

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Université Ibn Khaldoun Tiaret
Faculté des Sciences Appliquées
Département de génie mécanique



PROJET DE FIN DE CYCLE

MASTER

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

**Etude sur l'optimisation de l'efficacité énergétique
d'un système de dessalement solaire conventionnel**

Présenté par :

Nekhima Houari et Boumediene Bakhtite

Soutenue publiquement le : 23/ 06/ 2024 devant le jury composé de :

Bouzouini Mohamed	MAA	Université Ibn Khaldoun Tiaret	Président
Mme Khaldi Sabrina	MAA	Université Ibn Khaldoun Tiaret	Examineur
Belmiloud Mohamed Amine	MCB	Université Ibn Khaldoun Tiaret	Examineur
Hammou Mahmoud	MCB	Université Ibn Khaldoun Tiaret	Encadrant

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2023/2024

Dédicace

À ceux qui m'ont enseigné la valeur de la connaissance et de la persévérance, je dédie ce travail. A ma famille, pour leur soutien indéfectible et leur amour inconditionnel. À ma chère mère, qui a toujours lutté, est restée debout, m'a soutenu et a cru en moi et en mes capacités pour réussir. Sans elle, je n'aurais pas atteint ce niveau. À mon cher père, qui m'a apporté soutien et conseils et qui a toujours été à mes côtés, j'espère pouvoir vous récompenser ne serait-ce qu'un peu de vos efforts et de vos sacrifices. A mon cher grand-père, que Dieu ait pitié de lui, qui a toujours été fier de moi, m'a encouragé et m'a apporté un soutien financier et moral. J'aurais aimé que tu sois présent pour cette journée, je me souviendrai toujours de toi dans chaque réussite que j'obtiens. Dans ma vie.

À mes sœurs, Soumia, Souad, en particulier Razika, qui m'ont beaucoup aidé dans l'organisation de cet événement et en prêtant attention à tous les détails. Votre présence est pour moi un soutien. J'ai la chance de vous avoir et à mon cher frère Khaled Belabbas pour son soutien et ses précieux conseils, A mon collègue Bakhtite Boumediene, avec qui j'ai partagé toutes les étapes de la réalisation de ce travail À mes amis El Hadj saady, Mohamed Belkaoui, Miloud Faghoul, pour les moments de détente qui ont équilibré cette aventure académique. Et à tous ceux qui aspirent à un monde où l'eau, source de vie, devient accessible à tous grâce à des avancées comme la désalinisation. Que ce mémoire serve non seulement comme un témoignage de mon parcours personnel, mais aussi comme une pierre à l'édifice d'un avenir plus durable.

Houari Nekhima

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ma famille « mes parents, mes frères et mes sœurs » pilier de ma vie, dont le soutien indéfectible a été mon refuge et ma force.

Aux amis de toujours, compagnons de cette aventure, qui ont su alléger les jours de labeur par leur présence et leur humour. À ceux qui, bien que dans l'ombre, ont contribué à ce travail par leurs conseils et leur écoute attentive.

Je pense aussi à ceux qui luttent pour l'accès à l'éducation, qui m'ont inspiré à poursuivre mes rêves malgré les obstacles. Ce mémoire est un hommage à leur courage et à leur détermination.

Que ce travail soit le reflet de notre quête commune pour un monde plus juste, où le partage du savoir est le socle de notre avancée collective.

Avec toute ma reconnaissance et mon espoir,

Bakhtite Boumediene

Remerciements

Toute la gratitude et le merci à Dieu notre créateur qui nous a donné la force pour effectuer et achever ce travail.

« Nous tenons tout d'abord à exprimer nos profonde gratitude à notre directeur de mémoire, Dr Hammou Mahmoud, pour son encadrement, sa patience et sa confiance tout au long de ce travail de recherche. Ses précieux conseils, son expertise et son soutien inébranlable ont été d'une aide inestimable et ont grandement contribué à l'aboutissement de ce projet.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des professeurs du département de génie mécanique de l'Université Ibn khaldoun de Tiaret, pour leurs enseignements de qualité et les connaissances qu'ils nous transmises durant nos années d'études. Leur passion et leur dévouement pour la recherche nous inspiré et motivé à poursuivre nos propres questionnements scientifiques.

Grand merci également aux membres du jury d'avoir accepter a présider et d'examiner notre travail. Un merci spécial à nos camarades de classe et amis, pour leurs encouragements, leurs échanges intellectuels stimulants et pour tous les moments partagés.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Que ce soit à travers des discussions enrichissantes, des conseils ou simplement par leur présence, leur contribution a été précieuse. »

Sommaire

Sommaire

Dédicace	a
Dedécace	b
Remerciment.....	c
Sommaire.....	d
Liste des figures	f
Liste des Tableaux.....	g
Liste des abréviations	g
Nomenclature	h
Liste des Lettres	i
Les nombres adimensionnels	i
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

I.1- Introduction	4
I.2- La disponibilité de l'eau	5
I.3- Les Critères de la qualité de l'eau :	5
I.4- Les critères de potabilité de l'eau	6
I.5- Les différents types sources d'eau en Algérie :	6
I.5.1 Les Eaux de surface :	6
I.5.2 Les Eaux souterraines :	6
I.5.3 L'eau non conventionnelle :	6
I.5.4 Les Eaux minérales :	6
I.5.5 Les eaux usées :	7
I.5.6 Les eaux saumâtres.	7
I.6- Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie :	7
I.6.1 Le stress hydrique :	7
I.6.2 L'envasement des barrages :	8
I.6.3 L'évaporation des lacs de barrages :	9
I.6.4 Les fuites dans les barrages :	9
I.6.5- La pollution de l'eau :	10
I.6.6 - La mauvaise gestion de l'eau :	11
I.7- L'impact de la pénurie d'eau potable en Algérie :	11
I.8- Quelques solutions pour remédier à la pénurie d'eau potable :	12
I.9- Conclusion :	13

CHAPITRE II Etat de l'art des différents procédés de dessalement de l'eau de mer

II.1- L'historique de dessalement :	14
II.2- Le Schéma général d'une installation de dessalement :	14
II.3- Le dessalement	15
II.4- Pourquoi le dessalement solaire ?	15
II.5- La Présentation des différents procédés de dessalement.....	16
II.6- Les Procédés par changement de phases [36]	17
II.6.1- La distillation.....	17
II.6.2- La Distillation simple effet.....	18
II.6.3- La Distillation à multiples effets (MED).....	19
II.6.4- La Distillation Simple flash.....	20
II.6.5- La Distillation multi flash	21
II.6.6- La Distillation par détentes successives (Multi stage Flash, MSF).....	21
II.6.7- La Distillation par compression de la vapeur :	22
II.6.8- La Distillation solaire :	24

II.6.8.1- Procédé de distillation à effet de serre	24
II.6.9- Le Dessalement par congélation	25
II.7- 1 Le Procédés agissant sur les liaisons chimiques	26
II.7.1- Le Procédés par échange d'ions	26
II.8- Les Procédés à membranes	27
II.8.1- L'Osmose inverse.....	27
II.8.2- L'électrodialyse (ED).....	29
II.9- L'analyse de performances – Etude comparative	30
II.9.1- Le Domaine d'utilisation.....	30
II.9.2- La Consommation énergétique.....	30
II.10- La Comparaison entre les procédés de dessalement	32
II.11- Conclusion.....	33
CHAPITRE III Description et modélisation mathématique du système	
III.1- Introduction.....	34
III.2- La Description et principe de fonctionnement de distillateur solaire plan	34
III.3- La Considérations générales sur la modélisation adoptée	34
III.4- L'hypothèses de calcul.....	35
III.5- Les Paramètres de fonctionnement	35
III.5.1 Les Paramètres internes.....	35
III.6 - Les Caractéristiques de fonctionnement	36
III.7- Les Bilans énergétiques dans un distillateur simple	37
III.7.1- Les Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur	37
III.8- Le Modèle mathématique	38
III.8.1- Le Bilan thermique de la vitre	38
III.8.2- Le Bilan thermique de la masse d'eau	39
III.8.3- Le Bilan thermique de l'absorbeur ou le bassin d'eau.....	39
III.8.4- Le Bilan thermique de l'isolant	39
III.8.5- Le débit du condensat	39
III.9- L'efficacité du processus de distillation :	40
III.10 – Les expression des différents coefficients de transfert de chaleur	40
III.11- La resolution du systeme d'equations.....	45
III.11.1- La Méthode de résolution.	45
III.11.2- La simulation numérique	45
III.12- Le programme.....	46
III.13- Conclusion	51
CHAPITRE IV Résultats et discussion	
IV.1- La Considérations générales sur la modélisation adoptée	51
IV.2- L'hypothèses de calcul	51
IV.3-L'etat de l'art sur l'amélioration de l'efficacité Energétique du système à travers les verres du couvercle	51
IV.4-Les Résultats et interprétations	52
IV.4.2- Les Résultats numériques des variations de la température des constituants.....	53
IV.5- Les Résultats expérimentaux	56
IV.6-La validation des résultats	59
IV.7- L'optimisation de l'efficacité énergétique du système.....	59
IV.8- L'observation et interprétation	64
IV.9- Conclusion	64
Conclusion générale	65
Référence bibliographiques.....	65
Résumé	70

Liste des figures

N° de figure	Titre	Page
Figure 1.1	Les régions exposées aux pénuries d'eau dans le monde à l'horizon 2020	
Figure 1.2	Algérie : 22 wilayas en stress hydrique	
Figure 1.3	Problématique De L'envasement Des Barrages	
Figure 1.4	Evolution de l'évaporation dans les barrages algériens (39 barrages)	
Figure 1.5	Variation des débits de fuites dans les barrages algériens (22 barrages)	
Figure 1.6	Représentation de la pollution de l'eau en Algérie	
Figure 1.7	Pénurie D'eau Potable À Bir El Arch : La Mauvaise Gestion Pointée Du Doigt	
Figure 2.1	Schéma général d'une installation de dessalement	
Figure 2.2	Capacité totale de dessalement installée (ou commandée)	
Figure 2.3	Les divers procédés de dessalement	
Figure 2.4	Principe du phénomène de distillation	
Figure 2.5	Principe de distillation à simple effet	
Figure 2.6	Distillation à multiples effets (MED)	
Figure 2.7	Cellule unitaire MSF	
Figure 2.8	Principe du procédé Multi flash	
Figure 2.9	Le principe de fonctionnement du procédé MSF	
Figure 2.10	Principe de distillation à compression de vapeur	
Figure 2.11	Principe de la thermo compression	
Figure 2.12	Principe du procédé de dessalement à effet de serre	
Figure 2.13	Principe de la congélation	
Figure 2.14	Principe du phénomène d'osmose inverse	
Figure 2.15	Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse	
Figure 2.16	Principe de dessalement par électrodialyse	
Figure 3.1	Le distillateur solaire plan	
Figure 3.2	Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple	
Figure 3.3	Les blocs de simulation	
Figure 4.1	Evolution de l'irradiation solaire	
Figure 4.1.a	Simulation de la radiation solaire (Gs)	
Figure 4.2	La variation de température de la vitre	
Figure 4.3	Variation de température de l'eau	
Figure 4.4	Variation de température de bassin	
Figure 4.5	Variation de température de l'isolant	
Figure 4.6	Variation des températures au cours de la journée de l'expérience	
Figure 4.7	Évolution de la température de la vitre en fonction du temps	
Figure 4.8	Évolution de la température de l'eau en fonction	
Figure 4.9	Évolution de la température de bassin en fonction de temps	

Figure 4.10	Évolution de la température de l'isolant en fonction de temps	
Figure 4.11	Évolution de la température au niveau de la vitre en fonction d'émissivité 1	
Figure 4.12	Évolution de la température au niveau de la vitre en fonction d'émissivité 2	
Figure 4.13	Évolution de la température au niveau de la vitre en fonction d'émissivité 3	
Figure 4.14	Évolution de la température au niveau de la vitre en fonction d'émissivité 4	
Figure 4.15	Évolution de la température au niveau de la vitre en fonction d'émissivité 5	
Figure 4.16	Evolution de la température de la vitre en fonction des différents niveaux d'émissivité	

Liste des Tableaux

N° de tableaux	Titre	Page
Tableau 1	Répartition des eaux sur le globe terrestre	
Tableau 1.1	Les prélèvements d'eau dans le monde, en m3/habitant/an (2004)	
Tableau 1.2	Classification des eaux selon la salinité	
Tableau 2.1	Consommation énergétique des différents procédés de dessalement	
Tableau .2.2	Comparaison entre les procédés de dessalement	
Tableau 4.1	La variation de température maximale en fonction d'émissivité	

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
T.H	Le titre hydrotimétrique
PH	Potentiel Hydrogène
GPI	Grands périmètres d'irrigations
L'AEP	Adduction en eau potable
Irr-I	Irrigation - Industrie
LTV	Longueur du tube vertical
MED	Distillation à multiples effets
MSF	Distillation Simple flash
MSF	Multi stage Flash
ED	L'électrodialyse
RO	L'osmose inverse
T.D.S	Total Dissolves Solides

Nomenclature

Nomenclature

Symboles	Signification	Unité
v	Volume	m ³
T	Température	°c
π	Pression osmotique	Pa
n	Nombre de mole	mol
R	Constat des gaz parfait	J.K-1.mol ⁻¹
Q	Densité de flux thermique	w/m ²
P	Pression	bar
S	Salinité	%
S	Surface	m ²
h	Coefficient du mode de transfert de chaleur	w/m ² .k
η_g	Efficacité globale	%
\dot{m}_d	Débit du distillat	Kg/s
G	Puissance solaire incidente	W
h_{fg}	Chaleur latente d'évaporation de l'eau	J/kg
S	Superficie du capteur (aire de la vitre).	m ²
Qintr	La quantité de chaleur entrant dans le système	w/m ²
Qextr	la quantité de chaleur sortant du système	w/m ²
Qstock	la quantité de chaleur stockée a l'intérieur du système	w/m ²
Qintr (trans)	La quantité de chaleur transférée entre les différentes composantes du système	w/m ²
Q_{evap}	Puissance d'évaporation	w/m ²
M	Masse de condensat	kg
ΔT	Différence de température	°c
V	Vitesse de vent	m/s
K	Conductivité thermique	w/m.k
L	Longueur	m
U	Coefficient global des pertes thermiques	//
C_p	Chaleur spécifique	J/kg.k
T	Temps	s
ρ	La masse volumique	Kg/m ³
g	Gravitation	m/s ²
β	Coefficient de dilatation	k ⁻¹
μ	Viscosité dynamique	Pa. s
ν	Viscosité cinématique	m ² /s
Δt	Différence de temps	s

Liste des Lettres

Symboles	Signification
α	Coefficient absorption
ρ	Coefficient de réflexion
ϵ_{Eff}	Emissivité effective
σ	Constante de Stefan- Boltzmann
δ	Epaisseur

Les nombres adimensionnels

Symboles	Signification	L'expression
Gr	Nombres de grashof	$\text{Gr} = \frac{\beta g \rho^2 L^3}{\mu^2} \Delta T$
Pr	Nombres de prandlt	$\text{Pr} = \frac{\mu C_p}{k} = \frac{v}{a}$
Nu	Nombres de nusselt	$\text{Nu} = c(\text{GrPr})^{0.25}$

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un élément vital pour la planète et les êtres humains. Elle remplit de nombreuses fonctions essentielles, comme la régulation du climat, le maintien de la biodiversité, la production d'énergie, l'agriculture, l'hygiène et la santé. L'eau est également une ressource précieuse et limitée.

Sur la Terre, 97% de l'eau est salée et seulement 3% est douce. De plus, une grande partie de l'eau douce est inaccessible, car elle est gelée ou souterraine. Seulement 1% de l'eau douce est disponible en surface, sous forme de rivières, de lacs ou de nappes phréatiques. [01]

L'eau est donc une richesse qu'il faut protéger et utiliser de manière durable. Malheureusement, l'eau est souvent gaspillée, polluée par l'être humain.

De plus, l'agriculture, qui est le principal utilisateur d'eau douce, est fortement impactée par cette pénurie. Les agriculteurs ont du mal à irriguer leurs cultures, ce qui entraîne des rendements faibles et des problèmes de sécurité alimentaire.

Face à cette situation, il est nécessaire de mettre en place des mesures pour préserver et gérer l'eau de manière durable. Cela passe par une utilisation plus efficace de l'eau dans tous les secteurs, notamment l'agriculture, l'industrie et les ménages.

Ces eaux sont réparties sur le globe terrestre de la façon présentée au tableau suivant

Tableau 1 : Répartition des eaux sur le globe terrestre [02]

Provenance de l'eau	Quantité (%)
Eau douce de lacs	0.009
Eau de rivières	0.0001
Eau souterraine (près de surface)	0.005
Eau souterraine (en profondeurs)	0.61
Eau des glaciers et les calottes glaciaires	2.15
Eau salée de lacs ou de mers intérieures	0.008
Eau dans l'atmosphère	0.0001
Eau des océans	97.2

- La consommation d'eau potable par secteur en Algérie en 2020 se répartissait comme suit : [03]

- 51 % pour le secteur domestique.
- 31 % pour le secteur agricole
- 18 % pour le secteur industriel

Introduction générale

En fait, la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/l. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme souterraines [04].

Le dessalement est une technique qui permet de transformer l'eau salée ou saumâtre en eau douce, en utilisant différentes méthodes comme l'osmose inverse ou la distillation. Le dessalement est utile pour fournir de l'eau potable, industrielle ou agricole dans les zones arides ou polluées. [05]

Après avoir parlé de la technologie qui permet d'étudier l'eau salée, nous allons apprendre quelques mots liés à cette technologie. :

Distillation : c'est une méthode de dessalement qui consiste à évaporer l'eau salée, soit en utilisant la chaleur des rayons solaires, soit en la chauffant dans une chaudière. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels dissous et toutes les autres substances contenues dans l'eau de mer. Il suffit alors de condenser la vapeur d'eau ainsi obtenue pour obtenir une eau douce consommable.

L'osmose inverse : nécessite quant à elle de traiter au préalable l'eau de mer en la filtrant et en la désinfectant afin de la débarrasser des éléments en suspension et des micro-organismes qu'elle contient. Le procédé consiste ensuite à appliquer à cette eau salée une pression suffisante pour la faire passer à travers une membrane semi-perméable : seules les molécules d'eau traversent la membrane, fournissant ainsi une eau douce potable. L'inconvénient majeur de ces systèmes est qu'ils sont très coûteux. Les installations sont peu rentables : les quantités d'énergie nécessaires au chauffage ou à la compression de l'eau sont trop élevées, et les volumes d'eau produits trop faibles. L'utilisation de cette technique de production d'eau potable reste donc encore très marginale [06].

L'Algérie dispose d'un potentiel solaire très important, estimé à plus de 2500 kWh/m² /an, ce qui la rend propice à l'exploitation du dessalement solaire, une technique qui utilise l'énergie solaire pour transformer l'eau de mer ou saumâtre en eau douce [07].

Dans ce but nous proposons : une étude sur l'optimisation de l'efficacité énergétique d'un système de dessalement solaire conventionnel, cette étude consiste à développer un modèle numérique pour résoudre les équations différentielles gouvernant le fonctionnement de ce système de dessalement solaire conventionnel qui se compose d'un bassin recouvert d'une couche noire absorbante et d'un couvert transparent en verre ordinaire ou parfois en plastique mis en pente. L'augmentation de la température due à l'effet de serre fait réchauffer l'eau salée qui s'évapore. Cette capacité d'évaporation grandit au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau qui se condense sous le vitrage. Les résultats obtenus mettent en

Introduction générale

évidence l'effet de nombreux paramètres internes et externes sur la production de ce distillateur. Cela peut être réalisé en optimisant différents aspects du système tels que l'étude de l'effet des qualités des verres de couverture sur la production de l'eau douce.

Ce mémoire est détaillé tout le long des quatre chapitres.

Chapitre I

Ce chapitre a pour objet l'étude de la pénurie d'eau potable en Algérie et d'en identifier les causes majeures.

Chapitre II

Dans ce chapitre, nous discuterons l'état de l'art des différents procédés de dessalement de l'eau de mer ou saumâtre.

Chapitre III

Ce chapitre concerne la description du système puis la modélisation et la simulation du phénomène.

Chapitre IV

Ce dernier chapitre est consacré à une présentation des résultats obtenus dans l'étude numérique sous forme de graphes suivis des interprétations. Ce travail est clôturé par une conclusion générale et des perspectives de réalisation pour de futurs travaux dans le même axe de recherche.

CHAPITRE I

Chapitre I : Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

I.1- Introduction

Pour le bien-être humain, économique et social, l'eau est essentielle. Cependant, l'Algérie rencontre un problème majeur pour garantir sa sécurité hydrique, c'est-à-dire sa capacité à répondre aux besoins présents et futurs en eau de la population et de ses activités. En effet, l'Algérie appartient à la catégorie des pays les plus démunis en termes de potentialités hydriques, avec moins de 500 m³ par habitant et par an, soit moins de la moitié du seuil de pénurie défini par l'Organisation Mondiale de la Santé [08].

De plus, l'Algérie subit les effets du changement climatique, qui se manifeste par une baisse des précipitations, une hausse de l'évaporation et une variabilité accrue des sécheresses et des inondations. Ces facteurs entraînent une diminution des ressources en eau disponibles, tant superficielles que souterraines, et une détérioration de leur qualité.

Face à cette situation, l'Algérie a mis en œuvre plusieurs mesures pour accroître l'offre en eau et diminuer la demande. Parmi ces mesures, on peut mentionner la construction de barrages, de stations de dessalement, de réseaux d'adduction et de distribution [09]

En 1997, la pénurie d'eau concernait environ 40% de la population mondiale, répartie dans 80 pays, selon le Comité sur les Ressources Naturelle :

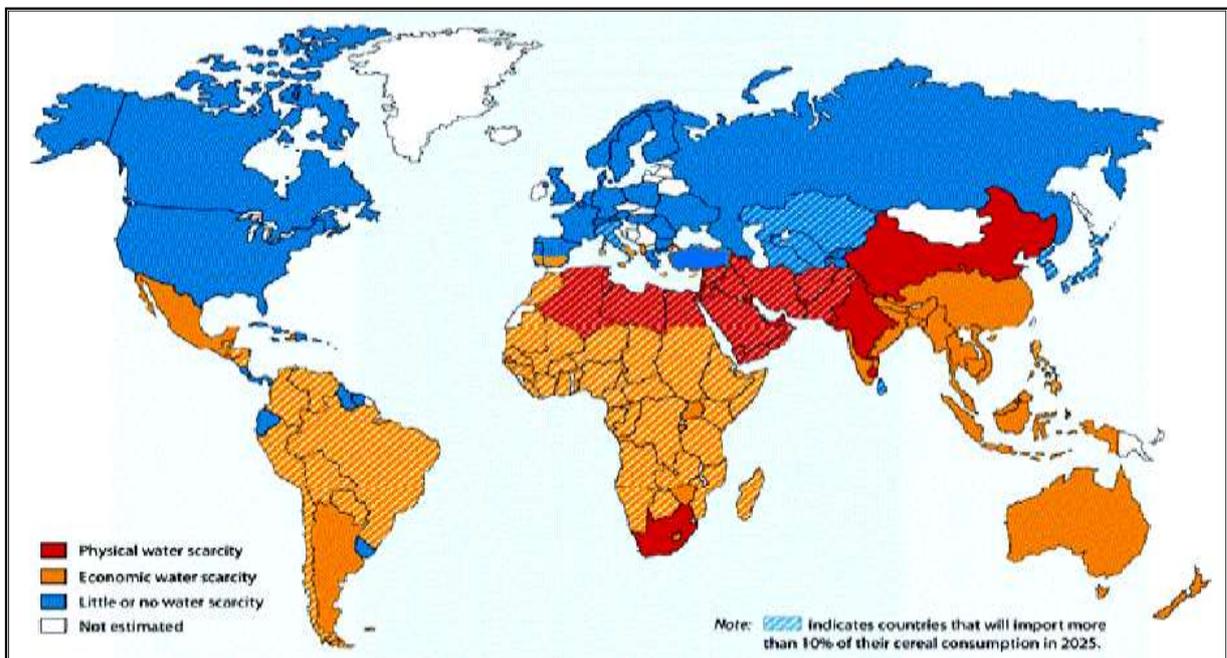


Figure 1.1 : Les régions exposées aux pénuries d'eau dans le monde à l'horizon 2020

Chapitre I : Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

I.2- La disponibilité de l'eau.

