الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA
-ADRAR-

جامعة أحمد دراية- أدرار

Année /2022

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en

Physique

Option : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Thème

Étude paramétrique en vue d'optimiser le fonctionnement d'un distillateur solaire demi-chapelle

Présenté Par :
Mlle. Lalla bati BELHIBA

Devant le jury composé de:

Mme. Houaria BOUDAOUD	Président	MCA	Université Ahmed Draia-Adrar
Mr. Mohammed BELABACI	Examinateur	MAA	Université Ahmed Draia -Adrar
Mr. Lakhdar AMER	Promoteur	MCB	Université Ahmed Draia -Adrar

AnnéeUniversitaire 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة أحمد دراية- أدرار
المكتبة المركزية
مصلحة البحث الببليوغرافي

Ministry of Higher Education and Scientific Research
University Ahmed Draia of Adrar
The central library

جامعة أحمد دراية - أدرار

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): عـامر لخضر .....

المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـــ : Étude paramétrique en vue d'optimiser le fonctionnement d'un distillateur solaire demi-chapelle.

من إنجاز الطالب(ة): بلهيبة لالة ياقي

و الطالب(ة):

كلية : العلـــــوم و التكنولـــــوجيا

القسم : علـــــوم المـــــادة

التخصص: فيزيـــاء طـــاقوية و طـــاقات متجددة

تاريخ تقييم / مناقشة: 09 جوان 2021

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.

وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والاليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

أ. ل. عـــامر

ادرار في: 2022/06/19

مساعد رئيس القسم:

مساعد رئيس قسم العلوم المكلف بما بعد التدرج والبحث العلمي بكلية العلوم والتكنولوجيا

الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

سعيا وثناء اولا واخيرا الى الله عز وجل الذي بحمده وهمها حمدناه لا نستوفي حمده

اهدي ثمرة جهدي وعملي الى

روح امي الطاهرة صاحبة السيرة العطرة التي ضحت من اجل اسعادي رحمة الله عليها

وأملي في الحياة وقرة عيني وسر نجاحي ابي الغالي ادامه الله واطال في عمره

اخوتي واصدقائي وكل من وقفو بجواري

وكل الشكر والتقدير الى الدكتور عـــامر والدكتور بن حمو اللذان وقفا معي خلال هذه الرحلة

الطويلة من النجاح

شكر و تقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء

المرسلين حبيبنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين

بداية الشكر لله عز وجل الذي أعاننا وشد من عزمنا لإكمال هذا البحث ونشكره راكعين الذي وهبنا الصبر والمطاولة والتحدي لنجعل من هذا البحث علما ينتفع به

كما اوجه شكري الخاص للدكتور المشرف عـــامر لخضر على كل ما قدمه لي من توجيهات ونصائح كما اتقدم بجزيل الشكر الدكتور بن حمـــو محمد على كل ما قدمه لي معلومات قيمة ساهمت في اثراء موضوع دراستي في جوانبها المختلفة فقد كانوا لي عونا في بلوة هذا البحث المتواضع. فلهم مني اسمي عبارات الشكر وجزيل الامتنان.

وفي الأخير شكرا لكل من زرعوا فينا التفاؤل في دربنا وقدموا لنا المساعدات والمعلومات دون ان يشعروا بدورهم في ذلك فلكم مني كل الاحترام وجزيل الشكر.

Résumé :

Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées, son utilisation pour l'irrigation peut provoquer l'endommagement des cultures et surtout des terres. Du moment que les régions du sud algérien et en particulier celle d'Adrar est dotée d'un gisement solaire très important, le développement des techniques de dessalement par l'utilisation de l'énergie solaire constitue une bonne alternative.

Notre travail consistera à élaborer un système de distillation solaire mono incliné relié à un condenseur et étudier l'influence de l'inclinaison, de l'orientation du vitrage sur la température de la saumure, et de la production quotidienne du distillateur solaire, cette dernière pourrait être enrichie par des essais expérimentaux.

Mots clés : Dessalement, la saumure, Effet de serre, Ecart la Saumure, Distillateur demi-chapelle.

ملخص:

المياه الجوفية مليئة بالمعادن إلى حد ما, ويمكن أن يتسبب استخدامها للري في إلحاق الضرر بالمحاصيل وخاصة الأرض. نظرًا لأن مناطق جنوب الجزائر ولا سيما منطقة أدرار تتمتع بمخزون شمسي مهم جدًا ، فإن تطوير تقنيات تحلية المياه من خلال استخدام الطاقة الشمسية يعد بديلاً جيدًا .سيتألف عملنا من تطوير نظام التقطير الشمسي أحادي الميل متصل بمكثف ودراسة تأثير ميل الزجاج واتجاهه على درجة حرارة المحلول الملحي والإنتاج اليومي لجهاز التقطير الشمسي. يمكن إثراء دراستنا بالاختبارات التجريبية.

الكلمات المفتاحية: المقطر الشمسي,ذو سقف نصف مائل ,المياه الجوفية , الاحتباس الحراري .

Abstract:

Ground water is more or less mineralized its use for irrigation can cause damage to crops and especially to land. As the regions of southern Algeria and in particular that of Adrar is endowed with a very important solar deposit, the development of desalination techniques through the use of solar energy is a good alternative. Our work will consist in elaborating a mono inclined solar distillation système connected to a condenser and to study the influence of the inclination, the orientation of the glass on the température of the brine, and the daily production of the solar distiller. Our study could be enriched by experimental tests.

Keywords: Desalination, Greenhouse effect, Brine spread, Half-chapel distiller.

Sommaire

I .Introduction Générale……1
Chapitre I: Généralité sur les distillateurs solaires…..…….....4
I.1 Introduction……5
I.2 Généralité d'un distillateur solaire……5
I.2.1Soleil ……..5
I.2.2 Relation terre soleil ……..……....6
I.2.3 Les coordonnées célestes…….…..……....7
I.2.3.1 Les coordonnées géographiques ……..……7
I.2.3.1.1 La longitude (L)……...…7
I.2.3.1.2 La latitude (Ø) ….....7
I.2.3.2 Les coordonnées horaires ……..8
I.2.3.2.1 La déclinaison (δ)……..……8
I.2.3.2.2 L'angle horaire (ω) ……8
I.2.3.3 Coordonnées horizontal……....9
I.2.3.3.1 Hauteur angulaire (h) ……9
I.2.3.3.2 L'azimut (a) ……9
I.2.3.4 Les temps solaires ……..…10
I.2.3.4.1 Temps universel (TU) …….....10
I.2.3.4.2 Le temps solaire moyen (TSM) ……10
I.2.3.4.3 Le temps solaire vrai (TSV) …….....11
I.2.4 L'énergie solaire …….....11
I.2.4.1 Historique l'énergie solaire …….....11
I.2.4.2 Les application de l'énergie solaire ……...13
I.2.5 Rayonnement solaire …….……14

I.2.5.1 Rayonnement solaire au sol …….....14
I.2.5.1.1 Rayonnement direct (I_D)……..14
I.2.5.1.2 Rayonnement diffus (I_d) ……..……....15
I.2.5.1.3 Rayonnement globale (I_G)……....15
I.2.5.1.4 L'effet des composants atmosphériques sur le rayonnement solaire……..16
I.2.6 L'albédo …….....17
I.2.7 Irradiation le gisement solaire ……....18
I.2.7.1 Le flux solaire rencontré au niveau du sol ……19
I.2.8 Différent types d'eau ……..……...19
I.2.8.1 L'eau potable …….....19
I.2.8.2 L'eau de mer……....20
I.2.8.3 L'eau saumâtre ……..20
I.2.8.4 L'eau distillée…….....20
I.3 Le distillateur solaire……..…...20
I.3.1 L'histoire et développement d'un distillateur solaire ……..20
I.3.2 Définition d'un distillateur solaire ……..21
I.3.3 Classification d'un distillateur solaire ……22
I.3.3.1 Distillateur solaire négatif……22
I.3.3.2 Distillateur solaire positive ……..22
I.3.4 Les différent type d'un distillateur solaire ……..22
I.3.4.1 Distillateur solaire avec effet de serre ……..22
a) Distillateur à pente unique …….. …..23
b) Distillateur à double pente……..…… ….……23
I.3.4.2 Distillateur solaire à cascades …….……24
I.3.4.3 Distillateur solaire incliné à mèche ……25

I.3.4.4 Distillateur solaire sphérique à balayage 25

I.3.4.5 Distillateur solaire vertical.....25

I.3.4.6 Distillateur solaire multi-effet 26

I.3.4.7 Distillateur solaire incliné à film capillaire 27

I.3.5 Paramètre influant sur le fonctionnement d'un distillateur 28

I.3.5.1 Paramètre de construction 28

I.3.5.2 Paramètre métrologiques 29

I.3.5.3 Epaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller 29

I.4 Caractéristique de fonctionnement et performance 29

I.4.1 L'efficacité globale 29

I.4.2 L'efficacité interne 29

I.4.3 Performance 30

I.4.4 Rendement:.....31

II.2 Conclusion 31

Référence: 32

Chapitre II: Modélisation et simulation 36

II.1 Introduction 37

II.2 Description et principe de fonctionnement 37

II.2.1 Description du distillateur solaire demi-chapelle 37

II.2.2 Principe de fonctionnement 38

II.3 Modélisation du distillateur solaire 39

II.3.1 Stratégie de la modélisation.....39

II.3.2 Hypothèses 40

II.4 Modélisation analytique du distillateur solaire 40

II.4.1 Energie solaire absorbée par le système.....40

II.4.2 Etude théorique d'un distillateur solaire demi-chapelle 41

II.4.2.1 Bilan thermique du distillateur solaire à demi-chapelle……..…41
II.4.2.1.1 Bilan thermique de vitre …….... 41
II.4.2.1.2 Bilan thermique de fluide……..….42
II.4.2.1.3 Bilan thermique de la plaque d'absorption ……....43
II.4.2.1.4 Bilan de l'isolant ……44
II.5 Les méthodes utilisées pour résoudre l'équation différentielle ……..45
II.5.1 La méthode différence finies…….……..45
II.5.1.1 Définition ……..…45
II.5.1.2 Principe MDF …….....45
II.5.1.3 Notation indicielle - cas 1D ……..46
II.5.1.4 Méthode de résolution numérique …….….. .45
II.5.1.4.1 Condition initiale et limite ……46
II.5.1.4.2 Méthode de résolution du système équation…….....48
II.5.1.4.3 Méthode RUNGE KUTTA d'ordre 4 ……..…48
II.5.4.4 Formule de méthode RUNGE KUTTA 4 …….....49
II.6 Méthode de schéma ……..……..…50
II.7 Programme ……..……51
II.8 Organigramme ……...……..……52
III.9 Conclusion ……..……53
Référence……..……...54
Chapitre III: Résultats et discussion……..……..55
III.1 Introduction ……..56
IIII.2 Résultats expérimentaux ……..……56
III.2.1 Le mois 17 janvier ans 2022 ……..…56
III.2.1.1 Variation de la puissance solaire ……..……..…56
III.2.1.2 Température expérimental différent de composant ……..…57
III.3 Résultats théorique ……...……58
III.3.1 Variation température composant ……..…...58
III.3.2 Production (17 jnv2022)……..…60
III.4 Rendement (17 jnv2022) ……..……61
III.2.2 Les mois 17 Mai ans 2022 ……..……62
III.2.2.1Variation de la puissance solaire ……..…62
III.2.2.2 Variation Température expérimentale différent de composant d'un distillateur solaire ……...……63
III.2.2 .3 Production: ……..……64
III.2.2 .4 Effet d'inclinaison sur la production: ……...…64
III .4 Rendement en 17 Mai 2022. ……..……...66
III.5 Conclusion. ……..…67
Conclusion Générale……..……...69

Liste de figures

Chapitre I:

Figure 1.1: Représente la distribution structurelle du soleil……6

Figure 1.2: Mouvement de la terre autour du soleil……..7

Figure1.3: Coordonnées géographiques……...8

Figure1.4: Coordonnées horaires……...9

Figure1.5:Coordonnées horizontales……..10

Figure1.6:Fusion nucléaire……..13

Figure 1.7: Les différentes étapes du cycle de vent et de l'eau……..14

Figure1.8: Instrument pyrhéliomètre……..15

Figure 1.9: Instrument qui meure le rayonnement diffuse……...16

Figure 1.10: Composantes du rayonnement solaire……17

Figure 1.11: l'Albédomètre……..18

Figure1.12:Rayonnement solaire annuel dans le monde (KWh/m².an)……..19

Figure1.13:Irradiation solaire globale moyenne sur l'Algérie KWh/m2/jour…...20

Figure 1.14:Principe d'un distillateur solaire……..23

Figure1.15:Distillateur solaire plan à effet de serre……..25

Figure 1.16:Distillateur solaire simple à effet de serre……25

Figure 1.17: Distillateur à double pente……26

Figure 1.18:Distillateur solaire incliné à cascade……..26

Figure 1.19:Distillateur solaire incliné à mèche……27

Figure 1.20:Distillateur solaire sphérique à balayage……28

Figure 1.21: distillateur solaire verticale……29

Figure 1.22:Distillation solaire à multiples effets……..30

Figure 1.23: Distillateur solaire incliné à film capillaire……30

Chapitre II:

FigII-1 Distillateur demi chapelle réalisé à l URER- Adrar……..39

Figure II.2 Echanges thermiques et radiatif dans un distillateur solaire…….40

Chapitre III:

Figure III.1: Flux solaire mesurée 17 janvier 2022……....57

Figure III.2: Différentes températures des composantes de distillateur (17 janvier 2022)……58

Figure III.3: Différentes températures de vitre (17 janvier 2022)……59

Figure III.4: Différentes températures de fluide (17 janvier 2022)……59

Figure III.5: Différentes températures de plaque (17 janvier 2022) ……59

Figure III.6: Quantité de production en 24h (17 janvier 2022)……...60

Figure III.7: Variation de production en angle d'inclinaison (17 janvier 2022)...60

Figure III.8 Rendement (17 janvier 2022)……61

Figure III.9: Flux solaire calcule (17 Mai2022)……62

Figure III.10 : Différentes températures des composantes de distillateur (17 Mai2022)……62

Figure III.11: Variations différentes températures de vitre (17 Mai2022)…….63

Figure III.12: Variations différentes températures de fluide (17 Mai2022)……...63

Figure III.13:Les variations différentes températures de plaque (17 Mai2022)....63

Figure III.14:La quantité de production en 24h (17 Mai2022)……...63

Figure III.15: Variation production en angle inclinaison (17 Mai2022)……64

Figure III.16: Variation production (vitesse du vent) (17 Mai2022)……65

Figure III.17: Rendement (17 Mai2022)…….....65

Leste des Tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1: valeur de l'albédo du sol……18

Chapitre III:

Tableaux III.1: La température maximale de chaque composant de angle inclinaison par les différents méthodes numériques RUNGE-KUTTA4……59

Tableau III.2 : La quantité de Production en 17 janvier2022 ……61

Tableaux III .3: Variation de production en mois Mai……..……..64

Nomenclature

A	surface	(m^2)
Cp	capacité thermique	(J/Kg °C)
E	épaisseur	(m)
har	coefficient de perte thermique arrière	(w/m^2 °C)
hc	coefficient de transfert de chaleur par convection	(w/m^2 °C)
hr	coefficient de transfert de chaleur par rayonnement	(w/m^2 °C)
hv	coefficient de transfert de chaleur du au vent	(w/m^2 °C)
I	irradiation solaire	(w/m^2)
L	chaleur latente de vaporisation	(J/Kg)
M	masse	(Kg)
Md	débit massique	(kg/s)
P_{sat}	pression de saturation de vapeur	(Bar)
T	température	(k)
T	temps	(s)
A	coefficient d'absorption	
τ	coefficient de transmission	
Nu	nombre de Nusselt	
Pr	nombre de prandtl	
Gr	nombre de Grashof	

Ra	nombre de Rayleigh	
Λ	conductivité thermique	(w/m.k)
μ	Viscosité	
H	Rendement	
б	constant de Bolzmann	

Indices

A	Ambiance
C	Ciel
Eff	Effective
Ev	Evaporation
F	Fluide
G	global horizontal
P	plaque d'absorption
V	Vitrage
Is	Isolant

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est considérée comme l'un des miracles divins et cosmiques sur cette terre. Elle est la source dont les humains, les animaux et les plantes ont besoin, car elle est le secret de cette vie et la raison de vivre sur cette planète [1]. L'eau est l'un des éléments de base les plus importants sur lesquels repose la planète. Puisqu'elle constitue de 71% de la surface terrestre, mais le pourcentage d'eau salée est estimé à 96,54%, et l'eau douce à 2,53% et 0,36% d'eau douce directement disponible pour l'homme [1]. Cette dernière existe à notre époque, et l'Algérie est considérée comme l'un des pays qui souffrent d'une pénurie d'eau potable, elle a donc eu recours au dessalement de l'eau de mer, bien qu'elle dispose de sources naturelles d'eau potable, mais elle est très limitée, et elle ne suffit pas à répondre aux besoins nécessaires qui augmentent de manière significative [1]. Les chercheurs ont donc fait appel à trouver plusieurs moyens de produire de l'eau douce [2], y compris les méthodes thermiques et non thermiques. Dont la plupart dépendent principalement des sources d'énergie traditionnelles, qui posent des problèmes environnementaux, et ont stimulé la pénurie d'eau potable dans le monde, chose qui à pousser les chercheurs à trouver des techniques de dessalement de l'eau salée, en particulier dans les zones désertiques, cependant, ces technologies procèdent des avantages et des inconvénients, parmi ces techniques on peut citer :

La technique de distillation solaire qui est utilisée dans les zones désertiques éloignées comme la région d'Adrar, dans le désert algérien, où le soleil est le principal acteur de ce processus. Ce qui en fait la plus économique, malgré ses défauts, notamment la faible productivité de l'eau potable par rapport aux autres techniques, car de nombreux chercheurs ont voulu améliorer la distillation solaire de plusieurs façons. Considérée comme une solution au problème du manque d'eau potable dans les zones désertiques sèches, comme la production d'eau pure à l'aide de la technologie de distillation solaire. Elle a de grandes perspectives dans l'industrie et l'économie, car l'énergie consommée dans la production est l'énergie thermique provenant du rayonnement solaire capté sur les surfaces noires [2]. L'eau chaude produit de la vapeur. Cette dernière est exposée à une surface froide le processus de distillation se produit [2]. La moitié de la quantité d'énergie solaire atteint la surface de la Terre, où la Terre reçoit environ 48% du rayonnement solaire qui lui parvient sous forme de rayonnement diffus 18% et direct 30%, tandis que 52% est réfléchi dans l'espace [3].

