REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energies renouvelables

Etude d'un concentrateur cylindo-parabolique.

Présenté par

Mr. MELIANI Mohamed.

Proposé et Dirigé par

Dr. CHIBA Younes.

Dr. KEZRANE Mohamed

Promotion 2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très cher parents et que je remercie Allah de les avoir protégé pour être témoin de ma réussite

A mes chères frères et sœurs

A tous les professeurs et enseignants

A toute ma promotion de génie mécanique

Toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail en termes d'amour et de profonde gratitude

A tous mes amis et mes collègues

REMERCIEMENT

Nous remercions avant tout, Allah le Tout Puissant, pour nous avoir permis de présenter ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs Remerciements à : Notre promoteurs **Dr. CHIBA Younes** et **Dr. KEZRANE Mohamed,** pour leurs conseils, leurs assistances, leurs suivis et leurs soutiens, pour nous avoir longuement soutenu et aidé sans relâche.

Nous adressions aussi nos remercîment à tous les enseignants de l'université, et surtout nos professeurs durant notre cursus, pour la connaissance que vous avez toujours su nous transmettre et pour votre disponibilité dans la réalisation de ce travail. Notre bonheur est d'avoir été vos étudiants et permettez-nous de le rester.

Nos vifs remerciements à nos chers parents qui rêvaient de nous voire le pied à l'étrier sans oublier nos collègues qui par leur suggestions et leur attitude à la fois pleine d'humour et de sérieux ont énormément facilité notre travail.

Espérant à la fin Je tiens également à adresser mes remerciements aux membres du jury que notre travail va satisfaire tout en acceptent leur évaluation qui nous fait plaisir.

ملخص

هذه الدراسة تركز على النمذجة الرياضية لمكثف شمسي من نوع أسطواني مكافئ، ثم إقام تقييم حراري على الماء وعلى أنبوب الامتصاص، والزجاج المغلف على التوالي، ونظام المعادلات التي تحصل عليها تم حلها من خلال طريقة الفروق المحدودة، ويتم الحصول على النتائج ليوم نموذجي، إن التباين في درجة حرارة الماء، وأنبوب الامتصاص والزجاج المغلف وكذلك تطور قوات الخسائر الحرارية والأداء الحراري للمكثف وتأثير المعلمات)الهندسية و البصرية) على النموذج.

كلمات البحث : المركزات الشمسية – الطاقة الشمسية – أسطواني مكافئ – التركيز الشمسي.

Résumé

Cette étude porte sur la modélisation mathématique d'un concentrateur solaire de type Cylindro-parabolique, un bilan thermique a était établi respectivement sur le fluide caloporteur sur le tube absorbeur et sur l'enveloppe en verre, le system d'équations obtenu est résolu par la méthode des différences finies. On obtient les résultats pour une journée typique, la variation de la température du fluide caloporteur, du tube absorbeur et de l'enveloppe en verre .ainsi que l'évolution des puissances, des pertes thermiques, le rendement du concentrateur et l'influence des paramètres (optiques) sur le prototype.

Mots clés : concentrateurs solaire, énergies solaire, Cylindro-parabolique, concentration

Summary:

This study focuses on the mathematical modelling of solar concentrator type "parabolic trough plan" a thermal balance was established respectively on the coolant on the absorber tube and the glass envelope, the system of equations obtained is solved by the method of finite differences results are obtained for a typical day, the variation of the temperature of the coolant, the absorber tube and the glass envelope and the evolution of the power of the heat loss and efficiency of the concentrator and the influence of parameters (geometrical and optical) on the prototype.

Keywords: solar concentrators, solar, parabolic through plant, concentration.

NOMENCLATURE

TSV : Temps solaire vrai [heure]

TSM : Temps solaire moyen [heure]

ET : Equation du temps [minute]

h : Hauteur angulaire solaire [degré]

a : Azimut [degré]

E : Emittance [W/m2]

I : Eclairement solaire direct [W/m2]

D : Rayonnement Diffus [W/m2]

G : Rayonnement Global [W/m2]

Io : Energie solaire reçue par une surface horizontale [W/m2]

Patm : Pression atmosphérique [Pa]

θ : Angle d'ouverture du concentrateur [degré]

S* : Eclairement direct dans la section d'ouverture du concentrateur,

S_0 : Section d'ouverture

S_p : Section de passage

S_* : Surface de l'image réelle du soleil dans le plan focal. [m²]

Q_G* : Flux solaire moyen dans l'image de Gauss [W/m²]

C : Concentration géométrique

ŋ : efficacité du concentrateur

C_e

$_*$: Concentration effective

Tc : Température de Concentrateur [C°]

γ : Facteur optique du collecteur (Interception)

cosθ : Angle d'incidence (degré)

h : Hauteur angulaire du lieu

ρ : Facteur de réflexion du miroir du concentrateur

τ : Facteur de transmission du miroir

C : Taux de concentrateur

σ' : Paramètre d'erreur aléatoire universel

σ : Déviation de la distribution du rayonnement direct

B’ : Paramètre non aléatoire universel due aux erreurs angulaire

B : Angle entre le rayon réfléchit du centre de soleil et la normal à l’ouverture

d’ : Paramètre d’erreurs non aléatoire universel due au mal positionnement de l’absorbeur dans le plan focal(d’=dr/d $_{abs}$)

A_r : Surface du récepteur [m²]

T_S : Température de sortie de fluide caloporteur [C°]

Q_{conv} : Perte de transfert par convection [W]

Q_{ray} : Perte de transfert par rayonnement [W]

Q_{cond} : Perte de transfert par conduction [W]

ε : Emissivité de surface de l’absorbeur

ε_C : Emissivité de verre du couvert

F_{rc} : Facture de forme entre le récepteur et le couvert qui est égal à 1

A_O : Surface d’ouverture du concentrateur cylindro-parabolique [m²]

τ_α : Coefficient transmission absorption

τ : Coefficient de Stefan Boltzman (5,667x10^{-8}w/m²K^4)

D_e, D_i : Diamètre extérieur et intérieur de l’absorbeur [m]

S_G : donnée par les rayons paraxiaux (image de Gauss) [m²]

A_{abs} : Surface de l’absorbeur [m²]

A_V : Surface du vitrage [m²]

T_{abs} : Température de l’absorbeur [C°]

V : Vitesse du vent [m/s]

$Q_{absorbée}$: Puissance absorbée par l’absorbeur [W]

$Q_{gagnée}$: Puissance gagnée par le fluide [W]

$Q_{externe}$: Puissance perdue [W]

ρ : Densité [kg/ m^3]

c : Chaleur spécifique [J/kg.K]

v : Débit volumique [m^3/s]

δ : La déclinaison du soleil [degré]

ω : L'angle horaire du soleil [degré]

SOMMAIRE

DEDICACE

REMERCIEMENT

RÈSUMÈ

NOMENCLATURE

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE…… ……..1

CHAPITRE I : GÈNERALITÈ SUR LES CONCENTRATEURS SOLAIRES

I.1 INTRODUCTION 2

I.2 DEFINITION DE L'ENERGIE 2

I.3 SOURCES D'ENERGIES RENOUVELABLES 2

I.4 L'ENERGIE SOLAIRE 2

I.4.1 L'ENERGIE EOLIENNE 3

I.4.2 L'ENERGIE BIOMASSE 3

I.4.3 L'ENERGIE HYDRAULIQUE 4

II.5. L'ENERGIE GEOTHERMIQUE 4

I.6. L'ENERGIE DES MERS OU ENERGIE MARINE 5

I.7 POTENTIEL DE L'ENERGIE SOLAIRE 6

I.7.1. PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES 7

I.7.2. COLLECTEURS SOLAIRES THERMIQUES PLANS 7

I.7.3. LES CONCENTRATEURS SOLAIRES 9

I.8 CHOIX DES CONCENTRATEURS POUR EXPLOITER LE SOLEIL 12

I.8.1. UTILISATION DIRECTE 12

I.8.2. PRINCIPE DE CAPTATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE 12

I.9. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUE 13

I.9.1. AVANTAGE LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES ONT PLUSIEURS AVANTAGES: 13

I.9.2. INCONVENIENTS 13

I.10. RAYONNEMENT SOLAIRE 13

I.10 CONCENTRATEURS SOLAIRES VI.1. CONCENTRATEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE ... 14

I.10.1. LE CONCENTRATEUR STATIONNAIRE 16

I.10.2.RENDEMENT DU CONCENTRATEUR SOLAIRE 17

I.11. CENTRALES A TOUR 18

I.12 CENTRALES A CAPTEURS PARABOLIQUES 19

I.13 APPLICATIONS D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN « CONCENTRATEURS » 19

I.13.1. PROCEDES INDUSTRIELS 19

I.13.2 DESSALEMENT 20
I.13.3 PLAN SOLAIRE MEDITERRANEEN (PSM) 20
I.13.4. MEDGRID 20
I.14. MODELE DU MOTEUR STIRLING 20
I.14.1. AVANTAGES DES MOTEURS STIRLING 21
I.15.2. DESAVANTAGES DES MOTEURS STIRLING 21
I.15.3. TYPES DES MOTEURS STIRLING 22
I.16.. RECYCLAGE 22
I.16.1 DIFFERENTS TYPES DE RECYCLAGE 22
I.17 CONCLUSION 22

CHAPITRE II : TECHNOLOGIE DES CONCENTRATEURS SOLAIRES

II.1 INTRODUCTION 24
II.2 LES MATERIAUX UTILISES DANS LA TECHNOLOGIE DES CONCENTRATEURS SOLAIRES 24
II.2.1 MIROIR 24
II.2.3 ARGENT 25
II.2.4 ALUMINIUM 25
II.3. TUBE SOUS VIDE 26
II.3.1.LES DIFFERENTS TYPES DE TUBES SOUS VIDE 26
II.3.1.1.TYPES D'ISOLATION 26
II.3.1.2.TYPES DE TRANSPORT DE CHALEUR 27
II.4. CONCENTRATION PARABOLIQUE 27
II.4.1. HISTORIQUE 27
II.4.2.DESCRIPTION 27
II.4.3.PRINCIPE 28
II.5. CALCUL DE LA DISTANCE FOCALE D'UNE PARABOLE 28
II.5.1.THEORIQUEMENT 28
II.6 GENERALITES SUR LES CAPTEURS SOLAIRES 29
II.6.1CENTRALES A MIROIRS CYLINDRO-PARABOLIQUES 29
II.6.1.1.DIFFERENTES PARTIES DU COLLECTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUES 29
II.7. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT 31
II.9. TAUX DE CONCENTRATION 33
II.10. L'EXPLOITATION DE TECHNOLOGIE DES CCP EN ALGERIE 3
II.11. SYSTEMES CHAMP SOLAIRE 34
II.12 CONCLUSION : 35

CHAPITRE III : MODELISATION MATHEMATIQUE

III.1 INTRODUCTION A LA SIMULATION : 36
III.2. ETUDE THEORIQUE ET OPTIQUE DU CONCENTRATEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE 37
III.2.1 CONCENTRATION IDEALE 38
III.3. ETUDE THEORIQUE DU CONCENTRATEUR CYLINDROPARABOLIQUE 39
III.3.1. PERFORMANCES OPTIQUES D'UN CONCENTRATEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE .. 39
III.3.1.1. TAUX DE CONCENTRATION 39
III.3.1.2. FACTEURS OPTIQUES [25] 39
III.3.1.3. PUISSANCE ABSORBEE [18] 40
III.3.1.4. TEMPERATURE DE SORTIE DU FLUIDE CALOPORTEUR TS 40
III.4.MONTAGE 40
III.5. BILAN THERMIQUE 41
III.5.1. ENTRE L'ABSORBEUR ET LE FLUIDE CALOPORTEUR : 41
III.5.2. ENTRE L'ABSORBEUR ET L'ENVELOPPE EN VERRE 41
III.5.3. BILAN THERMIQUE ENTRE L'ENVELOPPE DU VERRE ET L'ENVIRONNEMENT 42
III.5.4. DIFFERENTS MODE DE TRANSFERT DE CHALEUR 43
III.5.4.1. TRANSFERT DE CHALEUR ENTRE L'ABSORBEUR ET LE FLUIDE CALOPORTEUR 43
III.5.4.2. TRANSFERT DE CHALEUR ENTRE L'ABSORBEUR ET L'ENVIRONNEMENT DU VERRE 44
III.5.4.3. TRANSFERT DE CHALEUR ENTRE L'ENVELOPPE DU VERRE ET L'ENVIRONNEMENT 45
III.6. PERTES THERMIQUES [14] 46
III.6.1. PERTES PAR CONDUCTION 46
III.6.2. PERTES PAR CONVECTION 46
III.6.3. PERTES PAR RAYONNEMENT : 47
III.7. DISCRETISATION DES EQUATIONS 48

CHAPITRE VI : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. INTRODUCTION 54
IV.2. LES CARACTERISTIQUES DU PROTOTYPE : 54
IV.3. LES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES : 54
IV.4. LES RESULTATS NUMERIQUES : 55
IV.5. CONCLUSION 62
COCNCLUSIONGENERALE……...……..63

LISTE DES FIGURES

FIGURE I.01: MAISON SOLAIRE [1]. 3
FIGURE I.02: L‟ENERGIE EOLIENNE [1]. 3
FIGURE I.03: L‟ENERGIE BIOMASSE [1]. 4
FIGURE I.04: L‟ENERGIE HYDRAULIQUE. [1]. 4
FIGURE I.05: L‟ENERGIE GEOTHERMIQUE. [1]. 5
FIGURE I.06: L‟ENERGIE DE MERS [2]. 6
FIGURE I.07: PRINCIPE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE [5]. 7
FIGURE I.08: CAPTEUR SOLAIRE THERMIQUE [5]. 8
FIGURE I.09: TUBE SOLAIRE THERMIQUE SOUS VIDE.[5]. 8
FIGURE I.10: MUR SOLAIRE. [5]. 9
FIGURE I.11: CONCENTRATEUR SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE [5]. 10
FIGURE I.12: CHAMP D'HELIOSTAT [5]. 10
FIGURE I.13: CHAMP DE CONCENTRATEURS PARABOLIQUES LINEAIRES. [5]. 11
FIGURE I.14: CONCENTRATEUR PARABOLIQUE [5]. 12
FIGURE I.15: PRINCIPE DE CAPTATION DE L‟ENERGIE SOLAIRE. [9] 13
FIGURE I.16: REPONSE SPECTRALE D‟UNE CELLULE (PV) [11.12]. 14
FIGURE I.17: COLLECTEUR SOLAIRE CYLINDRO – PARABOLIQUE A CALODUC (ENITA-ALGERIE). [24]. 16
FIGURE I.18: SCHEMA DE PRINCIPE D‟UN CONCENTRATEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE. [27] 16
FIGURE I.19: CONCENTRATEUR STATIONNAIRE ORIENTE VERS LE SUD. [27] 17
FIGURE I.20: RAYONNEMENT SOLAIRE INCIDENT SUR UN PLAN HORIZONTAL [27] 18
FIGURE I.21: RESULTATS OBTENUS POUR LES TEMPERATURES SUIVANT LE TEST . [27] (CONCENTRATEUR STATIONNAIRE, ANGLE D‟INCLINAISON: 30°). 18
FIGURE I.22: RENDEMENT DU CONCENTRATEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE STATIONNAIRE. 19
FIGURE I.23: CENTRALES A TOUR [30] 19
FIGURE I.24: CONCENTRATEURS CENTRALES A CAPTEURS PARABOLIQUES. [30]. 20
FIGURE I.25 : COMPOSANTS INTERNES DU MOTEUR STIRLING [33]. 22
FIGURE I.26: LES DECHETS RECYCLENT. [3.5]. 23
FIGURE II.1 : LE MIROIR [1]. 24
FIGURE II.2 :L’ELEMENT CHIMIQUE AG [1]. 25
FIGURE II.3 : L’ELEMENT CHIMIQUE AL [1]. 26
FIGURE II.4 : CAPTEUR SOLAIRE THERMIQUE A TUBES SOUS VIDE 26
FIGURE II.5 : CONCENTRATEURS PARABOLIQUES. [2]. 28

FIGURE II.6 : SCHEMA DE PRINCIPE D'UN CONCENTRATEUR PARABOLIQUE [3]. 28

FIGURE II.7: MONTAGE D'UN ELEMENT DE RECEPTEUR TUBULAIRE SUR UN CAPTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUES. [3]..... 30

FIGURE II.8: POURSUITE DU SOLEIL PAR UN CAPTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUES. [3]... 31

FIGURE II.9: CONCEPT DE RECEPTEUR TUBULAIRE POUR CAPTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE. 31

FIGURE II.10: SCHEMA D'UNE FERME DE MIROIRS CYLINDRO-PARABOLIQUES (HAUT), ET UNE VUE LATERALE MONTRANT COMMENT UN MCP CONCENTRE LA LUMIERE SOLAIRE A SON POINT FOCAL. [3]..... 32

FIGURE II.11: CENTRALE HYBRIDE SOLAIRE-GAZ HASSI R'MEL.[3]. 33

FIGURE II.12: APERÇU DE PLANTE. 34

FIGURE II.13: LA CENTRALE ELECTRIQUE HYBRIDE DE HASSI RMEL (EL GHARBI ET AL. 2011). [8]..... 34

FIGURE III.2 CAPTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE DE « L'INSTITUTO TECHNOLOGICO Y DE ENERGIAS 37

FIGURE III.3 COUPE MERIDIENNE D'UN DEMI CAPTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE MONTRANT LES..... 38

FIGURE III.4 MONTAGE D'UN CAPTEUR CYLINDRO- PARABOLIQU E..... 40

FIGURE IV.3 : EVOLUTION TEMPORELLE DE LA PUISSANCE SOLAIRE AVEC COSΘ = 1 56

FIGURE IV.4 : LA VARIATION TEMPORELLE DU FLUIDE CALOPORTEUR..... 57

FIGURE IV.5 : VARIATION TEMPORELLE DU TUBE ABSORBEUR 58

FIGURE IV.6: VARIATION TEMPORELLE DU VITRAGE 58

FIGURE IV.7: EVOLUTION TEMPORELLE DES PUISSANCES : ABSORBEE, UTILE, PERTES THERMIQUES 59

FIGURE IV.8 : EVOLUTION DES PUISSANCES EN FONCTION DE LA PUISSANCE SOLAIRE . 59

FIGURE IV.9 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU FLUIDE CALOPORTEUR EN FONCTION DE LA..... 60

FIGURE IV.10: EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU FLUIDE CALOPORTEUR EN FONCTION DE LA LONGUEUR DU TUBE ABSORBEUR (OX) 60

FIGURE IV.11 : INFLUENCE DU DEBIT VOLUMIQUE SUR LA TEMPERATURE DU FLUIDE CALOPORTEUR 61

FIGURE 15 : EVOLUTION TEMPORELLE DU RENDEMENT INSTANTANE 61

FIGURE VI.12: EVOLUTION DU RENDEMENT INSTANTANE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DE L'ABSORBEUR..... 62

FIGURE IV.13 : EVOLUTION DU RENDEMENT INSTANTANE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DU FLUIDE 62

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU III.01 : TEMPERATURES EN FONCTION DU TEMPS (PREMIER JOUR …….....… 40

TABLEAU III.02: TEMPERATURES EN FONCTION DU TEMPS EN DEUXIEME JOUR. ……..…..41

TABLEAU III.03 : TEMPERATURES EN FONCTION DU TEMPS EN AIR ET DANS LE TUBE EN PLASTIQUE TRANSPARENT REMPLI DE L'EAU. …….……..... 42

TABLEAU III.04: TEMPERATURES EN FONCTION DU TEMPS TUBE PLASTIQUE REMPLI D'EAUX…… 44

TABLEAU III.04: TEMPERATURES EN FONCTION DU TEMPS AVEC TUBE EN PLASTIQUE COUVERT EN MATIERE
NOIRE…… ……...…45

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La concentration du rayonnement solaire permet, pour une surface de capteur donnée, de diminuer la surface de réception effective et donc de minimiser l'influence des pertes thermiques du récepteur. Ainsi la température atteinte après transformation en chaleur est plus élevée que pour des dispositifs à capteurs sans concentration. Les technologies solaires à concentration permettent de transformer le rayonnement solaire en chaleur à un niveau de température situé entre 200°C et 1800°C, avec un rendement supérieur à 70%. Cette chaleur primaire peut ensuite être utilisée dans des procédés de transformation ou de synthèse de matériaux ou bien être convertie en vecteur énergétique comme l'électricité ou l'hydrogène [1].

