

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE HADJ LAKHDAR – BATNA



MEMOIRE

Présenté au

Laboratoire de Physique Energétique Appliquée

Faculté des Sciences – Département science de la matière

Pour obtenir le diplôme de

MAGISTERE EN PHYSIQUE

Option : Physique Energétique

Par

ZEROUALI MEKKI

Thème

CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DES PERFORMANCES D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE

Soutenu le 19 /12/ 2012, devant le jury composé de :

BOUGOUL	SAADI	Pr., Univ. Batna	Président
BOUGUETTAIA	HAMZA	Pr., Univ. D'ouargla	Examineur
AGOUDJIL	BOUJAMAE	Dr, Univ. Batna	Examineur
BENMOUSSA	HOCINE	Pr., Univ. Batna	Rapporteur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2011 / 2012

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma mère ;

Mon père ;

Mes frères ;

Mes sœurs ;

Tous mes amis et collègues ;

Tous ceux qui me sont chers ;

Zerouali Mekki.

Remerciements

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

Le travail qui a fait l'objet de ce mémoire a été réalisé au laboratoire de Physique Energétique de l'université de Batna, sous la direction de Monsieur

M.ZEROUAL Maitre de conférences au département de physique.

Je tiens à la remercier pour le sujet de recherche qui a proposé et lui exprimer mon profonde reconnaissance pour toute son aide scientifique, sa disponibilité, ses conseils, sa gentillesse et surtout l'intérêt qu' a porté à mon travail et l'attention toute particulière accordée à la lecture et à la correction de ce mémoire.

*Je remercie également Monsieur **BOUGOUL SAADI**, professeur à l'université de Batna, pour avoir accepté de présider le jury.*

*Je tiens également à exprimer mes remerciements à Monsieur **BOUGUETTAIA HAMZA**, professeur, **BENMOUSSA HOCINE**, professeur Monsieur **AGOUDJIL BOUJAMAE**, Maitre de conférence, de m'avoir fait l'honneur de participer à mon jury de thèse.*

Mes remerciements les plus vifs vont aux tous enseignants du département du physique et mécanique de l'université de Batna

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
m_i	<i>La masse de l'élément i</i>	<i>kg</i>
C_p	<i>La chaleur massique à pression constante</i>	<i>KJ/kg.k</i>
I_G	<i>Le rayonnement solaire global</i>	<i>w/m²</i>
I_D	<i>Le rayonnement solaire direct</i>	<i>w/m²</i>
I_d	<i>Le rayonnement solaire diffus</i>	<i>w/m²</i>
Gr	<i>Nombre de Grashoff</i>	-
Pr	<i>Nombre de Prandtl</i>	-
Nu	<i>Nombre de Nuselt</i>	
T	<i>Température</i>	<i>K</i>
M_c	<i>Débit de condensat</i>	<i>Kg/s</i>
$h_{f,g}$	<i>La chaleur latente de vaporisation</i>	<i>kj/kg.K</i>
h^{ev}	<i>Le coefficient d'échange thermique par évaporation</i>	<i>w/m².K</i>
A_b	<i>Surface du bac absorbant</i>	<i>m²</i>
U_b	<i>résistance thermique</i>	<i>m².k/w</i>
q_{pert}	<i>Les pertes thermique à traverse le bac absorbant</i>	<i>w</i>
P_v	<i>Puissance absorbé par la vitre</i>	<i>w</i>
P_e	<i>Puissance absorbé par le film d'eau</i>	<i>w</i>
P_b	<i>Puissance absorbé par le bac absorbant</i>	<i>w</i>
q	<i>Flux de chaleur</i>	<i>w</i>
q^r	<i>Flux de chaleur échangé par rayonnement</i>	<i>w</i>
q^c	<i>Flux de chaleur échangé par convection</i>	<i>w</i>
q^{ev}	<i>Flux de chaleur échangé par évaporation</i>	<i>w</i>
q_{v-a}	<i>Flux de chaleur échangé entre la vitre et le milieu ambiant</i>	<i>w</i>
q_{e-v}	<i>Le flux de chaleur échangé entre le film d'eau et la vitre</i>	<i>w</i>
q_{b-e}	<i>Le flux de chaleur échangé entre le bac et le film d'eau</i>	<i>w</i>
t	<i>Temps</i>	<i>s</i>
R_D	<i>Coefficient de réflectivité</i>	
T_D	<i>Coefficient de transmission</i>	-
T_r	<i>coefficient de transmission dû à la réflexion</i>	-
T_a	<i>coefficient de transmission dû à l'absorption</i>	-
k_v	<i>Coefficient d'extinction de verre</i>	<i>m⁻¹</i>
L	<i>Longueur caractéristique de la surface absorbante</i>	<i>m</i>
e_v	<i>Epaisseur de la vitre</i>	<i>m</i>
n_1	<i>Indice de réfraction absolue du milieu traversé par le rayon incident</i>	-

Nomenclature

n_1	Indice de réfraction absolue du milieu traversé par le rayon réfracté	-
B_e	Coefficient de dilatation thermique de l'eau	k^{-1}
n	Constante numérique	-
c	Constante numérique	-
λ_e	Conductivité thermique d'eau	w/m.k
v	Vitesse	m/s
a	Coefficient de trouble atmosphérique	-
b	Coefficient de trouble atmosphérique	-
h	L'hauteur du soleil	°
I_0	La constante solaire	w/m ²
I_c	La valeur corrigée de la constante solaire	w/m ²

LETTRES GRECQUES

Symbol <i>e</i>	Désignation	Unité
α	Coefficient d'absorption	-
β	L'angle d'inclinaison	°
ε	Emissivité	-
ω	L'angle horaire	°
μ	Viscosité dynamique	Kg/m.s
ν	Viscosité cinématique	m ² /s
σ_1	La constante de Stefan-Boltzmann	5.67* 10 ⁸ w/m ² .k ⁴
σ	Déclinaison	°
φ_1	Le flux diffus émit par la voûte céleste	
φ_2	Le flux émis par le sol	w/m ²
τ_{dir}	La transmissivité totale de la couche atmosphérique	-
ρ	Albédo	-
φ	latitude	

Nomenclature

Indices

<i>Indice</i>	<i>Désignation</i>
<i>i</i>	<i>Interne</i>
<i>v</i>	<i>vitre</i>
<i>e</i>	<i>Eau –évaporation</i>
<i>a</i>	<i>Air</i>
<i>d</i>	<i>Diffus</i>
<i>D</i>	<i>Direct</i>
<i>b</i>	<i>Le bac absorbant</i>
<i>ci</i>	<i>Convection coté intérieur</i>
<i>ri</i>	<i>Rayonnement coté intérieur</i>
<i>ca</i>	<i>Convection avec l'air ambiant</i>
<i>be</i>	<i>Bac-eau</i>
<i>p</i>	<i>Pression</i>
<i>e – v</i>	<i>Eau-vitre</i>
<i>v – a</i>	<i>Vitre-air</i>
<i>N</i>	<i>Normal</i>
<i>P</i>	<i>Parallèle</i>
<i>pert</i>	<i>Pertes</i>
<i>evp</i>	<i>Evaporation</i>
<i>fg</i>	<i>Fluide –gaz</i>
<i>c</i>	<i>Condensat</i>
<i>g</i>	<i>Globale</i>

Table Des Matières	
Introduction générale.....	1
 Chapitre 1 : La Situation De L'eau Dans Le Monde.....	 3
1-Introduction.....	3
2-L'eau dans le monde.....	4
2-1- la répartition géographique de l'eau dans le monde.....	5
2-2-la consommation de l'eau.....	6
2-3-Les normes de L'O.M.S pour l'eau potable.....	6
2-4-Les problèmes qui menacent l'eau.....	8
2-4-1-La pollution.....	8
2-4-2-Les changements climatiques.....	9
2-4-3-Le gaspillage.....	9
2-4-4-Amenuisement des ressources.....	9
3-L'eau potable en Algérie.....	10
4-Le problème de l'eau en Algérie.....	11
4-1-faiblesse des ressources en eau.....	11
4-1-1-Les ressources en eau superficielle.....	12
4-1-2-Les ressources en eau souterraine.....	12
4-2-Dégradation continue des ressources.....	12
4-3-Les périodes de sécheresse.....	14
4-4-Conditions climatiques difficiles.....	14
4-5-Croissance démographique.....	14
4-6-Pertes dans les réseaux d'irrigation.....	15
4-7-Taux de raccordement au réseau d'eau potable.....	15
5-Différents types d'eau.....	15
5-1- L'eau potable.....	15
5-2- L'eau de mer.....	16
5-3 L'eau saumâtre.....	16
5-4 -L'eau distillée.....	16
5-4-1-Critère de pureté de l'eau distillée.....	16
5-2- Les propriétés thermo-physiques de l'eau.....	17

Chapitre 2 : Les Différentes Technologies De Dessalement D'eau..	18
1-Introduction.....	18
2-Les principales technologies de dessalement des eaux.....	18
2-1- Les procédés utilisant des membranes.....	20
2-1-1-L'osmose inverse.....	20
2-1-2-L'électrodialyse.....	20
2-1-2-1-Description du procédé.....	20
2-1-2-2-Application au dessalement.....	21
2-1-2-3-Principe de fonctionnement.....	21
2-2-Les procédés thermiques.....	21
2-2-1-La congélation.....	22
2-2-2- Le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF)	22
2-2-3-Le procédé de distillation à multiples effets (multi-effect distillation MED..	23
2-2-3-1- Les évaporateurs à multiples effets à tubes horizontaux arrosés.....	23
2-2-3-2-Les évaporateurs à multiples effets à plaques.....	24
2-2-4-Dessalement sous vide.....	26
2-2-5-Dessalement par l'énergie solaire.....	26
2-2-5-2-Le distillateur solaire.....	28
2-2-5-3-Le principe de fonctionnement du distillateur solaire.....	28
2-2-5-4-Les types de distillateurs solaires.....	29
2-2-5-4-1- Première classification.....	29
2-2-5-4-2-Deuxième classification.....	30
2-2-5-4-2-1-1 Le distillateur à simple vitrage.....	30
2-2-5-4-2-1-Les distillateurs statiques.....	30
2-2-5-4-2-1-1 Le distillateur à simple vitrage.....	30
2-2-5-4-2-1-2 Le distillateur à double vitrage.....	31
2-2-5-4-2-1-3Distillateur solaire à étages multiples avec récupération de chaleur	31
2-2-5-4-2-1-4-Distillateur à cascade.....	32
2-2-5-4-2-1-5-Le distillateur sphérique à balayage.....	33
2-2-5-4-2-1-6-Distillateur solaire à film capillaire	33

2-2-5-4-3-Les distillateurs à ruissellement.....	34
2-2-5-4-3-1-Distillateur à équi-courant.....	34
2-2-5-4-3-2-Distillateur à courant croisé.....	35
2-2-5-4-3-3- Distillateur à contre courant.....	35
2-2-5-4-3-4-Distillateurs à mèche simple et à simple ou double vitrage.....	36
2-2-5-4-3-5-Distillateur auto alimenté.....	37
2-2-5-4-Distillateur solaire vertical.....	38
2-2-5-5-Distillateur de type Watercone.....	38
3-Distillateur solaire associé à d'autres dispositifs.....	39
3-1-Distillateur avec un panneau solaire.....	39
3-1-1-Système à circulation naturelle.....	39
3-1-1-1-Système à un fluide, stockage sans échangeur.....	40
3-1-1-2-Système à deux fluides, stockage à échangeur.....	40
3-1-2-Système à circulation forcée.....	41
3-2- Distillateur avec panneau photovoltaïque.....	41
3-2-1- Principe de fonctionnement.....	41
3-3-Distillateur avec une éolienne.....	43
3-3-1- Le Principe de couplage.....	43
3-4-Distillateur avec des réflecteurs internes et externes.....	44
4-4-Paramètres de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	45
5- Paramètres et caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	45
5-1-Le rendement.....	46
5-2-L'efficacité.....	46
5-2-1-L'efficacité globale	46
5-2-2-L'efficacité interne	46
6-Constante de temps du distillateur.....	47
7- Paramètres influant sur le système de distillation solaire.....	47
7-1- Paramètres externes.....	47
7-1-1-Paramètres géographiques.....	48
7-1-2-Paramètres météorologiques.....	48
7-1-2-1-Intensité du rayonnement solaire	48
7-1-2-2-La vitesse du vent.....	48

7-1-2-3-La température ambiante.....	48
7-1-2-4-L'intermittence des nuages.....	48
7-2 Paramètres internes.....	48
7-2-1-Paramètres de position.....	48
7-3-Paramètre de constrictions (géométriques).....	49
7-3-1-La couverture	49
7-3-2-La surface absorbante.....	49
7-3-3-La distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation...	50
7-3-4-L'isolation des faces latérales du distillateur.....	50
7-3-5-Paramètres de la saumure	50
7-3-6- Paramètres optiques	51
7-3-7-Paramètres Thermo physiques	51
8- Conception objective pour un distillateur solaire efficace	51
9-Etat de l'art de la distillation solaire.....	54
Chapitre : 3- Modélisation Et Résolution Numérique.....	55
1-Introduction.....	55
2-2-Le principe de fonctionnement d'un distillateur solaire à double pente	55
3-3-Les échanges de chaleurs d'un distillateur solaire à double pente	55
3-3-1-Au niveau de la vitre.....	55
3-3-2-Au niveau de la saumure.....	55
3-3-3- Au niveau de l'absorbeur.....	55
4-Modélisation mathématique des échanges thermiques dans un distillateur solaire	56
4-1-Hypothèses simplificatrices.....	56
4-2-Bilan thermique du distillateur solaire à double pour un régime permanent ...	57
4-2-1-Bilan thermique de la vitre.....	59
4-2-2-Bilan thermique de la masse d'eau.....	59
4-2-3-Bilan thermique du bac absorbant.....	59
4-2-4-Le débit de condensat.....	60
5-Expression des différents coefficients d'échange thermique.....	60
5-1-le rayonnement solaire.....	60
5-1-1- La constante solaire.....	60

5-1-2-La radiation solaire au niveau du sol.....	61
5-1-3- Calcul du rayonnement solaire.....	61
5-1-4- Le rayonnement direct.....	61
5-1-5- Le rayonnement diffus.....	61
5-1-6- Le rayonnement global.....	63
5-2-Les expressions de différents coefficients d'échanges thermiques.....	63
5-2-1-Par convection eau- vitre.....	63
5-2-2-Par évaporation	64
5-2-3-Par rayonnement eau-vitre.....	64
5-2-4-Par rayonnement vitre-ambiant.....	65
5-2-5-Par convection vitre ambiant.....	65
5-2-6-Par convection bassin-eau.....	65
6-Résolution du système d'équations.....	66
7-Traitement informatique.....	67
8- Organigramme.....	68
 Chapitre- 4- Résultats Et Interprétation	 75
1-Introduction	75
2-La variation de rayonnement solaire pour les différentes conditions	76
3-La variation du flux solaire global	77
4-L'influence de l'angle de l'inclinaison sur le flux solaire reçue par la vitre	78
5-Variation temporelle des puissances absorbées.....	79
6-La variation des températures des faces extérieures en fonction de temps	80
7-La variation de la température d'eau en fonction de temps.....	81
8-La variation de la température du bac absorbant en fonction de temps...	82
9-L'influence de vent sur les températures de différents composants du distillateur solaire	83
10-Variation de la production en fonction de temps.....	86
11-L'efficacité globale en fonction de temps.....	87
12-La variation du facteur de performance en fonction de temps.....	88
13- Conclusion	89

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément essentiel pour la continuité et le développement de l'humanité. Mais quelle est le futur de cette importante ressource ?

Au plan mondial, la question de l'approvisionnement en eau devient chaque jour plus préoccupante. Le constat unanimement partagé est simple : déjà précaire dans certaines régions du globe, la situation ne pourra qu'empirer dans les années à venir.

Le formidable essor démographique que va en effet connaître notre planète dans les vingt-cinq prochaines années va nécessairement s'accompagner d'une explosion de la consommation en eau et d'une dégradation de sa qualité et quantité, cela risque de mettre gravement en péril l'approvisionnement en eau douce d'une grande partie de l'humanité et par voie de conséquence d'aggraver les conflits entre pays voisins ayant des ressources communes. A cet effet et pour mieux préserver l'avenir en matière de dégagement et de mobilisation des ressources en eau, il est plus judicieux de repenser la planification des ressources en eau conventionnelles dans le cadre d'une vision globale qui intègre également l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles notamment le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

Le dessalement des eaux saumâtres et, a fortiori, de l'eau de mer procure une solution séduisante à cette problématique. C'est pourquoi le marché du dessalement est dorés et déjà en pleine expansion avec une progression de 7 % par an. Les procédés de dessalement ayant montré leur fiabilité se divisent en deux grandes familles : l'une basé sur le changement de phase liquide – vapeur et l'autre utilise la séparation par membranes.

La production du distillateur dépend de plusieurs paramètres, le plus important est le rayonnement solaire. Dans le but d'optimiser l'influence des différents paramètres sur les performances du distillateur solaire de type double pente, nous avons réalisée une étude comparative numérique et expérimentale sur la variation des paramètres caractérisant le fonctionnement du distillateur solaire conventionnel.

Notre travail se compose de quatre chapitres. **Le 1^{er} chapitre** concerne la présentation de la situation de la consommation et de la répartition d'eau potable dans le monde. Dans la deuxième partie de ce chapitre nous présentons la répartition des ressources en eau et les problèmes menaçant l'existence de l'eau potable en Algérie.

Dans le 2^{ème} chapitre nous présentons les différentes technologies de dessalement à savoir les méthodes dites électriques ou de changement de phases. Le distillateur solaire conventionnel est l'un des méthodes à changement de phase qui est basé sur le principe de l'effet de serre. Il est composé d'un bassin recouvert d'une couche noire absorbant et d'un couvert transparent

en verre ordinaire ou parfois par du plastique mis en pente, suivi par une présentation des différents travaux réalisés dans le domaine du dessalement solaire, numériques et expérimentaux.

Le 3^{ème} chapitre est une présentation du distillateur solaire à étudier, des hypothèses simplificatrices, les bilans énergétiques pour chaque partie du distillateur solaire, ainsi que les expressions des coefficients de transfert de chaleur. Le chapitre se termine par un organigramme des différentes étapes de calcul.

La présentation des résultats ainsi que leurs discussions et leurs interprétations font l'objet du **4^{ème} chapitre**.

Le travail est achevé par une conclusion générale dont laquelle on résume les différents résultats et on propose des recommandations pour les futurs travaux.

1-Introduction

L'eau représente l'élément essentiel à toute vie sur la terre depuis la création de l'univers à tel point qu'elle est très abondante sur notre planète, 97,2 % de la quantité disponible sur la terre est constitué d'eau de mer inutilisable directement. [1].

-Les changements climatiques, l'augmentation de la population dans certaine régions dans le monde conduit à une pénurie chronique d'eau potable

-les réserves d'eau saumâtres en des teneurs en sel qui varient entre 1500 et 2000 (p p m) dépassent les normes exigées pour une eau potable (l'équivalence de 35g/l), L'eau douce disponible (lacs, fleuves, eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale, soit environ un million de km³. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En effet, dix pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et vingt-neuf autres principalement en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. Les principales ressources en eau distribuées dans le monde entier représentent dans le tableau(I) suivant

Ressources	Volume en (m ³)	Total pour cent de l'eau	Pour cent de l'eau douce
Eau atmosphérique	12900	0.001	0.01
Glaciers	24064000	1.72	68.7
La glace de sol	300000	0.021	0.86
Rivières	2120	0.0002	0.006
Lacs	176400	0.013	0.026
Marais	11470	0.0008	0.03
l'humidité du sol	16500	0.0012	0.05
Aquifères	10530000	0.75	30.1
Lithosphère	23400000	1.68	
Océans	1338000000	95.81	

Tableau 1-1- Les principales ressources en eau distribuées dans le monde. [1]

-Les pays au moyen orient et au sud du bassin méditerranéen font partie de ces régions du monde où les ressources en eau potable sont extrêmement limitées. Une grande partie des réserves d'eau est constituée d'eau saumâtre. Les précipitations sont très variables, aussi bien dans l'espace que dans le temps. La sécheresse peut durer des mois ; elle est parfois suivie de

pluies torrentielles qui emportent tout sur leur passage, comme **bab-elouad** en octobre 2001 à Alger où un millier de personnes ont été ensevelies par un torrent de boue.

-dans c'est qui suit nous présenterons succinctement des données statistique sur les ressources en eau potable et la consommation de chaque habitant pour chaque année dans le monde, en suit-on donne la situation de l'eau en Algérie.

2-L'eau dans le monde

On estime que les ressources en eau potable dans le monde sont de 40.000 milliards de m³ pour une population de 6 milliards de personnes soit 6800 m³/habitant/an, cette disponibilité varie d'un pays à un autre.

A titre d'exemple, elle est de 360000 m³/habitant/an pour le Congo, de 630 m³/habitant/an pour l'Algérie et uniquement de 23 m³/habitant/an pour Djibouti.

On apprécie la rareté de l'eau dans un pays par rapport à des seuils qui sont estimés dans la littérature de l'eau, à 1000 m³/habitant/an (seuil de tension ou water stress) et à 500m³/habitant/an (pénurie absolue ou water scarcity).

En 1990, vingt (20) pays, dont l'Algérie (tableau 2.), ont été classés en dessous du seuil de tension. En fait ces seuils ne sont qu'indicatifs et sont basés sur les besoins en eau de pays situés en zone aride ou semi aride où la production agricole dépend en totalité ou en grande partie de l'agriculture en irriguée [2]

pays		Disponibilité en eau (m ³ /habitant)	
		1990	2025
Sud	Algérie	720	430
	Maroc	1117	590
	Tunisie	540	324
	Lybie	1017	359
	Egypte	1123	630
	Syrie	2087	732
Nord	Turquie	3626	2186
	Espagne	2849	2733
	France	3262	3044
	Italie	3243	3325
	Grèce	5826	5840

Tableau-I.2 : Disponibilités en eau potable dans l'espace euro-méditerranéen [3]

2-1-Répartition géographique

- Si l'eau est abondante, elle n'est pas répartie uniformément sur la Terre. Neuf pays se partagent ainsi 60 % du débit annuel mondial. L'eau est, en outre, irrégulièrement répartie d'une année à l'autre ou d'une saison à l'autre (plus de 60 % du débit annuel mondial étant généré lors d'inondations suivies de sécheresses, parfois pluriannuelles). Outre ces variations saisonnières, les ressources mondiales se caractérisent par une importante variation géographique, ainsi:

- En Amérique du sud, il existe un très fort contraste entre la zone géographique couverte par l'Amazonie, qui draine 15 % de la ressource mondiale en eau douce, et le nord-est du Brésil qui souffre de sécheresse.

- En Inde, il existe de très fortes différences entre les plaines de l'Himalaya (traversées par des grands fleuves), les zones désertiques, et les moussons du sud indien.
- En Chine, l'eau est gelée plusieurs mois par an au nord, l'ouest est caractérisé par la désertification et le sud par un climat tropical.

Dans la région méditerranéenne, l'eau douce est rare et irrégulièrement répartie. Les pays les plus riches en eau (France, Turquie, Italie, ex-Yougoslavie) cumulent les deux tiers des ressources (825 sur 1189 km³ par an). D'autres pays, tels que Malte, Jordanie, Libye, sont en dessous du seuil de pénurie (500 m³ par an et par habitant).

2-2-La consommation d'eau

Les usages de l'eau sont multiples

la consommation de l'agriculture est d'environ 70 % de toute la consommation d'eau douce sur la Planète. Cette consommation est essentiellement le fait de l'agriculture irriguée, qui occupe environ 17 % des terres cultivées et assure 40 % de la production agricole mondiale (le reste étant assurée par l'agriculture dite pluviale). Les surfaces irriguées ont presque doublé dans le monde depuis 1960.

- L'industrie est responsable d'environ 20 % de la consommation mondiale d'eau douce. Ainsi pour produire 1 kg d'acier, il faut 80 l d'eau, 1 kg d'aluminium nécessite 1250 l et environ 8600 l d'eau pour produire une carte mémoire de six pouces.
- La consommation domestique, représente 8 à 10 % de la consommation totale d'eau douce.

Les modes d'utilisation de l'eau n'ont pas tous les mêmes conséquences. On considère ainsi que l'utilisation des ressources naturelles est moins destructrice lorsque l'eau, après utilisation, est à nouveau disponible, c'est le cas des eaux domestiques retraitées et reversées dans les cours d'eau. En revanche, l'évaporation ou l'infiltration soustraient l'eau à une réutilisation immédiate. [4]:

2-3-Les normes de L'O.M.S pour l'eau potable.

L'eau potable elle doit répondre à des normes de qualité très rigoureuses qui s'appuient sur des travaux médicaux de l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) [5]. Ces critères peuvent être regroupés en six groupes :

- Paramètres organoleptiques : transparence, couleur, odeur et saveur.
 - Paramètres physico-chimiques :
 - PH, température, concentrations en inorganiques minéraux conductivité.
 - Substances indésirables (nitrates, fluor..).
 - Substances toxiques (plomb, chrome..).
 - Paramètres micro biologiques : bactéries nuisibles (coliformes les streptocoques fécaux...)
 - Pesticides et produits apparentés.
 - Paramètres concernant les eaux adoucies livrées à la consommation humaine.
 - Paramètres relatifs aux substances indésirables, substances tolérées en très faible quantité pouvant avoir une incidence sur la santé sans provoquer de désagréments à court termes.
- Ces normes sont regroupées dans les deux tableaux

Paramètres	Normes Européennes (mg/l)
Aluminium (Al^{+3})	max 0.2
Chlorures	max 200
Magnésium (Mg^{+2})	max 50
PH	de 6.5à 9
Potassium (K^{+})	max 12
Sodium (Na^{+})	max 150
Sulfates (SO^{+})	max 250

Tableau –I.3 : Paramètres physico-chimiques de l'eau potable [5]

Les Substances toxiques

Paramètres	Normes Européennes
Arsenic As	max 50 µg/l
Cadmium Cd ²⁺	max 5µg/l
Chrome soluble Cr	max 50µg/l
Cyanures Cn ⁻	max 0.05 µg/l
Mercure Hg	max 1 µg/l
Nickel Ni	max 50 µg/l
Phosphore P	max 5 µg/l
Plomb Pb	max 50 µg/l

Tableau –I.4 : Les Substances toxiques pour l'eau [5]

2-4-Les problèmes qui menacent l'eau. [6]

2-4-1-La pollution

La pollution est l'un des grands problèmes qui menacent l'eau, par définition la pollution de l'eau est toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants. On peut classer la pollution de l'eau en trois catégories [6]:

- La première concerne les agents provoquant des maladies. Ce sont les bactéries, les virus, les protozoaires et les vers parasites qui se développent dans les égouts et les eaux usées non traitées.