Comme le montre le tableau ci-dessous, l'Algérie est l'un des pays les plus pauvres sur pays en termes de ressources en eau, bien loin de la consommation annuelle théorique par habitant de 1000 m³ fixée par la Banque mondiale

Tableau 1.1 - Les prélèvements d'eau dans le monde, en m³/habitant/an (2004) [10]

États-Unis	1 840	Maroc	387
Canada	1 623	Algérie	201
Espagne	1 040	Vietnam	371
Italie	976	Royaume-Uni	292
Australie	839	Sénégal	151
Japon	735	Cambodge	48
France	547	Tchad	26
Allemagne	532		

I.3- Les Critères de la qualité de l'eau :

Eau potable est une eau douce sans odeur, couleur ni saveur, qui ne renferme pas de substances nocives, mais qui présente une certaine minéralisation dont les niveaux sont réglementés et respectés. L'Organisation Mondiale de la Santé a fixé des normes internationales pour l'eau potable, qui incluent un résumé des critères bactériologiques, physiques, chimiques, biologiques et radiologiques. L'eau utilisée pour les besoins domestiques doit avoir une salinité inférieure ou égale à 0,5 g/l, une dureté (T.H) comprise entre 1,5 et 3 degrés et elle ne doit pas dépasser 200 mg/l de chlore, 75 mg/l de calcium, 50 mg/l de magnésium, 150 mg/l de sulfates [11].

Le pH, qui varie selon la quantité d'ions, détermine les équilibres physico-chimiques, notamment l'équilibre calco-carbonique et donc l'effet de l'eau sur les carbonates (dissolution ou précipitation). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitiques. Il est basique dans les calcaires. Le pH est ajusté selon le cas par élimination du CO₂ dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée. La concentration d'ions dans l'eau est mesurée avec son pH qui est généralement égal à 7.0. La teneur en gaz dissous provenant de l'atmosphère (O₂ et CO₂), la teneur en éléments minéraux dissous généralement sous forme ionique : anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, fluorures) et cations (calcium, magnésium, sodium)

Tableau 1.2 : Classification des eaux selon la salinité [12]

Type d'eau	Salinité (mg/l)
Eau douce	< 500
Eau légèrement saumâtre	1.000 - 5.000
Eau modérément saumâtre	5.000 - 15.000
Eau très saumâtre	15.000 - 35.000
Eau de mer	35.000 - 42.000

Chapitre I : Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

I. 4- Les critères de potabilité de l'eau

L'eau potable contient certaines substances naturelles utiles à l'homme, comme des sels minéraux, du calcium, du magnésium et plusieurs autres éléments.

Selon les normes actuelles, la qualité de l'eau potable est déterminée par 63 critères répartis en 5 catégories

- Paramètres physicochimiques (valeur PH, température, conductivité, dureté)
- Paramètres sensoriels (couleur, goût, odeur)
- Paramètres microbiologiques (agents pathogènes provoquant des maladies, voire des épidémies)
- Paramètres liés aux substances indésirables. (Pesticides)
- Paramètres liés aux substances toxiques (chrome, nickel, sélénium. hydrocarbures) [13]

I. 5- Les différents types sources d'eau en Algérie :

I.5.1 Les eaux de surface :

Il s'agit de l'eau qui coule à la surface de la Terre, comme les rivières, les lacs, les barrages et les réservoirs de montagne. Celles-ci représentent environ 11 milliards de mètres cubes de ressources renouvelables par an, principalement dans le nord du pays.

I.5.2 Les eaux souterraines :

Il s'agit de l'eau trouvée dans les eaux souterraines, les aquifères et les sources. Cela correspond à environ 2,5 milliards de m³/an de ressources renouvelables au nord et 5 milliards de m³/an de ressources non renouvelables (gisements fossiles) au sud. Les aquifères fossiles sont développés par forage profond, tandis que les aquifères de surface sont développés par des puits ou Foggaras.

I.5.3 Les eaux non conventionnelle :

Il s'agit de l'eau obtenue à partir de sources alternatives telles que : le Dessalement de l'eau de mer, réutilisation des eaux usées traitées et récupération des eaux de pluie. Celles-ci représentent une solution pour répondre à la pénurie d'eau du pays, estimée à 1,3 milliard de mètres cubes par an. L'Algérie possède plusieurs usines de dessalement le long de sa côte qui produisent environ 2,3 millions de mètres cubes d'eau potable par jour. La réutilisation des eaux usées traitées est encore limitée, mais pourrait potentiellement être utilisée pour l'irrigation agricole ou industrielle. La récupération des eaux de pluie est traditionnellement pratiquée dans certaines régions, mais nécessite des infrastructures adaptées et une gestion efficace.

I.5.4 Les eaux minérales :

Ce sont des eaux présentant des propriétés chimiques ou physiques particulières, telles qu'une teneur élevée en minéraux, gaz ou éléments radioactifs. Ceux-ci sont utilisés pour la consommation humaine ou à des fins thérapeutiques. L'Algérie compte 37 marques d'eaux minérales, dont 19 eaux naturelles et 18 eaux de source. Deux des eaux minérales naturelles sont des eaux gazeuses : Mouzaïa et Ben Haroun.

Chapitre I : Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

I.5.5 les eaux usées :

Il convient de noter que la plupart des stations d'épuration existantes ou en projet (464 emplacements) sont situées en amont des barrages. Celles-ci représentent 4 444, soit 70 % du volume total prévu en 2030, et impactent 23 % du volume total des eaux usées. En effet, les plus grandes villes sont situées en aval du barrage. De plus, sur les 4 444 576 installations de traitement des eaux usées prévues en 2030, 54 des 4 444 sont situées dans des zones d'irrigation à grande échelle (GPI), 59 à moins de 2 km et 4 444, soit 113 stations. Il offre une possibilité intéressante d'injecter les eaux usées dans le réseau d'irrigation. Si la qualité de l'eau permet. [14]

I.5.6 Les eaux saumâtres.

L'eau saumâtre en Algérie est une eau qui a une salinité inférieure à celle de l'eau de mer, mais supérieure à celle de l'eau douce. Celles-ci se produisent généralement dans les zones de transition entre les rivières et l'océan, telles que les estuaires, les lagons et les nappes phréatiques.

- Nappe d'Albien, la plus grande nappe phréatique du monde. Il s'étend sur trois pays : l'Algérie, la Libye et la Tunisie. 70 La nappe est située sur le territoire algérien du sud-est algérien [15].

– Zones humides du littoral algérien. Il abrite une biodiversité étonnante et constitue un site de reproduction et de migration pour de nombreuses espèces d'oiseaux. Parmi ces régions, on peut citer le lac Legaia, le lac Mellah, le lac Fetsala, le lac Tonga ou encore le lac Ubeira. [16].

– Sevka, une dépression saline dans une région aride ou semi-aride. Ceux-ci sont alimentés par le ruissellement ou les eaux souterraines et sont périodiquement asséchés. Souvent utilisé dans la production de sel. On le trouve par exemple dans des zones telles que Biskra, El Ouedo, Gardaia et Tindouf. [17].

Nous examinons les principaux problèmes techniques qui affectent la qualité des ressources en eau en Algérie. Il s'agit des problèmes suivants:

I.6- Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie :

L'Algérie fait face à plusieurs problèmes hydrauliques liés à la rareté, à la qualité et à la gestion de l'eau.

L'Algérie sera confrontée à un déficit en eau de 1 milliard de mètres cubes d'ici 2025. [18]

Parmi ces problèmes, on peut mentionner :

I.6.1 Le stress hydrique :

Le stress hydrique se produit lorsque la demande en eau excède la disponibilité des ressources en eau. Il est aggravé par les effets du changement climatique, qui entraîne une baisse des

Chapitre I : Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

précipitations, une hausse de l'évaporation et une variabilité accrue des sécheresses et des inondations [19].



Figure 1.2: Algérie : 22 wilayas en stress hydrique [20]

I.6.2 L'envasement des barrages :

Qui diminue la capacité de stockage de l'eau et la qualité de l'eau. En Algérie, les 52 grands barrages accumulent 32 millions de m³ de matériau solide chaque année. Ceci est causé par la forte érosion des bassins versants de la région, favorisée par la nature des sols et le manque de boisement. Même pour les petits barrages, le phénomène est important



Figure 1.3 : Problématique De L'envasement Des Barrages [21]

I.6.3 L'évaporation des lacs de barrages :

Qui entraîne une perte de volume d'eau très élevée. Durant la période 1992-2002, la quantité évaporée représente la moitié du volume consommé par l'irrigation, l'AEP et l'industrie, ce qui est considérable. Le volume d'eau total perdu durant 10 ans d'exploitation avoisine les 2.5 milliards de m³

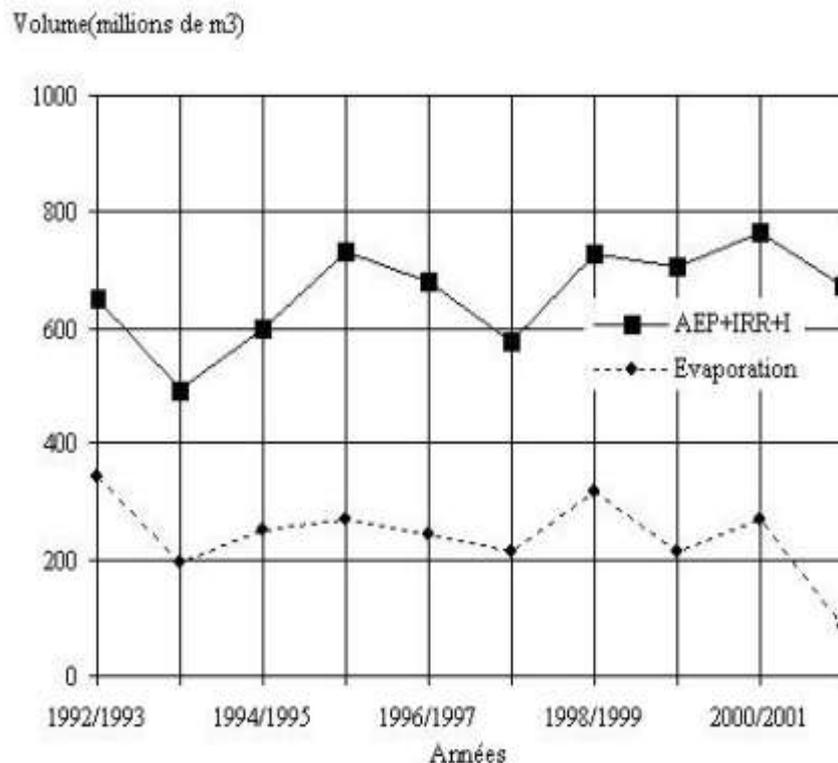


Figure 1.4 : Evolution de l'évaporation dans les barrages algériens (39 barrages).

Légende : A.E.P : Adduction en eau potable, Irr. : Irrigation, I : Industrie [22]

I.6.4 Les fuites dans les barrages :

Qui menacent la stabilité de l'ouvrage et la sécurité des populations. Certains barrages enregistrent une perte annuelle par fuite avoisinant même la valeur de 10% de leur capacité, comme ceux d'Ouizert, Foum El Gueiss et Foum El Gherza. Ces fuites provoquent l'érosion de la roche et le glissement des berges.

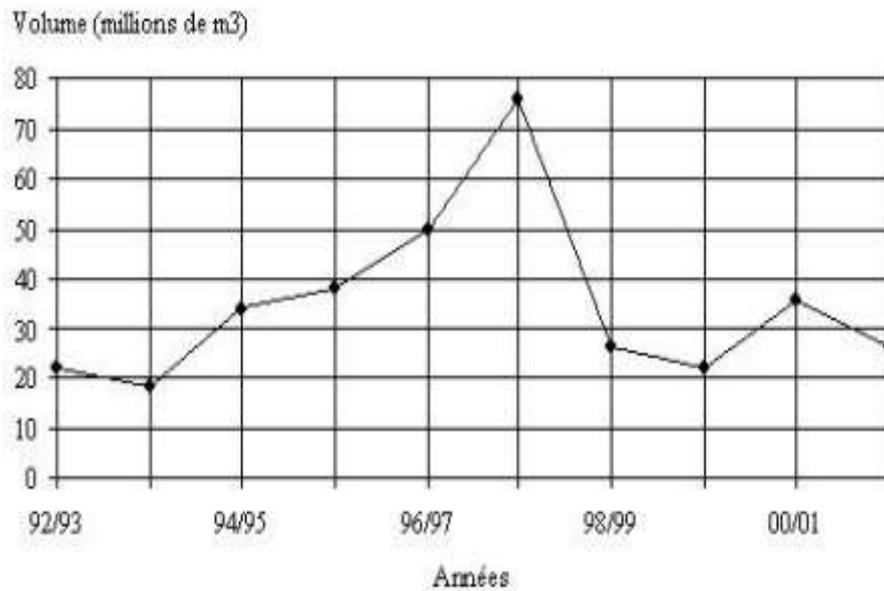


Figure 1.5 : Variation des débits de fuites dans les barrages algériens (22 barrages) [23]

I.6.5- La pollution de l'eau :

Qui affecte la santé humaine et l'environnement. Les principales sources de pollution de l'eau sont les rejets domestiques, industriels et agricoles, qui contiennent des matières organiques, des métaux lourds, des pesticides, des nitrates, des phosphates, des bactéries, etc. Ces polluants se retrouvent dans les eaux de surface, les eaux souterraines, les eaux côtières et les eaux sahariennes.



Figure 1.6 : représentation de la pollution de l'eau en Algérie [24]

Chapitre I : Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

I.6.6 - La mauvaise gestion de l'eau :

Cette mauvaise gestion qui entraîne un gaspillage et une inefficacité de l'utilisation de l'eau. Les principaux problèmes de gestion de l'eau sont le manque de coordination entre les différents acteurs, le manque de planification et de suivi, le manque de sensibilisation et d'éducation des usagers, le manque de tarification et de réglementation de l'usage de l'eau, le manque d'entretien et de réhabilitation des infrastructures, le manque d'innovation et de recherche



Figure 1.7 : Pénurie D'eau Potable À Bir El Arch : La Mauvaise Gestion Pointée Du Doigt [25]

I.7- L'impact de la pénurie d'eau potable en Algérie :

Le manque d'eau potable en Algérie constitue un problème immense qui affecte la santé, l'économie et l'environnement du pays. Certains des effets possibles de cette situation sont énumérés ci-dessous.

a- Maladies d'origine hydrique telles que le choléra, la fièvre typhoïde et l'intestin rouge qui peuvent se propager par contamination de l'eau par des agents pathogènes et des polluants. [26]

b- Conflits sociaux tels que manifestations, émeutes et violence qui peuvent éclater en raison des griefs, de la colère et des revendications des habitants insatisfaits de la pénurie ou de la qualité de l'eau. [27]

c- Pertes agricoles, etc. Diminution des rendements, réduction des superficies cultivées ou abandon des cultures causées par la sécheresse, le manque d'eau et la salinisation des sols. [28]

d- Impacts écologiques, tels que la dégradation des écosystèmes, la perte de biodiversité ou l'exacerbation du changement climatique, qui peuvent résulter de la surexploitation des ressources en eau, de la destruction des zones humides ou de la réduction du niveau des eaux des rivières. [29]

Chapitre I : Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

I.8- Quelques solutions pour remédier à la pénurie d'eau potable :

La pénurie d'eau potable est un problème mondial qui touche plus de 2 milliards de personnes [30]

Elle est causée non seulement par des facteurs naturels tels que le changement climatique, la sécheresse et la pollution, mais également par des facteurs humains tels que la surconsommation,

Le gaspillage et une mauvaise gestion de l'eau. Il existe plusieurs solutions possibles pour améliorer cette situation :

– Réparation des fuites : Cela comprend la détection et la réparation des fuites dans les réseaux de distribution d'eau qui peuvent entraîner jusqu'à 40 % de perte d'eau dans certaines zones. Pour ce faire, nous pouvons utiliser des technologies innovantes telles que des capteurs, des drones et des satellites [31].

- Adaptation des méthodes agricoles : Cela inclut les méthodes agricoles visant à conserver l'eau et à éviter la salinisation des sols, par exemple grâce à l'utilisation de systèmes d'irrigation plus efficaces, de cultures moins consommatrices d'eau, d'engrais naturels, etc. Comprend les changements de pratiques.

- Construction de réservoirs : Cela comprend la construction de barrages, de réservoirs ou de bassins pour stocker l'eau en cas de pluie et la distribuer en cas de sécheresse. Ces structures peuvent également être utilisées pour la production d'énergie hydroélectrique et le contrôle des inondations [32]

– Réutilisation des eaux usées : Il s'agit du traitement des eaux usées domestiques, industrielles ou agricoles pour les rendre adaptées à l'usage humain ou à d'autres fins telles que l'irrigation, l'irrigation et le nettoyage. Cette solution permet de réduire les besoins en eau potable et de préserver les ressources naturelles.

En plus

– Le dessalement de l'eau salée est une technologie qui élimine le sel et les impuretés de l'eau de mer pour créer de l'eau douce. Cette technologie est appliquée à l'Algérie, qui possède plus de 1 600 km de côtes mais souffre de pénuries d'eau chroniques dues à la sécheresse, à la surexploitation des eaux souterraines, à la pollution des ressources et à une mauvaise gestion de l'eau [33].

L'Algérie compte actuellement 23 usines de dessalement, fournissant 18 % de l'eau consommée dans le pays et fournissant 2,6 millions de mètres cubes d'eau par jour à 6 millions de personnes. Avec la mise en service de cinq nouvelles stations de dessalement actuellement en construction, la part de l'eau dessalée dans la demande en eau potable passera à 42 % d'ici fin 2024. La deuxième

Chapitre I : Problématique « pénurie d'eau potable en Algérie »

phase débutera en 2025 et débutera la construction de six nouvelles stations de dessalement qui deviendront opérationnelles en 2030, couvrant 60 % de l'eau consommée dans le pays [34].

I.9- Conclusion :

L'eau est menacée dans sa qualité et dans sa quantité en Algérie. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement d'eau de mer, notre pays enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025. La confrontation entre ressources et besoins est un indicatif révélateur et très significatif qui nous oriente quant à l'avenir de la politique de l'eau que nous menons afin d'atténuer l'effet du déficit. Cela est dû à un certain nombre de problèmes dont nous mentionnons : Le stress hydrique, L'envasement des barrages, L'évaporation des lacs de barrages, Les fuites dans les barrages, La pollution de l'eau, La mauvaise gestion de l'eau ...

Cela entraîne de nombreuses conséquences négatives. Par exemple : Maladies d'origine hydrique telles que le choléra, ou bien Pertes agricoles, et Impacts écologiques, tels que la dégradation des écosystèmes ...

Pour résoudre ce problème, nous proposons la technologie de dessalement comme solution.

CHAPITRE II

II.1- l' historique de dessalement :

L'idée d'obtenir de l'eau potable de l'océan n'est pas nouvelle.

L'eau de pluie est pure parce que le sel de l'océan ne s'évapore pas, seule l'eau s'évapore.

Il est intéressant de noter qu'en 1961 l'une des premières usines de démonstration de dessalement construites aux États-Unis était située à Freeport, au Texas.

Dow a travaillé avec le ministère américain de l'Intérieur pour construire une usine de distillation verticale à long tube (LTV) d'une valeur de 1,2 million de dollars, d'une capacité de 1,2 million de gallons par jour, qui produira de l'eau pour la ville de Freeport et les opérations de Dow.

L'expérience algérienne en matière de dessalement de l'eau est étroitement liée au développement de ses industries pétrolière et sidérurgique.

L'utilisation des usines de dessalement exclusivement pour fournir de l'eau potable à la population est quasi inexistante.

Le dessalement et le dessalement sont utilisés dans l'industrie pour sécuriser l'approvisionnement en eau, Chaudière, Refroidissement En 1964, trois petits blocs de $8 \text{ m}^3/\text{h}$ chacun sont installés à l'usine de gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière de l'ouest du pays).

Puis, en 1969, une autre usine fut ouverte à Alzeu avec une capacité de production de $4560 \text{ m}^3/\text{jour}$.

Depuis, plusieurs usines de dessalement et de dessalement ont été construites en parallèle du nouveau complexe, et d'autres usines ont également été mises en service pour répondre aux besoins en eau de haute pureté pour les procédés du complexe de production d'électricité.

II.2- Le Schéma général d'une installation de dessalement :

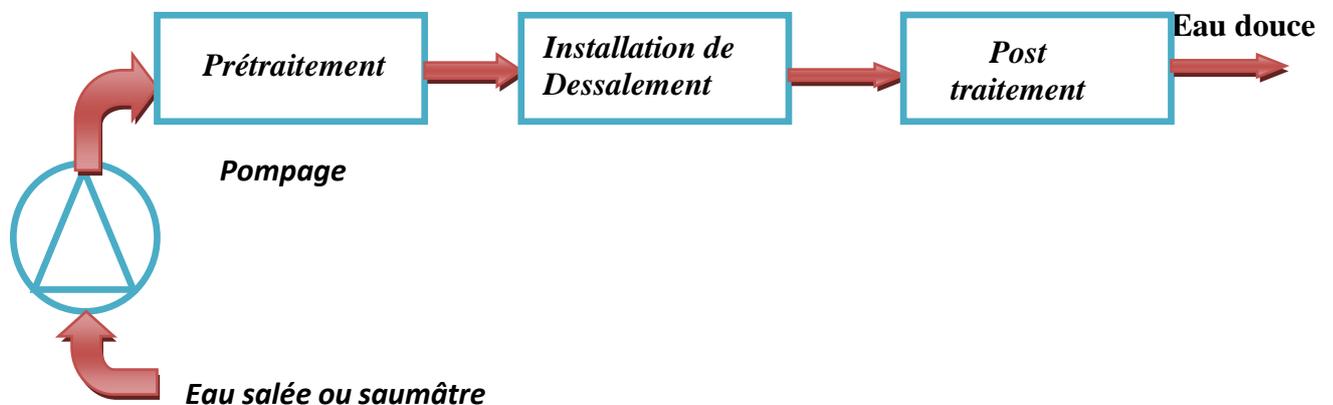


Figure 2.1 : Schéma général d'une installation de dessalement

II.3- Le dessalement

Pour répondre à ce besoin, le dessalement de l'eau de mer (et à petite échelle des eaux saumâtres) représente une solution attractive et économique qui contribue au développement durable des pays touchés comme l'Algérie pour plusieurs raisons. :

- Vastes réserves d'eau de mer disponible,
- Réduction significative des coûts de dessalement,

Que le dessalement apporte des solutions à une variété de besoins domestiques, industriels, agricoles et de traitement de l'eau. Il n'est donc pas surprenant que le marché du dessalement connaisse actuellement une croissance d'environ 7 % par an.

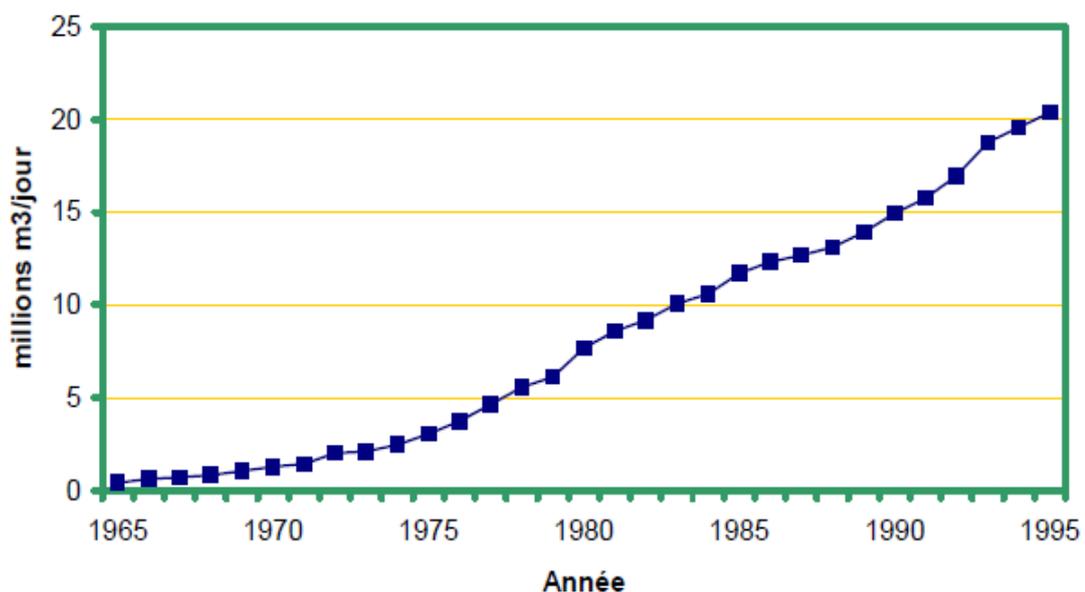


Figure 2.2 : Capacité totale de dessalement installée (ou commandée) [35]

II.4- Pourquoi le dessalement solaire ?

La hausse des prix du pétrole en 1973 a pour la première fois incitée l'humanité à s'intéresser aux sources d'énergie renouvelables, en particulier à l'énergie solaire. Les principales caractéristiques qui ont suscité l'intérêt pour l'énergie solaire à cette époque étaient sa disponibilité gratuite, sa disponibilité sur de grandes parties de la Terre et son absence de risque d'épuisement.