Notre étude est structurée comme suit :

Dans le premier chapitre : nous aborderons un aperçu historique de l'alambic solaire, ainsi que sa composition, son principe de fonctionnement, ses types, ses caractéristiques et enfin les facteurs internes et externes qui influent les performances un distillateur.

Le deuxième chapitre sera consacré pour la modélisation et la simulation d'un distillateur solaire demi-chapelle.

Enfin le 3^{éme} chapitre sera dédié à l'interprétation des résultats obtenus par simulation et de les comparés aux résultats expérimentaux acquis lors de notre stage à l'unité de recherche en énergies renouvelables à Adrar « URER ».

Chapitre I :

Généralité sur les distillateurs solaires

I-1 Introduction :

L'eau est la source principale de tous les êtres vivants, le besoin urgent d'eau potable augmente de jour en jour. Sa rareté est son développement nettement accrue dans les pays développés comme dans les pays reculés. L'Algérie est l'un des pays qui n'échappe pas à ce problème, étant donné sa vaste superficie, dont les deux tiers sont désertiques. Pas mal de ses habitats se trouvent dans des zones loin des sources d'énergie, et la mise en place d'usines de dessalement de l'eau potable dans ces zones est très difficile, ainsi la solution alternative que nous utilisons actuellement celle de l'utilisation de l'énergie solaire car elle est renouvelable, propre et durable. Les chercheurs ont exploité le phénomène d'évaporation à l'aide de l'énergie solaire à fine d'obtenir de l'eau potable par la distillation solaire.

I.2 Généralité d'un distillateur solaire :

I. 2. 1 Le soleil :

L'étoile est le centre du système solaire, de sorte que le soleil tourne autour de la terre. Son énergie est constituée de réactions thermiques de fusion de l'hydrogène en hélium, et sa température moyenne de surface est estimée à 5800 k, l'épaisseur de la surface de la lumière visible en général ou photosphère, est environ de100 km. La chromosphère est la couche inférieure de l'atmosphère. L'atmosphère solaire est située entre la photosphère et la couronne. Les taches solaires sont des points sombres à la surface de la photosphère. C'est pourquoi des scientifiques comme Galilée ont vu que les taches se déplacent dans le temps, et avec la même direction. Ce qui indique la rotation du soleil. Sa masse est d'environ 330 000 fois celle de la Terre et représente environ 99,86 % de la masse totale du système solaire, soit environ les trois quarts de la masse du soleil, qui est composée d'hydrogène (73 %), le reste étant de l'hélium (25 %) avec des quantités beaucoup plus faibles d'éléments lourds comme l'oxygène, le carbone, le néon et le fer. Le rayon du globe solaire délimité par la photosphère est de 69 000 km, soit environ 109 fois le rayon de l'équateur de la Terre, sa densité moyenne n'est que de 1,41 de

la terre avec taille supérieure à 1 300 000 fois. La distance moyenne entre la terre et le soleil est d'environ 150 millions de km, et il faut environ 8 minutes pour que le rayonnement solaire nous atteigne, (Figure I.1) [3]. Le soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales [1]:

1- L'intérieur : où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire et qui est inaccessible aux investigations, car le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches extérieures. La température atteint plusieurs millions et la pression un milliard d'atmosphère.

2- La photosphère : l'épaisseur est d'environ 300 km qui est responsable de la presque totalité du rayonnement solaire que nous recevons.

3- Chromosphère et couronne solaire : où la matière est très diluée, fait qui explique que bien que la température y soit très élevée (1 million de degrés) le rayonnement émis est très faible. La terre étant à une distance de 150 millions de kilomètres du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de 1,81014 kW[2,3]. La température de cœur est de l'ordre de 15 million K tandis que la température de surface de soleil est 5760 K [4].

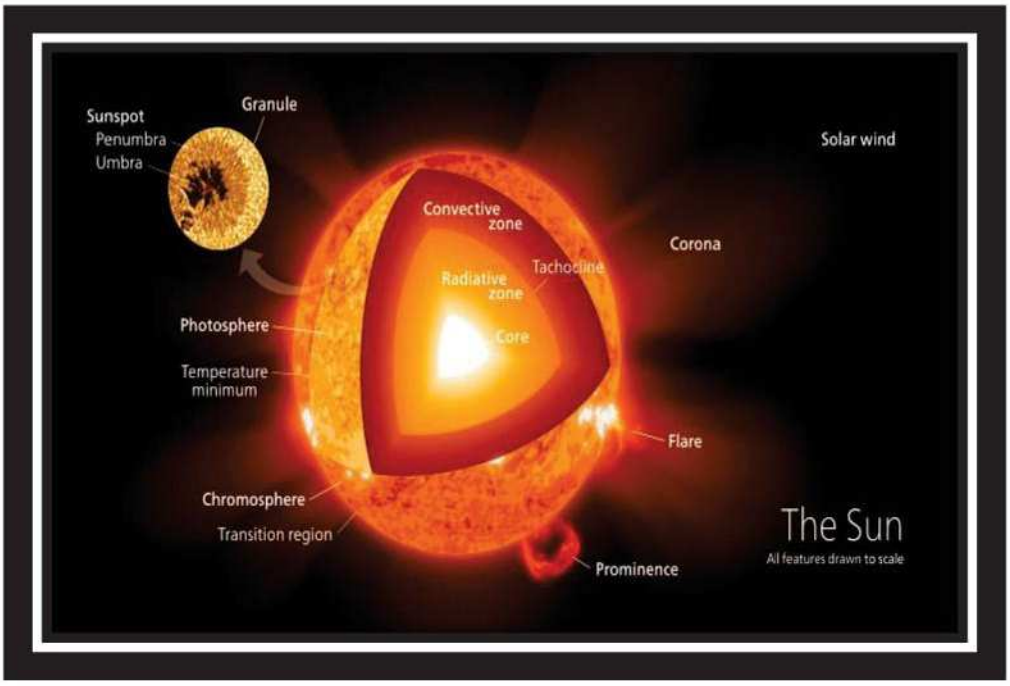


Figure I.1: représente la distribution structurelle du soleil

I. 2. 2 Relation terre-soleil:

La terre est considérée comme une sphère, son diamètre est $1.27*10^7$ m, elle est entourée de l'atmosphère. La terre tourne autour de son axe, où ce phénomène génère la rotation du jour et de la nuit (l'hémisphère du site considéré est alors éclairé) et de nuit (l'hémisphère est à l'ombre) [5].

La terre se déplace autour du soleil d'une trajectoire écliptique, la révolution complète s'effectue en une année sidérale de période de 365,25 jours [6, 7] .(Figure I.2).

La distance de terre soleil peut être calculée par la relation suivante [6].

$$D(j) = 1 - 0.017 * [cos \frac{360}{365}(n_j - 2)] \qquad (I.1)$$

Où [D(j)] = 149 597 870 000 m est l'unité astronomique (UA), est le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1janvier.

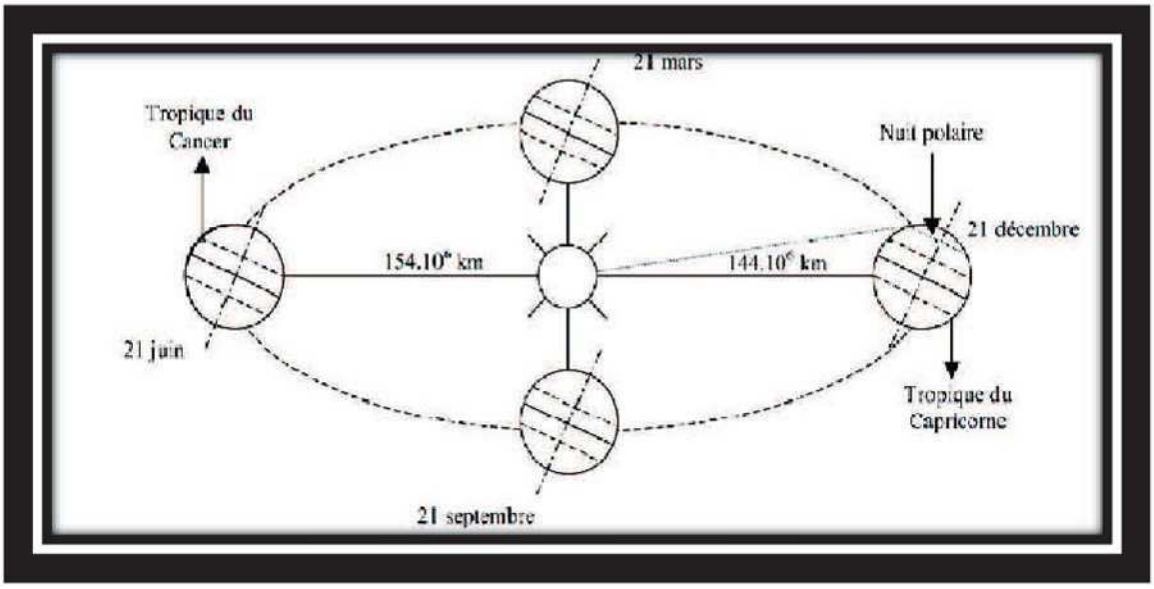


Figure I.2 : mouvement de la terre autour du soleil [5].

I. 2. 3 Les coordonnées célestes :

I. 2. 3. 1 Les coordonnées géographiques :

Les coordonnées géographiques découlent d'un système géodésique utilisé pour se repérer à la surface de la planète. Le système géodésique est un quadrillage imaginaire qui couvre la surface de la Terre et qui la divise en carreaux les coordonnées célestes. Ce sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre, on distingue notamment :

I. 2. 3. 1. 1 La longitude (L)

La longitude d'un lieu est une valeur angulaire, elle est comptée positivement vers l'est et négativement vers l'ouest, et elle varie de -180° 180° à partir du méridien de Greenwich [7].

I. 2. 3. 1. 2 La latitude (φ) :

C'est la localisation angulaire d'un point au nord ou au sud de l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère Nord et de 0° à –90° dans l'hémisphère Sud.

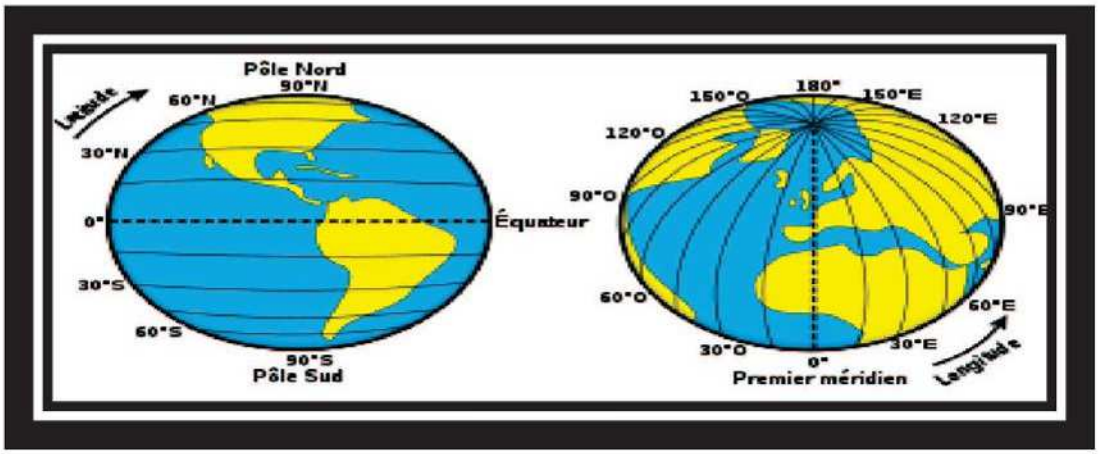


Figure I.3 : Les coordonnées géographiques.

I. 2. 3. 2 Les coordonnées horaires :

I. 2. 3. 2. 1 La déclinaison (δ):

C'est la position angulaire du soleil à midi solaire lorsque le soleil passe par le méridien local par rapport au plan de l'équateur, qui est positif au nord et négatif au sud. La valeur de (δ) est comprise entre (-23,45°) et (+23,5°), elle est positive au printemps et en été et elle est négative en automne et en hiver [1]. Elle s'obtient de la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (284 + \mathrm{j})\right) \qquad [11] \qquad (I.2)$$

j : Le numéro du jour dans l'année.

I. 2. 3. 2. 2 L'angle horaire (ω):

C'est le déplacement angulaire du soleil à l'Est ou à l'Ouest du méridien local, dû à la rotation de la terre autour de son propre axe, à raison de 15° par heure, sa valeur est négative avant midi et positive après midi [9] [1].

$$\omega = 15(Tsv - 12) \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (I.3)$$

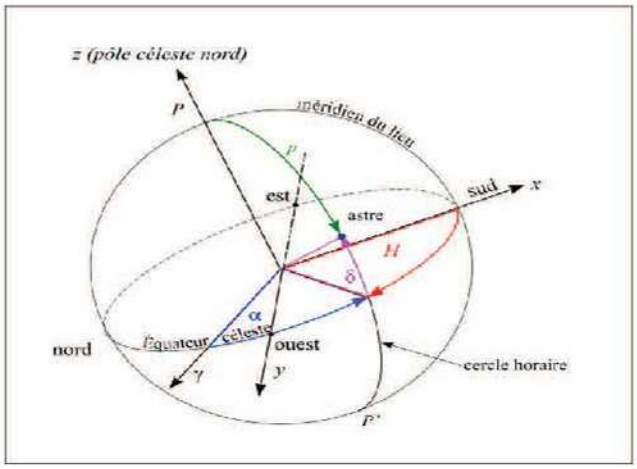


Figure I.4: les coordonnées horaires

I.2.3.3 Les coordonnées horizontals:

I.2.3.3.1 Hauteur angulaire (h):

C'est l'angle compris entre la direction du soleil et le plan horizontal, Cette hauteur durant le jour peut varier de 0° (soleil à l'horizon) à 90°(soleil au zénith) [8].Il estdonné par le relation:

$$sin(h) = sin(\varphi)sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega) \quad [8] \quad (I.4)$$

On appelle parfois distance zénithale (Z) le complément de l'angle h:

$$Z + h = 90° \ldots\ldots\ldots \quad (I.5)$$

I.2.3.3.2 L'azimut (a):

Azimut qui permet de repérer la trace du soleil dans le plan horizontal (a=0 au sud ,

90° à l'ouest -90 ° à l'est et 180 ° au nord).

L'azimut est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il se compte de 0° à 360° à partir du sud dans le sens rétrograde [10].La relation qui donne l'azimut est donnée ci-dessous [6].

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(\mathrm{h})} \ldots\ldots\ldots\ldots [6] \quad (I.6)$$

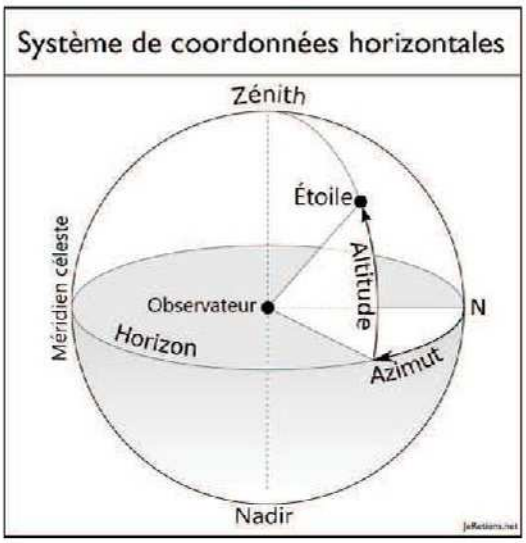


Figure I.5: les coordonnées horizontales [16].

I.2.3.4 Les temps solaires :

La notion de journée solaire est le mouvement de la terre sur elle-même, Une rotation complète s'effectue en 24 heures, et la rotation de la terre autour du soleil définit les saisons et conduit à distinguer le temps solaire vrai [8].

Pour les applications de l'énergie solaire, il faut faire intervenir le temps solaire vrai, qui est calculé via un compte des autres temps solaire [5].

I.2.3.4.1 Temps universel (TU):

C'est le temps solaire moyen du méridien de Greenwich GMT (Greenwich Mean Time) qui est le méridien central du fuseau horaire. Pour en déduire le temps légal ou local (TL), il convient d'ajouter au temps universel le décalage du fuseau horaire [8].

$$\mathrm{TL} = \mathrm{TU} + \text{décalage} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (I.7)$$

$$\mathrm{TU} = \mathrm{TL} - \text{décalage} \ldots\ldots\ldots \quad (I.8)$$

I.2.3.4.2 Le temps solaire moyen (TSM):

Il se déduit de l'équation suivante:

$$\mathrm{TSM} = \mathrm{TU} \pm \frac{L}{15} \ldots\ldots\ldots \quad (I.9)$$

Où L : est la longitude du lieu.

I.2.3.4.3 Le temps solaire vrai (TSV):

C'est un temps basé sur le mouvement apparent du soleil dans le ciel et il représente l'angle horaire formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan méridien vertical du lieu [12].

$$\mathrm{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (I.10)$$

La différence entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen est appelée équation du temps:

$$\mathrm{TSV} = TSM + Et (I.11)$$

Avec Et est l'équation de temps [11]:

$$\mathrm{Et} = 9.87 * \sin(2N') - 7.53 * \cos(N') - 15\sin(N')\,[min] \qquad (I.12)$$

$$\mathrm{N'} = \frac{360}{365} * (n_j - 85) \qquad (I.13)$$

n_j : Le numéro du jour dans l'année

I. 2.4 Energie solaire:

I.2.4.1 Historique L'énergie solaire:

Depuis la fin du XIXe siècle, l'énergie solaire est l'une des énergies renouvelables la plus utilisée dans la plupart des pays du monde, car c'est une énergie naturelle, propre et durable. Selon des mesures prouvées, l'intensité moyenne du rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère terrestre est directement de 1366w/m^2. Elle est connue sous le nom de "constante solaire" et cette définition est toujours exacte selon les mesures modernes, ainsi le rayon de la terre est égal à (2/fit * 10^^{7}), donc la puissance totale du rayonnement solaire qui atteint la terre est de 1,73 * 10^^{17} w. Le soleil tire son énergie de réactions thermonucléaires qui se produisent constamment dans son centre, qui atteint une température de 15 millions de degrés. En raison des énormes températures et pressions, les réactions thermiques qui se produisent dans le noyau du soleil (voir figure I.6) 564 millions de tonnes d'hélium sont transformées chaque seconde, et les 4 millions de tonnes perdues sont dispersées ou désintégrées dans des explosions nucléaires géantes. Ce processus est ainsi connu grâce à la célèbre équation d'Einstein (E=m*c^2), qui montre que toute perte de masse (m) entraîne la production d'une Energie cinétique. L'énergie égale au produit de cette masse par la vitesse de la lumière.Le Soleil fournit une force équivalente à la puissance de 4 * 10^17 réacteurs nucléaires, ce qui est un nombre astronomique. Cependant, seule une petite partie de cette énergie atteint la surface de la Terre en raison du petit angle solide sous lequel notre planète est vue du Soleil. Cette force est environ deux milliards de fois plus faible. Cela reste une valeur très respectable d'environ (1.9*10^11 MW) [12,13].

