

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhder
d'El-oued
Faculté de la technologie
Département de mécanique



Mémoire de fin d'étude présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

en

Génie mécanique énergétique

Spécialité : énergétique et énergies renouvelables

Thème

Etude expérimentale d'un distillateur solaire
plan pour une communauté saharienne

Soutenue le 25/05/2016

Devant le jury :

Présenté par :

Pr. B. Ben Haoua
Dr. M.T. Gherbi
Dr. H. Chenoufi
Dr. Ali Boukhari

Président
Examineur
Examineur
Rapporteur

Abderrahmane Khechekhouche
Guehef Chouaib

Année universitaire 2015-2016

Dédicace

Je dédie ce travail:

- A l'âme de mon père.
- A l'âme de ma mère.
- A mes frères et sœurs.
- A ma femme et mes enfants.
- A mon encadreur Ali Boukhari. Univ. El Oued.
- Prof. Mohamed Safi de URME-ENIT- université El Manar.
- La promotion énergétique et énergies renouvelables 2015/2016.

Remerciement

Je remercie mes enseignants :

Dr. A. Boukhari,

Dr. S. Megdoud,

Dr. Y. Aoun,

Dr. A. Allal,

Dr. N. Mahfoudi

Dr. B. Souyei

Pr. M. Safi (ENIT- Tunisie)

- Je remercie le professeur Boubaker Ben Houa pour son soutien.

Résumé

Le dessalement est aujourd'hui pratiqué avec succès dans de nombreux pays car l'approvisionnement en eau potable est un problème croissant pour la plupart des régions du monde. Algérie a adopté en général deux procédés de dessalement (les procédés à membranes et les procédés à distillation (qui nécessitent un changement de phase, évaporation/condensation) ce dernier est l'objet de notre étude.

L'objectif principal de ce travail est basé sur une étude purement expérimentale afin d'obtenir de l'eau distillée qui pourra pallier les besoins en eau potable d'une communauté saharienne. D'après les résultats obtenus on peut dire que la saison de l'été est la meilleure période de la distillation avec 1227 ml de productivité d'eau distillée face à la saison d'hiver avec une productivité de 119 ml, l'utilisation d'un réflecteur (miroir) a amélioré la productivité du distillateur de 45.98%, l'utilisation d'un absorbeur métallique noir a amélioré la productivité du distillateur de 54.49 %, L'utilisation d'un double vitrage a diminué la productivité de l'eau distillée de – 88.63 % et finalement l'utilisation du sable fin de la dune a diminué la productivité distillateur de -31.92 %.

Mots clé : réflecteur, double vitrage, milieu poreux, absorbeur, productivité, eau distillée.

Abstract

Desalination is now practiced successfully in many countries because drinking water is a growing problem for most regions. Algeria adopted generally two desalination processes (membrane processes and distillation processes (which require a phase change, evaporation / condensation) it is the object of our study.

The main objective of this work is based on a purely experimental study to obtain distilled water that will alleviate the drinking water needs of a Saharan community. According to the results we can say that the summer season is the best time of the distillation with 1227 ml of distilled water productivity face to the winter season with a productivity of 119 ml, the use of a refractor (mirror) has improved the productivity distiller of 45.98 %, using a black metal absorber improved the productivity distiller of 54.49 %, the use of double glazing reduced the productivity of the distilled water - 88.63 % and finally the use of fine sand dune decreased productivity distiller -31.92%.

Keywords: refractor, double glazing, porous medium, absorber, productivity, distilled water.

Table des matières

Table de matière	Page
Dédicace	I
Remerciements	II
Résumé.....	III
Table de matières.....	V
Nomenclature	VIII
Liste des figures.....	X
 Introduction générale	 01
Chapitre 1 : Etude bibliographique et généralité sur la distillation solaire	
 1.1. Introduction.....	 03
1.1.1. Brève Etude bibliographique	04
1.1.1.1. A l'échelle nationale.....	04
1.1.1.2. A l'échelle mondiale.....	06
1.2. Généralité sur la distillation solaire.....	08
1.2.1. Le soleil.....	08
1.2.2. La terre.....	08
1.2.3. Relation soleil-terre.....	09
1.2.4. Rayonnement solaire.....	09
1.2.5. Irradiation.....	09
1.2.6. Effet de serre.....	10
1.2.7. Eau distillée.....	11
1.3. Les différents types des distillateurs solaires.....	11
1.3.1. Distillateur solaire plan.....	11
1.3.2. Distillateur solaire terre-eau/eau-eau.....	13
1.3.3. Distillateur water pyramid.....	13
1.3.4. Distillateur solaire sphérique.....	13
1.3.5. Distillateur solaire à cascade.....	14
1.3.6. Distillateur solaire à mèche.....	15
1.3.7. Distillateur solaire vertical.....	16
1.3.8. Distillateur solaire à effet multiples MED.....	17
1.4. Les paramètres influents sur le fonctionnement d'un distillateur solaire.....	18
1.4.1. Paramètres géométriques :.....	18
1.4.1.1.1. L'inclinaison de la vitre sur le plan horizontale.....	18
1.4.1.1.2. La hauteur du niveau de la masse d'eau à distiller.....	18
1.4.1.1.3. La distance qui sépare la surface libre de la saumure au vitrage.....	18
1.4.1.1.4. La transparence du vitrage.....	19
1.4.1.1.5. Autres paramètres.....	19
1.4.2. Paramètres météorologiques.....	19
1.4.2.1.1. L'intensité du rayonnement solaire.....	19
1.4.2.1.2. Température ambiante.....	19
1.4.2.1.3. La vitesse du vent.....	19
1.4.2.1.4. Autres paramètres.....	20
1.5. Caractéristiques et performances des distillateurs.....	20
1.5.1. La production et le taux conversion.....	20
1.5.2. L'efficacité globale.....	20
1.5.3. L'efficacité interne.....	21
1.5.4. Performance	21
1.5.5. Le rendement.....	22
1.6. Conclusion.....	22

Chapitre 2 : Conception et étude théorique d'un distillateur solaire

2.1 .Introduction	23
2.2 .Réalisation d'un distillateur solaire plan.....	24
2.2.1 Matériels nécessaires	24
2.2.2 Les étapes de la réalisation.....	27
2.2.3 Les distillateurs utilisés dans les expériences.....	30
2.2.3.1 Distillateur témoin	30
2.2.3.2 Distillateur avec miroir.....	31
2.2.3.3 Distillateur avec milieu poreux.....	31
2.2.3.4 Distillateur a double vitrage.....	32
2.2.3.5 Les quatre distillateurs.....	32
2.3 .Etude théorique d'un distillateur plan.....	33
2.3.1 Bilan énergétique d'un distillateur solaire.....	33
2.3.2 Bilan du vitrage	33
2.3.3 Bilan de l'eau	34
2.3.4 Bilan du bassin intérieur.....	34
2.3.5 Bilan de l'isolant	34
2.3.6 Le Débit du condensât	34
2.3.7 Coefficients d'échanges thermiques.....	34
2.3.7.1 Par rayonnement eau-vitre.....	34
2.3.7.2 Par convection eau-vitre	35
2.3.7.3 Par vaporisation.....	35
2.3.7.4 Par rayonnement vitre – milieu ambiant	35
2.3.7.5 Par convection vitre – milieu ambiant	36
2.3.7.6 Par convection bassin - eau	36
2.3.7.7 Par plane horizontale	36
2.4 .Conclusion.....	38

Chapitre 3 : Etude expérimentale des effets influents sur la distillation

3.1 .Introduction.....	39
3.2 .Description du système.....	39
2.4.1.1 Méthodes et expériences.....	40
2.4.1.2 L'emplacement des thermocouples	41
2.4.1.3 Matériels d'améliorations.....	42
2.4.1.4 Miroir.....	42
2.4.1.5 Vitrage double	42
2.4.1.6 Grains de sable fin (milieu poraux).....	43
2.4.1.7 Plaque métallique noire (absorbeur)	43
2.4.1.8 Matériels de mesures.....	44
3.2.1.1 Thermocouples.....	44
3.2.1.2 Appareil de PH.....	44
3.2.1.3 Appareil de conductivité électrique.....	45
3.2.1.4 Béchir gradué	45
3.2.1.5 Niveau à eau	45
3.3 .Travaux expérimentaux.....	46
3.3.1 Expérience n°1 : évaluation d'un distillateur solaire	46
3.3.1.1 Introduction de l'expérience n° 1	46
3.3.1.2 Méthode et expérience.....	46
3.3.2 Expérience n° 2 : les effets météorologiques (saison de l'été et l'hiver)	46
3.3.2.1 Introduction de l'expérience n° 2	46
3.3.2.2 Méthode et expérience.....	47
3.3.3 Expérience n° 3 : La ressemblance des distillateurs.....	47
3.3.3.1 Introduction de l'expérience n° 3	47
3.3.3.2 Méthode et expérience.....	47

3.3.4	Expérience n° 4 : L'effet du réfracteur	48
3.3.4.1	Introduction de l'expérience n° 4.....	48
3.3.4.2	Méthode et expérience.....	48
3.3.5	Expérience n° 5 : l'effet du double vitrage.....	49
3.3.5.1	Introduction de l'expérience n° 5.....	49
3.3.5.2	Méthode et expérience.....	49
3.3.6	Expérience n° 6 L'effet d'un milieu poreux	50
3.3.6.1	Introduction de l'expérience n° 6.....	50
3.3.6.2	Méthode et expérience.....	50
3.3.7	Expérience n° 7 l'effet d'un absorbeur métallique noir	52
3.3.7.1	Introduction de l'expérience n° 7.....	52
3.3.7.2	Méthode et expérience.....	52
3.4	Conclusion.....	52

Chapitre 4 : Résultats et discussion

4.1	Introduction.....	53
4.2	Expérience n°1 : évaluation d'un distillateur solaire.....	54
4.2.1	Interprétation et discussion de l'expérience n°1	54
4.2.2	Conclusion de l'expérience n°1	54
4.3	Expérience n°2 : effet météorologique (saison été et l'hiver).....	55
4.3.1	Interprétation et discussion de l'expérience n°2.....	55
4.3.2	Conclusion de l'expérience n°2.....	57
4.4	Expérience n°3 : La ressemblance des distillateurs.....	58
4.4.1	Interprétation et discussion de l'expérience n°3.....	58
4.4.2	Conclusion de l'expérience n°3.....	59
4.5	Expérience n° 4 : l'effet du réfracteur.....	60
4.5.1	Interprétation et discussion de l'expérience n° 4.....	60
4.5.2	Conclusion de l'expérience n° 4.....	61
4.6	Expérience n° 5 : l'effet du double vitrage.....	62
4.6.1	Interprétation et discussion de l'expérience n°5.....	62
4.6.2	Conclusion de l'expérience n°5.....	63
4.7	Expérience n°6 :l'effet du sable fin des dunes.....	64
4.7.1	Interprétation et discussion de la quatrième expérience.....	64
4.7.2	Conclusion de l'expérience n°6.....	65
4.8	Expérience n° 7 : l'effet d'un absorbeur métallique noir.....	66
4.8.1	Interprétation et discussion de l'expérience n° 7.....	66
4.8.2	Conclusion de l'expérience n° 7.....	67
4.9	Conclusion.....	68
	Conclusion générale	69
	Référence	70

Nomenclature

Symbole	Désignation	unité
M_d	Débit massique de l'eau distillée	Kg/s
Q_{evp}	Flux de chaleur utilisé pour l'évaporation de l'eau	W/m ²
L_v	Chaleur latente de vaporisation	J/kg.
G	Rayonnement solaire global	W/m ²
S	Surface du vitrage	m ²
Q_{eau}	Flux thermique effectivement reçu par la masse d'eau	W/m ²
Q	Quantité d'eau saumâtre entrante dans le distillateur	kg
η_i	L'efficacité interne	%
τ_v	Coefficient de transmission de la vitre	/
τ_e	Coefficient de transmission de l'eau	/
α_e	Coefficient d'absorption de l'eau	/
α_f	Coefficient d'absorption du fond du distillateur	/
α_t	Coefficient d'absorption fictif du distillateur	/
F.P.B	Les facteurs de performance brute	/
F.P.H	Les facteurs de performance horaire	/
Q_{re_vi}	Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage	W/m ²
Q_{ce_vi}	Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage	W/m ²
Q_{evap}	Flux thermique par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage Flux	W/m ²
Q_{rve_ciel}	Flux thermique perdu par la vitre par rayonnement vers l'extérieur	W/m ²
Q_{cv_a}	Flux thermique perdu par convection par la vitre vers l'extérieur	W/m ²
λ_v	Conductivité thermique de la vitre	W/m.°C
δ_v	Épaisseur de la vitre	m
$Q_{c.b_e}$	Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau	W/m ²
P_e	Puissance absorbée par la nappe d'eau, elle est négligeable pour l'eau de mer	W
Q_{cd}	Flux thermique perdu par conduction du bac	W/m ²
$Q_{c.d.b_iso.i}$	Flux thermique par conduction entre le bac et l'isolant thermique	W/m ²
M	Masse du condensât	kg
T_e	Température de l'eau	°C
T_v	Température de la vitre	°C
$Q_{r.e_v}$	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre	W/m ² .°C
ε_{eff}	Émissivité effectif	/
σ	Constante de Steffan – Boltzman	W/m ² K ⁴
ε_e	Émissivité de la vitre	/
ε_v	Émissivité de l'eau	/
$h_{c.e_v}$	Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage	W/m ² .°C
h_{evap}	Coefficient de transfert par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage	W/m ² .°C
P	La pression de la vapeur d'eau	Pa
$h_{r.v_ciel}$	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur	W/m ² .°C
T_{ciel}	Température du ciel	°C

T_a	Température ambiante	°C
V	Vitesse du vent	(m/s)
h_{c,b_e}	Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau.	W/m ² .°C
λ_f	Conductivité thermique du fluide (eau)	W/m. °C
Gr	Nombre de GRASHOF	/
Pr	Nombre de PRANDLT	/
β	Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau.	1/K
λ	Longueur du bac absorbant.	m
ρ	La masse volumique de l'eau.	Kg/m ³
g	L'accélération.	m ² /s
μ	La viscosité dynamique.	Kg/m.s
T_b	Température du bac.	°C
T_i	Température de l'isolant.	°C
λ_b	Conductivité thermique du bac.	W/m. °C
δ_b	Épaisseur du bac.	m
λ_{iso}	Conductivité de l'isolant.	W/m. °C
δ_{iso}	Épaisseur de l'isolant.	m
h_{iso,e_a}	Coefficient de transfert de chaleur par convection entre l'isolant et l'air extérieur.	W/ (m ² . K)
U_I	Coefficient global de pertes thermiques de l'isolant	W/ (m ² . K)
C_p	Chaleur spécifique	J/(kg.K)

Index des figures

Chapitre 1

N° figures	Titres des figures	page
Figure 1.1	Distillateur solaire à cascade.....	04
Figure 1.2	Variation de la quantité du distillat cumulé.....	04
Figure 1.3	Distillateur solaire.....	05
Figure 1.4	Variation de la température de l'eau.....	05
Figure 1.5	Principe de dessalement de l'eau de mer dans la serre.....	05
Figure 1.6	La variation de la vitesse du vent dans la serre.	05
Figure 1.7	Distillateur solaire avec capteur solaire.....	06
Figure 1.8	La variation de la température de l'eau du distillateur.....	06
Figure 1.9	Le dispositif solaire avec le capteur solaire.....	07
Figure 1.10	La comparaison des températures de l'eau avec et sans le capteur solaire.....	07
Figure 1.11	Le distillateur solaire pour les nano fluides.....	07
Figure 1.12	La productivité de l'eau du distillateur avec et sans le nano fluides.....	07
Figure 1.13	Mouvement de la terre autour du soleil.....	09
Figure 1.14	Carte solaire de l'Algérie.....	10
Figure 1.15	Effet de serre.....	11
Figure 1.16	Distillateur solaire plan.....	12
Figure 1.17	Schéma d'un distillateur solaire plan à deux pentes.....	12
Figure 1.18	Distillateur solaire terre-eau/eau-eau	13
Figure 1.19	Distillateur water pyramid.....	13
Figure 1.20	Schéma d'un distillateur solaire sphérique.....	14
Figure 1.21	Schéma d'un distillateur solaire à cascade.....	15
Figure 1.22	Schéma d'un distillateur solaire à mèche.....	15
Figure 1.23	Schéma d'un distillateur solaire vertical.....	16
Figure 1.24	Schéma d'un distillateur solaire à effet multiples MED.....	18

Chapitre 2

N° figures	Titres des figures	page
Figure 2.1	Distillateur solaire à réaliser	25
Figure 2.2	Dimensionnement du distillateur	31
Figure 2.3	Le distillateur témoin	31
Figure 2.4	Le distillateur avec le réflecteur	32
Figure 2.5	Le distillateur avec du sable fin	32

Figure 2.6	Le distillateur avec double vitrage.	33
Figure 2.7	Les quatre distillateurs en plein expérience	33
Figure 2.8	les cinq distillateurs en plein expérience	33
Figure 2.9	Bilan énergétique d'un distillateur.....	34

Chapitre 3

N° figures	Titres des figures	page
Figure 3.1	Distillateur solaire plan	40
Figure 3.2	Schéma des quatre distillateurs solaires	41
Figure 3.3	L'emplacement des thermocouples.....	42
Figure 3.4	Le distillateur avec le réflecteur	42
Figure 3.5	Le distillateur avec double vitrage.	43
Figure 3.6	Le distillateur avec du sable fin	43
Figure 3.7	L'absorbeur métallique noir	43
Figure 3.8	Thermocouples et afficheur INSTEK	44
Figure 3.9	PHM210 Standard pH Mètre	44
Figure 1.10	CDM210 conductivité mètre.....	45
Figure 1.11	Le bêcher gradué.....	45
Figure 1.12	Le niveau à eau	45
Figure 1.13	Les quatre distillateurs en cours de préparation.....	48
Figure 1.14	Distillateur avec un réfracteur.....	48
Figure 1.15	Le distillateur à double vitrage.....	49
Figure 1.16	Remplissage du Distillateur avec du sable fin.....	51
Figure 1.17	Distillateur avec un milieu porreau (sable fin)	51
Figure 1.18	Distillateur avec l'absorbeur.....	52

Chapitre 4

N° figures	Titres des figures	page
Figure 4.1	Résultat de l'évaluation d'un distillateur solaire.....	56
Figure 4.2	L'évolution de la radiation solaire.....	57
Figure 4.3	L'évolution de la température ambiante.....	57
Figure 4.4	évolution de la température de l'eau de bassin.....	57
Figure 4.5	Evolution de la température du vitrage.....	57

Figure 4.6	Evolution de la température intérieure du distillateur.....	58
Figure 4.7	Evolution de la quantité d'eau distillée	58
Figure 4.8	Evolution de la radiation solaire	60
Figure 4.9	Evolution de la température ambiante	60
Figure 4.10	Evolution de la température du vitrage, face extérieur	60
Figure 4.11	Evolution de la température du vitrage face intérieur	60
Figure 4.12	Evolution de la température intérieure du distillateur	61
Figure 4.13	Evolution de la température de l'eau de bassin	61
Figure 4.14	La productivité des deux distillateurs choisis	61
Figure 4.15	Evolution de la radiation solaire	62
Figure 4.16	Evolution de la température ambiante	62
Figure 4.17	Evolution de la température du vitrage, face extérieur	62
Figure 4.18	Evolution de la température du vitrage face intérieur	62
Figure 4.19	Evolution de la température intérieure du distillateur	63
Figure 4.20	Evolution de la température de l'eau de bassin	63
Figure 4.21	Productivité d'eau distillée dans les deux distillateurs.....	63
Figure 4.22	Evolution de la radiation solaire	64
Figure 4.23	Evolution de la température ambiante	64
Figure 4.24	Evolution de la température du vitrage, face extérieur	64
Figure 4.25	Evolution de la température du vitrage face intérieur	64
Figure 4.26	Evolution de la température intérieure du distillateur	65
Figure 4.27	Evolution de la température de l'eau de bassin	65
Figure 4.28	Productivité d'eau distillée dans les deux distillateurs.....	65
Figure 4.29	Evolution de la radiation solaire	66
Figure 4.30	Evolution de la température ambiante	66
Figure 4.31	Evolution de la température du vitrage, face extérieur	66
Figure 4.32	Evolution de la température du vitrage face intérieur	66
Figure 4.33	Evolution de la température intérieure du distillateur	67
Figure 4.34	Evolution de la température de l'eau de bassin	67
Figure 4.35	Productivité d'eau distillée dans les deux distillateurs.....	67
Figure 4.36	Evolution de la radiation solaire	68
Figure 4.37	Evolution de la température ambiante	68
Figure 4.38	Evolution de la température du vitrage, face extérieur	68
Figure 4.39	Evolution de la température du vitrage face intérieur	68
Figure 4.40	Evolution de la température intérieure du distillateur	69

Figure 4.41	Evolution de la température de l'eau de bassin	69
Figure 4.42	Productivité d'eau distillée dans les deux distillateurs.....	69
Figure 4.43	Productivité d'eau distillée dans les quatre distillateurs.....	70

Liste des tableaux

N° tableau	Titre des tableaux	page
Tab 2.1	Matériels de construction du distillateur solaire plan.....	26
Tab 2.2	Les étapes de construction du distillateur solaire plan.....	29
Tab 3.1	Les conditions météorologiques des deux saisons.....	47

Introduction générale

Sur le plan mondial, la demande en eau potable de bonne qualité est de plus en plus forte. En effet, la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie et de l'agriculture sont de plus en plus élevés. Pour satisfaire cette demande, le dessalement est aujourd'hui pratiqué avec succès dans de nombreux pays du Moyen-Orient, Afrique du Nord, dans le sud et l'ouest des États-Unis et l'Europe du Sud pour répondre aux besoins industriels et domestiques. L'approvisionnement en eau potable est un problème croissant pour la plupart des régions du monde. Ces jours-ci, dans un certain nombre de pays, dont l'Inde occidentale des îles, le Koweït, l'Arabie Saoudite, le Mexique et Australie, ce type d'unités de distillation existent.

Sur le plan local, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen, elle est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresse chronique. Les changements climatiques observés et la sécheresse qui a régné pendant plusieurs décennies en Afrique du nord ont eu un impact négatif sur les ressources d'eau. Face à ce problème, l'Algérie a adopté en générale deux procédés de dessalement (les procédés à membranes et les procédés à distillation (qui nécessitent un changement de phase, évaporation/condensation) ce dernier est l'objet de notre étude.

Actuellement la distillation solaire est l'objet de plusieurs laboratoires de recherches dans le monde et chaque équipe de recherche essaye de faire des études pour améliorer le rendement des systèmes de distillations en jouant sur les paramètres géométriques et météorologiques.

Malgré la diversité de la recherche et les différentes techniques utilisées, les chercheurs ont le même objectif c'est l'amélioration de la productivité des distillateurs solaires.

L'objectif principal de ce travail est basé sur une étude purement expérimentale et la conception de 04 distillateurs solaires à effet de serre afin d'obtenir de l'eau distillée qui pourra pallier les besoins en eau potable d'une communauté saharienne.