- La seconde concerne les déchets qui peuvent être décomposés par des bactéries ayant besoin d'oxygène. Quand ces bactéries sont nombreuses à être en action, cela peut abaisser le niveau d'oxygène de l'eau, ce qui entraîne la mort d'autres espèces vivant dans l'eau, telles que les poissons.
- La troisième concerne les polluants inorganiques hydrosolubles, tels que les acides, les sels et les métaux toxiques. De grandes quantités de ce type de composé rendent l'eau inapte à la consommation et entraînent la mort de la vie aquatique

2-4-2-Les changements climatiques

La quantité de gaz (CO₂, CH₄,...) augmente dans l'atmosphère. (À cause de l'utilisation des énergies fossiles), piégeant les rayonnements solaires (la chaleur) émis par la terre ce qui accroît la température de cette dernière, c'est l'effet de serre. Les premiers signes du réchauffement de la planète sont visibles, inondations, désertification, dissémination des maladies, disparition d'espèces animales. Si rien n'est fait, selon les scientifiques, la concentration de CO₂ va doubler au cours du XXI^e siècle, aggravant davantage les changements climatiques. C'est la chronique d'une catastrophe annoncée

2-4-3-Le gaspillage

Un Africain gaspille en moyenne 5% de la quantité consommée, conséquence des mauvaises gestions des ressources hydriques au moment où les dépenses publiques de l'ensemble des Etats Africains peinent à atteindre les 0,5% dans le secteur des ressources hydriques.

2-4-4-Amenuisement des ressources

Actuellement quelques 5000 personnes meurent dans le monde en raison de l'impossibilité d'accès à l'eau. Plus de craintes portent sur la période qui se situe autour de l'année 2050. À cette date, La terre devrait compter 10 milliards d'habitants, et les problèmes d'approvisionnement risquent de priver la moitié de cette population des ressources convenables en eau. Une réponse technique consiste à réduire la consommation d'eau par la diffusion des bonnes pratiques et l'utilisation de technologies moins dépensières en eau. Mais le principal problème repose sur la répartition de l'eau potable et sur les conséquences de son absence dans certaines zones.

Dans de nombreux États, les prélèvements annuels dans les nappes souterraines excèdent d'ores et déjà la recharge des aquifères :

- Aux États-Unis, la nappe d'Ogallala, qui s'étend du Dakota du Sud jusqu'au Texas sur une superficie équivalente à la France et qui constitue l'une des plus grandes réserves d'eau souterraine du monde, se vide 8 fois plus vite qu'elle ne se remplit en raison des 200 000 puits qui la ponctionnent pour irriguer 3 millions d'hectares de cultures.
- À Mexico, l'eau pompée pour alimenter la ville dépasse plus de 50 % les capacités de renouvellement de la nappe phréatique.
- Les ponctions opérées par l'URSS pour développer la culture du coton en Asie centrale (Notamment en Ouzbékistan) ont fait perdre à la mer d'Aral 60 % de sa superficie depuis les années 1960 (on la considérait alors comme la 4^{ème} masse d'eau douce fermée au monde).
- Depuis le début des années 2000, le niveau de la mer Morte baisse d'un mètre par an en raison des prélèvements dans le fleuve Jourdain.
- En Afrique, le lac Tchad a perdu 80 % de sa superficie.
- Les ponctions opérées aux dépens du fleuve jaune, qui draine l'immense bassin céréalier du nord de la Chine, induisent l'assèchement de son cours inférieur durant plus de 200 jours, certaines années

3-L'eau potable en Algérie

-L'Algérie fait partie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, et se situe donc en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale, soit 1000 m³ par habitant et par année. Si en 1962, la disponibilité annuelle en eau par habitant était de 1500 m³ elle n'était plus que de 720 m³ en 1990 de 680 m³ en 1995 et de 630 m³ en 1998. La disponibilité annuelle en eau par habitant est aujourd'hui de 500 m³. Du fait de la pression démographique, cette disponibilité ne sera plus que de 430 m³ par habitant en 2020 ; à cet horizon, cette disponibilité serait par bassin hydrographique comme suit, (tableau -3).

Bassin hydrographique	Ressources (hm)	Population (10⁶ habitant)	Disponibilité (m³ /habitant)
Oranie chott			
Chergui	1400	6.3	220
Chélifer	2072	7.0	300
Algérois			
Soumma-Hadna	5125	15.8	320
Const-mejd			
Mellegue	5048	10.0	500
Sud	5436	4.9	1120
Totale Algérie	64518	44.0	430

Tableau-I .5: Disponibilité d'eau en Algérie par habitant en 2020

4-Le problème de l'eau en Algérie

-C'est une perception encore peu maîtrisée, elle est due à plusieurs facteurs, essentiellement

4-1-faiblesse des ressources en eau

4-1-1-Les ressources en eau superficielle

-Les ressources en eau sont généralement faibles et surtout extrêmement irrégulières, leur Exploitation devient de plus en plus difficile dans notre pays. Leur répartition sur le territoire Est inégale; elles sont également exposées à des risques de pollution de plus en plus Importants et qui compromettent l'utilisation de ces eaux dans de nombreuses régions du Pays. Sur l'ensemble du territoire national, il y a seulement 49 barrages en exploitation Totalisant actuellement une capacité de 4,48 Milliards de m³, pour l'alimentation en eau potable.

-Il est à signaler que les trois barrages qui alimentent la capitale en l'occurrence le barrage de keddara de Hamiz et de Beni-Amrane, sont entrés dans ce qu'on appelle " tranche morte"

avec un volume stocké en fin janvier 2002 d'environ 8,8 Milliards de m³, soit une baisse jamais atteinte depuis sa mise en service. La même situation s'est présentée pour les barrages de Hamiz avec un volume de 1,91 million de m³ et celui de Bni-amran, qui est un barrage de transfert vers kaddara avec un volume de 1.18 millions de m³. Les barrages du centre du pays s'avèrent être les plus touchés par la baisse sensible des eaux, contrairement à ceux de l'Ouest.

4-1-2-Les ressources en eau souterraine

-Les eaux souterraines sont généralement faibles et localisées dans le Sahara. Les lits d'oueds alimentent quelques nappes phréatiques souvent saumâtres : Ghir, M'zeb, Saoura, ou encore Des nappes profondes, semi - fossiles ou fossiles comme l'Albien. Au nord, les précipitations sont irrégulières et mal distribuées géographiquement, elles augmentent d'Ouest en Est et affectent successivement les monts de Tlemcen, le versant nord de l'Ouarsenis, le massif de la grande kabyle, la petite Kabylie, le nord Constantinois et le massif des Aurès [7]

4-2-Dégradation continue des ressources

-La dégradation des ressources en eau commence à atteindre des proportions inquiétantes dans la région tellienne, où se trouve la plus grande partie des potentialités en eau de surface. La pollution de certains barrages, tant par les eaux usées domestiques que par des rejets industriels, à déjà été soulignée (Tableau-3-)

Barrage	Wilaya	Source de pollution
Cheffia	El-Taref	Rejets urbains et industriels
Zardeza	Skikda	Rejets urbains
Hammam-Grouz	Mila	ENAD* Chelghoum-Laid
Béni Amrane	Boumerdes	ENAD*Lakhdaria/Hydrocarbures
Kaddara	Boumerdes	Hydrocarbures
Hamiz	Alger	Hydrocarbures
Harbil	Médéa	Complexe de SAIDAL**
Fergoug	Mascara	Rejets urbains et industriels
Beni-Bahdel	Tlemcen	Rejets urbains et industriels
SidiAbdelli	Tlemcen	Rejets industriels
(*)Entreprise National des Détergents et Produits d'Entretien.		
(**) Entreprise National de Production pharmaceutique.		

Tableau –I.6: Barrages affectés par la pollution en Algérie.

Si rien n'est entrepris pour apporter les correctifs nécessaires, la pollution risque d'être à l'avenir, l'une des causes sérieuses de la pénurie d'eau. [8]

4-3-Les périodes de sécheresse

L'Algérie connaît depuis plus d'une vingtaine d'années, une sécheresse sévère et persistante. L'année 1988/89 est à classer en tant qu'année sèche. Le déficit pluviométrique est bien remarqué à l'Ouest (notamment à Oran, Ghazaouet et Arzew).

-Les barrages de Beni-Bahdel et de Mafrouch se sont asséchés. Durant le mois de juin 1988, les régions du Centre et de l'Ouest ont vu un déficit pluviométrique supérieur à 50%, à l'Est, il était de 30%, durant ces deux dernières décennies. De manière Générale, la sécheresse est apparue sur la majorité des pays du bassin méditerranéen depuis le début des années 80.

4-4-Conditions climatiques difficiles

-Le climat en Algérie est semi-aride (200mm à 500mm), d'où des ressources de plus en plus limitées et difficiles à exploiter. Il faut savoir que trois ensembles fortement contrastés climatiquement caractérisent le territoire national et qui sont :

-Le littoral et les massifs montagneux occupant environ 4% de la superficie totale. Le climat est de type méditerranéen, avec des pluies très violentes en hiver provoquant une forte érosion. En été les précipitations sont extrêmement rares et les chaleurs très fortes. Les pluies pouvant atteindre 1600 mm/an sur les reliefs sont irrégulières d'une année à l'autre et inégalement réparties.

-Les hauts plateaux qui occupent environ 9% de la superficie totale, sont caractérisés par un climat semi-aride (pluviométrie comprise entre 100 et 400 mm/an), il en résulte une faiblesse des ressources hydriques.

-Le Sahara, ensemble désertique, aride avec une pluviométrie moyenne inférieure à 100 mm/an, couvre 87% du territoire, les conditions climatiques extrêmes et les amplitudes thermiques sont très fortes. [9]

4-5-Croissance démographique

L'Algérie comptait environ 32.3 millions d'habitants en 2004, dont 41% établis dans le milieu rural. La densité moyenne est de 14 habitants/km², mais la population est fortement concentrée dans la zone côtière composée de terres agricoles plus fertiles et riches en

ressources naturelles, ainsi que dans les principales villes et pôles d'activités économiques du pays (215 habitants/km²), contre 38 habitants/km² dans la région des hauts plateaux et 7 habitants/km² dans le sud. Aujourd'hui, la population dépasse 35 millions d'habitants.

4-6-Pertes dans les réseaux d'irrigation

-Les pertes totales dans les réseaux d'irrigation sont estimées globalement à 40 % des prélèvements ; elles dépasseraient 50% dans les villes et fluctuent généralement entre 30 % et 70%. Ce phénomène, tellement répandu au point de devenir banal, a fini par donner l'impression qu'il relevait d'une fatalité naturelle. Il faut apprendre à ne pas gaspiller l'eau d'un part et à produire de l'eau salubre à partir de l'eau de mer ou des sources fortement polluées d'autre part.[8]

4-7-Taux de raccordement au réseau d'eau potable

-Le taux de raccordement à l'alimentation en eau potable est de 85%. Le prix de revient d'un mètre cube d'eau est de 20DA, alors qu'il est cédé à 3,80DA pour la 1^{er} tranche (<25 m³), il est de 24,70DA pour la 4^{eme} tranche (>82 m³). Les pertes en eau sont estimées à 50%. La consommation d'eau distribuée est de 161 l/hab/j ; si l'on tient compte des fuites (50%), l'industrie et du tourisme, cette quantité devient 60 l/hab/j, (Tableau 4). [10]

L'année	1962	1990	1995	1998	2000	2020
m ³ /hab.	1500	720	680	630	500	430

Tableau -I.7 : Disponibilité en eau potable pour l'Algérie

5- Différents types d'eau

5-1- 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.

5-2- 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 le cas de mers fermées :

- Mer Méditerranée : 36 à 39g/l,
- Mer Rouge : environ 40g/l,
- Mer Caspienne : 13g/l,
- Mer Morte : 270g/l,
- Golfe Arabo-persique : 36 à 39g/l

Remarque

-Le PH moyen des eaux de mer varie entre 7.5 et 8.4, alors l'eau de mer un milieu largement basique.

5-3 L'eau saumâtre

-Généralement, on appelle eau saumâtre une eau saline non potable, de salinité inférieure à Celle de l'eau de mer. En effet la plus part des eaux saumâtre ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/l. Elle se présente soit sous forme d'eaux de surface soit sous forme d'eaux souterraines.

5-4 -L'eau distillée

L'eau distillée est un corps pur. Généralement, il est utilisée dans :

- Les laboratoires et Les hôpitaux pour toutes les analyses, les vaccins, les sérums, etc...
- Certaines industries pour l'utilisation dans les fabriques d'accumulateurs ; traitement nécessitant l'utilisation de l'eau pure (industrie photographique)

5-4-1-Critère de pureté de l'eau distillée

Ce sont de constantes physiques de valeur bien déterminées qui caractérisent l'eau distillée. La masse volumique de l'eau distillée est toujours égale à 1g/cm^3 ou 1000 kg/m^3 à la Température de 4°C . L'eau distillée redonne absolument une eau pure identique.

L'eau pure est un liquide incolore, inodore, elle n'est pas potable car elle est sans saveur ; pour avoir un goût agréable, l'eau doit contenir 0.1 à 0.5g par litre de corps minéraux dissous et une oxygénation de 6.4mg/l.

5-2- Les propriétés thermo-physiques de l'eau

-Conductivité thermique

-Son expression est donnée par la relation suivante

$$\lambda(T) = 0.569 + 0.185 \cdot 10^{-2} \cdot T + 10^{-5} \cdot 0.749 \cdot T^2 \quad (T \text{ en degré } K^0) \quad (1.1)$$

La chaleur latente de vaporisation

Elle est définie par l'expression :

$$L_v(T) = 3408 - 5.21T + 0.01 \cdot T^2 - 1.194T^2 \quad (T \text{ en degré } K^0) \quad (1.2)$$

La Chaleur massique à pression constant

Elle est donnée par la relation :

$$C_p(T) = 4216.66 - 3.165 \cdot T + 0.886 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 0.101 \cdot 10^{-2} \cdot T^3 + 0.445 \cdot 10^{-5} \cdot T^5 \quad (1.3)$$

Coefficient de viscosité dynamique :

$$m(T) = 5.449 - 0.167 T + 7.325 \cdot 10^{-4} T^2 \quad (1.4)$$

La masse volumique :

$$\rho(T) = 999.879 + 0.0469 \cdot T - 0.667 \cdot T^2 + 0.208 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 \quad (1.5)$$

Coefficient de viscosité cinématique :

$$n(T) = \frac{m(T)}{\rho(T)} \quad (1.6)$$

$$n(T) = 1.7414 \cdot 10^{-6} - 4.453 \cdot 10^{-8} \cdot T + 5.412 \cdot 10^{-10} \cdot T^2 - 3.3955 \cdot 10^{-12} \cdot T^3 \quad (1.7)$$

Le coefficient de dilatation thermique

$$\beta(T) = (-0.884 + 0.118 \cdot T - 0.26 \cdot 10^{-2} T^2 + 0.252 \cdot 10^{-4} T^3 - 0.975 \cdot 10^{-7} T^4) \cdot 10^{-4} \quad (1.8)$$

1-Introduction :

-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 même l'existence de l'homme. Notre pays qui dispose de ressources hydriques salines considérables et d'un gisement solaire tout aussi important, doit utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer, en les associant à des sources d'énergies renouvelables. Cette solution constitue un moyen assez fiable pour produire de l'eau potable. Il faut cependant signaler que ce moyen reste économiquement fiable seulement pour des unités de petites capacités allant de quelques m³ à des dizaines (voire centaines) de m³ d'eau potable par jour.

-Pour de grandes capacités, l'association des procédés de dessalement avec les énergies renouvelables nécessitent des coûts d'investissement élevés et la fiabilité de tels systèmes n'est pas toujours assurée.

2-Les principales technologies de dessalement des eaux

-Les procédés de dessalement se répartissent en deux grandes catégories ; d'une part les procédés à membranes ou méthodes électriques (filtration). Et d'autre part les Procédés à distillation ou méthodes thermiques (qui nécessitent un changement de phase, évaporation/condensation) les installations de dessalement comportant quatre étapes quelque soit le procédé de dessalement utilisé :

1-Une prise d'eau de mer par une pompe et une filtration grossière.

2-Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte. [11].

3- Le procédé de dessalement lui-même.

4-Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau pure produite. A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.

Avant de citer les différentes méthodes de dessalement on a la figure suivante qui classe les procédés de dessalement suivant la quantité d'eau traitée et sa teneur en sel.

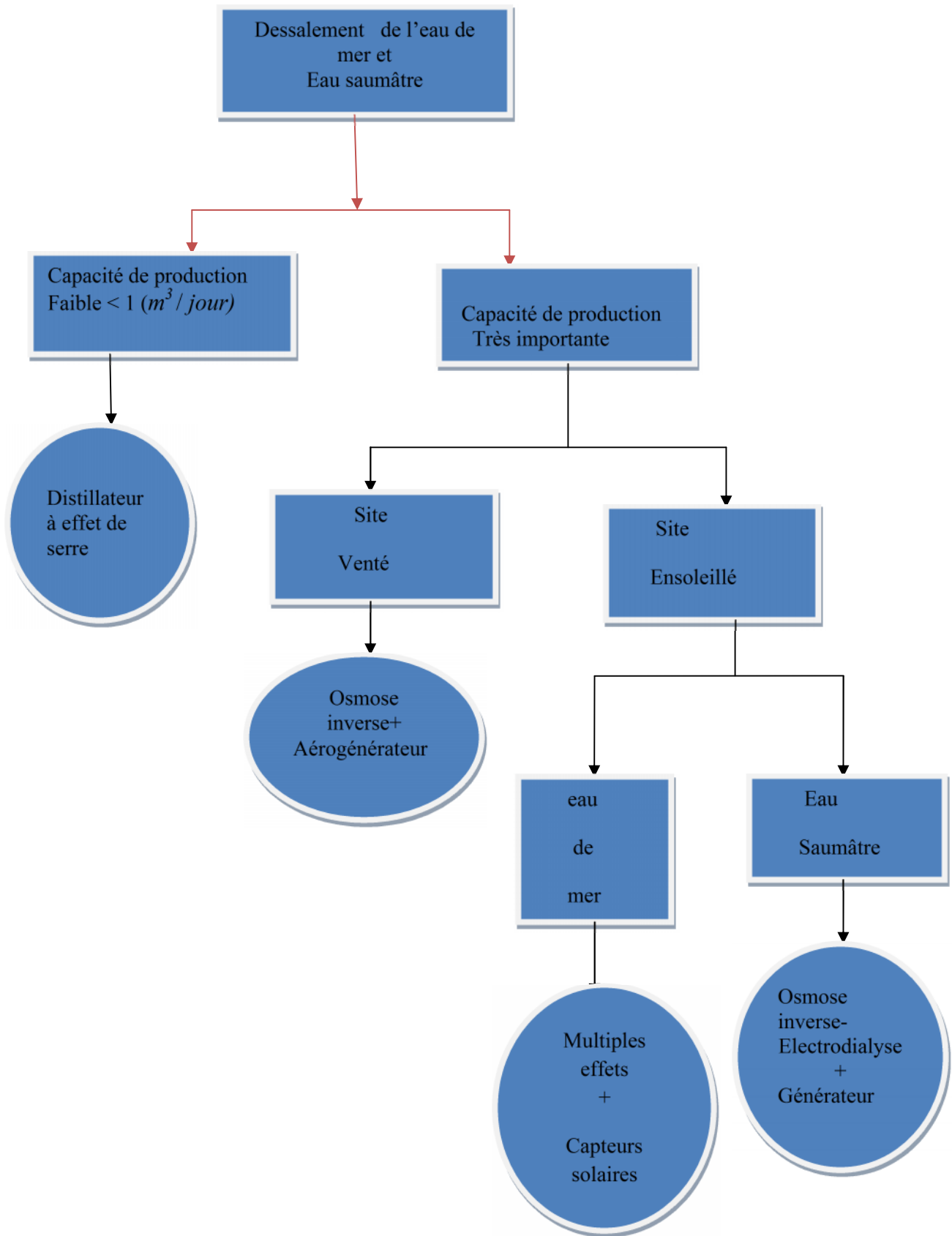


Figure -2-1 : Les procédés de dessalement. [12]

2-1- Les procédés utilisant des membranes

Il existe deux catégories :

2-1-1-L'osmose inverse

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

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

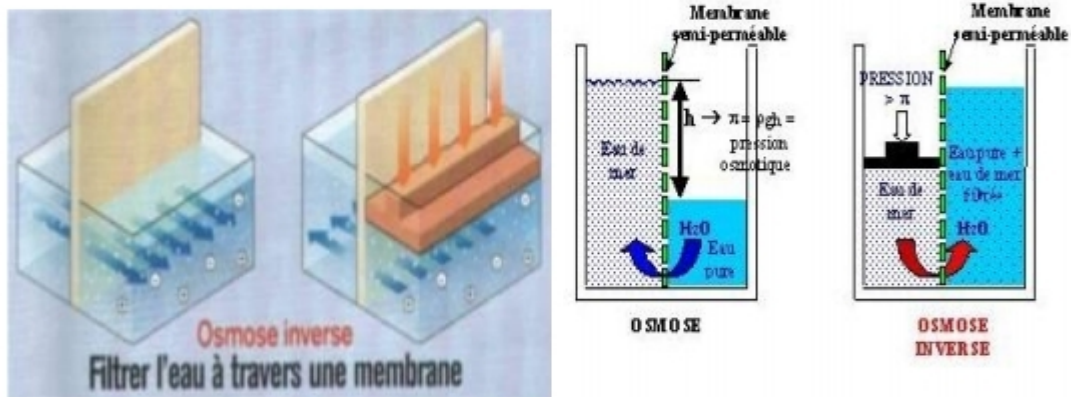


Figure II.2 : Principe d'osmose inverse [13]

2-1-2-L'électrodialyse

2-1-2-1-Description du procédé

L'extraction des ions se fait par migration de ces derniers à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques), sous l'action d'un champ électrique. Ainsi seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane

cationique. En plaçant plusieurs membranes en parallèle laissant passer alternativement les ions positifs et les ions négatifs, on peut éliminer certains ions de l'eau.

-Les particules qui ne portent pas de charge électrique ne sont pas éliminées.

2-1-2-2-Application au dessalement

-L'électrodialyse est utilisée pour le dessalement d'eau de mer. La figure-3- illustre le fonctionnement d'une unité en parallèle, de dessalement. En fin de chaîne de traitement on Récupère à la fois de l'eau douce et de la saumure. Il existe également des unités en série ainsi que d'autres modèles de système d'électrodialyse.

2-1-2-3-Principe de fonctionnement

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes les ions Na^+ sont attirés vers L'électrode négative et les ions Cl^- vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes ; les ions Na^+ peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et les ions Cl^- les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre Compartiments. Voir figure-3-

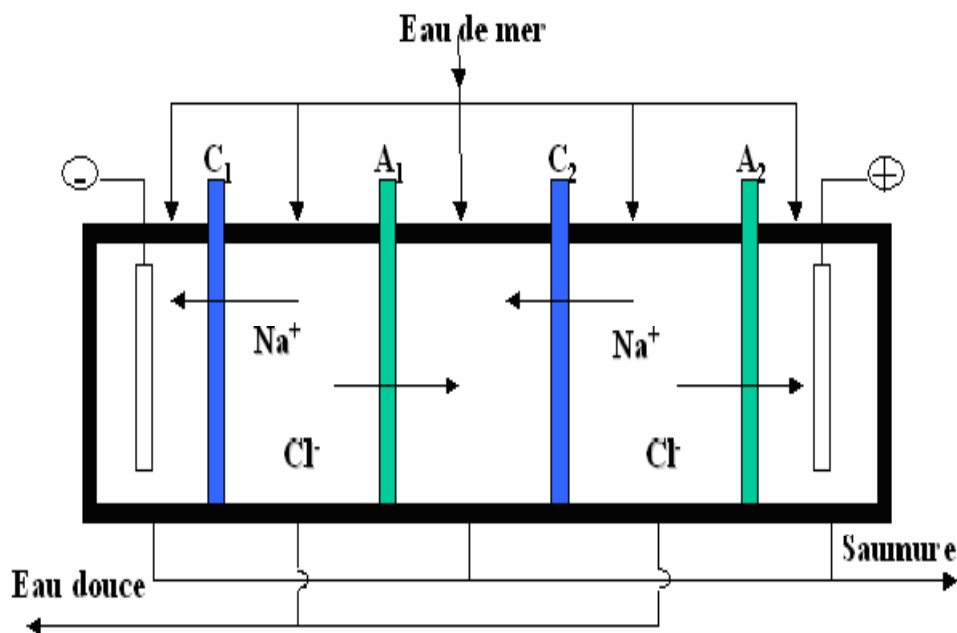


Figure II.3 : Unité d'électrodialyse [14]

-2-2-Les procédés thermiques

Nous pouvons citer :

- La congélation
- Le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF).

- Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED).
- La distillation solaire.

2-2-1-La congélation.

Cette technique est utilisée par les pays chauds. Il s'agit d'un procédé de congélation sous vide, dont le principe est assez simple. En effet lorsqu'on fait geler de l'eau salée, les cristaux qui se forment pratiquement la glace pure, le sel étant chassé de l'eau lors de la cristallisation. Formant une saumure à la surface du cristal. Les cristaux sont alors lavés puis fondus, ce qui permet d'obtenir de l'eau douce. En fait, les choses sont plus complexes dans la réalité. Une autre méthode fondée sur la congélation est celle du réfrigérant secondaire, dans laquelle le transfert de chaleur est obtenu par l'emploi d'un hydrocarbure liquide non miscible dans l'eau. Le mélange de butane et d'eau de mer passe par un échangeur de chaleur où l'échauffement fait bouillir le butane, ce qui entraîne la congélation de l'eau dans la Saumure. Les cristaux de glace sont lavés, séparés et finalement fondus, moyennant l'échange de chaleur avec la vapeur de butane préalablement comprimée. [15].

2-2-2- Le procédé de distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation 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 (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente, Appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore, (figure .4) puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte et l'eau liquide, est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes.

C'est l'eau salée chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau salée a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant. Dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détente 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.

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

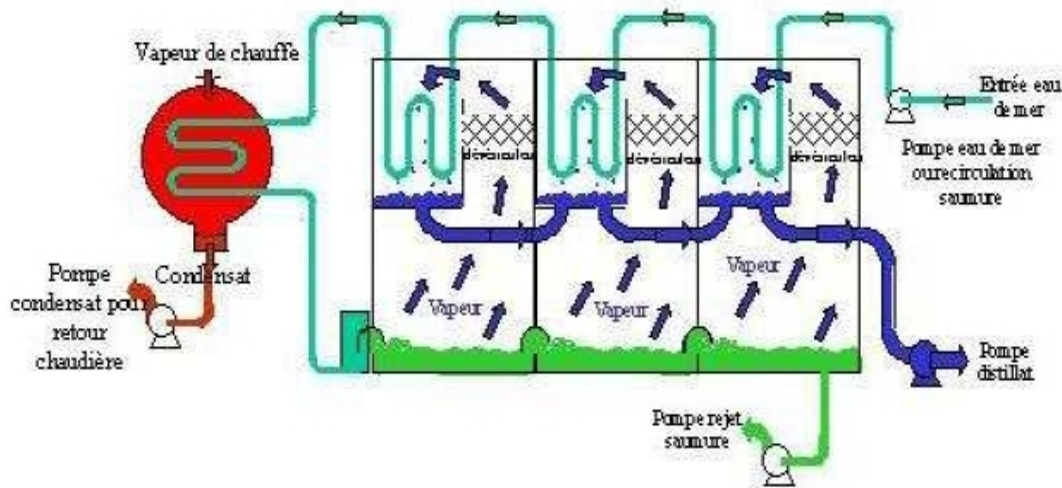


Figure II.4 : Principe de fonctionnement d'un système (MSF) à 3 étages [16]

2-2-3-Le procédé de distillation à multiples effets (multi-effect distillation MED)

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau salée préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur.