On s'est vite rendu compte que, contrairement aux idées reçues, l'énergie solaire n'est pas totalement gratuite. Son utilisation nécessite souvent des investissements initiaux plus élevés que les sources d'énergie traditionnelle,

Bien que l'énergie solaire ne soit pas totalement gratuite, elle réduit les coûts d'exploitation et constitue dans certains cas une alternative économiquement viable aux sources d'énergie traditionnelles telles que le pétrole, le gaz et le charbon. Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire est lié à ses avantages économiques, mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement, car elle ne contribue pas à la pollution atmosphérique, il n'y a pas de risque de rayonnement et il n'y a pas de déchets énormes résultant de son utilisation.

Tous les arguments qui conduisent à l'utilisation de l'énergie solaire soutiennent également le dessalement solaire :

- Le dessalement solaire est bénéfique pour l'environnement
- Notre pays dispose d'importantes ressources en eau salée ainsi que d'importantes ressources solaires.

Le dessalement est un processus énergivore. Par conséquent, les stratégies futures basées uniquement sur l'utilisation de ressources fossiles pour le dessalement ne sont ni réalistes ni souhaitables. Les réserves de combustibles fossiles sont limitées (et devraient être conservées pour d'autres utilisations importantes) et la demande en eau va augmenter. Toujours avec l'augmentation de la population et l'amélioration du niveau de vie. Les mesures de conservation liées au recyclage des eaux usées, à la minimisation des fuites, à l'expansion et à la modernisation des réseaux de distribution d'eau, etc. peuvent certes contribuer à réduire ce besoin, mais elles ne peuvent pas empêcher la prolifération des usines de dessalement, et donc ne peuvent pas empêcher la propagation des usines de production d'énergie fossile. Prévenir les conséquences néfastes pour l'environnement et la santé humaine. Sur la base d'une augmentation de 15 millions de m³/jour en 2025 (région méditerranéenne uniquement),

II.5- La Présentation des différents procédés de dessalement

Étant donné que la plupart des procédés commerciaux de dessalement de l'eau de mer ont fait leurs preuves, la technologie peut être divisée en deux grands groupes : les procédés d'évaporation et les procédés de séparation par membrane. Tous les procédés utilisant des techniques de distillation (sauf les procédés de compression de vapeur,) utilisent de l'énergie thermique. Les Procède utilisant des membranes et de la compression de vapeur utilisent de l'énergie électrique ou mécanique. Il existe actuellement plusieurs procédés de dessalement, que l'on peut diviser en trois grandes catégories selon le principe utilisé. Procède

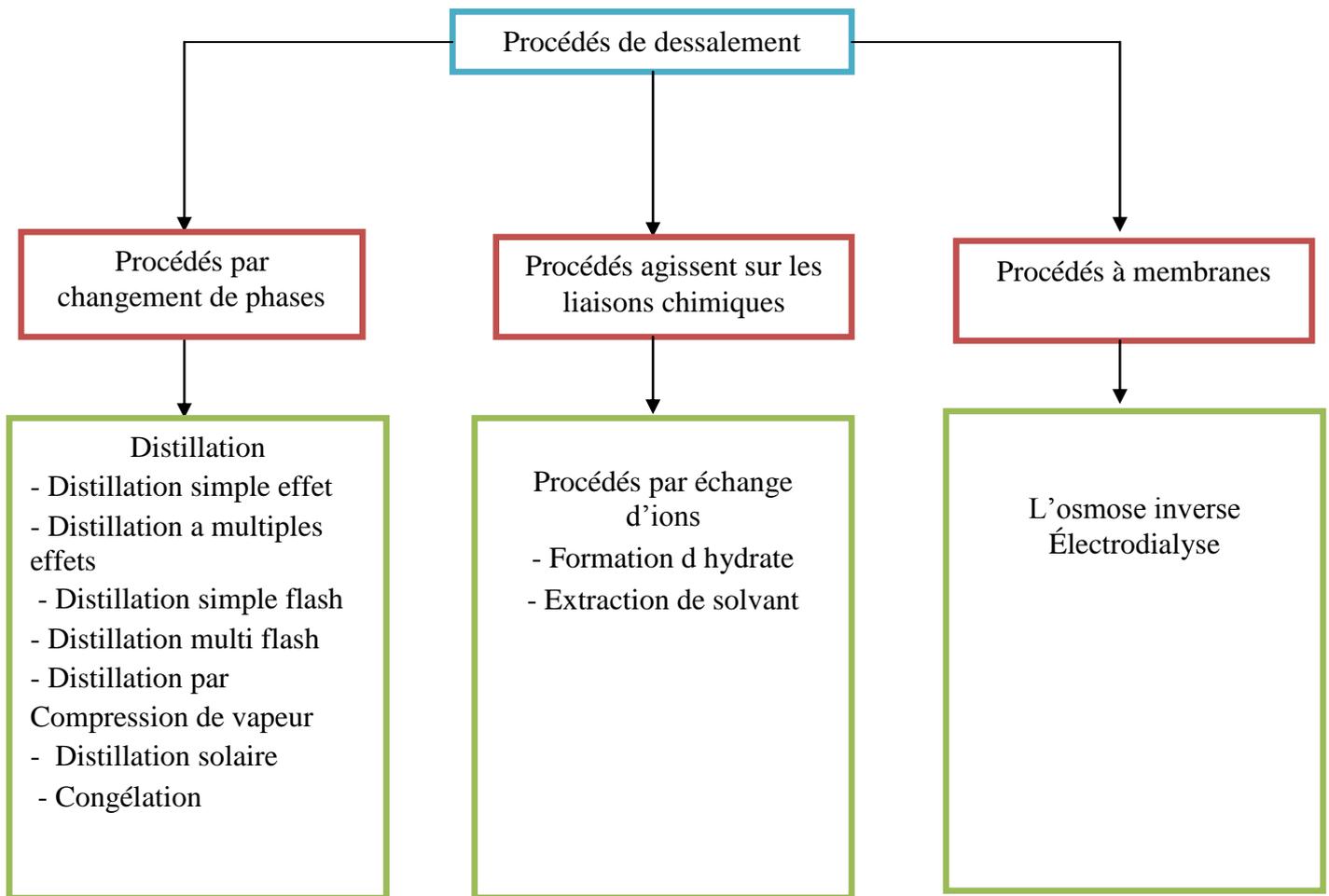


Figure 2.3 : Les divers procédés de dessalement

II.6- Les Procédés par changement de phases [36]

II.6.1- La distillation

La distillation est le procédé de dessalement le plus ancien, le plus direct. Sous sa forme primitive (distillation à simple effet), c'est un énorme consommateur d'énergie : 1000 kWh par mètre cube d'eau douce produit. Lorsque l'énergie n'est pas gratuite, il est indispensable de recycler les pertes du condenseur. On obtient ainsi les formes industrielles des appareils multiples effets classiques ou multi flash.

Les distillateurs, quelque soit l'appareillage, correspondent à la séquence suivante par différents processus :

- apport d'énergie (thermique ou mécanique)
- transfert de l'énergie sous forme thermique à l'eau salée

- évaporation partielle
- transfert de vapeur vers un condenseur
- condensation de la vapeur et extraction de calories de l'eau condensée
- évacuation ou recyclage de ces calories.

Il existe plusieurs techniques de distillation [37]

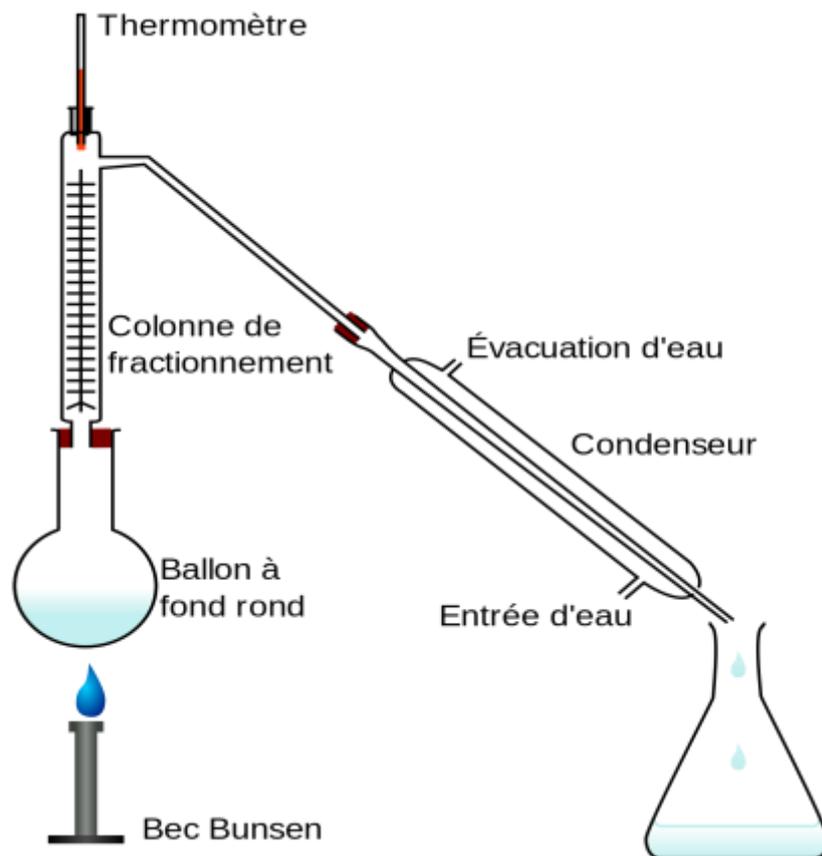


Figure 2.4 Phénomène de distillation

II.6.2-La Distillation simple effet

Un fluide chaud alimente un faisceau tubulaire immergé dans de l'eau de mer. Les vapeurs formées par ébullition sont condensées dans un deuxième faisceau, situé à la partie haute de l'enceinte et parcourue par de l'eau de mer froide. L'eau distillée est extraite par une pompe. Une partie de l'eau de mer préchauffée par les condensats permet d'alimenter la cellule

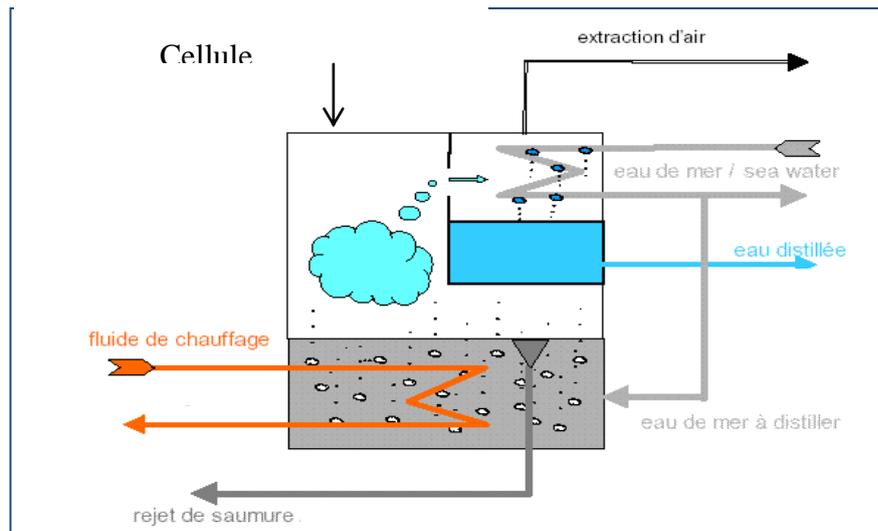


Figure 2.5 : Principe de distillation à simple effet

Un faisceau tubulaire entraîné par un fluide chauffant est immergé dans l'eau de mer au fond d'une enceinte étanche sous vide. Le fluide chauffé évapore ensuite l'eau de mer. La vapeur générée est condensée dans un faisceau de tubes installés au sommet du boîtier, à travers lesquels circule de l'eau de mer froide. L'eau distillée et condensée s'écoule du faisceau et est collectée dans une goutte, d'où elle est pompée à diverses fins.

De l'eau de mer supplémentaire en excès par rapport à la production est rejetée dans le tubage. Une autre pompe.

Pompe une partie de l'eau salée pour garantir que la salinité de l'eau de mer reste à une concentration acceptable.

La consommation d'énergie d'une chaudière de navire est d'environ 590 kcal/kg. Ceci est trop coûteux et n'est acceptable que sur les bateaux où de grandes quantités de chaleur doivent être évacuées des différents moteurs.

II.6.3- La Distillation à multiples effets (MED)

Une installation de distillation à effet multiple est constituée par la juxtaposition de n Cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple.

On utilise la distillation à multiples effets pour améliorer le rendement thermique du cycle évaporation-condensation. La chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation réchauffe une seconde chambre à pression et température plus faibles et ainsi de suite.

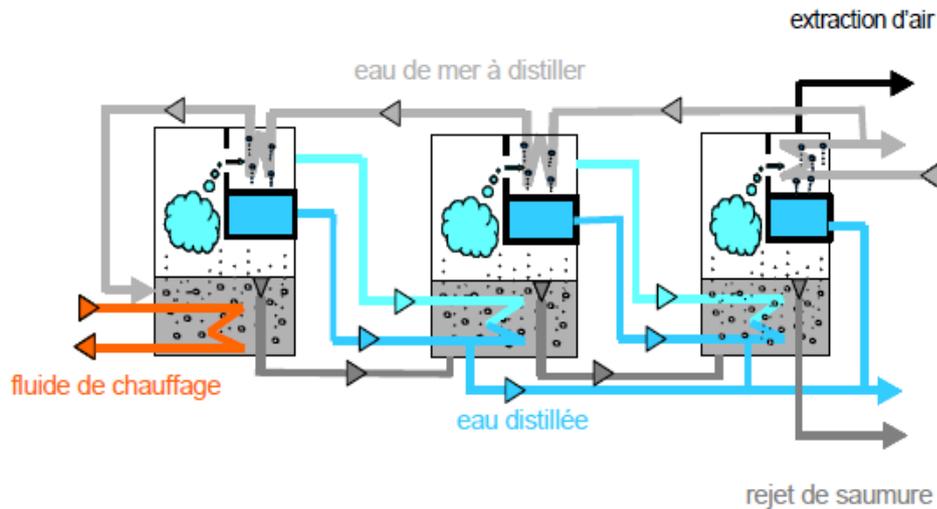


Figure 2.6 : Distillation à multiples effets (MED)

L'eau de mer est chauffée dans le premier effet, vaporisant une fraction d'eau de mer, une partie de cette vapeur est condensée par le faisceau tubulaire où circule de l'eau de mer froide. L'autre partie de la vapeur est renvoyée dans l'effet suivant, maintenu à une pression plus faible que le premier. De même, une partie de la saumure chauffée dans le premier effet est également utilisée pour chauffer l'eau de mer dans le second. à chaque effet, l'eau distillée est envoyée dans un collecteur [37].

II.6.4- La Distillation Simple flash

Lorsque de l'eau chaude est introduite dans un espace dont la pression est inférieure à la pression de saturation de l'eau d'alimentation, une évaporation naturelle se produit après détente. La vapeur qui en résulte se condense au sommet du boîtier. Le condensat obtenu est aspiré par une pompe.

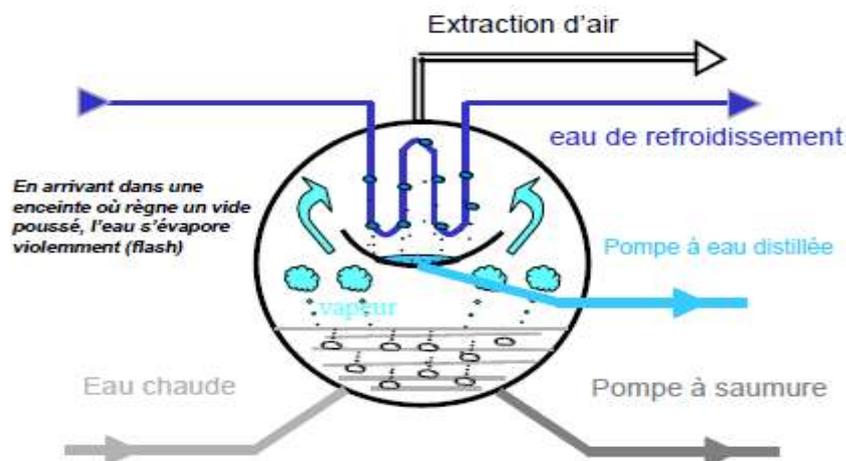


Figure 2.7 : Cellule unitaire MSF

II.6.5- La Distillation multi flash

Il se compose d'une série de cellules identiques avec des niveaux de vide de plus en plus élevés à mesure que la saumure se déplace vers la sortie (Figure 2.8). À chaque étape, l'expansion provoque une évaporation rapide de la saumure et la vapeur se condense au sommet de la cellule, chauffant l'eau de mer entrante. La température de l'eau de mer entrant dans chaque cellule est supérieure à la pression de saturation, elle s'évapore donc naturellement par expansion. La vapeur condensée est récupérée et utilisée.

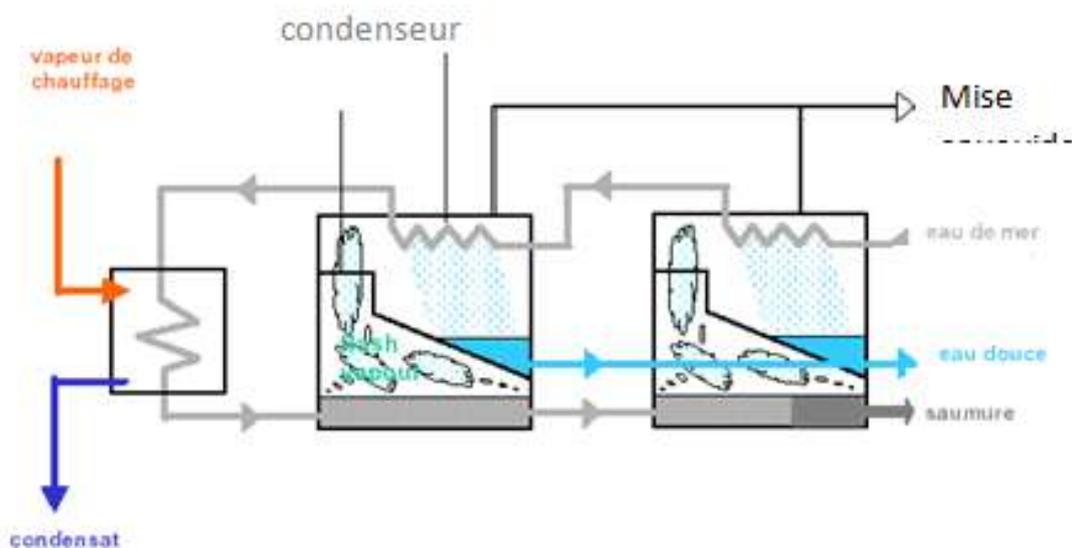


Figure 2.8 : Principe du procédé Multi flash

II.6.6- La Distillation par déteintes successives (Multi stage Flash, MSF)

Environ 60 % de la capacité de dessalement installée dans le monde utilise le procédé MSF. Cela s'explique avant tout par sa facilité d'utilisation et sa maturité industrielle.

Principe :

- L'eau saumâtre est pressurisée à une température de 120 °C.
- Il est introduit dans une enceinte à vide où l'évaporation se produit immédiatement. Une partie est condensée dans un condenseur.
- L'eau, qui a fourni l'énergie nécessaire à l'évaporation, cesse de bouillir et établit un équilibre avec la pression de vapeur présente dans le récipient.
- Entrez ensuite dans la deuxième chambre où la pression est encore plus faible.

Nouveau flash, nouvelle condensation, nouveau boîtier avec une pression encore plus basse, etc.

Le principe de fonctionnement du procédé MSF est illustré dans la figure 2.9.

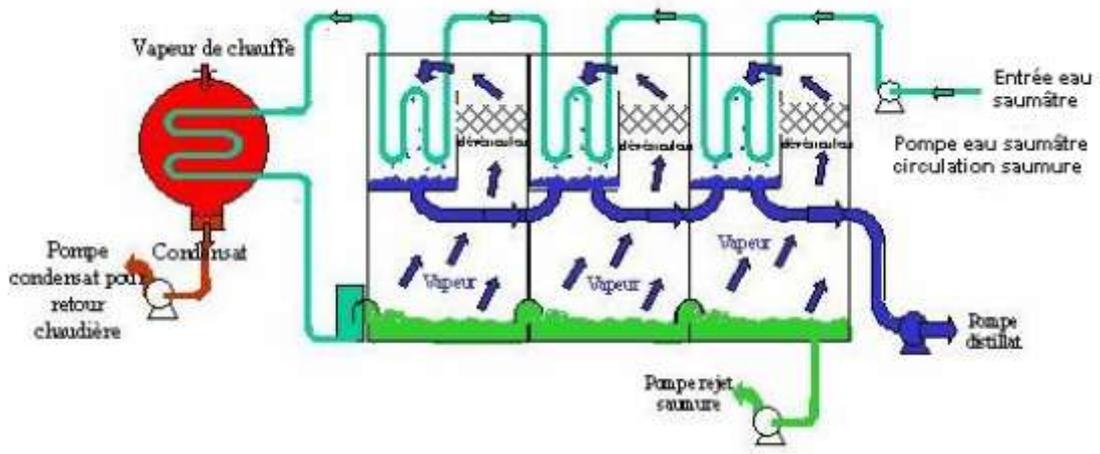


Figure 2.9: Le principe de fonctionnement du procédé MSF

II.6.7- La Distillation par compression de la vapeur :

Le principe de dessalement d'eau salée par compression de vapeur est celui d'une pompe à chaleur ; où l'eau salée est évaporée après avoir été préchauffée des gouttelettes entraînées par un séparateur. Sa pression ayant été élevée, grâce à la chaleur latente de condensation qui est transférée, le cycle d'évaporation et de condensation peut ainsi fonctionner. La vapeur condensée de l'eau douce est extraite, ainsi que la saumure concentrée contenant du sel.

A cause de problème de corrosion et d'entartrage des composants, un tel dispositif fonctionne généralement à une température limitée à environ 60°C (l'eau salée bout sous vide partiel) avec un facteur de concentration égal à deux : 1m³ d'eau salée (35g/l de sel) donnera 500 litres d'eau douce et 500 litres de saumure à 70 g/l de sel seront rejetés à la mer. Ce dispositif permet de ne consommer qu'une dizaine de kilowattheures électriques [38]

II.6.7.1- Compression mécanique de vapeur

Le compresseur aspire la vapeur produite dans l'enceinte d'évaporation et élève la température par compression au-dessus de la température régnant dans celle-ci ; la chambre peut donc servir de condenseur pour la vapeur comprimée qui cède ainsi à l'eau les calories de condensation qui sont réutilisées pour un nouveau cycle. Il n'y'a donc aucun apport extérieur de vapeur chaude comme source d'énergie primaire, une fois que le régime s'établit ; on utilise la vapeur formée pour évaporer l'eau de mer.

Les buées (mélange d'air et de vapeur) sont extraites de l'enceinte par un système de compression le plus souvent un éjecteur.

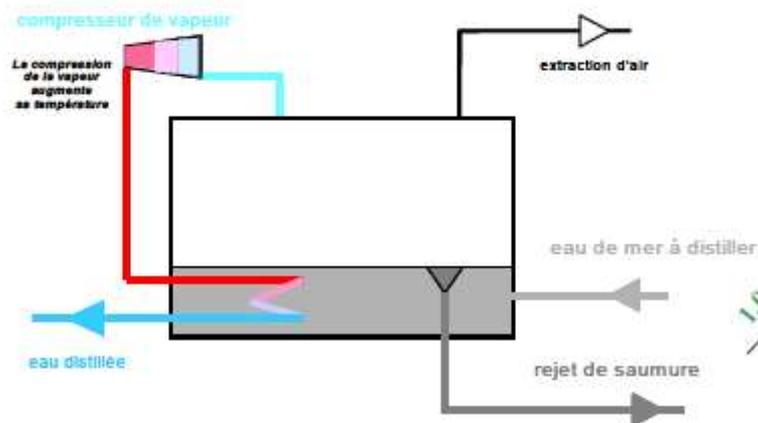


Figure 2.10 : Principe de distillation à compression de vapeur

Dans ce processus, la différence de température entre les deux côtés de l'échangeur thermique est généralement sélectionnée pour être au maximum de 4 ou 5 °C. Ceci résulte d'un compromis technique et économique entre réduction de la consommation spécifique et augmentation de la surface d'échange. La consommation d'énergie est d'environ 2 kWh par m³ d'eau douce produite à une différence de température de saturation de 1 degré.

II.6.7.2- Thermo compression

Dans ce procédé, la compression est réalisée à l'aide de jets de vapeur moyenne et haute pression (à partir de 2 atmosphères). L'avantage de ce type de compresseur est qu'il est totalement statique, ce qui simplifie la maintenance et nécessite moins d'investissement que les compresseurs mécaniques. Cependant, ils sont moins économes en énergie que les compresseurs mécaniques, ce qui les rend moins adaptés aux solutions présentant de grandes fluctuations de température d'ébullition. Les fluctuations de température en amont peuvent également provoquer une instabilité (décrochage).