Ce travail répondra d'une façon assez claire à des problèmes dans le procès de la distillation solaire.

- Quelle est la saison la plus favorable pour la distillation solaire ?
- Est-ce que le double vitrage influe positivement ou négativement sur la distillation ?
- A quel degré est l'influence d'un réfracteur sur la distillation ?
- Si on crée un milieu porreau dans le bassin d'eau avec du sable fin des dunes, quelle sera l'influence de ce paramètre sur la distillation ?
- Si on utilise un absorbeur métallique noir, quelle sera la productivité d'eau distillée du distillateur solaire ?

Ce travail comprend quatre chapitres ;

Chapitre 1 : Etude bibliographique et généralité sur la distillation solaire

Ce chapitre est consacré à la présentation de la connaissance générale sur la distillation solaire, ainsi qu'une brève illustration de quelques types de distillateurs.

Chapitre 2 : Conception et étude théorique d'un distillateur solaire

Ce chapitre présente les différentes équations gouvernant le fonctionnement du système et les étapes de la réalisation d'un distillateur solaire à effet de serre.

Chapitre 3 : Etude expérimentale des effets influents sur la distillation solaire

Ce chapitre présente les préparations pour faire huit expériences dans une sera fait en hiver et le reste en été.

Chapitre 4 : Résultats et discussion.

Ce chapitre présente les résultats des 12 expériences sous forme des graphes avec des interprétations.

1.1 Introduction

La distillation solaire est devenue un phénomène très courant au niveau domestique qu'industrielle. Chaque année des milliers des distillateurs sont conçues dans les quatre coins du monde pour des différents objectifs soit l'utilisation personnelle ou dans les laboratoires de recherche pour les études académiques.

L'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. D'après S. Nafila [1], le premier distillateur en Algérie date de 1953 conçu par Mr. Cyril Goméla.

Pour comprendre ce phénomène, il faut avoir une idée complète sur les facteurs qui rentrent en joue dans la distillation. Ce chapitre donne en premier lieu une brève étude bibliographique sur la distillation solaire et en deuxième lieu il explique quelques définitions importantes, il montre aussi quelques distillateurs solaires les plus répandus sont ceux du type à effet de serre ; ils présentent l'avantage d'être simples, faciles à réaliser, peu coûteux et finalement il explique quelques facteurs qui influent sur la distillation.

1.1.1 Une brève étude bibliographique

Actuellement la distillation solaire est l'objet de plusieurs laboratoires de recherche dans le monde et chaque équipe de recherche essaye de faire des études pour améliorer le rendement des systèmes de distillations en jouant sur les paramètres géométriques et météorologiques.

1.1.1.1 A l'échelle nationale

Plusieurs laboratoires en Algérie et des chercheurs ont entamé le domaine de la distillation solaire et chacun avec des objectifs qui se rapprochent parfois mais qui se diffèrent dans la manière à faire. En citant quelques études récentes comme exemple. De Bellel et al. (2015) [2], qui a fait une étude qui se porte sur la réalisation et la simulation d'un distillateur solaire à cascade à effet de serre destinée à la production d'eau distillée. La figure 1.1 représente le croquis de sa réalisation et la figure 1.2 représente la variation de la quantité du distillat cumulé

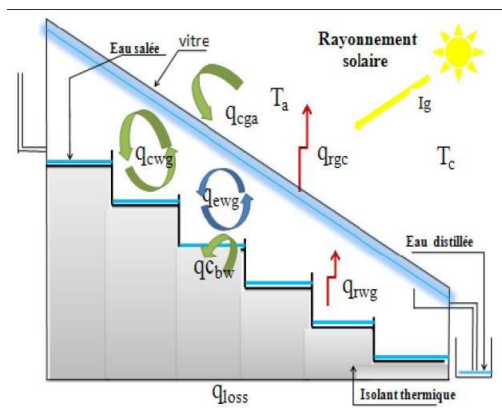


Fig. 1.1. Distillateur solaire à cascade

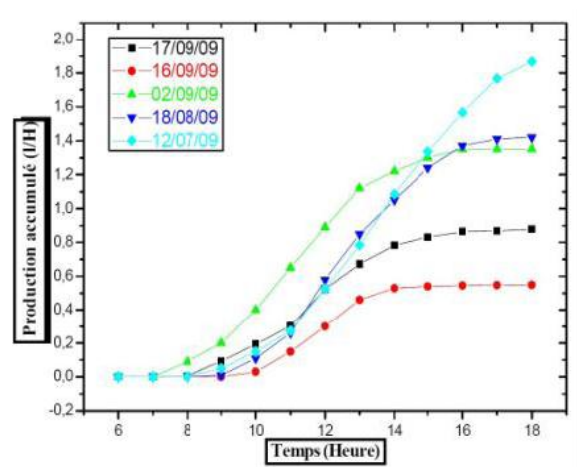


Fig.1.2. Variation de la quantité du distillat cumulé

Il a eu comme résultat que le rendement journalier son distillateur solaire est environ 1.8 litres/jour pour une surface de l'absorbeur de 0.436 m^2 .

- Fedali (2011) [3] a fait une étude théorique et expérimentale d'un Distillateur Solaire sous les conditions climatiques de Batna.

La figure 1.3 représente le croquis de sa réalisation et la figure 1.4 représente la variation de la température de l'eau de bassin.

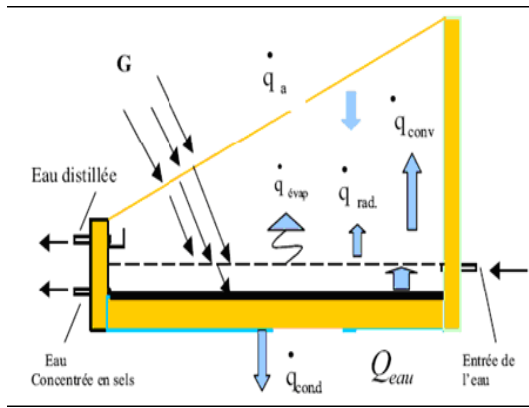


Fig. 1.3. distillateur solaire

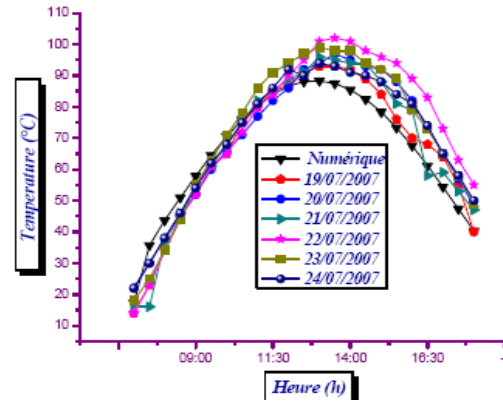


Fig.1.4. Variation de la température de l'eau

Elle arrive à un rendement journalier de 2.5 litres/jour pour une surface de l'absorbeur de 0.54 m^2 . Les résultats numériques trouvés sont en accord avec les résultats expérimentaux.

- Étude de Tahri et al. (2010) [4], est concentrée sur le concept combinant la serre avec le dessalement de l'eau de mer. L'objectif principal de cette recherche est d'analyser la production d'eau douce en utilisant l'énergie solaire dans le dessalement de l'eau de mer dans la serre.

La figure 1.5 représente le croquis de l'installation et la figure 1.6 représente la vitesse du vent dans la serre.

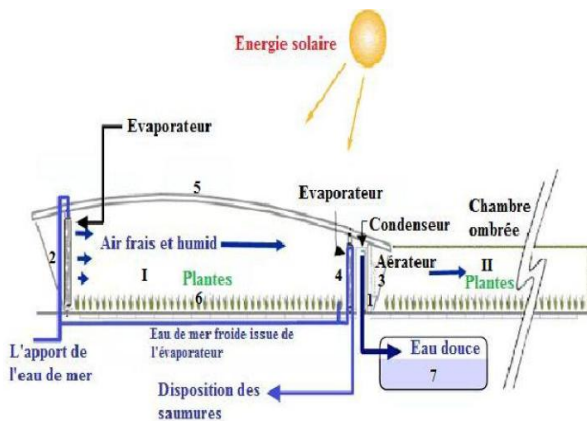


Fig.1.5. Principe de dessalement de l'eau de mer dans la serre

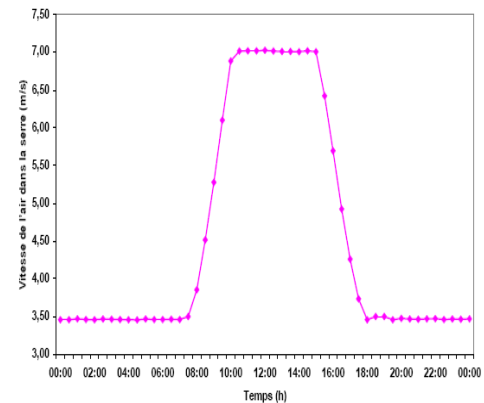


Fig.1.6. la variation de la vitesse du vent dans la serre.

Ils ont conclu que les trois paramètres (le rayonnement solaire, la température de l'air et l'humidité relative dans la serre) influents directement sur le débit du condensât qui atteint son maximum dans l'intervalle de 08:00 à 18:00 h.

- Au niveau de l'université de Ouargla, Mr. Bouchekima 2003 [5-7], a créé une petite usine de dessalement géothermique souterrain des eaux dans les régions arides au sud d'Algérie. Ses études visent l'amélioration de la performance d'une station de distillation solaire sous l'isolation réelle. La station solaire a une capacité quotidienne plus que 15 l/m^2 .

1.1.1.2 A échelle Mondiale

Les études et les expériences à l'échelle mondiale ne cessent de se progresser et chaque jour des articles sont publiés dans les différents journaux pour lancer une nouvelle méthode ou une technique. En citent quelques études récentes:

- M. Shashikanth et al. (2015) [08], s'intéresse à l'utilisation du Sulfate de Sodium comme milieu de stockage pour améliorer le rendement du distillateur solaire. La figure 1.7 représente le croquis de son distillateur et la figure 1.8 représente la variation de la température de l'eau dans le distillateur.

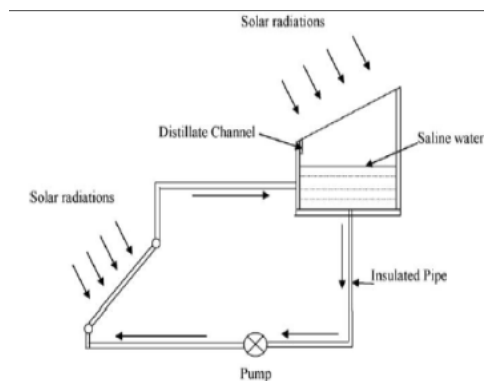


Fig. 1.7. Distillateur solaire avec capteur solaire

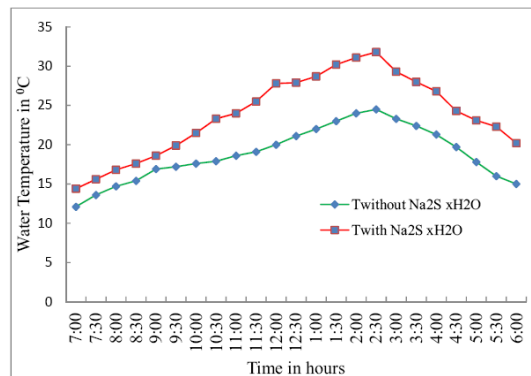


Fig. 6. Variation of water temperature with time

Fig. 1.8. la variation de la température de l'eau du distillateur

Il a observé que les températures sont plus élevées dans toutes les parties du distillateur s'il utilise le Sulfate de Sodium comme milieu de stockage.

- Un autre travail de Mardlijah et al. (2015) [09], consiste à étudier un distillateur solaire puis faire une modélisation mathématique en utilisant la méthode numérique de Runge-Kutta. La figure 1.9 représente le croquis de son distillateur et la figure 1.10 représente la comparaison des températures de l'eau intérieure du distillateur avec et sans le capteur solaire.

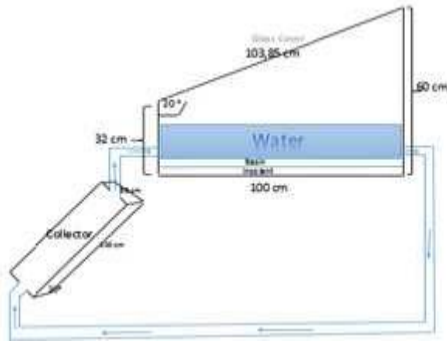


Fig. 1.9 le dispositif solaire avec le capteur solaire

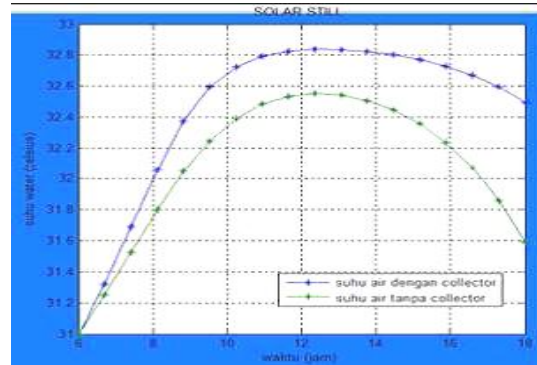


Fig. 1.10. la comparaison des températures de l'eau intérieure du distillateur avec et sans le capteur solaire

Comme conclusion, il a observé que la production du distillateur sans le capteur est de 4.54109 litres dans 12 h d'exposition au soleil par contre le distillateur avec le capteur a produit 8.8289 litres.

- Le travail de Koilraj et al. (2011) [10], vise l'analyse et la comparaison des taux d'évaporation et le taux de condensation d'un distillateur solaire avec nanofluides et l'autre avec de l'eau conventionnelle. La figure 1.11 représente le croquis de son distillateur et la figure 1.12 représente la comparaison des productivités de l'eau du distillateur avec et sans le nano fluides.

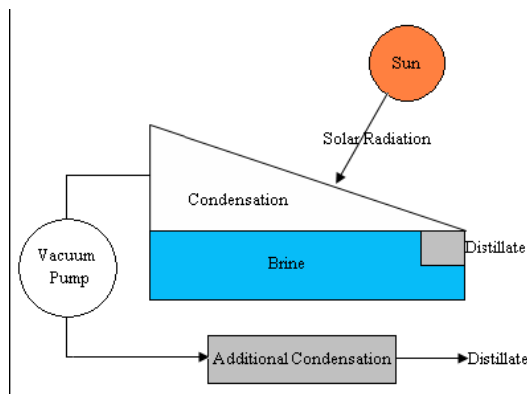


Fig. 1.11. le distillateur solaire pour les nano fluides

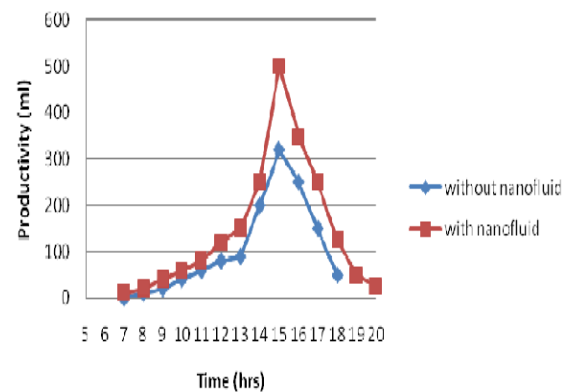


Fig. 1.12. la productivité de l'eau du distillateur avec et sans le nano fluides

La conclusion de son travail c'est que la productivité de l'eau est plus haute et plus rapide dans le distillateur solaire contenant les nano fluides.

- Par contre Murugavel et al. (2006) [11], s'intéressent à étudier l'effet de la transmittance de différent d'épaisseur (de 2 à 6 mm) du vitrage d'un distillateur solaire. Alors, Elango et al. (2015) [12], s'intéressent à la variation des profondeurs de

l'eau de 1 à 5 cm dans des conditions tant isolées que non-isolées. La profondeur 1 cm donne une productivité maximum par rapport aux autres profondeurs.

- Finalement, l'étude d'Arunkumar et al. (2015) [13], présente une modification d'un concentrateur solaire parabolique en un distillateur solaire en utilisant un réservoir de stockage pour augmenter la productivité de l'eau distillée.

1.2 Généralité sur la distillation solaire

1.2.1 Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse, son diamètre d'environ 1.39×10^9 m, et sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} kg, son âge est d'environ 4.6×10^6 ans, sa distance moyenne à la terre est de 149500000 km, cette étoile est le siège de réactions thermonucléaires transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'Hélium et les 4 millions de tonnes dont le soleil est aussi allégé à chaque seconde sont transformés en énergie et dispersés sous forme du rayonnement. La température du cœur est de l'ordre de 10^7 K tandis que la température de surface de soleil est 5760 °K [14].

1.2.2 La terre

La terre se déplace autour du soleil d'une trajectoire elliptique, la révolution complète s'effectue en une année sidérale de 365 jours 6 heures 9 minutes, 10 secondes. Cette révolution fait varier les durées relatives du jour et de la nuit au rythme des saisons limitées par les deux équinoxes et les deux solstices [14].

- Equinoxe de printemps correspond à 21 mars
- Equinoxe d'automne correspond à 23 septembre
- Solstice d'été correspond à 22 juin
- Solstice d'hiver correspond à 22 décembre

La distance entre le soleil et la terre peut être calculée par la relation suivante:

$$d(n) = 1 - 0.017 \cos\left[\frac{360}{365}(n - 2)\right] \quad (1.1)$$

$d(n)$: Donnée en UA.

n : est le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1^{er} janvier.

1.2.3 Relation soleil-terre

La terre tourne autour de soleil sur une trajectoire (ellipse), le plan de cette ellipse s'appelle l'écliptique (figure 1.13). L'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé déclinaison δ elle varie au cours de l'année entre -23.45° et $+23.45^\circ$ [15].

$$\delta = 23.45^\circ \sin[0.89^\circ (n + 284)] \quad (1.2)$$

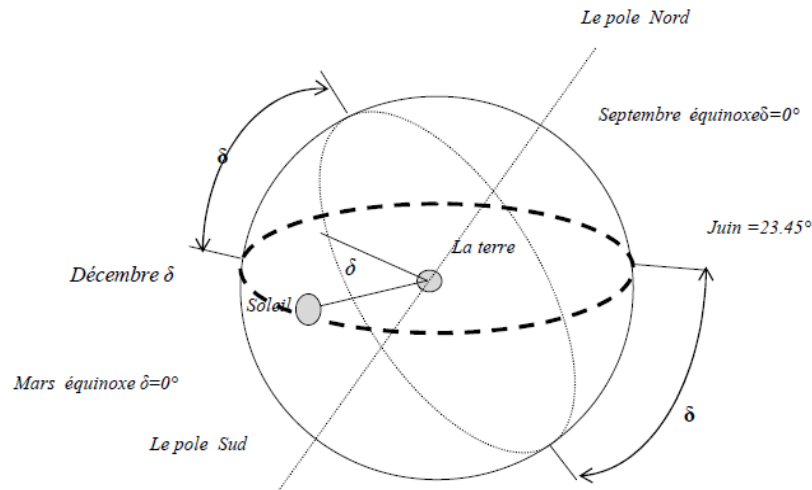


Fig. 1.13. Mouvement de la terre autour du soleil

1.2.4 Rayonnement solaire

L'énergie solaire est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde l'intensité globale du rayonnement solaire arrivant aux confins de l'atmosphère est constante et égale à $1.94 \text{ cal/mn par cm}^2$ normal aux rayons, soit $I_0 = 1.353 \text{ kW/m}^2$ cette valeur s'appelle constant solaire et cette constante qui dépend de la distance soleil - terre est corrigée par le facteur de correction $C(n)$ [16] :

$$d(n) = 1 - 0.017 \cos\left[\frac{360}{365} (n - 2)\right] \quad (1.3)$$

n : Est numéro du jour de l'année

1.2.5 Irradiation

Les cartes solaires (figure 1.14) possèdent une importance considérable dans le domaine de la conception des systèmes de production d'énergie solaire. L'utilisation de ces cartes permettra aux concepteurs de ces systèmes d'améliorer le rendement de la production d'énergie en fonction du climat local. Grâce à ces cartes, les produits et

matériaux de production utilisés ainsi que leurs configurations pourront être adoptés d'une manière optimale [16].

Moyenne annuelle de l'Irradiation Globale reçue sur une surface horizontale, Période 1992-2002

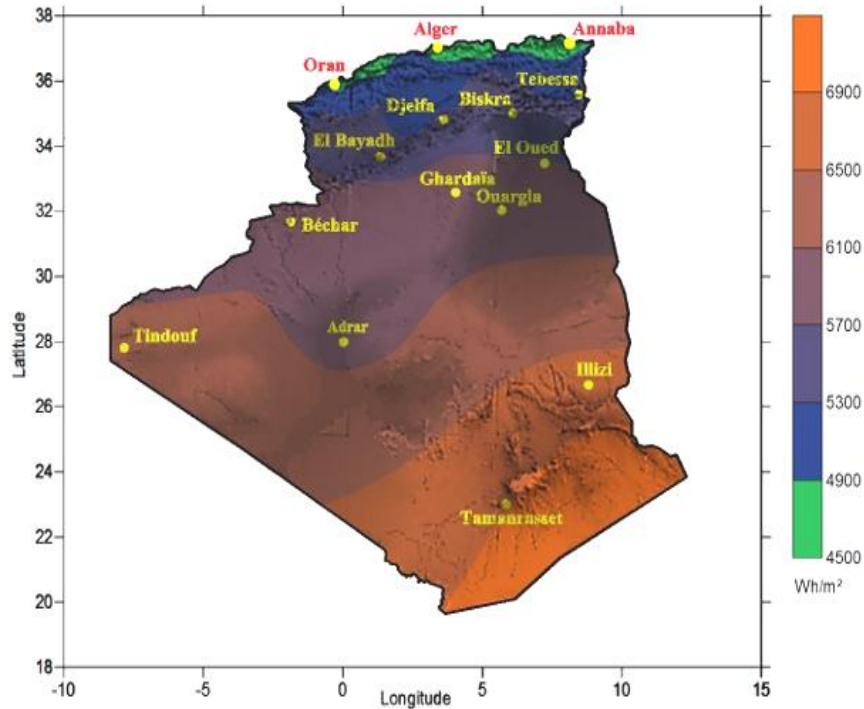


Fig. 1.14 Carte solaire de l'Algérie

1.2.6 Effet de serre

Lorsque le rayonnement solaire frappe une paroi vitrée (figure 1.15), une partie sera réfléchiée, une partie sera absorbée puis réémise et le reste sera directement transmis. Ce rayonnement direct transmis à l'intérieur des locaux est partiellement absorbé par les parois qui s'échauffent et par la suite le rayonnement infrarouge est réémis dans toutes les directions. Le vitrage étant pratiquement opaque au rayonnement réémis, celui-ci reste piégé à l'intérieur du local, y entraînant une augmentation de la température. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre [17].

