

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCHIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 1**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE MECANIQUE**

**Projet de Fin d'Etudes**  
**Pour l'obtention du Diplôme de Master en**  
**Energétique**

**Titre**

**Etude expérimentale d'un distillateur solaire à cascade**

**Proposé et encadré par :**

**Pr. Hamid.A**

**Dr.Cheknane.O**

**Réalisé par :**

**Allal Sidali**

**Bendahou Abdelhak**

**Année universitaire 2018/2019**

# Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la patience durant toute la période de réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements et nos reconnaissances vont en particulier, à notre promoteur Monsieur Hamid Abdelkader, Professeur au département des énergies renouvelables, qui a accepté de nous encadrer tout au long de ce travail, pour sa direction et ses conseils judicieux et son aide.

Nous tenons à remercier Monsieur Cheknane Omar, MCA au département de génie des procédés, pour son aide

# Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents ainsi mes deux frères  
Anouar et Zahr eddine

Sidali

Je dédie ce travail  
À mes Chers parents  
À mes frères et soeurs  
À tous mes amis et collègues

Abdelhak



## Résumé

La distillation solaire est la technique de dessalement la plus rentable et la plus compétitive économiquement pour surmonter les besoin en eau douce a petit échelle, en particulier dans les zones aride où l'énergie solaire est abondante.

L'objectif de ce travail est de réaliser et expérimenter un distillateur solaire à cascade et étudier l'influence de certains paramètres à savoir : taux de salinité, vitesse du vent, refroidissement de la vitre, et l'augmentation des rayonnements solaires par concentration.

Les résultats obtenus n'illustrent pas vraiment l'influence de la salinité par contre la production a augmenté pour le refroidissement de la face extérieure de la vitre. La concentration du rayonnement solaire a provoqué une élévation de la température externe de la vitre ce qui a entraîné une chute de la production.

## Abstract

Solar distillation is the most cost-effective and economically competitive desalination technique for overcoming small-scale freshwater needs, particularly in arid areas where solar energy is abundant.

The objective of this work is to realize and experiment a cascading solar distiller and to study the influence of certain parameters namely: salinity rate, wind speed, cooling of the glass , and the increase of solar radiation by concentration.

The results obtained do not really illustrate the influence of the salinity on the contrary the production has increased for the cooling of the outside face of the glass. The concentration of solar radiation caused a rise in the external temperature of the glass which led to a fall in production.

## ملخص

التقطير الشمسي هو تقنية تحلية المياه الأكثر فعالية من حيث التكلفة والتنافسية الاقتصادية للتغلب على احتياجات المياه العذبة على نطاق صغير ، لا سيما في المناطق القاحلة حيث الطاقة الشمسية وفيرة.

الهدف من هذا العمل هو تحقيق وتجربة جهاز تقطير شمسي المتتالي ودراسة تأثير بعض المعلمات وهي: معدل الملوحة وسرعة الرياح وتبريد الزجاج وزيادة الإشعاع الشمسي عن طريق التركيز.

النتائج التي تم الحصول عليها لا توضح حقاً تأثير الملوحة على العكس من زيادة الإنتاج لتبريد الوجه .  
الخارجي للزجاج. تسبب تركيز الإشعاع الشمسي في ارتفاع في درجة الحرارة الخارجية للزجاج مما أدى إلى  
انخفاض في الإنتاج

---

---

**Sommaire**

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : recherche bibliographique</b>	
I.1. l'eau.....	3
I.1.1 Introduction .....	3
I.1.2 Répartition de l'eau sur la planète.....	3
I.1.3 Différents types de l'eau .....	3
I.1.3.1 L'eau potable .....	3
I.1.3.2 L'eau de mer.....	3
I.1.3.3 L'eau saumâtre.....	4
I.1.3.4 L'eau distillée .....	4
I.1.5 Le problème de consommation de l'eau en Algérie.....	4
I.2. le soleil et l'énergie solaire.....	5
I.2.1 Le soleil .....	5
I.2.2 Potentiel solaire en Algérie .....	5
I.2.3 Rayonnement solaire.....	6
I.2.3.1 Rayonnement direct .....	6
I.2.3.2 Rayonnement diffus .....	6
I.2.5 Les applications de l'énergie solaire.....	6
I.2.6 Les avantages de l'énergie solaire.....	6
I.3. Le dessalement .....	7
I.3.1 Technique de dessalement.....	7
I.3.2 Procédés thermique .....	7
I.3.2.1 Distillation a simple effet .....	7
I.3.2.2 Distillation a multiple effet .....	8
I.3.2.3 Distillation multi stage flash (MSF).....	9

I.3.2.4 Distillation par compression de vapeur .....	10
I.3.2.5 Congélation .....	10
I.3.3 Procédés membranaire .....	11
I.3.3.1 L'osmose inverse .....	11
I.3.3.2 L'électrodialyse .....	12

## **Chapitre II : la distillation solaire**

II.1. historique .....	13
II.2. principe de la distillation solaire .....	14
II.3. différents types de distillateur .....	14
II.3.1 Distillateur solaire à simple effet .....	14
II.3.1.1 Distillateur solaire a pente unique .....	15
II.3.1.2 Distillateur solaire à double pente.....	15
II.3.1.3 Distillateur solaire sphérique à balayage .....	16
II.3.1.4 Distillateur solaire terre-eau .....	17
II.3.1.5 Distillateur solaire à film capillaire .....	17
II.3.1.6 Distillateur solaire à mèche .....	18
II.3.2 Distillateur solaire à multiple effet .....	19
II.3.2.1 Distillateur solaire à diffusion .....	19
II.3.2.2 Distillateur solaire à cheminé .....	20
II.3.2.3 Distillateur à mèche évaporant .....	21
II.4. Paramètres influant sur le fonctionnement du distillateur .....	22
II.4.1 Paramètres externes.....	22
II.4.1.1 Les paramètres géographiques .....	22
II.4.1.2 Les paramètres météorologiques .....	22
II.4.1.2.1 Intensité de rayonnement solaire .....	22
II.4.1.2.2 Vitesse du vent .....	22
II.4.1.2.3 Température ambiante de l'air .....	22

II.4.1.2.4 Autres paramètres météorologique .....	22
II.4.2 Les Paramètres interne.....	22
II.4.2.1 Paramètres de position .....	23
II.4.2.1.1 L'emplacement du distillateur .....	23
II.4.2.1.2 L'orientation .....	23
II.4.2.1.3 L'inclinaison.....	23
II.4.2.2 Paramètres de construction.....	24
II.4.2.2.1 La couverture .....	24
II.4.2.2.2 L'absorbeur .....	24
II.4.2.2.3 l'isolant .....	24
II.4.2.2.4 La distance entre la couverture et la saumure .....	24
II.4.2.2.5 La masse d'eau à distiller (l'eau saumâtre).....	25
II.4.2.3 Paramètres optique .....	25
II.4.2.3.1 L'émissivité .....	25
II.4.2.3.2 L'absorptivité .....	25
II.4.2.3.4 Réflexion et diffusion .....	25
II.5. Avantages et inconvénients de la distillation solaire.....	26
II.5.1 Avantages .....	26
II.5.2 Inconvénients .....	26

## **Chapitre III : modélisation mathématique**

III.1. Principe de fonctionnement du distillateur à cascade.....	27
III.2. échanges de chaleur.....	27
III.3. Mise en équation des échanges thermiques.....	27
III.4. schéma de réseau des résistances thermique .....	28
III.5. Bilan thermique pour un régime transitoire.....	29
III.5.1 Bilan au niveau de la face extérieur de la couverture.....	29
III.5.2 Bilan au niveau de face intérieur de la couverture .....	30

III.5.3 Bilan thermique de la saumure .....	31
III.5.4 Bilan thermique du bac absorbant .....	31
III.5.5 Éclairement solaire .....	32
III.6. Expression des différents coefficients d'échange thermique .....	32
III.6.1 Echange convectif .....	32
III.6.1.1 Echange convectif entre la saumure et la vitre.....	32
III.6.1.2 Echange convective entre la vitre et le milieu ambiant.....	33
III.6.1.3 Echange convectif entre la masse d'eau et le bac absorbant.....	33
III.6.2 Echange par rayonnement.....	34
III.6.2.1 Echange par rayonnement entre la saumure et la vitre.....	34
III.6.2.2 Echange par rayonnement entre la vitre et milieu l'extérieur.....	35
III.6.3 Echange pendant le changement de phase ( $h_{e-vi}^{ev} = h_{vi-e}^{cond}$ ).....	35
III.6.4 Echanges de chaleur par conduction .....	35
III.6.4.1 Echange par conduction à travers la vitre .....	35
III.6.4.2 Echange par conduction entre le bac absorbant et l'ambiance .....	35
III.7. détermination de e débit d'air évaporée et condensée.....	36
III.7.1 Débit d'eau évaporé .....	36
III.8. Les caractéristiques de fonctionnement.....	36
III.8.1 La production (le débit du distillat).....	36
III.8.2 L'efficacité globale.....	37
III.8.3 L'efficacité interne.....	37
III.9. Performance.....	38
<b>Chapitre IV : étude expérimentale</b>	
IV.1. Présentation du lieu d'expérimentation.....	39
IV.1.1. Situation géographique .....	39
IV.1.2. Coordonnées géographiques .....	39
IV.1.3. Climat .....	39

IV.2. Description du distillateur solaire.....	39
IV.3. Différents composants du distillateur solaire à cascade .....	39
IV.3.1 Bac absorbant .....	39
IV.3.2 La couverture verrière .....	40
IV.3.3. Isolation thermique .....	40
IV.4. Réalisation .....	40
IV.5. Montage .....	41
IV.6. Caractéristiques technique .....	42
IV.7. Appareils et instrument de mesures .....	42
IV.7.1. Thermocouples.....	42
IV.7.1.1 Etalonnage des thermocouples.....	42
IV.7.1.2 Acquisitions des données.....	43
IV.7.1.3 Emplacement des thermocouples .....	44
IV.7.2. Pyranometre.....	44
IV.7.3. Anémomètre.....	45
IV.7.4. Traitement de l'eau.....	45
IV.7.4.1. Mesure du PH.....	45
IV.7.4.2. Turbidité .....	46
IV.7.4.3. Mesure de la conductivité .....	47
IV.8. Tests expérimentaux .....	47
IV.8.1. Test 1 .....	47
IV.8.1.1 Évolution de l'irradiation solaire .....	48
IV.8.1.2 Évolution de la température ambiante.....	48
IV.8.1.3 Variation de la vitesse du vent .....	49
IV.8.1.4 Evolution de la température du bac et de la saumure .....	49
IV.8.1.5 Variation temporelle de la production du distillat .....	50
IV.8.1.6 Production cumulé .....	50

IV.8.2 Test 2 .....	51
IV.8.2.1 Évolution de l'irradiation solaire .....	51
IV.8.2.2 Évolution de la température ambiante.....	52
IV.8.2.3 Variation de la vitesse du vent .....	52
IV.8.2.4 Évolution de la température du bac et de la saumure .....	53
IV.8.2.5 Variation temporelle de la production du distillat .....	53
IV.8.2.6 Production cumulé .....	54
IV.8.3 Test 3.....	54
IV.8.3.1 Évolution de l'irradiation solaire .....	55
IV.8.3.2 Évolution de la température ambiante .....	55
IV.8.3.3 Variation de la vitesse du vent .....	56
IV.8.3.4 Évolution de la température du bac et de la saumure .....	56
IV.8.3.5 Variation temporelle de la production du distillat.....	57
IV.8.3.6 Production cumulée .....	57
IV.8.4 Test 4 .....	58
IV.8.4.1 Évolution de l'irradiation solaire .....	58
IV.8.4.2 Évolution de la température ambiante .....	59
IV.8.4.3 Variation de la vitesse du vent .....	59
IV.8.4.4 Évolution de la température du bac et de la saumure .....	60
IV.8.4.5 Variation temporelle de la production du distillat .....	60
IV.8.4.6 Production cumulée.....	61
IV.8.5 Test 5 .....	61
IV.8.5.1 Évolution de l'irradiation solaire .....	62
IV.8.5.2 Évolution de la température ambiante .....	62
IV.8.5.3 Variation de la vitesse du vent .....	63
IV.8.5.4 Évolution de la température du bac et de la saumure .....	63
IV.8.5.5 Variation temporelle de la production du distillat .....	64

IV.8.5.6 Production cumulée .....	64
IV.8.6 Test 6 .....	65
IV.8.6.1 Évolution de l'irradiation solaire.....	65
IV.8.6.2 Évolution de la température ambiante .....	66
IV.8.6.3 Variation de la vitesse du vent .....	66
IV.8.6.4 Évolution de la température du bac et de la saumure.....	67
IV.8.6.5 Variation temporelle de la production du distillat .....	67
IV.8.6.6 Production cumulée .....	68
IV.9.7 Influence de la salinité sur les températures de la saumure et du bac et la productions cumul.....	68
IV.10. Etudes paramétriques .....	70
IV.10.1 Influence de la température de la vitre.....	70
IV10.1.1 Refroidissement de la vitre extérieure par un ventilateur.....	70
IV.10.2 Refroidissement de la vitre extérieure par ruissèlement de l'eau .....	71
IV.10.3 Utilisation des réflecteurs d'aluminium .....	72
IV.10.4 Comparaison entre le distillateur à cascade et le distillateur simple à pente unique.....	74
IV.10.4.1 Évolution de l'irradiation solaire .....	74
IV.10.4.2 Production cumulée .....	75
Conclusion générale .....	76

## Listes des figures

### Chapitre I

Figure I.1 : Principe de fonctionnement de la distillation a simple effet.....	8
Figure I.2 : Principe de la distillation a multiple effets.....	9
Figure I.3 : Distillation a multi flash étage.....	9
Figure I.4 : Distillation par compression de vapeur.....	10
Figure I.5 : Principe de l'osmose inverse.....	11
Figure I.6 : L'électrolyse.....	12

### Chapitre II

Figure II.1 : Principe de la distillation.....	14
Figure II.2 : Distillateur solaire a pente unique.....	15
Figure II.3 : Distillateur solaire a double pente.....	16
Figure II.4 : Distillateur solaire à balayage.....	16
Figure II.5 : Distillateur solaire terre-eau .....	17
Figure II.6 : Distillateur solaire à film capillaire.....	18
Figure II.7 : Distillateur solaire à mèche.....	19
Figure II.8 : Distillateur à diffusion.....	20
Figure II.9 : Distillateur solaire à cheminé.....	21
Figure II.8 : Distillateur à mèche évaporant.....	21

### Chapitre III

Figure III.1 : Principe de fonctionnement du distillateur à cascade.....	26
Figure III.2 : Représentation de l'analogie électrique du distillateur solaire.....	27
Figure III.3 : Bilan thermique de la face extérieure de la vitre.....	28
Figure III.4 : Bilan thermique de la face intérieure de la vitre.....	29
Figure III.5 : Bilan thermique de la saumure .....	30
Figure III.6 : Bilan thermique du bac absorbant.....	31

## Chapitre IV

Figure IV.1 : Réalisation du bac absorbant .....	41
Figure IV.2 : Réalisation du distillateur solaire .....	41
Figure IV.3 : Etalonnage des thermocouples .....	43
Figure IV.4 : Pyranomètre .....	44
Figure IV.5 : Anémomètre .....	45
Figure IV.6 : PH- mètre .....	46
Figure IV.7 : Turbidimètre.....	46
Figure IV.8 : Conductimètre.....	47
Test 1	
Figure IV.9 : Evolution de l'irradiation solaire.....	48
Figure IV.10 : Evolution de la température ambiante.....	48
Figure IV.11 : Evolution de la vitesse du vent.....	49
Figure IV.12 : Comparaison entre la température de la saumure et le bac absorbant.....	49
Figure IV.13 : Variation temporelle de la production .....	50
Figure IV.14 Production cumulé.....	50
Test 2	
Figure IV.15 : Evolution de l'irradiation solaire.....	51
Figure IV.16 : Variation de la température ambiante.....	52
Figure IV.17 : Variation de la vitesse du vent.....	52
Figure IV.18 : Comparaison entre de la température de la saumure et le bac absorbant.....	53
Figure IV.20 : Production cumulé.....	53
Figure IV.19 : Variation temporelle de la production.....	54
Test 3	
Figure IV.21 : Evolution de l'irradiation solaire.....	55

Figure IV.22 : Variation de la température ambiante.....	55
Figure IV.23 : Variation de la vitesse du vent.....	56
Figure IV.24 : Comparaison entre la température de la saumure et de la vitre.....	56
Figure IV.25 : Variation temporelle de la production.....	57
Figure IV.26 : Production cumulée .....	57
Test 4 :	
Figure IV.27 : Evolution de l'irradiation solaire.....	58
Figure IV.28 : Variation de la température ambiante.....	59
Figure IV.29 : Variation de la vitesse du vent.....	59
Figure IV.30 : Comparaison entre la température de la saumure et le bac absorbant.....	60
Figure IV.31 : Variation temporelle de la production.....	60
Figure IV.32 : Production cumulée.....	61
Test 5	
Figure IV.33 : Evolution de l'irradiation solaire.....	62
Figure IV.34 : Variation de la température ambiante.....	62
Figure IV.35 : Variation de la vitesse du vent.....	63
Figure IV.36 : Comparaison entre la température de la saumure et le bac absorbant.....	63
Figure IV.37 : Variation temporelle de la production.....	64
Figure IV.38 : Production cumulée.....	64
Test 6	
Figure IV.39 : Evolution de l'irradiation solaire.....	65
Figure IV.40 : Variation de la température ambiante.....	66
Figure 4.41 : Variation de la vitesse du vent.....	66
Figure IV.42 : Comparaison entre la température de la saumure et le bac absorbant.....	67

Figure IV.43 : Variation temporelle de la production.....	67
Figure 4.44 : Production cumulée.....	68
Figure IV.45 : Influence de la salinité sur la température de la saumure.....	68
Figure IV.45 : Influence de la salinité sur la température du bac.....	69
Figure IV.46 : Production cumulée pour différentes salinité.....	69
Figure IV.45 : Refroidissement de la face extérieure de la couverture par un ventilateur.....	70
Figure IV.46 : Utilisation des réflecteurs.....	73
Figure IV.40 : Evolution de l'irradiation solaire.....	74
Figure IV.41 : Quantité du distillat en fonction du temps.....	75

## Liste des tableaux

### Chapitre I

Tableau I.1 La salinité des différentes mers .....	4
--	---

### Chapitre III

Tableau III .1 Réflexion, absorption, transmission vis à vis du rayonnement solaire pour les différentes parties d'un distillateur.....	38
--	----

### Chapitre IV

Tableau IV.1 Composants standard.....	42
Tableau IV.2 : Etalonnage des thermocouples.....	43
Tableau IV.3 : Emplacement des thermocouples.....	44
Tableau IV.4 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de robinet.....	47
Tableau IV.5 : Caractéristiques physico-chimiques du mélange 90% l'eau de robinet, 10% l'eau de mer.....	51
Tableau IV.6 : Caractéristiques physico-chimiques du mélange 50% l'eau de robinet 50% l'eau de mer.....	54
Tableau IV.7 : Caractéristiques physico-chimiques du mélange 10% l'eau de robinet 90% l'eau de mer.....	58
Tableau IV.8 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer.....	61
Tableau IV.9 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer +40 grammes Na Oh.....	65
Tableau IV.10 : Valeurs expérimentales obtenues par la ventilation.....	71
Tableau IV.11 : Valeurs expérimentales obtenues par le ruissellement d'eau.....	72
Tableau IV.12 : Valeurs expérimentales obtenues par l'utilisation des réflecteurs.....	73

# Nomenclature

	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>
$A_V$	Superficiel de la vitre	$m^2$
$Cp_i$	Chaleur massique à pression constante de corps indice i	$J/Kg. °C$
$EG_V$	Rayonnement globale incident sur la vitre	$w/m^2$
$EG_S$	Rayonnement globale incident sur la saumure	$w/m^2$
$EG_b$	Rayonnement globale incident sur le bac absorbant	$w/m^2$
Gr	Nombre de Grashoff	
$h_{e-vi}^c$	Echange de chaleur par convection entre la saumure et la Face intérieure de la vitre	$W/m^2.°C$
$h_{vi-a}^c$	Echange convectif entre la face externe de la vitre et Le milieu ambiant	$W/m^2.°C$
$h_{e-b}^c$	Echange convectif entre la saumure et le bac absorbant	$W/m^2.°C$
$h_{e-vi}^r$	Echange par rayonnement entre la saumure et la Face intérieure de la vitre	$W/m^2.°C$
$h_{ve-a}^r$	Echange par rayonnement entre la face externe de la vitre et le ciel	$W/m^2.°C$
$L_V$	Chaleur latente de vaporisation	$kJ/kg$
$L_{Cond}$	Chaleur latente de condensation	$kJ$
Mi	Masse du corps d'indice	$kg/s$
$N_u$	Nombre de Nusselt	
$P_V$	Puissance solaire absorbée par vitre	$W/m^2$
$P_S$	Puissance solaire absorbée par la masse d'eau	$W/m^2$
$P_b$	Puissance solaire absorbée par l'absorbant	$W$
Pi	Terme de source ou de puits.	
$P_{vi}$	Pression de vapeur liée à la température de La face interne de la vitre	$Pa$

## Nomenclature

$P_e$	Pression de la vapeur liée à la température de la saumure	Pa
Pr	Nombre de Prandtl	
$q_{Ve-a}^c$	Flux de chaleur échangé par convection entre la face extérieur de la vitre et le milieu ambiant	W
$q_{Ve-a}^r$	Flux de chaleur échangé par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre	W
$q_{Ve-vi}^{cd}$	Flux de chaleur échangé par conduction à travers la vitre	W
$q_{e-vi}^c$	Flux de chaleur échangé par convection entre la vitre intérieur et la masse d'eau	W
$q_{e-vi}^r$	Flux de chaleur échangé par rayonnement entre la vitre intérieur et la masse d'eau	W
$q_{e-vi}^{cond}$	Flux de chaleur échange par condensation entre la vitre intérieure et la masse d'eau	W
$q_{Ve-vi}^{cd}$	Flux de chaleur échangé par conduction entre la face intérieure et extérieure de la vitre	W
$q_{e-vi}^{ev}$	Flux de chaleur échange par vaporisation entre la masse eau et la vitre intérieur	W
$q_{b-e}^c$	Flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau	W
$q_{b-a}^{cd}$ :	Flux de chaleur échangé par conduction entre l'absorbeur et l'ambiance	W
Ti	Température indices i et j	°C
V	Vitesse de la vente	m/s

**Indices**

a	Air ambiant
b	Bac absorbant
C	Ciel
e	La saumure
Vi	La face extérieure de la vitre
Vi	La face intérieure de la vitre
is	Isolant
c	Convection
cd	Conduction
r	Rayonnement
ev	Evaporation
cond	Condensation

<b>Lettres grecques</b>	<b>Désignations</b>	<b>Unité</b>
$\alpha_i$	Coefficient d'absorption	
$\lambda_i$	Conductivité thermique	W/ °C
$\beta$	Inclinaison de la vitre	°
$\sigma$	Constanta de Stefan	W/m <sup>2</sup> .K <sup>-4</sup>
	Boltzmann	
$\varepsilon$	Emissivité	%
$\mu$	Viscosité dynamique	kg/ ms
$\rho$	Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	Coefficient de transmission	
$q$	Albédo	

## Nomenclature

---

$\dot{m}_{ev}$	Le Débit d'eau évaporation	$\text{Kg}/m^2$
$\dot{m}_{cond}$	Le débit d'eau condensée	$\text{Kg}/s m^2$

## Introduction générale

L'eau représente l'élément essentiel à toute vie sur terre depuis la création de l'univers mais elle a tendance de devenir un bien rare car sa quantité totale sur terre est restée stable depuis plus de 3,5 milliards d'années qu'elle est apparue, et la consommation ne cesse de décroître par la suite de l'augmentation de la population et l'élévation du niveau de vie, la consommation moyenne est de l'ordre de 137 litres par jour et 600 m<sup>3</sup>/habitant/an.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Les techniques de dessalement de l'eau de mer sont opérationnelles depuis de nombreuses années. Mais leur coût limite souvent leur utilisation. Cependant dans les dernières années, la capacité des usines de dessalement s'est fortement accrue et les coûts de production par m<sup>3</sup> ont connu une forte diminution. [1]

Deux grandes familles de procédés sont utilisées désormais pour le dessalement de l'eau de mer : les procédés thermiques de distillation qui se sont fortement développés à partir de la fin des années 1940 et les procédés membranaires qui ont vu le jour à la fin des années 1960. [2]

En Algérie ou ailleurs, le dessalement des eaux par des unités de traitement classiques ou par d'autres techniques, nécessite un apport énorme en énergie qu'elle soit électrique ou calorifique. Cependant l'énergie solaire semble beaucoup promettre vue la forte intensité d'ensoleillement qui caractérise le pays et la durée d'insolation qui atteint 3500 h/an. [3]

L'objectif de ce travail est l'étude expérimentale d'un distillateur solaire à cascade, il est composé de quatre chapitres avec une introduction générale et une conclusion générale.

Le premier chapitre est une recherche bibliographique parlant sur l'eau et sa problématique de consommation, l'énergie solaire et les différentes techniques de dessalement.