Cette démarche devient intéressante si la vapeur est déjà disponible sur votre site. La température de fonctionnement est inférieure à 50 °C car, pour une même différence de température à travers l'échangeur thermique, la surpression fournie est inférieure à celle à haute température et le compresseur éjecteur fonctionne dans de bonnes conditions. Le chauffage de l'eau de mer entrante (jusqu'à la température de fonctionnement) se produit en raison de la condensation d'une partie de la vapeur formée dans l'évaporateur de la cellule.

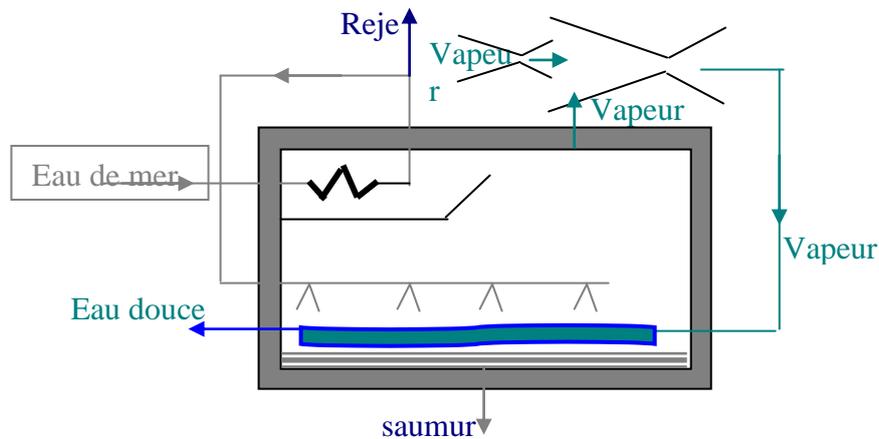


Figure 2.11 : Principe de la thermo compression

II.6.8- La Distillation solaire :

II.6.8.1- Le Procédé de distillation à effet de serre

L'énergie solaire (visible et domaine ultraviolet) traverse le toit transparent et se trouve absorbée par le fond noir de l'appareil et par l'eau. L'énergie réfléchi se trouve principalement dans le domaine infrarouge et ne peut retraverser la vitre (effet de serre). Ainsi captée, elle provoque l'évaporation de l'eau, la vapeur se condense sur le toit interne et ruisselle jusqu'à une gouttière de recueil. Avec des appareils bien conçus, on a pu obtenir un rendement de captage de l'énergie solaire voisin de 70% [39].

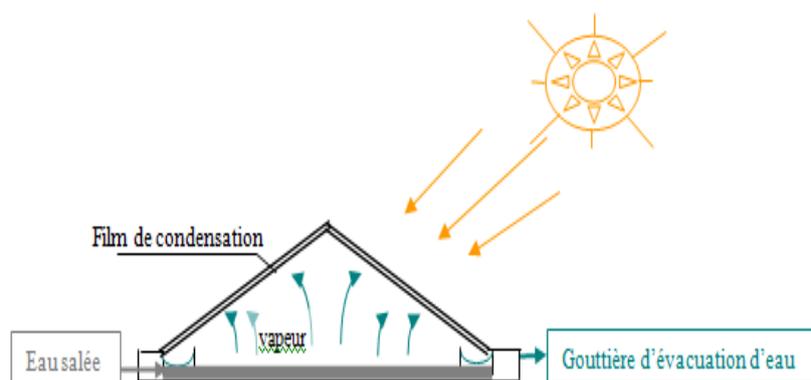


Figure 2.12 : Principe du procédé de dessalement à effet de serre

II.6.9-Le Dessalement par congélation

Lorsque l'eau de mer refroidit à environ -2°C , des cristaux de glace d'eau douce se forment. L'eau de mer étant concentrée, elle résiste mieux au gel.

Le dessalement de l'eau de mer par congélation présente un intérêt particulier dans les régions où la température de l'eau est souvent inférieure à 0°C , car dans ces conditions, des piscines extérieures peuvent être créées. Si la température est suffisamment basse, ces piscines se rempliront jusqu'à une hauteur de 10 à 15 cm. Lorsque la couche de glace atteint une épaisseur de 1 à 1,5 cm, retirez la saumure et récupérez la glace.

La production d'eau douce dans ces bassins est comprise entre 40 et 50 $\text{l/m}^2\text{jour}$ lorsque la température locale est de -5°C et entre 120 et 160 $\text{l/m}^2\text{jour}$ lorsque cette température est de -20°C . Les procédés de congélation sont plus économiques que la distillation pour produire de l'eau douce.

[40]

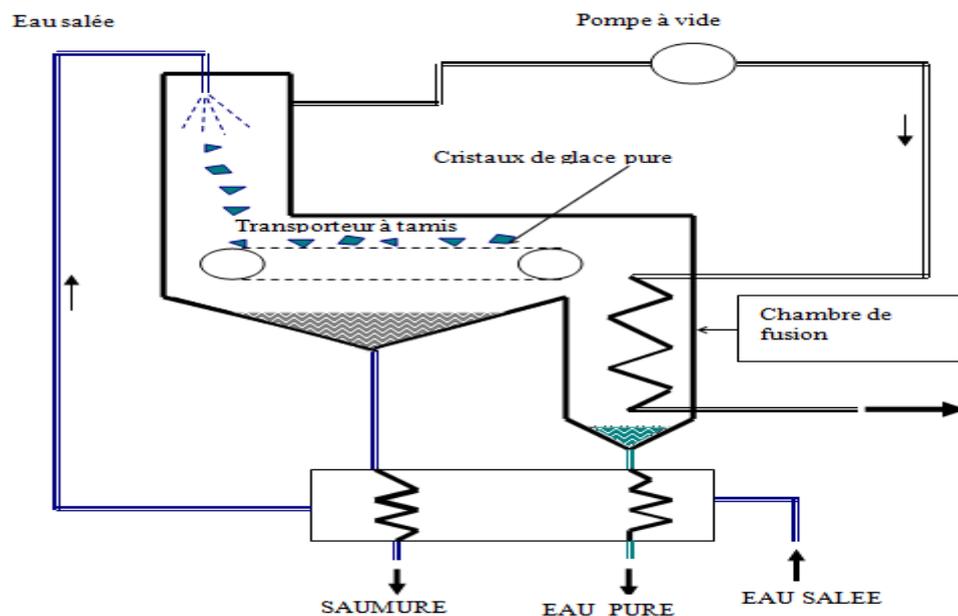


Figure 2.13 : Principe de la congélation

L'application du procédé s'est heurtée à ce jour au fait que les cristaux de glace se trouvent souvent « souillés » par la saumure, et qu'il est indispensable de les débarrasser de cette fine pellicule salée avant la fusion qui fournit l'eau dessalée.

Théoriquement la congélation devrait consommer moins d'énergie que la distillation ; la chaleur de latente liquéfaction de l'eau est en effet plus faible que la chaleur de vaporisation, mais la séparation de la glace pure de la saumure pose des problèmes plus difficiles à résoudre que la

séparation de vapeur du liquide. La technique de congélation n'est pas industriellement appliquée, en dehors de station pilote. Elle a l'avantage cependant, de réduire sensiblement les problèmes de corrosion et supprimer les risques d'entartrage

II.7- Les Procédés agissant sur les liaisons chimiques

II.7.1-Le Procédés par échange d'ions

L'échange d'ions n'est pas utilisé pour le dessalement de l'eau de mer, mais peut être utilisé dans des systèmes à petite échelle pour le traitement de l'eau légèrement saumâtre, si vous le souhaitez. En fait, l'échange d'ions est un traitement final qui permet d'obtenir une eau de haute pureté ionique à partir d'eau à faible salinité. Elle ne s'applique donc pas au dessalement de l'eau de mer.

Bien que la consommation énergétique ne soit pas significative, le coût des réactifs de régénération devient vite prohibitif en fonction de la quantité de sel éliminée. De plus, l'échange d'ions peut être utilisé pour éliminer spécifiquement les ions particulièrement nocifs tels que le calcium, les nitrates et le fluorure. La saumure est échangée en faisant passer les ions de sel dissous sur la résine.

Échangeurs d'ions :

- Les résines anioniques remplacent les anions par des ions OH⁻,
- Les résines cathodiques remplacent les cations par des ions H⁺

II.7.1.1- La Formation d'hydrate

La combinaison de l'eau de mer avec un hydrocarbure de faible masse moléculaire comme le propane entraîne la formation d'hydrate cristallisant à basse température. Les cristaux sont extraits mécaniquement puis lavés. Un échauffement des cristaux permet de récupérer l'eau douce et le propane.

II.7.1.2- l'extraction de solvant

Ce procédé est basé sur la variation de solubilité de l'eau dans certains composants organiques avec la température.

Par exemple : la triméthylamine dissout 30% en masse de l'eau à 20 °C mais seulement 2,5% à 50°C. En mélangeant l'eau de mer à ce solvant à 20°C puis en chauffant la solution, on récupère l'eau douce par précipitation.

Ces procédés chimiques ne sont pas économiques pour les eaux fortement salées, à cause de la quantité importante de produits chimiques qu'il faut employer pour conduire le processus. Ils sont limités aux eaux de faible salinité, donc exclus pour le dessalement.

II.8- Les Procédés à membranes

Dans la nature, les membranes jouent un rôle important dans la séparation des sels, et les processus de dialyse et d'osmose se déroulent au sein des organismes vivants. Cette membrane est utilisée commercialement dans deux procédés importants : l'électrodialyse (ED) et l'osmose inverse (RO) [41].

II.8.1- L'Osmose inverse

L'osmose inverse (RO) est née de la réversibilité de l'osmose naturelle. L'osmose est le mouvement d'un solvant (le plus souvent de l'eau) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Pour comprendre le principe de l'osmose inverse, il faut d'abord rappeler le principe de l'osmose directe. Imaginez un récipient divisé en deux compartiments par une membrane sélective (semi perméable) (voir figure 2.14). L'un est de l'eau pure et l'autre est de l'eau salée. Des pressions différentes se développent entre les deux parois de la membrane.

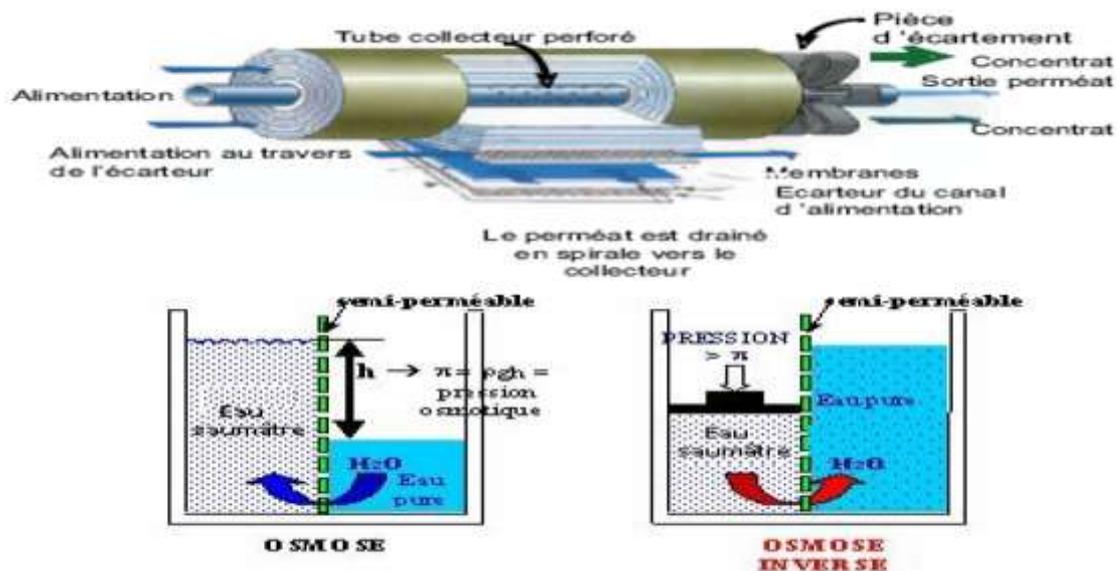


Figure 2.14 : Principe du phénomène d'osmose inverse [43].

L'eau pure diffuse alors vers l'eau salée et la différence de niveaux qui se produit après l'équilibre (osmotique) mesure la pression osmotique qui existe entre les deux parois de la membrane. Lorsqu'une pression supérieure à la pression osmotique est maintenue au-dessus de l'eau salée, la diffusion se produit dans la direction opposée, entraînant l'élimination de l'eau pure de la solution saline. Osmose inverse [42].

Cependant, ce procédé nécessite un traitement de l'eau en amont.

Chapitre II : Etat de l'art des différents procédés de dessalement de l'eau de mer

En première approximation, la pression osmotique peut être calculée en adaptant le comportement des molécules de soluté à celui des molécules de gaz. Pour les solutions diluées, l'application de la loi des gaz parfaits donne le résultat suivant : $PV = n RT$ (Eq 2.1)

Où

π : pression osmotique (Pa)

V : volume de solution (m^3)

n : moles de soluté Nombre (mol)

R : Gaz parfait constante ($8,314 J.K^{-1}.mol^{-1}$)

T : Température absolue (K)

- Les principaux composants d'un système d'osmose inverse sont :

Membrane elle-même, module, pompe haute pression (HP), système de récupération d'énergie

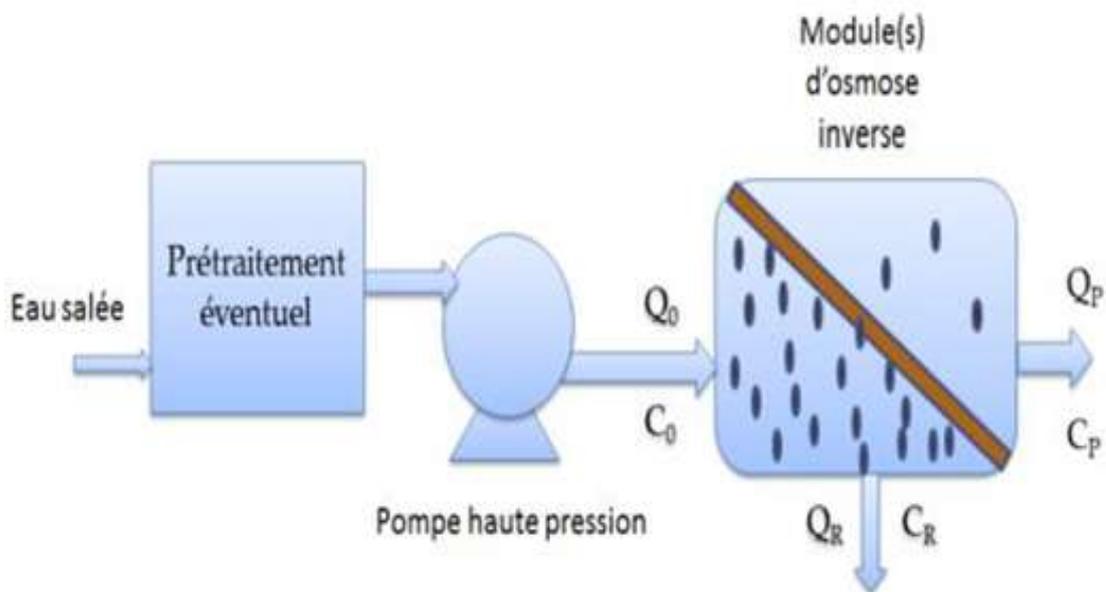


Figure 2.15 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.

Le flux de liquide à travers la membrane est continu et tangentiel. Ce flux tangentiel peut limiter l'accumulation de diverses espèces retenues par la membrane (particules, molécules, ions) sur la membrane. Le flux d'entrée (Q_0) est divisé en deux parties avec des concentrations différentes au niveau de la membrane. Une partie (débit Q_p) traverse la membrane (permet), tandis qu'une autre partie est retenue par la membrane (concentrât ou retentât) (Figure 15).

II.8.2- L'électrodialyse (ED)

Ce procédé, également à base de membrane, a été commercialement introduit avant le RO. Son principe de fonctionnement, illustré par la figure 16, repose sur les faits suivants

- La plupart des sels en solution dans l'eau de mer s'ionisent en ions chargés positivement et négativement• ces ions migrent vers les électrodes des charges opposées en présence d'une tension électrique
- il est possible de construire les membranes qui ne sont perméables qu'aux ions positif (type C) ou aux ions négatifs (type A).

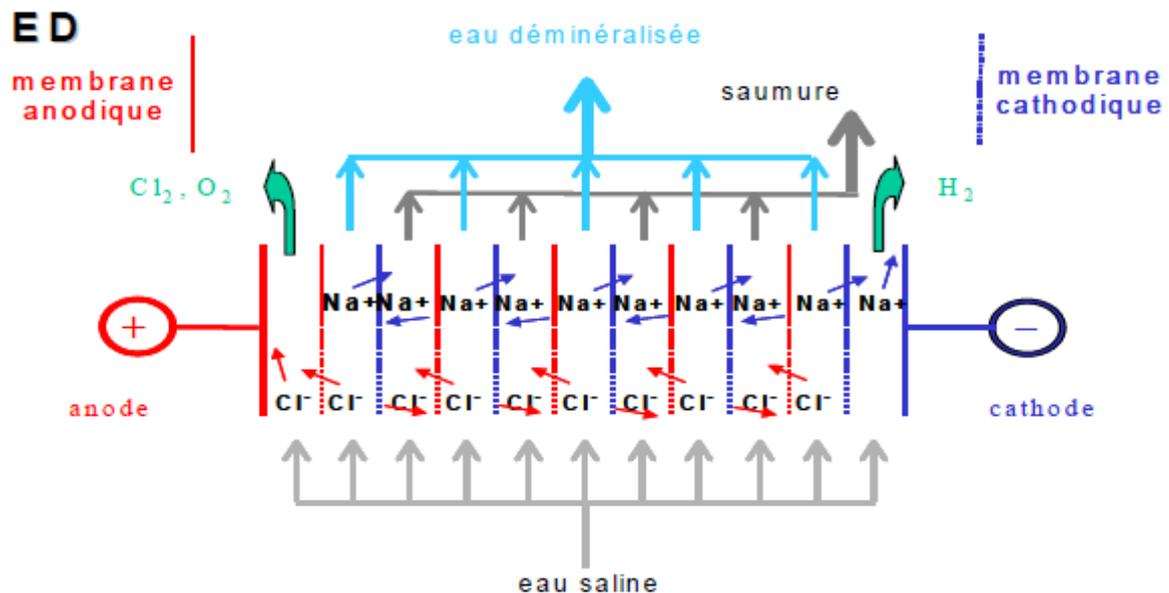


Figure 2.16: Principe de dessalement par électrodialyse

Considérons une cellule avec un grand nombre de compartiments alternativement séparés par des membranes de type C et de type A. Plaçons une électrode positive et une négative aux extrémités de la cellule. Lorsqu'une tension électrique continue est maintenue entre les deux électrodes, les ions positifs passent des compartiments de rang pair aux compartiments de rang impair en traversant une membrane de type C pour se diriger vers la cathode. De même, les ions négatifs passent des compartiments de rang pair aux compartiments de rang impair, en Traversant une membrane de type A, pour se diriger vers l'anode.

En conséquence, il en résulte une diminution de la concentration en sels dans les compartiments de rang pair et une augmentation dans les compartiments de rang impairs.

Dans le procédé ED, la consommation d'électricité est proportionnelle à la teneur en sel de l'eau traitée. C'est pourquoi, ce procédé a plutôt été utilisé pour le dessalement des eaux saumâtres.

II.9- L'analyse de performances – Etude comparative

II.9.1- Le Domaine d'utilisation

Il existe différentes méthodes de dessalement des eaux, mais le choix d'une technique par rapport à une autre dépend du type d'eau à traiter, des conditions locales, ainsi que du volume total à traiter et essentiellement de la consommation énergétique. Il faut noter que si le dessalement des eaux de mer se fait majoritairement par distillation, le dessalement des eaux saumâtres se fait actuellement essentiellement par technique membranaire [44].

II.9.1.1- L'eau de mer :

Est à peu près équivalente selon les régions, ne différant que par sa concentration (plus élevée dans le golfe Persique que dans la mer Méditerranée, et surtout dans l'océan Atlantique). La concentration en sel est élevée et peut atteindre la saturation. Si des gradients de concentration importants se produisent à proximité de la membrane ou de l'évaporateur, ces sels risquent de cristalliser et de provoquer des blocages. C'est pour cette raison que des taux de conversion très faibles (10 à 30 %) sont utilisés pour le dessalement de l'eau de mer. Même si cela présente peu d'inconvénients du fait de l'abondance des matières premières, cela pose néanmoins le problème du gaspillage de grandes quantités d'eau, pouvant conduire à des pertes d'énergie importantes. C'est pour cette raison que la plupart des systèmes modernes sont équipés de systèmes de récupération d'énergie.

II.9.1.2- Les eaux saumâtres :

Sont beaucoup plus diversifiées tant dans leur composition que dans leur concentration. Leur traitement nécessite une analyse de l'eau et des études préliminaires plus détaillées pour établir les conditions exactes d'exploitation et déterminer le traitement approprié au type d'eau considéré. Ceux-ci sont généralement bien moins concentrés en concentration que l'eau de mer et dans ce cas il est possible d'utiliser des taux de conversion élevés sans risquer de saturer certains sels, de récupérer des quantités d'eau importantes et de réduire les émissions pouvant être restreintes. La concentration étant faible, la pression osmotique est également faible, ce qui permet de travailler à des pressions plus faibles.

II.9.2- La Consommation énergétique

La consommation d'énergie lors de la distillation dépend essentiellement de la quantité d'eau à traiter et est pratiquement indépendante de la concentration en sel. Si l'on veut économiser de l'énergie, le plus important est de récupérer la chaleur latente de vaporisation, ce qui est important

Chapitre II : Etat de l'art des différents procédés de dessalement de l'eau de mer

et le facteur le plus important. Par exemple, si une simple distillation est réalisée en alambic sans récupérer la chaleur latente de vaporisation, la consommation énergétique sera énorme, de l'ordre de 1000 kWh/m³. Ceci n'est acceptable que pour les énergies gratuites comme l'énergie solaire, mais il faut aussi garder à l'esprit que lorsque les rendements sont aussi faibles, l'investissement est encore plus important. Ainsi, la plupart des technologies utilisées intègrent des systèmes de récupération d'énergie permettant de réduire la consommation à environ 20 kWh/m³. Pour les techniques membranaires ou d'échange d'ions, le coût dépend de la quantité de sel éliminée. Même avec la même quantité d'eau traitée, la quantité consommée varie considérablement en fonction de la concentration en eau salée. L'osmose inverse, en revanche, n'est pas rentable pour les usines de dessalement à grande échelle en raison du coût élevé du traitement de l'eau d'alimentation hautement salée essentielle au processus. Le dessalement des océans est donc principalement réservé aux procédés de distillation.

Le tableau récapitulatif [45] ci-dessous donne quelques exemples de consommation d'énergie pour différents procédés de dessalement.

Tableau 2.1 : Consommation énergétique des différents procédés de dessalement [45]

	Procédé de dessalement	Energie nécessaire (kWh/m ³)
Distillations	Multi flash Ratio 8 (*)	3
	Multi flash Ratio 8 (*)	5
	Multiplés effets (7)	2
	Multiplés effets (12)	3
	Compression de vapeur. ($\Delta t_{\text{sat}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$)	16
	Compression de vapeur. ($\Delta t_{\text{sat}} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$)	12
Membranes	Osiose inverse sans récupération – 60 bar	12
	Osiose inverse avec récupération – 60 bar	8
	Osiose inverse eau saumâtre à 2,5g/l – 40 bar	3
	Electrodialyse eau de mer 1,2V/cellule	30
	Electrodialyse eau saumâtre 2,5g/l 1,2 V	3

$$\text{Ratio} = \frac{\text{quantité d'eau distillé}}{\text{quantité de vapeur de chauffe fournie}}$$

Chapitre II : Etat de l'art des différents procédés de dessalement de l'eau de mer

Dans les systèmes à petite échelle, l'osmose inverse est actuellement considérablement développée et concurrence sérieusement les procédés de distillation pour les raisons suivantes :

- Faible consommation d'énergie.
- Les coûts d'investissement sont généralement légèrement plus élevés.
- Simplicité du procédé
- Les opérations de traitement sont effectuées à basse température.

Comme le montre le tableau 2.1, l'osmose inverse et la compression mécanique de vapeur sont les procédés les plus efficaces du point de vue énergétique.

Pour une eau de mer ayant une salinité de 3,5 %, sa consommation énergétique est d'environ 3 à 4 kg/m³ par m³ de carburant (sans récupération d'énergie) et de 2 à 3 kg/m³ avec récupération d'énergie. Ceci est généralement assuré par une turbine qui fournit directement l'énergie. Pompe arbre de transfert marin.