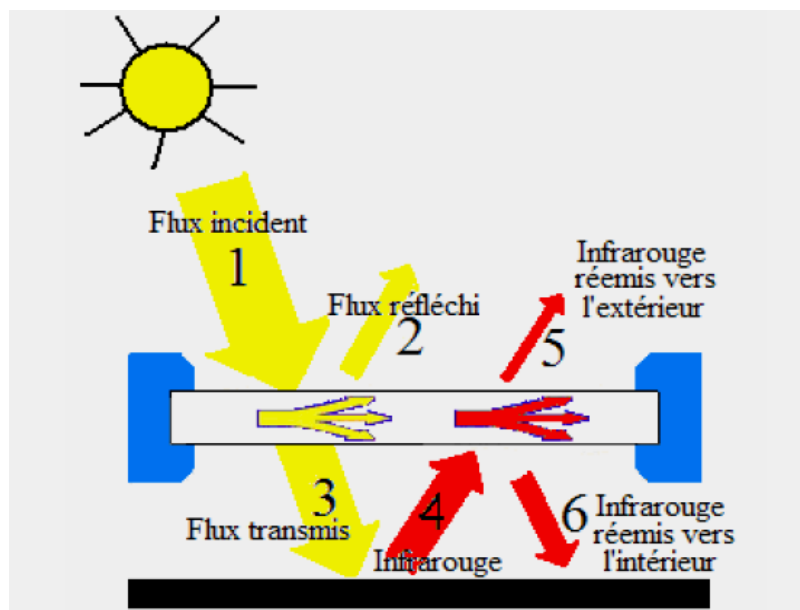


Fig.1.15. Effet de serre

1.2.7 Eau distillée

L'eau distillée est une eau obtenue par évaporation et condensation d'une eau impure et qui est ainsi théoriquement pure exempte de minéraux et d'organismes que l'on pourrait retrouver dans l'eau « naturelle ». L'eau distillée possède, à température ambiante, un pH d'environ 5,4 à cause du (CO_2) qui s'y dissout et se comporte comme un acide. Cette acidité tend à augmenter à cause des rejets de CO_2 .

La conductivité électrique de l'eau distillée est proche de celle de l'eau pure qui est quasiment nulle.

1.3 Les différents types des distillateurs solaires

1.3.1. Distillateur solaire plan

Ce système de distillateur solaire plan à simple pente (figure 1.16), est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre. La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer). Sous l'action de 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 distillât [18].

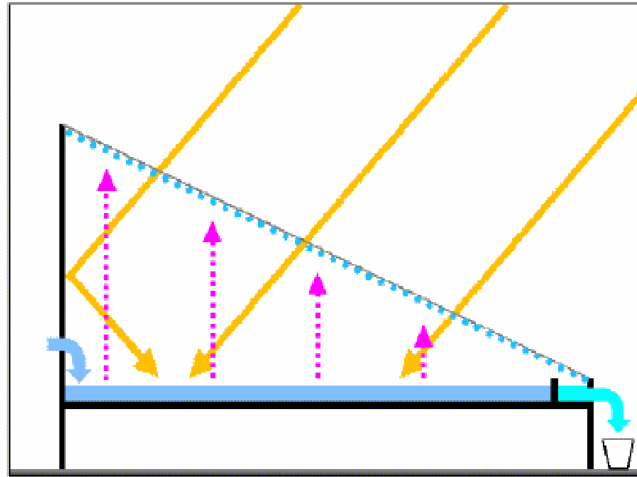


Fig. 1.16. Distillateur solaire plan

La Figure 1.17 représente un autre type de distillateur plan mais à doubles pentes. Il a le même principe que le distillateur à simple pente[19-20].

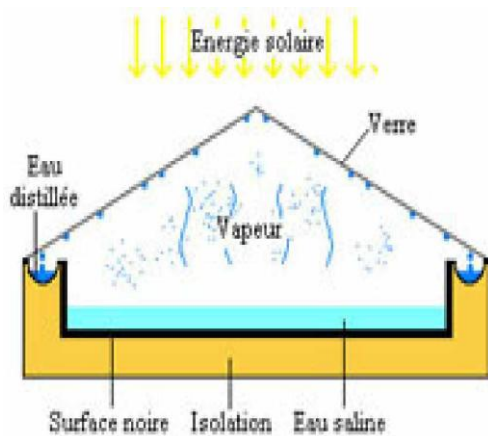


Fig. 1.17. Schéma d'un distillateur solaire plan à deux pentes

1.3.2. Distillateur solaire terre-eau/eau-eau

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les zones arides. Pour exploiter cette hydrologie naturelle, on utilise le distillateur solaire terre-eau ou eau-eau (figure 1.18). Il est similaire à celui de l'effet de serre, sauf que le sol remplace le bassin noir.

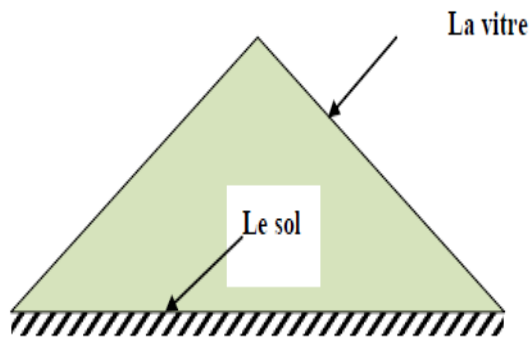


Fig. 1.18. Distillateur solaire terre-terre et eau-eau

1.3.3. Distillateur water pyramid

La société néerlandaise (AAWS) a mis au point "une pyramide à eau" (Water Pyramid) (figure 1.19) pouvant être installée dans des pays où l'eau en l'état est généralement impropre à la consommation humaine un système disposant d'une surface de 600 m^2 , produira quotidiennement un maximum d'environ 1 250 litres de distillat.



Fig. 1.19. Distillateur water pyramid

1.3.4. Distillateur sphérique

C'est un distillateur en plexiglas transparent (figure 1.20), à bac horizontal, et à surface de condensation demi – sphérique. Le rayonnement incident transmis par la demi - sphère supérieure pénètre dans le bac et sert, à chauffer la masse d'eau contenue dans

celui-ci. Une partie de l'eau s'évapore, et la vapeur dégagée vient se condenser sur la face intérieure de la vitre. Le distillat passe dans le demi - sphère inférieure à travers l'espace annulaire entre le bac et la sphère. Le balayage de la surface de condensation est réalisé au moyen d'un essuie - glace entraîné par un moteur. L'avantage de ce système de balayage est de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes [21].

Ce distillateur est constitué d'une sphère en plexiglas ou autres matériaux plastiques transparents reposants sur des supports, et d'un système mécanique de récupération de l'eau distillée par l'intermédiaire d'un essuie-glace entraîné par moteur électrique [22].

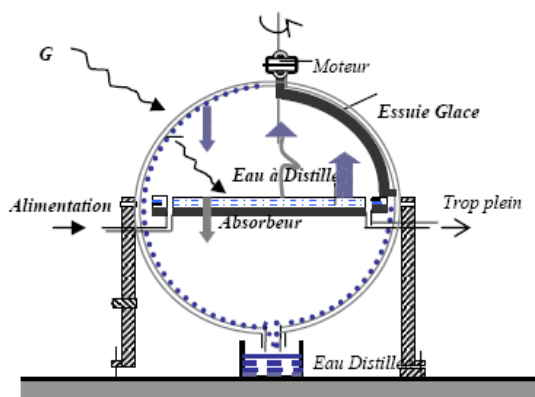


Fig. 1.20. Schéma d'un distillateur solaire sphérique

1.3.5. Distillateur à cascade

Un distillateur solaire à cascades est constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre (figure 1.21), le même principe appliqué dans un distillateur plan, sauf que l'absorbeur a une forme en cascade. L'eau salée versée dans le distillateur se répartie sur plusieurs petits bassins, on remarque que si la masse d'eau est faible, l'eau s'échauffe plus rapidement et s'évapore [23].

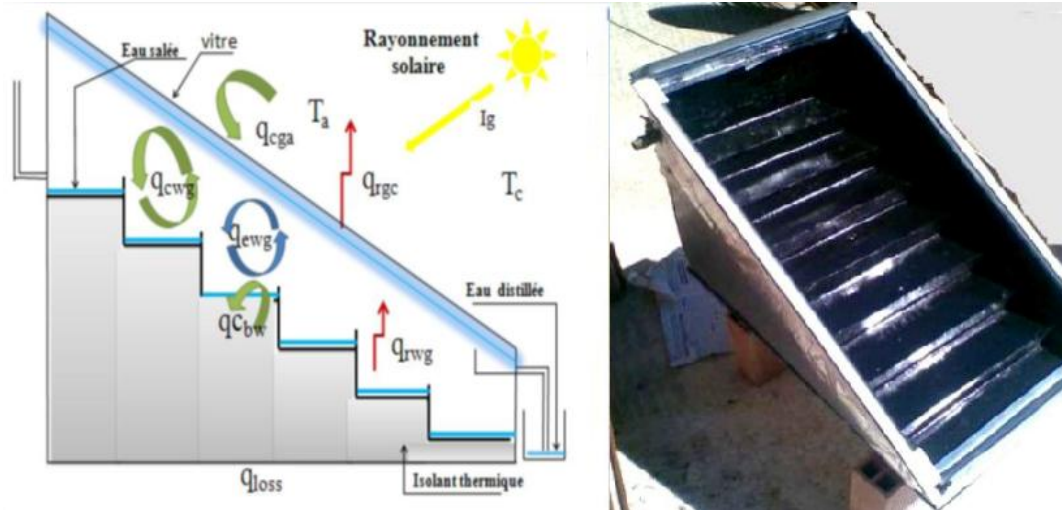


Fig. 1.21. Schéma d'un distillateur solaire à cascade

1.3.6. Distillateur à mèche

Dans un distillateur à mèche (figure 1.22), l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements (mèche).

Deux avantages sont revendiqués sur les distillateurs de bassin. D'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace). En second lieu, moins d'eau d'alimentation est dans le distillateur à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée [24].

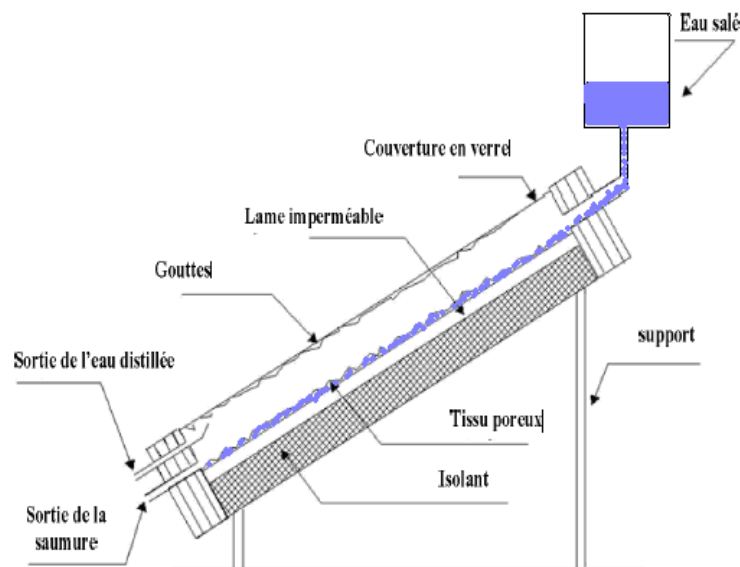


Fig. 1.22. Schéma d'un distillateur solaire à mèche

1.3.7. Distillateur vertical

La figure 1.23, présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par de l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant.

Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6). L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7), s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers des deux ouvertures (8) réalisées dans la cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans une gouttière (10, 11) fabriquée en dessous de la plaque de condensation. [25]

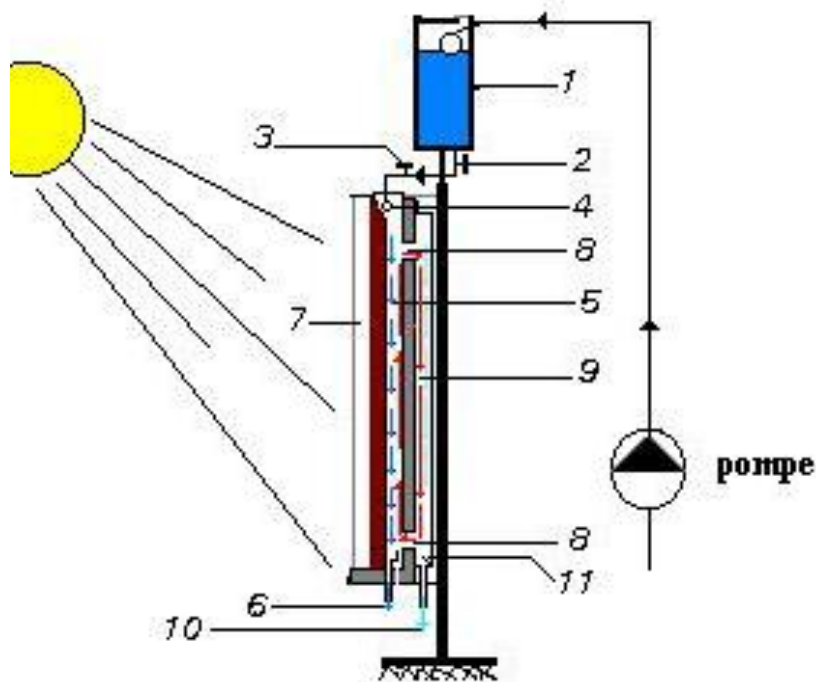


Fig. 1.23. Schéma d'un distillateur solaire vertical

1.3.8. Distillateur solaire à effet multiple - MED

Dans l'unité de recherche mécanique énergétique de l'école nationale des ingénieurs de Tunis URME- ENIT de l'université El Manar, nous avons l'occasion de voir et de tester ce type de distillateur à effet multiple dans le cadre d'un stage international.

Ce procédé est basé sur le principe d'évaporation de l'eau de mer préchauffée à une température entre 70 et 80°C.

L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échangeur, ou elle est assurée par une détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière ou par des capteurs solaires. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite (figure 1.24) Donc seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe.

Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent, l'évaporateur à multiples effets à tube horizontaux arrosés sont les appareils les plus utilisés actuellement, le fluide de chauffage, le fluide de chauffage s'écoule dans les tubes tandis que l'eau de mer à évaporer est arrosée de façon à s'écouler sous forme de film le plus uniforme possible sur l'extérieur du tube. La vapeur produite dans le cylindre ou cellule est ensuite envoyée dans les tubes de l'effet suivant ou elle cède son énergie de condensation. Ces évaporateurs présentent un très bon coefficient d'échange grâce à l'écoulement uniforme en film [26].

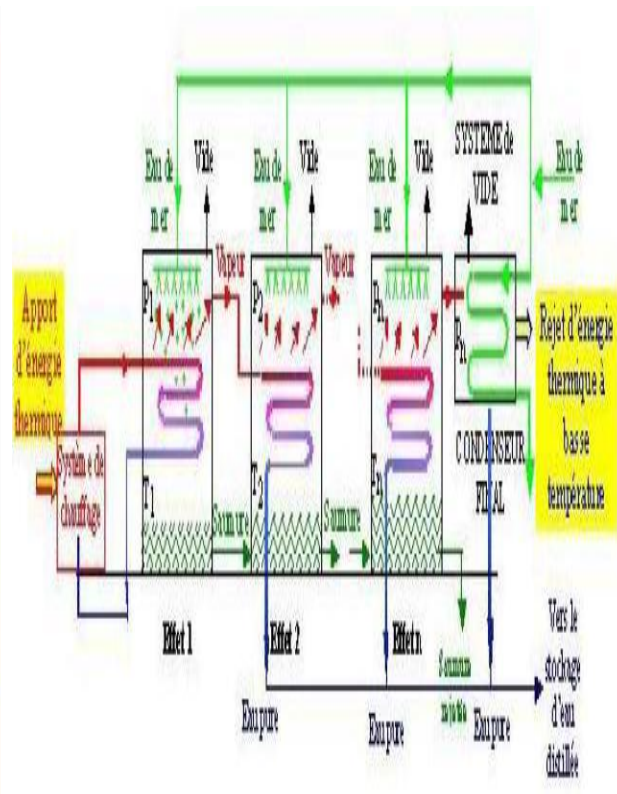


Fig. 1.24. Distillateur à effets multiples de URME de ENIT- Tunisie.

1.4 Les paramètres influents sur un distillateur solaire

1.4.1. Paramètres géométriques :

Parmi les paramètres géométriques importants:

4.1.1.1. L'inclinaison de la vitre sur le plan horizontale.

Si l'inclinaison de la vitre augmente, la partie ombragée du plan d'eau augmente en générale. Donc il y a intérêt à choisir une inclinaison minimale, sans décollement des gouttes d'eau évidemment, une valeur courante est 15° [27].

4.1.1.2. Hauteur du niveau de la masse d'eau à distiller.

La production journalière de distillat augment quand la hauteur du niveau diminue car l'inertie du système devient plus faible [27].

4.1.1.3. La distance qui sépare la surface libre de la saumure au vitrage.

La distance qui sépare la surface libre de la saumure au toit des deux capteurs influe directement sur la pression à l'intérieur du distillateur. L'augmentation de l'enceinte provoque une diminution de la pression, donc influe sur les échanges thermiques et cela entraîne une diminution des températures des composants du distillateur et vice versa.

4.1.1.4. La transparence du vitrage

Le nombre de couverts transparents utilisés dans un distillateur solaire ne pas augmenter la production, car elle augmente la température du couvercle interne (surface de condensation), mais elle a aussi maintient le dispositif étanche à l'air, grâce à une double couverture en verre une réduction de 25-35% de la production a été remarqué. Utilise également un couvercle en verre à double augmente le coût initial de distillateur [28].

4.1.1.5. Autres paramètres

L'isolation du distillateur, l'accumulation de couches de sel, l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmissivité de la surface absorbante et de la couverture.

1.4.2. Paramètres météorologiques

1.4.2.1. L'intensité du rayonnement solaire

C'est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde (0.17 à 4 μm). Le maximum d'intensité est obtenu pour la longueur d'onde 0.47 μm dans le spectre visible. L'intensité globale du rayonnement solaire arrivant aux confins de l'atmosphère sur une surface perpendiculaire est constante et égale à 1.35KW/m². Cependant, l'énergie qui atteint la surface terrestre est atténuée par l'absorption d'une partie du rayonnement par l'atmosphère. Le coefficient de transmission est assez constant en cours d'année et se situe entre 0.7 et 0.9 [29].

1.4.2.2. Température ambiante

L'effet de variations de température ambiante sur la productivité d'un distillateur solaire est examiné par plusieurs chercheurs. Les résultats numériques ont montré qu'une légère augmentation de 3% de la productivité distillateur solaire est obtenue par augmentation de la température ambiante par 5 °C [29].

1.4.2.3. La vitesse du vent

La vitesse du vent a peu d'effet sur la productivité, mais les vitesses de vent faibles augmentent les taux de production par rapport aux conditions de vent nul. L'augmentation de la vitesse du vent augmente la perte de chaleur par convection à partir de la couverture à la température ambiante. Cela provoque une diminution de la température de surface de condensation et augmente en conséquence le rendement d'un distillateur.

D'autre part les calculs numériques montrent que lorsque la vitesse du vent passe de 1 à 9 m / s, la productivité diminue de 13% [29].

1.4.2.4. Autres paramètres

L'humidité de l'air, la pluviométrie et l'intermittence des nuages doivent être prises en considération car la distillation en hiver n'est pas la même en été [29].

1.5 Caractéristiques et performances des distillateurs

Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser un distillateur solaire. On distingue : la production du distillat, le taux de conversion, l'efficacité, le rendement et la performance.

1.5.1 La production et le taux conversion

Le débit massique de l'eau distillée est donné par la relation suivante :

$$\dot{m}_d = \frac{Q_{evp}}{L_v} \quad (1.4)$$

La production du distillat d'un distillateur solaire, représente la quantité d'eau distillée produite, par mètre carré de surface d'évaporation et par jour, il est calculer par l'intégration de la relation précédente dans un intervalle du temps.

Nous pouvons aussi définir une grandeur très important, c'est le taux de conversion qui représente le rapport entre la quantité d'eau distillée et la quantité d'eau saumâtre entrante dans le distillateur soit [30]:

$$Q = - \frac{\dot{m}_d}{\int_{t_{is}}^{t_{cs}} \dot{m} dt} \quad (1.5)$$

1.5.2 L'efficacité globale

L'efficacité globale journalière est le rapport entre la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par la quantité d'énergie globale incidente, qui peut être calculée par la formule suivante

$$\eta_g = \frac{Q_{evp}}{G.S} = \frac{\dot{m}_d}{G.S} L_v \quad (1.6)$$

1.5.3 L'efficacité interne

L'efficacité interne est le rapport entre la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps et la quantité d'énergie effectivement absorbée par la saumure par unité de temps, elle se calcule par la formule suivante :

$$\eta_i = \frac{Q_{evp}}{Q_{eau}} = \frac{\dot{m}_d}{\alpha_t G.S} L_v \quad (1.7)$$

Pour une intensité globale G , l'expression Q_{eau} devient

$$Q_{eau} = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \tau_e \alpha_f). G.S \quad (1.8)$$

Q_{eau} : Flux thermique effectivement reçu par la masse d'eau

Si en pose que

$$\alpha_t = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \tau_e \alpha_f) \quad (1.9)$$

Donc

$$\eta_i = \frac{\eta_g}{\alpha_t} \quad (1.10)$$

τ_v : coefficient de transmission de la vitre ;

τ_e : coefficient de transmission de l'eau ;

α_e : coefficient d'absorption de l'eau ;

α_f : coefficient d'absorption de la fond du distillateur ;

α_t : coefficient d'absorption fictif du distillateur ;

Le coefficient α_t dépend de l'angle d'incidence du rayonnement incident par rapport à la vitre.

1.5.4 Performance

Dans le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue, nous avons été amenés à définir les facteurs de performance brut (F.P.B) et horaire (F.P.H):

$$FPH = \frac{\text{Quantité d'eau produite au out d'une heure}}{\text{uantité dénergie entrée au bout d'une heure}}$$

$$FPB = \frac{\text{Quantité d'eau produite au out de 24 heures}}{\text{Quantité dénergie entrée au bout de 24 heures}}$$

A un instant donné de la journée, le facteur de performance FP est donné par la relation :

$$FP = \frac{m_d}{a_t G.S} \quad (1.11)$$

1.5.5 Le rendement

C'est la quantité d'eau produite par unité de surface de plan noir et par jour. L'inconvénient majeur de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire qui arrive sur le distillateur. Le rendement d'un distillateur simple est [31].

$$\eta = \frac{m_d}{G} h_{evp} \quad (1.12)$$

h_{evp} : Enthalpie d'évaporation

1.6 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre une brève étude bibliographique sur la distillation solaire à l'échelle nationale (Algérie) et aussi à l'échelle mondiale et cela pour avoir une idée claire sur ce domaine. D'après les travaux des chercheurs ont remarque la diversité des méthodes et les technique utilisées pour améliorer le phénomène de la distillation solaire.

Nous avons vu aussi les différents types de distillateurs solaires et leurs principes de fonctionnement.

Nous avons choisi un seul type de distillateur solaire à effet de serre pour qu'il soit l'objet de notre étude dans les chapitres qui suivent. Nous avons choisi **le distillateur solaire à pente unique (ou à simple pente)**.