Il n'est pas possible de comprendre l'histoire de l'énergie solaire sans prendre en considération l'histoire des énergies concurrentes, principalement les énergies fossiles, cette dernière si le niveau actuel de la consommation des énergies fossiles est maintenu, la réserve totale d'énergie produite à partir de celles-ci risque d'y être une centaine d'années [17].

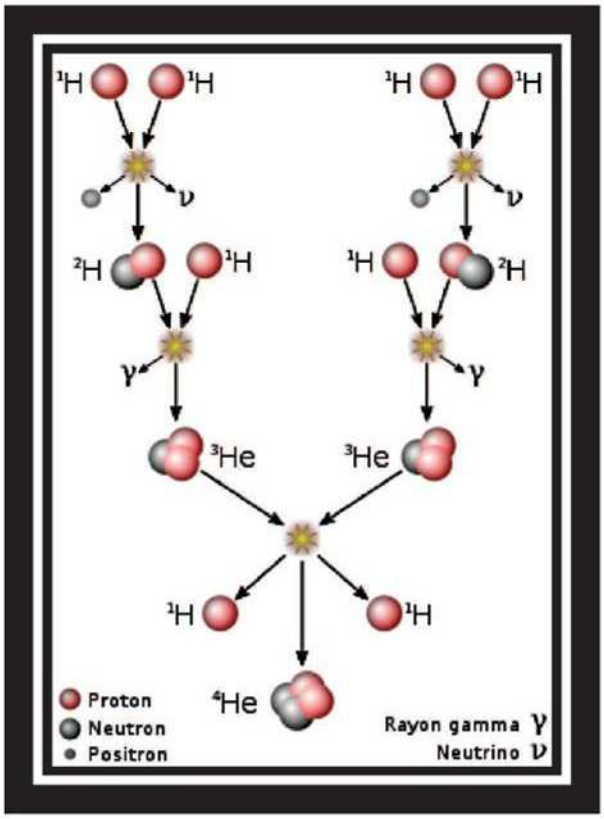


Figure I.6: Fusion nucléaire [18].

I 2.4.2 Les applications de l'énergie solaire :

Le soleil indique essentiellement qu'il est l'un des plus grandes sources d'énergie, soit directement, soit indirectement, par sa production de chaleur et de lumière la technologie de l'énergie solaire directe dépend de la conversion du rayonnement direct entrant en énergie utile telle que l'électricité, l'éclairage et le chauffage, le cycle de l'eau et du vent (voir figure I.7). La biomasse est l'une des formes indirectes d'énergie solaire. Dans ce cas, les processus normaux convertissent l'énergie solaire en d'autres types d'énergie.

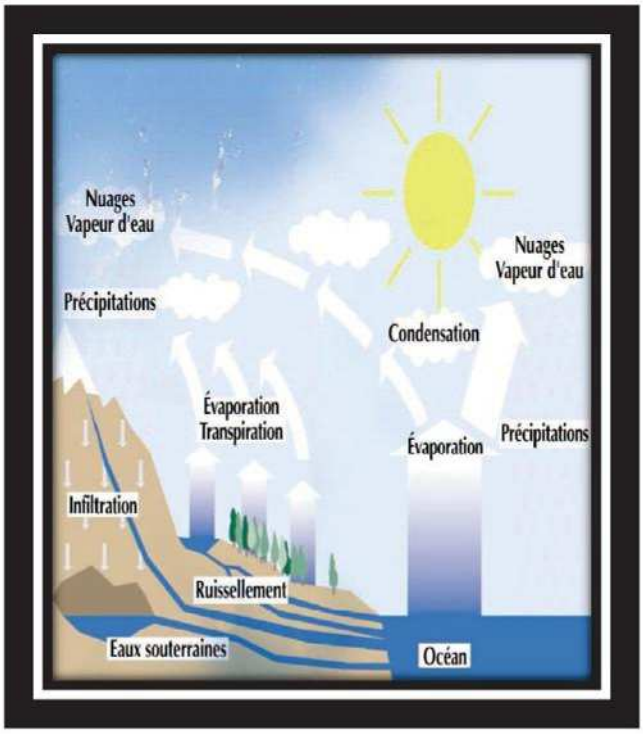


Figure I.7: Les Différents étapes du cycle de vent et de l'eau

L'énergie solaire a plusieurs utilisations l'énergie solaire produit son rayonnement sous forme de chaleur (passive ou active), qui est convertie en énergie thermodynamique, et en énergie photovoltaïque, et produit ainsi la lumière du jour pour nous.

I.2.5 Rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il est composé de toutes les gammes de rayonnements, le soleil fournit à la terre un rayonnement dans un intervalle de longueur d'onde λ varie de 0.22 à 10 µm généralement décomposés de trois catégories comme suivantes [11] :

- 9% à la bande des ultraviolets (UV) ($< 0.4\ \mu m$).
- 47% à la bande visible (Visible) (0.4 à 0.8μm).
- 44% à la bande des infrarouges (IR) ($> 0.8\ \mu m$) .

I.2.5.1 Rayonnement solaire au sol:

L'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit, il modifie le spectre du rayonnement solaire à travers les processus d'absorption par les différents gaz (O_3, CO_2, H_2O) et il y a une partie du rayonnement solaire est réfléchie par l'atmosphère à cause de ces gaz. Le reste atteindra la surface de la terre (rayonnement global) qui reste à disposition à la surface de la terre. Il comprend deux composantes : directe et diffus [10,11].

I.2.5.1.1 Rayonnement direct (ID) :

Le rayonnement direct est la part du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère sans des modifications (ni diffusée et ni absorbée lors de la traversée de l'atmosphère), sa mesure s'effectue à l'aide d'un pyrhéliomètre qui est installé de façon que sa surface réceptrice soit orientée perpendiculairement aux rayons solaires et l'axe de sa rotation doit être parallèle à celui de la terre.

Figure I.8: l'instrument pyrhéliomètre [10]

I.2.5.1.2 Rayonnement diffus (Id):

Le rayonnement diffus est le rayonnement en provenance de la voûte céleste, à l'exception du disque solaire. C'est-à-dire la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Sa mesure est effectuée avec un pyranomètre muni d'une bande pare-soleil (anneau métallique cachant le disque solaire) [8].

Figure I.9: l'instrument qui meure le rayonnement diffuse [8].

I.2.5.1.3 Rayonnement globale (I_G):

Le rayonnement globale est la somme du rayonnement direct $\mathbf{I_D}$ et diffus $\mathbf{I_d}$ soit [10]:

$$\mathbf{IG = ID + Id} \qquad (I.14)$$

$$\mathbf{I_G} = 1230 \exp[\frac{-1}{4\sin(h+2)}] + 125(\sin(h))^{\wedge 0.4}$$

I. 2.5.1.4 L'effet des composants atmosphériques sur le rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire qui atteint l'atmosphère n'est pas soumis à ce qu'il atteigne la surface de la terre en totalité. Car une grande partie est perdue lorsqu'elle entre dans l'atmosphère, suite à certains retours vers l'espace par (l'albédo terrestre), et ce dernier est la proportion de ce qui est généré par le rayonnement solaire vers l'espace sans affecter l'atmosphère terrestre. ainsi 19% de ce rayonnement est absorbé par l'atmosphère, les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère (dioxyde de carbone CO2 et vapeur d'eau), et 30% est réfléchi vers l'espace et 51% est absorbé par la surface de la Terre (Voir Figure I-10-) la surface de la Terre reflète également une partie de celui-ci, comme le rayonnement de différentes longueurs d'onde en raison de la température de la surface de la Terre. 70% du rayonnement solaire total reste à la surface et dans l'atmosphère de la Terre. La rotation de la Terre autour de son axe génère des changements horaires dans l'intensité du rayonnement reçu par un endroit particulier pendant la journée, et conduit même à une extinction complète pendant la nuit. Lorsqu'il traverse l'atmosphère, le rayonnement

solaire est partiellement décomposé dans toutes les directions et est partiellement absorbé par les gaz atmosphériques et les gouttelettes des nuages. Le rayonnement diffusé qui atteint la surface de la Terre est appelé rayonnement. Et le rayonnement global.

Le rayonnement réfléchi est principalement réfléchi par la surface réceptrice, et cette composante est plus importante dans les zones montagneuses.

La quantité de rayonnement solaire qui atteint un point quelconque de la surface de la Terre dépend de l'emplacement de ce point, de la période de l'année, de la diffusion de l'atmosphère, de la couverture nuageuse ainsi que de la forme et de la réflexion de la surface réceptrice.

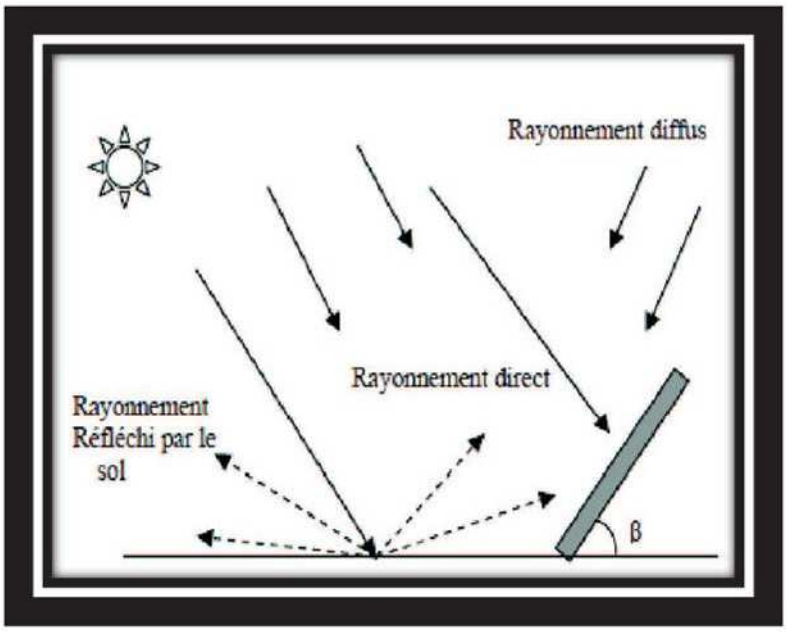


Figure I.10 Composantes du rayonnement solaire

I.2.6 L'albédo:

C'est le rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface sur l'énergie solaire incidente ou à fraction d'énergie réfléchie par rapport à l'énergie incidente, il est appartenant entre 0 comme un corps noir (aucune réflexion) et 1 comme un miroir parfait, et l'albédo moyen terrestre est de 0,2 toutes surfaces confondues. L'albédo est mesuré par un Albédomètre (Figure I.10) : deux

pyranomètres montés en opposition, l'un regardant vers le sol et l'autre vers le ciel, l'albédo moyen terrestre est de 0,2 toutes surfaces confondues. [5, 1,10].

Figure I.11 : l'Albédomètre [10].

Nature de Sol	Neige fraiche	Neige Ancienne	Sol Rocheux	Sol Cultivé	Fertet
Valeur de L'albédo	0.8-0.9	0.5-0.7	0.15-0.25	0.07-0.14	0.06-0.2

Tableau I.1: valeur de l'albédo du sol [10].

I.2.7Irradiation Le gisement solaire:

Il s'agit d'un ensemble de données qui décrivent l'évolution du rayonnement solaire disponible sur une certaine période de temps. Il est utilisé pour simuler le fonctionnent potentiel du système d'énergie solaire et ainsi rendre les dimensions plus précises. (La figure I.11) montre le rayonnement solaire annuel moyen .La globe terre.

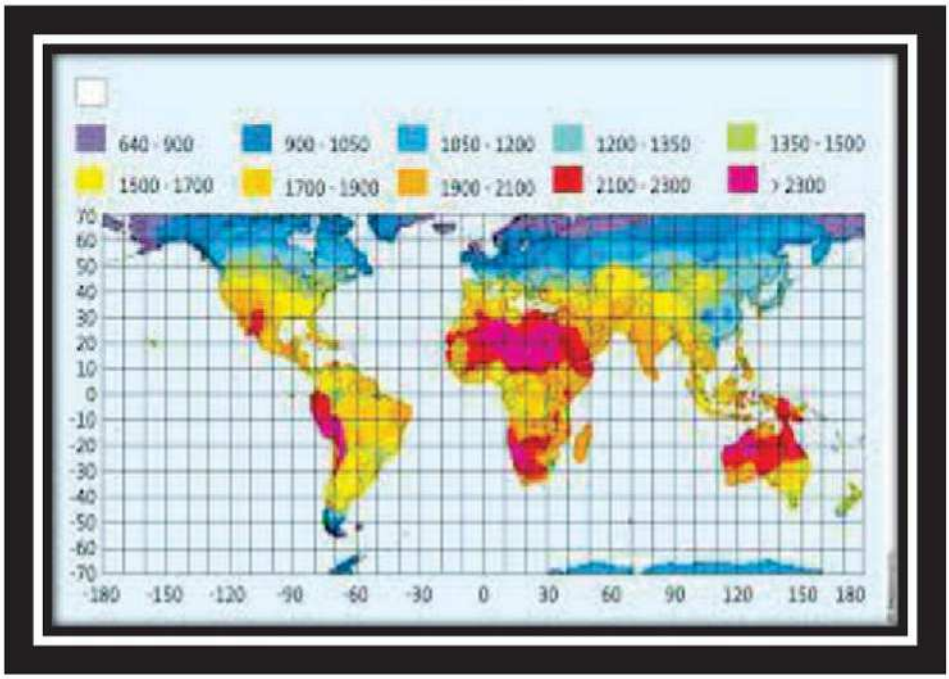


Figure I.12: Rayonnement solaire annuel dans le monde (KWh/m².an) [19].

L'Algérie a indiqué par le Commissariat aux Energies Renouvelables et à l'Efficacité Energétique (CEREFE) que l'Algérie dispose d'un des gisements d'énergie solaire les plus élevés au monde, avec une insolation de plus de 2000 heures par an atteignant en vien 3900 heures, notamment dans les hauts plateaux et le désert sur l'ensemble du territoire national. L'énergie reçue par jour sur une surface horizontale d'un mètre carré est d'environ 5kw par heure dans la majeure partie du territoire national, soit environ 1700 KWh/m^2/an au nord et 2263KWh/m^2/an au sud du pays. La figure suivante (I.13) représente le rayonnement solaire global moyen recueilli en Algérie, exprimé en KWh/m^2/jour.

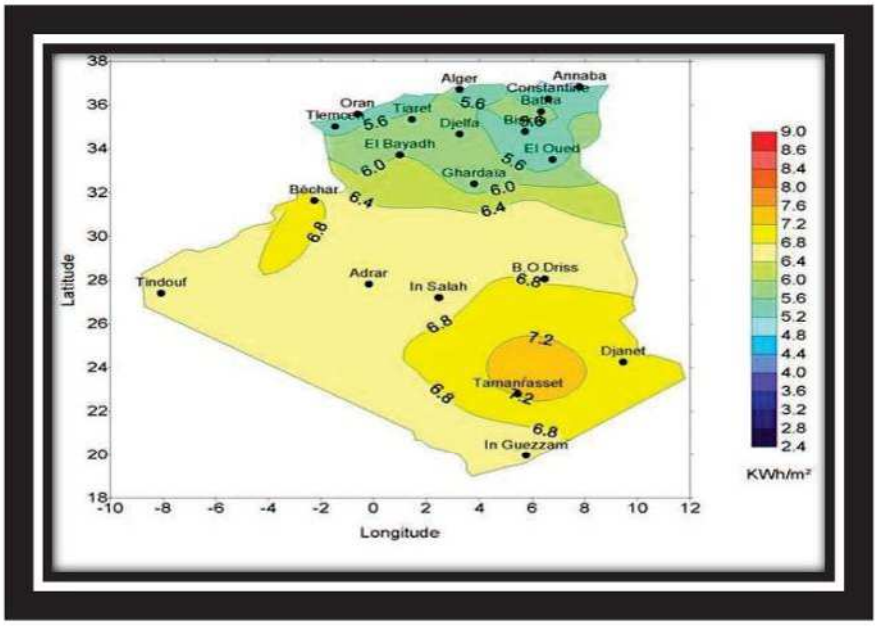


Figure I.13: Irradiation solaire globale moyenne sur l'Algérie KWh/m²/jour [20].

I.2.7.1 Paramètres responsables du flux solaire :

Le flux solaire rencontré au niveau du sol dépend principalement de :

- La latitude et de l'altitude du lieu.

- La direction, la nature et l'inclinaison de la surface de la Terre.

- Le niveau de pollution et l'altitude.

- La nature des couches nuageuses.

I.2.8 Différents types d'eau:

I.2.8.1 L'eau potable :

Selon les normes internationales de L'OMS (office mondial de la santé) une eau destinée aux usages domestiques doit avoir une salinité inférieure ou égale à 500 mg/l. De plus elle ne doit pas contenir plus de 250 mg/l de chlorures ni plus de 250 mg/l de sulfates. Pour les usages industriels et agricoles, les normes sont très variables, mais dans la plupart des cas il est souhaitable que la salinité ne dépasse pas 1000 à 1500 mg/l [12].

I.2.8.2 L'eau de mer :

L'eau de mer est un liquide dont la composition est de 96,5% d'eau pure et à 3,5% de substances dissoutes (sels, gaz). L'énumération de ces corps simple va de l'hydrogène, de l'oxygène, du chlore et du sodium. D'une façon générale, l'eau de mer contient d'environ de 35 g/l de sels minéraux dissous [12].

I.2.8.3 L'eau saumâtre :

C'est une eau légèrement à moyennement salée. Sa teneur en sel est comprise entre 1 et 10 g/l, contre 35 g/l en moyenne pour l'eau de mer. Il s'agit donc d'eaux oligohalines à méso halines.

I.2.8.4 L'eau distillée:

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

- Les laboratoires et hôpitaux pour toutes les analyses, vaccins, sérums, etc…
- Les usines de batteries et de traitement qui nécessitent l'utilisation d'eau purifiée (industrie de la photographie).