## Introduction générale

---

Dans le deuxième chapitre nous avons abordé le principe de la distillation solaire et les différents types de distillateur solaire ainsi les paramètres influant sur son fonctionnement.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté le principe de fonctionnement du distillateur solaire à cascade, les différents bilans thermiques et les différentes expressions des différents coefficients d'échanges intervenant dans le système d'équations.

Dans le quatrième chapitre nous avons présenté la réalisation du distillateur solaire à cascade et l'étude expérimentale ainsi la présentation et la discussion des résultats obtenus.

# Chapitre I

## Recherche bibliographique

## I.1. L'eau

### I.1.1 Introduction

L'eau est un élément clé pour la vie, la source original de l'homme et aussi la matière première indispensable à la survie de notre société. En effet, l'eau est à la base de toute vie humaine sur la terre. À l'heure actuelle, le monde souffre de la pénurie d'eau pour faire face aux besoins des différents secteurs: agriculture, industrie...etc. Cette contrainte de la pénurie de l'eau est sources des conflits intersectoriels nécessitant des choix compliqués. Ainsi, elle rend difficile la réalisation des objectifs de développement durable pour plusieurs pays [4].

### I.1.2 Répartition de l'eau sur la planète

L'eau présente 71% de la surface totale de la terre et elle occupe un volume de  $1.4 \times 10^8 \text{ km}^3$  mais 97% de cette eau se trouve dans les mers et les océans donc elle est inutilisable à cause de sa salinité qui est de l'ordre de 30 vers 40 grammes par litre.

L'eau que nous utilisons provient principalement des lacs et des cours d'eau, soit seulement 3 % des réserves de l'eau douce.

Les nappes souterraines constituent un lieu important de stockage, probablement sous estimé. Leur exploitation, déjà entamée, présente les mêmes risques que celles des énergies fossiles, car la réserve ne se renouvelle pas à l'échelle humaine. Elles peuvent, en outre, devenir inutilisables soit par suite d'intrusion saline (exemples de la nappe éocène en Aquitaine) soit par suite d'une pollution (présence des nitrates  $\text{NO}_3^-$  - et/ou des nitrites  $\text{NO}_2^-$  - par exemple).

Les calottes polaires, notamment celles de l'Antarctique, stockent 3/4 de l'eau douce de la planète, cette réserve étant malheureusement inaccessible [5].

### I.1.3 Différents types de l'eau

#### I.1.3.1 L'eau potable

Selon les normes internationales de L'OMS (office mondial de la santé) une eau destinée aux usages domestiques doit avoir une salinité inférieure ou égale à 500mg/l. De plus elle ne doit pas contenir plus de 250 mg/l de chlorures ni plus de 250 mg/l de sulfates. Pour les usages industriels et agricoles, les normes sont très variables, mais dans la plupart des cas il est souhaitable que la salinité ne dépasse pas 1000 à 1500 mg/l.

### I.1.3.2 L'eau de mer

L'eau de mer est un liquide dont la composition, est extraordinairement élevée, puisqu'on y trouve une cinquantaine de corps simples, L'énumération de ces corps simple va de l'hydrogène, de l'oxygène, du chlore et du sodium. D'une façon générale, l'eau de mer contient d'environ de 35 g/l de sels minéraux dissous, la salinité peut être différente dans.

*Tableau I.1 : La salinité des différentes mers*

Mers	Salinité en g/litre
Mer Baltique	7,5
Mer Caspienne	13,5
Mer Noir	20
Mer Adriatique	25
Océan Pacifique	33,5
Océan Indien	33,8
Océan Atlantique	36
Mer Méditerranée	39
Golf Arabique	43
Mer Rouge	43
Mer Morte	270

### I.1.3.3 L'eau saumâtre

L'eau saumâtre désigne l'eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sels dissous est généralement comprise entre 1.000 et 10.000 mg/l. L.

### I.1.3.4 L'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<sub>2</sub>) qui s'y dissout et se comporte comme un acide. Cette acidité tend à augmenter à cause des rejets de CO<sub>2</sub>.

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

### I.1.5 Le problème de consommation de l'eau en Algérie

En Algérie, les besoins en eau potable et en eau pour usage industriel, se font de plus en plus ressentir, surtout dans les régions sahariennes dont la superficie avoisine les deux millions de km<sup>2</sup> et où les eaux souterraines sont disponibles en grande quantité, environ  $60 \times 10^3$  milliards de m. Ces dernières sont difficilement exploitables et difficilement renouvelables ; or de 4 à 5 milliards de m<sup>3</sup> seulement sont exploitables annuellement malgré que la plupart de ces eaux sont saumâtres.

Dans le Nord de l'Algérie, les eaux souterraines sont évaluées à 1,8 milliards de m<sup>3</sup> dans leur état naturel, ces eaux sont inutilisables alors qu'elles peuvent constituer un facteur important de développement et d'amélioration des conditions de vie dans ces régions.

L'Algérie occupe actuellement le 14<sup>ème</sup> rang mondial parmi les pays qui souffrent du manque d'eau, et s'il n'y aura pas de démarches efficaces, elle sautera à la 6<sup>ème</sup> place d'ici l'an 2025 [6].

L'Algérie reçoit 65 milliards de mètres cubes de pluie par an dont :

- 15 milliards se dirigent vers les rivières.
- 3 milliards alimentent les eaux souterraines.
- 47 milliards s'évaporent dans l'atmosphère [6].

## I.2. le soleil et l'énergie solaire

### I.2.1 Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse, son diamètre d'environ 1,391 million km, et sa masse est de l'ordre de  $1,9891 \times 10^{30}$  kg, son âge est d'environ 4.610 milliards ans, sa distance moyenne à la terre est de 149 500 000 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 de son cœur est de l'ordre de  $10^7$  K tandis que la température de surface de soleil est 5760 °K [7].

### I.2.2 Potentiel solaire en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie Reçue

quotidiennement sur une surface horizontale de  $1\text{m}^2$  est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de  $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Nord et  $2263\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Sud du pays.

### **I.2.3 Rayonnement solaire**

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il est composé de toute la gamme de rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. En effet, une partie du rayonnement solaire est réfléchi par l'atmosphère, une autre partie y est diffusée et le reste atteindra la surface de la terre, formant le rayonnement global qui est le rayonnement solaire restant à disposition à la surface de la terre. Il comprend deux composantes: une composante directe et une composante diffuse [8].

#### **I.2.3.1 Rayonnement direct**

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil par ciel clair. Il dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que la radiation solaire doit traverser et de l'inclinaison des rayons par rapport au sol.

#### **I.2.3.2 Rayonnement diffus**

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les nuages et les molécules diverses en suspension dans l'atmosphère, et de sa réfraction par le sol. Il s'agit donc d'un rayonnement qui ne suit pas une direction définie par le soleil en direction du point d'observation à la surface de la terre, il provient de toute la voûte céleste.

### **I.2.5 Les applications de l'énergie solaire**

Les applications de l'énergie solaire sont nombreuses et variées dans plusieurs domaines, on peut citer :

- La production de l'eau chaude sanitaire.
- Le chauffage des bâtiments.
- La réfrigération solaire.
- La production de l'électricité.
- La distillation solaire.

- La production du sel a partir de l'évaporation de l'eau de mer.
- L'éclairage public.

### **I.2.6 Les avantages de l'énergie solaire**

L'énergie solaire a un tas d'avantages on cite les suivants

- Energie est pratiquement gratuite et inépuisable.
- Energie facile à exploiter .
- L'énergie solaire donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins.
- L'utilisation de l'énergie solaire peut réduire les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la combustion des sources conventionnelles (pétrole, gaz, charbon).
- Leur utilisation apporte un confort évident et permet également de limiter les impacts sur l'environnement.

## **I.3. Le dessalement**

Devant une crise d'eau certaine qui commence à se faire sentir à travers le monde, en plus des contraintes économiques pour un développement durable, des solutions appropriées nécessitent d'être élaborées afin de se préparer à faire face à ce défi qui menace l'existence même de l'homme. Les pays du sud, qui disposent parfois des ressources hydriques salines considérables et d'un potentiel solaire tout aussi important, doivent utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer, en les associant à des sources d'énergies renouvelables. L'énergie solaire thermique est considérée comme l'une des applications les plus prometteuses de l'énergie renouvelable pour le dessalement de l'eau saumâtre et de l'eau de mer, comme il est approprié pour les régions arides et semi arides qui offrent une énergie solaire gratuite.

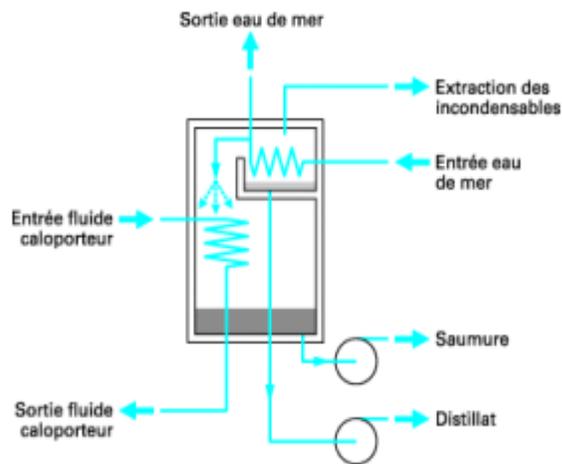
### **I.3.1 Technique de dessalement**

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, par les différents procédés existants, connaît un développement important. Les procédés de dessalement de l'eau se répartissent en deux grandes catégories, d'une part et parmi les plus connus, il y a le procédé de distillation thermique (qui nécessite un changement de phase : évaporation – condensation) et d'autre part les procédés à membranes (filtration). [9] dont l'osmose inverse et électro dialyse qui sont des techniques à forte intensité énergétique, et ne sont réalisables que pour les grandes exigences en eau douce. De plus il y a d'autres procédés comme le procédé d'échange d'ions, le procédé de congélation [9].

### I.3.2 Procédés thermique

#### I.3.2.1 Distillation a simple effet

Une circulation de vapeur permet de chauffer dans un évaporateur l'eau salée, qui s'évapore sous une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique, on peut alors condenser directement la vapeur sortant de l'évaporateur, sans récupération de la chaleur de condensation, ou bien, au contraire, on peut envoyer la vapeur dans un condenseur en vue de préchauffer l'eau salée qui arrive dans l'installation.



**Figure I.1** : Principe de fonctionnement de la distillation a simple effet.

#### I.3.2.2 Distillation a multiple effet

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80 °C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange. La 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. La multiplication du nombre d'effets est un paramètre de réduction de la consommation.

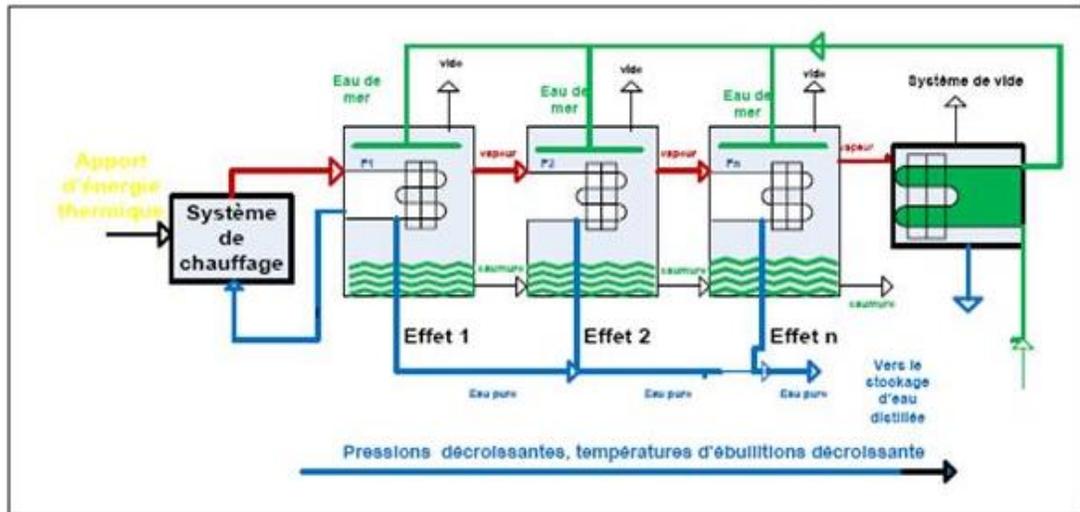


Figure I.2 : Principe de la distillation à multiple effets.

### I.3.2.3 Distillation multi stage flash (MSF)

Ce procédé consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120 °C, elle est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Ce phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

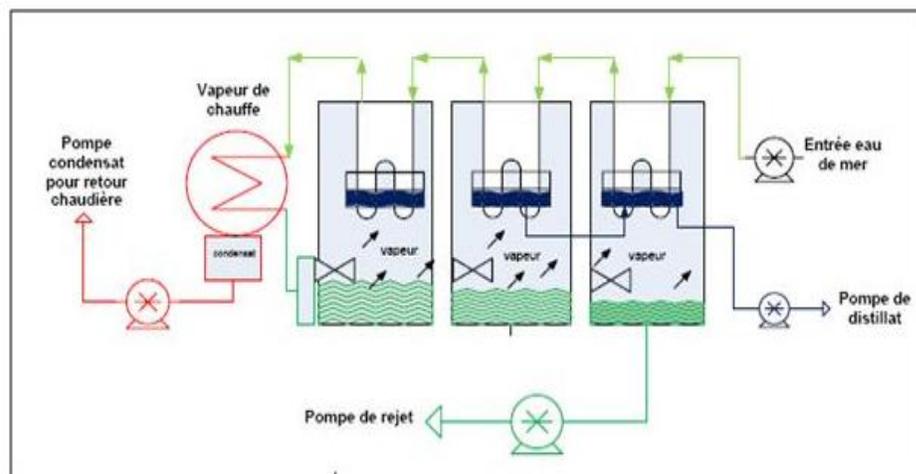


Figure I.3 : Distillation à multi flash étage.

### I.3.2.4 Distillation par compression de vapeur

Ce procédé a pour principe de récupérer la chaleur de condensation avec un apport d'énergie sous forme mécanique. On peut l'utiliser dans un évaporateur simple ou a multiples effets.

Un compresseur aspire la vapeur produite dans le dernier effet ou dans l'effet unique s'il s'agit d'une petite installation. Après la compression, cette vapeur haute pression a une température plus élevée que celle régnant dans l'évaporateur qui peut donc servir de condenseur pour cette vapeur qui le traverse dans un réseau de tuyaux, réchauffant l'eau à dessaler en lui cédant la chaleur de condensation et commencer de la sorte un nouveau cycle, avant d'être évacuée sous forme d'eau distillée.

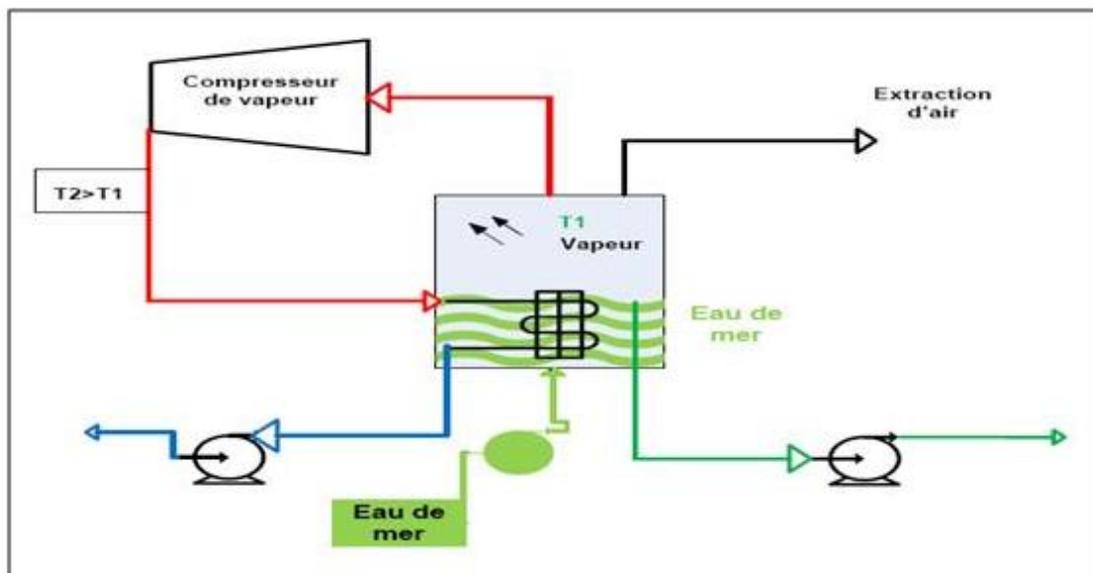


Figure I.4 : Distillation par compression de vapeur.

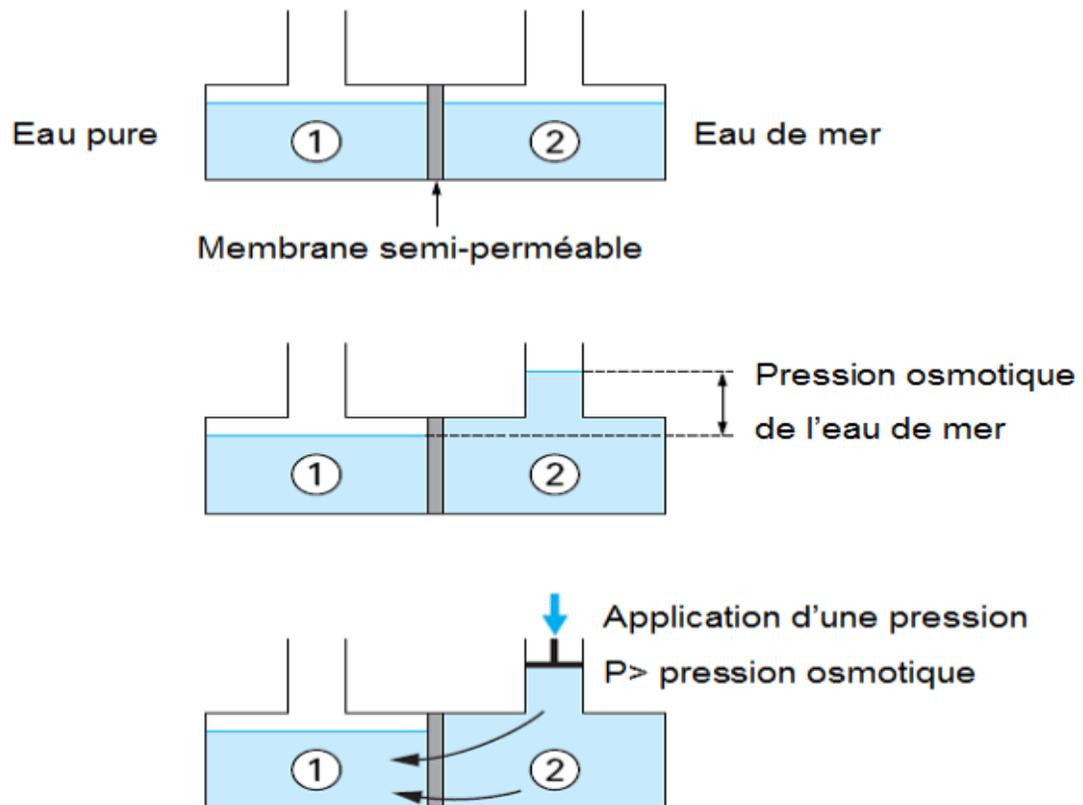
### I.3.3 Procédés membranaire

#### I.3.3.1 L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de purification de l'eau inspiré du phénomène chimique appelé l'osmose. Le principe du procédé de l'osmose inverse consiste à faire passer, sous l'effet d'une pression de l'eau pure à travers une membrane semi perméable qui a la caractéristique de retenir les sels dissouts dans l'eau. Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est réalisé en

appliquant à la solution à dessaler, une pression supérieure à la pression osmotique de cette solution sous l'effet de laquelle l'eau s'écoule à travers une membrane semi-perméable dans la direction inverse (du compartiment contenant l'eau salée vers le compartiment d'eau douce).

Ce procédé est simple, mais pose un vrai problème au niveau de l'encrassement des membranes, qui nécessite un prétraitement poussé de l'eau de mer.



**Figure I.5 :** Principe de l'osmose inverse.

### I.3.3.2 L'électrodialyse

Ce procédé consiste à éliminer les sels dans les eaux saumâtres par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. Les membranes anodiques et cathodiques placées intercalées laissent passer respectivement les anions  $\text{Cl}^-$  et les cations  $\text{Na}^+$ . Dans l

électrodialyse, des membranes filtrantes imperméables pour les cations ou pour les anions, sont interposées alternativement entre les électrodes. La membrane qui laisse passer les cations a la propriété d'arrêter les anions. Celle qui est imperméable aux anions oppose évidemment une barrière aux cations. Ainsi, des cellules où l'eau contient une concentration de sel alternent avec d'autres où l'eau a été déminéralisée. L'énergie consommée par ce procédé est directement proportionnelle à la salinité de l'eau.

Ce procédé étant un grand consommateur d'énergie, il ne peut s'appliquer que pour les eaux saumâtres de très faible salinité (concentration en sel inférieure à 10 g/l). L'eau de mer n'est donc pas susceptible d'être traitée à grande échelle de cette façon [10].

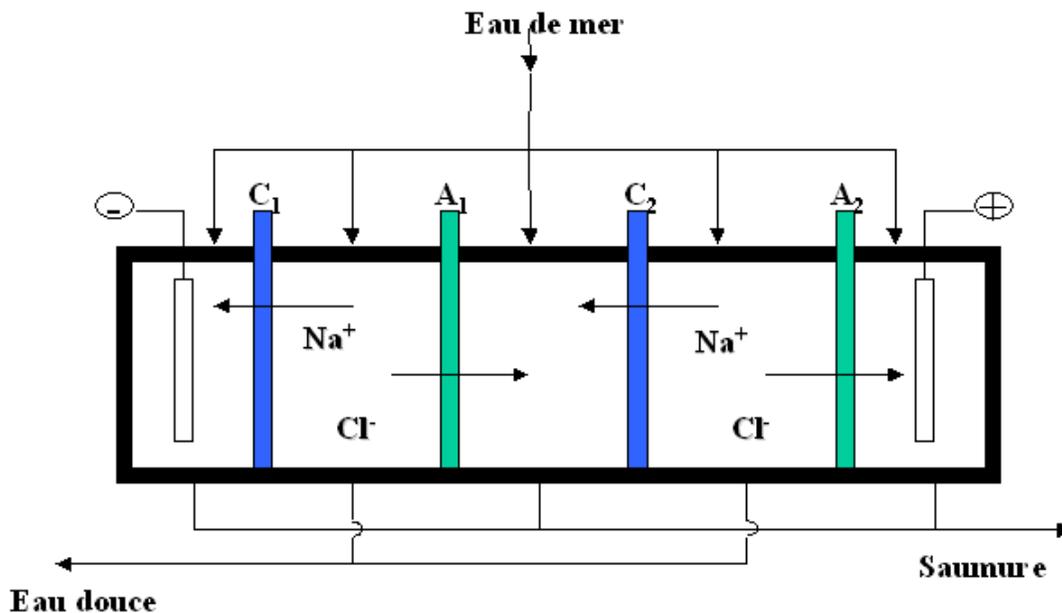


Figure I.6 : l'électrodialyse.

# Chapitre II

## La distillation solaire

## II.1. historique

L'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement de l'eau a été envisagée dès 1872 dans le nord du Chili, par l'ingénieur suédois Carlos Wilson [11]. Il permettait de fournir de l'eau potable aux animaux de trait à partir de l'eau salée de la mer [11].

Ce système ne fonctionna que jusqu'en 1910 à cause de l'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur. La distillation solaire connut une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires; il en résulta l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné...etc.)[11].

Une installation due à Ginistous groupant 30 appareils de 1 m<sup>2</sup> fut réalisée et exploitée à Bengardane en Tunisie en 1929. Au début des années 30, Trifinov proposa un distillateur incliné; en 1938 Abbot utilisa des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire, le tout est acheminé dans des tubes contenant de l'eau [11].

Maria Telks inventa en 1945 un nouveau type de distillateur solaire de forme sphérique, qui fut utilisé par la marine américaine; un grand nombre de ce modèle, environ 2000 a été utilisé pendant la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale. En 1969, Cooper proposa une simulation pour analyser les performances d'un distillateur solaire type serre. Depuis les années 70, plusieurs autres types de distillateurs ont été élaborés et étudiés, parmi lesquels, nous pouvons, sans être exhaustif citer [12].

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

## II.2. principe de la distillation solaire

La distillation solaire est le procédé de dessalement le plus ancien et le plus simple puisqu'il utilise l'énergie du soleil pour distiller l'eau. Ce procédé élimine également les impuretés telles que le sel, les métaux lourds et les micro-organismes. Le distillateur solaire est composé d'une serre de verre fermée et exposée au soleil. L'eau à dessaler est conduite dans la serre, l'épaisseur de l'eau étant de quelques centimètres. Le rayonnement « UV » solaire traverse le toit de verre et est absorbé en grande partie par l'eau et le fond du bac, pour être converti en énergie thermique. L'intérieur de la serre s'échauffe et émet un rayonnement « IR ». Le verre étant opaque aux rayons « IR », ce rayonnement ne peut pas sortir et son énergie fait élever la température de l'air intérieur de la serre, surchauffé et saturé en vapeur d'eau qui finit par se condenser au contact de la paroi en verre. Le condensat (eau douce) descend par gravité le long de la paroi pour être recueilli en bas du vitrage [13].

