

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Mathématiques**

**et des Sciences de la Matière**

**Département de physique**



**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences de la Matière**

**Filière : physique**

**Spécialité : physique énergétique et énergies renouvelables**

**Présenté par : Bramki Haithem**

**Thème**

**Étude d'effet couplage d'un four solaire avec une  
chambre de distillateur sur le rendement  
journalière dans les zones aride**

**Soutenu le 11/06/2018**

**Devant le jury composé de :**

|                                 |            |                       |                   |
|---------------------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| <b>SOUDANI Mohamed Albar</b>    | <b>MCB</b> | <b>U.K.M. Ouargla</b> | <b>Examineur</b>  |
| <b>BOUANAN Rabah</b>            | <b>MAA</b> | <b>U.K.M. Ouargla</b> | <b>Président</b>  |
| <b>BELHADJ Mohamed Mostapha</b> | <b>MCB</b> | <b>U.K.M. Ouargla</b> | <b>Rapporteur</b> |

**2017/2018**

# ***Dédicaces***

**Je dédie ce travail**

**A mon cher père**

**A ma chère mère**

**A mes chers frères et sœurs (Imane, Hala, Hanine,  
Bilal, wisal, Nessar)**

**A mes chers amis et à toute personne qui m'est  
chère et qui m'a soutenu durant la réalisation de  
cette mémoire**

## ***Remerciements***

**je remercie dieu d'avoir pu réaliser modeste  
travail.**

**J'exprime tous mes remerciements d'abord à  
mon encadreur;**

**Mr: BELHADJ Mohamed Mostapha**

**Je tiens à remercier les membres du jury:**

**Mr: BOUANAN Rabah**

**Mr: SOUDANI Mohamed Albar**

**Je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou  
de loin**

## Résumé:

Dans ce présent travail, nous avons étudié l'influence des paramètres géométriques (deux canalisation de la communication) entre deux chambres sur les performances d'un distillateur solaire couplé à un distillateur à film capillaire séparé soumis aux conditions climatiques du Sud algérien. Une modélisation analytique détaillée du système a été présentée. Les résultats obtenus montrent que les performances du distillateur augmentent à celle de distillateur séparé. Une simulation numérique est effectuée pour apprécier le modèle développé et pour optimiser le rapport des surfaces entre les deux distillateurs. Les résultats obtenus prouvent que la production quotidienne de système est de plus haut que cela de un distillateur e conventionnel.

**Mots- clés:** Distillation solaire, Distillateur à film capillaire, Energie, Couplage.....

## الخلاصة

في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير العوامل الهندسية (قناة التواصل بين الغرفتين) على أداء جهاز التقطير الشمسي بجانب جهاز التقطير بخاصية الفيلم الشعيري, يخضع النظام للظروف المناخية في الجنوب الجزائري, قدمت النمذجة التحليلية للنظام وأظهرت النتائج أن أداء المقطر الشمسي يزيد في حالة المقطر المنفصل (الغرفتين).

تم إجراء محاكاة رقمية لتقدير النموذج المطور و تحسين نسبة الأسطح بين المقطر وأظهرت النتائج أن المردود اليومي أعلى. من المردود اليومي للمقطر التقليدي .

**الكلمات المفتاحية :** مقطر شمسي , مقطر مع فيلم شعيري , طاقة , .....

# Table des matières

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Dédicace.....              | I    |
| Remerciements.....         | II   |
| Résumés .....              | III  |
| Table des matières .....   | IV   |
| Liste des figures.....     | VIII |
| Liste des tableaux.....    | IX   |
| Liste des symboles.....    | X    |
| Introduction générale..... | 01   |

## *Chapitre I : problème de l'eau dans le monde*

|   |    |
|---|----|
| I-1-Introduction.....                       | 02 |
| I-2-L'eau dans le monde.....                | 02 |
| I-2-1 Répartition géographique.....         | 04 |
| I-2-2- La consommation d'eau.....           | 05 |
| I-2-3-L'eaux potables.....                  | 05 |
| I-3 -La crise de l'eau en Algérie.....      | 06 |
| I-3 -1- L'eau potable en Algérie.....       | 06 |
| I-3-2- Le problème de l'eau en Algérie..... | 08 |

|   |    |
|---|----|
| I-3-2-1 faiblesse des ressources en eau .....       | 08 |
| I-3-2-1-a Les ressources en eau superficielle ..... | 08 |
| I-3-2-1-b Les ressources en eau souterraine.....    | 09 |
| I-3-2-2 -Dégradation continue des ressources.....   | 09 |
| I-3-2-3 Les périodes de sécheresse.....             | 10 |
| I-3-2-4 Conditions climatiques difficiles.....      | 11 |
| I-3-2-5 Croissance démographique.....               | 11 |
| I-4- Historique.....                                | 12 |

## ***Chapitre II : Problématique et Objectifs***

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| II-1. Problématique.....              | 16 |
| II -2. Impacts socio-économiques..... | 18 |
| II -3. Objectifs scientifiques .....  | 18 |
| II -4 .Méthodologie.....              | 18 |

## ***Chapitre III : Problématique et Objectifs***

|   |    |
|---|----|
| III- Bilan énergétique du distillateur simple .....     | 20 |
| III- 1 Principe de fonctionnement .....                 | 20 |
| III- 2 Bilan énergétique du vitrage.....                | 20 |
| III- 3 Bilan énergétique de masse d'eau (saumure) ..... | 21 |

|   |    |
|---|----|
| III- 4 Bilan énergétique du distillateur à film capillaire à un seul étage..... | 23 |
| III- 5 Au niveau de La plaque de 'évaporateur.....                              | 24 |
| III- 6 Au niveau de La plaque du condenseur.....                                | 25 |
| III- 7 Le modèle du système couplé .....  | 26 |
| III- 8 Le modèle mathématique du système couplé.....                            | 27 |
| III- 9 Rendement de distillateur couplage .....                                 | 28 |
| III- 9 -1-Rendement instantané .....  | 28 |
| III- 9- 2-Rendement journalier.....   | 28 |

## *Chapitre IV : SUMULATION*

|   |    |
|---|----|
| IV -1-Introduction .....  | 29 |
| IV -2-Les dimensions du distillateur.....                               | 29 |
| IV -3-Les caractéristiques physiques des éléments du distillateur ..... | 30 |
| IV -4- la méthode de Runge-Kutta.....                                   |    |
| IV -5-L'organigramme.....   | 34 |

## *Chapitre V : Résultat et discussions*

|  |    |
|--|----|
| V -1-Introduction .....  | 35 |
| V -2- La variation des températures des éléments de distillateur.....                                    | 36 |
| V -3- Le rendement instantané à chaque élément de la production.....                                     | 37 |
| V -4- La différence de cumul distillat production à chaque condenseur.....                               | 38 |
| V -5- L'écart de température entre la surface vitrage (Tv) et l'eau de bassin (Te).....                  | 39 |
| V -6- L'écart de température entre l'eau de bassin (Te) et la plaque(Tp) ..                              | 40 |
| V -7- Variation de rayonnement solaire et température d'ambient pendant la journée d'ensoleillement..... | 41 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>V -8- La variation de cumulation de débit l'eau d'entrée, l'eau distillat et débit de sorte de l'eau saumâtre du distillateur à film capillaire.....</b> | <b>42</b> |
| <b>Conclusion Générale.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>Bibliographie.....</b>   |           |



## *Liste des figures*

|        |  |    |
|--------|--|----|
| I.1    | Distillateur solaire à effet de serre.....   | 12 |
| I.2    | Distillateur solaire active avec réflecteurs.....  | 13 |
| I.3    | Distillateurs à multi-mèche.....   | 14 |
| I. 4   | Distillateur à mèche incliné.....  | 14 |
| I. 5   | Distillateur solaire inclinée à mèche avec une plaque réflecteur   | 15 |
| I. 6   | Distillateur à film capillaire multi-étage DIFICAP.....  | 15 |
| III- 1 | Flux de chaleur et massique échangé au niveau d'un distillateur simple.....  | 20 |
| III- 2 | . Schéma d'un distillateur à film capillaire .....   | 23 |
| III- 3 | Flux de chaleur échangée dans un distillateur solaire à film capillaire.....   | 24 |
| III- 4 | Système couplé distillateur simple .et distillateur a film capillaire  | 26 |
| V -1   | La variation des températures des éléments de distillateur.....  | 36 |
| V -2   | Le rendement instantané à chaque élément de la production.....   | 37 |
| V -3   | L'écart de température entre la surface vitrage ( $T_v$ ) et l'eau de bassin ( $T_e$ ).....  | 38 |
| V -4   | L'écart de température entre la surface vitrage ( $T_v$ ) et l'eau de bassin ( $T_e$ ).....  | 39 |
| V -5   | L'écart de température entre l'eau de bassin ( $T_e$ ) et la plaque évaporateur ( $T_P$ ).....   | 40 |
| V -6   | Variation de rayonnement solaire et température d'ambient pendant la journée d'ensoleillement.....                                       | 40 |
| V -7   | La variation de cumulation de débit l'eau d'entré, l'eau distillat et débit de sorte de l'eau saumâtre du distillateur à film capillaire | 41 |

## *Liste des Tableaux*

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>I.1</b>  | <b>Les principales ressources en eau distribuées dans le monde.....</b>   | <b>02</b> |
| <b>I.2</b>  | <b>Disponibilités en eau potable dans l'espace euro-méditerranéen ...</b> | <b>03</b> |
| <b>I.3</b>  | <b>Degré de salinité de l'eau.....</b>                                    | <b>06</b> |
| <b>I. 4</b> | <b>Disponibilité d'eau en Algérie par habitant en 2020.....</b>           | <b>07</b> |
| <b>I. 5</b> | <b>Barrages affectés par la pollution en Algérie.....</b>                 | <b>08</b> |
| <b>IV.1</b> | <b>Tableau de Butcher pour une EDO d'ordre 1.....</b>                     | <b>31</b> |
| <b>IV.2</b> | <b>Tableau de Butcher pour Runge d'ordre 4 RK4.....</b>                   | <b>32</b> |

# Liste des symboles

|               |   |                    |
|---------------|---|--------------------|
| $m$           | <i>masse</i>  | $(kg)$             |
| $C_p$         | <i>Capacité thermique massique à pression constante</i> | $(J.kg^{-1}.°C)$ . |
| $T$           | <i>Température</i>                                      | $(°C), (K)$        |
| $t$           | <i>Temps</i>  | $(s)$              |
| $h$           | <i>Coefficient de transfert thermique</i>               | $(W.m^{-2}.°C)$    |
| $\rho$        | <i>La masse volumique</i>                               | $(kg.m^{-3})$      |
| $E$           | <i>L'épaisseur</i>                                      | $(m)$              |
| $S$           | <i>Surface</i>  | $(m^2)$            |
| $Nu$          | <i>Nombre de Nusselt</i>                                |                    |
| $Gr$          | <i>Nombre de Grashof</i>                                |                    |
| $Pr$          | <i>Nombre de Prandtl</i>                                |                    |
| $\alpha$      | <i>Facteur d'absorption</i>                             |                    |
| $L_v$         | <i>Chaleur latente de l'eau</i>                         | $(J.kg^{-1})$      |
| $\dot{m}$     | <i>Débit massique de l'eau d'appointe</i>               | $(kg.s^{-1})$ .    |
| $p$           | <i>la puissance absorbée par le noeud i</i>             | $w.m^2$            |
| $\eta_i$      | <i>Rendement instantané</i>                             |                    |
| $\dot{m}_d$   | <i>Débit massique de l'eau distillat (kg.s-1).</i>      | $(kg.s^{-1})$ .    |
| $G$           | <i>Reynement incidence</i>                              |                    |
| $\beta_v$     | <i>angle d'inclinaison du vitre</i>                     | <i>degré</i>       |
| $\beta_p$     | <i>angle d'inclinaison de la plaque évaporateur</i>     | <i>degré</i>       |
| $X_c$         | <i>distance entre des plaques Dificap</i>               | <i>m</i>           |
| $\varepsilon$ | <i>Emissivité</i>                                       |                    |

## **INTRODUCTION GENERAL**

L'eau, l'élément vital pour les êtres vivants, est la boisson naturelle par excellence. C'est une ressource essentielle de la vie. Elle fait l'objet d'utilisations très diverses pour tous les organismes vivants connus, l'approvisionnement de cette eau constitue un besoin majeur dans les différents domaines de la vie en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie. La totalité de l'eau présente sur la Terre forme ce que l'on appelle l'hydrosphère. Son volume total est estimé à 1 400 millions de km<sup>3</sup>. Ce volume paraît considérable :

Il correspond à un cube de 1 400 kilomètres de côté ou à 400 fois le volume de la Méditerranée. Il convient cependant de relativiser : plus de 97 % de l'eau de la planète bleue est salée, et l'eau douce représente à peine 3 % du volume total de l'eau présente sur la Terre. Néanmoins, le dessalement nécessite de l'énergie dont le coût intervient pour une grande partie dans celui de l'eau.