I.3 Distillateur solaire:

I.3.1 L'histoire et le développement de la distillation solaire:

Le monde a connu la sécheresse, donc pendant longtemps, les chimistes arabes ont été les premiers à développer la technique de la distillation solaire pour dessaler l'eau, et en 1551 et a donc développé des plans pour la distillation de l'eau. Ce dernier était l'anglais en 1872 Harding construit un dispositif de distillation solaire, après la guerre les années 1920, le chercheur Koch a utilisé des réflecteurs pour concentrer la lumière du soleil et augmenter la productivité des alambics solaires. La technologie de distillation solaire joue un rôle important dans la production d'eau douce à partir de l'énergie solaire. En résolvant ce problème critique; la plupart des pays ont commencé à travailler, développer et étudier différents types de distillats solaires. Parmi ces pays:

a) Algérie: 1953 Cyril Jommelli a développé différents types de distillats solaires, plus de 20 distillats ont été essayés et commercialisés en Afrique du Nord, au

Sénégal, à Chypre et en Australie. Young et le Savarin ont étudié d'autres types de serres et de distillateurs inclinés pour tenter d'augmenter la production de distillation solaire.

b) En France: en 1926-1928, des dispositifs de distillation solaire ont été testés en France [10]. L'ensemble de ces dispositifs comprend 30 appareils d'une surface d'environ 1 mètre carré chacun, ils ont été exploités à Ben Guérande (sud de la Tunisie). Il produisait un maximum de 90 litres par jour pour une surface transparente de 20 mètres carrés [10].

c) Aux Etats-Unis d'Amérique : Les chercheurs Abbott et Hôtel ont étudié l'utilisation de dispositifs de concentration principalement pour fournir de l'énergie. En 1938, Abbott a utilisé un réflecteur cylindrique parabolique se concentrant sur l'énergie solaire.

d) En Inde : En 1957, deux petits alambics solaires ont été inventés à partir de la serre pour étudier les effets des différentes tendances de verre et des techniques de construction [10].

e) URSS: Il a été rapporté qu'au cours de l'année 1956, le laboratoire d'énergie solaire Krzhizhanovsky de Moscou a développé des distillateurs solaires pour fournir de l'eau potable aux populations des régions arides et semi-arides de Russie. En 1962, un distillateur solaire a été conçu et testé à l'Université de Tashkent. Pendant la période 1961-1965, des distillateurs solaires expérimentaux ont été testés au Turkménistan et à partir de ces travaux, un grand site de distillateurs solaires a commencé à être construit à Ashgabat en 1969.

f) TUNISIE:A partir de 1962, le groupe d'énergie solaire de l'agence tunisienne de l'énergie atomique a étudié la distillation solaire. Plus d'une dizaine de distillateurs solaires ont été fabriqués et en 1967, trois grandes stations de distillation ont été construites.

I.3.2 Définition distillateur solaire:

La distillation solaire est une technologie qui utilise le rayonnement solaire pour traiter l'eau salée et produire de l'eau douce. Elle est utilisée pour chauffer

l'eau saumâtre dans un réservoir recouvert d'un verre incliné. La saumure dans le réservoir va se réchauffer (plus le réservoir est sombre, plus le rendement sera rapide) et au fur et à mesure que la température augmente, une partie de l'eau va s'évaporer et la vapeur d'eau va se tourner vers la surface intérieure du verre transparent. Finalement, des gouttelettes d'eau se formeront, couleront chuteront sur la surface du verre et tomberont dans un collecteur situé dans le coin. Il est nécessaire de nettoyer le l'évier régulièrement pour enlever le sel, voir la figure ci-dessus (I.14).

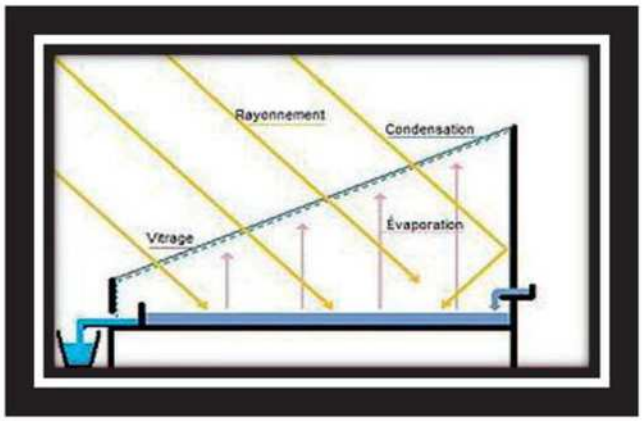


Figure I.14: Principe d'un distillateur solaire

I.3.3 Classification des distillateurs solaires:

Les alambics solaires peuvent être classés en fonction de leur conception et de leur mode de fonctionnement. Ils sont donc classés en deux types différents, positifs et négatifs.

I.3.3.1 Distillateur solaire négatif:

Elle se caractérise par sa simplicité, sa facilité de collecte et son faible coût. Cependant, il présente l'inconvénient non négligeable d'un faible rendement. Dans le cas de l'appareil de distillation passive. L'eau du réservoir est chauffée directement par une seule source d'énergie, à savoir l'énergie solaire. L'alambic solaire passif présente d'autres inconvénients. Qui limitent parfois son utilisation pour une production à grande échelle : L'exposition aux intempéries, exigence de zones ensoleillées avec un fort rayonnement solaire. Une demande moindre sur le marché mondial et un faible intérêt pour les fabricants.

I.3.3.2 Distillateur solaire positive:

Certaines lacunes des alambics solaires passifs ont incité les chercheurs à mettre au point d'autres alambics plus perfectionnés, appelés alambics actifs. La productivité des alambics solaires passifs peut être améliorée en ajoutant une autre source de chaleur comme des réflecteurs et des capteurs photovoltaïques ou thermiques. Montre un alambic actif qui est amélioré par l'intégration d'un collecteur plan externe. Cette amélioration peut être obtenue par une modification appropriée de la conception de l'alambic solaire et de son mode de fonctionnement en adoptant différentes technologies.

I.3.4 Les différents types de distillateur solaire :

Les procédés de dessalement par distillation solaire utilisant de l'énergie solaire sous forme thermique sont : la distillation solaire avec un effet sur le réchauffement climatique, la distillation solaire avec multiple effets.

I.3.4.1 Distillation solaire avec effet de serre :

Soit une serre fermée et exposée au soleil, à l'intérieur de laquelle se trouve une couche d'eau de mer ou d'eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau (fraîche) qui se condense au contact de la paroi vitrée relativement froide.

Les gouttes d'eau fraîche peuvent être recueillies au bas de la vitre dans une gouttière (voir figure I.15 et figure I.16) [20].

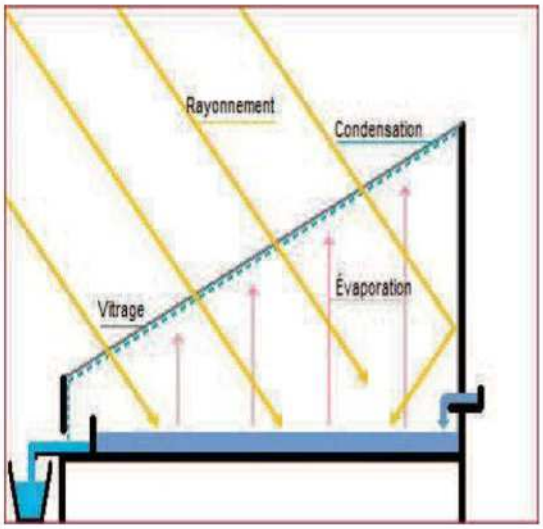


Fig. I.15 Distillateur solaire plan à effet de serre.

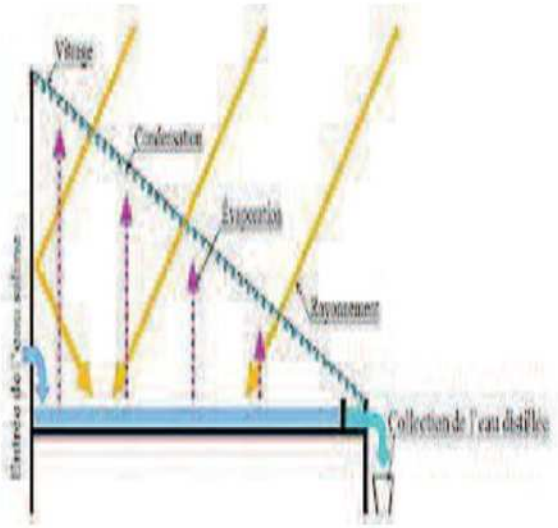


Fig. I.16.Distillateur solaire simple à effet de serre [10]

A) Distillateur à pente unique:

Le distillateur solaire plan à simple pente est considéré comme le distillateur le plus simple et le plus reconnu dans le monde. Il est constitué d'un absorbeur sous forme de bassin horizontal, et rempli d'eau salée ou saumâtre et couvert d'une vitre transparente en verre, inclinée d'un certain angle pour être exposé au maximum de la radiation solaire et faciliter l'écoulement des gouttelettes vers une gouttière placée en bas de la vitre. L'eau condensée ensuite, est récupérée et stockée. Pour minimiser les pertes d'énergie un isolant thermique est utilisé en bas et aux cotés à l'extérieure de l'absorbeur (Figure I.16) [13].

b) Distillateur à double pente:

Il a le même principe que le distillateur à simple pente mais il est composé de deux capteurs où chacun des d'eux est incliné d'un angle (Figure I.17). L'avantage du distillateur à double vitrage, est d'exposer un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation [14].

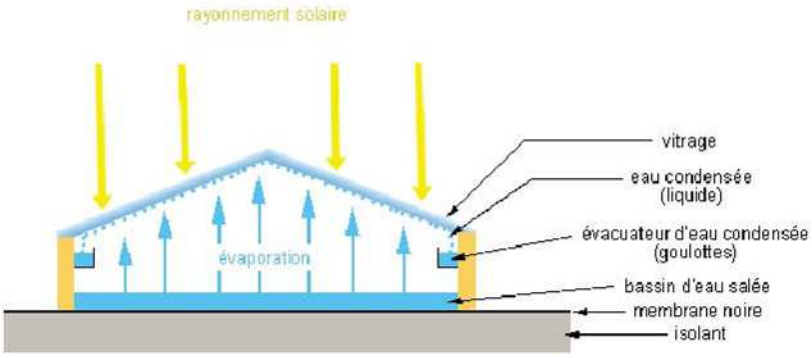


Figure I.17: Distillateur à double pente

I.3.4.2 Le distillateur solaire à cascades :

Ce type de distillateur (voir figure) utilise le même principe que le distillateur à effet de serre, sauf que a dernière la solution est distribuée en couches fines sur plusieurs cascades. Il a été observé que le rendement de ce type de distillateur est plus élevé que celui du distillateur plan. Mais plus faible du un cycle inverse nuit.

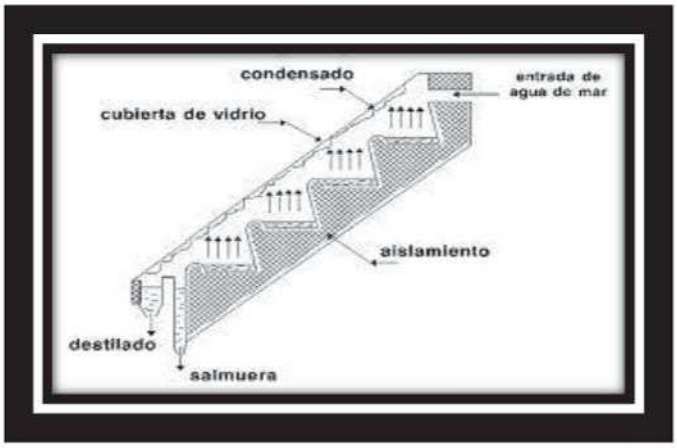


Figure. I.18 Distillateur solaire incliné à cascade [21].

I.3.4.3 Distillateur solaire incliné à mèche :

Dans ce type de distillateur, l'eau d'alimentation s'écoule lentement à travers une garniture poreuse absorbant les rayonnements (mèche). Les distillateurs à mèche présentent deux avantages. Premièrement, la mèche peut être inclinée de manière à ce que l'eau d'alimentation ait un meilleur angle par rapport au soleil (ce qui réduit la réflexion et offre une grande surface effective). Deuxièmement, il y a moins d'eau d'alimentation dans le distillateur à un moment donné, ce qui permet de chauffer l'eau plus rapidement et à une température plus élevée. [8] Les distillateurs à mèche simple sont plus efficaces que les distillateurs à réservoir et certains modèles sont censés coûter moins cher qu'un distillateur à réservoir de même efficacité. Le modèle présenté dans la (figure. I.19), a été essayé pendant un certain temps de manière satisfaisante mais il était très difficile de maintenir l'humidité sur les mèches sans qu'il y ait des points secs. Raison sui à diminuer son explantation.

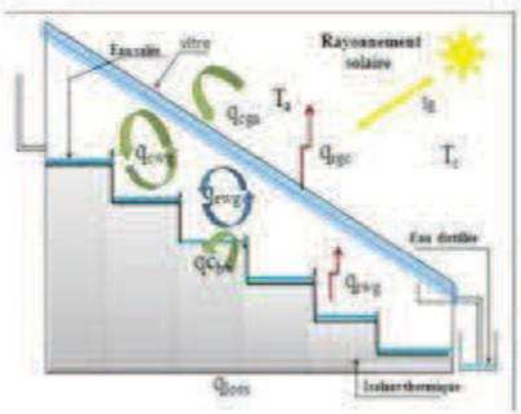


Figure I.19.Distillateur solaire incliné à mèche.

I.3.4.4 Distillateur solaire sphérique à balayage :

Ce distillateur sont constitués d'une sphère en plexiglas ou autre matière plastique transparente reposant sur des supports (figure I.20) leur principe de fonctionnement est le même que celui de l'effet de serre, sauf que la condensation s'effectue sur la demi-sphère supérieure et que l'effet de serre s'effectue sur la sphère inférieure. Condensat est collecté à la base de la demi-sphère inférieure. La nouveauté de ce modèle est son système mécanique de récupération de l'eau distillée à travers un racleur actionné par un petit moteur électrique fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque.

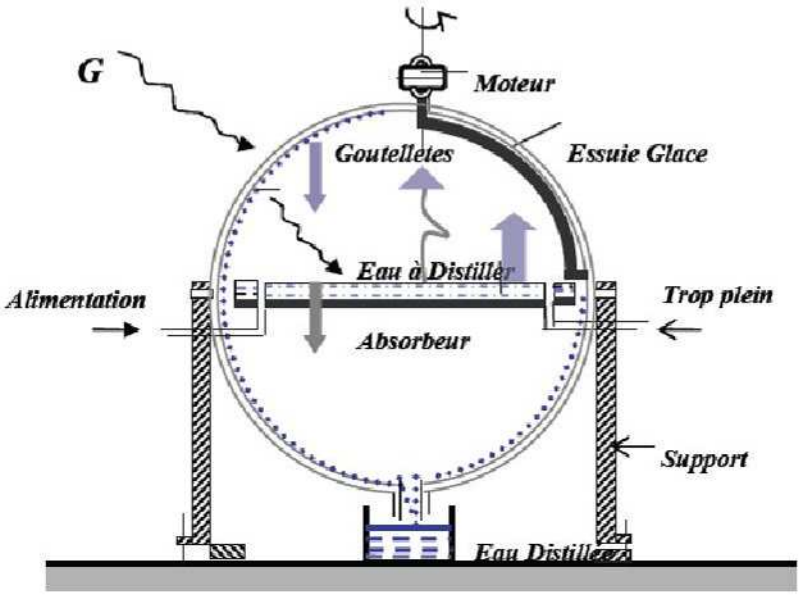


Figure. I.20 Distillateur solaire sphérique à balayage

I.3.4.5 Distillateur solaire vertical

La figure (I.21) présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par de l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), il est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulée à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant. Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6). L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7) s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers des deux ouvertures (8) réalisées dans la cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans une gouttière (10, 11) fabriquée en dessous de la plaque de condensation [19].

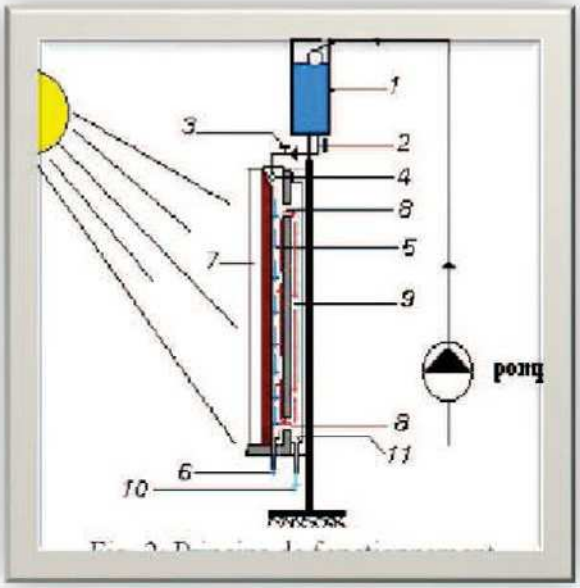


Figure I.21 : distillateur solaire verticale

I 3.4.6 Distillation solaire multi-effet:

Il était devenu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à effet unique. Ceci a été réalisé par la distillation à

effets multiples. Il est connu que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. Il est donc possible d'utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau chauffant d'une deuxième chambre à une pression et une température plus basses, et ainsi de suite (figure I.22). Le nom d'effet multiple a été donné à ce type d'appareil car la vapeur initiale (vapeur de chaudière) se produit son effet plusieurs fois.

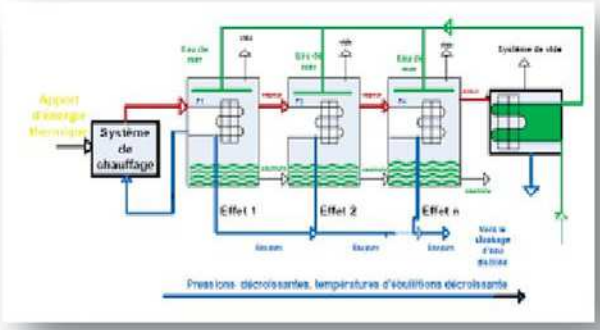


Fig. I.22 Distillation solaire à multiples effets

I.3.4.7 Distillateur solaire incliné à film capillaire:

L'appareil est formé d'une vitre et de deux plaques métalliques disposées face et inclinées d'un certain angle. La face avant de la première plaque est peinte en noir. L'eau à distille, s'écoule lentement à l'aide d'un tissu sur l'autre coticé tissu est convenable pour former un film capillaire d'eau .Ceci justifie le nom donné à l'appareil (distillateur à film capillaire) [2]. 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. La figure(I.23) montre le schéma son principe de fonctionnement.

