);

tb=Xk(4,1);

tisi=Xk(5,1);

tise=Xk(6,1);

disp('tps');

disp(tps);

disp('step');

disp(step);

disp('tgi');

disp(tgi);

disp('tw');

disp(tw);

end for step

***** Sauvegarde des vecteurs solution*****

- conversion des températures en degré celsius

Tge(tps,1)=tge-273;

Tgi(tps,1)=tgi-273;

```

Tw(tps,1)=tw-273;
Tb (tps,1)=tb-273;
Tisi(tps,1)=tisi-273;
Tise(tps,1)=tise-273;
•stocker les variables trouvées pour le temps courant -tps- dans des
tableaux globaux de tous les temps
Tlambdaw(tps,1)=lambdaw;
TRow(tps,1)=Row;
Tcpw(tps,1)=cpw;
TBetad(tps,1)=Betad;
TMuw(tps,1)=Muw;
Tlv(tps,1)=Lv;
Thrga(tps,1)=hrga;
Thrwg(tps,1)=hrwg;
Thewg(tps,1)=hcwg;
Thevwg(tps,1)=hevwg;
Thebw(tps,1)=hcbw;
TLv(tps,1)=Lv;
TQevwg(tps,1)=Qevwg;
Tmd(tps,1)=md;
end for tps

```

```

***** Calcul du rendement *****

```

```

rendement;
%keyboard;
• calcul de la quantité de chaleur échangée par évaporation entre l'eau et la vitre
Qevwg =hevwg*(tw-tgi); à chaque heure
• Calcul du débit d'eau distillée à chaque heure "md"
md=(Qevwg/Lv)*3600;
• Calcul de l'efficacité globale "ηg" en (%)
ηg = (Qevwg/IG) ; (ou bien) ηg =(md*Lv/ IG) ;
• Calcul de la quantité de chaleur reçu par la masse d'eau par unité de temps
Condition de calcul de alphas,
if i=0-30

```

```

    alphas= 0.8514
else if i=30-45
    alphas=0.833485
else if i=45-60
    alphas=0.7718
end
end
end
Qw =alphas*IG; Qw en (w/h)
• Calcul de l'efficacité interne ( $\eta_i$ ) à chaque heure,  $i$ = angle d'incidence
 $\eta_i = (Q_{evwg}/Q_w)$ ; ou bien  $\eta_i = (md*Lv / Q_w)$  en % ,
• Calcul de la production journalière "mdj"
mdj=sum(Tmd);
• Calcul du Facteur de Performance Horaire "FPH"
FPH=(md./Qw)*100;
• Calcul de performance brut "FP"
FP=(md./Qw)*100;
• Calcul de la quantité d'énergie entrée en une journée
Qwj= sum(Qw);

• Calcul du Facteur de Performance Brut "FPB"
FPB=mdj/Qwj;
%disp('FPB');
%disp(FPB);
%FP= (Tmd. /Qw);
%disp('FP');
%disp(FP);
***** Fin calcul rendement*****

*****Affichage des résultats *****

disp('Tge=');
disp(Tge);
disp('Tgi');
disp(Tgi);

```

disp('Tw');
disp(Tw);
disp('Tb');
disp(Tb);
disp('Tisi');
disp(Tisi);
disp('Tise');
disp(Tise);
disp('Prg');
disp(Prg);
disp('Prw');
disp(Prw);
disp('Pw');
disp(Pw);
disp('IG');
disp(IG);
disp('PG');
disp(PG);
disp('Pb');
disp(Pb);
disp('TLv');
disp(TLv);
disp('Thrga');
disp(Thrga);
disp('Thrwg');
disp(Thrwg);
disp('Thcwg');
disp(Thcwg);
disp('Thevvg');
disp(Thevvg);
disp('Thcbw');
disp(Thcbw);
disp('TRow');
disp(TRow);

```
disp('Tlambdaw');
disp(Tlambdaw);
disp('TBetad');
disp(TBetad);
disp('TMuw');
disp(TMuw);
disp('Tcpcw');
disp(Tcpcw);
disp('TQevwg');
disp(TQevwg);
disp('ng');
disp(ng);
disp('Qw');
disp(Qw);
disp('ni');
disp(ni);
disp('Tmd');
disp(Tmd);
disp('FPH');
disp(FPH);
disp('FP');
disp(FP);
disp('Qwj');
disp(Qwj);
disp('mdj');
disp(mdj);
disp('FPB');
disp(FPB);
```

```
***** FIN DU PROGRAMME *****
```

ANNEXE E

TABLEAUX RELATIFS AUX RESULTATS OBTENUS

Tableau 1. Influence des différentes profondeurs d'eau respectivement sur les pressions de la vitre et la saumure.
 ($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m/s}$, $e_{g}=0,003\text{m}$, $e_{bAL}=0,05\text{m}$, $e_{is_polyst}=0,05\text{m}$), (22 juillet)

Tableau1a. Pression de la vitre.

TL(h)	Ta(C°)	Profondeur d'eau (m)											commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11			
7	28	4641,3145	4083,813	3884,461	3775,198	3738,288	3708,72	3696,036	3688,977	3684,473	On constate que la pression de la vitre (Prg) augmente avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin. Elles atteignent le maximum à 13 heures		
8	31	8351,6437	6573,389	5391,492	4747,089	4549,23	4404,34	4346,915	4316,504	4297,794			
9	34	14215,418	11853,75	8733,981	6485,75	5814,498	5360,147	5196,742	5116,934	5072,612			
10	36	21155,457	18789,95	14422,98	9327,736	7577,602	6429,955	6041,987	5858,17	5757,027			
11	39	29867,425	27333,67	22628,02	14458,65	10749,12	8225,943	7413,893	7044,691	6849,053			
12	39	33458,636	31831,67	28486,44	19859,63	14210,04	9754,864	8296,34	7633,881	7271,088			
13	40	35368,762	34402,37	32400,09	25277,14	18617,46	12058,58	9736,771	8678,183	8100,683			
14	41	33850,75	33739,69	33168,69	28730,09	22551,51	14634,82	11400,34	9876,088	9039,34			
15	40	26953,907	27821,55	28845,98	27797,76	23675,23	16173,48	12396,63	10489,19	9414,751			
16	40	20531,172	21756,93	23473,97	24759,72	22973,35	17181,6	13375,68	11245,29	9991,309			
17	38	13224,802	14766,08	16794,53	19382,2	19552,21	16257,19	13096,13	11060,66	9781,252			
18	38	8975,0118	10483,96	12321,97	15104,57	16294,94	15103,64	12844,58	11096,57	9897,419			
19	36	5958,7998	7311,017	8781,322	11194,64	12682,57	12882,89	11555,54	10239,38	9234,115			

Tableau 1b. Pression de la saumure.

TL(h)	Ta(C°)	Profondeur d'eau (m)											commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11			
7	28	8242,2257	6157,804	5273,303	4758,932	4579,661	4433,585	4370,15	4334,62	4311,864	De meme que pour les pressions de la saumure, on constate que les valeurs des pressions (Prw) augmentent avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin ce qui favorise l'accélération du phénomène de l'évaporation. Les pressions de l'eau du bassin atteignent le maximum à 13 heures.		
8	31	17841,867	13118,87	9138,663	6629,177	5791,318	5144,479	4875,029	4727,352	4634,046			
9	34	29336,406	24706,98	17279,55	10574,49	8227,083	6482,851	5794,967	5428,974	5202,225			
10	36	40801,298	36938,93	28907,93	17320,92	12368,01	8634,881	7222,453	6493,522	6050,938			
11	39	52730,191	49077,99	41778,64	26975,95	18647,62	11830,24	9276,996	7990,327	7223,464			
12	39	57921,622	55661,24	50833,02	37044,01	26330,21	15993,2	11942,14	9909,276	8710,933			
13	40	60049,312	58727,44	55929,35	45321,06	34122	20842,75	15125,05	12201,05	10477,12			
14	41	57340,026	57174,99	56382,62	49957,13	40240,58	25711	18535,36	14702,8	12412,62			
15	40	47727,414	48976,4	50516	49016,13	42617,66	29437,68	21572,34	17058,75	14279,4			
16	40	37295,113	39271,17	42079,93	44216,03	41409,44	31350,21	23743,41	18939,89	15846,24			
17	38	24707,288	27709,15	31604,8	36369,9	36760,31	30853,33	24505,92	19948	16821,98			
18	38	14672,352	18303,11	22506,97	28359,58	30754,04	28561,57	23945,81	20034,3	17131,82			
19	36	7041,509	11257,6	15360,6	21337,46	24709,81	23256,92	22404,23	19350,5	16850,46			

Tableau 4. Influence de différentes profondeurs d'eau du bassin sur les propriétés de l'eau ,
 Tableau 2a. Chaleur latente de vaporisation

TL(h)	Tw(°C)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	32,24	2400652,7	2413923	2420765	2425214	2428863	2428248	2428862	2429209	2429432	On constate que la chaleur latente de vaporisation diminue avec la diminution des profondeurs de l'eau du bassin lorsque la température d'évaporation de la saumure augmente, ceci explique que la (Tw) influe inversement sur la chaleur latente.	
8	38,37	2362713,9	2378331	2395822	2410616	2416648	2421843	2424175	2425500	2426357		
9	47,43	2335887,8	2345382	2364374	2388871	2400738	2411620	2416620	2419492	2421357		
10	57,59	2316927,5	2322747	2336711	2364250	2381245	2398484	2406731	2411547	2414703		
11	67,28	2301489,7	2305874	2315529	2340456	2360412	2383427	2395113	2402091	2406725		
12	74,57	2295676,8	2298152	2303734	2322582	2341894	2368351	2382966	2391984	2398073		
13	79,37	2293420	2294814	2297854	2310680	2327324	2354543	2371192	2381914	2389316		
14	81,73	2296305,7	2296485	2297353	2304794	2317743	2343202	2360727	2372624	2381068		
15	81,27	2307565	2306000	2304116	2305951	2314350	2335695	2352709	2365038	2374096		
16	78,77	2322189,1	2319175	2315103	2312157	2316054	2332150	2347546	2359597	2368822		
17	74,13	2345381,6	2339070	2331692	2323647	2323028	2333053	2345828	2356869	2365758		
18	68,4	2372728,9	2361385	2350435	2337780	2333235	2337384	2347086	2356640	2364817		
19	62,07	2407886,1	2385945	2370407	2353294	2345376	2344179	2350681	2358471	2365671		

Tableau 2b. Masse volumique.