Les raisons du choix sont :

- Le bas coût du système
- La facilité de construction
- La facilité de maintenance

Donc, les quatre distillateurs seront conçus au niveau du laboratoire de mécanique de l'université Hamma Lakhdar d' El oued pour couvrir notre étude expérimentale.

Le chapitre qui suit explique les étapes de construction et il est renforcé par des photos en couleurs et des explications.

2.1 Introduction

Avant toute expérience, une étude théorique est nécessaire pour comprendre les modélisations mathématiques appliquées dans ce domaine et il est aussi nécessaire de prendre en considération que les hypothèses ci-dessous:

- La température de chaque composant du système est uniforme.
- Le transfert de chaleur est unidimensionnel.
- Flux de chaleur transitoire.
- La condensation se fait uniquement sur la couverture et elle est homogène.
- Les parois latérales sont supposées adiabatiques.
- La vitesse du vent est constante.
- Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes.
- Pertes de vapeur d'eau négligée.

Ce chapitre comprend aussi une partie de réalisation d'un distillateur solaire à effet de serre renforcée par des photos en couleurs et certes, par des explications facilitant ainsi pour tout amateur, étudiant et chercheur de construire son propre prototype, sans oublier de signaler les astuces de fabrication ce qui évite la perte d'argent et le mauvais fonctionnement du distillateur. La réalisation des distillateurs a été faite au niveau du laboratoire de mécanique et de l'hydraulique, faculté de la technologie de l'université Hamma Lakhder d'El-Oued, sud-est d'Algérie. Cette réalisation sera l'objet de la première partie de ce chapitre.

2.2 Réalisation d'un distillateur solaire plan

Le distillateur solaire utilisé dans notre expérience est d'une conception très simple. Il s'agit de distillateur à simple effet de serre et à simple pente; il présente l'avantage d'être facile à construire et surtout à maintenir.

Le distillateur est essentiellement constitué comme la montre la figure 2.1 :

- Un coffre en bois.
- Un bassin de verre de la même forme que le coffre en bois.
- Une couverture verrière.
- Une tuyauterie d'accumulation.
- Une tuyauterie de circulation.
- Un réservoir de collection de l'eau distillée.



Fig. 2.1 distillateur solaire à réaliser

2.2.1 Matériels nécessaires

Ces composants ont été choisis de façon constructive (dimensions proportionnelles à la taille de futur système) et selon la disponibilité sur le marché de la région d'El oued, sud-est d'Algérie. Ces composants sont résumés dans le tableau 2-1 qui donne le nombre des éléments, la quantité et le dimensionnement des parties du distillateur solaire à construire. Des photos en couleurs sont également présentes dans ce tableau pour faciliter la procédure de construction.

Tableau 2.1. Matériels de construction du distillateur solaire plan

Photo	Nom	Quantité	Dimension
	Coffre en bois : Planchettes de bois	05	L=50 cm H1 = 14 cm H2 = 07 cm 55 cm x 55 cm
	Couvercle : Morceau de verre	01	55 cm x 55 cm Epaisseur de préférence E = 3 mm ou E = 4 mm ou E = 5 mm
	Bassin en verre :	01	L=50 cm H1 = 14 cm H2 = 07 cm 50 cm x 50 cm
	Tuyau PVC avec filtrage à l'extrémité	01	L = 60 cm Diam = 25 mm
	Coude 90° Avec deux tubes PVC (filtrage à l'extrémité)	02	Diam = 25 mm Diam = 25 mm L = 10 cm
	Tube de silicone	01	
	Colle de bois, des clous, des vises et un marteau	01	

	Boite de Peinture	02	Une boîte noir et Avec une fourchette
	Entonnoir	01	
	Bedon de plastique (Réservoir de collection)	02	
	vannes	01	
	Table de support	01	
	Niveau à eau	01	

Le niveau à eau est une pièce essentielle dans les étapes de construction et il joue un rôle très important dans les étapes de préparation aux expériences.

Un petit tronçonneur avec un disque de métal le plus fin que possible est indispensable pour faire l'ouverture du tube collecteur. Cette opération est très délicate ce qui la rend très difficile.

2.2.2 Les étapes de la réalisation

La réalisation d'un distillateur solaire à effet de serre n'est pas vraiment difficile car le matériel nécessaire à la construction est disponible dans les marchés algériens (voir tableau 2.1). La partie délicate c'est la disposition, l'emplacement et l'ouverture du tube de collection car tout le système se base sur cette étape. Si l'une de ses trois étapes n'est pas bien faite ça risque de ne pas donner un bon fonctionnement de notre système. Pour cette raison nous assistons à bien expliquer ces étapes.

Notre système ne dispose pas d'une couche d'isolation de polyester car l'épaisseur du coffre en bois est de 2.5 cm et l'épaisseur du verre est de 0.5 cm, c'est à dire l'épaisseur totale est de l'ordre de 3 cm. Cette valeur est suffisante pour résister au transfert de chaleur à travers la paroi du distillateur. L'avantage de ce système, c'est toute quantité produite de distillât est instantanément transférée au réservoir. L'autre avantage, que la quantité produite n'est pas exposée à l'évaporation car nous avons remarqué dans d'autres systèmes similaires, que l'eau distillée est collectée dans le distillateur lui-même et il est exposé à la même radiation ce qui laisse à dire que le rendement du système n'est pas exact.

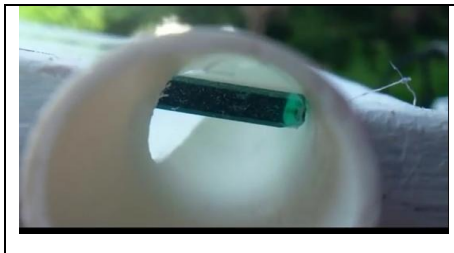
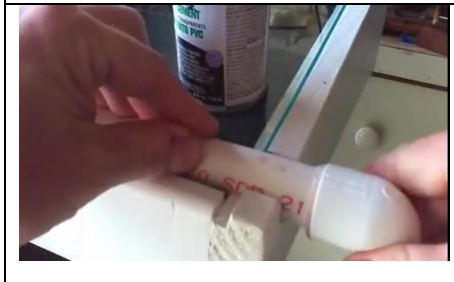
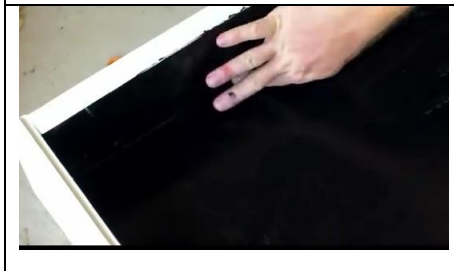
L'angle d'inclinaison du vitrage est de 10° donc nous sommes dans l'intervalle idéal d'après les recherches de Edeoja [32] en 2013. Cette recherche montre toute augmentation de l'inclinaison engendre une diminution de production de l'eau distillée. Elle montre aussi que toute augmentation du volume entre la couche d'eau Sallé et le vitrage influe négativement sur le rendement.

L'intrant des chercheurs c'est l'amélioration des systèmes, ce qui aussi notre objectif dans ce travail mais nous avons un autre objectif parallèle, c'est la pureté des eaux collectées pour l'usage humain. L'eau collectée est transformée à des eaux potables, c'est pour cette raison nous avons utilisé un bassin de verre évitant ainsi le contact avec des produits chimiques qui se trouvent dans les peintures et évitant aussi le contact avec la corrosion des absorbeurs métalliques utilisés généralement dans les distillateurs solaires.

Dans notre construction, nous avons évité tous ses défauts pour avoir des résultats assez exacts et précis. L'étape de l'emplacement et l'ouverture du tube collecteur est délicate et elle nécessite beaucoup d'attention et de patience. Le tableau 2.2 regroupe les étapes de construction avec des explications assez claires.

Tab 2.2. Les étapes de construction du distillateur solaire plan

Photos	Explication
	Coffre du distillateur Le coffre est conçu de 04 planchettes de 14 cm x 7 cm x 2.5 cm découpés en morceaux assemblés à l'aide d'une colle spéciale bois et fixés avec des vis. La 5 ^{ème} planche de 65 cm x 56 cm est pour le fond du distillateur.
	Le bassin de verre 04 morceaux de verre de 14 cm x 7 cm x 0.5 cm découpés en morceaux assemblés à l'aide d'une colle spéciale de verre. Le 5 ^{ème} morceau de 55 cm x 55 cm est pour le fond du bassin. Le bassin à la même forme que le coffre.
	Le foyer du tube de collection Deux trous (demi-cercles) sont forés sur les deux planchettes latérales. Le tube de collection sera placer dans ses deux foyers
	L'emplacement du tube Le tube de collection est placer dans les trous parallèlement à la planchette de face, minimisant au maximum l'espace qui se trouve entre la planchette et le tube. Une très légère inclinant du tube vers le côté de la sortie est favorable.
	L'emplacement du verre Le tube est en place en fait glisser le verre (couverture) je ce qu'au tube de collection
	Traçage du tube En trace la limite du verre sur le tube de telle façon que 1/3 du tube sera en haut est le 2/3 sera au-dessous du verre (voir l'étape de l'emplacement du verre dans le tube)
	Ouverture du tube Cette opération est très difficile et il faut être très précis car la flexibilité du tube ne vous donne pas une bonne maitrise de coupure.

	L'emplacement du verre dans le tube Après l'ouverture du tube, glisser le verre dans le tube en assurant qu'il y a un espace suffisant au-dessous du verre pour que les gouttelettes de l'eau condensée puissent passer librement dans le canal du tube.
	Préparation du tube collecteur Bouché le bout du tube collecteur l'un des deux côtés avec de la colle et un bouchant de même nature.
	Le but du distillateur et le coude L'autre bout du tube collecteur sera lié à un coude de 90° permettant ainsi à l'eau distillée de s'écouler vers le réservoir Un tube où tuyau sera collecté à l'autre sortie du coude pour faciliter l'écoulement entre le coude et le réservoir.
	Peinture intérieure du distillateur Le distillateur doit être teinté par une peinture noire comme le montre la photo. De préférables deux couches pour l'homogénéité de la peinture noire sur la surface intérieure du distillateur.
	Trou d'alimentation de l'eau salée Un trou d'alimentation sera fait à l'une des planchettes latérale pour alimenter le distillateur avec des eaux salées en utilisant un entonnoir Ce trou doit être fermé pendant le processus de la distillation
	Finalement A la fin nous serons ce distillateur prêt à fonctionner.

2.2.3 Les distillateurs utilisés dans les expériences

Dans notre étude on a besoin de quatre distillateurs similaires avec les mêmes dimensions pour tester 03 paramètres dans les mêmes conditions. La figure 2.2 représente les dimensions des distillateurs utilisés dans notre travail.

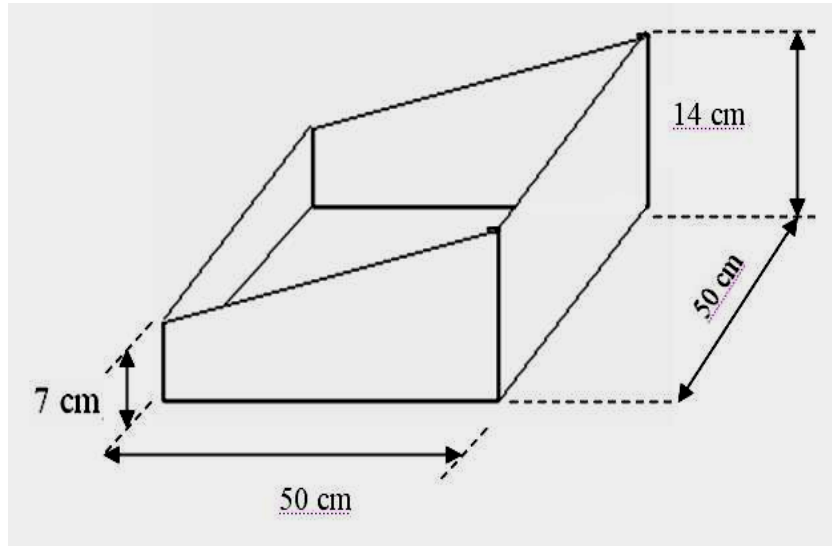


Fig. 2.2. Dimensionnement du distillateur

2.2.3.1 Distillateur n°1 témoin

Le distillateur témoin n°1 (figure 2.3) est notre référence principale pour comparer, déduire et interpréter tous changements qui influent sur la productivité de notre système (le deuxième distillateur à tester).

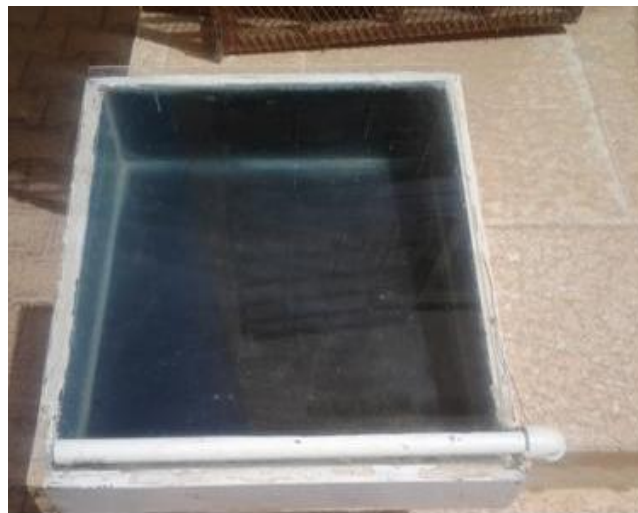


Fig. 2.3. Le distillateur témoin

2.2.3.2 Distillateur n° 2 avec miroir

Le distillateur n° 2 (figure 2.4) est associé à un réfracteur (miroir dans notre cas) a pour rôle de monter l'influence du réfracteur sur la productivité des eaux distillées.



Fig. 2.4. Le distillateur avec le réflecteur

2.2.3.3 Distillateur n° 3 avec milieu poreux

Le distillateur n°3 (figure 2.5) est remplie par du sable fin naturel de la région à fin de stocker de l'énergie solaire et de voir l'influence de ce paramètre sur la productivité des eaux distillées.

Remarque : Le sable est choisi du sommet de la dune donc il est très fin.



Fig. 2.5. Le distillateur avec du sable fin

2.2.3.4 Distillateur n°4 à double vitrage

Le distillateur n°2 (figure 2.6) est conçu avec un double vitrage a fin de voir l'influence du ce paramètre sur la productivité des eaux distillées.



Fig. 2.6. Le distillateur avec double vitrage

2.2.3.5 Les quatre distillateurs

La figure 2.7 représente la disposition des quatre distillateurs sur un support métallique exposé au soleil dans le même jour avec les mêmes conditions météorologiques.



Fig. 2.7. Les quatre distillateurs en plein expérience

2.3 Etude théorique d'un distillateur plan

2.3.1 Bilan énergétique d'un distillateur

La modélisation mathématique d'un distillateur solaire à simple pente, illustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur solaire. Elle est fondée sur quatre points: le bilan du vitrage, le bilan de l'eau, le bilan de l'isolant et le débit du condensât [22].

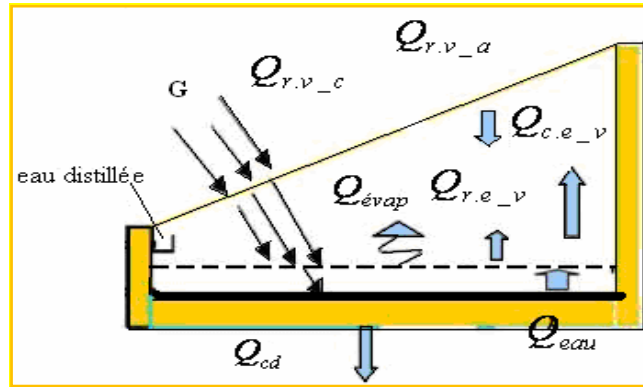


Fig. 2.9 Bilan énergétique d'un distillateur solaire

2.3.2 Bilan du vitrage

La quantité de chaleur reçue par la vitre est évacuée par conductivité à travers celle-ci, soit :

- **A la face extérieure :**

$$\frac{M_v C_{p_v}}{2 \cdot A_v} \frac{dT_{ve}}{dt} = \left(\frac{\lambda_v}{\delta_v} \right) (T_{vi} - T_{ve}) - Q_{r.v.e-ciel} - Q_{c.v-a} + \frac{P_v}{2} \quad (2.1)$$

- **A la face intérieure :**

$$\frac{M_v C_{p_v}}{2 \cdot A_v} \frac{dT_{vi}}{dt} = - \left(\frac{\lambda_v}{\delta_v} \right) (T_{vi} - T_{ve}) + Q_{r.e-vi} + Q_{c.e-vi} + Q_{évap} + \frac{P_v}{2} \quad (2.2)$$

Q_{re_vi} : Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage.

Q_{ce_vi} : Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{évap}$: Flux thermique par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

Q_{rve_ciel} : Flux thermique perdu par la vitre par rayonnement vers l'extérieur.

Q_{cv_a} : Flux thermique perdu par convection par la vitre vers l'extérieur.

λ_v : Conductivité thermique de la vitre.

δ_v : Épaisseur de la vitre.

2.3.3 Bilan de l'eau

$$\frac{M_e C_{p_e}}{A_e} \frac{dT_e}{dt} = Q_{c.b_e} - Q_{c.e_v} - Q_{evap} - Q_{r.e_v.i} + P_e \quad (2.3)$$

$Q_{c.b_e}$: Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

P_e : : Puissance absorbée par la nappe d'eau, elle est négligeable pour l'eau de mer

2.3.4 Bilan du bassin intérieur

$$\frac{M_b C_{p_b}}{A_b} \frac{dT_b}{dt} = P_b - Q_{c.b_e} - Q_{c.d.b_{iso.i}} \quad (2.4)$$

Q_{cd} : Flux thermique perdu par conduction du bac.

2.3.5 Bilan de l'isolant

Pour réduire les pertes de chaleur à travers la base, nous utilisons un isolant thermique. Le côté intérieur du distillateur reçoit la chaleur perdue de l'absorbeur et le côté extérieur cède de la chaleur vers l'extérieur par rayonnement et par convection, d'où l'équation:

- Au niveau de la face intérieure :

$$\frac{M_i C_{p_i}}{2.A_i} \frac{dT_{iso.i}}{dt} = Q_{c.d.b_{iso.i}} - \left(\frac{\lambda_i}{\delta_i} \right) (T_{iso.i} - T_{iso.e}) \quad (2.5)$$

$Q_{c.d.b_{iso.i}}$: Flux thermique par conduction entre le bac et l'isolant thermique.

- Au niveau de la face extérieure :

$$\frac{M_i C_{p_i}}{2.A_i} \frac{dT_{iso.e}}{dt} = \left(\frac{\lambda_i}{\delta_i} \right) (T_{iso.i} - T_{iso.e}) - Q_{r.iso_{soll}} - Q_{c.iso_a} \quad (2.6)$$

2.3.6 Le débit du condensât

$$\frac{dM_c}{dt} = h_{evap} \frac{T_e - T_v}{L_v} \quad (2.7)$$

M : Masse du condensât.

L_v : Chaleur latente de vaporisation.

T_e : Température de l'eau.

T_v : Température de la vitre

2.3.7 Coefficients d'échanges thermiques

2.3.7.1 Par rayonnement eau-vitre

$$Q_{r.e_v} = h_{r.e_v} (T_e - T_{v.i}) \quad (2.8)$$

$Q_{r.e_v}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

$$h_{r.e_v} = \epsilon_{eff} \cdot \sigma \cdot (T_e^2 - T_{v.i}^2) \cdot (T_e + T_{v.i}) \quad (2.9)$$

ϵ_{eff} : Émissivité effectif.

σ : Constante de Steffan–Boltzman.

$$\epsilon_{\text{eff}} = \left[\frac{1}{\epsilon_e} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1 \right]^{-1} \quad (2.10)$$

ϵ_e : Émissivité de l'eau

ϵ_v : Émissivité de la vitre.

2.3.7.2 Par convection eau-vitre

$$Q_{\text{c.e.v}} = h_{\text{c.e.v}} (T_e - T_v) \quad (2.11)$$

$$h_{\text{c.e.v}} = 0.884 \left[T_e - T_v + \frac{(T_e - T_v)(T_e + 273.15)}{268.9 \times 10^3 - P_e} \right]^{1/3} \quad (2.12)$$

$h_{\text{c.e.v}}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage.

2.3.7.3 Par vaporisation

$$Q_{\text{evap}} = h_{\text{evap}} (T_e - T_{v,i}) \quad (2.13)$$

h_{evap} : Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage

$$h_{\text{evap}} = 16.273 \times 10^3 h_{\text{c.e.v}} \frac{(P_e - P_{v,i})}{(T_e - T_{v,i})} \quad (2.14)$$

La pression de la vapeur d'eau est estimée par la relation suivante

$$P = 133.32 \exp \left(18.6686 - \frac{4030.1824}{T + 273.15} \right) \quad (2.15)$$

D'autre part [35, 36] propose un polynôme du troisième degré en fonction de la température :

$$P = 0.148 \cdot T - 0.3653 \times 10^{-2} \cdot T^2 + 0.11242 \times 10^{-3} \cdot T^3 \quad (2.16)$$

2.3.7.4 Par rayonnement vitre – milieu ambiant

$$Q_{\text{r.v.ciel}} = h_{\text{r.v.ciel}} (T_{v,e} - T_{\text{ciel}}) \quad (2.17)$$

$h_{\text{r.v.ciel}}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

$$h_{\text{r.v.ciel}} = \epsilon_v \cdot \sigma (T_{v,e}^2 - T_{\text{ciel}}^2) \cdot (T_{v,e} + T_{\text{ciel}}) \quad (2.18)$$

T_{ciel} : Température du ciel.

La température du ciel est donnée par deux relations approximatives, l'une par respectivement [36]:

$T_{\text{ciel}} = T_a - 6$ ou $T_{\text{ciel}} = T_a - 12$ (T_a : Température ambiante)

En général, on utilise l'expression :

$$T_{\text{ciel}} = 0.0552 \cdot (T_a^{1.5}) \quad (2.19)$$

2.3.7.5 Par convection vitre – milieu ambiant

$$Q_{c.v_a} = h_{c.v_a} (T_{v,e} - T_a) \quad (2.20)$$

Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.

Le coefficient d'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'air est donné par la relation suivante

$$h_{c.v_a} = 5.7 + 3.8 V \quad (2.21)$$

V : est la vitesse du vent (m/s).

2.3.7.6 Par convection bassin - eau

$$Q_{c.b_e} = h_{c.b_e} (T_b - T_e) \quad (2.22)$$

$h_{c.b_e}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

$$h_{c.b_e} = \frac{Nu \cdot \lambda_f}{L} \quad (2.23)$$

λ_f : Conductivité thermique du fluide (eau).

Dans ce type de problème, les corrélations expérimentales aboutissent à des relations de la forme :

$$Nu = c (Gr Pr)^n \quad (2.24)$$

avec Gr : Nombre de Grashoff et Pr : Nombre de Prandlt.

où c et n sont des constantes dépendant de la géométrie du système et de la nature de l'écoulement (laminaire ou turbulent).