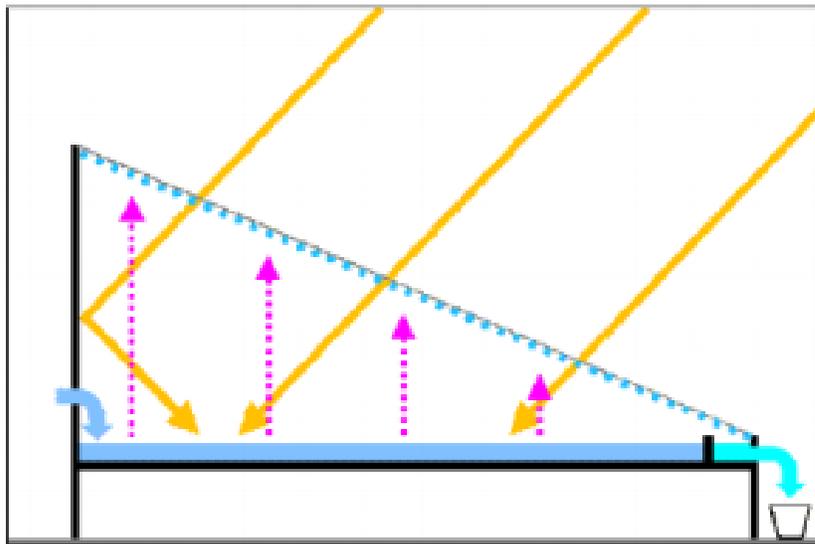


Figure II.1 : Principe de la distillation.

## II.3. différents types de distillateur

Tous les distillateurs solaires fonctionnent selon le principe de l'effet de serre mais on distingue deux types :

### II.3.1 Distillateur solaire à simple effet

C'est le type de distillateur le plus simple et le plus connu, il existe en plusieurs modèles

### II.3.1.1 Distillateur solaire a pente unique

C'est le distillateur le plus simple de conception il s'agit d'un absorbeur de forme de bassin horizontal peint en noir et couvert par une couverture de verre incliné d'un angle  $\beta$ .

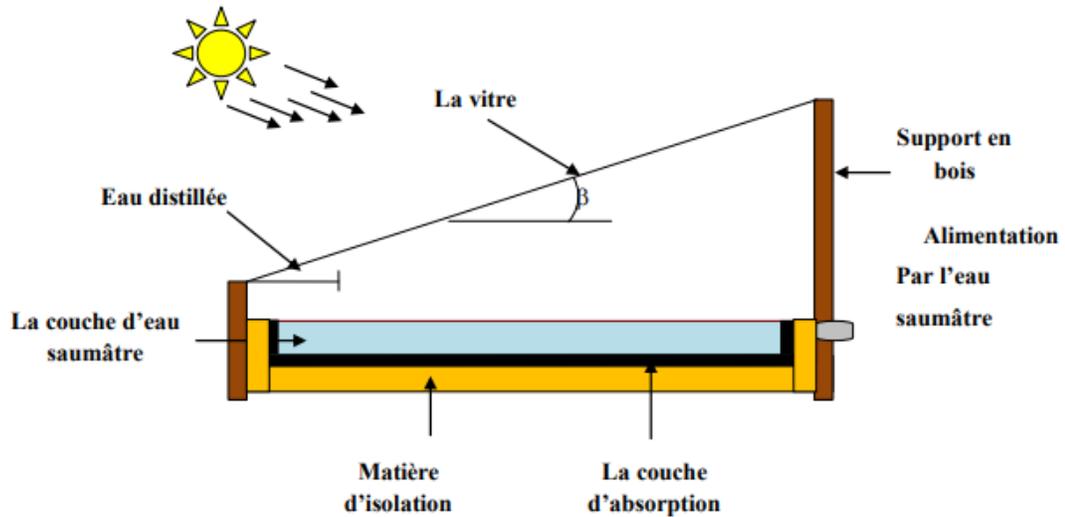


Figure II.2 : Distillateur solaire a pente unique.

### II.3.1.2 Distillateur solaire à double pente

C'est un distillateur simple mais à double couvertures verrières où chacune d'elles est inclinée d'un angle ( $\beta$ ), son avantage est d'exposer l'un de ses cotés au soleil et l'autre à l'ombre pour accélérer et augmenter le taux de condensation [14].

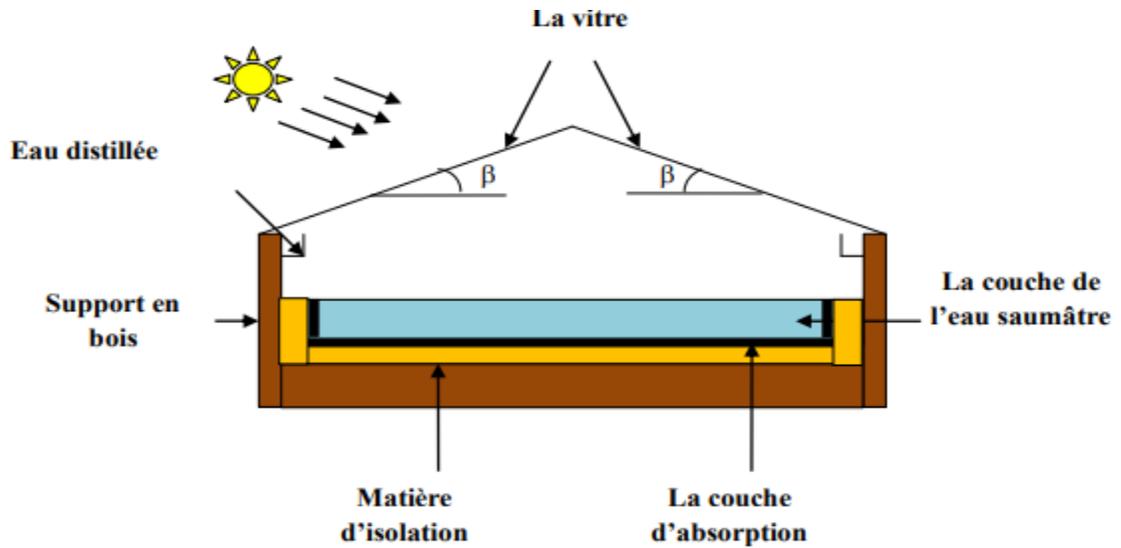


Figure II.3 : Distillateur solaire à double pentes.

### II.3.1.3 Distillateur solaire sphérique à balayage

C'est un distillateur en plexiglas ou autres matériaux plastique transparents reposant sur des supports, il est essentiellement constitué par trois parties, une demi-sphère supérieure qui sert à transmettre le rayonnement solaire d'une part et joue le rôle de surface de condensation d'autre part, une demi-sphère inférieure qui sert à récupérer le distillat, un bac horizontal en métal noirci contenant l'eau à distiller qui se trouve dans le plan médian de la sphère [15].

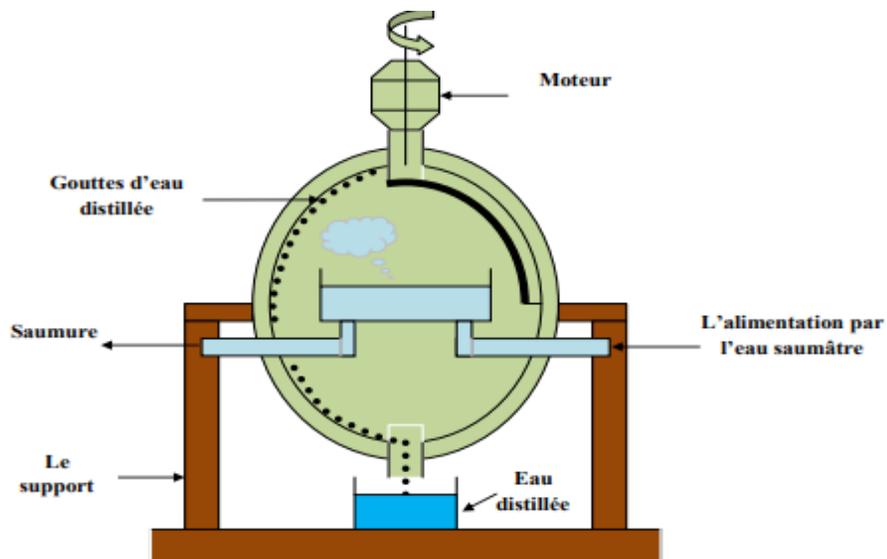


Figure II.4 : Distillateur solaire à balayage.

### II.3.1.4 Distillateur solaire terre-eau

C'est un distillateur contenu dans le sol. Il est similaire au distillateur à doubles pentes. 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. Il est similaire à celui de l'effet de serre, sauf que le sol remplace le bassin noir [16].

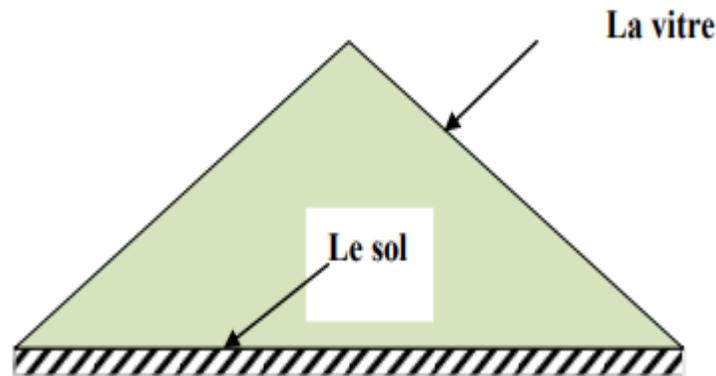


Figure II.5 : Distillateur solaire terre-eau.

### II.3.1.5 Distillateur solaire à film capillaire

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

Ce distillateur est composé des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l'alimentation. La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture. La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l'évaporation du film qui ruisselle sur l'autre face de cette même paroi [17].

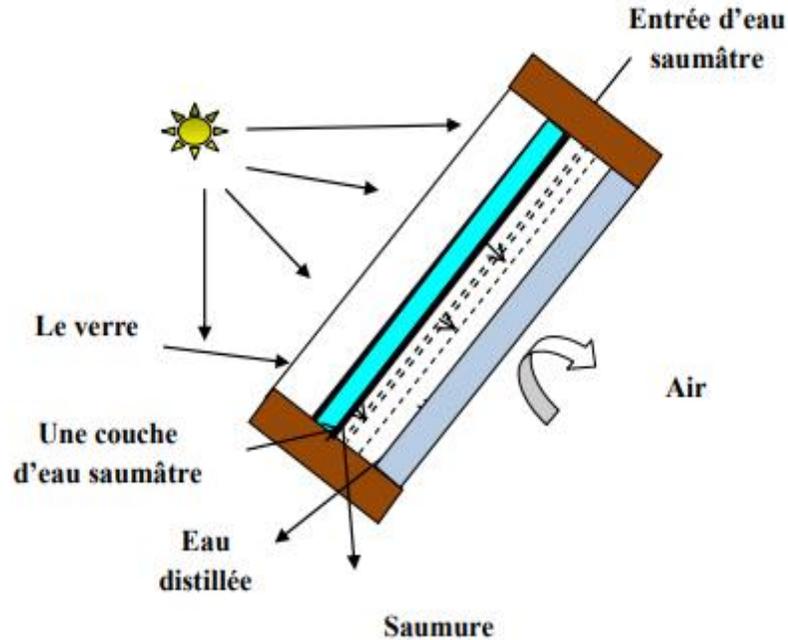
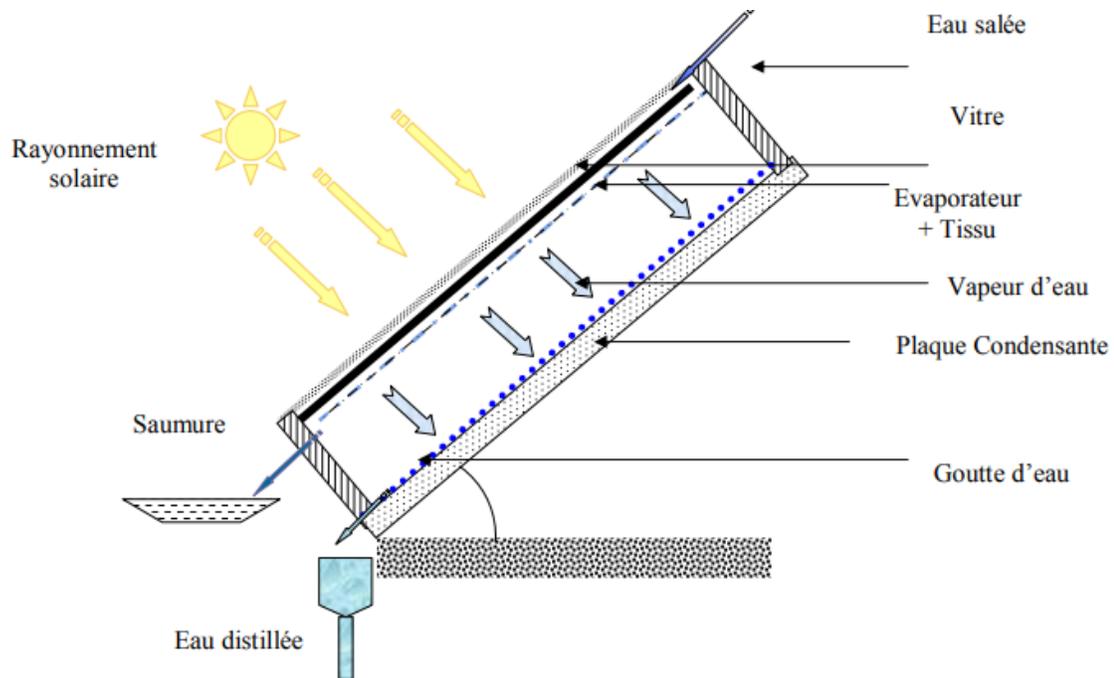


Figure II.6 : Distillateur solaire à film capillaire.

### II.3.1.6 Distillateur solaire à mèche

Dans un distillateur à mèche, 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. Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues pour coûter moins qu'un distillateur à bassin du même rendement [18].



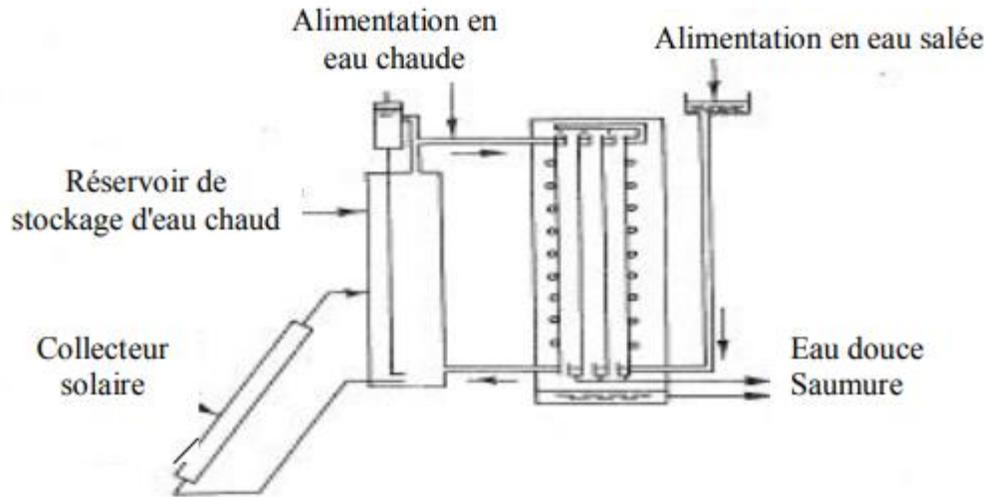
**Figure II.7 :** Distillateur solaire à film capillaire.

### II.3.2 Distillateur solaire à multiple effet

Est un distillateur composé de plusieurs évaporateurs en série travaillant à pression réduites.

#### II.3.2.1 Distillateur solaire à diffusion

Cet appareil se compose principalement de deux parties, un réservoir de stockage relié à un capteur et une série de plaques métalliques parallèles et verticales. L'eau chaude provenant du réservoir de stockage chauffe la première plaque et provoque l'évaporation de l'eau qui coule sur le côté droit de celle-ci, la vapeur d'eau produite se condense sur le côté gauche de la deuxième plaque, la chaleur de condensation libérée servira à évaporer l'eau qui coule sur le côté droit de la deuxième plaque et ainsi de suite jusqu'à la dernière plaque où la chaleur de condensation va contribuer au préchauffage de l'eau salée d'alimentation [11].

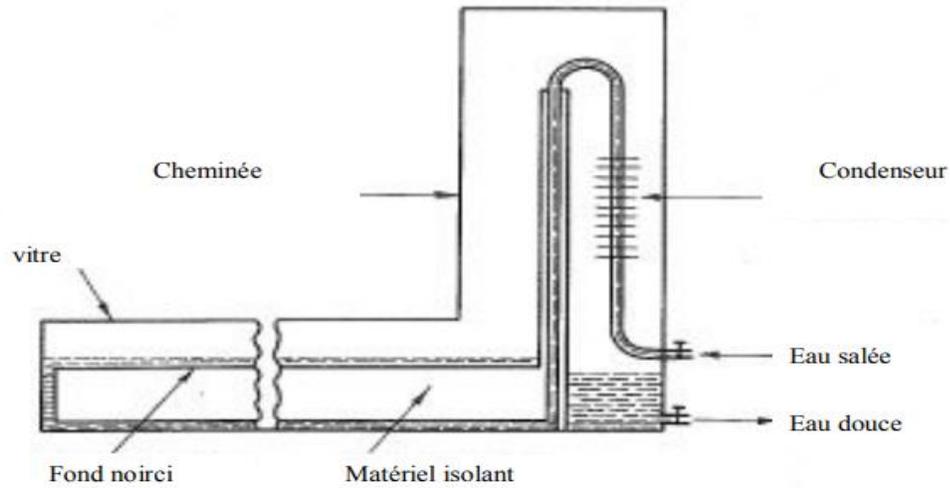


**Figure II.8 :** Distillateur à diffusion.

### II.3.2.2 Distillateur solaire à cheminé

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

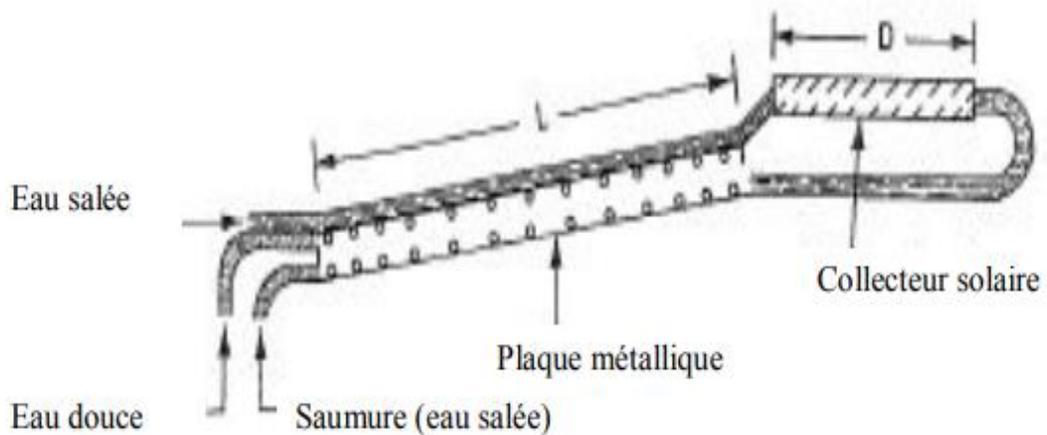
Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau saumâtre qui coule dans le conduit s'évapore et monte dans la cheminée où elle se condense, la chaleur de condensation peut être utilisée pour le préchauffage de l'eau entrant dans le système [11].



**Figure II.9 :** Distillateur solaire a cheminé.

### II.3.2.3 Distillateur à mèche évaporant

Ce distillateur a été construit pour économiser la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation. L'évaporateur est constitué par la juxtaposition de trois plaques parallèles légèrement espacées. L'eau à distiller passe dans la première enceinte et arrive au capteur où elle s'échauffe puis s'évapore dans une deuxième enceinte, la condensation s'effectue sur la face inférieure du milieu. Les deux dernières plaques sont munies d'un grillage qui augmente l'échauffement et uniformise l'écoulement de l'eau[12].



**Figure II.8 :** Distillateur à mèche évaporant.

## II.4. Paramètres influant sur le fonctionnement du distillateur

Nous pouvons citer de types de paramètres qui influent sur le fonctionnement du distillateur :

- Paramètre externe
- Paramètre interne

### II.4.1 Paramètres externes

Ces paramètres sont liés au site de l'installation du distillateur solaire et qui influent sur le fonctionnement et sur le rendement du système.

#### II.4.1.1 Les paramètres géographiques

De tout point de vue, la sphère terrestre est repérée par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres. [19], à savoir :

- La latitude  $\theta$  : positive dans l'hémisphère nord, négative dans l'hémisphère sud.
- La longitude  $L$  : Elle est comptée positivement à l'ouest et négativement à l'est et ce en fonction du méridien d'origine, appelé méridien de Greenwich.
- Hauteur du soleil.

#### II.4.1.2 Les paramètres météorologiques

##### II.4.1.2.1 Intensité de rayonnement solaire

C'est facteur essentiel est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde (0,17 à 4  $\mu\text{m}$ ). Le maximum d'intensité est obtenu pour une longueur d'onde 0,47  $\mu\text{m}$  dans le spectre visible. L'intensité globale du rayonnement solaire arrivant aux confins de l'atmosphère sur une surface perpendiculaire est une constante et est égale à 1,35  $\text{kW}/\text{m}^2$ . Cependant, l'énergie arrivant au voisinage de la surface terrestre est affaiblie par l'absorption d'une partie du rayonnement par l'atmosphère. Le coefficient de.

Transmission est constante durant l'année et se situe entre 0,7 et 0,9. Il est d'autant meilleur lorsque l'épaisseur de l'atmosphère est plus faible.

##### II.4.1.2.2 Vitesse du vent

L'existence des hautes et basses pressions est à l'origine du vent. Ce dernier joue un rôle important sur le fonctionnement du système (l'effet convectif sur la face externe de la vitre et de

la plaque du condenseur). d'après Duffie et Beckman , la vitesse du vent est liée au coefficient de transfert convectif entre la face externe de la vitre et l'extérieur par l'expression :

$$H_{cla} = a + b.v^n$$

#### II.4.1.2.3 Température ambiante de l'air

La valeur de cette température intervient pour la détermination des échanges thermiques entre la partie interne et le milieu extérieur.

#### II.4.1.2.4 Autres paramètres météorologique

- La durée d'insolation.
- L'intermittence des nuages.
- L'humidité de l'air et la pluviométrie doivent être prises en considération dans la mesure où ces deux facteurs arrivent à modifier le bilan thermique du distillateur.

### II.4.2 Les Paramètres interne

#### II.4.2.1 Paramètres de position

##### II.4.2.1.1 L'emplacement du distillateur

Où les distillateurs doivent être placés de façon à éviter les obstacles "l'effet de masque", qui empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

##### II.4.2.1.2 L'orientation

Elle dépend essentiellement du fonctionnement du distillateur pendant la journée :

- Fonctionnement pendant la matinée → orientation Est,
- Fonctionnement pendant l'après -midi → orientation Ouest,
- Fonctionnement durant toute la journée → orientation Sud,

##### II.4.2.1.3 L'inclinaison

Elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant l'année:

- Fonctionnement estival →  $\beta = \theta - 10^\circ$
- Fonctionnement hivernal →  $\beta = \theta + 20^\circ$
- Fonctionnement annuel →  $\beta = \theta + 10^\circ$

### II.4.2.2 Paramètres de construction

Les matériaux utilisés dans la construction de distillateur possèdent une grande influence sur son fonctionnement notamment :

#### II.4.2.2.1 La couverture

La couverture verrière intervient essentiellement par sa nature qui peut être en verre ou en plastique. Elle a deux rôles à jouer : d'une part c'est un filtre sélectif de rayonnement solaire (le rayonnement émis ou réémis par l'intérieur du bassin à température basse qui ne la traverse pas) et d'autre part, c'est une surface de condensation de la vapeur d'eau : une bonne mouillabilité est nécessaire pour éviter la condensation en gouttelettes qui ont tendance à retomber dans le bassin et qui réfléchissent une partie importante du rayonnement incident. Pour assurer le ruissellement de l'eau condensée vers la gouttière (collecteur) [16].

#### II.4.2.2.2 L'absorbeur

Les testes menés par certains chercheurs ont montré que la surface absorbante peut être construite de plusieurs matériaux (bois, métal, béton, matière synthétique ou en verre ordinaire). Le choix de la matière de la surface absorbante ou bac noir dépend de son inertie thermique, de la résistance à l'oxydation par l'eau et les dépôts minéraux [20].

#### 4.2.2.3 l'isolant

Un bon isolant conserve la chaleur et minimise les pertes vers l'extérieur, favorisant ainsi l'augmentation de la production du distillateur solaire.