TL(h)	Tw(°C)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	32,24	991,41034	993,5429	994,5428	995,1545	995,3732	995,5535	995,6324	995,6768	995,7053	On constate que la masse volumique diminue avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin , sous l'influence de l'augmentation des températures d'évaporation (Tw).	
8	38,37	984,10714	987,3086	990,5746	993,0347	993,9496	994,6939	995,0144	995,1928	995,3065		
9	47,43	978,0923	980,287	984,4589	989,3204	991,4248	993,1907	993,9454	994,3622	994,626		
10	57,59	973,53161	974,9539	978,2852	984,4328	987,8774	991,0389	992,4177	993,1793	993,6604		
11	67,28	969,67783	970,783	973,1871	979,1797	983,6149	988,2971	990,4495	991,6533	992,4166		
12	74,57	968,20127	968,8314	970,2446	974,9139	979,4883	985,2911	988,2089	989,8894	990,9679		
13	79,37	967,62487	967,9811	968,7557	971,9851	976,0592	982,3384	985,8759	988,0066	989,4024		
14	81,73	966,36161	968,4073	968,6283	970,5115	973,732	979,789	983,6826	986,1677	987,8431		
15	81,27	971,20711	970,8146	970,3408	970,8022	972,8959	978,047	981,9332	984,599	986,4653		
16	78,77	974,81847	974,0831	973,082	972,3525	973,3165	977,2108	980,7777	983,4396	985,3887		
17	74,13	980,28684	978,8353	977,1021	975,1723	975,0222	977,4246	980,3883	982,8479	984,7504		
18	68,4	986,18889	983,8237	981,4269	978,5348	977,4676	978,4425	980,6735	982,7981	984,5525		
19	62,07	992,60332	988,7558	985,7153	982,0626	980,2856	980,0126	981,4819	983,1962	984,7322		

Tableau 2c. Conductivité thermique

		Profondeur d'eau (m)										commentaire
TL(h)	Tw(°C)	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
		$\lambda(w/m.^{\circ}C)$	$\lambda(w/m.^{\circ}C)$	$\lambda(w/m.^{\circ}C)$	$\lambda(w/m.^{\circ}C)$	$\lambda(w/m.^{\circ}C)$	$\lambda(w/m.^{\circ}C)$	$\lambda(w/m.^{\circ}C)$	$\lambda(w/m.^{\circ}C)$	$\lambda(w/m.^{\circ}C)$		
7	32,24	0,6346491	0,627655	0,623853	0,621309	0,620351	0,619541	0,61918	0,618975	0,618843	On constate que la conductivité thermique de l'eau augmente avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin et atteignent leurs valeurs maximales entre 13 et 14 heures sous l'effet de la température de l'eau du bassin.	
8	38,37	0,6519464	0,645304	0,637072	0,629444	0,626157	0,623242	0,621908	0,621143	0,620646		
9	47,43	0,6618356	0,658853	0,651272	0,640445	0,634606	0,628904	0,626172	0,62457	0,623518		
10	57,59	0,667692	0,665993	0,66156	0,651322	0,643991	0,635745	0,631507	0,628944	0,627228		
11	67,28	0,6717831	0,670682	0,668088	0,660251	0,65287	0,642993	0,637422	0,633915	0,63151		
12	74,57	0,6731684	0,672589	0,671226	0,666042	0,659786	0,649625	0,643205	0,638951	0,635951		
13	79,37	0,6736835	0,673367	0,672659	0,66942	0,664596	0,65516	0,648422	0,643686	0,640233		
14	81,73	0,6730226	0,672981	0,672778	0,670958	0,667459	0,659327	0,652744	0,647808	0,644071		
15	81,27	0,6702449	0,67065	0,67113	0,670663	0,668417	0,6619	0,655857	0,651	0,64717		
16	78,77	0,6661595	0,667046	0,668207	0,66902	0,66794	0,663064	0,657771	0,653193	0,649427		
17	74,13	0,6585529	0,660761	0,663212	0,665722	0,665909	0,66277	0,658393	0,654264	0,650703		
18	68,4	0,6477626	0,652481	0,656709	0,6612	0,662711	0,661334	0,657939	0,654352	0,65109		
19	62,07	0,6308984	0,641871	0,648757	0,655636	0,658555	0,658982	0,656618	0,653637	0,650739		

Tableau 2d. Capacité calorifique

		Profondeur d'eau (m)										commentaire
TL(h)	Tw(°C)	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
		Cpw(j/kg.°C)	Cpw(j/kg.°C)	Cpw(j/kg.°C)	Cpw(j/kg.°C)	Cpw(j/kg.°C)	Cpw(j/kg.°C)	Cpw(j/kg.°C)	Cpw(j/kg.°C)	Cpw(j/kg.°C)		
7	32,24	4179,3972	4178,177	4177,849	4177,779	4177,786	4177,807	4177,82	4177,829	4177,836	On constate que la chaleur spécifique augmente avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin, sous l'effet de l'augmentation des températures de La saumure (Tw) en fonction du temps.	
8	38,37	4185,1227	4182,511	4179,983	4178,417	4178,017	4177,821	4177,784	4177,779	4177,782		
9	47,43	4190,346	4188,36	4184,832	4180,923	4179,387	4178,339	4178,019	4177,891	4177,833		
10	57,59	4195,0853	4193,491	4190,166	4184,854	4182,055	4179,653	4178,758	4178,345	4178,128		
11	67,28	4200,1693	4198,578	4195,491	4189,345	4185,531	4181,722	4180,074	4179,235	4178,758		
12	74,57	4202,494	4201,472	4199,339	4193,534	4189,068	4184,149	4181,792	4180,49	4179,702		
13	79,37	4203,4697	4202,862	4201,593	4196,976	4192,332	4186,598	4183,671	4181,952	4180,86		
14	81,73	4202,2297	4202,155	4201,797	4198,958	4194,853	4188,799	4185,474	4183,433	4182,083		
15	81,27	4197,9987	4198,535	4199,201	4198,552	4195,841	4190,389	4186,941	4184,717	4183,192		
16	78,77	4193,6373	4194,452	4195,617	4196,51	4195,338	4191,186	4187,932	4185,676	4184,069		
17	74,13	4188,36	4189,658	4191,292	4193,257	4193,417	4190,98	4188,271	4186,17	4184,592		
18	68,4	4183,4161	4185,357	4187,373	4189,934	4190,939	4190,02	4188,022	4186,212	4184,755		
19	62,07	4178,6503	4181,361	4183,802	4186,831	4188,361	4188,601	4187,326	4185,879	4184,607		

Tableau 2e. Coefficient de dilatation volumique

TL(h)	Tw(°C)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	32,24	0,0005796	0,000537	0,000514	0,000498	0,000492	0,000487	0,000485	0,000484	0,000483		
8	38,37	0,0006869	0,000645	0,000594	0,000548	0,000528	0,00051	0,000502	0,000497	0,000494		
9	47,43	0,0007556	0,000732	0,000682	0,000615	0,000579	0,000545	0,000528	0,000518	0,000512		
10	57,59	0,0008013	0,000788	0,000754	0,000683	0,000636	0,000586	0,000561	0,000545	0,000535		
11	67,28	0,0008362	0,000827	0,000805	0,000744	0,000693	0,00063	0,000596	0,000575	0,000561		
12	74,57	0,0008486	0,000843	0,000831	0,000788	0,000741	0,000672	0,000632	0,000606	0,000587		
13	79,37	0,0008533	0,00085	0,000844	0,000816	0,000777	0,000708	0,000664	0,000635	0,000613		
14	81,73	0,0008473	0,000847	0,000845	0,000829	0,000799	0,000737	0,000692	0,000666	0,000637		
15	81,27	0,0008227	0,000826	0,00083	0,000826	0,000807	0,000756	0,000713	0,000681	0,000656		
16	78,77	0,0007889	0,000796	0,000806	0,000812	0,000803	0,000765	0,000726	0,000695	0,000671		
17	74,13	0,0007318	0,000748	0,000766	0,000785	0,000787	0,000763	0,000731	0,000702	0,000679		
18	68,4	0,00066	0,00069	0,000719	0,000751	0,000762	0,000752	0,000727	0,000703	0,000681		
19	62,07	0,000557	0,000623	0,000666	0,000712	0,000732	0,000735	0,000718	0,000698	0,000679		

On constate que les valeurs du coefficient de dilatation volumique augmentent avec la diminution de la profondeur de l'eau, elles atteignent le maximum entre 12 et 15 heures ou la température de l'eau sera élevée.

