

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Mécanique



## MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Sciences et Technologie

**Filière :** Génie Mécanique

**Parcours :** Master

**Spécialité :** Énergétique

### Thème

Contribution à la simulation numérique des transferts de chaleur par conduction, rayonnement et convection dans un distillateur solaire à effet de serre

Préparé par :

M<sup>elle</sup> : SENOUCI FATIMA ZOHRA

M<sup>elle</sup> BOUSSEKINE WAFAA

Soutenu publiquement le : 13/ 10 / 2020, devant le jury composé de :

M. CHAIB Khaled	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. ABED Belgacem	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. Bouzouini Mohammed	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. Hammou Mahmoud	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur

## ***Remerciements***

*Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur **DrHammou Mahmoud**, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bien vaillance qu'il trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude. Nous tenons aussi à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques, ainsi que les enseignants d'université d'Ibn Khaldoun sans oublier les enseignants étrangers qui sont contribué à notre formation. Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du département pour leur soutien inestimable. à tous nos enseignants qui ont initié aux valeurs authentiques, enseigne d'un profond respect et d'un profond amour !!!.* Merci à vous tous.

## ***Dédicace***

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie ce mémoire de Master à : à ma tendre Mère **Fatiha** : Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. À mon très cher Père **Abed el Kader**: aucune dédicace ne saurait exprimer L'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années. À mes frère : **Walid, Amine, Djilali, Hichem**. à mes sœurs: **Souad et Ghania, sarah**, et spécialement à la personne le plus proche à mon cœur **Aouf Ibrahim** Cette humble dédicace ne saurait exprimer mon grand respect mon grand amour et ma profond estime, que dieu vous procure bonne santé et longue vie. Mon binôme **Djimi** et toute sa famille .mes amies **Abir, Maysa, Bouchra, Asma, Fatima, Linda, Koka, Nadjia, Amel, Fatima, Mohamed, Kadirou, Youcef**, à tous les membres de ma promotion. A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études. À tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.*

***Boussekine wafaa***

# Dédicace

*A ma très chère mère **Zohra** Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affectation me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes cotes a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. À mon très cher père **Mohamed** tu as toujours été à mes cotes pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection à ma sœur **Loubna** et mes très chers frères **Ali** et **Islam***

*A mes meilleurs amies **Wafaa, Lili, imen, mokhetar** et **Kadda***

*A tous les membres de ma promotion.*

*A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.*

*À tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.*

***Senouci Fatima***

## **SOMMAIRE**

**Remerciement**

**Dédicace**

**Dédicace**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Nomenclature**

**Introduction générale.....1**

**Chapitre I Connaissance générale sur les techniques de dessalement .....2**

I.1 Introduction.....2

I.2 Définition de dessalement.....3

I.3 Bref sur le dessalement.....3

I.4 Historique de dessalement.....3

I.5 Pour quoi le dessalement.....4

I.6 Composition et salinité de l'eau de mer.....6

I.7 Dessalement en Algérie.....8

I.8 Présentation des différents procédés de dessalement .....10

I.9 Procédés de dessalement .....11

I.9.I Procédés par changements de phases.....11

I.9.1.1 La distillation.....11

I.9.1.2 Déroulement d'une distillation.....11

I.9.1.3 Les techniques de distillation .....11

I.9.1.3.1 Distillation à simple effet.....11

I.9.1.3.2 Distillation multiples effets (MED).....13

I.9.1.3.3 Distillation multi flash (MSF).....13

I.9.1.3.4 Distillation par compression de vapeur (MVC).....14

I.9.1.3.5 Distillation solaire.....15

I.9.1.3.f6 Distillation par congélation.....16

I.9.2 Procédés à membranes .....17

I.9.2.1 Osmose inverse (OI).....17

I.9.2.2 Electrodialyse.....18

I.10	Comparaison entre les différents procédés .....	19
I.10.1	Comparaison entre l'osmose inverse et les différents procédés de distillation.....	19
I.11	les inconvénients et les avantages de dessalement .....	20
I.11.1	Les inconvénients et les avantages de distillation.....	20
I.11.2	Les inconvénients et les avantages d'osmose inverse.....	21
I.11.3	Les Avantages et les inconvénients d'électrodialyse.....	21
<b>Chapitre II : Modélisation mathématique des phénomènes et simulation numérique...22</b>		
II.1	Introduction.....	22
II.2	Description et principe de fonctionnement de distillateur plan.....	22
II.3	Analyse fonctionnelle d'un distillateur solaire.....	23
II.3.1	Objectifs.....	23
II.3.2	Mise en situation.....	25
II.4	Considérations générales sur la modélisation adoptée.....	25
II.5	Hypothèses de calcul.....	26
II.6	Paramètres de fonctionnement.....	26
II.6.1	Paramètres externes.....	26
II.6.2	Paramètres internes .....	26
II.6.2.1	Paramètre géométrique.....	26
II.6.2.2	Paramètres de fonctionnement.....	27
II.7	Bilans énergétiques dans un distillateur simple .....	27
II.7.1	Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur.....	27
II.7.1.1	Echange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation.....	27
II.7.1.2	Echange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau.....	27
II.7.1.3	Echange de chaleur entre la vitre et l'ambient.....	27
II.7.2	Modélisation mathématique.....	27
II.7.2.1	Bilan du vitrage.....	28
II.7.2.2	Bilan thermique de la masse d'eau.....	29
II.7.2.3	Bilan thermique de l'absorbeur ou le bassin d'eau .....	29
II.7.2.4	Bilan thermique de l'isolant.....	29
II.7.2.5	Débit du condensat.....	30
II.8	Expression des différents coefficients de transfert de chaleur.....	30
II.8.1	Par rayonnement eau-vitre.....	30
II.8.2	Par convection eau-vitre.....	30
II.8.3	Par évaporation.....	31

II.8.4 Par rayonnement vitre-ambient.....	31
II.8.5 Par convection vitre-ambient.....	32
II.8.6 Par convection bassin-eau.....	32
II.8.7 Plaque plane horizontale.....	33
II.8.8 Par conduction Isolant-bassin.....	33
II.9 Résolution du système d'équations .....	34
II.9.1 Méthode de résolution.....	34
II.9.2 La simulation numérique .....	34
II.9.3 Principe de simulation.....	34
II.9.4 Programme.....	35
II.9.5 Simulation du fonctionnement du système de dessalement.....	35
II.9.5.1 Simulink.....	35
II.9.5.2 notions de bases .....	36
II.9.5.2.1 Le schéma bloc dans matlab-simulink.....	36
II.9.5.2.2 États de schéma bloc.....	37
II.9.5.2.3 Fonctions du système.....	37
II.9.5.2.4 Sous-systèmes.....	37
II.9.5.2.5 Créer une modèle de base.....	37
II.9.5.2.6 Simuler un système.....	40
II.9.5.2.6.a Initialisation.....	40
II.9.5.2.6.b Exécution.....	40
II.11 Organigramme.....	44
II.12 Les sous programment.....	45
<b>Chapitre III Résultats et interprétations.....</b>	<b>46</b>
III.1 introduction.....	46
III.2 Résultats numériques de la variation du rayonnement.....	47
III.3 Résultats numériques des variations de températures des éléments.....	48
III.3.1 L'évolution de la température de la vitre en fonction du temps.....	48
III.3.2 L'évolution de la température de la zone tampon en fonction du temps.....	50
III.3.3 L'évolution de la température de l'eau en fonction du temps.....	51
III.3.4 L'évolution de la température du bassin en fonction du temps.....	52
III.3.5 L'évolution de la température l'isolant en fonction du temps.....	53
III.4 Validation des résultats.....	54
III.4.1 Validation des résultats de la vitre.....	54

III.4.2 Validation des résultats de bassin.....	55
III.4.3 Validation des résultats de l'eau.....	56
III.4.4 Validation des résultats de l'isolant.....	57
III.4.5 Validation des résultats de la zone tampon.....	58
III.5 Conclusion.....	58
Conclusion générale.....	59
Références bibliographiques.....	60

## *Liste des figures*

<i>N°defigure</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
<b>Figure I.1</b>	Évolution de la température moyenne mondiale en combinant mesures d'instruments et données paléo climatiques et de la température moyenne canadienne et tendance des 50 dernières années	<b>5</b>
<b>Figure I.2</b>	Évolution mensuelle des anomalies standardisées de température pour le sud du Québec: moyenne mensuelle et moyenne mobile sur 12 mois	<b>6</b>
<b>Figure I.3</b>	Distillation à simple effet	<b>12</b>
<b>Figure I.4</b>	schéma distillation a multiple effets (MED)	<b>13</b>
<b>Figure I.5</b>	Principe de fonctionnement d'un système par détentes Successives(MSF) à 3 étages	<b>14</b>
<b>Figure I.6</b>	Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet aveccompression de vapeur	<b>15</b>
<b>Figure I.7</b>	Distillation solaire	<b>16</b>
<b>Figure I.8</b>	Principe de l'osmose et l'osmose inverse.	<b>17</b>
<b>Figure I.9</b>	Schéma De Principe d'une électrodialyse	<b>19</b>
<b>Figure II.1</b>	distillateur plan.	<b>22</b>
<b>Figure II 2 :</b>	Diagramme FAST tenant compte de l'environnement du système	<b>23</b>
<b>Figure II.3</b>	Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple	<b>28</b>
<b>Figure II.4</b>	Les blocs de simulation	<b>36</b>
<b>Figure II .5</b>	blocs de simulation dans fenêtre de Simulink	<b>38</b>
<b>Figure II .6</b>	blocs de simulation liés	<b>39</b>
<b>Figure II .7</b>	modèle Simulink	<b>41</b>
<b>Figure II .8</b>	paramètre du bloc	<b>42</b>
<b>Figure II .9</b>	Paramètre de simulation	<b>43</b>
<b>Figure III.1</b>	Evolution de l'irradiation solaire	<b>47</b>
<b>Figure III.2</b>	Variation des températures de la vitre (coté extérieur)	<b>48</b>
<b>Figure III.3</b>	Variation des températures de la vitre (coté intérieur)	<b>49</b>
<b>Figure III.4</b>	Variation des températures de la zone tampon	<b>50</b>
<b>Figure III.5</b>	Variation des températures de l'eau	<b>51</b>
<b>Figure III.6</b>	Variation des températures du bassin	<b>52</b>
<b>Figure III.7</b>	Variation des températures de l'isolant	<b>53</b>

<b>Figure III.8</b>	Évolution de la température de la vitre en fonction du temps	54
<b>Figure III.9</b>	Évolution de la température de bassin en fonction du temps	55
<b>Figure III.10</b>	Évolution de la température de l'eau en fonction du temps	56
<b>Figure III.11</b>	Évolution de la température de l'isolant en fonction du temps	57
<b>Figure III.12</b>	Évolution de la température de la zone tampon en fonction du temps	58

### *Liste des tableaux*

<b>N° de tableau</b>	<b>Titres</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I.1</b>	composition chimique de l'eau de mer.[9]	<b>7</b>
<b>Tableau I.2</b>	Les principales unités de dessalement en Algérie [9].	<b>9</b>
<b>Tableau I.3</b>	Comparaison entre osmose inverse et les procédés de distillation	<b>19</b>
<b>Tableau I.4</b>	avantages et inconvénients de distillation	<b>20</b>
<b>Tableau I.5</b>	Avantages et inconvénients d'osmose inverse	<b>21</b>
<b>Tableau I.6</b>	Avantages et inconvénients d'électrodialyse	<b>21</b>

## *Liste des Abréviations*

### **Nomenclature**

#### **Liste des acronymes (abréviation)**

<b>TDS</b>	taux de salinité
<b>OI</b>	osmose inverse
<b>MED</b>	distillation a multiple effet
<b>MSF</b>	distillation simple flache
<b>MFS</b>	Multi stage flash

**MES** Multiple effets

#### **Lettres grecques**

$\varepsilon$  : Coefficient d'émissivité

$\alpha$  : Coefficient d'absorption

$\rho$ : Masse volumique du fluide

#### **Nombre adimensionnelles :**

**$Nu$**  : Nombre de NUSSELT  $Nu = c (Gr Pr)^{0,25}$

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

**$Pr$**  : Nombre de PRANDLT  $Pr = \frac{\mu c_p}{k} = \frac{v}{a}$

## *Indices*

<b>indice</b>	<b>Désignation</b>
<b>A</b>	Ambiant
<b>B</b>	Bassin
<b>C</b>	Convection avec $Q$ et condensât avec $m$
<b>Evap</b>	Evaporation
<b>V</b>	Vitre
<b>E</b>	Eau
<b>I</b>	Isolant
<b>F</b>	Fond du distillateur ou fluide
<b>R</b>	Rayonnement
<b>Cond</b>	Conduction
<b>Eff</b>	Effectif
<b>E_V</b>	Eau - vitre
<b>V_A</b>	Vitre a l'ambient
<b>B_E</b>	Bac a l'eau
<b>I_B</b>	Isolant au bassin
<b>i</b>	Taux d'intérêt
<b>j</b>	Taux d'évolution du prix d'une variable (gain ou dépense)
<b>n</b>	Durée de vie économique de l'investissement
<b>h</b>	Coefficient de transfert de chaleur par convection
<b>Gh</b>	Irradiation solaire

### *Notations*

<i>Symbole</i>	<i>Signification</i>	<i>Unité</i>
<b>T</b>	Température	°C
<b><math>\Delta T</math></b>	Différence de température	°C
<b><math>Q</math></b>	Densité du Flux de chaleur	<b>W/m<sup>2</sup></b>
<b><math>Q_{Ev}</math></b>	Puissance d'évaporation	<b>W/m<sup>2</sup></b>
<b>P</b>	Pression de saturation	<b>Pa</b>
<b>V</b>	vitesse du vent	<b>m/s</b>
<b>K</b>	Conductivité thermique du fluide	<b>W/(m.K)</b>
<b>Cp</b>	Chaleur spécifique	<b>J/(kg.K)</b>
<b>T</b>	Temps	<b>s</b>
<b>Dm</b>	Débit du distillat	<b>Kg/s</b>
<b>U</b>	Coefficient global de pertes thermiques	-
<b>H</b>	Coefficient de transfert de chaleur	<b>W/(m<sup>2</sup>. K)</b>

## ***INTRODUCTION GENERALE***

Les besoins en eau potable dans le monde augmentent d'une manière continue, alors que les réserves souterraines se trouvent constamment diminuées. Les réserves d'eau saumâtres ont des teneurs en sel qui varient de 30g/l à 70g/l dépassant les normes exigées pour une eau potable. Le dessalement de ces eaux ou des eaux de mer par des unités classiques de traitement nécessite beaucoup d'énergie électrique et ou calorifique. Il s'avère que les régions où l'eau potable est un bien rare et l'énergie électrique nécessaire à la production de l'eau douce à partir d'eau saumâtre et ou d'eau salée souvent inexistante, soient les zones les plus ensoleillées du globe. Aussi l'homme de ces régions déshéritées pourra pallier aux contraintes de ravitaillement et fourniture énergétiques en s'intéressant à l'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement. Plusieurs types de distillateurs solaires ont été construits et essayés à travers le monde.

L'objectif essentiel de ce travail concerne une contribution à la simulation numérique des transferts de chaleur par conduction rayonnement et convection dans un distillateur solaire à effet de serre.

Afin d'accomplir au mieux cette étude, ce mémoire est structuré en trois chapitres.

**Le premier chapitre :** est consacré à la présentation de la connaissance générale sur les techniques de dessalement, et une recherche bibliographique concernant les différents types de distillateurs.

**Le deuxième chapitre :** présente l'étude théorique et la modélisation mathématique des modes de transferts de chaleur dans notre système de dessalement solaire de l'eau de mer à effet de serre.

**Le troisième chapitre :** est consacré à la simulation numérique sous le code « Matlab –Simulink » c'est-à-dire Modélisation et résolution numérique dont le but est d'avoir des résultats de calculs sous forme de graphes ,puis une étude comparative par rapport à des résultats obtenus par l'expérience de M<sup>elle</sup> Fedali S réalisée en 2007 à l'université de Batna.

Dans ce dernier chapitre nous exposons l'ensemble des résultats obtenus numériquement que nous interprétons.

Ce travail sera suivi d'une conclusion générale et des perspectives de réalisation.

# ***CHAPITRE I***

## **Chapitre I : Connaissance générale sur les techniques de dessalement**

### **I.1 Introduction**

La multiplication et l'aggravation des états de carence en eau sont en train de prendre mondialement une dimension de premier ordre. Le niveau des nappes phréatiques est en baisse et menace 1.5 milliards d'habitants sur la planète. Il n'est donc pas exclu que l'eau est amenée à devenir un enjeu stratégique international, pouvant engendrer de graves conflits régionaux. En Algérie, le déficit de cet or bleu est devenu inquiétant confirmant les diverses expertises partant d'hypothèse et usant de méthodologie différentes qui ont toutes conclu que notre pays se trouvera entre 2010 et 2025 confronté à cette pénurie quasi-endémique [1] climatiques, et un déficit hydrique estimé à 20 % durant les cinq dernières années [2]. L'augmentation des besoins d'une région demande une planification innovatrice des ressources hydriques. Il est clair que l'Algérie enregistre, d'un côté, un manque énorme en ressource au moment où les besoins augmentent et, d'un autre côté, le volume d'eau mobilisable et en Diminution, dus aux différents problèmes naturels et humains [3]. L'évolution des conditions climatiques et l'augmentation de la population amènent de nombreuses régions du monde à se trouver en manque d'eau. L'eau douce se trouve en quantité limitée sur terre et sa qualité est constamment menacée. De nombreuses solutions ont été envisagées pour pallier ce problème, Depuis une trentaine d'années, c'est évidemment le dessalement des eaux qui a été développé. De nos jours, la recherche dans le dessalement de l'eau est capitale du fait du manque d'eau croissant dans les pays où les ressources en eau sont trop faibles par rapport à la population et à l'agriculture. L'eau de mer représente donc une richesse quasiment inépuisable, mais uniquement si on peut la dessaler, car elle contient 1000 fois plus de sel que la limite fixée par l'un de procédés de dessalement pour pouvoir être consommée, donc les chercheurs de nombreux pays développent des techniques de dessalement de plus en plus performantes, afin de produire une plus grande quantité d'eau potable à un coût plus faible. Parmi ces techniques, l'osmose inverse, la distillation et l'électrodialyse. Notre pays qui dispose de ressources hydriques salines considérables et d'un gisement solaire tout aussi important, doit utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer, en les associant à des sources d'énergies renouvelables. Cette solution constitue un moyen assez fiable pour produire de l'eau potable. Ce moyen reste économiquement fiable seulement pour des unités de petites capacités allant de quelques m<sup>3</sup> à des dizaines de m<sup>3</sup> d'eau potable par jour. Pour de grandes capacités, l'association des procédés de dessalement avec les énergies renouvelables nécessitent des couts d'investissement élevés et fiabilité de tels systèmes n'est pas toujours assurée.

## **I.2 Définition de dessalement**

Le dessalement est une ressource alternative complémentaire. Appelé dessalage désalinisation est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée. En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce. S'assurer que le recours au dessalement est plus compétitif que d'autres alternatives, le dessalement d'eau répond à des besoins spécifiques et identifiés. Le dessalement d'eau est un des leviers de la stratégie nationale du secteur de l'eau, basée sur le principe de la gestion intégrée et durable des ressources en eau [4]. Le choix de la solution « dessalement » doit faire l'objet d'une comparaison technico-économique avec le transfert de l'eau douce ; Le dessalement permet :

- Le renforcement des ressources en eau.
- L'amélioration de la qualité de l'eau distribuée [5].

## **I.3 Bref sur le dessalement**

Le dessalement consiste à supprimer le sel d'une eau salée ou d'une eau saumâtre pour la rendre potable ou utilisable pour l'irrigation. C'est l'un des moyens mis en place pour lutter contre le manque d'eau en produisant de l'eau douce à partir de l'eau de mer.

## **I.4 Historique de dessalement**

Le dessalement de l'eau de mer s'est développé au cours des années cinquante et soixante. Dans un premier stade, quatorze procédés considérés comme prometteurs ont été analysés, mais finalement seuls deux d'entre eux ont survécu à l'épreuve du développement industriel : la distillation et l'osmose inverse. La distillation est la méthode la plus ancienne qui puisse répondre au dessalement de l'eau de mer dans le monde. Découverte par Aristote le IV<sup>ème</sup> siècle avant J-C, le philosophe grec a dit dans ses météorologiques. « L'expérience nous a appris que l'eau de mer est réduite en vapeur devient potable et le produit vaporisé, une fois condensé, ne reproduit pas l'eau de mer » [6]. Onze siècles plus tard, Adalard de Bath, un philosophe et naturaliste a décrit deux de ses expériences dans les questionnes naturelles : « au soleil, après l'évaporation sur un rocher, l'eau de mer se transforme en sel, lorsque le soleil fait défaut, on chauffe de l'eau de mer et sous l'effet de la cuisson on la voit également se transformer en sel. Cette métamorphose explique que l'eau de mer soit plus salée en été que l'hiver, que les mers méridionales le soient davantage que les mers septentrionales ». Ce chimiste nous explique dans un premier temps le principe de la vaporisation qui se produit naturellement et sans facteur extérieur, sur les roches qui se trouvent aux bordures des mers grâce à l'activité du soleil.