L'idée principale de ce travail est la réalisation d'un projet qui combine les sciences des matériaux, l'énergie et l'environnement. Nous avons réalisé un concentrateur solaire cylindro-parabolique en utilisant des matériaux abandonnés (récupérés) tels que les miroirs, les bois, l'aluminium e le plastique …etc.

Le premier chapitre porte sur le concentrateur solaire, les déférentes utilisations de l'énergie solaire et l'exploitation de certains des déchets de matériaux tels que l'aluminium, le bois et les miroirs.

Dans le second chapitre nous présentons les technologies de la concentration solaire, en donnant un aperçu général sur les concentrateurs paraboliques et cylindro-paraboliques, en particulier sur le fonctionnement du concentrateur à moteur Stirling et de la centrale électrique de Hassi Rmel qui est la première centrale hybride en Algérie [2].

Le troisième chapitre porte sur une étude sur le concentrateur cylindro-parabolique, bilan énergétique, mise en équation du système et résolution par la méthode des différences finis.

Dérnierement le quatrième chapitre illustre l'exploitation et l'interprétation des résultats. On finira notre étude par une conclusion générale.

Chapitre I: GÈNERALITÈ SUR LES CONCENTRATEURS SOLAIRES

I.1 INTRODUCTION

L'énergie renouvelable est la seule alternative aux ressources naturelles épuisables, telles que le pétrole et le gaz …, elle est également considérés ce comme la principale source dans notre vie. Les types de sources d'énergie peuvent varier selon leurs utilisations et leurs applications dans les différents domaines. Les concentrateurs solaires une technologie importante dans le domaine de l‟exploitation de l‟énergie solaire.

I.2 DEFINITION DE L'ENERGIE

Le mot « ENERGIE », d'usage très répandu, vient du mot Grec « ENERGIA » qui signifie « FORCE EN ACTION »[1].

I.3 SOURCES D'ENERGIES RENOUVELABLES

Comme leur nom l‟indique, il s‟agit de sources qui se renouvellent et ne s‟épuiseront donc jamais à l‟échelle du temps humain ! Les sources non renouvelables tel que les énergies fossiles comme le pétrole, le charbon et le gaz dont les gisements limités peuvent être épuisés. Les sources Renouvelables sont l‟énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse [1].

I.4 L'ENERGIE SOLAIRE

Ce terme désigne l‟énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter ! Les technologies sont réparties entre actives et passives. Les technologies actives transforment l'énergie solaire en une forme électrique ou thermique que nous pouvons utiliser directement. C‟est le cas des cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique (figure I. 01), des collecteurs solaires qui permettent de chauffer l'eau des maisons, du chauffage et du refroidissement solaire, des concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité grâce à certaines machines, et même des fours solaires. Les technologies passives consistent à bien orienter les bâtiments par rapport au soleil ou à utiliser des matériaux spéciaux et des modèles architecturaux qui permettent d'exploiter l'énergie solaire [1].



Figure I.01: Maison solaire [1].

I.4.1 L'ENERGIE EOLIENNE

La force éolienne est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des moulins à vent et de la navigation, par exemple. Aujourd'hui, nous pouvons exploiter cette énergie à l'aide d'hélices spéciales qui emmagasinent le vent et de machines qui le transforment en énergie électrique. Les éoliennes sont installées sur terre et en mer dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante (figure I.02) [1]



Figure I.02: l'énergie éolienne [1].

I.4.2 L'ENERGIE BIOMASSE

L'utilisation de la biomasse remonte au temps où l'homme découvrait le feu et se servait encore du bois pour se chauffer et cuire ses aliments ! Il s'agit de l'énergie contenue dans les plantes et les matières organiques. La biomasse des plantes provient du soleil, quand la plante, grâce à la photosynthèse, absorbe l'énergie solaire. Ensuite, les animaux absorbent à leur tour ces plantes ! La biomasse provient de divers secteurs et matières comme le bois, les récoltes (cultivées spécialement pour la production d'énergie), les résidus agricoles et forestiers, les déchets alimentaires et les matières organiques issues des déchets municipaux et

industriels. Il existe toute une variété de technologies pour convertir l'énergie de la biomasse en une forme réutilisable. Ces technologies changent l'énergie en formes utilisables directement (chaleur ou électricité) ou en d'autres formes telles que le biocarburant ou le biogaz [1].



Figure I.03: l'énergie biomasse [1].

I.4.3 L'ENERGIE HYDRAULIQUE

L'eau est également une source renouvelable puisqu'elle se régénère grâce au cycle d'évaporation et des précipitations. Sa force est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des barrages (figure I.04), des moulins à eau et des systèmes d'irrigation. Plusieurs technologies permettent d'exploiter l'énergie produite par la chute ou le mouvement de l'eau. Les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité [1].



Figure I.04: l'énergie hydraulique. [1].

II.5. L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches de la surface. L'énergie géothermique peut également être employée dans un but domestique, grâce aux petites pompes à chaleur, par exemple (figure I.05) [1]



Figure I.05: l'énergie géothermique. [1].

I.6. L'ENERGIE DES MERS OU ENERGIE MARINE

C'est une énergie renouvelable très peu exploitée jusqu'ici. Elle désigne l'énergie produite par les vagues et les marées, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffé par les rayons du soleil (figure I.06). Les océans, qui couvrent presque 70 % de la surface du globe, pourraient constituer la source d'énergie. Renouvelable du futur, même si, pour l'instant, leur exploitation pour produire de l'électricité n'est pas rentable [2].

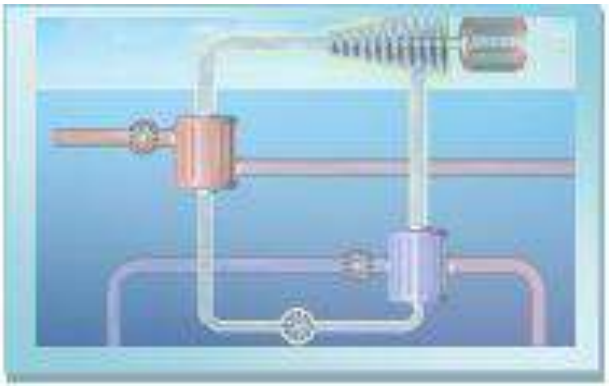


Figure I.06: l'énergie de mers [2].

I.7 POTENTIEL DE L'ENERGIE SOLAIRE

Soleil est le nom de l'étoile autour de laquelle gravitent les planètes qui composent le système où nous vivons, dit système solaire. Le soleil est une sphère de gaz chauds d'un diamètre de 1,39 millions de kilomètres. Il s'agit en réalité d'un immense réacteur à fusion nucléaire où l'hydrogène est transformé en hélium. La température au centre du soleil se situe entre 8 et 40 millions de Kelvins alors qu'elle est de 5762 Kelvins à sa surface. Le soleil émet une puissance de 3,8X1020 MW sous forme de rayonnement. La terre, située à 150 millions de kilomètres du soleil, reçoit ce rayonnement 8 minutes et 20 secondes après son départ du soleil. La Terre ne reçoit qu'une infime fraction de l'énergie solaire, soit 170 milliards de MW. Néanmoins, l'énergie solaire que la Terre intercepte en une demi-heure est égale à la demande énergétique mondiale d'une année entière [3]. La source commune de pratiquement toutes les énergies se trouvant sur Terre est notre étoile, le soleil. Que ce soit le pétrole, la biomasse, le vent, le débit des rivières qui coulent [4].

III.1 PRESENTATION DES DIFFIRENTS TYPES DE CAPTEURS SOLAIRES

Trois familles de capteurs solaires sont présentées plus en détail dans les pages qui suivent. Chaque famille se différencie selon la façon dont elle capte et transforme l'énergie solaire. Pour chacune des familles, les différentes variantes de capteurs seront exposées ainsi que le type d'énergie qui est produit et la température atteinte , si tel est le cas. Le type de moyen utilisé pour pallier aux fluctuations d'ensoleillement et le type d'application pour chaque capteur seront également décrits [5].

I.7.1. PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Les panneaux photovoltaïques sont probablement les plus connus des capteurs solaires (figure I.07) En effet, on retrouve ces derniers sous différentes grandeurs tant sur des petits appareils tels que les calculatrices, que pour des applications de plus forte puissance pour des bâtiments loin des réseaux électriques. Ces derniers convertissent directement l'énergie solaire en électricité. [5].

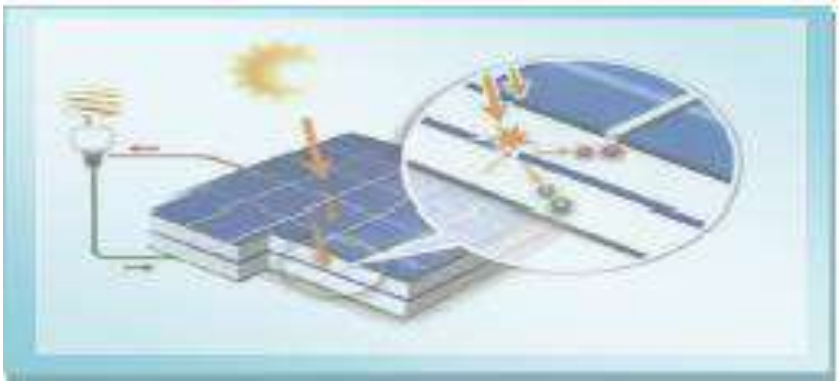


Figure I.07: Principe d'une cellule photovoltaïque [5].

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique au moyen des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologique et industriel, en effet le silicium et l'‟un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique. Le mot " photovoltaïque " vient de grec " photo " qui signifie lumière et de " Voltaïque " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la « lumière électricité » [5].

I.7.2. COLLECTEURS SOLAIRES THERMIQUES PLANS

Les collecteurs solaires thermiques plans servent à produire de la chaleur à relativement basse température, soit entre 30 et 200 C. La plupart d'entre eux fonctionnent sous le principe d'effet de serre pour chauffer un liquide caloporteur ou de l'air. Une surface sélective absorbe le rayonnement solaire pour convertir ce dernier en chaleur. Le rôle de la surface sélective est de capter le rayonnement de courte longueur d'onde du soleil et d'éviter de réémettre l'énergie thermique sous forme de rayonnement de longue longueur d'onde. Le dessous de la surface absorbante est isolé de façon à éviter les pertes thermiques du panneau par conduction. Tout le panneau est également recouvert d'un vitrage, évitant les pertes par

convection. Le vitrage est lui aussi sélectif, laissant passer le rayonnement solaire, mais ne permettant pas aux ondes de chaleur de ressortir créant alors un effet de serre. C'est un liquide caloporteur ou de l'air qui est utilisé afin de récupérer et transporter la chaleur captée par la surface du panneau thermique vers son point de stockage ou d'utilisation (figure I.08)

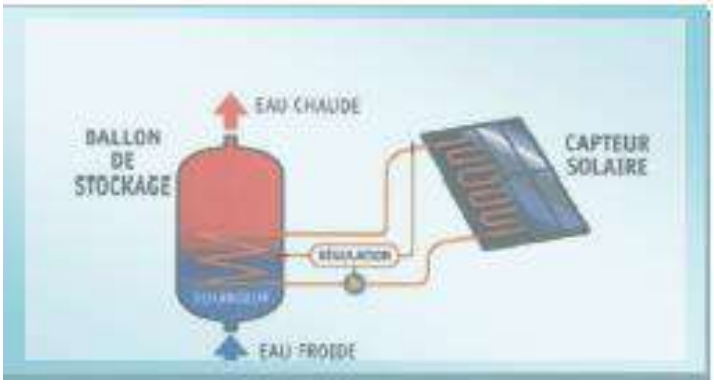


Figure I.08: Capteur solaire thermique [5].

Il existe des variantes des panneaux solaires thermiques. L'une d'elles consiste à mettre le panneau sous vide afin d'éviter les pertes thermiques avec l'environnement. Pour ce faire, le panneau est fait de plusieurs éléments linéaires placés dans des tubes sous vide. Les tubes sous vide sont installés en parallèle de façon à constituer un panneau. Ayant moins de perte thermique avec l'environnement, ce type de collecteur thermique est plus performant que celui décrit précédemment. Il est par contre également plus dispendieux.



Figure I.09: Tube solaire thermique sous vide.[5].

Une autre variante du collecteur solaire thermique plan est le mûr solaire. Ce collecteur consiste simplement en un revêtement mural extérieur placé sur le mur d'un bâtiment faisant face au soleil. Le revêtement absorbe le rayonnement solaire, s'échauffe et réchauffe l'air à l'avant et derrière ce dernier. De multiples petits orifices dans le revêtement

permettent aux prises d'air placées à l'arrière du revêtement de récupérer l'air chaud se trouvant sur les deux faces du revêtement. L'air réchauffé est alors redistribué là où nécessaire dans le bâtiment. [5]

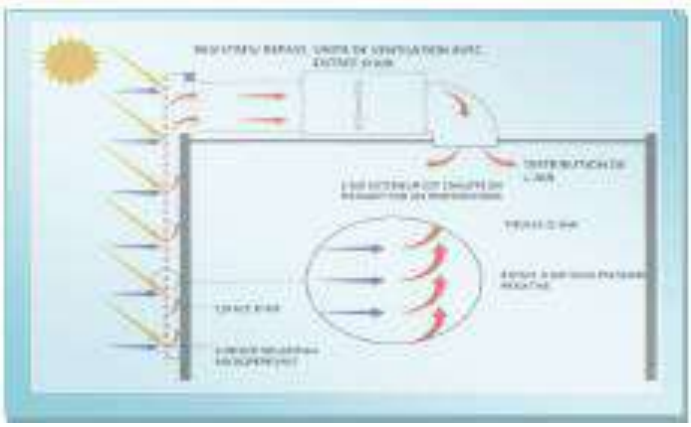


Figure I.10: Mur solaire. [5].

I.7.3. LES CONCENTRATEURS SOLAIRES

Une autre famille importante de collecteurs solaires est celle des concentrateurs solaires. Ce qui particularise ce type de collecteur est le fait que la surface par laquelle il récupère l'énergie solaire est plus petite que la surface par laquelle ils interceptent le rayonnement solaire. Entre les deux, c'est un dispositif optique qui concentre le flux solaire sur l'absorbeur ou récepteur, qui lui récupère l'énergie solaire. Le facteur de concentration peut être de 1 à 1500 fois l'intensité solaire.



Figure I.11: Concentrateur solaire photovoltaïque [5].

Le récepteur peut être une cellule solaire photovoltaïque. Il est alors possible de convertir plus d'énergie solaire en électricité tout en minimisant la surface de cellules solaires

nécessaires. En supposant que chaque mètre carré de collecteur coûte moins cher que chaque mètre carré de panneau photovoltaïque, des économies s'ensuivent.

Le récepteur peut également convertir l'intensité lumineuse en énergie thermique tel que le font les collecteurs solaires thermiques.

Trois principaux types de concentrateurs sont déjà utilisés afin de produire de l'énergie thermique et ultimement de l'énergie électrique. Il y a d'abord le champ d'héliostat qui consiste en une vaste étendue de miroirs légèrement concaves qui concentrent les rayons du soleil sur un récepteur central situé en haut d'une tour. Le champ d'héliostat peut s'étendre sur plusieurs centaines de mètres carrés de surface. Chacun des miroirs est monté sur un mécanisme afin de suivre le mouvement du soleil. Puisque ce type d'installation requiert beaucoup d'espace, elle se prête essentiellement à la production centralisée d'énergie. Des températures allant à plus de 1500 degrés Celsius peuvent être atteintes au récepteur. Une centrale thermique est utilisée afin de convertir l'énergie thermique en électricité. Afin de pallier aux fluctuations solaires, de l'énergie thermique peut être stockée sous forme de chaleur sensible ou de chaleur latente. Une source d'énergie classique telle que le pétrole ou le gaz peut également être utilisée afin d'actionner la centrale thermique.



Figure I.12: Champ d'héliostat [5].

Toujours afin de produire de l'énergie thermique dans le but d'actionner un cycle thermique, les concentrateurs paraboliques linéaires sont également utilisés. Le collecteur est un miroir en forme de parabole linéaire, faisant penser à une gouttière. Au foyer de la parabole se trouve le récepteur dans lequel circule un caloporteur. Ce type de concentrateur permet d'atteindre des températures de 50 à 400 C. Le concentrateur parabolique linéaire a le grand avantage de devoir suivre le soleil selon un seul axe, contrairement au champ

d'héliostat. Ceci permet de simplifier la mécanique du système. Tel que pour le champ d'héliostats, ce type de concentrateur couvre habituellement de grandes surfaces et est alors davantage adapté à la production centralisée d'énergie. Les mêmes stratégies de stockage et d'utilisation de l'énergie sont également utilisées



Figure I.13: Champ de concentrateurs paraboliques linéaires. [5].

Le concentrateur de type parabole consiste en un miroir de forme parabolique tel que son nom le laisse entendre. Dans la plupart des cas, le miroir fait quelques mètres de diamètre. Dans le cas des plus larges miroirs, ces derniers sont en fait composés d'une mosaïque d'éléments formant le grand miroir parabolique. À son foyer se trouve généralement un panneau solaire ou un engin thermique. Le système doit être monté sur un mécanisme qui suit le mouvement du soleil tout au long de la journée. Les températures atteintes au foyer peuvent être au-delà de 1500C. Ce type de concentrateur se prête bien tant à la production centralisée qu'à la production décentralisée d'énergie. En effet, chaque concentrateur peut constituer une centrale énergétique en soi, permettant l'installation d'un seul ou de toute une série de concentrateurs paraboliques, selon l'espace disponible. [5]

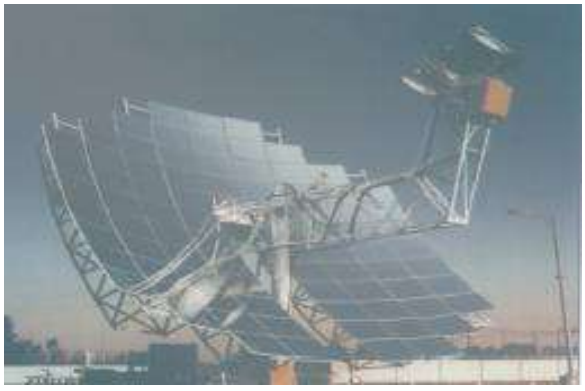


Figure I.14: Concentrateur parabolique [5].

I.8 CHOIX DES CONCENTRATEURS POUR EXPLOITER LE SOLEIL

L'une des caractéristiques principales des concentrateurs est qu'ils permettent de collecter l'énergie du soleil et de porter cette dernière à une haute température. Théoriquement, un concentrateur pourrait porter l'énergie solaire à la même température que la surface du soleil, soit environ 6000 K. [6]. Ceci nous amène à parler de qualité d'énergie en terme de potentiel thermodynamique. [5, 7].

I.8.1. UTILISATION DIRECTE

Une façon simple d'utiliser l'énergie des concentrateurs est de transformer directement cette dernière en leur foyer. Le meilleur exemple est, tel que vu précédemment, un concentrateur parabolique de grand format dont le foyer est équipé d'un engin thermique qui transforme le rayonnement solaire concentré en électricité [5].

I.8.2. PRINCIPE DE CAPTATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Le capteur plan est considéré comme un simple absorbeur de rayonnement solaire direct et diffus qui les transforme en chaleur. Le rayonnement solaire est non seulement absorbé par le ciel, mais aussi par tout l'environnement [8]. Un capteur plan est relativement insensible aux conditions du ciel, dont la réalisation ne demande pas une conception compliquée. Cependant, la conception d'un collecteur avec effet de concentration, fait appel à des techniques plus au moins complexes, dont le principe consiste à focaliser le rayonnement incident sur un absorbeur de surface réduite que la surface d'ouverture du collecteur, afin d'augmenter la concentration du rayonnement direct aux niveaux de l'absorbeur. Les capteurs plans utilisent le rayonnement diffus provenant du ciel et du sol, par contre les concentrateurs n'utilisent que le rayonnement direct. La figure I.15 montre le principe de captation par les deux types de conversion thermique de l'énergie solaire.