2.3.7.7 Par plane horizontale

- Gradient de T vers le haut :

- L'écoulement est toujours laminaire et on a :

$$\text{Si } Gr < 10^5 \rightarrow Nu = 1$$

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

$$\text{Si } 10^5 < Gr < 2 \cdot 10^7 \Rightarrow Nu = \frac{\lambda_e}{L} 0.54 \cdot (Gr Pr)^{0.25} \quad (2.25)$$

$$\text{Si } Gr > 2 \cdot 10^7 \Rightarrow Nu = 0.14 \cdot (Gr Pr)^{0.33} \quad (2.26)$$

Nombre de Grashoff :

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \rho^2 \cdot L^3 \cdot \Delta T}{\mu^2} \quad (2.27)$$

β : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau en (K^{-1}).

λ : Longueur du bac absorbant en (m).

ρ : La masse volumique de l'eau en (Kg/m^3).

g : L'accélération en (m^2/s).

μ : La viscosité dynamique en ($Kg/m.s$).

Nombre de Prandlt :

$$Pr = \frac{\mu_e \cdot Cp_e}{\lambda_e} \quad (2.28)$$

Les pertes thermiques du bassin par conduction thermique à travers l'isolation est données comme suit :

$$Q_{cd.b_iso.i} = K_b \times (T_b - T_{iso.i}) \quad (2.29)$$

T_b : Température du bac.

T_i : Température de l'isolant.

Avec :

$$K_b = \frac{\lambda_b}{\delta_b} \quad (2.30)$$

λ_b : Conductivité thermique du bac.

δ_b : Épaisseur du bac.

- Par conduction Isolant-bassin :

$$Q_{cd.iso.i_b} = \frac{\lambda_b}{\delta_b} (T_b - T_i) \quad (2.31)$$

- Par conduction à travers l'isolant

$$K_i = \frac{\lambda_{iso}}{\delta_{iso}} (T_{iso.i} - T_{iso.e}) \quad (2.32)$$

λ_{iso} : Conductivité de l'isolant.

δ_{iso} : Épaisseur de l'isolant.

- Par conduction à travers l'isolant

$$Q_{c.iso.i-a} = h_{iso.e_a} \times (T_{iso.e} - T_a) \quad (2.33)$$

$h_{iso.e_a}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre l'isolant et l'air extérieur.

- Par conduction à travers l'isolant

$$h_{r.e_v} = \varepsilon_{iso} \cdot \sigma \cdot (T_{sol}^2 - T_{iso.e}^2) \cdot (T_{iso.e} + T_{sol.i}) \quad (2.34)$$

2.4 Conclusion

Nous avons vu les différentes composantes et les étapes de la réalisation d'un distillateur solaire à simple pente, en sachant les astuces de construction cela nous permettent d'éviter la perte de temps et d'économiser de l'argent. En sachant les avantages de notre système par rapport aux autres systèmes similaires et cela renforce notre choix. Nous avons vu aussi la modélisation mathématique utilisée dans les différentes parties de notre distillateur solaire plan à simple pente et cette modélisation sera interprétée plus loin dans le chapitre quatre, par des graphes.

Donc nous sommes prêts à entamer l'étape suivante qui sera la préparation aux travaux expérimentaux, autrement dit la méthode, les étapes à suivre, les choses à éviter, la manière de mesurer et quel logiciel doit-on utiliser pour tracer les courbes.

3.1 Introduction

Les huit expériences ont été faites au niveau de la faculté de la technologie de l'université de Hamma Lakhdar d' El oued, sud-est d'Algérie.

Toutes les expériences sont faites par deux distillateurs l'un est un témoin et l'autre pour l'amélioration. L'expérience se déroule en même temps, dans le même lieu, avec la même position, avec la même nature d'eau et bien sûr dans les mêmes conditions météorologiques. Tout cela pour éviter tous les doutes qui pourraient influencer négativement nos résultats. Pour cela quatre distillateurs similaires ont été conçus pour renforcer notre étude et chaque distillateur à un objectif bien déterminé.

Distillateur n°1 : distillateur témoin

Ce distillateur est la référence pour les autres, c'est grâce à lui qu'on peut tirer des hypothèses, des idées d'amélioration, l'effet d'un paramètre sur la distillation...etc.

Distillateur n°2 : distillateur à réfracteur

Ce distillateur est alimenté avec un réfracteur dans le but de savoir l'effet de ce paramètre sur la distillation solaire.

Distillateur n°3 : distillateur a double vitrage

Ce distillateur est alimenté d'un double vitrage (double couverture) dans le but de savoir l'effet de ce paramètre sur la distillation solaire.

Distillateur n°4 : distillateur à milieu poreux

Ce distillateur est alimenté d'une couche de sable fin de la région pour créer un milieu poreux dans le bassin des eaux salées dans le but de savoir l'effet de ce paramètre sur la distillation solaire.

Distillateur n°5 : distillateur avec absorbeur métallique noir

Ce distillateur est alimenté d'une plaque métallique noire (absorbeur) dans le but de savoir l'effet de ce paramètre sur la distillation solaire.

3.2 Description du système

Le distillateur solaire à simple pente est un dispositif très connu et très facile à construire car ses composantes sont disponibles dans tous les marchés du monde aussi dans les marchés des pays pauvres. Donc toute personne désirant construire ce type de distillateur peut le faire facilement et avec le minimum de coût.

Le distillateur expérimental (Figure 3.1) est composé essentiellement de :

- Le bac absorbeur qui est ici dans notre cas le bassin en verre de 5 mm d'épaisseur, peint en noir de la face extérieure qui ne touche pas l'eau saline, de dimension 0.5 m x 0.5 m.
- Un recouvrement en verre de 5 mm d'épaisseur, de dimension 0.55 m x 0.55 m constitue la toiture du distillateur qui est inclinée d'un angle de 10°.
- L'isolation est assurée par l'épaisseur du coffre de bois de 2,5 cm d'épaisseur plus l'épaisseur du bac en verre de 5 mm.
- La récupération du distillat s'effectue dans un tube PVC de 25 mm de diamètre qui se trouve sur la partie inférieure du distillateur.
- Un réservoir d'accumulation placé au-dessous du distillateur.
- Une pièce accessoire est essentielle c'est l'entonnoir et le tuyau d'alimentation.

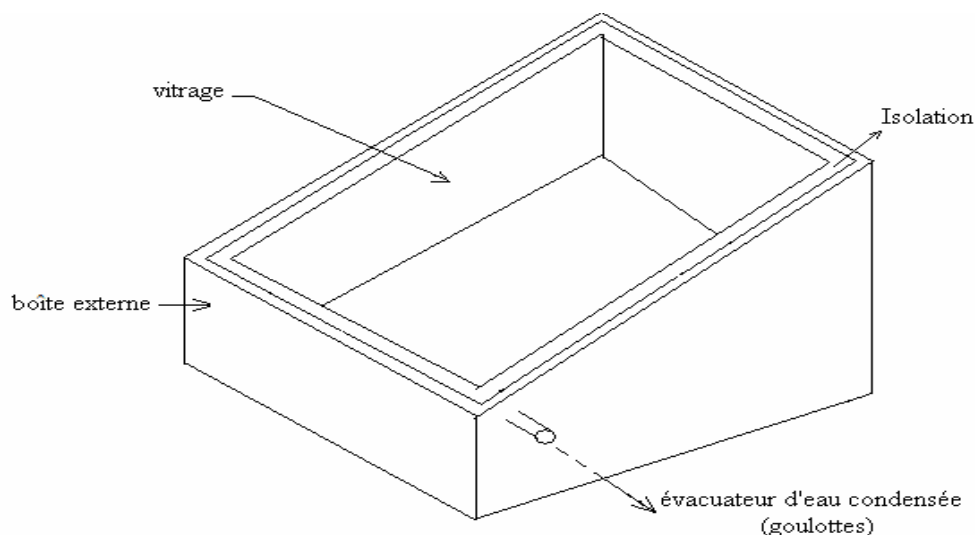


Fig. 3.1. Distillateur solaire plan

3.3 Méthodes et expériences

Les expériences sont faites selon les coordonnées géographiques de la ville d'El-Oued situé à 33.3676° de latitude nord et 6.8516° de longitude. Les distillateurs sont placés dans le même endroit pour les mêmes conditions.

La première expérience (n°1) a pour but d'évaluer et de comparer notre dispositif avec ceux qui se trouvent dans les laboratoires mondiaux. La deuxième expérience (n°2) est composée de deux expériences dans des différentes saisons ayant pour but de déterminer la meilleure période pour faire les expériences. Les cinq expériences (de n°3 à n°7) sont faites au mois de mai 2016.

Les expériences sont faites de 7 :00 à 18 :00 donc 11 heures d'ensoleillement et à chaque heure des prélèvements de températures sont effectués puis comparés avec ceux du distillateur témoin (figure 3.2). Le but de ses expériences c'est de trouver les facteurs qui influent positivement sur la productivité de l'eau distillée et d'éviter les facteurs qui influent négativement sur la distillation.

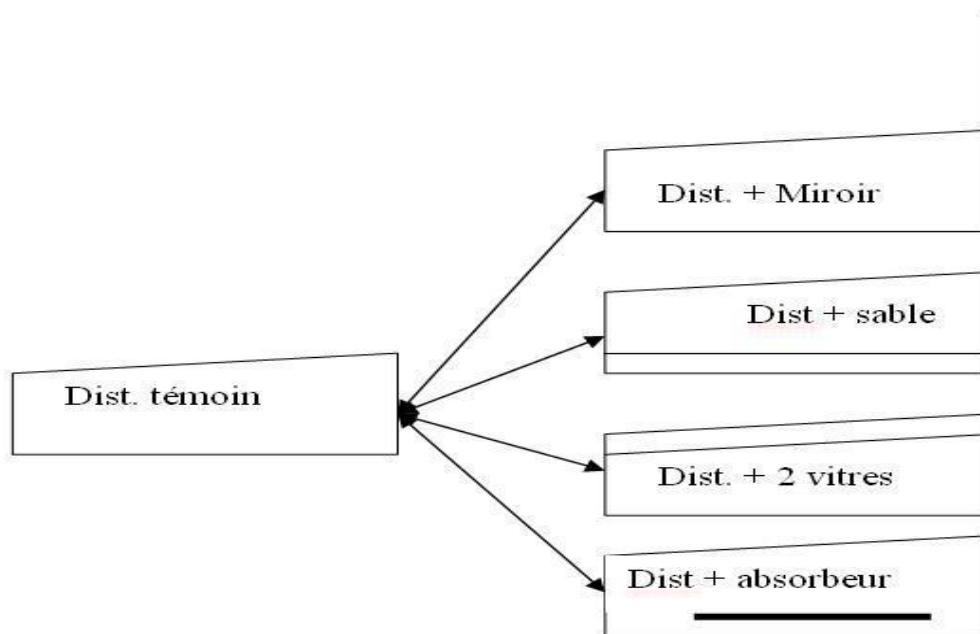


Fig. 3.2. Schéma des quatre distillateurs solaires

3.3.1 . L'emplacement des thermocouples

Les mesures des températures sont faites par des thermocouples dont l'emplacement (figure 3.3) est comme suit

- Température de la face intérieure de la vitre.
- Température de la face extérieure de la vitre.
- Température à l'intérieur du distillateur.
- Température de l'eau a distillé.
- Température ambiante.

Le schéma suivant montre l'emplacement des thermocouples dans le système.

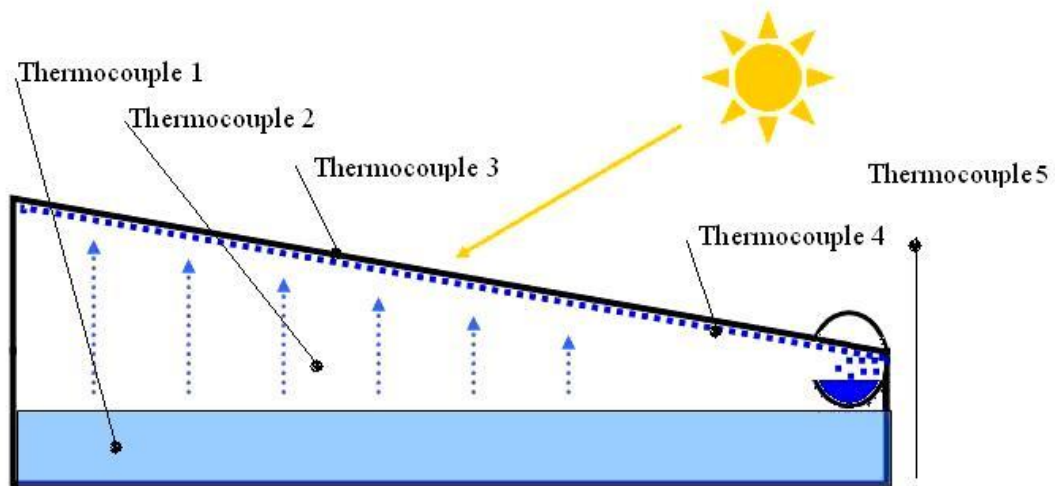


Fig. 3.3. L'emplacement des thermocouples

3.3.2 . Matériel d'améliorations

3.3.2.1 . Miroir

Un miroir de 100 cm x 50 cm a été utilisé comme réfracteur et placé derrière le distillateur pour étudier l'effet de la réflexion des rayons solaires sur la distillation (figure 3.4).



Fig. 3.4. Le distillateur avec le réfracteur

Dans notre cas, deux réfracteurs seront utilisés pour s'assurer que les rayons solaires sont toujours sur le vitrage du distillateur. Pour cela, le distillateur va prendre un espace plus grand, les deux réfracteurs doivent être callés contre un objet fixe.

3.3.2.2 . Vitrage double

Une vitre supplémentaire a été ajoutée sur la première de façon à laisser un espace de 1 cm entre les deux (figure 3.5), cet espace va jouer le rôle d'un isolant thermique.



Fig. 3.5. Le distillateur avec un double vitrage

3.3.2.3 . Grains de sable fin (milieu poreux)

Une couche de sable fin de la région a été versée dans le bassin de l'eau à distiller pour créer un milieu poreux dans le but d'étudier cet effet sur la distillation solaire (figure 3.6).



Fig. 3.6. Le distillateur avec du sable fin

3.3.2.4 . Plaque métallique noir (absorbeur)

Un absorbeur a été posé dans le bassin de l'eau à distiller dans le but d'étudier cet effet sur la distillation solaire (figure 3.7).



Fig. 3.7. Le l'absorbeur métallique noir

3.3.3 . Matériels de mesures

3.3.3.1 . Thermocouples

Des thermocouples et des afficheurs INSTEK (figure 3.8) sont nécessaires pour le prélèvement de la température sur les 04 parties du distillateur (l'eau à distiller, l'intérieur du distillateur, température du vitrage à l'intérieur et à l'extérieur) et la cinquième pour mesurer la température ambiante.

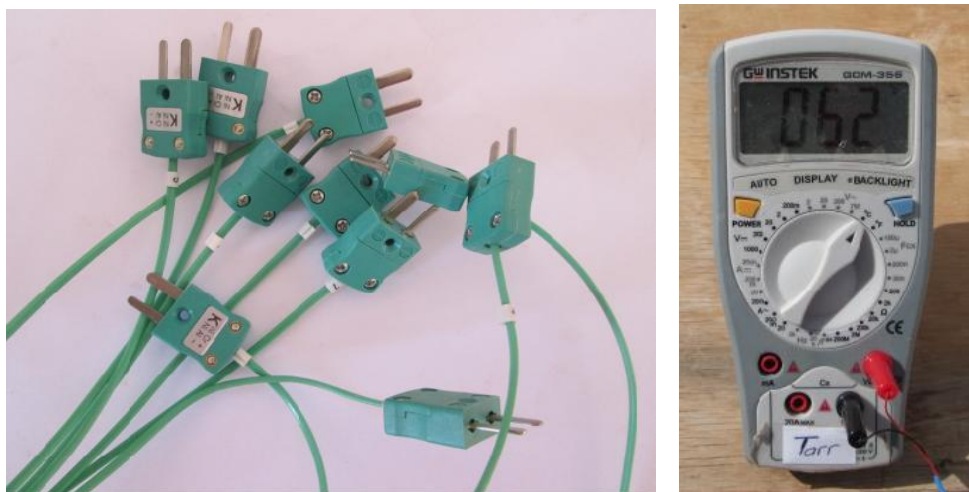


Fig. 3.8. Thermocouples et afficheur INSTEK

3.3.3.2 . Appareil de PHM210 Standard

L'appareil PHM210 Standard pH Mètre (figure 3.9) du laboratoire VTRS de l'université d'El-Oued, aide à donner le pH des eaux distillées de chaque distillateur.

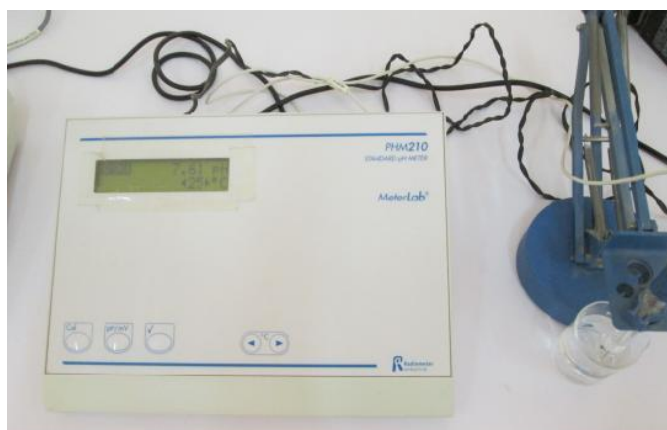


Fig. 3.9. PHM210 Standard pH Mètre

3.3.3.3 . Appareil CDM210 Conductivité Mètre

L'appareil CDM210 conductivité mètre (figure 3.10) du laboratoire VTRS, aide à donner la conductibilité électrique des eaux distillées de chaque distillateur.



Fig. 3.10. CDM210 Conductivité Mètre

3.3.3.4 . Bêcher gradué

Le bêcher gradué (figure 3.11) facilite la mesure la quantité des eaux distillées collectées dans le but de savoir la quantité d'eau distillée produite dans chaque heure.

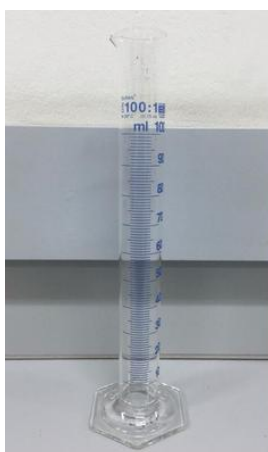


Fig. 3.11. Bêcher gradué

3.3.3.5 . Niveau à eau

Le niveau à eau (voir figure 3.12) est un outil très important pour régler les niveaux des distillateurs pour ne pas avoir le retour de l'eau distillée dans le distillateur.



Fig. 3.12. Niveau à eau

3.4 Travaux expérimentaux

Deux expériences ont été faites à part : la première (n°1) a pour but de faire une évaluation et une comparaison de notre distillateur avec celle des chercheurs dans le monde et la deuxième (n°2) a pour but de choisir la bonne période pour tester les distillateurs.

3.4.1. Expérience n°1 : Evaluation d'un distillateur solaire.

3.4.1.1 . Introduction de l'expérience n° 1

Un distillateur solaire à simple pente a été conçu pour un travail pédagogique ou de recherche, la question qui se pose : est-ce qu'il fonctionne comme les autres distillateurs qui se trouvent dans les laboratoires de recherche dans le monde? Donc, il faut une évaluation et une comparaison de ce dispositif. Pour cette raison on a fait cette expérience.

3.4.1.2 . Méthode de l'expérience

Après la construction du distillateur, on a commencé à tester ce distillateur dans le but de montrer que notre dispositif fonctionne dans les normes.

3.4.2 . Expérience n° 2 : les effets météorologiques (saisons d'été et d'hiver)

3.4.2.1 . Introduction de l'expérience n° 2

Dans la nature les effets météorologiques sont inséparables et elles agissent en même temps sur la distillation solaire.

L'objectif de cette expérience c'est de savoir quelle est la meilleure période pour tester les distillateurs ? Est-ce que la saison d'été ou bien la saison d'hiver est la meilleure période pour faire nos expériences?

3.4.2.2 . Méthode de l'expérience

La figure 3.11 représente le distillateur de (100 cm x 50 cm) qui a été exposé sous soleil dans la saison d'hiver (février) puis ce même distillateur dans la même place et la même position, a été exposé sous soleil dans la saison d'été (mai).

Les conditions météorologiques des deux saisons sont représentées dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2. Conditions météorologiques des deux saisons

	janvier (hiver)	mai (été)
Lever du soleil	07:38	5:41
Coucher du soleil	17:46	19:19
Température ambiante	11-17° C	26-35° C
Pression	1031mb	1013mb
Humidité	59 %	25%
Vent	10 km	21 km

Le distillateur a été rempli avec la même quantité d'eau (3 litres) et la même nature d'eau pour éviter tous les doutes que l'effet de l'épaisseur d'eau salée ou la nature d'eau a influé sur la distillation.

Conjecture:

On suppose que la distillation solaire est plus favorable dans la saison de l'été que la saison de l'hiver.

3.4.3 . Expérience n°3 : La ressemblance des distillateurs.

3.4.3.1 . Introduction de l'expérience n°3

Nous disposons de 4 distillateurs solaires à simple pente qui seront l'objet de notre expérience mais une question indétournable se pose, est-ce ses quatre distillateurs sont semblables du point de vue construction et du point de vue rendement ?

La ressemblance totale n'existe pas mais on accepte de dire que deux dispositifs sont semblables si l'erreur entre eux est inférieure à 5%.

3.4.3.2 . Méthode de l'expérience

Quatre distillateurs (voir figure 3.13) ont été testés en même temps avec la même quantité d'eau (1.5 litres) et la même nature pour voir le taux d'erreur. Cette expérience a pour but de choisir au moins deux distillateurs avec un taux d'erreur inférieur à 5%.



Fig. 3.13. Les quatre distillateurs en cours de préparation

3.4.4 . Expérience n°4 : L'effet du réfracteur

3.4.4.1 . Introduction de l'expérience n°4

L'idée c'est d'exposer le maximum des rayonnements solaires sur le distillateur en utilisant un réfracteur (miroir) dans le but d'étudier la réaction du distillateur à cet effet. Est-ce qu'il y a un effet positif ou négatif sur la distillation?

3.4.4.2 . Méthode de l'expérience

La figure 3.14 représente un distillateur solaire alimenté d'un réfracteur exposé au soleil et dans le plan arrière le distillateur témoin.



Fig. 3.14. Distillateur avec un réfracteur

Cette expérience demande de l'attention car chaque fois il faut s'assurer que les rayons solaires sont toujours bien réfléchis sur le vitrage du distillateur.

Précaution à prendre :

Le réfracteur doit être bien positionné pour que les rayons solaires réfléchis soient sur le vitrage du distillateur. Avec chaque prélèvement de température en règle l'angle du réfracteur si nécessaire.

Conjecture:

On suppose que l'effet du réfracteur est un facteur positif car le distillateur reçoit plus de rayonnements solaires que le distillateur témoin.