II.10-La Comparaison entre les procédés de dessalement

Nous présentons dans le tableau ci-dessous une étude comparative générale entre différents procédés de dessalement :

Tableau 2.2 : Comparaison entre les procédés de dessalement [46]

Procédé de disalement	Source d'énergie	Production	Qualité de L'eau produit T.D.S(mg/L)	Coût de procédé	Remarque
Echange d'ions	Electrique	400	<1 : pure	Investissement réduit Exploitation élevé	Procédé couteux. Ne s'applique pas à l'eau de mer
Formation d'hydrate	Mécanique	40-80	<500		Traces d'hydrocarbures à l'eau produite
Distillation multi flash	Thermique	250000	<100		Production élevé Problème d'échange thermique Entartage, corosion
Osmose invere	Mécanique	4000	<500	Importants	Problèmes des membranes
Congélation	Mécanique	9000	<500	Investissement, initial élevé. Exploitation réduite	Traces de solvant dans l'eau
Distillation solaire-type de serre-	Solaire - Thermique	400	<100	Exploitation réduite	Faible rendement

II.11- Conclusion

Après avoir souligné l'importance de l'eau potable pour le corps humain. Le dessalement de l'eau de mer à l'aide de plusieurs procédés tels que l'osmose inverse, la distillation et même l'électrodialyse s'est avéré être une solution à la pénurie mondiale d'eau. Considérant les nombreux inconvénients du dessalement de l'eau de mer au niveau économique, productif ou encore écologique, pour devenir une solution à tous les niveaux et ainsi une « source de vie future », le dessalement de l'eau de mer devrait s'appuyer sur les énergies renouvelables.

CHAPITRE III

III.1- Introduction

Ce chapitre représente le noyau de notre travail c'est la modélisation mathématique permettant de représenter de manière quantitative le comportement d'un système de distillation solaire à effet de serre, incluant les équations qui régissent son fonctionnement et les modes de transfert de chaleur et de masse impliqués et les coefficients d'échange de chaleur pour les échanges thermiques.

III.2- La Description et principe de fonctionnement de distillateur solaire plan

Ce distillateur solaire passif (Figure 3.1) est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une couverture en verre. La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau salée (eau saumâtre ou eau de mer). Sous l'action du rayonnement solaire, transmis par la couverture transparente, l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci s'évapore. La vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensat est récupéré par un collecteur. Un appoint d'eau compense le débit de distillat. Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur, les parois latérales et inférieures du bac absorbant sont isolées.

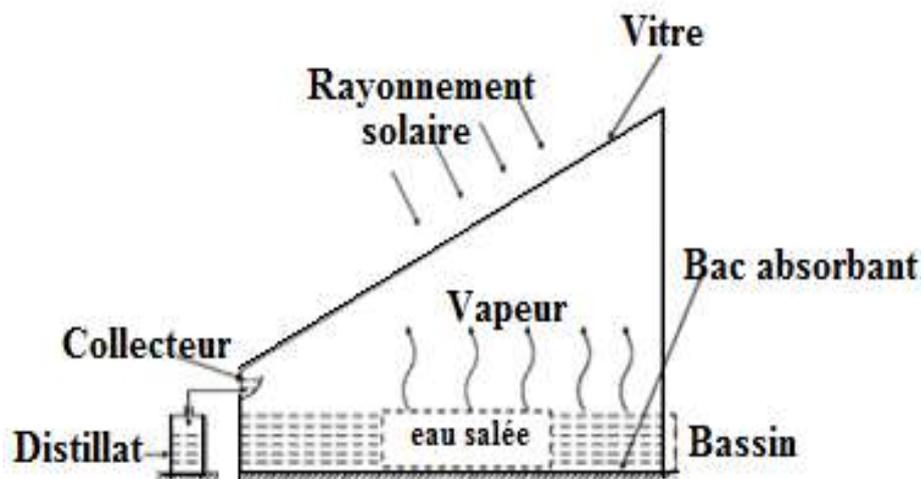


Figure 3.1: Le distillateur solaire plan

III.3- La Considérations générales sur la modélisation adoptée

Il est reconnu que la complexité de la simulation d'un distillateur solaire réside principalement dans les bilans des différentes parties du distillateur, que ce soit pour la géométrie choisie ou pour les données des calculs. Cette difficulté a motivé de nombreuses approches différentes, allant de la géométrie la plus simple [47] qui présente une simple conception, à la modélisation du distillateur solaire simple [48], [49] et [50].

Nous avons conçu le distillateur en vue d'étudier conjointement la distillation solaire à effet de serre. En effet, l'étude du distillateur solaire est un compromis entre des modèles géométriques

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

assez simples et économique. D'autre part, la modélisation du distillateur est en partie contrainte par le choix des formes à réaliser ; elle doit permettre entre autres le calcul de toutes les grandeurs géométriques utiles.

Le but de cette étude (distillateur solaire simple), est de prévoir le comportement de celui-ci, lorsqu'on fait varier les paramètres d'entrées, les températures des différents éléments constituant le système changent instantanément, et échangent de ce fait entre eux de la chaleur par conduction, convection, rayonnement et évaporation.

D'une façon générale, la densité de flux thermique échangé entre deux surfaces l'une portée à la température T_1 et l'autre à la température T_2 est régie par une équation de Newton simple de la forme : $Q = h.S. (T_1 - T_2)$

Q : Densité de flux thermique en (W/m^2).

S : la Surface d'échange

h : Coefficient du mode de transfert de chaleur en ($W/m^2.K$).

III.4- Les hypothèses de calcul

- Les propriétés physiques du fluide sont prises constantes avec la température.
- Transferts de chaleur unidimensionnels.
- Flux de chaleur transitoire.
- Température de la vitre est constante.
- Pertes de vapeur d'eau négligées.
- Vitesse du vent constante

III.5- Les paramètres de fonctionnement

Le fonctionnement des distillateurs solaires est fortement influencé par divers paramètres internes et externes. Dans ce travail, nous concentrons sur les paramètres internes.

III.5.1 Les paramètres internes

III.5.1.1- Le paramètre géométrique

Deux nouvelles grandeurs sont introduites dans la distillerie :

- Inclinaison de la vitre sur le plan horizontal ;
- Hauteur du niveau de la masse d'eau à distiller.

Ces paramètres influent sur la variation des différentes températures du système et du fluide, en particulier la température de l'eau à distiller.

III.5.1.2- La couverture

Le couvercle agit comme une surface de condensation. Il n'est pas nécessaire qu'il soit hydrophobe ou mouillable, et doit être résistant aux attaques du vent ou des particules solides. La distance entre la couverture et la saumure ne doit pas être augmentée pour éviter de surcharger du tampon. Cette

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

couche ne participe pas au transfert de chaleur à l'intérieur du distillateur solaire, et il a été constaté que cette couche affecte les performances.

Les caractéristiques fondamentales de la couverture qui participent à l'augmentation du rendement sont :

- Excellente transparence au rayonnement solaire et opacité aux rayons infrarouges à ondes longues.
- L'inclinaison optimale dépend de la latitude du site de distillateur solaire.

III.5.1.3- L'absorbeur

C'est ce qu'on appelle aussi le plan noir. Il est généralement réalisé en métal peint en noir et se caractérise, entre autres, par une capacité d'absorption la plus proche possible du monolithique, une bonne inertie thermique et une bonne résistance chimique à l'oxydation provoquée par les dépôts minéraux dans l'eau salée. Il est recouvert d'une fine couche de peinture noir mat et est généralement en aluminium ou en cuivre.

III.5.1.4- Les 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.

III.5.1.5- Les paramètres optiques :

Ce sont les paramètres optiques (émissivité, absorption, réflectance et transmittivité) de la surface absorbante du couvercle.

III.6 - Les Caractéristiques de fonctionnement

Le choix des distillateurs solaires dépend essentiellement des dimensions, ce que l'on appelle les caractéristiques de fonctionnement. On distingue :

– Débit de distillat ou sortie de distillat

– Efficacité globale en pourcentage (%) η_g , $\eta_g = \frac{Q_{ev}}{G.S} = \frac{\dot{m}_d h_{fg}}{G.S}$

\dot{m}_d : Débit du distillat.

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

G : Puissance solaire incidente.

h_{fg} : Chaleur latente d'évaporation de l'eau.

S : Superficie du capteur (aire de la vitre).

Q_{evap} : Puissance d'évaporation.

III.7- Les Bilans énergétiques dans un distillateur simple

Pour discuter du bilan énergétique d'un distillateur solaire, voici quelques points clés que nous pouvons aborder, pour évaluer l'efficacité du distillateur solaire en termes de conversion de l'énergie solaire en eau distillée, ainsi que l'optimisation des processus pour réduire les pertes d'énergie.

- a. Énergie solaire incidente
- b. Absorption de l'énergie solaire
- c. Chauffage du liquide
- d. Vaporisation
- e. Condensation
- f. Collecte d'eau distillée
- g. Pertes thermiques

En faisant ce bilan énergétique,

III.7.1- Les échanges de chaleur à l'intérieur du distillateur

III.7.1.1- l'échange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation

L'eau reçoit de l'absorbeur un flux solaire ou de chaleur par convection naturelle et conduction.

L'eau cède un flux de chaleur par rayonnement et par convection naturelle aux surfaces de condensation. Puisqu'il existe une évaporation, l'eau perd un flux de chaleur.

III.7.1.2- L'échange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau

Les flux solaires incidents cédés par la nappe d'eau ne sont pas reçus intégralement par la surface de condensation à cet égard au cours du transfert une partie est absorbée par l'atmosphère interne et les parois latérales.

Les vitres reçoivent les flux incidents par convection naturelle, par rayonnement et par condensation de la vapeur d'eau.

III.7.1.3- L'échange de chaleur entre la vitre et l'ambient

Le milieu extérieur cède un flux de chaleur par rayonnement solaire à la vitre, dont une partie est réfléchiée. La vitre cède au milieu extérieur un flux de chaleur par rayonnement et par convection naturelle.

III.8- Le modèle mathématique

Le comportement dynamique du distillateur solaire est modélisé à l'aide d'un modèle mathématique traduisant le bilan énergétique. Une approche fonctionnelle est utilisée avec imbrication des différents sous ensembles afin d'évaluer les régimes transitoires des différents grandeurs internes du système [51], Moussa Abu- Arabi et al [48], [50] et Yousef H. [49]. La figure 3.2 illustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur solaire.

- Conduction (q_{cond}),
- Convection (q_{conv})
- Rayonnement (q_{rad})
- Evaporation (q_{evap})

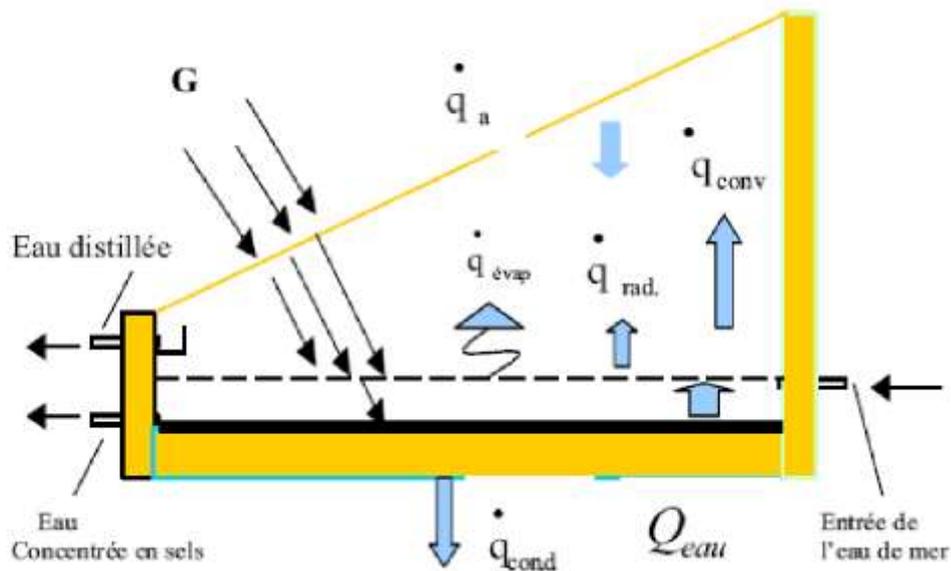


Figure 3.2 : Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple [52].

III.8.1- Le bilan thermique de la vitre

$$MvCpv \frac{dT_v}{dt} = (1-\rho_v) \alpha_v G_h + Q_{R.E_v} + Q_{C.E_v} + Q_{E.Vap} - Q_{c.v_A} - Q_{R.V_A} \quad (3.1)$$

$Q_{R.E_v}$: Flux thermique échange par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{C.E_v}$: Flux thermique échange par convection entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{E,Vap}$: flux thermique échange par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

Q_{R,V_A} : Flux de chaleur perdu par la vitre vers l'extérieur en raison du rayonnement

Q_{C,V_A} : Flux thermique perdu par convection par la vitre vers l'extérieur

III.8.2- Le bilan thermique de la masse d'eau

$$M_E C_{PE} \frac{dT_E}{dt} = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)\alpha_E G_h + Q_{C,B_E} - Q_{C,E_V} - Q_{Evap} - Q_{R,E_A} \quad (3.2)$$

Q_{C,B_E} : Flux thermique échange par convection le fond du bac et le film d'eau.

Q_{C,E_V} : Flux thermique échange par convection entre le film d'eau et le vitrage

Q_{R,E_A} : Flux thermique échange par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage.

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

III.8.3- Le bilan thermique de l'absorbeur ou le bassin d'eau

$$M_B C_{PB} \frac{dT_B}{dt} = (1 - \rho_v)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_E)\alpha_B G_h + Q_{C,B_E} - Q_{Perte(B)} \quad (3.3)$$

Q_{C,B_E} : Flux thermique par évaporation -condensation entre le film d'eau et le vitrage

$Q_{perte(B)}$: Flux thermique par convection le fond du bac et le film d'eau.

III.8.4- Le bilan thermique de l'isolant

Pour réduire les pertes de chaleur à travers la base, nous utilisons un isolant, qui du côté intérieur reçoit de l'absorbeur et du côté extérieur cède par rayonnement et par convection respectivement les flux de chaleur d'où l'équation:

$$M_I C_I \frac{dT_I}{dt} = Q_{Cond.IB} - Q_{Perte(I)} \quad (3.4)$$

$Q_{Cond(I B)}$: Flux thermique par conduction entre le bac et l'isolant thermique.

$Q_{perte(I)}$: Flux thermique perdu par l'isolant

III.8.5- Le débit du condensat

$$\frac{dM_c}{dt} = h_{Evap} \frac{(T_E - T_v)}{h_{fg}} \quad (3.5)$$

M : Masse du condensat

h_{fg} : chaleur latente de vaporisation

T_E : Température de Léau.

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

T_v : Température de la vitre.

III.9- L'efficacité du processus de distillation :

L'efficacité du processus de distillation, c'est-à-dire la quantité d'eau distillée produite par rapport à la quantité d'énergie solaire absorbée, est également un aspect de l'efficacité énergétique du système.

- Bilan thermique d'un distillateur solaire peut être décrit par l'équation suivante :

$$\frac{dQ}{dt} = Q_{intr} - Q_{extr} + Q_{stock(intr)} + Q_{intr(trans)}$$

$\frac{dQ}{dt}$: représente la variation de la quantité de chaleur Q à l'intérieur du système par rapport au temps

Q_{intr} : est la quantité de chaleur entrant dans le système à partir de rayonnement solaire ou la chaleur générée par équipements internes

Q_{extr} : Est la quantité de chaleur sortant du système à travers les pertes de chaleur telles que la conduction, la convection et le rayonnement à travers la paroi du système

$Q_{stock(intr)}$: Représente la quantité de chaleur stockée à l'intérieur du système par exemple dans des matériaux à changement de phase ou des réservoirs thermiques

$Q_{intr(trans)}$: Est la quantité de chaleur transférée entre les différentes composantes du système, comme le transfert de chaleur un fluide et un échangeur de chaleur interne

Ce modèle permet de quantifier la variation de la chaleur à l'intérieur du système en fonction des Flux de chaleur entrants, sortants, stockés et internes.

III.10 – L'expression des différents coefficients de transfert de chaleur

Les expressions pour les divers termes des équations données ci-dessus sont :

- **Par rayonnement eau-vitre**

$$Q_{R.E.V} = h_{R.E.V}(T_E - T_V) \quad (3.6)$$

$h_{R.E.V}$: Coefficient de Transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre

$$h_{R.E.V} = \frac{\epsilon_{Eff}}{T_E - T_V} \sigma [(T_E + 273.15)^4 - (T_V + 273.15)^4] \quad (3.7)$$

ϵ_{Eff} : Emissivité effective

σ : Constante de Stefan- Boltzmann.

$$\epsilon_{Eff} = \left[\frac{1}{\epsilon_E} + \frac{1}{\epsilon_V} - 1 \right]^{-1} \quad (3.8)$$

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

ε : Emissivité de Léau .

ε_V : Emissivité de la vitre

▪ Par convection eau-vitre

$$Q_{C.E.V} = h_{C.E.V}(T_E - T_V) \quad (3.9)$$

$h_{C.E.V}$: Coefficient de Transfer de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage, [48].

$$h_{C.E.V} = 0.884 \left[T_E - T_V + \frac{(P_E - P_V)(T_E + 273.15)}{268,9 \cdot 10^3 - P_E} \right]^{1/3} \quad (3.10)$$

P_E : Pression de vaporisation à TE.

P_V : Pression de vaporisation à TV.

▪ Par évaporation

$$Q_{Evap} = h_{Evap}(T_E - T_V) \quad (3.11)$$

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

$$h_{Evap} = h_{C.E.V} \times 16.273 \cdot 10^{-3} \frac{(P_E - P_V)}{(T_E - T_V)} \quad (3.12)$$

La pression de la vapeur d'eau est estimée par les relations suivantes [53]:

$$P = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T+273,15}\right) \quad (3.13)$$

h_{fg} : Chaleur latente de vaporisation est aussi estimé par la relation suivante [53]

$$h_{fg} = 3.1615 \times 10^6 - 2.40714 \times 10^3 T \quad (3.14)$$

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

D'autre part, [54] a donné une relation linéaire entre la pression de saturation et la température (T en °C) comme suit :

$$P = 0.14862T - 0.36526 \times 10^{-2}T^2 + 0.11242 \times 10^{-3}T^3 \quad (3.14)$$

▪ Par rayonnement vitre-ambiant

$$Q_{R.V_A} = h_{R.V_ciel} \cdot (T_V - T_A) \quad (3.15)$$

$h_{R.V_ciel}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur

$$h_{R.V_ciel} = \frac{\epsilon_V}{T_V - T_A} \sigma [(T_V + 273.15)^4 - (T_{ciel} + 273.15)^4] \quad (3.16)$$

T_{ciel} : Température du ciel

La température du ciel est donnée par deux relations approximatives, l'une par [50], et l'autre par [54] respectivement

$$T_{ciel} = T_A - 6 \quad (3.17)$$

$$T_{ciel} = T_A - 6 \quad (3.18)$$

T_A : Température ambiante

▪ Par convection vitre-ambiant

$$Q_{C.V_A} = h_{C.V_A} (T_V - T_A) \quad (3.19)$$

$h_{C.V_A}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.

Or le coefficient d'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'air est donné par la relation suivante [54] et [53]:

$$h_{C.V_A} = 5.7 + 3.8V \quad (3.20)$$

La deuxième corrélation est donnée par [50], comme suit

$$h_{C.V_A} = 2.8 + 3.00V \quad (3.21)$$

[55] a calculé $h_{C.V_A}$ par la corrélation suivante

$$\left. \begin{aligned} h_{C.V_A} &= 2.8 + 3.0V \text{ lorsque } v < 5\text{m/s} \\ h_{C.V_A} &= 2.8 + 3.0V \text{ lorsque } v > 5\text{m/s} \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

V est la vitesse du vent

▪ Par convection bassin-eau

$$Q_{C.B_E} = h_{C.B_E}(T_B - T_E) \quad (3.23)$$

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

$$h_{C.B_E} = \frac{NuK_f}{L} \quad (3.24)$$

K_f : Conductivité thermique de l'eau

Dans ce type de problème, les corrélations expérimentales aboutissent à des relations de la forme [56] :

$$Nu = C(GpPr)^n \quad (3.25)$$

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

Plaque plane horizontale

Gradient de T vers le haut

:

- L'écoulement est toujours laminaire et on a

$$Nu = C(GpPr)^{0.25} \quad (3.26)$$

$$Gr : \text{Nombre de GRASHOF} \implies Gr = \frac{\beta g \rho^2 L^3}{\mu^2} \Delta T$$

L : est la dimension du petit coté

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

$$Pr : \text{Nombre de PRANDLT} \implies Pr = \frac{\mu C_p}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$$

Les pertes thermiques du bassin par conduction thermique à travers l'isolation et de l'isolation vers l'air ambiant sont données par [57] comme suit :

$$Q_{\text{perte(B)}} = U_B (T_B - T_I) \quad (3.27)$$

T_B : Température du bassin

T_I : Température de l'isolant

$$\text{Avec : } U_B = \frac{K_B}{\delta_B} \quad (3.28)$$

K_B : Conductivité thermique du bassin

δ_B : Epaisseur du bassin

▪ Par conduction Isolant-bassin

$$Q_{\text{Cond.I}_B} = Q_{\text{Perte(B)}} \frac{K_B}{L_B} (T_B - T_I) \quad (3.29)$$

$$Q_{\text{perte(I)}} = U_I (T_I - T_A) \quad (3.30)$$

Avec :

$$U_I = \left[\frac{\delta_I}{K_I} + \frac{1}{h_I} \right]^{-1} \quad (3.31)$$

δ_I : Epaisseur de l'isolant

K_I : Conductivité de l'isolant.

h_I : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre l'isolant et l'air extérieur

h_I : Est calculé par les équations (3.20), (3.21), (3.22)

Iii.11- La resolution du Systeme d'équations

III.11.1- La Méthode de résolution.

Le système d'équations régissant le fonctionnement du distillateur solaire se compose de 5 équations différentielles du 1^{er} ordre et de deux équations algébriques. Nous avons à déterminer 5 inconnues : TE, TV, TB, TI, Mc.

Ces équations différentielles du 1^{er} ordre se résolvent à l'aide d'une méthode itérative. Or, le système se présente sous la forme d'équations différentielles à résoudre. La simulation permet de suppléer à la résolution analytique quand celle-ci est impossible

III.11.2- La simulation numérique

III.11.2.1- Pourquoi Matlab ?

Les raisons de l'utilisation de Matlab dans la recherche sont nombreuses.

Tout d'abord parce que l'informatique occupe une place prédominante dans l'industrie et dans la recherche, ensuite Matlab est fortement utilisé dans l'industrie pour réaliser toute sorte de simulations, enfin Matlab est un logiciel très didactique utilisant un code simple et court sans compilation aux fonctionnalités multiples (toolbox, intégration de code C, programmation de haut niveau).MATLAB est un environnement puissant, complet et facile à utiliser destiné au calcul scientifique. Il apporte aux ingénieurs, chercheurs et à tout scientifique un système interactif intégrant calcul numérique et visualisation. C'est un environnement performant, ouvert et programmable qui permet de remarquables gains de productivité et de créativité.

En complément du noyau de calcul MATLAB, l'environnement comprend des modules optionnels qui sont parfaitement intégrés à l'ensemble :

III.11.2.2- Le principe de simulation

Pour le régime transitoire, la simulation la plus rigoureuse celle du 'pas à pas', qui rend compte de l'évolution des températures de tous les éléments du distillateur dans le temps et dans l'espace.

Les données météorologiques proviennent des fichiers (vitesse du vent et température ambiante) ou de formules approchées (température du ciel).

La résolution du système d'équations est effectuée à l'aide d'une méthode itérative, dite méthode d'EULER. Après que le système s'est réduit à 5 équations. Cette méthode nécessite des calculs numériques qui rendent indispensable l'usage de l'ordinateur.

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

Les équations président (3.1_3.2_3.3_3.4_3.5)

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dT_V}{dt} &= \frac{1}{M_V C_{PV}} [(1 - \rho_V) \alpha_V G_h + h_{R,E,V}(T_E - T_V) + h_{C,E,V}(T_E - T_V) + h_{Evap}(T_E - T_V) \\ &\quad - h_{C,V,A}(T_V - T_A) - h_{R,V,cieI}(T_V - T_A)] \\ \frac{dT_E}{dt} &= \frac{1}{M_E C_{PE}} [(1 - \rho_V)(1 - \alpha_V) \alpha_E G_h + h_{Evap}(T_E - T_V) - h_{C,B,E}(T_B - T_E) \\ &\quad - h_{C,E,V}(T_E - T_V) h_{R,E,V}(T_E - T_V)] \\ \frac{dT_B}{dt} &= \frac{1}{M_B C_{PB}} [(1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)(1 - \alpha_E) \alpha_B G_h - h_{C,B,E}(T_B - T_E) + \frac{K_B}{L_B}(T_B - T_I)] \\ \frac{dT_I}{dt} &= \frac{1}{M_I C_{PI}} \left[\left(\frac{L_B}{K_B} + \frac{L_I}{K_I} + \frac{l}{h_i} \right)^{-1} \times (T_B - T_A) \right] \\ \frac{dM_c}{dt} &= h_{Evap} \frac{(T_E - T_V)}{h_{fg}} \end{aligned} \right.$$

Appliquant la méthode de « pas a pas » pour résoudre ce système de 4 équations à 4 inconnues. On abouti à un système différentiel de la forme :

$$\frac{dT_V}{dt} = f_1(T_V, T_E, t)$$

$$\frac{dT_i}{dt} = f_i(T_V, T_E, T_B, \dots, t) \quad \text{Avec } i=2 \text{ à } 4$$

t : représente le temps tel que $t = t_0 + h$ avec $t_0 =$ heure du lever du soleil.

h : représente le pas de temps

III.12- Le programme

Le programme informatique élaboré est écrit en **MATLAB version 7.6.324**

Il contient essentiellement un programme principal, sept sous- programmes et deux sous programmes fonctions.