La distillation solaire est un procédé de production d'eau douce à fort économique, surtout dans les régions caractérisées par un bon ensoleillement, aussi l'homme de ces régions déshéritées pourra pallier aux contraintes de ravitaillement et fourniture énergétiques en s'intéressant à l'utilisation d'énergie solaire pour le dessalement. Plusieurs types de distillateurs solaires ont été construits et essayés à travers le monde.

# **Chapitre I**

**Problème de l'eau dans le mode**

## I-1-Introduction

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

Les principales ressources en eau distribuées dans le monde entier représentent dans le tableau suivant : [1]

**Tableau I -1:Les principales ressources en eau distribuées dans le monde**

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

## I-2-L'eau dans le monde

On estime que les ressources en eau potable dans le monde sont de 40.000 milliards de m<sup>3</sup>, pour une population de 6 milliards de personnes soit 6800 m<sup>3</sup>/habitant/an, cette disponibilité varie d'un pays à un autre.

À titre d'exemple, elle est de 360000 m<sup>3</sup>/habitant/an pour le Congo, de 630 m<sup>3</sup>/habitant/an pour l'Algérie et uniquement de 23 m<sup>3</sup>/habitant/an pour Djibouti.

On apprécie la rareté de l'eau dans un pays par rapport à des seuils qui sont estimés dans la littérature de l'eau, à 1000 m<sup>3</sup>/habitant/an (seuil de

tension ou water stress) et à 500m<sup>3</sup>/habitant/an (pénurie absolue ou water scarcity). En 1990, vingt (20) pays, dont l'Algérie (tableau 1.), ont été classés en dessous du seuil détensions. En fait ces seuils ne sont qu'indicatifs et sont bases sur les besoins en eau de pays situés en zone aride ou semi aride où la production agricole dépend en totalité ou en grande partie de l'agriculture en irriguée. [2]

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

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

## **I-2-1 Répartition géographique**

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

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

En Inde, il existe de très fortes différences entre les plaines de l'Himalaya (traversées par des grands fleuves), les zones désertiques, et les moussons du sud indien.

En Chine, l'eau est gelée plusieurs mois par an au nord, l'ouest est caractérisé par la désertification et le sud par un climat tropical.

Dans la région méditerranéenne, l'eau douce est rare et irrégulièrement répartie. Les pays les plus riches en eau (France, Turquie, Italie, ex-Yougoslavie) cumulent les deux tiers des ressources (825 sur 1189 km<sup>3</sup> par an). D'autres pays, tels que Malte, Jordanie, Libye, sont en dessous du seuil de pénurie (500 m<sup>3</sup> par an et par habitant). [4]



### **I-2-2- La consommation d'eau**

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

•L'industrie est responsable d'environ 20 % de la consommation mondiale d'eau douce. Ainsi pour produire 1 kg d'acier, il faut 80 l d'eau, 1 kg d'aluminium nécessite 1250 l et environ 8600 l d'eau pour produire une carte mémoire de six pouces. • La consommation domestique, représente 8 à 10 % de la consommation totale d'eau douce. Les modes d'utilisation de l'eau n'ont pas tous les mêmes conséquences. On considère ainsi que l'utilisation des ressources naturelles est moins destructrice lorsque l'eau, après utilisation, est à nouveau disponible, c'est le cas des eaux domestiques retraitées et reversées dans les cours d'eau. En revanche, l'évaporation ou l'infiltration soustraient l'eau à une réutilisation immédiate. [5]

### **I-2-3-L'eaux potables :**

D'après les normes sanitaires de l'O.M.S (Organisation Mondiale de la Santé) toute eau distribuée à une collectivité doit être potable.

Un eau est considérée comme potable si sa salinité totale est comprise entre 100 et 1000 ppm (partie pour million), soit 0.1 et 1g/l.

La salinité des mers varie d'une mer à une autre et elle est en moyenne de 35g/l, avec de fortes variations régionales dans certains cas : 39g/l en Méditerranée, 42g/l dans le Golfe Persique et jusqu'à 270g/l en mer morte. [6]

La salinité des mers varie d'une mer à une autre et elle est en moyenne de 35g/l, avec de fortes variations régionales dans certains cas : 39g/l en Méditerranée, 42g/l dans le Golfe Persique et jusqu'à 270g/l en mer morte. [6]

**Tableau I -3 : Degré de salinité de l'eau [7]**

| Mers             | Salinité en (mg/l) |
|------------------|--------------------|
| Mer Baltique     | 7 000              |
| Mer Caspienne    | 13 500             |
| Mer Noire        | 13 000             |
| Mer Adriatique   | 25 000             |
| Océan Pacifique  | 33 000             |
| Océan Indien     | 33 800             |
| Océan Atlantique | 36 000             |
| Mer Méditerranée | 39 400             |
| Golf Arabique    | 43 000             |
| Mer Rouge        | 43 000             |
| Mer Morte        | 270 000            |

### **I-3 -La crise de l'eau en Algérie:**

#### **I-3 -1- L'eau potable en Algérie:**

L'Algérie fait partie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, et se situe donc en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale, soit 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par année. Si en 1962, la disponibilité annuelle en eau par habitant était de 1500 m<sup>3</sup> elle n'était plus que de 720 m<sup>3</sup> en 1990 de 680 m<sup>3</sup> en 1995 et de 630 m<sup>3</sup> en 1998. La disponibilité annuelle en eau par habitant est aujourd'hui de 500 m<sup>3</sup>. Du fait de la pression démographique, cette

disponibilité ne sera plus que de 430 m<sup>3</sup> par habitant en 2020 ; à cet horizon, cette disponibilité serait par bassin hydrographique comme suit

**Tableau I -4 : Disponibilité d'eau en Algérie par habitant en 2020 [8]**

| Bassin hydrographique | Ressources (hm) | Population (10 <sup>6</sup> habitant) | Disponibilité (m <sup>3</sup> /habitant) |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|--|
| Oranie chott          |                 |                                       |  |
| Chergui               | 1400            | 6.3                                   | 220                                      |
| Chélifer              | 2072            | 7.0                                   | 300                                      |
| Algérois              |                 |                                       |  |
| Soumma-Hadna          | 5125            | 15.8                                  | 320                                      |
| Const-mejd            |                 |                                       |  |
| Mellegue              | 5048            | 10.0                                  | 500                                      |
| Sud                   | 5436            | 4.9                                   | 1120                                     |
| Totale Algérie        | 64518           | 44.0                                  | 430                                      |

## **I-3-2- Le problème de l'eau en Algérie**

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

### **I-3-2-1 faiblesse des ressources en eau :**

#### **I-3-2-1-a Les ressources en eau superficielle :**

Les ressources en eau sont généralement faibles et surtout extrêmement irrégulières, leur Exploitation devient de plus en plus difficile dans notre pays. Leur répartition sur le territoire st inégale; elles sont également exposées à des risques de pollution de plus en plus Importants et qui compromettent l'utilisation de ces eaux dans de nombreuses régions du Pays. Sur l'ensemble du territoire national, il y a seulement 49 barrages en exploitation Totalisant actuellement une capacité de 4,48 Milliards de m<sup>3</sup>, pour l'alimentation en eau potable.-Il est à signaler que les trois barrages qui alimentent la capitale en l'occurrence le barrage de KEDDARA de HAMIZ et de BENI-AMRANE, sont entres dans ce qu'on appelle " tranche morte"

Avec un volume stocke en fin janvier 2002 d'environ 8,8 Milliards de m<sup>3</sup>, soit une baisse jamais atteinte depuis sa mise en service. La même situation s'est présentée pour les barrages de HAMIZ avec un volume de 1,91 million de m<sup>3</sup> et celui de BNI-AMRAN, qui est un barrage de transfert vers kaddara avec un volume de 1.18 millions de m<sup>3</sup>. Les barrages du centre du pays s'avèrent être les plus touchés par la baisse sensible des eaux, contrairement à ceux de l'Ouest.

### **I-3-2-1-b Les ressources en eau souterraine :**

Les eaux souterraines sont généralement faibles et localisées dans le Sahara. Les lits d'oueds alimentent quelques nappes phréatiques souvent saumâtres : Ghir, M'zeb, Saoura, ou encore Des nappes profondes, semi - fossiles ou fossiles comme l'Albien. Au nord, les précipitations sont irrégulières et mal distribuées géographiquement, elles augmentent d'Ouest en Est et affectent successivement les monts de Tlemcen, le versant nord de l'Ouarsenis, le massif de la grande kabyle, la petite Kabylie, le nord Constantinois et le massif des Aurès.. [9]

### **I-3-2-2 -Dégradation continue des ressources**

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

**Tableau I –5: Barrages affectés par la pollution en Algérie [10]**

| Barrage      | Wilaya    | Source de pollution           |
|--------------|-----------|-------------------------------|
| Cheffia      | El-Taref  | Rejets urbains et industriels |
| Zardeza      | Skikda    | Rejets urbains                |
| Hammam-Grouz | Mila      | ENAD* Chelghoum-Laid          |
| Béni Amrane  | Boumerdes | ENAD*Lakhdaria/Hydrocarbures  |
| Kaddara      | Boumerdes | Hydrocarbures                 |
| Hamiz        | Alger     | Hydrocarbures                 |
| Harbil       | Médéa     | Complexe de SAIDAL**          |
| Fergoug      | Mascara   | Rejets urbains et industriels |
| Beni-Bahdel  | Tlemcen   | Rejets urbains et industriels |
| SidiAbdelli  | Tlemcen   | Rejets industriels            |

(\*)Entreprise National des Détergents et Produits d'Entretien.

(\*\*) Entreprise National de Production pharmaceutique.

