

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جامعة سعد دحلب البليدة
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



كلية التكنولوجيا
دائرة الميكانيك

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

MEMOIRE PRESENTEPOUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER EN MECANIQUE ENERGETIQUE

OPTION : INGINIEURIE THERMIQUE ET SOLAIRE.

CONCEPTION ET REALISATION D'UN CUISEUR SOLAIRE
DE TYPE PARABOLIQUE

PROPOSE ET ENCADREPAR:

ETUDIE PAR :

Mr.SAID Nouredine OUHALIMAAbdelatif

BOUROUBA Mahmoud

Promo : 2015/2016

D é d i c a c e s

Je dédie ce modeste travail à :

- *Ma très chère mère, et mon très cher père, à leur grand sacrifice et le dévouement pour mon bonheur.*
- *Mes frères et ma sœur, et toute ma famille.*
- *A mes amis et toute personne qui m'a aidé de loin ou de près.*

BOUROUBA Mahmoud.

Je dédie ce modeste travail à :

- *Ma très chère mère, et mon très cher père, à leur grand sacrifice et le dévouement pour mon bonheur.*
- *Mes frères et toute ma famille.*
- *A mes amis, au docteur AIDER et à toute personne qui m'a aidé de loin ou de près.*

OUHALIMA Abdelatif.

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord, Allah qui nous a donné la force et le courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.

Nous remercions profondément notre promoteur Mr SAID Noureddine, pour avoir proposé un sujet de recherche passionnant, pour son aide, son encouragement, ses remarques, ses conseils, et ses critiques pertinentes et constructives. Qu'il trouve ici l'expression de nos profondes gratitude.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à maintenant.

Et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Sommaire

Résumé(Arabe)

Résumé (français)

Résumé(Anglais)

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités

I-1 Historique de la cuisson solaire 3

I-2 Etat de l'art des cuiseurs solaires 5

1-Le cuiseur à panneaux 5

2-Le cuiseur de type boîte : 5

3-Le cuiseur parabolique 5

I-3-Les températures et temps de cuisson 6

I.4-Intérêt des cuiseurs du point de vue de l'économie de d'énergie et de l'environnement 7

➤ Les cuiseurs solaires permettent de gagner du temps et de l'argent 7

➤ Les cuiseurs solaires sont sûrs, pratiques et sains 7

➤ Les cuiseurs solaires sont faciles d'emploi : 7

➤ La cuisson solaire permet de sauver des vies dans les régions pauvres en énergie mais riches en soleil 8

➤ La cuisson solaire aide à préserver les forêts et les richesses de la terre 8

➤ Les cuiseurs solaires aident à améliorer la qualité de l'air 8

1.5. CONCLUSION 9

Chapitre II : le gisement solaire

II .1- Introduction : 11

II .2 - Energie solaire 11

II .3 - Le rayonnement solaire 12

II .4 - Le mouvement Terre-Soleil : 12

II .5 - La sphère céleste : 13

II .6- Les coordonnées célestes :	14
II .6.1- Les coordonnées géographiques :	14
➤ <i>Longitude :</i>	14
➤ <i>Latitude :</i>	14
II .6.2- Les coordonnées horaires :	15
II .6.2.1- La déclinaison solaire :	15
II .6.2.2- Angle horaire (ω) :	15
II .6.3- Les coordonnées horizontales :	16
II .6.3.1- Hauteur angulaire du soleil (h) :	16
II .6.3.2- Azimut :	16
II .7- Angle horaire de coucher du soleil	17
II .8 - Le rayonnement solaire :	18
II .8.1- Types de rayonnements :	18
II .8.1.1- Rayonnement direct :	18
II .8.1.2 - Rayonnement diffus :	18
II .8.1.3- Rayonnement global :	18
II .8.2- Rayonnement extraterrestre	18
II .8.3.- Coefficient de clarté.....	19
II .9- Temps solaire moyen et temps universel	19
II .9.1-Temps solaire vrai et angle horaire du soleil :	19
II .9.2-Mouvement apparent du soleil	20
II .9.3 - Heures et temps :	21
II .9.3.1- Durée du jour :	21
II .10- Rayonnement en Algérie :	22
II .11– Conclusion :	23

Chapitre III : Etude théorique du concentrateur parabolique

III.1- Le principe de fonctionnement des systèmes à concentration.....	25
III.2- Les type de concentrateurs solaires :	25
III.2.1- Les centrales à tour.....	26
III.2.1- Les systèmes à réflecteur parabolique	26
III.2.2- Le système à réflecteur cylindro-parabolique	26
III.2.3- Les systèmes à miroirs de Fresnel.....	26

III.3- Avantages et inconvénients de la concentration	27
III.4- Choix du type de concentrateur :	27
III.5 - Concentrateur parabolique :	28
III.5.1- La géométrie parabolique	28
III.5.1.1- Définition	28
III.5.1.2- Angle d'ouverture d'une parabole:	30
III.5.1.3- Taille d'une parabole :	31
III.5.1.4- Longueur d'une parabole	32
III.5.1.5- Surface d'une parabole	32
III.5.2- Système optique d'une surface parabolique	33
III.5.3- Les composants d'un concentrateur solaire parabolique	33
III.5.3.1- Réflecteur (Paraboloïde)	33
III.5.3.2 - Récepteur (absorbeur) :.....	37
III.5.4- Dimension du récepteur :	38
III.6- La concentration	40
III.6.1- Concentration géométrique	40
III.6.2- Concentration optique	40
III.7- Température de l'ouverture du récepteur	41
III.7.1- L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde	42
III.7.2- Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur.....	45
III.7.3- Puissance correspondant aux pertes thermiques	46
III.7.3.1- Pertes par convection :.....	46
III.7.3.2- Pertes par rayonnement :.....	47
III.7.3.3- Pertes par conduction	48
III.8- Efficacité du concentrateur	50

Chapitre IV : la conception et la réalisation

IV.1- Introduction	52
IV.2-Description des différentes parties du prototype :	53
IV.2.1-Le concentrateur paraboloïde :.....	53
IV.2.2- L'absorbeur	54
❖ Assemblage des éléments du système	56

IV.3 - Instrument de mesure :	56
IV.3.1- Les thermocouples :	56
IV.3.1.1- Définition	56
IV.3.1.2 - Techniques de mesure et raccords :	57
❖ Principe :	57
IV.3.1.3- Thermocouples les plus courants :	57
IV.3.1.4- Raccordement des thermocouples	58
❖ Câble d'extension ou câble de compensation	58
IV.3.1.5 - Tolérance des thermocouples les plus courants	59
IV.3.1.6 - Erreurs de mesure des thermocouples	60
IV.3.2 - Les instruments de mesure de l'éclairement :	60
➤ Méthodes de mesure de l'irradiation	61
• Le pyranomètre	61
• Le pyranomètre ombré.....	61
• Le pyréliomètre	61
IV.3.3 - Acquisition de données :	63
IV.3.3.1- Montage des capteurs de mesures et installation de la chaîne d'acquisition de données	63
❖ Objectifs :	65
❖ Protocole de mesures :	65
IV.3- Les expériences de la cuisson solaire réalisées :	66
IV.3.1- La distribution de la température au foyer	66
IV.3.2- l'expérience de la cuisson (sans isolation de la marmite) :	67
IV.3.2.1- l'ébullition d'eau : (1/06/2016)	67
IV.3.2.2- Expérience de préparation d'œufs durs (02/06/2016) :	68
IV.3.2.3- Expérience de préparation d'une omelette (02/06/2016).....	69
IV.3.2.4- Expérience de préparation d'une salade de légumes : le (02/06/2016)	70
IV.3.3- Expérience de la cuisson (avec isolation de la marmite)	71

IV.3.3.1-Expérience de cuisson de la viande (05/06/2016)	71
--	----

Chapitre V : résultats et interprétation

V.1 - Distribution de la température au niveau du foyer	74
V.2- L'étude expérimentale :.....	75
V.2.1- La distribution de la température au foyer	75
V.2.2- l'expérience de la cuisson (sans isolation de la marmite)	76
V.2.2.1- Expérience d'ébullition d'eau : (1/06/2016)	77
V.2. 2.2- Expérience consistant à la préparation d'œufs durs (02/06/2016)	78
V.2.2.3- Expérience de la préparation de légumes (02/06/2016)	79
V.2.3- l'expérience de la cuisson (avec isolation de la marmite)	80
V.2.3.1- l'expérience de la cuisson de la viande (05/06/2016)	81
Conclusion générale	83

Abstract:

World energy demand is gradually increasing to cover the daily needs of cooking the growing number of the population. In Algeria, firewood for cooking causes the wealth effect and therefore the forest desertification leads to disastrous consequences for the ecosystem. On the other hand, the use of conventional energy sources (natural gas) leads to serious environmental problems. Our work is part of the development and popularization of solar cooking. Our solar cooker was designed and tested for cooking. The device consists of an ordinary pot containing food to be cooked. It is placed in the focus of a parabolic concentrator as it is completely isolated, with the exception of black color black to absorb the rays reflected by the concentrator. If the hub is covered with a reflective aluminum layer Special Assembly towards the sun. The results obtained by different tests are satisfactory and encouraging especially as this prototype is simple to construct, operate efficiently over a long period with daily guidance adjustment.

Keywords:Parabolic concentrator, solar cooker, solar energy, pot, Testing, Testing.

NOMENCLATURE

NOTATION	UNITES
H : Hauteur angulaire du soleil	[degré]
Ts : Temps solaire	[S]
G : Constante solaire	[W/m ²]
H ₀ : Rayonnement extraterrestre	[W/ m ²]
N : Nombre du jour	
\bar{K}_T : Coefficient de clarté	
\bar{H} : Rayonnement moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale	[W/m ²]
\bar{H}_0 : Rayonnement moyen, mensuel hors de l'atmosphère	[W/m ²]
f : Distance focale	[m]
p : Rayon parabolique	[m]
ψ : Angle mesure a partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P)	[degré]
ψ_p : Angle d'ouverture de la parabole	[degré]
q : Angle d' incidence	[degré]
h : Taille de parabole	[m]
A _x : Surface parabole	[m ²]
S : Longueur de parabole	[m]
A _a : Surface d'ouverture du paraboloïde	[m ²]
A _r : Surface d'ouverture du récepteur	[m ²]
r _f : Diamètre de l'image circulaire	[m]
C _g : Concentration géométrique.	
C _o : Concentration optique.	
d ₂ : Diamètre d'ouverture du récepteur	[m]
L : Distance axiale arrière du point focal	[m]
Q _u : Puissance utile	[W]
Q _a : Puissance solaire absorbée par l'absorbeur	[W]
Q _p : Puissance correspondant aux pertes thermiques	[W]

NOMENCLATURE

I_r : l'énergie reçue à l'ouverture du récepteur.	[W/m ²]
I_a : L'énergie reçue à l'ouverture de paraboloïde	[W/m ²]
I_b : Puissance reçue à l'ouverture de paraboloïde	[W/m ²]
$Q_{p,cv}$: Pertes par convection	[W]
$Q_{p,r}$: Pertes par rayonnement	[W]
$Q_{p,cd}$: Pertes par conduction	[W]
T_r : Température de la surface du récepteur	[K]
T_a : Température ambiante	[K]
T_1 : Température extérieure du récepteur	[K]
T_{sk} : Température du ciel	[K]
hr : Coefficient de transfert par rayonnement	[W/m ²]
h_{cv} : Coefficient de transfert par convection	[W/m ²]
t : Temps	[S]
M_e : Masse de l'eau	[Kg]
M_r : Masse du récepteur	[Kg]
C_e : Chaleur massique de l'eau	[J/Kg. k]
C_r : Chaleur massique du récepteur	[J/Kg. k]
V : vitesse du vent.	[m/s]
C_w : Chaleur massique de l'eau	[J/Kg.k]
C_r : Chaleur massique du récepteur	[J/Kg.k]
K : Conductivité thermique de l'eau	[W/m.k]
η_{op} : Rendement optique du concentrateur	
ξ : Efficacité du concentrateur	

NOMENCLATURE

Lettres grecques

δ : Déclinaison solaire	[degré]
λ : Longitude	[degré]
Φ : Latitude	[degré]
ω_s : Angle horaire de couché du soleil	[degré]
ω : Angle horaire	[degré]
σ : Constante de Stefan –Boltzmann	[W/m ² .K ⁴]
ρ : Coefficient de réflexion de la parabole	
τ : Coefficient de transmission du récepteur	
α : Coefficient d'absorption du récepteur	
ε : facteur émissivité de l'absorbeur	

Nombres adimensionnels

Re : Nombre de Reynolds.

Pr : Nombre de Prandtl.

Nu : Nombre de Nusselt

Chapitre I : généralité

Fig I. 1 : Barbara Kerr et Sherry Cole	3
Fig I. 2 : Schéma de principe d'un cuiseur à panneaux [17].	5
Fig I. 3 : Schéma de principe d'un cuiseur de type boîte [17].	5
Fig I. 4 : Schéma de principe d'un cuiseur parabolique [17].	5
Fig I. 5 : Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs [18].	6

Chapitre II : Le gisement solaire

Figure II. 1 :Puissance solaire pour différents ciels.[13]	12
Figure II. 2 : Mouvement terre-soleil	13
Figure II. 3 : La sphère céleste.....	13
Figure II. 4 : Les coordonnées géographiques [12]	14
Figure II. 5 : les coordonnées horaires[12]	15
Figure II. 6 : Les coordonnées horizontales	16
Figure II. 7 : Angle horaire de coucher du soleil.....	17
Figure II. 8 : Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L.....	21
Figure II. 9 : Irradiation directe journalière en Algérie (Juillet)	23

Chapitre III : Etude théorique du concentrateur parabolique

Fig III. 1 : Schéma de principe d'une Centrale à tour [21].	25
Fig III. 2 : Schéma de principe d'un concentrateur parabolique [21].	26
Fig III. 3 : Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique [21].	26
Fig III. 4 : Schéma de principe des miroirs de Fresnel [16].	26
Fig III. 5 : Propriétés géométriques de la parabole. [23]	28
Fig III. 6 : Des segments de parabole ayant un foyer F commun et le même diamètre d'ouverture.	31
Fig III. 7 : Système optique d'une surface parabolique. [23].	33

Fig III. 8: paraboloïde de révolution. [23].	34
Fig III. 9: Paramètres définissant une bande circulaire de la zone différentielle. [23]:	35
Fig III. 6: Catégories des récepteurs. [24]	37
Fig III. 7 : Concentrateur solaire parabolique.	38
Fig III. 8: L'image ellipse	39
Fig III. 9 : Distance axiale arrière du point focal. [27]	40
Fig III. 10 : Bilan énergétique	41
Fig III. 11 : réflexion d'un rayon parallèle.	43
Fig III. 12 : Bilan énergétique	45

Chapitre IV : La conception et la réalisation

Fig IV. 1 : Schéma explicatif du système	52
Fig IV. 2 : Le réflecteur	53
Fig IV. 3 : support de fixation de la parabole	54
Fig IV. 4 : l'absorbeur	55
Fig IV. 5 : la marmite recouverte par la mousse polyuréthane	55
Fig IV. 6 : Vue générale du prototype du cuiseur solaire	56
Fig IV. 7 : un thermocouple [36]	57
Fig IV. 8 : Les instruments de mesure de l'éclairement. [37]	60
Fig IV. 9 : Appareil de mesure de la température ambiante et de la vitesse de vent	61
Fig IV. 10 : Les deux pyranomètres sont fixé sur un support attaché à l'axe de la parabole.	62
Fig IV. 11 : Chaîne de mesure et acquisition de données:	63
Fig IV. 12 : schéma explicatif de disposition des thermocouples	66
Fig IV. 13 : expérience d'ébullition le (01/06/2016)	67
Fig IV. 14 : expérience de préparation d'œuf	68
Fig IV. 15 : le temps nécessaire pour préparer une omelette	69
Fig IV. 16 : préparation d'une salade de légumes	70

Fig IV. 17 : l'expérience de la cuisson avec isolation..... **71**
Fig IV. 18 : expérience de cuisson de la viande **72**

Chapitre V : Résultats et interprétation

Fig V. 1 : Vue de la tache focale du réflecteur **74**
Fig V. 2 : le rayonnement direct et les températures au niveau de foyer en fonction de temps
..... **75**
Fig V. 3 : les températures au niveau de foyer et à la surface de la marmite en fonction du
temps. **77**
Fig V. 4 : le rayonnement direct et diffus au niveau de foyer durant l'expérience d'ébullition
d'eau. **77**
Fig V. 5 : évolution de l'éclairement direct et les températures durant l'expérience de
préparation d'œuf **78**
Fig V. 6 : variation de l'éclairement direct et les différentes températures en fonction du
temps. **79**
Fig V. 7 : l'expérience de la cuisson avec isolation. **80**
Fig V. 8 : l'évolution de les températures dans les différents points de l'expérience de la
cuisson de viande en fonction de temps. **81**
Fig V. 9 : variation du rayonnement direct et diffus de l'expérience de la cuisson de viande en
fonction de temps. **82**

Tableau II.1 : Ensoleillement du territoire algérien	21
Tableau III.1 : Avantages et inconvénients de la concentration	27
Tableau IV.2 : Dimensions du concentrateur parabolique utilisé.....	53
Tableau IV.2 : Spécification de l'absorbeur	54
Tableau IV.4 : Synthétique des thermocouples. [29]	58
Tableau IV.4 : Tolérance des thermocouples. [29]	59

Introduction générale

Le soleil, une énergie renouvelable énorme et inépuisable, rayonne sur la terre avec une puissance de 16×10^{15} KWh/m² par an dans toutes les longueurs d'ondes du spectre de la lumière visible. Cette énergie renouvelable est une préoccupation mondiale et d'actualité surtout si elle est exploitée dans la conversion d'énergie solaire en électricité, qui est l'un des enjeux de la politique énergétique de notre siècle.

L'Algérie dispose d'un gisement solaire important compte tenu des valeurs de ladurée d'insolation enregistrées sur la quasi-totalité du territoire national dépassant les 2000 heures annuellement et pouvant atteindre même les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara.

Par conséquent la quantité d'énergie reçue au sol quotidiennement est de 5 kW/m² par jour [26], soit près de 1700 KWh/m² par an au nord et plus de 2500 KWh/m² au sud, ce qui favorise l'utilisation de l'énergie solaire dans différents domaines tel que la production de l'électricité, le séchage agroalimentaire, etc. la connaissance de ce gisement solaire est d'un intérêt majeur pour concevoir et dimensionner les systèmes énergétiques solaires. Ainsi, un bon dimensionnement n'est possible que si les mesures sont disponibles d'une manière continue dans l'espace et dans le temps.

Cette énergie peut être transformée en chaleur à basse température, par des capteurs plans, utilisant conjointement l'absorption par une surface sélective et l'effet de serre créé par le vitrage, ces capteurs ne permettent pas en général de dépasser la température de 100°C [27].

Pour travailler à température élevée, il faut accroître le flux optique incident qui pourrait être réalisé par concentration de rayonnement solaire. Cette opération est réalisée à l'aide de capteurs appelés concentrateurs solaires. Parmi ce type de concentrateurs, il y a les concentrateurs solaires paraboliques (paraboloïde de révolution).

Ces systèmes comportent en général une surface réfléchissante sous forme parabolique destinée à concentrer l'énergie solaire sur une surface absorbante, ce qui permet d'avoir une forte augmentation de chaleur. L'avantage d'une telle méthode est

de pouvoir atteindre des températures élevées bien adaptées pour le chauffage d'eau (production d'eau stérilisée et de vapeur d'eau), pour les cuisines solaires et production d'électricité par les moteurs Stirling [28].

L'une des applications solaires les plus populaires et les plus répondues dans le monde est la cuisson solaire. En effet, elle est liée à une activité humaine fréquente et très régulière; il s'agit de la préparation de l'alimentation saine [29].

Dans les régions sahariennes isolées où l'approvisionnement en gaz butane est très difficile, l'être humain est contraint de se rabattre sur l'exploitation du bois des quelques arbustes restants comme l'acacia et le palmier pour assurer la cuisson de son alimentation. Le recours à la cuisson solaire apparaît comme une alternative intéressante pour répondre à ce besoin vital sans pour autant compromettre la biodiversité végétale saharienne et tout en limitant le dégagement des gaz à effet de serre.

Dans notre travail, il s'agit de dimensionner et réaliser un cuiseur solaire parabolique.

Le cuiseur parabolique permet de cuire des aliments par concentration des rayonnements lumineux. Il est généralement composé d'un réflecteur parabolique concentrant le rayonnement lumineux vers un récipient dont la surface absorbe les rayons. Selon les modèles, les rayons se concentrent en un foyer ou selon un plan focal. En général, le cuiseur parabolique a une efficacité d'un four solaire ; il permet d'obtenir une température plus élevée et cela plus rapidement. Sa puissance dépend essentiellement de la surface du réflecteur. Malgré ses bonnes performances, le cuiseur est insensible au rayonnement solaire diffus. Il a besoin de la lumière directe du soleil et doit donc être constamment orienté face au soleil.