Tableau 2f. Viscosité dynamique (kg/m.s)

TL(h)	Tw(°C)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	32,24	0,0006212	0,000696	0,000739	0,00077	0,000781	0,000791	0,000795	0,000798	0,0008		
8	38,37	0,0004777	0,000524	0,000597	0,000676	0,000713	0,000747	0,000762	0,000772	0,000778		
9	47,43	0,000437	0,000446	0,000482	0,000566	0,000622	0,000682	0,000713	0,000731	0,000743		
10	57,59	0,0004376	0,000435	0,000438	0,000482	0,000535	0,00061	0,000654	0,000681	0,000701		
11	67,28	0,0004555	0,000449	0,000439	0,000441	0,000472	0,000543	0,000594	0,000629	0,000654		
12	74,57	0,0004663	0,000461	0,000452	0,000435	0,000442	0,000493	0,000542	0,000579	0,000608		
13	79,37	0,0004711	0,000468	0,000462	0,000443	0,000434	0,00046	0,000501	0,000538	0,000568		
14	81,73	0,0004651	0,000465	0,000463	0,00045	0,000437	0,000443	0,000473	0,000505	0,000534		
15	81,27	0,0004466	0,000449	0,000451	0,000449	0,000439	0,000437	0,000457	0,000484	0,00051		
16	78,77	0,000435	0,000436	0,000439	0,000441	0,000438	0,000435	0,000449	0,00047	0,000494		
17	74,13	0,0004458	0,000439	0,000435	0,000435	0,000435	0,000436	0,000446	0,000465	0,000486		
18	68,4	0,0005057	0,000475	0,000453	0,000438	0,000436	0,000438	0,000448	0,000464	0,000483		
19	62,07	0,0006602	0,000553	0,000499	0,000458	0,000446	0,000444	0,000453	0,000468	0,000485		

On constate que les valeurs de la viscosité dynamique diminuent avec la diminution des profondeurs de l'eau du bassin sous l'effet de la température de l'eau qui évolue avec le temps et qui atteint sa valeur maximum entre 13 et 15 heures.

Tableau 3a. Qév_{wg}
 Profondeur d'eau (m)

IG	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	commentaire
TL(h) (w/m ²)	Qév _{wg} (w)	Qév _{wg} (w)	Qév _{wg} (w)	Qév _{wg} (w)	Qév _{wg} (w)	Qév _{wg} (w)	Qév _{wg} (w)	Qév _{wg} (w)	Qév _{wg} (w)	
7	171,3	127,69988	63,99704	38,35839	24,57945	20,0639	16,52261	15,02851	14,20423	13,68128
8	380,5	413,27789	262,7811	131,4642	54,93752	32,17105	16,39893	10,53345	7,568171	5,809519
9	588,3	725,12192	593,924	359,1246	143,2581	73,34889	27,31744	11,98076	5,076439	1,584841
10	765,5	1003,3436	907,7981	684,5678	326,9485	172,2392	64,13972	28,5447	12,67397	4,579626
11	894,6	1217,6429	1139,946	967,1016	564,7961	317,1243	117,511	50,23862	20,72487	6,107305
12	964,5	1332,8901	1286,747	1181,634	841,9312	542,0486	235,4719	119,1326	65,02006	35,89481
13	969,6	1348,9533	1322,651	1264,712	1024,033	736,9513	360,2848	194,4765	113,1838	68,20571
14	909,4	1261,5533	1257,648	1241,696	1102,5	869,994	480,3374	275,8969	168,0861	106,3163
15	788,9	1072,4772	1098,215	1133,513	1102,659	951,4937	604,7208	380,4707	249,8552	170,8234
16	618,1	813,32392	859,8638	929,2748	984,6847	918,7013	657,1761	443,5978	304,9862	216,1026
17	413,5	507,73403	589,2518	697,8127	830,1613	844,1311	685,9329	503,9258	368,8636	275,6333
18	201,8	211,20071	313,684	436,432	607,0252	677,3242	619,3186	486,8967	371,4736	285,1898
19	41,21	25,505476	134,4065	255,3902	437,8641	541,3997	561,2661	476,7798	383,9383	307,292

Tableau 3b Q_w
 Profondeur d'eau (m)

IG	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	commentaire
TL(h) (w/h)	Q _w (w/h)	Q _w (w/h)	Q _w (w/h)	Q _w (w/h)	Q _w (w/h)	Q _w (w/h)	Q _w (w/h)	Q _w (w/h)	Q _w (w/h)	
7	171,3	145,8797	145,8797	145,8797	145,8797	145,8797	145,8797	145,8797	145,8797	
8	380,5	323,9365	323,9365	323,9365	323,9365	323,9365	323,9365	323,9365	323,9365	
9	588,3	500,8649	500,8649	500,8649	500,8649	500,8649	500,8649	500,8649	500,8649	
10	765,5	651,7387	651,7387	651,7387	651,7387	651,7387	651,7387	651,7387	651,7387	
11	894,6	761,6617	761,6617	761,6617	761,6617	761,6617	761,6617	761,6617	761,6617	
12	964,5	821,2005	821,2005	821,2005	821,2005	821,2005	821,2005	821,2005	821,2005	
13	969,6	825,5262	825,5262	825,5262	825,5262	825,5262	825,5262	825,5262	825,5262	
14	909,4	774,2936	774,2936	774,2936	774,2936	774,2936	774,2936	774,2936	774,2936	
15	788,9	671,6389	671,6389	671,6389	671,6389	671,6389	671,6389	671,6389	671,6389	
16	618,1	526,2627	526,2627	526,2627	526,2627	526,2627	526,2627	526,2627	526,2627	
17	413,5	352,0847	352,0847	352,0847	352,0847	352,0847	352,0847	352,0847	352,0847	
18	201,8	171,7804	171,7804	171,7804	171,7804	171,7804	171,7804	171,7804	171,7804	
19	41,21	35,085896	35,0859	35,0859	35,0859	35,0859	35,0859	35,0859	35,0859	

La quantité de chaleur effectivement reçu par la masse d'eau augmente avec le temps et atteint son maximum à 13 heures.

Tableau 4. Influence de différentes profondeurs d'eau sur la production horaire md($l/m^2.h$).
 $(\beta=10^\circ, V=10m/s, eg=0,003m, L_{AL}=0,05m, eispoly=0,05m), (22 \text{ juillet})$

Prof d'eau(m)	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	commentaire
TL(h) IG (w/r)md	md	md	md	md	md	md	md	md	md	
7	171,3	0,1914977	0,095442	0,057044	0,036486	0,029763	0,022275	0,02105	0,020273	On constate que la production horaire est inversement proportionnelle à la profondeur de l'eau du bassin, sous l'effet de l'intensité du rayonnement solaire globale, la production horaire atteint sa valeur maximale à 13 heures
8	380,5	0,6296998	0,397763	0,19754	0,082043	0,047924	0,024377	0,011233	0,00862	
9	588,3	1,1175361	0,911632	0,546804	0,215888	0,10999	0,040779	0,017848	0,007553	
10	765,5	1,5589771	1,406987	1,054664	0,497838	0,260394	0,09627	0,042697	0,01892	
11	894,6	1,9046422	1,779719	1,503573	0,868711	0,483665	0,177492	0,075512	0,03106	
12	964,5	2,0901916	2,015658	1,846516	1,304993	0,833247	0,357928	0,179976	0,097857	
13	969,6	2,1174629	2,074914	1,981398	1,595426	1,139947	0,550861	0,295259	0,171065	
14	909,4	1,9777819	1,971506	1,945763	1,722062	1,351306	0,737971	0,42073	0,255038	
15	788,9	1,6731568	1,714473	1,771025	1,721446	1,48006	0,932055	0,582178	0,380323	
16	618,1	1,2608646	1,334746	1,445028	1,533142	1,428	1,014443	0,680264	0,465313	
17	413,5	0,7793369	0,906901	1,077383	1,28616	1,308151	1,058424	0,773344	0,563421	
18	201,8	0,3204422	0,47822	0,668453	0,934772	1,045059	0,953864	0,746811	0,567462	
19	41,21	0,0381329	0,202806	0,387868	0,669832	0,831013	0,861947	0,730175	0,586048	

Tableau 5. Influence de différentes profondeurs d'eau sur les coefficients d'échange par rayonnement, par convection et par évaporation.
 $(\beta=10^\circ, V=10m/s, eg=0,003m, eb_{AI}=0,05m, eispoly=0,05m), (22 \text{ juillet})$

		Profondeur d'eau (m)										
TL(h)	Ta(C°)	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	commentaire	
		hrga	hrga	hrga	hrga	hrga	hrga	hrga	hrga	hrga		
7	28	5,0157704	4,963058	4,942959	4,931604	4,927709	4,924566	4,923212	4,922457	4,921975	Les valeurs du coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et le milieu ambiant augmentent légèrement avec la diminution des profondeurs de l'eau du bassin. Ces valeurs atteignent le maximum à 14 heures sous l'effet d'une température ambiante maximale.	
8	31	5,3945522	5,283755	5,196675	5,142624	5,124847	5,111428	5,10601	5,103118	5,10133		
9	34	5,784591	5,689447	5,538257	5,400043	5,351343	5,315743	5,302343	5,295678	5,291944		
10	36	6,0908523	6,022599	5,876981	5,654408	5,555107	5,479469	5,451431	5,437639	5,429907		
11	39	6,4331317	6,377558	6,263006	6,009657	5,854618	5,722493	5,673019	5,649075	5,635986		
12	39	6,5052767	6,473172	6,403032	6,186789	6,000534	5,806022	5,726697	5,686909	5,663929		
13	40	6,5875044	6,569356	6,5305	6,375153	6,194961	5,958153	5,849012	5,792171	5,758774		
14	41	6,6055904	6,603476	6,592354	6,500618	6,352484	6,106172	5,9736	5,900381	5,856249		
15	40	6,4152424	6,435056	6,457618	6,434326	6,336161	6,116316	5,972901	5,886885	5,832435		
16	40	6,2522777	6,286535	6,331763	6,363726	6,318508	6,150257	6,013254	5,922364	5,862215		
17	38	5,9192714	5,978606	6,049222	6,129811	6,134588	6,030614	5,913948	5,826341	5,76444		
18	38	5,7222353	5,799863	5,882811	5,991075	6,032421	5,990581	5,90391	5,828121	5,770416		
19	36	5,4455876	5,539527	5,626703	5,747032	5,811073	5,818986	5,762676	5,701573	5,650537		

Tableau 5b. hrwg.