La vapeur ainsi produite dans le 1^{er} effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi, la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite (figure .5). Seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe, la multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite).

-Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent :

-2-2-3-1- Les évaporateurs multiples effets à tubes horizontaux arrosés

Ce sont les appareils les plus utilisés actuellement. Dans ces dispositifs (figure .5), le fluide de chauffe s'écoule dans les tubes horizontaux tandis que l'eau salée à évaporer est arrosée de façon à s'écouler sous forme de film le plus uniforme possible sur l'extérieur des tubes. La vapeur produite dans la calandre (enceinte cylindrique qui contient le faisceau de tubes) est

ensuite envoyée dans les tubes de l'effet suivant, où elle cédera son énergie de condensation. Ces évaporateurs présentent un très bon coefficient d'échange grâce à l'écoulement en film, de l'eau de mer.

- C'est la raison pour laquelle ils remplacent actuellement les plus anciens évaporateurs à faisceau de tubes noyés, dans lesquels les tubes étaient plongés dans l'eau de mer. Figure5-

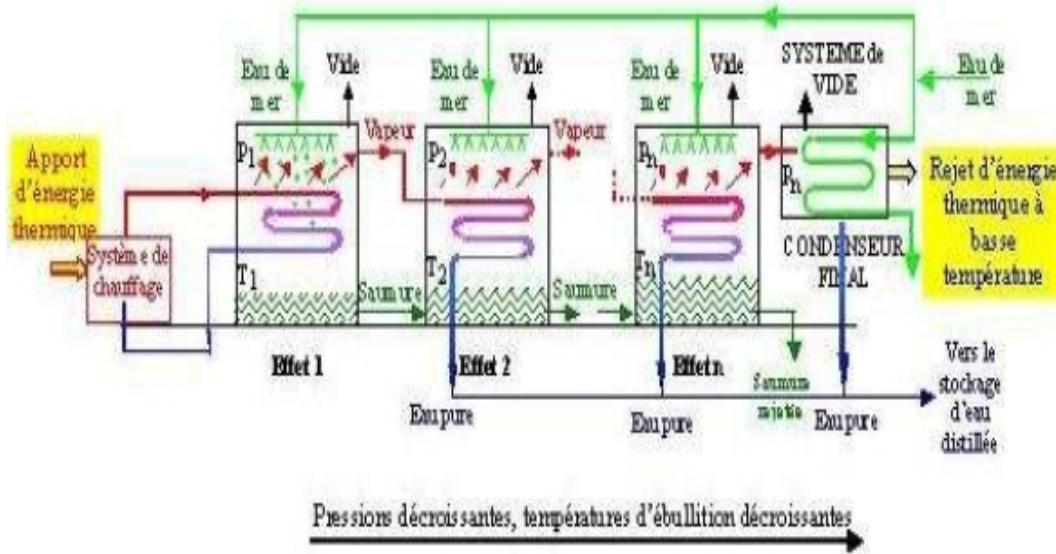


Figure II. 5 : Système d'évaporateurs multiples effets à tubes horizontaux [source1]

2-2-3-2-Les évaporateurs multiples effets à plaques

Ils sont en cours de développement. Dans ce type de dispositifs l'eau de mer à évaporer s'écoule sous forme de film fin, le long d'une mince plaque métallique chauffée par la vapeur provenant de l'effet précédent qui s'écoule le long de l'autre face de la plaque métallique. De nombreuses plaques entre lesquelles s'écoulent alternativement l'eau de mer et la vapeur de chauffage sont associées en parallèle pour constituer un effet.

La vapeur produite est recueillie dans une calandre cylindrique, dans laquelle sont placées les plaques. Cette vapeur est ensuite envoyée entre les plaques situées dans une calandre, qui constitue le deuxième effet et ainsi de suite. [17].

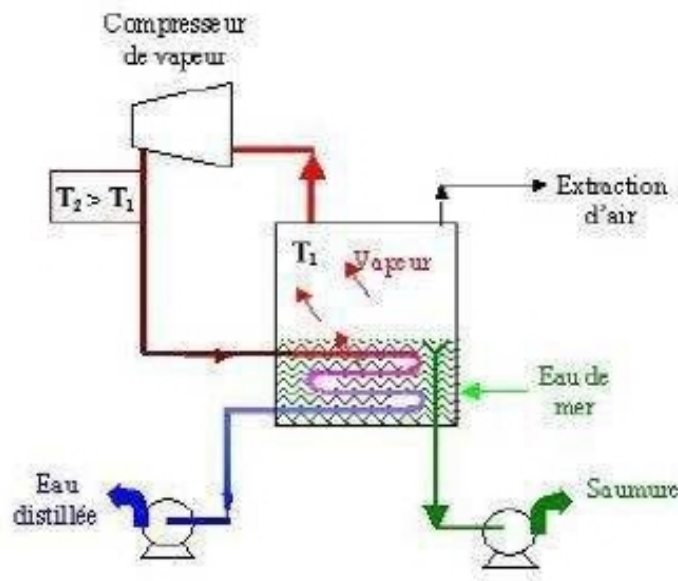


Figure II.6 : Système d'évaporateurs multiples effets à plaques. [Source1]

2-2-4-Dessalement sous vide

L'eau salée en (A) (figure .7) refroidie par les échangeurs de chaleur (B1, B2) pénètre dans le compartiment inférieur du convertisseur (C), où la pompe (d) entretient un vide poussé; elle se mélange à la saumure froide entrant par (E) et il y a à la fois ébullition et formation de Cristaux de glace. La vapeur s'échappe par (F) et les cristaux sont entraînés jusqu'au laveur (G) où de l'eau douce venant de (H) les laves; la saumure passe au compartiment axial (I) pour être en partie recyclée et rejetée après avoir refroidi l'échangeur (B1).

Le groupe frigorifique (J) entretient la basse température du laveur, d'où les cristaux de glace, collectés par le racleur rotatif (K), passent au convertisseur pour y être fondus par la chaleur de condensation de la vapeur ; de l'eau douce à 0°C, après avoir traversé l'échangeur de chaleur (B1, B2), est collectée en (L). [18]

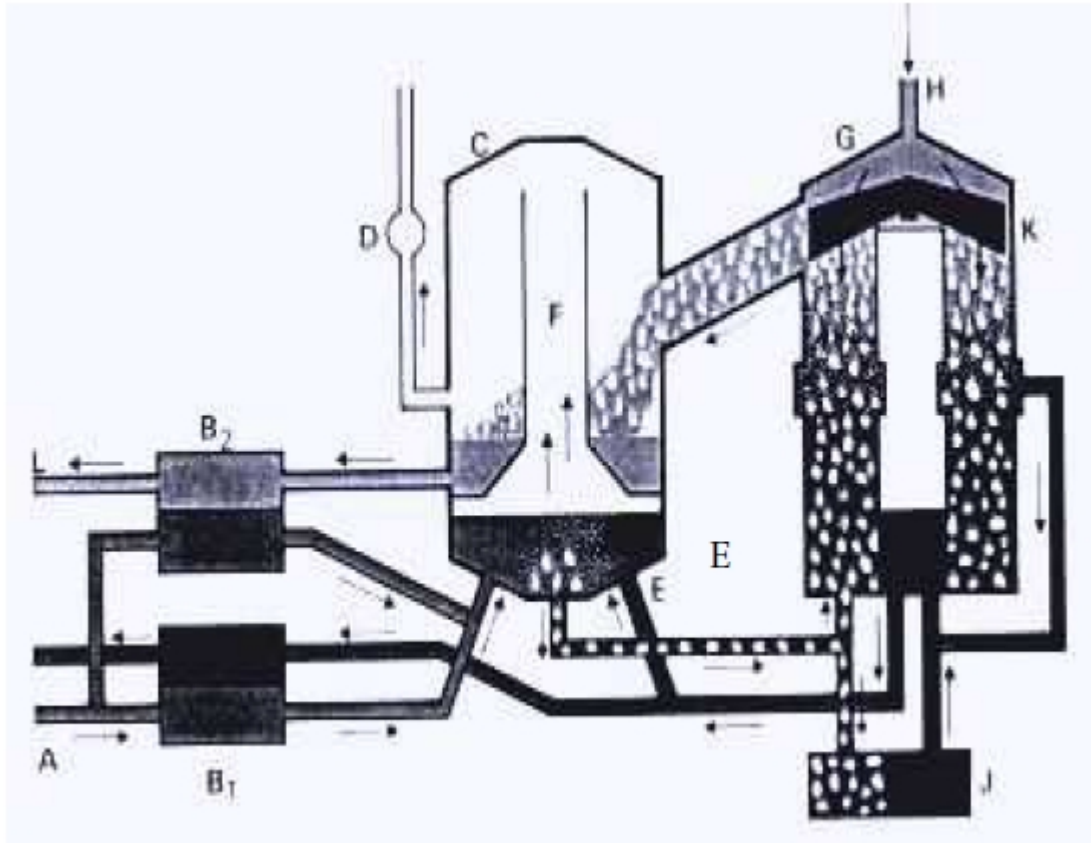


Figure II.7 : Système de dessalement sous vide. [Source 2]

2-2-5-Dessalement par l'énergie solaire

2-2-5-1-L'historique de dessalement solaire.

L'idée de fabriquer de l'eau pure à partir de l'eau de mer tourmente les populations assoiffées depuis des centaines, pour ne pas dire des milliers d'années. La prémisse originale reposait sur l'idée que par ébullition ou évaporation, l'eau pouvait être séparée du sel. Cette théorie – évaporation ou distillation – constituait le fondement de la technologie des premières installations de dessalement à grande échelle qui apparurent dans les années 50 et 60, tout d'abord au Moyen Orient.

Mais la plus grande réalisation est apparue en 1872 près de las -salinas dans le nord de chili.

-Le 1^{er} module à été fabriqué par Carlos Wilson. Ingénieur suédois avec une surface vitrée de 5000 m² produisant jusqu'à 20 m³ d'eau potable par jour à partir d'un puits salin contenant 140 (g/l)

-Ce système de dessalement reste fonctionnel jusqu'à en 1990, à cause de l'accumulation des sels dans le bassin ; qui nécessitent un nettoyage régulier de distillateur.

La distillation solaire Connue une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale, en 1920 Kaush utilisait des réflecteurs en métal pour la concentration des rayons solaires il en résulte l'apparition de nouveaux appareils (type toit, couverture en v, plateau incliné....)

-Une installation due à Guinitous groupant 30 appareils 1m^2 fut réalisée à Bengardane en Tunisie en 1929. Au début de 1930 Trifinov proposa un distillateur incliné, en 1938 Abbot utilisait des réflecteurs cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires, le tout est à cheminer dans des tubes contenant de l'eau.

Aussi pour les femmes une tâche dans ce domaine, Maria Tleks inventa en 1945 un nouveau type de distillateur solaire est appelé distillateur solaire sphérique, qui fut utilisé de la même manière, Américains un grand nombre de ce modèle, environ de 2000 utilisés pendant la 2^{ème} guerre mondiale. En 1969 Cooper proposa une simulation pour analyser les performances d'un distillateur à effet de serre, Depuis les années 70 plusieurs types de distillateurs solaires ont été élaborés et étudiés, parmi lesquels :

- Le distillateur à effet multiple
- Le plateau incliné ou le distillateur incliné
- Le distillateur type niche ou distillateur multiple niches
- Combinaisons de distillateur à effet de serre

Plusieurs pays se sont intéressés au dessalement solaire parmi lesquels

-L'Algérie

En 1953 Cyril **Gomela** a développé différents types de distillateur solaire, plus 20 distillateurs solaires d'une dizaine de types ont été testés et certains d'autres ont été commercialisés à travers l'Afrique du nord, le Soudan et l'Australie, des essais ont été effectués au désert de Biskra, Adrar et Ouargla.

-L'Australie

Le Csiro (comme Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) a entrepris des recherches sur ce type de distillation. Une unité similaire à celle de Gomela a été développée entre 1963 et 1967 le Csiro a construit et testé plus de 8 distillateurs, le but de ces tests était d'améliorer l'efficacité du distillateur, une variété de matériaux a été utilisée pour la construction du distillateur.

-Inde

-En 1957 deux petits distillateurs à effet de serre ont été construits pour étudier les effets de l'inclinaison de la vitre, il a été constaté qu'un distillateur en verre avec faible épaisseur de la solution donnait de bon rendement.

-Chili

-En plus des installations du premier distillateur construit en 1982. D'autres sites de distillateurs inclinés ont été installés entre 1969 et 1970, le but de ce travail était de prédire les caractéristiques de fonctionnements d'un distillateur sous différentes considérations atmosphériques

Les USA

- Des centres de recherches, dont l'université de Californie ont entrepris Just après la 2^{em} guerre mondiale, des recherches sur la distillation solaire, plusieurs configurations de distillateur solaire simple ont été construites et testées pour essayer de réduire d'une part le coût économique et d'une part d'augmenter le rendement, les effets de nombreux paramètres, différents matériaux d'insolation ont été étudiés.

Espagne

-En 1964 l'Espagne construit la 1^{er} usine de dessalement qui est installée à Lanzarote, dans les Canaries,

-Dans le 21^{em} siècle 95% des recherches dans le domaine de dessalement solaire ont été faites à pour but d'améliorer le rendement du dessalement, et de développer des nouvelles techniques de production de l'eau potable à partir de l'eau salée. [19]

2-2-5-2-Le distillateur solaire

C'est un système qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique, cette dernière est utilisée soit directement (cas de chauffage), soit elle-même convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire des cycles thermodynamiques. Il se compose principalement de :

- Un couvercle transparent, généralement du verre, qui permet le passage du rayonnement solaire ($0.4 < \lambda < 0.8 \mu\text{m}$) et devient opaque aux rayons infrarouges.
- Un bac dans lequel se trouve l'eau salée ou saumâtre.
- L'absorbeur, (surface revêtue d'une peinture noire), qui permet d'absorber au maximum le rayonnement solaire, il en résulte une augmentation de sa température.
- Un isolant pour diminuer les pertes thermiques.

2-2-5-3-Le principe de fonctionnement du distillateur solaire

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau dans le bac va se chauffer d'autant plus vite que le bassin est noir). [20], et avec l'augmentation de température une partie de l'eau

s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente et enfin récupérer dans un récupérateur (voir la figure 8)

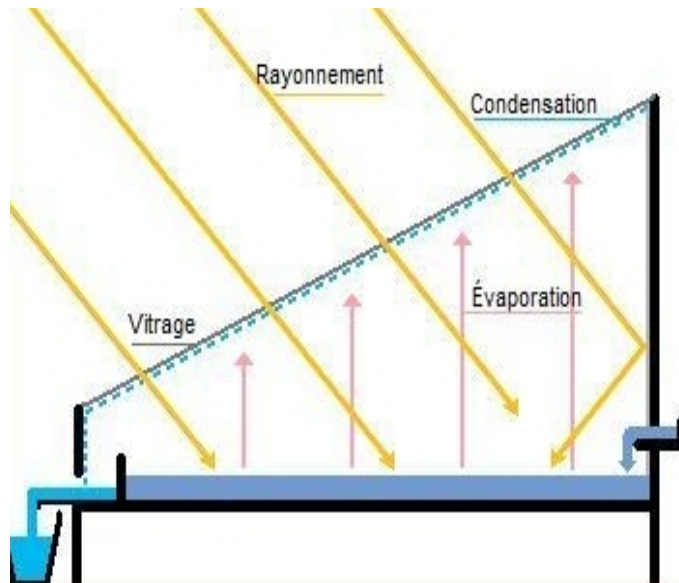


Figure II.8 : Le principe de fonctionnement du distillateur solaire plan. [Source 3].

2-2-5-4-Les types de distillateurs solaires

On peut classer les différents types de distillateurs solaires selon la quantité d'eau produite par jour ou l'emplacement de l'eau salée.

2-2-5-4-1- Première classification

Selon la capacité de production, il existe deux types de fabrication des distillateurs, ils peuvent être construits:

- Soit sous forme de produit modulable, il s'agit principalement, d'un bac (plastic, tôle, bois...) isolé inférieurement et recouvert d'un vitrage. Plusieurs distillateurs peuvent être alimentés simultanément pour former une unité de distillation. Leur nombre dépend de la capacité d'eau produite désirée. Ce modèle est utilisé seulement pour de très petites capacités, (plusieurs dizaines de litres par jours). Il est pratique quand les besoins en eau distillée ne sont pas très importants (laboratoire d'analyse, parc auto ...).
- Ils existent plusieurs variantes, on peut citer, le distillateur plan, en cascade, à mèche, à multiples effets, sphérique... etc.
- Soit en maçonnerie, quand les besoins sont plus importants, (plusieurs centaines de litres/jour). La surface dépend de la quantité d'eau distillée voulue. Un certain nombre d'applications sont effectuées généralement dans les zones rurales où les surfaces au sol sont disponibles.

2-2-5-4-2-Deuxième classification

On peut également classer les distillateurs solaires à effet de serre en deux catégories :

2-2-5-4-2-1-Les distillateurs statiques

La couche d'eau est immobile ; ils peuvent être à simple ou à double vitrage. On peut citer:

2-2-5-4-2-1-1 Le distillateur à simple vitrage

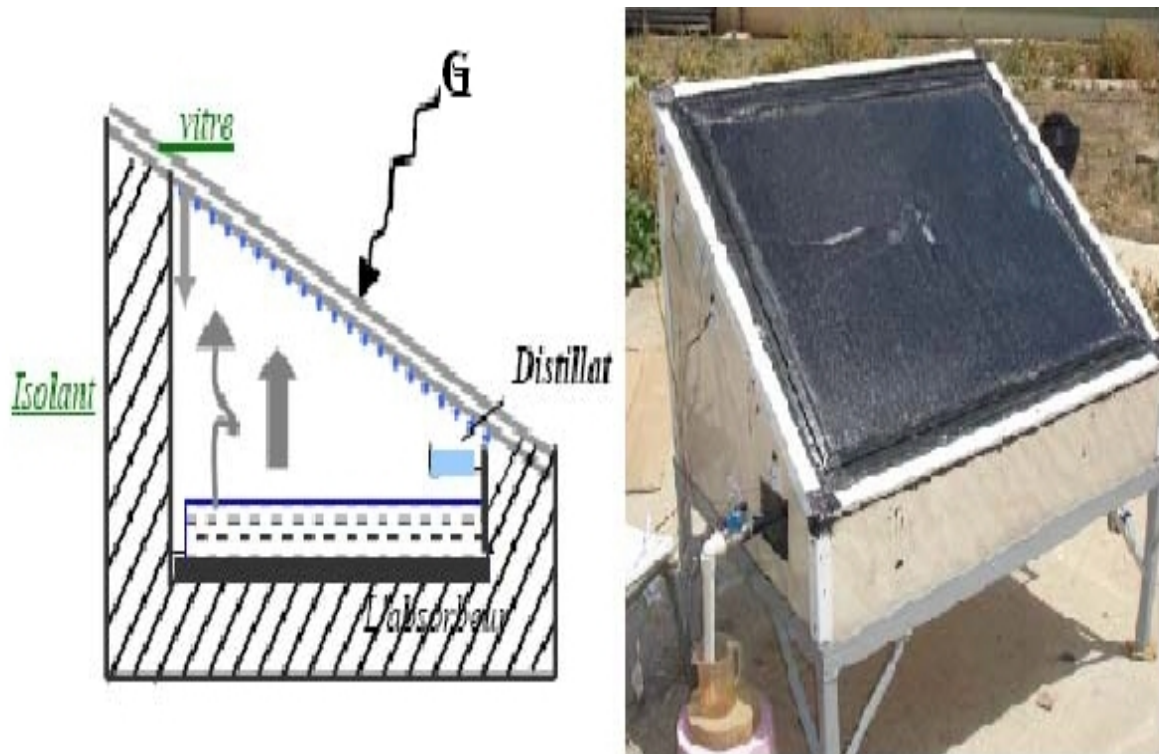


Figure II.9 : Distillateur à simple vitrage. [Source 4]

2-2-5-4-2-1-2 Le distillateur à double vitrage

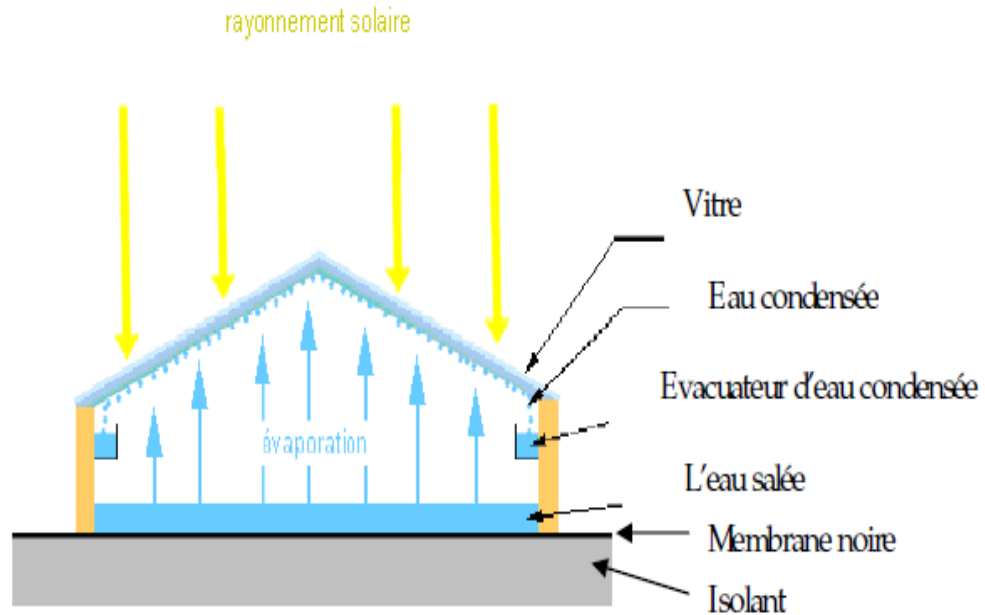


Figure II.11 : Distillateur à double vitrage. [Source 6]

Les deux distillateurs ont la même surface d'évaporation mais des surfaces de condensation différentes. L'avantage du distillateur à double vitrage, est d'exposer un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation. [21].

2-2-5-4-2-1-3-Distillateur solaire à étages multiples avec récupération de chaleur

Contrairement au distillateur simple décrit précédemment, le système de distillation avec récupération de chaleur se compose de deux unités différentes : la source de chaleur (un capteur solaire ou autre) et l'unité de distillation. Le distillateur est basé sur la construction d'un bâti constitué de plusieurs bassins contenant de l'eau saline, superposés les uns sur les autres et qu'on qualifie d'étages (voir la figure). [22]

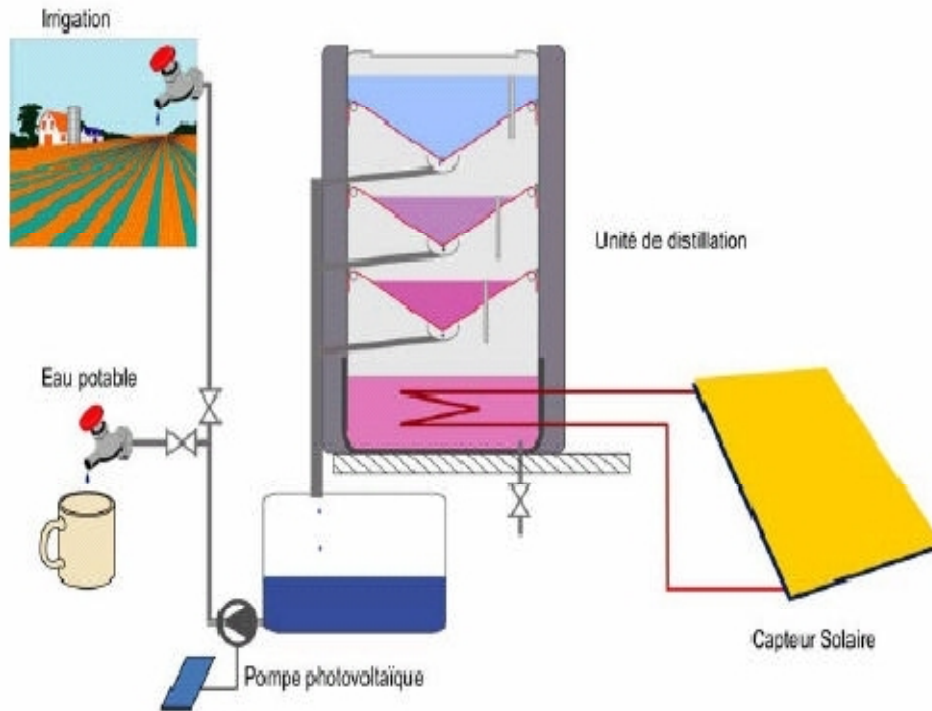


Figure II.12 : Schémas d'un distillateur solaire à étages multiples. [22]

2-2-5-4-2-1-4-Distillateur à cascade

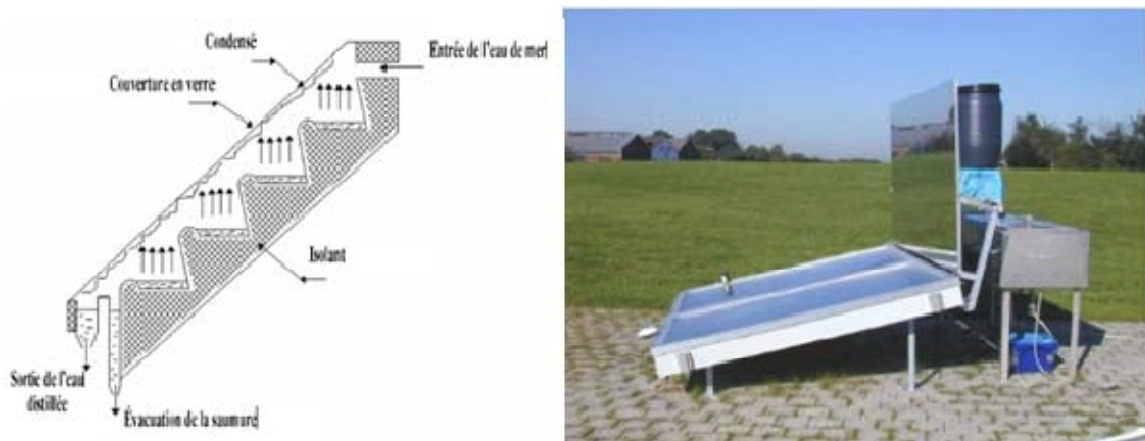


Figure II.13 : Distillateur à cascades source. [Source 7]

-Ce distillateur aux mêmes surfaces d'évaporation et de condensation que celles des deux premiers. Il diffère par la distance de condensation et d'évaporation. [23]