Chapitre I :

Généralités

I-1-Historique de la cuisson solaire :

En 1767 le Français et Suisse Horace de Saussure a cuit des fruits dans un four recouvert de trois carreaux en verre, et fait à partir de deux boîtes en bois d'épinette et de la laine comme matériel isolant. L'astronome britannique John Herschel a utilisé un cuiseur de boîte en Afrique du Sud en 1830. La première utilisation de cuiseurs solaire aux États-Unis date de 1881 au cours de l'ascension de Samuel P. Langley au Mont Whitney, en Californie. Pendant les années 1860, Mouchot en Algérie a cuit avec un concentrateur concave. Charles Abbot a fabriqué une boîte avec des armatures réfléchissantes en forme de parabole qu'il a dirigées sur un récipient d'huile de moteur. Ce dernier fut chauffé à 177°C et la



Fig I. 1 : Barbara Kerr et Sherry Cole

chaleur résiduelle a permit la cuisson plus tard en soirée. Dans les années 1900, Maria Telkes des Etats-Unis, a fait de la recherche sur plusieurs prototypes de cuiseurs solaires à panneaux. En général, ces premiers models de cuiseurs solaires étaient chers et inconfortables. La disparition des arbres ainsi que les pénuries de pétrole des années 1970 ont éveillé un l'intérêt mondial dans les alternatives au pétrole. Les gouvernements de l'Inde et de la Chine ont développé et ont assuré la promotion des cuiseurs de type boîte et des concentrateurs paraboliques. En 1976, dans l'état de l'Arizona aux États-Unis, Barbara Kerr et Sherry Cole ont développé des cuiseurs de type boîte faciles à construire à domicile. Elles ont aussi travaillé sur des modèles de dessiccateurs et stérilisateurs solaires de nourriture. Le professeur Robert Metcalf, de l'Université de Californie à Sacramento continue même aujourd'hui à faire des études scientifiques sur la pasteurisation solaire de l'eau et de partager ses connaissances dans beaucoup de pays. Kerr, Cole, Metcalf et d'autres ont fondé Solar Cookers International (SCI) en 1987 pour diffuser la cuisson solaire pour le bénéfice des peuples et des environnements à travers le monde. Aujourd'hui plusieurs centaines d'ingénieurs, d'éducateurs, de coopérants et bénévoles, de

fonctionnaires, de clubs, d'universités, de groupes religieux et de programmes pour réfugiés partagent leurs connaissances de cuisson solaires. Voici quelques exemples de projets pratiques : L'organisation SERVE a apporté la cuisine solaire à des milliers de réfugiés et d'autres familles au Pakistan. L'Université du Chili, avec Teresa Guzman, Pedro Serrano et autres, ont introduit les concepts de cuisson solaire à Villa Seca, où dans le village la plupart des familles pratiquent la cuisson solaire et où le restaurant solaire attire maintenant des touristes. Les graves sécheresses des années 1990 en Afrique ont incité SCI à améliorer un cuiseur solaire ultra simple initialement développé par Roger Bernard (France). Ce développement a incité à diffuser les plans pour la fabrication du nouveau Cookit à travers le monde entier et de distribuer le Cookit à plus de 30.000 familles de réfugiés en Afrique orientale. Rotary International et les clubs Girl Guide ont aussi distribué la cuisson solaire et le Cookit dans de nombreux pays.[5]

En Algérie, la cuisson solaire est toujours méconnue du grand public. Le projet lancé en 2004 et inscrit au programme de l'URER/MS a permis d'introduire cette activité en milieu saharien et de s'inscrire dans le répertoire international des promoteurs de la cuisson solaire ('International Directory of Solar Cooking Promoters'). Beaucoup d'efforts restent à fournir et un projet de grande envergure est nécessaire pour développer et vulgariser cette application qui peut être très bénéfique au niveau des régions isolées.

I-2-Etat de l'art des cuiseurs solaires :

Exemples de systèmes de cuisson solaire :

Il existe trois principaux modèles de base :

1-Le cuiseur à panneaux :

Ce type de cuiseurs (Fig I. 3), est constitué de différents panneaux plans réfléchissants et d'un récipient noir englobé dans un sac en plastique, placé sous une cloche en verre [6]. Le cuiseur à panneaux combine les deux principes de concentration des rayons et d'effet de serre. Les rayons sont reflétés en direction du récipient et c'est le sac qui crée l'effet

de serre [7].



Fig I. 2 : Schéma de principe d'un cuiseur à panneaux [17].

2-Le cuiseur de type boîte :

Ce modèle (Fig I. 5), est constitué d'un ou plusieurs panneaux plans réfléchissants qui concentrent les rayons du soleil sur le récipient [6]. Le cuiseur boîte utilise le principe de l'effet de serre. Les rayons pénètrent par la vitre dans une boîte isolée, la température monte progressivement, et le récipient noir placé à l'intérieur se retrouve immergé dans la chaleur. Le système se rapproche de la cuisson au four à gaz et électrique, ainsi que de la cuisson à l'étouffée [7].

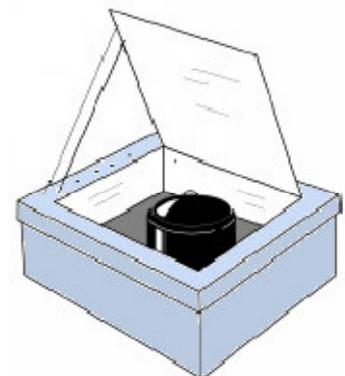


Fig I. 4 : Schéma de principe d'un cuiseur de type boîte [17].

3-Le cuiseur parabolique

Le cuiseur parabolique (Fig I.7), utilise le principe de la concentration des rayons solaires. Ces cuiseurs sont constitués de disques concaves sous forme de parabole qui focalise la lumière solaire sur le fond du récipient [6]. La puissance d'un cuiseur parabolique solaire est équivalente à celle d'une plaque électrique ou à gaz [7]. On trouve généralement deux types: les cuiseurs paraboliques à réglage manuel et les cuiseurs paraboliques à réglage automatique.

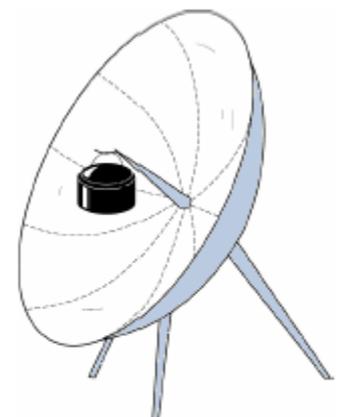


Fig I. 6 : Schéma de principe d'un cuiseur parabolique [17].

I-3-Les températures et temps de cuisson :

La cuisine solaire est un moyen écologique et économique de préparer les aliments. Le fonctionnement des cuiseurs solaires dépend uniquement de l'ensoleillement et non de la température extérieure. Par conséquent, ils s'utilisent aussi bien en été qu'en hiver et ce dans toutes les régions ensoleillées du globe. Un minimum de 40 minutes d'ensoleillement suffit pour un bon fonctionnement [19]. La température atteinte par les cuiseurs solaires simples (de type boîte et les cuiseurs à panneaux réfléchissants) est généralement comprise entre 100 et 200 °C et dépend tout d'abord du nombre et de la taille des panneaux utilisés. La température atteinte par d'autres types de cuiseurs (les cuiseurs paraboliques) varie entre 150 et 250 °C en fonction du diamètre du réflecteur [6]. Cependant, des températures comprises entre 80 et 90°C suffisent pour cuire les nourritures et gardent leur goût, humidité et éléments nutritifs (Fig I. 8) [19].

Les temps de cuisson sont très variables, ils varient considérablement en fonction de divers facteurs [20] notamment la période de l'année, le moment de la journée, le degré d'ensoleillement, la force du vent, le type de récipient utilisé et la quantité de nourriture préparée. Les surfaces foncées absorbent mieux la lumière du soleil que les surfaces claires. C'est pourquoi les aliments cuisent mieux dans des récipients en métal foncé, peu profonds, fermés par des couvercles adaptés afin de maintenir la chaleur et l'humidité [18].

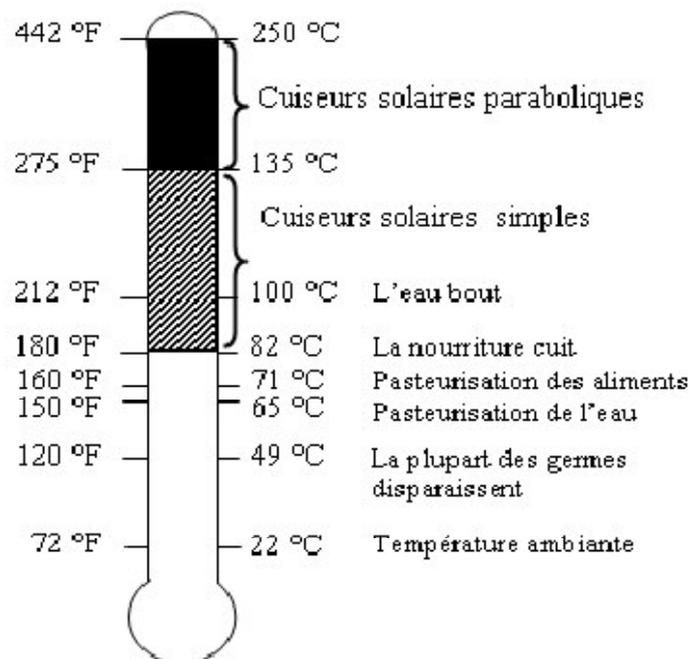


Fig I. 5 : Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs [18].

I.4-Intérêt des cuiseurs du point de vue de l'économie de d'énergie et de l'environnement :**➤ Les cuiseurs solaires permettent de gagner du temps et de l'argent :**

- ✓ La lumière du soleil est gratuite. La cuisson solaire permet de conserver une énergie précieuse pour le soir et les jours de mauvais temps.
- ✓ Les plats cuisent pendant que vous vous occupez d'autre chose, sans qu'il soit nécessaire d'y prêter attention.
- ✓ Les casseroles sont faciles à nettoyer, la nourriture n'accroche pas.
- ✓ Un cuiseur solaire est facile à construire à partir de matériaux divers et peu coûteux.

➤ Les cuiseurs solaires sont sûrs, pratiques et sains :

- ✓ Ils ne causent aucun risque d'incendie.
- ✓ Ils ne dégagent aucune fumée lors de la cuisson, cela réduit ainsi les cas de maladies des yeux ou les problèmes pulmonaires. Les personnes allergiques à la fumée peuvent désormais profiter d'un barbecue solaire sans fumée !
- ✓ La plupart des cuiseurs solaires cuisent à des températures comprises entre 82°C et 121°C, idéales pour préserver les nutriments, la saveur et le goût des aliments et éviter qu'ils ne brûlent. La cuisson au bois ou au gaz, au contraire, dépasse les 260°C.
- ✓ Vous pouvez faire cuire, bouillir, frire (légèrement) les aliments dans leur propre jus sans ajouter d'eau. Les viandes sont plus tendres.
- ✓ La pasteurisation de l'eau est aussi possible grâce au cuiseur solaire. C'est une technique que chacun devrait connaître en cas d'urgence.
- ✓ Quand vous cuisinez solaire, votre cuisine reste fraîche et aérée alors que dehors le temps est chaud et ensoleillé.
- ✓ Le cuiseur se plie pour être rangé ou transporté facilement.

➤ Les cuiseurs solaires sont faciles d'emploi :

- ✓ Les cuiseurs solaires peuvent être construits à partir de matériaux divers et s'adaptent aux différents climats et façons de cuisiner.

➤ **La cuisson solaire permet de sauver des vies dans les régions pauvres en énergie mais riches en soleil :**

- ✓ La cuisson solaire contribue à résoudre deux des problèmes majeurs dans le monde : l'aggravation du manque d'énergies pour la cuisson et le fléau des maladies liées à l'eau. La moitié de la population mondiale cuisine à l'aide du feu de bois. Selon l'ONU, deux tiers de la population mondiale, c'est-à-dire deux milliards de personnes, souffrent du manque de bois. Les femmes, et parfois les enfants, doivent aller chercher le bois de plus en plus loin, ce qui prend plus de temps que par le passé. Les familles vivant dans les villes dépensent 30 à 50% de leur revenu dans les énergies de cuisson, ou échangent une partie de leur nourriture contre du bois. Les familles délaissent les aliments riches en nutriments, qui nécessitent une cuisson lente, causant ainsi disette et malnutrition. De nombreux gouvernements importent et subventionnent des énergies fossiles. Grâce au cuiseur solaire, les familles réduisent de moitié leurs besoins en bois de cuisson.
- ✓ La pasteurisation de l'eau et du lait grâce au cuiseur solaire aide à réduire la contamination par le choléra et autres maladies liées à la consommation d'eau impropre, qui causent la mort de 50000 personnes par jour. L'OMS estime qu'environ 80% des maladies prolifèrent à cause d'une eau contaminée.

➤ **La cuisson solaire aide à préserver les forêts et les richesses de la terre :**

- ✓ Dans les zones menacées par la déforestation, les efforts de protection échouent quand les gens n'ont pas d'alternative à la cuisson au feu de bois. Comme le disait un ministre du Zimbabwe : « Quand les arbres ont disparu, l'érosion des sols suit ... Le fermier ne peut plus travailler la terre ... La terre est lavée par la rivière. L'eau nécessaire à l'irrigation se raréfie. Alors le coton et le blé sont plus chers. C'est un cercle sans fin »
- ✓ Chaque cuiseur solaire peut sauver une tonne de bois par an dans les régions ensoleillées mais arides

➤ **Les cuiseurs solaires aident à améliorer la qualité de l'air :**

- ✓ Les énergies traditionnelles comme le bois et le gaz polluent l'air et contribuent au réchauffement de la planète. Les cuiseurs solaires offrent une alternative non polluante à l'utilisation des énergies fossiles.

1.5. CONCLUSION :

Dans ce premier chapitre il a été constaté qu'un cuiseur solaire est un moyen écologique et économique de préparer les aliments. Les cuiseurs solaires capturent les rayons du soleil au moyen de surfaces brillantes ou miroirs, qui réfléchissent les rayons du soleil et les concentrent sur un récipient de cuisson, à cette concentration de rayons lumineux, s'ajoute un effet de serre dans le cas des cuiseurs boîtes. Et pour surmonter les besoins énergétiques en cas de mauvais temps ou pendant la nuit, le stockage thermique d'énergie est compté parmi les meilleures solutions techniques possibles pour la cuisson solaire. Plusieurs prototypes de cuiseurs solaires ont été réalisés à travers le monde sans et avec stockage et les résultats s'avèrent relativement satisfaisants.

Chapitre II :

Gisement solaire

II.1–Introduction :

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, et que la terre reçoit à raison d'une puissance moyenne de 1,4 kW/m².

Pour une surface perpendiculaire à la direction terre-soleil. Ce flux solaire est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion, suivant les conditions météorologiques et la latitude du lieu au niveau du sol.

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année. Pour cette raison, on a jugé nécessaire de présenter dans ce chapitre une notion générale sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire[12].

II.2 - Energie solaire :

L'énergie solaire provient des rayons du soleil qui atteignent la Terre. Le premier point important à noter est que cette énergie est présente dès le lever du soleil. De même, bien qu'elle soit plus puissante par beau temps, elle est également présente et utilisable par temps nuageux. En effet, l'énergie solaire tire à la fois partie des rayons directs du soleil mais aussi des rayons diffus à travers l'atmosphère.

Le dernier point intéressant à noter est que chaque année, les rayons du soleil arrivant jusqu'à nous permettent de produire assez d'énergie pour combler les besoins énergétiques de tous les habitants de la Terre. En théorie, il suffit donc d'installer des matériaux qui captent cette énergie et la transforment en électricité, chauffage etc. pour arriver à une énergie propre et renouvelable.

L'énergie solaire peut être exploitée sous deux formes principales: la conversion photo-thermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur et la conversion photovoltaïque pour la production d'électricité.

Nous traiterons dans le cadre de ce travail seulement la première voie de conversion.

II.3 - Le rayonnement solaire :

Au moins 35 % du rayonnement solaire intercepté par la terre et son atmosphère sont **réfléchis** vers l'espace. Une partie du rayonnement qui atteint la terre est **diffusée** dans toutes les directions au cours de la traversée de l'atmosphère, en rencontrant des molécules d'air, des aérosols et des particules de poussière (c'est ce rayonnement diffus, appartenant notamment à la frange bleue du spectre visible qui est responsable de la couleur bleue du ciel clair). D'autre part, la vapeur d'eau, le gaz carbonique et l'ozone de l'atmosphère absorbent 10 à 15 % du rayonnement solaire. Le reste du rayonnement atteint directement la surface.

Outre la composition de l'atmosphère, le facteur le plus important pour évaluer la quantité du rayonnement solaire qui atteint la surface de la terre est l'épaisseur d'atmosphère que le rayonnement doit traverser. Le rayonnement solaire reçu sur une surface varie donc au cours du temps en fonction de la position du soleil et de la couverture nuageuse. La puissance solaire maximale à la surface de la terre est d'environ $1\ 000\ \text{W/m}^2$ pour une surface perpendiculaire aux rayons. [13]

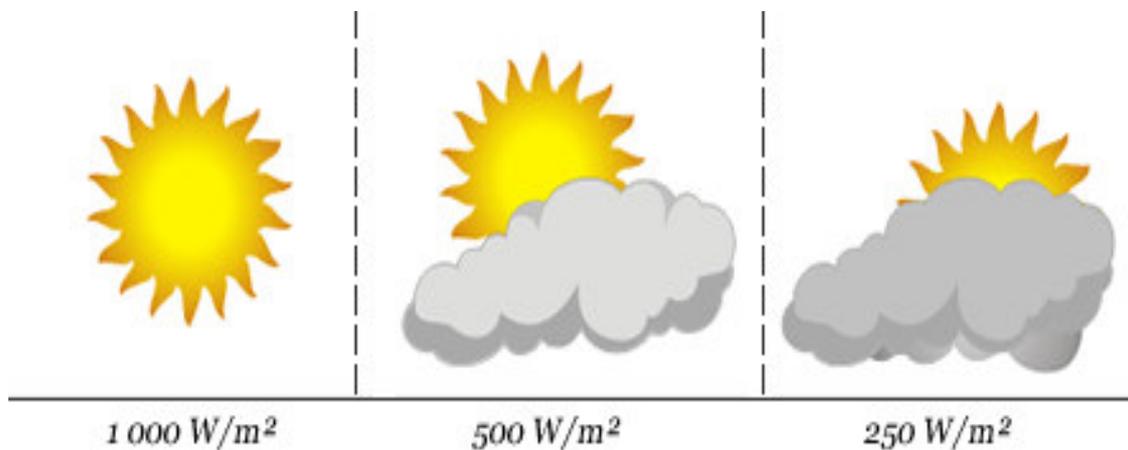


Figure II. 1: Puissance solaire pour différents ciels. [13]

II .4 - Le mouvement Terre-Soleil :

La course de la terre autour du soleil décrit une ellipse légèrement aplatie. Dans cette ronde annuelle autour du soleil, la terre effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Cet axe nord - sud fait **un angle de $23^{\circ}27'$** avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour du soleil.

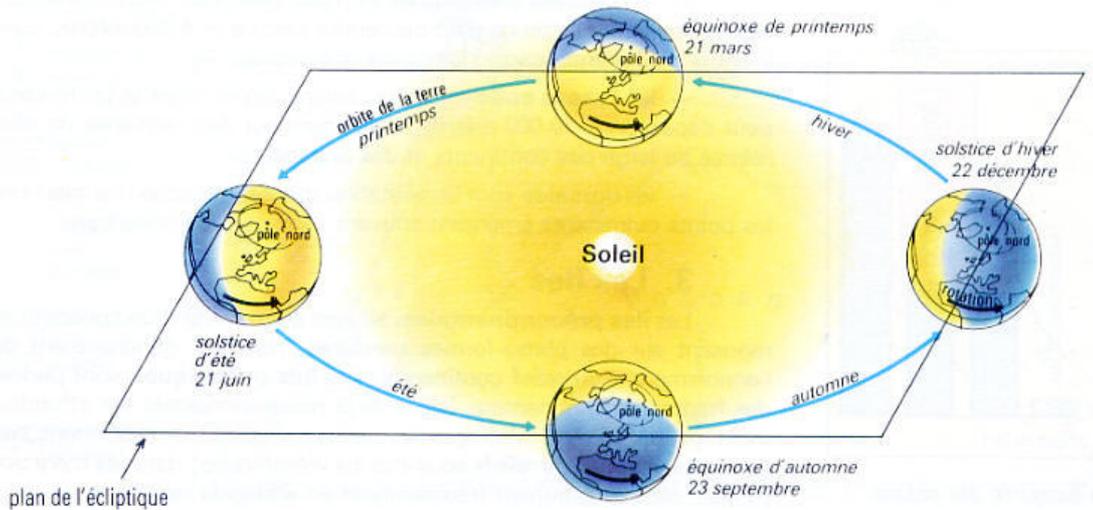


Figure II. 2: Mouvement terre-soleil

II.5 - La sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, avec la terre au centre. On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes caractéristiques sur la sphère dans la figure suivante :

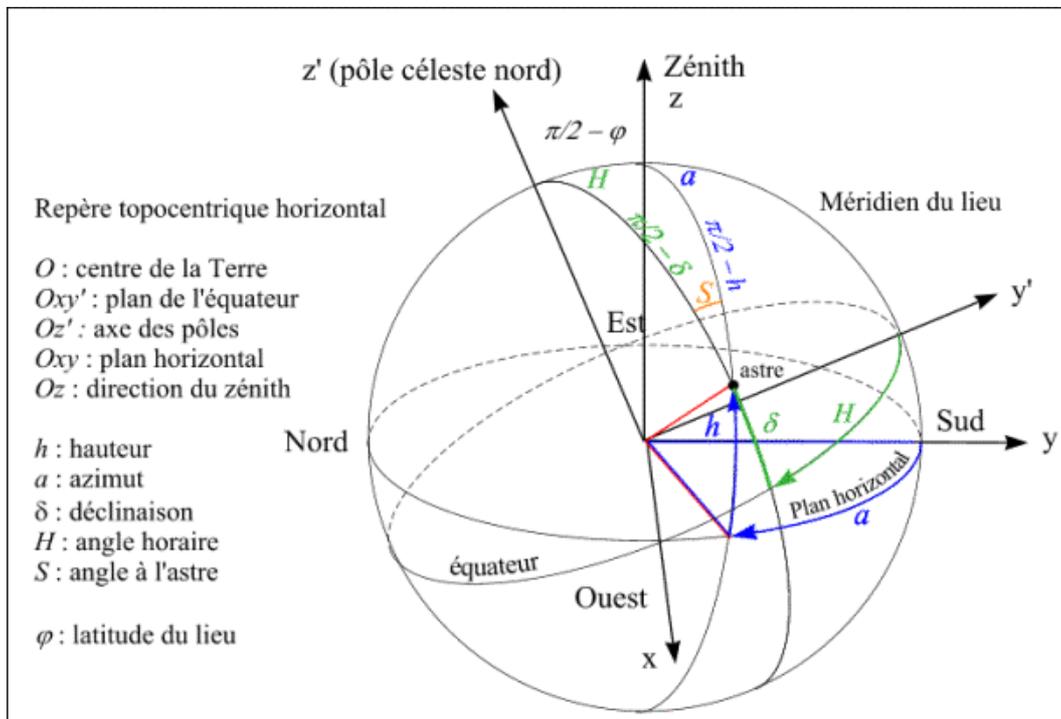


Figure II. 3: La sphère céleste

La direction des objets peut être quantifiée de façon précise à l'aide d'un système de coordonnées célestes.