3.4.5 . Expérience n°5 : l'effet du double vitrage**3.4.5.1 . Introduction de l'expérience n°5**

L'influence du double vitrage dans le cas d'un capteur solaire plan est positive d'où l'idée de le tester sur un distillateur solaire plan. Est-ce qu'il a le même effet positif comme dans le capteur solaire ? Où l'expérience va donner un résultat négatif ?

3.4.5.2 . Méthode de l'expérience

La figure 3.15 représente le distillateur à double vitrage sous soleil à gauche et le distillateur témoin à droite. La distance de séparation entre les deux vitrages est de 1 cm et l'étanchéité est assurée avec du silicone et du papier collant.



Fig. 3.15. Distillateur avec le double vitrage

Précaution à prendre :

Nous avons collé avec du silicone transparent, une planchette de bois de 1 cm d'hauteur sur les quatre côtés de la face extérieure du premier vitrage puis on a posé doucement le deuxième vitrage sur les quatre planchettes et on le laisse sécher. Après

séchage, on vérifie l'étanchéité de notre dispositif une autre fois et finalement, notre distillateur est prêt pour l'expérience

Conjecture:

Puisque le condensateur (vitrage intérieur) n'est pas en contact direct avec l'extérieur qui joue le rôle d'un système de refroidissement, c'est à dire que le condensateur reste toujours chaud donc le résultat attendu est négatif autrement dit pas d'amélioration dans la productivité de l'eau distillée.

3.4.6 . Expérience n°6 : L'effet d'un milieu poreux**3.4.6.1 . Introduction de l'expérience n°6**

L'objectif de cette expérience consiste à tester l'effet d'un milieu poreux sur la productivité du distillateur solaire, en utilisant une couche de sable fin dans le bassin d'eau à distiller pour augmenter sa capacité d'absorption aux rayons solaires d'une part, et créer un réservoir de stockage de l'énergie d'autre part.

La question qui se pose, est-ce qu'une simple couche de sable peut augmenter la productivité d'un distillateur solaire?

3.4.6.2 . Méthode de l'expérience

Le sable fin a été récupéré du sommet d'une dune de la région et puis traité comme suit :

- Etre tamisé,
- Etre lavé au moyen de l'eau du robinet plusieurs fois et lavé deux fois en eau distillée à fin d'éliminer toute les impuretés ou autres micro organismes qui 'peuvent influencer la distillation '.
- Etre séché à l'air libre puis pesé avec une balance.

La figure 3.16 représente la méthode de remplissage du distillateur donc en verse de l'eau dans le distillateur puis en verse du sable d'une manière à avoir une homogénéité de l'épaisseur du sable sur la base du distillateur puis on ferme le dispositif.



Fig. 3.16. Remplissage du Distillateur avec du sable fin

La figure 3.17 représente la préparation d'un distillateur solaire avec un milieu poreux (0.5 kg de sable fin) immergé dans des eaux salines et couvre toute la base du bassin.



Fig. 3.17. Distillateur avec un milieu poreux (sable fin)

Conjecture:

On suppose que le rendement du distillateur témoin sera plus grand que l'autre avec du sable fin car la surface noire de ce dernier est recouverte par le sable est cela cause une diminution de la productivité du système.

On suppose qu'après le coucher du soleil, que le distillateur avec le sable fin va donner une quantité d'eau distillée supplémentaire due à l'énergie solaire stockée dans le sable.

3.4.7 . Expérience n°7 : l'effet d'un absorbeur métallique noir

3.4.7.1 . Introduction de l'expérience n°7

L'expérience a été faite le 17/05/2016, on ajoutant un absorbeur métallique noir (47 x 47 cm) qui ne couvre pas toute la surface du distillateur quel sera l'effet de ce paramètre sur la distillation ?

3.4.7.2 . Méthode de l'expérience n°7

Les deux distillateurs témoin et celui qui a une plaque métallique noire (voir figure 3.18) ont été exposés au soleil pour une expérience scientifique.



Fig. 3.18. Distillateur avec l'absorbeur

Conjecture : une amélioration de la productivité de l'eau distillée.

3.5 Conclusion

Toutes les expériences ont été faites sans problème, pour étudier les effets ; météorologiques, du réfracteur, de l'utilisation de double vitrage, de l'addition d'un milieu poreux et de l'insertion d'un absorbeur métallique noir sur la distillation solaire. Une bonne préparation a été faite pour le bon fonctionnement des expériences, tel que la précision de la construction des distillateurs, la préparation du terrain, la disponibilité des appareils de mesure et l'emplacement des thermocouples. Les résultats des expériences sont présentés graphiquement dans le chapitre qui suit.

4.1 Introduction

Les résultats de la première expérience seront commentés à part puisque le déroulement de l'expérience a été dans deux saisons différentes dans le but de déterminer la meilleure saison pour faire la suite de nos expériences et de montrer que les effets météorologiques ont une influence importante sur la distillation solaire.

Les résultats de la deuxième expérience seront commentés d'une manière générale car le but c'est de déterminer la ressemblance des distillateurs. Nous avons eu deux dispositifs qui se ressemblent.

Les quatre autres expériences seront commentées avec plus de détails dans le but de confirmer ou pas les conjectures prévues dans le chapitre trois.

Les résultats dans ce chapitre donneront des réponses assez claires et convaincantes à des questions qui ont été posées dans le chapitre précédant.

4.2 Expérience n°1 : évaluation d'un distillateur solaire

4.2.1 . Interprétation et discussion de l'expérience n°1

La figure 4.1 montre les évolutions du rayonnement solaire, de la température ambiante, de la température du vitrage face extérieure, de la température de l'intérieur du distillateur, de la température de l'eau dans le bassin et la productivité de l'eau distillée. Ses évolutions sont en correspondances avec ceux trouver par les chercheurs dans ce domaine.

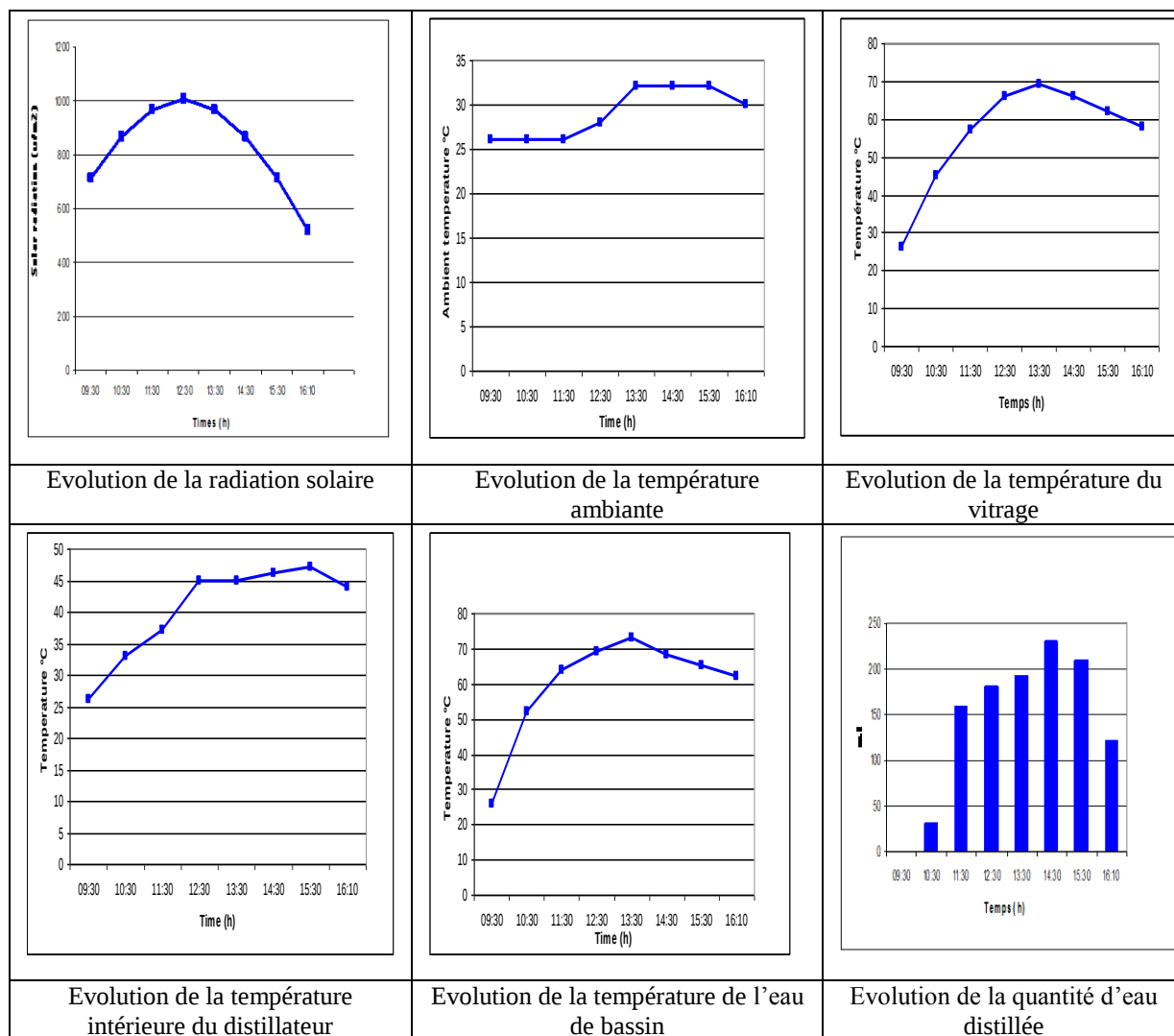


Fig. 4.1 Résultat de l'évaluation d'un distillateur solaire

4.2.2 Conclusion de l'expérience n°1

- Les résultats obtenus sont en bon accord avec ceux trouvés par les chercheurs dans ce domaine, ce qui conduit à la conclusion que notre dispositif fonctionne parfaitement dans les normes.
- Le distillateur peut être utilisé pour faire des expériences pédagogiques ou des recherches.

4.3 Expérience n°2 : effet météorologique (saison d'été et d'hiver)

4.3.1 Interprétation et discussion de l'expérience n°2

La distillation dans la période de l'été n'est pas la même que dans la période de l'hiver, donc d'après les résultats, il y a des facteurs influents sur la distillation.

Figure 4.2 montres que la radiation solaire est plus intéressante dans l'été que dans l'hiver.

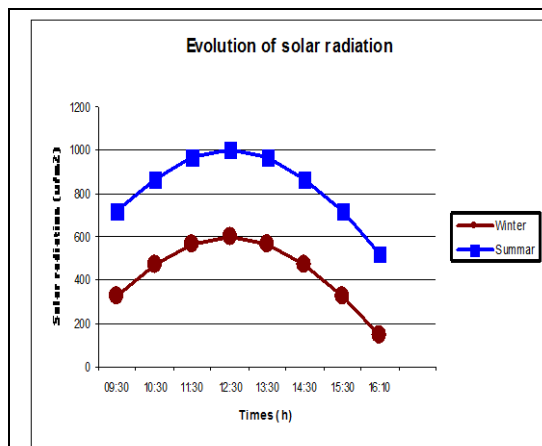


Fig. 4.2. L'évolution de la radiation solaire

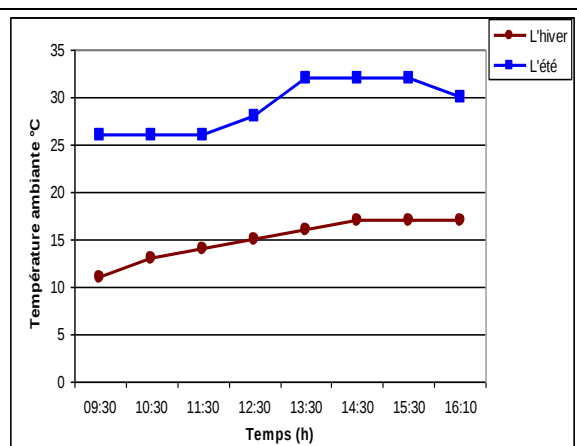


Fig.4.3. L'évolution de la température ambiante

Figure 4.3 montre que la température ambiante est plus intéressante en l'été qu'en hiver. Il montre aussi que toute augmentation de cette dernière entraîne l'augmentation de la production de l'eau distillée.

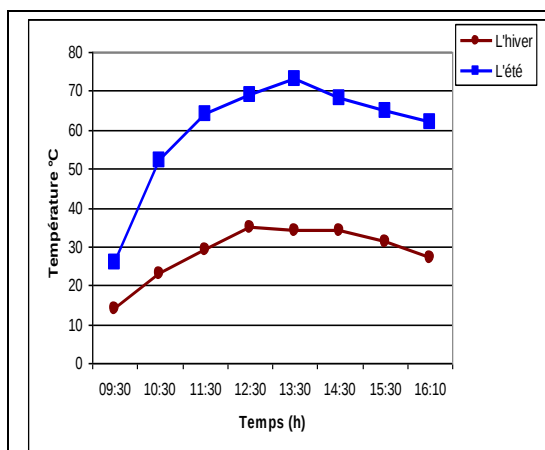


Fig.4.4 évolution de la température de l'eau de bassin

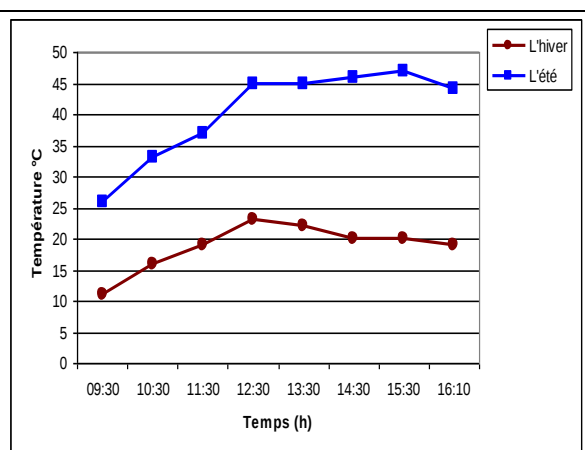


Fig.4.5. Evolution de la température du vitrage

Figure 4.4 montre l'évolution de la température au niveau de l'eau du bassin et on remarque qu'en été, toutes les mesures sont supérieures à 50°C avec une température maxi de 73°C à 13:30 mais en hiver toutes les mesures sont inférieures à 40°C avec une température maxi de 35°C à 13 :30.

Figure 4.5 montre l'évolution de la température du vitrage (le condenseur) et on remarque qu'en été, toutes les mesures sont supérieures à 30°C avec une température maxi de 47°C à 15 :30 mais en hiver, toutes les mesures sont inférieures à 30°C avec une température maxi de 23°C à 13 :30. Normalement, si le vitrage est plus froid, la condensation sera plus forte donc la production de l'eau distillée est intéressante mais l'expérience ne montre pas cette vérité, peut-être l'influence de ce facteur n'est pas assez forte par rapport aux autres facteurs, reste à démontrer.

Figure 4.6 montre l'évolution de la température à l'intérieur du distillateur, on remarque qu'en été, toutes les mesures sont supérieures à 40°C avec une température maxi de 69°C à 13 :30 [5.6], mais en hiver, toutes les mesures sont inférieures à 40°C avec une température maxi de 35°C à 13 :30.

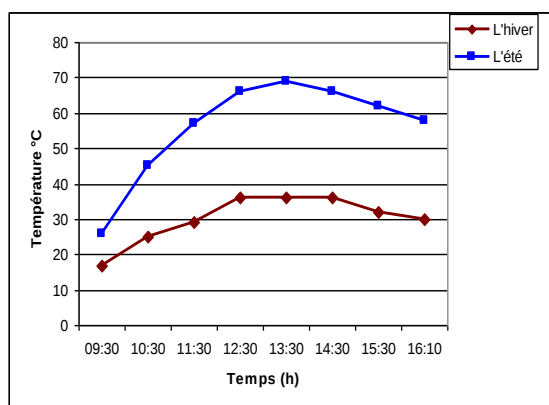


Fig.4.6. Evolution de la température intérieure du distillateur

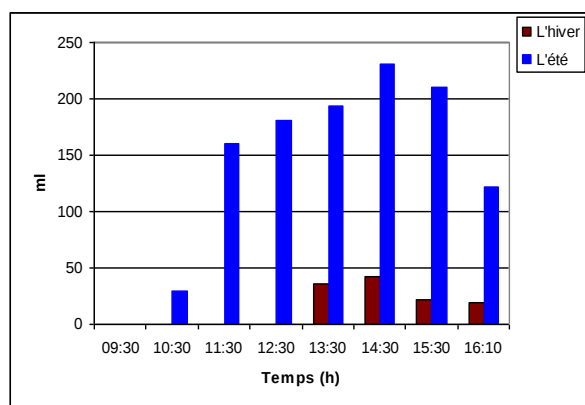


Fig.4.7. Evolution de la quantité d'eau distillée

Figure 4.7 montre l'évolution de la production de l'eau distillée. En été, la production de l'eau est déclenchée dans la première heure avec une quantité de 30ml et elle est au maxi à 14 :30 avec une valeur de 231 ml.

En hiver, la production de l'eau distillée est déclenchée après quatre heures avec une quantité de 36ml et elle est au maxi à 14 :30 avec une valeur de 42 ml.

En été, les premières gouttelettes sont apparues sur le vitrage quand la température à l'intérieur du distillateur était entre 35°C et 40°C. Par contre en hiver, la température maxi est 35°C à 12:30 avec une production d'eau distillée de 0 ml/h.

4.3.2. Conclusion de l'expérience n°2

Les 4 premières heures d'ensoleillement en hiver n'ont pas pu déclencher la distillation, mais par contre la première heure d'ensoleillement en été a déclenché la distillation. Ce qui veut dire que la production de l'eau distillée en été est plus favorable qu'en hiver.

Les facteurs météorologiques tels que la radiation solaire, la température ambiante, l'humidité et la vitesse du vent, influent sur la performance du distillateur et on remarque ;

- La température de l'eau du bassin varie de 26°C / 69°C en été et de 17°C / 36°C en hiver.
- La température du vitrage varie de 26°C / 47°C en été et de 11°C / 23°C en hiver.
- La température de l'air à l'intérieur du distillateur varie de 26°C / 73°C en été et de 14°C / 35°C en hiver.
- La quantité maximale de l'eau distillée pendant 6 heures et 40 minutes a donné en été 1227 ml, par contre en hiver la quantité est de 119 ml.

L'influence négative des facteurs météorologiques est très nette dans la période de l'hiver et la production totale de l'eau distillée traduit cette influence, par contre en été la distillation est plus favorable et le distillateur est plus performant, il suffit de voir la quantité totale de l'eau distillée obtenue pour confirmer cette performance.

4.4 Expérience n°3 : La ressemblance des distillateurs

4.4.1 Interprétation et discussion de l'expérience n°3

Les quatre distillateurs sont exposés le 12/05/2016 au soleil sous les mêmes conditions dans le but de voir la ressemblance entre eux et d'avoir le minimum d'erreur. Les résultats de l'expérience montrent que seulement deux distillateurs parmi quatre ont cette condition. Les figures 4.8 et 4.9 interprètent l'évolution du rayonnement solaire et l'évolution de la température ambiante.

Les figures 4.10 et 4.11 montrent l'évolution de la température du vitrage (face extérieure et face intérieure), on remarque que les températures sont presque les mêmes.

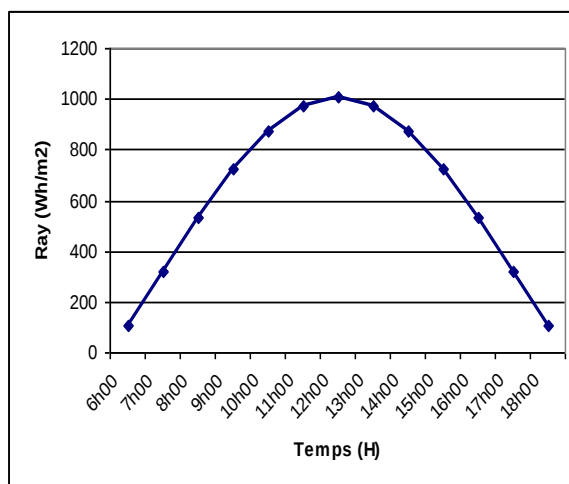


Fig.4.8. Evolution de la radiation solaire

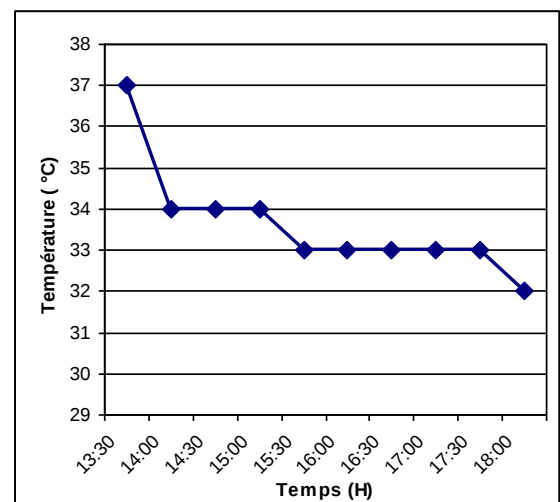


Fig.4.9. Evolution de la température ambiante

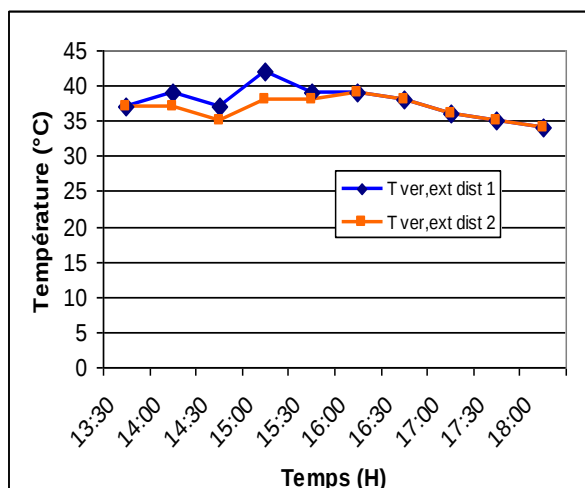


Fig.4.10. Evolution de la température du vitrage, face extérieure

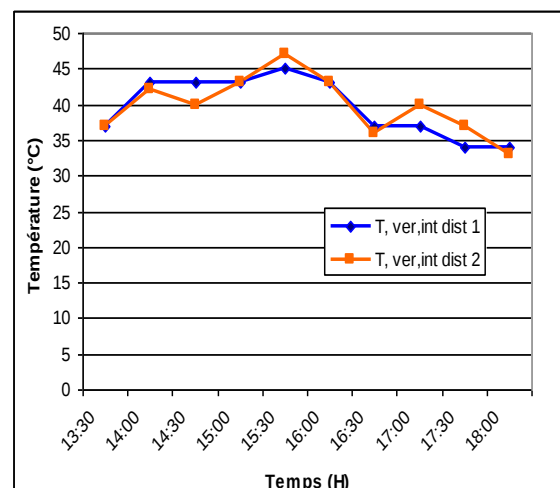


Fig.4.11. Evolution de la température du vitrage face intérieure

Les figures 4.12 et 4.14 expliquent l'évolution des températures de l'intérieur du distillateur et la température de l'eau dans le bassin et on remarque que les évolutions des températures sont très proches.