2-2-5-4-2-1-5-Le distillateur sphérique à balayage

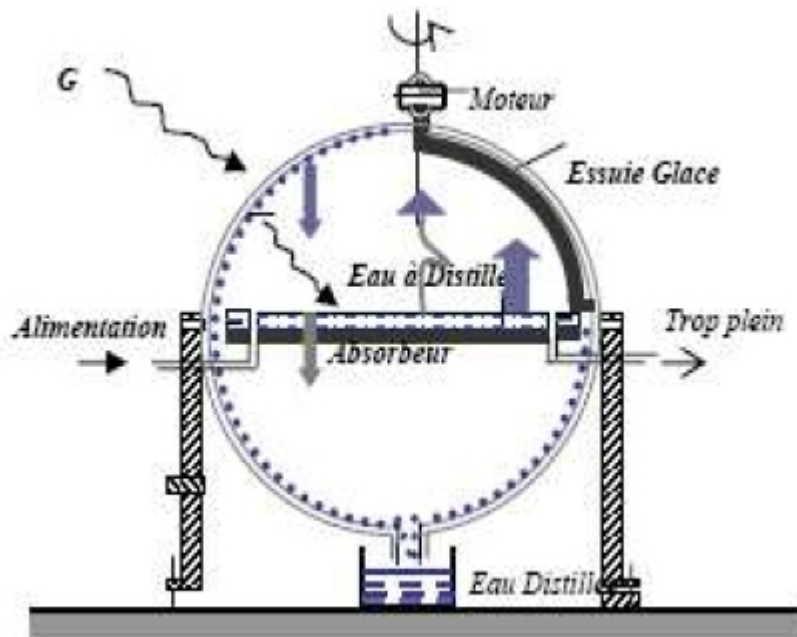


Figure II.14 : Le distillateur sphérique à balayage. [24]

Il est constitué d'une sphère en plexiglas (ou autre matériaux plastiques transparents), reposant sur des supports. La condensation s'effectue sur la demi-sphère supérieure, et le condensât est recueilli dans la demi-sphère inférieure. [25]

2-2-5-4-2-1-6-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 interfaciale, 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. [26]

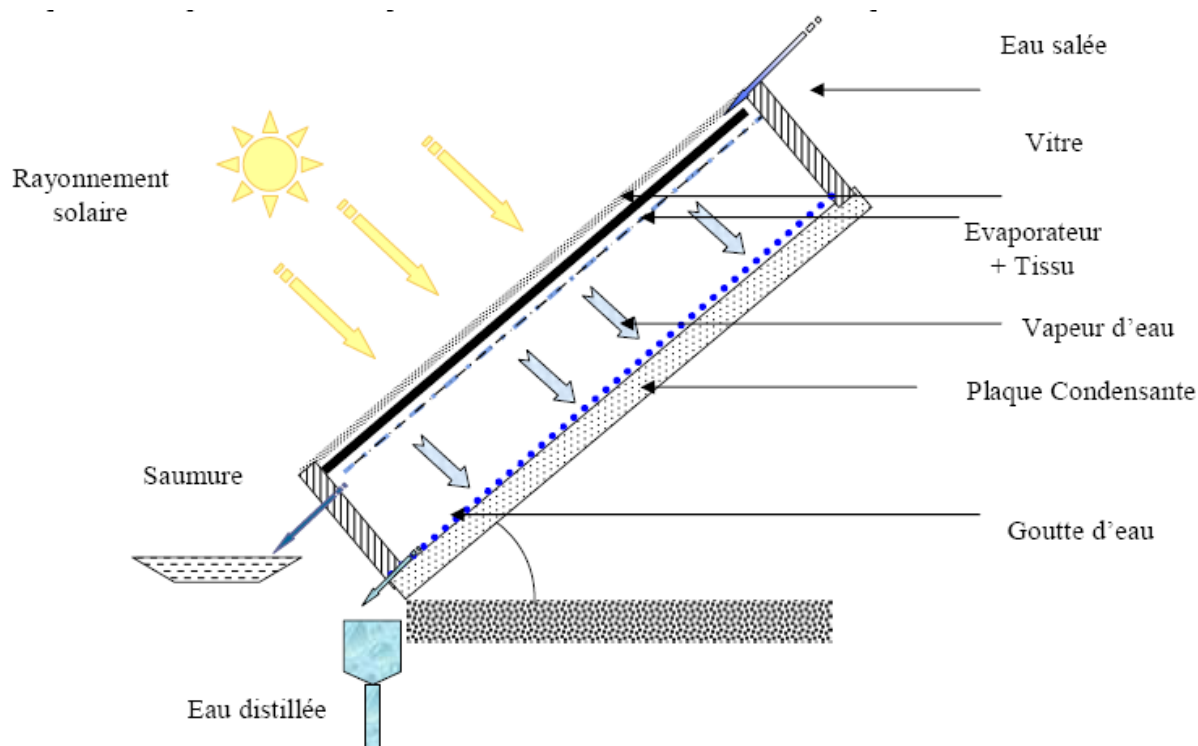


Figure II-15 Distillateur solaire a film capillaire. [Source 5]

2-2-5-4-3-Les distillateurs à ruissellement

Dans ce type de distillateurs, l'eau à distiller est en mouvement, différentes géométries existent, les plus utilisées sont :

2-2-5-4-3-1-Distillateur à équi-courant

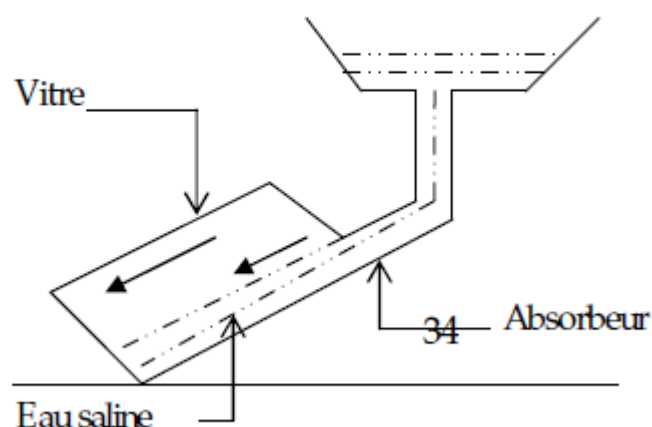


Figure II.116 : Distillateur à équi-courant.

2-2-5-4-3-2-Distillateur à courant croisé

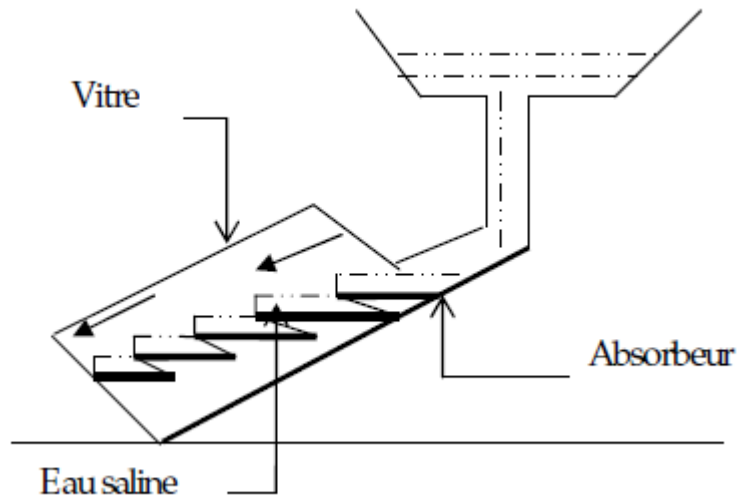


Figure II.117 : Distillateur à courant croisé

2-2-5-4-3-3- Distillateur à contre courant

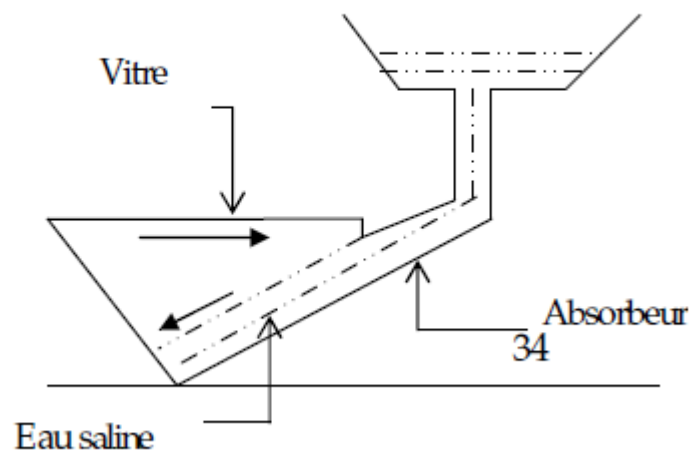


Figure II.15 : Distillateur à contre courant. [Source 5]

2-2-5-4-3-4-Distillateurs à mèche simple et simple ou double vitrage

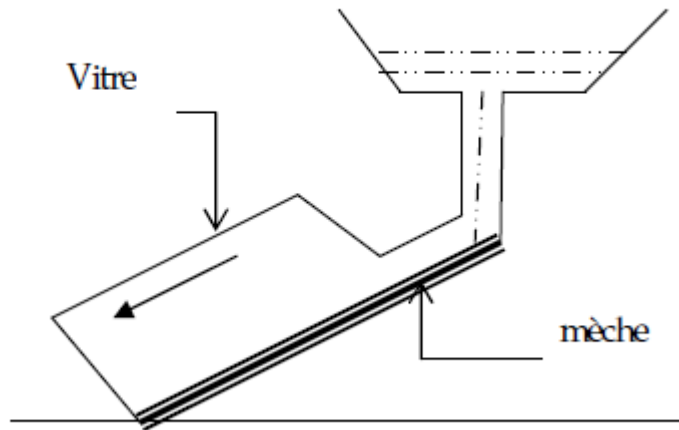


Figure II.118 : Distillateur à mèche simple et simple vitrage. [Source 5]

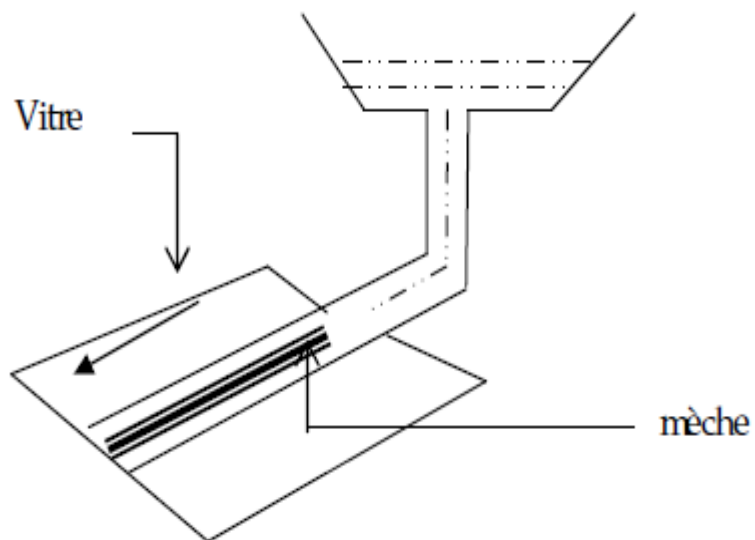


Figure II.119: Distillateur à mèche simple et double vitrage. [source 5]

Le distillateur solaire à double vitrage et multiples mèches donne un rendement de 20% de plus que celui d'un distillateur à mèche simple.

2-2-5-4-3-5-Distillateur auto alimenté

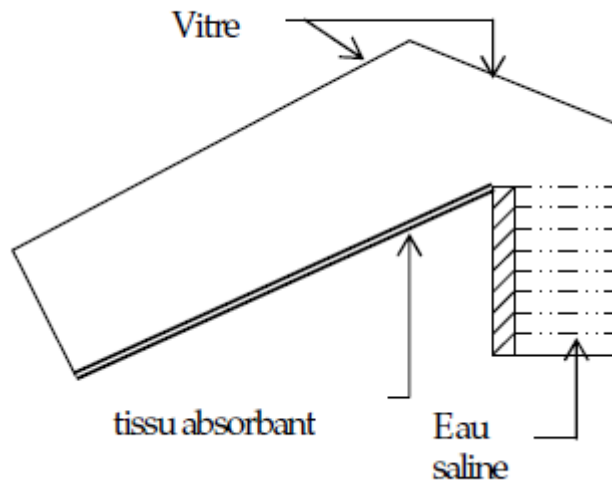


Figure II.120- Distillateur auto alimenté. [Source 5]

- Les distillateurs à ruissellement présentent beaucoup d'inconvénients tels que :
- Un réglage difficile du débit.
- Une perte de chaleur sensible emportée par l'eau non évaporée.
- Une utilisation importante d'eau à distiller.

2-2-5-4-Distillateur solaire vertical :

Le distillateur solaire vertical est composé:

- D'un capteur solaire permettant la captation du rayonnement solaire.
- D'un compartiment d'évaporation.
- D'un compartiment de condensation.

La **figure II 20**, présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau l'entrée de distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant.

Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6).

L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7), s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers les

deux ouvertures (8) réalisées dans une cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans la gouttière (figure II-20) fabriquée en dessous de la plaque de condensation. [27]

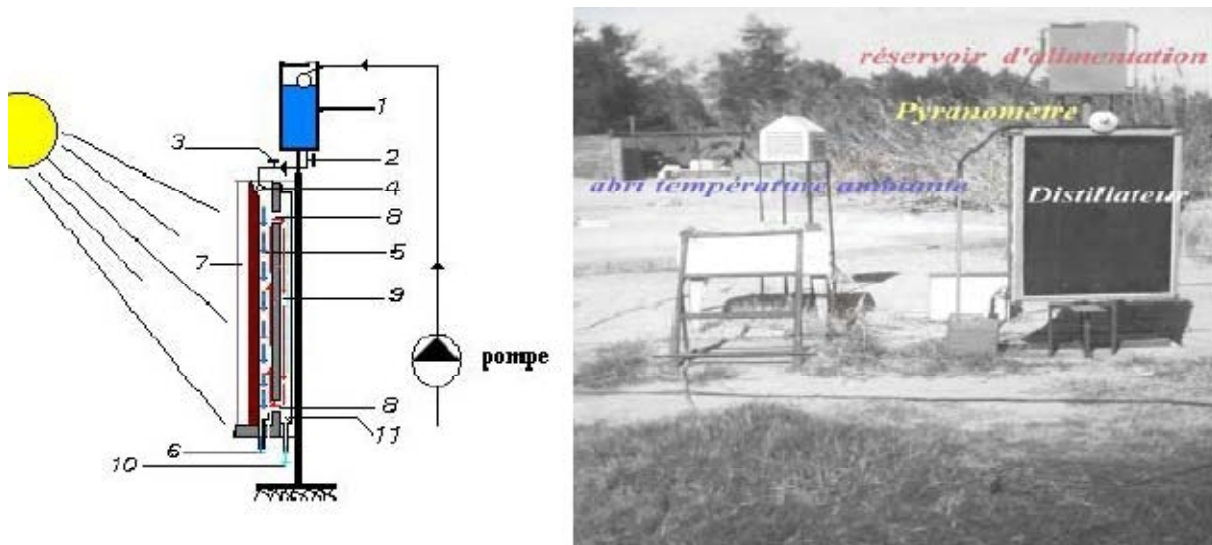


Figure II 21: distillateur solaire vertical. [27]

2-2-5-5- Distillateur de type Watercone

C'est un petit distillateur solaire gonflable. Utilise pour produit de l'eau potable à partir de l'eau de mer. [28]



Figure II. 22 : Distillateur solaire gonflable [28]

3-Distillateur solaire associé à d'autres dispositifs

Généralement les performances des distillateurs solaire sont faible (2-5 l/m².jour). [29], et aussi pour assuré une production nocturne il faut réalise des systèmes complexes avec un préchauffage de l'eau à distiller ou une concentration de l'énergie. Sans être exhaustif nous pouvons citer :

3-1-Distillateur avec un panneau solaire thermique

On peut coupler le distillateur avec un capteur solaire thermique. Ce Principe est basé sur l'idée de préchauffage de l'eau à distiller à travers des panneaux thermiques qui sort ainsi à une température de 70 à 80 °C puis entre dans le distillateur simple ou à multiple-effet. Dans ce type de système de dessalement on distingue deux modes ce long la circulation de fluide caloporteur :

- Système à circulation naturelle, (circulation par gravité ou thermosiphon).
- Système à circulation forcée.

3-1-1-Système à circulation naturelle

Le fluide circule dans des circuits fermés de température T_1 dans une branche et T_2 dans l'autre. Dans ce cas particulier très simple, le fluide se met en mouvement des parties les plus chaudes vers les parties les plus froides, la charge Δp crée par la différence de températures des deux branches à pour valeur :

$$\Delta p = h(\rho(T_1) - \rho(T_2)) \quad (2.1)$$

h : La différence de côte.

ρ : Masse volumique du fluide

-On obtient la vitesse de circulation du fluide à l'équilibre en écrivant que Δp est égale à la somme des pertes de charge linéaires et locales dans le circuit considéré. Ce système doit comprendre un capteur et un réservoir surélevé par rapport à ce dernier.

Dans ce cas, l'énergie nécessaire à la circulation est prélevée sur l'énergie thermique fournie au fluide caloporteur ; le bilan énergétique global correspond à celui que l'on aurait avec une pompe en circuit. L'intérêt de ce mode de circulation est de s'affranchir d'une alimentation électrique ; mais la vitesse de circulation est faible, ce qui impose des diamètres de canalisation forts et l'effet inverse, possible la nuit, nécessite des précautions (clapets anti retour).

Ce système peut utiliser deux types de stockage.

3-1-1-1-Système à un fluide, stockage sans échangeur

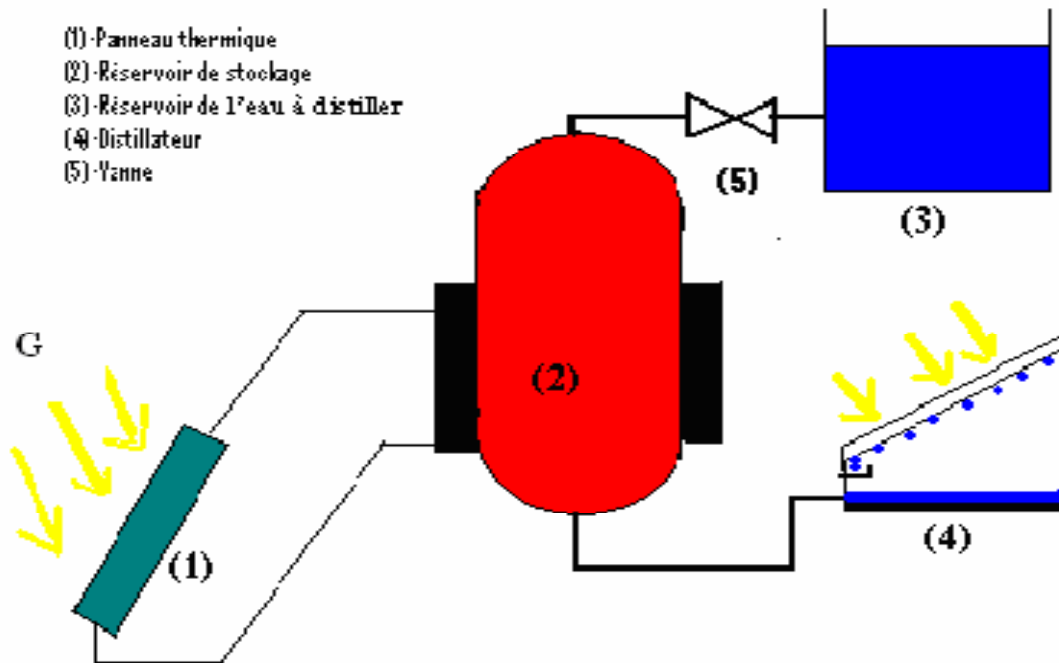


Figure II.23 : Stockage d'énergie solaire sans échangeur. [Source 1]

Ceci correspond, dans le stockage à un échange de chaleur par mélange, ce système qui possède de toute manière une efficacité supérieure à celle de tout échangeur tubulaire ou à plaque. L'inconvénient majeur de l'installation réside dans le fait que le fluide qui circule dans le capteur est renouvelé constamment ce qui favorise la formation de dépôts isolants de tartre sur la face interne de l'absorbeur.

3-1-1-2-Système à deux fluides, stockage à échangeur

Le fluide primaire (1) traverse un échangeur, tubulaire généralement placé à la base du réservoir (R), le fluide secondaire (2) reçoit la chaleur provenant de (1) par l'intermédiaire de l'échangeur. Avec cette disposition, une stratification des couches d'eau s'établit dans (R) et le fluide chaud se retrouve dans la partie supérieure où il peut être prélevé, l'appoint d'eau s'effectue à la base de (R). Le plus répandu des deux systèmes est celui utilisant la circulation forcée avec échangeur, car il offre le fonctionnement le plus souple et le plus sûr. Mois

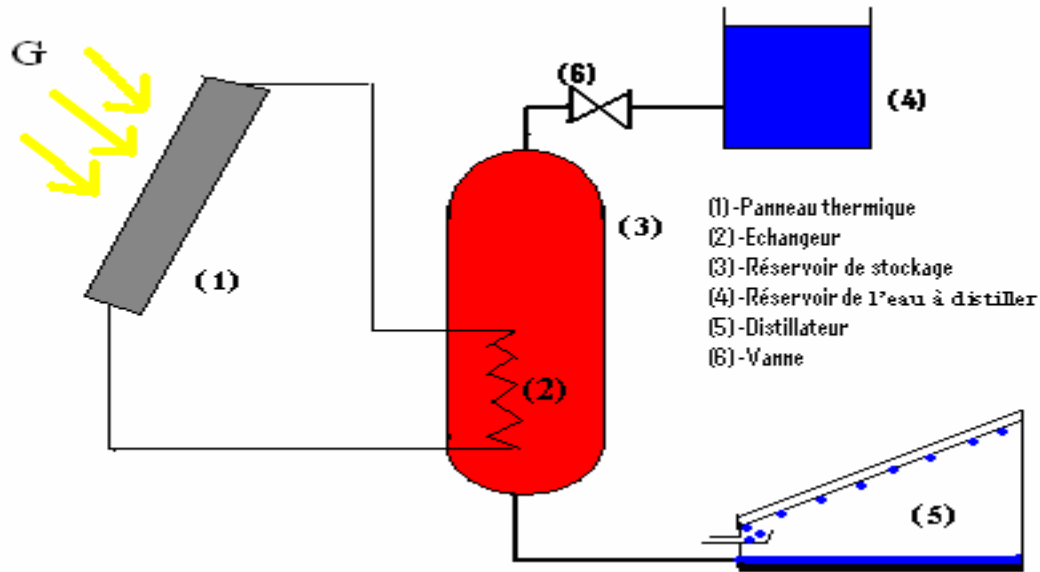


Figure II.24 : Stockage d'énergie solaire avec échangeur. [Source 1]

3-1-2-Système à circulation forcée

Habituellement on obtient un fonctionnement beaucoup plus souple avec un circuit comprenant une pompe P, à débit réglable. Dans ce cas, le réservoir peut occuper une position indifférente, plus proche de l'utilisateur en particulier ; d'autre part, une forte vitesse de circulation du fluide permet de diminuer le dimensionnement des canalisations, [29]. Ce système comme précédemment peut utiliser deux types de stockage.

- système à un fluide, stockage sans échangeur.
- Système à deux fluides, stockage à échangeur.

3-2- Distillateur avec panneau photovoltaïque

3-2-1- Principe de fonctionnement

Le panneau photovoltaïque sert à convertir l'énergie solaire en énergie électrique, néanmoins, le courant est produit à des tensions variables en fonction de l'ensoleillement.

Pour une utilisation en courant continu, un régulateur de tension est nécessaire pour charger une batterie, accumulateur, (généralement en 12v). Si les appareils sont prévus de fonctionner en courant alternatif, un onduleur sera nécessaire à l'entrée de cet appareil. Le principe d'une installation Photovoltaïque, est illustré par la figure-23-.

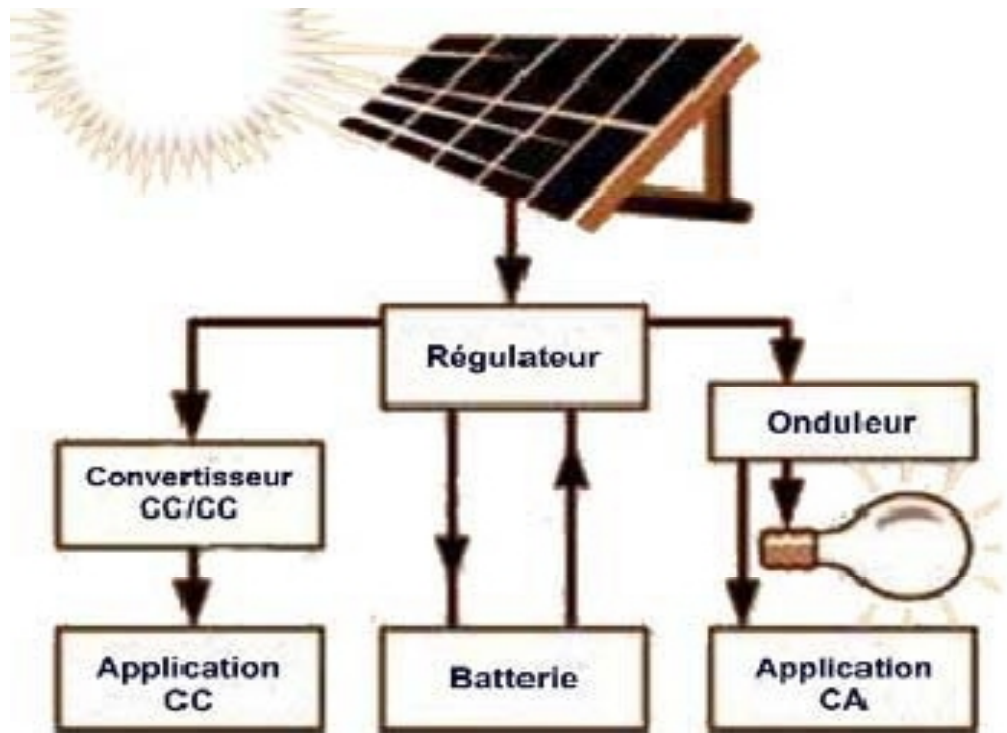


Figure II.25: Schéma d'une unité de dessalement avec un panneau photovoltaïque [Source 1]

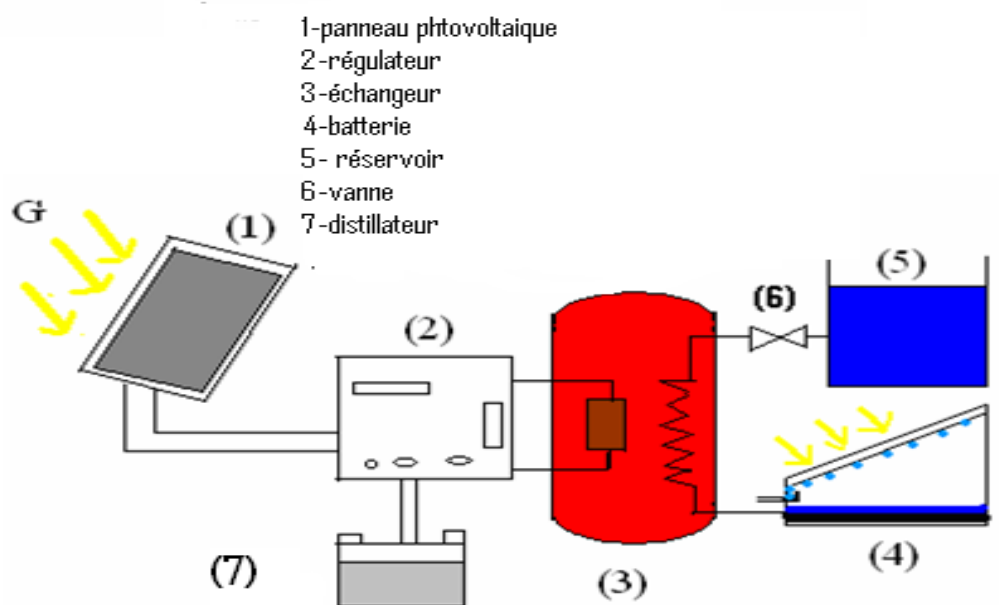


Figure II.26: Distillateur avec un réservoir de stockage préchauffé par Un panneau photovoltaïque. [Source 1]

Le couplage d'un distillateur avec des panneaux photovoltaïques se fait avec des résistances qui chauffent l'eau à l'entrée du distillateur à la température désirée, figure.