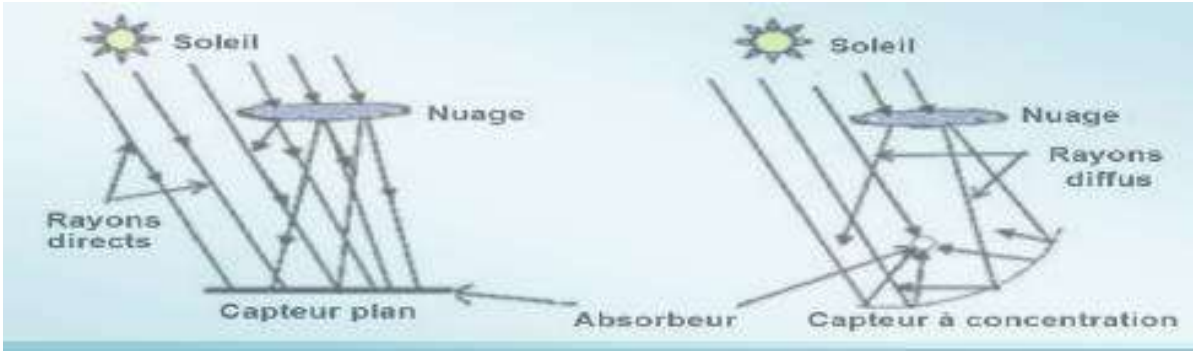


Figure I.15: Principe de captation de l'énergie solaire. [9]

Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques (CCP) pour concentrer les rayons solaires respectivement dans un foyer ponctuel ou linéaire. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement, ces concentrateurs doivent suivre le mouvement apparent du soleil. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 °C.

On peut obtenir des températures plus élevées jusqu'à 1500 °C pour les concertateurs ponctuelles. Ces types de collecteurs solaires sont plus adaptés pour la production de chaleur industrielle et d'électricité. L'utilisation des systèmes à concentration présente des avantages et des inconvénients. [9]

I.9. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUE

Les systèmes photovoltaïques présentent un grand nombre d'avantages et d'inconvénients qui sont: [10]

I.9.1. AVANTAGE Les systèmes photovoltaïques ont plusieurs avantages:

- ils sont non polluants sans émissions ou odeurs discernables.
- une haute fiabilité car l'installation ne comporte pas de pièces mobiles, ce qui les rend particulièrement appropriée aux régions isolées, d'où leur utilisation sur les engins spatiaux.
- ils ont une longue durée de vie
- les frais et les risques de transport des énergies fossiles sont éliminés. [11]

I.9.2. INCONVENIENTS

- La fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie, ce qui rend le coût très élevé.
- ils sont tributaires des conditions météorologiques. [11].

I.10. RAYONNEMENT SOLAIRE

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre *150.10 6 Km*, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante *180.10 6 GW*, c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux autres sources d'énergie. Cette quantité

d'énergie quittera sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique compris dans une longueur variant de *0.22* à *10 μm* [12], l'énergie associe à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit: *-9 %* dans la bande des ultraviolets (< à *0.4μm*). - *47 %* dans la bande visibles (*0.4* à *0.8 μm*). - *44 %* dans la bande des infrarouges (> à *0.8μm*).

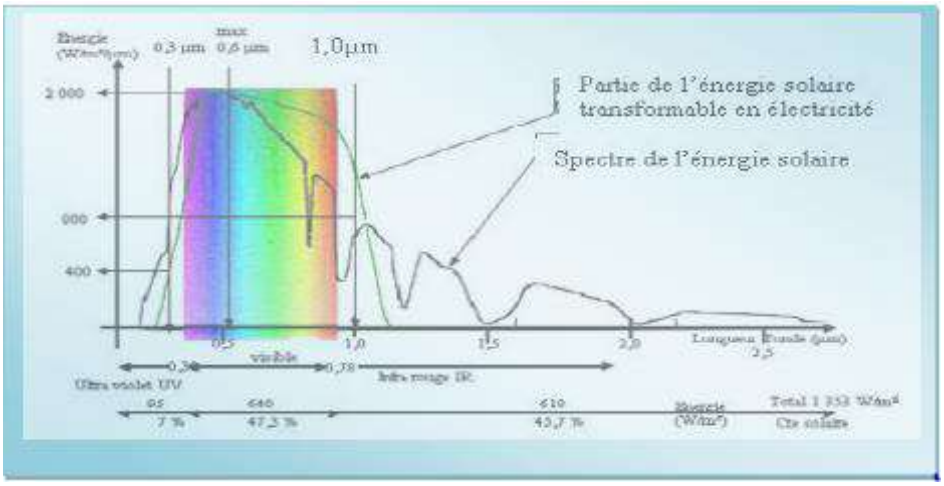


Figure I.16: Réponse spectrale d'une cellule (PV) [11.12].

Au cours de ces dix derniers années ce spectre à été homologués par l'organisation internationale de standardisation (ISO 9845-1 :1992) et la société américaine de test et de matériaux (ASTM E 892-87 :1992) ont fixées le flux de standardisation à *1000 W/m.* Cette énergie est définie comme paramètre solaire qui à une valeur variable suivant la saison, l'heure, la localisation géographique du site, les conditions météorologiques (poussière, humidité,…etc.)[11].

I.10 CONCENTRATEURS SOLAIRES VI.1. CONCENTRATEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE

Les caloducs (Collecteur solaire cylindro – parabolique) représentent la méthode passive la plus effective de transférer de grande quantité de chaleur sous de faibles gradients de températures. Depuis leur invention, différents types ont été réalisés, testés et mis en fonctionnement [13-16].

Le principe de fonctionnement des caloducs reposent d'une part sur le déplacement des fluides par capillarité et d'autre part sur le transfert d'énergie calorifique par vaporisation puis condensation d'un fluide entre deux températures.

La structure capillaire assure le transfert calorifique dans n'importe quelle position par rapport à l'horizontale même à l'encontre de la gravité conférant à ce dispositif une maniabilité et des performances de transfert calorifique sans commune comparaison avec tous les autres modes classiques de transfert de chaleur. Ce dispositif offre une conductibilité thermique de 100 à 10000 fois celle du meilleur conducteur métallique [17].

Les caloducs sont utilisés dans diverses applications couvrant pratiquement l'ensemble des températures rencontrées dans les processus de transfert thermique [18-19]. Ces applications vont des applications à basse température, telles que les sondes cryogéniques utilisées en médecine pour traiter les tumeurs et les caloducs à hélium liquide pour refroidir les cibles dans les accélérateurs de particules élémentaires, aux nouvelles techniques de mesures dans la gamme des températures de 2000 °C à 3000 °C, en passant par les applications de refroidissement des composants électroniques et les techniques de captation et de conversion de l'"énergie solaire[20 -23].

Dans le présent article, l'étude est consacrée à la réalisation et au dimensionnement d'un caloduc utilisé dans un collecteur solaire cylindro-parabolique. Le schéma de ce collecteur est montré en figure I.17. Ce caloduc de 3 mètres de long exploite l"adaptation d"un flux solaire concentré au moyen d'un collecteur cylindro- parabolique à miroirs segmentés en position altazimutale [24].

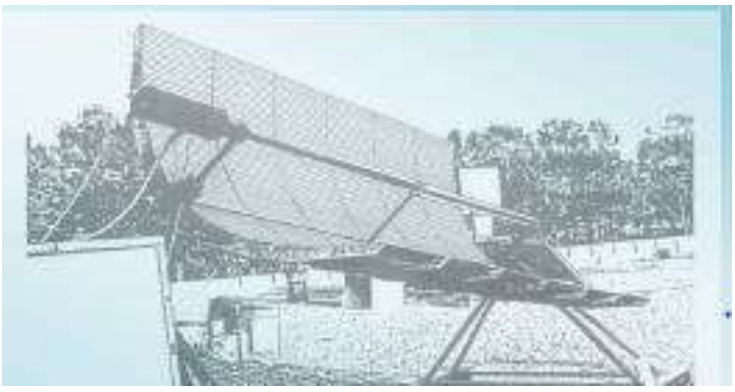


Figure I.17: Collecteur solaire cylindro – parabolique à caloduc (ENITA- Algérie). [24].

Les systèmes solaires à concentration offrent la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, les températures pouvant aisément dépasser les500 °C et le rendement de conversion généralement élevé . Comme son nom l'indique, ce système utilise une série de longs réflecteurs cylindriques en forme de parabole (Figure I.18). La parabole concentre la lumière sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. Les

températures peuvent atteindre aisément les 500 °C et peuvent produire de la vapeur afin de fournir de l'électricité, [25-26.].



Figure I.18: Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique. [27]

I.10.1. LE CONCENTRATEUR STATIONNAIRE

L'installation d'un concentrateur cylindro-parabolique nous dispositif de poursuite solaire exige une inclinaison optimale du concentrateur, généralement égale à la latitude du lieu et une orientation vers le sud en horizontal (figure I.19). Ce type d'installation est appelé concentrateur stationnaire.

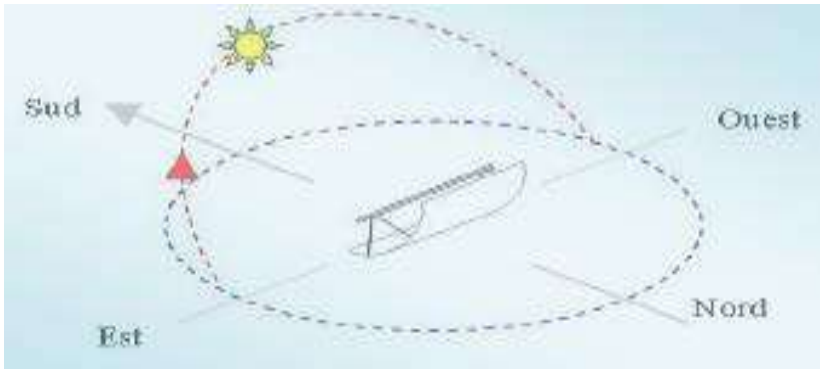


Figure I.19: Concentrateur stationnaire orienté vers le sud. [27]

Afin de connaître l'efficacité du système réalisé, certains chercheurs [28] ont effectué des tests sur un concentrateur. En premier lieu, en état stationnaire (sans poursuite solaire), orienté vers le sud, sans pompe de circulation du fluide caloporteur et selon différentes inclinaisons, ils ont essayé de trouver l'angle optimal d'inclinaison du système.[27]

Au cours de ces tests expérimentaux. les températures qui ont été mesuré au niveau du foyer tout au long d'une journée: la température du fluide caloporteur (tfc), la température du

tube absorbeur (Tabs), la température ambiante (Ta) et le rayonnement solaire (Eh). Les tests entrepris pour une inclinaison de 30° et un jour clair ont donné les résultats suivants: [27]



Figure I.20: Rayonnement solaire incident sur un plan horizontal [27]

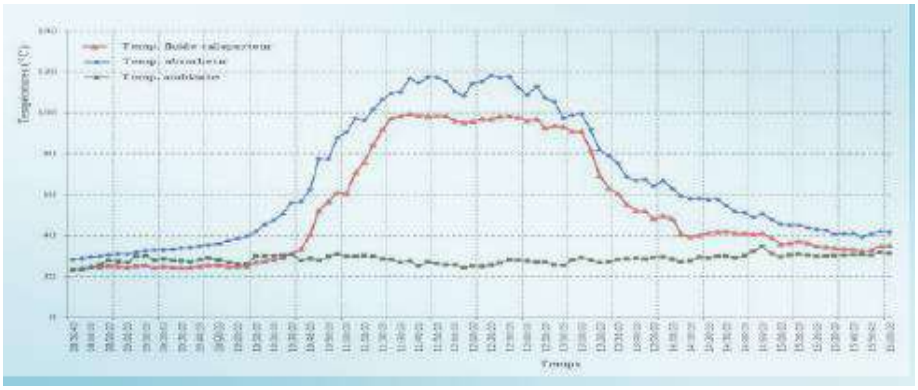


Figure I.21: Résultats obtenus pour les températures suivant le test . [27] (Concentrateur stationnaire, angle d'inclinaison: 30°).

I.10.2.RENDEMENT DU CONCENTRATEUR SOLAIRE

Pour la détermination du rendement du concentrateur, l'expression suivante est utilisée dans plusieurs références [29].

$$\eta=Q_u/(E\times A_0\times\gamma)$$

γ : Facteur optique du collecteur.

A_0 : Surface d'ouverture du concentrateur cylindro-parabolique.

E : Rayonnement solaire incident, (W/m2).

Q_u : la puissance gagnée au collecteur [27].

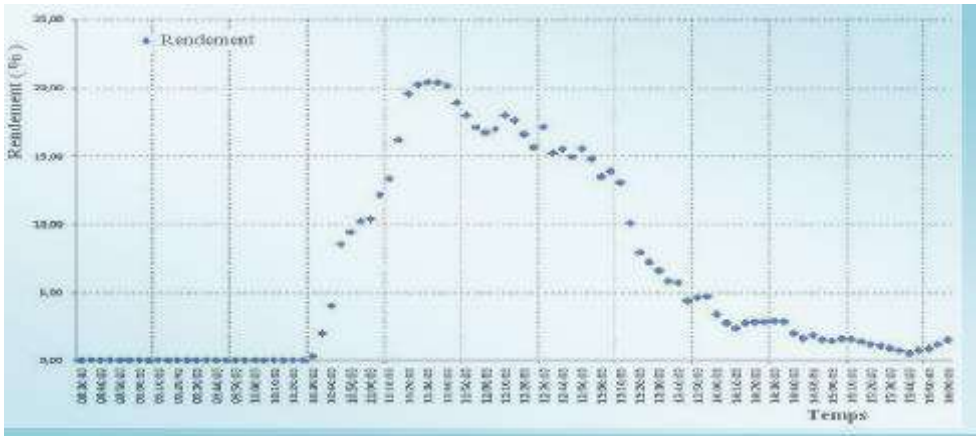


Figure I.22: Rendement du concentrateur cylindro-parabolique stationnaire. [27] Dans l'étape suivante, ils ont essayé d'augmenter ce rendement en utilisant un système de poursuite solaire (aveugle) tout en minimisant les pertes thermiques. Les tests sont effectués pour une inclinaison optimale du concentrateur. [27].

I.11. CENTRALES A TOUR

Les centrales solaires à tour sont constituées de nombreux miroirs concentrant les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour. Les miroirs uniformément répartis sont appelés héliostats. Chaque héliostat est orientable, et suit le soleil individuellement et le réfléchit précisément en direction du receveur au sommet de la tour solaire.

Le facteur de concentration peut dépasser 1000, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 600 °C à 1000 °C [30].



Figure I.23: Centrales à tour [30]

I.12 CENTRALES A CAPTEURS PARABOLIQUES

Ayant la même forme que les paraboles de réception satellite, les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils s'orientent automatiquement et suivent le soleil sur deux axes afin de réfléchir et de concentrer les rayons du soleil vers un point de convergence appelé foyer. Ce foyer est le récepteur du système.

Il s'agit le plus souvent d'une enceinte fermée contenant du gaz qui est monté en température sous l'effet de la concentration. Cela entraîne un moteur Stirling qui convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique puis en électricité.

Le rapport de concentration de ce système est souvent supérieur à 2000 et le récepteur peut atteindre une température de 1000 °C.

Un de leurs principaux avantages est la modularité : ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique. Pour ce type de système, le stockage n'est pas possible [30].



Figure I.24: Concentrateurs centrales à capteurs paraboliques. [30].

I.13 APPLICATIONS D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN « CONCENTRATEURS »

Au-delà des applications actuelles (production d'électricité, appoint solaire de centrales, production de vapeur pour procédés industriels), la technologie solaire thermodynamique pourra, dans les prochaines années, être employée pour d‟autres usages et applications [30].

I.13.1. PROCEDES INDUSTRIELS

De nombreuses industries utilisent des procédés faisant appel à la haute température : stérilisation, chauffage, cuisson, traitement thermique, fusion, distillation, blanchissement, etc. Certaines technologies solaires thermodynamiques et notamment les collecteurs cylindro-paraboliques et miroirs de Fresnel sont appropriées pour ces applications.

Elles peuvent être envisagées dans le cas d'une installation couvrant une gamme entière d'industries utilisant des procédés haute température [30].

I.13.2 DESSALEMENT

Le dessalement est le processus de transformation de l'eau de mer en eau potable. Les régions souffrant le plus d'une pénurie d'approvisionnement en eau potable sont souvent celles qui reçoivent les grandes quantités de radiation solaire. Parce qu'il est compatible avec des zones chaudes et sèches, le solaire thermodynamique pourra être mis à contribution pour dessaler l'eau de merde ces pays en minimisant l'impact environnemental de ce procédé par rapport aux technologies actuelles. [30]

I.13.3 PLAN SOLAIRE MEDITERRANEEN (PSM)

Ce programme, lancé le 13 juillet 2008 par l'Union pour la Méditerranée (UPM) a pour objectif de permettre aux pays situés sur le pourtour méditerranéen, en Afrique du Nord et au Proche-Orient, de développer une production d'électricité d'origine renouvelable par la construction de capacités additionnelles de production d'électricité [30].

I.13.4. MEDGRID

Le projet Medgrid s'inscrit dans le cadre du Plan Solaire Méditerranéen. Cette initiative industrielle a pour objet d'étudier la faisabilité d'un réseau de transport de l'électricité entre les rives nord et sud de la Méditerranée et le développement des interconnexions autour du bassin méditerranéen [30].

I14. MODELE DU MOTEUR STIRLING

Le moteur Stirling est un moteur externe de la chaleur (ou combustion) qui a la chaleur convertie de l'amortisseur à la transmission mécanique en quelque sorte assimilée aux moteurs à combustion interne. À la différence des moteurs à combustion interne, la chaleur est appliquée extérieurement à la tête de chaufferette de piston dans ce moteur Stirling. Puisque le

moteur Stirling se fonde sur une source externe pour l'entrée de chaleur, le cycle lui-même fonctionne comme un système fermé puisque le liquide de fonctionnement est contenu dans les cylindres et pas mis à l'air libre comme des gaz d'échappement des moteurs à combustion interne.

L'addition d'un régénérateur améliore le rendement du moteur par un pré-refroidissement du fluide de travail lors de son déplacement à partir de l'espace de dilatation de la chambre de compression, et le préchauffage du fluide de travail lors de son déplacement à partir de l'espace de compression dans l'espace d'expansion.

Le fluide de travail est souvent un atome d'hydrogène, qui est chauffé à plus de 700 ° C à une pression maximale autour de 20 MPa ce qui donne un rendement thermique-mécanique d'environ 40% [31]. La chambre de compression est refroidie par une boucle de fluide réfrigérant qui circule un fluide secondaire à travers un radiateur commun automobile avec refroidissement à air pulsé fourni par un ventilateur [32].

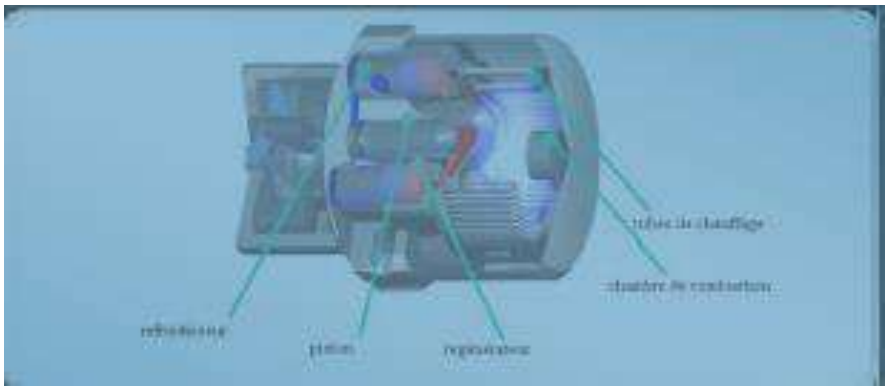


Figure I.25 : Composants internes du moteur Stirling [33].