II .6- Les coordonnées célestes :

II .6-1- Les coordonnées géographiques :

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre

➤ *Longitude :*

La longitude d'un lieu λ correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien (origine 0°) le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest.

➤ *Latitude :*

La latitude d'un lieu ϕ correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayonnement joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud [12].

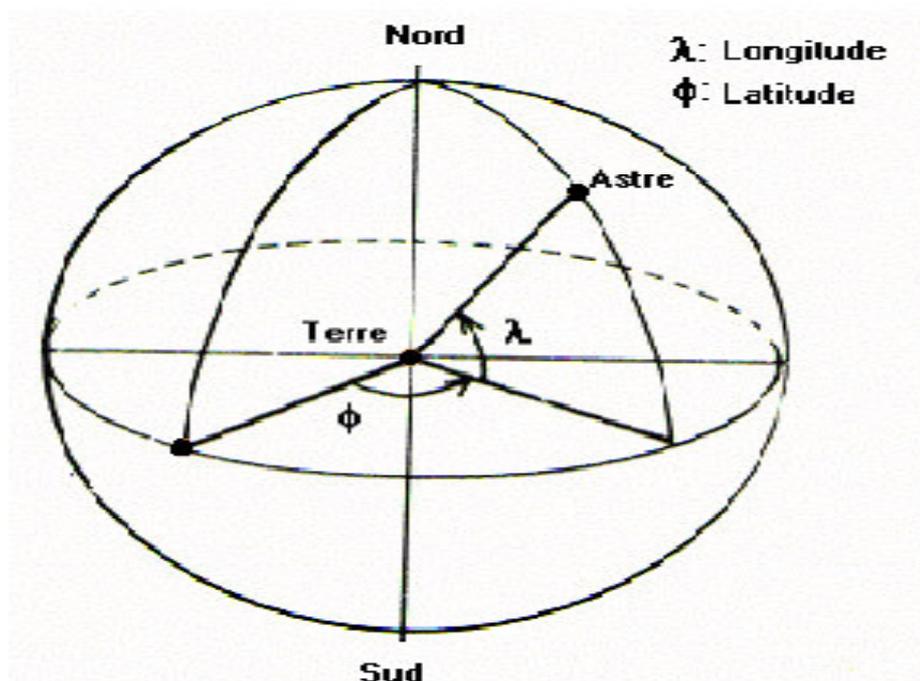


Figure II. 4: Les coordonnées géographiques[12]

II .6.2-Les coordonnées horaires :

II .6.2.1-La déclinaison solaire :

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes (-23°27'et +23°27'environs) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule [12] :

$$\delta = 23.45 \sin(360 \times (284 + n) / 365) \quad (\text{II-1})$$

n : numéro du jour dans l'année

II .6.2.2- Angle horaire (ω) :

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après midi et augmente de 15° par heure, [12].

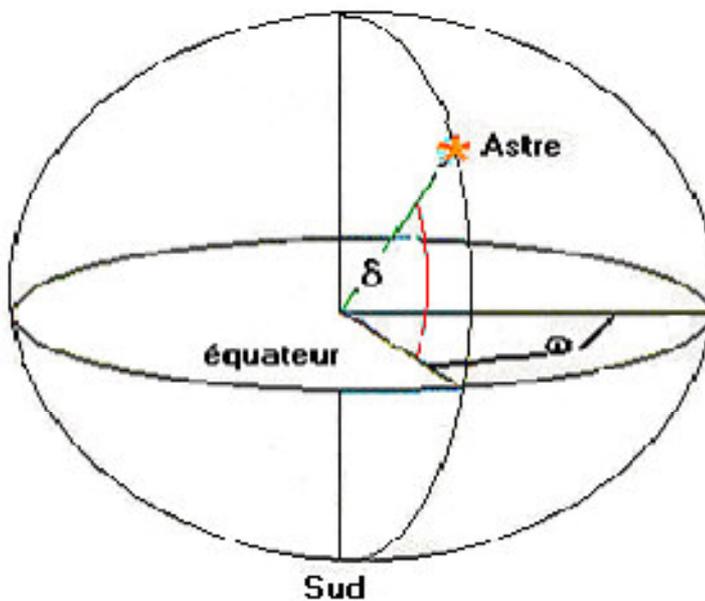


Figure II. 5: les coordonnées horaires[12]

II .6.3- Les coordonnées horizontales :

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

II .6.3.1- Hauteur angulaire du soleil (h) :

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0 (soleil à l'horizon) à 90 (soleil au zénith).

II .6.3.2- Azimut :

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale [12].

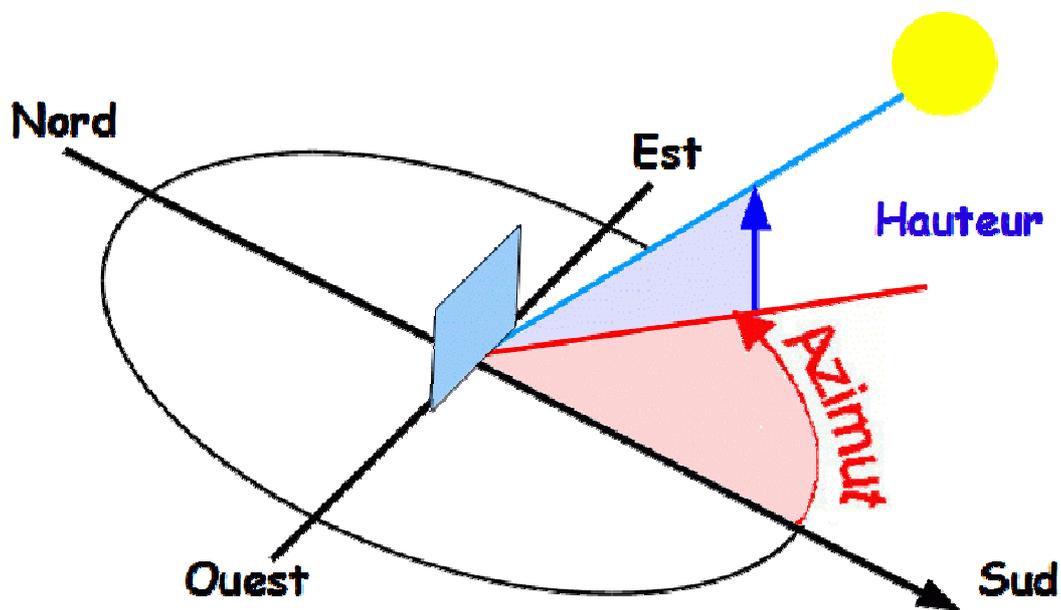


Figure II. 6 : Les coordonnées horizontales

II .7- Angle horaire de coucher du soleil :

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire. Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local. Il est donné par l'équation suivante [13] :

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\Phi) \tan(\delta)) \text{ (II-2)}$$

δ : Déclinaison solaire

Φ : latitude

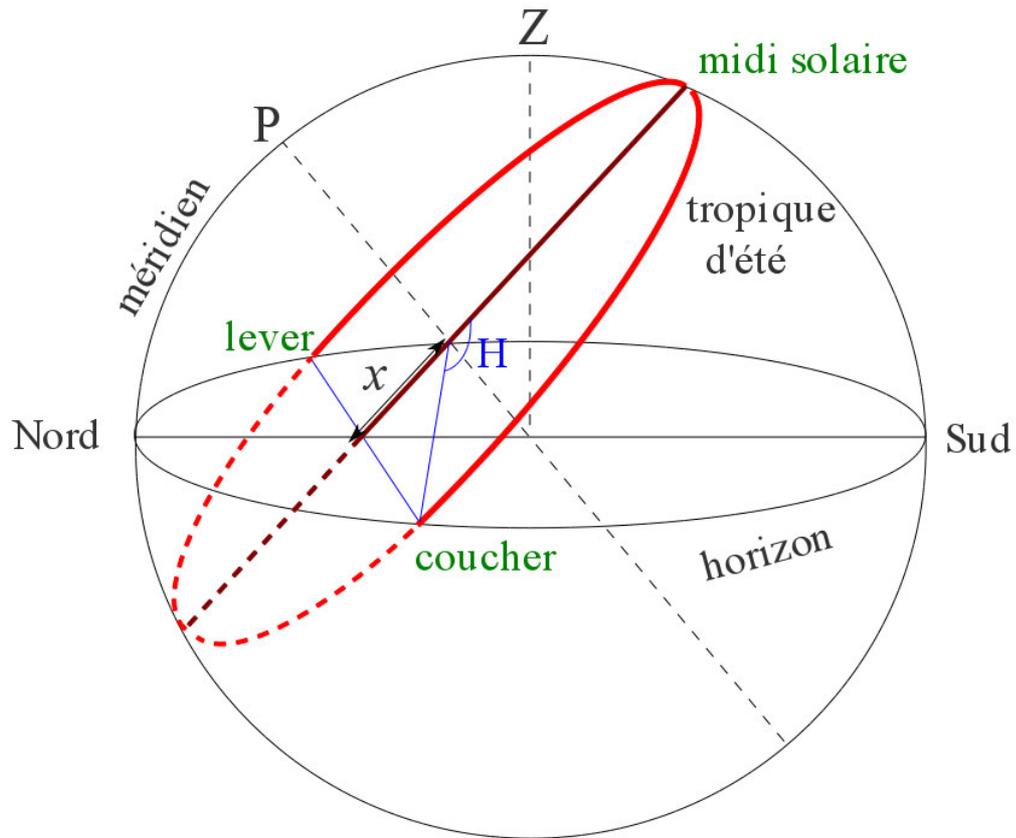


Figure II. 7: Angle horaire de coucher du soleil

II .8 - Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique à peu près constant et égale à 1367w/m², appelé de ce fait constante solaire.

II .8.1- Types de rayonnements :

II .8.1.1- Rayonnement direct :

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.

II .8.1.2 - Rayonnement diffus :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

II .8.1.3- Rayonnement global :

C'est la somme des deux types de rayonnements direct et diffus.

II .8.2- Rayonnement extraterrestre :

Le rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère.

Pour un point donné, Il est formulé comme suit [13]:

$$H_0 = \frac{86400G}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(2\pi \frac{n}{365} \right) \right) (\cos \Phi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \Phi \sin \delta)$$

(II-3)

N : nombre de jours dans l'année.

G : constante solaire. (G =1367) (w/m²)

δ: La déclinaison solaire

Φ: Latitude

II .8.3.- Coefficient de clarté :

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé coefficient de transmission, il est définie par [13]:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \text{(II-4)}$$

\bar{H} : Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale.

\bar{H}_0 : Rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère.

II .9- Temps solaire moyen et temps universel :

La rotation régulière de la terre sur elle-même, autour de l'axe des pôles, détermine la succession des jours et des nuits. Une rotation complète de la terre (360°) correspondant à 24 heures, en moyenne : c'est la définition même de l'heure.

Compte tenu du sens de rotation de la terre, et en affectant du signe + les longitudes à l'est de la méridien origine, et du signe – les longitudes à l'ouest de ce même méridien, l'heure du passage du soleil au méridien correspondant à la longitude λ .

Ainsi, le soleil passe au méridien de tous les lieux de même longitude λ à l'heure TSM telle que :

$$\text{TSM} = 12 - \left(\frac{\lambda}{15} \right) \quad \text{(II.5)}$$

II .9.1-Temps solaire vrai et angle horaire du soleil :

A la notion de temps solaire vrai TSV se rattache celle d'angle horaire du soleil ω , qui est l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Puisque cette trajectoire est uniformément décrite (360°) en 24 heures, l'angle horaire du soleil augmente de 15° par heure. La valeur 0° étant donnée au passage du soleil dans le plan méridien (midi solaire vrai=12hTSV) ; l'angle horaire est compté négativement avant midi TSV, et positivement après midi.

Pour un lieu de longitude λ donnée, il existe une correspondance directe entre le TSV et l'angle horaire ω du soleil [13]:

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \quad (\text{II.6})$$

Où ω est mesure en degrés et TSV en heures.

ω et λ sont exprimés en degrés.

II .9.2-Mouvement apparent du soleil :

Le mouvement apparent du Soleil vu par un observateur fixe en un point de latitude L au nord de l'équateur est représenté sur la (figure II.7). Au midi solaire, l'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu est égal à $(L - d)$. La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12h entre le 21 mars et le 21 septembre.

Un jour a été divisé en 24h et l'heure solaire TS a été définie en fixant $TS=12$ h lorsque la hauteur du Soleil est maximale (le Soleil est à son « zénith »). La hauteur h du Soleil peut alors se déduire de la relation [14]:

$$\text{Sin}(h) = \text{Sin}(L)\text{Sin}(\delta) + \text{Cos}(L) \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(\omega) \quad (\text{II.7})$$

Et l'azimut a par la relation :

$$\text{Sin}(a) = \text{Cos}(\delta) \text{Sin}(\omega / \text{Cos}(h)) \quad (\text{II.8})$$

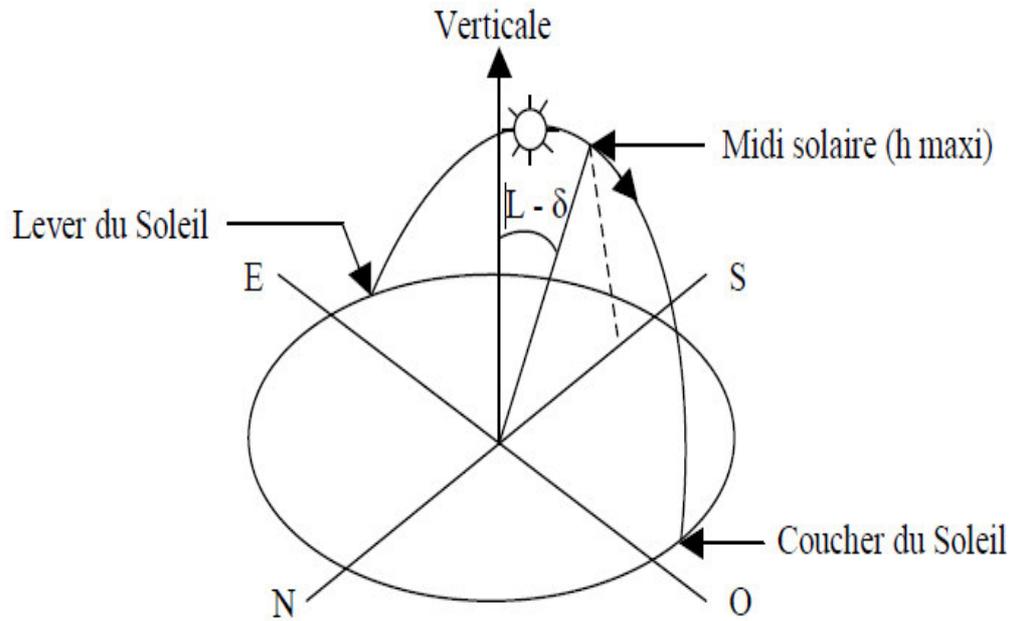


Figure II. 8: Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L

II .9.3 - Heures et temps :

II .9.3.1- Durée du jour :

Le module ω_1 de l'angle horaire au lever du Soleil s'obtient en écrivant, $\sin(h)=0$ ce qui conduit à :

$$\text{Cos}(\omega_1)=-\tan(L)\tan (\delta)(\text{II.9})$$

L'heure solaire au lever du Soleil a donc pour valeur :

$$(\text{TSV}) = 12 - \frac{\omega_1}{15}(\text{II.10})$$

L'angle horaire ω_c au coucher du Soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc $\omega_1=-\omega_c$ et la durée du jour vaut :

$$D = 2 \frac{\omega_1}{15}(\text{II.11})$$

II .10- Rayonnement en Algérie :

Chapitre II Le gisement solaire

L'Algérie possédant un gisement solaire important, de part son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ $1\text{KW}/\text{m}^2$. L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les $6\text{KW}/\text{m}^2$ et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de $2500\text{KW}/\text{m}^2$ [11]. Par sa position privilégiée, l'Algérie dispose d'un grand solaire du bassin méditerranéen. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara.

Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays. [10]

Zones géographiques	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau II. 1: Ensoleillement du territoire algérien.

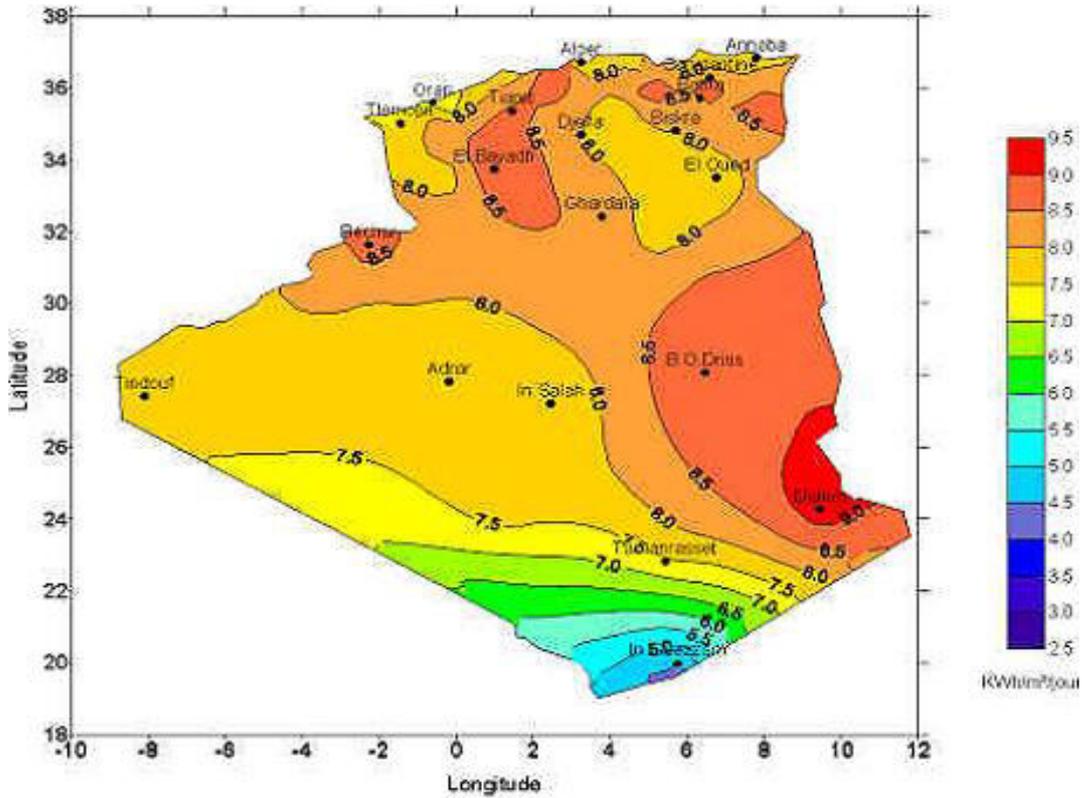


Figure II. 9: Irradiation directe journalière en Algérie (Juillet)

II.11– Conclusion :

L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de concentration solaire.

Le rayonnement reçu par un concentrateur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au soleil.

L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire.

Le rayonnement reçu par un capteur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au soleil.

Un capteur solaire fixe reçoit le maximum d'énergie lorsqu'il est orienté vers le sud et est incliné selon un angle pratiquement égal à la latitude du lieu. Par exemple les capteurs installés à Blida sont inclinés de 36 °.

Pour que le rayonnement solaire soit perpendiculaire au panneau solaire, et afin d'optimiser tout le système de captation, il est nécessaire de recourir à la technique de poursuite du soleil.

Chapitre III :

Etude théorique du concentrateur parabolique

III.1- Le principe de fonctionnement des systèmes à concentration :

Un capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, ...) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement reçu. Les technologies solaires à concentration permettent de transformer le rayonnement solaire en chaleur à un niveau de température situé entre 200 °C et 2000 °C, avec un rendement supérieur à 70 %. Cette chaleur primaire peut ensuite être utilisée dans des procédés industriels, par exemple sous forme de vapeur d'eau, ou pour effectuer des transformations ou des synthèses de matériaux, ou bien être convertie en vecteurs énergétiques comme l'électricité ou l'hydrogène [14]. Le temps de retour énergétique des installations solaires à concentration est que de 5 mois et leur durée de vie est estimée entre 25 et 30 ans [14].

III.2- Les type de concentrateurs solaires :

Il existe pratiquement quatre principaux types de concentrateurs solaires. Les systèmes à concentration en ligne ont généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels.

III.2.1- Les centrales à tour

Une centrale à tour (Fig III. 1), utilise un certain nombre de grands miroirs plats qui suivent le mouvement du soleil et qui concentrent la lumière sur un grand absorbeur situé au sommet d'une tour. Le système pompe un fluide, soit une huile synthétique à haute température ou du sel fondu, dans l'absorbeur où il est chauffé jusqu'à (550 °C) et ensuite utilisé pour produire de l'électricité [15].