## *Chapitre I Connaissance générale sur les techniques de dessalement*

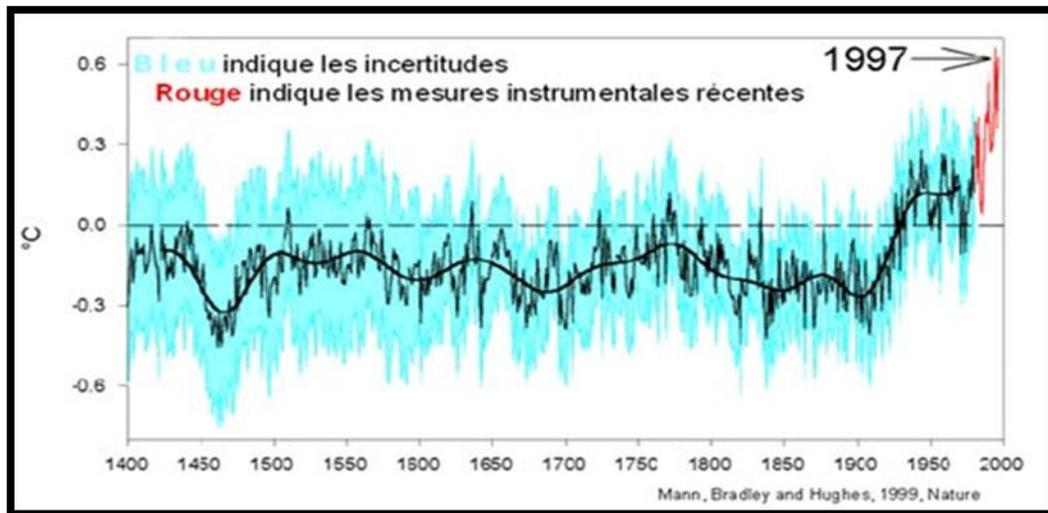
En effet, la salinité de l'eau de mer augmente en fonction de la proportion du sel retenu dans les roches, conséquence de la vaporisation [6]. Ce procédé a souvent été utilisé par les marins grecs qui eux dessalaient l'eau de mer dans leur croisades, ce qui leur permettait d'avoir des réserves d'eau buvable. Ces marins utilisaient le procédé le plus simple, ils utilisaient des casseroles et mettaient l'eau en ébullition et ainsi le sel restait au fond de ces enceintes et d'onc l'eau est dessalée [6]. Vient deux millénaires plus tard l'osmose inverse. Découverte en 1850, ce procédé ne s'appliquera pour le dessalement de l'eau de mer qu'en 1960. En effet, on devra attendre la deuxième moitié du XXème siècle pour que le concept de dessalage puisse se développer. En Europe, première usine de dessalement est construite sous le régime franquiste aux îles Canaries. La forte expansion du tourisme balnéaire et la forte demande en eau ont incité le général Franco à la construction de cette usine en 1964. C'est ainsi que l'usine Lanzarote est créée. De nombreuses autres usines seront construites à la suite de ce premier pas révolutionnaire au défi posé [6].

### **I.5 Pour quoi le dessalement**

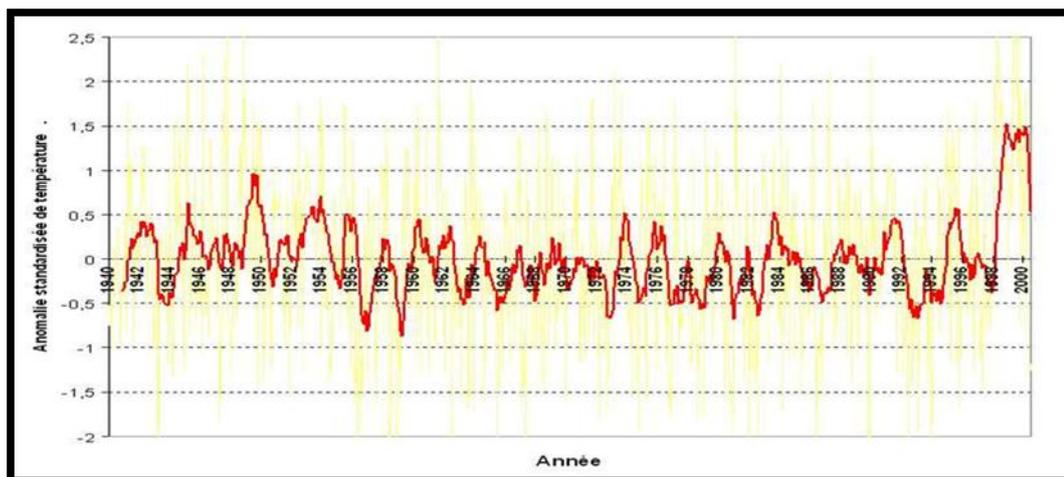
À l'échelle mondiale, la demande d'eau potable augmente en raison de sa rareté. Durant les dernières années le monde a vécu un changement climatique incroyable. En 1995 le Groupe Intergouvernemental sur L'évolution du climat (GIEC2) composé de plusieurs centaines de scientifiques provenant des quatre coins du monde est venu confirmer par écrit ce qu'une majorité de scientifiques savaient déjà depuis quelques années : «les faits observés concordent pour indiquer une influence perceptible de l'homme sur le climat3». Au niveau mondial, la température moyenne a augmentée d'environ 0,5 C° depuis le début du siècle alors qu'elle a augmenté d'environ 1C° au Canada (figure I.1) [7]. Par contre, il ne faut pas croire que cette tendance globale devrait aussi se détecter à l'échelle des régions. Au contraire puisque l'atmosphère est un fluide complexe qui peut générer d'importantes fluctuations climatiques temporaires qui rendent la détection de tendances parfois difficile à faire, surtout dans une perspective régionale ou locale. Par exemple, l'été frais qui a affecté le sud du Québec en 2000 ne change en rien le fait que globalement et à long terme, le climat se réchauffe. Il faut toujours garder à l'esprit qu'à ces tendances globales au réchauffement s'ajoutent l'incontournable variabilité naturelle du climat qui est fonction du flux solaire, des courants océaniques, de la couverture de neige et de glace, des éruptions volcaniques, etc. Avant de confirmer le réchauffement à l'échelle de la planète, le GIEC s'est assuré que la tendance détectée était belle et bien statistiquement significative et qu'elle se démarquait de la variabilité naturelle du climat. La confirmation d'un réchauffement statistiquement significatif à l'échelle de toutes les régions du globe,

## Chapitre I Connaissance générale sur les techniques de dessalement

comme celle du sud du Québec par exemple (figure I.2)[7], se fera certainement attendre. Fait intéressant par contre, cette dernière figure montre de façon claire le régime climatique anormalement chaud qui a dominé le sud du Québec entre janvier 1998 et mars 2000.) [7].



**Figure I.1 : Évolution de la température moyenne mondiale en combinant mesures d'instruments et données paléo climatiques et de la température moyenne canadienne et tendance des 50 dernières années [7].**



**Figure I.2 : Évolution mensuelle des anomalies standardisées de température pour le sud du Québec: moyenne mensuelle et moyenne mobile sur 12 mois [7].**

## Chapitre I Connaissance générale sur les techniques de dessalement

Augmentation de la population (Nous sommes aujourd'hui 7,7 milliards d'individus sur Terre. En 2050, nous serons 9,7 milliards et 10,9 milliards en 2100 selon le dernier rapport de l'Organisation mondiale des Nations Unies.) [8].

### **I.6 Composition et salinité de l'eau de mer:**

La salinité des mers ouverte sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, pacifique) est de l'ordre de 35g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitations-évaporation. La salinité peut être très déférent dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques :

**Tableau I.1 : Salinités d'eau de mers**

<b>Les mers</b>	<b>La salinité</b>
Mer Méditerranée :	36 à 39g /l
Mer Rouge :	40g/l
Mer Baltique :	07g/l
Mer Caspienne :	13g/l
Mer Morte :	270g/l
Golfe arabo-persique :	40 à 70g/l
Mer Noire :	20g/l

Toutefois, dans le cas des mers ouvertes, la proportion des différents sels en présence est relativement constante comme le montre( le tableau I.2) En particulier la somme des ions chlorure et sodium représente environ 85% des poids total des sels. En revanche, dans les mers fermées ou les grands lacs salés, la concentration par évaporation à partir d'apports d'eaux de surface faiblement salées mais relativement différentes de celle de l'eau de mer Conduit quelquefois à des compositions ioniques très particulières.

**Tableau I.2 : composition chimique de l'eau de mer.[9]**

		Eau de mer standard	
		Ppm	%
<b>Salinité totale</b>		35000	
<b>Cations</b>	<b>Sodium</b>	10760	30,7
	<b>Magnésium</b>	1294	3,7
	<b>Calcium</b>	412	1,2
	<b>Potassium</b>	387	1,1
	<b>Total cation</b>	12853	
<b>Anions</b>	<b>Chlorures</b>	19353	55,3
	<b>Sulfates</b>	2712	7,7
	<b>Bicarbonates</b>	142	0,4
	<b>Bromures</b>	67	0,2
	<b>Total anions</b>	22274	

### **I.7 Dessalement en Algérie :**

A la suite d'une sécheresse vécue par l'Algérie depuis plus de deux décennies et la demande en eau croissante. le pouvoir public a-t-on décidé de s'orienter vers une Politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, à savoir le dessalement d'eau de mer afin de pouvoir compenser le déficit en eau enregistré. C'est ainsi que le recours au dessalement d'eau de mer comme solution alternative s'avère de plus nécessaire et présente les avantages suivants :

- Une cote de littoral de 1200 Km ;
- La population actuelle concernée par le littoral est de 11 millions habitants

## Chapitre I Connaissance générale sur les techniques de dessalement

- Les industries grandes consommatrices d'eau se trouvent à proximité de la mer ce qui réduit davantage les prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau
- Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable, grâce au développement des différents procédés
- La disponibilité de la ressource énergétique ou la combinaison de sa production
- Le coût du m<sup>3</sup> d'eau dessalée est en nette régression, alors que le coût du m<sup>3</sup> d'eau conventionnelle est en nette progression (grands transferts) [9].

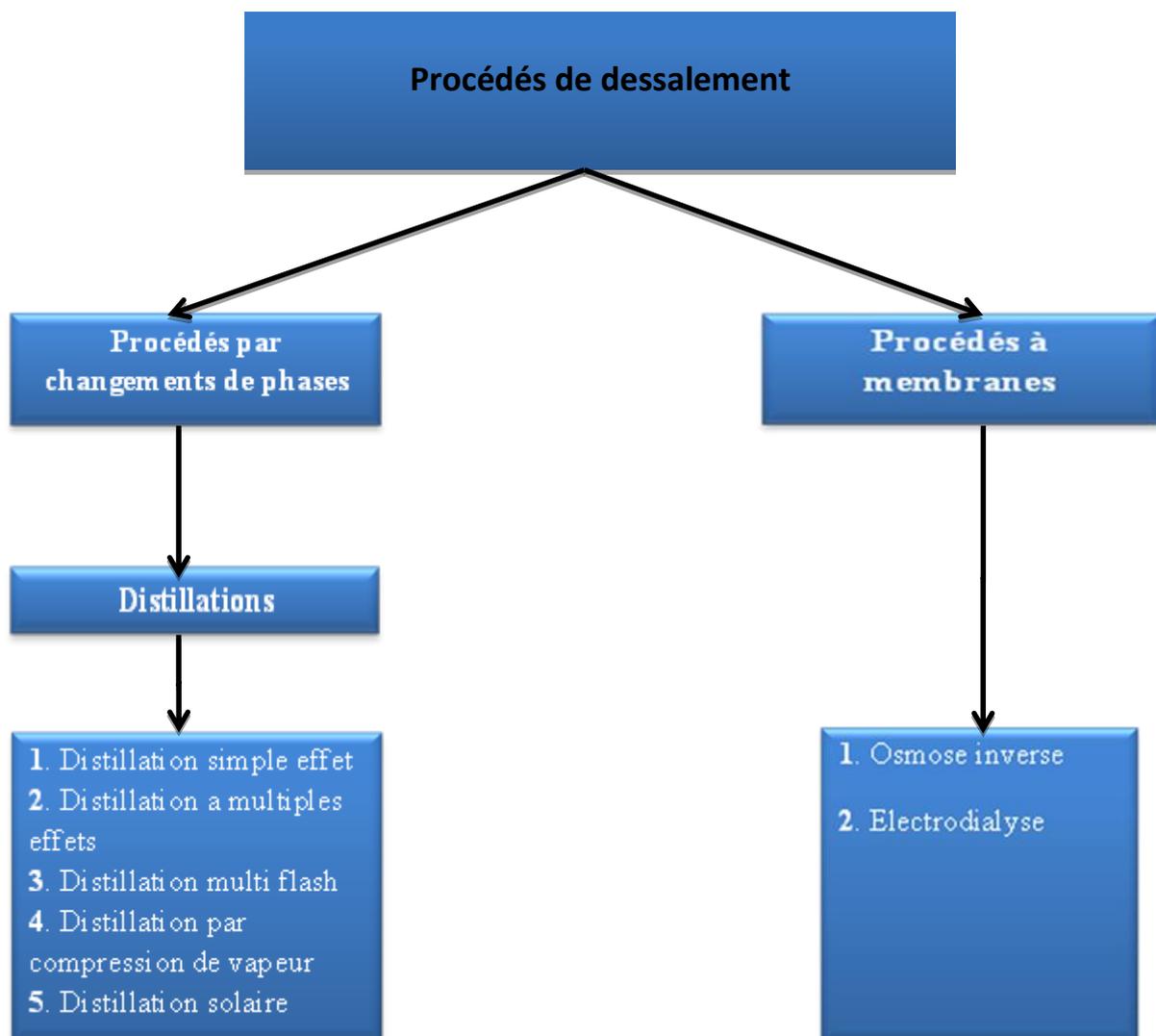
Nous citons les stations de dessalement en Algérie (Tableau I.3)

**Tableau I.3 : Les principales unités de dessalement en Algérie [9].**

<b>Nom</b>	<b>Wilaya</b>	<b>Année de mise en service</b>	<b>Capacité (m<sup>3</sup>/J)</b>
<b>Kahrama Arzew</b>	<b>Oran</b>	2005	90 000
<b>El-Hamma</b>	<b>Alger</b>	2008	200 000
<b>Skikda</b>	<b>Skikda</b>	2009	100 000
<b>Beni saf</b>	<b>Ain Temouchent</b>	2009	200 000
<b>Mostaganem</b>	<b>Mostaganem</b>	2010	200 000
<b>Honaine</b>	<b>Tlemcen</b>	2010	200 000
<b>Ouled Ben Ayad</b>	<b>Tlemcen</b>	2010	200 000
<b>Douaouda</b>	<b>Alger</b>	2010	120 000
<b>Cap Djenet</b>	<b>Boumerdes</b>	2010	100 000
<b>Mactaa</b>	<b>Oran</b>	2010	500 000
<b>Oued Sebt</b>	<b>Tipaza</b>	2010	100 000
<b>Tenès</b>	<b>Chlef</b>	2010	200 000
<b>Echatt</b>	<b>Taraf</b>	2011	50 000
<b>Total</b>			2 260 000

## **I.8 Présentation des différents procédés de dessalement**

La plupart des procédés commerciaux de dessalement de l'eau de mer ayant démontré leur fiabilité, la technique se divise en deux grandes familles : les procédés faisant intervenir l'évaporation et les procédés de séparation par membranes. L'ensemble des procédés utilisant la technique de distillation (sauf le procédé compression de vapeur, VC) utilisent l'énergie thermique. Les procédés utilisant les membranes, ainsi que la VC, font appel à l'énergie électrique ou mécanique. Il existe à l'heure actuelle plusieurs procédés de dessalement qui peuvent être classés en trois grandes catégories suivant le principe utilisé



## **I.9 Procédés de dessalement**

### **I.9.I Procédés par changements de phases**

#### **I.9.1.1 La distillation**

La distillation est une technique de séparation des constituants d'un mélange. Elle est surtout efficace pour les mélanges homogènes. Cette technologie est la plus ancienne utilisée pour dessaler l'eau de mer commercialement. C'est un énorme consommateur d'énergie 1000 kWh par mètre cube d'eau douce produit lorsque l'énergie n'est pas gratuite. Dans ces procédés, l'eau de mer chauffée produite de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir l'eau douce (La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels). L'inconvénient majeur de ce type de procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer un kg d'eau liquide en vapeur à la même température, il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100°C). Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point.

#### **I.9.1.2 Déroulement d'une distillation**

Dans tous les appareils les distillateurs correspondent différents processus a l'arrangement suivant [9] :

- Sources d'énergie (thermique ou mécanique)
- Transfer de l'énergie sous forme thermique a l'eau salée
- Evaporation partielle
- Transfert de vapeur vers un condenseur
- Condensation de la vapeur et extraction de calorie de l'eau condensée
- Evacuation ou recyclage de ces calories

#### **I.9.1.3 Les techniques de distillation**

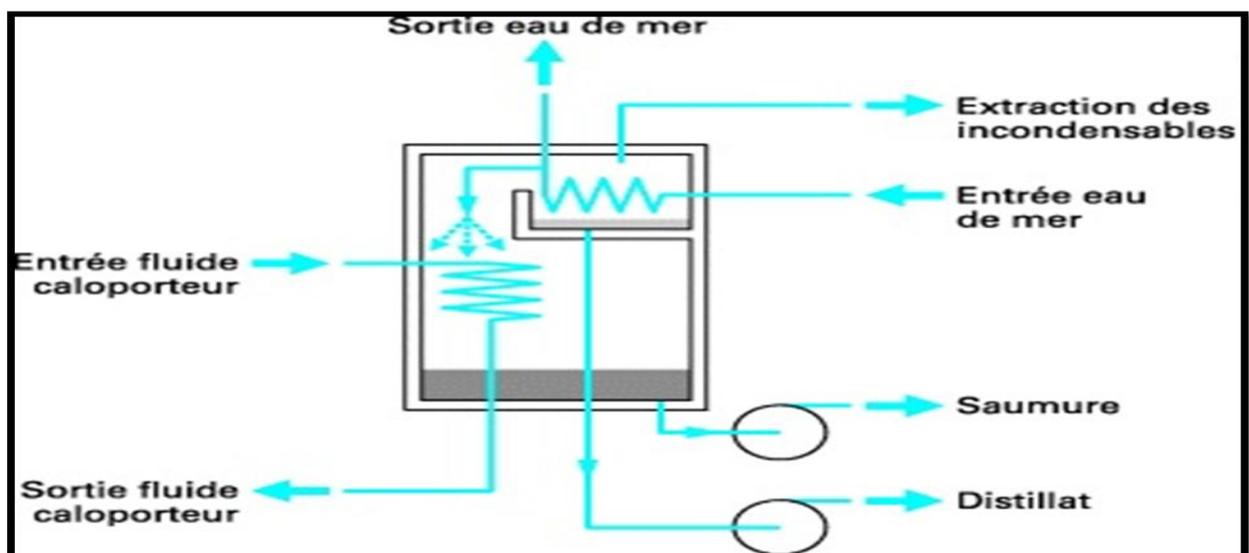
##### **I.9.1.3.1 Distillation à simple effet**

On chauffe l'eau et on condense la vapeur obtenue qui se trouve ainsi débarrassée du sel. En effet, les sels dissous dans l'eau n'étant pas vaporisables dans les mêmes conditions que l'eau, la vapeur obtenue par chauffage d'eau salée est constituée d'eau pure. Le changement de phase de l'eau de l'état liquide à l'état vapeur, appelé vaporisation, s'effectue à une température bien déterminée dépendant de

## Chapitre I Connaissance générale sur les techniques de dessalement

la pression à laquelle on opère, la température d'ébullition étant d'autant plus élevée que la pression est forte. Pour que le changement de phase puisse s'opérer, nous devons fournir à chaque unité de masse de l'eau à vaporiser une quantité de chaleur appelée chaleur latente de vaporisation. Ainsi, pour transformer 1kg d'eau en 1kg de vapeur à 100°C, il faut fournir environ 2250 KJ.

Lors de la transition inverse (liquéfaction) s'opérant lors de la condensation, la chaleur latente est récupérée (chaleur de condensation, toujours nettement plus faible que la chaleur latente de vaporisation). Malheureusement, la chaleur latente de vaporisation de l'eau est assez élevée et le rendement énergétique de la distillation est très mauvais (625 kWh/m<sup>3</sup> produit), ce qui la rend économiquement non viable, sauf si l'on dispose d'un fluide de chauffage en abondance comme sur les navires avec l'eau de refroidissement des groupes diesel ou avec les gaz d'échappement de ces groupes. Dans ce cas, dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (figure 03) [10].



**Figure I.3 : Distillation à simple effet [10].**

La vapeur produite se condense au contact d'un second serpentin alimenté par de l'eau de mer froide. L'eau pure condensée est recueillie dans un réceptacle situé sous le serpentin d'eau froide d'où un groupe électropompe la soutire. Une pompe évacue les gaz incondensables et une autre pompe évacue à la mer l'eau de mer concentrée ou saumure.