I.14.1. AVANTAGES DES MOTEURS STIRLING

1. L'efficacité maximale potentielle pour un moteur thermique fonctionnant entre les mêmes températures.

2. Vibrations minimales.

3. Moteurs Stirling ont un fonctionnement comme un réfrigérateur ou une pompe à chaleur [32 .34].

I.15.2. DESAVANTAGES DES MOTEURS STIRLING

1. Moteurs Stirling ont souvent une réponse plus lente à une augmentation ou une diminution de la charge.

2. Joints d'hydrogène ou de l'hélium peuvent être problématiques pour les moteurs Stirling cinématiques [32 .34].

I.15.3. TYPES DES MOTEURS STIRLING

Il y a deux types courants de moteurs Stirling qui ont été utilisées pour la production d'énergie : cinématique et le moteur à pistons libres [32].

I.16.. RECYCLAGE

Est un procédé de traitement des métaux, plastiques, déchets (déchet industriel ou ordures ménagères) qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui composaient un produit similaire arrivé en fin de vie, ou des résidus de fabrication. . Barack Obama instaure une journée du recyclage (*America Recycles Day*) le 15 novembre en 2009. [35].



Figure I.26: les déchets recyclent. [3.5].

I.16.1 DIFFERENTS TYPES DE RECYCLAGE

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz [36].

I.17 CONCLUSION

L'utilisation des énergies renouvelables et la protection de l'environnement est culture mondiale. L'exploitation des matériaux abandonnés ou recyclés est une obligation économique et environnementale. Il existe de nombreuses méthodes qui doivent être prises en complet pour l'exploitation de l'énergie solaire par des projets basés sur les concentrateurs solaires non difficiles et facilement à réaliser.

Chapitre II:
TECHNOLOGIE DES CONCENTRATEURS SOLAIRES

II.1 INTRODUCTION

Le coût des systèmes d'énergie solaire varie considérablement et cela dépend de nos besoins et la technologie des concentrateurs solaires. Pour comprendre les différentes conceptions et différents méthodes expérimentales, nous avons consacré ce chapitre pour présenter les étapes essentielles de fabrication des concentrateurs solaires, paraboliques, cylindro-parabolique, central à tour …etc. La station hybride de Hassi R'Mel (sud de l'Algérie) est présentée comme un projet algérien.

II.2 LES MATERIAUX UTILISES DANS LA TECHNOLOGIE DES CONCENTRATEURS SOLAIRES

Il est constitué d'un long miroir (généralement recouvert d'un plaquage en argent ou en aluminium poli), rectangulaire, en forme de cylindre parabolique et, complété par un tube à double enveloppe sous vide (tube Dewar) qui court sur toute sa longueur le long de la droite focale [1].

II.2.1 MIROIR

Un miroir est un objet possédant une surface suffisamment polie pour qu'une image s'y forme par réflexion et qui est conçu à cet effet. C'est souvent une couche métallique fine, qui, pour être protégée, est placée sous une plaque de verre pour les miroirs domestiques (les miroirs utilisés dans les concentrateurs solaires comportent la face métallique au-dessus, le verre n'étant qu'un support de qualité mécanique stable).



Figure II.1 : le miroir [1].

II.2.3 ARGENT

L'argent (du latin *argentum, i* de même sens) est un élément chimique de symbole Ag et de numéro atomique 47. L'argent est un métal précieux. Une solution de nitrate d'argent, desoude, d'ammoniaque et de sucre (ou de formaldéhyde) est utilisée pour déposer une couche d'argent sur le verre. Le verre étant préalablement traité avec SnCl2. L'argent a une bonne résistance à l'effort.



Figure II.2 :l'élément chimique Ag [1].

II.2.4 ALUMINIUM

L'aluminium est l'élément chimique de numéro atomique 13, de symbole Al. Il appartient au groupe 13 du périodique ainsi qu'à la famille des métaux pauvres. Le corps simple aluminium est un métal malléable, de couleur argent, remarquable pour sa résistance à l'oxydation et sa faible densité. C'est le métal le plus abondant de l'écorce terrestre et le troisième élément le plus abondant après l'oxygène et le silicium ; il représente en moyenne 8 % de la masse des matériaux de la surface solide de notre planète. L'aluminium est trop réactif pour exister à l'état natif dans le milieu naturel : on le trouve au contraire sous forme combinée dans plus de 270minéraux différents, son minerai principal étant la bauxite, où il est présent sous forme d'oxyde hydraté dont on extrait l'alumine. Il peut aussi être extrait de la néphéline, de la leucite, de la sillimanite, de l'andalousite et de la muscovite. [1].



Figure II.3 : l'élément chimique Al [1].

II.3. TUBE SOUS VIDE

Un tube sous vide est un type de tube utilisé dans les capteurs solaires thermiques. Souvent présentée comme avant-gardiste, cette technologie, développée initialement par l'université de Sydney en Australie à partir de 1975 fut industrialisée initialement au Japon puis son développement s'en trouva fortement amplifié par une externalisation de la production vers la Chine, où ils sont maintenant très répandus.



Figure II.4 : Capteur solaire thermique à tubes sous vide

II.3.1.LES DIFFERENTS TYPES DE TUBES SOUS VIDE

II.3.1.1.TYPES D'ISOLATION

Double tube sous vide : ce sont deux tubes de borosilicate (pyrex) soudés aux extrémités (fusion entre 1 400 °C et 1 600 °C, travail vers800 °C environ2). Fonctionnant sur le système du vase Dewar, le vide () est créé entre les deux tubes et un témoin en baryum permet d'en vérifier le maintien. Très généralement l'absorbeur est en fait une couche absorbante déposée sur la face externe du tube intérieur. La chaleur doit donc traverser par conduction le tube

intérieur. Cette disposition entraîne que l'efficacité du tube ne dépend pas trop de l'angle d'arrivée des rayons solaires, tant que le tube voisin ne fait pas d'ombre. Le transport de chaleur est à l'intérieur du tube intérieur, donc à pression ambiante [1].

Tube sous vide : il est constitué d'un simple tube sous vide dans lequel sont fixés l'absorbeur thermique et la conduite du fluide caloporteur ; le coût de fabrication est moindre, la performance est souvent meilleure, grâce à l'absorbeur métallique, mais la durée de vie peut être moins longue que pour la technologie précédente. En effet, il comporte une ou deux traversées verre/métal, contrairement au double tube (risque de perte du vide par la différence de comportement verre/métal, la dilatation thermique entre les matériaux pouvant être de 2 et 5 fois).

II.3.1.2.TYPES DE TRANSPORT DE CHALEUR

Le fluide caloporteur parcourt le tube en aller retour, soit par un tube en U, soit par deux tubes concentriques. La chaleur est transportée vers le collecteur par caloduc. Il s'agit d'un tube de cuivre entièrement fermé, vide d'air, contenant une petite quantité de liquide (à base d'eau) et en contact, dans le collecteur, avec la conduite du fluide caloporteur [1].

II.4. CONCENTRATION PARABOLIQUE

II.4.1. HISTORIQUE

Depuis 30 ans de nombreux prototypes (figure II.05) ont vu le jour, l'objet principal a été d'augmenter les performances et de diminuer les coûts [2].

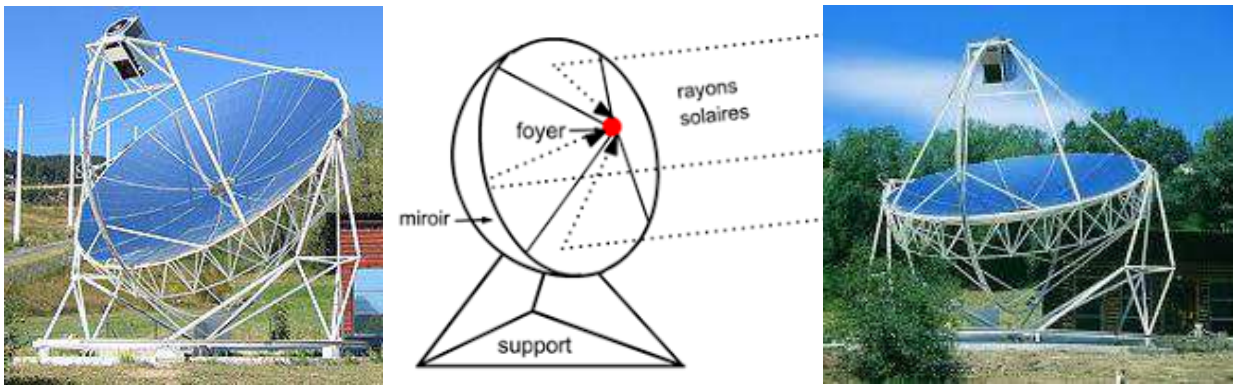


Figure II.5 : Concentrateurs paraboliques. [2].

II.4.2.DESCRIPTION

Les concentrateurs solaires paraboliques sont formés par un ensemble de miroir incurvés dont l'assemblage entraine la réalisation d'une parabole. Ressemblant à des paraboles de réception satellite, les concentrateurs paraboliques sont en 3 dimensions. En effet, ils forment une courbe de la même manière sur toute leur longueur et la largeur. Les concentrateurs sont bordés de miroirs ou recouverts d'un revêtement réfléchissant tel que l'aluminium. Bien entendu, l'utilisation de certains revêtements entrainera des résultats plus élevés dans la réflectivité. Plus la réflectivité sera grande, plus les concentrateurs solaires seront puissants [2].

II.4.3.PRINCIPE

Par principe, lorsque la lumière frappe une surface réfléchissante, elle rebondit sur le même angle. Le concentrateur solaire parabolique à été conçu avec des miroirs incurvés de sorte que toute la lumière reflète en un seul point, peu importe où elle frappe la surface du concentrateur. La distance entre la surface du concentrateur et le point où la lumière se concentre est la distance focale. Le capteur solaire réfléchit les rayons du soleil sur un point appelé point de convergence. Un concentrateur parabolique solaire correspond donc à un ensemble de miroirs incurvés qui concentrent tous les rayons du soleil incidents en un seul point correspondant au foyer ponctuel [2].

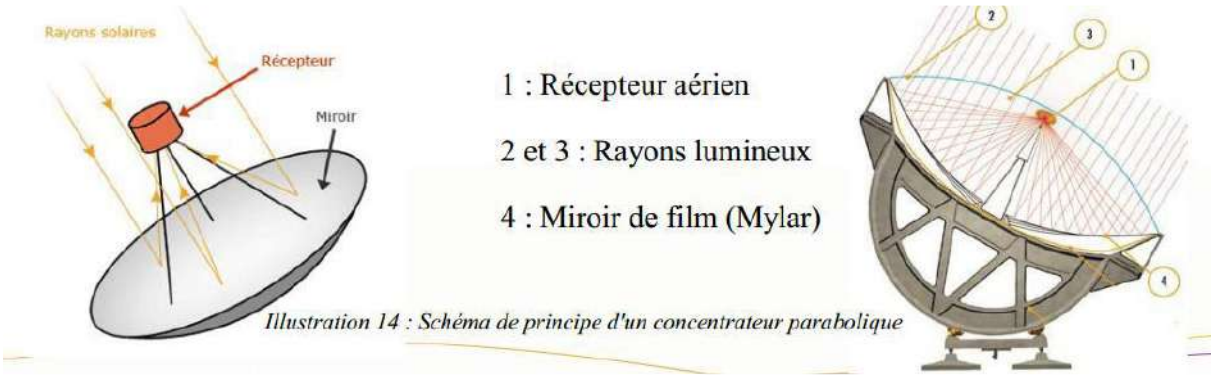


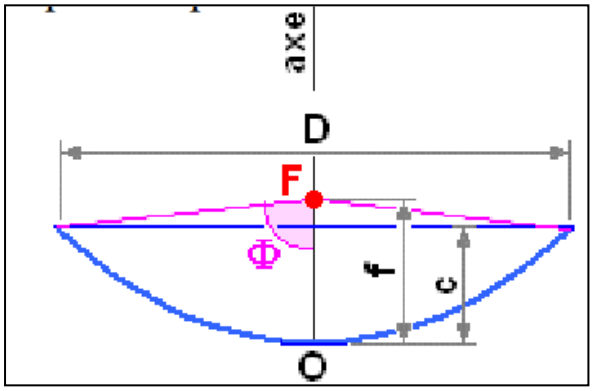
Figure II.6 : schéma de principe d'un concentrateur parabolique [3].

II.5. CALCUL DE LA DISTANCE FOCALE d'UNE PARABOLE

II.5.1.THEORIQUEMENT

Une surface parabolique d'axe z admet une équation du type $z = r^2/(4f)$ où r représente la distance à l'axe z et donc le rayon. f correspond à la distance entre le foyer et le creux de la

surface parabolique. Or pour la cote z = f, les rayons verticaux arrivant sur la pente à 45° sont renvoyés horizontalement vers le foyer. De ce fait, pour trouver le foyer il suffit de reprendre l'équation précédente et de remplacer z par f.



La distance focale f d'une parabole est le segment OF reliant le "fond" du réflecteur au foyer F. Elle peut être facilement retrouvée à l'aide de la formule :

$$f = \frac{D^2}{16.c}$$

Avec D : diamètre du paraboloïde. c : profondeur.

Pour calculer le diamètre de la parabole, nous avons pris une corde que nous avons tenu de façon rectiligne sur notre parabole puis nous avons mesuré simplement avec une règle la distance D en prenant bien soin de faire passer notre corde par l'axe de la parabole. Nous avons trouvé d = 65 cm et 73 cm. Pour calculer la profondeur du paraboloïde, nous avons utilisé une corde que nous avons placée de façon à ce qu'elle soit rectiligne. Puis, nous avons mesuré c en posant une règle sur le réflecteur et en mesurant la distance entre le point O, centre du réflecteur, et la corde. Nous avons trouvé deux profondeurs différentes étant donné que notre parabole n'était pas tout à fait paraboloïde. Nous avons trouvé c = 8,5 et 8 cm. Pour le calcul, nous avons posé c = 8,25cm. Par un calcul théorique, nous avons donc trouvé que la distance focale était d'environ 35 cm [2].

II.6 GENERALITES SUR LES CAPTEURS SOLAIRES

Dans La centrale hybride de Hassi R'mel utilise les capteurs solaire cylindro-paraboliques [3].

II.6.1CENTRALES A MIROIRS CYLINDRO-PARABOLIQUES

II.6.1.1.DIFFERENTES PARTIES DU COLLECTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUES

Le collecteur est la composante de base du champ solaire. Il est composé d'un :

- **Réflecteur (miroirs)** Ils Sont composés de verre pauvre en fer, dont la transitivité atteint 98%. Ce verre est recouvert d'une pellicule d'argent en sa partie inférieure, et d'un enduit spécial de protection. Un réflecteur de bonne qualité peut réfléchir 97% du rayonnement incident [3]



Figure II.7: Montage d'un élément de récepteur tubulaire sur un capteur cylindro-paraboliques. [3].

- **Mécanisme de poursuite** Est pour le rôle d'adapter l'inclinaison du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur. De cette manière, la radiation est réfléchie au foyer de la parabole et concentrée sur un tube récepteur dans lequel circule le fluide caloporteur [3]

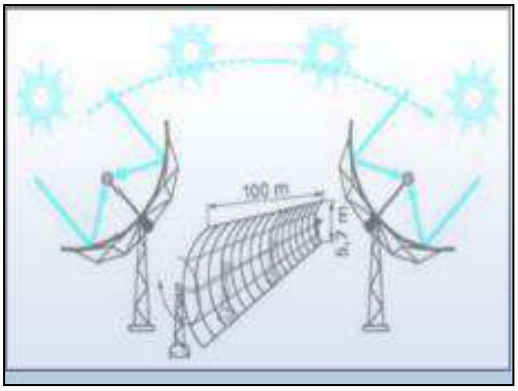


Figure II.8: Poursuite du soleil par un capteur cylindro-paraboliques. [3].

Le tube collecteur (l'absorbeur) Doit avoir les caractéristiques suivantes :

✓ **Bonne absorption du rayonnement:** son coefficient d'absorption doit être aussi élevé que possible afin d'éviter toute réflexion du rayonnement incident.

- ✓ **Pertes thermiques limitées:** La température du tube dépassant généralement 400°C, les pertes par échanges convectifs et radiatifs sont très importantes. Afin de les limiter, le tube est entouré d'une enveloppe de verre sous vide **[3,4].**

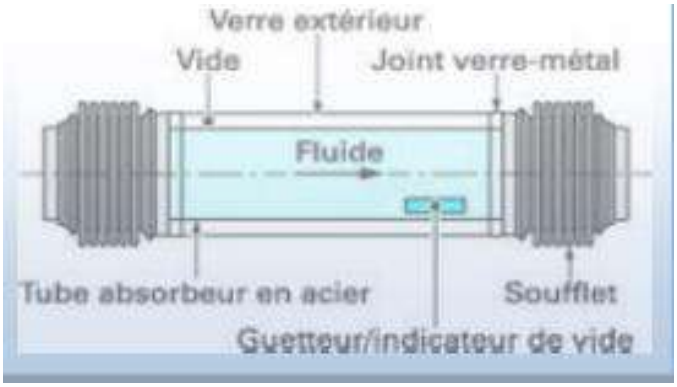


Figure II.9: Concept de récepteur tubulaire pour capteur cylindro-parabolique.

II.7. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Ce type de centrale se compose d'alignements parallèles de longs miroirs hémicylindriques, qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil. Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même. La température du fluide peut monter jusqu'à 500° C. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité **[3,4].**

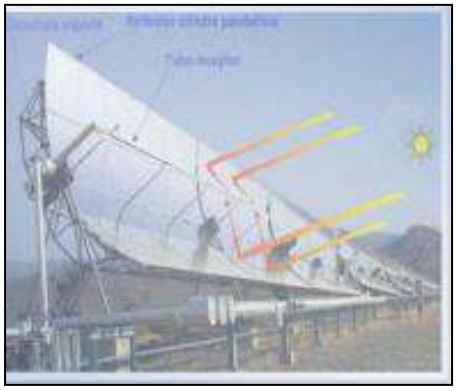


Figure II.10: Schéma d'une ferme de miroirs cylindro-paraboliques (haut), et une vue latérale montrant comment un MCP concentre la lumière solaire à son point focal. **[3].**

II.8. FLUIDES CALOPORTEURS ET FLUIDES DE TRAVAIL

L'eau et les huiles thermiques sont les fluides les plus utilisés actuellement. L'eau comme simple caloporteur montre ses limites : température peu élevée, échangeur-

évaporateur pour produire la vapeur. Les huiles ont aussi leurs limites en température. Le risque de pollution conduit aussi à écarter les huiles thermiques. Les recherches se concentrent donc sur les alternatives les plus sérieuses : la génération directe de vapeur, l'air sous pression (ou autre gaz), les sels fondus **[3,4].**

la première centrale hybride solaire-gaz en Algérie. Il s'agit de le centrale hybride solaire-gaz hassi R'mel. Elle a été inaugurée le 14 Juillet 2011. Cette centrale a été dénommé SPP1, du nom de l'entreprise qui l'a réalisée, (Solar Power Plant One). Les principaux actionnaires de SPP1 sont : ABENER à hauteur de 51%, NEAL (New Energy Algeria), 20%, COFIDES (une compagnie espagnole de financement de projets dans les pays en voie de développement) 15% et SONATRACH 14%.