### I-3-2-3 Les périodes de sécheresse

L'Algérie connaît depuis plus d'une vingtaine d'années, une sécheresse sévère et persistante. L'année 1988/89 est à classer en tant qu'année sèche. Le déficit pluviométrique est bien remarqué à l'Ouest (notamment à ORAN, GHAZAOUET et Arzew).-Les barrages de BENI-BAHDEL et de MAFROUCH se sont asséchés. Durant le mois de juin 1988, les régions du Centre et de l'Ouest ont vu un déficit pluviométrique supérieur à 50%, à l'Est, il était de 30%, durant ces deux dernières décennies. De manière Générale, la sécheresse est apparue sur la majorité des pays du bassin méditerranéen depuis le début des années 80. [11]

#### **I-3-2-4 Conditions climatiques difficiles**

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

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

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

Le Sahara, ensemble désertique, aride avec une pluviométrie moyenne inférieure à 100mm/an, couvre 87% du territoire, les conditions climatiques extrêmes et les amplitudes thermiques sont très fortes. [12]

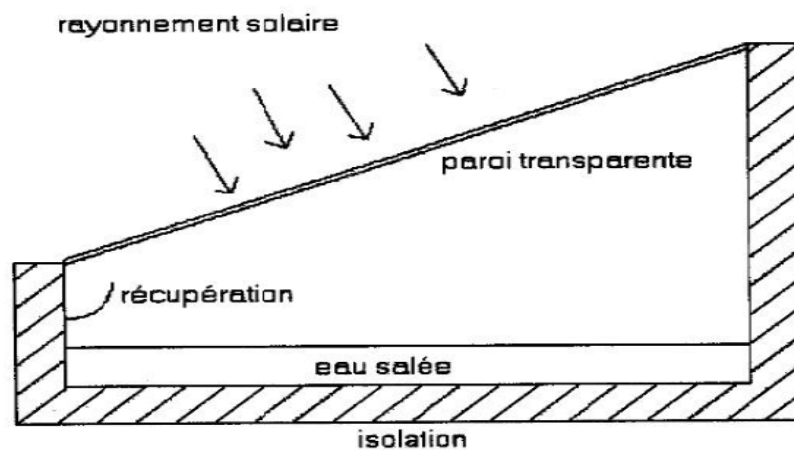
#### **I-3-2-5 : Croissance démographique**

L'Algérie comptait environ 32.3 millions d'habitants en 2004, dont 41% établis dans le milieu rural. La densité moyenne est de 14 habitants/km<sup>2</sup>, mais la population est fortement concentrée dans la zone côtière composée de terres agricoles plus fertiles et riches en ressources naturelles, ainsi que dans les principales villes et pôles d'activités économiques du pays (215 habitants/km<sup>2</sup>), contre 38 habitants/km<sup>2</sup> dans la région des hauts plateaux et 7habitants/km<sup>2</sup> dans le sud. Aujourd'hui, la population dépasse 35 millions d'habitants. [13]

## I-4 Historique:

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

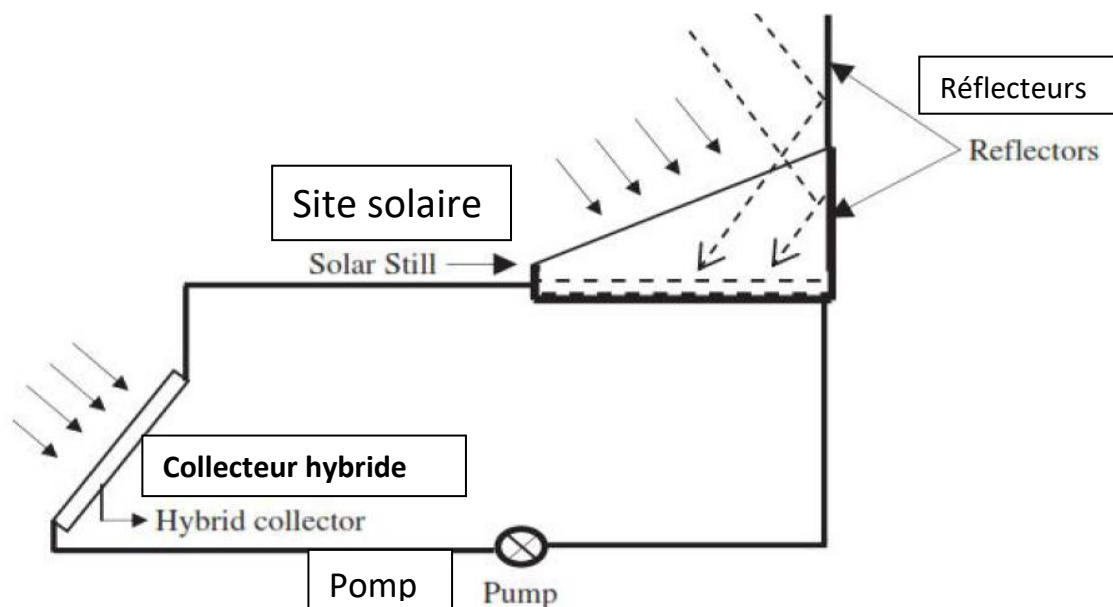
Ce système ne fonctionna que jusqu'en 1910 à cause de l'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur.



**Figure. I.1 Distillateur solaire à effet de serre**

La distillation solaire connut une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires; il en résulta l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné...etc.).



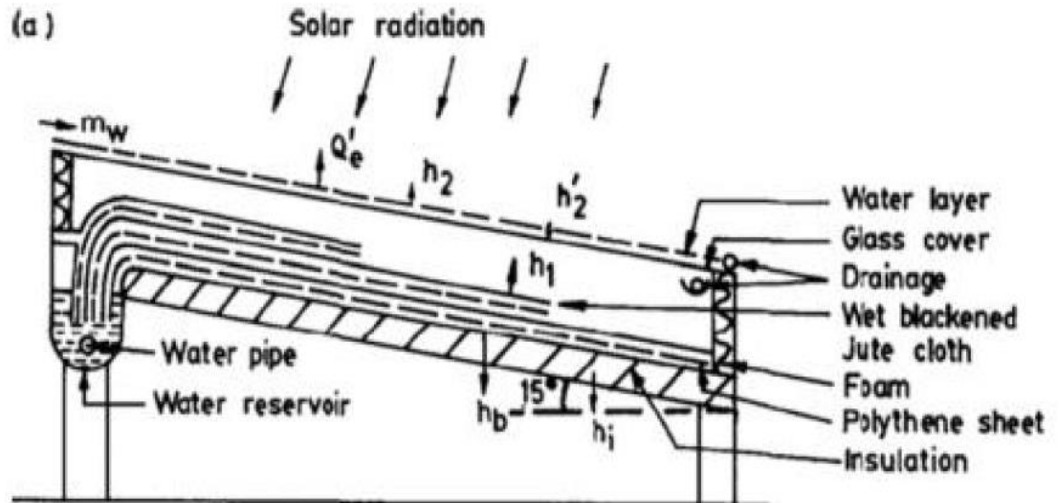


**Figure. I.2 Distillateur solaire active avec réflecteurs**

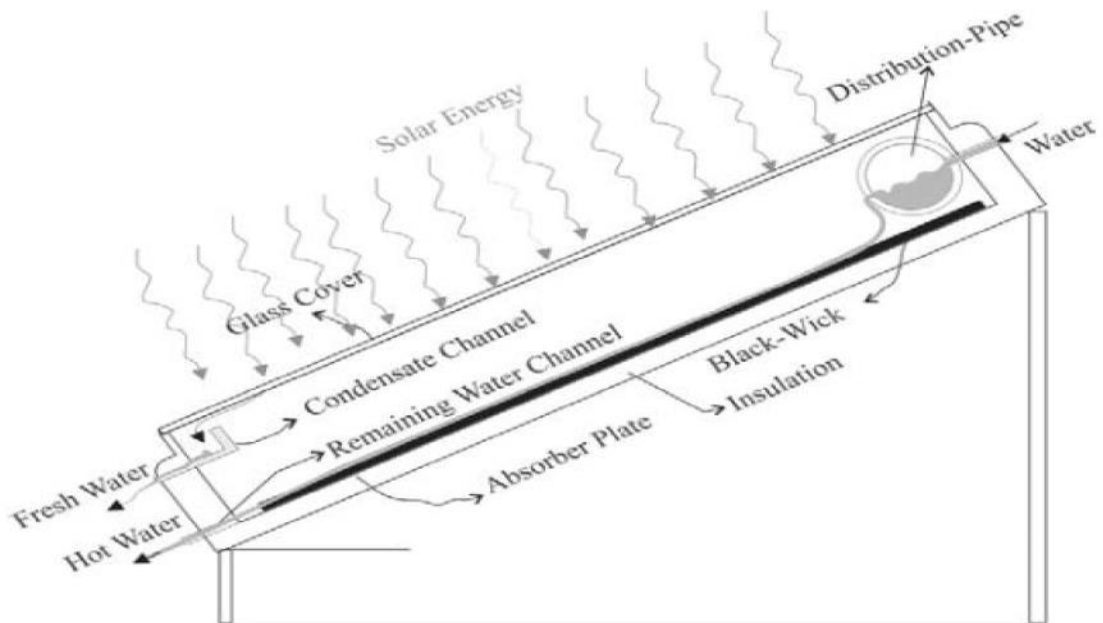
Une installation due a Gini tous groupant 30 appareils de 1 m<sup>2</sup>fut réalisée et exploitée a Bengardane en Tunisie en 1929. Au début des années 30, Trifinovproposa un distillateur incline; en 1938 Abbott utilisa des réflecteurs cylindriques paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire, le tout est achemine dans des tubes contenant de l'eau .Maria Telks inventa en 1945 un nouveau type de distillateur solaire de forme sphérique, qui fut utilise par la marine américaine; un grand nombre de ce modèle, environ 2000 a été utilise pendant la 2eme guerre mondiale. 1969, Cooper proposa une simulation pour analyser les performances d'un distillateur solaire type serre. Depuis les années 70, plusieurs autres types de distillateurs ont été élaborés et étudiés, parmi

Les quels, nous pouvons, sans être exhaustif citer :

- Le distillateur a effet multiple (Oltra, 1972; Batala, 1976)
- Le plateau incline ou le distillateur solaire incline (Howa, 1961Akhtamov et al, 1978)
- Le distillateur solaire type mèche inclinée ou type multiple mèches (Frick et Sommerfeld 1973;Soda et al; 1980; Moustafa 1979)



**Figure. I.3 Distillateurs à multi-mèche**



**Figure. I.4 Distillateur à mèche incliné.**

- Combinaison du distillateur solaire a effet de serre (Salcuk, 1970, 1971; Sodha et al, 1980)

- Distillateur solaire chauffe indirectement (Soliman 1976; Malik et al 1973, 1978, Sodha et al1981).