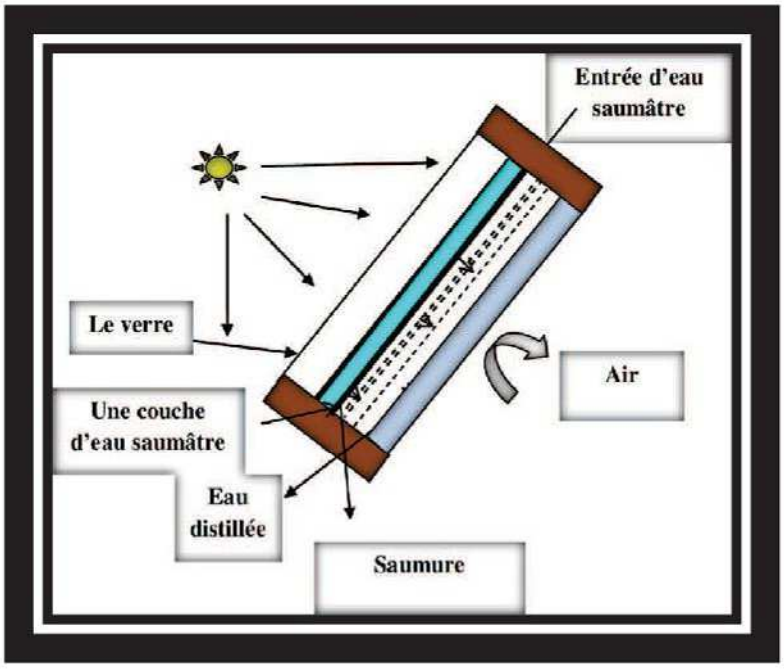


Figure I.23. Distillateur solaire incliné à film capillaire [21].

Notre étude se concentre sur la distillation solaire dans les serres et principalement sur la distillation solaire (demi-chapelle).

I.3.5 Paramètres influents sur le fonctionnement du distillateur :

Les principaux des paramètres agissant sur la productivité du distillateur sont les conditions météorologiques, les procédures opérationnelles et les paramètres de construction du distillateur solaire. Les conditions météorologiques comprennent la radiation solaire, la température ambiante et la vitesse du vent. Les procédures opérationnelles comprennent la variation de la masse de l'eau dans le bassin, préchauffage d'eau d'alimentation, utilisation ponge, mèche et autres matériaux de stockage de la chaleur, refroidissement de la vitre et création de la convection interne. En ce qui concerne les paramètres de conception, elles incluent la géométrie et le design du distillateur, à savoir : L'inclinaison de la vitre, surface libre de l'eau, réflecteur interne/externe condenseur interne/externe, isolation thermique et d'autre paramètres [20].

On peut classer les paramètres qui influent sur le fonctionnement du distillateur comme suit : Les paramètres de constructions ; Les paramètres métrologiques, L'épaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller.

I.3.5.1 Paramètres de construction :

Couverture:

La couverture verrière intervient essentiellement par sa nature, tel que transmette le maximum de rayonnement solaire et qu'elle soit opaque à l'infra-rouge. Il faut qu'elle soit non hydrophobe elle doit aussi résister aux attaques du vent et des particules solides.

Inclinaison:

Son inclinaison par rapport à l'horizontale, pour déterminer la quantité d'énergie solaire introduite dans le distillateur et pour minimiser la distance entre saumure et vitre l'angle d'inclinaison doit faire l'objet d'un choix judicieux. L'inclinaison influe d'autre part sur les équations des bilans énergétiques des différents constituants du distillateur. Les expressions seront données dans le chapitre suivant.

Absorbeur:

Les études faites dans ce domaine montrent que la surface absorbante peut être construite de plusieurs matériaux (bois, métal, béton, matière synthétique ou en verre ordinaire). Le choix de la matière de la surface absorbante ou bac noir dépend de son inertie thermique, de la résistance à l'oxydation par l'eau et les dépôts minéraux. La performance du distillateur augmente quand la distance entre la saumure et la vitre diminue. L'influence de l'inclinaison sur la performance diminue quand la distance entre la saumure et la vitre diminue.

I.3.5.2 Paramètres métrologiques :

Les études faites par plusieurs chercheurs ont montré que les paramètres les plus fréquemment retenus sont:

L'intermittence des nuages

-La variation du rayonnement global incident et le rayonnement diffus

-Le vent et la température ambiante

I.3.5.3 Epaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller :

L'épaisseur de l'eau ou de la saumure à distiller joue un grand rôle dans la production, cette dernière est d'autant plus importante que l'épaisseur est faible, cependant plus l'épaisseur est grande plus la distillation dure.

I.4 Caractéristiques de fonctionnement et performances des distillateurs solaires :

Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production d'eau d'un distillateur. On distingue constamment, le rendement, l'efficacité interne et globale, et la performance.

I.4.1 L'efficacité globale : ηg

L'efficacité globale est le rapport entre la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps et la quantité d'énergie globale incidente par unité de temps et on la calcule par la formule suivante :

$$\eta g(\%) = \frac{eq}{G} 100 \qquad (I.15)$$

G : La quantité de chaleur globale incident par rapport à la vitre par unité de temps et par m^2.

I.4.2 L'efficacité interne : ηi

L'efficacité interne : est le rapport entre la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps et la quantité d'énergie effectivement absorbée par la saumure par unité de temps, elle se calcule par la formule suivante:

$$(\eta i\%) = \frac{qe}{G.\alpha t} 100 \qquad (I.16)$$

G: La quantité de chaleur absorbée par l'eau α

α_t:La coefficient d'absorption thermique

où $\alpha_t = \zeta v^{\times} \alpha e + \zeta v^{\times} \zeta f^{\times} \alpha e$ $\qquad (I.17)$

ζ_v: Coefficient de transmission de la vitre et ζ_f: Coefficient de transmission de fluide.

I.4.3 Performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue a amené, ainsi à définir le Facteur de Performance Brut (F.P.B) et le Facteur de Performance Horaire (F.P.H) [2, 8].

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

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

$$FPB = \frac{Quantitéd'eau\ produite\ au\ out\ de\ 24\ heures}{Quantitéd'énergie\ produite\ au\ bout\ de\ 24\ heures} \qquad (I.18)$$

$$FBH = \frac{Quantitéd'eau\ prutte\ au\ out\ d'une\ heure}{Quantitéd'énergie\ entrée\ au\ bout\ d'une\ heure} \qquad (I.19)$$

I.4.4 Rendement:

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

$$\eta = \frac{md}{G} Lv \qquad (I.20)$$

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a envisagé une introduction générale vers une brève étude sur la distillation solaire à l'échelle mondiale, pour avoir une idée globale sur ce domaine. Nous avons vu les principes de fonctionnement et les différents types et caractéristiques des distillateurs, par suite one choisi un seul type d'appareil de distillation solaire (l'appareil de distillation solaire demi - chapelle), qui fera l'objet de notre étude dans les chapitres qui suivent.

Références

Introduction générale

[1]: « étude expérimentale pour améliorer les performances d'un alambic solaire simple à l'aide d'une pompe à chaleur» mémoire de fin étude Master. Univ- Wargla. Année 2016.

[2]: « étude expérimentale pour améliorer le rendement de l'alambic solaire dans la région de Ouargla » mémoire de fin étude Master. Univ- Wargla. 2020

Chapitre I

[1]: Moungar Houcine, Évaluation Et Amélioration Des Performances D'une Installation De Distillation Solaire, these de docteur en sciences, Université. Aboubakr Belkaid – Tlemcen, 03/07/ 2018.

[2]: Halloufi Ouahid, étude de la performance d'un distillateur solaire par un système de préchauffage solaire de l'eau saumâtre, mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2010.

[3]: Mandi Benaissa, Analyse thermo énergétique d'un procédé de dessalement d'eau de mer par voie solaire, mémoire de magister, Université Tlemcen Aboubekr Belkaid, Année universitaire : 2012-2013.

[4]: BOUALATI Yamina, Investigation sur la performance d'un distillateur solaire, Mémoire de magister, université de Ouargla, 04 / 05/ 2004.

[5]:Docteur Merad née Mesri Mokhtaria et Professeur Cheknane Ali Avec la participation de M. Rougab Ilyes, Introduction au gisement solaire algérien Théorie et applications, Université Amar Telidji – Laghouat.

[6]: BOUALATI yamina, Investigation sur la performance d'un distillateur solaire, Mémoire de magister, université de Ouargla, 04 / 05/ 2004

[7]: NASRI Bahous, Etude Expérimentale et optimisation d'un système de dessalement solaire en milieu saharien, Thèse de Doctorat, Université Ahmed Draïa Adrar, 10/11/2019.

[8]: Djelloul Benatiallah, Etude et simulation de flux solaire avec intégration d'un système d'information géographique (S.I.G) pour la wilaya d'Adrar, Mémoire de Magister, université africaine Ahmed Draia Adrar, Année Universitaire 2013 / 2014.

[9]:https://renards.weebly.com/uploads/2/5/9/8/25986350/geographie10-latitudes_et_longitudes_sommaire.pdf.

[10]: Mr. Messaoud Hamouda, Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie, Thèse de Doctorat en science, université africaine Ahmed Draia. Adrar, 21/10/2019.

[11] Mouâd Benbekhti, étude de la distillation des eaux saumâtres par énergie solaire, mémoire de master en hydraulique, université abou-bekr belkaid – tlemcen, 2012/2013.

[12] :Zerouali Mekki, contribution à l'optimisation des performances d'un distillateur solaire, thèse magistère en physique, université hadj lakhdar – Batna, 9 /12/ 2012.

[13]: H. Boutebila, Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole, Thèse doctorat, Université Mentouri Constantine, 2012.

[14] : Zerouali Mekki, contribution a l'optimisation des performances d'un distillateur solaire, thèse magistère en physique, université hadj lakhdar – Batna, 9 /12/ 2012.

[15] : Boutriaa Abdelouahab, Étude et réalisations d'un nouveau distillateur solaire, thèse de doctorat 2018, Université Larbi Ben M'Hidi, Oum El Bouaghi.

[16]: https://jeretiens.net/altitude-azimut-zenith-nadir-comprendre-le-systeme-de-coordonnees-horizontales/.

[17]: Livre sur la physique de l'énergie solaire.

[18]: https://fr.wikipedia.org/wiki/Fusion_nucl%C3%A9aire

[19]: https://energypedia.info/images/c/c1/Le_Gisement_Solaire.pdf

[20]:https://docplayer.fr/10178525-Optimisation-des-parametres-de-fonctionnement-d-un-plancher-solaire-direct-psd.html

[21]: https://www.researchgate.net/figure/Distillateur-solaire-a-film-capillaire-DIFICAP_fig8_312056200

Chapitre II

Modélisation et simulation

II.1.Introduction:

Les modèles physiques constituent la classification de modèles la plus couramment utilisée. La classification des modèles dépend de leurs propriétés, souvent de la nature dynamique ou statique du modèle, et le modèle peut être qualitatif, quantitatif ou les deux.

La simulation est l'une des techniques les plus puissantes utilisées pour résoudre un problème, ainsi qu'un outil d'aide à la décision dans le sens Où le processus par lequel nous prenons une décision est classé comme intuitif, analytique ou numérique. Par conséquent, la simulation fournit des informations uniquement pour l'ensemble des conditions expérimentales spécifiées pour la mise en œuvre de l'expérience, et la simulation est toujours liée au système expérimental car le modèle de simulation est toujours lié au système expérimental.

Dans ce chapitre, nous présentons l'étude théorique de l'appareil de distillateur solaire demi-chapelle. Nous allons introduire le principe de fonctionnement de cet appareil et essayer de créer un équilibre basé sur les méthodes suivantes : les différences finies explicite et la méthode RUNGE KUTTA d'ordre 4.

D'une façon générale, la densité de flux thermique échangé entre deux surfaces l'une portée à la température T1 et l'autre à la température T2, est régie par une équation simple de la forme :

$$Q = h(T1 - T2) \qquad (II.1)$$

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

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

II.2 Description et principe de fonctionnement :

II.2.1 Description du distillateur solaire demi-chapelle :

Figure II-1 Distillateur demi chapelle réalisé à l URER- Adrar

II.2.2 Principe de fonctionnement :

Le distillateur solaire est un cycle hydrologique à petite échelle analogue au cycle naturel. Le rayonnement solaire passe à travers le couvercle transparent puis absorbé par l'eau. L'eau s'échauffe et s'évapore sous l'action du flux solaire incident jusqu'à atteindre la température de saturation. L'évaporation commence et la vapeur produite se condense sur la face interne de la vitre due à sa faible température par rapport à celle de la vapeur. Les gouttelettes liquides se forment et sous l'effet de leur poids et de leur tension superficielle avec la vitre, elles glissent jusqu'à atteindre la gouttière placée en bas de la vitre. L'eau distillée ainsi produite est récupérée pour être stockée pour de futures

utilisations. Un appoint d'eau doit compenser le distillat produit [6]. Ce procédé produit une eau très pure grâce à l'élimination des impuretés telles que le sel, les métaux lourds et les micro-organismes.

II.3 Modélisation du distillateur solaire:

II.3.1 Stratégie de la modélisation :

La modélisation du distillateur consiste à subdiviser ce dernier en un ensemble de volumes de contrôles chacun représente une partie physique dans le système. La modélisation nécessite une compréhension approfondie des phénomènes physiques ayant lieu dans le système. Cela permet une sélection judicieuse des corrélations empiriques qui rentre en jeu dans l'estimation des coefficients de transfert de chaleur et de masse. Le schéma ci-dessous montre les échanges thermiques entre principaux constituants du distillateur solaire. (Figure II.2)

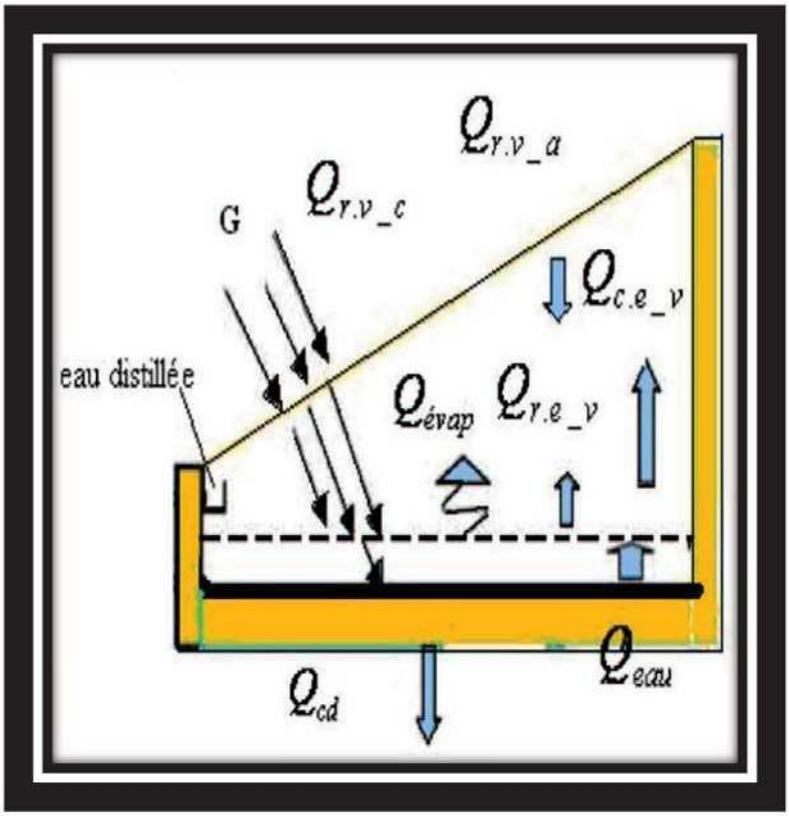


Figure II.2: Echanges thermiques et radiatif dans un distillateur solaire.

II.3.2 Hypothèses :

- Le distillateur solaire est constitué de trois élément principaux (vitrage, couche d'eau saumâtre et absorbeur) et chaque élément est supposé avoir une température est uniforme.
- La couche d'eau saumâtre est d'une épaisseur faible de manière que le gradient de température suivant la verticale soit négligeable.
- On ne prend pas en considération ni les échanges thermiques avec et entre les parois verticales internes du bassin ni la quantité du rayonnement solaire éventuellement réfléchie par ces parois sur la lame d'eau salée.
- La quantité du rayonnement solaire absorbée par le vitrage ainsi que celle qui serait absorbée par les gouttelettes d'eau formées sur la vitre sont négligeables.
- La masse d'eau saline dans le bassin est constante.
- Les pertes thermiques de la saumure dues au renouvellement d'eau sont négligeables car le débit d'évaporation est trop faible.
- Le débit de condensation est égal au débit d'évaporation (conservation de la masse).

II.4 Modélisation analytique du distillateur solaire :

Les équations du bilan énergétique décrivant les différentes parties du distillateur solaire sont obtenues à partir du premier principe de la thermodynamique : $\mathrm{PV}.\frac{\mathrm{CpdT}}{\mathrm{dt}} = \sum \mathrm{Qentre} - \sum \mathrm{Qsortie}$ ..... $(II.2)$

II.4.1 Energie solaire absorbée par le système :

Le rayonnement solaire passe à travers les deux vitres puis à travers l'eau salée pour être absorbé par la plaque galvanisée (absorbeur).