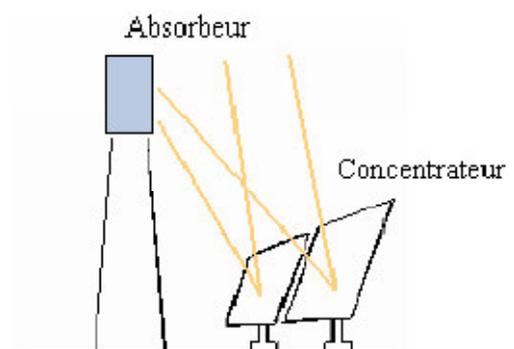


Fig III. 1 : Schéma de principe d'une Centrale à tour [21].

III.2.1- Les systèmes à réflecteur parabolique

Un système à réflecteur parabolique (Fig III. 2), utilise des miroirs paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur situé au foyer du récepteur. Le récepteur contient un fluide qui, lorsque les rayons du soleil le frappent, atteint une température de 750 à 1000 °C. Ce fluide très chaud est ensuite utilisé pour produire de l'électricité dans un petit moteur fixé au récepteur [15].

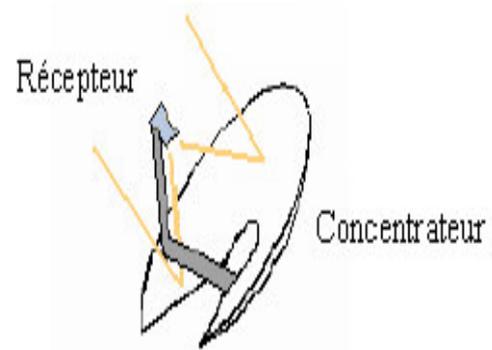


Fig III. 2: Schéma de principe d'un concentrateur parabolique [21].

III.2.2- Le système à réflecteur cylindro-parabolique :

Comme son nom l'indique, ce système utilise une série de longs réflecteurs cylindriques en forme de parabole (Fig III.3). La parabole concentre la lumière sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. Les températures du récepteur peuvent atteindre (400 °C) et peuvent produire de la vapeur afin de fournir de l'électricité [15].

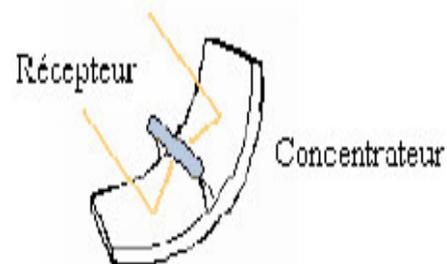


Fig III. 3: Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique [21].

III.2.3- Les systèmes à miroirs de Fresnel

La technologie des miroirs de Fresnel (Fig III.4), utilise un premier étage de réflecteur installé sur le sol, le rayonnement est réfléchi au foyer de la parabole approximée par le jeu de miroirs. Un deuxième étage de réflecteurs redirige le rayonnement vers le tube récepteur, ce second étage de réflecteurs joue aussi le rôle d'isolant pour le tube récepteur. Cette technologie pourrait mener à une réduction des coûts de production de 50 % par rapport aux réflecteur traditionnels [16].

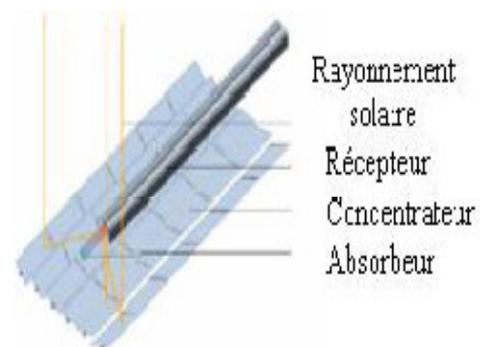


Fig III. 4: Schéma de principe des miroirs de Fresnel [16].

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

III.3- Avantages et inconvénients de la concentration :

avantages	inconvénients
L'énergie solaire est inépuisable et non polluante	Le cout d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevée
L'énergie solaire est propre et ne dégage pas de gaz à effet de serre	L'énergie solaire est une énergie intermittente.il faut donc un système de chauffage d'appoint
L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie du besoin en eau chaude sanitaire et en chauffage	La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil
L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes	Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes
Le frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faible	Les panneaux solaires contiennent des déchets toxiques : cuivre et chrome

Tableau III. 1 : Avantages et inconvénients de la concentration

III.4- Choix du type de concentrateur :

La majorité des systèmes utilise des miroirs de verre pour réfléchir la radiationsolaire et peu d'entre eux des feuilles d'aluminium. Un aspect très important dessystèmes à concentration est que seule l'irradiation directe peut être mise à profit, laradiation diffuse ne pouvant pas être focalisée par le concentrateur car elle n'a pas dedirection. La centrale solaire ne peut donc fonctionner que si le ciel est dégagé.

Nous allons par la suite dans notre étude se baser sur le capteur parabolique.

III.5 - Concentrateur parabolique :

III.5.1- La géométrie parabolique

III.5.1.1- Définition

Une parabole est l'ensemble des points situées à égale distance d'une droite fixe (D) appelée directrice, et un point fixe (F) appelé foyer [22]. L'intersection de la parabole etde son axe est le sommet (V) qui est exactement intermédiaire entre le foyer et ladirectrice.

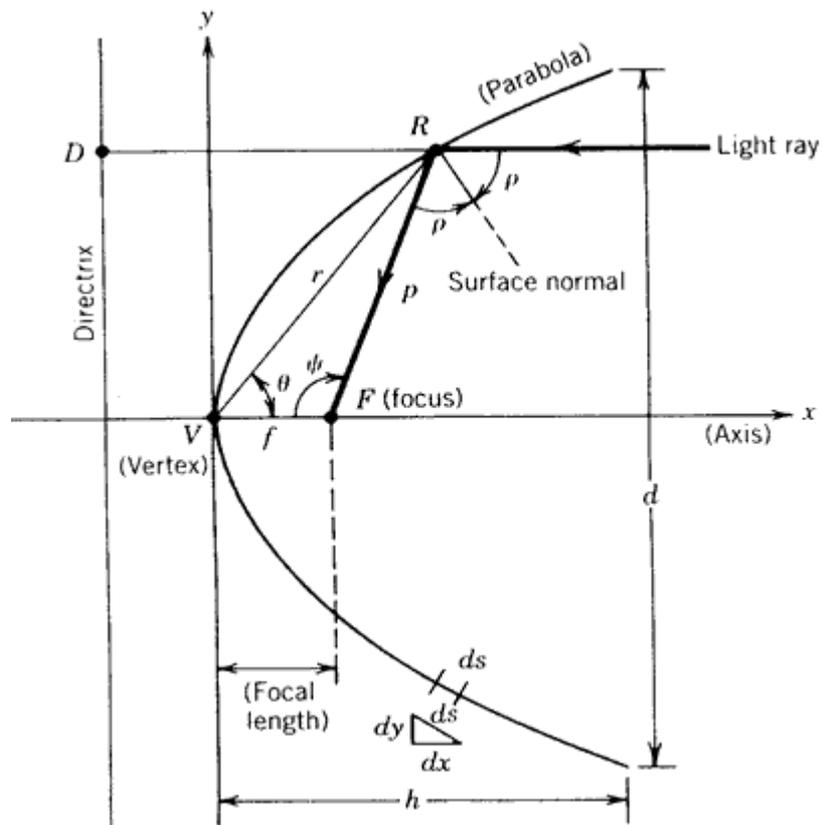


Fig III. 5: Propriétés géométriques de la parabole.[23]

Si l'origine est prise au niveau du sommet V et l'axe des abscisses le long de l'axe de la parabole, l'équation de la parabole est. [23] :

$$Y^2 = 4.f.x \quad (\text{III-1})$$

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

Où f , la distance focale est la distance VF à partir du sommet du foyer. Lorsque l'origine est décalée vers le foyer F, comme on le fait souvent dans des études optiques, dont le sommet est à la gauche de l'origine, l'équation d'une parabole devient.[23] :

$$Y^2 = 4.f.(x + f) \quad (\text{III-2})$$

En coordonnées polaires, selon la définition usuelle de r comme la distance entre l'origine et l'angle par rapport à l'axe x à r , on a pour une parabole dont le sommet est à l'origine et symétrique autour de l'axe x . [23] :

$$\frac{\sin^2 \theta}{\cos \theta} = \frac{4.f}{r} \quad (\text{III-3})$$

Souvent, dans les études solaires, il est plus utile de définir la courbe parabolique à l'origine en F et en fonction de l'angle en coordonnées polaires avec l'origine au point F. L'angle est mesuré à partir de la ligne VF et le rayon parabolique p est la distance entre le foyer F de la courbe. On décale l'origine du foyer F, nous avons. [23] :

$$P = \frac{2.f}{1 + \cos \psi} \quad (\text{III-4})$$

p : rayon parabolique, distance (RF) entre la courbe de la parabole et le foyer f .

ψ : angle mesuré à partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P).

La forme parabolique est largement utilisé comme surface réfléchissante pour concentrer les rayons solaires, car il a la propriété que, pour toute ligne parallèle à l'axe de la parabole, l'angle p entre celle-ci et la normale à la surface est égal à l'angle entre la normale et une ligne au point focal. Etant donné que le rayonnement solaire arrive à la terre des rayons sensiblement parallèles, et par la loi de Snell l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, tous les rayons parallèles à l'axe de la parabole sera réfléchi vers un point unique F qui est le point central.

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

Une inspection minutieuse de la géométrie décrite à la figure 8.2 montrera que ce qui suit est vrai.[23]:

$$\psi = 2. p \text{ (III-5)}$$

III.5.1.2- Angle d'ouverture d'une parabole:

Les expressions générales données à ce jour pour la parabole définissent une courbe infinie en étendue. Les concentrateurs solaires utilisent une partie tronquée de cette courbe. L'ampleur de cette troncature est généralement défini en termes de l'angle de la jante ou le rapport entre la distance focale et le diamètre de l'ouverture f / j . L'échelle (taille) de la courbe est ensuite spécifiée en termes d'une dimension linéaire telle que le diamètre d'ouverture d ou la longueur focale f . Ceci est évident dans la (Fig III. 6), qui montre différents parabola finie ayant un foyer commun et le même diamètre d'ouverture.[23]:

$$\tan \psi_p = \frac{(f/d)}{2.(f/d)^2 - \frac{1}{8}} \text{ (III-6)}$$

f : distance focale

d : diamètre de l'ouverture de la parabole

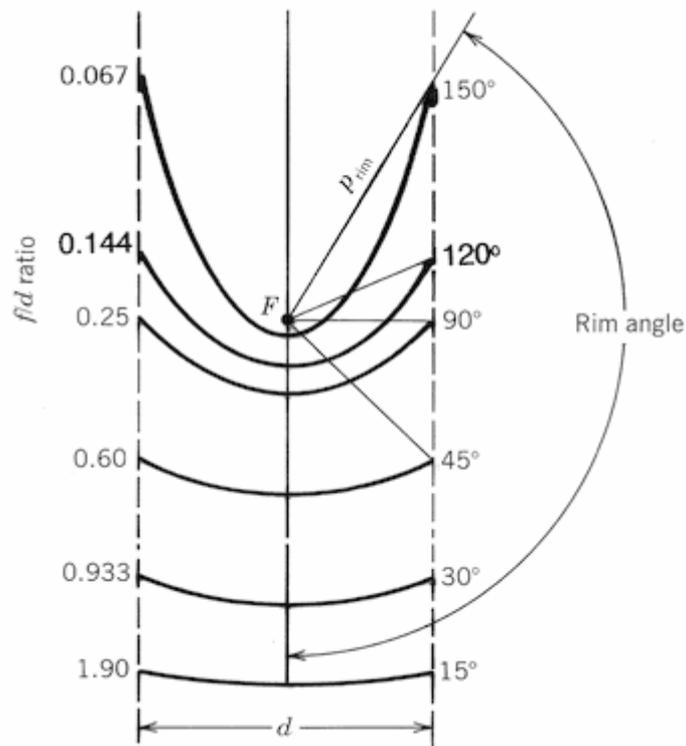


Fig III. 6 : Des segments de parabole ayant un foyer F commun et le même diamètre d'ouverture.

III.5.1.3- Taille d'une parabole :

On peut voir qu'une parabole avec un petit angle de jante est relativement plate et la longueur focale est grande par rapport à son diamètre d'ouverture. Une fois qu'une partie déterminée de la courbe parabolique a été sélectionnée, la hauteur de la courbe, h peut être définie comme étant la distance maximale entre le sommet d'une ligne tracée à travers l'ouverture de la parabole. En ce qui concerne la distance focale et le diamètre de l'ouverture, la hauteur de la parabole est. [23]:

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (\text{III-7})$$

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

De la même manière, l'angle de la jante peut être trouvé en fonction des dimensions de la parabole:

$$\tan \psi_p = \frac{1}{\left(\frac{d}{8h}\right)^{-2h/d}} \quad (\text{III-8})$$

III.5.1.4- Longueur d'une parabole :

Une autre propriété de la parabole qui peut être utile dans la compréhension de la conception du concentrateur solaire est la longueur de l'arc S . Ceci peut être trouvé pour une parabole particulier de l'équation (III.1), en intégrant un segment différentiel de cette courbe, et l'application des limites $X = H$ et $Y = d / 2$, comme représenté sur la (Fig III. 7). Le résultat est. [23]:

$$S = \left[\frac{d}{2} \sqrt{\left[\frac{4.h}{d} \right]^2 + 1} \right] + 2.f . \ln \left[\frac{4.h}{d} + \sqrt{\left[\frac{4.h}{d} \right]^2 + 1} \right] \quad (\text{III-9})$$

Où d est la distance à travers l'ouverture (ou l'ouverture) de la parabole, comme le montre la (Fig III. 8) et h est la distance entre le sommet de l'ouverture.

III.5.1.5- Surface d'une parabole :

La surface de section transversale de l'espace enfermé entre une parabole et une ligne à travers son ouverture et perpendiculaire à l'axe est donnée par. [23]:

$$A_x = \frac{2}{3} . d . h \quad (\text{III-10})$$

La surface d'ouverture d'un parabolöide est. [23]:

$$A_a = \frac{\pi . d^2}{4} \quad (\text{III-11})$$

III.5.2- Système optique d'une surface parabolique :

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

L'idée d'utiliser une surface parabolique vient du fait qu'elle est stigmatique pour les points à l'infini situé sur son axe. D'après les lois de réflexion, tout rayon lumineux parallèle à l'axe de la parabole est réfléchi par la parabole suivant une droite passant par le foyer. Donc la parabole focalise tous les rayons réfléchis en un point appelé << foyer >>. [23].

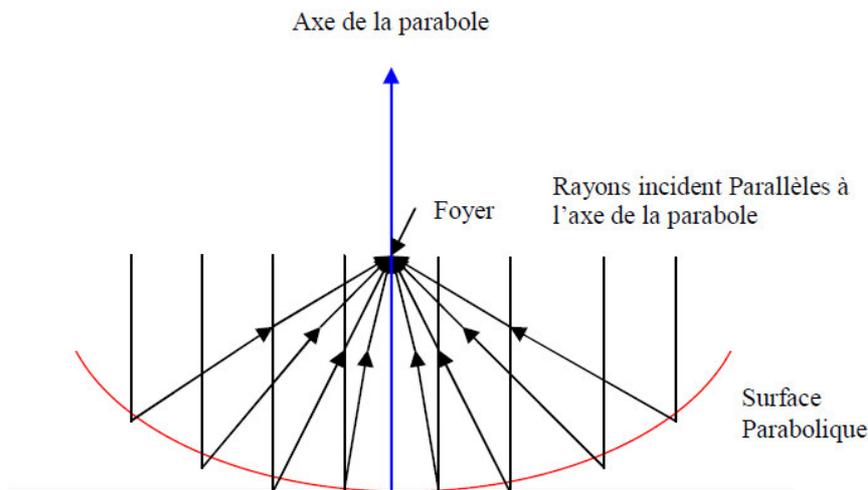


Fig III. 7: Système optique d'une surface parabolique. [23].

III.5.3- Les composants d'un concentrateur solaire parabolique :

Le concentrateur solaire parabolique est composé des éléments suivants :

III.5.3.1- Réflecteur (Paraboloïde) :

La surface formée par la rotation d'une courbe parabolique autour de son axe est appelé un paraboloïde de révolution. Les concentrateurs solaires ayant une surface réfléchissante dans cette forme sont souvent appelés concentrateurs paraboliques. L'équation pour le paraboloïde de révolution comme le montre la figure 8.4, en coordonnées rectangulaires, l'axe z comme axe de symétrie, est. [23]:

$$X^2 + Y^2 = 4.f.z \quad (\text{III-12})$$

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

Où la distance f est la longueur focale FV. En coordonnées cylindriques, où a est la distance entre l'axe z , cela devient. [23]:

$$Z = \frac{a^2}{4.f} \quad (\text{III-13})$$

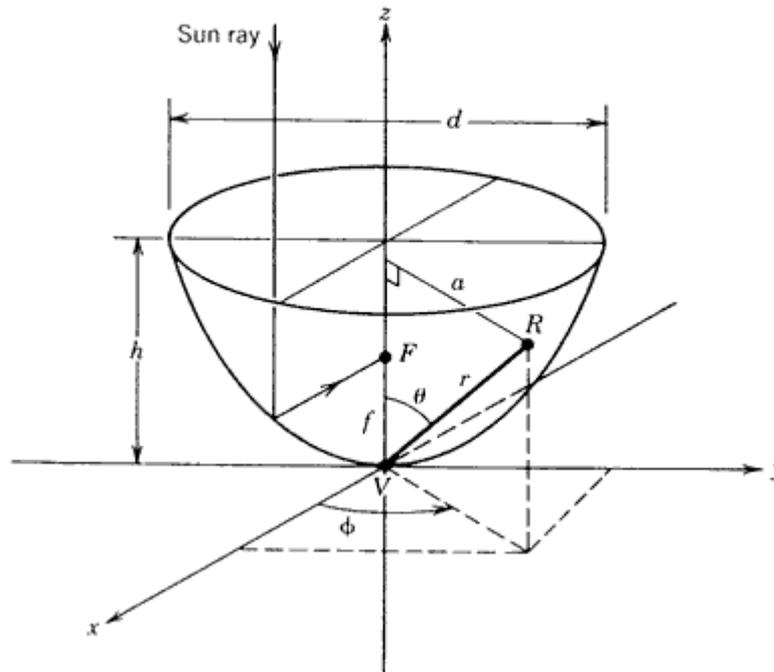


Fig III. 8: paraboloïde de révolution. [23].

En coordonnées sphériques, l'équation de paraboloïde de révolution dont le sommet est à l'origine V et R et définissant la position du point R sur le paraboloïde est :

$$\frac{\sin^2 \theta}{\cos \theta} = \frac{4.f}{r} \quad (\text{III-14})$$

La surface du paraboloïde se trouve en intégrant l'équation (III-13) sur les limites appropriées. Nous pouvons définir une bande de surface différentielle circulaire sur le paraboloïde comme le montre la Fig (III. 9) comme :

$$dA_s = 2.\pi.a.\sqrt{dz^2 + da^2} \quad (\text{III-15})$$

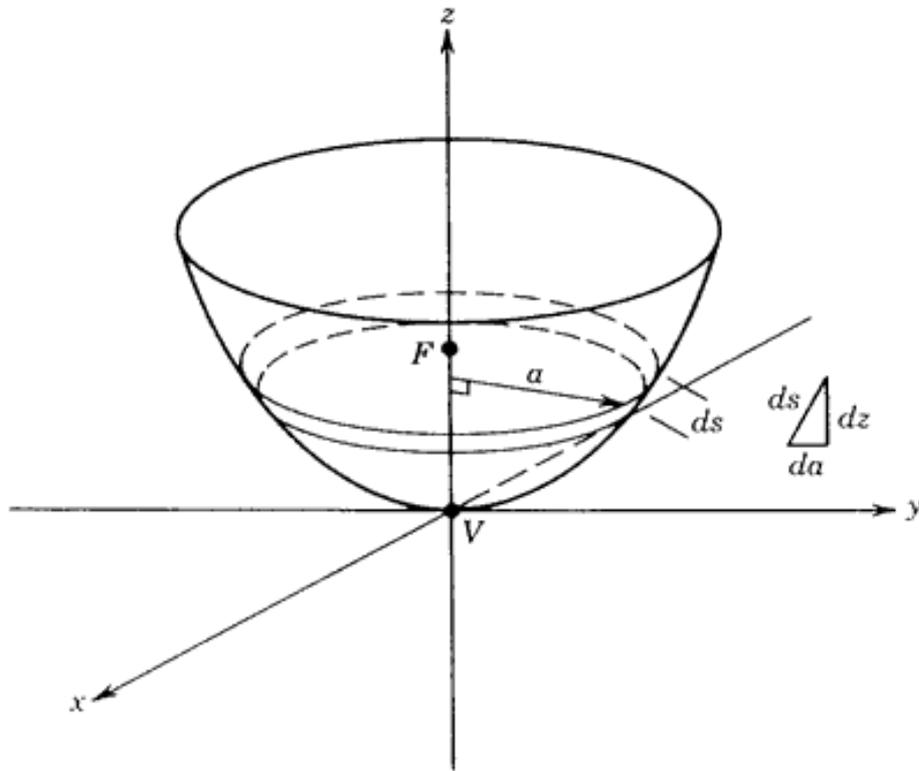


Fig III. 9: Paramètres définissant une bande circulaire de la zone différentielle.[23]:

A noter que l'élément différentiel de ds arc est coulé en fonction de la hauteur et dz la distance da radiale. Trouver la dérivée de z par rapport à une aide de l'équation (III-13), nous exprimons la bande de zone de différentiel. [23] :

$$dA_s = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \sqrt{\left(\left[\frac{a}{2 \cdot f} \right]^2 + 1 \right)} \cdot da \quad (\text{III-16})$$

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

La surface totale A , d'un paraboloïde ayant une longueur focale f et un diamètre d de l'ouverture peut être trouvé en intégrant l'équation (III-16). Le résultat est. [23] :

$$A_s = \int_0^{d/2} dA_s = 8.\pi.f^2 \left\{ \left[\left(\frac{d}{4.f} \right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\} \quad (\text{III-17})$$

La zone d'ouverture du concentrateur, le plus important pour le concepteur solaire pour la prédiction de la performance du concentrateur d'énergie solaire, est simplement la zone circulaire définie par le diamètre d'ouverture d et est donnée par. [23]:

$$A_a = \frac{\pi.d^2}{4} \quad (\text{III-18})$$

Une équation de la zone d'ouverture peut également être coulée en termes de la longueur focale et l'angle de la jante. En utilisant l'équation (III-4).qui est la forme polaire de l'équation d'une parabole, nous avons. [23]:

$$A_a = \frac{\pi}{4} . \left(2.\pi.\sin \psi_p \right)^2 \quad (\text{III-19})$$

$$A_a = 4.\pi.f^2 . \frac{\sin^2 \psi_p}{\left(1 + \cos \psi_p \right)^2} \quad (\text{III-20})$$

III.5.3.2 - Récepteur (absorbeur) :

Le récepteur doit absorber autant de flux solaire concentré possible, et le convertir en Énergie thermique, cette chaleur est transférée dans un fluide d'un certain type (liquide ou gaz).