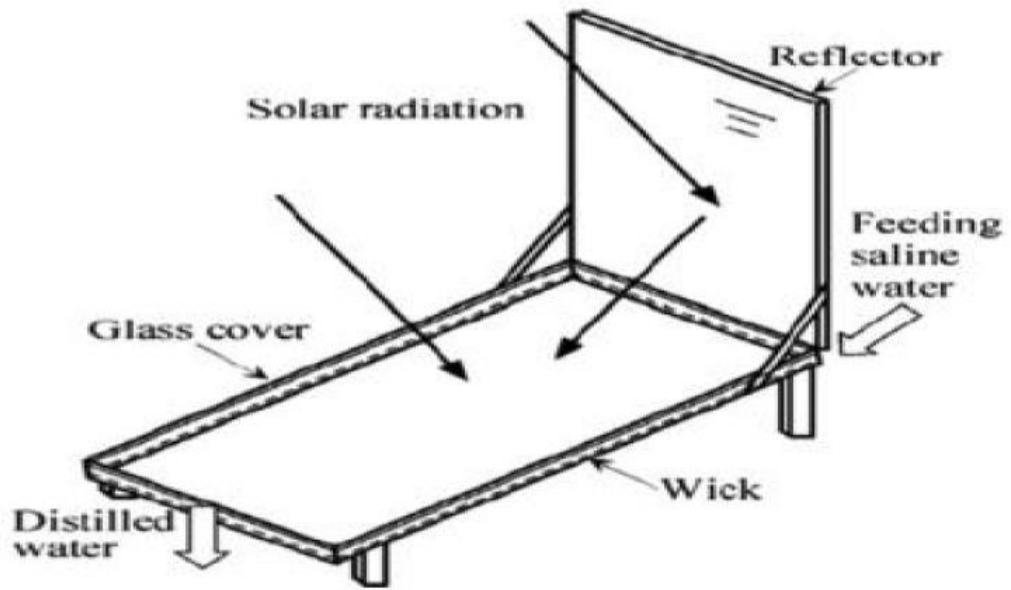


Figure. I.5 Distillateur solaire inclinée à mèche avec une plaque réflecteur

463 2001/1

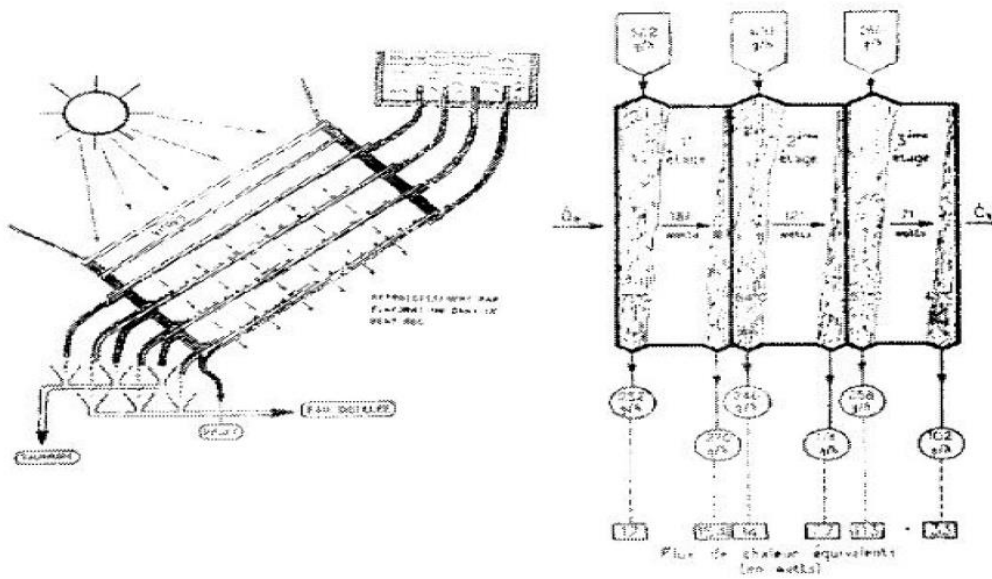


Figure. I.6 Distillateur à film capillaire multi-étage DIFICA

# **Chapitre II**

## **Problématique et Objectifs**

## **II-1- Problématique**

La région du sud est exposée à un problème sérieux de pénurie d'eau douce de consommation et cela est dû à ce que le taux de pluviométrie annuel est trop faible, ça d'une part, et en d'autre part les ressources d'eaux se limitent essentiellement aux eaux de nappe souterraine. De plus, le climat du désert est caractérisé par un trop faible taux d'humidité, une trop longue période estivale et un ciel clair presque pendant toute l'année si bien que les lacs d'eau se vaporisent constamment ce qui augmente leur salinité et ils finissent par se transformer en Sebkhah au bout de quelques années. Ces lacs de Sebkhah provoquent à long terme la salinisation du sol ce qui met en danger l'activité agricole dans la région à cause de la destruction des plantes et du rétrécissement des surfaces agricoles.

Les eaux de nappe dont les habitants de la région dépendent entièrement dans leur consommation ne sont pas toujours bonnes pour la consommation et cela dépend de la géologie du site considéré. D'ailleurs, on a découvert des sources d'eaux avec une forte salinité dans quelques régions. Cela est dû éventuellement à la présence des roches en sel minéral dans ou à proximité de la nappe souterraine.

Pour faire face à cette situation, le recours aux techniques de dessalement est nécessaire afin de s'offrir une eau de qualité et saine aussi bien pour la consommation humaine que pour la consommation animale et végétale. Cependant, les techniques de dessalement conventionnelles sont très consommatrices d'énergie ce qui rend élevé leur coût de revient. En outre, l'énergie qui entre en jeu dans ces techniques est d'origine fossile et donc sa consommation excessive entraîne de graves préjudices à l'environnement à cause du rejet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Du moment que la région du sud jouit d'un bon gisement solaire qui en fait un des meilleurs sites du monde pour les applications solaire, le dessalement par distillation solaire peut être vue comme une bonne alternative car on y utilise une énergie émanant du soleil qui est propre, présente en permanence et également gratuite. Une eau déminéralisée est produite par des dispositifs solaires à effet de serre dénommées distillateurs solaires. Ces systèmes sont des capteurs thermo-solaires constitués principalement d'un bassin d'eau calorifugé et d'une couverture transparente. Ils sont très économiques car leur réalisation ne demande ni des matériaux de construction coûteux ni une main d'œuvre spécialisée. Toutefois, leur rendement reste encore faible. Dans le dessein d'améliorer leur rentabilité, plusieurs études tant théoriques qu'expérimentales ont été entreprises sur des prototypes de distillateurs solaires avec différentes configurations.

Dans ce contexte, ce présent projet a pour objectif de développer des prototypes de distillateurs solaires qui soient à la fois performants du point de vue de production d'eau distillée et économiques du point de vue de réalisation. Généralement les problèmes des types des distillateurs à effet de serre est la saturation ou réchauffement de vapeur d'eau intérieur de distillateur ::::: dans les saisons estival tel que la température ambiant très élève et les pertes thermiques du système il y très basse , pour résoudre le problème faire une séparation à deux chambres. L'exécution de ce projet implique l'utilisation de plusieurs techniques, c'est pourquoi il faudrait procéder à une recherche bibliographique approfondie afin de recueillir les différentes techniques employées en ce domaine et chercher à les adapter au climat des régions Algériens.

## **II -2. Impacts socio-économiques**

- Assurer des stages de formation au profit des étudiants universitaires en fin de cycle.
- Organiser des manifestations de vulgarisation scientifique pour faire connaître la distillation solaire.
- Promouvoir l'agriculture dans la région en apportant des solutions efficaces au problème de salinité d'eau.

## **II -3. Objectifs scientifiques**

- Améliorer la rentabilité des distillateurs en portant au maximum leur production en eau distillée.
- Augmenter la performance énergétique de ces systèmes en réduisant au maximum leur perte thermique.
- Développer des codes de calcul fiables et efficaces permettant de prévoir les performances des distillateurs solaires.

Dernièrement le cinquième chapitre, Nous présentons et discutons des résultats de simulation

# **Chapitre III**

**Etude théorique et analyse  
mathématique**



### III- Bilan énergétique du distillateur simple

#### III-1- Principe de fonctionnement :

Le plus commun des distillateurs à énergie solaire est le distillateur de type effet de serre. Celui-ci est de conception fort simple. De l'eau salée est placée dans le fond d'un bassin, généralement peint en noire pour une meilleure absorptivité. Ce dernier est couvert d'un matériau transparent. Plexiglas ou verre. Le rayonnement solaire, passant à travers la vitre fait évaporer l'eau. Elle vient ensuite se condenser sur la vitre inclinée de quelque degrés pour permettre au distillat condensé de ruisseler par gravité jusqu'à un bac de récupération. Ces types de distillateurs peuvent donner entre 1 et 8 litres par jour et par mètre carré de capteur ( $L/m^2.j$ ) dépendant de la saison, de la latitude et du degré d'optimisation du capteur. [13]

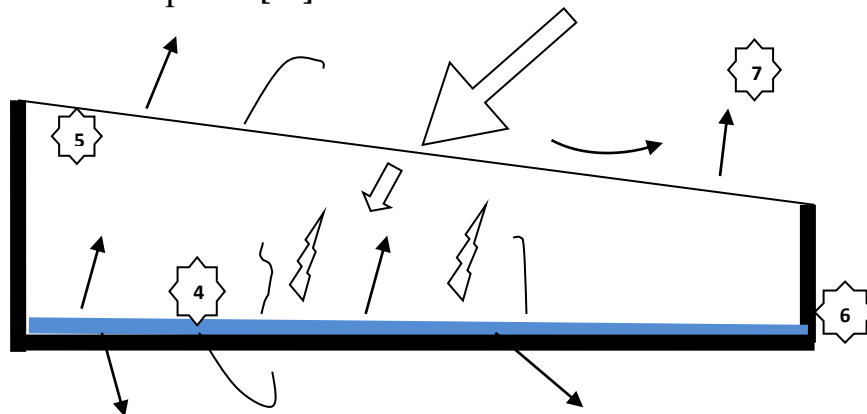
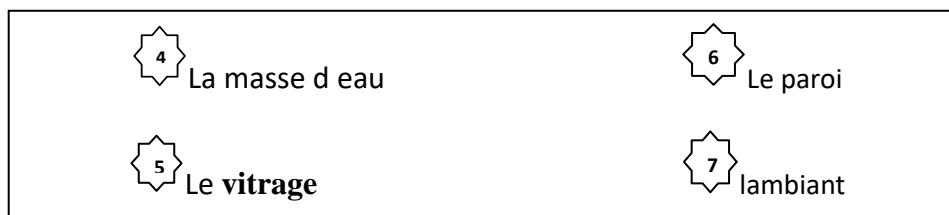


Figure III- 1 Flux de chaleur et massique échangé au niveau d'un distillateur simple



#### III-2- Bilan énergétique du vitrage

De coté intérieur la vitre reçoit les flux thermique par convection  $Q_{c4-5}$  et par rayonnement  $Q_{r4-5}$  et par évaporation  $Q_{e4-5}$ , l'autre face de la même vitre céder à l'air ambiant deux flux  $Q_{c5-7}$  et  $Q_{r5-7}$ :

Après le développement de tous les termes l'expression précédente devient :

$$\frac{dT_5}{dt} = \left( \frac{1}{\rho_5 E_5 S_5 c_{p5}} \right) \left[ (hc_{4-5} + hr_{4-5})T_4 - (hc_{4-5} + hr_{4-5} + hr_{5-7} + hc_{5-7})T_5 \right] + (hr_{5-7} + hc_{5-7})T_7 + \dot{m}_5 L_v + \alpha G + 0 T_2 + 0 T_3 + 0 T_6 \quad (1.2)$$

Le coefficient de transfert par convection entre la saumure et le vitre est donné par [15]:

$$hc_{4-5} = \frac{Nu \lambda}{d_{4-5}}$$

Nu: C'est un nombre sans dimension appelé nombre de Nusselt c'est le rapport de la résistance thermique de conduction par la résistance thermique de convection il déterminer expérimentalement par corrélation de forme. [16]

$$Nu = c(Gr.Pr)^n$$

C et n sont des constantes dépendant de la géométrie du système et de régime de transfert thermique (laminaire ou turbulent). Pour une distance d, et une température de l'ordre 50°C le coefficient de convection devient d'après Dunkle (Tiwari et al, 2002) d'après [17] la relation devient comme suit : [17]

$$hc_{4-5} = c(Gr.Pr)^n$$

$$h_{c(4-5)} = 0.884(T_4 - T_5) + \frac{(P_4 - P_5)(T_4 + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_4}$$

Le coefficient de transfert par évaporation-condensation entre la saumure et le vitre intérieur est pour un distillateur simple est calculé par la formule.

$$he_{4,5} = 16,273 \cdot 10^3 hc_{4,5} \frac{p_4 - p_2}{T_1 - T_2} [18]$$

### III- 3- Bilan énergétique de masse d'eau (saumure)

En admettant que le rayonnement incident transmis et absorbé par le bassin est complètement cédé à la masse d'eau qui a son tour échangée pendant le même temps avec la vitre des quantités de chaleur par convection  $hc$  (4, 5), par rayonnement  $hr$  (4, 5) et par évaporation  $h_{evp}$  soit : [19]

En admettant que le rayonnement incident transmis et absorbé par le bassin est complètement cédé à la masse d'eau qui a son tour échangée pendant le même temps avec la vitre des quantités de chaleur par

convection  $hc$  (4, 5), par rayonnement  $hr$  (4, 5) et par évaporation  $h_{evp}$  soit : [19]

$$\begin{aligned} m_4 c p_4 \frac{dT_4}{dt} = & -hc_{4-5}(T_4 - T_5) - hr_{4-5}(T_4 - T_5) - \dot{m}_4 L_v \\ & - hc_{4-6}(T_4 - T_6) - hr_{4-6}(T_4 - T_6) - hc_{4-2}(T_4 \\ & - T_2) - \dot{m}_2 l_v + \alpha \tau G \end{aligned} \quad (1.3)$$