Ce logiciel calcule : Les différents flux de chaleur échangés (convection, rayonnement, évaporation, conduction), les variations des températures des éléments du distillateur, le taux de condensat, l'efficacité globale et interne du distillateur et à la fin le facteur de performance.

Les sous programmes fonctions sont réalisées en blocs d'une part pour calculer l'éclairement solaire en fonction du temps et d'autre part pour relier les autres blocs.

Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

Avant le lancement du programme, on donne les données météorologiques, telles que : la température initiales (vitre, eau, bassin et isolant), l'éclairement solaire, la vitesse du vent, la latitude avec les temps initial et final et les propriétés physiques telles que : l'absorptivité, la réflectivité, la transmittivité et l'émissivité de la vitre et de l'eau et du bac absorbant, etc

III.12.1-La Simulation du fonctionnement du système de dessalement

Simulink est une extension graphique de Matlab permettant de représenter des systèmes sous forme de diagrammes en blocs, et de simuler le fonctionnement de ces systèmes. Ces blocs se combinent entre eux pour former des systèmes complexes, auxquels on pourra soumettre divers signaux d'entrée, et dont on pourra visualiser la sortie voir figure 3.3. Simulation Avant de lancer une simulation, on doit choisir les paramètres appropriés au modèle du système.

Dans le menu Simulation, lorsqu'on choisit paramètres, une fenêtre Simulation Paramètres s'ouvrira. On doit alors choisir les paramètres pour solveur, workspace Après identification des paramètres opératoires, les étapes de la simulation utilisent un algorithme afin de déterminer,

les températures (la température de la vitre, la température de l'eau, la température du bac absorbant, la température de l'isolant, le taux de condensat, la pression de saturation et l'efficacité globale et interne. des différentes parties du distillateur. Puis, il calcule le flux global incident, les différents flux (convection, rayonnement, évaporation, conduction), les différents coefficients d'échange de chaleur, les pertes de chaleur, la masse du condensat, l'efficacité globale, l'efficacité interne et le facteur de performance à l'aide des sous-programmes (ou des blocs) de calcul pour chaque constituant. Par la suite, elle détermine les pressions de saturation et le facteur de performance.

La simulation est suivant notre choix peut nous sortir les différents résultats sous forme de fichiers ou des graphes

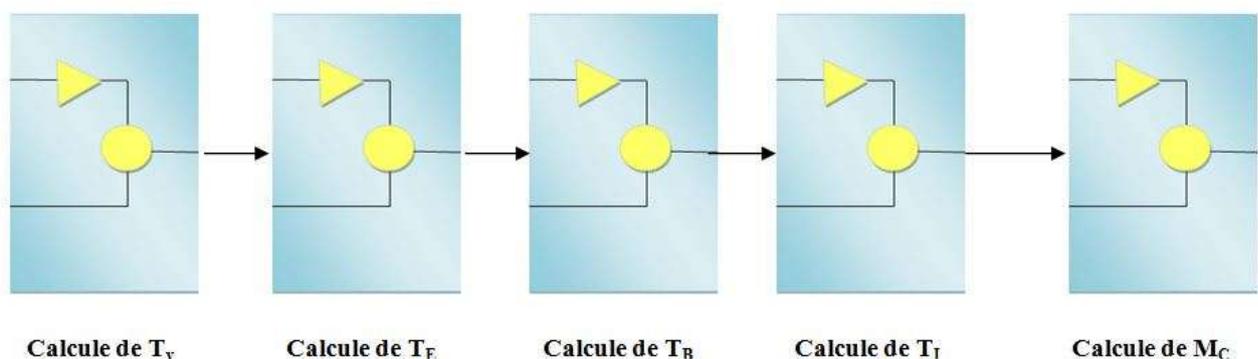
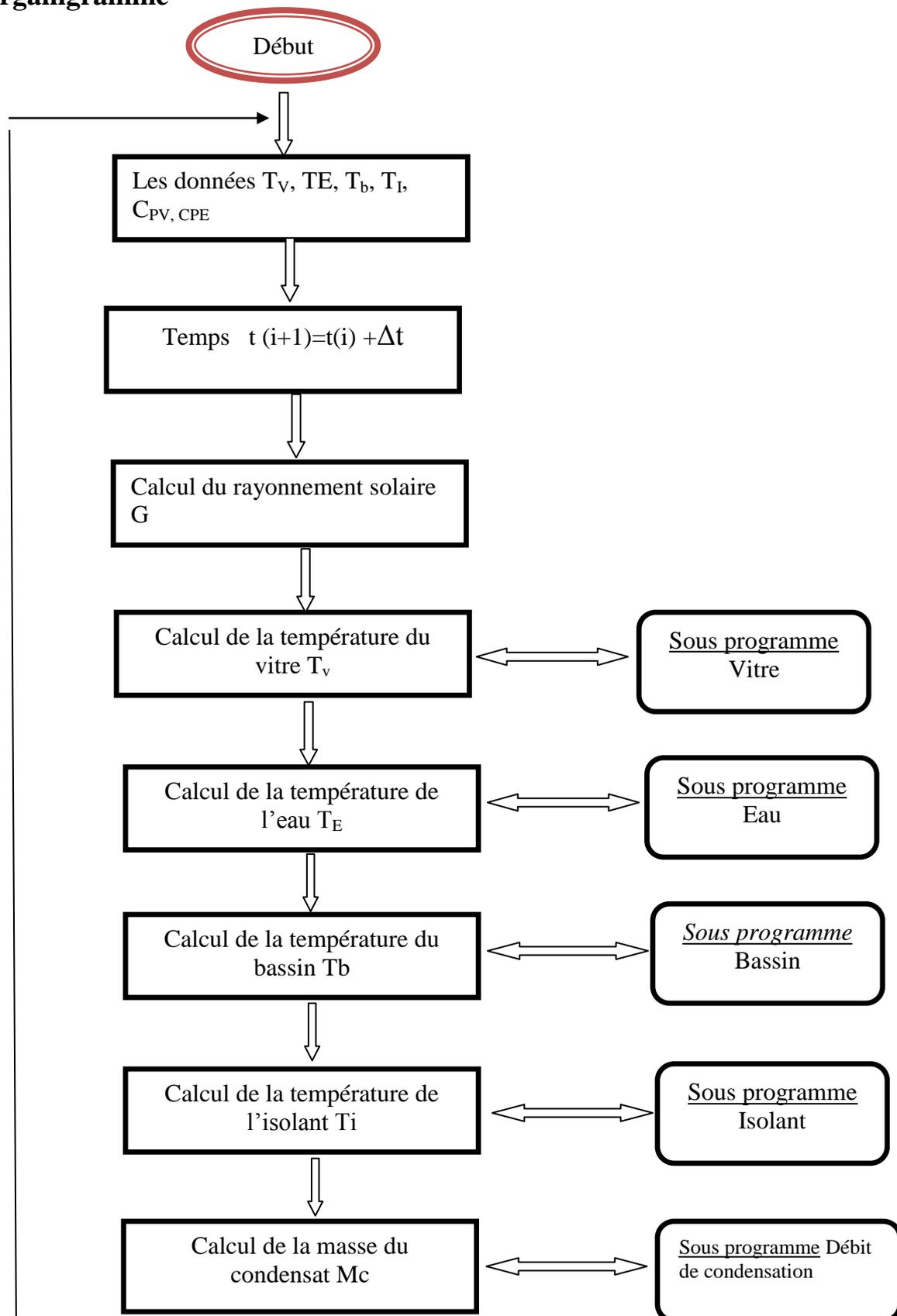
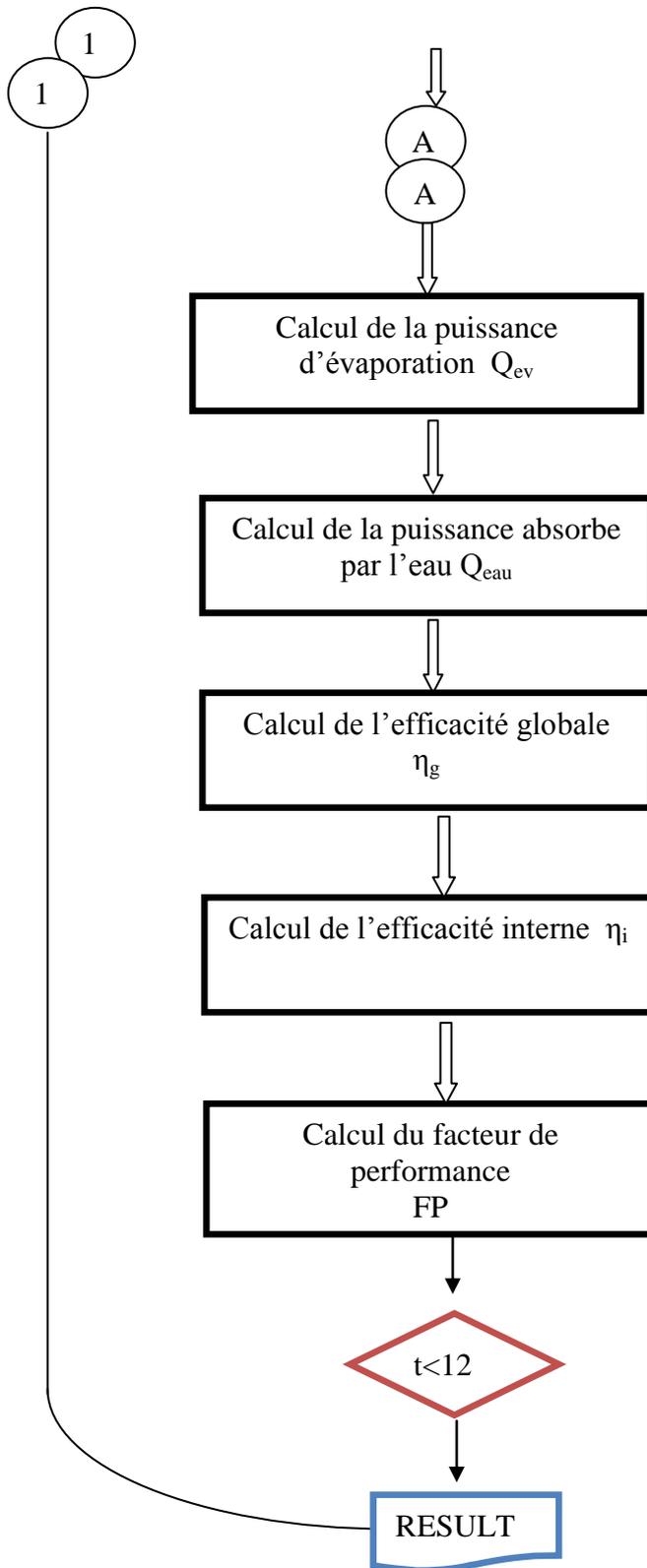


Figure 3.3. : Les blocs de simulation

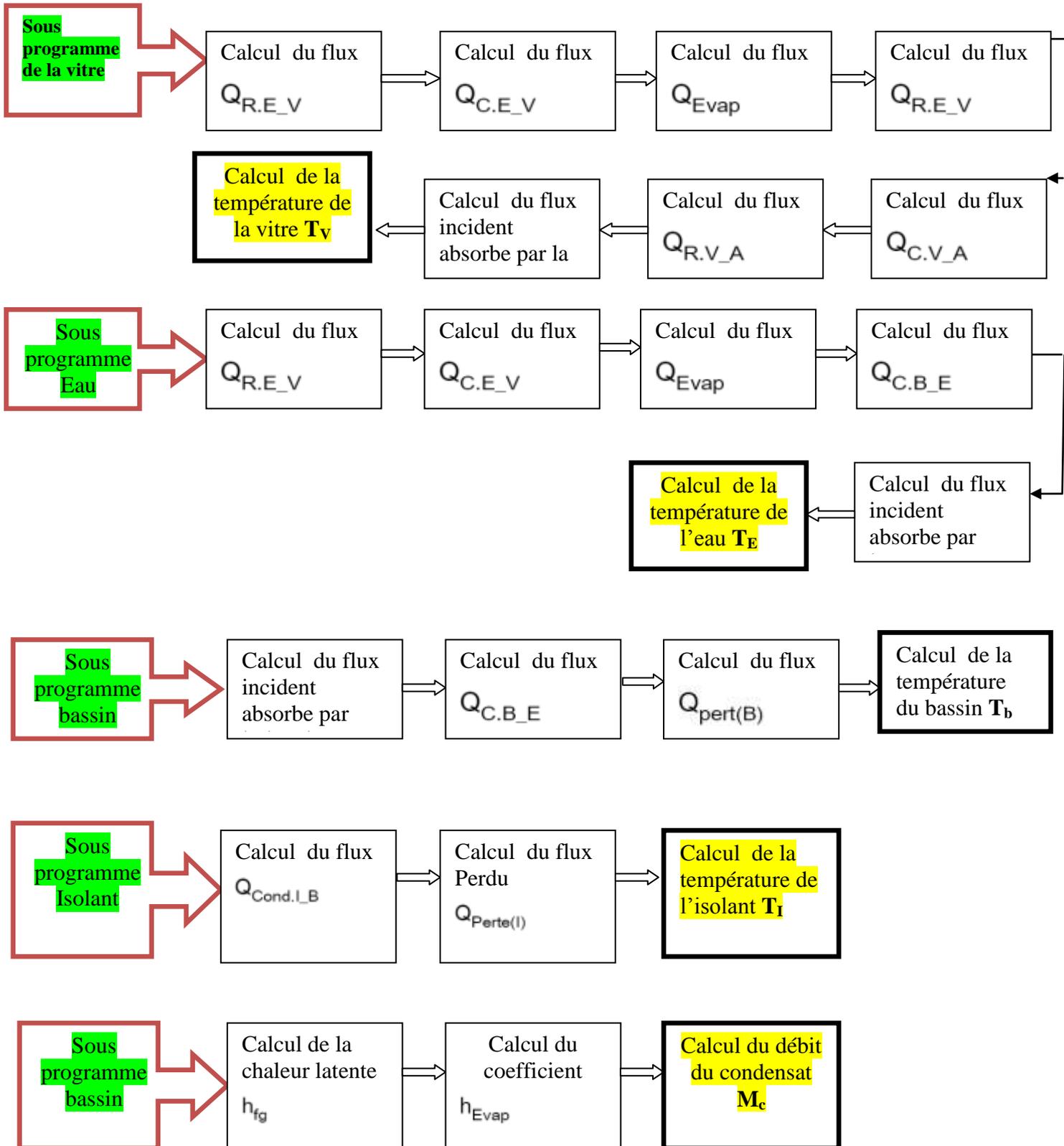
III.12.2- L'organigramme





Chapitre III : Description et modélisation mathématique du système

III.12.3 Les sous programmes :



III.13- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé notre système de dessalement solaire à effet de serre sous forme des équations différentielles qui régissent les bilans thermiques du système pour connaître l'étendue de l'effet du couvercle en verre sur l'efficacité énergétique du système et comment l'améliorer. Ce développement souligne l'importance capitale de l'optimisation du couvercle en verre pour accroître l'efficacité et la durabilité des distillateurs solaires. Cette partie est clôturée par la méthode de résolution utilisée, accompagnée d'un organigramme présentant la structure de solution numérique adoptée par le logiciel.

CHAPITRE IV

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1-Les Considérations générales sur la modélisation adoptée

Le but de cette étude (distillateur solaire simple et de prévoir le comportement de celui-ci lorsqu'on fait varier les paramètres d'entrées. Les températures des différents éléments constituant le système changent instantanément et échangent de ce fait entre eux de la chaleur par conduction, convection, Rayonnement et évaporation D'une façon générale la densité de flux thermique échange entre deux surfaces

$$Q = h.S. (T_1 - T_2) \quad (4.1)$$

Q : Densité de flux thermique en (W/m^2).

S : la Surface d'échange

h : Coefficient du mode de transfert de chaleur en ($W/m^2.K$).

IV.2-Les hypothèses de calcul

- Les propriétés physiques du fluide sont prises constantes avec la température.
- Transferts de chaleur unidimensionnels.
- Flux de chaleur transitoire.
- La température de la vitre est constante.
- Pertes de vapeur d'eau négligées.
- Vitesse du vent constante

IV.3-L'état de l'art sur l'amélioration de l'efficacité énergétique du système à travers les verres du couvercle

Le fonctionnement de distillateur solaire repose sur l'effet de serre. Le rayonnement solaire chauffe le fond du bassin elle ci émet des rayons infra rouges qui chauffe l'eau salé. L'eau à son tour s'évapore et se condense sur la vitre puis ruissellent dans les goulottes et récupérée à la sortie. L'amélioration du distillateur solaire à simple pente est une problématique visée par plusieurs chercheurs dans le monde. Comme l'amélioration de l'efficacité énergétique du système à travers les verres est récente. Khamsa Imad Eddine et Ben Hacene Soufiane [58] ont visait à améliorer la productivité de l'eau distillée par la variation de l'épaisseur du verre (condenseur) du distillateur solaire. Les expériences menées montrent que la production est mieux améliorée lorsque l'épaisseur du vitrage est faible $e = 3$ mm avec une production en totale 578.3ml/j ; lors ce que $e = 5$ mm la production est de 475 ml/j et en fin lorsque $e = 6$ mm la production est de 390 ml/j.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV .4-Les résultats et l'interprétations

Dans le chapitre précédent, on a étudié le distillateur solaire et élaboré un code de calcul en langage Matlab-simulink. Dans ce chapitre, on va présenter les résultats numériques. Ces résultats concernant essentiellement la variation des différentes températures des constituants (vitre, eau, bassin, isolant) du système au cours du temps, les résultats sont présentés sous forme de graphes et puis comparais à celles des résultats expérimentaux de Fedali en 2007, pour valider notre code numérique.

IV .4.1- L'estimation de la radiation solaire

Les résultats présentés dans cette partie ont été générés à l'aide du code Matlab Simulink, qui résout numériquement les équations différentielles conformément à la méthode décrite dans le chapitre précédent. La figure 4.1.a. illustre la variation du rayonnement solaire reçu par une surface inclinée de 35.33° au cours des jours de l'expérience. Le flux solaire G est simulé (fig. 4.1), avec une intensité plus élevée entre 12h30 et 13h30, tandis qu'il diminue en fin de journée, en raison de la durée prolongée d'insolation pendant la période estivale. On peut remarquer aussi que la puissance atteint son maximum à 13h (les valeurs maximales sont situées entre (11h 00 et 14h00)).

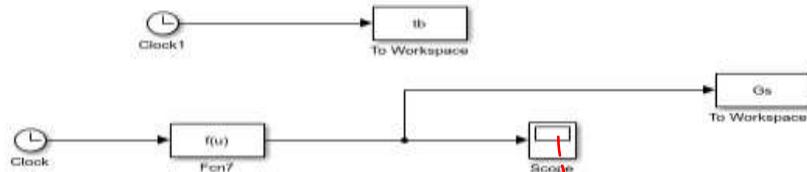


Figure. 4.1 : Simulation de la radiation solaire (Gs)

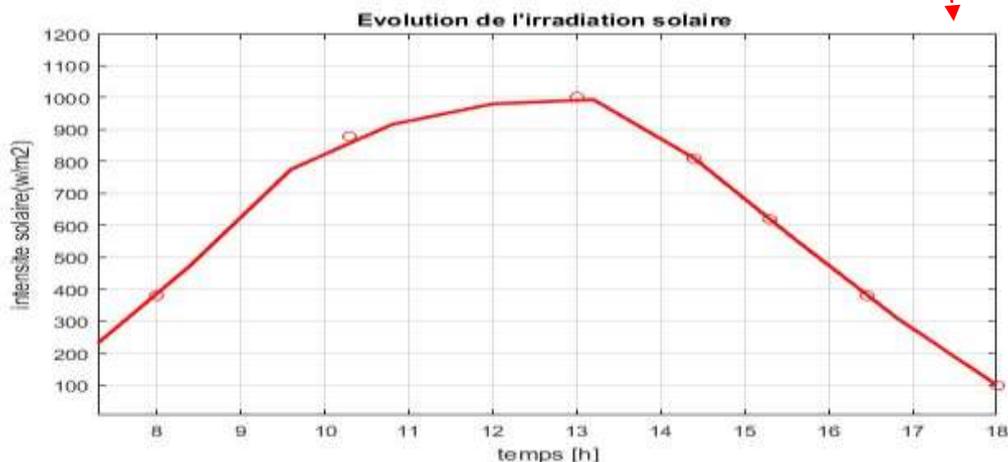


Figure 4.1.a : Evolution de l'irradiation solaire

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.4.2- Les résultats numériques des variations de la température des constituants

Une voie d'approche possible de la variation des températures est la simulation numérique directe des équations différentielles. Le calcul par ordinateur des solutions approchées de ces équations permet d'observer en détail le mode de transfert et de simuler les variations de telles simulations nécessitent l'utilisation des blocs. Avec Simulink, il est possible de créer des diagrammes hiérarchiques de blocs pour la modélisation haut niveau d'un système, de construire des simulations complètes. La variation des températures de la vitre en fonction du temps pour les différents matériaux utilisés est représentée par les trois

IV.4.2.1- L'évolution de la température de la vitre en fonction du temps

La figure 4.2 montre que la température de la vitre (intérieur) augmente progressivement le matin à cause de l'absorption du rayonnement solaire incident, mais, au cours de la période de 12h :30 à 14h :00. L'élévation des températures du vitrage (cote externe et interne) est due à l'absorption par la vitre du rayonnement solaire incident et de la chaleur cédée par la surface d'évaporation (la saumure) par rayonnement, évaporation, et convection naturelle.

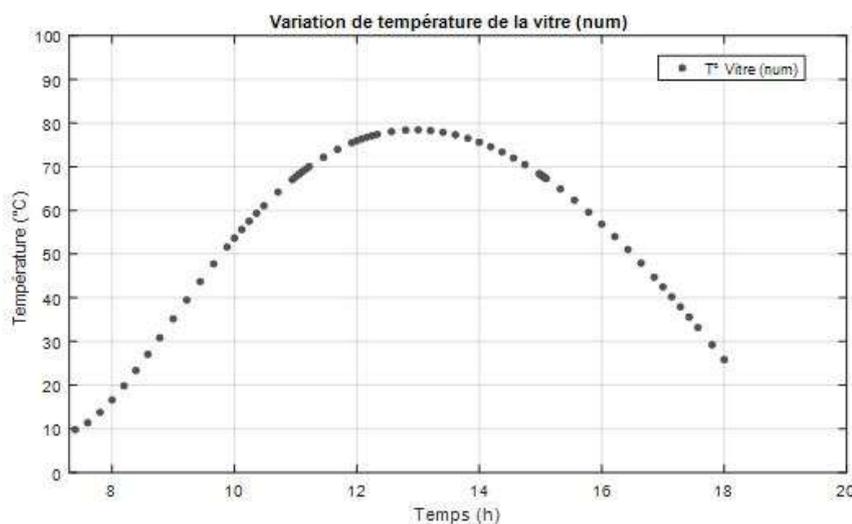


Figure 4.2 : La variation de température de la vitre

IV.4.2.2- L'évolution de la température de l'eau en fonction du temps

Lorsque le flux énergétique est absorbé par l'eau, le bac absorbant se réchauffe, ce qui entraîne un réchauffement rapide de l'eau, bien que cette dernière reste généralement moins chaude que le bac.

Chapitre IV : Résultats et discussion

La montée en température est graduelle car une partie de l'énergie absorbée est utilisée pour l'évaporation de l'eau. On remarque que l'augmentation de l'énergie d'évaporation et la diminution du flux solaire incident entraînent une baisse de la température de l'eau, comme le montre la figure 4.3 suivante.