On peut aussi chauffer un fluide (air, eau) au fond du distillateur avec des résistances électriques tel que le montre la figure

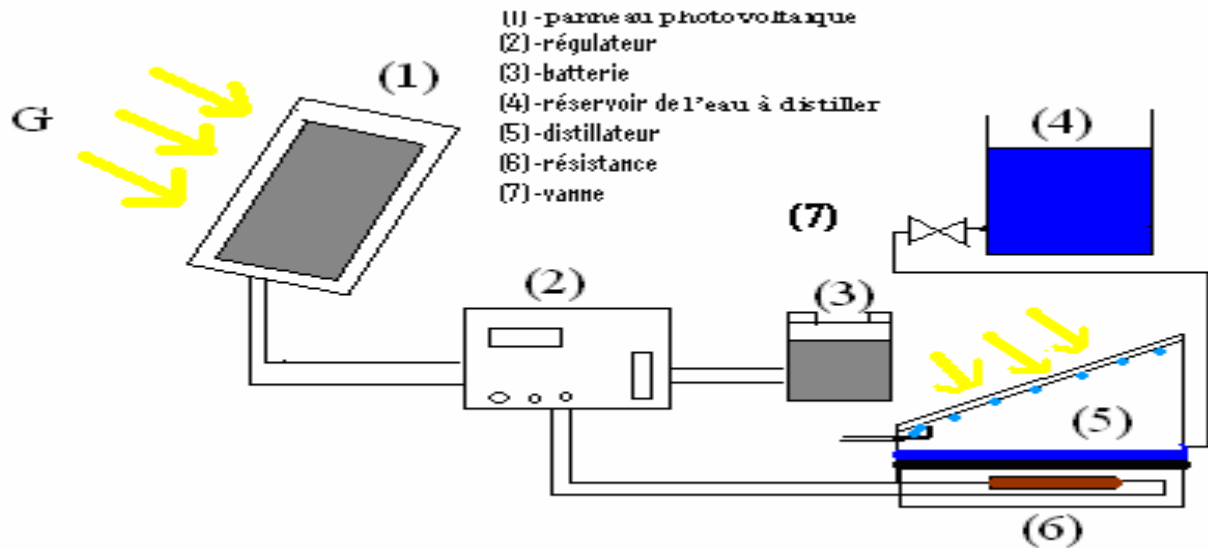


Figure II.27: Installation avec panneau photovoltaïque et résistance
Au fond du distillateur. [Source 1]

3-3-Distillateur avec une éolienne

Une éolienne peut fournir de l'électricité au réseau et délivrer des puissances importantes, de l'ordre de 2 MW à l'intérieur des terres et de 5 MW en mer.

Les éoliennes de faible puissance (typiquement de 1 kW à 40 kW), sont généralement non raccordées aux réseaux de distribution d'électricité, l'énergie produite est destinée à satisfaire des besoins particuliers, pour le chauffage ou la consommation d'électricité.

3-3-1- Le Principe de couplage

Le distillateur utilise la chaleur produite grâce à une résistance chauffée par l'électricité générée par une éolienne de faible puissance (le cas d'une éolienne pas raccordé au réseau électrique).

Le principe est représenté par la figure

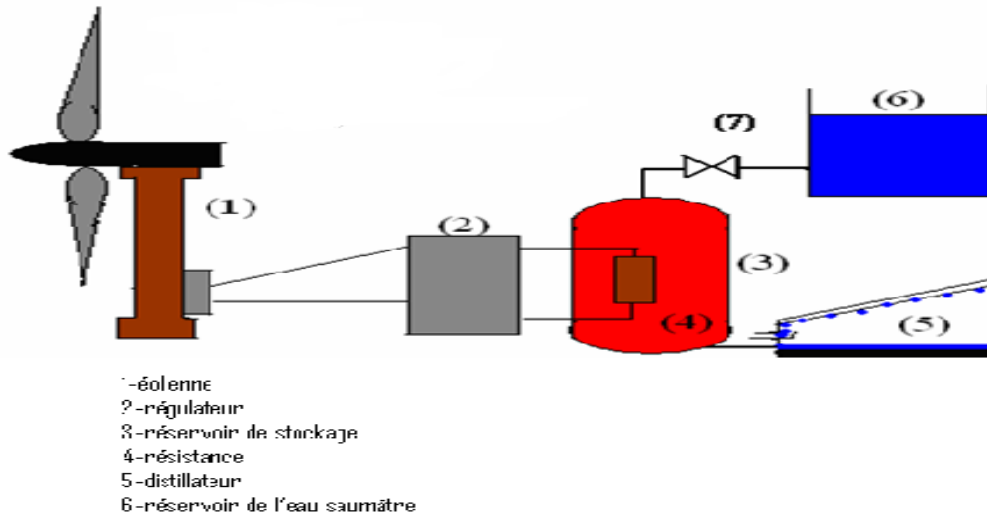


Figure II.28 : Couplage distillateur solaire et éolienne. [Source 1]

3-4-Distillateur avec des réflecteurs internes et externes.

L'utilisation des réflecteurs internes ou externes (figure-25-), peut être utile et peu coûteuse pour augmenter le rayonnement solaire incident sur le recouvrement du bassin, il en résulte un accroissement de la production.

Tamimi [30], a signalé que l'efficacité est augmentée de 20 à 30% quand tous les côtés intérieurs (côtés et murs arrière) ont été couverts de réflecteurs.

-Des études expérimentales montrent que les réflecteurs internes et externes peuvent remarquablement augmenter la productivité de distillat, tout au long de l'année, excepté pendant la saison d'été.

-Ainsi l'augmentation des quantités quotidiennes de distillat en ajoutant les réflecteurs internes et externes au distillateur type à pente simple pendant l'année entière est alors amenée approximativement à 48 % .[31].

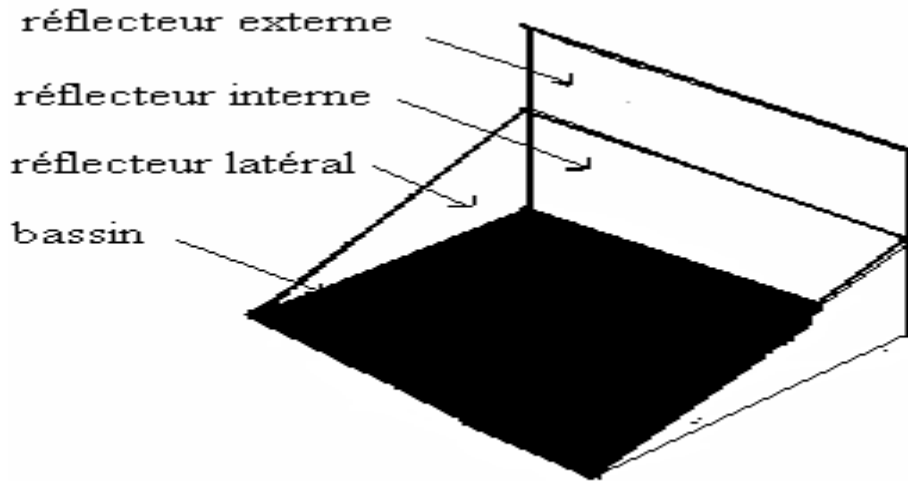


Figure II.29 : Distillateur solaire avec des réflecteurs

Internes et externes. [Source 1]

-Le fond de distillateur généralement est noir pour augmenter le taux d'absorption

4-Paramètres de fonctionnement d'un distillateur solaire

-On notera que **Satcunanathan** and **Hansen**, [32] à défini un facteur de performance brut (F.P.B) et un facteur de performance horaire (F.P.H) qui permet de caractériser d'une manière plus absolue le distillateur, leurs expressions respectives sont :

$$FPB = \frac{\text{quantité d'eau produite au bout de 24h}}{\text{quantité d'énergie entrée au bout de 24h}} \quad (2.2)$$

$$FPH = \frac{\text{quantité d' eau produite au bout d' une heure}}{\text{quantité d' énergie entrée au bout d' une heure}}$$

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

$$FP = \frac{m_d}{\alpha_t G A} \quad (2.3)$$

F.P : facteur de performance

5- Paramètres et caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire

-Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production d'eau de tels distillateurs. On distingue constamment : le rendement, l'efficacité interne et globale et la performance. [24].

5-1-Le rendement :

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

Le rendement d'un distillateur simple est : $\eta = \frac{m_d h_{ev}}{G A}$ (2.4)

h_{ev} : Enthalpie d'évaporation.

m_d : Le débit de masse distillat calcule par :

$$m_d = \frac{q_{ev}}{L_v} \quad (2.5)$$

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

5-2-L'efficacité

L'auteur [Zay 2002] a défini deux types d'efficacité :

5-2-1-L'efficacité globale : η_g (‰) :

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 :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{G \times A} = \frac{m_d \times L_v}{G \times A} \quad (2.6)$$

Avec :

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

-A : Superficie du capteur (aire de la vitre).

- L_v : Chaleur latente de vaporisation.

5-2-2-L'efficacité interne

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

Est définie par :

$$\eta_i = \frac{Q_{ev}}{Q_{eau}} \quad (2.7)$$

Pour une intensité de l'éclairement G l'expression de Q_{eau} s'écrit :

$$Q_{eau} = (\tau_v \cdot \alpha_e + \tau_v \cdot \tau_e \cdot \alpha_b) \cdot G \cdot A \quad (2.8)$$

Q_{eau} : Puissance absorbée par l'eau distillée

On admet évidemment que la chaleur absorbée par le fond de distillateur cédée totalement au film d'eau par convection

On peut définir un coefficient dit coefficient d'absorption fictif α_t pour la masse d'eau [33] en posant :

$$Q_{eau} = \alpha_t \cdot G \cdot A \quad (2.9)$$

Le coefficient α_t est obtenu en utilisant les caractéristiques optiques et thermiques du distillateur par la relation :

$$\alpha_t = \tau_v \cdot \alpha_e + \tau_v \cdot \tau_e \cdot \alpha_b \quad (2.10)$$

Avec :

τ_v : Le coefficient de transmission de la vitre

α_e : Le coefficient d'absorption d'eau

τ_e : Le coefficient de transmission de la vitre

α_b : le d'absorption du fond du distillateur

Alors :

$$\eta_i = \frac{m_d L_v}{\alpha_t G A} \quad (2.11)$$

α_t : Le coefficient d'absorption global du distillateur.

Soit le tableau suivant qui représente la comparaison entre les différentes technologies de dessalement soit du côté de la consommation de l'énergie ou de la quantité d'eau produit

6-Constante de temps du distillateur [34] :

La constante de temps du système mesure, en termes de temps, la capacité calorifique du système. Elle dépend, en général, de la construction du collecteur, des matériaux utilisés, de la chaleur du fluide caloporteur, du facteur d'extraction de chaleur, du débit du distillat et évidemment de la température de fonctionnement. Un temps de réponse faible n'a qu'un effet secondaire sur les performances moyennes du collecteur à long terme.

7- Paramètre influant sur le système de distillation solaire. [35]

On peut le classe les paramètres qui influent sur le système de dessalement par énergie solaire en deux types de paramètres :

1 - Paramétrés externes

2 - Paramètres internes

7-1- Paramètres externes

Ces paramètres sont liés au site d'installation du système de dessalement

7-1-1-Paramètres géographiques

-Tels que la longitude, la latitude et la hauteur du soleil.

7-1-2-Paramètres météorologiques, dont les plus fréquemment retenus est :

7-1-2-1-1Intensité du rayonnement solaire :

C'est le facteur essentiel dans cette étude. C'est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde (0.17 à 4 μm) .Le maximum d'intensité est obtenu pour la longueur d'onde 0.47 μm dans le spectre visible. L'intensité globale du rayonnement solaire arrivant aux confins de l'atmosphère sur une surface perpendiculaire est constante, est égale à 1.35KW/m². Cependant, l'énergie arrivant au voisinage de la surface terrestre est affaiblie par l'absorption d'une partie du rayonnement par l'atmosphère.

7-1-2-2-La **vitesse du vent**, qui à un rôle très important surtout dans l'échange de chaleur par convection entre la face externe et l'ambiance. (Il existe une relation linéaire entre le coefficient d'échange thermique par convection et la vitesse de vent.)

7-1-2-3-La **température ambiante** dont l'augmentation conduit à une décroissance de la production. D'autres paramètres atmosphériques tels que la pluie, la rosée, la poussière peuvent également influencer.

7-1-2-4-L'intermittence des nuages :

La quantité d'énergie solaire reçue par une surface dépend des paramètres A, et B qui dépendent de la nature de ciel. Cela revient à dire que le passage des nuages diminue l'absorptance effective moyenne.

7-2 Paramètres internes

7-2-1-Paramètres de position

- 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 :

- L'orientation : elle dépend essentiellement du fonctionnement du distillateur pendant la journée, on distingue notamment :

-Fonctionnement pendant la matinée.....orientation Est ;

-Fonctionnement pendant l'après- midiorientation Ouest ;

- Fonctionnement durant toute la journée.....orientation Sud
- L'inclinaison, elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant l'année :

$$\text{➤ -fonctionnement estival}\beta = \varphi - 10 \quad (2.12)$$

$$\text{➤ -fonctionnement hivernal... } \beta = \varphi + 20 \quad (2.13)$$

$$\text{➤ -fonctionnement annuel... } \beta = \varphi + 10 \quad (2.14)$$

β : L'angle d'inclinaison de la vitre du distillateur

φ : L'attitude du lieu

7-3-Paramètre de constriction (géométriques)

-Les matériaux utilisés dans la construction du distillateur ont une grande influence sur le fonctionnement de ce dernier, notamment :

7-3-1-La couverture :

La couverture intervient essentiellement par :

- sa nature
- sa mouillabilité par l'eau
- sa transparence au rayonnement solaire
- son opacité au rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'ondes
- sa résistance aux attaques du vent et des particules solides
- le nombre de vitres dans le cas où la couverture est vitrée.
- son inclinaison par rapport à l'horizontal

7-3-2-La surface absorbante

-Le rôle de l'absorbeur est de transformer le rayonnement solaire incident en flux thermique, les caractéristiques idéales sont :

- Un facteur d'absorption proche de l'unité, une Bonne conductivité thermique, une bonne résistance chimique vis à vis du fluide qui le baigne
- une faible inertie thermique. En outre il doit pouvoir supporter les grandes températures sans qu'il y ait une détérioration de sa surface. On choisit généralement l'Aluminium et le cuivre recouverts d'une mince couche de peinture noire mate, pour augmenter son pouvoir d'absorption et réduire les pertes thermiques par réflexion et diffusion.

7-3-3-La distance entre la surface d'évaporation et la surface de condensation

Ce paramètre détermine l'intensité des pertes thermiques latérales par convection, et la grandeur de la couche tampon qui freine l'échange entre la surface d'évaporation et la surface de condensation. Une recherche à montré qu'une réduction de ce paramètre augmente le facteur de performance brut. [32]

7-3-4-L'isolation des faces latérales du distillateur :

-L'isolation des faces latérales est pour but d'éliminées les pertes (transfert de chaleur avec le milieu extérieur).

7-3-5-Paramètres de la saumure :

- **M. Maalem** [36] à observé que plus l'épaisseur du film d'eau a l'intérieur du distillateur solaire est importante, moins sa température fluctue au cours de la production. L'inertie thermique augmente avec l'épaisseur, et la durée de fonctionnement nocturne croit également avec l'épaisseur, cependant la production moyenne pendant 24heures diminue lorsque l'épaisseur augmente. Des expériences ont montré que cette production suit la loi :

$$y = \frac{a}{x+c} + b \quad (2.15)$$

Avec:

Y : La production

X : L'épaisseur de la saumure

a, b, c : Paramètres dépendant de la forme de l'appareil et des conditions locales.

-Température de la saumure : les expériences faites dans le Sahara Algérien sur les distillateurs solaires à effet de serre ont montré que le débit instantané en fonction de la température calculé par la corrélation suivante :

$$y = \frac{51.607}{117-T} - 0.613 \quad (2.16)$$

Avec :

Y : Le débit instantané, exprimé en litre par heure.

T : La température, en degré centigrade, de la saumure dans la couche supérieure.

-Lorsque la température de la saumure augmente, un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau due à la formation de carbonates insolubles dans la saumure a été observé ; le dépôt salin agit sur le pouvoir absorbant de la surface noire et fait chuter considérablement la production

-La concentration du sel : La production du distillateur diminué quand la concentration du sel dans l'eau à distillée Augmente.

7-3-6- Paramètres optiques :

Les paramètres sont l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transmittivité de la surface absorbante et de la couverture.

7-3-7-Paramètres Thermo physiques :

Les paramètres thermo physiques sont :

- La conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique de la couverture, et la surface absorbante.

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

-La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique et le coefficient de dilatation thermique du mélange air - vapeur.

8- Conception objective pour un distillateur solaire efficace :

Pour un rendement élevé, le distillateur solaire devrait maintenir :

-Une température d'eau d'alimentation élevée.

- Une grande différence de température entre l'eau d'alimentation et la surface de condensation.

- Une faible fuite de la vapeur.

-Une grande différence de la température peut être effectuée si :

- La surface de la condensation absorbe peu ou rien le rayonnement entrant.

- L'eau de condensation absorbe la chaleur qui doit être enlevée rapidement de la surface de condensation.

En plus on doit surveiller les éléments suivants :

- Emplacement

Les distillateurs solaires fonctionnent à l'aide de l'énergie solaire directe sans une énergie additionnelle.

- La consommation et l'espace additionnel

L'eau distillée provenant du distillateur peut être de chaude à tiède. Il vaut mieux réfrigérer l'eau dans un pichet (petit broc) en verre pour la refroidir et la Stocker.

- Le goût

- L'eau distillée est insipide à cause de l'absence de minéraux selon les Préférences personnelles, le refroidissement de l'eau pourrait en améliorer le gout.

-La facilité de nettoyage

On choisit un modèle doté d'un absorbeur facile à nettoyer.

- La composition des distillateurs

On recommande que les distillateurs soient en Fer galvanisé, en Aluminium ou en plastique.

-Soit le tableau suivant qui comparer entre les différentes techniques de dessalement

La technique de dessalement	Caractéristiques de système de dessalement	Energie consommé (KWh/m ³)
Osmose inverse	-une production faible : 500 à 5000 m³/jour - appliqué pour l'eau saumâtre (une salinité inférieure à 10 g/l) - séparation des molécules organiques de 10⁻⁷ mm de taille Une qualité d'eau de salinité d'ordre de 0.5 g/l	4-5
Electrodialyse	- la quantité d'énergie consommée dépend de la concentration de sel. -une quantité d'eau produit faible - eau saumâtre de salinité inférieure à 10g/l	5
Distillation par dépression	eau très pure	2-3
Multi-Stage (Flash distillation MSF)	- grande capacité : supérieure à 5000 m³/jour - eau de mer de salinité supérieure à 30 g/l	15
Multi-Effect (distillation MED).	- grande capacité - eau de mer	15
Dessalement sous vide	-grande capacité - eau de mer	5
Dessalement par congélation	- grande capacité - eau de mer	5
Distillation solaire	2250 kj (si le changement d'état se fait à 100°C) - méthode très économique - rendement relativement faible : 4 à 5 l/m².jour	Energie gratuit est propre

Tableau II.1 : Les différentes méthodes de dessalement. [11]

9-Etat de l'art de la distillation solaire :

La complexité de la modélisation des transferts de chaleurs et de masse à l'intérieur de différents types de distillateur solaire, conduit à la proposition de plusieurs modèles mathématiques, qui permettent de régir le fonctionnement de ces dispositifs. Nous présentons dans ce qui suit, quelques résultats de travaux scientifiques recensés dans la littérature.

Le premier dans la modélisation mathématique d'un distillateur solaire est réalisé par **Dunkle** qui a présenté une formulation mathématique complète et un modèle théorique fondamental pour la prévision des procédés de transfert de chaleur et de masse dans les distillateurs solaires. Cette analyse a été basée sur la description du transfert thermique par convection libre basée sur la corrélation sans dimensions. $Nu = 0.075.Ra^{1/3}$, pour le flux de chaleur ascendant dans les espaces horizontaux. [37]

Rheinlander a proposé un modèle mathématique pour la résolution numérique des équations de transfert de chaleur et de masse dans les systèmes solaires. Les résultats obtenus ont été comparés avec succès aux premiers travaux de Cooper, Kumar et Tiwari [38].

Une analyse simplifiée a été présentée par **Malik et al.** Cette analyse fondée sur des hypothèses plus simplifiées que celles de Dunkle, mène aux corrélations de base de transfert de chaleur et de masse, qui ont été déduites de la relation de Lewis [39].

Kumar et Tiwari, Tiwari et al, Aggrawal et Tiwari ont obtenu de nouvelles valeurs améliorées des constantes numériques dans la corrélation sans dimensions du nombre de Nusselt [40] [41] [42].

Tiwari et al ont obtenu de meilleurs paramètres de corrélations de modèles de transfert thermique à partir de la mesure des températures de la surface interne du vitrage [43].

Tripathy et Tiwari ont étudié l'influence de la profondeur de la couche de saumure sur les transferts de chaleur et de masse qui se produisent dans les distillateurs soit passifs ou actifs et aussi l'effet de l'inclinaison de la surface de condensation sur les processus de condensation. [44].

-1-Introduction

Dans cette partie de travail on présentera l'étude théorique du distillateur solaire à double pente. On abordera le principe de fonctionnement du distillateur solaire à double pente, et nous essayerons d'établir le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur et le système d'équation résultant par le biais d'une approche numérique basée sur la méthode **range kutta** d'ordre quatre.

2-Le principe de fonctionnement d'un distillateur solaire à double pente

Un distillateur solaire est constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre. La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre) ; l'eau s'évapore sous l'action du flux solaire incident, se condense sur la vitre, puis elle est récupérée dans un récepteur (le même principe d'un distillateur solaire simple sauf que ce type de distillateur contient deux vitre de même angle d'inclinaison). Un réservoir d'appoint d'eau doit compenser le débit de distillat. On a donc une source chaude (masse d'eau à distiller) et une source froide (la vitre).alors on a un échange de chaleur entre ces deux sources.

3-Les échanges de chaleurs d'un distillateur solaire à double pente

Avant d'établir le bilan énergétique global d'un distillateur solaire, il faut déterminer, en premier lieu, les principaux transferts de chaleur qui se produisent à l'intérieur de distillateur.

3-1-Au niveau de la vitre

Du coté intérieur la vitre reçoit les flux par convection q_{ci} , par rayonnement q_{ri} et par évaporation q_e .

- du coté extérieur la vitre cède à l'air ambiant la somme de deux flux q_{ca} , par convection et q_{ra} . Par rayonnement

3-2-Au niveau de la saumure

La saumure cède par rayonnement le flux q_{ri} , par convection naturelle le flux q_{ci} , et par évaporation (au cours de changement de phase) un flux q_e , à la surface de condensation (coté intérieure de la vitre du distillateur).

3-3- Au niveau de l'absorbeur :

La nappe d'eau reçoit d'une part par conduction et convection un flux de chaleur q_{eb} , de l'absorbeur (bac), et cède d'autre part par conduction un flux **perts** vers l'extérieur.

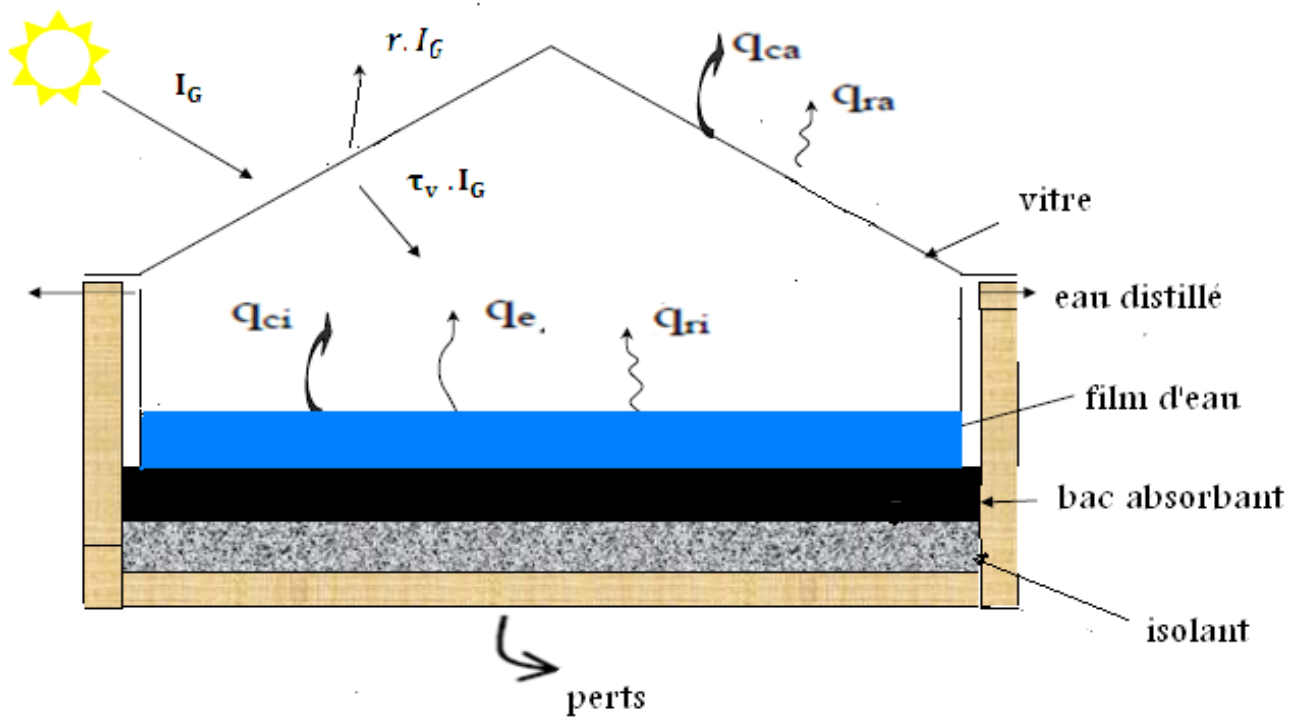


Figure -III-1 : Les différents transferts thermiques dans un distillateur solaire

4-Modélisation mathématique des échanges thermiques dans un distillateur solaire

4-1-Hypothèses simplificatrices

Des hypothèses simplificatrices ont été adaptées, à savoir :

- la voûte céleste est considérée comme un corps noir.
- les parois latérales sont supposées bien isolées thermiquement.
- les sels dissouts n'ont aucune influence sur les quantités de chaleur échangées par la saumure.
- L'eau salée dans le bassin est statique
- Les températures de la vitre, du film d'eau, et de l'absorbeur sont uniformes
- Les pertes thermiques dues à l'extraction du distillat sont négligées
- L'inertie thermique de la couverture est faible.