TL(h)	IG (w/r)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	171,3	6,0920156	5,86314	5,755506	5,688226	5,663799	5,643485	5,634544	5,629504	5,626264	5,626264	Les valeurs du coefficient d'échange par rayonnement entre l'eau du bassin et la vitre augmente avec la diminution des profondeurs de l'eau du bassin , elles atteignent leurs valeurs maximum à 13 heures sous l'effet de l'intensité du rayonnement solaire globale .
8	380,5	6,9142781	6,56669	6,232497	5,980946	5,885287	5,805932	5,77126	5,751835	5,739409	5,739409	
9	588,3	7,6305325	7,373771	6,919572	6,423308	6,21212	6,032934	5,955227	5,912107	5,884936	5,884936	
10	765,5	8,1954481	8,020375	7,629035	6,962023	6,61164	6,29638	6,158449	6,08186	6,033551	6,033551	
11	894,6	8,7039193	8,563895	8,268346	7,576596	7,103742	6,63208	6,420425	6,302626	6,228493	6,228493	
12	964,5	8,8896671	8,808815	8,630323	8,064454	7,545753	6,935222	6,643179	6,477442	6,371544	6,371544	
13	969,6	8,972885	8,927128	8,828548	8,42823	7,947238	7,25892	6,896201	6,684023	6,546706	6,546706	
14	909,4	8,8901179	8,884509	8,85642	8,621395	8,233068	7,547914	7,137635	6,886068	6,7199	6,7199	
15	788,9	8,527	8,576579	8,634992	8,576614	8,321403	7,724568	7,302526	7,025597	6,836708	6,836708	
16	618,1	8,0954541	8,184118	8,303504	8,389615	8,272478	7,818802	7,425229	7,144039	6,944002	6,944002	
17	413,5	7,4475822	7,612227	7,808785	8,030595	8,046169	7,765865	7,434715	7,170366	6,971587	6,971587	
18	201,8	6,8252502	7,074508	7,329806	7,646385	7,764942	7,651933	7,404085	7,175584	6,991653	6,991653	
19	41,21	6,1364763	6,531096	6,842591	7,227031	7,419231	7,446496	7,283732	7,098812	6,936712	6,936712	

129

Tableau 5c. hcwg.

TL(h)	IG (w/r)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	171,3	2,1791829	1,895445	1,696493	1,534869	1,464975	1,400421	1,369743	1,351744	1,339881	1,339881	Les valeurs du coefficient d'échange par convection entre l'eau du bassin et la vitre augmente légèrement avec la diminution des profondeurs de l'eau du bassin et atteignent leurs valeurs maximum à 13 heures sous l'effet de l'intensité du rayonnement solaire globale
8	380,5	2,6760809	2,466563	2,154983	1,792684	1,590618	1,360618	1,224802	1,131164	1,060926	1,060926	
9	588,3	2,9469019	2,8395	2,581986	2,152144	1,8672	1,494	1,229278	0,997938	0,748628	0,748628	
10	765,5	3,1384389	3,073824	2,904163	2,513019	2,208679	1,786543	1,48472	1,224291	0,955288	0,955288	
11	894,6	3,272848	3,221683	3,103364	2,772533	2,466724	2,002622	1,655905	1,345278	0,999891	0,999891	
12	964,5	3,3482535	3,318303	3,249494	3,01075	2,74806	2,318999	2,007312	1,755132	1,530931	1,530931	
13	969,6	3,3587304	3,341388	3,303107	3,139578	2,920808	2,520107	2,217428	1,973701	1,762966	1,762966	
14	909,4	3,3004131	3,29777	3,287001	3,191733	3,022343	2,664755	2,375856	2,139536	1,936228	1,936228	
15	788,9	3,1725559	3,190096	3,214353	3,19345	3,086766	2,801523	2,547895	2,336868	2,157553	2,157553	
16	618,1	2,9813858	3,016935	3,069159	3,110036	3,062224	2,850244	2,629188	2,435551	2,267933	2,267933	
17	413,5	2,7172575	2,797691	2,89542	3,003028	3,014457	2,887863	2,714046	2,550442	2,405633	2,405633	
18	201,8	2,2780296	2,465492	2,633409	2,814317	2,878694	2,827963	2,695264	2,554069	2,422474	2,422474	
19	41,21	1,4481563	2,09344	2,385797	2,65306	2,766331	2,787413	2,700737	2,589578	2,479374	2,479374	

Tableau 5d. hevwg.

TL(h)	IG (w/r)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	171,3	11,893864	8,545127	6,965901	5,938461	5,545935	5,206014	5,051268	4,962363	4,904502	Les valeurs du coefficient d'échange par évaporation entre l'eau du bassin et la vitre augmentent avec la diminution des profondeurs de l'eau du bassin , on constate que ces valeurs sont élevées par rapport aux autres coefficients d'échange et atteignent leurs valeurs maximum à 13 heures sous l'effet du rayonnement solaire incident.	
8	380,5	26,776619	19,34935	13,11808	8,899827	7,286666	5,824297	5,088264	4,620727	4,287216		
9	588,3	46,092401	38,10061	25,86369	15,12328	11,14791	7,723952	5,961523	4,669072	3,423886		
10	765,5	67,070246	59,82422	45,34385	25,84777	17,79791	11,37211	8,483051	6,5797	4,937436		
11	894,6	90,338024	83,03296	68,83334	41,89057	27,78765	16,33401	11,56171	8,590154	6,029726		
12	964,5	100,99167	96,3315	86,53906	59,9303	40,76229	23,35897	16,50181	12,78608	10,30219		
13	969,6	105,3029	102,549	96,77114	75,57003	54,50524	31,32917	21,7354	16,69326	13,50657		
14	909,4	99,521847	99,17943	97,55347	84,57567	65,75095	39,52362	27,31333	20,81284	16,7866		
15	788,9	80,246449	82,70025	85,76208	82,79191	70,33772	46,10749	32,55312	24,98377	20,30518		
16	618,1	60,30605	63,97613	69,2826	73,38946	68,02636	49,49999	36,23766	28,13671	22,96248		
17	413,5	38,012468	43,17272	50,04128	58,69712	59,42467	48,71952	37,67473	30,01354	24,85164		
18	201,8	21,304648	27,25753	34,26088	44,30573	48,53193	44,67336	36,72054	30,15705	25,36364		
19	41,21	8,1313622	15,90141	22,61318	32,41047	38,08458	39,02113	34,20268	29,14391	25,06426		

Tableau 5e. hcbw.

TL(h)	IG (w/r)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	171,3	0,3572264	0,90739	1,012958	1,816422	2,764098	4,318644	5,678738	6,927192	8,09777	On constate que Les valeurs du coefficient d'échange de chaleur par convection entre l'eau du bassin et l'absorbeur diminue avec la diminution des profondeurs de l'eau du bassin.	
8	380,5	0,4887787	1,444562	1,974346	2,22855	2,09812	4,553229	6,256851	7,762857	9,153031		
9	588,3	0,5409003	1,720075	2,540578	3,16996	2,857188	4,873873	6,978396	8,747701	10,35347		
10	765,5	0,5529554	1,800207	2,825218	3,788909	3,732104	5,308133	7,776751	9,771023	11,55727		
11	894,6	0,5460494	1,787108	2,885044	4,12896	4,242012	5,825767	8,584171	10,76138	12,69178		
12	964,5	0,5151577	1,686858	2,756056	4,107769	4,28224	6,449223	9,370118	11,68067	13,71711		
13	969,6	0,4690977	1,526578	2,498668	3,771809	3,70163	7,089852	10,07407	12,47638	14,58703		
14	909,4	0,3867422	1,232936	2,008902	2,923339	3,178046	7,680345	10,65267	13,10636	15,26091		
15	788,9	0,3279267	1,134654	1,860661	3,141585	4,75659	8,210039	11,09657	13,55073	15,71293		
16	618,1	0,4620632	1,542586	2,532611	4,088218	5,559854	8,633133	11,38819	13,7915	15,92162		
17	413,5	0,5299668	1,756534	2,886775	4,63307	6,118762	8,963276	11,54528	13,84068	15,89099		
18	201,8	0,5543847	1,847384	3,059628	4,939803	6,466222	9,164128	11,5596	13,7037	15,62995		
19	41,21	0,5427435	1,851954	3,108178	5,079597	6,650237	9,254853	11,47075	13,43936	15,20909		

($\beta=10^\circ$, $V=10\text{m}^3/\text{s}$, $e_g=0,003\text{m}$, $e_{bAL}=0,05\text{m}$, $e_{ispolyst}=0,05\text{m}$), (22 juillet)

Tableau 6a. Température de la face extérieure de la vitre.