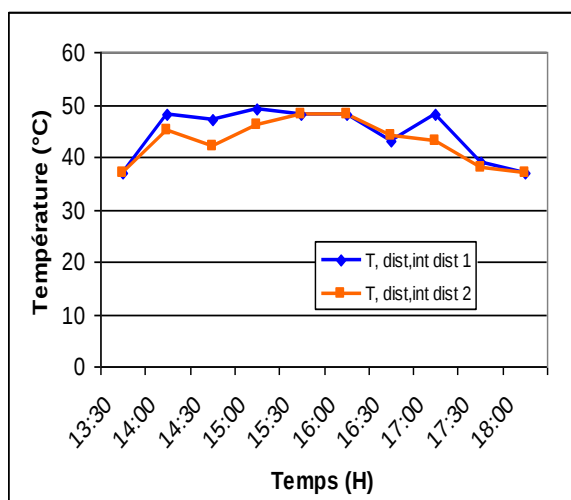


Fig.4.12. Evolution de la température intérieure du distillateur

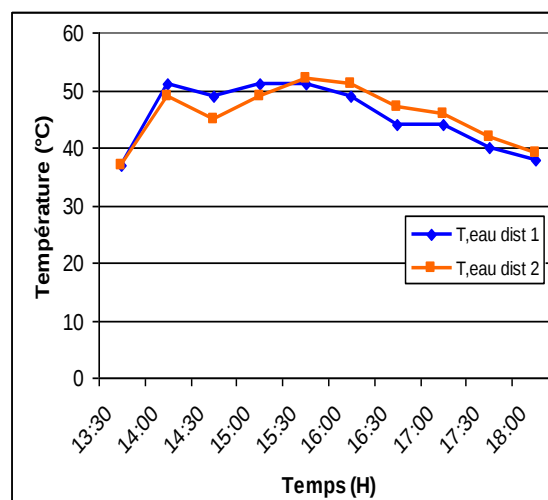


Fig.4.13. Evolution de la température de l'eau de bassin

La figure 4.14 reflète la productivité des deux distillateurs qui sont très proches avec une erreur de $\Delta e = 0.35\%$.

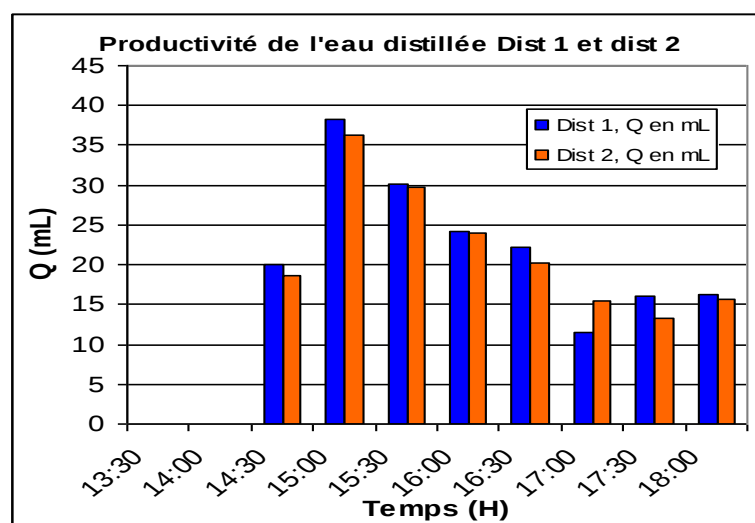


Fig.4.14. La productivité des deux distillateurs choisis

4.4.2 Conclusion de l'expérience n°3

- Deux distillateurs sont similaires avec une erreur de 0.35 % donc on peut les considérer comme deux distillateurs semblables.
- Dans les expériences qui suivent l'un sera utilisé comme témoin et l'autre pour étudier un effet.

4.5 Expérience n° 4 : l'effet du réfracteur

4.5.1 Interprétation et discussion de l'expérience n° 4

L'expérience a été faite le 16/05/2016 par un distillateur témoin et un autre distillateur avec un réfracteur dans le but de voir l'influence de ce paramètre sur la distillation.

Les figures 4.15 et 4.16 interprètent l'évolution du rayonnement solaire et l'évolution de la température ambiante.

Les températures du vitrage face extérieure et face intérieure du distillateur avec réfracteur sont élevées par rapport à celle du distillateur témoin et c'est ce que montrent les figures 4.17 et 4.18. Cette augmentation est due au rayonnement réfléchi sur le vitrage.

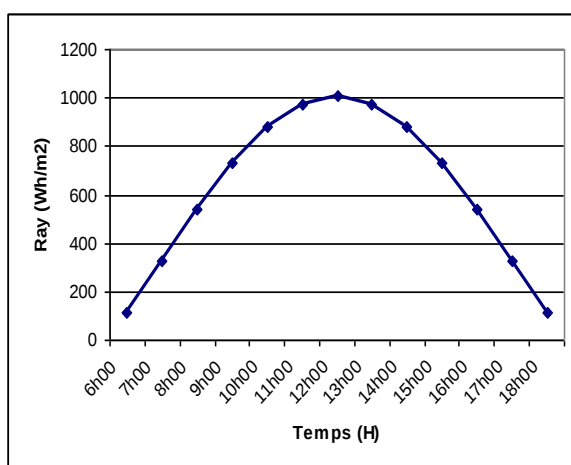


Fig.4.15. Evolution de la radiation solaire

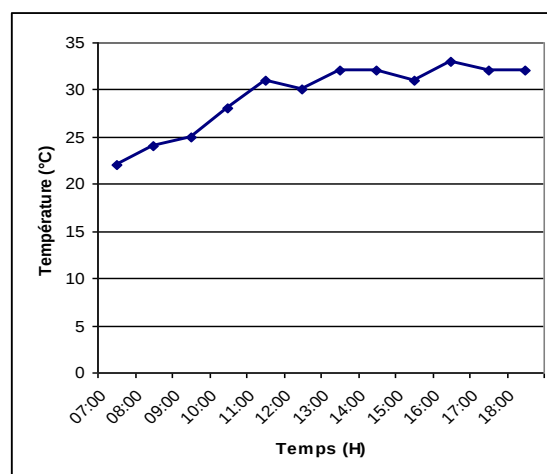


Fig.4.16. Evolution de la température ambiante

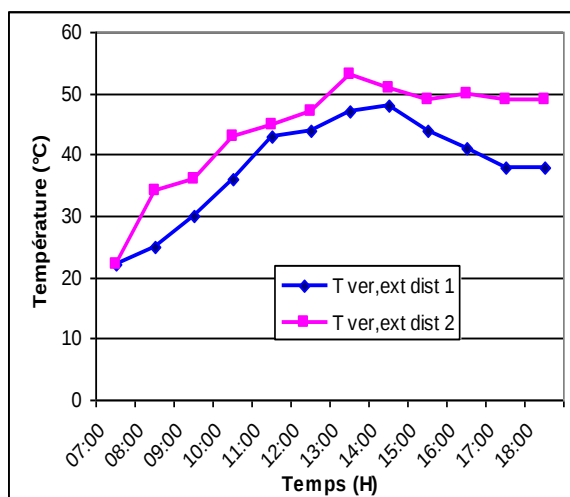


Fig.4.17. Evolution de la température du vitrage, face extérieure

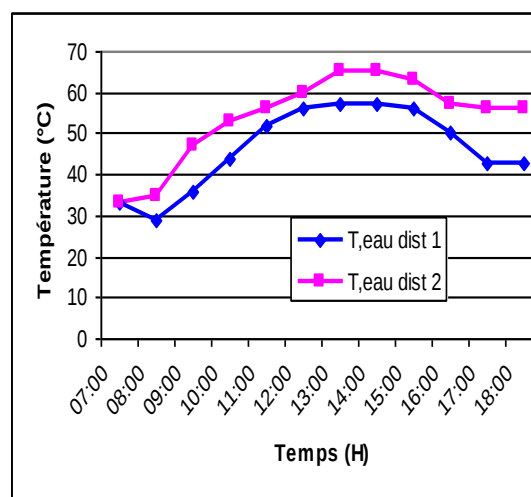


Fig.4.18. Evolution de la température du vitrage face intérieure

La température intérieure et la température de l'eau dans le bassin du distillateur avec le réfracteur sont toujours plus importantes que celle du distillateur témoin et ce la est interprété par les figures 4.19 et 4.20.

L'augmentation de la température de l'intérieur et du bassin a pour cause les rayonnements réfléchis.

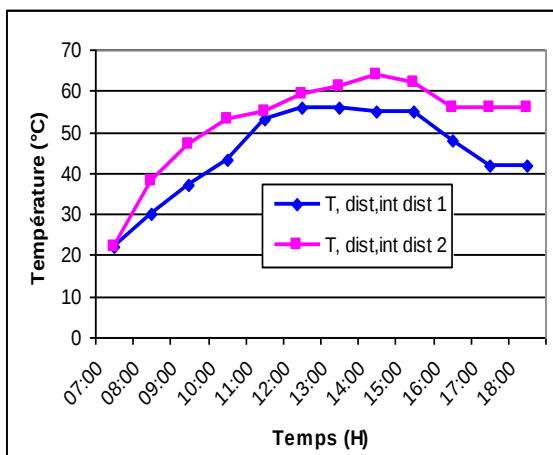


Fig.4.19. Evolution de la température intérieure du distillateur

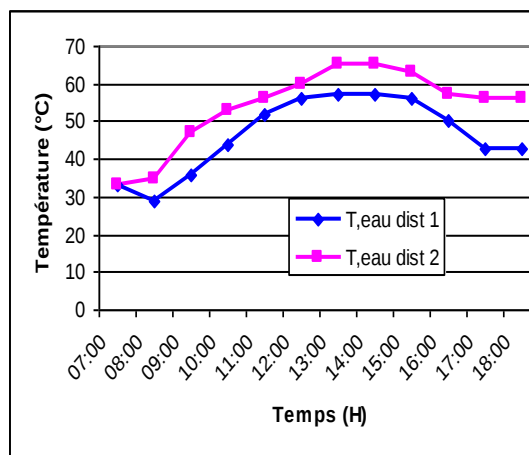


Fig.4.20. Evolution de la température de l'eau de bassin

On remarque que la productivité du distillateur 2 (avec réfracteur) est plus grande que celle du distillateur 1 témoin et c'est ce que montre la figure 2.21.

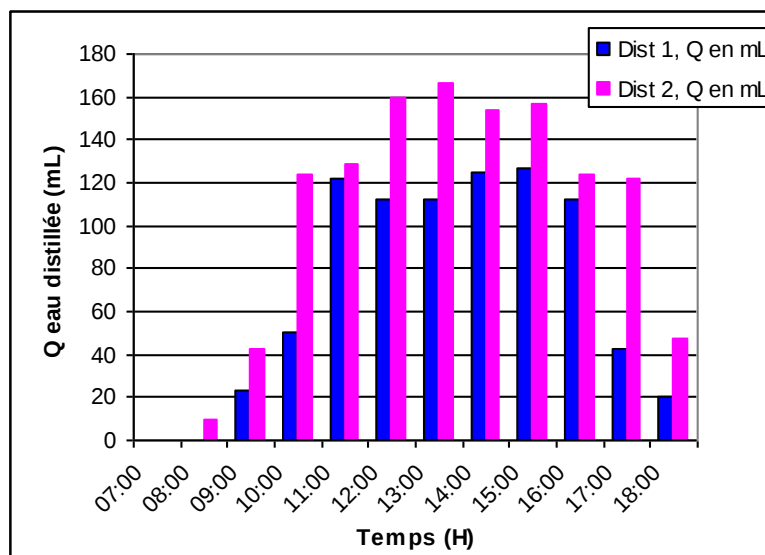


Fig.4.21. L'évolution de la productivité d'eau distillée par les deux distillateurs

4.5.2 Conclusion de l'expérience n° 4

- Le réfracteur a une influence positive sur la distillation avec une amélioration de l'ordre de 45.98 %.

4.6 Expérience n° 5 : l'effet du double vitrage

4.6.1 Interprétation et discussion de l'expérience n°5

L'expérience a été faite le 13/05/2016 par un distillateur témoin et un autre distillateur avec un vitrage supplémentaire dans le but de voir l'influence de ce paramètre sur la distillation.

Les deux premières figures 4.22 et 4.23 expliquent l'évolution du rayonnement solaire et de la température ambiante. Les deux autres figures (4.24 et 4.25) interprètent l'évolution de la température du vitrage (face extérieure et face intérieure des deux distillateurs (D1 : témoin et D2 avec double vitrage)). On remarque que la température de D2 est plus élevée que D1 et cela est remarquable dans la figure 4.25. Cette augmentation due au double vitrage qui ne laisse pas le contact de l'air ambiant refroidir le condenseur. Le condenseur est emprisonné entre une isolation à la face supérieure et une augmentation continue de la face inférieure, le phénomène de la condensation sera très difficile.

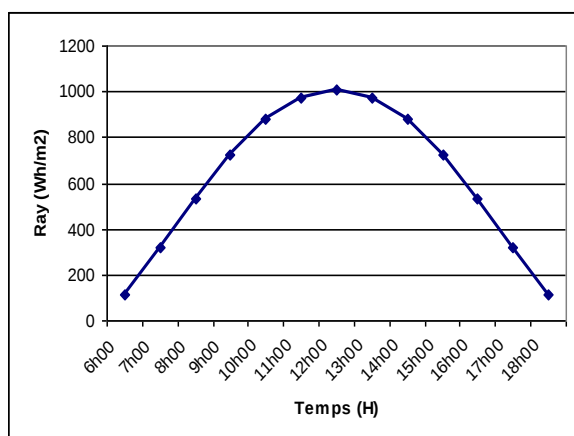


Fig.4.22. Evolution de la radiation solaire

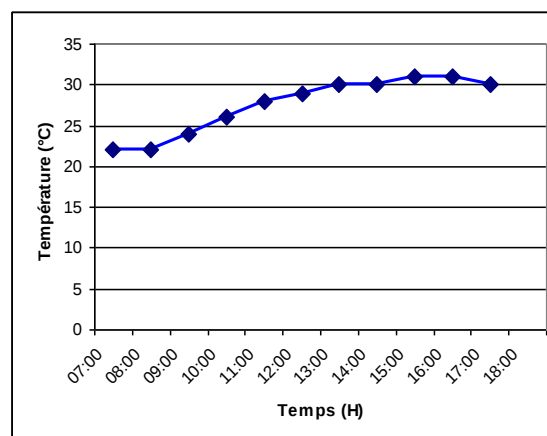


Fig.4.23. Evolution de la température ambiante

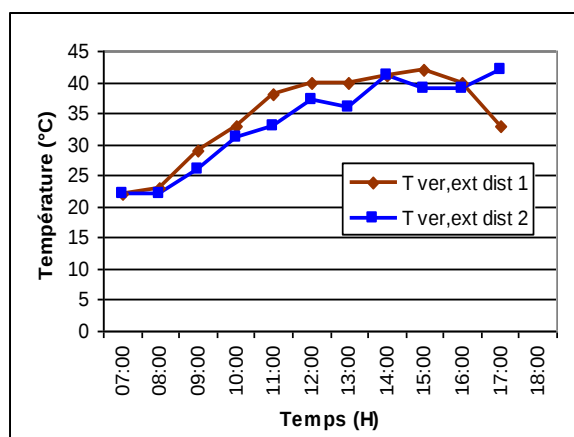


Fig.4.24. Evolution de la température du vitrage, face extérieure

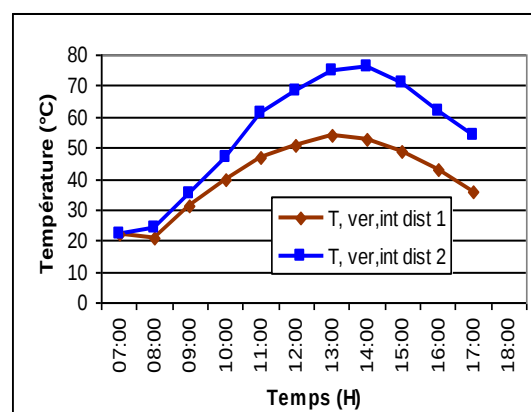


Fig.4.25. Evolution de la température du vitrage face intérieure

La température intérieure et la température de l'eau du bassin de D1 sont toujours plus élevées que D2 et cela est nettement lisible dans les figures 4.26 et 4.27.

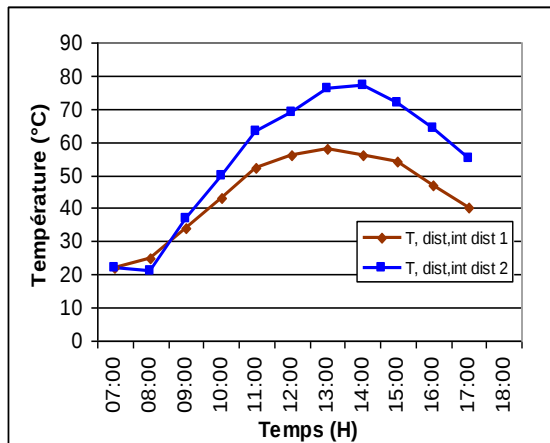


Fig.4.26. Evolution de la température intérieure du distillateur

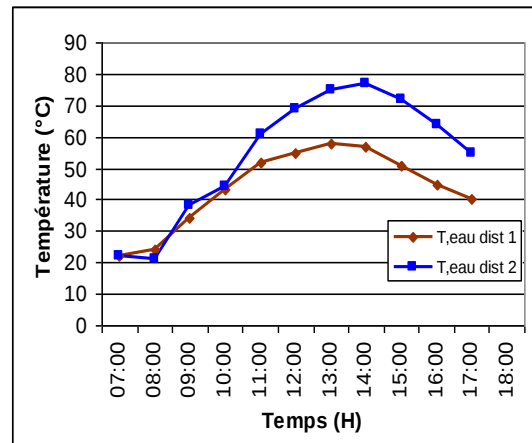


Fig.4.27. Evolution de la température de l'eau de bassin

La productivité d'eau distillée du distillateur D1 témoin est très grande par rapport à celle du distillateur avec le double vitrage. La figure 4.28 montre cette différence de productivité.

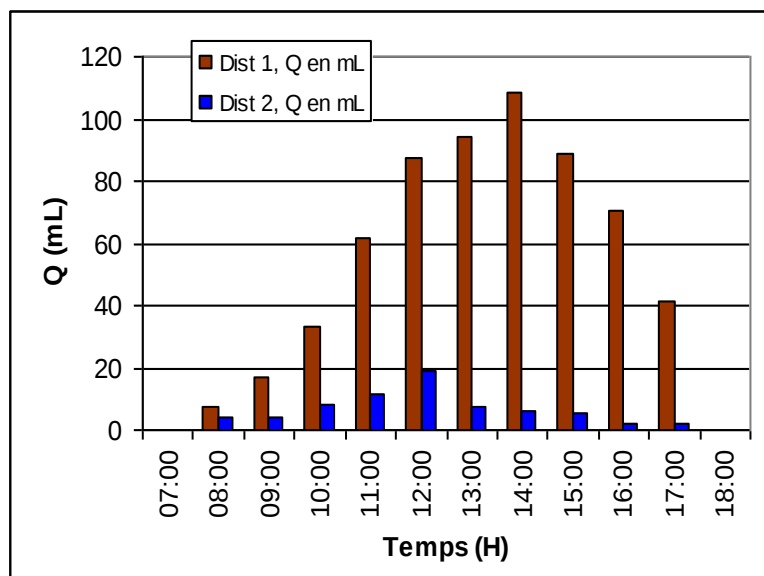


Fig.4.28. L'évolution de la productivité d'eau distillée par les deux distillateurs

4.6.2 Conclusion de l'expérience n°5

- Le double vitrage (avec un espace de 1 cm d'air entre les deux vitres) a une influence négative sur le distillateur solaire à simple pente, de l'ordre de (- 88.63 %).
- Le double vitrage est déconseillé dans le distillateur solaire à simple pente.

4.7 Expérience n°6 : l'effet du sable fin des dunes

4.7.1 Interprétation et discussion de la quatrième expérience

L'expérience a été réalisée le 15/05/2016 par un distillateur témoin et un autre distillateur avec du sable fin des dunes de la région. Le sable n'a pas été traité mais il a été bien lavé par de l'eau distillée pas plus. Le but c'est de voir l'influence de ce paramètre sur la distillation.

Les figures 4.29 et 4.30 interprètent l'évolution du rayonnement solaire et l'évolution de la température ambiante de la journée du 15 mai.

Du point de vue évolutions des températures des deux distillateurs D1 et D2, il n'y a pas de différence remarquable, donc on peut dire que les deux distillateurs ont la même réaction donc le film de sable n'a aucune influence jusqu'à présent. Cette inefficacité est traduite par la figure 4.32 et 4.33.

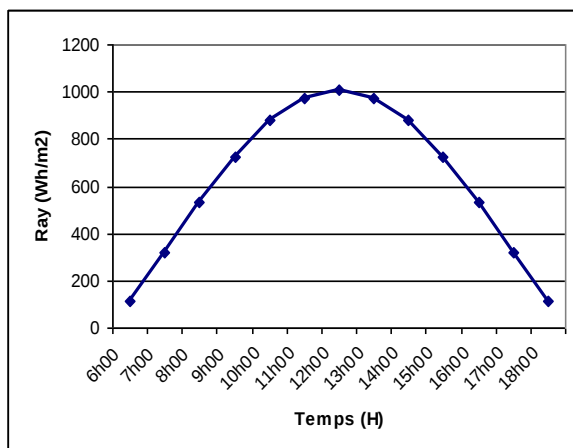


Fig.4.29. Evolution de la radiation solaire

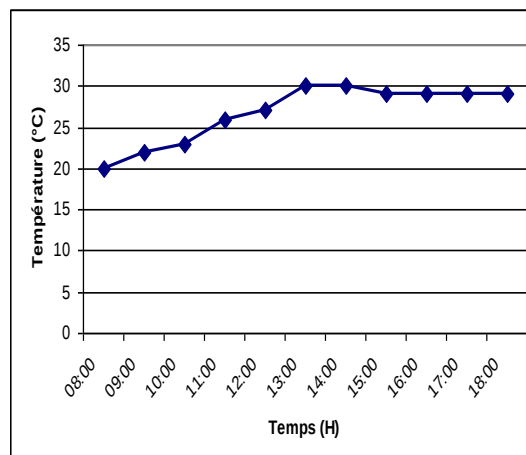


Fig.4.30. Evolution de la température ambiante

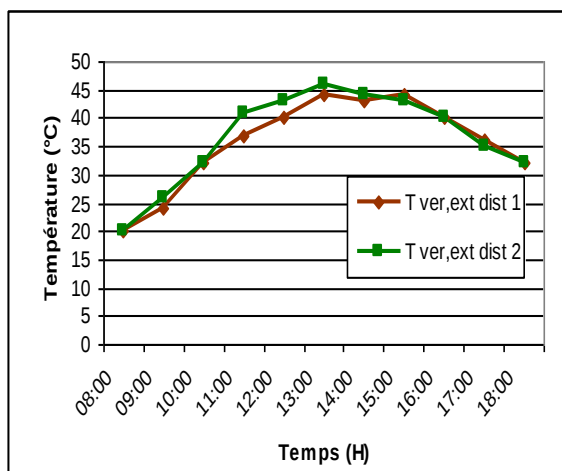


Fig.4.31. Evolution de la température du vitrage, face extérieure

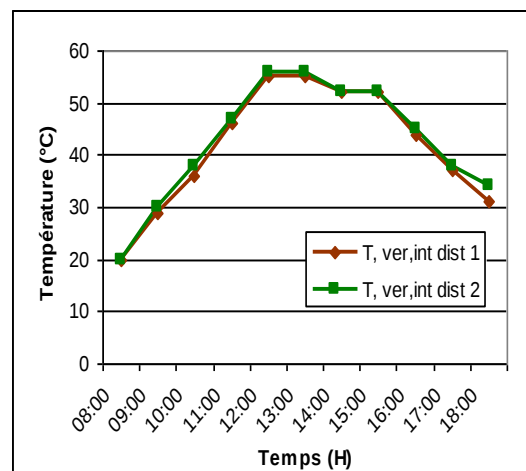


Fig.4.32. Evolution de la température du vitrage face intérieure

Cette inefficacité de l'utilisation du sable naturel se trouve aussi dans la figure 3.33. Par contre on remarque une légère différence de températures de l'eau du bassin entre 13 :00 et 18 :00 cela est dû, peut être, à la chaleur stockée dans ce film (la figure 3.34).