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

4-2-Bilan thermique du distillateur solaire à double pente pour un régime permanent

La théorie d'un distillateur solaire à double pente, est présenté par **Mousa abu-Arabi** et al [44], [45] et **Yousef. H** [46], et **B. Bouchekima** [47].

- Nous considérons une section quelconque du système à l'instant " t " soit i l'un des milieux représentés dans cette section m_i , sa masse en [Kg], C_p sa chaleur spécifique en [J/Kg °C], T sa température en [°C]. Le bilan au nœud i donne

$$m_i C_{pi} \frac{dT}{dt} = \sum Q_{ij} + P_i \quad (3.1)$$

Pi: Terme de source ou de puits,

$$m_i C_{pi} \frac{dT}{dt} = 0 \quad (3.2)$$

Dans les cas suivants :

-Un distillateur à inertie thermique négligeable (faible masse de ses éléments ou faible chaleur spécifique).

-Un régime stationnaire

4-2-1-Bilan thermique de la vitre

$$m_v C_{pv} \frac{dT_v}{dt} = P_v + q_{e-v}^c + q_{e-v}^r + q_{e-v}^{ev} - q_{v-a}^c - q_{v-a}^r \quad (3.3)$$

q_{e-v}^c : Flux de chaleur échangé par convection entre la vitre intérieur et le film d'eau [W]

$$q_{e-v}^c = h_{ci} (T_e - T_v) \quad (3.4)$$

T_v : La température de la vitre.

T_e : La température d'eau

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

$$q_{e-v}^r = h_{ri} (T_e - T_v) \quad (3.5)$$

q_{e-v}^{ev} : Flux de chaleur échangé par évaporation entre la vitre et la masse d'eau [W]

$$q_{e-v}^{ev} = h_{ev} (T_e - T_v) \quad (3.6)$$

q_{v-a}^c : Flux de chaleur échangé par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface Extérieure de la vitre [W]

$$q_{v-a}^c = h_{ca} (T_v - T_a) \quad (3.7)$$

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

$$q_{v-a}^r = h_{ra} (T_v - T_a) \quad (3.8)$$

P_v : Puissance solaire absorbé par la vitre

$$P_v = I_D \times a_{vD} + I_d \times a_{vd} \quad (3.9)$$

Où :

α_{vD} et α_{vd} : Sont les coefficients d'absorption respectivement pour les rayonnements direct et le diffus.

$$\alpha_{vD} = 1 - R_D - T_D \quad (3.10)$$

Où :

T_D : Le coefficient de transmission global du rayonnement direct, il est calculé par :

$$T_D = T_r \times T_a \quad (3.11)$$

T_r : Le coefficient de transmission dû à la réflexion

$$T_r = (1 - R_D) / (1 + R_D) \quad (3.12)$$

T_a : Le coefficient de transmission dû à l'absorption

$$T_a = \exp[-k_v \times e_v / \cos(\theta)] \quad (3.13)$$

Où :

k_v : Coefficient d'extinction du verre [m^{-1}]

e_v : Épaisseur de la vitre [m]

R_D Caractérise la réflectivité de la vitre, il est donné par :

$$R_D = (R_N + R_p) / 2 \quad (3.14)$$

Avec :

$$R_N = \frac{\sin^2(\theta - i)}{\sin^2(\theta + i)} \quad \text{et} \quad R_p = \frac{\tan^2(\theta - i)}{\tan^2(\theta + i)} \quad (3.15)$$

Où :

θ : Angle de réfraction du rayon au niveau de la vitre.

i et θ . Sont reliés par la relation de Fennell-Descartes :

$$n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(\theta) \quad (3.16)$$

Avec :

n_1 : Indice de réfraction absolue du milieu traversé par le rayon incident

n_2 : Indice de réfraction absolue du milieu traversé par le rayon réfracté

Le coefficient d'absorption pour le rayonnement diffus se calcule de manière similaire que celui du rayonnement direct avec un angle d'incidence $i = 60^\circ$.

$$\alpha_{vd} = 1 - R_d - T_d \quad (3.17)$$

4-2-2-Bilan thermique de la masse d'eau

$$m_e C_{pe} \frac{dT_e}{dt} = P_e - q_{e-v}^c - q_{e-v}^r - q_{e-v}^{ev} + q_{b-e}^c \quad (3.118)$$

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

$$q_{b-e}^c = h_{be} (T_b - T_e) \quad (3.19)$$

P_e : La puissance solaire absorbée par le film d'eau

$$P_e = I_D \times a_{eD} + I_d \times a_{ed} \quad (3.120)$$

a_{eD} Et a_{ed} : Sont respectivement les coefficients d'absorption de la saumure pour les rayonnements direct et diffus.

$$a_{eD} = T_D \times (a_e + T_{Re} \times a_b) \quad (3.21)$$

Avec :

a_e : Coefficient d'absorption de la saumure (constant)

T_{Re} : Coefficient de transmission de la saumure

$$T_{Re} = a_e - R_e \quad (3.22)$$

R_e : Coefficient de réflexion de la saumure, il est donné par la relation :

$$R_e = R_N + R_P \quad (3.23)$$

Où :

a_b : Coefficient d'absorption du bac absorbant.

Le coefficient d'absorption pour le rayonnement diffus a_{ed} varie par rapport à a_{eD} ; cette variation est due à T_d .

4-2-3-Bilan thermique du bac absorbant

$$m_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} = P_b - q_{b-e}^c - q_{pert} \quad (3.24)$$

$$q_{pert} = U_b (T_b - T_a) \quad (3.25)$$

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

Si a_b est le coefficient d'absorption du bac absorbant, on déduit la puissance P_b :

$$P_b = \frac{I_D \times T_p + I_d \times T_d}{1 - (1 - a_b) \times R_d} \quad (3.26)$$

$$q_{perts} = U_b (T_b - T_a) \quad (3.27)$$

D'après H.Hilal et al [48], le coefficient global des pertes est donné par la formule :

$$U_b = \left(\frac{1}{h_b} + \frac{\delta}{e} \right)^{-1} \quad (3.28)$$

Avec :

δ, e : Sont respectivement la conductivité et l'épaisseur de la couche isolante

Le débit du condensat

$$\frac{dM_c}{dt} = h_{evap} \cdot \frac{(T_e - T_v)}{h_{fg}} \quad (3.29)$$

M_c : Masse de condensat.

h^{ev} : La chaleur latente de vaporisation.

5-Expression des différents coefficients d'échange thermique :

5-1-le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est caractérisé par différentes grandeurs, essentiellement l'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre, appelée "constante solaire" et les diverses altérations et atténuations (aléatoires) que subit le rayonnement solaire, durant la traversée de l'atmosphère terrestre.

5-1-1- La constante solaire

La constante solaire est définie comme étant l'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface de $1m^2$ placée perpendiculairement à la direction du rayonnement. Elle est indépendante des conditions météorologiques, mais dépend de la distance terre-soleil

$$C^{te} \text{ solaire} = I_0 = \sigma \times T_s^4 \times \left(\frac{R_s}{D_{st}}\right)^2 \quad (3.30)$$

Avec :

R_s : le rayon du soleil (m)

D_{st} : distance terre- soleil

σ : Constante de Stéphane-Boltzmann

T_s : la température du soleil

La distance terre-soleil variant au cours de l'année, la valeur moyenne de la constante solaire (I_0) est de l'ordre $1367 \text{ (w/m}^2\text{)}$. Cette donnée est généralement corrigée par la relation

Suivante :

$$I_c = I_0 \times \left(1 + 0.033 \times \cos\left(\frac{360}{365} \times d\right)\right) \quad (3.31)$$

Ou encore en fonction de la déclinaison :

$$I_c(\delta) = I_0 \times \left(1 - \frac{\sin(\sigma)}{11.7}\right) \quad (3.32)$$

Où :

d : la déclinaison ($^\circ$)

n : numéro du jour dans le mois

m : numéro du mois dans l'année

d: Numéro du jour dans l'année (tableau)

Mois	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	juin	juillet	Aout	Sep	Oct	Nou	déc
Numéro Du 1 ^{er} jour De chaque mois dans l'année	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335

Tableau-III -1- le quantième du jour de l'année. [BOU 2009]

5-1-2-La radiation solaire au niveau du sol

Le rayonnement solaire subit un certain nombre d'altérations et d'atténuations aléatoires en traversant l'atmosphère ; réflexion sur les couches atmosphériques, absorption moléculaire, diffusion moléculaire et par les aérosols (la poussière, les gouttelettes....)

Au niveau du sol, à cause de la diffusion, une partie du rayonnement est diffuse (c'est-à-dire isotrope). L'autre partie dite directe est anisotrope. Le rayonnement global est par conséquent la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus.

5-1-3- Calcul du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire reçoit par la vitre peu mesuré soit direct à m'aide d'un pyranomètre qui fixé sur un support incliné d'un angle égale à latitude du lieu de l'expérience ou par de formules empirique comme suit :

5-1-4- Le rayonnement direct, provenant du disque solaire et qui subit l'atténuation due à la traversée de l'atmosphère. L'expression du rayonnement direct pour un plan orienté vers le sud est donnée par l'expression [26], [49], [50], [51], [52].

$$I_D = I_C \times a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right) \times \cos(i) \quad (3.33)$$

$$I_C = I_0 \times (1 + 0.034 \times (\cos(30 \times (m - 1) + n)) \quad (3.34)$$

a, b : Coefficients traduisant les troubles atmosphériques.

Le tableau 2 rassemble quelques valeurs de a et b.

$$\sin(h) = \cos(\sigma) \times \cos(\omega) \times \cos(\varphi) + \sin(\sigma) \times \sin(\varphi) \quad (3.35)$$

h : Etant la hauteur du soleil

ω, σ, δ : Sont respectivement l'angle horaire, la déclinaison, et la latitude (°).

La pression atmosphérique "p" en fonction de l'altitude est illustrée par le tableau :

$$\cos(i) = \cos(\omega) \times \cos(\sigma) \times \cos(\sigma - \beta) + \sin(\sigma) \times \sin(\sigma - \beta) \quad (3.56)$$

Où β est l'inclinaison du plan considéré

	Ciel pur	Condition normale	Zones industrielles
A	0.87	0.88	0.91
B	0.17	0.26	0.43

Tableau-III-2-valeurs des coefficients de troubles atmosphériques.

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

Tableau-III-3-variation de la pression atmosphérique avec l'attitude

5-1-5- Le rayonnement diffus, provient de tous les éléments irradiés par le soleil. Le flux diffus reçu par la surface du capteur se caractérise par deux composantes du flux à savoir : Le flux diffus émis par la voûte céleste (φ_1), donné par la relation/

$$\varphi_1 = \varphi_0 \times \frac{1+\cos(\beta)}{2} \quad (3.37)$$

Le flux émis par le sol φ_2 par la relation :

$$\varphi_1 = \rho \times \frac{1-\cos(\beta)}{2} \times (I_c \times \tau_{dir} \times \sin(h) + \varphi_0) \quad (3.38)$$

Avec :

$$\varphi_0 = I_c \times \sin(h) \times (0.271 - 0.2939 \times \tau_{dir}) \quad (3.39)$$

τ_{dir} : La transmissivité totale de la couche atmosphérique dont l'expression est :

$$\tau = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{P}{1000}\right) \quad (3.40)$$

ρ L'albédo du sol donnée par le tableau suivant :

nature du sol	L'albédo
Herbe fraîche	0.20
Herbe sèche	0.30
Terre cultivée, nue	0.16
Gravier	0.22
Neige fraîche	0.85
Etendu d'eau	0.05

Tableau-III-4-albédo de différents sols.

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

$$I_d = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (3.41)$$

5-1-6- Le rayonnement global : Le rayonnement global sur une surface quelconque au voisinage du sol est la somme de ces deux composantes :

$$I_G = I_D + I_d \quad (3.42)$$

5-2-Les expressions de différents coefficients d'échanges thermiques

5-2-1-Par convection eau- vitre

$$q_{e-v}^c = h_{e-v}^c (T_e - T_v) \quad (3.43)$$

h_{e-v}^c : Le coefficient de transfert de chaleur entre le film d'eau et la vitre est donné par la relation [44] :

$$h_{e-v}^c = 0.884 \left[T - T + \frac{(P_e - P_v) * (T_e + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_e} \right]^{1/3} \quad (3.44)$$

P_e : La pression partielle d'eau à T_e

P_v : La pression partielle de la vitre à T_v

3-5-2-2-Par évaporation :

$$q_{e-v}^{ev} = h^{ev} (T_e - T_v) \quad (3.45)$$

h^{ev} : Le coefficient de transfert de chaleur par évaporation entre le film d'eau et la vitre est donné par:

$$h^{ev} = 16.273.10^{-3} * h_{e-v}^c * \frac{(P_e - P_v)}{(T_e - T_v)} \quad (3.46)$$

La pression de la vapeur d'eau et la chaleur latente d'évaporation sont estimés par les relations suivantes [Fem 1990]:

$$P_i = \exp \left(25.317 - \frac{5144}{T_i + 273.15} \right) \quad (3.47)$$

Une autre relation linéaire entre la pression et la température (T en $^{\circ}\text{C}$) est donnée comme suit [Kam 1987] :

$$P = 0.14862 * T - 0.36526 * 10^{-2} * T^2 + 0.11242 * 10^{-3} * T^3 \quad (3.48)$$

$$h_{fg} = 3.1615 * 10^6 - 2.40714 * 10^3 T \quad (3.49)$$

5-2-3-Par rayonnement eau-vitre

$$q_{e-v}^r = h_{e-v}^r (T_e - T_v) \quad (3.50)$$

La formule du coefficient de transfert de chaleur par rayonnement h_{e-v}^r entre le film d'eau et le vitrage donné par :

$$h_{e-v}^r = \frac{\varepsilon_{eff} \sigma 1 [(T_e + 273.15)^4 - (T_v + 273.15)^4]}{T_e - T_v} \quad (3.51)$$

ε_{eff} : Émissivité effective.

$$\varepsilon_{eff} = \left(\frac{1}{\varepsilon_e} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right)^{-1} \quad (3.52)$$

ε_e : Émissivité de l'eau

ε_v : Émissivité de la vitre

σ : La constante de Stefan-Boltzmann

5-2-4-Par rayonnement vitre-ambient :

$$q_{v-a}^r = h_{v-a}^r (T_v - T_a) \quad (3.53)$$

$$h_{v-a}^r = \frac{\varepsilon_v \sigma 1 [(T_v + 273.15)^4 - (T_{ciel} + 273.15)^4]}{T_v - T_{ciel}} \quad (3.54)$$

T_{ciel} : La température du ciel

-La température du ciel estimé par les corrélations donnée ci-dessous [46] et [48]

$$T_{ciel} \approx T_{air} - 6 \quad (3.55)$$

$$T_{ciel} = T_{air} - 12 \quad (3.56)$$

–En général, on utilise l'expression :

$$T_c = 0.0552 * (T_a)^{1.5}, T_a \text{ en } K^\circ \quad (3.57)$$

5-2-5-Par convection vitre ambiant :

$$q_{v-a}^c = h_{v-a}^c * (T_v - T_a) \quad (3.58)$$

Le coefficient d'échange par convection entre la face extérieur et le milieu ambiant est donné par la relation suivant

$$h_{v-a}^c = 5.7 + 3.8 * v \quad (3.59)$$

Une deuxième corrélation donnée par [45] :

$$h_{v-a}^c = 2.8 + 3.0 * v \quad (3.60)$$

Une troisième corrélation donnée par [47] :

$$h_{v-a}^c = 2.8 + 3.0 * V, v \leq 5 \text{ (m/s)} \quad (3.61)$$

$$(3.52)$$

$$h_{v-a}^c = 6.15 * v^{0.8}, v > 5 \text{ (m/s)} \quad (3.62)$$

Ou v est la vitesse de vent.

5-2-6-Par convection bassin-eau

$$q_{b-e}^c = h_{b-e}^c * (T_b - T_e) \quad (3.63)$$

Le coefficient d'échange thermique par convection entre le film d'eau et le bac absorbante est donné par :

$$h_{b-e}^c = (Nu * \lambda_e) / L \quad (3.64)$$

λ_e : La conductivité thermique d'eau

-Dans ce type de problème, les corrélations expérimentales aboutissent à des relations de la forme [Bac 1999], [Tchinda.2004] :

$$Nu = C * (Gr * Pr)^n \quad (3.65)$$

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

$$Gr: \text{nombre de GRASHOF}, Gr = \frac{B_e * L^3 * g * (T_b - T_e)}{v^2} \quad (3.66)$$

B_e :Coefficient de dilatation thermique de l'eau

L : Longueur du bac absorbant

$$\text{Pr : Nombre de Prandtl, } \text{Pr} = (\mu_e * C_{pe}) / \lambda_e \quad (3.67)$$

$$\text{➤ } Gr < 10^5, Nu = 1 \quad (3.68)$$

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

$$\text{➤ } 10^5 < Gr < 2 * 10^7, Nu = (\lambda_e / L) * 0.54 * (Gr * Pr)^{0.25} \quad (3.69)$$

$$\text{➤ } Gr > 2 * 10^7, Nu = 0.14 * (Gr * Pr)^{0.33} \quad (3.70)$$

h_b : Le coefficient de transfert de chaleur par convection entre le bac absorbant et l'extérieur.
 h_b est calculé par les équations ci-dessus.

6-Résolution du système d'équations

Les équations régissant le fonctionnement du distillateur solaire à double pente dans ce cas se compose de quatre équations différentielles du 1^{er} ordre .nous avons besoin de déterminer les quatre inconnue :

T_v, T_e, T_b, M_c

Pour la résolution de ce système d'équation nous avons utilisant une approche numérique basé sur la méthode de **RANGE –KUTTA** d'ordre 4^{eme}, parce que elle est la plus utilisé dans la pratique. Pour cela nous commençons par ordonner les équations finales des divers bilans par rapport à la température comme suit :

Au niveau de la vitre :

$$m_v C_{pv} \frac{dT_v}{dt} = P_v + (h_{e-v}^c + h_{e-v}^{ev} + h_{e-v}^r) * (T_e - T_v) - (h_{v-a}^r + h_{v-a}^c) * (T_v - T_a) \quad (3.71)$$

Au niveau de film d'eau

$$m_e C_{pe} \frac{dT_e}{dt} = P_e + h_{b-e}^c * (T_b - T_e) - (h_{e-v}^c + h_{e-v}^{ev} + h_{e-v}^r) * (T_e - T_v) \quad (3.72)$$

Au niveau du bac absorbant

$$m_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} = P_b - h_{b-e}^c * (T_b - T_e) - U_b * (T_b - T_a) \quad (3.73)$$

Le débit du condensat

$$\frac{dM_c}{dt} = h_{evap} * \frac{(T_e - T_v)}{h_{fg}} \quad (3.74)$$

7-Traitement informatique

Le programme informatique élaboré est établi en FORTRAN (**Compaq Visuel Fortran Version 6.6**). Il contient essentiellement un programme principale, quatre sousroutines. Ce logiciel calcule le flux reçu par la vitre par chaque une heure, les différents flux de chaleur échangé (soit par convection, rayonnement, évaporation, conduction), la variation des températures de différents éléments du distillateur, le taux de condensat, l'efficacité globale et interne du distillateur est à la fin le facteur de performance.

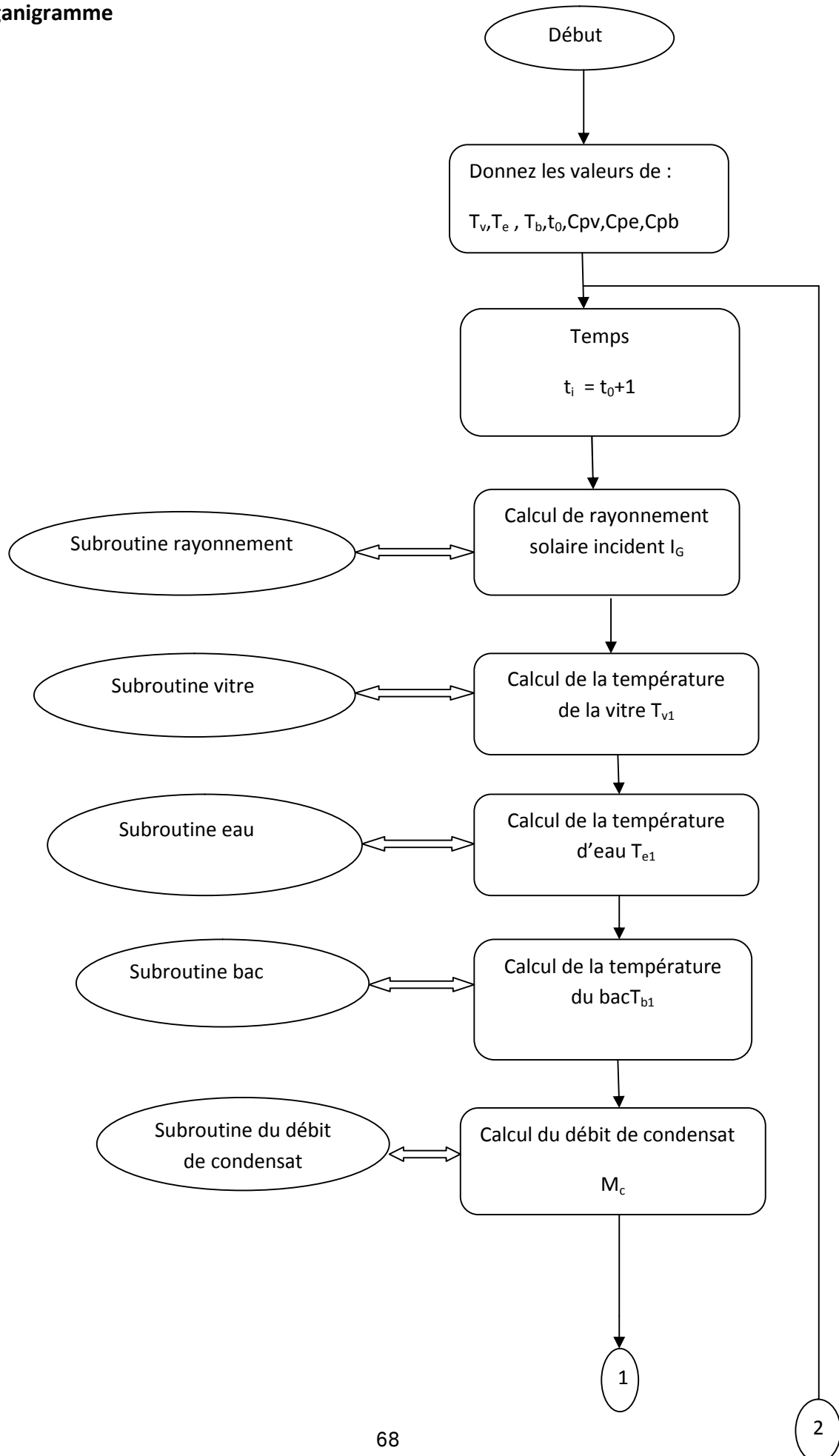
Le programme principale calculé d' une part l'éclairement solaire à chaque une heure et d'autre part relier les sousroutines.