En fonction de leur surface de transfert, on classe les récepteurs solaires en 2 catégories :

1- Surface externe : Il y a plusieurs configurations possibles : plane, cylindrique, conique ou sphérique, dépendantes de la répartition, de l'intensité du flux, de la température et de l'application. Ce genre de récepteur s'applique généralement dans la gamme de température de l'ordre 300-400°C maximum.

2- Surface interne ou cavité : Ce type de récepteur est bien adapté pour le cas où l'intensité du flux et la température de travail sont élevées. Le flux énergétique concentré entre dans le récepteur par l'ouverture dont la surface est généralement 5 à 10 fois inférieure à celle de la surface de transfert dans la cavité. C'est un moyen efficace pour augmenter le coefficient d'absorption et diminuer les pertes [24].

- La surface du récepteur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité et diffusion thermique.
- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide utilisé.

- Il est important que le récepteur soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur (cuivre : 360 W/m.k, aluminium : 200 W/m.k, acier 60 W/m.k) [25]. Plus le coefficient de conduction est faible et plus l'absorbeur doit être épais, ce qui augmente le prix et l'inertie de l'absorbeur.

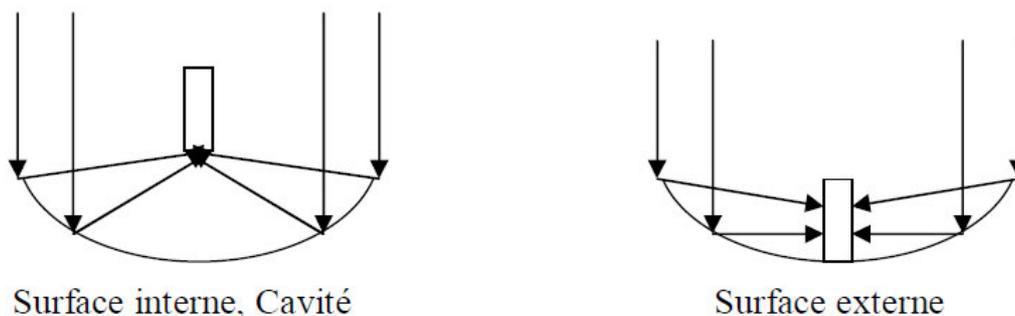


Fig III. 9: Catégories des récepteurs. [24]

Notre étude est concernée par des températures élevées, nous allons donc étudier un récepteur type cavité sous forme cylindrique.

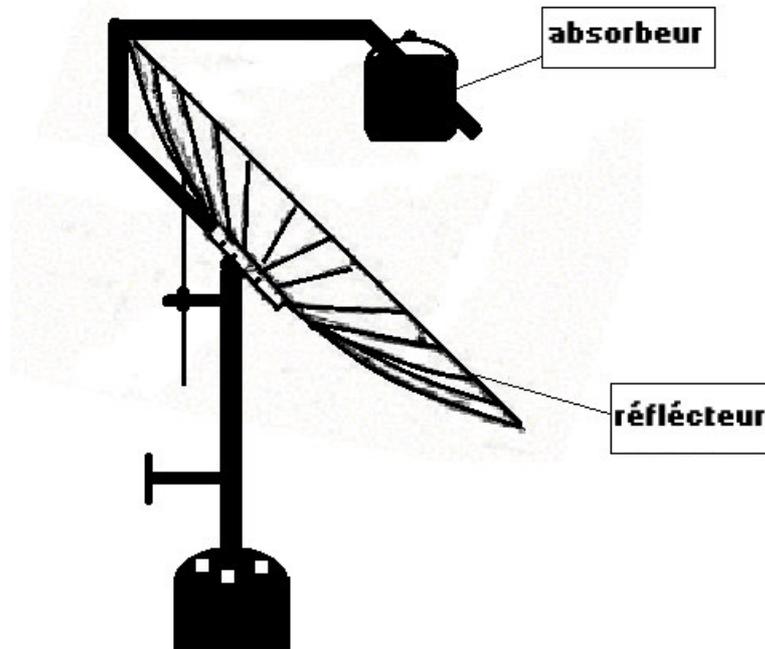


Fig III. 10 : Concentrateur solaire parabolique.

III.5.4- Dimension du récepteur :

Nous avons vu que la parabole réfléchit tous les rayons lumineux parallèle à son axe en un point foyer, cela ne vaut pas pour des applications solaires, et en raison de la taille angulaire finie du disque solaire, on peut assumer que le diamètre apparent du disque solaire θ_s égale à 0.0093 m/rad [27].

Quand l'angle d'ouverture d'une parabole en parfait état est aligné vers le soleil, la réflexion des rayons forme une image circulaire (tache solaire) centrée au point focal sous forme d'ellipse. Le petit rayon s_f et le grand rayon r_f de l'ellipse sont indiqués comme [26], [27] :

$$s_f = \frac{f \cdot \theta_s}{1 + \cos \psi} \quad (\text{III-21})$$

$$r_f = \frac{f \cdot \theta_s}{(1 + \cos \psi) \cdot \cos \psi} \quad (\text{III-22})$$

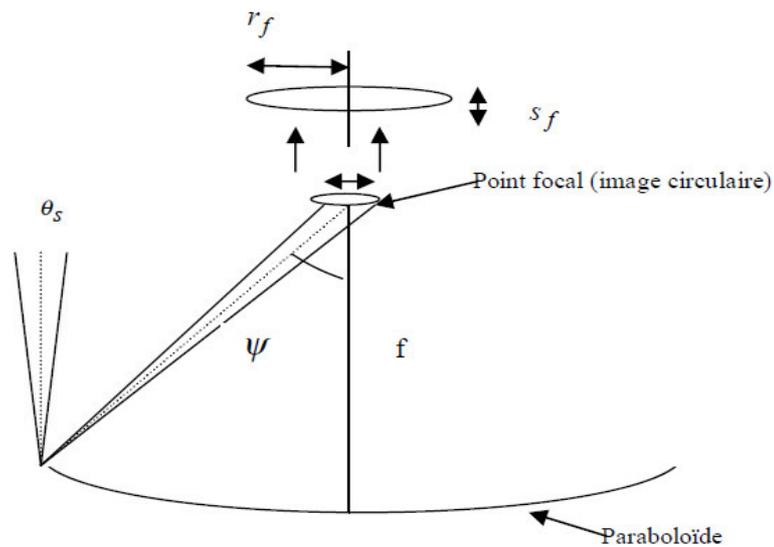


Fig III. 11: L'image ellipse

r_f : Diamètre minimum de l'image circulaire centrée au point focal en négligeant l'erreur de poursuite du soleil et l'erreur de focalisation du l'absorbeur.

On remarque que le diamètre de la tache solaire diminue qu'on l'angle de l'ouverture de la parabole augmente.

Pour que l'ouverture du récepteur capte tous les rayons du champ arrivant au foyer, le récepteur doit avoir un rayon minimum égal à la taille de la tache solaire. Comme en application solaire, son diamètre est petit, on peut augmenter ce diamètre qui varie selon la distance axiale arrière de point focal (L),

Le diamètre d'ouverture du récepteur est donné par :

$$d_2 = \frac{d \cdot L}{f - h} \quad (\text{III-23})$$

d : diamètre d'ouverture du récepteur.

L : distance axiale arrière du point focal.

Chapitre III : Etude théorique du concentrateur parabolique

On définit la concentration d'un concentrateur parabolique par [28], [27] :

$$C = 4 \cdot \frac{\sin^2 \psi}{\theta_s^2} \quad (\text{III-26})$$

La concentration maximum $C_{\max} = 46250$ pour $\psi = 90^\circ$

III.7- Température de l'ouverture du récepteur :

Pour calculer la température de l'ouverture du récepteur, nous supposons les hypothèses suivantes :

- Le récepteur sous forme cylindrique plein d'eau.
- La température du ciel égale à la température ambiante.
- La température est uniforme sur l'ouverture du récepteur.

Le bilan énergétique de la surface d'ouverture du récepteur est donné par la formule suivante [30] :

$$(M_w C_w + M_r C_r) \frac{dT}{dt} = Q_u \quad (\text{III-27})$$

M_w : masse de l'eau.

C_w : chaleur massique de l'eau.

M_r : masse du récepteur.

C_r : chaleur massique du récepteur.

Q_u : puissance utile.

Où [29] :

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (\text{III-28})$$

Q_a : puissance solaire absorbée par le récepteur.

Q_p : puissance correspondant aux pertes thermiques.

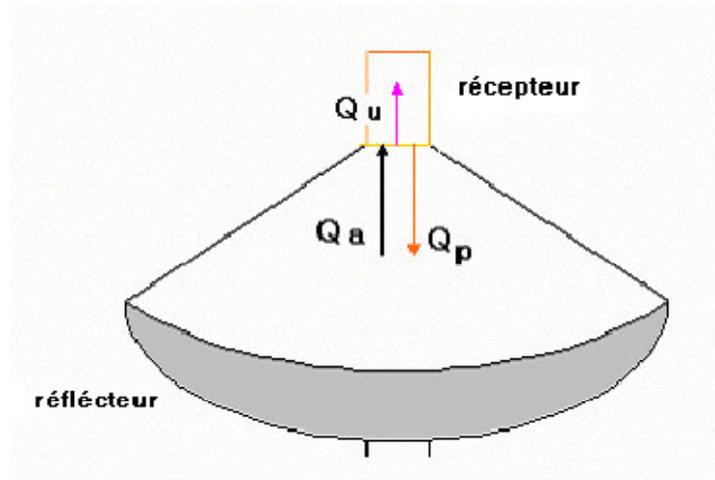


Fig III. 13 : Bilan énergétique

III.7.1- L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde :

Supposons un rayon solaire incident, avec l'intensité I_b parallèle à l'axe de la parabole, ce rayon sera reflète au foyer f . Puisque nous voudrions calculer toute la quantité des rayons reflétés par la surface entière de la parabole, il est commode que nous considérions un secteur différentiel qui peut être intégré au-dessus de la surface entière de la parabole.

La surface différentielle est définie comme [22] :

$$dA_s = I \cdot ds \quad (\text{III-29})$$

ds = longueur différentielle d'arc de la parabole.

I = longueur d'une bande différentielle sur la surface d'une cuvette parabolique.

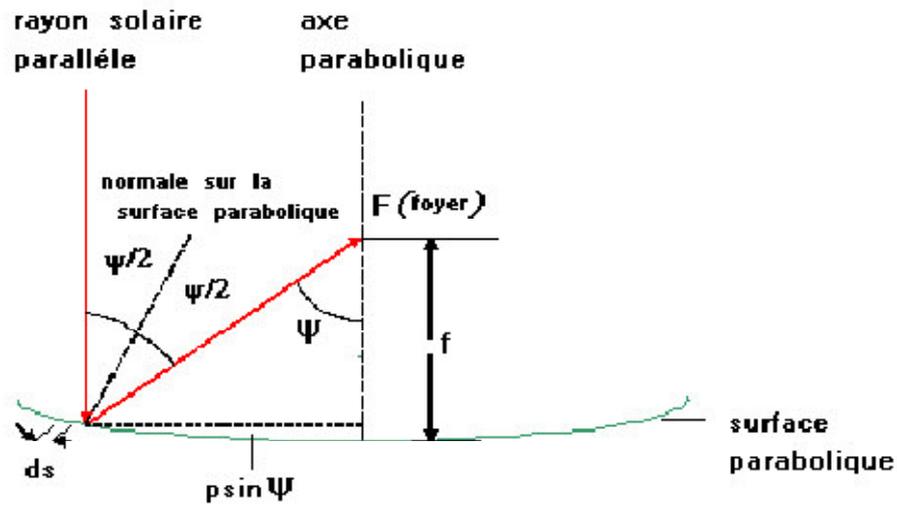


Fig III. 14 : réflexion d'un rayon parallèle.

$$ds = \frac{p \cdot \sin(d\psi)}{\cos(\psi/2)} \quad (\text{III-30})$$

L' angle $d\psi$ est petit, $\sin d\psi = d\psi$ donc l' équation (III-30) réduite à :

$$ds = \frac{p \cdot (d\psi)}{\cos(\psi/2)} \quad (\text{III-31})$$

$$dA_s = \frac{I \cdot p \cdot d\psi}{\cos(\psi/2)} \quad (\text{III-32})$$

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

Tout le flux radiant reflété (dI_a) de ce secteur différentiel (n'assumant aucune perte de réflectivité) au point de foyer est [22] :

$$dI_a = dA_s \cdot I_b \cdot \cos(\psi / 2) \quad (\text{III-33})$$

$$= I \cdot P \cdot I_b \cdot d\psi$$

En remplaçant p par sa valeur, on trouve :

$$dI_a = \frac{2 \cdot f \cdot I \cdot I_b \cdot d\psi}{(1 + \cos \psi)} \quad (\text{III-34})$$

Ou : $I = 2 \cdot \pi \cdot p \cdot \sin \psi$

$$I = \frac{4 \cdot \pi \cdot f \cdot \sin \psi}{(1 + \cos \psi)} \quad (\text{III-35})$$

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde est [31] :

$$I_a = \int \frac{8 \cdot \pi \cdot I_b \cdot f^2 \cdot \sin \psi \cdot d\psi}{(1 + \cos \psi)^2} \quad (\text{III-36})$$

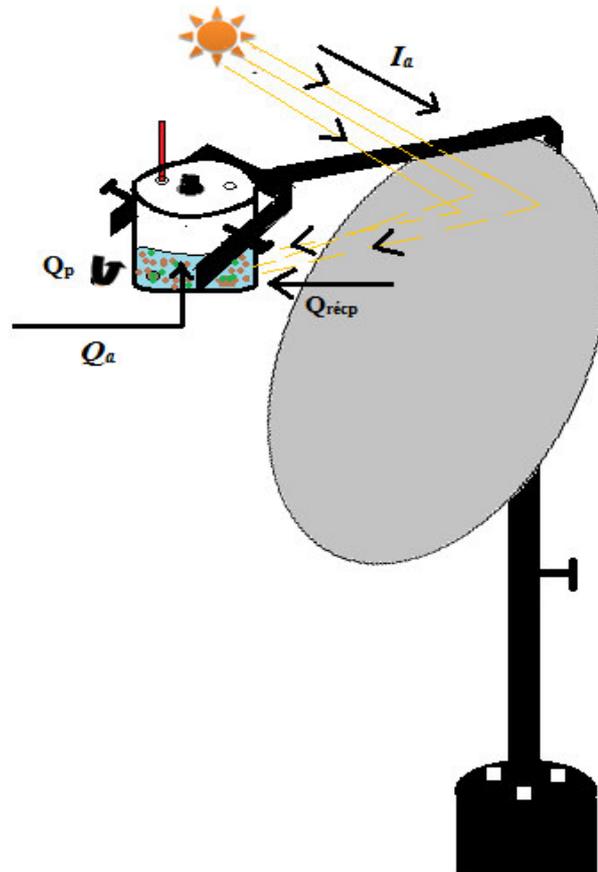


Fig III. 15 : Bilan énergétique

III.7.2- Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur :

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde, en arrivant sur l'ouverture du récepteur, est réduite à cause des pertes. La puissance absorbée est donnée par la formule suivante[32] :

$$Q_a = I_b \cdot A_a \cdot \tau \cdot \alpha \cdot \rho \quad (\text{III-37})$$

Ou : $\eta_{opt} = \tau \cdot \alpha \cdot \rho$

L'équation (III-37) devient :

$$Q_a = \eta_{opt} \cdot I_a \quad (\text{III-37})$$

I_a : puissance reçue à l'ouverture de collecteur parabolique.

η_{opt} : Rendement optique du concentrateur

III.7.3- Puissance correspondant aux pertes thermiques :

Une fois que l'énergie solaire passe vers la surface d'ouverture du récepteur, elle relèvera température au-dessus de la température ambiante, cette variation de température provoque un processus des pertes de chaleur, ce sont des pertes par convection, par rayonnement et par conduction.

La puissance correspondant aux pertes thermiques est donnée par l'expression suivante [28] :

$$Q_p = Q_{p.cv} + Q_{p.r} + Q_{p.cd} \text{ (III-37)}$$

Q_p : Puissance correspondant au perte thermique

$Q_{p.cv}$: Pertes par convection

$Q_{p.r}$: Pertes par rayonnement

$Q_{p.cd}$: Pertes par conduction

III.7.3.1- Pertes par convection :

La convection est un phénomène encore peu connu pour la plaque plane. Elle est de plus liée à la vitesse et la direction du vent sur le site. Ces pertes sont proportionnelles à la surface du récepteur et la différence entre la température de surface d'absorbeur et l'air ambiant [32].

$$Q_{p.cv} = h_{cv} \cdot A_r \cdot (T_r - T_a) \text{ (III-37)}$$

A_r : surface d'ouverture du récepteur

T_r : température du récepteur

T_a : température ambiante

h_{cv} : Coefficient de transfert par convection est donne par [29] :

$$h_{cv} = \frac{Nu \cdot K}{d_2} \quad (\text{III-38})$$

$$Nu = 0.664(\text{Re})^{1/2} (\text{Pr})^{1/3} \quad (\text{III-39})$$

Avec :

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d_2}{\nu} \quad (\text{III-40})$$

V : vitesse du vent

K : conductivité thermique de l'air

ν : viscosité de l'air

d_2 : diamètre du récepteur

III.7.3.2- Pertes par rayonnement :

Ces pertes dépendent de la forme du récepteur mais plus particulièrement de la température du récepteur. Ils sont proportionnels à l'émissivité de l'absorbeur [28].

$$Q_{p.r} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_\gamma \left(T_r^4 - T_{sk}^4 \right) \quad (\text{III-41})$$

ε : facteur émissivité de l'absorbeur.

σ : constante de Stefan –Boltzmann ($5,670 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_{sk} : température du ciel.

La température équivalente du rayonnement du ciel dépend de la densité d'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.

Chapitre III :Etude théorique du concentrateur parabolique

Cependant pour la basse humidité relative ou aux altitudes élevées, la température durayonnement du ciel peut être inférieure de 6°C que la température ambiante.

Habituellement on prend [1] :

$$T_{sk} = T_a - 6 \quad (\text{III-42})$$

On peut écrire l'équation (III-41) sous la forme suivante [33] :

$$Q_{p.\gamma} = A_r . h_r . (T_r - T_a) \quad (\text{III-43})$$

$$h_r = \varepsilon . \sigma . \left(\frac{T_r^4 - T_a^4}{T_r - T_a} \right) = 4 . \varepsilon . \sigma . T^3 \left[1 - \left(\frac{\Delta T}{2T} \right)^2 \right] \quad (\text{III-43})$$

Où : $T = \frac{T_r - T_a}{2}$

III.7.3.3- Pertes par conduction :

Liées à la nature du matériel utilisé

.

$$Q_{p.cd} = K . A_\gamma (T_r - T_a) \quad (\text{III-44})$$

K : Conductivité de l'absorbeur.

Δx : épaisseur de l'absorbeur.

Les pertes par conduction sont habituellement petites comparées aux pertes par convection ou par rayonnement, on peut les combiner avec les pertes par convection dans la plupart des cas.

On calcule la température d'ouverture du récepteur à partir de l'équation (III-27),

Après les calculs précédents, l'équation (III-27) devient [34] :

$$Q_u = \eta_{op} \cdot I_b \cdot A_a - A_r \cdot \left(h_{cv} (T_r - T_a) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_r^4 - T_{sk}^4) \right) \quad (\text{III-45})$$

$$Q_u = \eta_{op} \cdot I_b \cdot A_a - A_r \cdot \left(h_{cv} (T_r - T_a) + h_r \cdot (T_r - T_a) \right) \quad (\text{III-46})$$

$$Q_u = A_r \left(\left(\eta_{op} \cdot I_b \frac{A_a}{A_r} \right) - (h_{cv} + h_r) \cdot (T_r - T_a) \right) \quad (\text{III-47})$$

Pour simplifier les calculs, on peut définir un coefficient $K_{v.r}$ tel que :

$$Q_u = A_r \cdot \left(P_a - K_{v.r} (T_r - T_a) \right) \quad (\text{III-48})$$

Où $K_{v.r}$ est le coefficient global des pertes donné par : $K_{v.r} = h_{cv} + h_r$

On écrit : $P_a = \eta_{op} \cdot I_b \cdot C_g$

L'équation (II-22) devient :

$$M \cdot C \cdot dT_r = A_r \left(P_a - K_{v.r} (T_r - T_a) \right) dt \quad (\text{III-48})$$

Après intégration depuis t_0 jusqu'à t , on obtient l'expression de la température en fonction du temps [34] :

$$T_r(t) = T_a + P_a / K_{v.r} - \left(P_a / K_{v.r} - T_r(t_0) + T_a \right) \exp\left(-K_{v.r} \cdot A_r \cdot (t - t_0) / MC\right) \quad (\text{III-48})$$

III.8- Efficacité du concentrateur :

La mesure des performances d'un collecteur solaire est une étape importante et nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du système.