Après le développement de tous les termes l'expression précédente devient :

$$\begin{aligned} \frac{dT_4}{dt} = & \quad (1.4) \\ \left( \frac{1}{\rho_4 E_4 S_4 c p_4} \right) & \left[ -(hc_{4-5} + hr_{4-5} + hr_{4-6} + hc_{4-6} + hc_{4-2})T_4 + (hc_{4-5} + hr_{4-5})T_5 \right. \\ & \left. + (hc_{4-6} + hr_{4-6})T_6 + hc_{4-2} T_2 - \dot{m}_4 L_v - \dot{m}_2 l_v + \alpha \tau G + 0 T_3 + 0 T_7 \right] \end{aligned}$$

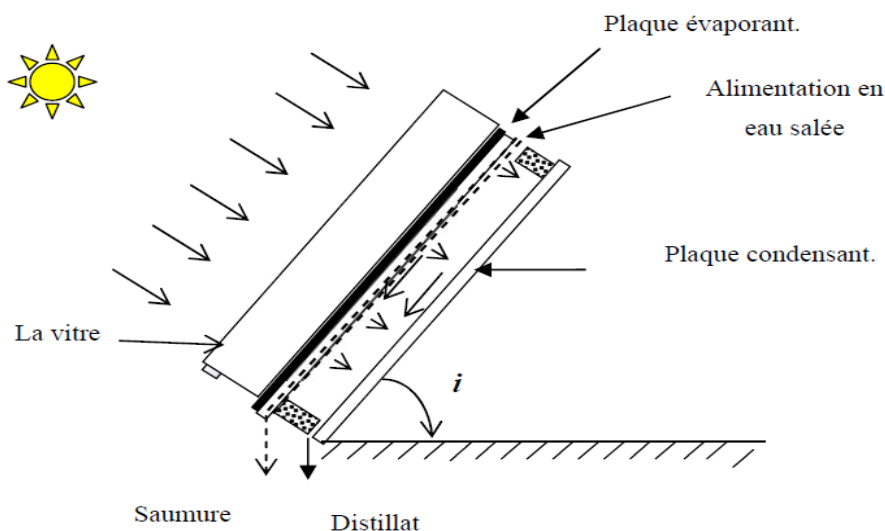
Après un développement et simplification de différentes expressions

Précédentes, on tenir en compte les conditions initiales, on considère que les températures des différents nœuds sont égales à la température ambiante à l'exception de la température du bassin absorbeur qui est été égale à la température ambiante plus un. Le modèle mathématique qui décrire les échanges thermique d'un distillateur conventionnel simple CSS qui tenir en compte les hypothèses citées précédemment devient : [20]

$$\left( \begin{aligned} \frac{dT_4}{dt} = & \left( \frac{1}{\rho_4 E_4 S_4 c p_4} \right) \left[ -(hc_{4-5} + hr_{4-5} + hr_{4-6} + hc_{4-6} + hc_{4-2})T_4 + (hc_{4-5} + hr_{4-5})T_5 \right. \\ & \left. + (hc_{4-6} + hr_{4-6})T_6 + hc_{4-2} T_2 - \dot{m}_4 L_v - \dot{m}_2 l_v + \alpha \tau G + 0 T_3 + 0 T_7 \right] \\ \\ \frac{dT_5}{dt} = & \left( \frac{1}{\rho_5 E_5 S_5 c p_5} \right) \left[ (hc_{4-5} + hr_{4-5})T_4 - (hc_{4-5} + hr_{4-5} + hr_{5-7} + hc_{5-7})T_5 \right. \\ & \left. + (hr_{5-7} + hc_{5-7})T_7 + \dot{m}_5 L_v + (1 - \rho - \tau)G + 0 T_2 + 0 T_3 + 0 T_6 \right] \end{aligned} \right)$$

### III- 4- Bilan énergétique du distillateur à film capillaire à un seul étage

L'appareil, dans sa version simple, est une cellule parallélépipédique formé d'une vitre et de deux plaques métalliques disposées face à face et inclinées d'un certain angle  $i$ . La face avant de la première plaque est peinte en noir. L'eau à distiller, s'écoule lentement à l'aide d'un tissu sur l'autre côté, ce tissu est convenable pour former un film capillaire d'eau. Ceci justifie le nom donné à l'appareil (distillateur à film capillaire). [21] La vapeur d'eau produite quitte le tissu et va se condenser au contact de la seconde plaque. L'eau distillée et le résidu sont récupérés par des collecteurs. L'isolation thermique de l'unité est assurée par un coffre en bois. La Figure. 1.8. Montre le schéma de principe de fonctionnement, L'unité de distillation.

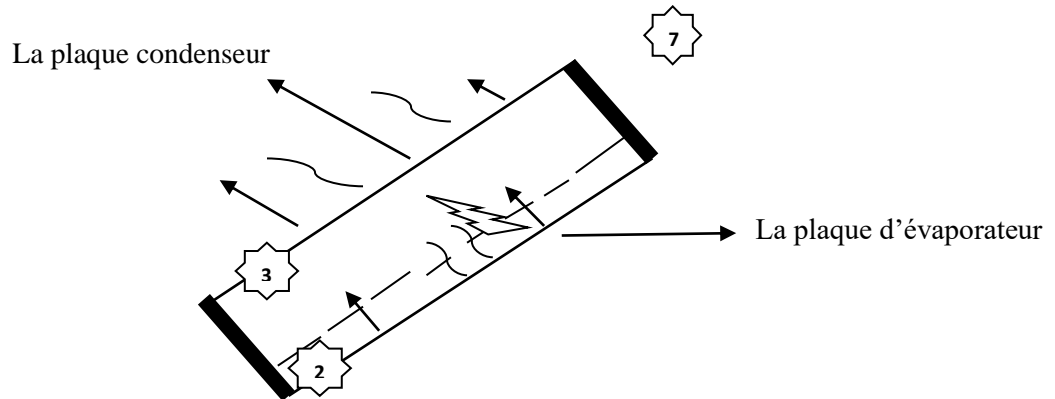


**Figure. III- 2.** Schéma d'un distillateur à film capillaire [22]

La vapeur d'eau produite quitte le tissu (gaz hydrophile) et va se condenser au contact de l'autre plaque qui se trouve juste en face c'est la plaque condensant. L'eau, ainsi distillée, est recueillie au pied de cette même plaque condensant grâce à un collecteur. Le résidu est recueilli, aussi, au pied de la plaque absorbant -évaporateur par un autre collecteur.

La modélisation est faite sur la base des bilans thermique et massique au niveau de chaque partie du système, il faut connaître les différents coefficients d'échange thermique et massique des surfaces d'échange. Dans le but de rendre le modèle accessible, nous devons prendre en considération les hypothèses simplificatrices

Les flux de chaleur échangé dans un distillateur solaire à film capillaire peuvent être schématisés comme suite [Figure.1.9](#) [23]



**Figure III- 3** Flux de chaleur échangée dans un distillateur solaire à film capillaire

Nous approchons le fonctionnement de distillateur par l'utilisation de système dite des nœuds. Cette méthode nous permet de découper notre système de distillateur en plusieurs sous-systèmes( $n$ ). Nous écrivons le bilan énergétique de chaque nœud( $i$ ) de la façon suivant

$$(m_i c p_i) \frac{dT_i}{dt} = \sum_{i=1}^n Q_i + P_i$$

$m$ : la masse en Kg

$C_p$ : La chaleur spécifique en  $J.Kg^{-1}C^{-1}$

La surface en  $m^2$

$T_i$ : la température du nœud  $i$  en  $^{\circ}C$

$t$ : le temps en s

$\sum_{i=1}^n Q_i$ : la somme des flux de chaleurs échangées entre le nœud  $i$  et les nœuds avoisinantes

( $i-1$ ) et ( $i+1$ ) en w

$p_i$  = la puissance absorbée par le nœud  $i$  en  $w.m^2$

### III- 5 -Au niveau de La plaque de l'évaporateur

L'énergie reçue par la plaque de l'évaporateur est convertie en deux parties, une partie absorbée par la plaque elle-même et une autre dégagée vers la vitre et la plaque de condensation sous forme de rayonnement et de convection, soit :

$$m_2 Cp_2 \frac{dT_2}{dt} = \dot{m}_2 L_v + hc_{4-2}(T_4 - T_2) - hc_{2-3}(T_2 - T_3) - hr_{2-3}(T_2 - T_3) - \dot{m}_3 L_v + qi - qs \quad (1.5)$$

Telle que

$$q_{int} = \dot{m}_e Cp(T_7 - T_2)$$

$$q_{sot} = \dot{m}_s Cp(T_2 - T_7)$$

Après le développement de tous les termes l'expression précédente devient :

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{\rho_2 E_2 S_2 Cp_2} [-(hc_{4-2} + hc_{2-3} + hr_{2-3} + \dot{m}_e Cp - \dot{m}_s Cp)T_2 + (hc_{2-3} + hr_{2-3})T_3 + (\dot{m}_e Cp - \dot{m}_s Cp)T_7 + hc_{4-2} T_4 + 0 T_5 + 0 T_6 + \dot{m}_2 L_v - \dot{m}_3 L_v] \quad (1.6)$$

### III- 6- Au niveau de La plaque du condenseur

L'énergie absorbée par la plaque de condensation est transfert à son tour vers l'extérieur par rayonnement et par convection, soit:

$$m_3 Cp_3 \frac{dT_3}{dt} = hc_{2-3}(T_2 - T_3) + hr_{2-3}(T_2 - T_3) + \dot{m}_3 L_v - hc_{3-7}(T_3 - T_7) - hr_{3-7}(T_3 - T_7) \quad (1.7)$$

$$\frac{dT_3}{dt} = \frac{1}{\rho_3 E_3 S_3 Cp_3} [(hc_{2-3} + hr_{2-3})T_2 - (hc_{2-3} + hr_{2-3} + hc_{3-7} + hr_{3-7})T_3 + (hc_{3-7} + hr_{3-7})T_7 + \dot{m}_3 L_v + 0 T_4 + 0 T_5 + 0 T_6] \quad (1.8)$$

Après un développement et simplification de différentes expressions précédentes, on tenir en compte les conditions initiales, on considère que les températures des différents nœuds sont égales à la température ambiante al 'exception de la température de la plaque absorbante qui est été égale à la température ambiante plus un. Le modèle mathématique qui décrire les échanges thermique d'un distillateur CFSS qui tenir en compte les hypothèses citées précédemment devient :

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{\rho_2 E_2 S_2 C p_2} [-(hc_{4-2} + hc_{2-3} + hr_{2-3} + \dot{m}_e C p - \dot{m}_s C p) T_2 + (hc_{2-3} + hr_{2-3}) T_3 + (\dot{m}_e C p - \dot{m}_s C p) T_7 + hc_{4-2} T_4 + 0 T_5 + 0 T_6 + \dot{m}_2 L_v - \dot{m}_3 L_v]$$

$$\frac{dT_3}{dt} = \frac{1}{\rho_3 E_3 S_3 C p_3} [(hc_{2-3} + hr_{2-3}) T_2 - (hc_{2-3} + hr_{2-3} + hc_{3-7} + hr_{3-7}) T_3 + (hc_{3-7} + hr_{3-7}) T_7 + \dot{m}_3 L_v + 0 T_4 + 0 T_5 + 0 T_6]$$

### III- 7 Le modèle du système couplé

Le schéma de principe de fonctionnement d'un système couplé CFSS avec CSS est Figure 1.10