#### II.4.2.2.4 La distance entre la couverture et la saumure

Les phénomènes d'évaporation et de condensation s'accroissent avec la réduction de l'espace séparant la vitre de la masse de l'eau se trouvant dans le bassin, impliquant une augmentation de la performance du distillateur solaire. Des thèses fixent les transferts de chaleur et de masse dans un distillateur solaire à effet de serre au niveau de la couche mince adjacente au niveau respectivement de la surface d'évaporation et de condensation ; cette couche est prise de l'ordre de 15mm. Tout le reste est constitué d'une couche appelée couche « tampon », qui est une couche ayant une température constante et ne participant pas aux différents transferts de chaleur et de masse. Par contre, une augmentation de la hauteur du vide « espace » engendre une

augmentation de l'épaisseur de la couche tampon et qui tend à s'opposer aux différents échanges entre la surface de condensation et la surface d'évaporation [21].

#### **II.4.2.2.5 La masse d'eau à distiller (l'eau saumâtre)**

Toute variation de la profondeur du bassin du distillateur provoque un changement dans sa production car le bassin est conçu pour recevoir l'eau saumâtre qui est la matière première de tout le système.

Des chercheurs ont prouvé que lors d'une augmentation de la profondeur de l'eau le coefficient de transfert thermique interne par convection se trouve diminué, en raison de la diminution de la température de l'eau.

### **II.4.2.3 Paramètres optique**

#### **II.4.2.3.1 L'émissivité**

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

#### **II.4.2.3.2 L'absorptivité**

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

#### **II.4.2.3.3 La transmissivité**

- **Transparence**

Le milieu qui peut transmettre intégralement le rayonnement incident, il est alors appelé milieu transparent. Le vide est un exemple de milieu transparent.

- **Opacité**

Un corps qui ne peut transmettre aucune partie du rayonnement incident appelé corps opaque.

#### **II.4.2.3.4 Réflexion et diffusion**

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

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

## **II.5. Avantages et inconvénients de la distillation solaire**

### **II.5.1 Avantages**

- Une technique facile, à petite échelle, et rentable pour fournir l'eau potable dans les maisons ou dans les petites communautés.
- Purification de l'eau salée (même l'eau de mer).
- Production de l'eau distillée.
- Conception et entretien faciles.
- Il ne nécessite pas d'agent qualifié pour le faire fonctionner.
- L'absence des pièces tournantes mobiles (moteurs, pompes, etc).
- System écologique (pas d'émission des gaz à effet de serre).
- Utilise uniquement l'énergie solaire (renouvelable et non polluante).

### **II.5.2 Inconvénients**

- Faible rendement .
- La vulnérabilité aux dommages dus aux conditions météorologiques.
- Technologie moins demandée au marché.
- Une faible efficacité.

# Chapitre III

## Modélisation mathématique

### III.3. Principe de fonctionnement d'un distillateur à cascade

Un distillateur solaire à cascades est constitué d'une capacité étanche surmonté d'une vitre, 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[22].

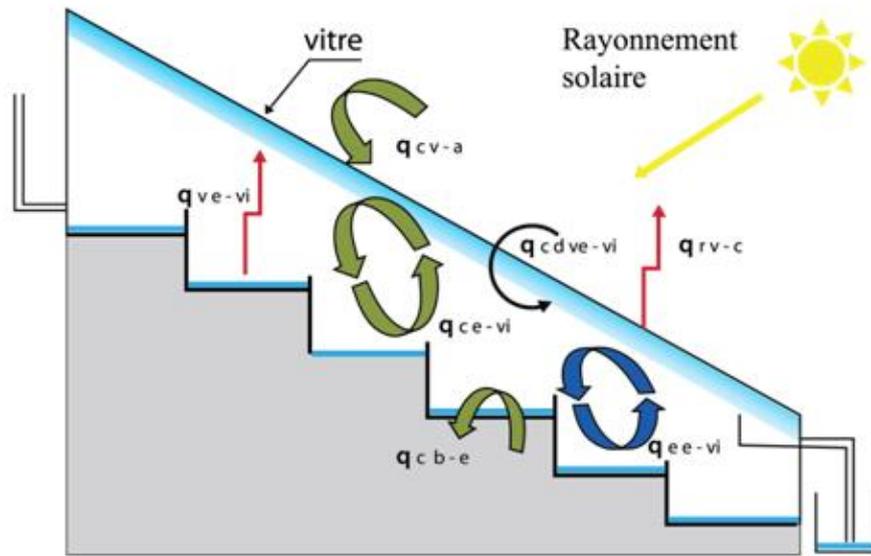


Figure III.1 : Principe de fonctionnement du distillateur à cascade.

### III.2. Différents échanges de chaleur

La masse d'eau reçoit du bac absorbant des flux de chaleur par convection et par conduction et cède à la vitre des flux de chaleur par convection, rayonnement et par évaporation.

La vitre cède au milieu ambiant des flux de chaleur par rayonnement et par convection.

Le bac absorbant cède au milieu ambiant un flux de chaleur par conduction à travers l'isolant.

### III.3. Mise en équation des échanges thermiques

On tenant compte des hypothèses suivantes :

- La condensation se fait uniquement sur la couverture (il n'y a pas de condensation sur les parois latérales).

- La condensation de l'eau sur la couverture est homogène et continue (le verre possède une bonne mouillabilité).
- La couverture est propre, Le bassin est étanche.
- Les parois latérales sont supposées adiabatiques.
- L'air n'intervient pas dans les transferts massiques et thermiques (hypothèse de BAUM).
- La résistance thermique du bac est négligeable.
- La température de la face externe de l'isolant est égale à la température ambiante.
- La température de la vitre et du bac absorbant sont uniformes.
- L'effet des dépôts de la poussière est négligé.

#### III.4. schéma de réseau des résistances thermique

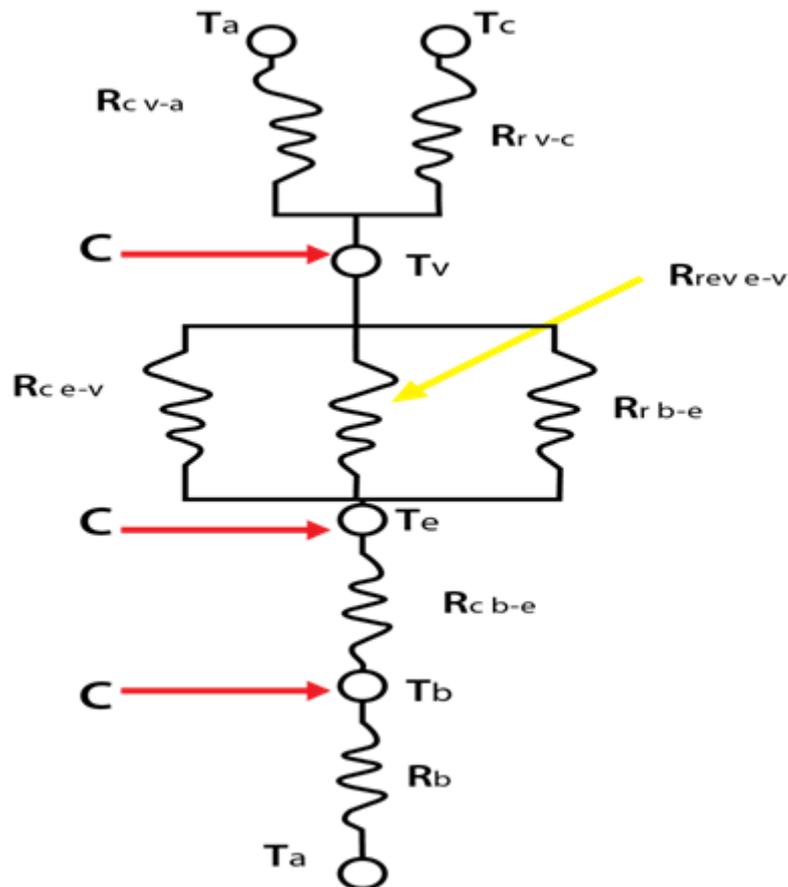


Figure III.2 : Représentation de l'analogie électrique du distillateur solaire.

### III.5. Bilan thermique pour un régime permanent

Considérons une section quelconque du système à l'instant " t " soit  $i$  l'un des milieux représentés dans cette section  $M_i$ , sa masse en [Kg],  $C_p$  sa chaleur spécifique en [j/Kg °C],  $T$  sa température en [°C].

Le bilan au nœud  $i$  donne:

$$M_i * C_{p_i} * \frac{dT}{dt} = \sum_{i=1}^n q_{ij} + P_i \quad (\text{III.1})$$

$P_i$ : Terme de source ou de puits.

#### III.5.1 Bilan au niveau de la face extérieure de la couverture

$$(mc_p)_{ve} \frac{dT_{ve}}{dt} = P_V + q_{ve-a}^c + q_{ve-a}^r + q_{ve-vi}^{cd} \quad (\text{III.2})$$

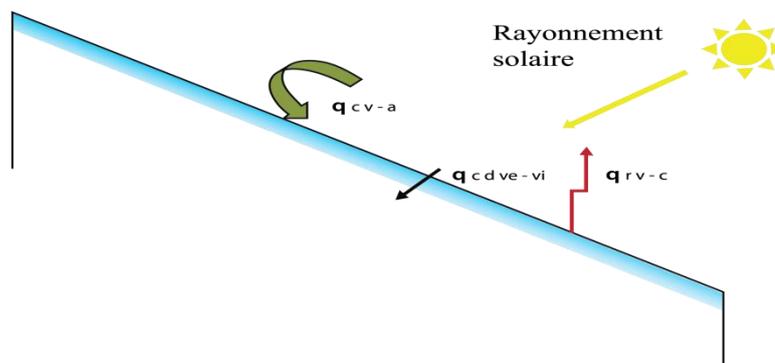


Figure III.3 : Bilan thermique de la face extérieure de la vitre .

$q_{ve-a}^c$  : Flux de chaleur échangé par convection entre la face extérieure de la vitre et le milieu ambiant [W].

$q_{ve-a}^r$  : Flux de chaleur échangé par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre [W].

$q_{ve-vi}^{cd}$  : Flux de chaleur échangé par conduction à travers la vitre [W].

$P_V$  : Puissance solaire absorbée par la vitre [W].

$$P_V = EG_V * A_V \quad (\text{III.3})$$

$$q_{Ve-a}^c = h_{Ve-a}^c * A_V * (T_a - T_{Ve}) \quad (\text{III.4})$$

$$q_{Ve-a}^r = h_{Ve-a}^r * A_V * (T_a - T_{Ve}) \quad (\text{III.5})$$

$$q_{Ve-vi}^{cd} = h_{Ve-vi}^{cd} * A_V * (T_{Vi} - T_{Ve}) \quad (\text{III.6})$$

### III.5.2 Bilan au niveau de face intérieure de la couverture

$$(mc_p)_{Vi} * \frac{dT_{Vi}}{dt} = q_{Vi-e}^c + q_{e-vi}^r + q_{e-vi}^{cond} + q_{Ve-vi}^{cd} \quad (\text{III.7})$$

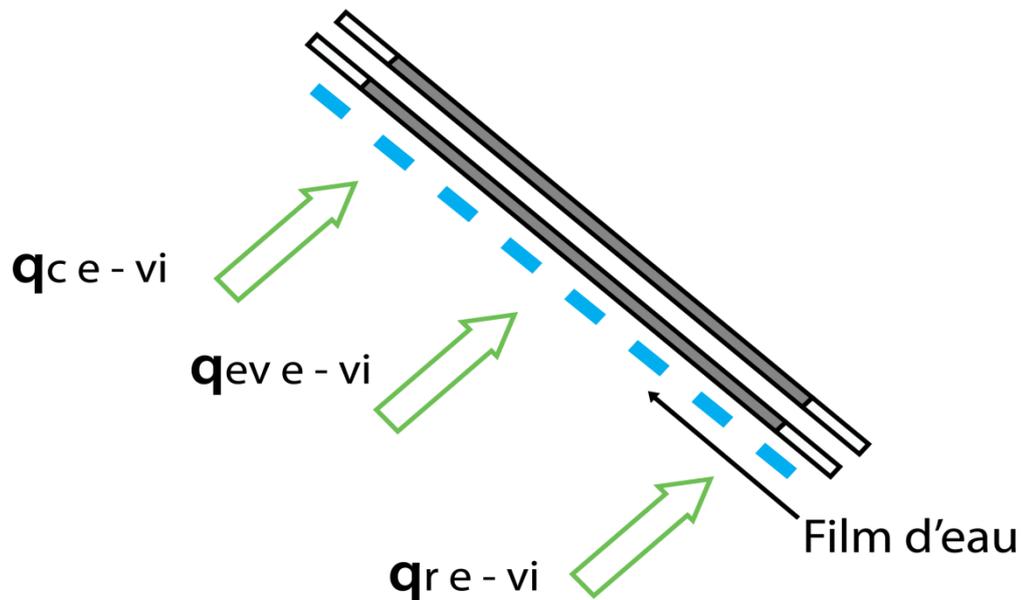


Figure III.4 : Bilan thermique de la face intérieure de la vitre.

$q_{e-vi}^c$  : Flux de chaleur échangé par convection entre la vitre intérieure et la masse d'eau [W].

$q_{e-vi}^r$  : Flux de chaleur échangé par rayonnement entre la vitre intérieure et la masse d'eau [W].

$q_{e-vi}^{cond}$  : Flux de chaleur échangé par condensation entre la vitre intérieure et la masse d'eau [W].

$q_{Ve-vi}^{cd}$  : Flux de chaleur échangé par conduction entre la face intérieure et extérieure de la vitre [W].

$$q_{e-vi}^c = h_{e-vi}^c * A_V * (T_e - T_{Vi}) \quad (\text{III.8})$$

$$q_{e-vi}^r = h_{e-vi}^r * A_V * (T_e - T_{Vi}) \quad (\text{III.9})$$

$$q_{e-vi}^{cond} = h_{e-vi}^{cond} * A_V * (T_e - T_{Vi}) \quad (\text{III.10})$$

$$q_{Ve-vi}^{cd} = h_{Ve-vi}^{cd} * A_V * (T_{Ve} - T_{Vi}) \quad (\text{III.11})$$

### III.5.3 Bilan thermique de la saumure

$$(mc_p)_e * \frac{dT_S}{dt} = P_S + q_{e-vi}^c + q_{e-vi}^r + q_{e-vi}^{ev} \quad (\text{III.12})$$

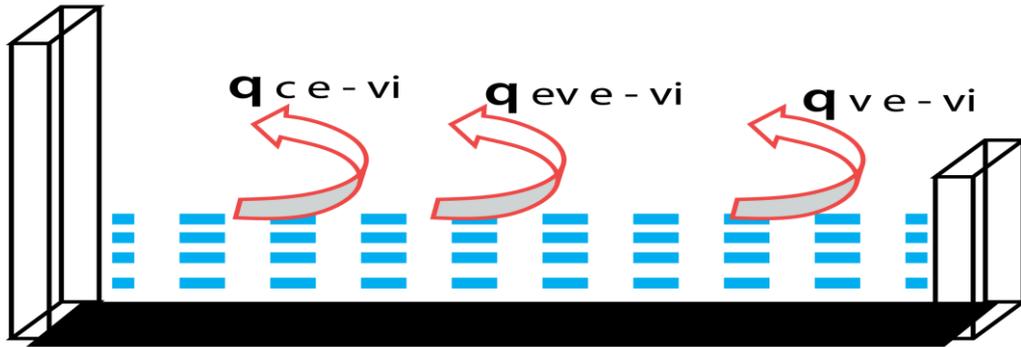


Figure III.5 : Bilan thermique de la saumure.

$q_{e-vi}^{ev}$  : Flux de chaleur échange par vaporisation entre la masse eau et la vitre intérieur [W].

$P_S$  : Puissance solaire absorbée par la masse d'eau [W].

$$P_S = EG_s * A_s \quad (\text{III.13})$$

### III.5.4 Bilan thermique du bac absorbant

$$(mc_p)_b * \frac{dT_b}{dt} = P_b + q_{b-e}^c + q_{b-a}^{cd} \quad (\text{III.14})$$

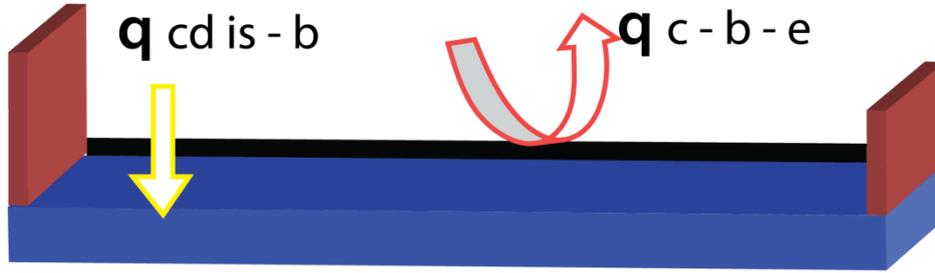


Figure III.6 : Bilan thermique du bac absorbant.

$q_{b-e}^c$  : Flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau [W].

$q_{b-r}^{cd}$  : Flux de chaleur échangé par conduction entre l'absorbeur et l'ambiance [W].

$P_b$  : Puissance solaire absorbée par l'absorbeur [W].

$$P_b = EG_b * A_b \quad (\text{III.15})$$

$$q_{b-e}^c = h_{b-e}^c * A_b * (T_e - T_b) \quad (\text{III.16})$$

$$q_{b-a}^{cd} = h_{b-a}^{cd} * A_b * (T_a - T_b) \quad (\text{III.17})$$

### III.5.5 Éclairement solaire

$$EG_V = I_n \cos \theta_i + \frac{1 + \cos \beta}{2} I_{diffes} + \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) * (I_b + I_d) * \rho \quad (\text{III.18})$$

$$EG_S = \tau_V * \alpha_s * EG_V \quad (\text{III.19})$$

$$EG_b = \tau_V * \tau_S * \alpha_{ab} * EG_V \quad (\text{III.20})$$

## III.6. Expression des différents coefficients d'échange thermique

### III.6.1 Echange convectif

#### III.6.1.1 Echange convectif entre la saumure et la vitre

Le coefficient d'échange convectif entre la saumure et la vitre est donné par la relation suivante [12].

$$h_{e-vi}^c = 0.884 * \left[ (T_e - T_{Vi}) + \frac{(P_e - P_{Vi})(T_e + 273)}{268.9 * 10^3 - P_e} T_e \right] (T_e - T_{Vi}) \quad (\text{III.21})$$

$$P_{Vi} = e^{\left(25.317 - \frac{5144}{(T_{Vi} + 273)}\right)} \quad (\text{III.22})$$

$$P_e = e^{\left(25.317 - \frac{5144}{(T_e + 273)}\right)} \quad (\text{III.23})$$

$P_{Vi}$  et  $P_e$  correspondent aux pressions de vapeur liées aux températures de respectivement la face intérieure de la vitre et de la surface de l'eau de bassin.

### III.6.1.2 Echange convective entre la vitre et le milieu ambiant

L'échange thermique entre la face extérieur de la vitre et le milieu ambiant dépend de la vitesse du vent, est donné par la corrélation **MACADAMS**.

$$h_{Ve-a}^c = 5.7 + 3.8 V \quad (\text{III.24})$$

$V$ : Vitesse du vent en m/s

### III.6.1.3 Echange convectif entre la masse d'eau et le bac absorbant

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

$$h_{e-b}^c = N_u * \lambda_e \quad (\text{III.25})$$

Dans ce type de problème, les corrélations expérimentales aboutissent à des relations de la Forme.

$$N_u = C(G_r * P_r)^n \quad (\text{III.26})$$

Où  $c$  et  $n$  sont des constantes dépendant de la géométrie du système et de la nature de l'écoulement, laminaire ou turbulent.

**Gr**: nombre de GRASHOF

$$G_r = \frac{\beta_e * L^3 * g * (T_b - T_e)}{V_m^2} \quad (\text{III.27})$$

$\beta_e$ : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau [K-1].

$L$  : Longueur du bac absorbant.

Avec:

**Pr** Nombre de Prandtl

$$P_r = \frac{U_e * C_{P_e}}{\lambda_e} \quad (\text{III.28})$$

- si  $Gr < 10^5$ ;  $Nu = 1$

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

- Si  $10^5 < Gr < 2 \times 10^7$

$$Nu = \frac{\lambda_m}{L} \times 0.54 * (G_r - P_r)^{0.25} \quad (\text{III.29})$$

- Si  $Gr > 2 \times 10^7$  :

$$Nu = 0.14 * (G_r * P_r)^{0.33} \quad (\text{III.30})$$

### III.6.2 Echange par rayonnement

#### III.6.2.1 Echange par rayonnement entre la saumure et la vitre

Dans les analyses habituelles des distillateurs solaires, la saumure et la couverture verrière sont considéré comme des plans parallèles infinis [12] .

$$h_{e-vi}^r = \epsilon_{eff} * \sigma * (T_e^2 + T_{vi}^2) * (T_e - T_{vi}) \quad (\text{III.31})$$

$\epsilon_{eff}$  : représente le facteur d'émission effective

$$\epsilon_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_e} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} \quad (\text{III.32})$$

Avec:

$\epsilon_e$  : Coefficient d'émissivité de l'eau.

$\epsilon_v$  : Coefficient émissivité de la vitre.

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann =  $5.6697 \cdot 10^{-8} \text{ WM}^{-2} \text{ k}^{-4}$ .

### III.6.2.2 Echange par rayonnement entre la vitre et milieu l'extérieur

Le coefficient d'échange par rayonnement est donné par la relation de **Duffie Beckmann**.

$$h_{Ve-a}^r = \varepsilon_V * \sigma * (T_C^2 + T_{Ve}^2) * (T_C + T_{Ve}) \quad (\text{III.33})$$

$T_C$  : est la température du ciel. Cette température est donnée en fonction de la température ambiante.

$$T_C = 0.0552 T_a^{1.5} \quad T_a \text{ En } K^\circ$$

### III.6.3 Echange pendant le changement de phase ( $h_{e-vi}^{ev} = h_{vi-e}^{cond}$ )

Par l'utilisation de la relation de la convection naturelle à l'intérieur du distillateur et par analogie entre les transferts de masse et de chaleur **Dunkle** est arrivé à l'expression du coefficient thermique par évaporation.

$$h_{e-vi}^{ev} = 16.276 * 10^{-3} * h_{e-vi}^c * \frac{(P_e - P_{vi})}{(T_e - T_{vi})} \quad (\text{III.34})$$

### III.6.4 Echanges de chaleur par conduction

#### III.6.4.1 Echange par conduction à travers la vitre

$$h_V^{cd} = \frac{\lambda_V}{e_V} \quad (\text{III.35})$$

$\lambda_V$  : La conductivité thermique de la vitre.

$e_V$  : Épaisseur de la vitre.

#### III.6.4.2 Echange par conduction entre le bac absorbant et l'ambiance

$$h_{b-a}^{cd} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \quad (\text{III.36})$$

$\lambda_{is}$  : La conductivité thermique de l'isolant.

$e_{is}$  : Épaisseur de l'isolant .

### III.7. détermination des débits d'air évaporée et condensée

#### III.7.1 Débit d'eau évaporé

Débit d'eau évaporation est calculé à partir de la relation de **Bansal**.

$$\dot{m}_{ev} = (0.002198 + 0.0398 * V_a^{0.5756}) ( P_S - P_a ) \quad (\text{III.37})$$

Avec :  $0 < V_a < 5.36$

**Ou :**

$\dot{m}_{ev}$  : Débit d'eau évaporée (Kg / m<sup>2</sup> Hr ).

$P_S$  : Pression partielle de la vapeur d'eau (mm Hg).

$V_a$  : vitesse de l'air humide (m/s).

$P_S$  : Pression de saturation da la vapeur d'eau (mm Hg) Elle est donnée par la relation.

$$P_S = 101325 * 10^{(17.443 - \frac{2795}{T} - 3.868 \log T)} \quad (\text{III.38})$$

#### 7.2 Débit d'eau condensée

Le débit d'eau condensée est estimé en utilisant la corrélation suivant .

$$\dot{m}_c = \frac{85.0 * (T_a - T_p) * HR}{L_{cond}} \quad (\text{III.39})$$

**Ou :**

$\dot{m}_c$  : Débit d'eau condensée (Kg /s m<sup>2</sup> ).

$T_p$  : Température da la paroi de l'air humide.

$L_{cond}$  : Chaleur latente de condensation (J / Kg).

HR : humidité relative de l'air humide .

### III.8. Les caractéristiques de fonctionnement

Un distillateur solaire est essentiellement caractérisé par les grandeurs suivantes :

#### III.8.1 La production (le débit du distillat)

Qui est la quantité d'eau distillée journalière produite par de surface d'évaporation.

$$\dot{m}_d = \frac{q_{ev}}{L_V} \quad (\text{III.40})$$

### III.8.2 L'efficacité globale

Représentant le rapport de la quantité d'énergie évaporée par ( $m^2$ ), à la quantité d'énergie globale incidente par ( $m^2$ ) sur une surface horizontale. Elle est définie par le rapport .

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{G.A} = \frac{\dot{m}_d L_V}{G.A} \quad (\text{III.41})$$

Avec:

$q_{ev}$  : Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.

$L_V$  : Chaleur latente de vaporisation.

$\dot{m}_d$  : Le débit de distillat.

$G$  : Energie solaire globale incidente par  $m^2$  sur une surface horizontale, pendant un jour.