Cette efficacité se définit comme le rapport de l'énergie thermique absorbée par le récepteur à l'énergie reçue à l'ouverture du concentrateur [35].

$$\eta = \frac{Q_u}{I_a \cdot A_a} \quad (\text{III-48})$$

$$\eta = \frac{\eta_{op} \cdot I_b \cdot A_a - A_r \cdot K_{v,r} (T_r - T_a)}{I_a \cdot A_a} \quad (\text{III-48})$$

$$\eta = \eta_{op} - \frac{A_r \cdot K_{v,r} (T_r - T_a)}{I_a \cdot A_a} \quad (\text{III-48})$$

Le rendement atteint par le concentrateur dépend de l'intensité du rayonnement et de la différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant.

Chapitre IV :

La conception et la réalisation

IV.1- Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes étapes de la réalisation du concentrateur solaire parabolique conçu conformément au modèle théorique étudié au chapitre précédent.

Notre prototype a été réalisé au niveau de l'atelier et placé dans un terrain au niveau du département de Génie mécanique de l'université de Blida, la figure IV.1 montre l'installation du prototype dont les spécifications sont représentées dans les tableaux (IV. 1)et (IV. 2).

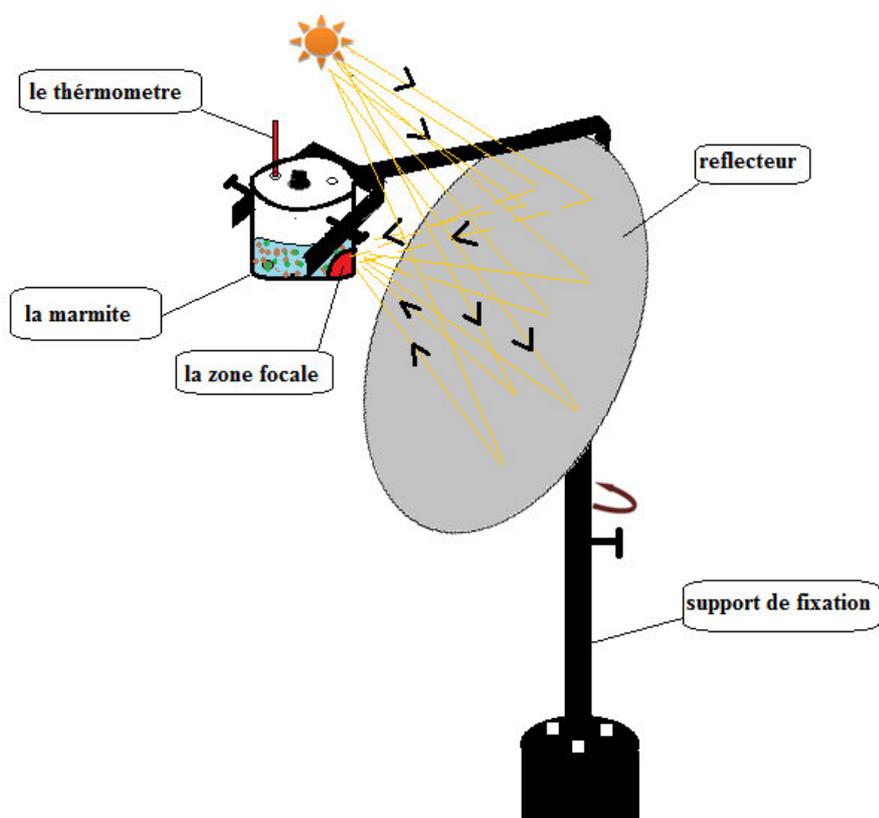


Fig IV. 1 : Schéma explicatif du système

IV.2-Description des différentes parties du prototype :

IV.2.1-Le concentrateur parabololoïde :

Il est constitué d'une parabole du récepteur satellitaire couverte de plaques d'aluminium réfléchissant qui couvre la surface intérieure du réflecteur. Les plaques d'aluminium devrait avoir son côté brillant face au soleil. La parabole est reposée sur un support rigide, attachée au sol.

Les caractéristiques géométriques du concentrateur parabololoïde utilisé sont figuré dans le tableau suivant :

Tableau IV. 1: Dimensions du concentrateur parabolique utilisé.

Caractéristique géométrique du réflecteur	
Diamètre	$D = 1,15 \text{ m}$
Taille	$h = 0.236$
L'angle d'ouverture	$\Theta = 60^\circ$
Distance focale	$f = 0,35 \text{ m}$
Surface d'ouverture	1.038 m^2
Réfectivité de la surface	$\rho = 0.93$
Facteur d'interception	$\Gamma = 0.95$



Fig IV. 2 : Le réflecteur

Chapitre IV :La conception et la réalisation

Le réflecteur aluminium est de type Analode avec un coefficient de réflexion égal à 0,93.

La parabole est fixée sur un support rigide, attachée au sol avec un système de réglage de positionnement manuel.



Fig IV. 3 : support de fixation de la parabole

IV.2.2- L'absorbeur :

- La marmite est construite en zamak peinte en noire pour une meilleure absorption.

Tableau IV . 2 : Spécification de l'absorbeur

Caractéristique de l'absorbeur	
volume	V=3L
Diamètre	D = 0.18 m
Epaisseur	1 mm
Surface de captation	$A_r=0.00635 \text{ m}^2$
Surface totale	0.09187 m^2

Chapitre IV :La conception et la réalisation

- La concentration géométrique de ce modèle est :

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} = \frac{1.0381}{0.0254} = 163.48$$



Fig IV. 4 : l'absorbeur

Il s'agit d'une marmite isolée par de la mousse polyuréthane afin de minimiser les pertes thermiques, un thermomètre digitale est fixé sur le couvercle de la marmite pour mesurer la température de l'eau à l'intérieur de la marmite. La zone basse de la marmite n'est pas isolée et peinte en noir mat pour maximiser l'absorption des rayons concentrés et qui sert de récepteur des rayons réfléchis.



Fig IV. 5 : la marmite recouverte par la mousse polyuréthane

❖ Assemblage des éléments du système :



Fig IV. 6 : Vue générale du prototype du cuisinier solaire

IV.3 - Instrument de mesure :

IV.3.1- Les thermocouples :

IV.3.1.1- Définition :

Un thermocouple est un capteur de mesure de la température. Il est constitué de deux métaux différents, liés l'un à l'autre à une de leurs extrémités, produisant ainsi un courant dont la tension varie selon la température. Le changement de tension est mesuré et interprété par un régulateur électronique. [36]

IV.3.1.2 - Techniques de mesure et raccordements :

❖ Principe :

Si un écart de température est présent le long d'un fil métallique, il se produit un transfert de charge dépendant des caractéristiques du matériau. La conversion d'énergie génère à l'intérieur de ce conducteur une f.e.m (force électromotrice) d'où l'importance et le sens dépendent du matériau, de la direction et du gradient de température.

C'est pour cela que l'on utilise l'effet thermoélectrique avec 2 conducteurs soudés ensemble à l'une de leur extrémité. On obtient alors une tension mesurable aux extrémités libres en présence d'un gradient de température.

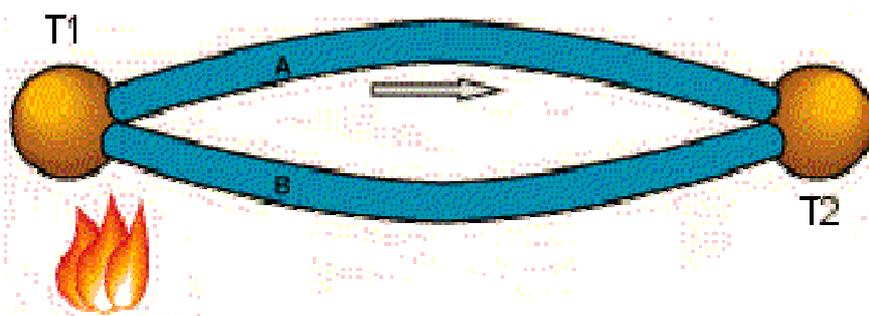


Fig IV. 7 : un thermocouple [36]

IV.3.1.3- Thermocouples les plus courants :

Un certain nombre de conducteurs peuvent être associés pour former des thermocouples. Au fil du temps, une sélection de combinaisons s'est imposée formant les gammes de thermocouples utilisés actuellement et identifiés par un symbole. Une des normalisation, la CEI 584.1, est une table de référence de 8 produits classés dans deux catégories, ceux à base de métaux précieux, habituellement plus stables et couvrant une plage de mesure plus étendue, et ceux à base de métaux plus communs qui ont par contre une f.e.m. plus élevée.

Chapitre IV :La conception et la réalisation

Tableau IV. 2 : Tableau synthétique des thermocouples.[29]

METAUX COMMUNS					
Symbole	Combinaison	Polarité	Couleur gaine	Couleur Fils	Domaine* de T°C des conducteurs
J	Fe	+	Noir	Noir	-210 / +1200
	Cu-Ni	-		Blanc	
K	Ni-Cr	+	Vert	Vert	-270 / +1370
	Ni-Al	-		Blanc	
T	Cu	+	Marron	Marron	-270 / +400
	Cu-Ni	-		Blanc	
E	Ni-Cr	+	Violet	Violet	-270 / +1000
	Cu-Ni	-		Blanc	
N	Ni-Cr-Si	+	Mauve	Mauve	-270 / +1300
	Ni-Si	-		Blanc	
METAUX PRECIEUX A BASE DE PLATINE					
Symbole	Combinaison	Polarité	Couleur gaine	Couleur Fils	Domaine* de T°C des conducteurs
S	Pt10%Rh	+	Orange	Orange	-50 / +1760
	Pt	-		Blanc	
R	Pt13%Rh	+	Orange	Orange	-50 / +1760
	Pt	-		Blanc	
B	Pt30%Rh	+	Gris	Gris	0 / +1820
	Pt6%Rh	-		Blanc	

Les températures indiquées sont des valeurs de domaine et ne peuvent pas être considérées comme des limites réelles.

IV.3.1.4- Raccordement des thermocouples

Afin de prolonger un thermocouple jusqu'au dispositif de mesure il est important d'utiliser un câble (et des connecteurs) ayant des propriétés identique aux câbles du thermocouple. Il est possible d'utiliser : - un câble d'extension. - un câble de compensation.

❖ Câble d'extension ou câble de compensation :

Le câble d'extension (même matériau que le thermocouple) limite le risque d'erreur. Il offre également deux classes de tolérance possible.

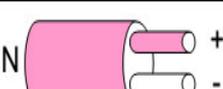
Le câble de compensation est bien moins cher et a des caractéristiques identiques au thermocouple exclusivement dans une certaine plage de température.

Chapitre IV : La conception et la réalisation

IV.3.1.5 - Tolérance des thermocouples les plus courants :

La norme CEI 584.2 donne l'écart maximum admissible en °C dans des plages de température.

Tableau IV. 3 : Tolérance des thermocouples.[29]

THERMOCOUPLE	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
J 	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 375 °C $\pm 0.004 \times t$ de 375°C à 750°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 333 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 333°C à 750°C	
K 	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 375 °C $\pm 0.004 \times t$ de 375°C à 1000°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 333 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 333°C à 1200°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -167 à 40 °C $\pm 0.015 \times t$ de -200°C à -167°C
T 	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 125 °C $\pm 0.004 \times t$ de 125°C à 350°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ de -40 à 133 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 133°C à 350°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ de -67 à 40 °C $\pm 0.015 \times t$ de -200°C à -67°C
E 	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 375 °C $\pm 0.004 \times t$ de 375°C à 800°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 333 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 333°C à 900°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -167 à 40 °C $\pm 0.015 \times t$ de -200°C à -167°C
N 	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 375 °C $\pm 0.004 \times t$ de 375°C à 1000°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -40 à 333 °C $\pm 0.0075 \times t$ de 333°C à 1200°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ de -167 à 40 °C $\pm 0.015 \times t$ de -200°C à -167°C
S 	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ de 0 à 1100 °C $\pm (1+0.003 \times (t-1100))$ °C de 1100°C à 1600°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de 0 à 600 °C $\pm 0.0025 \times t$ de 600°C à 1600°C	
R 	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ de 0 à 1100 °C $\pm (1+0.003 \times (t-1100))$ °C de 1100°C à 1600°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ de 0 à 600 °C $\pm 0.0025 \times t$ de 600°C à 1600°C	
B 		$\pm 0.0025 \times t$ de 600°C à 1700°C	$\pm 4^{\circ}\text{C}$ de 600 à 800 °C $\pm 0.005 \times t$ de 800°C à 1700°C

Chapitre IV :La conception et la réalisation

IV.3.1.6 - Erreurs de mesure des thermocouples

Les erreurs de mesure des thermocouples peuvent être liées à différents paramètres. On peut notamment citer :

- Le vieillissement du thermocouple lui-même (stabilité).
- Une modification de la composition chimique
- Des cycles de température fréquents
- Des diffusions de vapeurs métalliques
- Un mauvais choix de câble de liaison
- Un raccordement non compensé
- Un court-circuit
- Un défaut d'isolement des fils entre eux
- Une inadéquation entre le thermocouple et l'appareil de mesure.

IV.3.2 - Les instruments de mesure de l'éclairement :

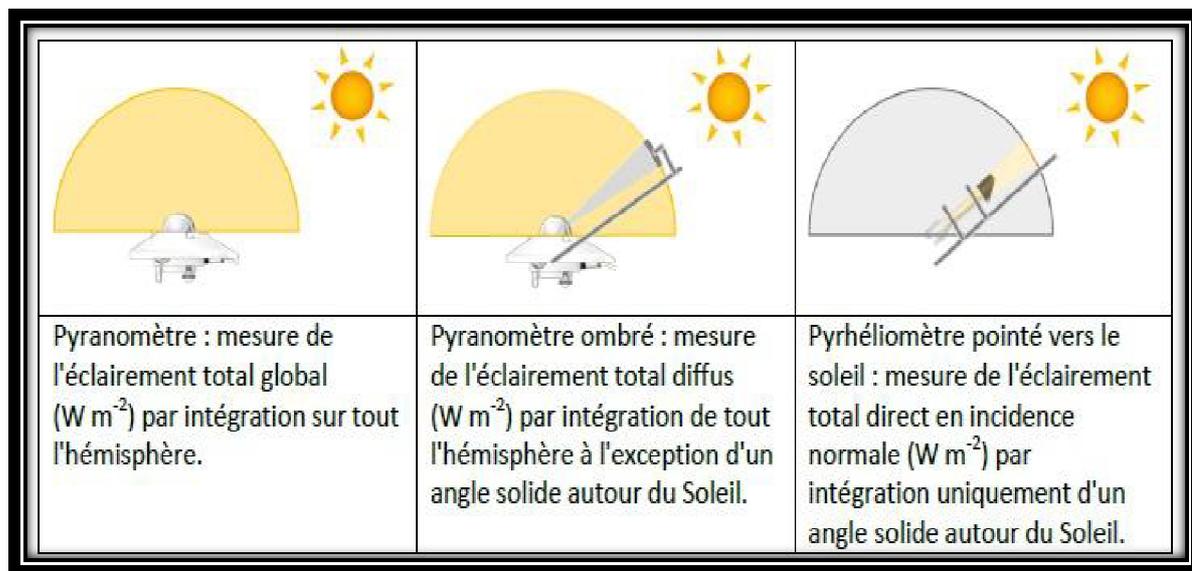


Fig IV. 8 : Les instruments de mesure de l'éclairement. [37]

Chapitre IV :La conception et la réalisation

➤ Méthodes de mesure de l'irradiation :

- **Le pyranomètre** : ce dernier contient une thermopile qui délivre une tension proportionnelle à l'irradiation. La partie supérieure de la pile s'échauffe lorsqu'elle est exposée au rayonnement solaire, tandis que la partie inférieure est protégée du rayonnement et sert de référence.
- **Le pyranomètre ombré** : est équipé d'un anneau métallique qui masque le soleil, supprimant la composante directe du rayonnement incident.
- **Le pyrhéliomètre** : est équipé d'un système de suivi du soleil, ainsi il ne mesure que le rayonnement direct.

- La température ambiante et la vitesse de vent sont mesurées par un appareil qui s'appelle KESTREL

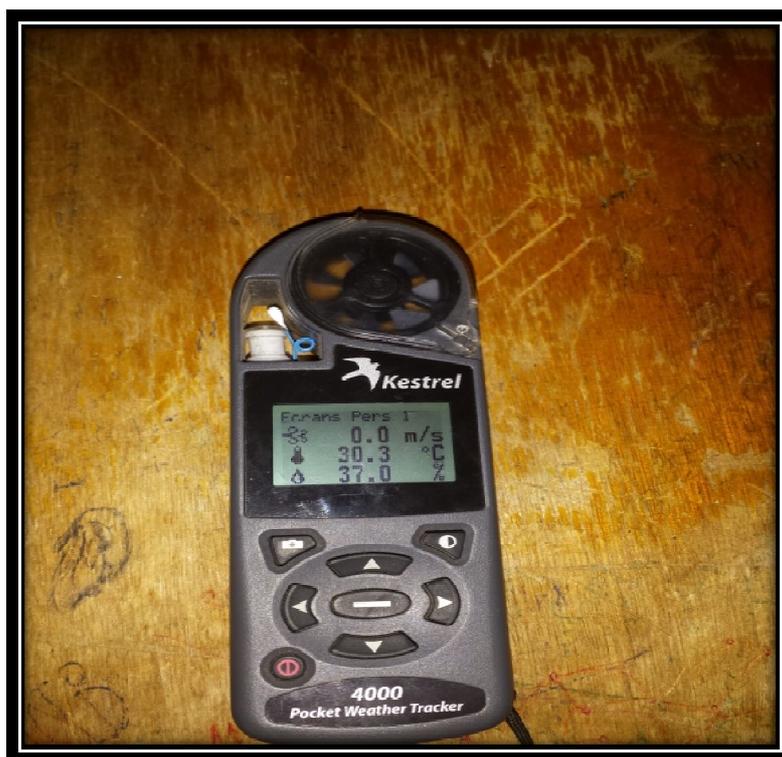


Fig IV. 9 : Appareil de mesure de la température ambiante et de la vitesse de vent

Chapitre IV :La conception et la réalisation

- Pour l'irradiation solaire comme nous nous nedisposons d'un pyréliomètre, nous avons mesuré les éclairements globale et le diffus et déterminer l'éclairément direct par différence.
- L'éclairément global est mesuré à l'aide d'un pyranomètre et l'éclairément diffus est mesuré par le même type d'équipement en occultant sa la partie sensible (la thermopile).



Fig IV. 10 : Les deux pyranomètres sont fixé sur un support attaché à l'axe de la parabole.

IV.3.3 - Acquisition de données :

IV.3.3.1- Montage des capteurs de mesures et installation de la chaîne d'acquisition de données :

Le contrôle du comportement thermique du cuiseur solaire nécessite un suivi régulier des températures à plusieurs points du cuiseur durant son fonctionnement (Fig IV. 11). Pour cela, divers capteurs sont utilisés pour la mesure des températures, liés à une unité d'acquisition de données.

D'autres dispositifs sont nécessaires tel qu'un pyranomètre pour la mesure de l'éclairement solaire global, direct et diffus, un appareil de mesure de la température ambiante et de la vitesse de vent, Les données collectées en temps réel, sont affichées sous forme numérique (Fig IV. 12) et sauvegardées sur un fichier qu'on peut exporter sur Excel.



Fig IV. 13 : Chaîne de mesure et acquisition de données:

Chapitre IV :La conception et la réalisation

La figure (IV. 14) représente le schéma synoptique de notre installation, cette dernière comporte plusieurs thermocouples de Type K implémentés à divers endroits du cuiseur solaire, d'autres capteurs permettant la mesure des paramètres climatiques (température ambiante, éclairement solaire et vitesse du vent) sont utilisés, liés à une unité d'acquisition de données de type (FLUKE HYDRA. SERIES II)connectée à son tour à un micro-ordinateur.

La chaîne d'acquisition de données, comporte les instruments de mesure suivants :

- Thermocouples Type K pour mesurer les températures à différents endroits du cuiseur.
- Pyranomètre pour mesurer l'éclairement solaire.
- Appareil de mesure de la température ambiante et de la vitesse de vent
- Unité d'acquisition de donnée de type FLUKE HYDRA. SERIES II.

Chapitre IV :La conception et la réalisation

❖ Objectifs :

Nous voulons utiliser notre cuiseur solaire pour cuire des légumes, des viandes, des céréales, et toutes sortes d'autres aliments.

Selon le modèle expérimental, nos objectifs consiste à:

- L'évaluation, en fonction de l'ensoleillement du lieu de mesure et du temps, de la quantité d'énergie absorbée par l'eau,
- L'évaluation des quantités d'énergies perdues par convection et rayonnement,
- Estimation de temps nécessaire pour un cycle de cuisson,
- Estimation de nombre de cycle de cuisson par jour.

❖ Protocole de mesures :

- Au début, bien nettoyer la parabole avec de l'eau,
- Peser la quantité à cuire (eau, viande, légumes.....etc.)
- Placer le récepteur (marmite) au foyer et y mettre la quantité indiquée précédemment.
- Câbler les sondes de thermocouples.
- Relever les températures du contenu de la marmite, la paroi de ma marmite, la température du foyer.
- Placer la parabole au soleil et l'orienter suivant les deux axes de sorte que le maximum de rayonnement soit concentré sur la surface de l'absorbeur.
- Orienter la parabole chaque 5 minutes en suivant la tache sur le foyer.

Chapitre IV :La conception et la réalisation

IV.3- Les expériences de la cuisson solaire réalisées :

IV.3.1-La distribution de la température au foyer :

Le premier essai est de savoir comment est-ce que la température se distribue dans la tache focale.

Pour cela on a soudé deux plaques métalliques de 2mm d'épaisseur pour garder la sonde de thermocouple fixe (la sonde ne touche pas la plaque) et on a tracé trois cercles sur la plaque sachant qu' au périmètre de chaque cercle on a percé un trou de 3mm afin de pouvoir faire entrer la sonde de thermocouple pour mesurer la température.