II.4.2 Etude théorique d'un distillateur solaire demi-chapelle:

II.4.2.1 Bilan thermique du distillateur solaire à demi-chapelle :

Eu égard aux hypothèses précédentes, le bilan d'énergie du système est établi de la manière suivante :

II.4.2.1.1 Bilan thermique de vitrage :

Le verre reçoit la chaleur de l'eau et échange cette énergie avec l'air environnant par convection et rayonnement. L'équation du bilan énergétique du verre s'exprime comme suit :

La vitre reçoit la chaleur de l'eau, cette énergie avec l'air ambient par convection et par rayonnement l'équation du bilan énergie pour la vitre est exprimée par :

$$MvCpvdTv/dt = \grave{\alpha}\, I(t)\, Av + Q(f-v) - Q(v-a) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.3)$$

Expression des coefficients d'échanges thermiques :

a) Par convection eau vitre :

Le coefficient de transfert de chaleur par convection la saumure de vitrage est donnée par la relation :

$$Qc(f-v) = hc(f-v) * (Tf - Tv) \quad (II.4)$$

$$hc(f-v) = 0{,}884[Tf - Tv + \frac{(Psatf - Psatv}{2016 - Psaf} Tf]^{1/3} \ldots\ldots\ldots\ldots (II.5)$$

Avec:

$P_{sat} = \exp(25.317 - \frac{5144}{T}) \ldots\ldots\ldots \quad (II.6)$

P_v sont respectivement les pression partielles de la vapeur à la température de la vitre (T_v) :

$P_v = \exp(25{,}317 - \frac{5144}{Tv}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (II.7)$

b) **Par évaporation :**

$MEv = 9.15 \times 10^{-7} * hc * (f-v)(P_{satf} - P_{satv}) \ldots\ldots\ldots\ldots (II.8)$

c) Par rayonnement entre deux objets:

d) **Entre eau vitre:**

$Qr(f-v) = hr(f-v)\,(Tf - Tv) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (II.9)$

e) Entre vitre ciel:

$Qr(v-c) = hr(v-c)\ (Tv - Tc)$……(II.10)

Le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre deux objets est calculé par l'équation suivant :

$hr(ij) = 0.9 \times б(Ti2 - Tj2)$…… (II.11)

f) Par vitrage du la convection du vent:

Pour tenir en compte l'effet de la vitesse du vent sur le transfert de chaleur convectif au le refroidissement du vitrage du vent est évalué à l'aide du coefficient suivant :

$hv = 5.67 + 3.86 \times V$ …… (II.12)

V: vitesse de vent

g) **Par vitre ambiance**:

$Q(v-a) = hv(Tv - Ta)$ …… (II.13)

Le température de ciel est calculé:

$T_c = T_a$-12 …… (II.14)

II.4.2.1.2Bilan thermique de fluide (la saumure):

L'équation du bilan énergétique pour l'eau stagnante dans le bassin est donnée par l'équation. L'eau reçoit de la chaleur par absorption due au rayonnement solaire et par convection naturelle avec le bassin absorbant . D'autre part, l'eau échange la chaleur vers la vitre:

$MfCpfdTf/dt = αfζvIgA(eff) + Qc(p-f) - Qr(f-v) - Qc(f-v)$….(II.15)

$Qr(f-v) = hr(f-v)\ Af\ (Tf - Tv)$

$Qc(p-f) = hc(p-f)Af(Tp - Tf)$

$Qc(f-v) = hc(f-v)Af\ (Tf - Tv)$

Pf sont respectivement les pressions partielles de la vapeur à la température de l'eau (T_f):

$Psat = Pf = \exp(25{,}317 - \frac{5144}{Tf})$ …… (II.16)

La production du distillateur $m^{\cdot}_{ev}$ est calcul par l'intégration du la quantité d'eau évaporée en unité de temps par une surface le bassin de $1m^2$ peut être évaluée par la formule :

$MEv= 9,15\times 10^{-7}hc(f-v)\ (Psatf\ -\ P_{satV})$ (II.17)

$D\ MEv/dt\ =MEv = he(f-p)\ (Tf-\ Tv)/\ hpg$ (II.18)

la chaleur latent de vaporisation est une fonctrion linéaire de la température d'eau:

$L=3.16\times10^{6}-2.40714\times10^{3}T$ (II.19)

II.4.2.1.3 Bilan thermique de plaque d'absorption :

L'énergie solaire recue par le bassin absorbeur est transférée d'une part vers l'eau et d'autre part vers l'ambiant à travers l'isolation thermique placée au-dessous du bassin. L'équation du bilan énergétique tranduisant le comportement thermique de l'absorbeur est donnée par :

$Mp * Cp * dTp/dt\ =\ \alpha p\zeta f\zeta vIgA(eff) - Ap\ [\ hcp - f\left(Tp - Tf\right) + har\ (Tp - Ta)]$ (II.20)

$Mp * Cp * p * dTp/dt\ =\ \alpha pI(t)\ Ap -\ Qp - f -\ Qp - a$

Transfert de chaleur entre l'absorbeur et l'eau est effectué par convection naturelle selon la relation suivant :

$Qp - f\ = hc(p - f)Ap\ (Tp - Tf)$

$Qp - a = har(Tp - Ta)$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection entre la plaque d'absorbeur et calcule comme suit :

Calcule du nombre de Nusselt:

$Nu = \frac{he}{\lambda}$ …….. (II.21)

$hc(p - f) = \frac{\lambda Nu}{l}$…….(II.22)

l : Longueur et λ: Conductivite thermique

$Nu = C\,(Gr.Pr)n$ ……(II.23)

Avec :

$G_r.P_r = R_a$ …… (II.24)

$P_r = \frac{\mu Cp}{\lambda}$… …… (II.25)

$Nu = C(Ra)n$ …… (II.26)

$C = 0{,}54$ et $n = 1/4$ si $10^5 < Ra < 10^7$

$Nu = 0{,}54 * R_a^{1/4}$

$C = 0{,}14$ et $n = 1/3$ si $2.10^7 < R_a < 3.10^{10}$

$Nu = 0{,}14(Ra)^{1/3}$

Avec Gr et le nombre de Grashof

$Gr = \frac{\beta.g\ L3\ \rho 2\ \Delta T}{\mu 2}$…… (II.27)

Les pertes thermique de l'absorbeur vers l'ambiant à travers la l'isolation sont évaluées par:

$Q_{p\text{-}a} = har_{p\text{-}a}A_p(T_p - T_a)$ …….. (II.28)

Les pertes de chaleur du bassin vers l'arrière sont calculée à l'aide du coefficient suivant:

$$har = \frac{1}{(h\upsilon + \frac{eis}{\lambda is}) + (2 \times \frac{ep}{\lambda p})} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.29)$$

II.4.2.1.4 Bilan 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 perdu de l'absorbeur et le coté extérieur cède de la chaleur vers l'extérieur par rayonnement et par convection d'où l'équation:

$M_{is}Cp_{is}\frac{dTis}{dt} = A_{is}[Q_{cisp} - Q_{pert(is)}]$ …… (II.30)

$Q_{(is)}$:Flux thermique prdu par l'isolant.

Q_{cisp}: Flux thermique par conduction entre le bac et l'isolant thermique.

II.5 Les méthodes utilisées pour résoudre l'équation différentielle :

II.5.1 La méthode des différences finies :

II.5.1.1 Définition :

En mathématiques, une différence finie est une expression sous la forme d'une différence entre les valeurs d'une fonction en deux points spécifiques. La méthode consiste à remplacer les dérivées partielles par des différences divisées ou combinaisons de valeurs ponctuelles de la fonction en un nombre fini de points discrets ou nœuds du maillage [1] [2].

Avantages : grande simplicité d'écriture et faible coût de calcul.

Inconvénients : limitation à des géométries simples, difficultés de prise en compte des conditions aux limites de type Neumann [2].

II.5.1.2 Principe :

La différence finie peut être utilisée pour discrétiser une équation différentielle ordinaire et consiste à approximer les dérivées des équations de la physique au moyen des développements de Taylor et se déduit directement de la définition de la dérivée [3].

Soit (x) une fonction de l'espace et du temps. Par définition de la dérivée, on a :

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim \Delta x \to 0 \frac{u(x+\Delta x,y,z,t)-u(x,y,z,t)}{\Delta x} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (II.31)$$

Si Δx est petit, un développement de Taylor de $u(x+\Delta x,y,z,t)$ au voisinage de x donne:

$$u(x+\Delta x,y,z,t) = u(x,y,z,t) + \Delta x \frac{\partial u}{\partial x}(x,y,z,t) + \frac{\Delta x^2}{2}(x,y,z,t) + \frac{x^3}{3!} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (II.32)$$

En tronquant la série au premier ordre en Δx, on obtient :

$$\frac{u(x+\Delta x,y,z,t) - u(x,y,z,t)}{\Delta x} = \frac{\partial u}{\partial x}(x,y,z,t) + 0(\Delta x) \ \ldots\ldots \ (II.33)$$

L'approximation de la dérivée [$\partial u/\partial x$] (x) est alors d'ordre 1 indiquant que l'erreur de troncature O (Δx) fin vers zéro comme la puissance première de Δx.

II.5.1.3 Notation indicielle - cas 1D :

Considérons un cas monodimensionnel où l'on souhaite déterminer une grandeur u(x) sur l'intervalle [0,1]. La recherche d'une solution discrète de la grandeur amène à constituer un maillage de l'intervalle de définition. On considère un maillage (ou grille de calcul) composé de N+1 points **xi** pour i=0….N régulièrement espacés avec un pas Δx.

Les points **xi** = **i**Δ**x** sont appelés les nœuds du maillage. Le problème continu de départ de détermination d'une grandeur sur un ensemble de dimension infinie se ramène ainsi à la recherche de valeurs discrètes de cette grandeur aux différents nœuds du maillage.

Notation : on note la valeur discrète de u(x) au point **xi**, soit ui = u (xi). De même pour la dérivée de u(x) au nœud **xi**, on note $(\frac{\partial u}{\partial x})(\boldsymbol{x}=\boldsymbol{xi}) = (\frac{\partial u}{\partial x})\boldsymbol{i}$ = $\boldsymbol{u'i}$. Cette notation s'utilise de façon équivalente pour toutes les dérivées d'ordre successif de la grandeur u [4].

Le schéma aux différences finies d'ordre 1 présenté au-dessus s'écrit, en notation indicielle:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) i = \frac{u(i+1)-u(i)}{\Delta x} + 0(\Delta x) \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (II.34)$$

Ce schéma est dit "schéma explicit " ou "décentré avant". Il est possible de construire un autre schéma d'ordre 1, appelé "schéma implicite":

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) i = \frac{u(i+1)-u(i)}{\Delta x} + 0(\Delta x) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (II.35)$$

II.5.1.4 Méthode de résolution numérique :

Le comportement thermique du distillateur solaire est donc décrit par trois (03) équations différentielles ordinaires (EDO) décrivant les différents éléments constituant le système, à savoir : l'absorbeur (II.35), la masse d'eau (II.34), la vitre (II.33). Pour cette raison, un programme informatique est établi et développé sous Matlab pour résoudre le système d'équations différentielles et prédire le comportement transitoire du distillateur.

II.5.1.4.1 Conditions initiales et aux limites :

Les conditions initiales du programme de calcul représentent l'état initial du distillateur. Les principales variables, à savoir : la température de l'absorbeur (Tp), la température de l'eau (Tf), la température de la vitre (Tv) ainsi que le débit massique du distillat (md) ont été supposés égaux aux relevés expérimentaux au début de l'expérience (17janvier 2022 et 17 Mai 2022 (à 5:00). Pour une simulation réaliste du comportement transitoire du distillateur, la variation temporelle des paramètres météorologiques (l'intensité du rayonnement solaire (Io), la température ambiante (Ta) et la vitesse du vent (V) est introduite dans le modèle en tant que conditions aux limites. Les paramètres météorologiques (ou condition aux limites) ont été mesurés à un intervalle de temps donné. Alors que lors de l'exécution du programme, le calcul nécessite la définition de ces conditions pour un pas d'itération différent. Ce problème est résolu par l'utilisation de la méthode d'interpolation linéaire entre deux mesures successives. La méthode d'interpolation linéaire, offert par le logiciel Matlab(2014), est utilisée en raison de sa simplicité dans la génération de nouvelles valeurs intermédiaires dans l'ensemble des points expérimentaux discrets.

II.5.1.4.2 Méthode de résolution du système d'équations :

Les techniques de Runge-Kutta sont des schémas numériques en une étape pour résoudre les équations différentielles ordinaires. Elles font partie des méthodes les plus populaires en raison de leur facilité de mise en œuvre et de leur précision. Ces méthodes ont été inventées par Carle Runge et Martin Kutta au début du 20ème siècle [5].

Nous décrivons ici deux algorithmes très utilisés : ceux de Runge-Kutta d'ordre 2 et 4. [5]

Les méthodes de Runge-Kutta : sont des méthodes à un pas ou la fonction f est évaluée plusieurs fois par intervalle de la subdivision [6].

La formule un schéma de Runge-kutta 4 définie par :

K1=f(Xn, Yn) ... ... (II. 36)

K2=f(Xn+C2h, Yn+ha2,1k1) .....(II. 37)

K3=f(Xn+C3h, Yn+h(a3,1K1+a3,2K2)) .....(II. 38)

K4=f (Xn+Csh, Yn+h (as,1K1+…+as,s-1Ks-1))..(II. 39)

Yn+1 = Yn+h(b1K1+…+bsKs) .....(II. 40)

Xn+1 = Xn +h .....(II. 41)

Les valeurs des coefficients Ki dépendent de x et sont donc différentes pour chaque valeur de n.

II.5.1.4.3 Méthode Runge Kutta d'ordre 4:

La méthode d'Euler n'utilise que la dérivée au début de chaque intervalle [kh ,(k+1) h] pour déduire les valeurs $X_{k+1} et Y_{k+1}$ à la fin de l'intervalle à partir des valeurs X_k et Y_k au début de l'intervalle. A présent on va calculer des valeurs de la dérivée en 4 points de l'intervalle, on d'atteindre une plus grande précision [7].

II.5.1.4.4 Formule de méthode de Runge Kutta4:

Le système d'équation différentielle régissant le fonctionnement du distillateur solaire se compose de 3 équations non linéaires d'ordre un. Nous avons 3 inconnues : Tv, Tf, Tp. Ces équations se résolvent sous MATLAB par la méthode de RUNGE-KUTTA 4, du cinquième ordre.

La méthode de RUNGE KUTTA 4 donnée par:

$$Ti+1 = Ti+\frac{1}{6}K1 + \frac{1}{3}K2 + \frac{1}{3}K3 + \frac{1}{6}K4 \qquad (II.42)$$

Chaque étape de RUNGE KUTTA 4 utilisée les 4valeur suivant:

$$K1 = hf(ti,Ti) \qquad (II.43)$$

$$K2 = hf(ti++\frac{1}{2}h, Ti + \frac{1}{2}K1) \qquad (II.44)$$

$$K3 = hf(ti+\frac{1}{2}h, Ti + \frac{1}{2}K2) \qquad (II.45)$$

$$K4 = hf(ti+h, Ti+K3) \qquad (II.46)$$

<u>Niveau vitre</u>:

$$\frac{dTv}{dt} = \frac{Av}{MvCpv}[(hf - v(Tf - Tv) + mevL - hrv - c(Tv - Tc) - hv(Tv - Ta)]) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.33)$$

$$dTv = ((1. - \tau v) * Av * Gs + (hc + hrfv) * Af * (Tf - Tv) + mev * Lev - Av * hv * (Tv - Ta) - Av * hrvc * (Tv - Tc))/(Mv * Cpv)$$

Niveau fluide:

$$dTf/dt = Af/MfCpf[(\alpha p\tau fIgAeff) - hcp - f(Tp - Tf) - hrf - v(Tf - Tv) - hcf - v(Tf - Tv) - mevL] \qquad (II.34)$$

$$dTf = (\tau v * (1. - \tau f) * Seff * Gs + Af * hcpf * (Tp - Tf) - Af * (hc + hrfv) * (Tf - Tv) - mev * Lev)/(Mf * Cpf)$$

<u>Niveau de plaque d'absorption</u>:

$$dTp/dt = Ap/MpCpp[(\alpha p\tau f\tau vIgAeff) - hcp - f(Tp - Tf) - har(Tp - Ta)] \qquad (II.35)$$

$$dTp = \tau v * \tau f * alpha * Gs * Seff - Af * hcpf * (Tp - Tf) - Af * har * (Tp - Ta))/(Mp * Cpp)$$

En Appliquant la méthode de différence finis (schéma implicite, centré) pour résoudre ce système de 3 équations à 3 inconnues. On obtenir à un système des équations discrétise de la forme :

a) Schéma implicite:

i=2 à N l'équation de vitre :

$$Tv(i) = \frac{Av}{MvCpv} dt[hrf - v(i-1) + hcf - v(i-1) + mevL - hr(v - c)(Tv(i-1) - Tc(i-1)) - hv(Tv(i-1) - Ta(i-1))] + Tv(i-1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.36)$$

$$Tf(i) = \frac{Af}{MfCpf} dt\,[\alpha p\tau v\tau fIgAeff(i-1) - (hrf - v(i-1) + hcf - v(i - 1))(Tf(i-1) - Tv(i-1)) + hcp - f(i-1)(Tp(i-1) - Tf(i-1))] + Tf(i-1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.37)$$

$$Tp(i) = \frac{Ap}{MpCpp} dt[\alpha p\tau fIgAeff(i-1) - \big(har\big(Tp(i-1) - Ta(i-1)\big) - hcp - f\big(Tp(i-1) - Tf(i-1)\big)\big] + Tp(-1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.38)$$

b) Schéma centré:

Avec:

i =2 à N-1

Les conditions initiales:

$$Tv(1), Tv(2), Tf(1), Tf(2), Tp(1), Tp(2)$$

$$Tv(i+1) = \frac{Av}{MvCpv} 2dt[(hrf - v(i-1) + hcf - v(i-1) + mevLAf(i - 1))(Tf(i-1) - Tv(i-1)) - hrv - c(i - 1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.39)$$

$$(Tv(i-1) - Tc(i-1)) - hv(i-1)(Tv(i-1) - Ta(i-1))] + Tv(i - 1)$$

$$Tf(i+1) = \frac{Af}{MfCpf} 2dt\,[\alpha p\tau fIgAeff(i-1) - (hrf - v(i-1) + hcf - v(i - 1))(Tf(i-1) - Tv(i-1)) + hcp - f(i-1))\,(Tp(i-1) - Tf(i-1))] + Tf(i-1) \ldots\ldots\ldots\ldots (II.40)$$

$$Tp(i+1) = \frac{Ap}{MpCpp} 2dt\,[\alpha p \tau f \tau v I g Aeff(i-1) - (har(Tp(i-1) - Ta(i-1)) - hcp - f(Tp(i-1) - Tf(i-1))] + Tp(i-1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.41)$$

Avec:

N: Nombre des itérations.

dt: représente le pas de temps.

c) **Schéma explicit**e:

i=1 à N-1

$$Tv(i+1) = Av/\,MvCpv * dt[(\tau v)G(i) + (hrfv(i) + hcfv(i) + hfvp(i))(Tf(i) - Tv(i)) - hrvc\,(Tv(i) - Tc(i)) - hcva(Tv(i) - Ta(i))] + Tv(i) \ldots\ldots\ldots (II.42)$$