$A$  : superficie du capteur (aire de la vitre).

### III.8.3 L'efficacité interne

Qui représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par ( $m^2$ ) de surface, à la quantité effectivement absorbée par la saumure par ( $m^2$ ) de surface .

$$\eta_I = \frac{q_{ev}}{q_{eau}} = \frac{\dot{m}_d L_V}{\alpha_t G . A} \quad (\text{III.42})$$

$\alpha_t G . A$  : La quantité de chaleur absorbée par l'eau.

$\alpha_t$  : Le coefficient d'absorption thermique Pour une intensité globale  $G$ , l'expression de  $q_{ev}$  est:

$$q_{eau} = (\tau_e \alpha_e + \tau_V \tau_e \alpha_f) G.A$$

En passant:

$$\alpha_t = \tau_e \alpha_e + \tau_V \tau_e \alpha_f$$

$$q_{eau} = \alpha_t G.A$$

Il en résulte :

$$\eta_i = \frac{\eta_g}{\alpha_t}$$

$\alpha_f$  : Coefficient d'absorption du fond du distillateur.

$\alpha_e$  : Coefficient d'absorption de l'eau.

$\tau_e$  : Coefficient d'absorption de l'eau.

$\tau_v$  : Coefficient de transmission de la vitre.

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

### III.9. Performance

F.P.B : le rapport de la quantité d'eau produite au bout de 24h sur la quantité d'énergie entrée au bout de 24h.

F.P.H : le rapport de la quantité d'eau au bout d'une heure sur la quantité d'énergie entrée au bout d'une heure. A un instant donné de la journée, le facteur de performance F.P est donné par la relation suivante :

$$\mathbf{FP} = \frac{\dot{m}_d}{\alpha_t G.A}$$

**Tableau III.1** : Réflexion Absorption, transmission vis à vis du rayonnement solaire pour les différentes parties d'un distillateur

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

# Chapitre IV

## Etude expérimentale

## **IV.1. Présentation du lieu d'expérimentation**

### **IV.1.1 Situation géographique**

Les expériences ont été effectuées au niveau de la terrasse de pavillon 18 de l'université de Blida, la wilaya de Blida se situe dans la partie Nord de l'Algérie dans la zone géographique du Tell central, d'une superficie de 1 478,68 Km<sup>2</sup>.

### **IV.1.2 Coordonnées géographiques**

Latitude: 36°28'12" Nord.

Longitude: 2°49'39" Est.

L'altitude par rapport au niveau de la mer : 256 m.

### **IV.1.3 Climat**

Le climat de Blida est chaud et tempéré. L'été, à Blida, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. D'après Köppen et Geiger, le climat y est classé Csa . La température moyenne annuelle à Blida est de 17.9 °C. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 791 mm.

## **IV.2. Description du distillateur solaire**

Le distillateur de notre étude est de type à cascade d'une conception n'est pas compliqué, il s'agit d'un distillateur solaire a cascade à effet de serre, il est d'une construction facile.

Il se compose principalement par trois composants essentiels :

- Un bac absorbant.
- Une couverture verrière.
- Une isolation thermique.

## **IV.3. Différents composants du distillateur solaire à cascade**

### **IV.3.1 Bac absorbant**

C'est le capteur du distillateur appelé aussi (partie chaude de système), sert à absorber le maximum d'irradiation solaire (c'est pour cela qu'il est peint en noir) puis les transmettre vers la saumure pour chauffer cette dernière.

Les dimensions de chaque marche sont :

- Longueur 0.80 m.
- Largeur 0.10 m.
- La hauteur 0.02 m.
- La superficie totale 0.48 m<sup>2</sup>.

#### **IV.3.2 La couverture verrière**

Nous avons utilisé une plaque de verre ordinaire comme couverture transparente, le verre a été choisi a cause de sa transmission au rayonnement solaire visible qui est de l'ordre de 95%, son opacité au rayonnement infrarouge et sa mouillabilité.

Les dimensions de la vitre sont les suivantes :

- Longueur 0.70m.
- Largueur 0.80m.
- Epaisseur 0.005m.
- Superficie totale 0.56 m<sup>2</sup>.

#### **IV.3.3 Isolation thermique**

Les isolants utilisés dans les distillateurs solaires généralement sont la laine de verre la mousse polyuréthane ou le polystyrène expansé, dans notre étude nous avons utilisé le polystyrène expansé d'une épaisseur de 0.06 m.

#### **IV.4. Réalisation**

Nous avons utilisé pour réaliser le bac absorbant une tôle de fer galvanisé de (1.85 m × 1.20 m × 0.002 m), elle a été découpé en huit parties a l'aide d'une découpeuse de fer, puis nous les avons soudé par point et collé a l'aide d'une colle spéciale de fer pour éviter les fuites d'eau.



**Figure IV.1 :** Réalisation du bac absorbant.

#### **IV.5. Montage**

Nous avons utilisé le silicone pour le montage de la couverture verrière et l'assemblage de l'isolation thermique (.polystyrène). le bac est aussi équipé par un orifice de remplissage et une gouttière pour l'évacuation.



**Figure IV.2 :** Montage final du distillateur à cascade.

**IV.6. Caractéristiques technique****Tableau IV.1 : Composants standard**

<b>Matière</b>	<b>Quantité</b>	<b>Dimensions</b>
Tôle galvanisé	2	1.8*1.2*0.002m
Verre ordinaire	1	0.7*0.8*0.005m
Polystyrene	1	1*2m
Peinture noire	1	1kg
Silicone	3	
Robinet	1	
Conduit PVC	1	0.015*0.021
Colle AB	1	

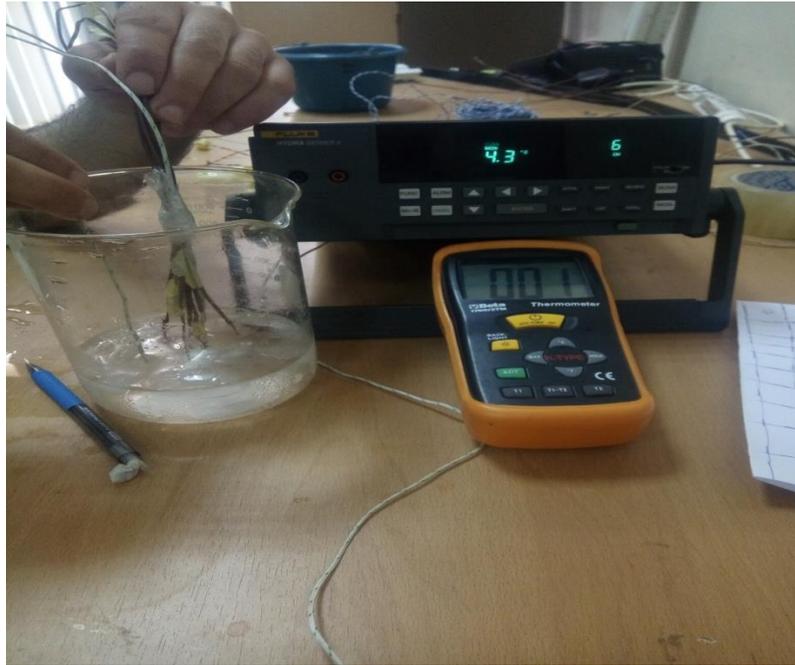
**IV.7. Appareils et instrument de mesures****IV.7.1 Thermocouples**

Nous avons utilisé des thermocouples de type J ayant les caractères suivants :

- Composition : Fer / Constantan.
- Couleurs : Noir / Blanc.
- Plage de fonctionnement recommandé de 0 à 750 °C.

**IV.7.1.1 Etalonnage des thermocouples**

Pour vérifier l'incertitude des thermocouples utilisés dans la mesure des température, nous plongeons l'extrémité soudées de l'ensemble des thermocouples au même niveau avec le thermomètre de référence dans un bain de la glace fondé puis nous faisons augmenter la température du bain en rajoutant l'eau chaude jusqu'à l'arriver à 80 °C et nous prenons les mesures avec chaque augmentation et nous branchons les extrémités libres des thermocouples sur une acquisition pour la lecture des températures.



**Figure IV.3 :** Etalonnage des thermocouples.

**Tableau IV.2 :** Etalonnage des thermocouples

T(c) référence	0	13	27	37	46	61	80
T1	2.5	15.5	29.5	39.5	48.5	63.5	82.5
T2	2.5	15.5	29.5	39.5	48.5	63.5	82.5
T3	2.5	15.5	29.5	39.5	48.5	63.5	82.5
T4	1.3	14.3	28.3	38.3	47.3	62.3	81.3
T5	1.8	14.8	28.8	38.8	47.8	62.8	81.8
T6	3.3	16.3	30.3	40.3	49.3	64.3	83.3
T7	3	16	30	40	49	64	83
T8	2.5	15.5	29.5	39.5	48.5	63.5	82.5

#### IV.7.1.2 Acquisitions des données

Un enregistreur de type Fluke Hydra Series est utilisé pour l'acquisition des données. Il permet la lecture des différentes températures à savoir : les températures

du bac absorbant, la température du vitrage, la température de l'isolant et l'éclairage solaire.Etc.

#### IV.7.1.3 Emplacement des thermocouples

**Tableau IV.3 :** Emplacement des thermocouples

T1	Bac 1
T2	Bac 3
T3	Bac 5
T4	Saumure
T5	Temperature de la serre
T6	Vitre (face interieur)
T7	Isolation
T8	Vitre (face exterieur)

#### IV.7.2. Pyranometre

La mesure de l'éclairage global incident sur la surface de notre distillateur est effectuée à l'aide d'un Pyranometre Ce dernier est fixé sur un support métallique installé parallèlement à la surface de la vitre, et par conséquent, il a la même inclinaison que notre capteur.



**Figure IV.4 :** Pyranomètre.

### IV.7.3. Anémomètre

La mesure de la vitesse du vent est effectuée par un anémomètre Amprobe.



Figure IV.5 : Anémomètre.

### IV.7.4. Traitement de l'eau

#### IV.7.4.1. Mesure du PH

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau.



Figure IV.6 : PH-mètre.

#### IV.7.4.2. Turbidité

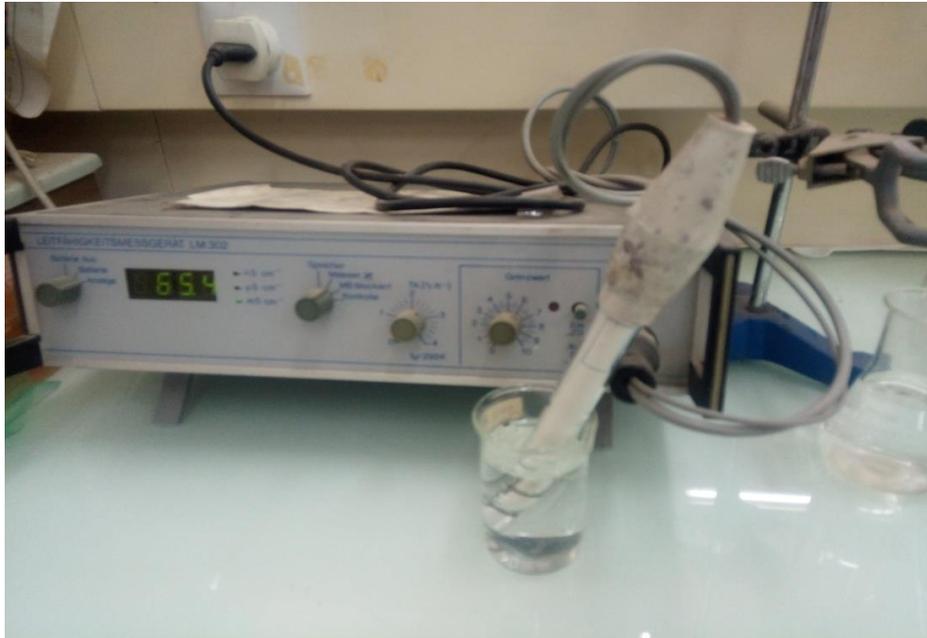
Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques).



Figure IV.7 : Turbidimètre.

### IV.7.4.3. Mesure de la conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement.



**Figure IV.8 :** Conductimètre.

## IV.8. Tests expérimentaux

Dans nos expériences nous avons utilisé différentes concentrations de la saumure pour voir son influence sur la production.

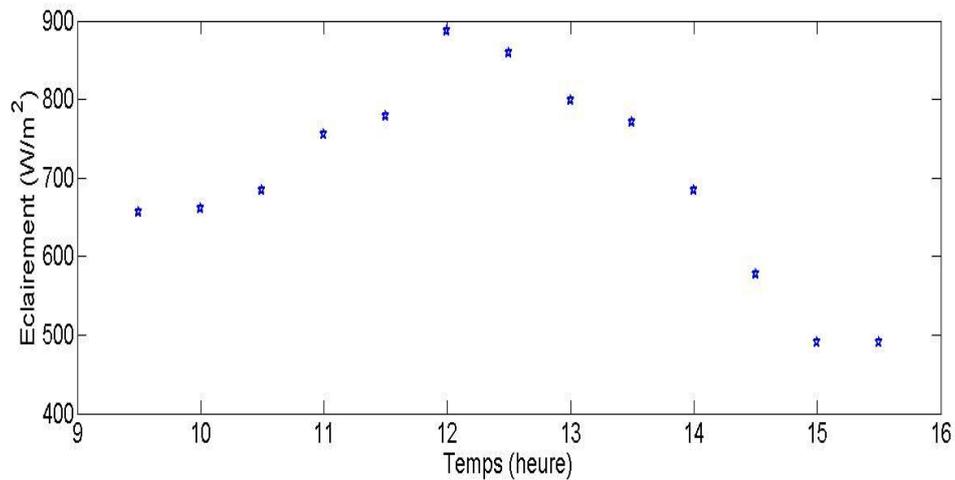
### IV.8.1 Test 1 29/05/2019

Nous avons utilisé l'eau de robinet dans la saumure ayant les caractéristiques physico-chimiques suivantes :

**Tableau IV.4 :** Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de robinet

	PH	Conductivité	Salinité	Turbidité
Avant le test	8.42	1.33 ms/cm	0.8 g/l	2.1 NTU
Après le test	6.83	1.21ms/cm	0.71 g/l	1.5 NTU

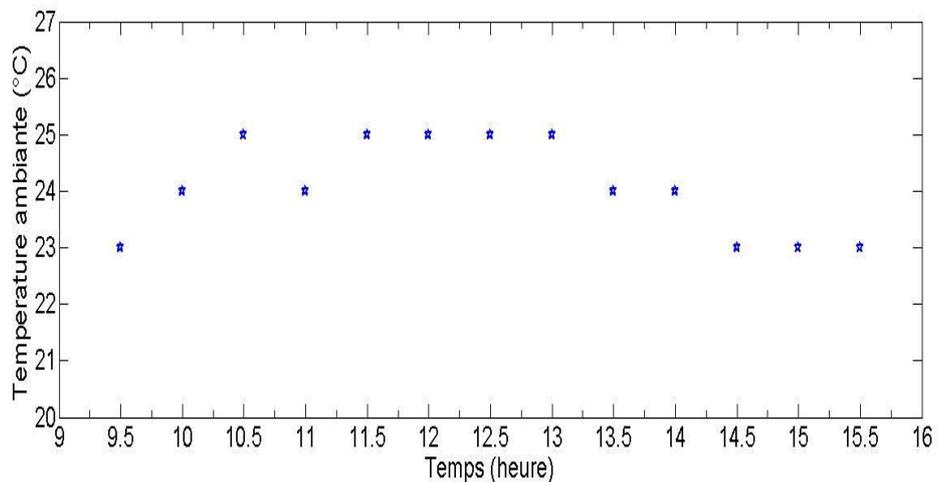
#### IV.8.1.1 Évolution de l'irradiation solaire



**Figure IV.9 :** Evolution de l'irradiation solaire.

La figure IV.9 représente l'évolution de l'intensité du rayonnement solaire en fonction du temps pendant la période de l'expérience. On observe une augmentation de  $600w/m^2$  à 09.30h jusqu'à environ  $900w/m^2$  à 12h qui est la valeur maximale puis elle commence à diminuer avec le temps jusqu'à l'arrivée à la valeur la plus basse à 15.00h qui est de l'ordre de  $480w/m^2$ .

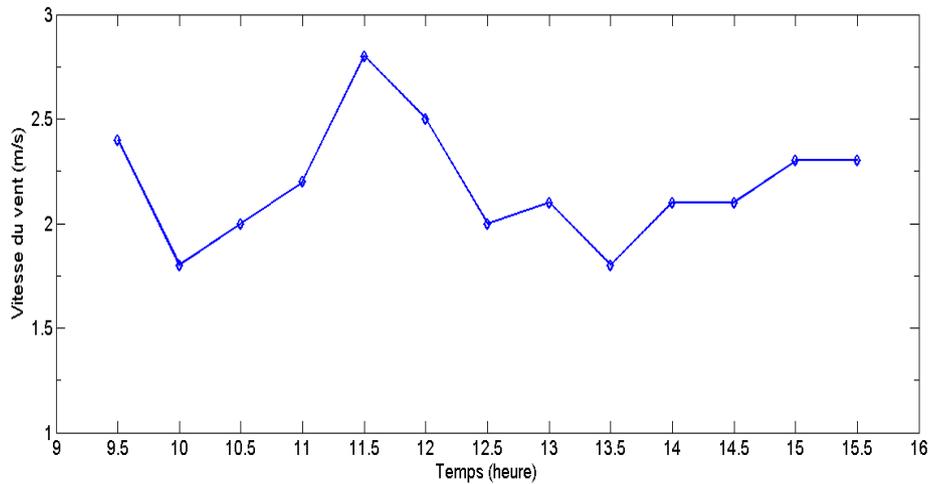
#### IV.8.1.2 Évolution de la température ambiante



**Figure IV.10 :** Evolution de la température ambiante.

La figure VI.10 représente l'évolution de la température ambiante en fonction du temps, on voit que la température ambiante varie entre deux valeurs 23  $^{\circ}C$  (température maximale) et 25  $^{\circ}C$  (température minimale).

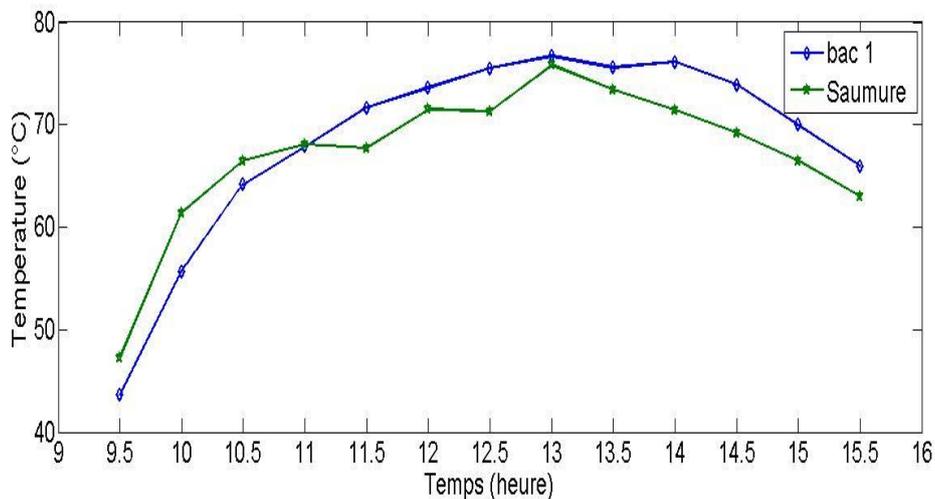
### IV.8.1.3 Variation de la vitesse du vent



**Figure IV.11** : Evolution de la vitesse du vent.

La figure IV.11 représente l'évolution de la vitesse du vent en fonction du temps, on voit que la vitesse du vent est instable avec le temps, elle varie d'une manière aléatoire entre 1.5m/s et 2.9 m/s.

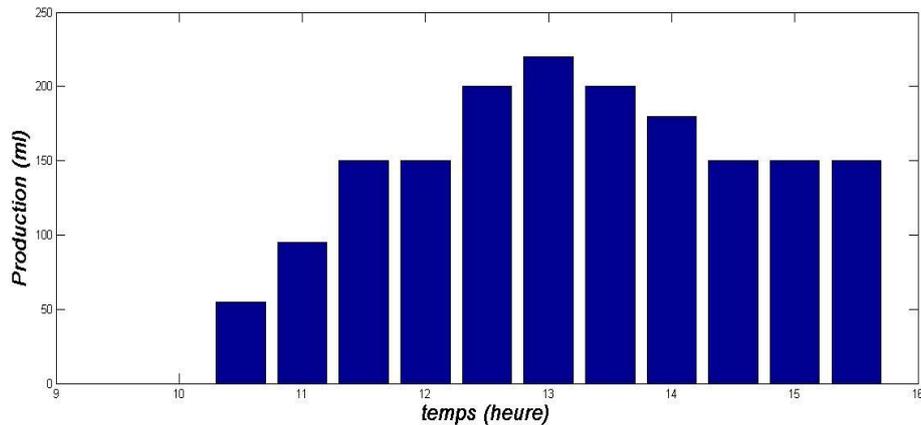
### IV.8.1.4 Evolution de la température du bac et de la saumure



**Figure IV.12** : Comparaison entre la température de la saumure et le bac absorbant.

La figure IV.12 représente la comparaison entre la température de la saumure et celle du bac, elle montre que les températures de la saumure et du bac absorbant évoluent de la même manière et qu'au début de l'expérience la température de la saumure est supérieure de celle du bac et à partir de 11.00h la température du bac devient supérieure à cause de l'inertie et l'isolation thermique.

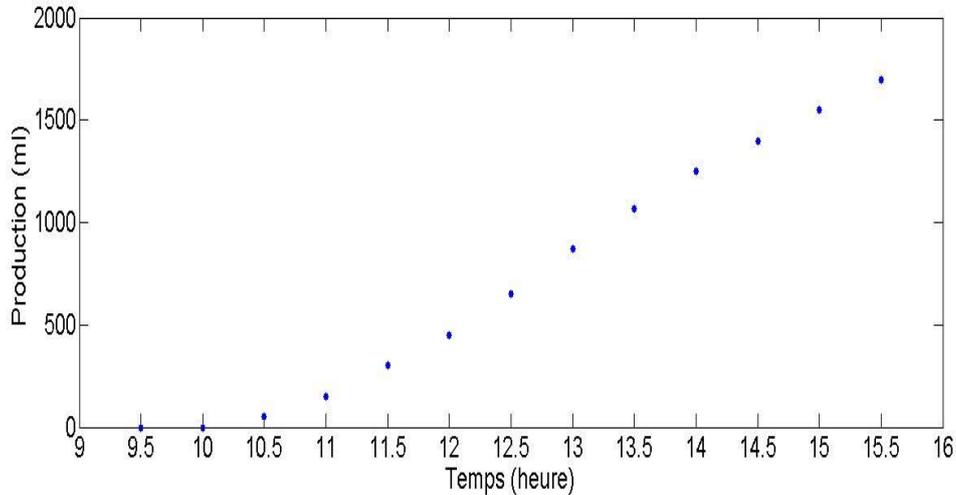
#### IV.8.1.5 Variation temporelle de la production du distillat



**Figure IV.13 :** Variation temporelle de la production.

La figure IV.13 représente l'histogramme de la variation de la production qui est mesurée chaque 30 minute. D'après l'histogramme on observe que la quantité de l'eau produite est faible au début puis elle augmente pour atteindre 220ml à 13.00h, de 14.00h à 15.30h la quantité produite de chaque demi heure est presque la même.

#### IV.8.1.6 Production cumulé



**Figure IV.14 :** Production cumulé.

La figure IV.14 représente la production cumulé de l'eau distillée, on observe que pendant les premiers trente minutes de l'expérience le distillateur ne produise pas et à 10.00h les premières gouttelettes commencent à apparaître peu à peu, apres cela la production augmente avec le temps et on obtient à la fin de la journée une quantité de 1700 ml d'eau distillée.

## IV.8.2 Test 2 30/05/2019

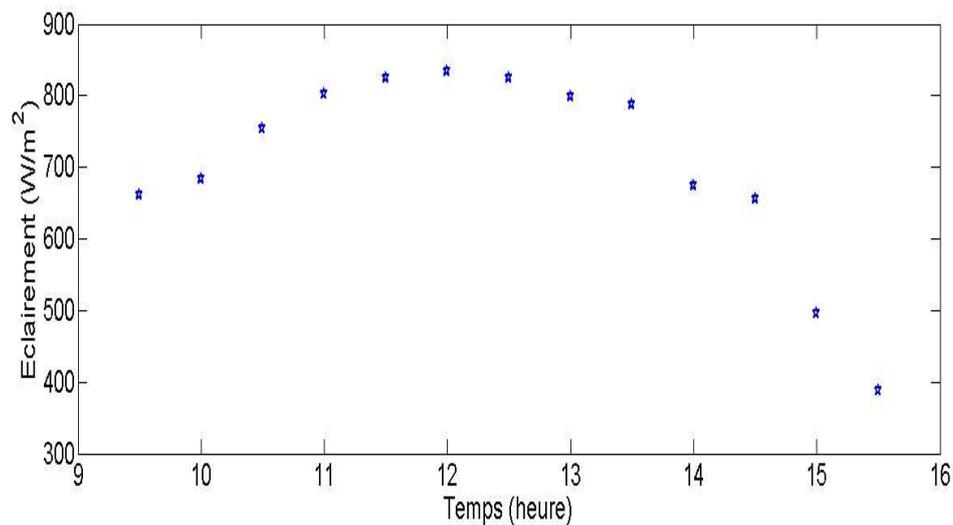
La saumure est un mélange de 90% l'eau de robinet et 10% l'eau de mer.