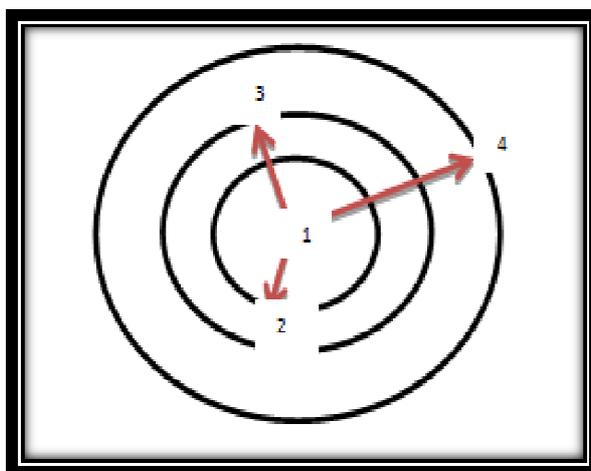


Fig IV. 15 : schéma explicatif de disposition des thermocouples

Chapitre IV :La conception et la réalisation

- ✓ Point 1 : R=0mm
- ✓ Point 2 : R=7mm
- ✓ Point 3 : Z=16mm
- ✓ Point 4 : Z=25mm

IV.3.2- l'expérience de la cuisson(sans isolation de la marmite) :

IV.3.2.1- l'ébullition d'eau : (1/06/2016)

Pour cette expérience on a suivi l'ébullition de 1.5L d'eau dans notre marmite par un thermomètre placé à l'intérieur qui nous donne l'évolution de la température de l'eau. Ainsi on a placé des thermocouples pour mesurer les différentes températures autour de la marmite. Cette expérience a duré de 14h :19 à 15h :12.



Fig IV. 16 : expérience d'ébullition le (01/06/2016)

Chapitre IV :La conception et la réalisation

IV.3.2.2- Expérience de préparation d'œufs durs(02/06/2016) :

Dans cette expérience on a met 4 œuf dans 1.5 L d'eau et on a suivie l'évolution de la température a l'intérieur de la marmite,la paroi et au foyer jusqu'à la cuisson des œufs.

Cette expérience a durée 40 minutes.



Fig IV. 17 : expérience de préparation d'œuf

Chapitre IV :La conception et la réalisation

IV.3.2.3-Expérience de préparation d'une omelette (02/06/2016)

Notre objectif dans cette expérience est de connaître le temps nécessaire pour préparer une omelette

Après cette expérience on a constaté que 35 secondssuffisent pour cuire unœuf.



Fig IV. 18: le temps nécessaire pour préparer une omelette

Chapitre IV :La conception et la réalisation

IV.3.2.4-Expérience de préparation d'une salade de légumes:le (02/06/2016)

Pour cette expérience on a essayé de préparer une salade de légumes (450g de pomme de terre + 250g carotte) dans 1.5 L d'eau.

Cette expérience a durée 44 min pour que les légumes soit totalement cuits.



Fig IV. 19 : préparation d'une salade de légumes

IV.3.3- Expérience de la cuisson (avec isolation de la marmite) :

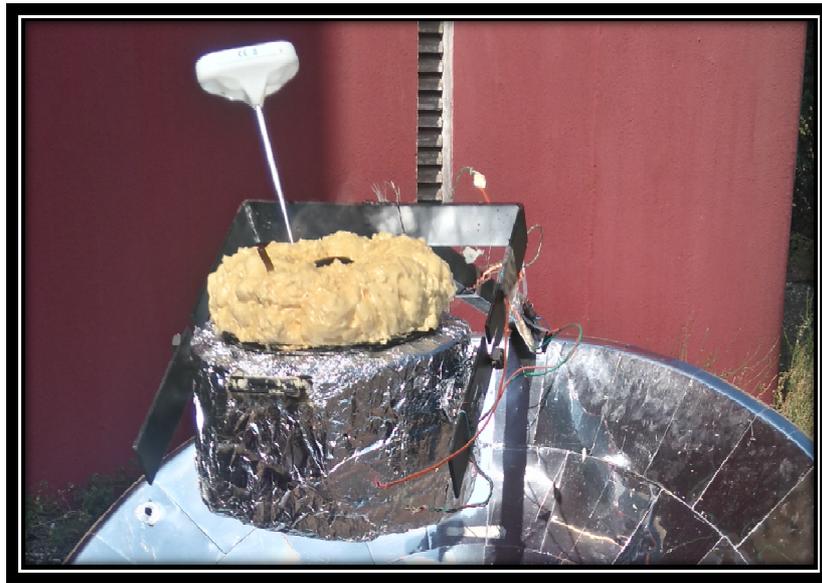


Fig IV. 20 : l'expérience de la cuisson avec isolation

IV.3.3.1-Expérience de cuisson de la viande (05/06/2016) :

- Dans cette expérience on a isolé notre marmite par une couche de 3cm de mousse polyuréthane.
- l'emplacement des thermocouples dans cette expérience a été changé (on a placé un thermocouple sur la paroi de la marmite ,un au foyer et un autre sur la paroi extérieure de l'isolant .
- on a utilisé 1L d'eau avec 290g de viande .



Fig IV. 21 : expérience de cuisson de la viande

Chapitre V :

Résultats et interprétation

Nous présentons dans cette partie les profils de températures et ceux de l'ensoleillement direct mesurés lors de nos manipulations. Ceci pour bien comprendre la variation brutale de différentes températures que nous avons enregistrée au cours de ces mesures. Ensuite nous allons présenter les résultats des grandeurs mesurées.

V.1 - Distribution de la température au niveau du foyer :

L'objectif de cette première expérience est de caractériser le concentrateur dans notre cuiseur.

La figure V.1 montre la tâche du soleil au foyer du réflecteur paraboloidal, l'image est presque circulaire ce qui reflète les bonnes propriétés optiques du miroir.



Fig V. 1 : Vue de la tache focale du réflecteur

V.2- L'étude expérimentale :

V.2.1- La distribution de la température au foyer :

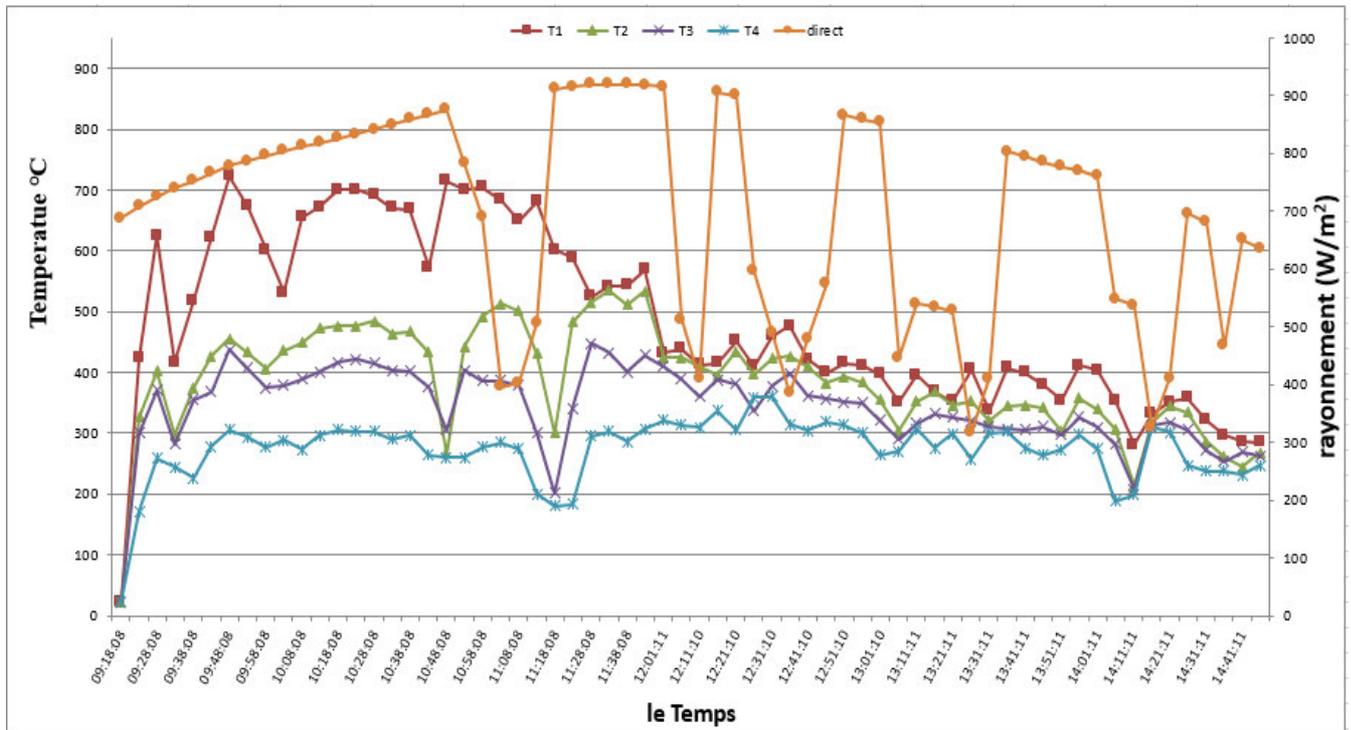


Fig V. 2 : le rayonnement direct et les températures au niveau de foyer en fonction de temps

La figure V.2 montre la distribution de l'éclairement direct. A cause des passages nuageux et malgré que le diamètre de la tâche n'est que de 9 cm, la température varie d'un point à un autre dans la zone focale avec un écart arrivant à jusqu'à 200°C. On constate que la distribution de température dans la zone focal n'est pas uniforme ce qui dû à la distribution non uniforme des éclaircements produite par le concentrateur (paraboloïde) utilisé.

On conclue par ailleurs que malgré que la journée est nuageuse, on a attient des températures largement acceptable pour la cuisson solaire ce qui implique que notre réflecteur ou bien notre concentrateur est capable d'alimenter notre cuiseur.

V.2.2.1- Expérience d'ébullition d'eau : (1/06/2016)

Cette expérience a duré entre 14h :19 et 15h :12

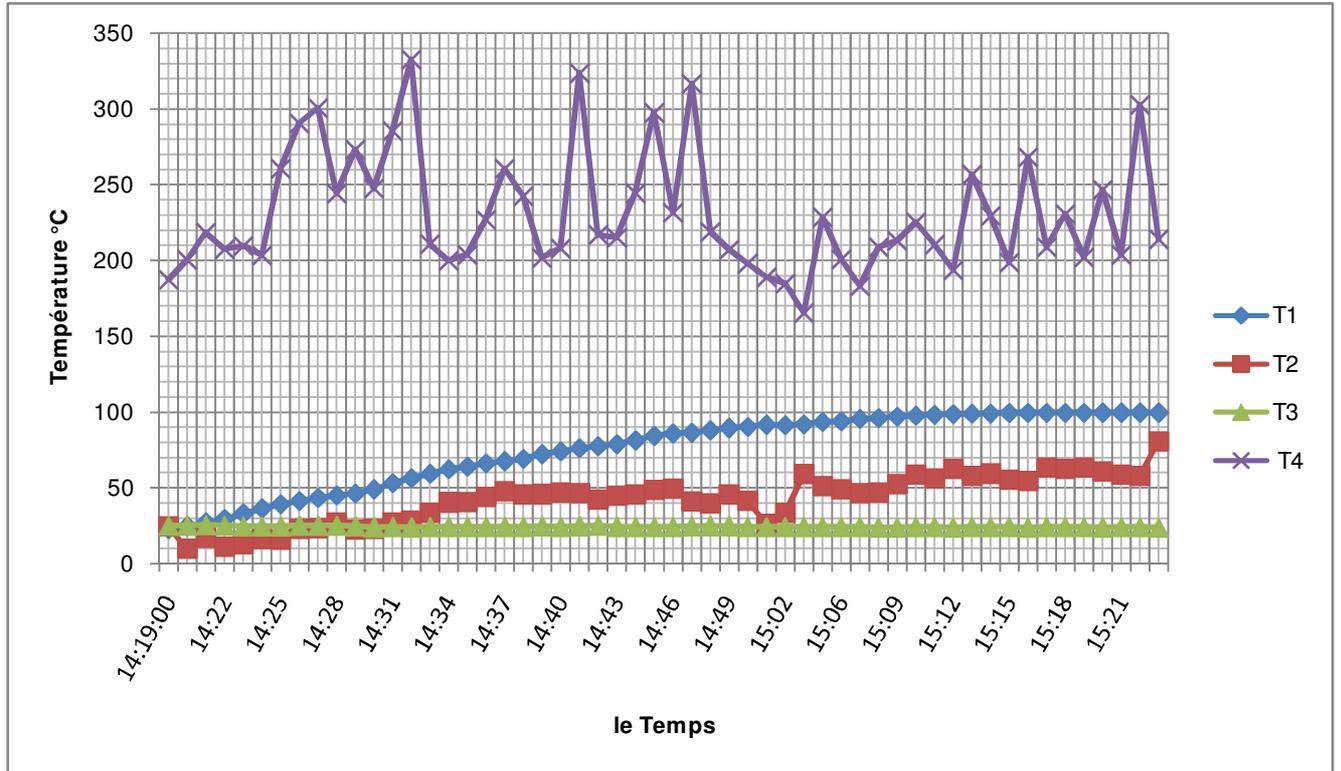


Fig V. 3 : les températures au niveau de foyer et à la surface de la marmite en fonction du temps.

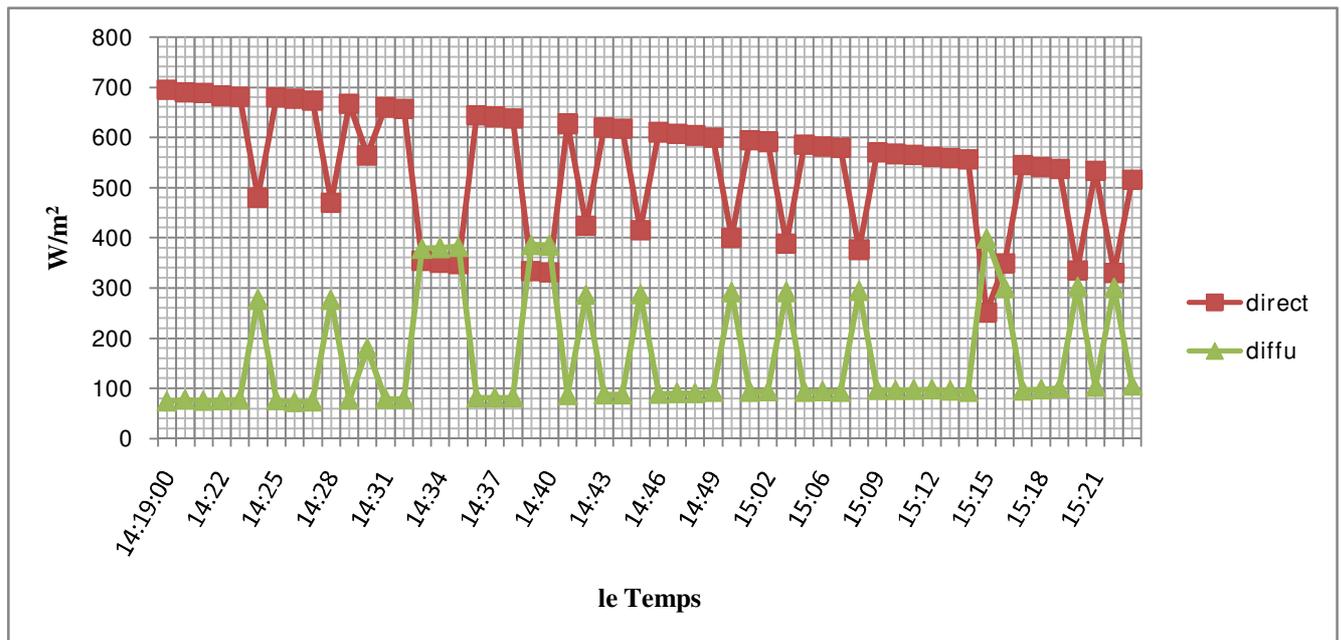


Fig V. 4 : le rayonnement direct et diffus au niveau de foyer durant l'expérience d'ébullition d'eau.

Les figures (Fig V. 5) et (Fig V. 6) nous permet de constater que l'éclairement direct est perturbé pendant toute la durée de l'essai à cause des passages nuageux telle qu'il atteint 700 W/m² et il descend jusqu'à moins de 350 W/m² ce qui entraine une température instable au niveau de l'absorbeur. On atteint un maximum de 332.5 °C au fond du récepteur et la température de l'eau croit lentement jusqu'à atteindre les 100°C puis elle se stabilise pendant un certain temps. La température de la paroi latérale de la marmite arrive jusqu'à 80°C. On déduit alors que pour minimisé le temps d'ébullition de l'eau, il est conseillé d'isoler la marmite.

V.2. 2.2- Expérience consistant à la préparation d'œufs durs (02/06/2016) :

Dans cette expérience, nous nous proposons de montrer les possibilités du cuiseur à la préparation d'aliments dans un temps relativement acceptable. Dans une première étape, nous avons fait cuire une quantité d'œufs (04) et enregistrer les éclairements et les températures durant la cuisson. On a constaté que la température de cuisson est rapidement atteinte, après 15 mn, et se stabilise à 100 °C après 20 mn (voir figure V.7).

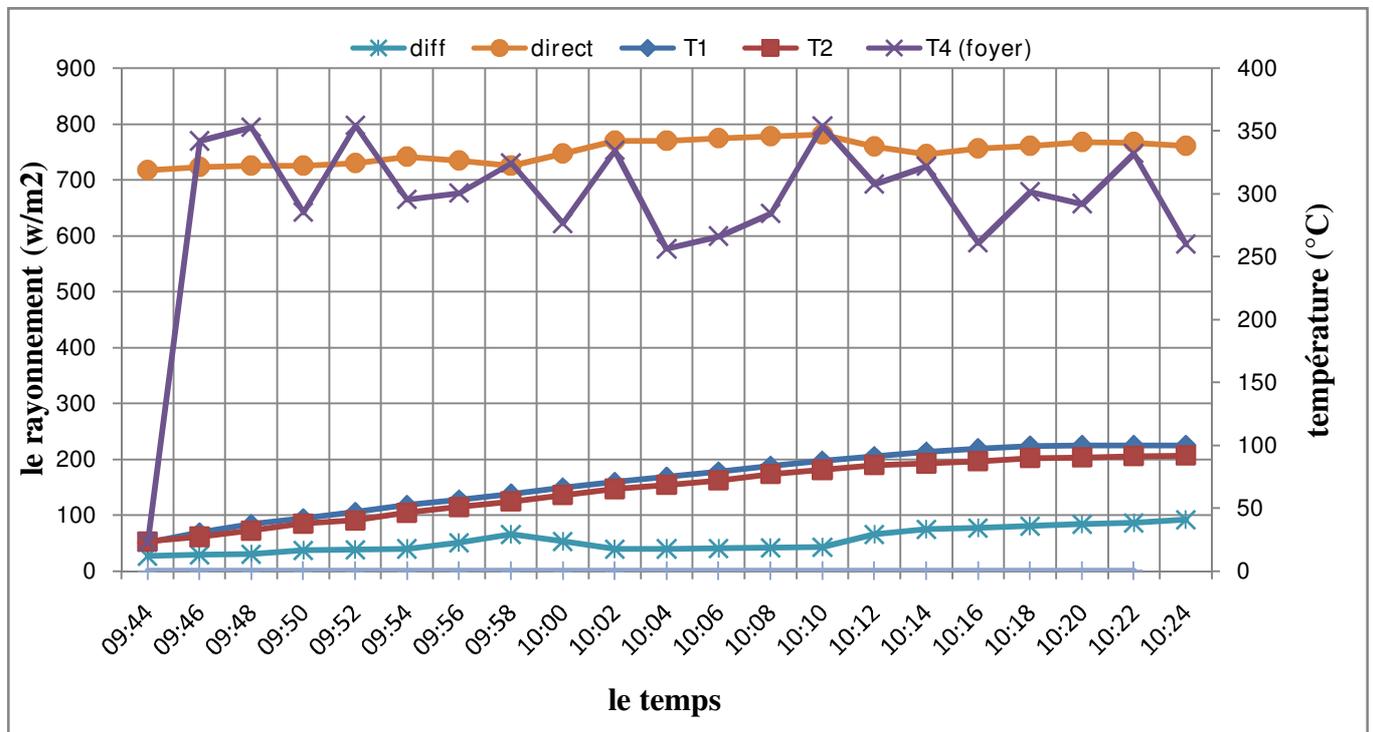


Fig V. 5 : évolution de l'éclairement direct et les températures durant l'expérience de préparation d'œuf

V.2.2.3- Expérience de la préparation delégumes (02/06/2016) :

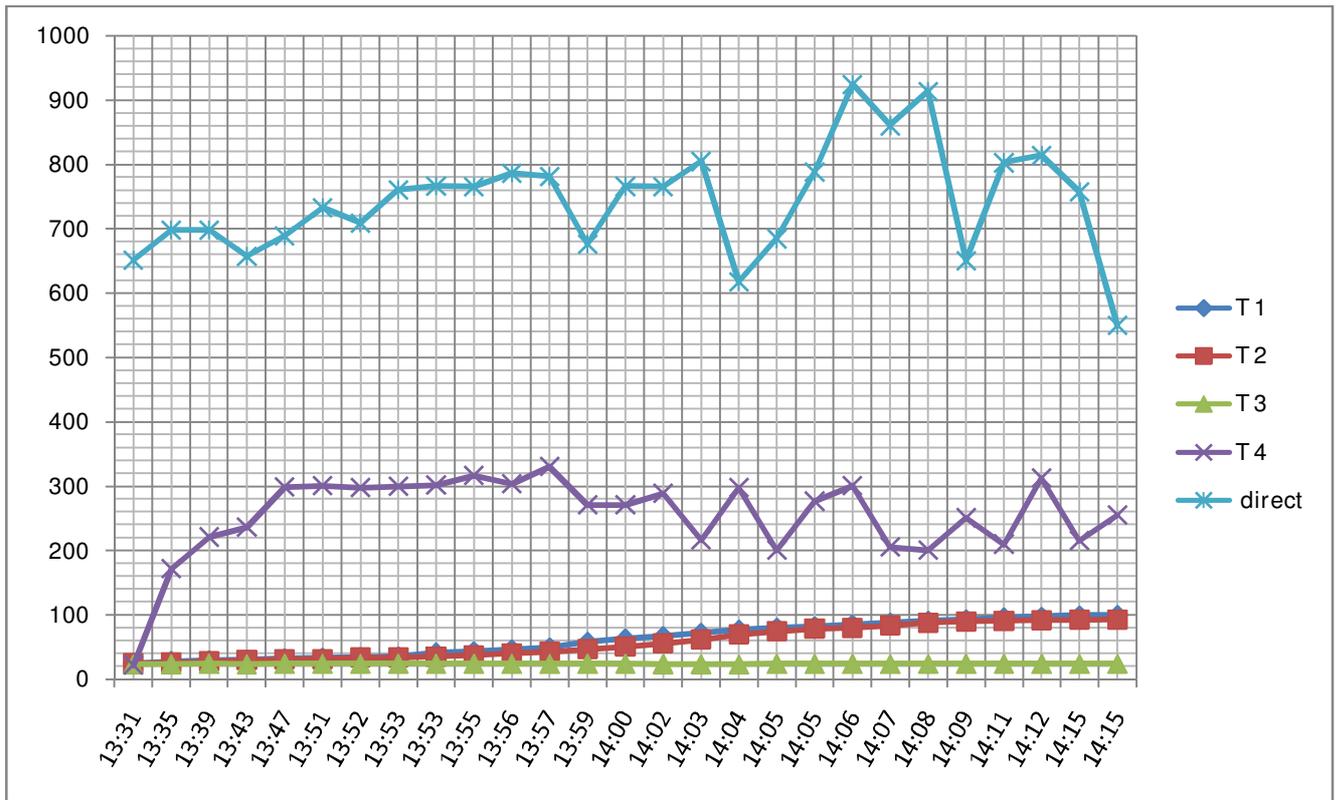


Fig V. 6 : variation de l'éclairement direct et les différentes températures en fonction du temps.