Le centrale SPP1 est située à 494.5 km au sud de la capitale Alger, à la limite sud de la wilaya de Laghouat. Elle est implantée sur un terrain qui s'étend sur une superficie de 130 hectares. On y accède par la route nationale N° 1. L'existence d'un réseau électrique le long de la RN 1 a favorisé le choix de ce site. **[3].**



Figure II.11: Centrale hybride solaire-gaz hassi R'mel.**[3].**

La région de Hassi R'mel est caractérisée par les conditions météorologiques : humidité relative de 24%, pression atmosphérique égale à 0.928 bar, vitesses du vent qui varient entre 2.14 et 4.15 m/s, températures extrêmes qui varient de -10°C en hiver à +50°C en été et insolation normale directe DNI (Direct Normal Irradiation) qui peut atteindre un maximum de 950 W/m2 en été. **[5]**26

Cette centrale est composée de deux parties, le champ solaire et le cycle combiné. Le champ solaire est constitué de capteurs cylindro-paraboliques.

Le cycle combiné est constitué de 2 turbines à gaz (fonctionnant au gaz naturel) dont la puissance nominale unitaire est de 40 MW. La chaleur de combustion de ces turbines est récupérée dans deux chaudières horizontales à circulation naturelle. Ces dernières font fonctionner une turbine à vapeur d'une puissance nominale de 80MW

Il est à noter que le point fort de cette centrale hybride est l'ajout de la vapeur produite par le champ solaire à celle récupérée des turbines à gaz pour alimenter la turbine à vapeur. La puissance électrique produite par la centrale augmente en conséquence. **[3,6].**

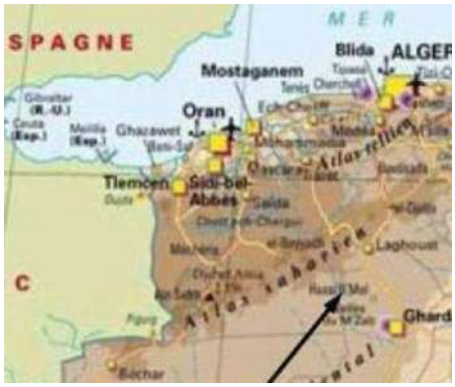


Figure II.12: Aperçu de plante.

II.9. TAUX DE CONCENTRATION

La définition la plus commune du taux de concentration est basée sur la notion surface. Elle est donnée comme étant le rapport de la surface de l'ouverture à la surface du récepteur [7].

$$C = \frac{Ao}{Asr}$$

II.10. L'EXPLOITATION DE TECHNOLOGIE DES CCP EN ALGERIE

L'Algérie voit des occasions idéales de combiner le gaz naturel à l'énergie solaire en intégrant l'énergie solaire concentrée à bas des concentrateurs cylindro-paraboliques. Dans une première étape une centrale électrique hybride (gaz /solaire) est actuellement en service au sud de l'Algérie (Hassi Rmel) avec 224 concentrateurs d'une surface de 180000 m² des réflecteurs paraboliques et d'une puissance électrique solaire moyenne de 25MW (El Gharbi et al., 2011). Ce choix stratégique est motive par l'immense potentiel de l'Algerie en énergie solaire, l'énergie moyenne reçue sur une surface horizontale soit près de 1700 KWh/m² annuellement aux régions côtières, 1900 KWh/m²/an aux hauts plateaux et 2650 KWh/m²/an

aux régions Sahariennes. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme qui consacre au solaire thermique et au solaire photovoltaïque. Le solaire devrait atteindre d'ici à 2030 plus de 37% de la production nationale d'électricité selon le décret 04-92, publié au journal officiel de l'Algérie en Mars 2004. **[8].**



Figure II.13: La centrale électrique hybride de Hassi Rmel (El Gharbi et al. 2011). **[8].**

II.11. SYSTEMES CHAMP SOLAIRE

Les centrales solaires thermodynamiques utilisent une grande quantité de miroirs qui font converger les rayant solaires vers un fluide caloporteur chauffé à haute températures. pour pouvoir collecter le maximum de rayonnement solaire les miroirs réfléchissants doivent suivre la course du soleil de l'est vers l'ouest.

Le centrale hybride de Hassi R'mel est le plus grand gisement gazier en Afrique, elle constituera une source énergétique alternative et propre. Couvrant une aire de 64 hectares, elle a été réalisée pour un investissement de 350 millions/dollars en partenariat conclu en 2006 entre l'entreprise Neal (New Energy Algeria) et la société espagnole Abener.

Le champ solaire de Hassi R'mel est constitué de quatre sous champ de 56 capteur montés en parallèle, chaque sous champ solaire est répartis sur deux surfaces. Chaque surface contient 28 boucles de quatre modules regroupés en série, répartis en 2 rangées. Le module est formé de 12 segments comportant chacun plusieurs miroirs. La composante directe du rayonnement solaire incident est concentrée par les miroirs sur un récepteur situé au point focal de la parabole (Fig.14). Un fluide caloporteur HTF (Heat Transfer Fluid) circule à l'intérieur du récepteur. Le fluide chauffé, dont la température peut atteindre 393°C, passe à travers une série d'échangeurs de chaleur pour céder sa chaleur à l'eau et produire ainsi de la vapeur d'eau (générateur de vapeur solaire).

Remarque : Le montage en série nous donne le même débit et la température s'additionne par contre dans le montage parallèle on additionne le débit mais la température de sortie reste la même [9].

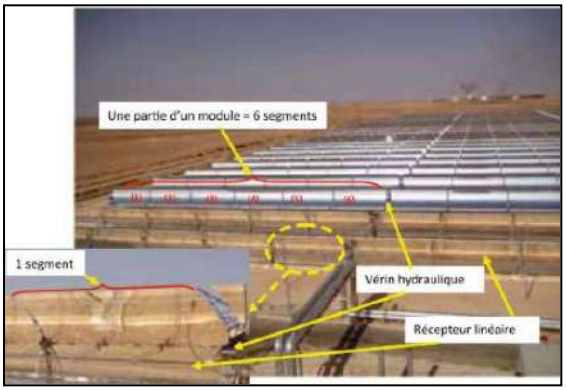


Figure II.14 : champ solaire de Hassi R'mel. **[9].**

II.12 CONCLUSION :

La technologie des concentrateurs solaire est une procédure facile et ne demande beaucoup de l'argent (elle est économique). On peut développer les simples concentrateurs pour arriver à des conceptions efficaces et modernes, comme les centrales à tour « Concentrating Solar Power » (CSP).

Chapitre III: MODELISATION MATHEMATIQUES

III.1 Introduction à la simulation :

La simulation numérique des systèmes thermiques présents de nombreux avantages dont les plus importants sont les suivants:

1. Éliminer la charge de la construction des prototypes.
2. Fournir une compréhension approfondie du fonctionnement du système.
3. La possibilité d'optimiser les composants du système.
4. Estimer le montant de la prestation de l'énergie du système.
5. Calculer la variation de la température des composants du système.
6. Estimer la performance d'un système dans des conditions météorologiques quelconques.

La première étape de la simulation numérique d'un système physique est la modélisation mathématique. La modélisation est l'art ou la science de représenter une réalité physique en des modèles abstraites accessibles à l'analyse et au calcul. Le modèle n'est qu'une approximation du système, il est conditionné par l'objectif de l'étude. La simulation numérique est le processus qui permet de calculer sur ordinateur les solutions de ces modèles, et donc de simuler la réalité physique. On distingue classiquement cinq phases différentes dans la simulation d'un système physique :

1. Recherche d'un modèle mathématique représentant la physique (mise en équation).
2. Elaboration d'un maillage (discrétisation des équations de la physique).
3. Résolution des équations discrètes.
4. Traduction informatique et programmation des relations discrètes.
5. Simulation numérique et exploitation des résultats.

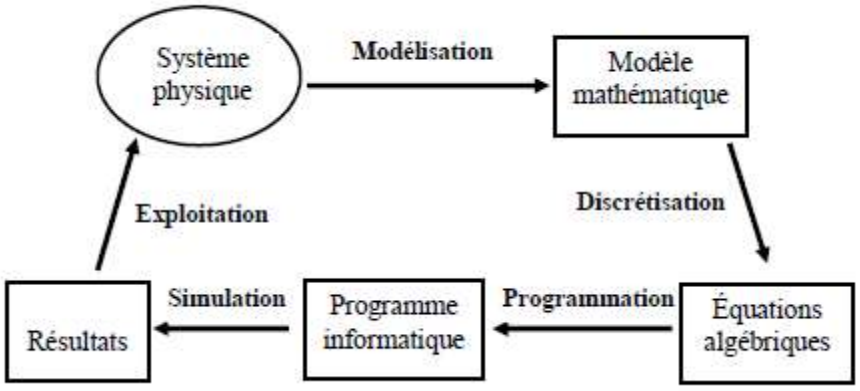


Fig.III.1 : Méthodologie d'une simulation.

La simulation généralement n'est pas une technique d'optimisation au sens propre. Elle ne peut qu'établir les performances d'une solution conçue et imaginée par l'utilisateur. C'est une technique qui ne propose pas de solution finale mais qui permet seulement à l'utilisateur d'envisager des choix possibles. En tout état de cause, c'est lui qui devra décider de ce qui répond le mieux aux problèmes posés.

Puisque le rendement des systèmes de génération d'électricité et des systèmes de réfrigération augmentent avec la température le capteur cylindroparabolique est souhaitable pour obtenir des températures plus de 100°C. Il se représente comme un module ayant un réflecteur de forme parabolique disposée cylindriquement.

Cette géométrie lui permet de focaliser l'énergie solaire incidente selon une génératrice linéaire ou est placé un tube absorbeur dans lequel circule un fluide caloporteur, cette étude a comme objectif de modéliser le phénomène de transfert de chaleur dans le concentrateur cylindro-parabolique et surtout absorbeur ou on détermine l'évolution de la température en fonction du temps de ce système ce qui fait qu'on a établi un bilan thermique global qui tient compte des différentes échanges thermique, et un modèle numérique basé sur les étapes suivantes : [2]

- L'énergie solaire reflétée par le concentrateur est tombée sur l'absorbeur. La chaleur est récupérée grâce au fluide caloporteur, celui la s'échauffe en circulant dans un absorbeur placé sous un vitrage qui laisse le rayonnement pénétrer et minimise les pertes par le rayonnement infrarouge en utilisant l'effet de serre. Ce vitrage permet aussi de limiter les échanges de chaleur avec l'environnement.

III.2. Etude Théorique et Optique du Concentrateur Cylindro-parabolique

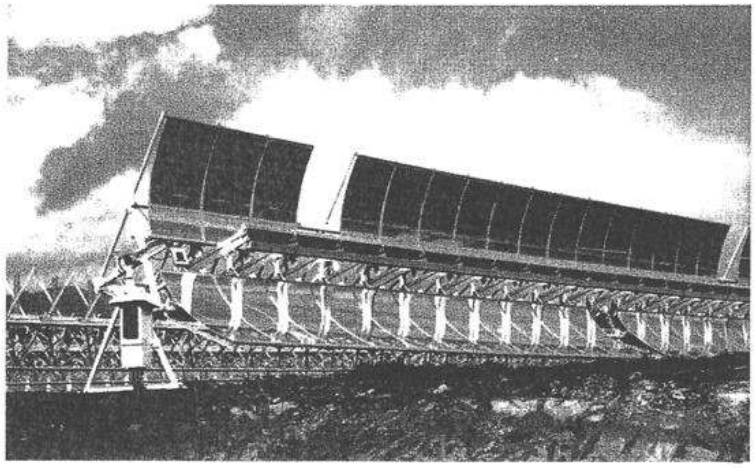


Figure III.2 Capteur Cylindro-parabolique de « l'instituto Technologico y de Energias Renovables » aux Canaries (Tenerife). La surface réfléchissante est formée d'éléments cintrés en métal poli. Au foyer se trouve un tube dans lequel circule un fluide caloporteur.

III.2.1 Concentration Idéale

En appelant L la longueur du concentrateur, la section d'ouverture s'écrit :

$$S_0 = 4\,fL\tan\frac{\theta}{4}$$

L'image de Gauss a pour surface : $S_G = F_\varepsilon$

D'où la concentration idéale $C_G = S_o/S_G$:

$$C_G = \frac{4}{\varepsilon}\tan\frac{\theta}{4}$$

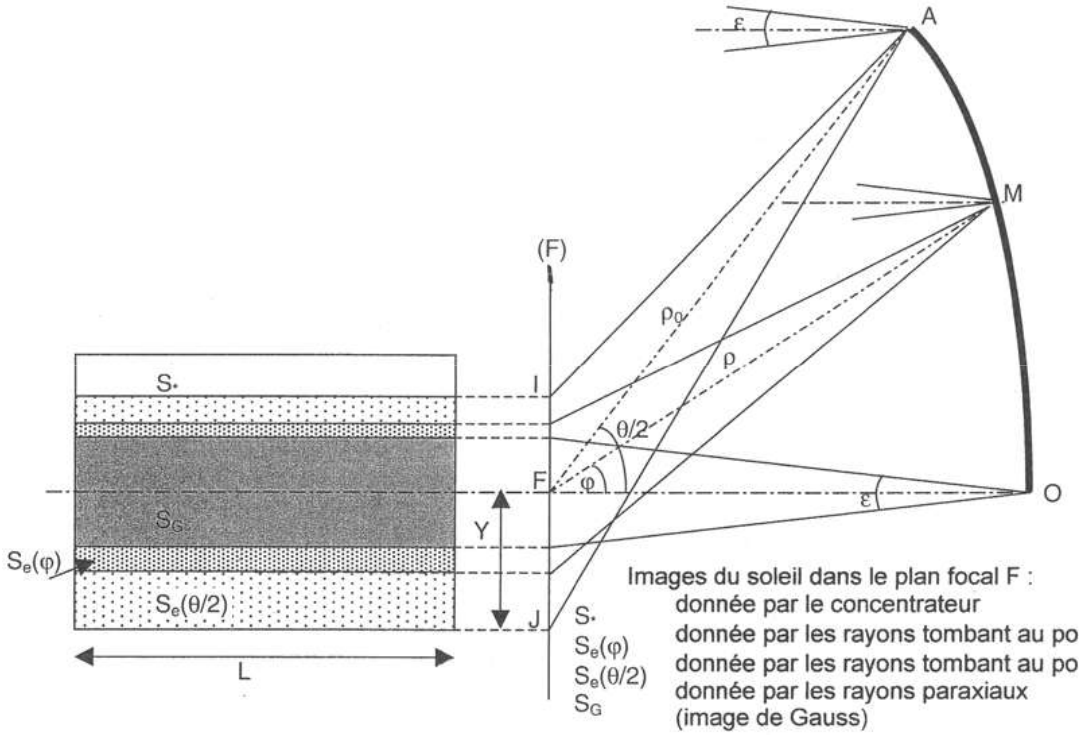


Figure III.3 Coupe méridienne d'un demi capteur cylindro-parabolique montrant les projections dans le plan focal de l'image du soleil. [1]

III.2.2. Concentration Géométrique

En posant $FJ = Y$ et $AF = \rho_o$, on a :

$$Y \approx \frac{\rho_0\varepsilon}{2\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}, S_0 = 2YL, S_0 = 2L\rho_0\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Et comme $C = S_o/S_*$, on trouve :

$$Y = \left(\frac{\sin\theta}{\varepsilon}\right)$$

III.3. Etude Théorique du Concentrateur Cylindroparabolique

III.3.1. Performances Optiques d'un Concentrateur Cylindro-parabolique

III.3.1.1. Taux de Concentration

La définition la plus commune du taux de concentration est basée sur la notion surface. Elle est donnée comme étant le rapport de la surface de l'ouverture à la surface du récepteur :

$$C = Ao/Ar$$

Ao est la surface d'ouverture, Ar la surface de l'absorbance

III.3.1.2. Facteurs Optiques [25]

Facteur d'interception σ est le facteur optique le plus compliqué dans le calcul de la performance optique d'un concentrateur CCP. Il représente le rapport entre l'énergie interceptée par l'absorbeur et celle réfléchie par les surfaces réfléchissantes. Il traduit le fait que certains rayons solaire peuvent être renvoyés vers l'extérieur du concentrateur ou bien passer à côté de l'absorbeur lorsque les surfaces optiques présentent des défauts ou des irrégularités et lorsque l'absorbeur est mal positionné dans le plan focal. Donc il dépend des propriétés optiques des matériaux utilisés. Il existe aussi que certains erreurs peuvent apparaître dans la construction du concentrateur ou le système de poursuite. Si on utilise les paramètres d'erreurs universelles appliquées pour toutes les géométries du collecteur, le collecteur d'interception σ est donné par l'équation générale suivante :

$$\gamma = \frac{1+\cos\varphi}{2\cos\varphi}\int_0^{\varphi} Erf\left[\frac{\sin\varphi(1+\cos\varphi_1)(1-2d'x\sin\varphi_1)-\pi\beta'(1+\cos\varphi_1)}{\sqrt{2\pi\sigma'(1+\cos\varphi)}}\right]$$

$$-Erf = \left[-\frac{\sin\varphi(1+\cos\varphi_1)(1-2d'x\sin\varphi_1)-\pi\beta'(1+\cos\varphi_1)}{\sqrt{2\pi\sigma'(1+\cos\varphi)}}\right]\frac{d\varphi_1}{(1+\cos\varphi_1)}$$

La fonction d'erreur *Erf* est définie comme suit :

$$Erf(y) = \frac{2}{\pi}x\int_0^{y} e^{-z^2}xdz$$

Avec : φ angle d'ouverture.

III.3.1.3. Puissance Absorbée [18]

La puissance absorbée par unité de surface d'ouverture peut être écrit comme suit :

$q_{absorbé} = I.\rho.\gamma.\tau.C$

III.3.1.4. Température de Sortie du Fluide Caloporteur Ts

$$T_s = T_e + \frac{q_4}{mcp}$$

III.3.1.5. Rendement d'un Concentrateur Solaire n

$$n = \frac{Q_{gagnée}}{A_0 I \gamma}$$

III.4.Montage

Il existe deux types de montage d'un capteur cylindro-parabolique : [16]

1. Le montage suivant l'axe du monde : le tube récepteur est parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Le suivi du Soleil nécessite un simple asservissement en rotation autour de cet axe.

2. le montage est-ouest : le tube récepteur est orienté est-ouest. Il faut orienter le capteur vers le soleil deux ou trois fois par jour pour optimiser la réception du rayonnement. Le rendement de captation est moins bon qu'avec le montage est-ouest asservi en rotation.

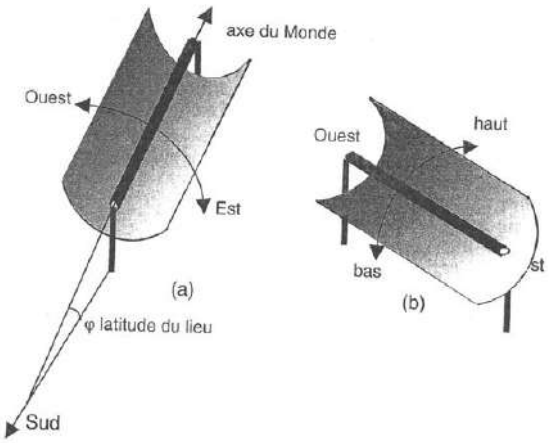


Figure III.4 Montage d'un capteur cylindro- paraboliqu e
(a) Suivant l'axe du Monde.
(b) Suivant la direction Est-Ouest [1]

III.5. Bilan Thermique

III.5.1. Entre l'absorbeur et le fluide caloporteur :

Schéma qui présente les différents transferts de chaleur dans notre prototype

D'après le bilan utilisé on a :

qgagnée : Est la quantité d'énergie gagnée par le fluide caloporteur et qui indique le transfert de chaleur entre le fluide caloporteur et le tube absorbeur.[14]

$$\Delta Q_F(x,t) = \rho_F C_F A_{abs} \Delta x T_F (x,t)$$

Et ρ_F et C_F, T_F sont respectivement la densité, la chaleur spécifique et la température du fluide caloporteur.