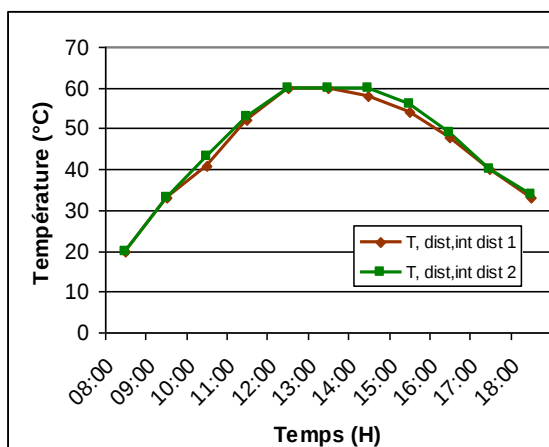


Fig.4.33. Evolution de la température intérieure du distillateur

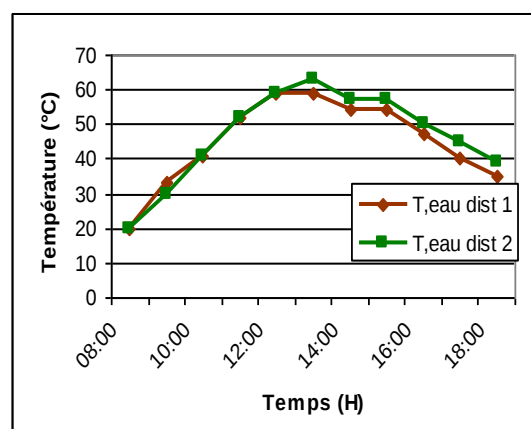


Fig.4.34. Evolution de la température de l'eau de bassin

Au cours de l'expérience, l'évolution de toutes les températures des parties des distillateurs est la même mais la productivité de l'eau distillée n'est pas la même. Cela est un peu bizarre. Le sable jaunâtre a couvert la base noire du distillateur, il a empêché les rayons solaires de toucher la base noire ce qui a causé la diminution de la productivité du distillateur. La figure 4.25 traduit cette différence de productivité.

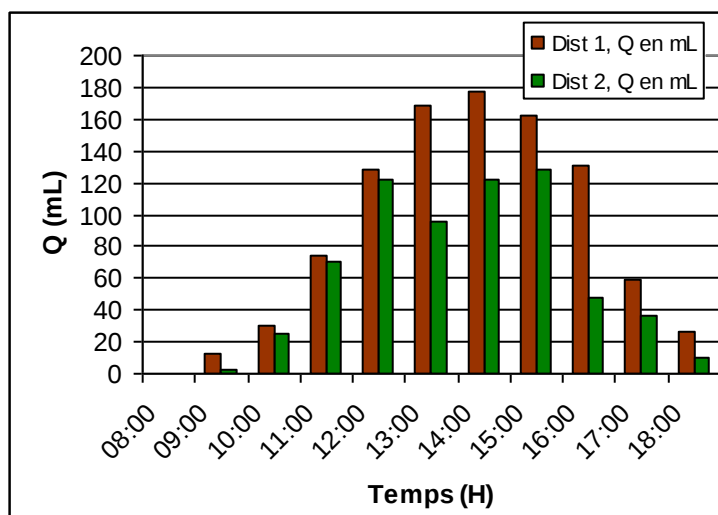


Fig.4.35. Productivité d'eau distillée dans les deux distillateurs

4.7.2 Conclusion de l'expérience n°6

Le film de sable fin jaunâtre des dunes a une influence négative sur la distillation de l'ordre (-31.92 %).

4.8 Expérience n° 7 : l'effet d'un absorbeur métallique noir

4.8.1 Interprétation et discussion de l'expérience n° 7

Les figures 4.36 et 4.37 interprètent l'évolution du rayonnement solaire et l'évolution de la température ambiante de la journée 17/05/2016. La température des vitrages (face extérieure et face intérieure) du distillateur D2 commence à dépasser nettement les températures de vitrage du distillateur D1 témoin entre 13 :00 et 14 :00 due à l'effet de l'absorbeur. Ce dépassement est montré par la figure 4.36 et la figure 4.37.

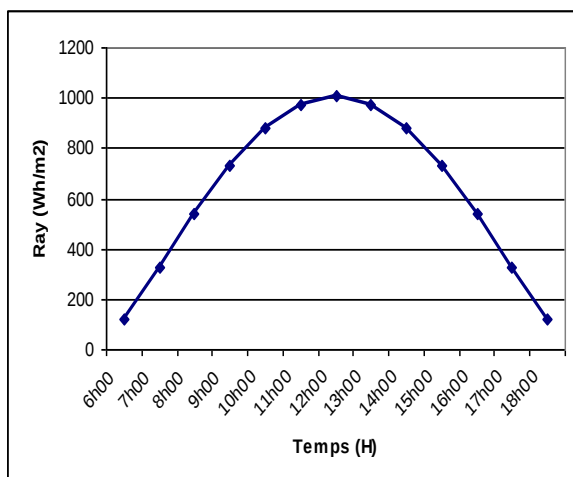


Fig.4.36. Evolution de la radiation solaire

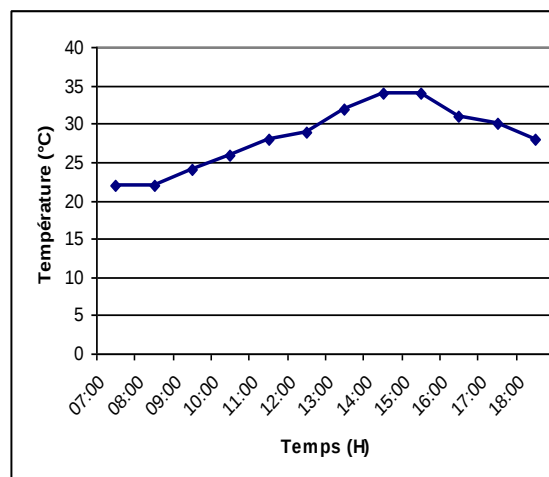


Fig.4.37. Evolution de la température ambiante

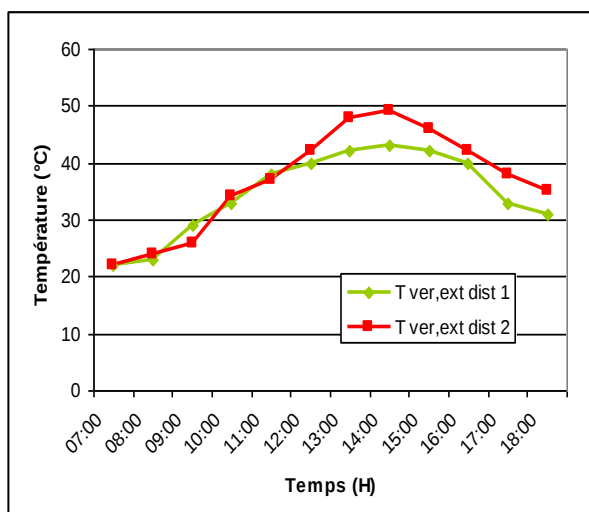


Fig.4.38. Evolution de la température du vitrage, face extérieure

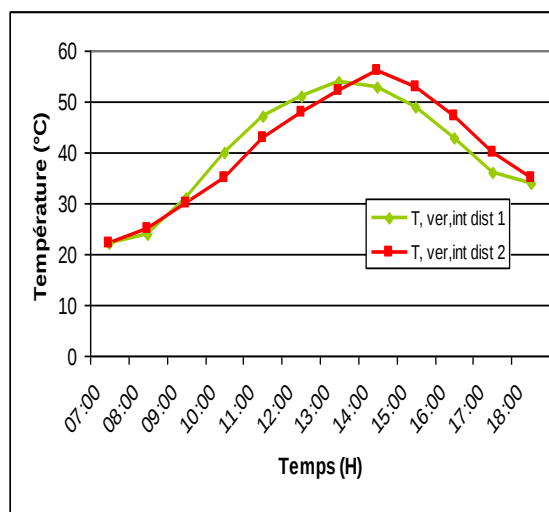


Fig.4.39. Evolution de la température du vitrage face intérieure

L'évolution de la température au niveau du bassin et à l'intérieur du distillateur D2 n'a commencé à être remarquable qu'après 13 :00 et cela est dû à l'absorbeur (figure 4.40 et figure 4.41).

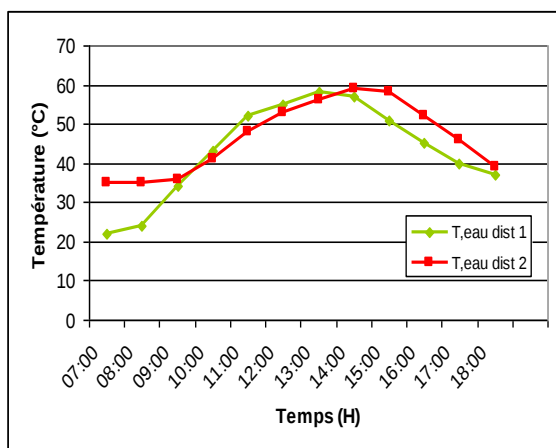


Fig.4.40. Evolution de la température intérieure du distillateur

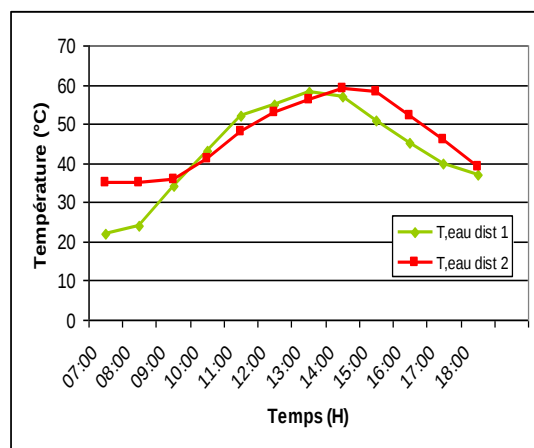


Fig.4.41. Evolution de la température de l'eau de bassin

Quoique les deux premiers prélèvements d'eau distillée soient nuls, le distillateur avec l'absorbeur D2 n'a pu être efficace qu'à partir de 10 :00 sa première production est de 17.8 ml pour dépasser 160 ml à 14 :00 (figure 4.42)

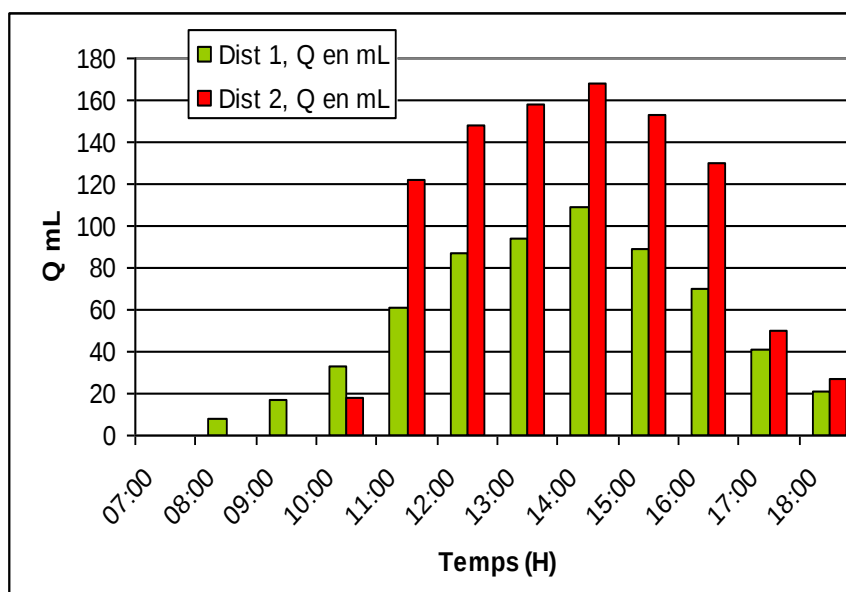


Fig.4.42. Productivité d'eau distillée dans les deux distillateurs

4.8.2 Conclusion de l'expérience n° 7

- L'absorbeur métallique noir a une influence très positive sur la productivité de l'eau distillée de l'ordre 54.49%.
- L'absorbeur prend du temps pour chauffer et cela diminue un peu la productivité du distillateur. Il vaut mieux le chauffer avant de le mettre dans le distillateur ou on peut adopter une autre solution c'est celle d'utiliser de l'eau chaude dans le distillateur.

4.9 Conclusion

Notre distillateur qui a été conçu est un bon prototype pour faire des expériences de distillation solaire car les résultats obtenus sont en correspondance avec ceux trouvés dans les laboratoires de recherche mondiaux.

- La distillation solaire est intéressante dans l'été car les conditions météorologiques sont plus favorables (figure 4.7).
- D'après les résultats des quatre expériences regroupées dans la figure 4.43, on peut dire :
- Le double vitrage est déconseillé dans un distillateur solaire à simple pente car les résultats sont très décourageants.
- Le sable fin des dunes (naturel sans traitement) de la région d'El-oued, sud-est de l'Algérie n'est pas encourageant à être utilisé comme un milieu poreux pour améliorer la productivité de la distillation solaire.
- Le réflecteur et l'absorbeur métallique noir semblent offrir la meilleure solution dans nos expériences pour améliorer la productivité de l'eau distillée.

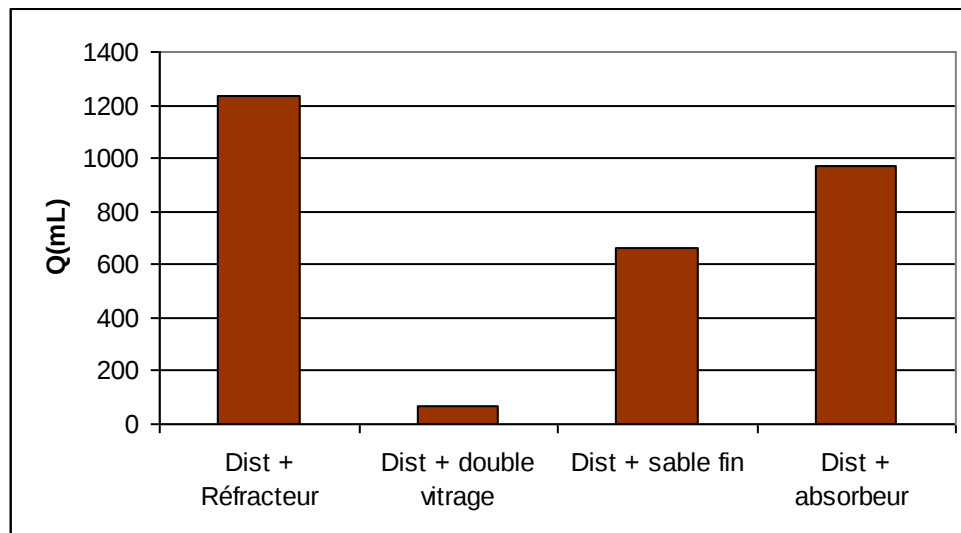


Fig.4.43. Productivité d'eau distillée dans les quatre distillateurs

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail a été basé sur une étude purement expérimentale de la distillation solaire à effet de serre afin d'obtenir de l'eau distillée qui pourra pallier les besoins en eau potable d'une communauté saharienne.

Pour faire cette étude il fallait construire des distillateurs solaires les plus simples et les moins chers puis essayer d'améliorer leurs productivités.

D'après les résultats obtenus on peut dire que :

- La saison de l'été est la meilleure période pour de la distillation, nous avons comme productivité 1227 ml de d'eau distillée face à la saison d'hiver avec une productivité de 119 ml, et cela due, que les conditions météorologiques en été sont plus favorables.
- L'utilisation d'un réflecteur (miroir) a amélioré la productivité du distillateur de 45.98 %, et cela due au réfléchissement des rayons solaires sur le distillateur.
- L'utilisation d'un absorbeur métallique noir a amélioré la productivité du distillateur de 54.49 %, et cela due l'émission de l'absorbeur.
- L'utilisation d'un double vitrage a diminué la productivité du distillateur de (- 88.63 %), et cela due que le condenseur (vitrage intérieur) est isolé par une couche d'air qui se trouve entre les deux vitres plus le condenseur n'est pas au contact direct avec l'air ambiant froid qui joue le rôle d'un système de refroidissement.
- L'utilisation du sable fin de la dune a diminué la productivité du distillateur de (-31.92%), et cela due que le sable naturel jaunâtre a recouvert la basse noire du distillateur.

Pour avoir le maximum de productivité il faut regrouper les effets positifs dans un seul distillateur, cela a été programmé mais les conditions météorologiques n'est été pas favorables (vent de sable, ciel non clair) pour faire la dernière expérience.

Références

- [1] S. Nafila, Impact de l'écart de température (eau - capteur) sur l'efficacité globale d'un distillateur solaire, thèse de magister, université de Constantine, 2002.
- [2] N. Bellel, Etude, réalisation et simulation numérique d'un distillateur solaire à cascade, Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa (2015), pp 49 – 57.
- [3] S. Fedali, Etudes Théorique et Expérimentale d'un Distillateur Solaire sous les Conditions Climatiques de Batna, Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Energétique, SIGCLE'2010.
- [4] T. Tahri and al, Dessalement de l'eau de mer en utilisant de l'énergie solaire dans la serre agricole, journal of fundamental applied sciences, vol 02 n°1, 2010, pages 166-186.
- [5] B. Boucekima, Solar desalination plant for small size use in remote arid areas of South Algeria for the production of drinking water, Desalination, Vol 156, (1-3), 2003, pp 353-354.
- [6] B. Boucekima, A small solar desalination plant for the production of drinking water in remote arid areas of southern Algeria, Desalination, Vol 159, (2), 2003, pp 197–204.
- [7] B. Boucekima, A solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria, Desalination, Vol 153, (1–3), 2003, pp 65–69.
- [8] M. Shashikanth et al, Solar water distillation using enrgy storage material, Procedia earth and planetary science, vol 11, 2015 pp 368-375.
- [9] M. Mardlijah and al, The Effect of Collector in Solar Still for Water Productivity Using Runge-Kutta Method, International journal of computing science and applied mathematics, vol.1 n°1. December 2015.
- [10] M. Koilraj Gnanadason and al, effect of nanofluids in a vacuum single basin solar still, International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, Vol.1, (1), 2011, pp 171-177.
- [11] K.K. Murugavel et al, Experimental analysis on variation of transmittance of different thickness window glasses at different solar insolation conditions, Proceedings of the 3rd BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering 20-22 December, 2006, Dhaka, Banglades.
- [12] T. Elango et al, The effect of the water depth on the productivity for single and double basin double slope glass solar stills, Desalination, Vol 359, 2015, pp 82-91.
- [13] T. Arunkumar et al, Experimental study on a parabolic concentrator assisted solar desalting system, Energy Conversion and Management, Vol 105, 2015, pp 665-674.
- [14] Y. Boualati, Investigation sur la performance d'un distillateur solaire, thèse magistère, université Ouargla, 2004.
- [15] F. Robert, G. Majid et C. Alma, Solar energy: Renewable energy and the environment, CRC press Taylor et Francis, New York, USA, 2000.
- [16] S. Bouchaib, Présentation de nouvelles cartes solaires algériennes, Journée du Solstice d'été, CDER, 2013.
- [17] A. Ziyadou, Etude et conception d'un distillateur solaire à effet de serre, diplôme d'études approfondies en physique, 2011
- [18] A. Chaker et al, Caractéristique de fonctionnement d'un distillateur solaire, Journée Internationale de thermique, Tanger, Maroc 2005.

- [19] A. Maurel. "Dessalement de l'Eau de Mer et des Eaux Saumâtres", Technique & Documentation, Paris, France, 2001.
- [20] A. Sadi, Le Dessalement : Procédés et Energie Solaire, Division Thermique Solaire, CDER, Alger, Bulletin N°6 Décembre, 2004.
- [21] A. Chaker, Efficacité Interne d'un Distillateur Solaire Sphérique, Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique 2001, pp 53-58.
- [22] R. Bernard, G Merguy, M.Schwartz, Le rayonnement solaire : conversion Thermique et application .Technique et documentation ,deuxième édition -1980.
- [23] N. Bellel et al, Etude, réalisation et simulation numérique d'un distillateur solaire à cascade, Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa 2012, pp 49 – 57
- [24] S. Fedali, modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas coût pour les communautés rurales, thèse magistère 2013.
- [25] M. Boukar et al, Construction et expérimentation d'un distillateur solaire vertical indirect à simple effet, Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen 2007, pp 75 – 81.
- [26] Z. Khealid Al-Subaie, Precise way to select a distillation technology. Desalination, Vol 206, 2007, p 29-35.
- [27] R. Bernard et al, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application, technique et documentation, 1979.
- [28] G. Abdulrahman et al, Software to analyze solar stills and an experimental study on the effects of the cover, Desalination, 1997. Vol 114, pp 37-44.
- [29] A.S. Nafey et al, Parameters affecting solar still productivity, Energy Conversion & Management. Vol 41, 2000, pp 1797-1809.
- [30] B. Bouchekima et al, Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire, Int. J. Therm. Sci. Vol 39, 2000, pp 442- 459.
- [31] E. Zayouti et al, Distillation Solaire : Amélioration de la condensation de la vapeur d'eau dans les distillateurs solaire » Tétouan-Maroc, FIER'2002.
- [32] E. Deoja et al, Investigation of the Effect of Angle of Cover Inclination on the Yield Of A Single Basin Solar Still Under Makurdi Climate, The International Journal Of Engineering And Science (IJES), Vol 2, 2013, pp 131-138.