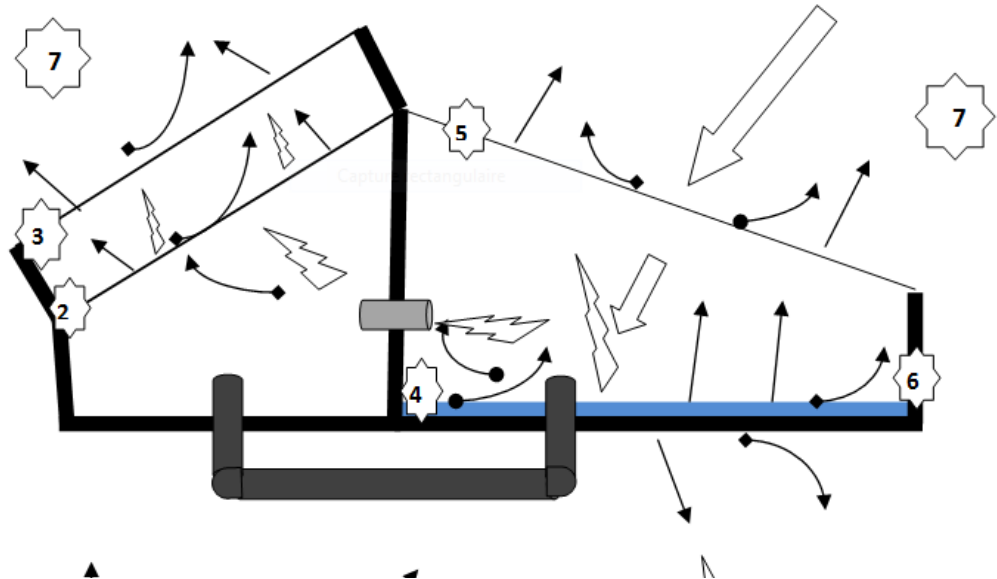


Figure III- 4 Système couplé distillateur simple .et distillateur a film capillaire

### III- 8 Le modèle mathématique du système couplé

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{\rho_2 E_2 C p_2} [-(hc_{4-2} + hc_{2-3} + hr_{2-3} + \dot{m}_e C p - \dot{m}_s C p)T_2 + (hc_{2-3} + hr_{2-3})T_3 + (\dot{m}_e C p - \dot{m}_s C p)T_7 + hc_{4-2} T_4 + 0 T_5 + 0 T_6 + \dot{m}_2 L_v - \dot{m}_3 L_v]$$

$$\frac{dT_3}{dt} = \frac{1}{\rho_3 E_3 C p_3} [(hc_{2-3} + hr_{2-3})T_2 - (hc_{2-3} + hr_{2-3} + hc_{3-7} + hr_{3-7})T_3 + (hc_{3-7} + hr_{3-7})T_7 + \dot{m}_3 L_v + 0 T_4 + 0 T_5 + 0 T_6]$$

$$\frac{dT_4}{dt} = \left( \frac{1}{\rho_4 E_4 C p_4} \right) [-(hc_{4-5} + hr_{4-5} + hr_{4-6} + hc_{4-6} + hc_{4-2})T_4 + (hc_{4-5} + hr_{4-5})T_5 + (hc_{4-6} + hr_{4-6})T_6 + hc_{4-2} T_2 - \dot{m}_4 L_v - \dot{m}_2 L_v + \alpha \tau G + 0 T_3 + 0 T_7]$$

$$\frac{dT_5}{dt} = \left( \frac{1}{\rho_5 E_5 C p_5} \right) [(hc_{4-5} + hr_{4-5})T_4 - (hc_{4-5} + hr_{4-5} + hr_{5-7} + hc_{5-7})T_5 + (hr_{5-7} + hc_{5-7})T_7 + \dot{m}_5 L_v + (1 - \rho - \tau)G + 0 T_2 + 0 T_3 + 0 T_6]$$



### **III- 9 Rendement de distillateur couplage**

#### **III- 9 -1-Rendement instantané**

C'est Le rapport entre la quantité distillat instantané sur la quantité  
*d'eau* Dans le bassin

$$\eta_i = \frac{\dot{m}_d \Delta t}{m_e}$$

$\dot{m}_d$  = *quantite d'eau distille*

$m_e$  = *quantite d'eau dans le bassin*

#### **III- 9- 2-Rendement journalier**

C'est Le rapport entre la quantité distillat journalière sur le reyanement  
incidence dans la duré d'enseillement.

$$\eta = \frac{\sum \dot{m}_d Lv}{\sum G S_4}$$

# **Chapitre IV**

## **SUMULATION**

## IV -1-Introduction

Dans ce quatrième chapitre, nous exposons l'approche numérique de Range Kutta utilisée pour la résolution du système d'équations, les différents résultats obtenus de la simulation ainsi que leurs interprétations sont présentées Dans le chapitre suivant

## IV -2-Les dimensions du distillateur

$\beta_V$  : angle d'inclisondu vitre

$\beta_p$  : angle d'inclisondu plaque evaporateur

$X_C$  : 0,025 m distance entre des plaques Dificap

$S_4 = l_4 \times L_4$  surface du bisse

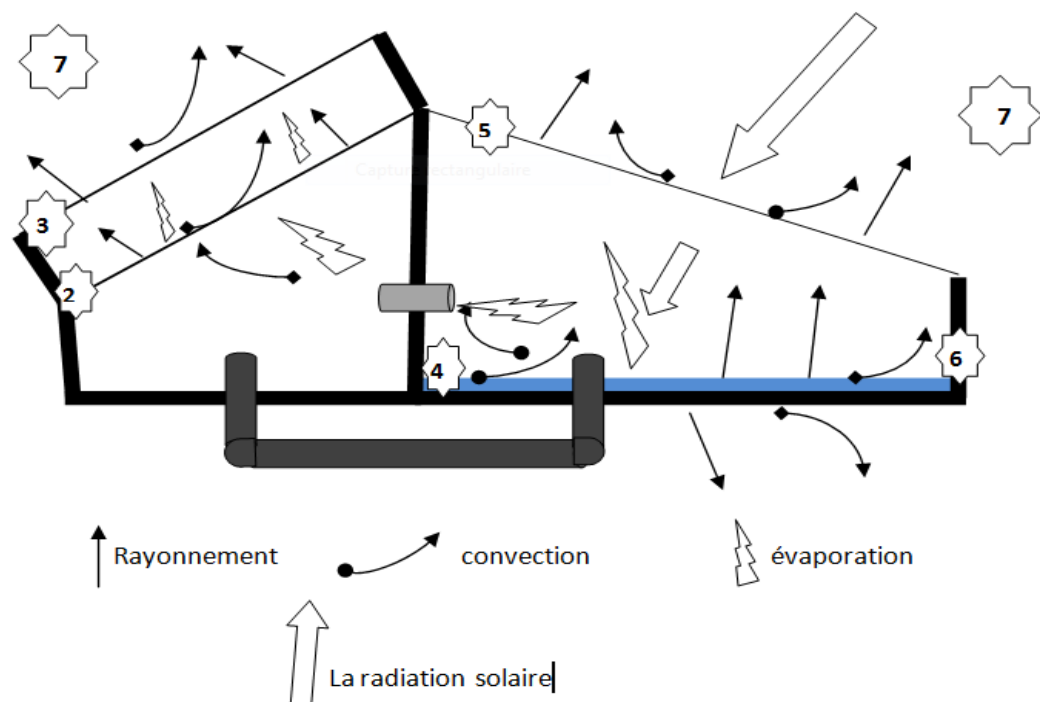
$S_5 = l_5 \times L_5$  surface du vitre

$S_2 = l_2 \times L_2$  surface du plaque evaporateur

$S_3 = l_3 \times L_3$  surface du plaque condenseur

Telle que :  $l_4 = 0,620$  m langure

$L_4 = 0,310$  m largeur



### IV -3-Les caractéristiques physiques des éléments du distillateur

|                       | vitre | eau     | $p_{evp}$ | canal                |
|-----------------------|-------|---------|-----------|----------------------|
| E(m)                  | 0,003 | 0.01    | 0,001     | -----                |
| $\varepsilon$         | 0,88  | 0,955   | 0,2       | -----                |
| $\rho(kg/m^3)$        | 2700  | 1000    | 7864      | -----                |
| $\alpha$              | 0,1   | 0,3     | 0,95      | -----                |
| $C_p (J/Kg.^\circ C)$ | 840   | 4180    | 460       | -----                |
| D(mm)                 | ----- | -----   | -----     | Variable<br>15 - 200 |
| L(m)                  |       | 0,310 m |           | -----                |
| l(m)                  |       | 0,620 m |           | -----                |

### IV -4-Le principe de la méthode de Runge-Kutta

Soit le problème de Cauchy suivant:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT}{dt} = f(t, T(t)) \quad t \in (a, b) \\ T(t_0) = T_0 \end{array} \right\}$$

On appelle méthode de Runge -kutta explicite a s étages ,la méthode définie par le schéma suivant:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_1 = f(t_0, T_0) \\ k_2 = f(t_0 + c_2 \Delta t, T_0 + \Delta t a_{21} k_1) \\ \vdots \\ \vdots \\ k_s = f\left(t_0 + c_s \Delta t, T_0 + \Delta t \sum_{i=1}^{s-1} a_{si} k_i\right) \\ T_1 = T_0 + \Delta t \sum_{i=1}^s b_i k_i \end{array} \right\}$$

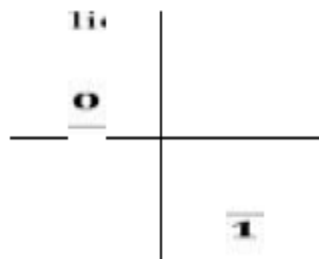
Où les coefficients  $a_{ij}$ ,  $b_i$  et  $c_i$ ; sont des constantes qui définissent

précisément le schéma. On supposera toujours dans la suite que  $C_1 = 0$  et  $C_i = \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}$  pour  $i = 2, \dots, s$ . On représente en pratique ce schéma par le Tableau. 5.1.(Butcher, 1996) .

**Tableau IV.1.** Tableau de Butcher pour une EDO d'ordre 1

|       |          |          |       |   |   |            |       |
|-------|----------|----------|-------|---|---|------------|-------|
| $c_1$ |          |          |       |   |   |            |       |
| $c_2$ | $a_{11}$ |          |       |   |   |            |       |
| .     | $a_{21}$ | $a_{22}$ |       |   |   |            |       |
| .     | .        | .        | .     |   |   |            |       |
| .     | .        | .        | .     | . |   |            |       |
| .     | .        | .        | .     | . | . |            |       |
| $c_s$ | $a_{s1}$ | $a_{s2}$ | .     | . | . | $a_{ss-1}$ |       |
|       | $b_1$    | $b_2$    | $b_3$ | . | . | .          | $b_s$ |

Résultat théorique : Si  $\sum_{i=1}^s b_i = 1$  ; alors la méthode est consistante  
 Pour  $s=1$  , on obtient la méthode explicite d'Eluer



S=2 Méthode de Runge d'ordre 2 RK2

|     |     |               |               |
|-----|-----|---------------|---------------|
| 0   |     |               |               |
| 1/2 | 1/2 |               |               |
|     |     | $\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ |

S=3 Méthode de Hune d'ordre 3:

|     |     |     |   |     |
|-----|-----|-----|---|-----|
| 0   |     |     |   |     |
| 1/3 | 1/3 |     |   |     |
| 2/3 | 0   | 2/3 |   |     |
|     |     | 1/4 | 0 | 3/4 |

S=4 Méthode de Runge d'ordre 4 RK4:

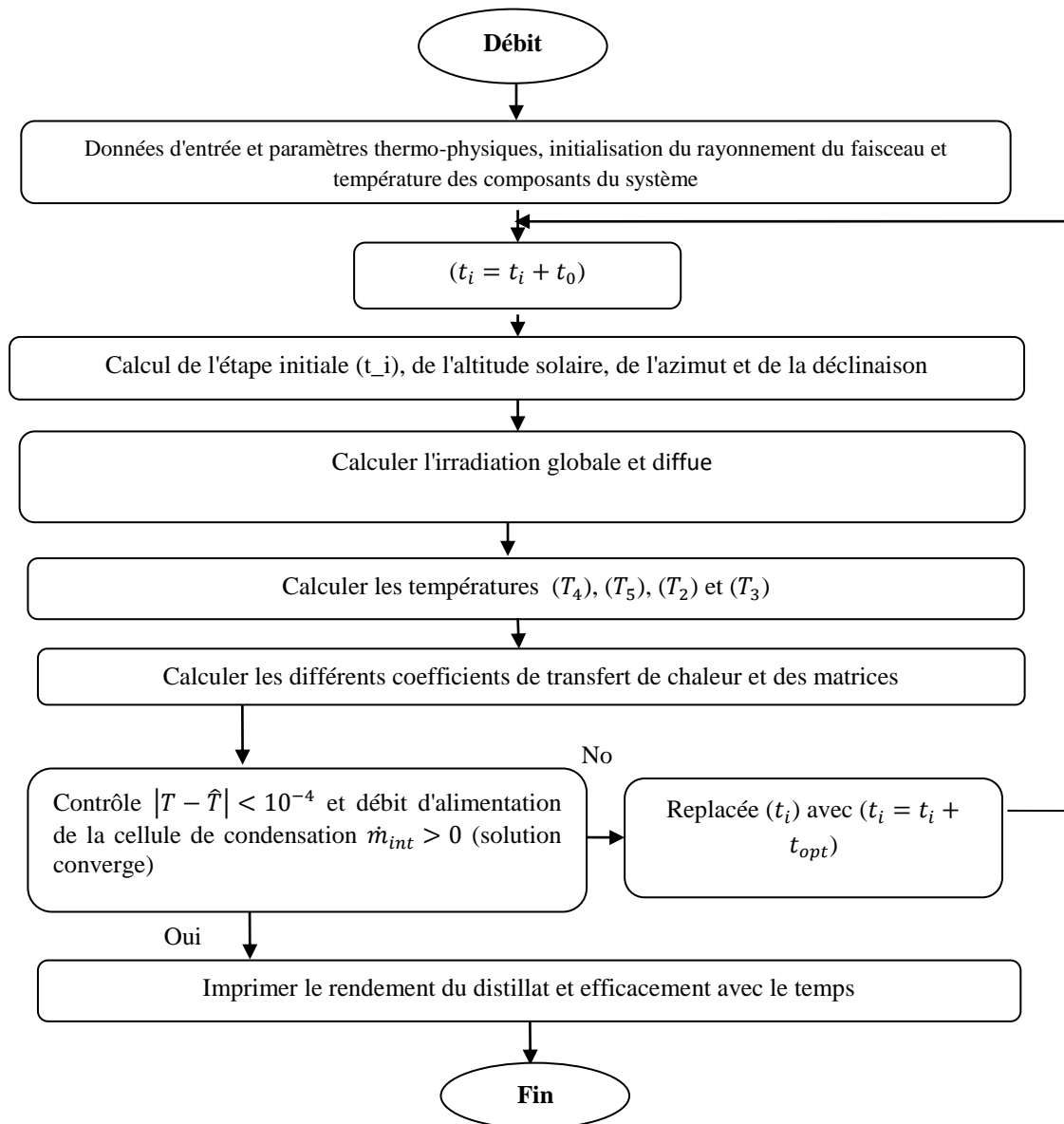
**Tableau IV.2. Tableau de Butcher pour Runge d'ordre 4 RK4**

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0   |     |     |     |     |     |
| 1/2 | 1/2 |     |     |     |     |
| 1/2 | 0   | 1/2 |     |     |     |
| 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |     |
|     |     | 1/6 | 2/6 | 2/6 | 1/6 |

La méthode de Runge-Kutta RK4 règle de  $\frac{3}{8}$  :

|       |        |       |       |       |
|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0     |        |       |       |       |
| $1/3$ | $1/3$  |       |       |       |
| $2/3$ | $-1/3$ | 1     |       |       |
| 1     | 1      | -1    | 1     |       |
|       | $1/8$  | $3/8$ | $3/8$ | $1/8$ |

## IV -5-L'organigramme





# **Chapitre v**

## **Résultat et discussions**

## **V -1-Introduction :**

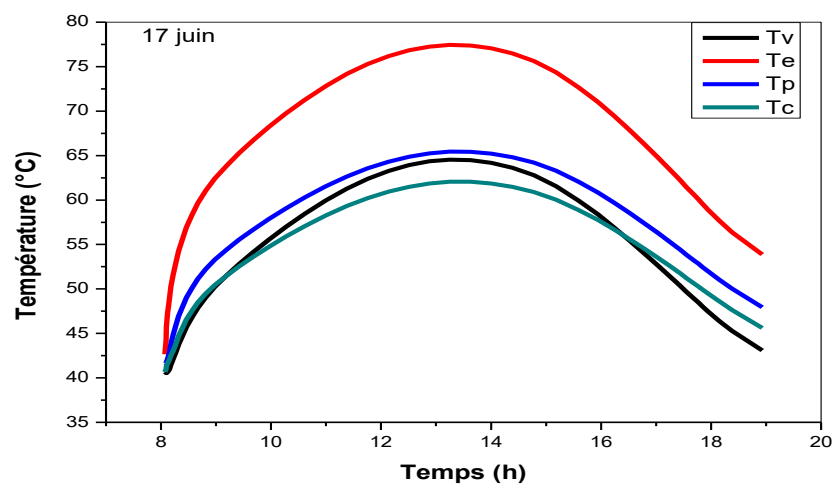
Dans les chapitres précédents, on a étudié l'effet de couplage entre le distillateur simple et le distillateur à film capillaire, en plus, on a élaboré un code de calcul en langage FORTRAN. Dans ce chapitre, on va donner les résultats calculés issus de la simulation. Ces résultats concernent essentiellement la variation des températures des éléments de distillateur, le rendement instantané à chaque élément de la production, la différence de cumul distillat production à chaque condenseur.

L'écart de température entre les surfaces du distillateur, variation de rayonnement solaire et température d'ambient pendant la journée d'ensoleillement. La variation de cumulation de débit l'eau d'entrée, l'eau distillat et débit de sortie de l'eau saumâtre du distillateur à film capillaire.

## V -2- La variation des températures des éléments de distillateur

La figure V -1 Présente la variation des températures des éléments de distillateur en fonction du temps. Elles atteignent leurs valeurs maximales à 14h00.

Les températures ont été calculées a partir des équations différentielles (1.1), (1 .2), (1 .3), (1.4)



**Figure V -1-** La variation des températures des éléments de distillateur

### V -3- Le rendement instantané à chaque élément de la production

La figure V -2 Présente Le rendement instantané à chaque élément de la production en fonction du temps. C'est Le rapport entre la quantité distillat instantané sur la quantité d'eau dans le bassin.. Elles atteignent leurs valeurs maximales à 14h00

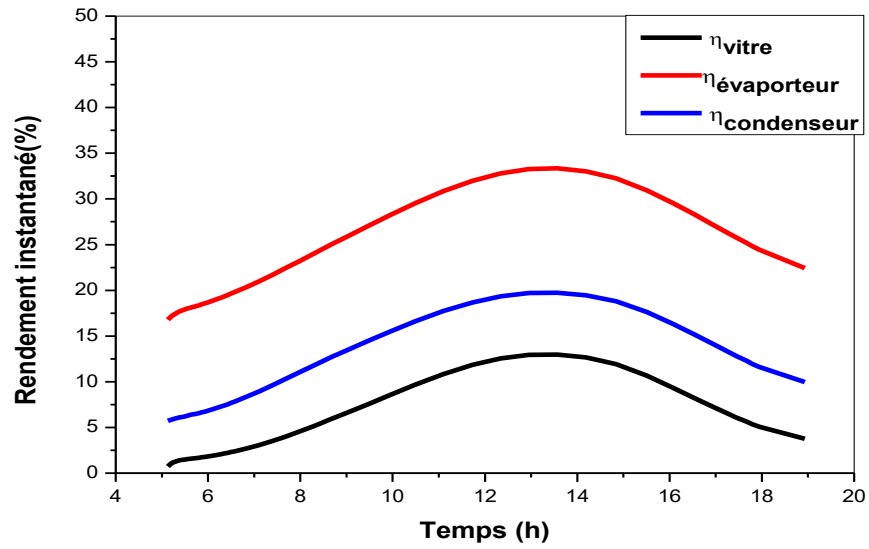


Figure V -2 Le rendement instantané à chaque élément de la production

## V -4- La différence de cumul distillat production à chaque condenseur

La figure V -3 Présente la différence de cumul distillat production a chaque condenseur.

(8-10) h, nous remarquons que le cumul distillat de (p-cond et vitre) est Convergé, mais le cumul distillat de la plaque évaporateur est en augmentation (Valeur maximale)

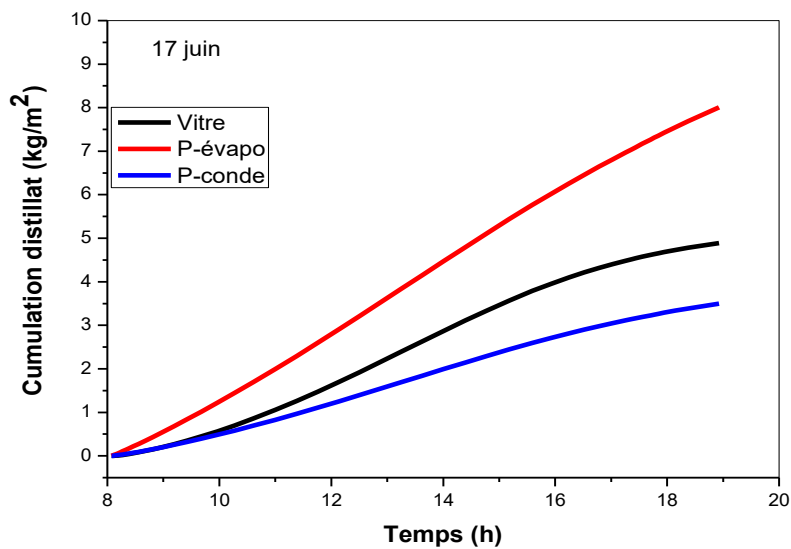
(10-14) h, la cumulation Commence à augmenter et Nous commençons à remarquer les différences entre  $1,5 \frac{kg}{m^2}$  le vitre et le p-evapo et le p-cond

(14-19) h ,les valeurs des cumulation atteintes .....

$$\text{Vitre} \longrightarrow 4,8 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{p-evapo} \longrightarrow 8,00 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{p-conde} \longrightarrow 3,3 \frac{kg}{m^2}$$



**Figure V -3** La différence de cumul distillat production à chaque condenseur

## V -5- L'écart de température entre la surface vitrage (Tv) et l'eau de bassin (Te).

La figure V -4 Présente L'écart de température entre la surface vitrage (Tv) et l'eau de bassin (Te).