$A_{abs} = \pi D_{abs}$, D_{abs} = diamètre intérieur du tube absorbeur

$$Q_F\,(x,t) = \rho_F C_F\, VT(x,t)$$

V : débit volumique du fluide caloporteur.

$$\rho_F C_F A_{abs} \Delta x \frac{\partial T_F(x,t)}{\partial t} = \rho_F C_F V T_F(x,t) - \rho_F C_F V T_F(x+\Delta x,t) + q_{gagnée}^{(x,t)} \Delta x$$

La simplification de l'équation donne :

$$\rho_F C_F A_{abs} \frac{\partial T_F(x,t)}{\partial t} = \rho_F C_F V \frac{\partial T_F(x,t)}{\partial x} + q_{gagnée}^{(x,t)}$$

III.5.2. Entre l'Absorbeur et l'Enveloppe en Verre

Par analogie avec l'équation (1) la température du tube absorbeur T_2 est donnée par :

$$\frac{\partial(\Delta Q_{abs}(x,t)}{\partial t} = q_{absorbée}(t) - q_{\text{int érieur}}(x,t) - q_{gagnée}(x,t)\Delta x$$

Avec

$q_{intérieur}$ la quantité d'énergie qui indique le transfert thermique entre le tube absorbeur et l'enveloppe du verre. [14]

Q_{abs} est la quantité d'énergie solaire absorbée de la thermodynamique on a :

$$\Delta Q_{abs}(x,t) = \rho_{abs} C_{abs} A_{abs} \Delta x T_{abs}(x,t)$$

ρ_{abs}, C_{abs} et T_{abs} sont respectivement la densité, la chaleur spécifique et la température du tube absorbeur.

Puis on trouve :

$$\rho_{abs} C_{abs} A_{abs'} \frac{\partial T_{abs}(x,t)}{\partial t} = q_{absorbée}(t) - q_{\text{int érieur}}(x,t) - q_{gagnée}(x,t)$$

Ou $A_{abs'} = \pi D_{abs'}$ $D_{abs'}$ = le diamètre extérieur du tube absorbeur.

III.5.3. Bilan Thermique entre l'Enveloppe du Verre et l'Environnement

De la même façon pour la température du tube en verre T_3, on obtient :

$$\rho_v C_v A_v \frac{\partial T_v(x,t)}{\partial t} = q_{\text{int érieur}}(x,t) - q_{extérieur}$$

ρ_v, C_v et T_v sont respectivement la densité de la chaleur spécifique et la température de l'enveloppe du verre.

$A_v = \pi D_v$ D_v = le diamètre extérieur de l'enveloppe du verre.

Avec :

$q_{extérieur}$ = la quantité d'énergie qui indique le transfert thermique entre l'enveloppe du verre et l'environnement.

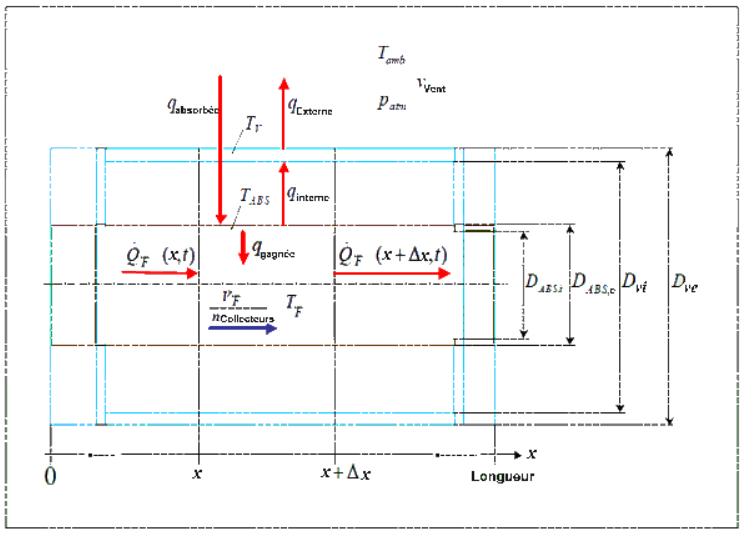
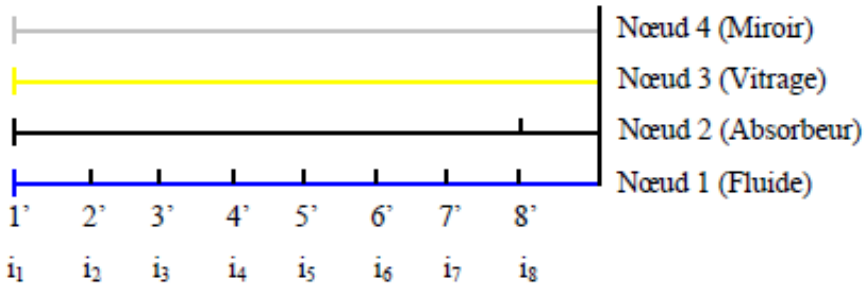


Schéma qui présente les différents transferts de chaleur dans notre prototype

*** Présentation des Noeuds de notre système**



Pour simplifier notre étude en transfert de chaleur dans notre système on représente chaque élément qui compose notre prototype comme un noeud chaque noeud est caractérisé par un mode de transfert de chaleur, la température du noeud i1 varie en fonction du temps et l'espace.

*** Hypothèses utilisées dans le model de calcul :**

- On néglige le transfert de chaleur par conduction dans tous les éléments du concentrateur.
- La géométrie est traitée comme un problème uni-dimensionnel dans la direction radiale.
- Les propriétés radiatives de l'absorbeur et de l'enveloppe en verre obéissent à la loi de Kirchoff (sur face grise : émettrice, diffuse et absorbante).
- Les propriétés de l'eau dans le tube absorbeur sont en fonction de la température.
- Les propriétés de l'air dans l'espace annulaire sont en fonction de la température.
- Considérons que la convection est forcée entre le tube absorbeur et le fluide caloporteur.
- Les effets de l'extrémité sont négligés.

- Le changement de phase n'est pas pris en considération donc les nombres adimensionnelles ne change pas.
- La température de l'absorbeur varie en fonction du temps.
- La température du vitrage varie en fonction du temps.
- Le régime est transitoire.

III.5.4. Différents Mode de Transfert de Chaleur

III.5.4.1. Transfert de Chaleur entre l'Absorbeur et le Fluide Caloporteur

Considérant la convection forcée du fluide caloporteur dans le tube absorbeur, $q_{gagnée}$ est calculée par l'équation de Dittus-Boelter pour l'écoulement totalement développé dans un tube circulaire lisse. Par conséquent, le nombre de Nusselt local est donnée par :

$$Nu = 0{,}023\ Re^{4/5}\ pr^{4}$$

Pr est le nombre de Prandtl et *Re* le nombre de Reynolds.

Le nombre de Reynolds *Re* pour un flux dans un tube circulaire est donné par :

$$\mathrm{Re} = \frac{4\rho_f V}{\pi D_{abs}\mu_f}$$

μ_f est la viscosité du fluide caloporteur.

Le nombre de Prandtl est donné par :

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mu_f C_f}{K_f}$$

Le coefficient d'échange convectif entre le fluide caloporteur et l'absorbeur Pr1 est donné par l'équation suivante :

$$q_{gagnée} = h_1\ \pi\ D_1\ (T_{abs} - T_f)$$

Les propriétés du fluide caloporteur C_f, K_f, μ_f et ρf sont fonction de la température T_{abs}.

III.5.4.2. Transfert de Chaleur entre l'Absorbeur et l'Environnement du Verre

Dans ce cas, nous avons deux modes de transfert de chaleur. La convection et le rayonnement entre le tube absorbeur et l'enveloppe du verre. qintérieur est calculée comme suit :

$$q_{intérieur} = q_{intérieur\text{-}convection} + q_{intérieur,\ rayonnement}$$

La convection dans l'espace annulaire entre le tube absorbeur et l'enveloppe du verre est estimée par des relations de la convection naturelle entre deux cylindres horizontaux et concentriques [2], cependant l'enveloppe du verre est usuellement plus froid que le tube absorbeur (Tabs > TV) :

$$q_{\text{int}érieur.cnvection} = \frac{2\pi K_{eff}}{\ln(D_{vi} / D_{abse})}(T_{abs} - T_v)$$

D_{abse} est le diamètre extérieur du tube absorbeur.

D_{vi} le diamètre intérieur de l'enveloppe du verre.

K_{eff} la conductivité thermique effectuée de l'air, elle représente la conductivité thermique que l'air stationnaire devrait avoir pour transférer la même quantité de chaleur que l'air mobile, elle est donnée par [1] :

$$\frac{K_{eff}}{K_{air}} = 0.386\left[\frac{pr_{air}}{0.861+ pr_{air}}\right]^{1/4} (Rac)^{1/4}$$

Ou

$$Rac = \frac{\ln(D_{vi} / D_{abse})^4}{L^3(D_{abse}^{-1/5} + D_{vi}^{-3/5})^5} Ra_L$$

Pr_{air} représente le nombre Prandtl de l'air dans l'espace annulaire entre l'absorbeur et l'enveloppe du verre. K_{air} est la conductivité thermique de l'air. L est la longueur effective de l'absorbeur

$L = 0{,}5\ (D_{vi} - D_{abse})$

Le nombre de Rayleigh est défini comme suit :

$$Ra_L = \frac{gB_{air}\rho_{air}(T_{abs} - T_v)L^3}{\mu_{air}} Ra_L$$

B_{air} est le coefficient volumétrique de dilatation thermique de l'air.

Les propriétés de l'air dans l'espace annulaire, telles que :

α_{air} , B_{air} , ρ_{air} , K_{air} , C_{air} , et Pr_{air} sont fonction de la température moyenne T = 0,5 $(T_{abs}$ et $T_V)$ en plus la densité de l'air.

Le transfert thermique par rayonnement q_{int}-Ray entre deux cylindres concentriques et horizontaux entre le tube absorbeur et l'enveloppe du verre peut être exprimé par la relation suivante [2] :

$$q_{\text{int}érieur,rayonnement} = \frac{\tau\pi D_{abse}(T_{abs}^4 - T_v^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{abs}} + \frac{1-\varepsilon_g}{\varepsilon_g}\left(\frac{D_{abse}}{D_{vi}}\right)}$$

Ou ε_{abs} est l'émissivité de l'absorbeur. Elle dépend de la température de l'absorbeur [1] ; ε_g l'émissivité de l'enveloppe du verre dans ce model ε_g prend la valeur 0 ; 9 ; τ la constante de Stefan Boltzuman.

III.5.4.3. Transfert de Chaleur entre l'Enveloppe du Verre et l'Environnement

On suppose que le transfert thermique entre l'enveloppe du verre et l'environnement et dû à la convection et au rayonnement.

$$q_{extérieur} = q_{extérieur,\ convection} + q_{extérieur,\ rayonnement}$$

Le nombre de Nusselt du à la convection est donné par la formule suivante [14] :

$$Nu_3 = 0.3 + \frac{0.62\,\mathrm{Re}^{1/2}\ pr_3^{1/3}}{\left[1+(0.4/\ pr_3)^{2/3}\right]^{1/4}}\left[1+\left[\frac{\mathrm{Re}_3}{282}\right]^{5/8}\right]^{4/5}$$

Pour l'enveloppe de verre, le nombre de Reynolds Re_3 est défini par :

$$\mathrm{Re}_3 = \frac{\rho_{airamb} V_{vent} D_{ve})}{\mu_{airamb}}$$

V_{vent} est la vitesse du vent. $\rho_{air,amb}$, $\mu_{air,\ amb}$ sont respectivement la densité et la viscosité de l'air ambiant D_{ve} et le diamètre extérieur de l'enveloppe du verre.

Le nombre de Prandtl Pr_3 est toute les propriétés de l'air sont fonction de la température moyenne de l'air. $T_{amb} = 0{,}5\ (T_{abs} + T_{amb})$. La densité de l'air dans ce cas est une fonction de la pression atmosphérique.

Le transfert thermique à l'environnement dû à la convection est

$$q_{extérieur,\ convection} = q_{ext,\ conv} = h_3\ \pi\ D_{ve}\ (T_v - T_{amb})$$

$$h_3 = \frac{Nu_3 K_{air,amb}}{D_{ve}}$$

Le transfert thermique à l'environnement dû au rayonnement peut s'exprimer par [4] :

$$q_{ext,Ray} = \varepsilon_3\ \tau\ \pi\ D_{ve}\ (T_{abs}^4 - T_{amb}^4)$$

III.6. Pertes Thermiques

Une fois que les rayons solaires ont fait leurs chemins vers le récepteur au-dessus de la température ambiante, ce qui produit un processus des pertes de chaleurs à partir du récepteur.

Ces modes des pertes sont la convection, le rayonnement et la conduction, qui sont dépendants de la différence dans la température entre le récepteur et l'environnement et de la géométrie du récepteur et celle du concentrateur. La formule est donnée sous la forme suivante :

$$Q_{pert} = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{ray}$$

III.6.1. Pertes Par Conduction

Les pertes par conduction sont habituellement petites comparées à ceux par convection et par rayonnement. Elles sont souvent combinées avec le terme de perte de convection dans la plupart des analyses.

$$Q_{cond} = \lambda_{abs}\, A_{abs}\, (T_{abs} - T_{amb})\Delta z$$

III.6.2. Pertes par Convection

La mauvaise connaissance du phénomène de la convection est encore posée pour une plaque plane. Elle est dépendante de la vitesse du vent et sa direction par rapport au site. Ces pertes sont proportionnelles à la surface de l'absorbeur et la différence entre la température de surface captatrice et la température ambiante donnée par la formule :

$$Q_{conv} = h_{conv}\, A_{abs}\, (T_{abs} - T_{amb})$$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection est donné par la formule suivante:

$$h_{conv} = \frac{Nu\lambda_{air}}{d}$$

d : Diamètre du récepteur.

λ_{air} : Conductivité thermique de l'air

Le nombre du Nusselt Nu est donné par :

$$Nu = 0{,}664(\mathrm{Re})^{1/2}(\mathrm{Pr})^{1/3}$$

Le calcul du nombre de Reynolds Re par la formule :

$$\mathrm{Re} = \frac{Vd}{V_{air}}$$

III.6.3. Pertes par rayonnement :

La perte de chaleur par rayonnement est importante pour des récepteurs fonctionnant seulement aux températures légèrement au-dessus de la température ambiante, et devient dominante pour des collecteurs fonctionnant à températures élevées. Le schéma 5,2 illustre cette transition pour une surface verticale noire en air immobile. Le taux de perte de chaleur de rayonnement est proportionnel à l'émittance de la surface et à la différence dans la température à la puissance quatre. L'équation décrite sous la forme, nous avons :

$$Q_{ray} = \varepsilon_{abs}\, \sigma A_{abs}\, (T^4_{abs} - T^4_{amb})$$

Où :

ε_{abs} : Facteur émissivité de l'absorbeur.

σ : Constante Stefan-Boltzmann.

T_{ciel} : Température du ciel.

La température équivalente du rayonnement du ciel dépend de la densité de l'air et de son contenu d'humidité, quand l'humidité relative est haute où qu'on soit au niveau de la mer, on peut supposer que la température du ciel est identique à la température de l'air ambiant.
Cependant pour les basses humidités relative ou aux altitudes élevées, la température du rayonnement du ciel peut être inférieur de 6°C que la température ambiante [13], donné par la formule de Whillier (1967) :

$$T_{ciel} = T_{amb} - 6$$

Et par la formule de Swinbank (1963) :

$$T_{ciel} = 0.0552 T_{ciel}^{1.5}$$

On obtient la forme suivante :

$$Q_{ray} = A_{abs} h_{ray} (T_{abs} - T_{amb})$$

$$h_{ray} = \varepsilon_{abs} \sigma \frac{T_{abs}^4 - T_{ciel}^4}{T_{abs} - T_{amb}}$$

III.7. Discrétisation des Equations

(Résolution du système d'Equation)

Les équations du bilan thermique utilisées ne sont linéaires, pour ce cas on a opté pour la méthode de discrétisation des différences finies pour résoudre les équations suivantes ou la température varie avec le temps et l'espace :

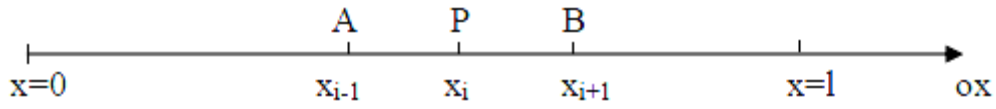
$$\rho_F C_F A_{abs} \frac{\partial T_F(x,t)}{\partial t} = \rho_F C_F V \frac{\partial T_F(x,t)}{\partial x} + q_{gagnée}^{(x,t)}$$

$$\rho_{abs} C_{abs} A_{abs'} \frac{\partial T_{abs}}{\partial t}(x,t) = q_{absorbée}(t) - q_{\text{int érieur}}(x,t) - q_{gagnée}(x,t)$$

$$\rho_v C_v A_v \frac{\partial T_v(x,t)}{\partial t} = q_{\text{int érieur}}(x,t) - q_{extérieur}$$

Pour l'évolution de notre fluide caloporteur qui est l'eau, nous considérons un problème monodimensionnel pour lequel le domaine est un segment situé sur un axe ox. Ce segment est

découpé on petites parties sur une longueur de 8m chaque partie de 1m déterminer par les nœuds P (xi) du maillage



La température au point P sera noté T_{Fxi} et les deux points voisins $T_{Fx(i-1)}$ et $T_{Fx(i+1)}$.

Le nombre de point utilisé est 2.

*** Estimation de la dérivée première au premier ordre** :

$$\left(\frac{\partial T_F}{\partial x}\right) = cte_1 T_{Fx(i-1)} + cte_2 T_{Fxi}$$

Cette équation est un développement limité au premier ordre de T(x,t) au tour du point P selon la méthode de Taylor on déduit :

$$T_{Fx(i-1)} = T_{Fxi} - (x_i - x_{(i-1)})\left(\frac{\partial T_F}{\partial x}\right)_i + 0(x_i - x_{(i-1)})^2$$

cte_1 et cte_2 s'obtiens par le développement limité au premier ordre de T(x,t) autour du point P.

$$\left(\frac{\partial T_F}{\partial x}\right)_i = \frac{-1}{(x_i - x_{(i-1)})} T_{(i-1)} + \frac{1}{(x_i - x_{(i-1)})} T_i$$

Donc

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial x} = \frac{T_{Fi}(t) - T_{F(i-1)}(t)}{\Delta x}$$

On a :

$$\Delta x = \frac{longeur}{i_0}$$

$i = 1, 2.....i_0, i_0 = 8$

Le résultat est un ensemble d'équation du premier ordre pour la température du fluide caloporteur.

$$\frac{\partial T_{Fi}(t)}{\partial t} = -\frac{V_F(t)}{A_{abs}\Delta x} T_{Fi}(t) + \frac{f_F(T_{F(i-1)}) C_F(T_{F(i-1)}) V_F(t)}{f_F(T_{Fi}) C_F(T_{Fi}) A_{absi}\Delta x} T_{F(j-1)}(t) + \frac{1}{f_F(T_{Fi}) C_F(T_{Fi}) A_{absi}} q_{gagnée}(T_{Fi}(t), T_{abs,i}(t))$$

$$T_{Fi} = \frac{1}{1 + \frac{V_F \Delta t}{A_{abs}\Delta x}} \left[T_{F(i-1)} \left(1 + \frac{\Delta t \rho_{F(i-1)} C_{F(i-1)} V_F}{\rho_{Fi} C_F A_{abs} \Delta x} \right) + \frac{\Delta t}{\rho_{Fi} C_F A_{abs} \Delta x} q_{gagnée}(T_{Fi} - T_{avs}) \right]$$

On simplifié l'équation résolu par la méthode des constantes

$$T_{Fi}^{t+1} = A' T_{Fi}^{'} + B_{F(i-1)}^{'t} + C$$

$$A = \left[1 - \frac{V_F \Delta t}{A_{abs} n_{coll} \Delta x}\right] \qquad avec \qquad n_{coll} = 1, \Delta t = 1s$$

$$B = \frac{\rho_{F(i-1)} C_{F(i-1)} V_F \Delta t}{\rho_{Fi} C_{Fi} A_{abs} \Delta x}$$

$$C = \frac{q_{gagnéeF(i-1)}}{\rho_{Fi} C_{Fi} A_{abs}}$$

Avec :

$$T_{F,O}(t) = T_{F\,entrée}(t)$$

Condition initiale :

$$T_{F,i}(\mathrm{O}) = T_{F\,initiale\,(}\mathrm{Xi}) \qquad \mathrm{Xi} = \mathrm{i}.\Delta\mathrm{X}$$