TL(h)	IG (w/r)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	171,3	31,231057	29,18265	28,39563	27,94964	27,79645	27,67278	27,61947	27,58972	27,57072		
8	380,5	41,35174	37,25752	33,98262	31,92484	31,24388	30,72846	30,52002	30,40865	30,33978		
9	588,3	51,166662	47,83451	42,43353	37,37964	35,57157	34,24064	33,73765	33,487	33,34647		
10	765,5	58,896307	56,60174	51,62733	43,80974	40,23417	37,47268	36,4405	35,93105	35,64491		
11	894,6	66,060864	64,26508	60,51885	52,01566	46,65592	41,98898	40,21702	39,35451	38,88162		
12	964,5	68,375232	67,34898	65,0912	57,99223	51,70263	44,94951	42,13841	40,71552	39,8897		
13	969,6	69,63389	69,05891	67,82308	62,81724	56,87719	48,83645	45,03648	43,03275	41,84737		
14	909,4	68,844739	68,77765	68,42528	65,4979	60,69398	52,48661	47,9489	45,40478	43,85788		
15	788,9	64,115835	64,75582	65,48353	64,73315	61,54147	54,2346	49,34383	46,35407	44,45306		
16	618,1	58,777951	59,90843	61,39412	62,43963	60,96126	55,37635	50,72945	47,59538	45,49809		
17	413,5	50,303389	52,3409	54,74497	57,46036	57,62135	54,11668	50,12033	47,07395	44,89722		
18	201,8	43,400257	46,14201	49,03815	52,76635	54,17552	52,75171	49,77242	47,1356	45,10778		
19	41,21	36,222944	39,66231	42,80979	47,08589	49,33063	49,6077	47,63865	45,48255	43,66611		

Tableau 6b. Température de la face intérieure de la vitre.

TL(h)	IG (w/r)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	171,3	31,789802	29,49725	28,60892	28,1047	27,93144	27,79156	27,73124	27,6976	27,6761		
8	380,5	42,761395	38,21175	34,52283	32,1985	31,42883	30,84625	30,61067	30,4848	30,40697		
9	588,3	53,439548	49,72349	43,65731	37,95791	35,91631	34,41311	33,84494	33,56168	33,40266		
10	765,5	61,888635	59,32646	53,74629	44,94381	40,91032	37,79376	36,62879	36,05367	35,73037		
11	894,6	69,580209	67,57194	63,36722	53,79759	47,75498	42,48981	40,49041	39,51698	38,98278		
12	964,5	72,190261	71,04058	68,50633	60,52148	53,43672	45,82386	42,65428	41,04992	40,11874		
13	969,6	73,48107	72,83633	71,44868	65,81857	59,12977	50,06925	45,78632	43,52789	42,19185		
14	909,4	72,460221	72,38391	71,98891	68,69844	63,29064	54,04597	48,93322	46,06661	44,32368		
15	788,9	67,253908	67,9673	68,78624	67,94897	64,36106	56,13691	50,62972	47,26288	45,12215		
16	618,1	61,236334	62,49884	64,16857	65,35187	63,6948	57,41399	52,18411	48,65632	46,29554		
17	413,5	51,949182	54,22553	56,92621	59,98709	60,17658	56,24292	51,7495	48,32302	45,8745		
18	201,8	44,181838	47,24811	50,5007	54,6969	56,28896	54,69811	51,35142	48,3874	46,10751		
19	41,21	36,368393	40,21893	43,75259	48,5602	51,0889	51,4106	49,20211	46,78056	44,7397		

Les températures de la face intérieure de la vitre jouent le rôle du condenseur, leurs valeur augmentent avec la diminution des profondeurs de l'eau sous l'effet de l'intensité du rayonnement solaire qui atteint sa valeur maximale à 13 heures.

Tableau 6c. Température de l'eau du bassin.

		Profondeur d'eau (m)											commentaire
TL(h)	IG (wh)	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11			
7	171,3	42,52642	36,98655	34,11551	32,24373	31,54921	30,96531	30,70644	30,55999	30,46564		On constate que les températures de l'eau du bassin augmentent avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin, la température de l'eau atteint la valeur maximale d'évaporation à 13 heures sous l'effet de la plus grande valeur de l'intensité du rayonnement solaire.	
8	380,5	58,215677	51,79262	44,54443	38,37138	35,84389	33,66186	32,68082	32,12268	31,76205			
9	588,3	69,171467	65,31179	57,54259	47,4306	42,49592	37,94983	35,85462	34,64893	33,86554			
10	765,5	76,848229	74,50089	68,84355	57,59282	50,58781	43,43385	39,9937	37,97989	36,6579			
11	894,6	83,058951	81,30078	77,41712	67,28024	59,1674	49,68406	44,83567	41,92961	39,99564			
12	964,5	85,388282	84,39807	82,16067	74,56999	66,73452	55,90444	49,87365	46,13515	43,60293			
13	969,6	86,291289	85,73406	84,51778	79,36935	72,65051	61,56923	54,73377	50,3081	47,24166			
14	909,4	85,136365	85,06445	84,71727	81,7341	76,52229	66,19914	59,0344	54,14269	50,65708			
15	788,9	80,618702	81,24676	82,00319	81,2674	77,88856	69,25237	62,3174	57,26358	53,53495			
16	618,1	74,72294	75,93922	77,58139	78,76912	77,19988	70,69027	64,42546	59,49576	55,70666			
17	413,5	65,306221	67,87423	70,87095	74,13022	74,38165	70,32214	65,1252	60,61293	56,96565			
18	201,8	54,095201	58,75627	63,2392	68,39773	70,24522	68,56137	64,61094	60,70536	57,35154			
19	41,21	39,505073	48,67142	55,04645	62,07016	65,30463	65,79424	63,14195	59,95443	56,99987			

Tableau 6d. Température de l'absorbeur.

		Profondeur d'eau (m)											commentaire
TL(h)	IG (wh)	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11			
7	171,3	33,360798	33,34985	33,33619	33,31597	33,29702	33,26397	33,23498	33,20861	33,1841		On constate que les températures de l'absorbeur augmentent d'une part avec le temps et d'un autre part avec la diminution de la profondeur de l'eau du bassin. La couche noir sélective qui couvre l'absorbeur lui permet de capter le maximum de rayonnement solaire et de maintenir les valeurs des températures élevées même pour un un temps retardé.	
8	380,5	36,512149	36,53764	36,47633	36,39436	36,34232	36,24079	36,15036	36,0689	35,99416			
9	588,3	41,392322	41,58356	41,48089	41,24781	41,10368	40,88072	40,66555	40,47195	40,29582			
10	765,5	47,711402	48,15652	48,09945	47,67146	47,34645	46,915	46,48127	46,09066	45,73796			
11	894,6	55,058026	55,77207	55,83634	55,25865	54,68722	53,9366	53,16731	52,4749	51,85449			
12	964,5	62,912373	63,85515	64,05885	63,41436	62,58925	61,42286	60,19411	59,09026	58,109			
13	969,6	70,741528	71,83867	72,14934	71,48898	70,45367	68,80957	67,01329	65,40269	63,9816			
14	909,4	78,013889	79,18284	79,54736	78,8789	77,70451	75,52826	73,09433	70,91352	69,00145			
15	788,9	84,236894	85,40263	85,7701	85,08344	83,79828	81,04399	77,95749	75,18942	72,77407			
16	618,1	89,010593	90,08936	90,40362	89,6519	88,23223	84,93355	81,23999	77,92015	75,03273			
17	413,5	92,037774	92,91584	93,10096	92,22303	90,67312	86,91925	82,71878	78,93192	75,6445			
18	201,8	93,269382	93,82926	93,80712	92,73935	91,07053	86,98258	82,41366	78,28079	74,69595			
19	41,21	93,090869	93,23533	92,941	91,62785	89,8516	85,55694	80,77142	76,42807	72,66064			

Tableau 6e. Température de la face intérieure de l'isolant.