### I.9.1.3.2 Distillation multiples effets (MED)

Ce procédé est basé sur l'évaporation d'une partie de l'eau de mer chauffée à une température de 70 à 80°. L'évaporation a lieu sur une surface d'échanges où une chaudière fait bouillir l'eau. La vapeur produite dans le premier bassin est condensée et s'évapore vers le tuyau qui passe vers le second bassin et va le réchauffer et faire évaporer l'eau du second bassin qui va faire de même avec le troisième bassin. Les vapeurs contenues dans les tuyaux sont récupérées dans un autre bassin. Un tuyau amène continuellement de l'eau dans les bassins au fur et à mesure de l'évaporation. La saumure est évacuée vers l'extérieur. Cette technique est peu coûteuse car seul le premier bassin nécessite une source de chaleur extérieure pour faire évaporer l'eau

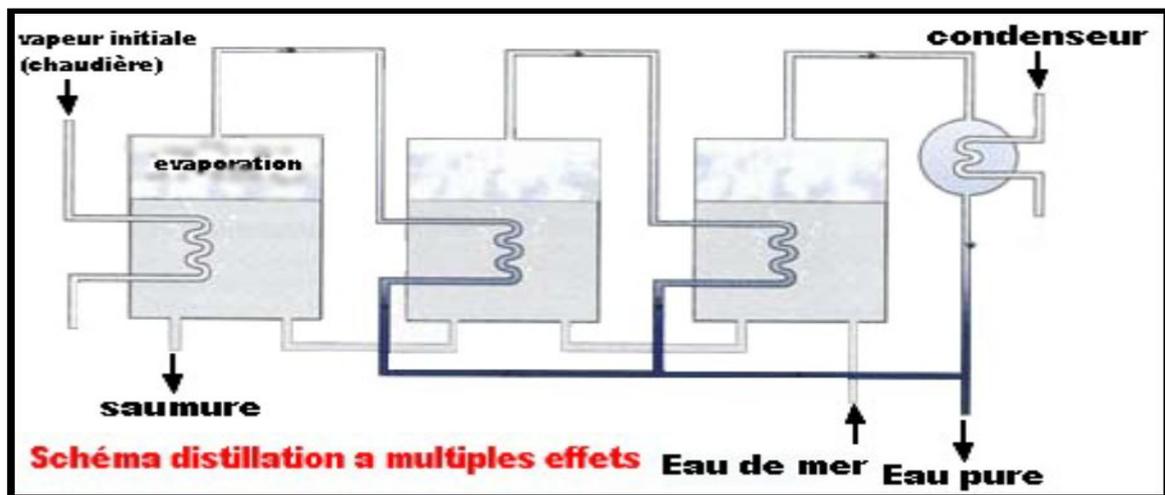
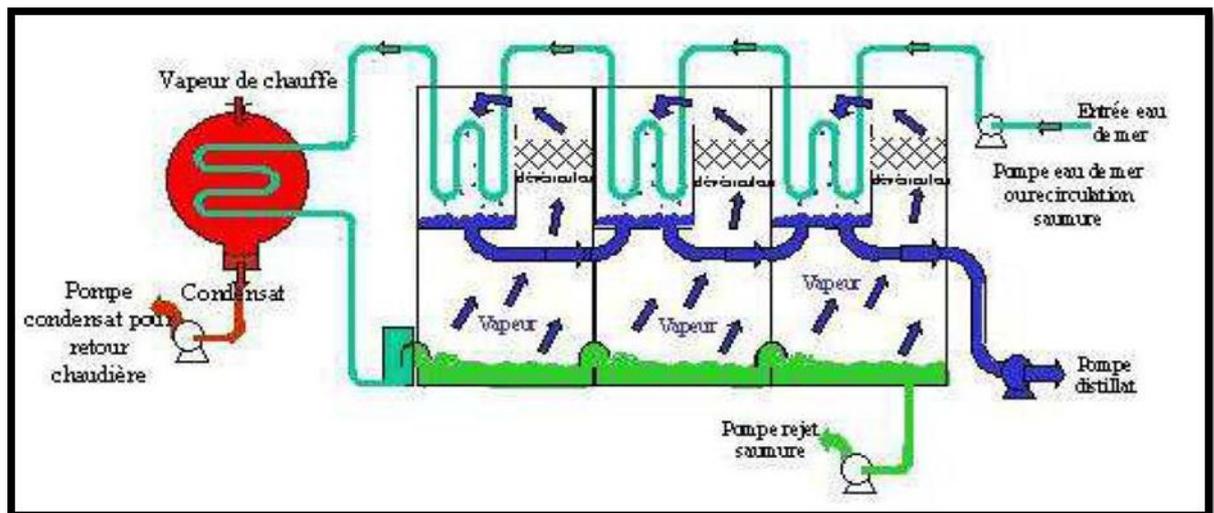


Figure I.4: schéma distillation a multiple effets (MED) [11].

### I.9.1.3.3 Distillation multi flash (MSF)

Cette technique est quasiment identique à la précédente. Ce procédé a pour but de maintenir la pression durant la durée du chauffage. Une fois que la température est arrivée à 120°, elle est introduite dans un "étage" où la pression est faible. Instantanément, une vaporisation par détente a lieu, appelée flash. Une partie de l'eau s'évapore et va se placer dans les tubes condenseurs en haut de l'étage. L'eau de mer chaude se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Ce phénomène sera réutilisé dans le second étage où la pression est plus faible et ainsi de suite.

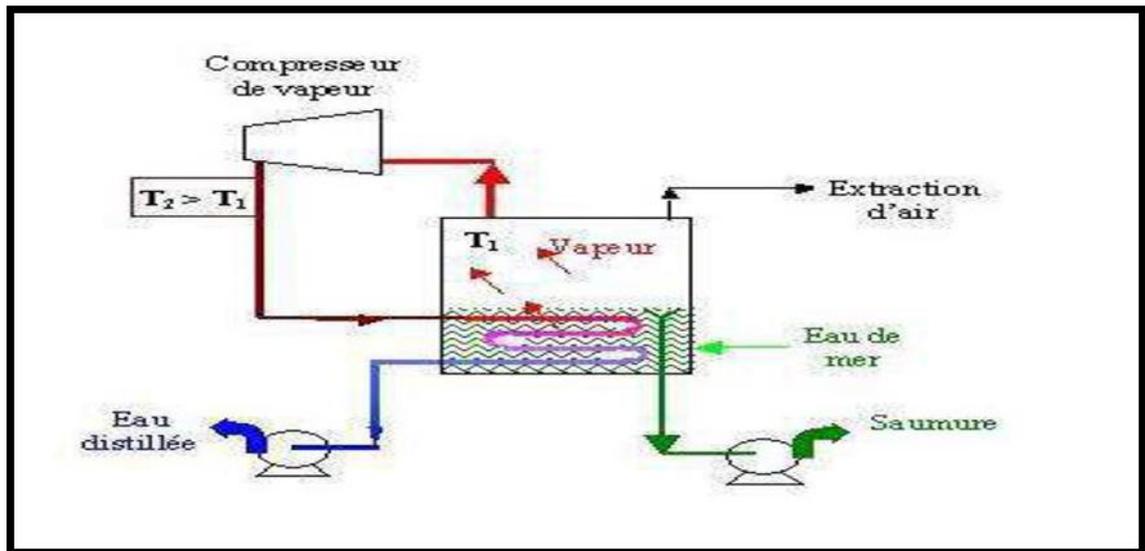
Dans une unité MSF industrielle, on peut retrouver jusqu'à 40 étages. De même que pour la distillation multiples effets, le coût est réduit et seule la chaudière nécessite une énergie extérieure [11]



**Figure I.5 : Principe de fonctionnement d'un système par détonées Successives (MSF) à 3 étages [12].**

#### **I.9.1.3.4 Distillation par compression de vapeur (MVC)**

Lors de la distillation par compression de vapeur, l'eau de mer est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'évaporation de l'eau salée. Ce procédé permet d'obtenir une production maximum 5 000 m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup> avec une salinité de 1 à 50 mg.L<sup>-1</sup> pour une consommation énergétique de 12 à 17 kWh.m<sup>3</sup> d'eau produite [13].

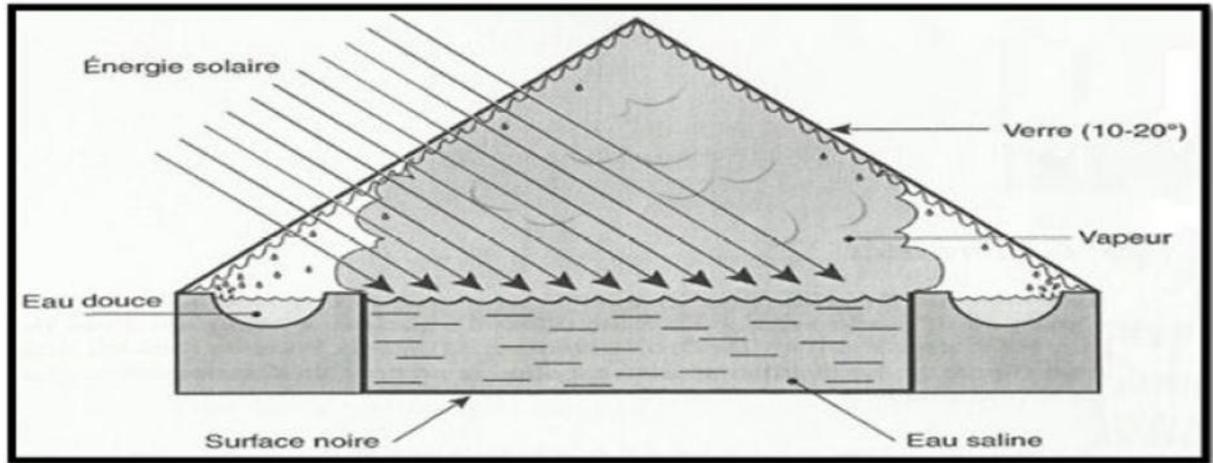


**Figure I.6 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur (MVC)[12].**

### **I.9.1.3.5 Distillation solaire**

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 réfléchiée 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 goutte de recueil. Avec des appareils bien conçus, on a pu obtenir un rendement de captage de l'énergie solaire voisin de 70%.

On utilise surtout la distillation solaire pour obtenir des petites quantités d'eau douce. Cette méthode est fréquemment utilisée dans les îles grecques et en Polynésie par l'énergie Solaire globale qui atteint le sol dans les régions tropicales et «équatoriales et qui est d'environ 58.6 kJ (m<sup>2</sup>.min)[14].



**Figure I.7 : Distillation solaire [15].**

### **I.9.1.3.6 Distillation par congélation**

Il est possible de dessaler l'eau par congélation qui est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce. Les opérations unitaires d'un procédé de dessalement par congélation sont :

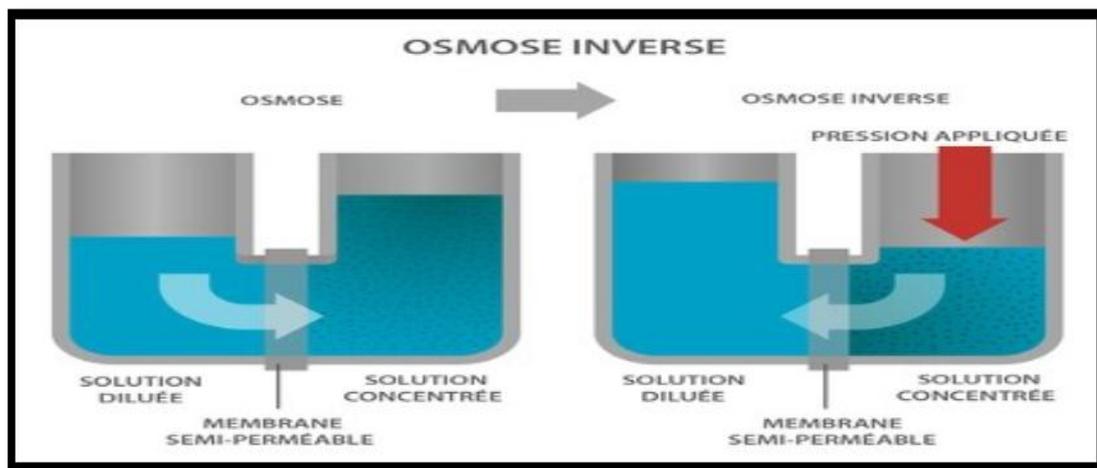
1. le prétraitement de l'eau de mer (élimination des solides en suspension, élimination des gaz dissouts pour les procédés sous vide),
2. la formation des cristaux de glace à partir de la solution saline (pour les procédés en suspension, des cristaux de grande taille sont souhaités pour faciliter le lavage),
3. le lavage et/ou ressuage des cristaux de glace (pour les procédés continus, lavage dans une colonne par environ 5% de l'eau produite),
4. la fusion des cristaux de glace [16].

Dans les régions où la température de l'air demeure suffisamment longtemps inférieure à la Température de congélation de l'eau à traiter, Le dessalement peut se faire par congélation Naturelle.

## I.9.2 Procédés à membranes

### I.9.2.1 Osmose inverse (OI)

L'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. C'est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires [17]. Le phénomène d'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler. Si, pour simplifier, on suppose que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique se traduit par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée ; c'est le phénomène d'osmose inverse [14]. Cette technique est utilisée pour : Le dessalement des eaux saumâtres ; le dessalement des eaux de mer ; la production d'eau ultra pure.



**Figure I.8 : Principe de l'osmose et l'osmose inverse.**

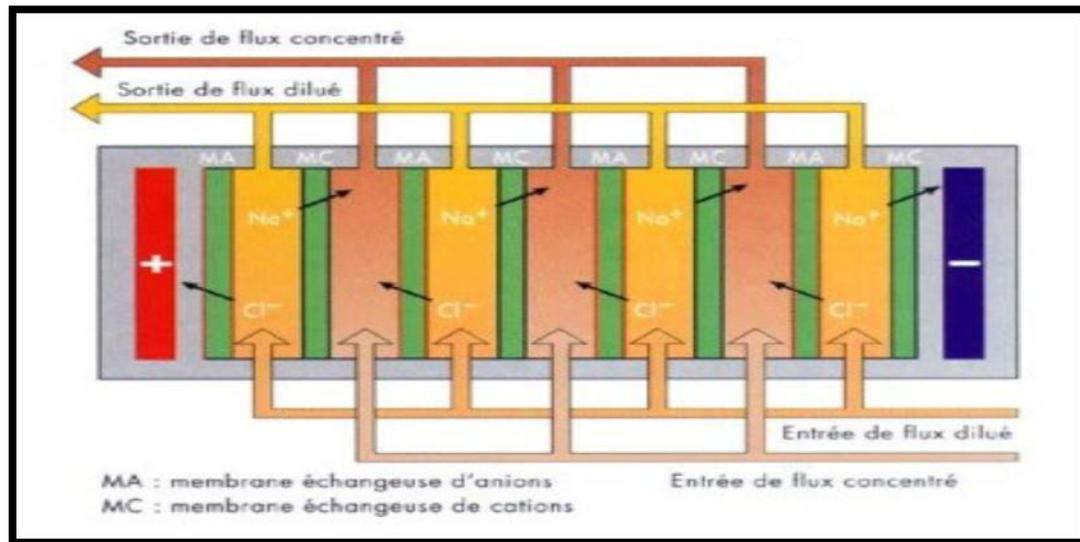
Plusieurs industriels comme Coca Cola vendent de l'eau osmose dans les pays qui ont peu de ressources en eau potable, et intègrent de l'eau osmose dans leurs sodas. Le centre de traitement ultra-moderne de Méry-sur-Oise qui alimente 320.000 foyers du nord-ouest de l'Ile-de-France, utilise lui aussi ce procédé [19].

### **I.9.2.2 Electro dialyse**

L'électrodialyse est un procédé chimique qui permet de séparer les ions  $\text{Na}^+$  et les ions  $\text{Cl}^-$  contenus dans une solution salée afin de ne conserver que les molécules d'eau.

Un électro dialyseur est composé de plusieurs compartiments séparés alternativement par des membranes anioniques ou cationiques et à chaque extrémité du système on dispose une cathode et une anode. Une membrane anionique ne laisse passer que les anions, c'est-à-dire les ions  $\text{Cl}^-$ , et une membrane cationique ne laisse passer que les cations, c'est-à-dire les ions  $\text{Na}^+$ . Ces membranes sont des parois minces, denses et insolubles entre deux phases aqueuses. Le transfert des ions à travers une membrane est accompli par l'action d'un champ électrique. Les procédés électro dialytiques utilisent des membranes organiques composées de matériaux similaires à ceux des résines échangeuses d'ions. La structure de la membrane est fabriquée à partir d'un matériau polymère, comme du chlorure de polyvinyle (PVC). La nature des ions détermine le type de membrane : les membranes cationiques sont perméables aux cations (membranes échangeuses de cations, MC) et les membranes anioniques sont perméables aux anions (membranes échangeuses d'anions, MA). Parfois un prétraitement de la solution est nécessaire. En effet les particules en suspension d'un diamètre supérieur à 10 nm sont susceptibles de boucher les pores de la membrane. De plus certaines substances chimiques sont capables de neutraliser les effets sélectifs de la membrane tels que les anions organiques de grandes tailles, les oxydes de fer ou de manganèse.

Les cations sont attirés par la cathode et traversent donc une membrane cationique Pour se diriger vers cette électrode. Les anions sont au contraire attirés par l'anode et traversent une membrane anionique pour se diriger vers cette autre électrode. Ainsi, chaque ion après avoir traversé une membrane se retrouve « pris au piège » dans le compartiment suivant, et les compartiments qu'ils ont quittés ne sont plus que remplis de molécules d'eau. Ces compartiments s'appellent compartiments de dilution .On obtient ainsi de l'eau pure. Toutefois se pose le problème des compartiments de concentration, car si certains s'appauvrissent en sel, d'autres s'enrichissent logiquement en sel dissous [13].



**Figure I.9: Schéma De Principe d'une électrodialyse [20].**

L'électrodialyse est adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est inférieure à celle de l'eau de mer. C'est une technique assez peu consommatrice en énergie mais elle ne convient qu'à la faible préparation de liquide.

## **I.10 Comparaison entre les différents procédés**

### **I.10.1 Comparaison entre l'osmose inverse et les différents procédés de distillation**

**Tableau I.3 : Comparaison entre osmose inverse et les procédés de distillation [21].**

	<b>MED</b>	<b>MSF</b>	<b>MVC</b>	<b>OI</b>
<b>Température de fonctionnement</b>	<b>&lt;70</b>	<b>&lt;120</b>	<b>&lt;70</b>	<b>&lt;45</b>
<b>Principale source d'énergie</b>	<b>Chaleur +Courant</b>	<b>Chaleur +Courant</b>	<b>Courant Electrique</b>	<b>Courant Electrique</b>
<b>Consommation Thermique (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>06</b>	<b>12</b>	<b>12-17</b>	
<b>Consommation Electrique (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1.5</b>	<b>3.5</b>	<b>08à14</b>	<b>04à07</b>
<b>Salinité de L'eau Brute (g.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>30à100</b>	<b>30à100</b>	<b>30à50</b>	<b>1à45</b>
<b>Salinité de L'eau Traitée (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;500</b>

## Chapitre I Connaissance générale sur les techniques de dessalement

D'après le tableau I-3 ,le procédé le plus répandue au monde pour le dessalement est l'osmose inverse et les procédés de distillation consomment plus d'énergie que leurs concurrent membranaires, notamment l'osmose inverse. Or le choix d'un type de procédé est lié à la nature des ressources en eau et des ressources énergétiques des pays Par exemple, les pays du Moyen-Orient utilisent la distillation thermique ce qui est dû à la présence sur place d'énergies fossiles et la forte salinité des eaux de mer locales (55 g.L-1 dans le Golfe Persique). Les procédés de distillation consomment plus d'énergie que leurs concurrents membranaires, notamment l'osmose inverse [21].

### **I.11les inconvénients et les avantages de dessalement**

#### **I.11.1 Les inconvénients et les avantages de distillation**

**Tableau I.4 : Avantages et inconvénients de distillation.**

<b>Les avantages</b>	<b>Les inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>-Procédé rentable.</li><li>-Produire une eau très pure et de haute qualité.</li><li>-ce procédé reste le moins cher de tous les procédés.</li><li>-la distillation nécessite une maintenance peu importante par rapport au dessalement par osmose inverse.</li><li>-la distillation ne requiert aucun additif chimique lors de l'étape de prétraitement.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-consommer énormément d'énergie.</li><li>-le prix est assez cher.</li><li>- Nécessité d'évacuer les gaz incondensables lors des prétraitements.</li><li>- Elle demande des connaissances technologiques très importantes.</li></ul>

### I.11.2 Les inconvénients et les avantages d'osmose inverse

Tableau I.5 : Avantages et inconvénients d'osmose inverse.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Systèmes modulaires.</li><li>- Faible consommation énergétique en comparaison avec les procédés de distillation.</li><li>- Fonctionnement entièrement automatisé possible.</li><li>- Température de fonctionnement faible.</li><li>- le faible coût d'investissement.</li></ul>	<p>L'eau produite par ce procédé contient trop peu d'ions.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Risque de colmatage, et d'encrassement.</li><li>- Les pertes en eau sont très importantes.</li><li>- Pressions élevées requises.</li><li>- Flux de per méat faibles</li></ul>

### I.11.3 Les Avantages et les inconvénients d'électrodialyse

Tableau I.6 : Avantages et inconvénients d'électrodialyse

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>-très adapté au dessalement en laboratoire</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Consommation d'électricité élevée.</li><li>-Ne peut dessaler que les eaux saumâtres.</li></ul>

# ***CHAPITRE II***

## Chapitre II : Modélisation mathématique des phénomènes

### II.1 Introduction

Notre travail vise à développer les modes de transfert thermique existant dans le distillateur insistant particulièrement sur les phénomènes de transfert à l'intérieur du distillateur solaire et les équations relatives à l'algorithme de simulation numérique. Cette partie est le noyau de notre travail.

### II.2 Description et principe de fonctionnement de distillateur solaire plan

Ce système de distillateur est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre, la partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau (eau saumâtre ou eau de mer). Sous l'action de flux solaire, transmis par la couverture transparente l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci s'évapore, la vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensât est récupéré par un récepteur, un appoint d'eau compense le débit de distillât. Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur les parois latérales et inférieures sont isolées..