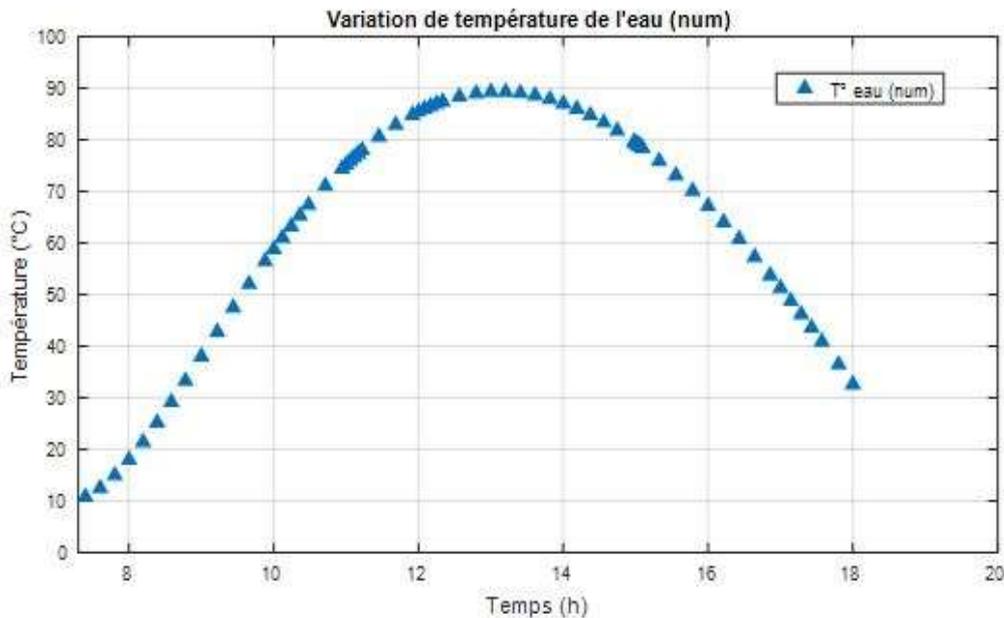


Figure 4.3 : Variation de la température de l'eau

IV.4.2.3- L'évolution de la température du bassin en fonction du temps

L'évolution de la température du bassin est mise en évidence par la (Figure 4.4), grâce à sa couleur noire, absorbe efficacement le flux solaire maximal, ce qui entraîne une augmentation progressive et rapide de sa température, pouvant atteindre jusqu'à 92.43 °C sur l'intervalle [13h – 14h]. Cette hausse de température est favorisée par le coefficient d'absorption élevé de la peinture noire appliquée sur le bac. Parallèlement, le bac transmet intégralement l'énergie interceptée à l'eau, favorisant ainsi le processus d'évaporation. Cependant, en raison de la capacité calorifique de l'eau, cette transmission d'énergie provoque une diminution de la température du bac. Il est important de noter que malgré ce refroidissement, la température du bac reste toujours supérieure à celle de l'eau car une fraction du flux énergétique utile sert à l'évaporation de l'eau.

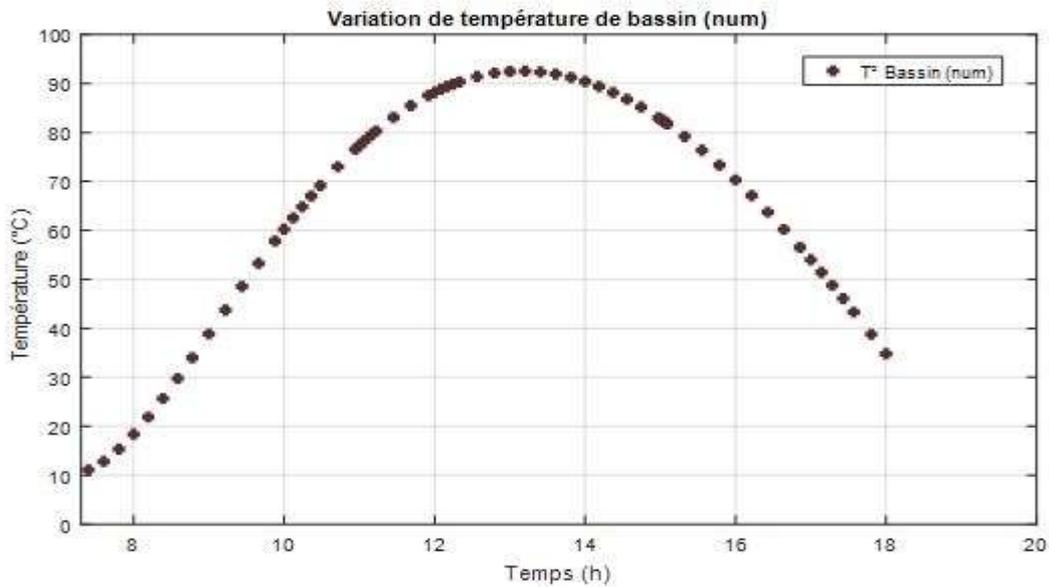


Figure 4.4 : Variation temporelle de la température du bassin

IV.4.2.4- L'évolution de la température de l'isolant en fonction du temps

Afin d'améliorer l'efficacité du processus, il est essentiel de réduire les pertes thermiques par conduction en assurant une isolation efficace des parois du distillateur. C'est pourquoi nous constatons que la température maximale de l'isolant est aux voisines de 49.17 °C. Voir figure 4.5

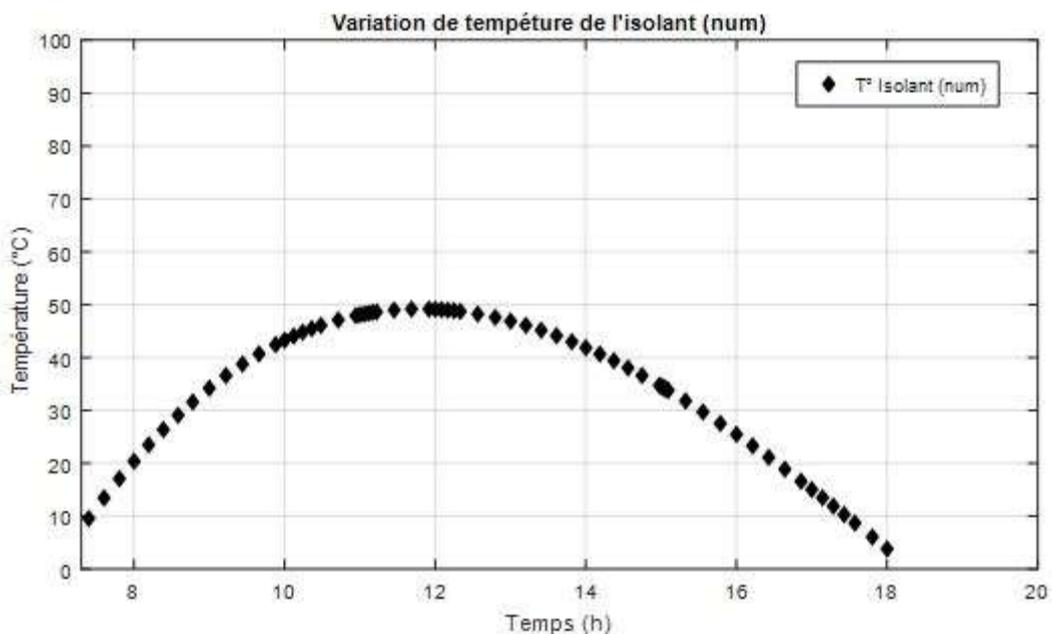


Figure 4.5 : variation temporelle des températures de l'isolant

IV.5- Les résultats expérimentaux

IV.5.1- Les résultats expérimentaux d'une expérience faite en 2007. [59]

Les courbes de la figure 4.6 montrent la variation temporelle des températures des différents composants au cours de la journée du 23/07/2007. Aussi cette figure 4.6 illustre l'évolution expérimentale des températures dans diverses parties du distillateur solaire (la vitre, l'eau, le bassin, l'isolant). Ces températures sont souvent étroitement liées à l'évolution de l'irradiation solaire tout au long de la journée.

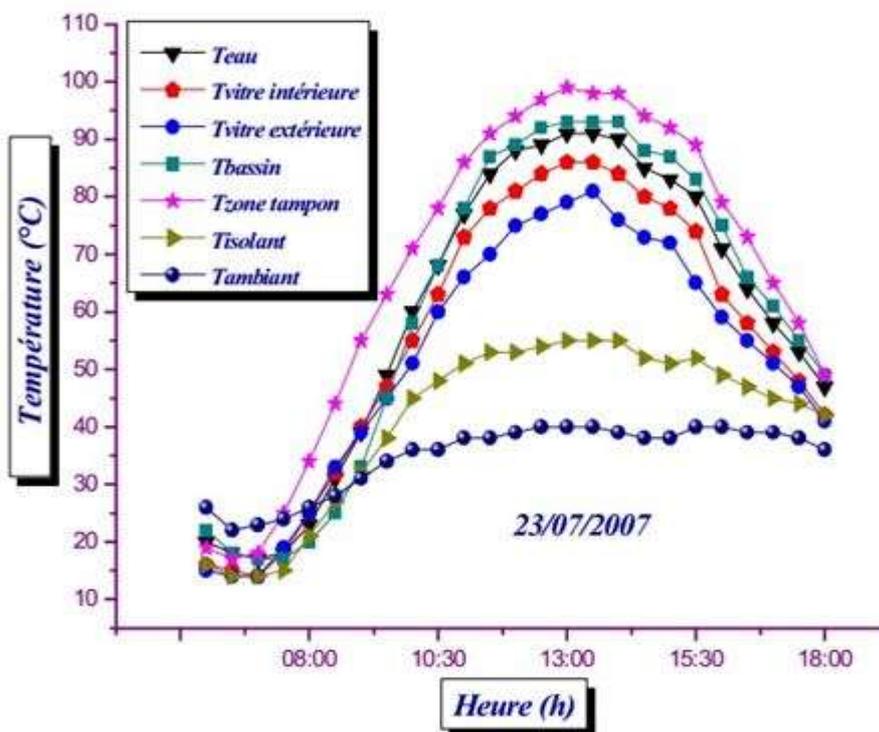


Figure 4.6 : Variation des températures au cours de la journée de l'expérience [59]

IV.5.2- La Comparaison des résultats numériques et expérimentaux

Nous avons limité notre étude à une comparaison entre les résultats obtenus dans l'expérience [59] et ceux issus de notre simulation numérique réalisée à l'aide du logiciel "Matlab – Simulink". Les figures (4.7, 4.8, 4.9, 4.10) présentent les variations temporelles des températures ($T^{\circ}\text{eau}$, $T^{\circ}\text{vitre intérieure}$, $T^{\circ}\text{bassin}$ et $T^{\circ}\text{isolant}$) enregistrées le 23/07/2007 lors de l'expérience, étant donné qu'elle n'a pas été affectée par la présence de nuages.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.5.3- La Comparaison des résultats numériques et expérimentaux de la vitre

La courbe de variation des températures de la vitre intérieure, comme représentée dans la figure 4.7, présente une configuration similaire à celle observée dans l'expérience [59]. Les résultats obtenus par la simulation numériques concordent de manière significative avec les résultats expérimentaux.

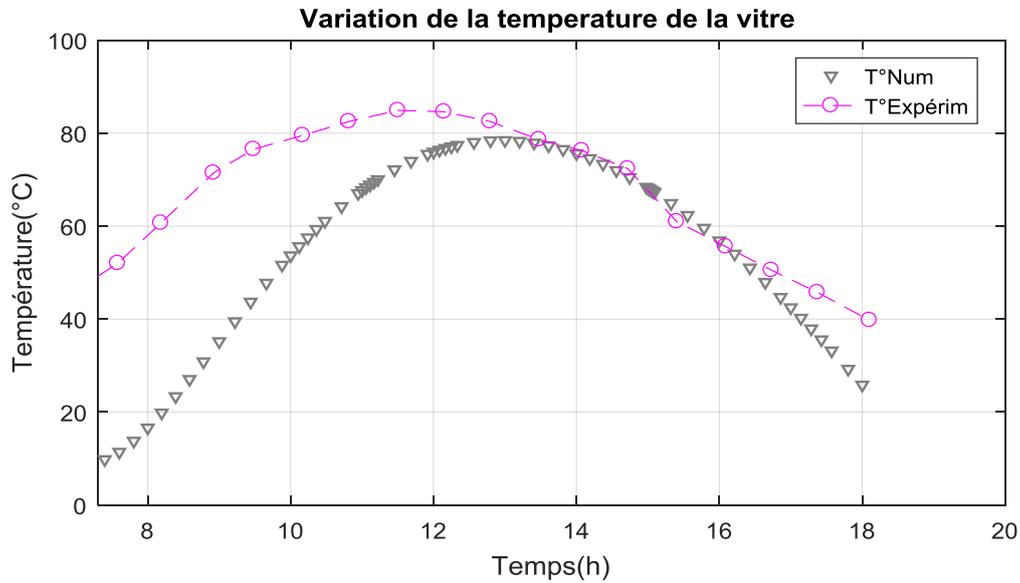


Figure 4.7 : Évolution de la température de la vitre en fonction du temps

IV.5.4- La Comparaison des résultats numériques et expérimentaux pour l'eau

La figure 4.8 montre la variation temporelle de la température de l'eau, où l'on remarque une bonne concordance entre les résultats numériques et expérimentaux.

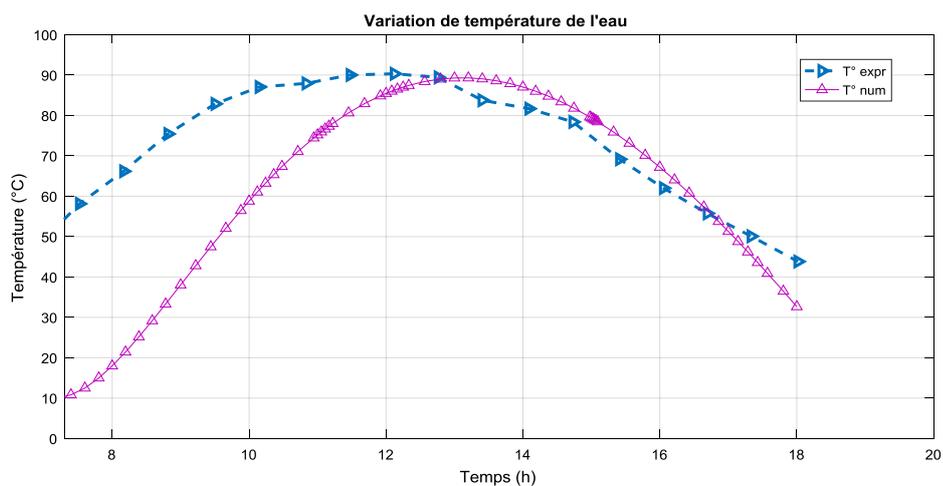


Figure 4.8 : Évolution de la température de l'eau en fonction du temps

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.5.5- La Comparaison des résultats numériques et expérimentaux du bassin

La figure 4.9 montre que la concordance entre les températures relevées expérimentalement et celles calculées numériquement est acceptable, sauf dans l'intervalle entre 10h et 13h 0 min où le rayonnement solaire direct est perpendiculaire au plan d'incidence. On constate alors un écart remarquable. Ceci nous amène à dire que la précision est limitée.

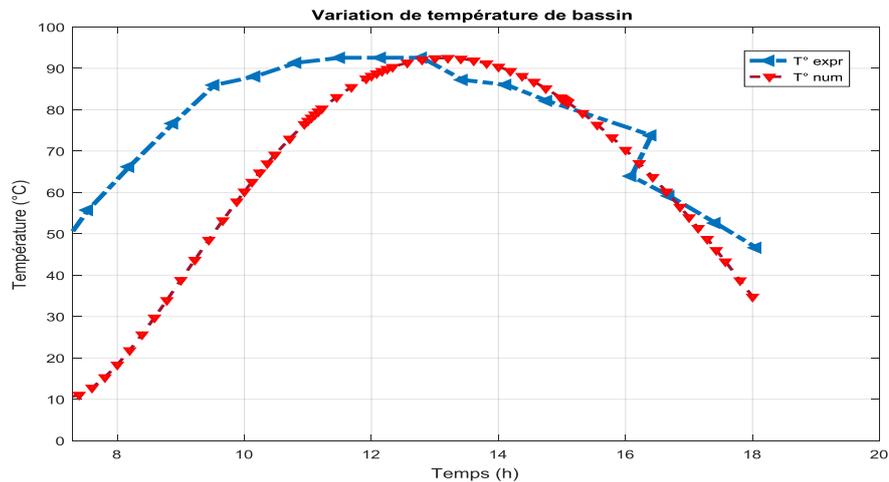


Figure 4.9 : Évolution de la température du bassin en fonction de temps

IV.5.6- La Comparaison des résultats numériques et expérimentaux de l'isolant

La figure 4.10 représente respectivement la variation de la température de l'isolant en fonction du temps, avec une comparaison des résultats théoriques et expérimentaux. La faible concordance est notée en raison de l'impact négligeable des paramètres externes (vent, nuages) et internes (géométrie) du distillateur.

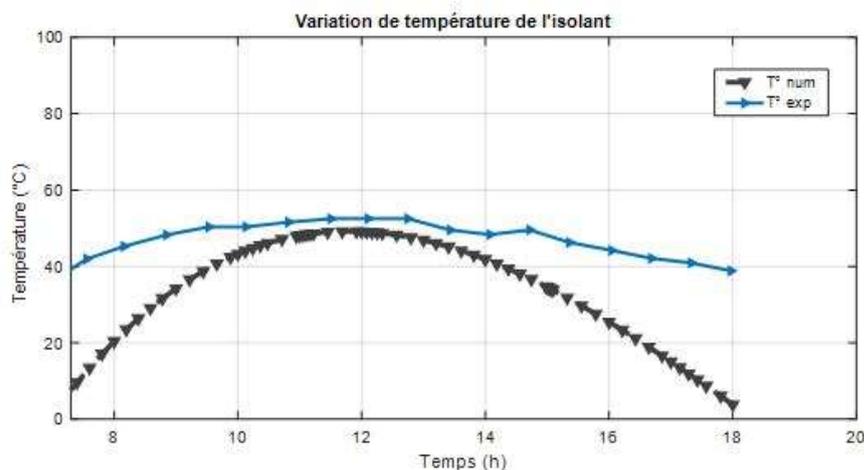


Figure 4.10 : Évolution de la température de l'isolant en fonction de temps

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.6- La validation des résultats

Cette validation permet de s'assurer que le modèle numérique reflète fidèlement la réalité observée. Pour cela, il est essentiel de comparer nos résultats obtenus par la méthode numérique avec des données expérimentales de Fedali recueillies dans les mêmes conditions contrôlées. Pour évaluer la cohérence des résultats numériques générés dans cette étude, une comparaison a été effectuée entre les données expérimentales d'un distillateur solaire simple et la simulation de ce système réalisées à l'aide de Matlab Simulink. Cette analyse a porté sur la période de 7h30 à 18h00, où les températures ont été examinées en fonction du temps et du flux solaire transmis à travers la vitre vers l'intérieur du distillateur. Bien que la précision des mesures soit élevée, l'accent a été mis sur la comparaison de la tendance des courbes

IV.7- L'optimisation de l'efficacité énergétique du système

IV.7.1- La définition de l'émissivité

Émissivité est une caractéristique de surface des corps. Plus l'émissivité est faible, plus le transfert de chaleur par rayonnement est faible. L'émissivité normale ϵ_n du verre est de 0,89. Certains verres peuvent être recouverts d'une couche dite faiblement émissive pour laquelle ϵ_n peut être inférieure à 0,04 (verres à couche des gammes SGG PLANITHERM et SGG COOL-LITE SKN).

IV.7.2- Comment optimiser l'efficacité énergétique du système

L'amélioration de l'efficacité énergétique de notre système de dessalement solaire à effet de serre avec une couverture en verre peut être réalisée en prenant en compte plusieurs aspects. Notre objectif est de tester différents scénarios et stratégies avant leur mise en œuvre réelle, tels que l'émissivité optimale du verre pour réduire les pertes thermiques et favoriser le passage de rayonnement solaire.

IV.7.3-La simulation de la variation de température de vitre en fonction de l'émissivité

Lorsqu'une surface est exposée à des sources de chaleur, comme le soleil ou des sources internes dans un environnement, elle absorbe une partie de cette énergie et la convertit en chaleur. La variation de température d'une surface en fonction de son émissivité peut être décrite par la loi de Stefan-Boltzmann et la loi de transfert thermique de Fourier. et la loi de Newton.

La loi de Stefan-Boltzmann énonce que la puissance totale rayonnée par unité de surface d'un objet est proportionnelle à la quatrième puissance de sa température absolue (en kelvins), selon l'équation

$$P = \epsilon\sigma AT^4 \quad (4.2)$$

Ou :

Chapitre IV : Résultats et discussion

P : est la puissance rayonnée par unité de surface (en W/m²)

ε : est l'émissivité de la surface

σ : constant de Stefan-Boltzmann (5.67.10⁻⁸ w/m².k⁴)

A ; est l'aire de la surface (en m²)

T : est température de la surface (en K°)

La loi de transfert thermique de Fourier décrit comment la chaleur se propage à travers un matériau. Elle stipule que le taux de transfert de chaleur (ou de température) à travers un matériau est proportionnel au gradient de température, selon l'équation :

$$Q = -kA \frac{dt}{dx} \quad (4.3)$$

Ou :

Q : le temps de transfert de chaleur (en w)

K : la conductivité thermique du matériau (en w/m.k)

A : est l'aire de la section transversale a travers laquelle la chaleur se propage (en m²)

$\frac{dt}{dx}$: est le gradient de température c'est-à-dire la variation de température par unité de distance (en k/m²)

Cette équation décrit comment la chaleur est transférée par convection entre la surface du distillateur solaire et l'eau, où représente le transfert de chaleur par convection entre la surface du distillateur et l'ambient.

La loi de Newton pour la convection dans un distillateur solaire peut être exprimée par l'équation suivante :

$$Q = h.S.(T_1 - T_2) \quad (4.4)$$

Q : Densité de flux thermique en (W/m²).

S : la Surface d'échange

h : Coefficient du mode de transfert de chaleur en (W/m².K).

En combinant ces trois lois, vous pouvez comprendre comment la température d'une surface varie en fonction de son émissivité, de la quantité de chaleur reçue et de la conductivité thermique du matériau. Une émissivité plus élevée signifie que la surface émettra plus de chaleur par

Chapitre IV : Résultats et discussion

rayonnement, ce qui peut entraîner une augmentation de sa température si elle absorbe plus de chaleur qu'elle n'en perd par conduction ou convection.