Les caractéristiques physico-chimiques sont :

**Tableau IV.5 :** Caractéristiques physico-chimiques du mélange 90% l'eau de robinet, 10% l'eau de mer

	PH	Conductivité	Salinité	Turbidité
Avant le test	8.10	9.71 ms/cm	5.6 g/l	3.00 NTU
Après le test	7.25	123.3 $\mu$ s/cm	0.15 g/l	2.1NTU

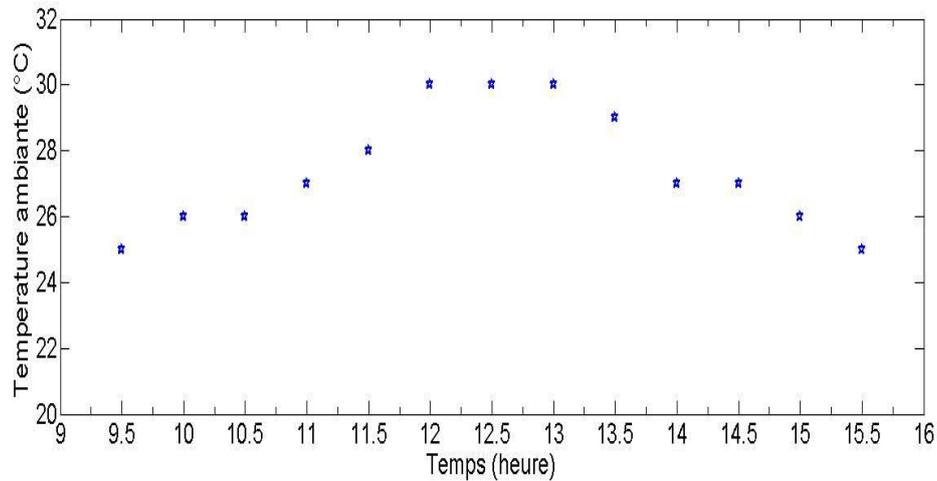
## IV.8.2.1 Évolution de l'irradiation solaire



**Figure IV.15 :** Evolution de l'irradiation solaire.

D'après la figure IV.15 on voit que l'intensité du rayonnement solaire augmente avec le temps jusqu'à l'atteinte de sa valeur maximale ( $890 w/m^0$ ) à 12.30h comme la première journée puis elle va diminuer pour atteindre sa plus basse valeur ( $400w/m^2$ ) à 15.30h.

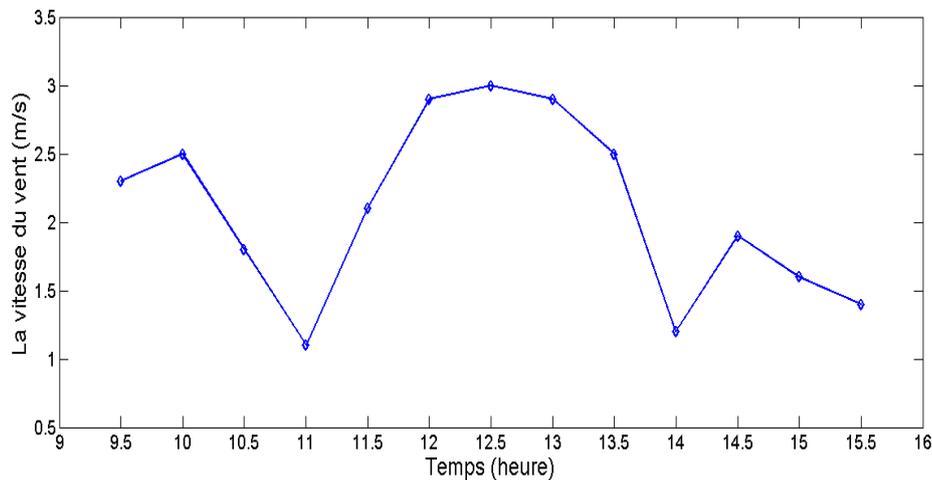
### IV.8.2.2 Évolution de la température ambiante



**Figure IV.16 :** Variation de la température ambiante.

La figure IV.16 montre que la température ambiante augmente légèrement de 25 °C le matin jusqu'à l'arrivée à sa valeur maximale 30 °C entre 12.00h et 13.00 puis elle diminue jusqu'à 25 °C à la fin de l'expérience.

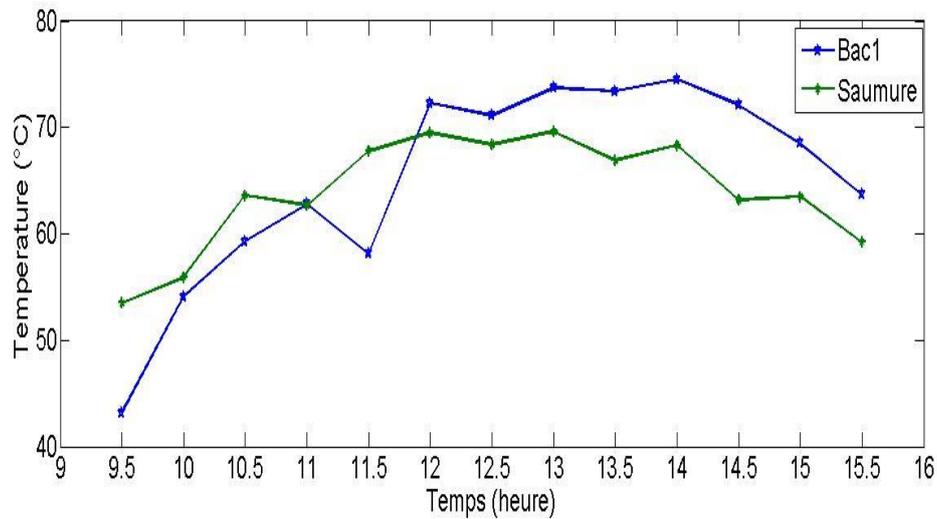
### IV.8.2.3 Variation de la vitesse du vent



**Figure IV.17 :** Variation de la vitesse du vent.

D'après la figure IV.17 on voit que la vitesse du vent est toujours connue par son instabilité, elle varie entre 1m/s et 3m/s.

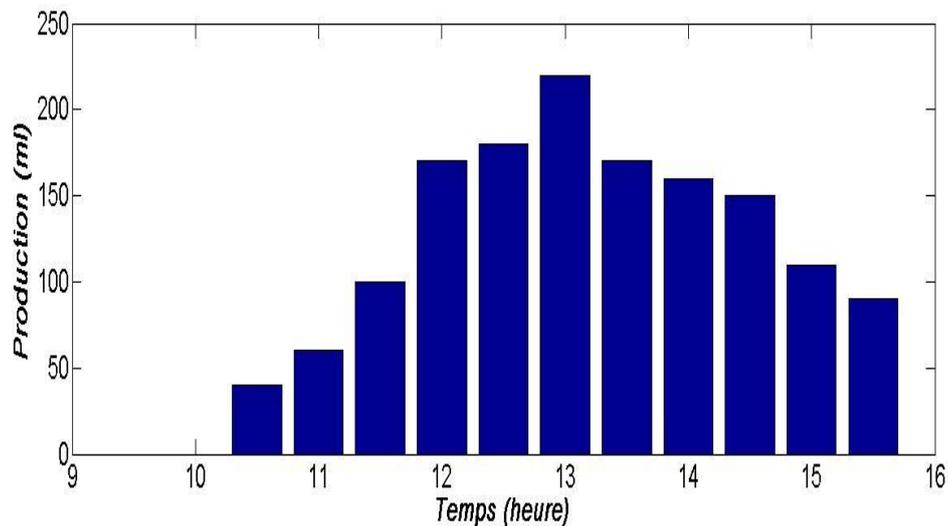
## IV.8.2.4 Évolution de la température du bac et de la saumure



**Figure IV.18 :** Comparaison entre de la température de la saumure et le bac absorbant

La figure IV.18 montre que la courbe représentant l'évolution de la température de la saumure est au-dessus de celle du bac absorbant jusqu'à 11.00h ou se trouvent confondus mais à partir du midi, la courbe du bac sera supérieure avec un écart de température d'environ 6 °C.

## IV.8.2.5 Variation temporelle de la production du distillat



**Figure IV.19 :** Variation temporelle de la production.

L'histogramme de la figure IV.19 montre que la production augmente avec le temps et la quantité de l'eau produite la plus importante se trouve à 13.00 après cela la production diminué.

## IV.8.2.6 Production cumulé

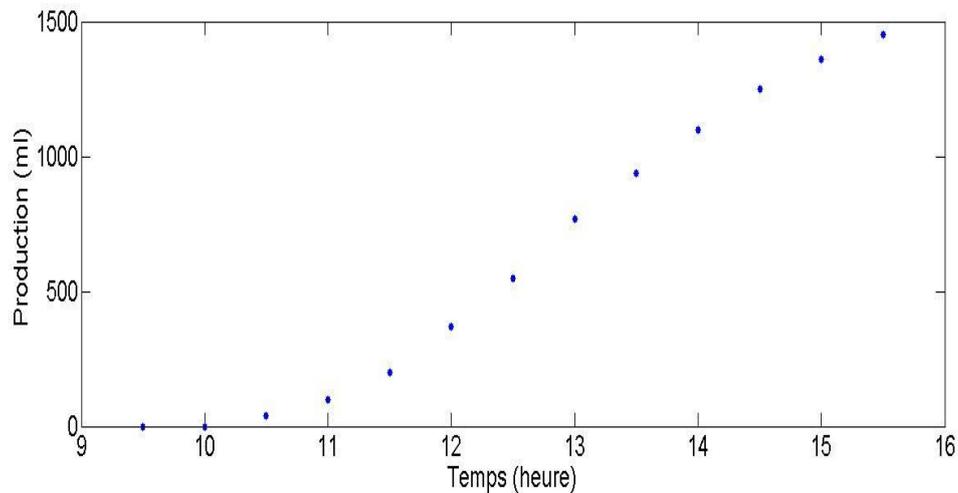


Figure IV.20 : Production cumulé.

On observe d'après la figure IV.20 que la production se commence après 30 minutes de fonctionnement puis elle s'augmente en fonction du temps, et à la fin de la journée elle s'arrive à 1450 ml d'eau distillé cumulé.

## IV.8.3 Test 3 02/06/2019

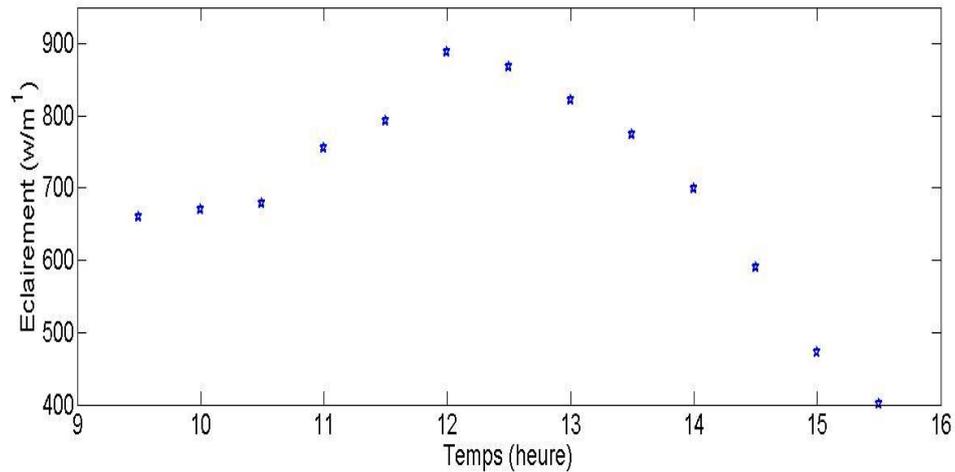
La saumure est un mélange 50% l'eau de robinet 50% l'eau de mer.

Les caractéristiques physico-chimiques sont :

**Tableau IV.6 :** Caractéristiques physico-chimiques du mélange 50% l'eau de robinet 50% l'eau de mer

	PH	Conductivité	Salinité	Turbidité
Avant la test	7.98	34.1 ms/cm	21.5 g/l	2.6 NTU
Après le test	7.7	623 $\mu$ s/cm	0.33 g/l	1.5NTU

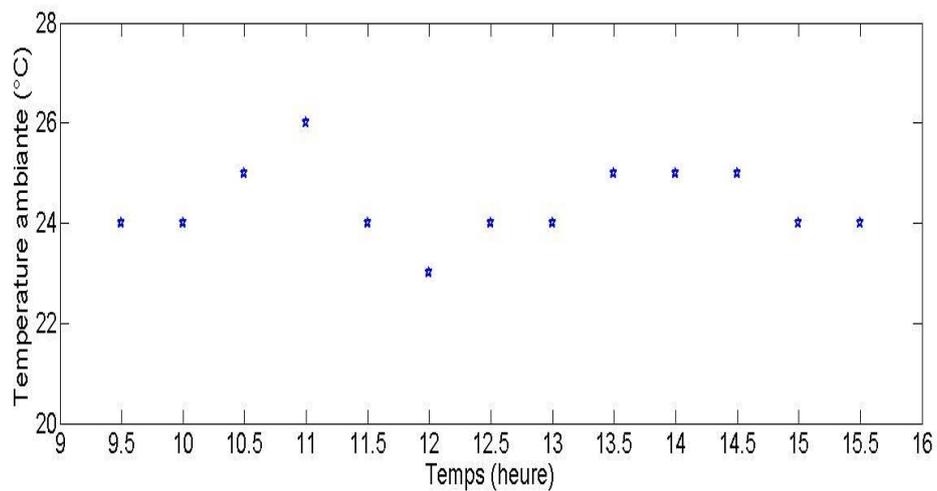
### IV.8.3.1 Évolution de l'irradiation solaire



**Figure IV.21 :** Evolution de l'irradiation solaire.

La figure VI.21 illustre que l'intensité du rayonnement solaire change d'une manière croissante le matin jusqu'à 12.00h où se trouve la valeur maximale (900w/m<sup>2</sup>) puis elle se commence à décroître jusqu'à l'atteinte de 400w/m<sup>2</sup>.

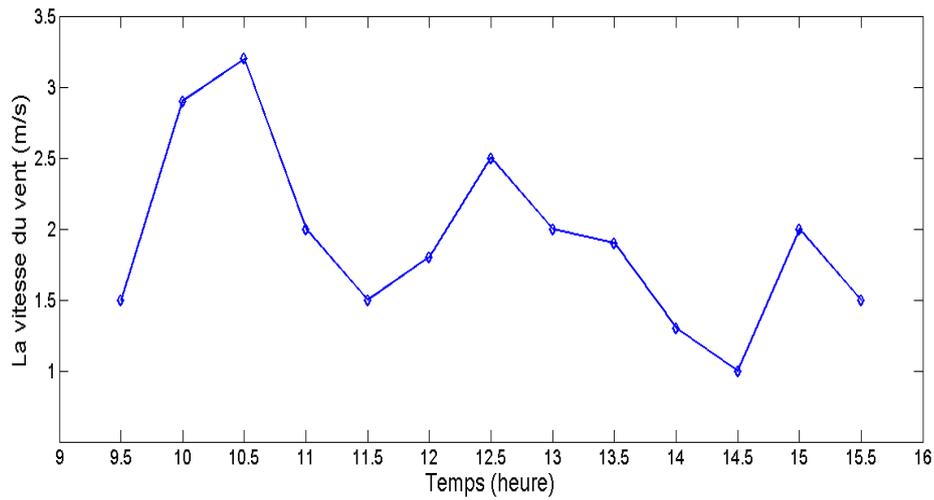
### IV.8.3.2 Évolution de la température ambiante



**Figure IV.22 :** Variation de la température ambiante.

La figure IV.22 montre que la température n'est pas constante avec le temps elle connaît un peu de fluctuation entre 23 °C et 26 °C.

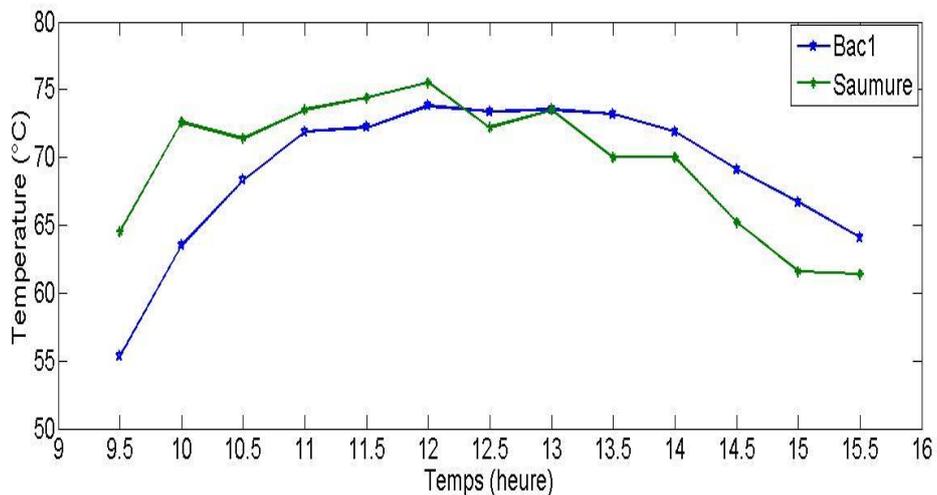
## IV.8.3.3 Variation de la vitesse du vent



**Figure IV.23 :** Variation de la vitesse du vent.

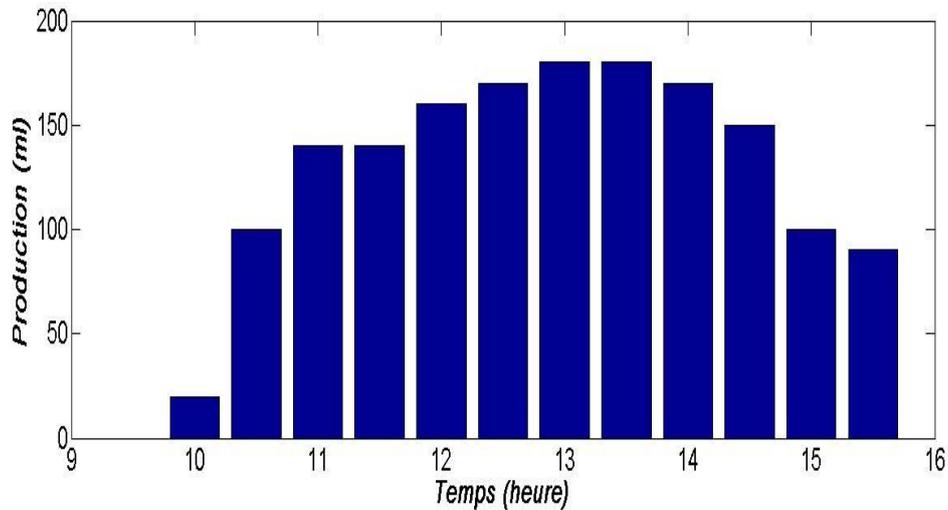
La figure VI.23 montre que la vitesse du vent change d'une manière aléatoire entre 1m/s et 3.5m/s, elle prend la valeur maximale a 10.30h et la valeur minimale à 14.30h.

## IV.8.3.4 Évolution de la température du bac et de la saumure



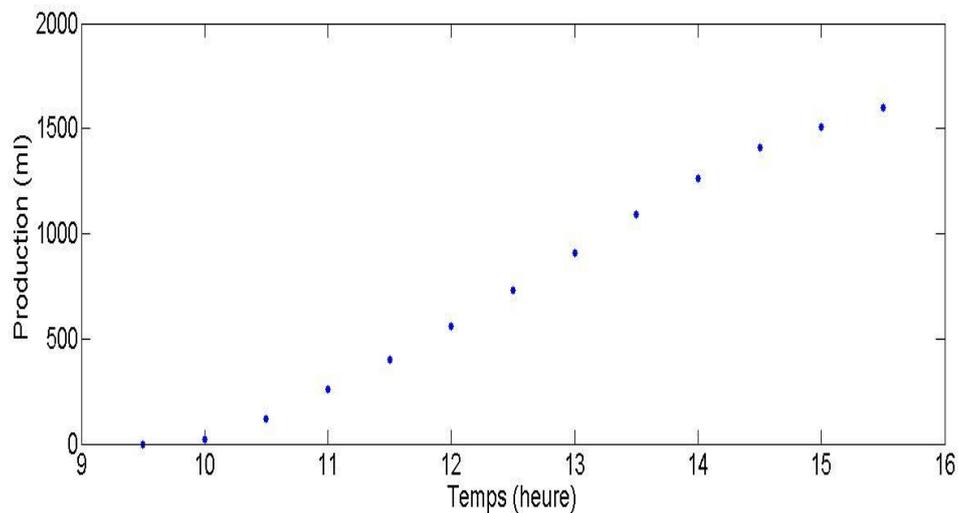
**Figure IV.24 :** Comparaison entre la température de la saumure et de la vitre.

On voit d'après la figure IV.24 que la température de la saumure est plus élevée que celle de du bac et partir de 12.00h elle connaît des chutes brusque et sera inférieure a celle du bac jusqu'à la fin de la journée.

**IV.8.3.5 Variation temporelle de la production du distillat**

**Figure IV.25 :** Variation temporelle de la production.

D'après l'histogramme de la figure IV.25 on voit que la production est trop faible au début puis elle commence à augmenter puis elle décline, les valeurs maximales se trouvent entre 12.30h et 13.00h qui est de l'ordre de 180ml.

**IV.8.3.6 Production cumulée**

**Figure IV.26 :** Production cumulée.

On observe d'après la figure que la production commence à 10.00h et continue son augmentation avec le temps jusqu'à 1450 ml à la fin de l'expérience.

## IV.8.4 Test 4 03/06/2019

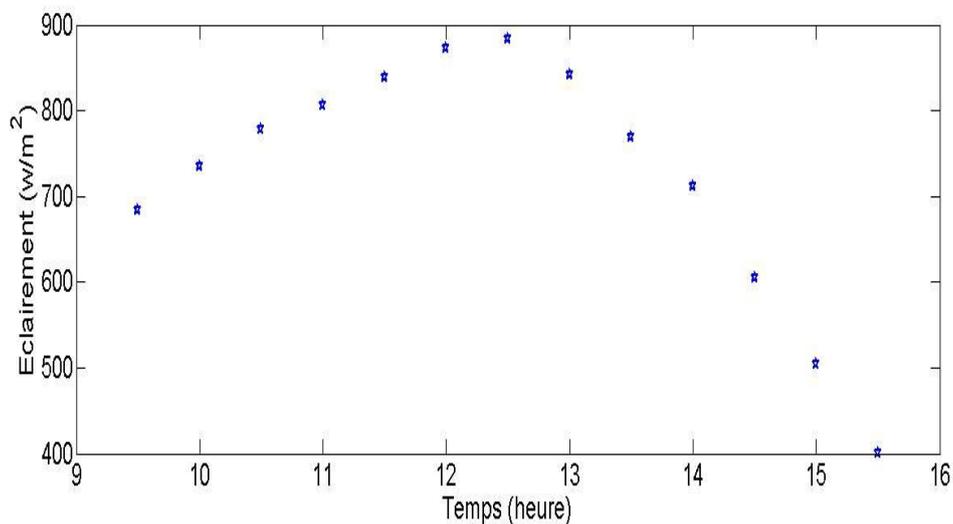
La saumure est un mélange 10% l'eau de robinet et 90% l'eau de mer.

Les caractéristiques physico-chimiques sont :

**Tableau IV.7 :** Caractéristiques physico-chimiques du mélange 10% l'eau de robinet  
90% l'eau de mer

	PH	Conductivité	Salinité	Turbidité
Avant le test	7.98	58.4 ms/cm	36.9 g/l	2.4 NTU
Après le test	7.5	610 $\mu$ s/cm	0.10 g/l	1.3NTU

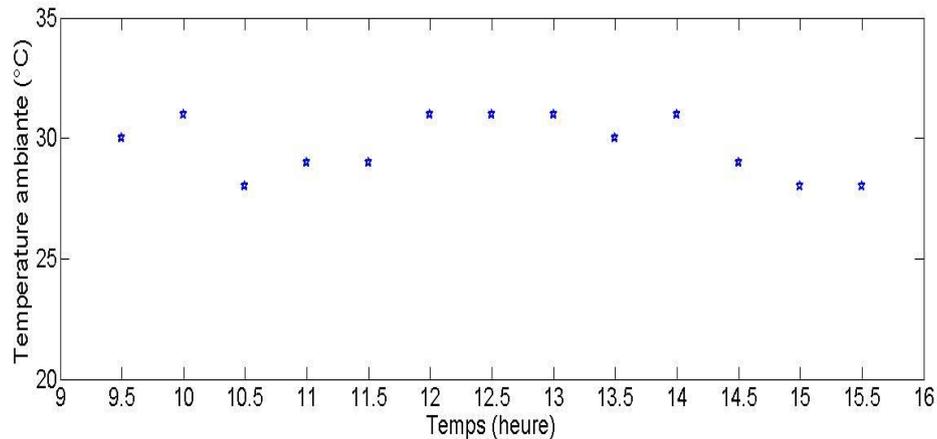
## IV.8.4.1 Évolution de l'irradiation solaire



**Figure IV.27 :** Evolution de l'irradiation solaire.

On voit d'après la figure IV.27 que l'intensité du rayonnement solaire est 650 w/m<sup>2</sup> au début puis il s'augmente jusqu'à 840 w/m<sup>2</sup> à 12.00h et après ce moment se commence a diminuer jusqu'à 400w/m<sup>2</sup> à la fin de journée.