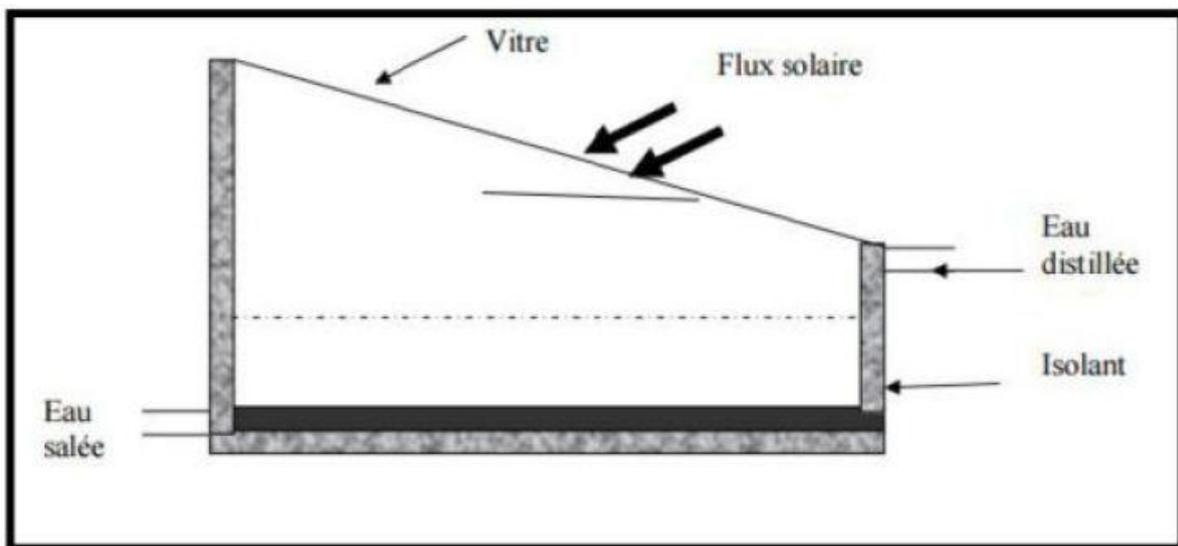
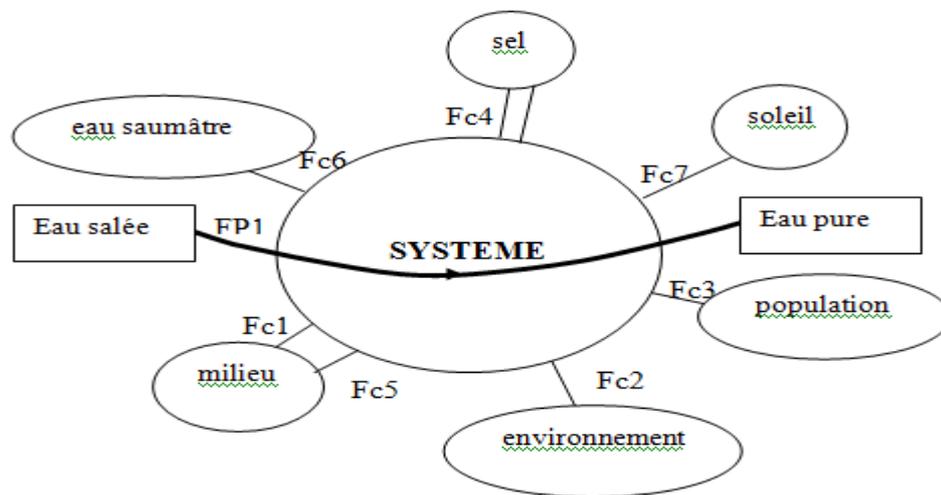


Figure II.1 : distillateur plan.

## II.3 Analyse fonctionnelle d'un distillateur solaire

### II.3.1 Objectifs

L'objectif de l'installation est de pouvoir dessaler des eaux saumâtres de certaines nappes d'eau ou forage, situées dans le milieu rural. Les localités ciblées sont isolées et peuplées d'environ 100 à 150 habitants. L'eau ainsi dessalée servira directement dans les maraîchages ou indirectement (après aération, minéralisation, ...) à la consommation. Dans l'optique de minimiser les coûts énergétiques lors du fonctionnement, l'énergie solaire, gratuite et disponible, sera une priorité. Soumis à ces objectifs, la mise en œuvre de l'unité de dessalement se heurtera alors à certaines contraintes. Afin de décrire le cahier des charges, nous donnons ci-dessous sous forme schématique (diagramme FAST : Function Analysis Systems Tech) l'ensemble des conditions à satisfaire, exprimées sous forme



FP : fonction principale

Fc: fonction complémentaire

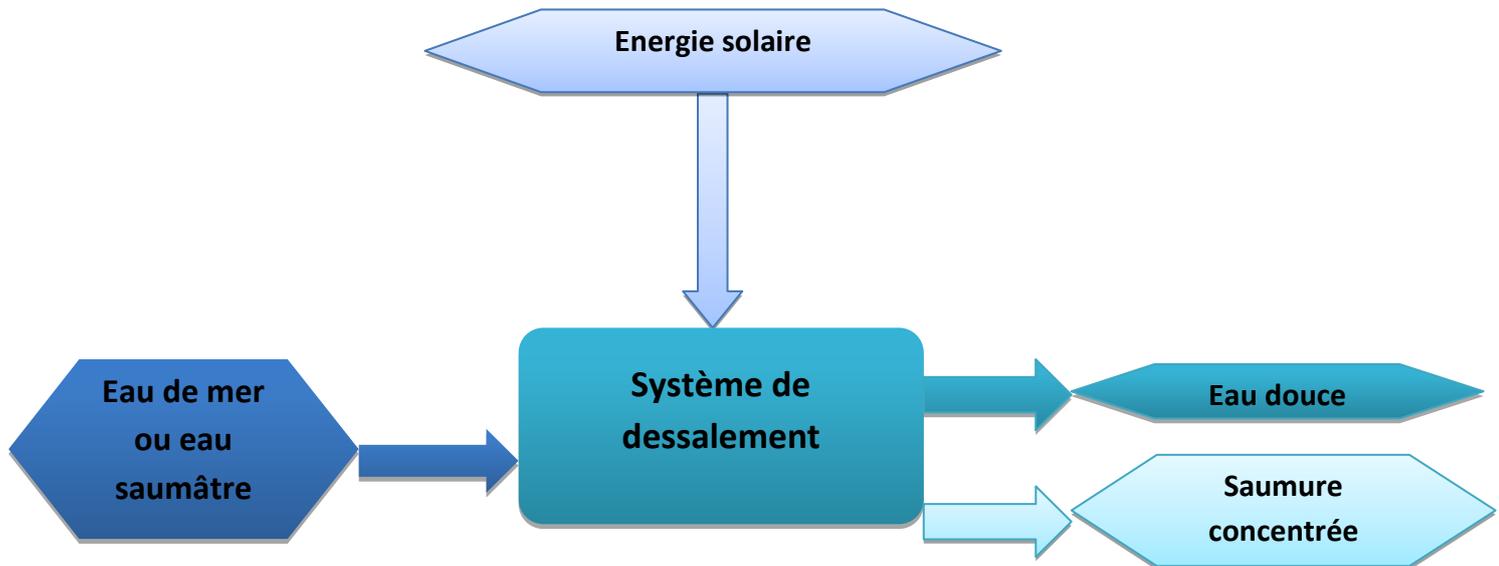
**Figure II -2 :** Diagramme FAST tenant compte de l'environnement du système

## Chapitre II : Modélisation mathématique des phénomènes et simulation numérique

le tableau ci-dessous explique les fonctions du diagramme FAST précédent.

Fonctions	Conditions à respecter
<b>FP1</b> : transformer de l'eau salée en eau pure	
<b>Fc1</b> : fonctionne en milieu rural, moyen limité	<i>Faible coût de fonctionnement</i>
<b>Fc 2</b> : environnement chaud, sec et poussiéreux	<i>Étanchéité, ...</i>
<b>Fc 3</b> : population peu qualifiée	<i>Simplicité de la technologie à mettre en œuvre</i>
<b>Fc4</b> : colmatage du sel sur les composants pour haute température	<i>Température maximale de l'eau à traiter &lt; 70°C</i>
Fonctions	Conditions à respecter
<b>Fc4</b> : colmatage du sel sur les composants pour une forte salinité	<i>Salinité maximale &lt; 5,5 %</i>
<b>Fc 5</b> : installation peu surveillée	<i>Sécurité et robustesse de l'installation</i>
<b>Fc 6</b> : salinité de l'eau inférieure à 3,4 %	<i>Choix de matériaux adéquats</i>
<b>Fc7</b> : soleil disponible en toute saison (10 heures en moyenne)	<i>Utiliser au mieux cette énergie</i>

### II .3.2 Mise en situation



### II.4 Considérations générales sur la modélisation adoptée

On sait que les simulations d'un distillateur solaire trouvent de la complexité principalement dans les bilans des différentes parties des distillats, que ce soit pour la géométrie choisie ou pour les données des calculs. Cette difficulté a motivé de nombreuses approches différentes, allant de géométrie la plus simple qui présente une simple conception, à la modélisation du distillateur solaire simple [22], [23] et [24]. Nous avons conçu le distillateur en vue d'étudier conjointement la distillation solaire à effet de serre et l'estimation du coût du distillateur. La difficulté de la tâche a été de concilier efficacement ces deux besoins. En effet, l'étude du distillateur solaire est un compromis entre des modèles géométriques 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. 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. La densité de flux thermique échangé entre deux surfaces l'une à la température  $T_1$  et l'autre à la température  $T_2$  est régie par une équation simple de la forme :

$$Q = h (T_1 - T_2) \text{ « équation de Newton »}$$

**$Q$** : Densité de flux thermique en ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

**$h$** : Coefficient du mode de transfert de chaleur en ( $\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$ ).

## **II.5 Hypothèses de calcul**

1°/ Transferts de chaleur unidimensionnels.

2°/ Flux de chaleur transitoire.

3°/ Température de la vitre est constante.

4°/ Pertes de vapeur d'eau négligés.

5°/ Vitesse du vent constante.

6°/ Propriétés thermo physiques constantes avec la température.

## **II.6 Paramètres de fonctionnement**

Nous classons les paramètres relatifs au distillateur de la manière suivant :

### **II.6.1 Paramètres externes**

- Paramètres d'ensoleillement.

- Paramètres météorologiques (la vitesse du vent le long de la vitre joue un rôle important).

### **II.6.2 Paramètres internes**

#### **II.6.2.1 Paramètre géométrique**

Deux nouvelles grandeurs sont introduites pour les distillateurs :

- Inclinaison de la vitre sur le plan horizontal.

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

### **II.6.2.2 Paramètres de fonctionnement**

Ces paramètres sont les différentes températures du système et du fluide, en particulier la température de l'eau à distiller

## **II.7 Bilans énergétiques dans un distillateur simple**

### **II.7.1 Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur**

#### **II.7.1.1 Echange 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 décondensation. Puisque il existe une évaporation, l'eau perd un flux de chaleur.

#### **II.7.1.2 Echange 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.

#### **II.7.1.3 Echange 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 réfléchi. La vitre cède au milieu extérieur un flux de chaleur par rayonnement et par convection naturelle.

### **II.7.2 Modélisation mathématique**

La théorie d'un distillateur solaire simple en forme de serre, est présentée par Mousa Abu- Arabi et al [23], [24] et Yousef H. [24]. La figure (II.3) illustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur solaire, elle est fondée sur quatre bilans :

- conduction
- convection
- rayonnement
- Evaporation

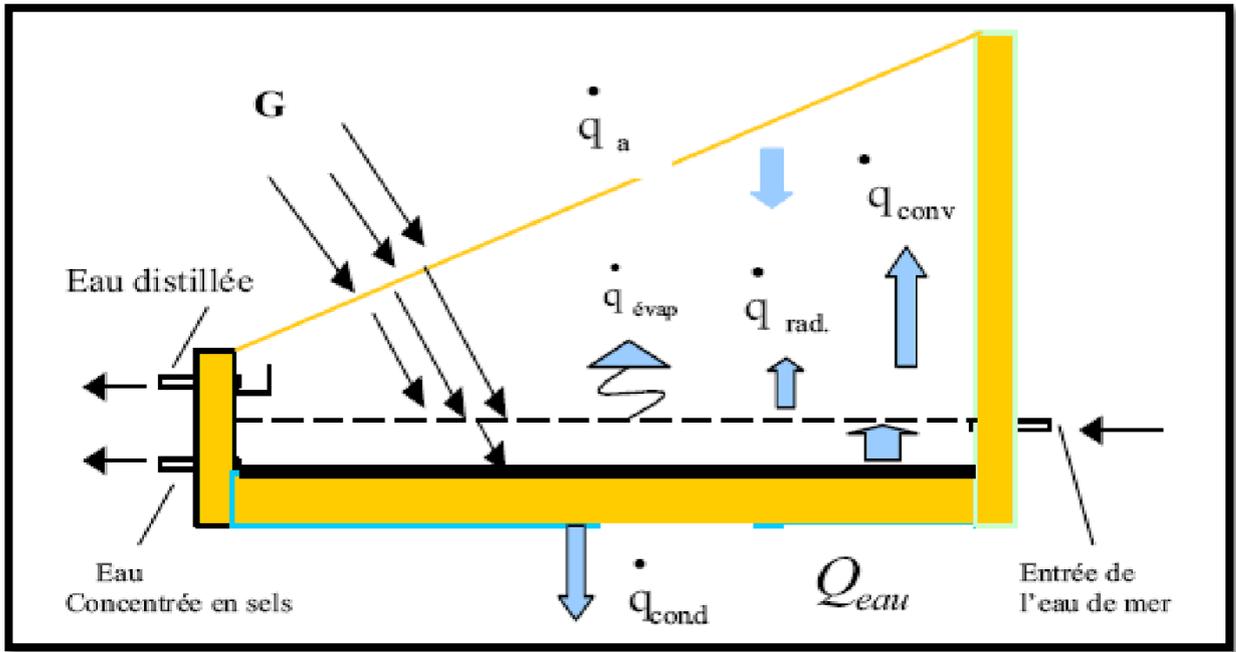


Figure II.3 : Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple [25].

En nous plaçant en régime transitoire, les équations régissant le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur, s'écrivent comme suit :

### II.7.2.1 Bilan du vitrage

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

$$M_v C P_v \frac{dT_v}{dt} = (1 - \rho_v) \alpha_v G_h + Q_{R.E_V} + Q_{C.E_V} + Q_{Evap} - Q_{C.V_A} - Q_{R.V_A} \quad (II-1)$$

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

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

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

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

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

### II.7.2.2 Bilan thermique de la masse d'eau

$$M_E C_{PE} \frac{dT_E}{dt} = (1 - \rho_V) (1 - \alpha_v) \alpha_E G_h + Q_{C.B_E} - Q_{C.E_V} - Q_{Evap} - Q_{R.E_A} \text{ (II-2)}$$

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

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

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

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

### II.7.2.3 Bilan thermique de l'absorbeur ou le bassin d'eau

$$M_B C_{PB} \frac{dT_B}{dt} = (1 - \rho_V) (1 - \alpha_v) (1 - \alpha_E) \alpha_B G_h + Q_{C.B_E} - Q_{perte(B)} \text{ (II-3)}$$

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

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

### II.7.2.4 Bilan thermique de l'isolant

Pour réduire les pertes de chaleur à travers la base, nous utilisons un isolant thermique.

Le coté intérieur du distillateur reçoit la chaleur perdue de l'absorbeur et le coté extérieur cède de la chaleur vers l'extérieur par rayonnement et par convection, d'où l'équation :

$$M_I C_I \frac{dT_I}{dt} = Q_{cond.I_B} - Q_{perte(I)} \text{ (II-4)}$$

$Q_{cond.I_B}$  : Flux thermique échangé par conduction entre le bac et l'isolant thermique.

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

### II.7.2.e Débit du condensat

$$\frac{dM_C}{dt} = h_{Evap} \frac{(T_E - T_V)}{h_{fg}} \text{ (II-5)}$$

$M_C$  : Masse du condensat

$h_{fg}$  : Chaleur latente de vaporisation

$T_E$  : Température de l'eau

$T_V$  : Température de la vitre

## **II.8 Expression des différents coefficients de transfert de chaleur**

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

### **II.8.1 Par rayonnement eau-vitre**

$$Q_{R.E_V} = h_{R.E_V}(T_E - T_V) \quad (\text{II-6})$$

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

$$h_{R.E_V} = \frac{\varepsilon_{Eff}}{T_E - T_V} \sigma [(T_E + 273.14)^4 - (T_V + 273.15)^4] \quad (\text{II-7})$$

$$\varepsilon_{Eff} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_E} + \frac{1}{\varepsilon_V} - 1 \right]^{-1} \quad (\text{II-8})$$

$\varepsilon$  : Emissivité de l'eau

$\varepsilon_V$  : Emissivité de la vitre

### **II.8.2 Par convection eau-vitre**

$$Q_{C.E_V} = h_{C.E_V}(T_E - T_V) \quad (\text{II-9})$$

$h_{C.E_V}$  : Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage, [24].

$$Q_{C.E_V} = 0.884 [T_E - T_V + \frac{(P_E - P_V)(T_E + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_E}]^{1/3} \quad (\text{II-10})$$

$P_E$  : Pression de vaporisation à  $T_E$

$P_V$  : Pression de vaporisation à  $T_V$

### **II.8.3 Par évaporation**

$$Q_{Evap} = h_{Evap}(T_E - T_V) \quad (\text{II-11})$$

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

$$h_{Evap} = h_{C.E_V} \times 16,273 \cdot 10^{-3} \frac{(P_E - P_V)}{(T_E - T_V)} \quad (\text{II-12})$$

La pression de la vapeur d'eau saturante et la chaleur latente d'évaporation sont estimées par les relations suivantes [27]:

$$P = \exp \left( 25,317 - \frac{5144}{T+273,15} \right) \text{ (II-13)}$$

$$h_{fg} = 3,1615 \cdot 10^6 - 2,40714 \cdot 10^3 T \text{ (II-14)}$$

D'autre part, [28] a donné une relation linéaire entre la pression de saturation et la Température (T en °C) comme suit :

$$P = 0,14862T - 0,36526 \cdot 10^{-2} T^2 + 0,11242 \cdot 10^{-3} T^3 \text{ (II-15)}$$

### **II.8.4 Par rayonnement vitre-ambiant**

$$Q_{R.V\_A} = h_{R.V\_ciel} \cdot (T_V - T_A) \text{ (II-16)}$$

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

$$h_{R.V\_ciel} = \frac{\varepsilon_V}{T_V - T_A} \sigma [(T_V + 273,15)^4 - (T_{ciel} + 273,15)^4] \text{ (II-17)}$$

$T_{ciel}$  : Température du ciel

La température du ciel est donnée par deux relations approximatives, l'une par [26], et l'autre par [28] respectivement :

$$T_{ciel} = T_A - 6 \text{ (II-18)}$$

$$T_{ciel} = T_A - 12 \text{ (II-19)}$$

$T_A$  : Température ambiante

### **II.8.5 Par convection vitre-ambiant**

$$Q_{C.V\_A} = h_{C.V\_A} (T_V - T_A) \text{ (II-20)}$$

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

Le coefficient d'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'air est donné par la relation suivante [26] et [27]:

$$h_{C.V\_A} = 5,7 + 3,8V \text{ (II-21)}$$

La deuxième corrélation est donnée par [24] comme suit :

$$h_{C.V\_A} = 2,8 + 3,00V \text{ (II-22)}$$

[28] a calculé  $h_{C.V\_A}$  par la corrélation suivante :

$$h_{C.V\_A} = 2,8 + 3,0V \quad \text{lorsque } V \leq 5 \text{ m/s (II-23)}$$

$$h_{C.V\_A} = 6,15V^{0,8} \quad \text{lorsque } V \geq 5 \text{ m/s (II-23)}$$

$V$  : est la vitesse du vent

### II.8.6 Par convection bassin-eau

$$Q_{C.B.E} = h_{C.B.E}(T_B - T_E)(II-24)$$

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

$$h_{C.B.E} = \frac{NuK_f}{L}(II-25)$$

$K_f$  : Conductivité thermique du fluide (eau).

Dans ce type de problème, les corrélations expérimentales aboutissent à des relations de la Forme [29] :

$$Nu = c (Gr Pr)^n(II-26)$$

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

### II.8.7 Plaque plane horizontale

Gradient de T vers le haut :

- L'écoulement est toujours laminaire et on a :

$$Nu = c (Gr Pr)^{0,25}(II-27)$$

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

**L** : est la dimension du petit coté

**Pr** : nombre de PRANDLT  $Pr = \frac{\mu c_p}{k} = \frac{\nu}{a}$

Les pertes thermiques du bassin par conduction thermique à travers l'isolation et de l'isolation vers l'air ambiant sont données par [30] comme suit :

$$Q_{perte(B)} = U_B(T_B - T_I)(II-28)$$

$T_B$  : Température du bassin

$T_I$  : Température de l'isolant

Avec  $U_B = \frac{K_B}{\delta_B}(II-29)$

$K_B$  : Conductivité thermique du bassin

$\delta_B$  : Épaisseur du bassin

### II.8.8 Par conduction Isolant-bassin

$$Q_{cond.I.B} = Q_{perte(B)} \frac{K_B}{L_B} (T_B - T_I)(II-30)$$

$$Q_{perte(I)} = U_I(T_I - T_A)(II-31)$$

Avec :

$$U_I = \left[ \frac{\delta_I}{K_I} + \frac{1}{h_I} \right]^{-1} \text{(II-32)}$$

$\delta_I$ : 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 (II-21) (II-22) (II-23).

## II.9 Résolution du système d'équations

### II.9.1 Méthode de résolution

Le système d'équations régissant le fonctionnement du distillateur solaire se compose de 5 équations différentielles du 1<sup>er</sup> ordre et de deux équations algébriques. Nous avons à déterminer 5 inconnues :  $T_e, T_V, T_b, T_i, M_c$ .

Ces équations différentielles du 1<sup>er</sup> ordre se résolvent à l'aide d'une méthode itérative. Dont la simulation permet de suppléer à la résolution analytique aussi la simulation permet de s'assurer que le système correspond aux spécifications. Cette simulation est paramétrée de manière à optimiser les performances à l'aide d'une méthode fiable appelée <<ode15s>>[help Simulink].