TL(h)	IG (w/r)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	171,3	33,359874	33,34892	33,33527	33,31506	33,29611	33,26308	33,2341	33,20774	33,18324		Puisque la partie intérieure de l'isolant est en contact avec l'absorbeur, alors elle maintient presque les mêmes valeurs des températures qui augmentent avec la diminution des profondeurs de l'eau du bassin.
8	380,5	36,510876	36,53634	36,47505	36,39311	36,34108	36,23959	36,14918	36,06775	35,99303		
9	588,3	41,390494	41,58167	41,47901	41,24599	41,1019	40,87901	40,66389	40,47034	40,29426		
10	765,5	47,708773	48,15378	48,0967	47,6688	47,34387	46,91252	46,47889	46,08838	45,73577		
11	894,6	55,054668	55,76858	55,83281	55,25521	54,6839	53,93344	53,16433	52,47207	51,85179		
12	964,5	62,907948	63,85058	64,05422	63,40982	62,58485	61,4187	60,1902	59,08657	58,1055		
13	969,6	70,736263	71,83325	72,14386	71,48359	70,44844	68,80464	67,00869	65,39839	63,97757		
14	909,4	78,007951	79,17675	79,54123	78,87285	77,69862	75,52275	73,08924	70,90881	68,99707		
15	788,9	84,230258	85,39586	85,76329	85,07671	83,79174	81,0379	77,9519	75,18428	72,76932		
16	618,1	89,003638	90,0823	90,39654	89,64493	88,22546	84,92728	81,23429	77,91496	75,02798		
17	413,5	92,030525	92,90853	93,09366	92,21587	90,66617	86,91285	82,71298	78,92666	75,63972		
18	201,8	93,262316	93,82219	93,8001	92,73251	91,06391	86,97652	82,40822	78,27592	74,69157		
19	41,21	93,083842	93,22837	92,93414	91,62119	89,84519	85,55108	80,76618	76,4234	72,65646		

Tableau 6f. Température de la face extérieure de l'isolant.

TL(h)	Ta(C°)	Profondeur d'eau (m)										commentaire
		0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11		
7	28	28,054238	28,05418	28,05407	28,05388	28,0537	28,05337	28,05308	28,05282	28,05258		On constate que les températures de face extérieure de l'isolant augmentent avec la diminution des profondeurs de l'eau, mais avec des valeurs plus faibles par rapport aux températures des autres composants du distillateur ceci s'explique par la bonne isolation qui empêche la perte d'énergie.
8	31	31,055079	31,05545	31,05493	31,05417	31,05367	31,05267	31,05177	31,05096	31,05022		
9	34	34,073197	34,07522	34,07442	34,0723	34,07093	34,06876	34,06663	34,0647	34,06295		
10	36	36,115478	36,12003	36,11979	36,11606	36,11305	36,10892	36,10465	36,10079	36,09728		
11	39	39,157469	39,16466	39,16565	39,16075	39,15557	39,14852	39,14101	39,13419	39,12805		
12	39	39,234614	39,24404	39,24637	39,24104	39,23374	39,22305	39,21118	39,20035	39,19067		
13	40	40,301464	40,31236	40,31565	40,31009	40,30096	40,28606	40,26883	40,25311	40,23912		
14	41	41,36316	41,37467	41,37834	41,37244	41,36193	41,34216	41,3189	41,29769	41,27893		
15	40	40,436018	40,44736	40,45079	40,44423	40,4324	40,40701	40,37751	40,35062	40,32693		
16	40	40,484943	40,49531	40,49799	40,49026	40,47667	40,44559	40,41012	40,37783	40,34951		
17	38	38,538569	38,54671	38,54781	38,53823	38,52281	38,4866	38,4459	38,4089	38,37657		
18	38	38,553299	38,55808	38,55697	38,54517	38,52813	38,4879	38,44321	38,40262	38,36726		
19	36	36,574939	36,57537	36,57145	36,55697	36,53852	36,49554	36,44824	36,4053	36,36795		

Tableau 7. Influence de différentes vitesses du vent sur la production horaire et le facteur de performance horaire

($\beta=10^\circ$, $L_{hw}=0,02m$, $e_{g}=0,003m$, $e_{b_{AL}}=0,05m$, $e_{is_{polyat}}=0,05m$), (22 juillet)

TL(h)	G(w/m ²)	Vitesse du vent (m/s)							commentaire
		1 m/s	3,08 m/s	5,66 m/s	7,72 m/s	10 m/s			
	md(l/m ² .h)	md(l/m ² .h)	md(l/m ² .h)	md(l/m ² .h)	md(l/m ² .h)	md(l/m ² .h)	md(l/m ² .h)	md(l/m ² .h)	
7	171,340965	0,038068444	0,037291486	0,036816236	0,036616378	0,036485856	0,036485856	0,036485856	A partir du tableau on constate que la production horaire (md) augmente avec l'augmentation des de la vitesse du vent, elle atteint son maximum à 14 heures pour la plus grande valeur de la vitesse du vent 10 m/s.
8	380,4751537	0,072257819	0,075270196	0,078341342	0,080291918	0,082043366	0,082043366	0,082043366	
9	588,2839022	0,160597063	0,179926603	0,197020223	0,207133289	0,215888304	0,215888304	0,215888304	
10	765,4905865	0,337169117	0,39486488	0,444563505	0,473340109	0,497838478	0,497838478	0,497838478	
11	894,5991522	0,567365474	0,677231659	0,77080645	0,824101051	0,868710579	0,868710579	0,868710579	
12	964,5296325	0,861781721	1,030297997	1,168815139	1,244361402	1,304992699	1,304992699	1,304992699	
13	969,6102701	1,10614436	1,304418517	1,457931714	1,536295151	1,595426313	1,595426313	1,595426313	
14	909,4358108	1,278395374	1,475592254	1,614797001	1,678682139	1,722061838	1,722061838	1,722061838	
15	788,9641593	1,387823709	1,562324261	1,666544386	1,703342465	1,721446495	1,721446495	1,721446495	
16	618,1145011	1,365771729	1,487757902	1,53462563	1,539520379	1,533141796	1,533141796	1,533141796	
17	413,5361225	1,271647279	1,333637744	1,330611196	1,310393357	1,286159568	1,286159568	1,286159568	
18	201,7622235	1,051783888	1,051269723	1,005443223	0,968395778	0,934771785	0,934771785	0,934771785	
19	41,20965006	0,848642007	0,80866676	0,74405179	0,703323992	0,669831732	0,669831732	0,669831732	

Tableau 8. Influence des différentes angles d'inclinaison les températures des composants du distillateur solaire(L_{hw}=0,02m, V=10m³, e_g=0,003m, e_{b,AL}=0,05m, e_{is_{poly}st}=0,05m);(22 juillet)

Angle d'inclinaison (degré)		0°	5°	10°	20°	30°	36°	45°	60°	commentaire
TL(h)	Ta(°C)	Tge(°C)	Tge(°C)	Tge(°C)	Tge(°C)	Tge(°C)	Tge(°C)	Tge(°C)	Tge(°C)	
7	28	28,032679	27,993502	27,949638	27,850026	27,736982	27,661171	27,521119	27,045435	On constate que les valeurs des Températures de la face extérieure du distillateur solaire augmentent avec la diminution de l'angle d'inclinaison jusqu'à une valeur critique de β=10°, ou la température (Tge) atteint sa valeur maximum à 14 heures.
8	31	32,098671	32,022017	31,924843	31,674931	31,36599	31,162877	30,851632	30,368139	
9	34	37,566131	37,49942	37,379636	36,989442	36,424175	36,019846	35,354736	34,199681	
10	36	43,86452	43,889792	43,809737	43,338228	42,481399	41,80937	40,632944	38,425886	
11	39	51,780367	51,977748	52,015661	51,60686	50,568161	49,666375	47,980791	44,559766	
12	39	57,433468	57,812957	57,99223	57,736669	56,661463	55,635294	53,601129	49,131572	
13	40	62,0497	62,542233	62,817236	62,700743	61,688512	60,656641	58,535623	53,630244	
14	41	64,686784	65,200927	65,497901	65,429299	64,471785	63,474659	61,401542	56,511934	
15	40	64,037339	64,486842	64,73315	64,609818	63,666209	62,712281	60,749818	56,131991	
16	40	61,989956	62,303869	62,43963	62,175747	61,208077	60,300429	58,500713	54,411544	
17	38	57,315799	57,461495	57,460363	57,021864	56,018422	55,158124	53,527485	49,984737	
18	38	52,893291	52,884975	52,76635	52,205368	51,233831	50,469459	49,09362	46,214551	
19	36	47,256208	47,211384	47,085885	46,57438	45,632428	44,784893	42,954412	37,562272	

Tableau 8b. Température de la face intérieure de la vitre.

Angle d'inclinaison (degré)		0°	5°	10°	20°	30°	36°	45°	60°	commentaire
TL(h)	Ta(°C)	Tgi(°C)	Tgi(°C)	Tgi(°C)	Tgi(°C)	Tgi(°C)	Tgi(°C)	Tgi(°C)	Tgi(°C)	
7	28	28,198741	28,154375	28,104699	27,991886	27,86389	27,778123	27,620058	27,084803	Les valeurs des températures de la face intérieure de la vitre suit le même allure de des températures extérieures mais avec des valeurs plus élevées, on constate qu'elle atteint la valeur maximale à 14 heures pour un angle β=10°.
8	31	32,394409	32,308046	32,1985	31,916629	31,568031	31,338771	30,987323	30,440941	
9	34	38,167495	38,092669	37,957913	37,518286	36,880893	36,424811	35,674378	34,370634	
10	36	45,004112	45,03339	44,943813	44,413215	43,447663	42,690015	41,363354	38,873781	
11	39	53,530424	53,75395	53,797588	53,338118	52,167953	51,151528	49,251198	45,393439	
12	39	59,889825	60,318545	60,521484	60,23478	59,02372	57,867418	55,575025	50,537954	
13	40	64,951942	65,507917	65,818566	65,68812	64,547439	63,384364	60,993734	55,466034	
14	41	67,783327	68,363344	68,698445	68,621355	67,541734	66,417476	64,080423	58,570504	
15	40	67,164963	67,671494	67,948968	67,809507	66,745418	65,67006	63,458556	58,257183	
16	40	64,846291	65,199438	65,351867	65,053495	63,96233	62,939384	60,911845	56,307946	
17	38	59,825975	59,989151	59,987086	59,492054	58,361448	57,392699	55,557271	51,57207	
18	38	54,841393	54,831151	54,698902	54,064511	52,970798	52,110809	50,563603	47,328243	
19	36	48,751973	48,701362	48,560199	47,985432	46,927161	45,974813	43,917573	37,857376	

Tableau 8c. Température de l'eau du bassin.