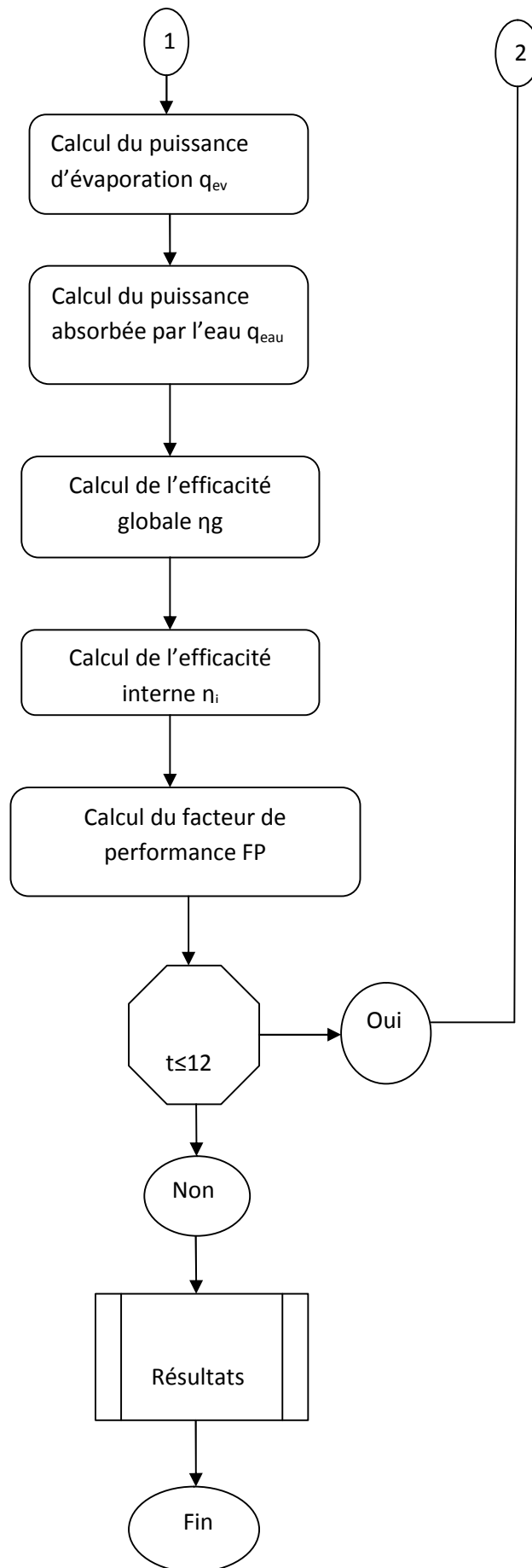
Les sousroutines sont réalisées pour calculer : la température de la vitre, la température d'eau, le taux de condensat

Avant le lancement du programme, on donne les données météorologiques, telles que les températures initiales (vitre, eau, bac absorbant), l'éclairement solaire, la vitesse du vent,

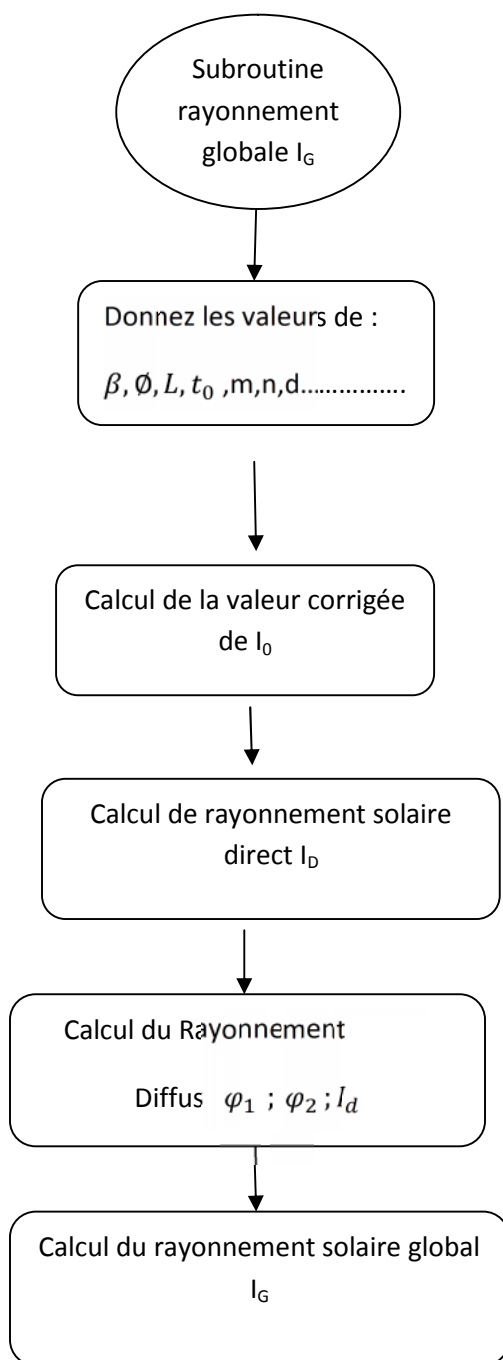
La latitude du lieu, et le temps initial et final du calcul, les propriétés optique telles que l'absorptivité de la vitre et de l'eau est du bac absorbant

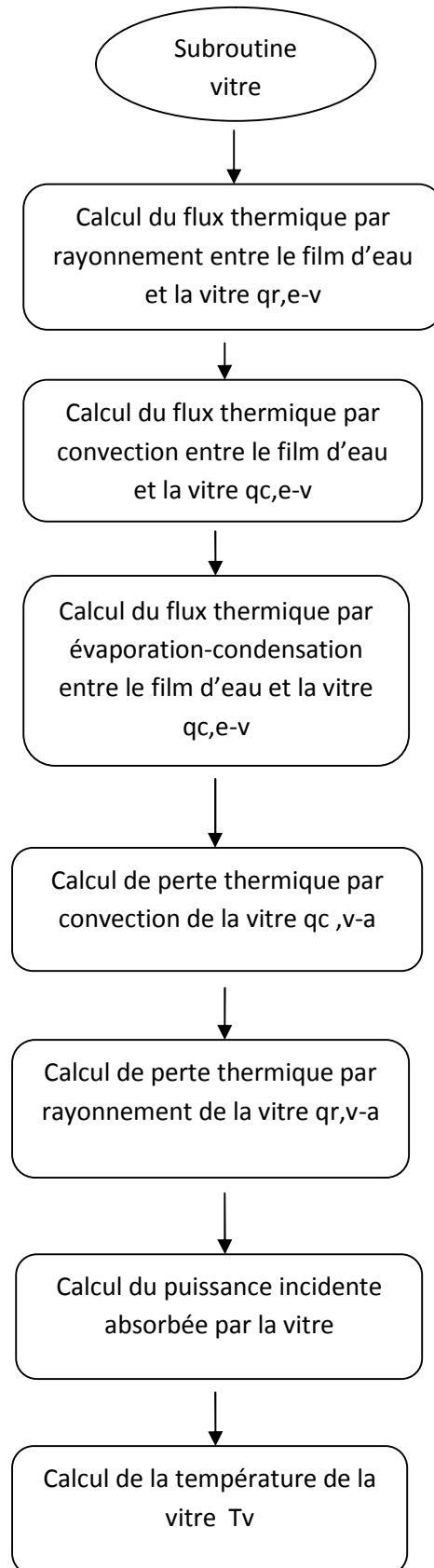
8- Organigramme

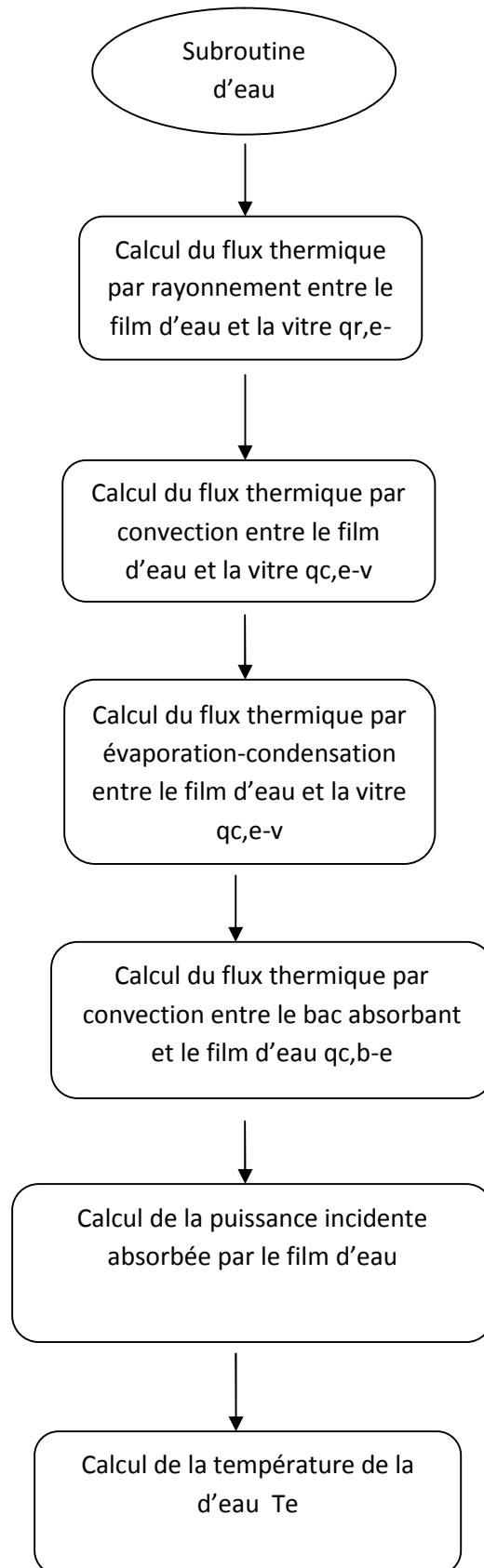


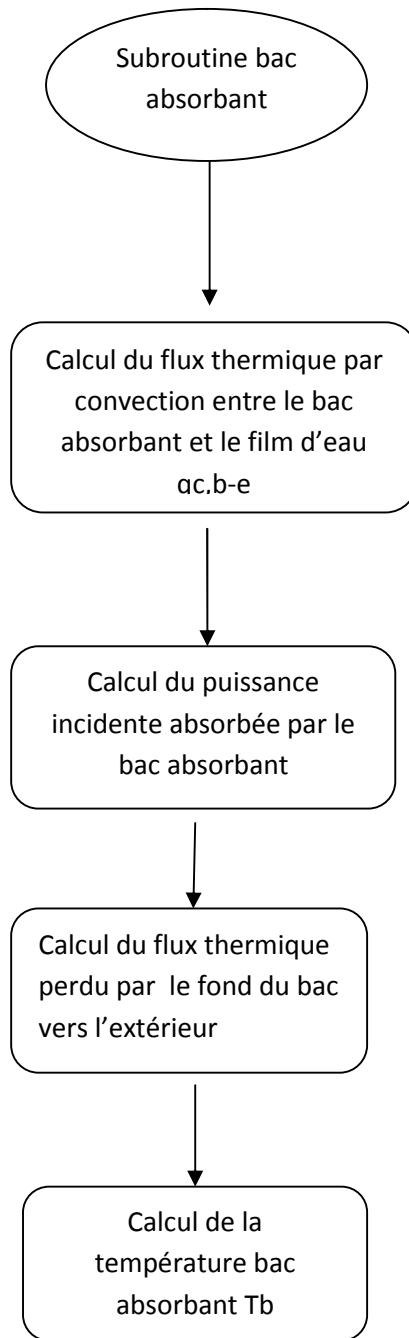


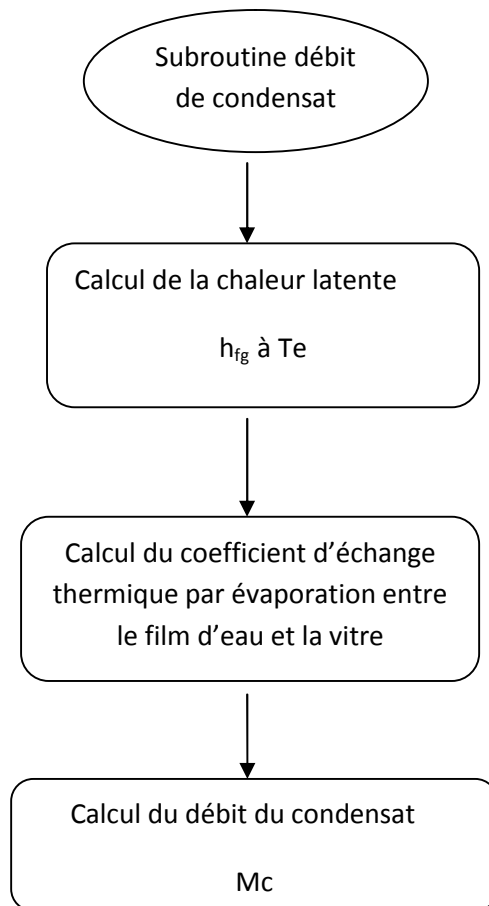
Organigramme de calcul











1-Introduction

L'optimisation théorique des performances du distillateur solaire de type double pente dans un milieu désertique est l'objectif essentiel de ce travail. La validation des résultats théoriques trouvés, est faite grâce à une comparaison avec des résultats expérimentalement.

Les résultats expérimentale de ce travail est réalisé durant la journée 19 Avril, à la ville d'Ouargla qui situé à une latitude de 31.57° Nord, et une longitude de 5.24° Est, et une altitude de 135 m au niveau de la mer, et un décalage horaire d'une heure. Les tests menues sur un distillateur solaire à double pente ayant les propriétés suivantes (les résultats trouvée par L'étudiante douadi rachida pour la réalisation de son travail de magister sous le titre دراسة مقطر شمسي ذي مكثف مظلل جزئياً مقطر شمسي ذي مكثف مظلل جزئياً، بفعل الاحتباس الحراري الشمسي في المناطق القاحلة).

Un absorbeur: matière Aluminium,

Epaisseur : 0,03 m

Longueur: 90 cm

Largeur: 70 cm

Surface : $0,63 \text{ m}^2$

Une couverture de Verre :

Longueur : 0,94 m

Largeur : 0,40 m

Epaisseur : 0,004 m

Inclinaison par rapport à l'horizontale : 10 degrés des deux cotés avec un azimut de 0 degrés au sud

L'épaisseur de la couche d'eau : 1,5 cm

un isolant : matière polystyrène

Epaisseur: 0,06 m

Socle: matière galvanisée

Epaisseur: 0,5 mm

Les résultats théoriques trouvés par le code du calcul, sont présenté sous forme des graphes tracés par L' ORIGINE avec celle expérimentaux. Ces et concernent essentiellement la variation de l'éclairement globale incident sur la vitre dans ces différentes angles d'inclinaison, les différentes températures dans le distillateur solaire durant la journée d'expérience, la production journalière, l'efficacité interne, et globale et en fine le facteur de performance.

2-La variation de rayonnement solaire pour les différentes conditions de trouble Atmosphérique

- Sur la figure suivant on peut avoir la variation du rayonnement solaire totale reçu par la surface vitré du distillateur solaire à double pente avec une inclinaison de 10^0 par rapport l'horizontale, selon les différents coefficients du trouble atmosphérique (conditions normal, ciel pure, et une zone industrielles). La variation du flux solaire incident sur la vitre suivi la forme d'une cloche .il est plus intense au 13 tandis qu'il est moins intense à la fine de la journée. Les valeurs maximales du rayonnement solaire sont trouvées pour un ciel pur ou la totalité des rayonnements traversés la couche atmosphérique vers la terre sans subi aucune déviation ou déformation

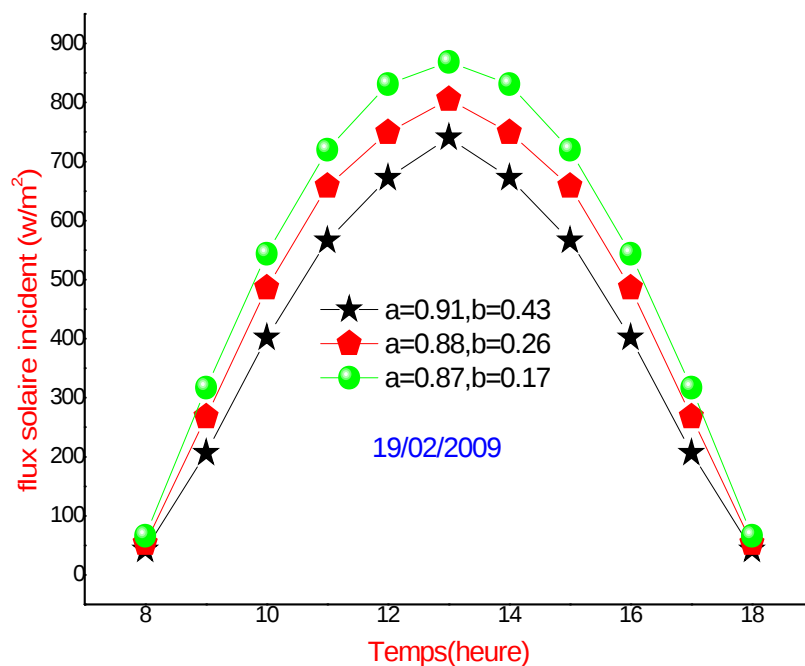


Figure -VI-1-Variation du flux solaire horaire suivant le trouble atmosphérique

3-La variation du flux solaire global

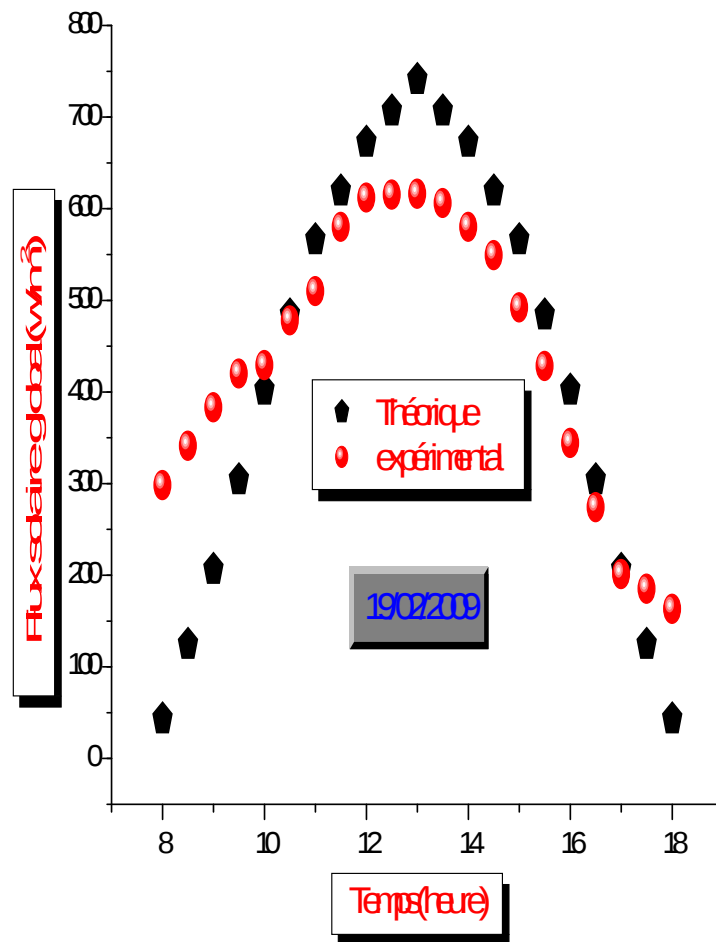


Figure-VI - 2-La variation du flux solaire global (ville de Ouargla)

- La comparaison entre le flux solaire global mesuré et celle calculé théoriquement montré une certaine différence important surtout de 8 à 10 et de 12 à 15, cette différence peut interpréter par les méthodes numériques utilisés, et aussi par les matérielles qui nous avons basé pour le calcul durant la réalisation de l'expérience, et aussi les incertitudes de lecteurs subi par l'utilisateur. L'état de l'atmosphère et la transparence des nuages durant la journée de l'expérience aussi ayant un rôle très important dans le calcul du flux solaire global.

4-L'influence de l'angle de l'inclinaison sur le flux solaire reçue par la vitre

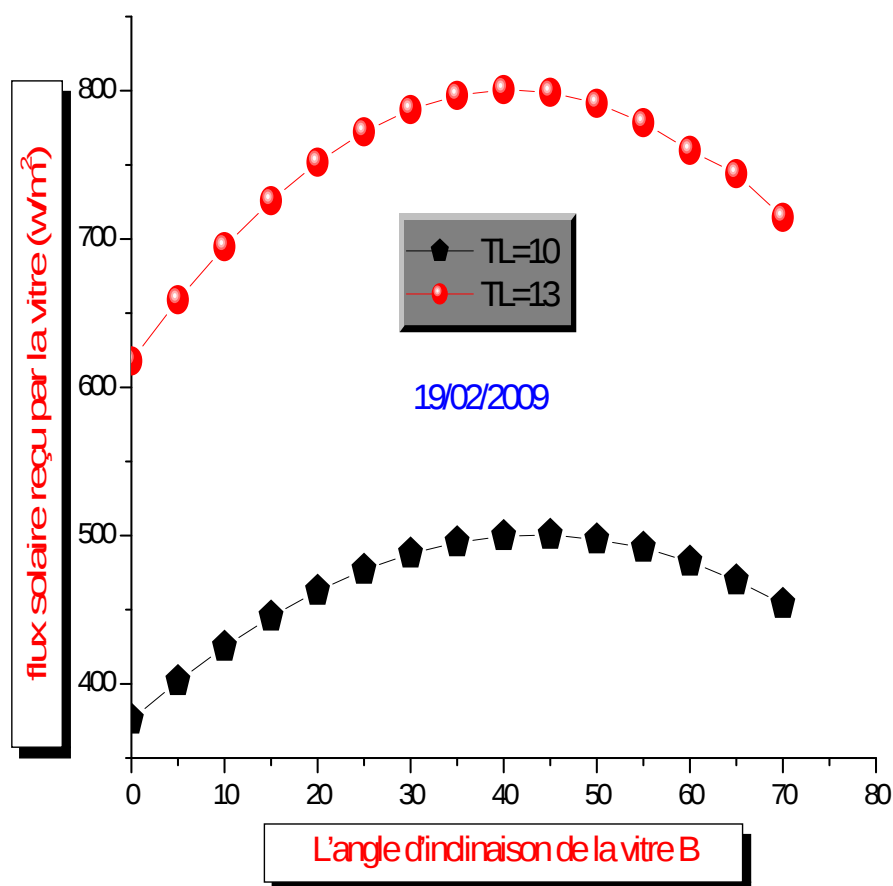


Figure- VI -3-L'influence de l'angle de l'inclinaison sur le flux solaire reçue par la vitre

- L'augmentation de l'angle d'inclinaison de la vitre conduit à une augmentation du flux solaire reçu par la vitre jusqu'à une valeur de 45° , après une diminution de ce dernier, pour cette période vernale de l'année (19/02/2009 à la ville de Ouargla), ce qui peut être expliqué par la diminution de la surface de captage. La figure suivante montre la variation du flux solaire incident sur la vitre selon les différents angles d'inclinaison pour deux cas de temps.

- La meilleure valeur de l'angle d'inclinaison de la vitre du distillateur solaire pour recevoir le maximum de flux solaire incident, celle ayant une valeur proche à la latitude du lieu considéré.

5-Variation temporelle des puissances absorbées

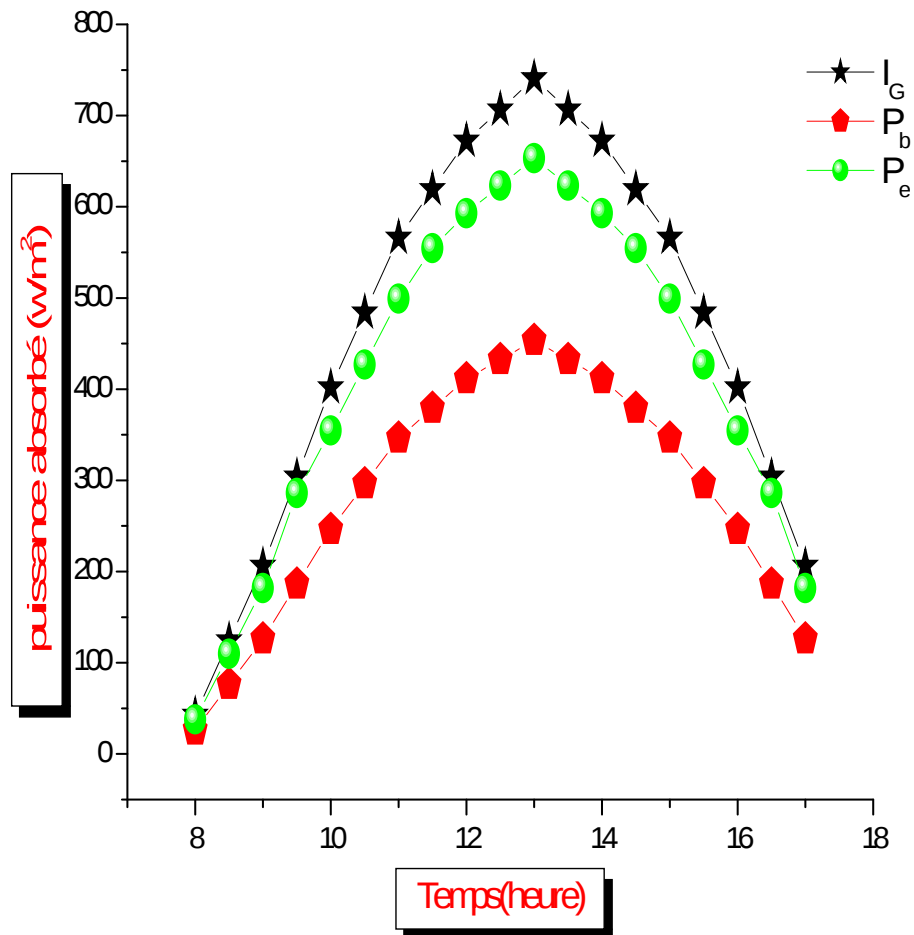


Figure VI -4-Variation temporelle des puissances absorbées.

- Les puissances absorbées par les différents composants du distillateur solaire durant la journée ont une forme similaire à celle du flux solaire global, le film d'eau absorbe une grande quantité du rayonnement solaire ce qui explique par son coefficient d'absorption global très élevé qui est d'ordre de 0.882. La puissance absorbée par le bac absorbant est proche de celle du film d'eau qui permet d'augmenter la température d'eau. Nous avons remarqué une faiblesse de puissance absorbée par la vitre qui peut être expliquée aussi par le coefficient d'absorption faible de la vitre (il est d'ordre de 0.05).

6-La variation des températures des faces extérieures en fonction de temps

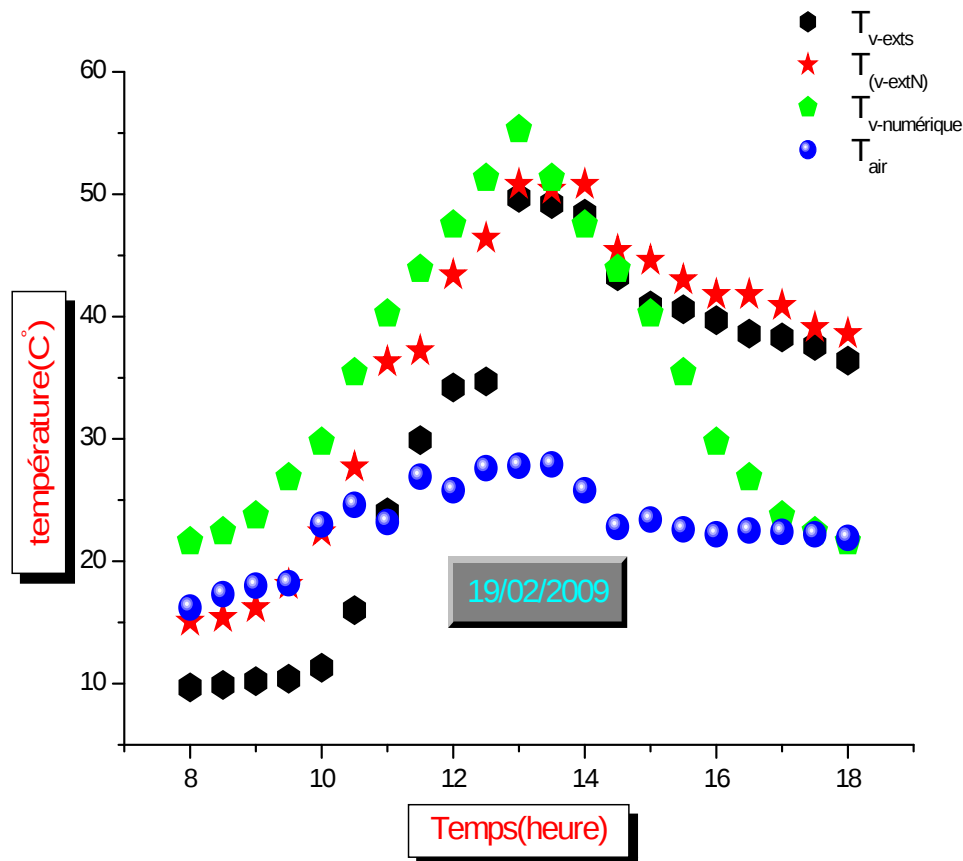


Figure -VI -5-La variation des températures des faces extérieures en fonction de temps

- La variation des températures des faces extérieures soit calculée expérimentalement ou celle estimée théoriquement en utilisant le code du calcul suivi une allure que le flux solaire global, une certaine différence existe entre les valeurs de température expérimentales et théorique, cette différence peut expliquer par le fait que la température de la vitre estimée représente la valeur moyenne de la température de la face extérieure et intérieure de la vitre. L'écart de température entre les deux faces externes de la vitre expliquée par la différence d'intensité du flux solaire reçu par chaque côté de la vitre parce que il est plus intense pour la face orientée vers le sud

7-La variation de la température d'eau en fonction de temps

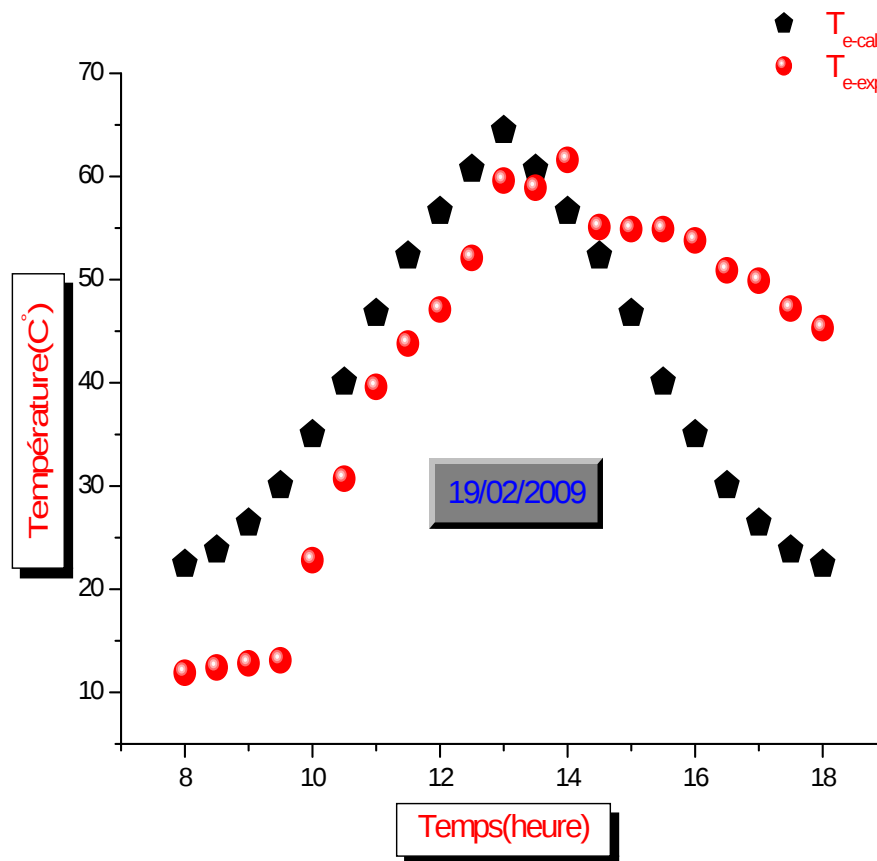


Figure- VI -6-La variation de la température d'eau en fonction de temps

- L'évaluation de la température d'eau en fonction de temps soit estimée numériquement ou celle mesuré à partir de l'expérience ayant la même allure que le flux solaire c'est-à-dire la forme d'une cloche. Une certaine différence entre les deux valeurs estimée et calculé peut expliquer par le fait que la puissance absorbé par le fond du distillateur transmise en totalité vers le film d'eau, mais réellement un certain pourcentage est utilisé pour le chauffage d'eau dans le distillateur solaire, et aussi l'influence de l'hypothèse simplificatrice sur le critère l'évaporation d'eau est continue.