### II.9.2 La simulation numérique

### II.9.3 Principe de simulation

Pour le régime transitoire, la simulation la plus rigoureuse celle du pas pas , qui rend compte de l'évolution des températures de tous les élément 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'équation est effectué à l'aide d'une méthode a pas variable dite ode15s. Après que le système s'est réduit a 5 équation .cette méthode nécessite des calculs numériques qui rendent indispensable l'usage de l'ordinateur.

$$\blacksquare \frac{dT_V}{dt} = \frac{1}{M_V C_{pv}} \left[ (1 - \rho_v) \alpha_v G_h + h_{R.EV} (T_E - T_V) + h_{C.EV} (T_E - T_V) + h_{Evap} (T_E - T_V) - h_{C.VA} (T_V - T_A) - h_{R.Vciel} (T_V - T_A) \right]$$

$$\blacksquare \frac{dT_E}{dt} = \frac{1}{M_E C_{PE}} \left[ (1 - \rho_v) (1 - \alpha_v) \alpha_E G_h + h_{Evap} (T_E - T_V) - h_{C.BE} (T_B - T_E) - h_{C.EV} (T_E - T_V) h_{R.EV} (T_E - T_V) \right]$$

- $\frac{dT_B}{dt} = \frac{1}{M_B C_{PB}} \left[ (1 - \rho_V)(1 - \alpha_V)(1 - \alpha_E) \alpha_B G_h - h_{C.BE} (T_B - T_E) + \frac{K_B}{L_B} (T_B - T_I) \right]$
- $\frac{dT_I}{dt} = \frac{1}{M_I C_{PI}} \left[ \left( \frac{L_B}{K_B} + \frac{L_I}{K_I} + \frac{I}{h_I} \right) \times (T_B - T_A) \right]$
- $\frac{dM_C}{dt} = h_{Evap} \frac{(T_E - T_V)}{h_{fg}}$

Appliquant la méthode de « pas apas » pour résoudre ce système de 4 équation différentielles à 4 inconnues. On aboutit à un système de forme :

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

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

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

h : représente le pas de temps

### **II.9.4 Programme**

Le programme informatique élaboré est écrit en **MATLAB version 7.6.324(Ra2008)**

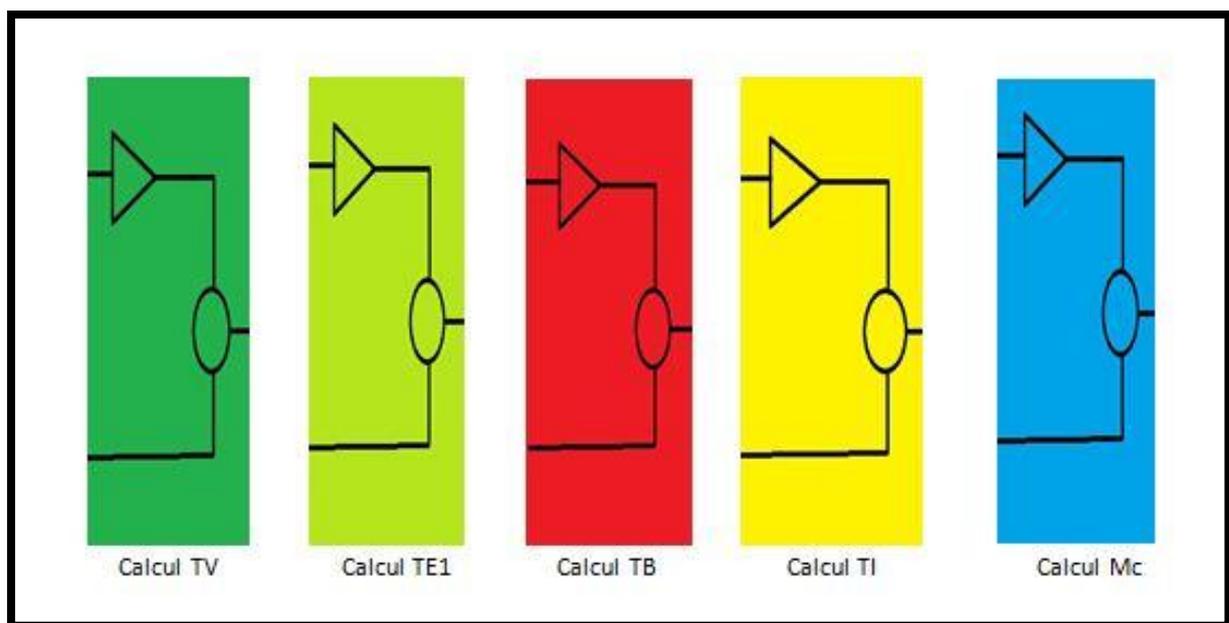
Il contient essentiellement un programme principal, sept sous-programme et deux sous programmes fonctions. Ce logiciel calcule : les différent flux de chaleur échangé (convection, rayonnement, évaporation, conduction), la variation des températures des éléments du distillateur. Les sous programmes fonctions sont réalisées en blocs d'une part pour calcule l'éclairement solaire en fonction du temps et d'autre part pour relier les autre blocs. Avant le lancement du programme, on donne les données météorologiques, telle que : les températures initiales (vitre, eau, bassin, isolant), l'éclairement solaire, la vitesse du vent, la latitude avec les temps initial et final et les propriétés physique telles que : l'absorptivité, la transmittivité et l'émissivité de la vitre et de l'eau et du bac absorbant, etc.

### **II.9.5 Simulation du fonctionnement du système de dessalement**

#### **II.9.5.1 Simulink**

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, aux on pourra soumettre divers signaux d'entrée, et dont on pourra visualiser la sortie voir (figure II.4) 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 paramètréss'ouvrira on doit alors choisir les paramètres pour solveur, Works pace 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-programme(ou des bloc) 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 II.4 : Les blocs de simulation**

### **II.9.5.2 Notions de bases**

#### **II.9.5.2.a Le schéma bloc dans Matlab-Simulink**

Simulink utilise l'approche des schémas blocs pour modéliser un système. Il est possible, à l'aide des blocs adéquats, de modéliser n'importe quel système. Les blocs sont des symboles que l'on peut bouger

et modifier. Les blocs possèdent des entrées, des sorties et, souvent, des paramètres. Le bloc agit comme un système élémentaire qui transforme l'entrée en sortie après un certain traitement. Les paramètres permettent d'agir sur le comportement exact du bloc en question. Pour lier les différents blocs entre eux, on utilise des lignes. Celles-ci permettent de lier la (ou les) sortie(s) d'un bloc aux entrées d'un autre bloc. Le nombre de blocs nécessaire à la modélisation est laissé à la discrétion de l'utilisateur.[31]

### **II.9.5.2.b États de schéma bloc**

Les blocs peuvent (dans certain cas) posséder des états. L'état permet de modifier la sortie du bloc selon une valeur qui est donnée en fonction de la valeur de l'état précédent et/ou des entrées précédentes. L'état doit donc être stocké sous forme d'une variable.

### **II.9.5.2.c Fonctions du système**

Chaque bloc est associé à un ensemble de fonctions du système qui représente le comportement du bloc en question en fonction du temps. Les fonctions du système sont représentées de trois formes : une fonction de sortie, une fonction de rafraîchissement et une fonction dérivée.

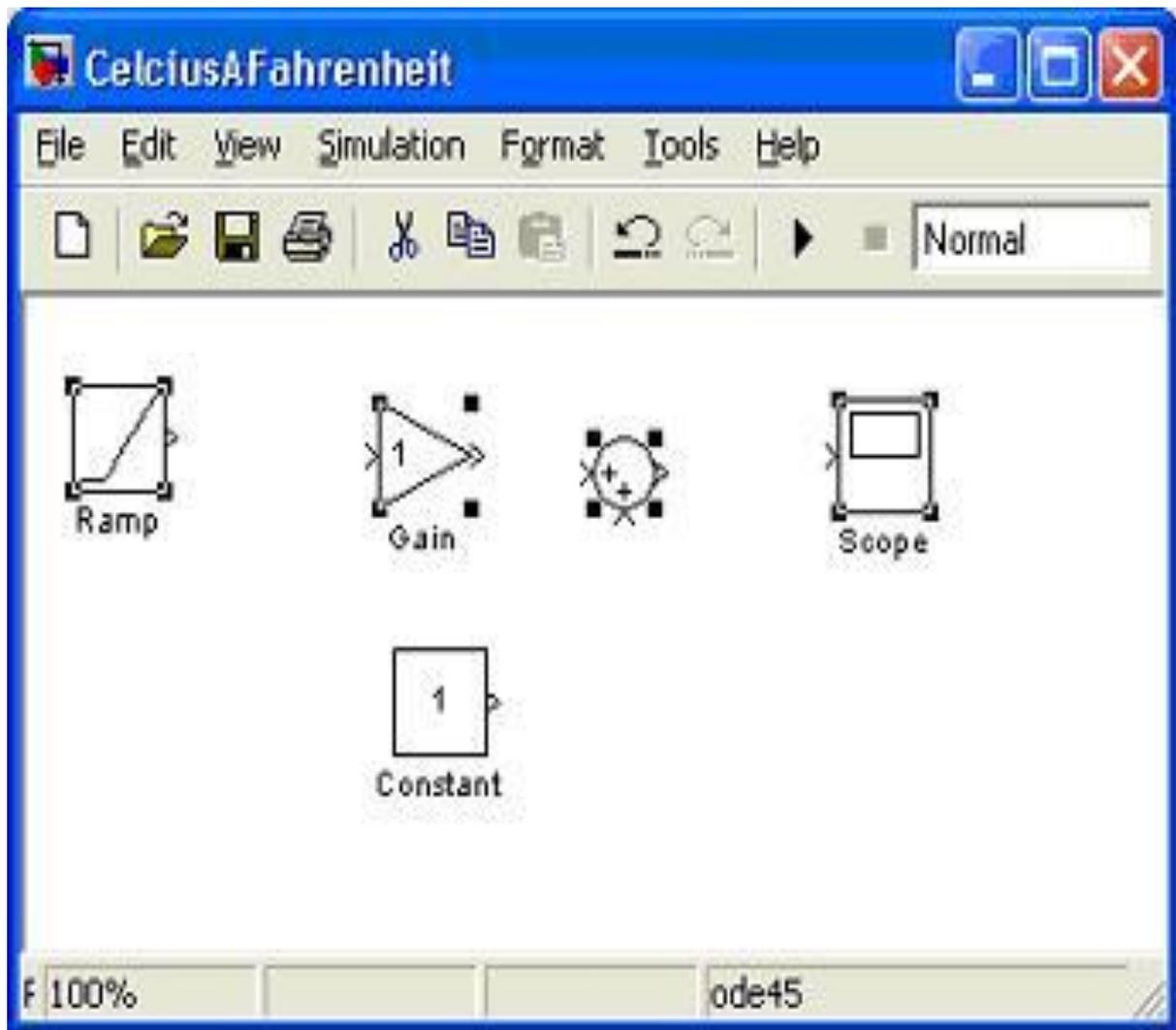
### **II.9.5.2.d Sous-systèmes**

Simulink permet de créer des sous-systèmes de blocs, permettant donc une imbrication de systèmes. Les entrées et sorties de celui-ci sont spécifiées lors de la construction du bloc.

### **II.9.5.2.e Créer une modèle de base**

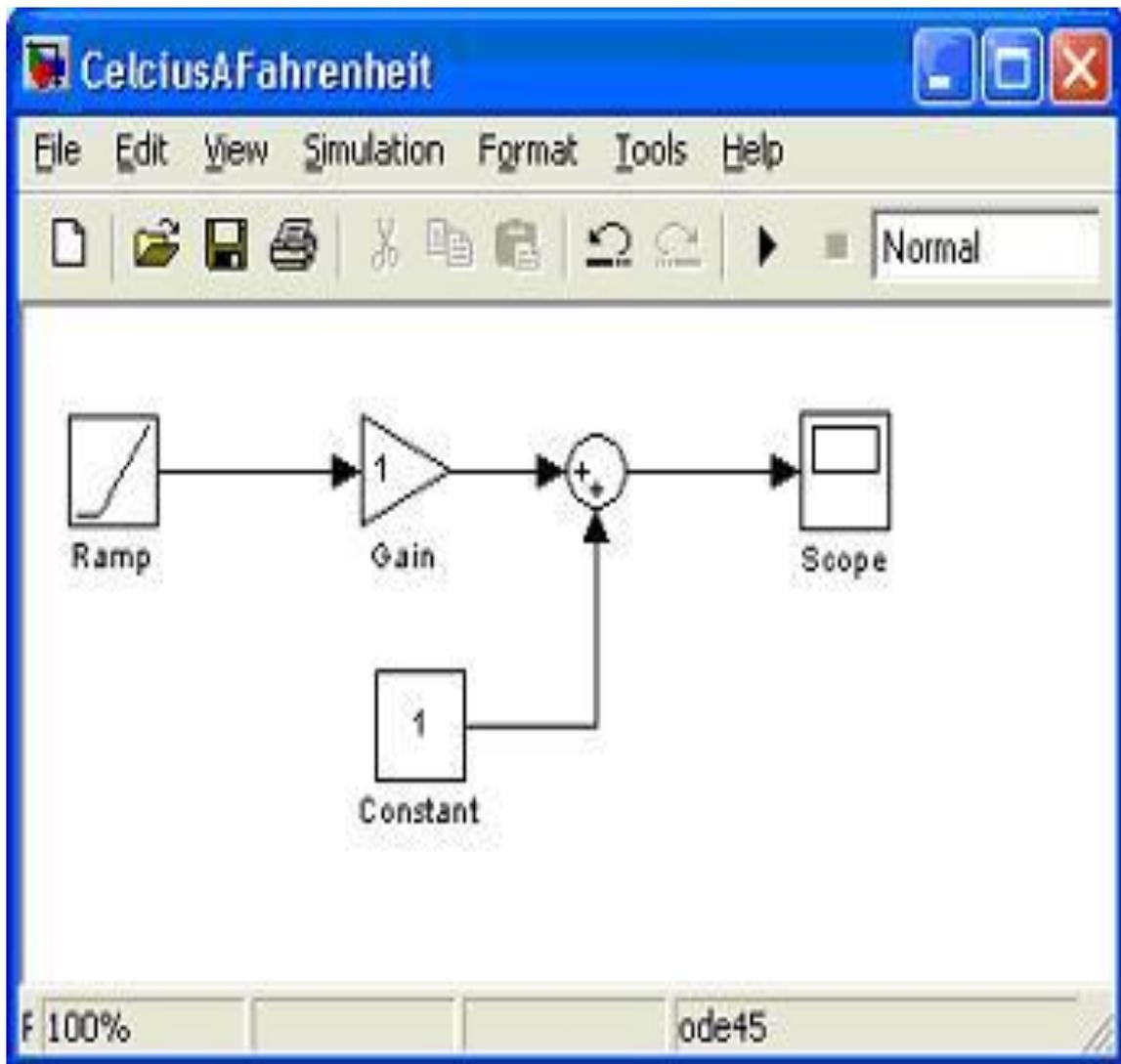
Pour commencer un nouveau modèle dans Simulink démarrer Matlab et taper simulink dans la fenêtre de commandes et suivre les instructions suivantes [30] :

1. Aller dans le menu File et choisir New, Model;
2. Ajouter les blocs suivant (Pour ajouter un bloc sélectionné le bloc glisser le bloc dans la fenêtre à l'endroit voulu) :



**Figure II.5 : blocs de simulation dans fenêtre de Simulink**

- a. Un bloc Ramp (de la librairie Sources) qui servira d'entrée
  - b. Un bloc Constant (de la librairie Sources) qui servira à représenter la constante 32
  - c. Un bloc Gain (de la librairie Math) qui servira de multiplicateur
  - d. Un bloc Sum (de la librairie Math) qui additionne deux quantités
  - e. Un bloc Scope (de la librairie Sink) qui servira de sortie.
3. Le résultat devrait ressembler à ceci :



**Figure II.6 : blocs de simulation liés**

4. La formule étant  $F = \frac{9}{5}(C) + 32$  où F est la température en Fahrenheit et C la température en degrés Celsius, il faut faire les liens suivants entre les blocs :

- Pour ajouter un lien, il suffit de cliquer sur la sortie et glisser jusqu'à l'entrée à laquelle on veut lier la sortie.

5. Ensuite, pour bien représenter le comportement, on doit régler les paramètres de quelques blocs:

[31] - Pour modifier les paramètres d'un bloc, double cliquer sur le bloc en question

a. Le bloc Constant doit être d'une valeur de 32.

b. Le bloc Gain doit avoir un gain de 9/5

c. Le bloc Ramp doit avoir une sortie initiale (Initial Output) de 0.

6. Ensuite il suffit de démarrer la simulation en cliquant sur l'icône PLAY. Pour visualiser la sortie, double cliquer sur le bloc Scope et dans la fenêtre Scope cliquer sur le graphique avec le bouton de droite de la souris et sélectionner Autoscale.

### **II.9.5.2.f Simuler un système**

La simulation d'un système commence par la détermination des constantes et des paramètres de chaque bloc constituant le système. L'exécution de la simulation commence lorsque l'on appuie sur Start Simulation (CTRL-T). La simulation se fait donc en deux phases : L'initialisation et l'Exécution qui sont faites automatiquement par Simulink.

#### **II.9.5.2.f.1 Initialisation**

Toute la partie initialisation est faite automatiquement par Matlab. Voici les principales actions :

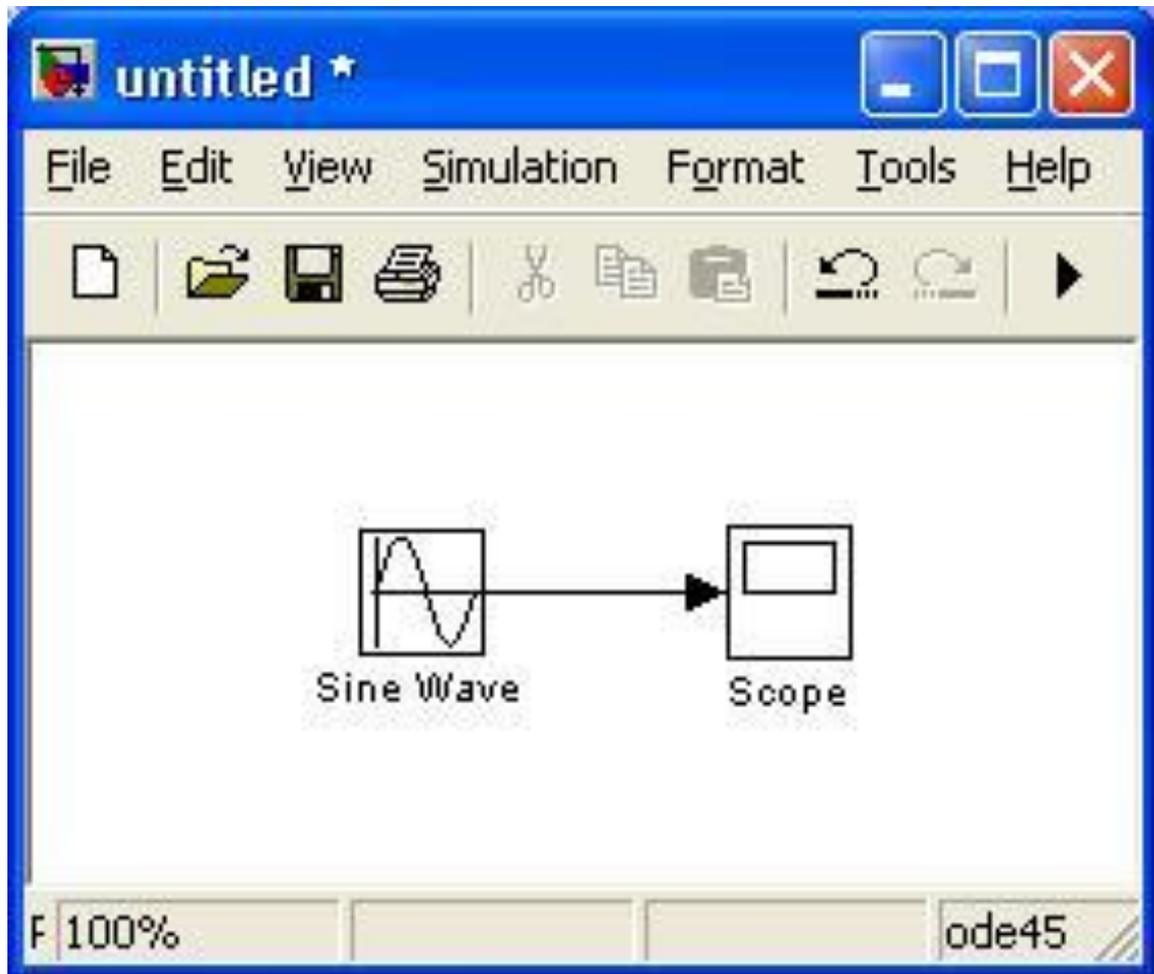
1. L'initialisation se fait en utilisant les paramètres du bloc pour déterminer leurs valeurs.
2. Ensuite, Simulink, détermine les attributs de chaque signal (représenté par des fils entre les blocs) pour déterminer si le signal est permis pour le bloc auquel il est relié. Pour un signal non spécifié, Simulink détermine par propagation les paramètres du signal en compte.
3. L'étape suivante est de déterminer la quantité de mémoire nécessaire pour stocker les vecteurs d'états et de travail ainsi que les paramètres de chaque bloc.
4. Par la suite, Matlab fait une optimisation des blocs et remplace les sous blocs personnalisés par les blocs les constituant.
5. Une réorganisation est ensuite orchestrée pour placer les blocs en ordre d'exécution.
6. Simulink détermine le temps d'échantillonnage des blocs pour lequel il n'a pas été spécifié.
7. Alloue la mémoire nécessaire à l'exécution complète du système.