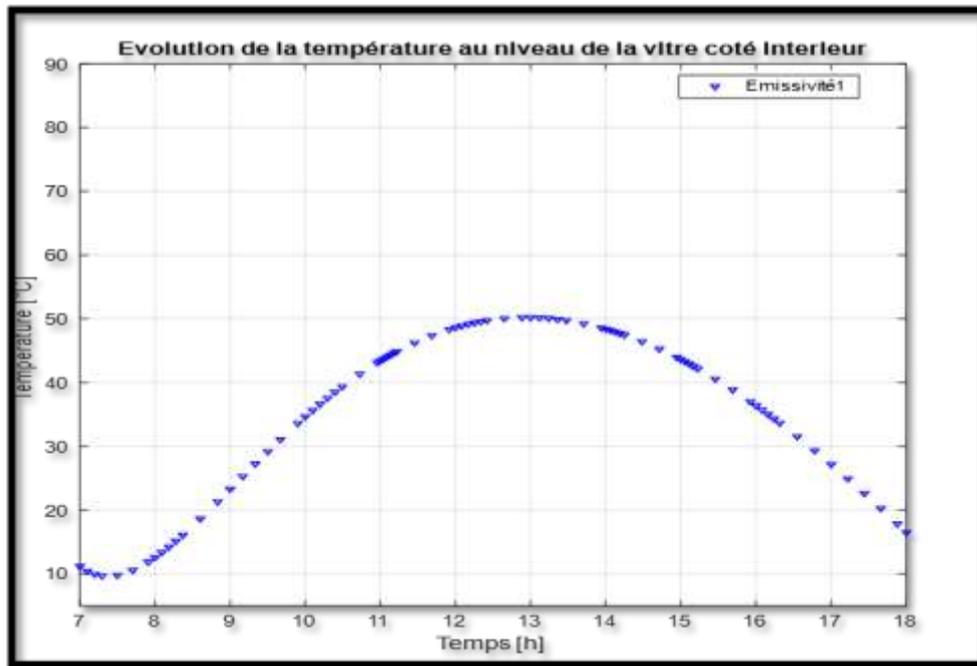


Figure 4.11 : Evolution de la température au niveau de la vitre en fonction [$\epsilon_1=0.064$]

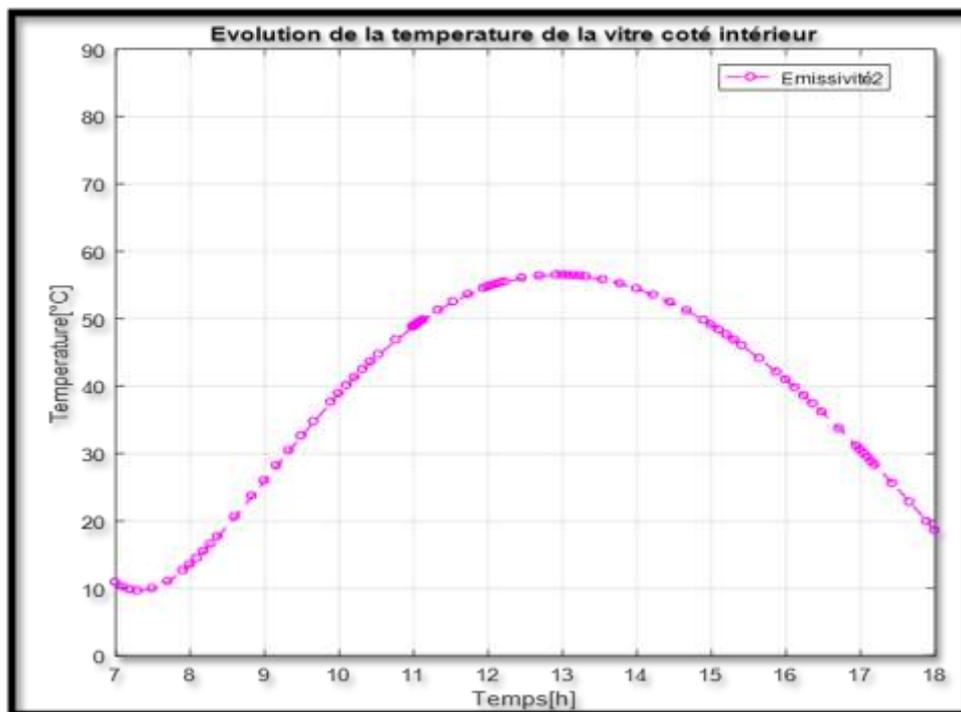


Figure 4.12 : Evolution de la température au niveau de la vitre en fonction [$\epsilon_2=0.072$]

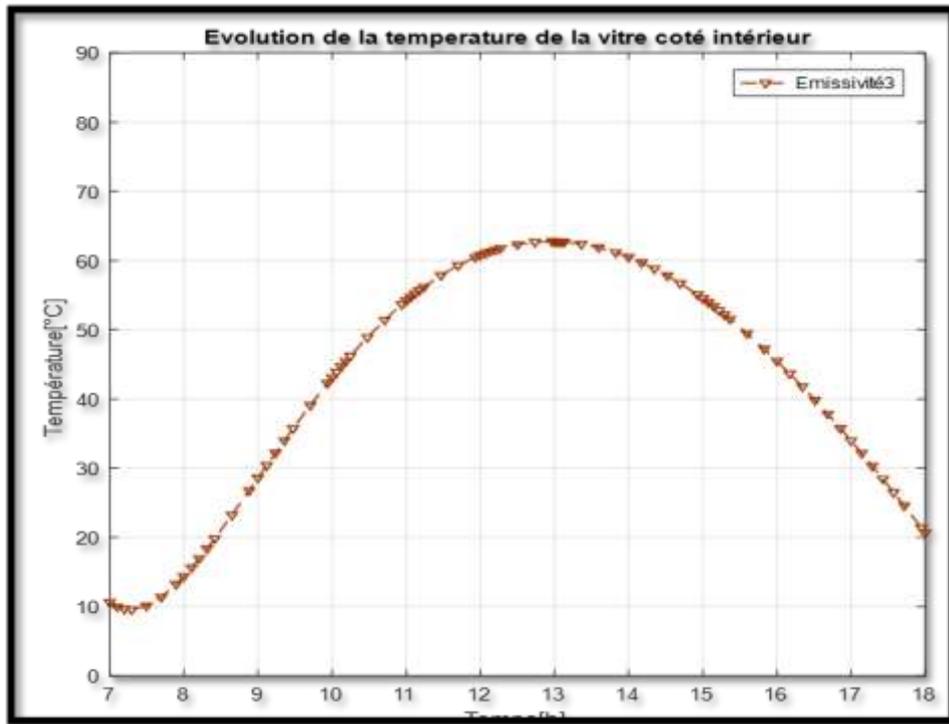


Figure 4.13 : Evolution de la température au niveau de la vitre en fonction [$\epsilon_3=0.080$]

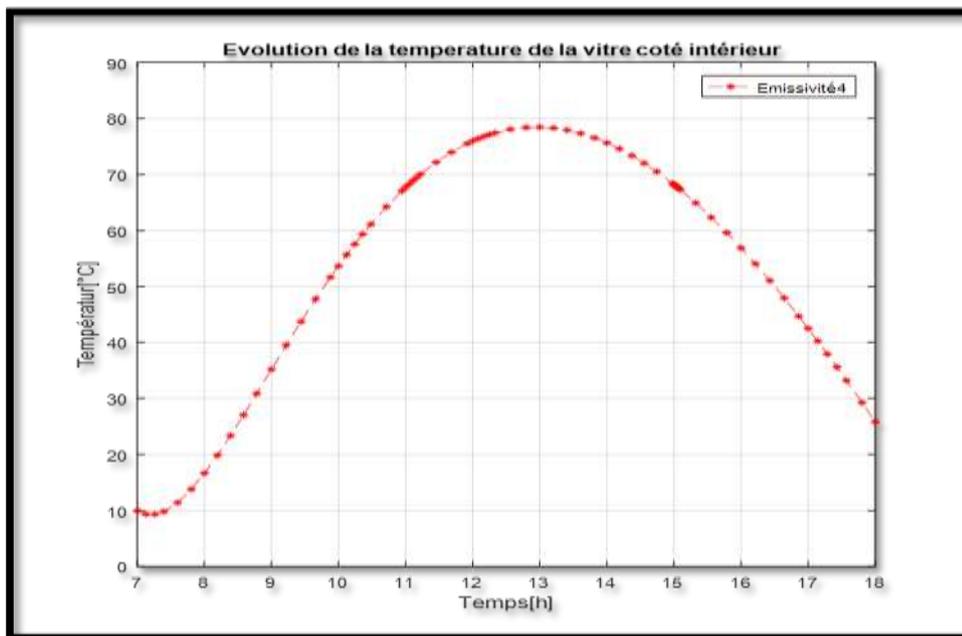


Figure 4.14 : Evolution de la température au niveau de la vitre en fonction [$\epsilon_4=0.1$]

Chapitre IV : Résultats et discussion

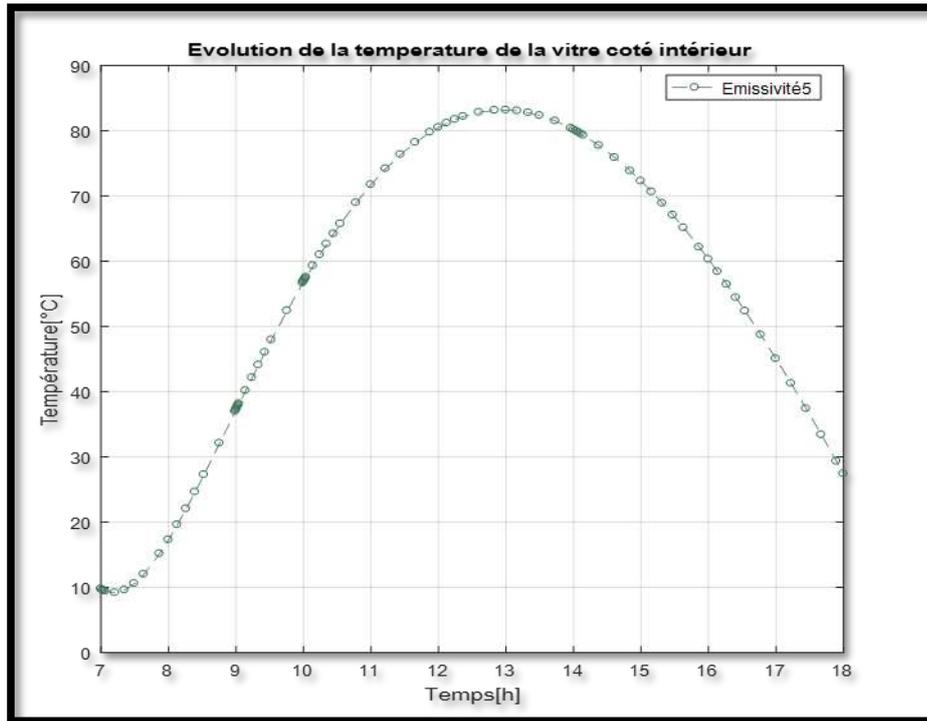


Figure 4.15 : Evolution de la température au niveau de la vitre en fonction $[\epsilon_5=0.106]$

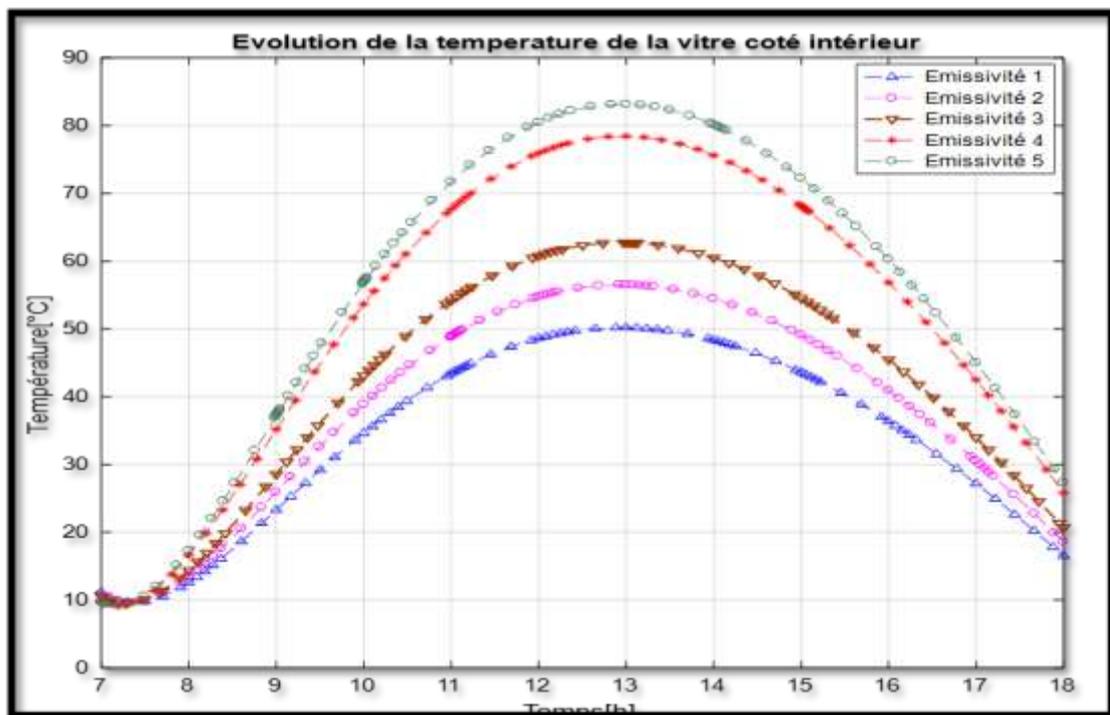


Figure 4.16 : Evolution de la température de la vitre en fonction des différents niveaux d'émissivité.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.8- L'observation et interprétation

Grâce aux résultats que nous avons obtenus, nous avons remarqué ce qui suit : Lorsque l'émissivité change, cela s'accompagne d'un changement dans la température de la vitre, car plus la valeur d'émissivité de la vitre est élevée, plus la température du verre est élevée. La figure 4.16 montre également que la quantité absorbée par la vitre est assez faible ce qui montre le passage presque de la totalité des irradiations à l'absorbeur, ceci est due aux caractéristiques géométriques (épaisseur faible) et optiques (coefficient d'absorption faible et coefficient de transmission élevé de la vitre).

D'après les valeurs du tableau ci-dessous l'émissivité joue un rôle efficace dans le transfert de chaleur.

Tableau 4.1 : L'estimation des températures maximales en fonction d'émissivité

Emissivité	La valeur de ϵ	T° max
Emissivité 1	0,064	50,22
Emissivité 2	0,072	56,49
Emissivité 3	0,080	62,77
Emissivité 4	0,100	78,44
Emissivité 5	0,106	83,15

IV.9- Conclusion

Nous constatons que les températures des divers éléments du distillateur varient en fonction de l'intensité du flux solaire incident. Leur augmentation est proportionnellement plus rapide que celle de la température ambiante, signalant ainsi le début de l'effet de serre.

Les résultats numériques correspondent étroitement aux données expérimentales, renforçant ainsi la crédibilité et la robustesse du modèle utilisé. Cependant, des écarts significatifs peuvent révéler des insuffisances dans le modèle théorique, des simplifications excessives ou des erreurs dans les hypothèses initiales. Ainsi, la validation permet d'orienter les améliorations et ajustements nécessaires pour affiner les modèles et les rendre plus représentatifs des phénomènes étudiés. En résumé, l'émissivité du verre est un facteur clé à prendre en compte pour contrôler les variations de température et minimiser les pertes de chaleur.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce projet de fin d'étude concerne l'optimisation de l'efficacité énergétique d'un système de dessalement solaire conventionnel, ce dernier est basé sur le principe de l'effet de serre. Ce système de distillation est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre. La partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer). L'augmentation de la température est due à l'effet de serre qui fait réchauffer l'eau puis s'évapore. Cette capacité d'évaporation grandit au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau. La vapeur d'eau ainsi obtenue se condense sous le vitrage. Les gouttelettes d'eau s'écoulent vers la partie inférieure du vitrage dans une gouttière conduisant à un réservoir de stockage de récupération du distillat.

La modélisation mathématique est utilisée pour représenter de manière quantitative le comportement d'un système de distillation solaire à effet de serre. Cela inclut les équations régissant son fonctionnement, les modes de transfert de chaleur et de masse impliqués, ainsi que les coefficients d'échange de chaleur pour les échanges thermiques. Une approche numérique basée sur un code de calcul en langage Matlab-Simulink est utilisée pour la résolution de ces équations différentielles du 1^{er} ordre.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres externes et internes comme l'irradiation solaire, température ambiante, les températures de chaque partie du distillateur et l'effet de qualités des verres sur les caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire notamment la production, l'efficacité interne, l'efficacité globale, et le facteur de la performance. L'émissivité de la vitre affecte non seulement sa réaction aux variations de température, mais également le transfert de chaleur et de masse. Une émissivité élevée facilite un transfert de chaleur plus rapide, tandis qu'une émissivité faible retient davantage la chaleur. Cette relation entre l'émissivité et le transfert de chaleur est cruciale pour la conception de la vitre. En comprenant cette dynamique, nous pouvons optimiser l'efficacité énergétique d'un distillateur solaire.

La validité de notre travail a été confirmée en comparant les résultats expérimentaux avec ceux obtenus par simulation numérique, où une bonne concordance a été observée. Les écarts de température constatés peuvent être attribués aux hypothèses utilisées dans la simulation numérique. Les variations des températures nous suggèrent à dire que la production d'eau distillée dépend évidemment de l'énergie solaire incidente et aussi de la surface absorbante et du choix des verres pour couverture. A la fin on pense que d'autres perspectives semblent être intéressantes à développer

- ✓ L'utilisation d'un système pour refroidir la surface de condensation.
- ✓ L'introduction d'un système de préchauffage, en utilisant des matériaux locaux pour l'isolation
- ✓ La forme géométrique du distillateur solaire, doit être grande pour capter le maximum de l'irradiation solaire (par exemple, distillateur sphérique, parabolique.....).

Référence bibliographiques

Bibliographe :

- [02] hydrological sciences journal les ressources en eau du globe 30 déc. 1997
- [04] alain maurel. "Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », technique & documentation, paris, france, 226 p. 2001.
- [06] hammou mahmoud «analyse de différents paramètres d'un système de dessalement par distillation solaire » mémoire de magister en mécanique, université ibn khaldoun tiaret, 2010,2011
- [10] programme des nations unies pour l'environnement. (site pnue)
- [11] b. Bouchekima, g. Bernard, r. Ouahes, m. Diboun, etude théorique et application pratique du distillateur solaire a film capillaire, int. J. Therm. Sci. 39(2000) 442-459.
- [12] r tripathi, g.n. Tiwari, "performance evaluation of a solar still by using the concept of solar fractionation, desalination169 (2004) 69- 80.
- [14] L'organisation Mondiale de la santé intitulé « guidelines for drinking water quality", which is adopted by international standards for potable water."
- [18] boualem remini, la problématique de l'eau en algérie du nord, esearchgate, pp 31, juan 2010
- [19] Temim.d. Problématique de l'eau in algeria chapitre 2 universités mohamed bodhiah Msila
- [36] universalis – encyclopédie le dessalement editions 1986.
- [37] [danis p., (2003), dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'ingénieur, traité génie des procédés, j2 700]
- [38] l.merad, b.benyoucef, lo.merad, t.boussoukaia, et b.omari : « etude d'un procédé thermique de dessalement d'eau de mer par aérogénérateur a rendement élevé » rev. Energ. Ren 11èmes journées internationales de thermique 2003.21- raymond des j. (1990). Le traitement les eaux. .3ème ed., l'école polytechnique de montréal.
- [39]. Universalis – encyclopédie le dessalement editions
- [40] y. Mandri," etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide", diplôme de doctorat en génie des procédés, université claudes bernard, lyon 2011, vol.151, pp:6, 7,8
- [41] a. Maurel, livre "dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce " 2006, vol.273, pp:24,25.
- [42] vaillant.j.r. "Les problêmes du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres". Editions Eyrolles, 1970.
- [44]. Codou m. Pontie m. Bennasar m. Rumeau m .choix d'une technologie de dessalement 1993, Congrès sur le traitement des eaux dakar – lpsmp – ensut
- [45] maurel a. – dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres – séminaire sur les stratégies de

gestion des eaux dans les pays méditerranéens, alger 28-30 mai 1992.

- [46] bouchekima. B/recherche des conditions optimales pour le dessalement des eaux saumâtres a l'aide du distillateur a film capillaire/ thèse de doctorat d'état usthb, alger/ 2001.
- [47] Muhammad ali samee, umar k. Mirza_, tariq majeed, nasir Ahmad
- [48] mousa abu-arabie, yousef zurigat, hilal al-hinai, saif al-hiddabi "modelling and preformance analysis of a solar unit with double- glass cover cooling", *desalination*, 143,173-182, 2002.
- [49] Yousef h. Zurigat, mousa k. Abu-arabi "modelling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit", *applied thermal engineering*, 24, 1061-1072, 2004.
- [50] Mousa abu-arabia, yousef zurigatb "year-round comparative study of three types of solar desalination units ", *desalination*, 172, 137–143, 2005
- [51] Buzas j., farkas i., biro a., németh r., «modelling and simulation of a solar thermal system», *mathematics and computers in simulation*, vol. 48, 1998, pp.33-46.
- [52] Ahmed khedim, klemens schwarzer, christian faber, christoph müller"
- [53] m. Benhammou, b. Omari, m. Gahgah, l. Amer, a. Boubghal " réalisation et expérimentation d'un distillateur solaire couple a un condenseur ",
- [54] w. A. Kamal "a theoretical and experimental study of the basin- type solar still under the arabian gulf climatic conditions", *solar and wind technology*, 5, 147-157, 1988.
- [55] a. El-sebaili «effect of wind speed on active and passive solar stills", *energy conversion and management*, 45, 1187-1204, 2004.
- [56] sfeir a. Guarracino g. Ingénierie des systèmes solaires applications a l'habitat1981, technique et documentation
- [57] hilal al-hinai, m. S. Al-nassri, b. A. Jubran " parametric investigation of a double-effect solar still in comparison with single-effect solar still ", *desalination*, 150, 75-83, 2002.
- [58] khamsa imad eddine, ben hacene soufiane, « l'influence de la variation de l'épaisseur du vitrage sur la distillation solaire » mémoire de master génie mécanique université djilali liables de sidi bel abbes 2016-2017
- [59] fedali saida « modelisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumatres a bas coût pour les communautes rurales » mémoire de magistère université de batna ,2007

Biblio web

- [01] www.projetecolo.com
- [03] https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ipemed_etat_des_lieux_du_secteur_de_l_eau_en_algerie_2013.pdf
- [05] [Dessalement – Wikipedia]
- [07]. Dzairworld.com + afrik21.africa
- [08] ; middleeasteye.net
- [09] researchgate.net
- [10] La gestion des eaux en Algérie <https://bing.com>
- [11] agence nationale de gestion integree des ressources en eau agire. <Http://agire.dz>
- [13] <https://www.waterlab-services.com>
- [15] http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/8632/1/ressources_eau_algerie_Kettab.pdf.http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/8632/1/ressources_eau_algerie-Kettab.pdf.
- [16]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_saum%C3%A2tre.
- [17]. <https://www.projetecolo.com/eau-saumatre-definition-caracteristiques-et-exemples-828.html>.
- [20] <https://www.algerie-eco.com>
- [21] <http://dspace.univ-tlemcen.dz>
- [22] <https://www.researchgate.net/figure/Evolution-de-levaporation-dans-les-barrages-algeriens-39-barrages>
- [23] <https://www.researchgate.net/figure/Variation-des-debits-de-fuites-dans-les-barrages-algeriens-22-barrages>
- [24] www.algerie360.com
- [25] <https://lestrepublicain.com/2024/01/28/penurie-deau-potable-a-bir-el-arch-la-mauvaise-gestion-pointee-du-doigt/>
- [26] <https://www.middleeasteye.net/fr/decryptages/algerie-penurie-eau-potable-secheresse-corruption-bouteflika>.
- [27] <https://afrique.le360.ma/algerie/societe/2021/06/29/34764-algerie-les-raisons-dune-grave-penurie-deau-potable-34764/>
- [28] [https://bing.com/searchq=Les+cons% c3% a9quences+du+manque+d% 5c% 27eau+potable+sur+l% 5c% 27Alg% c3% a9rie](https://bing.com/searchq=Les+cons%c3%a9quences+du+manque+d%5c%27eau+potable+sur+l%5c%27Alg%c3%a9rie) [29] <https://www.lnr-dz.com/2021/02/27/alerte-lalgerie-menacee-par-une-penurie-en-eau/>
- [30] <https://solarimpulse.com/penurie-d-eau>.

[31] <https://www.eea.europa.eu/fr/pressroom/newsreleases/secheresse-et-surexploitation-de-leau-en-europe>.

[32] <https://wilo.com/fr/fr/P%C3%A9nurie-d>.

[33] Algérie — Wikipédia.

[34] <https://www.energy.gov.dz/?article=projet-de-dessalement-de-leau-de-mer>

[35] source desaldata.com

[43] <https://energieplus-lesite.be/techniques/sterilisation5/osmoseur-inverse/> et Office International de l'Eau snide

https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_stations_de_dessalement_en_Algerie

ملخص

يعتمد تحسين كفاءة استخدام الطاقة في نظام تحلية المياه بالطاقة الشمسية التقليدي على الإدارة الدقيقة لانبعاثية الزجاج المستخدم للغطاء. هذه الخاصية، التي تحدد قدرة المادة على بعث الطاقة في شكل إشعاع حراري ضرورية للتحكم في التغيرات في درجات الحرارة داخل مكونات المقطر الشمسي. ومن خلال نمذجة العملية بالمعادلات التي تحكم سلوك النظام يصبح من الممكن ضبط هذه الخصائص وبالتالي تقليل فقدان الحرارة وتحسين الكفاءة العامة. تؤكد النتائج العددية والتجريبية أهمية هذه المعلمة، مما يدل على أن التعديلات العددية الدقيقة للانبعاثية يمكن أن تحسن بشكل كبير من كفاءة الطاقة. لذلك يعد تحسين انبعاثية الزجاج استراتيجية أساسية لتعظيم أداء أنظمة تحلية المياه بالطاقة الشمسية.

الكلمات المفتاحية

التحسين الانبعاثية، تحلية المياه بالطاقة الشمسية، التعديل الرقمي، كفاءة الطاقة،

Résumé

L'optimisation de l'efficacité énergétique d'un système de dessalement solaire conventionnel repose sur une gestion précise de l'émissivité du verre utilisé pour la couverture. Cette propriété, qui détermine la capacité d'un matériau à émettre de l'énergie sous forme de rayonnement thermique, est cruciale pour contrôler les variations de température au sein des constituants du distillateur solaire. En modélisant le procédé à travers des équations régissant le comportement du système, il devient possible d'ajuster ces propriétés, réduisant ainsi les pertes de chaleur et améliorant le rendement global. Les résultats numériques et expérimentaux confirment l'importance de ce paramètre, montrant que des ajustements numériques précis de l'émissivité peuvent significativement améliorer l'efficacité énergétique. Par conséquent, l'optimisation de l'émissivité du verre est une stratégie essentielle pour maximiser la performance des systèmes de dessalement solaire.

Mots clé

Optimisation, L'émissivité, dessalement solaire, ajustement numérique, l'efficacité énergétique,

Summary

Optimizing the energy efficiency of a conventional solar desalination system relies on precise management of the emissivity of the glass cover. This property, which determines the ability of a material to emit energy in the form of thermal radiation, is crucial for controlling temperature variations within the constituents of the solar still. By modeling the process through equations governing the behavior of the system, it becomes possible to adjust these properties, thereby reducing heat losses and improving overall efficiency. Numerical and experimental results confirm the importance of this parameter, showing that precise numerical adjustments of emissivity can significantly improve energy efficiency. Therefore, optimizing glass emissivity is an essential strategy to maximize the performance of solar desalination systems.

Keywords

Optimization, Emissivity, solar desalination, digital adjustment, energy efficiency,