TL(h)	Ta(C°)	Angle d'inclinaison (degré)												commentaire
		0°	5°	10°	20°	30°	36°	45°	60°					
7	28	32,640943	32,455081	32,243726	31,74745	31,167431	30,794843	30,23713	29,408006	On constate que l'angle d'inclinaison qui donne la valeur maximale de la température de l'eau du bassin est égale à 10° à 14 heures, ce qui favorise le phénomène d'évaporation.				
8	31	38,926807	38,68293	38,371376	37,548338	36,472168	35,71864	34,467532	32,151371					
9	34	47,849385	47,700772	47,430605	46,525341	45,140994	44,090444	42,229702	38,439205					
10	36	57,656213	57,710322	57,592816	56,83694	55,380793	54,172063	51,897124	46,900292					
11	39	66,931846	67,209433	67,280244	66,792728	65,449533	64,224152	61,784546	56,055858					
12	39	73,896135	74,344842	74,56999	74,34209	73,191318	72,045029	69,659599	63,77013					
13	40	78,515307	79,056426	79,369351	79,305679	78,308017	77,249543	74,988715	69,257894					
14	41	80,855527	81,406232	81,734102	81,716843	80,799154	79,804479	77,667112	72,221566					
15	40	80,517163	80,995429	81,267401	81,19264	80,289198	79,344017	77,339449	72,268552					
16	40	78,266547	78,610368	78,769117	78,533841	77,562867	76,624612	74,705193	70,004247					
17	38	73,955284	74,121865	74,130221	73,675375	72,592737	71,638688	69,764291	65,322295					
18	38	68,563069	68,54671	68,397729	67,702354	66,476039	65,485371	63,642641	59,578079					
19	36	62,300184	62,234284	62,070159	61,451556	60,416974	59,561658	57,883543	53,788373					

Tableau 8d. Température de l'absorbeur.

TL(h)	Ta(C°)	Angle d'inclinaison (degré)												commentaire
		0	5	10	20	30	36	45	60					
7	28	33,469152	33,397182	33,315967	33,12748	32,906396	32,758218	32,511202	32,010446	On constate que les valeurs des températures augmentent avec la diminution de l'angle d'inclinaison. Ces valeurs atteignent leurs maximum pour un angle égale à 10°.				
8	31	36,652186	36,538544	36,394359	36,018161	35,532159	35,191295	34,61286	33,46344					
9	34	41,504395	41,408509	41,247807	40,736541	39,983633	39,423005	38,4385	36,437496					
10	36	47,811285	47,796488	47,671463	47,094318	46,094482	45,30172	43,857957	40,827511					
11	39	55,186251	55,303937	55,258649	54,680284	53,464533	52,440951	50,514204	46,343614					
12	39	63,0765	63,354538	63,414365	62,877534	61,476725	60,234252	57,831451	52,495869					
13	40	70,884997	71,322722	71,488985	71,002612	69,434378	67,987744	65,136229	58,689891					
14	41	78,068535	78,628341	78,878901	78,41601	76,677989	75,038312	71,773045	64,322401					
15	40	84,136225	84,789374	85,083436	84,587251	82,656494	80,826602	77,177581	68,855623					
16	40	88,697255	89,367162	89,651903	89,059673	86,931217	84,934581	80,967469	71,933274					
17	38	91,384929	92,001953	92,223026	91,473566	89,15127	87,021802	82,832323	73,357478					
18	38	92,093602	92,612466	92,739352	91,816118	89,341357	87,129775	82,824991	73,136899					
19	36	91,100585	91,554895	91,627846	90,621673	88,085621	85,849001	81,536754	71,882821					

Tableau 8e. Température de la face intérieure de l'isolant.

TL(h)	Ta(C°)	Angle d'inclinaison (degré)										commentaire	
		0	5	10	20	30	36	45	60				
7	28	33,468194	33,396246	33,315057	33,126629	32,905614	32,757482	32,510544	32,009944				Les températures de la face intérieure de la vitre suit le même allure que Les températures de l'absorbeur, avec des valeurs maximales enregistrées pour un angle égale à 10°.
8	31	36,650886	36,537265	36,393111	36,016995	35,531103	35,190318	34,612017	33,46286				
9	34	41,502547	41,406669	41,24599	40,734813	39,982049	39,421532	38,437226	36,436632				
10	36	47,808631	47,793821	47,668805	47,091742	46,092076	45,299456	43,855958	40,826081				
11	39	55,182862	55,300508	55,255211	54,676916	53,461355	52,437941	50,511522	46,341661				
12	39	63,07205	63,350024	63,409824	62,87305	61,472448	60,230168	57,827751	52,493043				
13	40	70,879728	71,317369	71,483591	70,997269	69,42926	67,982842	65,131762	58,686424				
14	41	78,052623	78,622334	78,872847	78,41001	76,672235	75,032797	71,76801	64,318472				
15	40	84,129642	84,782695	85,076713	84,580595	82,650111	80,82048	77,171984	68,851219				
16	40	88,6904	89,360222	89,64493	89,052791	86,924634	84,928275	80,96171	71,928758				
17	38	91,377849	91,994807	92,215865	91,466527	89,144554	87,015373	82,828452	73,352856				
18	38	92,086802	92,60562	92,732508	91,809422	89,334995	87,123701	82,81947	73,132612				
19	36	91,093974	91,548241	91,621193	90,615158	88,079431	85,843091	81,531378	71,878633				

Tableau 8f. Température de la face extérieure de l'isolant.

TL(h)	Ta(C°)	Angle d'inclinaison (degré)										commentaire	
		0°	5°	10°	20°	30°	36°	45°	60°				
7	28	28,055413	28,064693	28,053881	28,051996	28,049784	28,048301	28,04583	28,040823				On constate que les températures de la face extérieure de l'isolant ont des valeurs relativement faibles, ceci s'explique par la conservation de l'énergie qui est due à la bonne isolation. Elles atteignent leur valeur maximale à 14 heures pour un angle égale à 10°.
8	31	31,056764	31,056621	31,054173	31,050398	31,045522	31,042102	31,036296	31,024752				
9	34	34,074878	34,073911	34,072298	34,06718	34,059649	34,054041	34,04419	34,024147				
10	36	36,117473	36,117311	36,116057	36,110307	36,100362	36,092476	36,078102	36,047874				
11	39	39,160083	39,161216	39,16075	39,155027	39,143035	39,132937	39,113906	39,072591				
12	39	39,237803	39,240485	39,241037	39,23574	39,222005	39,209825	39,186241	39,133676				
13	40	40,304304	40,308518	40,310095	40,305301	40,289998	40,275889	40,248042	40,184848				
14	41	41,364561	41,370047	41,372438	41,367886	41,350977	41,33503	41,303233	41,230398				
15	40	40,435077	40,441395	40,444226	40,439364	40,420568	40,40275	40,36717	40,28572				
16	40	40,480951	40,487482	40,490258	40,484494	40,463745	40,444256	40,405463	40,316797				
17	38	38,529938	38,536029	38,538235	38,530951	38,508207	38,487303	38,446091	38,362546				
18	38	38,538669	38,543853	38,545169	38,536174	38,511828	38,490009	38,447446	38,351352				
19	36	36,55162	36,55619	36,556968	36,547069	36,521966	36,499804	36,457057	36,361277				

Tableau 9. Influence des différents angles d'inclinaison sur les pressions de la vitre et de l'eau du bassin

(Lhw=0,02m, V=10m/s, eg=0,003m, LbAL=0,05m, eisLV=0,01m), (22 juillet)

Tableau 9a. Pression de la vitre.

		Angle d'inclinaison (degré)												commentaire
TL(h)	Ta(C°)	0°	5°	10°	20°	30°	36°	45°	60°					
		Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)	Prg (N/m2)		
7	28	3795,3638	3785,8385	3775,1985	3751,133	3723,9921	3705,9006	3672,7536	3662,3882	On constate que la pression partielle de la vitre augmente avec la diminution de l'angle d'inclinaison jusqu'à une valeur critique de l'angle d'inclinaison la vitre égale à 10°, ou elle atteint sa valeur maximale à 14 heures.				
8	31	4798,6682	4775,8689	4747,0894	4673,7439	4584,424	4526,5082	4438,982	4306,887					
9	34	6558,4183	6532,3852	6485,7501	6335,6683	6123,5222	5975,5906	5739,0309	5347,621					
10	36	9356,4845	9370,3707	9327,7357	9078,8603	8640,9621	8310,4596	7758,4129	6808,8207					
11	39	14273,847	14428,38	14458,65	14141,655	13361,856	12715,322	11579,631	9543,8581					
12	39	19287,095	19674,131	19859,631	19597,673	18524,646	17548,332	15744,598	12339,342					
13	40	24312,127	24927,486	25277,137	25129,616	23872,268	22646,932	20298,919	15664,337					
14	41	27591,855	28308,657	28730,09	28632,603	27297,805	25965,564	23375,588	18139,569					
15	40	26847,644	27458,202	27797,756	27626,731	26351,116	25114,205	22727,919	17877,088					
16	40	24202,563	24590,543	24759,718	24429,835	23255,294	22199,01	20227,987	16308,382					
17	38	19237,58	19383,953	19382,197	18941,631	17967,734	17168,208	15738,02	12985,441					
18	38	15209,266	15201,903	15104,567	14653,097	13899,911	13331,606	12360,085	10526,294					
19	36	11301,869	11273,494	11194,636	10878,473	10316,733	9833,12	8855,7286	6453,5628					