#### **II.9.5.2.f.2 Exécution**

L'étape suivante consiste en l'exécution de la simulation réelle du système. Ceci permet d'évaluer, à toutes les intervalles de temps comprises entre le temps de début d'exécution et le temps de fin, l'état et la ou les sorties du système. Ce calcul est fait en tenant compte des paramètres spécifié pour chaque bloc et chaque signal. La sortie initiale est d'abord calculé, par la suite, en se basant sur les états passé et les paramètres de blocs et signaux, les sorties et les états futurs sont calculé un après l'autre. À la fin, le sortie finale est représentée. Il est possible de journaliser (" logger ") les changements de certains

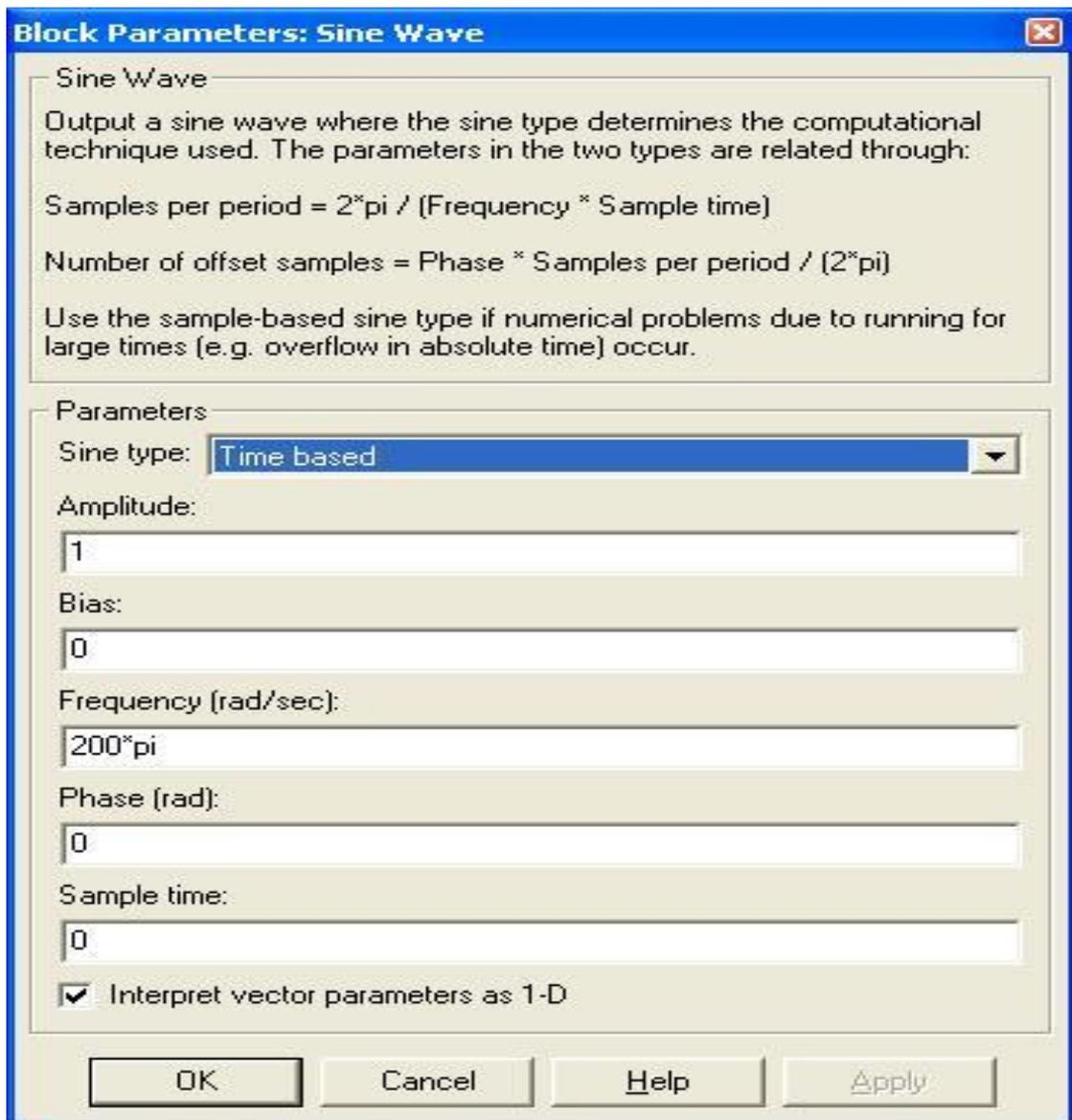
## Chapitre II : Modélisation mathématique des phénomènes et simulation numérique

blocs en ajoutant des blocs spéciaux. Voici un modèle SIMULINK qui vous donnera des indications sur la configuration des sources pour des représentations optimales de vos sorties avec MatLab.



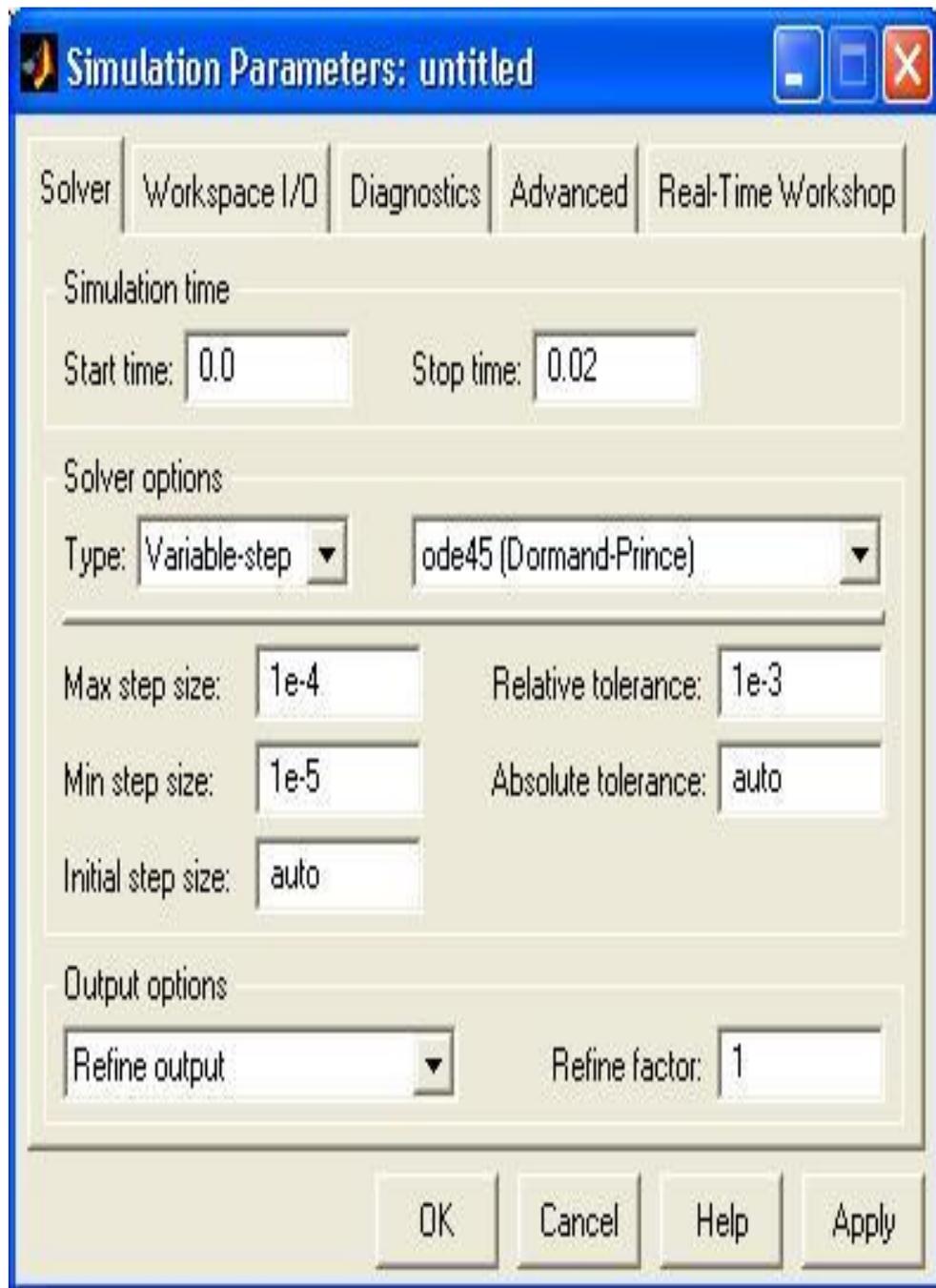
**Figure II.7 : modèle Simulink**

La spécification de la fréquence est en radians par seconde, alors multipliez la fréquence en Hz par  $2\pi$ . (Dans la figure, la fréquence est de 100 Hz).



**Figure II.8 : paramètre du bloc**

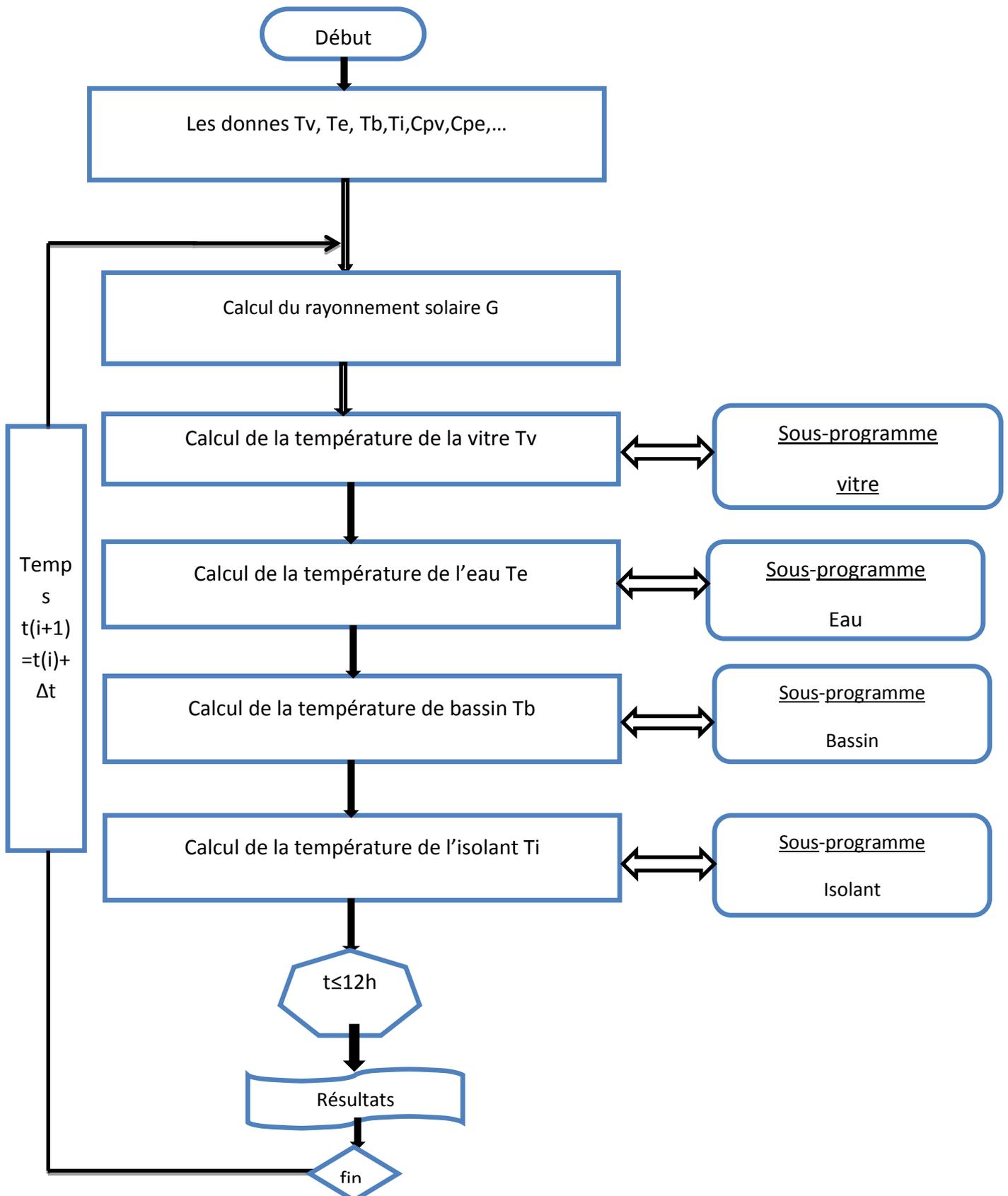
- Spécifiez une durée (Start Time, Stop Time) d'environ deux périodes de votre signal.
- La valeur de Max Step Size indique la résolution de calcul minimale du graphique.
- Fixez cette valeur à deux ordres de grandeur de moins que la période de votre signal.
- La valeur de Min Step Size indique la résolution de calcul maximale du graphique.
- Elle doit être au moins 10 fois plus petite que la valeur de Max Step Size.
- Vous pouvez laisser les autres valeurs par défaut.



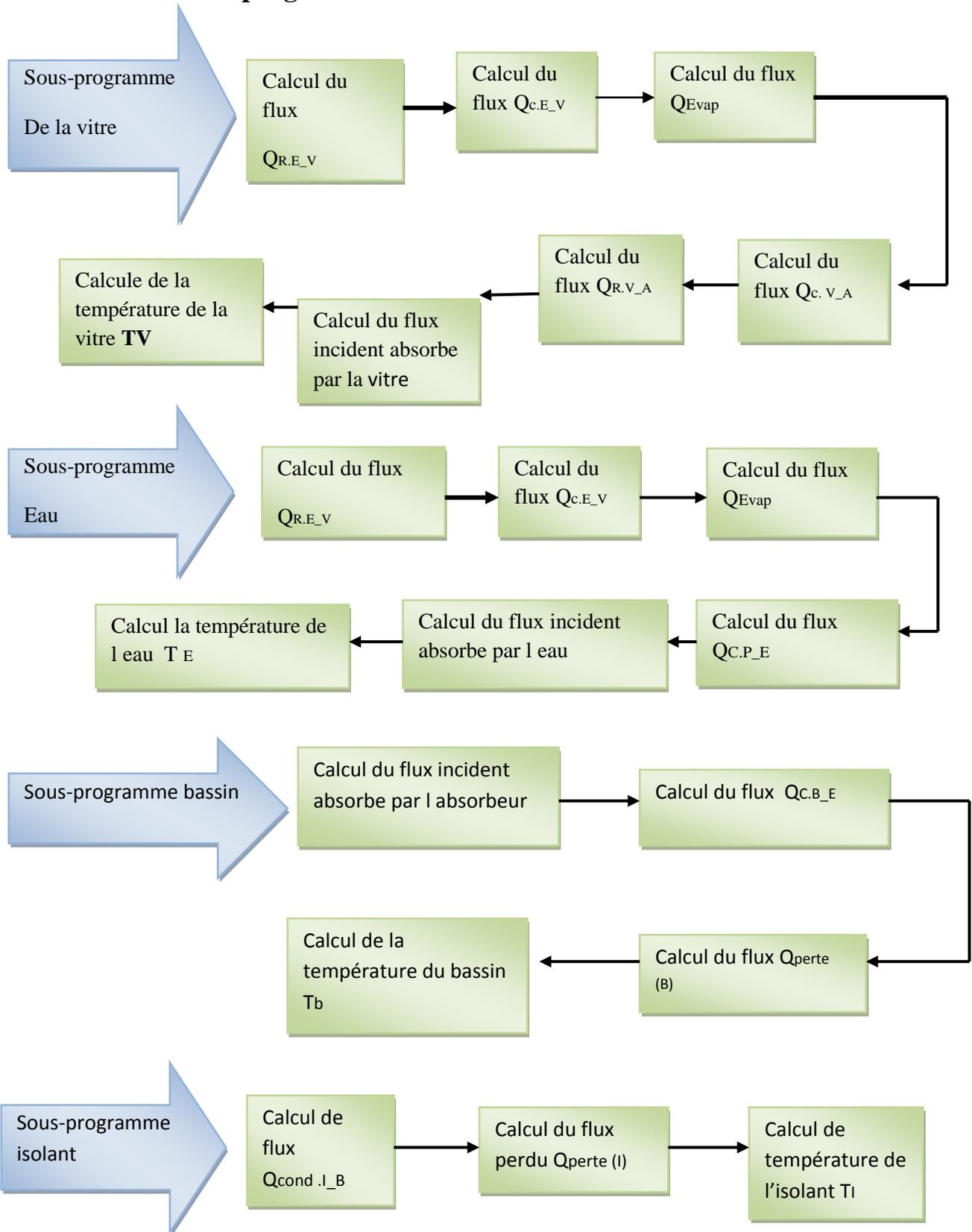
**Figure II.19 : Paramètre de simulation**

## II.11 Organigramme

Pour comprendre le processus de résolution nous présentons un organigramme de résolution.



II.12 Les sous programmé



# CHAPITRE III

## **Chapitre III Résultats et interprétations**

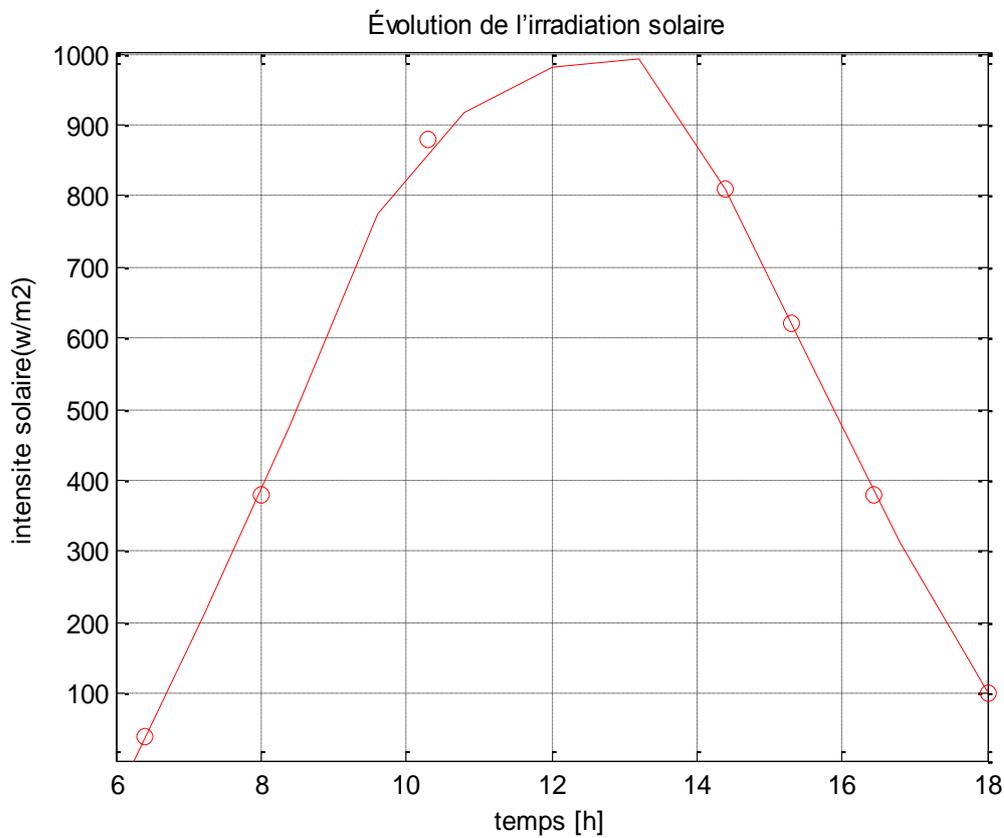
### **III.1 introduction**

Dans les chapitres précédents, on a étudié le distillateur solaire et élaboré un code de calcul en langage Matlab-simulink. Dans ce chapitre, on va vous donner les résultats issus de la simulation. Ces résultats concernent essentiellement la variation des différentes températures des vitres, de l'eau, du bassin, de l'isolant et la zone tampon au cours du temps de l'ensoleillement. Ce chapitre comporte deux parties, la première partie est consacrée aux résultats numériques de l'évolution de température dans les éléments de notre système et la deuxième partie aux résultats graphiques qui seront suivie par une comparaison entre les résultats numériques et les résultats expérimentaux de M<sup>elle</sup> Fedali 2007[32] c'est-à-dire une validation .

### III.2 Résultats numériques de la variation du rayonnement

Les résultats que nous présentons dans cette partie ont été obtenus grâce au code Matlab-Simulink pour comprendre le processus de résolution nous présentons un organigramme de résolution.

qui résout numériquement des équations différentielles suivant la méthode décrite au chapitre précédent. La figure III .1 ci-dessous illustre la variation du rayonnement solaire reçu par une surface inclinée de  $35.33^\circ$  selon les jours de l'expérience .Le flux solaire G est simulé, Il est plus intense de 12 :30 à 13 :30 tandis qu'il est moins intense à la fin de la journée, puisque, la durée d'insolation est plus longue pendant la période estivale.



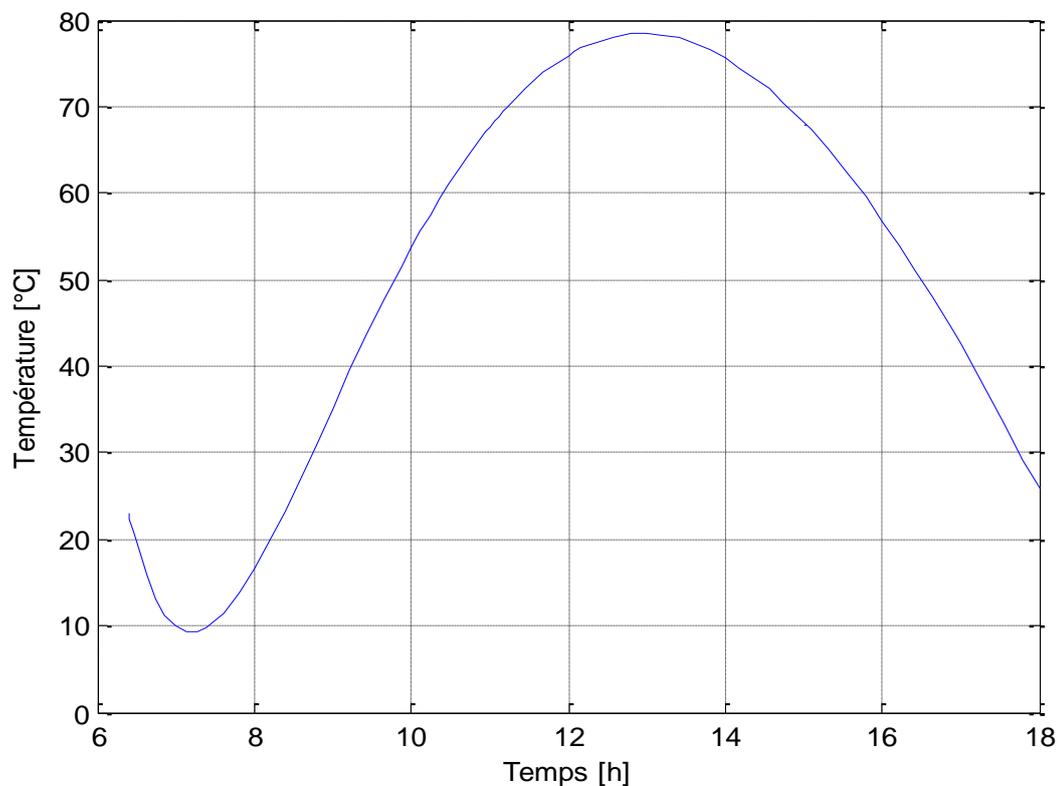
**Figure III.1 : Evolution de l'irradiation solaire**

### **III.3 Résultats numériques des variations de températures des éléments du système**

Une méthode 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.