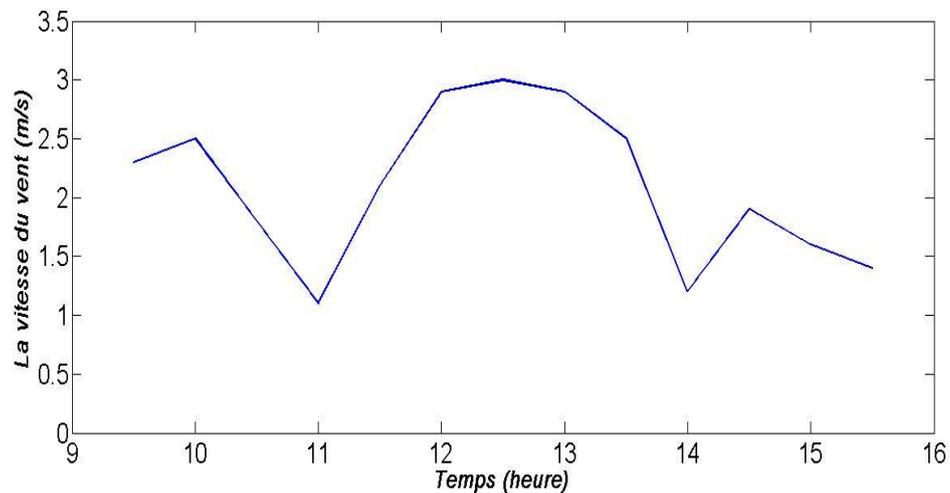
#### IV.8.4.2 Évolution de la température ambiante



**Figure IV.28 :** Variation de la température ambiante.

Le graphe de la figure VI.28 montre que la température dans ce jour est aussi instable mais elle prend des valeurs un peu plus élevées que les autres jours des expériences, elle varie entre 28 °C et 31 °C ce sont des valeurs supérieures que les autres jours, elle atteint sa valeur maximale entre 12.00h et 13.00h.

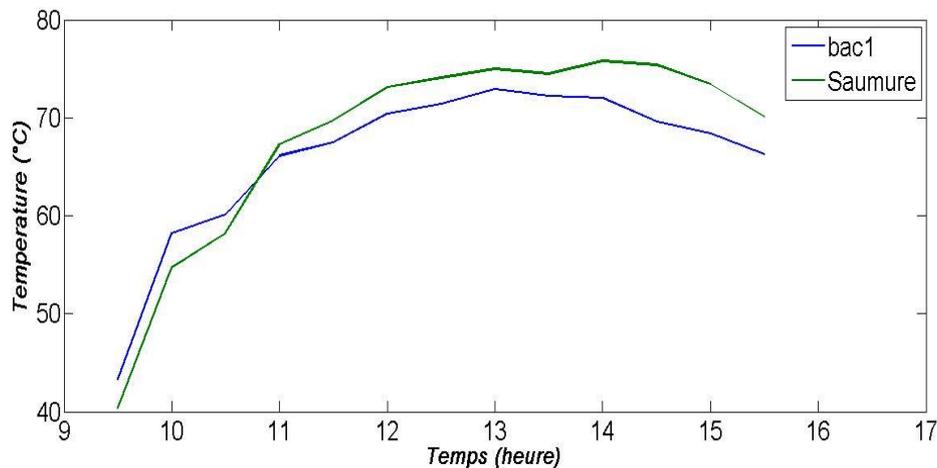
#### IV.8.4.3 Variation de la vitesse du vent



**Figure IV.29 :** Variation de la vitesse du vent.

La figure IV.29 montre que la vitesse du vent est toujours instable, elle descend jusqu'à 1 m/s et monte jusqu'à 3 m/s.

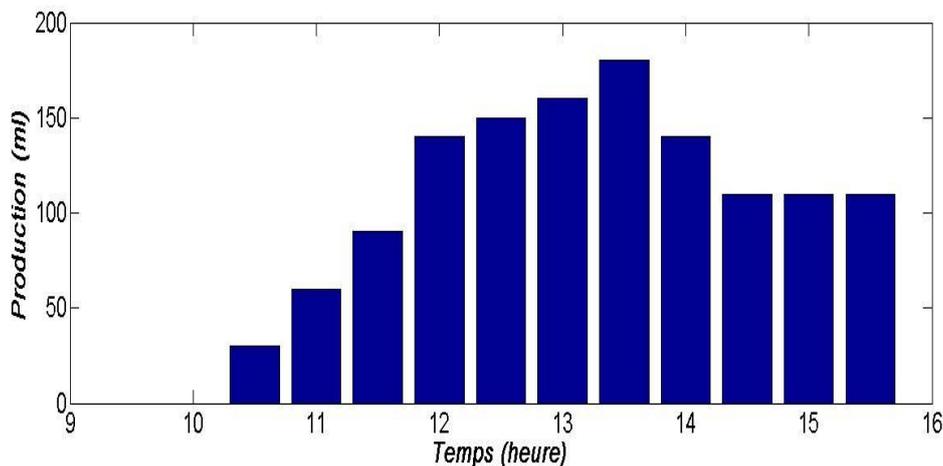
## IV.8.4.4 Évolution de la température du bac et de la saumure



**Figure IV.30 :** Comparaison entre la température de la saumure et le bac absorbant.

On observe d'après la figure IV.30 que la température du bac et celle de la saumure s'évaluent de la même manière, de 09.30h jusqu'à 11.00h la température du bac est plus élevée que la température de la saumure après cela se trouve un point d'intersection ou la température du bac sera inférieure jusqu'à la fin de l'expérience.

## IV.8.4.5 Variation temporelle de la production du distillat



**Figure IV.31 :** Variation temporelle de la production.

D'après l'histogramme de la figure IV.31 on observe que la production cumulée par intervalle du temps est faible au début puis elle augmente au fur et à mesure, on enregistre la quantité produite maximale entre 13.00 et 13.30 et après cela la quantité sera diminuer.

## IV.8.4.6 Production cumulée

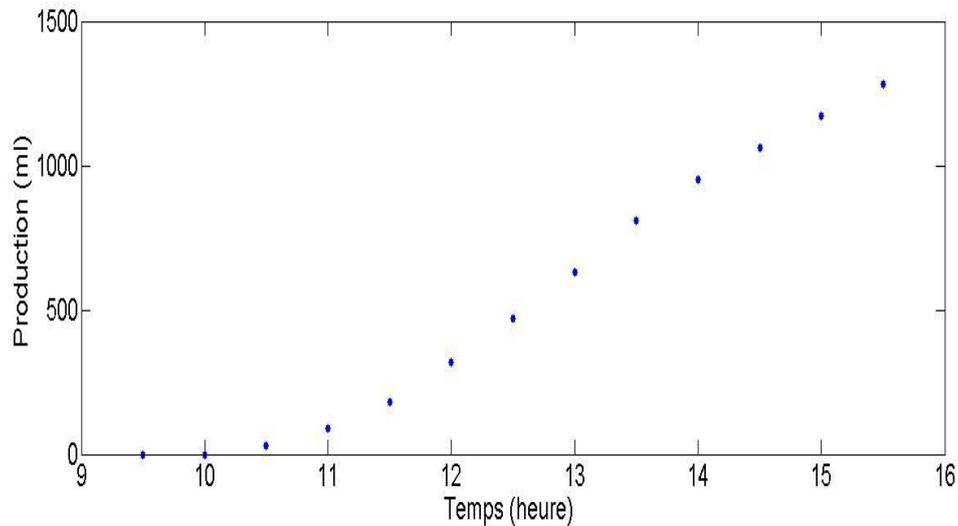


Figure IV.32 : Production cumulée.

La figure IV.32 montre que la production est toujours nulle dans les premiers 30 minutes, se commence à partir de 10.00 jusqu'à l'arrivé dans la fin de journée à une production cumulé de 1450 ml.

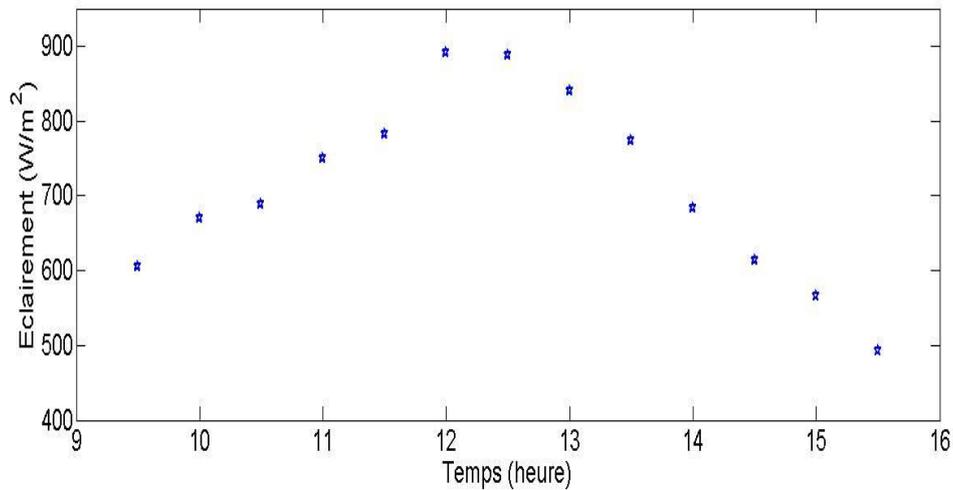
## IV.8.5 Test 5 06/06/2019

Nous avons utilisé l'eau de mer dans cette expérience ayant les caractéristiques physico-chimiques suivantes :

Tableau IV.8 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer

	PH	Conductivité	Salinité	Turbidité
Avant le test	7.46	63.1 ms/cm	39.9 g/l	3.5 NTU
Après le test	6.23	107 $\mu$ m/cm	0.05 g/l	2.4 NTU

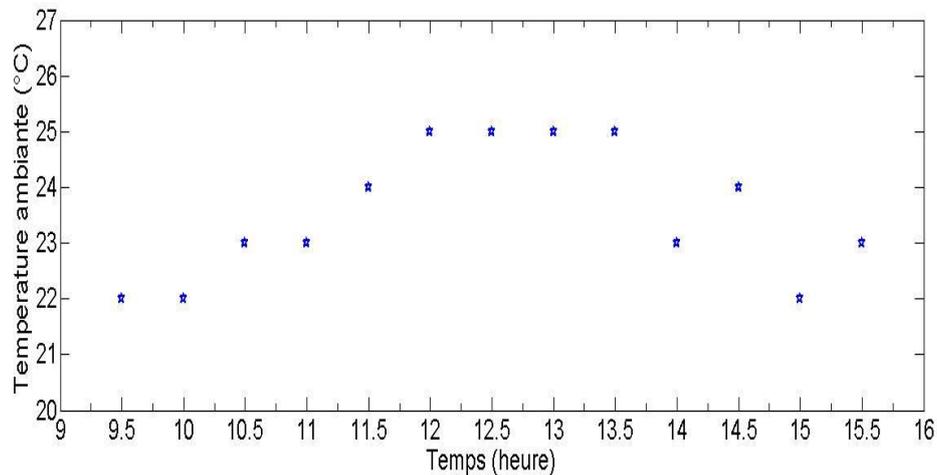
#### IV.8.5.1 Évolution de l'irradiation solaire



**Figure IV.33 :** Evolution de l'irradiation solaire en fonction du temps.

D'après la figure IV.33 on observe que l'intensité du rayonnement solaire s'augmente avec le temps de 600 w/m<sup>2</sup> à 09.30h jusqu'au voisinage de 900 w/m<sup>2</sup> entre 12.00h et 12.30h puis se commence à décroître l'après midi jusqu'à sa valeur minimale qui est de l'ordre de 500 w/m<sup>2</sup> à 15.30h.

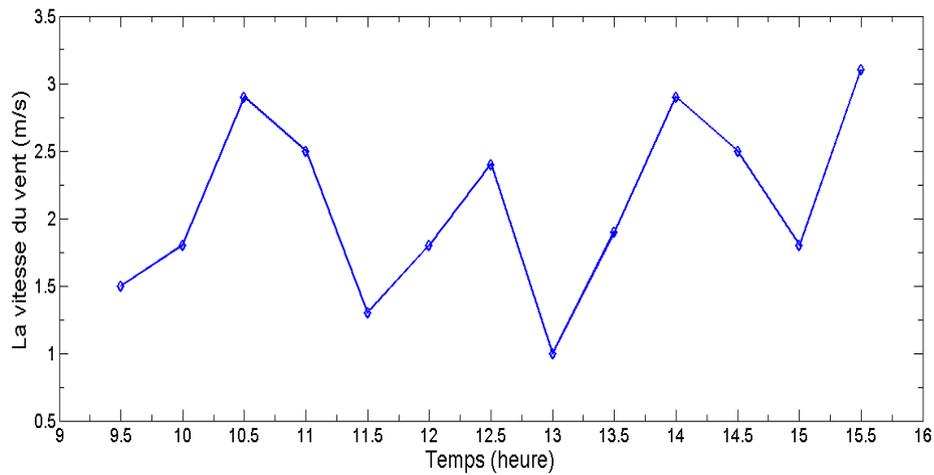
#### IV.8.5.2 Évolution de la température ambiante



**Figure IV.34 :** Variation de la température ambiante en fonction du temps.

La figure IV.34 montre que la température ambiante s'augmente peu à peu puis elle stabilise pendant un certain temps à 25 °C qui est la valeur maximale puis elle diminue avec des petites fluctuations.

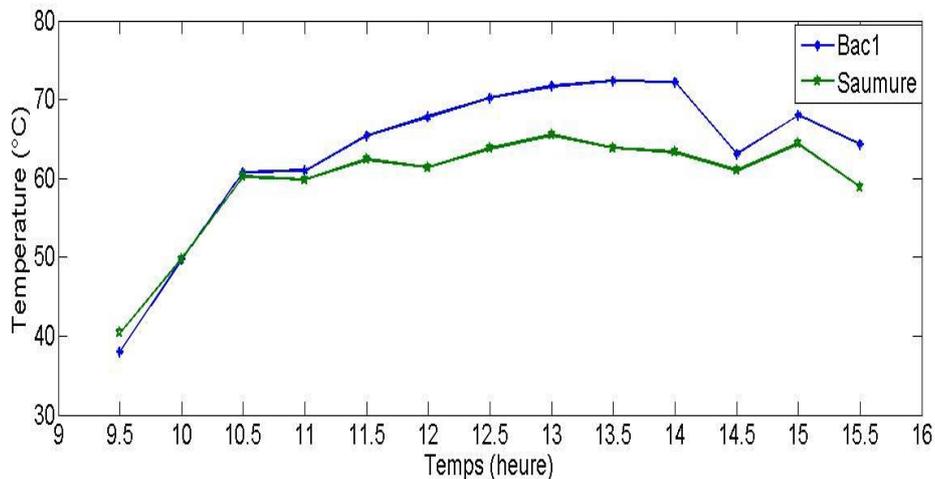
## IV.8.5.3 Variation de la vitesse du vent



**Figure IV.35 :** Variation de la vitesse du vent en fonction du temps.

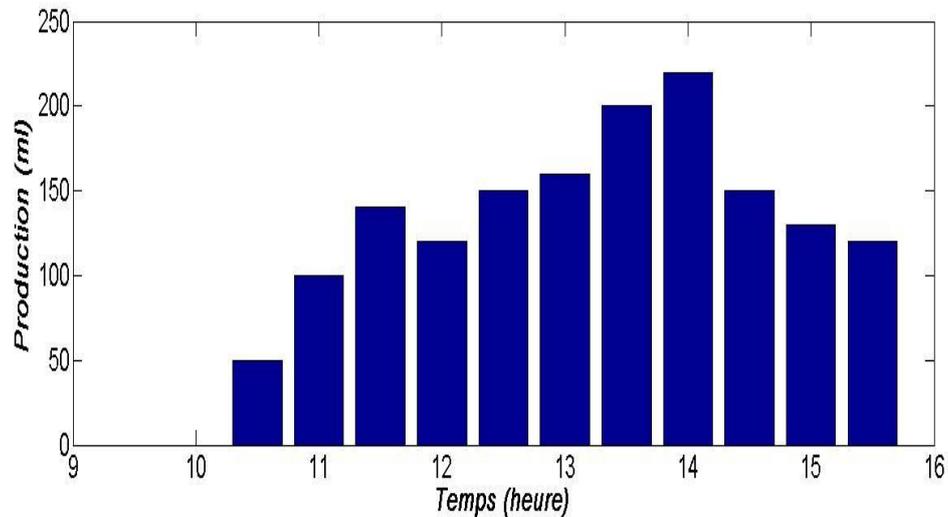
D'après la figure IV.35 on voit que la vitesse du vent ne stabilise pas à une valeur précise, elle change brusquement et aléatoirement entre 1m/s et 3m/s.

## IV.8.5.4 Évolution de la température du bac et de la saumure



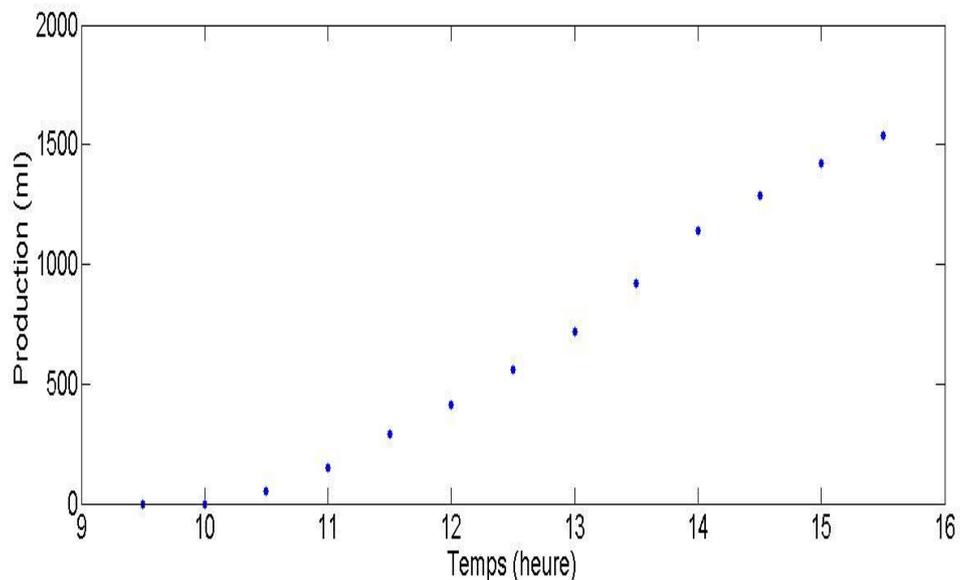
**Figure IV.36 :** Comparaison entre la température de la saumure et du bac.

La figure IV.36 montre que les deux courbes ont la même allure, ils sont presque confondus de 09.30 jusqu'à 10.30 puis la courbe qui représente la température du bac prend des valeurs supérieures de celle de la saumure et cela demeure jusqu'à la fin de l'expérience.

**IV.8.5.5 variation temporelle de la production du distillat**

**Figure IV.37 :** Variation temporelle de la production.

L'histogramme de la figure IV.37 montre que la production devient importante au fil du temps mais entre 12.00h et 12.30 connaît une baisse puis elle reprend son augmentation ou on détecte la valeur maximale entre 13.30h et 14.00h puis elle diminue peu à peu.

**IV.8.5.6 Production cumulée**

**Figure IV.38 :** Production cumulée.

La quantité produite se comporte comme les autres jours, se commence à partir de 10.00h, la quantité cumulée à la fin de la journée est 1540 ml.

## IV.8.6 Test 6 08/06/2019

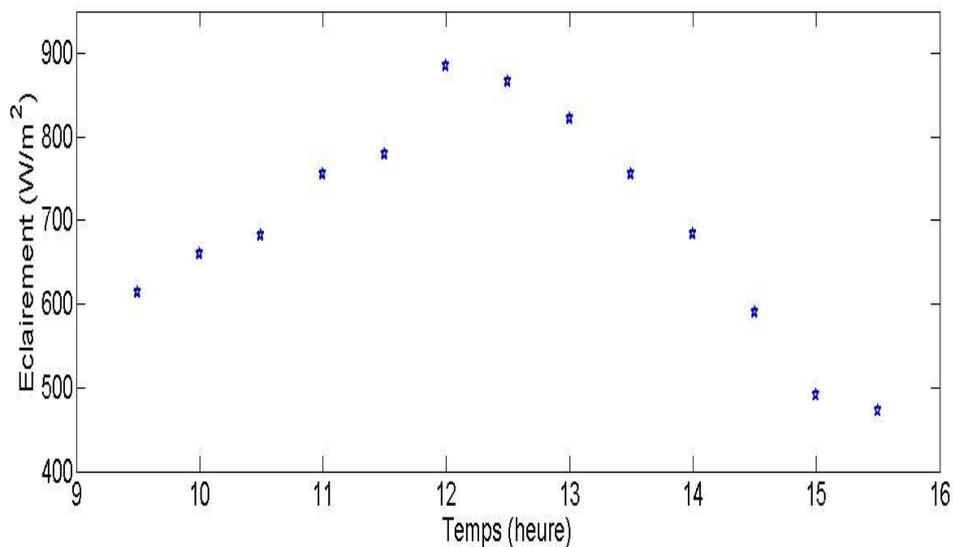
Dans cette expérience nous avons rajouté 40 grammes du sel à l'eau de mer.

Les caractéristiques physico-chimiques sont :

**Tableau IV.9** : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer +40grammes Na Oh

	PH	Conductivité	Salinité	Turbidité
Avant le test	8.08	67.1ms/cm	76.7 g/l	1.6 NTU
Après le test	6.15	216 $\mu$ s/cm	0.03 g/l	1.9 NTU

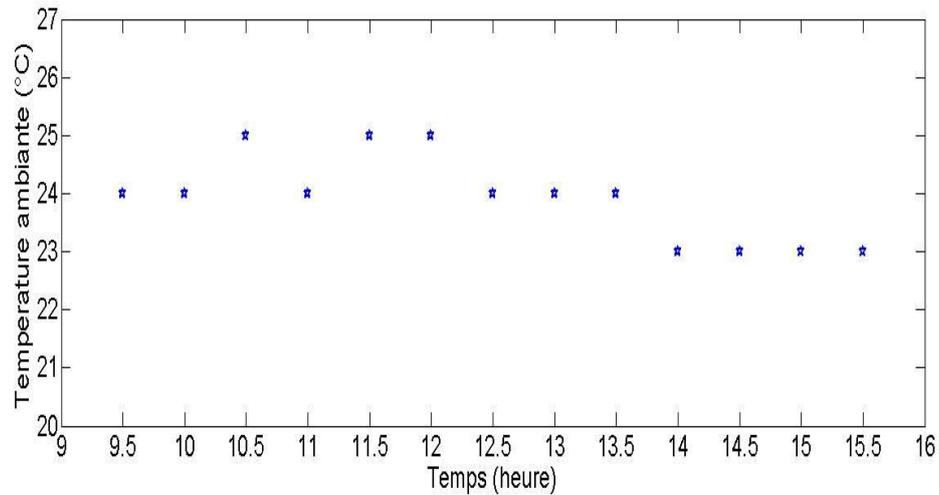
## IV.8.6.1 Évolution de l'irradiation solaire



**Figure IV.39** : Evolution de l'irradiation solaire en fonction du temps.

La figure IV.39 montre que l'intensité du rayonnement solaire augmente avec le temps et atteint sa valeur maximale ( $890 w/m^2$ ) à 12.00h puis elle décroît jusqu'à  $500w/m^2$  15.00h et dans la dernière 30 minutes, elle s'arrive à une valeur très basse à cause d'un passage nuageux.

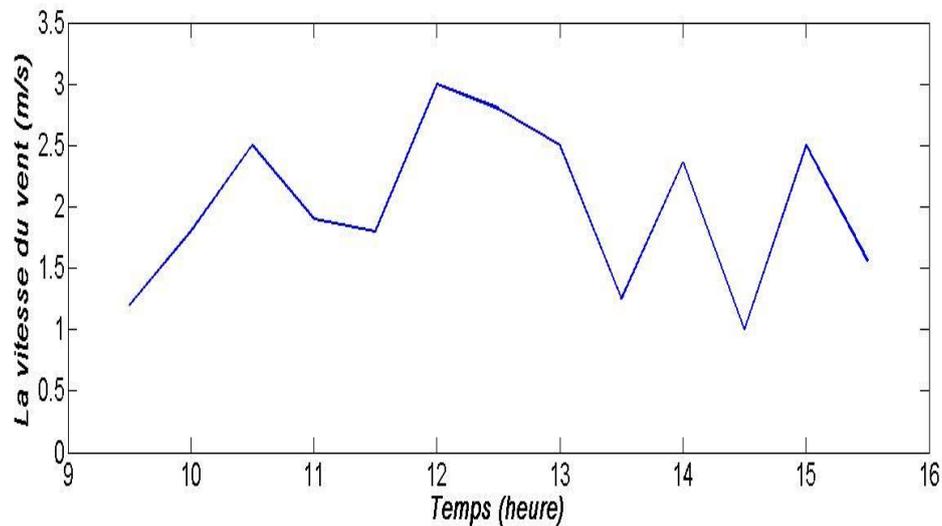
#### IV.8.6.2 Évolution de la température ambiante



**Figure IV.40 :** Variation de la température ambiante en fonction du temps.

D'après la figure IV.40 on remarque que la température ambiante se comporte comme les autres jours, elle varie entre 23 °C et 25 °C.