- pour chaque élément distinct du système avec ΔX longueur il y a une température de l'absorbeur déterminée par l'équation différentielle.

$$\frac{\partial T_{abs,i}(t)}{\partial t} = \frac{1}{f_{abs} C_{abs} A_{abs}} \left[q_{absorbée}(t) - q_{\mathrm{int}}(T_{abs,i}(t), T_{env,t}(t)) - q_{gagnée}(t) \right]$$

$$T_{abs,i} = \frac{\Delta t}{\rho_{abs} C_{abs} A_{abs}} \left[Q_{absorbée}(t) - Q_{\mathrm{int}}(T_{abs,i}(t), T_{env,t}(t)) - Q_{gagnée}(t) \right] + T_{abs(i-1)}$$

On simplifié l'équation résolu par la méthode des constantes

$$T_{abs}^{t+1} = T_{abs} + E$$

$$E = \frac{\Delta t}{\rho_{abs} C_{abs} A_{abs}} \left[q_{absorbée} - q_{\mathrm{int}} - q_{gagnée} \right]$$

Avec les conditions initiales :

$$T_{abs,i}(\mathrm{O}) = T_{abs,\,initiale}(\mathrm{xi}) \text{ , } \mathrm{xi} = \mathrm{i}.\ \Delta\mathrm{x}$$

Il ya aussi la température de l'enveloppe en verre pour chaque élément de longueur calculée à partir de l'équation différentiel du premier ordre.

$$\frac{\partial T_{v,i}(t)}{\partial t} = \frac{1}{f_v C_v A_v} \left[q_{\mathrm{int}}(T_{abs,i}(j), T_{v,i}(t)) - q_{externe}(T_{v,i}(t), T_{amb}(t)) \right]$$

$$T_{v,i} = \frac{\Delta t}{\rho_v C_v A_v} \left[q_{\mathrm{int}}(T_{abs,i}(t), T_{v,i}(t)) - Q_{ext}(T_{v,i}(t), T_{amb}(t) \right] + T_{v(i-1)}$$

On simplifié l'équation résolu par la méthode des constantes

$$T_v^{t+1} = T_v + F$$

$$F = \frac{\Delta t}{\rho_v C_v A_v} \left[q_{\mathrm{int}} - q_{ext} \right]$$

Avec les conditions initiales :

$$T_{v,i}(O) = T_{v\ initiale}(xi) \quad xi = i.\ \Delta x$$

Le programme de calcul numérique MATLAB est choisi pour calculer la solution de notre système algébrique non linéaire. MATLAB est l'abréviation en anglais de (MATrix LABoratory). L'intérêt de MATLAB tient a sa simplicité d'utilisation et a sa richesse fonctionnelle. Les valeurs initiales des températures sont supposées être égales à la température ambiante. Une zone de dialogue typique montrant une partie du programme informatique élaboré en langage MATLAB (version 2012) qui nous permet de déterminer le rayonnement solaire direct, puis nous avons calculés le facteur d'interception et les différentes puissances, ensuite on as mis les équations précédentes simplifiés obtenu par le bilan thermique établis dans une boucle de temps et une boucle d'espace. Ce qui nous a permis d'obtenir l'évolution du rendement de notre système.

On a pris on considération la température ambiante qui est 290K dans une journée d'automne qui est le 16 Septembre 2020 à Médéa-Algérie d'où Les coordonnées géographiques sont :

Latitude =36.27°

Longitude = 0.12°

Altitude =137m

Et un débit de 0,5m3/s de fluide caloporteur (l'eau).

Ce code est constitué par les étapes suivantes :

1. Déclaration des constantes et variables.
2. Mise des paramètres des prototypes.
3. Coordonnés géographiques de l'expérimentale.
4. Caractéristiques thermophysiques de l'eau.
5. Calcul des coordonnés horaires.
6. Calcul du rayonnement solaire direct sans poursuite et avec poursuite totale cosθ =1.
7. Calcul des températures (T. ambiante, T. ciel).
8. Calcul du facteur d'interception avec la méthode d'intégral de Simpson (polynôme de

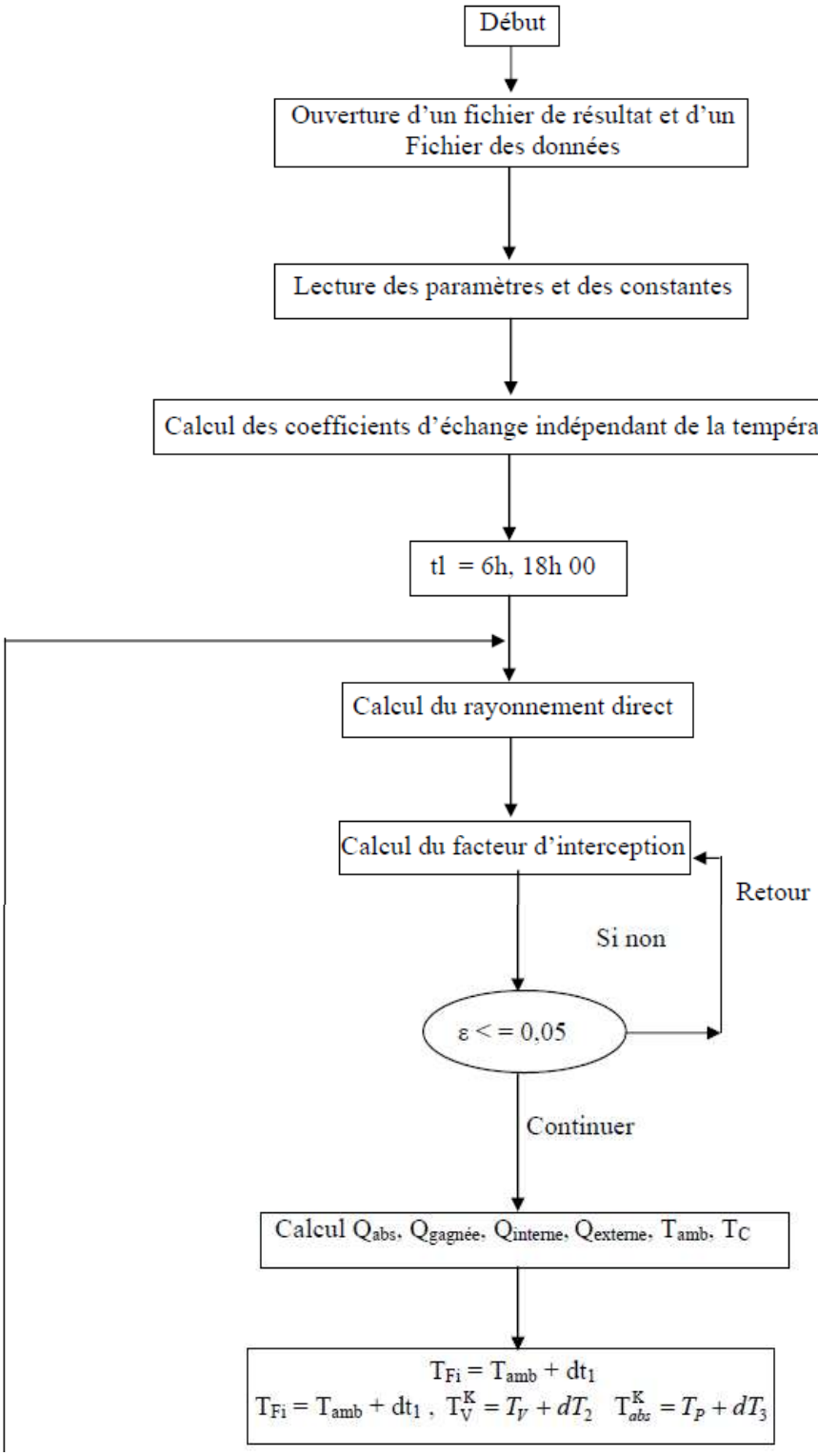
5ème ordre).

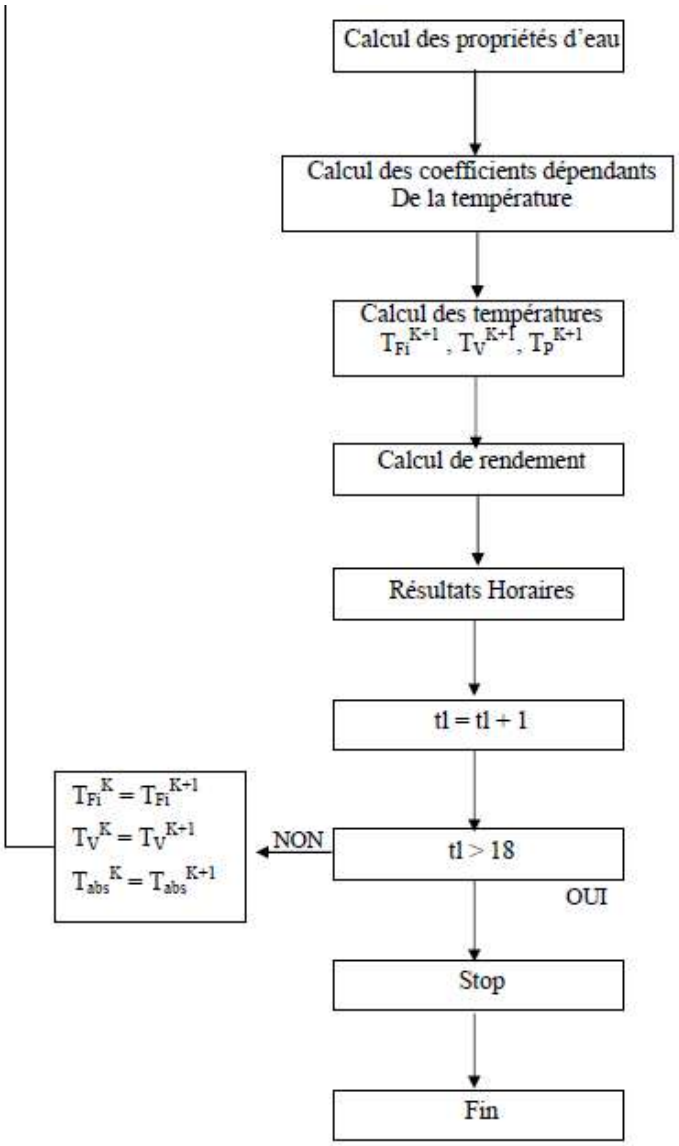
9. Calcul des puissances.

10. Mise en équation du bilan thermique.

11. Calcul du rendement thermique et les pertes thermiques.

*** L'Organigramme de Calcul**




Calcul des propriétés d'eau
Calcul des coefficients dépendants De la température
Calcul des températures T_{Fi}^{K+1}, T_V^{K+1}, T_p^{K+1}
Calcul de rendement
Résultats Horaires
tl = tl + 1
tl > 18
NON
OUI
$T_{Fi}^{K} = T_{Fi}^{K+1}$
$T_V^{K} = T_V^{K+1}$
$T_{abs}^{K} = T_{abs}^{K+1}$
Stop
Fin

Chapitre IV:
RESULTATS
ET DISCUSSIONS

IV.1. Introduction

La résolution du système d'équations des bilans thermique au nivaux de chaque partie du concentrateur par la méthode numérique des différences finies, un programme de calcul en MATLAB a était établi après la discrétisation des équations non linéaire ce qui nous as permis d'obtenir un ensemble de résultats numériques que nous validerons par des résultats Expérimentaux.

IV.2. Les Caractéristiques du Prototype :

Le concentrateur solaire étudié présente les caractéristiques suivantes :

Désignation	Dimension
Diamètre interne du tube absorbeur DAi	0,012m
Diamètre extérieur du tube absorbeur Dae	0,14m
Diamètre intérieur de l'enveloppe en verre Dvi	0,017m
Diamètre extérieur de l'enveloppe en verre Dve	0,020m
Largeur effective du Miroir Weff	1m
Longueur du Tube	8m

Tableau IV.1 les caractéristiques de prototype.

IV.3. Les Caractéristiques des Matériaux Utilisés :

Les caractéristiques thermo physiques de matériaux pouvant constituer le concentrateur solaire.

Métal	Conductivité Thermique W/mit	Masse Volumique Kg/m^3	Chaleur Massique g°/kg.k	Absorptivité	Emissivité
Cuivre	384	8900	398	0,25	0,02
Aluminium	204	2700	879	0,63	0,09
Verre à vitre	0,93	2700	840		Transmissivité 0,85-0,92

Tableau IV.2 Les caractéristiques thermo physiques de matériaux utilisées

Les coordonnées géographiques de Médéa-Algérie :

Latitude =36.27°

Longitude = 0.12°

Altitude =137m

IV.4. Les Résultats Numériques :

D'après notre observation une orientation est-ouest du concentrateur implique que ces effets sont très importants au début et à la fin de la journée surtout pour des journées comprises entre les équinoxes. Ceci est traduit par l'angle d'incidence qui prend des valeurs maximales durant cette période.

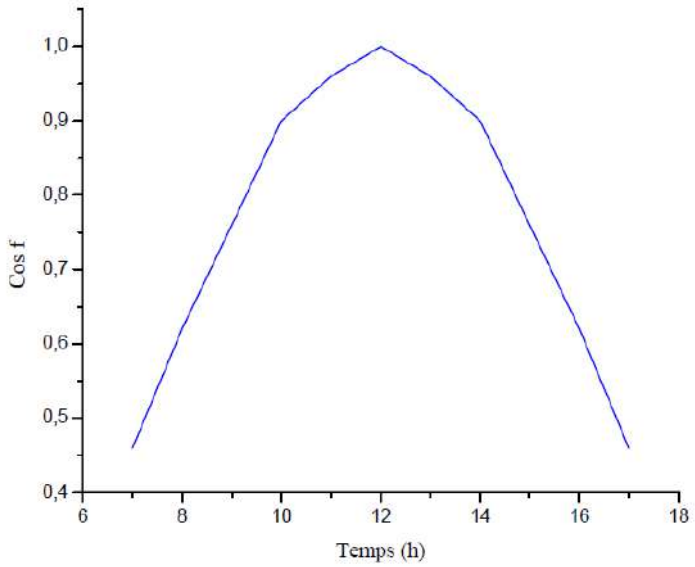


Figure IV.1: Evolution temporelle de l'angle d'incidence.

*** Rayonnement direct :**

Nous montrons la variation de l'éclairement solaire direct pour un concentrateur qui suit le mouvement du soleil durant une journée d'automne. Nous montrons la variation de l'éclairement solaire direct pour un concentrateur sans poursuite solaire durant une journée d'automne. On remarque que la puissance solaire reçue à l'ouverture de la parabole avec suiveur est plus importante par rapport à l'éclairement direct reçu sans suiveur. Le système de poursuite permet un gain de plus 10% (environ) pendant l'automne, cette variation est due à l'influence de l'inclinaison solaire

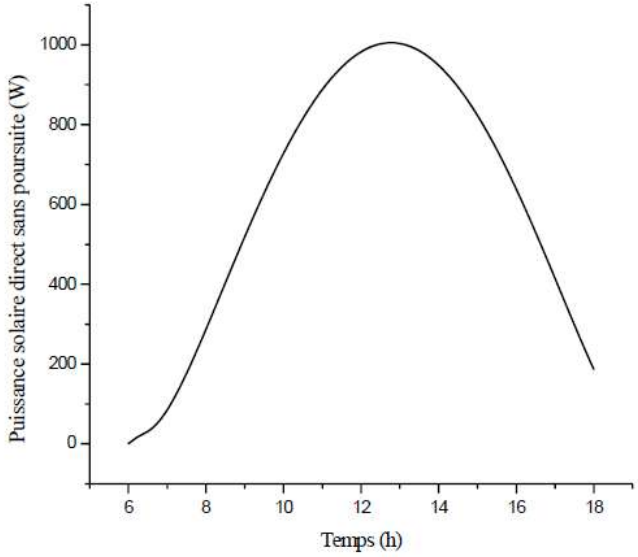


Figure IV.2 : évolution temporelle de la puissance solaire

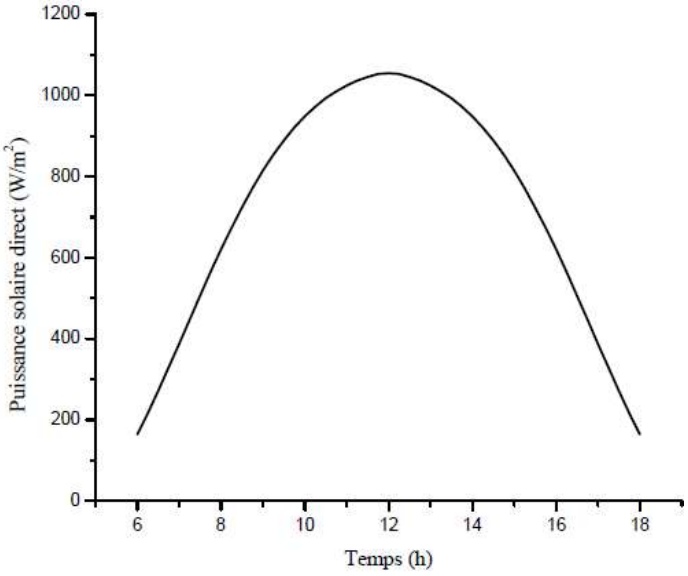


Figure IV.3 : évolution temporelle de la puissance solaire avec cosθ = 1

*** Variation de la température de l'absorbeur du fluide caloporteur et du vitrage en fonction du temps solaire :**

L'observation permet de noter que la température du tube absorbeur est la plus importante d'où sa température maximale atteint approximativement 310.25C° aux environs de 13h , en deuxième position se succède la température du fluide caloporteur (qui est l'eau dans notre cas ou plus précisément de la vapeur surchauffée _ vu le changement de phase_) du fait de la quantité d'énergie relativement importante qui lui est transmise de l'absorbeur par convection forcée (coefficient d'échange par convection estimé à 121w-m-2-k-1) celleci a atteint une

température maximale de 300 C° aux environs de 13h. Puis la température du vitrage qui a atteint une température maximale de 227 C° aux environs de 13h après avoir reçue le rayonnement direct réfléchit par le miroir