#### **III.3.1 L'évolution de la température de la vitre**

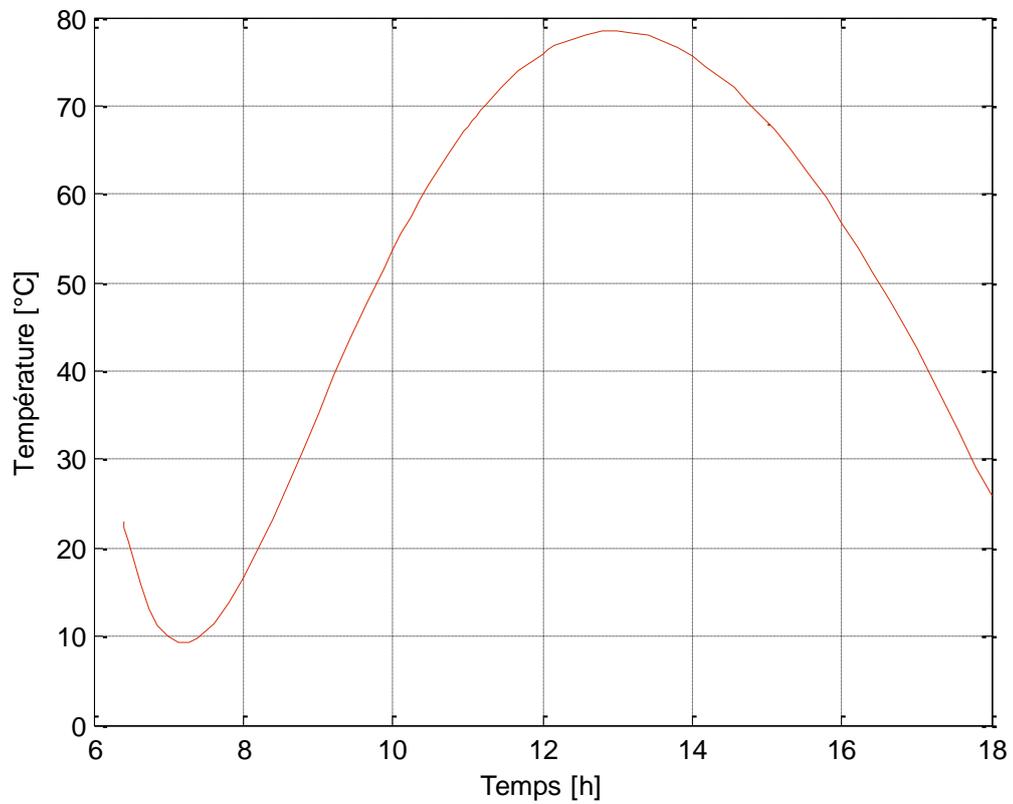
La figure III.2 ci-dessous, montre que la température de la vitre (coté extérieure) augmente progressivement au matin à cause de l'absorption du rayonnement solaire incident, mais, au cours de la période de 12h :30 à 14h :00, la vitre reçoit un flux de chaleur par condensation et par convection naturelle de la zone tampon et par rayonnement infrarouge de la surface d'évaporation ce qui favorise l'élévation de sa température mais cette élévation devient lente à cause du flux qui n'est pas tellement variable dans la période de 6h :00 à 12h :30 et aux pertes thermiques par conduction, convection et rayonnement aux profit du milieu extérieure.



**Figure III .2 : Variation des températures de la vitre (coté extérieur)**

### Chapitre III: Résultats et interprétations

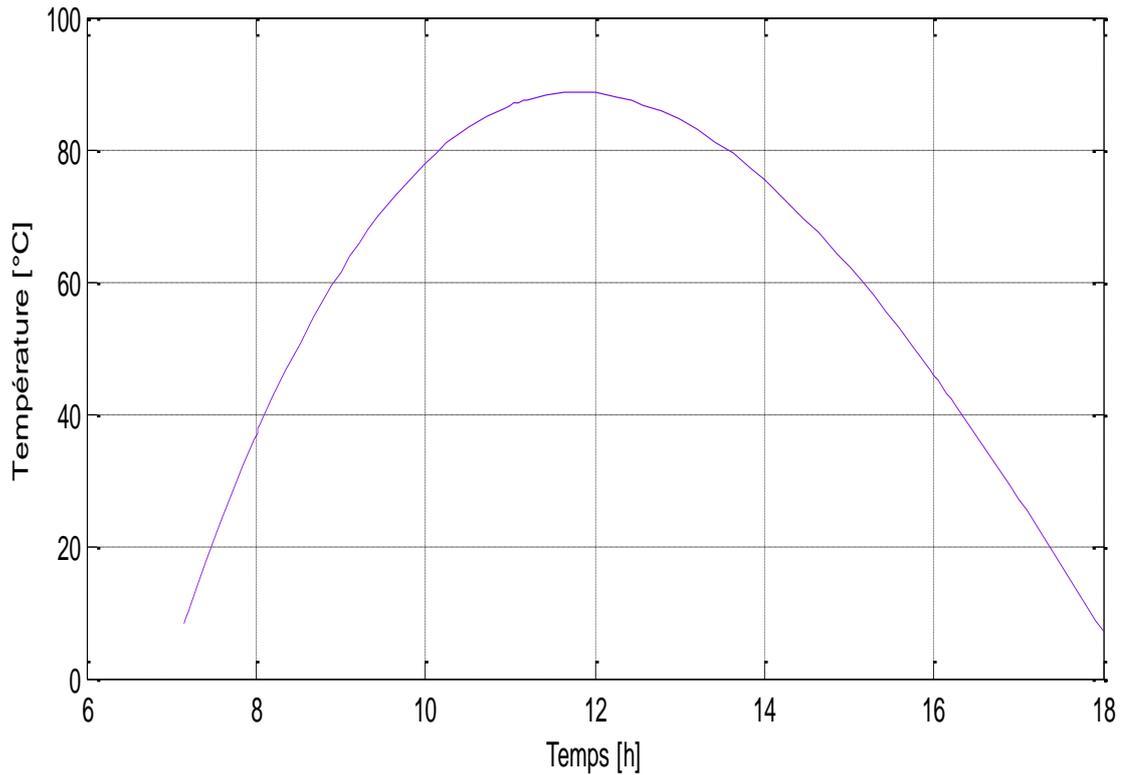
D'après cette figure III .3, on voit clairement quel'évolution de la température de la vitre intérieure mettre en évidence la même variation que la température extérieure.



**Figure III .3 : Variation des températures de la vitre (coté intérieur)**

### III.3.2 L'évolution de la température de la zone tampon

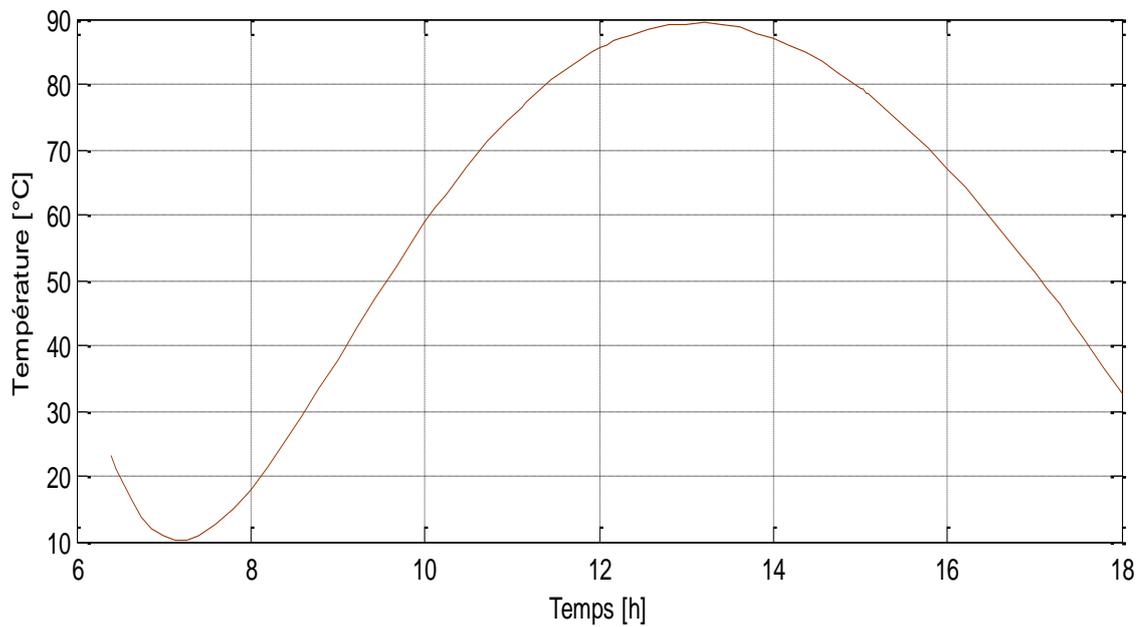
L'élévation de la température de la zone tampon est due aux chaleurs cédées par la vitre et la surface d'évaporation et cela par convection naturelle. L'élévation de la température devient lente au fait de l'importance des pertes thermiques, et au flux qui devient constant pendant la période. 12h :30 à 14h



**Figure III .4 : Variation des températures de la zone tampon**

### III.3.3 L'évolution de la température de l'eau

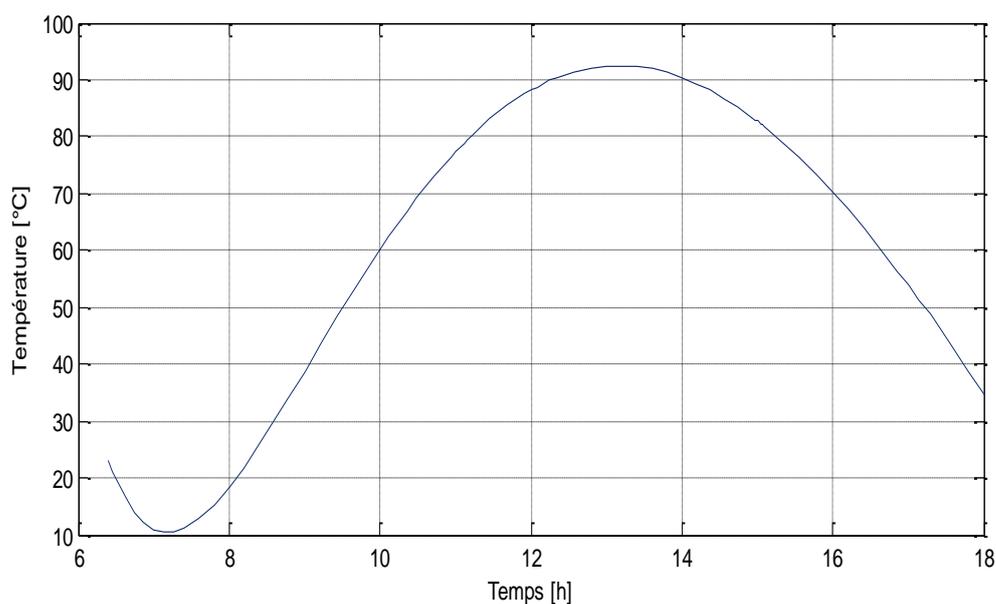
La figure III.5 montre que le bac absorbant s'échauffe par absorption du flux énergétique, en entraînant l'échauffement rapide de l'eau qui reste toujours moins chaude que le bac. L'accroissement de la température est lent, car une fraction du flux énergétique utile sert à l'évaporation de l'eau. On constate que l'accroissement de l'énergie d'évaporation et la diminution du flux solaire incident provoquent la chute de la température de l'eau.



**Figure III .5 : Variation des températures de l'eau**

### III.3.4 L'évolution de la température du bassin

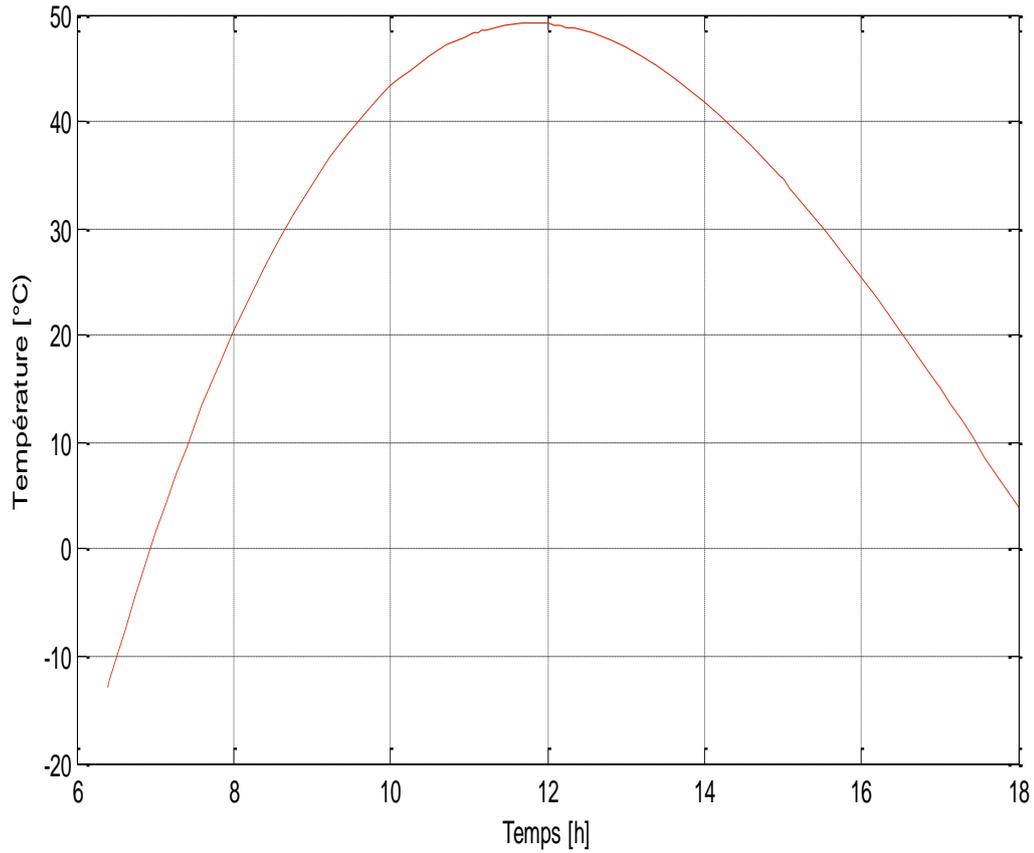
En raison de couleur noir le bac absorbe le maximum de flux solaire, ce qui provoque l'accroissement progressif et rapide de sa température qui peut atteindre une valeur maximale de 88 °C, ceci s'explique par le coefficient d'absorption assez élevée de la peinture noir .Le flux solaire est variable, pour favoriser l'évaporation, le bac transmet toute l'énergie interceptée à l'eau. En raison de la capacité calorifique de l'eau, il s'ensuit alors un décroissement de la température du bac qui est illustrée par la figure III.6 ci-dessous tout en restant supérieure à celle de l'eau.



**Figure III .6 : Variation des températures du bassin**

### III.3.5 L'évolution de la température l'isolant

Pour permettre d'obtenir un meilleur rendement, il faut minimiser les pertes thermiques par conduction en utilisant une bonne isolation des parois du distillateur .C'est pour cela en remarque que le maximum de la température de l'isolant est proche du 48°C d'après la figure III.7



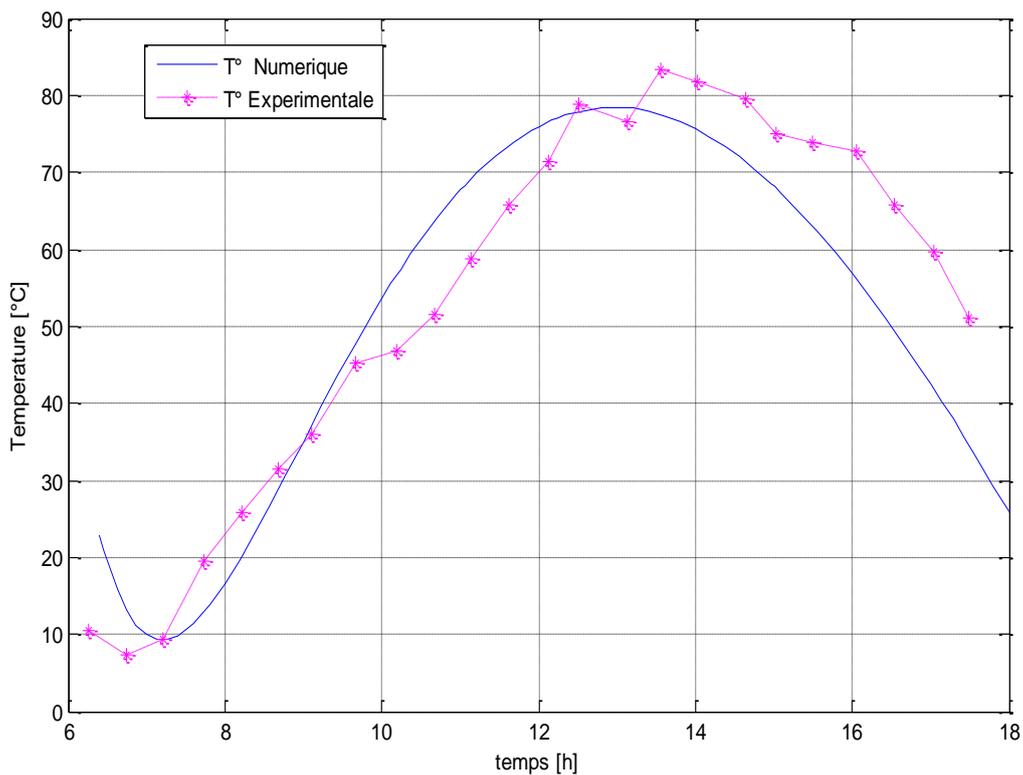
**Figure III .7 : Variation des températures de l'isolant**

### **III.4 Validation des résultats**

Pour valider notre modèle numérique développé au cours de cette étude, les résultats numériques vont être comparés à des résultats expérimentaux. Or nous allons limiter, notre travail, à une étude comparative des résultats obtenus par l'expérience [32], avec ceux obtenus par notre résolution numérique sous le code « Matlab –Simulink ». Les figures (III.8, III.9, III.10, III.10, III.12) présentent la variation des températures ( $T^{\circ}\text{eau}$ ,  $T^{\circ}\text{vitre}$ ,  $T^{\circ}\text{bassin}$  et  $T^{\circ}\text{isolant}$ ,  $T^{\circ}\text{la zone tampon}$ ) pendant la journée du 22/07/2007 des expériences ; car elle n'était pas perturbée par les nuages.

#### **III.4.1 Validation de la variation de température de la vitre**

Dans la figure (III.8) On observe que l'allure de la variation temporelle des températures de la vitre du cote extérieur et intérieur est la même que dans l'expérimentale [32].



**Figure III.8 : Évolution de la température de la vitre en fonction du temps**

### III.4.2 Validation de la variation de température du bassin

La figure (III.9) exprime que la concordance entre la température mesurée et calculé 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.