On remarque que l'écart atteint leurs valeurs maximales à 13h00.  
(13.08°C)

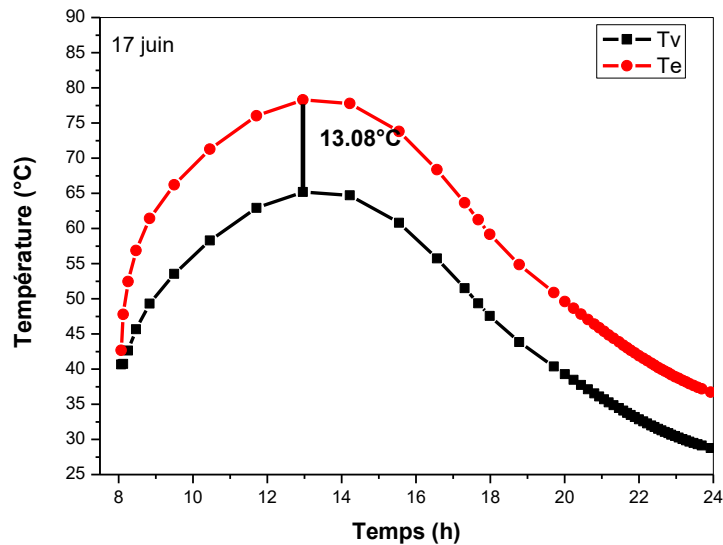


Figure V -4 L'écart de température entre la surface vitrage (Tv) et l'eau de bassin (Te).

## V -6- L'écart de température entre l'eau de bassin ( $T_e$ ) et la plaque évaporateur ( $T_p$ ).

La figure V -5 Présente L'écart de température entre la surface vitrage ( $T_e$ ) et l'eau de bassin ( $T_p$ ).

On remarque que l'écart atteint leurs valeurs maximales à 13h00 (11.25°C)

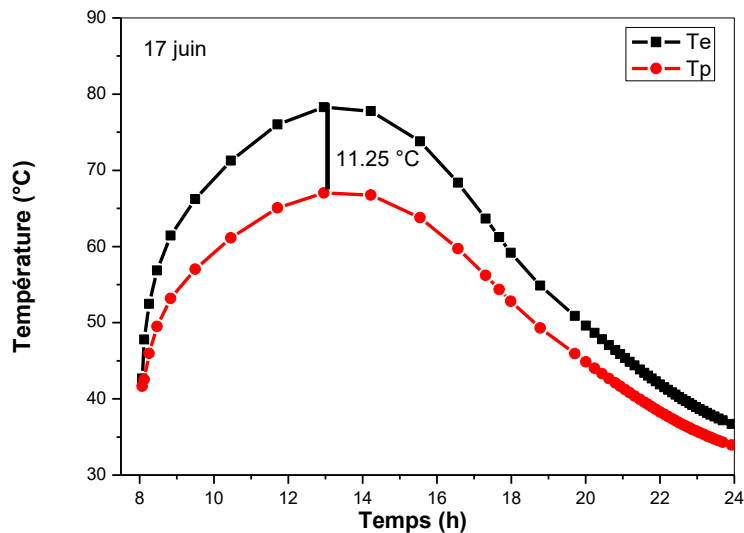


Figure V -5 L'écart de température entre l'eau de bassin ( $T_e$ ) et la plaque évaporateur ( $T_p$ ).

## V -7- Variation de rayonnement solaire et température d'ambient pendant la journée d'ensoleillement

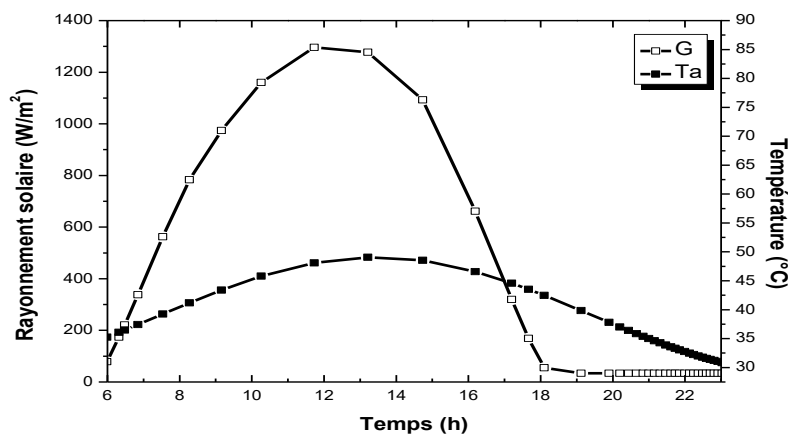
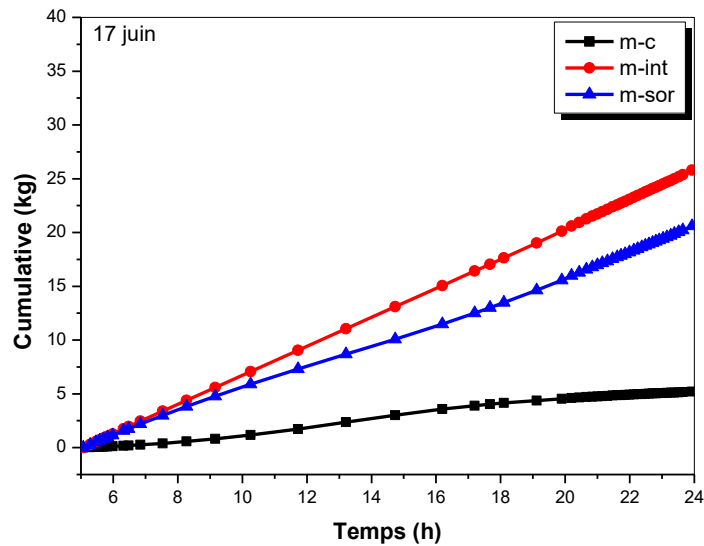


Figure V -6 -Variation de rayonnement solaire et température d'ambient pendant la journée d'ensoleillement



**V -8- La variation de cumulation de débit l'eau d'entrée, l'eau distillat et débit de sorte de l'eau saumâtre du distillateur à film capillaire.**



**Figure V -7 - La variation de cumulation de débit l'eau d'entrée, l'eau distillat et débit de sorte de l'eau saumâtre du distillateur à film capillaire.**

## **Conclusion Générale**

Le travail présenté dans cette mémoire concerne l'étude théorique et numérique d'un système de distillation couplé. D'un four solaire avec une chambre de distillateur les différentes techniques de dessalement en général, et les distillateurs solaires en particulier sont basés 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. Une recherche bibliographique approfondie nous a permis de constater que le dessalement de l'eau par différentes techniques et particulièrement la distillation solaire peut constituer une réponse au problème de la pénurie en eau, notamment dans les régions arides et isolées où généralement l'énergie solaire est largement disponible.

Nous avons établi les équations gouvernant les systèmes de distillation solaire en régime transitoire. Une approche numérique basée sur la méthode de Runge-Kutta est utilisée pour la résolution des équations qui régissent le fonctionnement de ce système. Enfin, une

Analyse technicoéconomique est présentée pour déterminer les meilleures conditions de fonctionnement de ce système et d'optimiser tous les paramètres influençant ses performances. Les résultats obtenus lors de cette étude ont montrés que la nouvelle configuration de distillateur est plus efficace et économique en comparaison avec le distillateur solaire conventionnel et le distillateur à film capillaire. Il a été montré que l'efficacité globale de cette nouvelle configuration est plus élevée que les deux autres types. Nos efforts s'orientent vers la recherche des conditions optimales pour le dessalement des eaux saumâtres à l'aide de ce type de distillateur

1- Une étude expérimentale complet paraître nécessaire pour la validation notre modèle.

2- Une optimisation multicritères indispensable pour faire le choix adéquat de la configuration la plus performante

# Bibliographie

- 1 ZEROUALI MEKKI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire
- 2 ZEROUALI MEKKI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire
- 3 ZEROUALI MEKKI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire - Raccourci KI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire
- 4 Bouchekima, et al, 2000) Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire
- 5 ZEROUALI MEKKI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire - Raccourci KI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire
- 6 Bouchekima, et al, 2000) Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire
- 7 (Zerrouki et al 2014c) Simulation study of a capillary film solar still coupled with a conventional solar still in south Algeria, *Energy Conversion and Management*.
- 8 (Zerrouki et al 2014c) Simulation study of a capillary film solar still coupled with a conventional solar still in south Algeria, *Energy Conversion and Management*.
- 9 ZEROUALI MEKKI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire - Raccourci KI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire
- 10 ZEROUALI MEKKI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire - Raccourci KI 2012 Contribution a l'optimisation des performances dun distillateur solaire
- 11 (Zerrouki et al 2014c) Simulation study of a capillary film solar still coupled with a conventional solar still in south Algeria, *Energy Conversion and Management*.
- 12 Bouchekima, et al, 2000) Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire
- 13 .( Bachki 2011) Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes
- 14 (Zerrouki et al, 2014c) Simulation study of a Capillary film solar still coupled with a conventional solar still in south Algeria, *Energie Conversion and Management*.
- 15 (Zerrouki 2015) Contribution à l'amélioration des performances d'un distillateur à film capillaire par couplage avec un distillateur simple
- 16 (Zerrouki 2015) Contribution à l'amélioration des performances d'un distillateur à film capillaire par couplage avec un distillateur simple
- 17 (Zerrouki 2015) Contribution à l'amélioration des performances d'un distillateur à film capillaire par couplage avec un distillateur simple
- 18 (Malik et al, 1982) Solar Distillation, A Practical Study of a Wide Range of Stills and Their Optimum Design, Pergamon Press Ltd, 1982, P11-86
- 19 (Zerrouki 2015) Contribution à l'amélioration des performances d'un distillateur à film capillaire par couplage avec un distillateur simple
- 20 (Zerrouki 2015) Contribution à l'amélioration des performances d'un distillateur à film capillaire par couplage avec un distillateur simple
- 21 (Bouchekima, et al, 2000) Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire
- 22 (Marif, 2008) Etude d'un distillateur solaire a film capillaire dans le

**sud Algérien " & MAGISTER université du KASDI MERBAH  
Ouargla(2008).  
(Bouhekima, et al, 2000) Etude théorique et application pratique du  
distillateur solaire à film capillaire**

## Résumé:

Dans ce présent travail, nous avons étudié l'influence des paramètres géométriques (deux canalisation de la communication) entre deux chambres sur les performances d'un distillateur solaire couplé à un distillateur à film capillaire séparé soumis aux conditions climatiques du Sud algérien. Une modélisation analytique détaillée du système a été présentée. Les résultats obtenus montrent que les performances du distillateur augmentent à celle de distillateur séparé. Une simulation numérique est effectuée pour apprécier le modèle développé et pour optimiser le rapport des surfaces entre les deux distillateurs. Les résultats obtenus prouvent que la production quotidienne de système est de plus haut que cela de un distillateur e conventionnel.

Mots- clés: Distillation solaire, Distillateur à film capillaire, Energie,

Couplage.....

## الخلاصة:

في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير العوامل الهندسية (قناة التواصل بين الغرفتين) على أداء جهاز التقطير الشمسي بجانب جهاز التقطير بخاصية الفيلم الشعيري, يخضع النظام للظروف المناخية في الجنوب الجزائري, قدمت النمذجة التحليلية للنظام وأظهرت النتائج أن أداء المقطر الشمسي يزيد في حالة المقطر المنفصل (الغرفتين).

تم إجراء محاكاة رقمية لتقدير النموذج المطور و تحسين نسبة الأسطح بين المقطر وأظهرت النتائج أن المردود اليومي أعلى. من المردود اليومي للمقطر التقليدي .

الكلمات المفتاحية: مقطر شمسي, مقطر مع فيلم شعيري, طاقة, .....

## Abstract

In this work we studied the effect of the geometric factors (the communication channel between the two chambers) on the performance of the solar distillation apparatus beside the distillation device of the parietal film characteristic, the system is subject to the climatic conditions in the Algerian south, provided the analytical modeling of the system. The results showed that the performance of the solar distillate increases in the distillate state)

A digital simulation was performed to estimate the developed model and improve the ratio of surfaces between the distillate and the results showed that the daily yield is higher than the daily yield of the traditional pump.

Keywords: Distilled Solar, Distilled with Shiri Film, Energy,.....