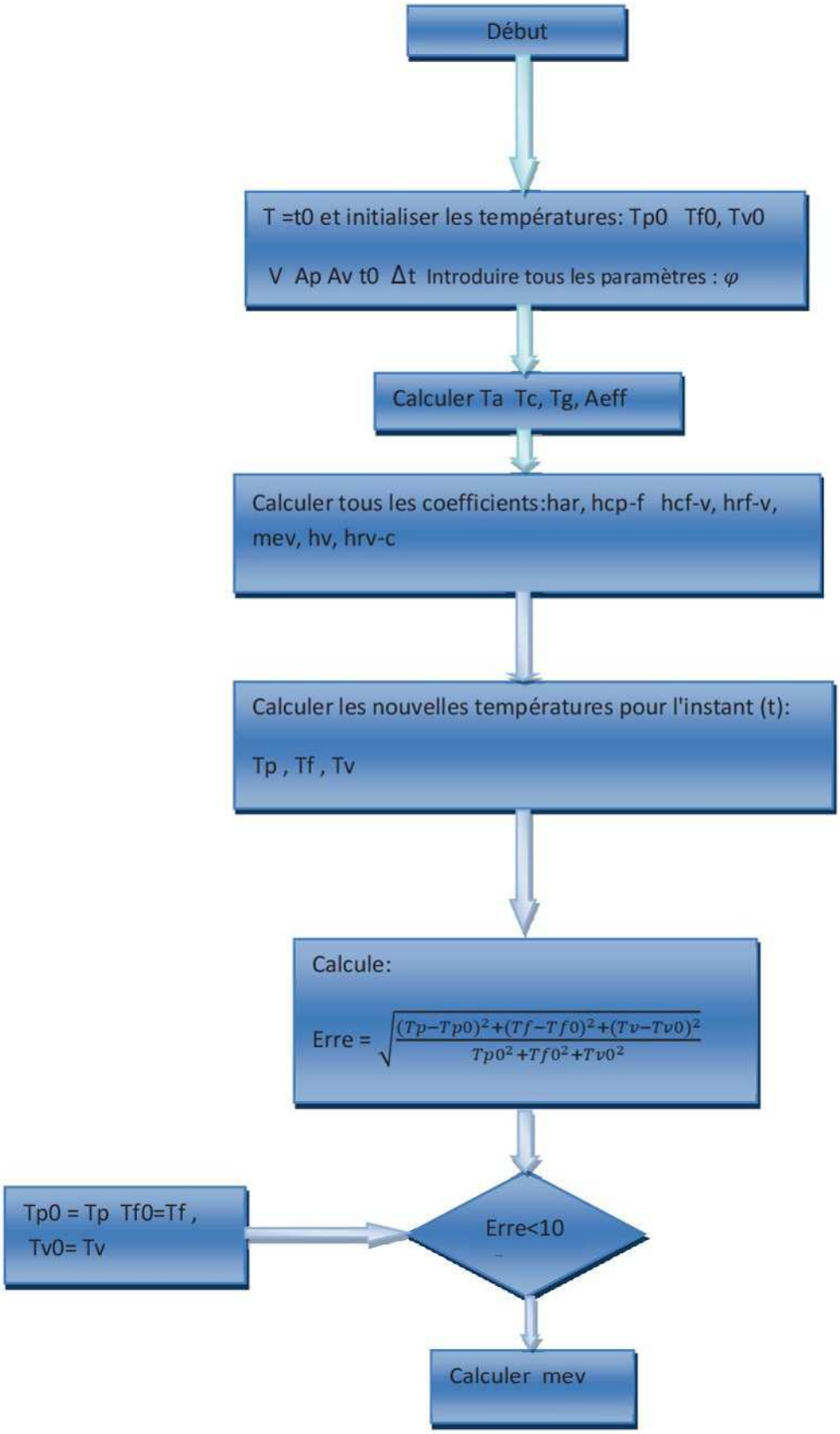
$$Te(i+1) = Ae/\,MeCpe * dt[\tau v \alpha f G(i) - (hrfv(i) + hcfv(i) + hevp(i))(Tf(i) - Tv(i)+)) + hcpf\,(Tp(i) - Tf(i))] + Tf(i) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.43))$$

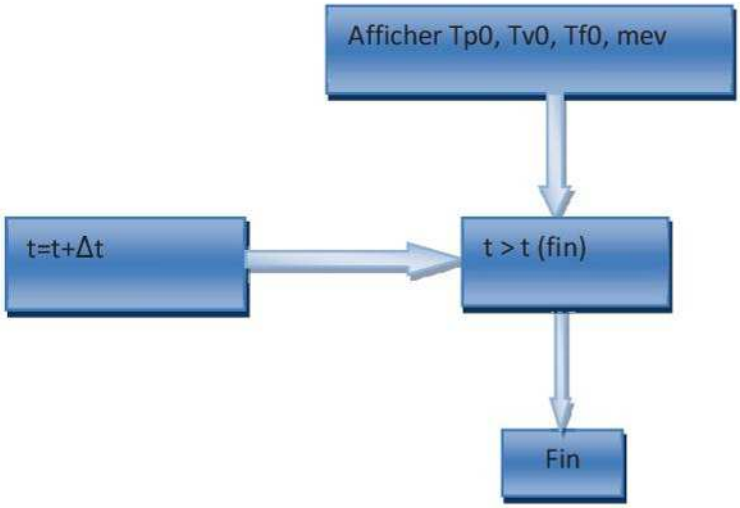
$$Tp(i+1) = Ap/\,MpCpp * dt[(\alpha f)\tau v \alpha p G(i) - (kp/ep)(Tp(i) - Ta(i)) - hcpf(i)(Tp(i) - Tf(i))] + Tp(i) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (II.44)$$

II.7 Programme :

Le programme de calcul élaboré a été écrit en MATLAB (version 2014). Ce logiciel calcule les différents flux de chaleur échangés (convection, rayonnement, évaporation, conduction), la variation des températures des éléments du distillateur. Au début du programme, on donne les données météorologiques, telles que : les températures initiales (vitre, eau, bassin), l'éclairement solaire, la vitesse du vent et les propriétés physiques telles que : l'absorptivité, la réflectivité, la transitivité et l'émissivité de la vitre et de l'eau et du bac absorbant. Les différents nombre adimensionnel, les différents coefficients d'échange de chaleur. Puis, il calcule les températures des différentes parties du distillateur.

II.8 Organigramme :





II.9 Conclusion :

Ce chapitre présente la modélisation analytique et la simulation du distillateur solaire demi-chapelle se basant sur différentes équations d'équilibre thermique qui régissent le fonctionnement du système, les différents modes de transfert de chaleur et les expressions des différents coefficients d'échange thermique. Utilisé la méthode de Range Kutta nous a facilité la tâche de la résolution des équations du modèle proposé. Programmer le modèle sous Matlab 2014 nous a permet de varier nos résultats sous différents paramètres influent sur le rendement du distillateur proposé. Les résultats obtenus par notre simulation seront détaillés dans le chapitre qui suit.

Références :

Chapitre II:

[1]: B. Bouchekima, B. Gros, R. Ouahes, M. Int. J. therm, Etude théorique et application pratique du distillateur solaire a film capillaire, 39 (2002).

[2]: http://boowiki.info/art/analyse-numerique/difference-sur.html?fbclid

[3]: HAL Id: cel-00556967, https://cel.archives-ouvertes.fr/cel-00556967, submitted on 18 Jan 2011

[4]: M. Zerouki, Y. Marif, M. Belhadj, N.E. Settou, Simulation et expérimentation d'un distillateur solaire à film capillaire dans le sud Algérien, Ann. Sci. Technol. 4 (2012) 46– 57

[5]:memoire (etudetheorique d'un distillateur solaire simple)-1.pdf

Y. Boualati, "Investigation sur la performance d'un distillateur solaire, " thèse Magister, Université de Ourgla, P .38-44, Algérie (2004)

[6]:https://femto-physique.fr/analyse-numerique/runge-kutta.php

[7] : Jean-Philippe Grivet, méthode numériques appliquées pour le Scientifique et l'ingénieur.2009.

[8]: université de Grenoble, master M1 biologie, bio-informatique, 2014-2015

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons le système de simulation afin de valider les méthodes numériques utilisées pour calculer les différentes quantités physiques du modèle théorique, et pour interpréter et de comparer les résultats calculés numériquement avec ceux mesurés tel que l'évolution des températures à différents niveaux. Par conséquent, la méthode numérique optimale a été choisie, soit utilisée dans MDF explicite ou RK4.

Dans les chapitres précédents, une étude générale de l'alambic solaire a été élaborée et les symboles mathématiques ont été développés en MATLAB (version 2014). Dans ce chapitre, les résultats calculés pour l'année 2018 et les résultats empiriques associés seront présentés avec la discussion. Ces résultats concernent principalement les différences de température au cours du temps. Les résultats sont présentés sous forme graphiques (à l'aide du logiciel MATLAB2014).

III.2 Résultats expérimentaux :

Étude des résultats expérimentaux pour les mois de janvier et mai année 2022 (17 janvier 2022 et 17 mai 2022) dans un délai de 5h à 24 heures.

III.2.1 Le mois 17 janvier 2022 :

III.2.1.1Variation de la puissance solaire :

La Figure III.1 représente l'évolution de l'intensité du flux radiatif global pour la journée du 17 janvier 2022. On constate que l'intensité du flux solaire est maximale pendant la période de 12 heures.

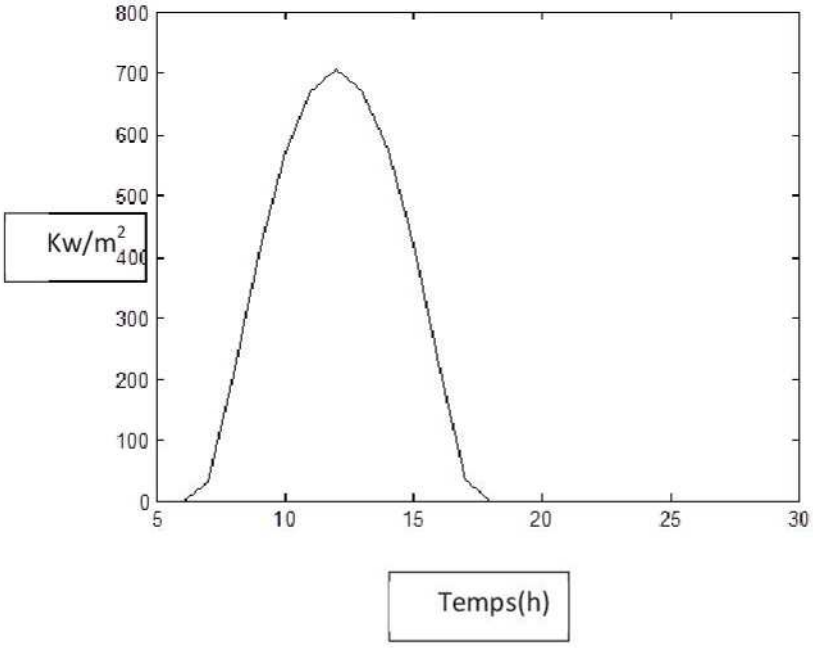


Figure III.1 : flux solaire mesure

III.2.1.2 Température expérimentale différents composants du distillateur solaire :

La Figure III.2 présente les changements de température pendant 24 heures et nous remarquons dans ces résultats que le changement de la température ambiante est beaucoup moins important que la température en Tv, Tf et Tp car en hiver nous avons moins d'ensoleillement et de changements de température. L'énergie absorbée par le verre est moindre par rapport à Tp Tf et elle est toujours inférieure à celles absorbées par la solution saline. Ceci est dû aux propriétés optiques du verre (coefficient de transmission et d'absorption). L'énergie absorbée par l'absorbeur est très importante. Ceci est dû aux propriétés optiques de l'absorbeur (coefficient d'absorption élevé).

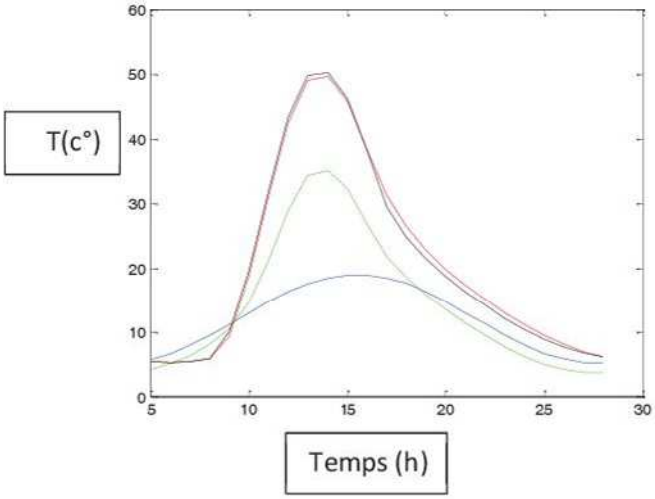


Figure III.2 : Différent température en 24h.

III.3 Résultats théoriques :

III.3.1 Variation Températures des composantes du distillateur :

Les calculs théoriques de la simulation ont été réalisés dans les conditions climatiques de la région d'Adrar, ses coordonnées géographiques, latitude 27° 53'N, longitude 0° 16'E. Ces calculs sont effectués à partir de l'instant T0, et un pas de temps de 5 minutes. Les températures initiales (Tv, Te, Tp) ont été sélectionnées à partir des données expérimentales du jour choisi pour la journée d'étude représentative (17/01/2022).

Les figures III (3-5), représentent l'évolution des températures de chaque composante du distillateur solaire ; Tv, Tf, Tp : température de vitre, la saumure et plaque d'absorption la calculées par les méthodes : MDF explicite et RUNGE-KUTTA 4

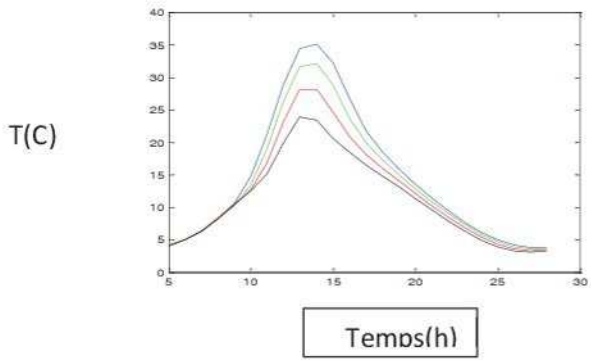
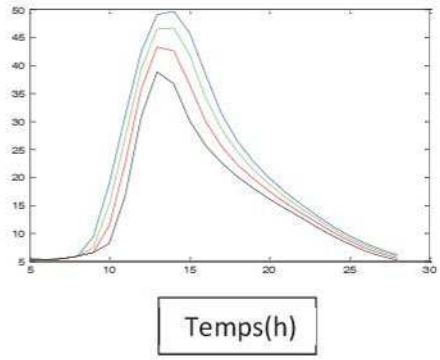


Figure III.3 Température de vitre Tv



FigureIII.4 Température de fluide Tf

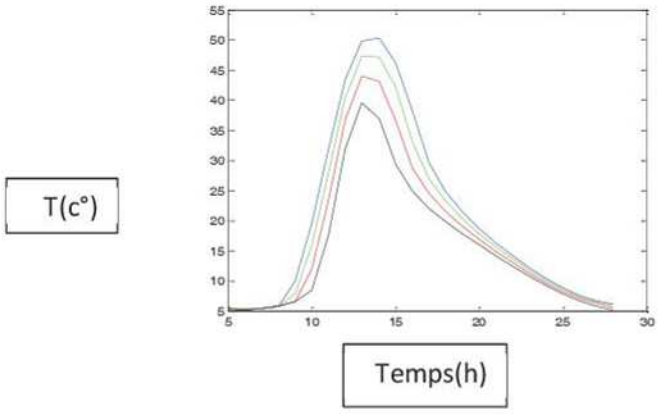


Figure III.5 : Température plaque T_p

Les Figure III (3-5) représentent les variations de température pendant la période allant de 5 heures du matin à 24 heures. Nous constatons que plus l'angle d'inclinaison est grand, plus la température est basse à tous les différents niveaux Tv Tf Tp.

	Température max (°C)	**Température max (°C)**	**Température max (°C)**
Angle d'inclinaison	**Tv**	**Tf**	**Tp**
60°	35°	50°	49°
45°	31°	45°	47°
30°	27°	42°	43°
15°	23°	38°	39°

Tableau III.1 La température maximale de chaque composant angle d'inclinaison par méthode numérique de RUNGE-KUTTA d'ordre4 .

La température de la cuve atteint une valeur maximale en raison du coefficient d'absorption de la plaque et la température de la saumure est proche de celle de la cuve, qui est chauffée par convection. La faible température du verre par rapport aux autres composants est due à la condensation de la vapeur d'eau à l'intérieur du verre.

III.3.2 Production :

La Figure III.6 représente la quantité d'eau distillée produite pendant 24 heures le 17 janvier 2022.Nous constatons que la quantité de production est très faible, et ceci est dû au manque de rayonnement solaire car nous sommes en saison hiver.

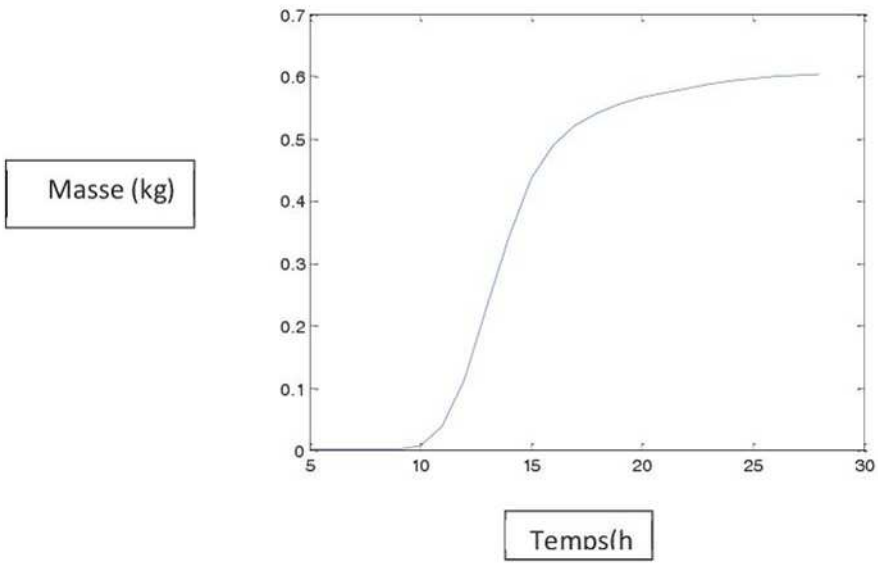


Figure III.6 : la quantité de production en 24h.

La Figure III.7 représente la quantité de production d'eau distillée pendant 24 heures le 17 janvier 2022 avec la variation de l'angle d'inclinaison. On constate que plus l'angle inclinaison est grand plus la quantité de production diminue.