8-La variation de la température du bac absorbant en fonction de temps

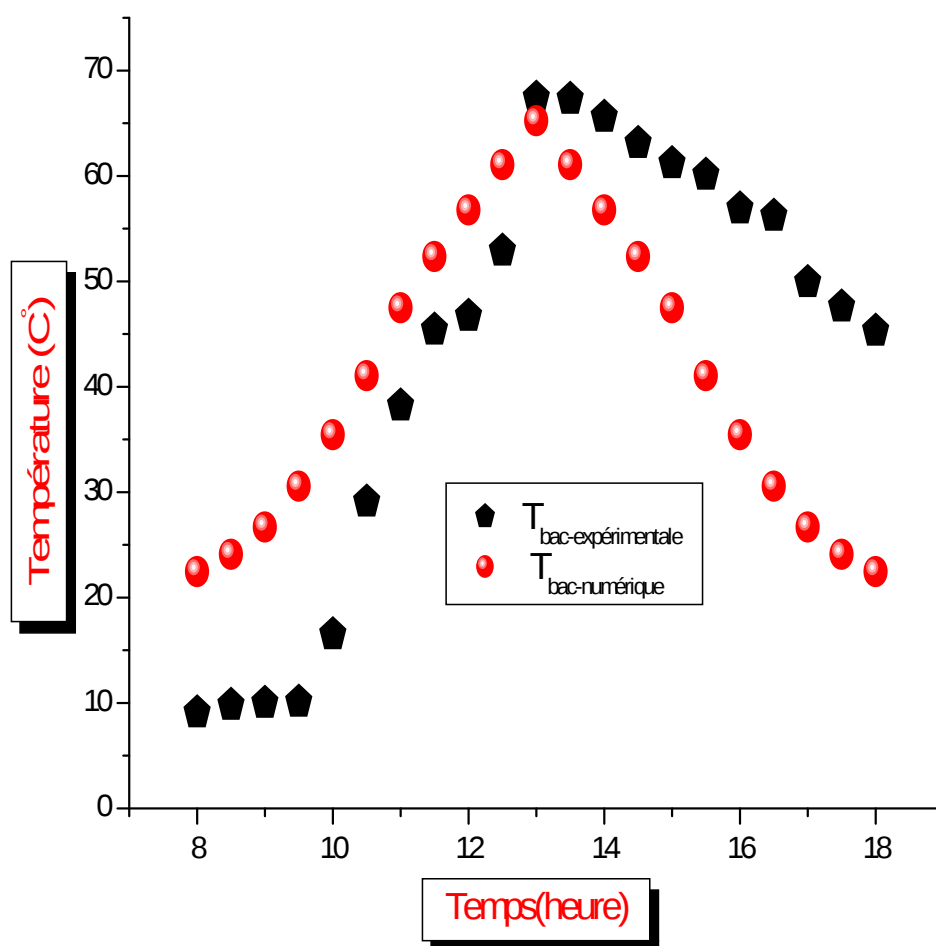


Figure - VI -7-La variation de la température du bac absorbant en fonction de temps

- La variation des températures du bac absorbant soit estimée numériquement ou calculé expérimentalement durant la journée de 19/02/2009 suivi aussi la même forme qui avoir le flux solaire global, mais la représentation graphique montrée une certaine différence importante surtout après 11 et tout la gamme de temps après midi jusqu'à 6 de soir. Cette différence entre les valeurs de températures explique par :
- -La supposition que la puissance absorbée par le bac absorbant est transmise en totalité au film d'eau.

- -La cumulation des effets dans le cas réel qui augment les températures considérablement
- -Le coefficient d'échange thermique par convection vers le milieu extérieur
- -L'influence des propriétés thermiques des matériaux qui sont une fonction de température

9-L'influence de vent sur les températures de différents composants du distillateur solaire

9-1-l'influence sur la vitre

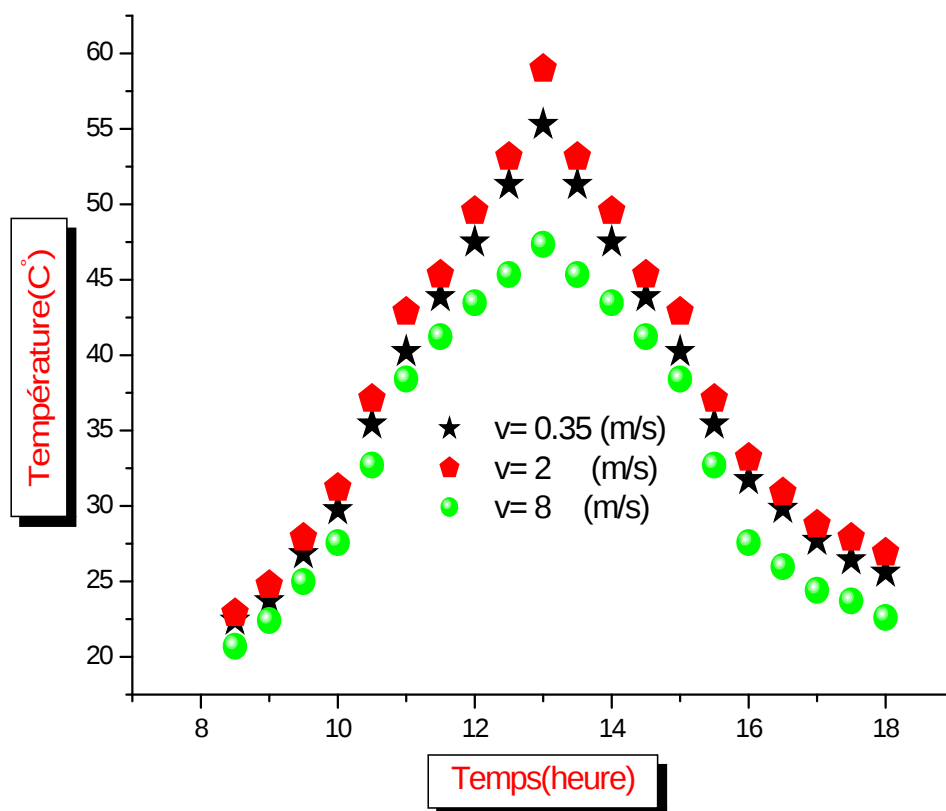


Figure VI -8-L'influence de la vitesse vent sur la température de la vitre

La représentations graphique de l'influence de la vitesse de vent sur la température de la vitre, montré que ce paramètre ayant un effet favorable pour les vitesses faible de vent qui interprété par l'augmentions des valeurs de températures, mais par contre pour les valeurs élevé de la vitesse de vent nous avons remarqué un effet inverse, cette effet défavorable de vent peut interpréter par l'augmentation des pertes par convection vers le milieu extérieur.

9-2-l'influence le film d'eau

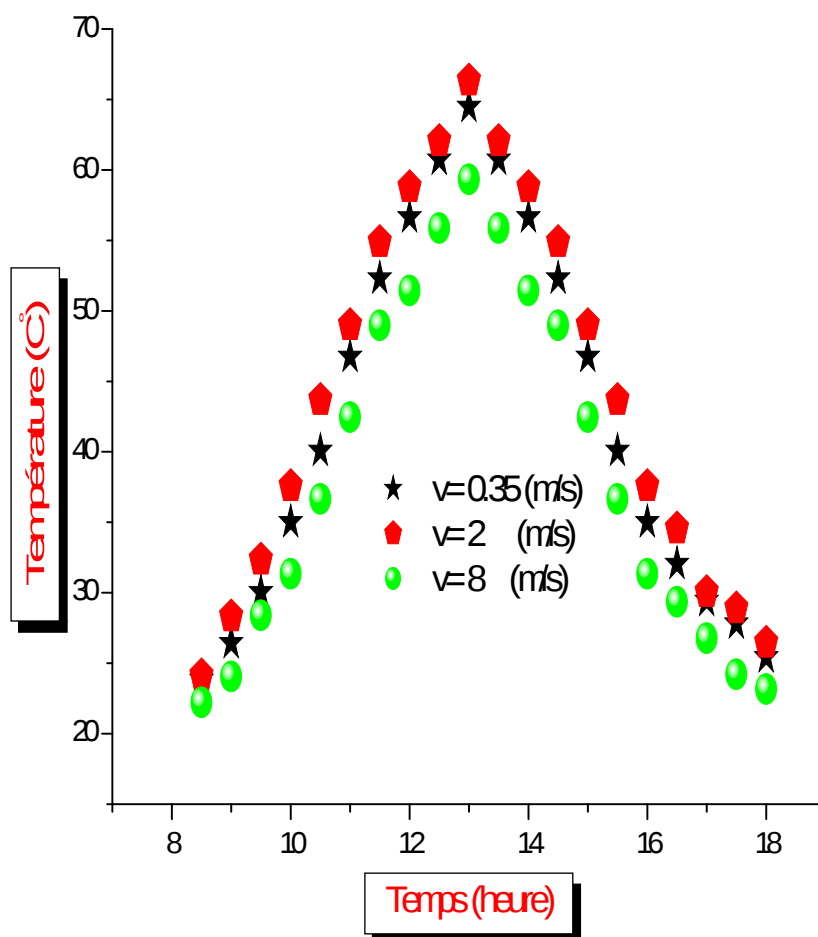


Figure VI -9-L'influence de la vitesse vent sur la température du film d'eau

Le même effet de la vitesse du vent sur la température du film d'eau à l'intérieur du distillateur solaire, mais d'un degré moins c'est qui montré par la faible décroissance de la température d'eau dans le distillateur solaire pour les valeurs élevées de la vitesse de vent.

9-3-L'influence du vent sur le bac absorbant

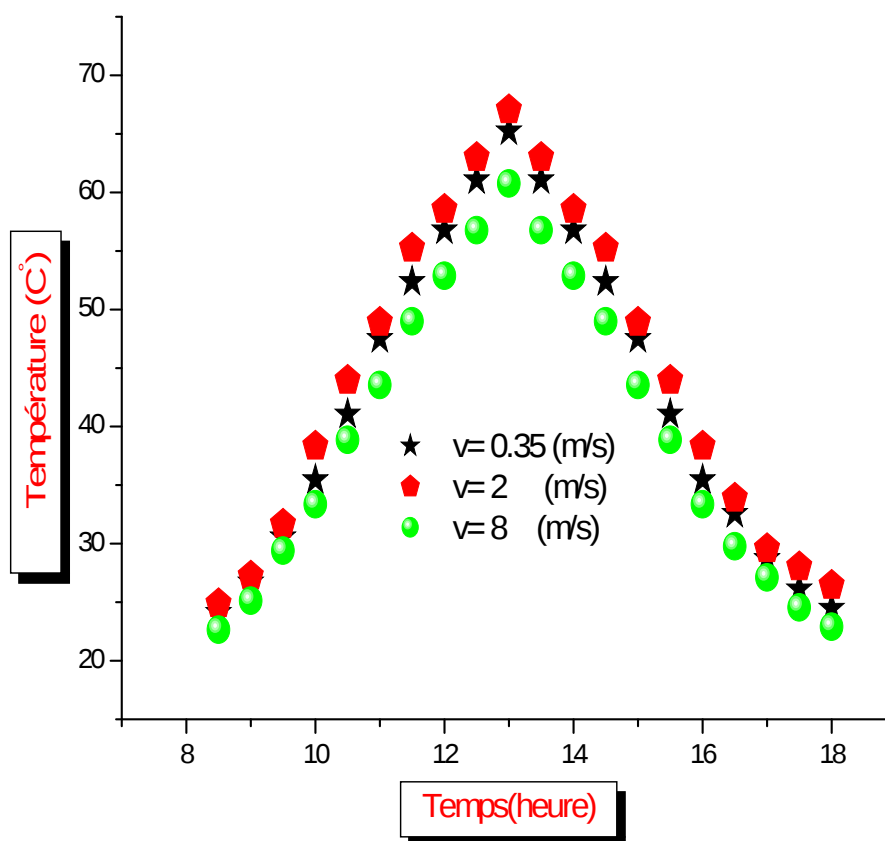


Figure VI -10-L'influence de la vitesse vent sur la température du bac absorbant

Pour le cas du bac absorbant nous avons attendu l'effet de vent sur la vitre, mais théoriquement nous avons trouvé un effet similaire à celle de vent sur le film d'eau. Ce phénomène peut être interprété par le rôle qui joue par l'isolant coté bas du bac absorbant, c'est-à-dire lorsque nous avons tracé graphiquement l'effet de vent sur la température de l'isolant on trouvant le même effet que la vitre.

10-Variation de la production en fonction de temps

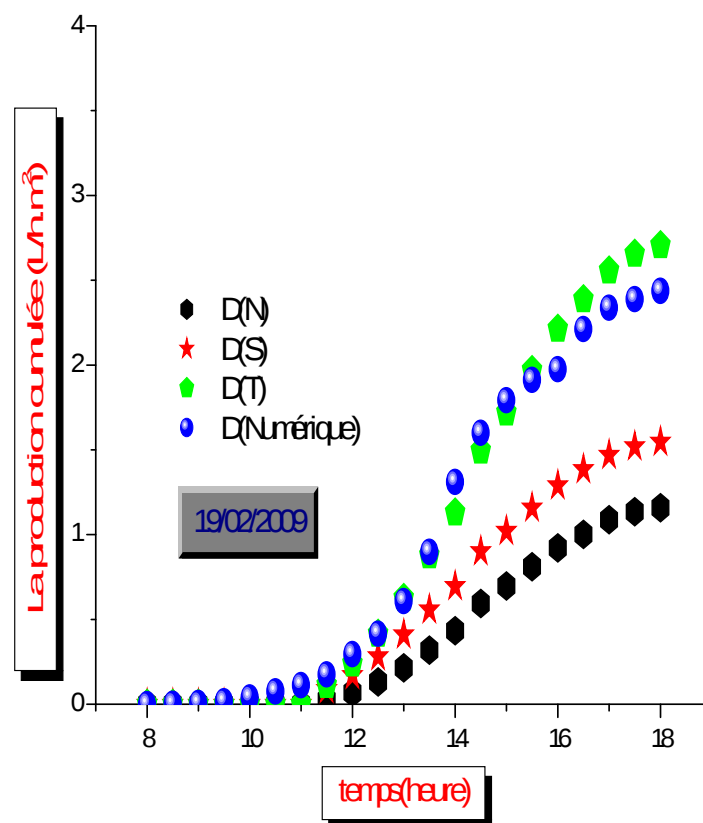


Figure- VI -11 -La variation de la production cumulée en fonction de temps

- La représentation de la variation de la production cumulée soit théorique ou expérimentale en fonction de temps montré le bon raccordement entre les résultats calculé théoriquement et celle mesuré durant la réalisation de l'expérience. Une valeur de la production d'eau distillé de 2.43 L est trouvé en fin de la journée par le code du calcul réalisé, par contre la valeur réal calcul est de 2.7 L, qui représente une erreur relative de 0.1 % dans l'estimation de la quantité d'eau distillé produire.
- L'un paramètres conduit à l'existence d'un écart entre enter la production théorique est réal est la température de la vitre qui est la température moyenne, mais par contre la condensation d'eau s'effectué à la température intérieur de la vitre

La représentation de la quantité d'eau produite par les deux faces du distillateur soit qui orienté vers le sud ou celle orienté vers le nord, montré l'existence de certaine différence entre les deux quantités, cette différence peut interpréter par le fait que toujours la face ayant une température faible produire une grande quantité d'eau distillé par ce que le processus de drainage des gouttelettes d'eau est très rapide sur cette face

11-L'efficacité globale en fonction de temps

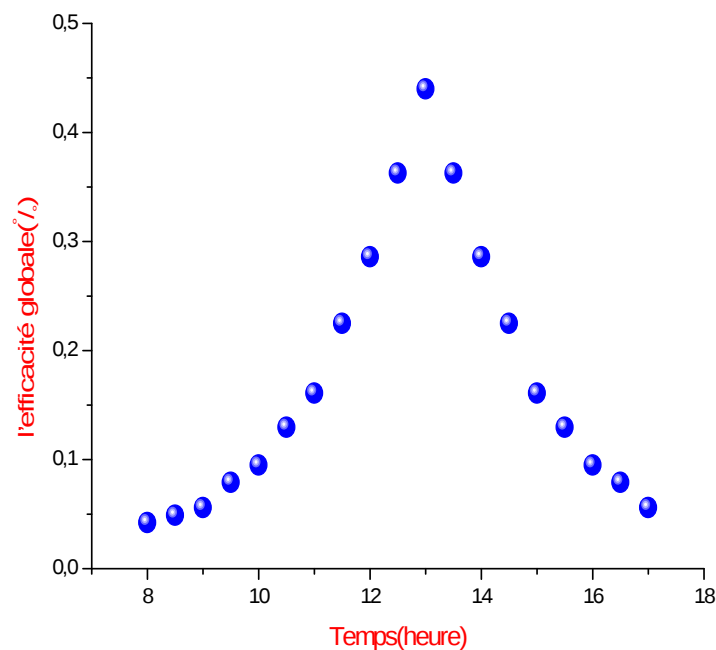


Figure- VI -12-L'efficacité globale en fonction de temps

- La variation de l'efficacité globale du système de dessalement solaire aussi varie de la même manière que le rayonnement solaire, l'efficacité globale du distillateur durant la journée de l'expérience est de 44 %, qui représentent réellement la faiblesse du rendement de ce système de production d'eau Distler, soit la figure suivant qui montre la variation de l'efficacité globale théorique durant la journée de l'expérience :

12-La variation du facteur de performance en fonction de temps

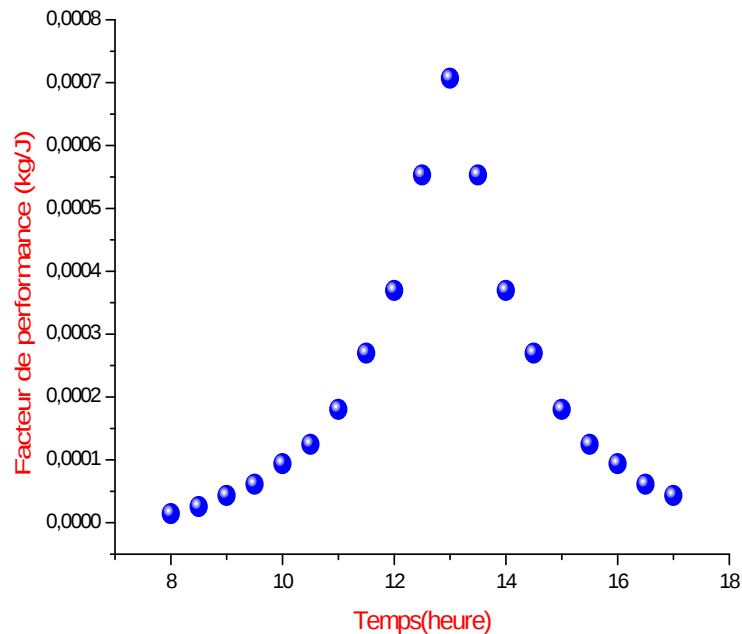


Figure- VI -13-La variation de facteur de performance en fonction de temps

- D'après le graphe présenté dans la figure ci-dessous relative à la variation du facteur de performance du distillateur étudiée nous avons remarqué que les valeurs de ce dernier, sont très faibles de façon la valeur maximale de cette propriétés caractéristique qui attient à midi solaire vrai est de $7 \cdot 10^{-4}$ comme le montre la figure. La faiblesse des valeurs de ce caractère c'est une réponse aux mauves conversions d'énergie par le distillateur solaire, c'est qui conduit à une faible production d'eau distillé.

13-Conclusion :

Dans le présent travail, nous avons élaboré un code de calcul permettant de simuler les paramètres de fonctionnement du distillateur solaire conventionnel. L'analyse des résultats Obtenus lors de la simulation du module. Nous permettent Tirer les conclusions suivantes :

- -L'augmentation de l'irradiation solaire globale qui reste le paramètre le plus influant sur le fonctionnement du distillateur solaire, conduit à un accroissement des caractéristiques de fonctionnement du distillateur.
- Une température de la saumure élevée conduit à une augmentation de la production.
- La température ambiante influe également sur la production du fait de sa faible inertie thermique qui lui permet d'être rapidement fonctionnel. En revanche une chute de température ambiante conduira à une baisse rapide des températures des composantes de ce distillateur.
- La valeur la plus élevée de la production est obtenue pour une valeur de l'inclinaison proche de la latitude du lieu où l'expérience s'est effectuée.
- le distillateur solaire de type double pente présente un avantage par rapport aux autres types de distillateur solaire que la face orientée vers le nord joue le rôle d'un capteur et l'autre joue un rôle d'un condenseur qui accélère le processus de production d'eau distillée.
- Une certaine différence existe entre les valeurs estimées par le code du calcul réalisé et les valeurs mesurées expérimentalement à cause des hypothèses simplificatrices et les corrélations utilisés pour estimer les différents coefficients d'échange thermique pour les trois modes de transfert de chaleur.
- Le paradoxe trouvé pour la proportionnalité entre l'augmentation de l'angle de l'inclinaison de la vitre et le flux solaire reçu est concernait la période où la déclinaison est négative.

Conclusion général :

Dans ce travail nous avons étudié théoriquement le distillateur solaire à double pente qui fonctionne en mode direct, ce dernier qui basé sur le phénomène d'effet de serre, Notre intérêt a porté sur l'étude de la variation des différents paramètres de fonctionnement en fonction des conditions météorologiques de la ville de Ouargla (le rayonnement solaire, la température ambiante, la production les efficacités,.....).

-A partir des résultats trouvés nous avons déduit que l'énergie solaire est la condition la plus importante pour le fonctionnement des systèmes de dessalement soit en mode direct, ou indirect.

-Les valeurs de la température du film d'eau dans le bassin sont proches de celles du bac absorbant, ce qui est un peu illogique mais peut être interprété par le fait que la chaleur absorbée par le fond du distillateur est transmise totalement au film d'eau, ce qui est justifié par la valeur très élevée de la température d'eau sur tout au midi solaire vrai.

La quantité d'eau produite théoriquement par le distillateur solaire à la fin de la journée est 2.43L, par contre la quantité produite réellement est de 2.71L qui représente une erreur relative de 0.1% dans le calcul de la production. Cette petite quantité produite est causée par la température élevée de la vitre côté intérieur, ce qui nécessite l'installation d'un système de refroidissement de la vitre pour accélérer le processus de drainage des gouttelettes d'eau sur le côté intérieur de la vitre.

L'augmentation de l'angle d'inclinaison de la vitre conduit à une diminution du flux solaire reçu par le système de dessalement ; ce qui est expliquée par la diminution de la surface exposée au rayonnement solaire.

D'après les résultats trouvés et les difficultés qui influent sur le fonctionnement et la production du distillateur solaire nous proposons, dans le but d'améliorer les performances du distillateur, d'œuvrer dans les axes de recherches suivants :

- L'utilisation d'un système de refroidissement autonome pouvant refroidir le vitrage périodiquement dans le but d'augmenter la condensation,

- l'intégration du de distillateur avec l'un des systèmes énergétiques (capteur solaire, éolienne,...)
- L'utilisation de nouveaux alliages caractérisés par une bonne efficacité et à bas cout.
- Développer un distillateur solaire sous des normes pouvant être utilisé dans n'importe quelles conditions de travail et dans n'importe quel lieu.
- Stockage de l'énergie renouvelable pour le fonctionnement du distillateur dans les périodes où cette énergie est absente, surtout dans les régions arides et éloignées.

تقطير، تكميم، انتاجية، المحاكاة الحاسوبية، الطاقة الشمسية

L'eau est un élément essentiel à toute vie sur la terre. Les besoins en eau sont multiples, tels que l'industrie pharmaceutique, les accumulateurs chimiques et les laboratoires de chimie et biologie. Avec les nouvelles orientations vers l'utilisation des énergies nouvelles est renouvelable surtout l'énergie solaire, la distillation solaire devient un enjeu à la fois économique et social. Dans ce travail nous avons étudié numériquement le distillateur solaire à double pente par la réalisation d'un code de calcul en langage **FORTRAN** pour le calcul des différentes températures, l'efficacité globale et interne, le facteur de performance et le débit de condensat. Les résultats sont confrontés à ceux expérimentaux réalisés pour les conditions météorologiques de la ville d'Ouargla.

Distillation solaire, optimisation, production, simulation numérique, énergie solaire, températures

Water is essential to all life on earth. Water needs are varied, such as pharmaceuticals, batteries and chemical laboratories of chemistry and biology. With the new guidelines to the use of new energy and renewable especially solar energy, solar distillation is an issue both economically and socially. In this work we have studied numerically the solar distiller by conducting a computer code in **FORTRAN** language for the calculation of different temperatures, the overall efficiency is internal, the performance factor and the condensate. The results are compared with experimental ones made for the weather of the city of Ouargla.

Distillation, optimization, daily output, numerical modeling, solar energy, temperature