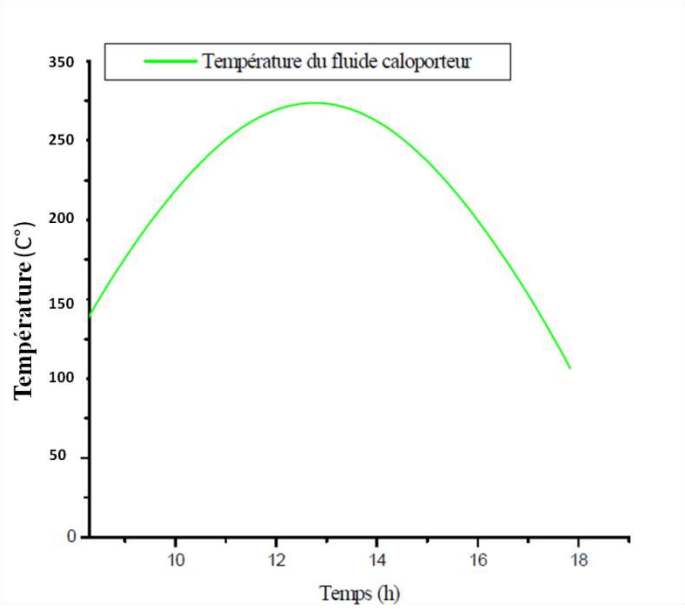


Figure IV.4 : La variation temporelle du fluide caloporteur

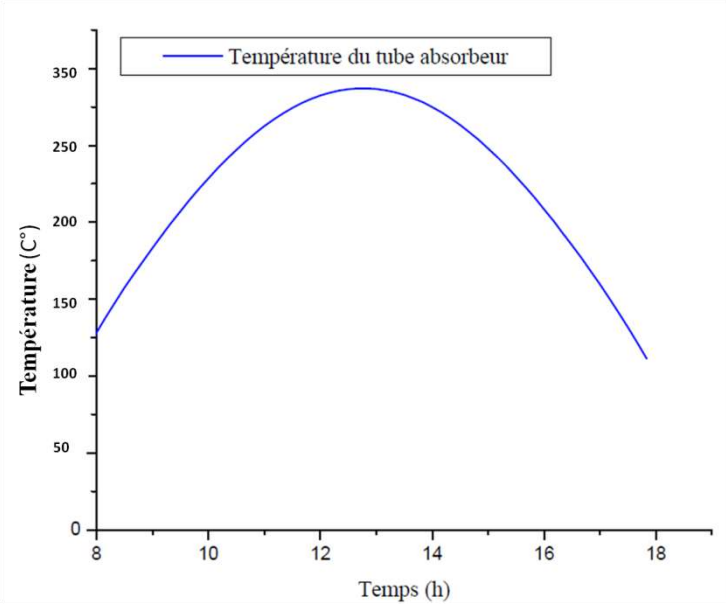


Figure IV.5 : Variation temporelle du Tube Absorbeur

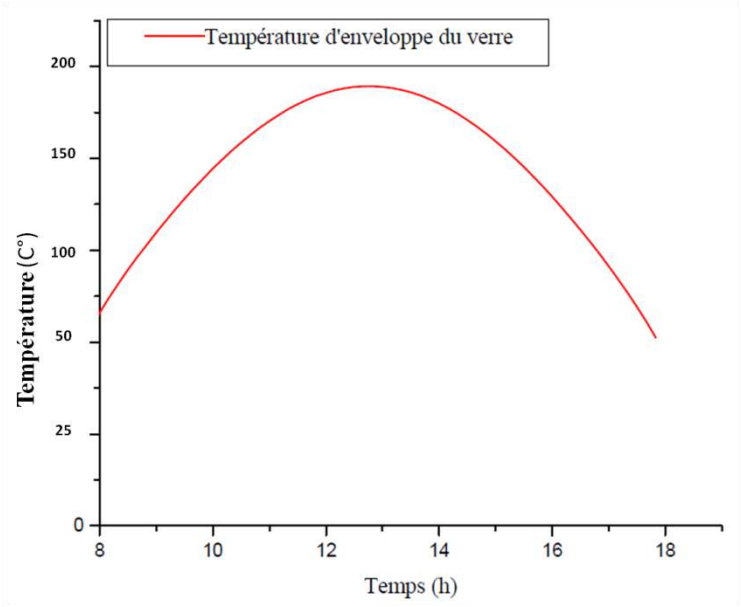


Figure IV.6: Variation temporelle du Vitrage

*** Variation des puissances en fonction du temps solaire :**

La puissance absorbée est la plus importante et accroit avec la puissance solaire puisque elle provient du rayonnement direct réfléchit par le miroir ce qui est expliqué par la hauteur du soleil et la masse atmosphérique, son importance est due à ses coefficients (d'absorption de transmission) élevés. Il est évident aussi que la puissance utile récupérée par le fluide caloporteur dépond étroitement du rayonnement solaire direct, vu que la puissance absorbée dépond de la puissance solaire et donc les puissance augmentes avec l'accroissement de la puissance solaire

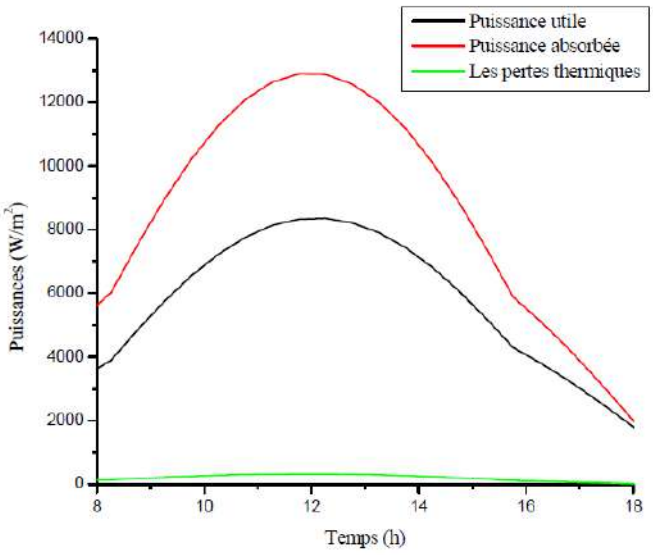


Figure IV.7: Evolution temporelle des puissances : absorbée, utile, pertes thermiques

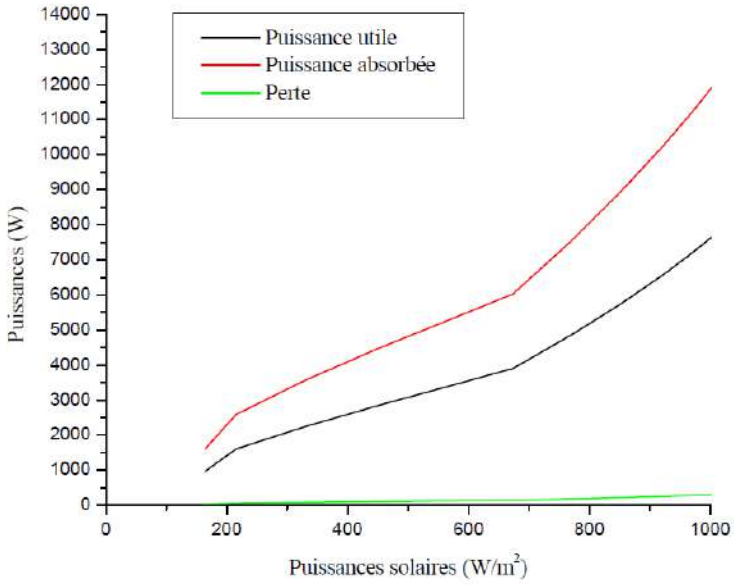


Figure IV.8 : évolution des puissances en fonction de la puissance solaire

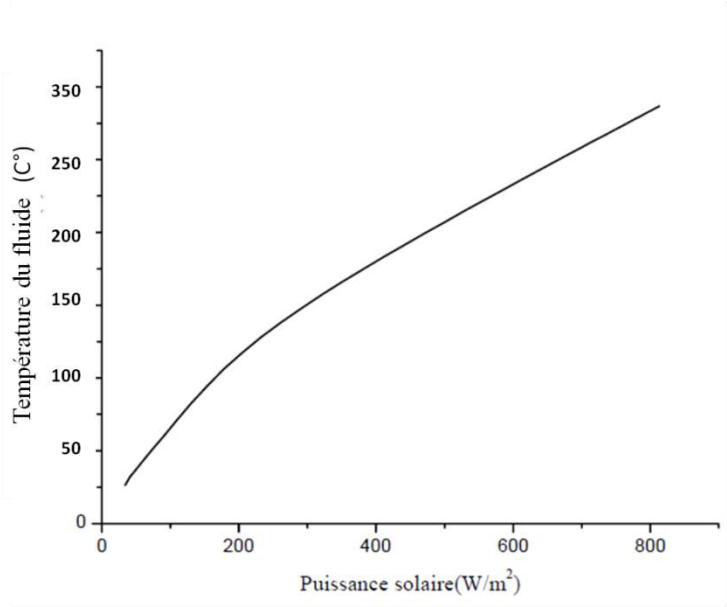


Figure IV.9 : Evolution de la Température du Fluide Caloporteur en Fonction de la Puissance Solaire

***Evolution de la Température du Fluide Caloporteur en fonction de ox :**

D'après le graph obtenu de la variation de la température du fluide caloporteur en fonction de (ox) on observe que la température du fluide caloporteur augmente avec la longueur du tube absorbeur (à chaque fois qu'on augmente la longueur du tube absorbeur, la température du fluide caloporteur augmente avec). De ce fait on déduit que le contact direct du tube absorbeur avec le fluide caloporteur (l'eau) et suite à la convection forcée on a le chauffage de l'eau jusqu'à l'ébullition, (obtention de la vapeur surchauffée).

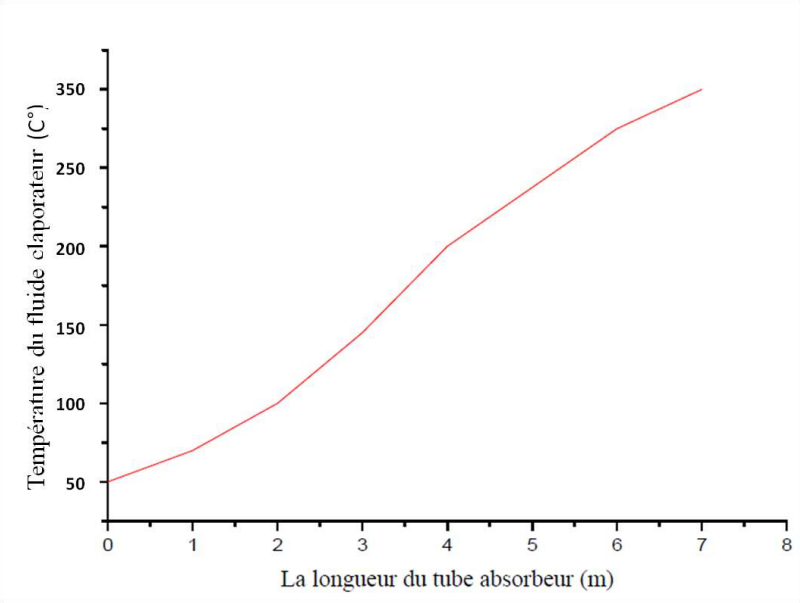


Figure IV.10*:* Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de la longueur du tube absorbeur (ox)

Evolution de la température du fluide caloporteur avec les débits volumiques différents *:

D'après les graphs obtenus, on a conclu que lorsqu'on diminue le débit volumique du fluide caloporteur, la température de ce dernier augmente

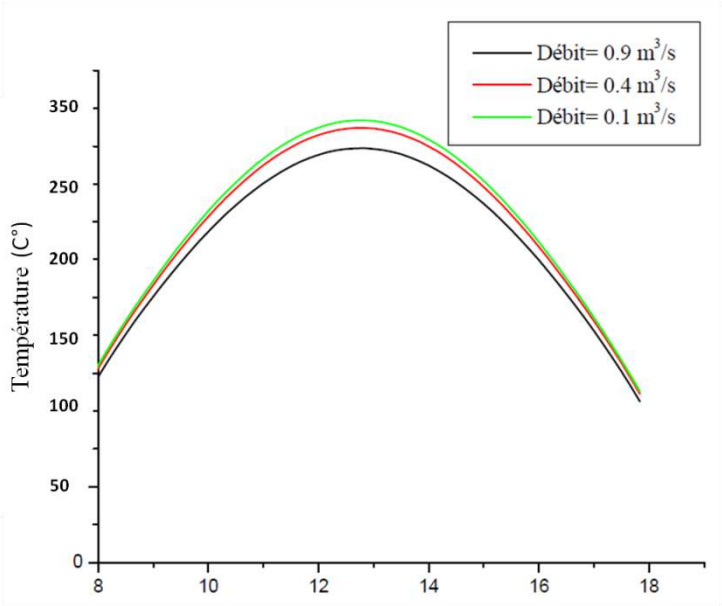


Figure IV.11 : Influence du débit volumique sur la température du fluide caloporteur

***Evolution du Rendement :**

On observe que le rendement augmente durant le chauffage du collecteur

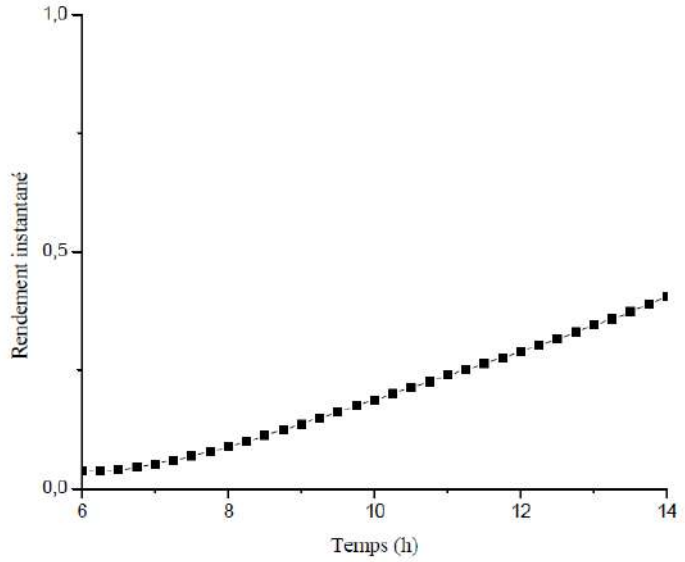


Figure 15 : Evolution temporelle du rendement instantané

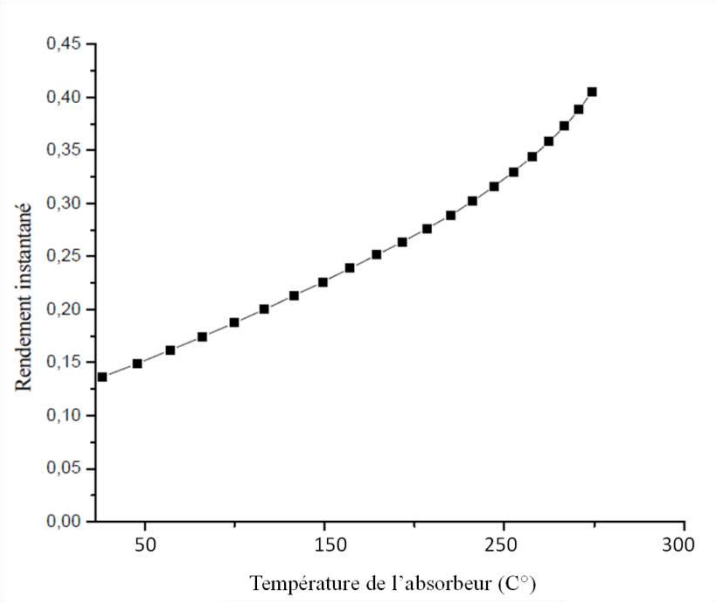


Figure VI.12: Evolution du rendement instantané en fonction de la température de l'absorbeur

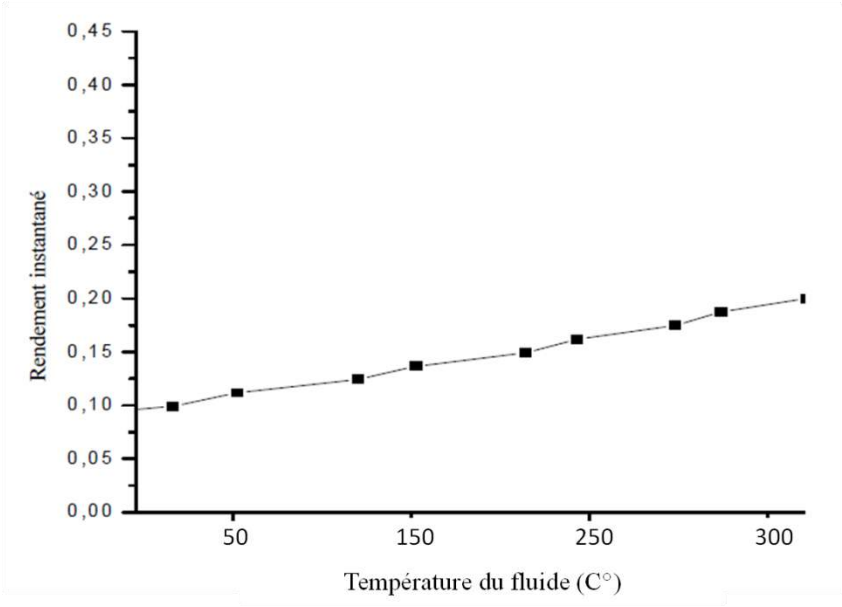


Figure IV.13 : Evolution du rendement instantané en fonction de la température du fluide

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'utilisation des énergies renouvelables et la protection de l'environnement est culture mondiale. L'exploitation des matériaux abandonnés ou recyclés est une obligation économique et environnementale. Il existe de nombreuses méthodes qui doivent être prises pour l'exploitation de l'énergie solaire par des projets basés sur les concentrateurs solaire non difficiles et facilement à réaliser.

Ce travail est une contribution a l'étude d'un concentrateur cylindro_parabolique il s'intéresse particulièrement au rayonnement concentrée et au différent partie du concentrateur avec les différents modes de transfert de chaleur parmi les résultats les plus importants :

- La poursuite solaire influence positionnement le rendement de la puissance solaire « rayonnement direct ».

- L'augmentation de la valeur Du facteur optique fait augmenter la puissance absorbée et donc la température du fluide.

- L'augmentation de la longueur du tube absorbeur entraine une augmentation de la température du fluide caloporteur a la sortie du tube absorbeur.

- La diminution du débit volumique entraine une augmentation de la température du fluide caloporteur.

REFERENCES BIBLIOGHRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] http://claudel.dopp.free.fr/Les_planeurs/Technique/Dessin-cadres/Dessin-cadres.htm

[2] Tarek Ounis Diab , « PROTECTION DES PANNEAUX SOLAIRE », Mémoire De Master, Université L'arbi Ben Mhidi (Oum El Bouaghi),2014

[3] Mémoire étude et réalisation d'un capteur solaire plan à eau 2015.

[4] N.Eskin, transient performance analysis of cylindrical parabolic concentrating.

[5] Fatimi "Système hybride thermique photovoltaïque pour la production de l'eau distillée; magister en physique Université Mantouri, Constantine2012.

[6] O.Halloufi" étude de la performance d'un distillateur solaire par un système de préchauffage solaire de l'eau saumâtre ";magister en génie climatique Université Mantouri Constantine 2010.

[7] S.Kachi"Etude et amélioration des techniques de la distillation solaire dans la région sud algérien (Ouargla)";master en génie chimique, Université Ouargla 2011.

[8] J.Dunglas," "le dessalement de l'eau de mer une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau ", membre de l'académie d'agriculture de France, manuscrit publié en février 2014.

[9] Lyderic Bocqet, Jean Pierre Faroux, Jacque Renault, toute la thermodynamique et la mécanique des fluides, édition : Dunod Paris,2002

[10] J.E. Braun et JC. Mitchell, solar geometry for fixed and tracking surface, edition: solar energy laboratory, 1983

[11] R. Winston, solar energy, edition: Handbook of optics,1974

[12] M.GEYER .and WB. Stine, power from the sun, edition: JT. Lyle center, 2001

[13] Wassila CHKIROU, analyse thermique pour l'absorbeur d'un concentrateur solaire cylindo_parabolique, séminaire Maroc, du 15 au 17 novembre 2005

[14] Donald R, Pitts, heat transfert, edition : shaums series, 1977

[15] Damou Aicha, projet/neal Algérie, responsable de la communication, Décembre 2006

[16] N.ESKIN, transient performance analysis of cylindrical parabolic concentrating collectors and comparision with expérimental résults ,thése,1999

[17] Alain Ferrire et Gilles Flamant, captation transformation et conversion de l'énergie solaire par les technologies a concentration. Thème 7. Solaire thermique, édition : Académie des sciences et *Technologies,* 2002

[18] U.H.Kurzweg. JP. Benson, iso-intensity absorber configurations for parabolic concentrators. Edition: solar energy, 1982

[19] B. Jennifer. Krvstal Roaers, parabolic solar cookers, edition: campus center for appropriate technologies Humboldt state university, 2002

[20] Hay.je.davies.ja, calculation of solar radiation incident on an inclined surface, edition: proceedings first Canadian solar radiation workshop ,1980

[21] A.steinfeld et R.Palumbo, solar thermo chemical process technology .edition: encyclopedia of physical science et technology ,2001

[22] Ar.Rabl, optical and thermal properties of compound parabolic concentrator ,edition: New York .John Wiley and Sons, 1991

[23] Pretzel A.C and Simpson CE, Heat loss technique for annular solar receiver designs, edition: ms-c ms-doc,1978

[24] A.gama et M.hadadi et A.malek, étude et réalisation d'un concentrateur cylindroparabolique avec poursuite aveugle ,revue energies renouvelables,vol11.n :3,2008