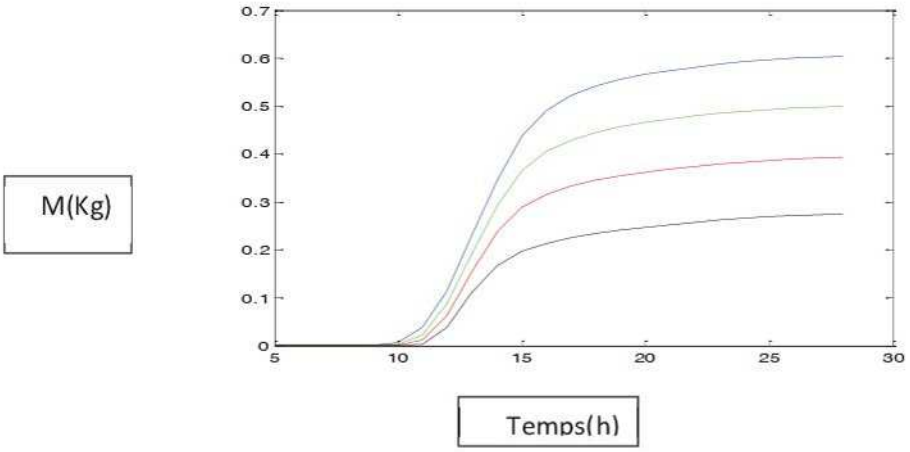


Figure III.7 : Variation de production en inclinaison

Angle d'inclinaison	La quantité de production l'eau (kg)
60°	0.6
45°	0.5
30°	0.4
15°	0.31

Tableau III.2 : La quantité de Production en 17 janvier2022

On Remarque du tableau III.2 que la quantité de production est importante par angle d'inclinaison.

III.4 Rendement du distillateur pour 17 janvier 2022

Figure III.8 Nous remarquons que le ratio du rendement est faible à 17.8% ce qui a conduit à une diminution de la quantité de production vu que la température est basse.

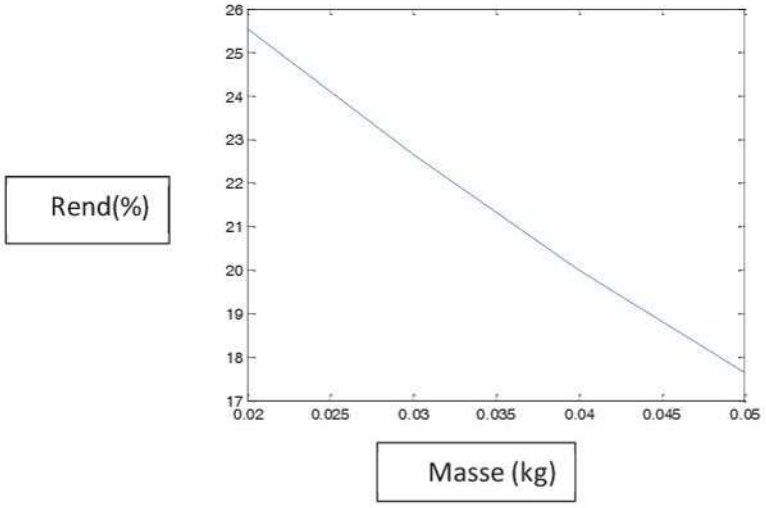


Figure III.8 : Rendement

III.2.2 Les mois 17 Mai ans 2022 :

III.2.2.1Variation de la puissance solaire :

La Figure III.9 représente l'évolution de l'intensité du flux radiatif global pour la journée du 17 Mai 2022. On constate que l'intensité du flux solaire est maximale pendant la période de 11 heures.

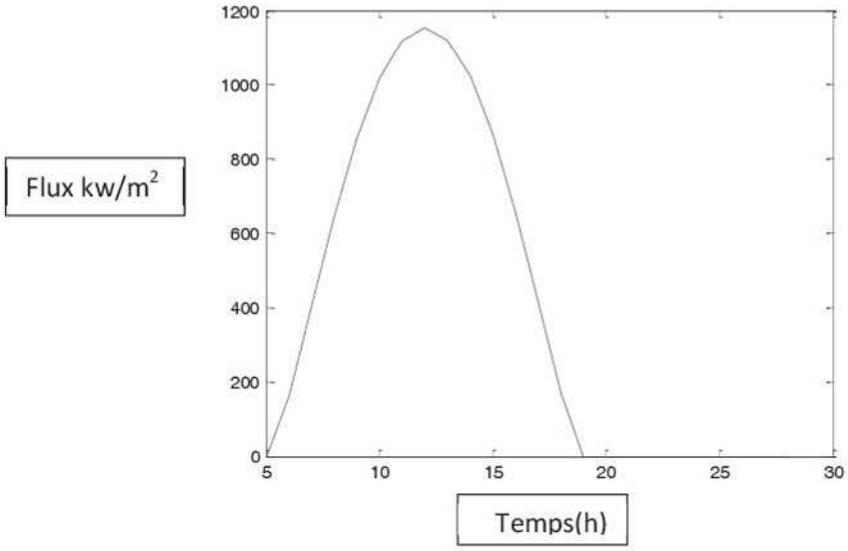
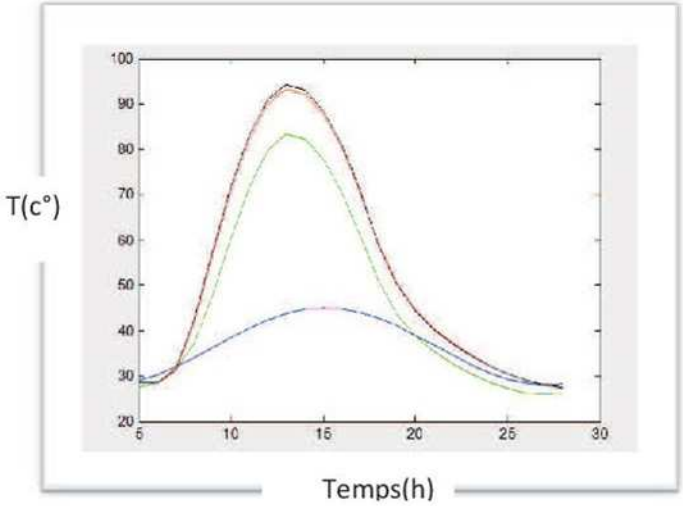


Figure III .9 : Flux solaire calculé.

III.2.2.2 Variation des Températures expérimentales des différents composants d'un distillateur solaire durant 24h :

La Figure III.10 représente les changements de température pendant 24 heures et nous remarquons à travers ces résultats que le changement de la température ambiante est important pour la température en Tv Tf Tp car c'est le début de l'été au Sahara et nous avons plus d'heures d'ensoleillement et des changements de température. L'énergie absorbée par le verre est équivalente par rapport à celle de l'absorbeur et toujours supérieure à celle de la solution saline. Les propriétés optiques du verre (coefficient de transmission et d'absorption) reste très influente sur l'évolution des températures Tf et Tp ainsi que l'énergie absorbée par l'absorbeur.



FigureIII.10 : Température différent distillateur solaire en 24h

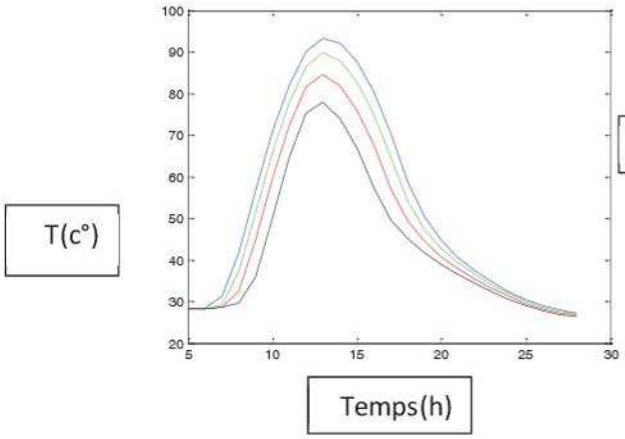


Figure III.11 : Température de vitre Tv

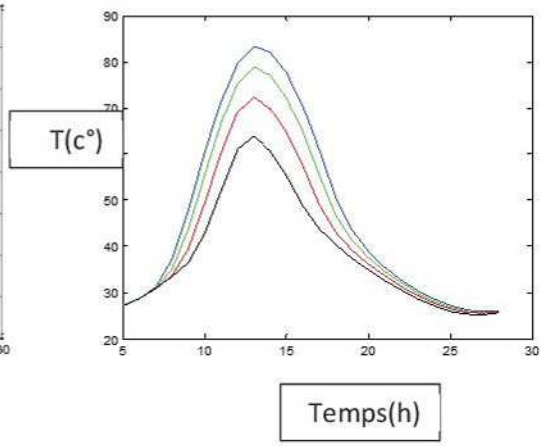


Figure III.12 : Température de fluide T_f

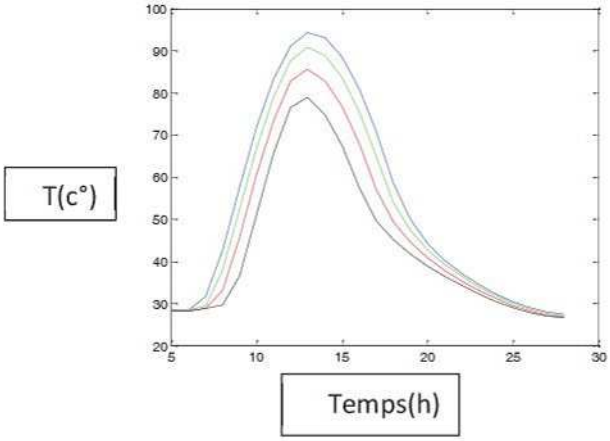


Figure III.13 : Température de plaque T_P.

III.2 .2.3 Production :

Dans la figure III.14, on note une augmentation relative de la production et ceci est dû à l'intensité du rayonnement solaire qui est élevé pendant cette période de l'année.

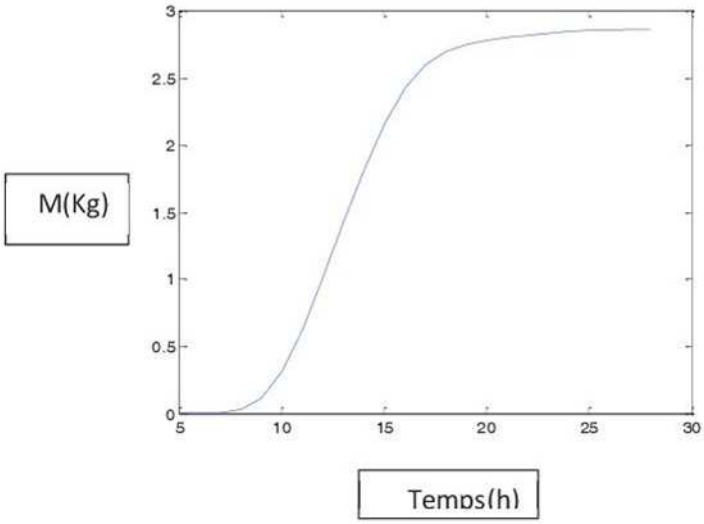


Figure III .15 : Production en 24h.

III.2.2 .4 Effet d'inclinaison sur la production :

La figure III.16 illustre que la hauteur de production change à l'angle d'inclinaison de 60 et que la production diminue à l'angle d'inclinaison de 15 degré.

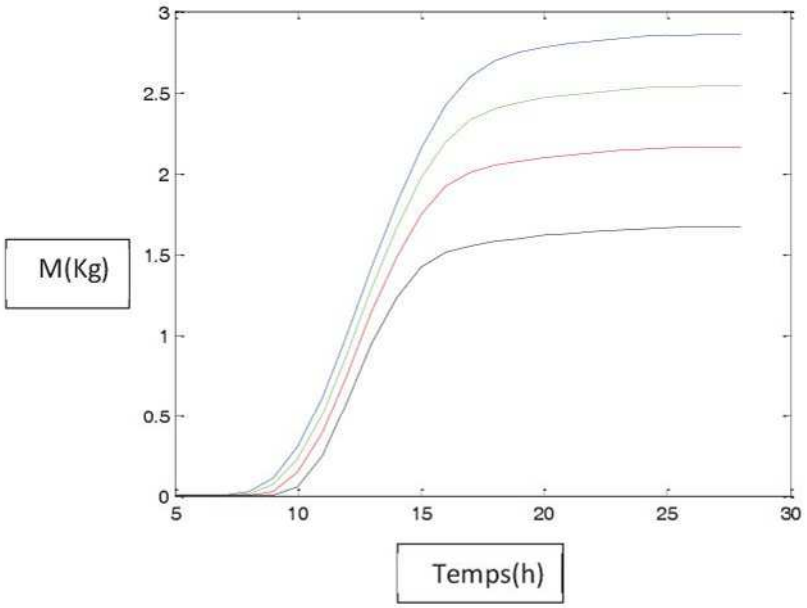


Figure III.16 : Variation production en angle inclinée

Angle d'inclinaison	Production d'eau (kg)
60°	3
45°	2.5
30°	2
15°	1.5

Tableaux III .3: Variation de production en mois Mai

A partir du tableau, on constate que la production et l'angle d'inclinaison sont proportionnels. Plus l'angle d'inclinaison est grand, plus la production est importante.

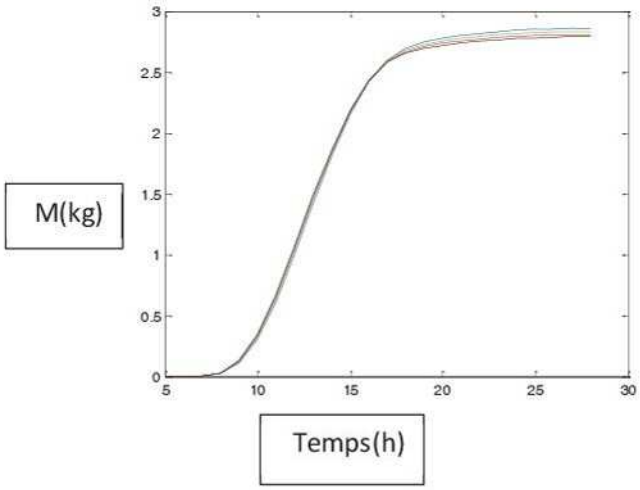


Figure III.17 : variation production (vitesse du vent)

La figure III.17 présente la variation de la production en fonction du temps (h). On peut aisément remarquer que Plus la vitesse du vent est grand la production diminue. Vu les lois de viscosité et d'écoulement de l'air sur le vitre de distillateur.

III .4 Rendement en 17 Mai 2022 :

La figure III.18 montre que le ratio de performance est élevé à 49.8ce qui a conduit à une augmentation de la quantité de production car la température est élevée en été et donc l'intensité du rayonnement solaire est élevée.

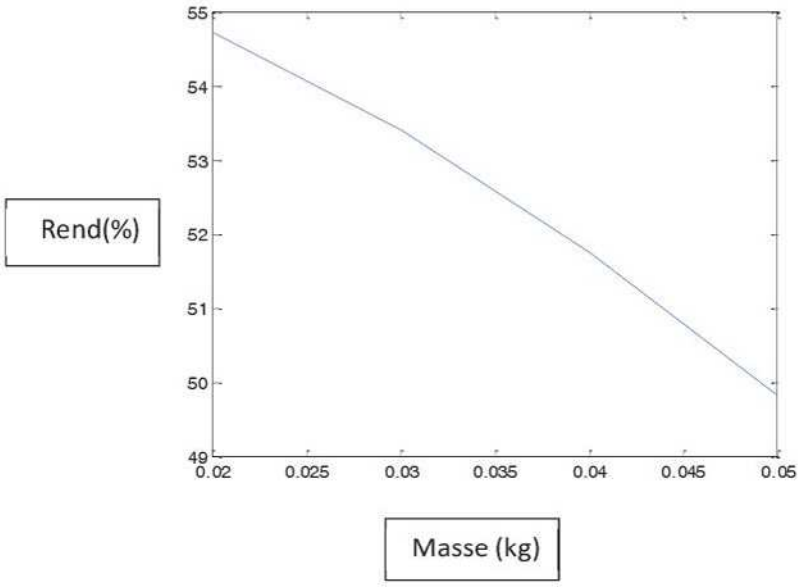


Figure III.18 Rendement

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les résultats de la simulation des températures de chaque composant du distillateur solaire demi- chapelle, puis on les a comparés avec ceux des données expérimentales.

De ce fait, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- La température des différents composants du distillateur suit l'évolution du rayonnement solaire.
- La basse température du verre par rapport à l'eau s'explique par l'échange convectif avec l'environnement, ceci permet à la vapeur d'eau de se condenser sur la face intérieure du verre. La température intérieure de la vitre Tv est légèrement supérieure à la température de la face extérieure ; ceci s'explique par la quantité importante du flux reçu par la face intérieure (la chaleur cédée par la surface d'évaporation par rayonnement, évaporation et convection naturelle) alors que la face extérieure est soumise à l'action du vent. La température la plus basse est celle de l'isolation de la face arrière : la conductivité thermique est très faible.
- Les températures augmentent proportionnellement avec le temps et atteignent une valeur maximale pour chaque composant. Cette valeur varie d'une saison à l'autre, on remarque le long de l'intervalle du temps que les températures ne dépassent pas 100°C en Mai, environ 80°C qu'elles sont d'environ 52°C en janvier.

- Il existe plusieurs autres facteurs qui influent sue la production du distillateur comme l'humidité de l'air, la vitesse du vent et la température ambiante de sorte qu'ils modifient l'équilibre thermique du distillat, l'hydropathie, ce qui doit être pris en compte dans la mesure.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans le cadre d'amélioration du rendement des distillateurs solaires, une étude d'expérimentation, de modélisation et de simulation d'un distillateur solaire demi-chapelle avait été élaborée par notre personne. Le modèle mathématique développé était basé sur des équations de bilan énergétique pour les principaux composants de l'appareil de distillation (bassin d'absorption, masse d'eau et verre transparent) ainsi que sur des corrélations appropriées décrivant le phénomène de transfert de chaleur et de masse qui se produit dans le système.

Un programme informatique a été développé en Matlab2014 pour résoudre le système d'équations et prédire le comportement transitoire de notre distillateur solaire. La validation de notre modèle est effectuée en comparant les résultats de la simulation avec ceux expérimentaux obtenus lors d'un test d'un distillateur solaire à simple pente à l'unité de recherche en énergies renouvelables (URER) à Adrar, Algérie.

Un accord acceptable entre la simulation et les données expérimentales du distillateur solaire. L'analyse de notre modèle proposé montre un pourcentage d'erreur entre 4% et 18%, les différences obtenues sont dues principalement aux hypothèses simplificatrices déjà introduites dans le modèle.

Le choix de la formulation des caractéristiques du distillateur solaire dans le modèle théorique reste un facteur prépondérant dans la minimisation de l'erreur tel que : la formulation de la viscosité, celle de la densité ainsi que le coefficient d'échange convectif entre le verre et l'atmosphère.

Comme perspective on peut envisager une étude semblable pour d'autres paramètres tel que les paramètres thermo-physiques et photovoltaïque qui jouent également un rôle très important dans l'amélioration du rendement des distillateurs solaires.