Tableau 9.b. Pression de l'eau de bassin

		Angle d'inclinaison (degré)												commentaire
TL(h)	Ta(C°)	0	5	10	20	30	36	45	60					
		Prgw	Prgw	Prgw	Prgw	Prgw	Prgw	Prgw	Prgw	Prgw	Prgw	Prgw		
7	28	4864,2126	4814,6977	4758,9317	4630,2215	4483,6895	4391,7332	4257,1954	406,39057	On constate que les pressions partielles de l'eau augmentent avec la diminution de l'angle d'inclinaison jusqu'à ou $\beta=10^\circ$, la valeur de Prgw atteint son maximum à 14 heures.				
8	31	6827,0455	6739,5321	6629,177	6345,2732	5990,232	5752,1627	5375,2614	473,45788					
9	34	10798,486	10718,504	10574,492	10104,313	9420,7797	8929,4749	8114,2323	665,29982					
10	36	17372,919	17417,059	17320,916	16714,004	15597,126	14720,104	13185,666	1029,7014					
11	39	26561,577	26891,378	26975,95	26396,86	24857,386	23521,67	21047,053	1610,7189					
12	39	35994,513	36690,501	37044,009	36685,696	34923,118	33240,864	29963,722	2304,4872					
13	40	43741,975	44736,891	45321,06	45201,408	43365,206	41487,939	37711,985	2944,2756					
14	41	48190,478	49291,43	49957,128	49925,694	48078,745	46147,659	42223,274	3350,065					
15	40	47528,573	48472,283	49016,131	48866,231	47084,674	45281,006	41651,984	3357,1975					
16	40	43300,249	43924,923	44216,032	43785,625	42046,267	40423,123	37269,783	3042,974					
17	38	36098,805	36356,755	36369,898	35669,89	34049,983	32675,572	30114,577	2472,8877					
18	38	28566,841	28546,418	28359,575	27500,986	26041,453	24911,887	22923,502	1901,8549					
19	36	21563,306	21498,416	21337,461	20740,087	19773,445	19004,161	17570,303	1446,0273					

Tableau 10. Influence de différentes angles d'inclinaison sur la production horaire.
($L_{hw}=0,02m^{\circ}$, $V=10m/s$, $eg=0,003m$, $eb_A=0,05m$, $eispolyst=0,05m$), (22 juillet)

TL(h)	Ta(C°)	Angle d'inclinaison (degré)												commentaire
		0°	5°	10°	20°	30°	36°	45°	60°					
		md	md	md	md	md	md	md	md	md	md	md	md	
7	28	0,0407491	0,0387531	0,0364859	0,0312689	0,0255074	0,0220818	0,0175677	0,0138286					
8	31	0,0905498	0,086804	0,0820434	0,0698876	0,0551655	0,0457036	0,0315663	0,0108348					
9	34	0,226621	0,2228395	0,2158883	0,1932105	0,1609372	0,1384364	0,1026938	0,0453339					
10	36	0,5008592	0,5029517	0,4978385	0,4664515	0,4096122	0,3657142	0,2907634	0,1587529					
11	39	0,8504808	0,8654739	0,8687106	0,8393984	0,7641586	0,6993662	0,5802481	0,3493319					
12	39	1,261244	1,2908122	1,3049927	1,2859255	1,2039542	1,1261428	0,9737872	0,6503734					
13	40	1,534709	1,573612	1,5954263	1,586368	1,5067675	1,4261372	1,2622932	0,894668					
14	41	1,6579458	1,6986032	1,7220618	1,7161782	1,6396696	1,5607017	1,3984529	1,0266779					
15	40	1,6673641	1,702419	1,7214465	1,7106848	1,6352202	1,5598813	1,4070386	1,0572781					
16	40	1,4995749	1,5232759	1,5331418	1,5112085	1,4349112	1,3643581	1,2264517	0,9223681					
17	38	1,2769466	1,2870954	1,2861596	1,2513987	1,1744994	1,1095206	0,9881208	0,7321975					
18	38	0,9464241	0,9446197	0,9347718	0,8915873	0,8192553	0,7636715	0,6669265	0,485407					
19	36	0,6813866	0,6778973	0,6698317	0,642045	0,6024793	0,5751318	0,5326645	0,4714748					

Abstract

The aim of this study is a contribution for reducing problem of lack of water by using the solar distillation means. Our study is mainly based on the observation of a solar distillation with a double slope set up in the area of Constantine.

A theoretical approach is used to simulate the behaviour of some thermo physical parameters such as; wind velocity, inclination angle, water depth, temperatures of solar still's components and the difference of temperature between the evaporation surface and that of the condensation, and their evolution in time as well as their impacts on the performance of the system during the sun set period.

The mathematical resolution of the system allows to describe energetic balance of different parts of the unit leading to the following conclusions:

- The daily yield increases when the wind velocity increases until this latter reaches a critical value equals to 10m/s, where production reaches its maximum.
- Hourly and daily production increase with the inclination angle of the collector. An angle equals at 10° enhance the evaporation – condensation phenomenon, this is found to be the optimal value for a better production.
- The system gives higher production and higher efficiency for lower values of water depths.
- The larger the difference in temperature between the captor and the surface of the water, the more important is the daily production. This is mainly related to the increase in solar radiation intensity during the day.
- This type of solar still double slope will permit to intercept the maximum solar radiation which leads to the increase in production.

Finally the optimisation of some thermo physical parameters and conception allow us to define the main and important factors and parameters that enhance the production of the system of solar distillation.

As recommendations and in order to improve much more the results:

- We should study the effect of physical and chemical characteristics of alimentary water (degree of salinity, temperature, pH... etc) on the output of the solar still.
- We should increase the gap difference $\Delta T (T_w - t_{gi})$, by heating brackish water using solar energy, from which studies are being carried out.

Keywords: solar distillation, thermo physical parameters, optimisation, efficiency, production, conception, solar radiation.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة ضمن الجهود الكبيرة المبذولة من اجل تفادي مشكلة نقص المياه وذلك عن طريق استخدام وسائل التقطير الشمسي. تعتمد دراستنا أساسا على متابعة عمل جهاز التقطير الشمسي مزدوج المنحدر أخذًا بعين الاعتبار العوامل الطبيعية والهيدرولوجية لمنطقة قسنطينة (الجزائر) وذلك باستعمال النهج النظري لمحاكاة سلوك بعض الوسائط الفيزيائية والحرارية مثل سرعة الرياح، زاوية الميل، عمق الماء، درجة الحرارة لمختلف مكونات جهاز التقطير واختلاف درجات الحرارة بين سطحي التبخر والتكثيف، وتطورها مع الزمن وأثرها على أداء النظام خلال فترة الشمس. وقد أدى التحليل الرياضي لنظام المعادلات الذي يصف التوازن الطاقوي لكل مكون من مكونات جهاز التقطير الشمسي إلى النتائج التالية:

- يرتفع الإنتاج اليومي بزيادة سرعة الرياح حتى يصل قيمة هذا الأخير إلى 10 م/ثا حيث يصل الإنتاج إلى قيمته القصوى.
 - يتغير الإنتاج الساعي و اليومي تبعاً لزاوية ميل الغطاء الزجاجي وتمثل زاوية الميل 10 درجة التي تزيد من ظاهرتي التبخر-التكثيف قيمة الزاوية المثلى لأفضل إنتاج.
 - يزداد إنتاج و مرود النظام بصورة معتبرة بانخفاض عمق الحوض.
 - تؤدي زيادة شدة الإشعاع الشمسي مع الزمن إلى زيادة الفرق في درجات الحرارة بين الغطاء الزجاجي والماء الموجود في الحوض وبالتالي زيادة في الإنتاج اليومي.
 - يسمح هذا النموذج لجهاز التقطير مزدوج المنحدر بالنقاط أقصى إشعاع شمسي مما يؤدي إلى إنتاج يومي أحسن. وأخيراً أدت زيادة كفاءة بعض الوسائط الحرارية والفيزيائية و التركيبية لمعرفة أهم المعايير الرئيسية التي تؤثر على إنتاج نظام التقطير الشمسي.
- وبموازاة لهذه الدراسة ومن أجل تحسين أكبر للنتائج نوضح بعض التوصيات المستقبلية التالية :
- دراسة مدى تأثير درجة الملوحة ، ودرجة الحرارة و درجة الحموضة و غيرها من الخواص الفيزيائية والكيميائية للمياه المغذية لجهاز التقطير الشمسي ومدى تأثيرها على مرودية و إنتاج هذا الجهاز.
 - دراسة مدى تأثير زيادة الفرق في درجة الحرارة بين الغطاء الزجاجي والماء الموجود في الحوض وذلك بتسخين المياه المالحة باستخدام الطاقة الشمسية و تنصب كثير من الدراسات حالياً حول هذا الموضوع.

كلمات المفتاح: مقطر شمسي، وسائط فيزيائية وحرارية، الكفاءة، المرودية، الإنتاج، الإشعاع الشمسي.