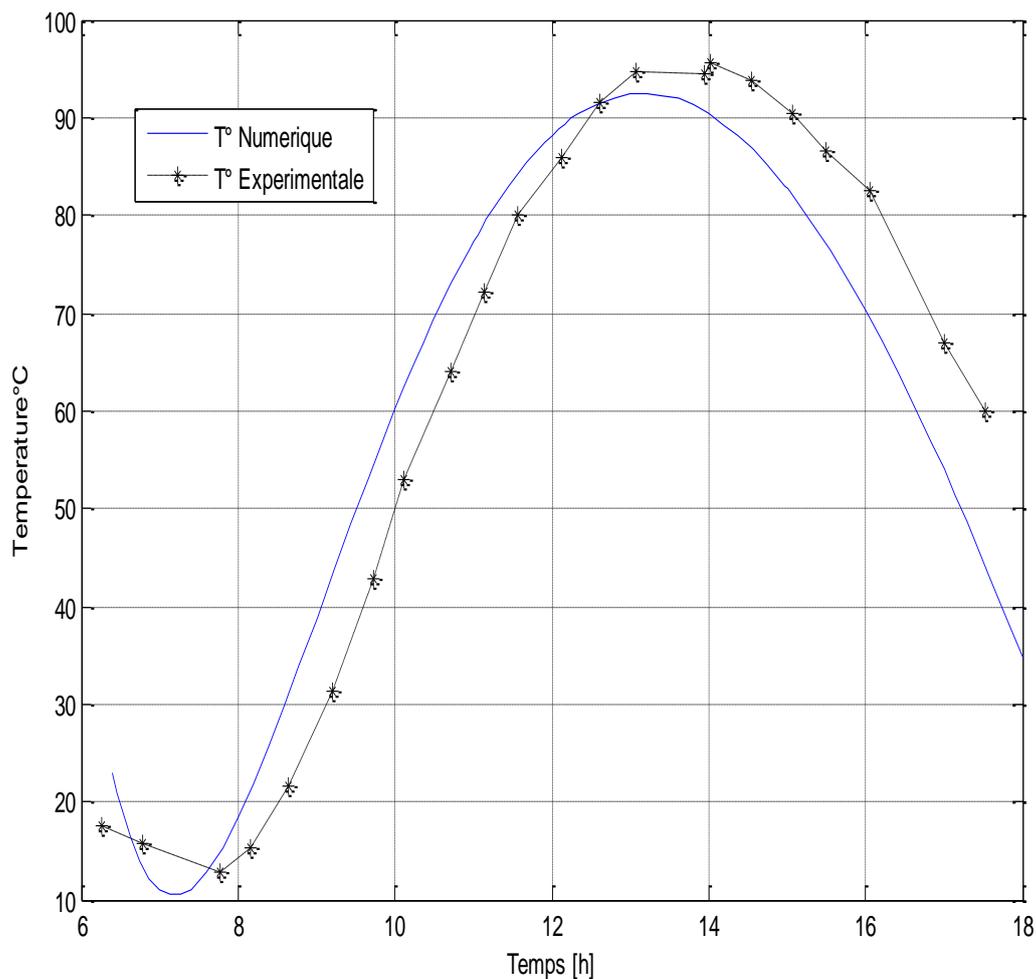


Figure III.9: Évolution de la température de bassin en fonction du temps

### III.4.3 Validation de la variation de température de l'eau

La figure (III.10) illustre la variation temporelle de la température de l'eau. Les valeurs maximales sont 90°C pour les résultats numériques et de 95°C pour les résultats expérimentaux. Les résultats numériques sont en bonne concordance avec l'expérimental [FED S 2007][30].

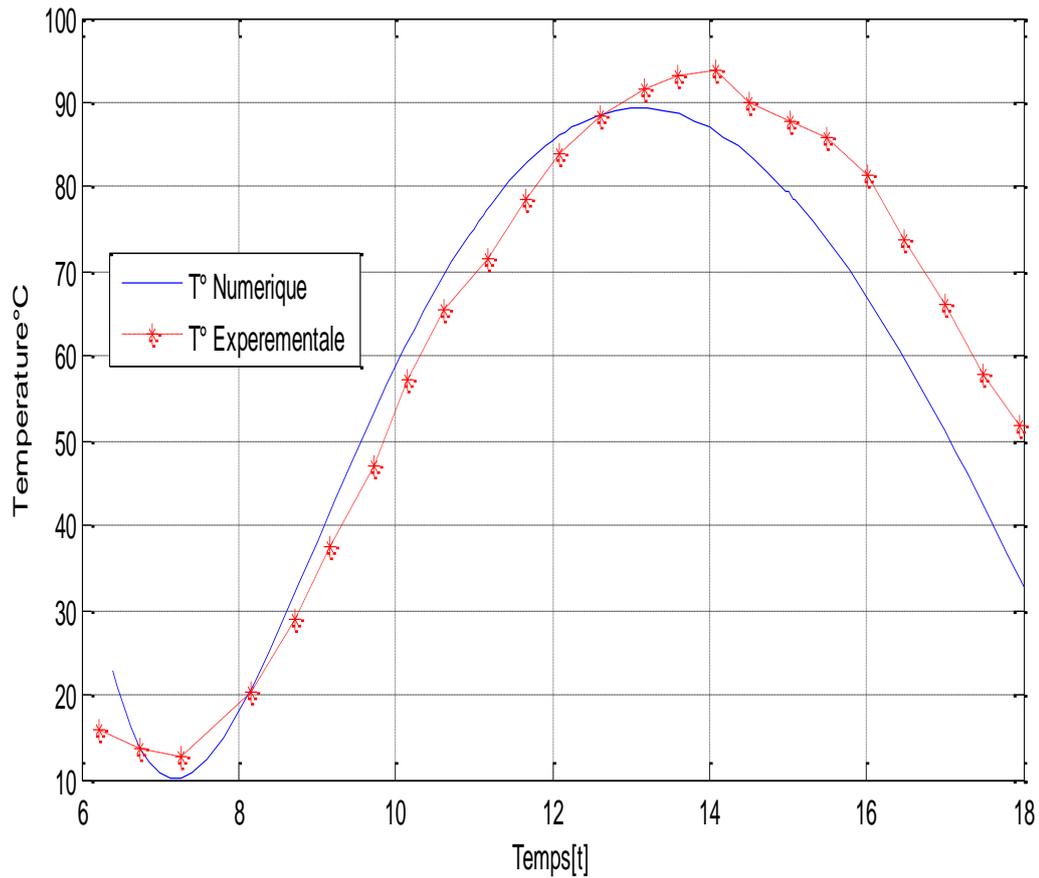


Figure III.10 : Évolution de la température de l'eau en fonction du temps

### III.4.4 Validation de la variation de température de l'isolant

la figure (III.11) montre une comparaison des résultats numériques et expérimentaux de la variation temporelle de température de l'isolant, On constate alors un écart remarquable cela est dû aux données introduites pour le système numérique.

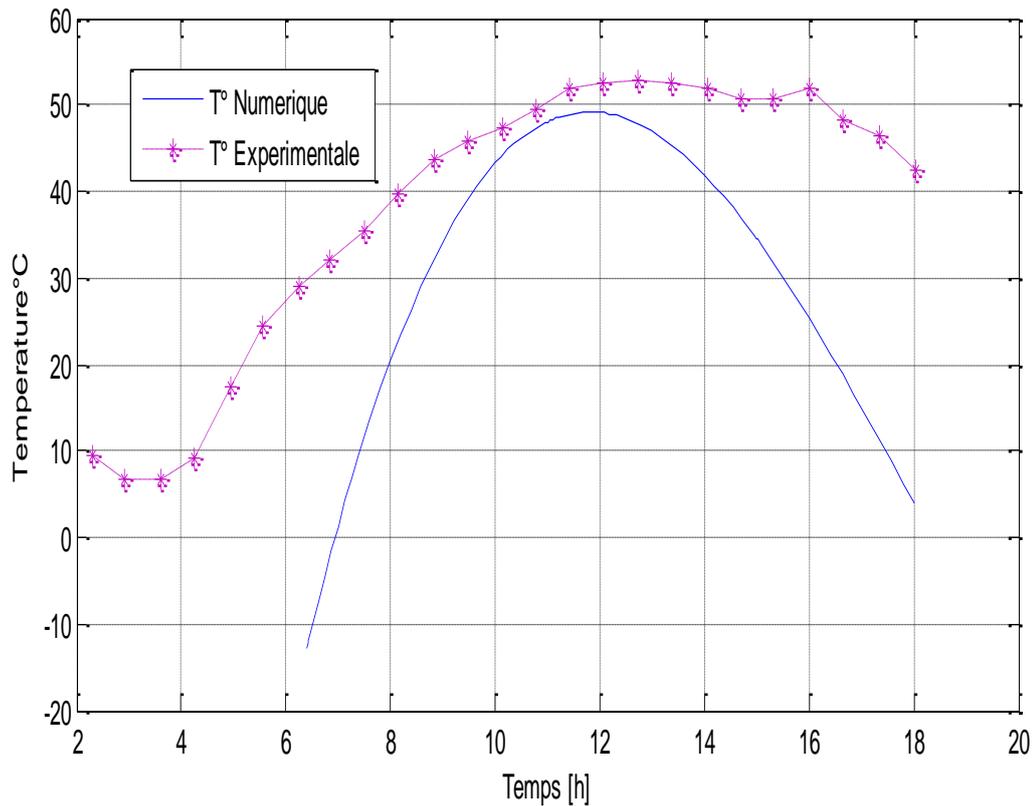
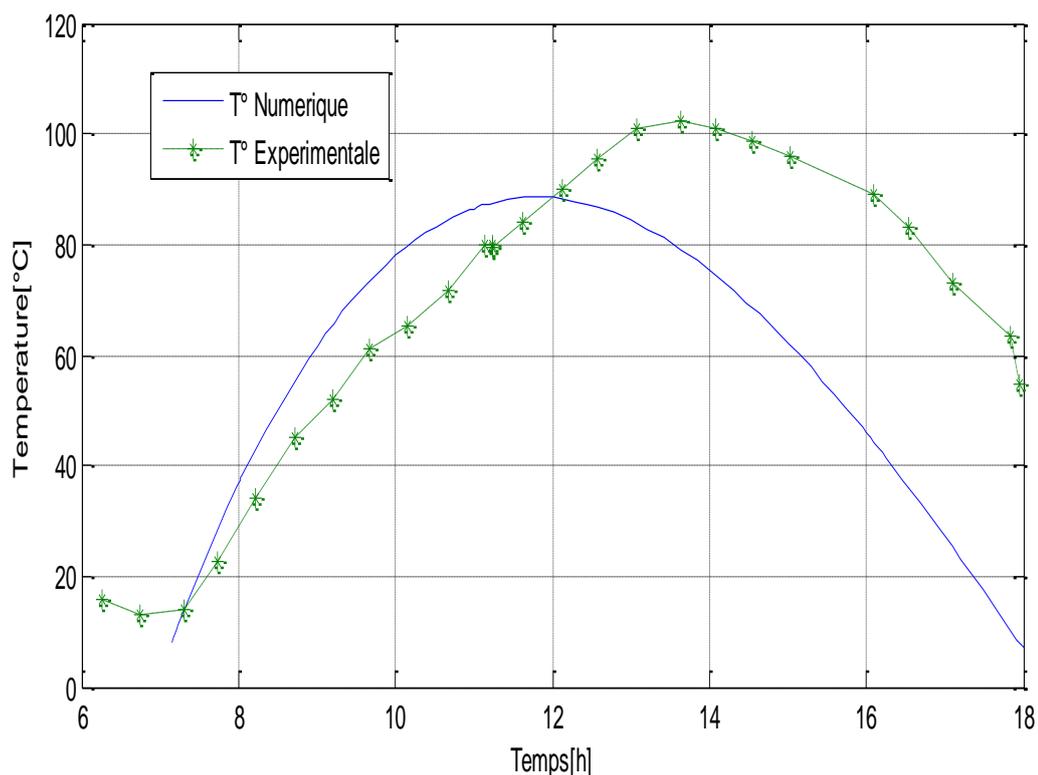


Figure III.11 : Évolution de la température de l'isolant en fonction du temps

### III.4.5 Validation de la variation de température de la zone tampon

La figure III .12 présente la variation de la température de la zone tampon en fonction du temps. On constate que les courbes numériques et expérimentales sont équivalentes à celles des éclairements. On note que la variation de cette température est un paramètre très sensible qui dépend à la fois de l'éclairément et du gradient de température la vitre et l'eau.



**Figure III.12 : Évolution de la température de la zone tampon en fonction du temps**

### III.5 Conclusion

Durant cette partie de validation, nous avons fait une comparaison entre les résultats des essais expérimentales et les résultats numérique, la comparaison faite pendant la période allant de 06 :00h à 18 :00h .Après la comparaison des résultats on remarque que les résultats numériques se concordent avec les résultats expérimentaux.

## CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude numérique d'un distillateur solaire basé sur le principe de l'effet de serre qui provoque une augmentation de la température et conduit par conséquent à l'évaporation de l'eau. Aussi durant cette contribution on a présenté le dessalement solaire et les différentes techniques utilisées dans cette technologie d'avenir. Nous avons donné aussi une comparaison détaillée dans laquelle nous avons résumé la plus part des techniques de dessalement avec leurs avantages et inconvénients. Notre distillateur se compose d'un bassin recouvert d'une couche noire absorbante et d'un couver transparent en verre ordinaire ou parfois en plastique mis en pente ; le long d'une journée ensoleillée l'augmentation de la température due à l'effet de serre fait réchauffer l'eau qui 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. Le système d'équations régissant le fonctionnement du distillateur solaire se compose de 5 équations différentielles du 1er ordre, une approche numérique basée sur un code de calcul en langage Matlab-simulink est utilisée pour la résolution de ces équations. Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres externes et internes sur les caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire notamment la production. La validité de notre travail a été appréciée en comparant les résultats expérimentaux avec ceux donnés par la simulation numérique ; on a constaté une forte concordance. A moins que les faibles écarts des températures sont dus 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, de la géométrie du distillateur.

En fin les résultats de cette étude peuvent donc ouvrir sur les perspectives suivantes.

- ✓ L'utilisation d'un système pour refroidir la surface de condensation.
- ✓ La forme géométrique du distillateur solaire, doit être grande pour capter le maximum de l'irradiation solaire.
- ✓ La forme géométrique du distillateur solaire, doit être sphérique pour être exposée au soleil pour une longue durée.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Le déficit d'eau en Algérie une\_situation\_alarante\_1Article 2001 par Redjem Hadeb université labri ben mhidi : [https://www.researchgate.net/publication/228597684\\_](https://www.researchgate.net/publication/228597684_)
- [2] : JORADP (journal officiel de la république Algérienne) (2005) : Loi n° 05-12, du 28  
Jumada ethania 1426, correspondant au 04 aout 2005
- [3] : MRE (ministère des ressources hydriques) (2006)le chalenge de dessalement (enligne)  
:www.mre.gov.dz/eau/ress\_non\_convent.htm-21k ressources non conventionnelles
- [4]:<http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/le-dessalement-de-leau-de-mer-et-deseauxsaumatres-840>.
- [5] : Selma jariri, « le dessalement d'eau » un levier du développement durable au Maroc, office national de l'eau potable, expo Andalousie Maroc –Casablanca.01 octobre 2009.
- [6] : <http://tpedessalementmaroc.weebly.com/lhistorique-du-dessalement.html>.
- [7]: <https://journals.openedition.org/vertigo/4042>
- [8] : f /international par sevrinemaublac 11 juillet 2019 17 : 37
- [9] : Hammou .m mémoire présenté pour obtenir le diplôme de magistère « Analyse de différents paramètres d'un système de dessalement par distillation solaire »L'université Ibn KhaldounTiaret 2010
- [10] : [SIDEM]Smith, M. SIDEM: « production d'eau douce par dessalement » paris p43
- [11] : [Youssef Mandri, « Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide » l'université Claude Bernard Lyon 1 et préparée en cotutelle avec l'université Mohammed v- Agdal de Rabat pour l'obtention du Diplôme de Doctorat en Génie des procédés, Lyon, 13 décembre 2011.].
- [12] : Cours Thématique sur le dessalement d'eau bonnes pratiques d'ingénierie pour le dessalement d'eau avril 2013
- [13] : <http://www.lycee-kerichen.org/dossiers/ProjetInde/page5.html>
- [14] : Maurel. A., (2006), Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2e édition TEC&DOC286p

[15] : Etude et simulation du bilan thermique d'un distillateur Solaire direct à effet de serre  
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Mr serradj Abdelkader Melle Sahel Imane

[16] : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1281>.

[17]:BERLAN J M & JUERY C « le procédé membranaire pour le traitement de l'eau ». Office international de l'eau (SNIDE).ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales. Direction de l'espace rurale et de la foret- France, 2002.

[18] : [Abderrazak-Atallah, «Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de honaine», mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en biologie, université aboubakrbelkaid, Tlemcen, 2014.].

[19] : <https://dessalement.wordpress.com/losmose-inverse/>.

[20] : le-dessalement-de l'eau-de-mer .PDF conférence journées internationales dragages, produits de dragages et développement durable 'Hammamet, Tunisie février 2012

[21]:<https://tpeorbleu.wordpress.com/techniques-de-dessalement-2/comparatif-des-techniques/>.

[22] : Muhammad Ali Samee, Umar K. Mirza\_, Tariq Majeed, Nasir Ahmad "Design And Performance of a Simple Single Basin SolarStill", Renewable and SustainableEnergyReviews, 2005

[23] :Mousa Abu-Arabi, YousefZurigat, Hilal Al-Hinaib, Saif Al-Hiddabib. Modeling and performance analysis of asolar desalination unit with double-glass covercooling, Desalination, Vol. 143, pp. 173-182, 2002

[24] :Mousa Abu-Arabia, YousefZurigatb"Year-Round Comparative Study of Three Types of SolarDesalinationUnits ", Desalination, 172, 137-143, 2005., Yousef H. Zurigat, Mousa K. Abu-A.rabi. Modelling and performance analysis of aregenerativesolar desalination unit, Applied Thermal Engineering, Vol. 24, pp. 1061- 1072, 2004.

[25] :Ahmed Khedim, KlemensSchwarzer, Christian Faber, Christoph Müller. Production Décentralisée de l'eau potable à l'énergie solaire, Desalination, Vol. 168, pp. 13-20, 2004

[26] : M. Benhammou, B. Omari, M. Gahgah, L. Amer, A. Boubghal" Réalisation et

Expérimentation d'un Distillateur Solaire Couple à un Condenseur ", Station d'Expérimentation des Equipement Solaires en Milieu Saharien, B.P. 478, Route de Reggane-Adrar, 2003.

[27] : 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

[28] : A. El-Sebaii" Effect of Wind Speed on Active and Passive Solar Stills", Energy Conversion and Management, 45, 1187-1204, 2004

[29] : SFEIR A. GUARRACINO G. Ingénierie des systèmes solaires Applications à l'habitat1981, Technique et documentation

[30] :Hilal Al-Hinai, M. S. Al-Nassri, B. A. Jubran" Parametric Investigation of a Double-Effect Solar Still in Comparison With Single-Effect Sola Still ", Desalination, 150, 75-83, 2002.

[31 ] :cours de simulation (Département d'informatique et d'ingénierie - Université du Québec en Outaouais 101, Saint-Jean-Bosco, C.P. 1250, succursale Hull, Gatineau (Québec) Canada, J8X 3X7 Tél.: 819-773-1600 Télécopieur: 819-773-1638)

[ 32] : FEDALI SAIDA « MODELISATION ET CONCEPTION D'UN DISTILLATEURSOLAIRE DES EAUX SAUMATRES A BAS COÛT POURLES COMMUNAUTES RURALES » mémoire de magistère université de Batna 2007 .

## الملخص

المياه هي المورد الأكثر وفرة على سطح الأرض ولكنها أيضا واحدة من أندر الموارد في الواقع 97 بالمائة من المياه الموجودة على سطح الأرض مالحة وبالتالي لا يمكن للإنسان استخدامها في الصناعة والزراعة والتغذية. من بين الحلول التي قد تكون زادت من نسبة توفرها هي استخدام نظام تحليه المياه بالطاقة الشمسية حيث لا يحتاج النظام التقنية عالية وتكلفة منخفضة ومصدر طاقة مجاني (الطاقة الشمسية). الهدف من هذا العمل هو دراسة نظام تقطير شمسي مع تأثير الاحتباس الحراري لهذا من الضروري إتباع الخطوات التالية:

✓ النمذجة الرياضية لأنماط النقل الحراري التي تحدث داخل نظام المعتمد لتحلية المياه

✓ المحاكات الرقمية باستخدام برنامج على الحاسوب (Matlab Simulink).

بعد دراسة النظام بتمعن (التقطير الشمسي المستوي) وذلك بحل المعادلات التفاضلية التي تتحكم في سلوك التقطير الشمسي.

تظهر نتائج الرسم الرقمي تطور درجة الحرارة على مستوى كل عنصر (الزجاج، الماء، العازل الحراري، الحوض).

بعد المقارنة بين المحاكاة الرقمية و التجريبية لاحظنا أن النتائج متقاربة. لهذا يمكننا اعتماد البرنامج المنجز كأداة لتوضيح الظواهر الفيزيائية التي تحدث داخل الجهاز.

**الكلمات المفتاحية :** التقطير الشمسي- تحليه المياه- المحاكاة التجريبية والرقمية- النمذجة الرياضية.

## Résumé

L'eau est la ressource à la fois la plus abondante sur la surface de la terre, mais aussi une des plus rares : en effet, 97% de l'eau présente sur terre est salée et donc inutilisable par l'homme pour l'agriculture, l'industrie et l'alimentation c'est parmi les solutions qui peuvent avoir d'accroître de la disponibilité l'eau potable, à travers le dessalement d'eau de mer , la façon la plus appropriée pour cela est l'utilisation du distillateur solaire, car le système n'a pas besoin de la haute technologie, un faible coût, et une source d'énergie gratuit (l'énergie solaire). L'objectif de ce travail est d'étudier un système à distillation solaire a effet de serre .Pour cela il faut suivre les étapes suivantes, modélisation mathématique des modes de transfert thermique qui se déroulent a l'intérieure de notre système et puis la simulation numérique a l'aide d'un outil informatique (MATLAB-SIMULINK). Après avoir étudié le système (distillateur solaire plan à effet de serre), en résolvant les équations différentielles qui régissent le comportement de distillateur solaire. Les résultats numériques graphiques montrent l'évolution de la température au niveau de chaque élément (la vitre, le bassin, l'eau, l'isolant). Après une comparaison entre l'expérimentale et la simulation numérique on constate que les résultats se convergent.

**Mots clés** distillation solaire, l'énergie solaire, modélisation mathématique, modélisation mathématique, dessalement

## Abstract

Water is the resource once the most abundant on the surface of the Earth, but also one of the rare: indeed, 97% of water on Earth is salty and there are unusable by humans for agriculture, industry and power. It is among the solutions that may have increased availability for this is the use of the solar still as , the system does not need high technology , low cost, and a free power source ( solar energy ).

The objective of this work is to study a system with so mure distillation with greenhouse effect. For this it is necessary to follow the following steps, mathematical modeling of the thermal transfer modes which take place inside our system and well the simulation digital using a computer tool (MATLAB SIMULINK). After studying the system (plan green house solar still) by solving the differentialequationthatgovern the behavior of solarstill. The numericalgraphicalresults show the evolution of the temperatureat the level of each element( window, water, the insulator, pool), after a comparisonbetweenexperimental and numerical simulation or note that the results converge

**Key words:** solar distillation, numerical simulation, solar energy, mathematical modeling.