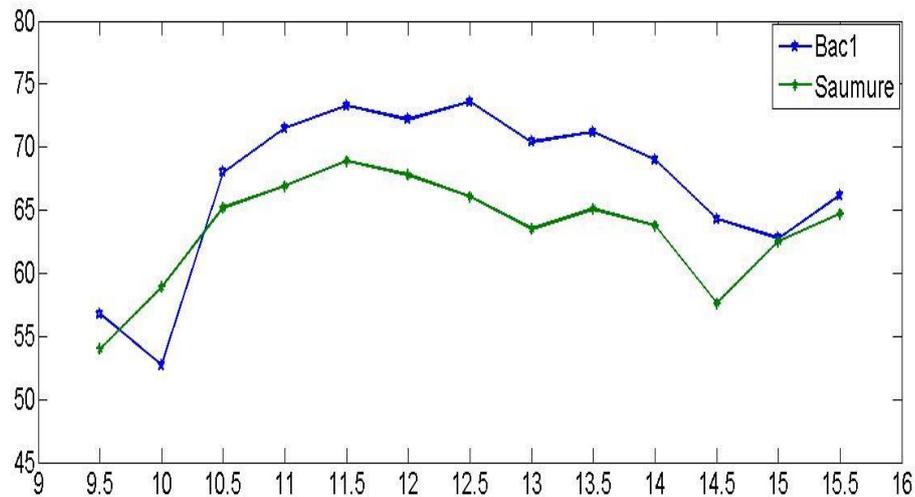
#### IV.8.6.3 Variation de la vitesse du vent



**Figure IV.41 :** Variation de la vitesse du vent en fonction du temps.

La figure montre IV.41 que la vitesse du vent se comporte aléatoirement comme les jours précédents, elle varie entre 1.2 m/s et 3 m/s.

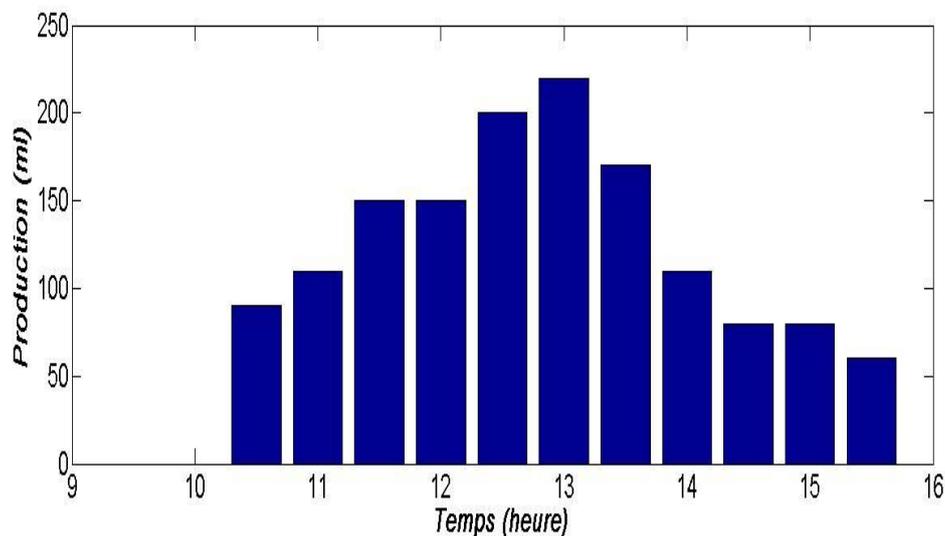
## IV.8.6.4 Évolution de la température du bac et de la saumure



**Figure IV.42 :** Comparaison entre la température de la saumure et du bac.

On observe d'après la figure IV.42 qu'au long de l'expérience la température du bac est plus élevée que celle de la saumure.

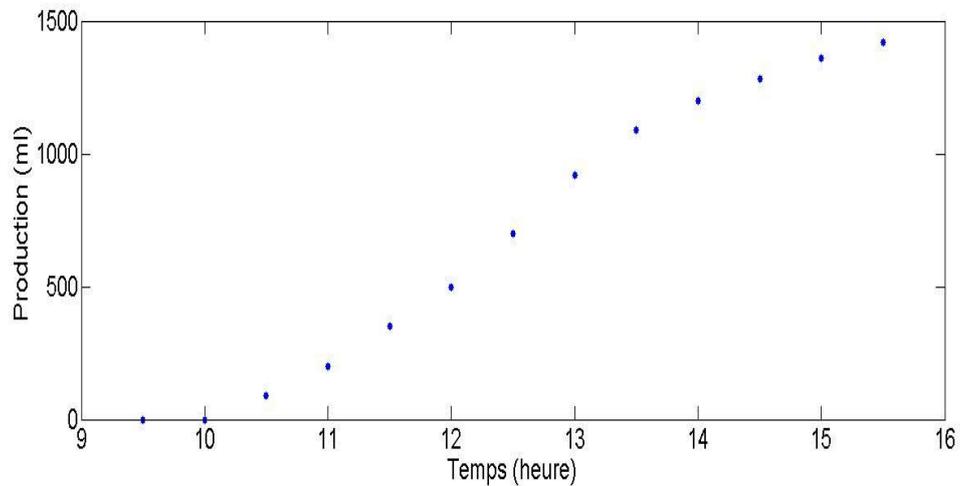
## IV.8.6.5 Variation temporelle de la production du distillat



**Figure IV.43 :** Variation temporelle de la production.

La figure IV.43 montre que la production est moins importante au début de l'expérience puis elle devient plus en plus importante au fur et à mesure, la quantité produite la plus importante se trouve entre 13.00h et 13.00 et après cela elle diminue.

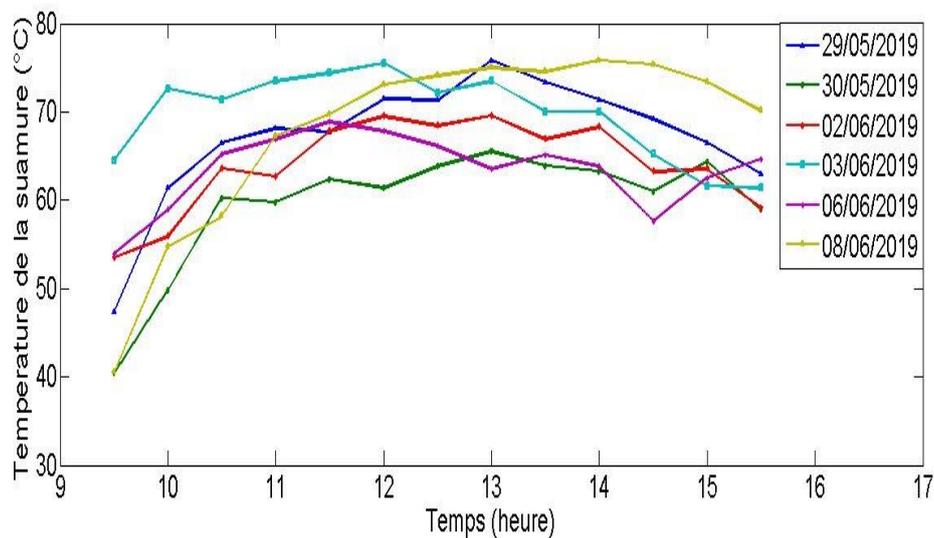
## IV.8.6.6 Production cumulée



**Figure IV.44 :** Production cumulée.

D'après la figure IV.44 on voit que la production se commence à partir de 10.00, et la quantité d'eau distillée cumulée à la fin de journée est 1420 ml.

## IV.9.7 Influence de la salinité sur les températures de la saumure et du bac et la production cumulée



**Figure IV.45 :** Influence de la salinité sur la température de la saumure.

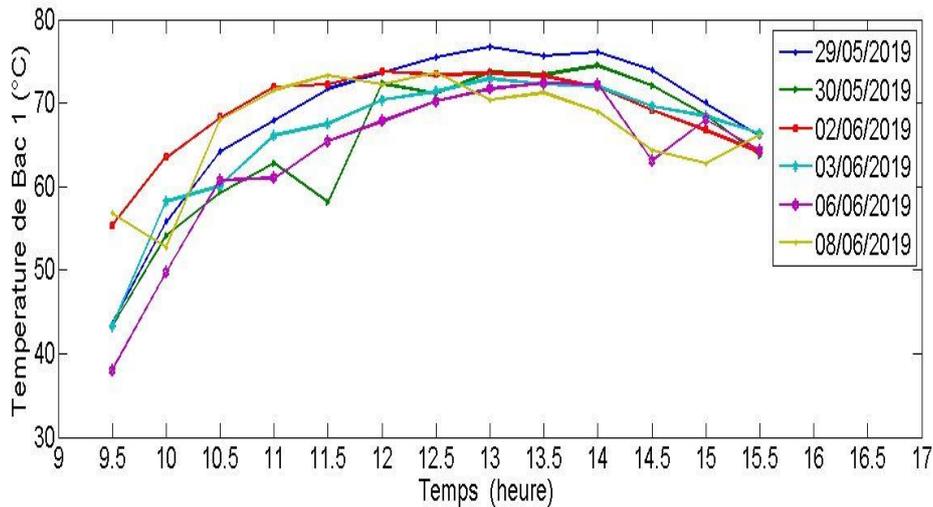


Figure IV.45 : Influence de la salinité sur la température du bac.

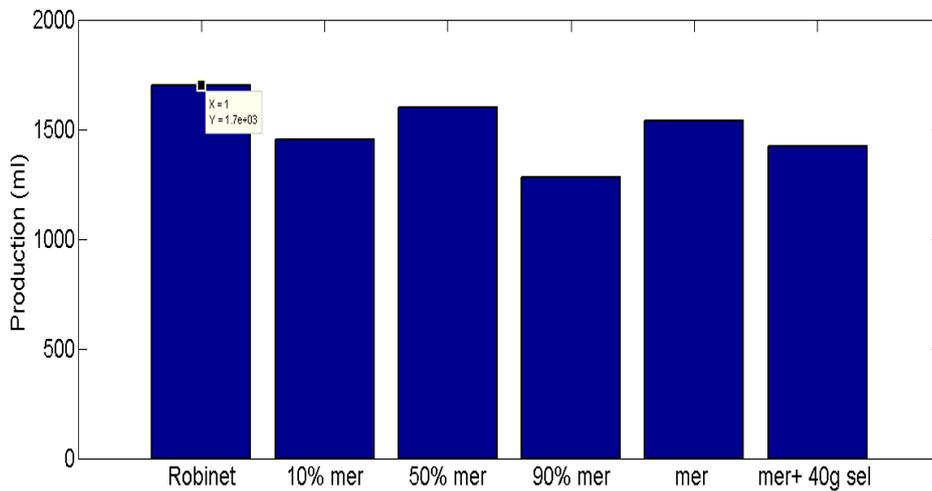


Figure IV.46 : Production cumulée pour différentes salinité.

Les courbes des figures (IV.44) et (IV.45) représentent les évolutions de la température de la saumure et du bac absorbant pour différents taux de salinité. On constate qu'elles ont les mêmes allures, par contre la figure (IV.46) montre que la production de l'eau distillée diminue légèrement avec l'augmentation de la salinité sauf pour les deux jours des expériences qu'on a utilisé des mélanges de (10% L'eau de mer et 90% l'eau de mer). On a obtenu des quantités moins importantes, et cela est dû aux températures élevées enregistrées.

## IV.10. Etudes paramétriques

### IV.10.1 Influence de la température de la vitre

#### IV.10.1.1 Refroidissement de la vitre extérieure par un ventilateur

Pour le refroidissement de la face extérieure de la vitre par convection forcée nous avons utilisé un ventilateur installé à une distance d'un mètre en face de la vitre.

La vitesse du ventilateur est fixée à 6m/s.



**Figure IV.45 :** Refroidissement de la face extérieure de la couverture par un ventilateur.

**Tableau IV.10** : Valeurs expérimentales obtenues par la ventilation

Temperature (°C)								
T(h)	Bac	Saumure	Vitre int	Vitre ext	Temp int	Temp ambiante	Eclairage (w/m <sup>2</sup> )	Production (ml)
09.30	49.3	58.7	48.8	43.7	55.9	25	664.15	0
10.30	63.3	68.4	53.3	48.3	64.4	25	761.32	140
11.30	64.2	66.4	51.4	44.7	61.4	26	851.88	410
12.30	67	66.7	55.6	48.3	62.1	28	844.90	810
13.30	66.3	62.5	51.1	45.3	59	28	91.50	1160
14.30	65.9	60.0	51.1	45.8ef	57.7	27	714.15	1450
15.30	59.4	56	47	42.9	52.9	25	452.83	1720

Selon le tableau Tableau IV.10 on remarque que l'écart entre la température du vitrage est la saumure varie entre 5 et 10 C et que la production cumulée a atteint 1720 ml ( la quantité la plus élevée qu'on a obtenu cela s'explique par le fait que le ventilateur augmente l'échange par convection qui provoque un refroidissement de la vitre, donc l'augmentation de la production.

#### **IV.10.2 Refroidissement de la vitre extérieure par ruissèlement de l'eau**

La 2eme technique qu'on a utilisée pour le refroidissement de la face extérieure de la vitre est le ruissèlement de l'eau, le principe consiste à faire couler une quantité de l'eau froide sur la face extérieure de la vitre, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau.

**Tableau IV.11** : Valeurs expérimentales obtenues par le ruissellement d'eau

Température (°C)								
T(h)	Bac	Saumur	Vitre int	Vitre ext	Temp int	Temp ambiante	Eclairement (w/m <sup>2</sup> )	Production (ml)
09.30	45.2	54.2	46.1	40.9	50.2	25	625.47	0
10.30	62.1	64	60.3	53	66	25	750.94	120
11.30	64.9	66.3	61.4	55.25	69.7	27	805.66	330
12.30	72.2	71.0	62.8	60	70.6	28	815.09	690
13.30	72.6	67.6	65.7	58.6	66.9	28	787.73	1090
14.30	67.3	63.58	58.2	56.3	58.2	29	521.69	1490
15.30	68.7	54.8	48.6	44.5	48.6	28	593.39	1720

Selon les résultats obtenues dans le tableau IV.11 on remarque que cette technique a aussi permet d'augmenter légèrement la production.

#### IV.10.3 Utilisation des réflecteurs d'aluminium

L'expérience consiste à placer des plaques couvertes d'aluminium aux cotés du distillateur. Le but de cette expérience est de concentrer les rayonnements solaires à l'intérieure du distillateur.



**Figure IV.46 :** Utilisation des réflecteurs.

**Tableau IV.12 :** Valeurs expérimentales obtenues par l'utilisation des réflecteurs

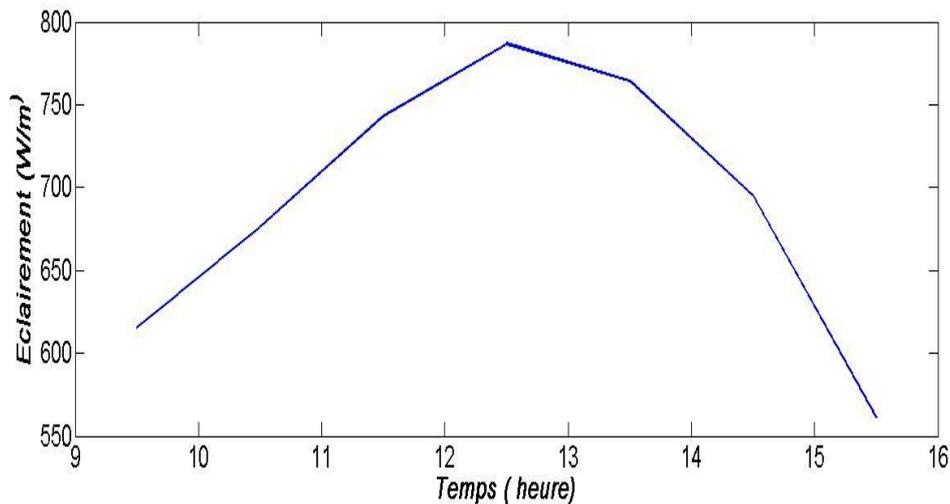
Temperature (°C)								
Temp (h)	Bac	Saumure	Vitre int	Vitre ext	Temp int	Temp ambiante	Éclairement (w/m <sup>2</sup> )	Production (ml)
09.30	40	41	36	35.25	55.2	25	336.79	0
10.30	49.8	50	40	50.2	67.1	25	363.79	30
11.30	68.1	54.3	62	71.7	75.1	26	832.07	100
12.30	75.3	60.3	70.25	79.2	80.2	28	889.62	340
13.30	76.7	59.7	70.38	77.3	79.8	28	889.62	600
14.30	75.4	56.3	63.2	69.5	76.5	27	801.88	980
15.00	75.5	57	59.57	65.3	74.4	26	751.88	1070
15.30	70.4	53.3	55.36	63.2	63.9	26	611.32	1200

Selon le tableau IV.12 on voit que les deux faces de la vitre (extérieure et intérieure) ont atteint des valeurs très élevée, cela a provoqué une diminution de la quantité d'eau condensée car la condensation augmente lorsque la température de la vitre est froide.

#### IV.10.4 Comparaison entre le distillateur à cascade et le distillateur simple à pente unique

Nous avons placé deux distillateurs solaire l'un à cascade et l'autre à pente unique avec une seule marche soumissent aux mêmes conditions climatique.

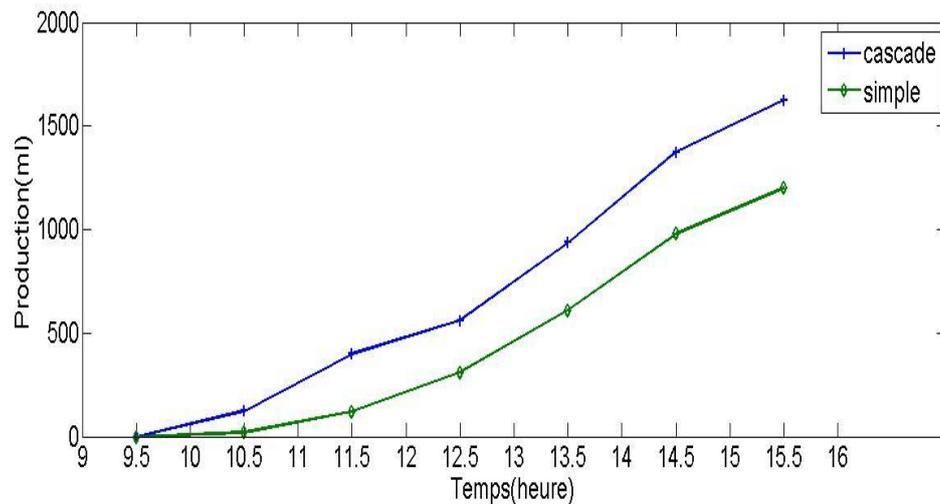
##### IV.10.4.1 Évolution de l'irradiation solaire



**Figure IV.40 :** Evolution de l'irradiation solaire.

La figure IV.40 représente l'évolution de l'irradiation solaire en fonction du temps, on observe qu'elle s'augmente avec le temps de  $6.5\text{w/m}^2$  à 09.30h pour qu'elle atteinte sa valeur maximale entre 12.00h et 13.00h qui est de l'ordre de  $8.5\text{w/m}^2$  puis elle démunie jusqu'à  $6\text{w/m}^2$  à la fin de l'expérience.

## IV.10.4.2 Production cumulée



**Figure IV.41 :** Quantité du distillat en fonction du temps.

La figure IV.41 représente l'évolution de la production en fonction du temps pour les deux distillateurs, on remarque que les deux courbes ont la même allure mais le distillateur à cascade commence la production très tôt à cause de sa faible inertie thermique et cumule à la fin de journée une quantité de distillat plus importante que celle du distillateur à pente unique.

### **Conclusion générale**

La distillation solaire est considérée comme une solution pour résoudre le problème du manque en eau potable dans les zones arides et désertique, elle est l'alternative la plus simple économiquement et elle reste le seul choix possible surtout quand les besoins en eau douce est faible.

Notre travail consiste à réaliser et expérimenter un distillateur à cascade.

L'analyse du comportement thermique du distillateur a montré les résultats suivants :

La production, la température de chaque composant dépendent d l'éclairement solaire, la température ambiante et la vitesse du vent.

La campagne de mesure de six jours sur plusieurs saumures de taux de salinité différents a montré que leur influence sur le comportement thermique et la production est minime.

Le refroidissement de la face externe de la vitre par convection forcé (utilisation d'un ventilateur avec une vitesse de 6m/s), et par ruissellement (refroidissement chaque demi-heure) a permet une augmentation de la production.

Par contre l'utilisation des réflecteurs pour concentrer l'éclairement solaire à l'intérieur du distillateur a provoqué une élévation de la température la face externe de la vitre (au voisinage de 80 °C) par conséquent une chute de la production.

La comparaison de notre distillateur avec un distillateur à pente unique et sans marche, a montré que la production est plus importante pour le distillateur à cascade durant la période de test (de 9.30h jusqu'à 15.30h).

### **Perspectives :**

Nous recommandons de compléter cette étude par une modélisation en régime transitoire des distillateurs.

Placer plusieurs distillateurs identiques dans les mêmes conditions avec des saumures différentes pour voir exactement l'influence du taux de salinité .

### Référence bibliographie

- [1] Charrouf Omar optimisation d'un système de dessalement renouvelable mémoire de magistère université Mohamed Khider Biskra.
- [2] Sellami Mohamed Hassen, étude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérienne (Ouargla), thèse de doctorat, université Kasdi Merbah Ouargla.
- [3] M. Zeroual, H. Bouguettaia, D. Bechki, S. Boughali, B. Bouchekima and H. Mahcene; Experimental investigation on a double-slope solar still with partially cooled condenser in the region of Ouargla (Algeria). Energy Procedia, Vol. 6 (2011) pp 736-742.
- [4] Fahima, Gestion et valorisation des ressources en eau, cas de la daïra de Kherrata, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2016.
- [5] A. Maurel ; Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Edition Lavoisier Paris.2001.
- [6] The World Bank-Bank-Netherlands Water Partnership, Seawater and Brackish Water Desalination in the Middle East, North Africa and Central Asia, Final report Annex 1; Algeria DHV Water BV Amersfoort (2004).
- [7] Claude Delorme, Rayonnement solaire utilisable gisement solaire, Université Avignon France, 1987.
- [8] Nafila Smakdji. Optimisation et amélioration et modélisation d'un distillateur solaire à ailettes avec stockage de chaleur, thèse de doctorat, université Mentouri Constantine 1.
- [9] Alain Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnelles d'approvisionnement en eau douce, Edition : Technique et Documentation, Paris(2001).
- [10] Mandi Benaïssa, « analyse thermo énergétique d'un procédé de dessalement d'eau de mer par voie solaire ». (Université Tlemcen Aboubeker Belkaid 2012/2013).
- [11] Malik, M.A.S ; TIWIRI, G ; KUMAR, S et SLDHA, MS. Solar distillation. Oxford, Pergamon Press (1982).

## Référence bibliographique

---

- [12] Sotehi Oualid , étude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire ,mémoire de magistère, université Mentouri Constantine.
- [13] Maurel A., Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : Et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Tec & Doc Lavoisier 2006.
- [14] D. Bechki, Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes, thèse de doctorat en science, université de Batna, 2011.
- [15] A. Chaker, G. Menguy, Efficacité interne d'un distillateur solaire sphérique. energ.ren, 2001.
- [16] H. Ouahid, Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pre- chauffage solaire de l'eau saumatre, mémoire de magister, université Frère Mentouri Constantine 1, 2010.
- [17] Rahmani Rym Rendement d'un distillateur solaire à plusieurs étages effet de certain paramètre thermophysique sur le rendement, thèse magister université mentouri Constantine (2007).
- [18] S. M. Hassen, Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérienne, thèse de doctorat, universite Kasdi Marbah Ouargla, 2014
- [19] J. Bernard, Génie énergétique, Energie solaire, calculs et optimisation, Ellipes édition marketing, 2004.
- [20] Zaidi halima, étude et optimisation des paramètres thermophysique en vue l'amélioration de la performance d'un distillateur solaire, thèse hkmagister, université mentouri 2006.
- [21] Trad Abderachid, étude de deux distillateurs solaires symétriques et asymétriques a effet de serre, mémoire de doctorat, université de mentouri Constantine 2014.
- [22] Tabet Ismail, étude d'un distillateur solaire à cascade, mémoire de magistere, université Mentouri Constantine 2010.