Dans une deuxième étape, nous avons essayé de réaliser la cuisson de légume afin de tester les possibilités de notre cuiseur. Nous avons remplacé les œufs par des légumes frais. Malgré les variations sensibles de l'éclairement et de la température de fond de marmite, nous constatons un quasi uniformité de la température de cuisson (voir figure V.8). Ce phénomène est dû à l'inertie du récepteur, ce qui joue en faveur de la bonne cuisson.

V.2.3- l'expérience de la cuisson (avec isolation de la marmite) :

Afin pousser au maximum les limites de notre cuiseur, nous avons procédé à l'isolation de notre marmite et essayer la cuisson de viande. L'isolation permet un meilleur échange thermique et donc un temps de cuisson plus court ce qui nécessaire dans ce cas.



Fig V. 7 : l'expérience de la cuisson avec isolation.

La figure V.9 montre le récepteur (marmite) isoler avec de la mousse polyuréthane.

Notons que :

- ✓ Thermocouple T1 : mesure la température de surface de l'absorbeur (la marmite).
- ✓ Thermocouple T2 : mesure la température de la surface latérale
- ✓ Thermocouple T3 : mesure la température ambiante.
- ✓ Thermocouple T4 : mesure la température de foyer.
- ✓ la température du contenu de la marmite (eau+viande) est mesurée par un thermomètre numérique.

V.2.3.1- l'expérience de la cuisson de laviande (05/06/2016) :

Dans l'expérience on a utilisée 1l d'eau avec 290g de viande . L'expérience a été conduite

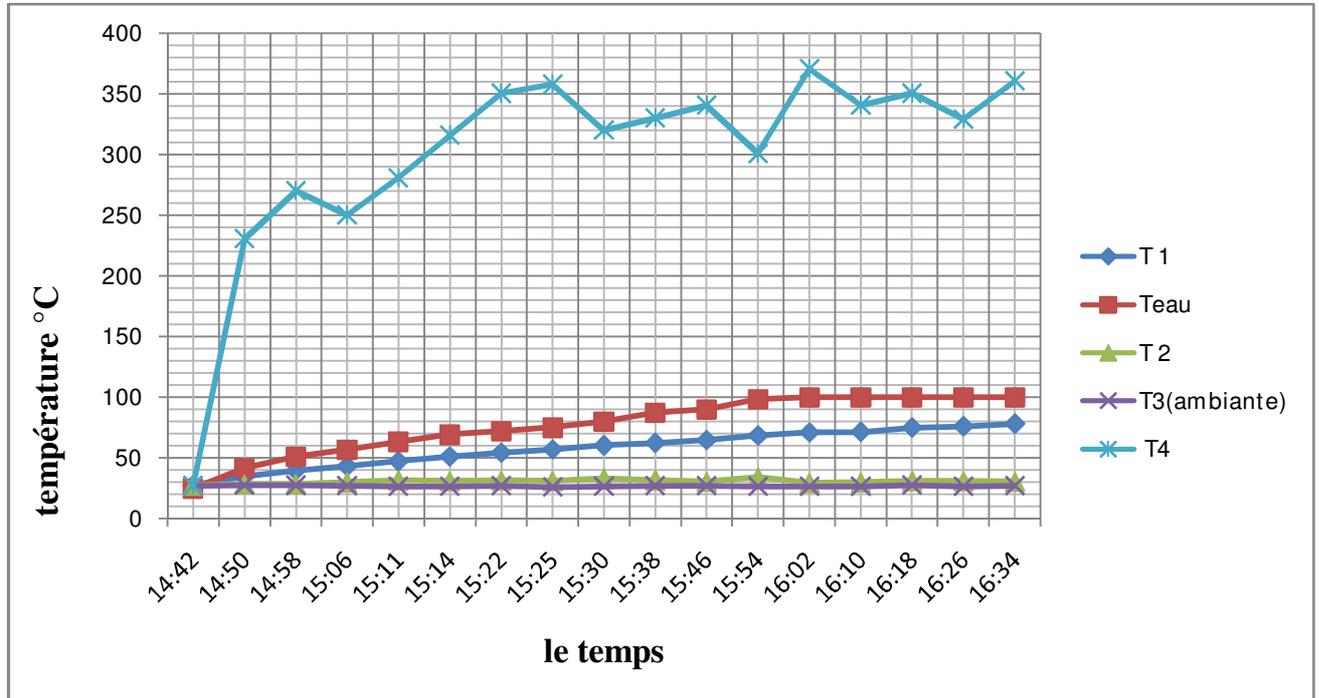


Fig V. 8 : l'évolution de les températures dans les différents points de l'expérience de la cuisson de viande en fonction de temps.

dans de bonne conditions d'éclairément (voir figure V.12) et de température ambiante. La cuisson à été réalisée en moins de deux (02) heures dans de bonnes conditions. La température du fond du récepteur a très vite dépassée les 230 °C (<10 mn) pour osciller entre 300 et 350 °C durant le reste de la cuisson (voir figure V.11).

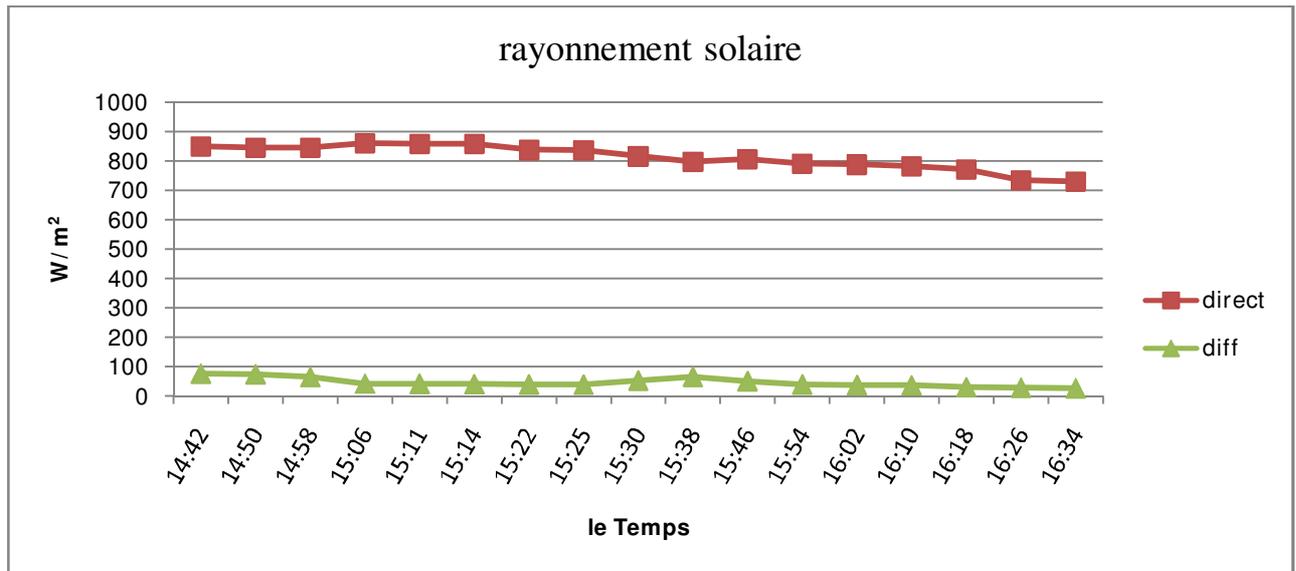


Fig V. 9 : variation du rayonnement direct et diffus de l'expérience de la cuisson de viande en fonction de temps.

Nous pouvons conclure, à partir des expériences menées, que notre cuiseur à réaliser de très bonnes performances même dans des conditions moyennes. Nous avons constaté que malgré les fluctuations importantes du rayonnement solaire, les différents types de cuisson se sont déroulés dans des conditions de temps convenable et la qualité du produit cuit est exceptionnelle.

Conclusion générale :

L'énergie est considérée comme le facteur le plus important dans le développement économique des nations. La demande mondiale en énergie est prévue d'augmenter rapidement au cours des prochaines années avec l'augmentation de la population humaine, l'urbanisation et la modernisation. Actuellement, l'utilisation des sources d'énergies fossiles dominant encore le secteur résidentiel, considéré comme le secteur principal; du point de vue besoins énergétiques, dans le monde. La demande d'énergie pour la cuisson est comptée comme la plus importante dans le secteur. En Algérie, pour les citoyens qui sont installés dans plusieurs régions isolées du pays, la cuisson des aliments revient très onéreuse, quand on exploite les sources énergétiques conventionnelles et induit des conséquences désastreuses sur l'écosystème en exploitant le bois des quelques arbustes restants dans ces régions. La cuisson solaire constitue une réelle solution pour limiter la déforestation et l'utilisation abusive des énergies fossiles qui contribuent à l'aggravation des problèmes des émissions des GES.

Dans ce contexte et dans le cadre de ce travail, on s'est proposé de faire la conception et la réalisation pratique d'un nouveau design de cuiseur solaire de type parabolique .Cette nouvelle configuration permet d'améliorer les performances du cuiseur et résoudre quelques problèmes liés à la cuisson solaire à savoir; les rendements minimes à cause des faibles températures. Après une étude bibliographique et un état de l'art sur les systèmes à cuisson solaire, leur développement et leur utilisation à travers le monde, nous avons commencé par l'étude détaillée de notre problématique.Elle nous a permis de connaître le fonctionnement de ce système et de prévoir la température que nous pouvons atteindre à l'ouverture du récepteur. Nous avons montré que cette température dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont la variation de l'éclairement solaire, la géométrie du réflecteur, la nature et les dimensions de l'absorbeur et les qualités optiques de sa surface réfléchissante.

Cette nouvelle idée, réalisée et concrétisée à l'Unité de Blida, nous a incités à étudier la faisabilité de la cuisson solaire en Algérie à fin de permettre la vulgarisation de ces dispositifs sur l'ensemble du territoire national

L'approche que nous avons présentée dans cette thèse montre la faisabilité de ce genre de projet en Algérie.

La cuisson solaire reste une réalité, qui permet un mode de cuisson sain aux aliments avec des économies d'énergie et un respect à l'environnement; dont il faut extraire les moindres avantages et essayer d'apporter de probables améliorations dans l'avenir.

L'Algérie a commencé dernièrement à s'introduire dans le solaire thermique à plusieurs échelles en coopération avec des sociétés étrangères, mais l'investissement reste encore minime par rapport à son potentiel énorme en énergie solaire. Pour cela, il est important que le pays commence à maîtriser cette technologie pour pouvoir à terme, équilibrer sa consommation en introduisant de plus en plus l'énergie solaire thermique et des énergies renouvelables en général. Un pays comme l'Algérie pourra donc économiser d'énormes quantités de gaz naturel pour l'exportation du faite de l'intégration et de l'investissement dans ce genre de projet.

REFERENCES

- [1] www.asal-dz.org, 'Apport de la Télédétection pour la Production d'un Atlas du Gisement solaire'
- [2] **A.BEN JAMAA et C.DELORME**, 'Détermination quotidienne, en tous les points d'une région, de l'évolution de l'éclairement solaire utilisable à partir d'images de météosat', *J.Phys. III France* 2, 847-858, 1992.
- [3] **A.ZEROUAL**, 'Contribution à l'étude statistique et stochastique des données solaires au site de Marrakech',
- [4] **A. Harmim*, M. Boukar et M. Amar.**' Etude expérimentale d'un cuiseur solaire de type boîte à trois réflecteurs plans et une surface d'ouverture inclinée.' *Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°1 (2007) 31 – 38*
- [5] <http://solarcooking.org>. 'Solar Cookers International (SCI)' diffusion de la cuisson solaire pour le bénéfice des peuples et des environnements cuiseurs solaires comment construire, employer et apprécier la 10ème édition, 2004 'Solar Cookers International (SCI)'
- [6] «Solar Cookers International,» SCI, [En ligne]. Available: <http://www.solarcookers.org>. [Accès le 13 Décembre 2014].
- [7] «ID Cook, le spécialiste de la cuisson solaire,» IDCOOK, 2011. [En ligne]. Available: <http://www.iDCOOK.com>. [Accès le 13 Décembre 2014].
- [8] Weatherbase, Tlemcen, Algeria [archive] sur www.weatherbase.com. Consulté le 8 septembre 2011.
- [9] **Stine, W. B., and Frank Kreith**, eds. *Mechanical Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
- [10] **R.Bernard, G.Menguy, M.Schwartz**, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application. Technique et Documentation, Paris, 1979
- [11] **J.M.chassériaux**, Conversion thermique du rayonnement solaire, bordas Paris.1984
- [12] <http://www.france-energie-solaire.info/energie-solaire.html>
- [13] **R.Bernard, G.Menguy, M.Schwartz**, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application. Technique et Documentation, Paris, 1979
- [14] **A. Ferriere**, «Les centrales solaires thermodynamiques: l'état de l'art et les perspectives mondiales,» chez *Colloque de l'Institut ENSAM de Corse*, Bastia, 2005.

- [15] **K. Ogilvie**, «L'abc des technologies de l'énergie renouvelable, Pollution Probe,» Canada, 2003.
- [16] **Q.Sylvain**, Les Centrales Solaires à Concentration, France: Université de Liège, Faculté des sciences appliquées, 2007.
- [17] Document, «Cuiseurs solaires: comment construire, employer et apprécier,» Solar Cooker International (SCI), California, USA, 2004.
- [18] **A. Dizier, F. Pignon**, «Manuel de cuisson solaire,» Edition commune SCI / iD COOK, Paris, France, 2005.
- [19] «Solar Cooking,» SCInet, [En ligne]. Available: <http://solarcooking.org/>. [Accès le 13 Décembre 2014].
- [20] «C fait maison,» 2014. [En ligne]. Available: <http://www.cfaitmaison.com>. [Accès le 13 Décembre 2014].
- [21] **A. Ferriere, G. Flamant**, «Captation, transformation et conversion de l'énergie solaire par les technologies à concentration,» IMP-CNRS, Centre du Four Solaire, France, 2004.
- [22] **B.Stine, Michael Geyer**, Power from the sun, Lyle centre for regenerative studies 2001
- [23] <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter08/chapter08.html#8.3> Parabolic and Spherical Optics.
- [24] **Vudichai Neeranartvong**, Etude d' un concentrateur solaire a simple réflexion. Thèse de Docteur-Ingenieur, Institut national polytechnique de Toulouse. juillet 1983.
- [25] **Paul De Neyer** «Energie solaire thermique, Guide des Energies Renouvelables, mai 2003.
- [26] **H.Naito, Y.Kohsaka, D.Cooke**, The development of solar receiver for highefficient thermionic/ thermoelectric conversion system. Encyclopedia of physical science et technology, .1995
- [27] **A.Steinfeld et R.Palumbo** , Solar thermo chemical process technology. Encyclopedia of physical science et technology .vol.15.pp.237-256.2001
- [28] **D.Kedwards, L.Marlot**, Capteurs Solaires, *Edition S C M, Paris 1979*
- [29] **Bernd Hafner, Christian Faber**, Methods for the design and thermal characterisation of solar cookers«Solar cooker test procedure ECSCR, Version 2, 1993.
- [30] **N. Mehdi .Bahadori**, Design of solar autoclave. *Solar Energy, Vol.18, pp.489-496.*

Pergamon press 1976..

[31] **U.H.Kurzweg ,J.P.Benson** ,'Iso-Intensity absorber Configurations For parabolic Concentrators ' , Solar energy .Vol.29,No.2,pp167-174,1982

[32] **S.Bonned. et A.Alaphilippe**, Conversion thermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance. *Energ. ren : 11 eme journées internationales de thermique. pp.73-80. 2003*

[33] **David Faiman**, **Solar** thermal Collectors. Introduction to solar energy .*lecture 5 version 3.1 2003*

[34] **O.C.Jorgensen**, Collector heat capacity effect on solar system performance, *Solar Energy. Vol29. No.2. pp 175-176, Printed in Great Britain. 1982.*

[35] **J.E .Braun et J.C .Mitchell**, Solar geometry for fixed and tracking surface. *Solar Energy*, vol.31.N°.pp394-444 ,(1983).

L'annexe A

Le tableau de rayonnement et la distribution de température au niveau du foyer.

Le temps	Température ambiante	T1	T2	T3	T4	direct
09:18:08	22,7	22,6	22,8	22,9	22,8	688,5477
09:23:08	23,2	423,2	326,4	300	171,8	708,2493
09:28:08	25,4	625,2	401,7	370,8	258,2	724,5187
09:33:08	23,1	416,6	296,5	282,5	244,3	740,3671
09:38:08	23,6	517,6	375,3	354,9	226,8	752,1205
09:43:08	23,7	622,4	426,7	368	277,8	766,1672
09:48:08	24,8	722,5	455,6	437	305,6	778,1903
09:53:08	24,6	673,9	433,7	407,4	294	786,0906
09:58:08	24,7	601,6	406	374,9	276,5	795,9539
10:03:08	25,9	530,5	435,6	378,1	289,3	804,8651
10:08:08	26,1	655	448,6	388,9	272,6	813,4313
10:13:08	25,9	671,8	472,5	400,9	296,7	818,894
10:18:08	26,2	699,9	475,9	416,1	305,6	827,0427
10:23:08	26,7	700,9	476,6	421,9	303,2	833,6007
10:28:08	26,6	691,8	484,1	415,7	302,9	841,2504
10:33:08	26,3	670,4	463,4	403,9	290,6	849,9749
10:38:08	27,7	668,2	467,3	401,7	295,9	859,723
10:43:08	26,6	572,9	434	376,4	264,3	867,56
10:48:08	27,8	7,15E+02	266,5	305,4	260,7	875,5887
10:53:08	27,1	7,01E+02	442,2	403,7	259,8	783,2299
10:58:08	27,1	704,7	492,5	386,9	277,6	690,7621
11:03:08	26,8	683,7	513,5	386,3	285,2	396,4478
11:08:08	27,6	6,50E+02	500,9	378,2	274,8	402,4979
11:13:08	27,2	680,6	430,8	300,2	200,7	507,3528
11:18:08	26,6	600,9	300,5	200,9	180,6	911,9378
11:23:08	28,1	588,2	483,3	340,2	182,8	916,139
11:28:08	27,9	524,6	515,8	447,2	295	919,5263
11:33:08	28,4	541,5	535,4	431,8	303,6	920,374
11:38:08	28,6	542,4	511,3	400,5	285,9	919,8693
11:43:08	27	568,7	534	428,6	307,1	918,3943
12:01:11	26,1	432,5	424,6	410	321,8	915,9053
12:06:10	26,6	438,1	423,7	389,3	314,1	512,5501
12:11:10	25,7	412,6	410,2	360,1	310	409,2379
12:16:10	26,3	415,5	396	387,2	336,6	906,5339
12:21:10	25,8	451,1	434,3	381,4	306,3	900,6949
12:26:10	26,1	409,5	396,3	336,4	358,9	596,3475
12:31:10	26,1	458,9	423,2	377,7	360,8	490,4874
12:36:10	26,6	476,2	426,8	397,6	314,7	384,7922
12:41:10	27,1	421	409,4	362,3	304	478,2702
12:46:10	26,6	399,8	382,6	357	319	574,7171
12:51:10	26,6	414,8	392,9	351,2	314	866,1887

L'annexe A

12:56:10	27,2	411	384,2	350,6	300,4	859,3328
13:01:10	26,3	397,2	354,7	321,1	264,3	854,4764
13:06:11	26,4	350,8	304,2	289,9	270,3	446,8398
13:11:11	27,9	395	352,2	315,6	306,8	539,7721
13:16:11	26,4	368,8	368,7	331,5	275,8	534,3145
13:21:11	26,5	352,7	345,6	326,4	298,7	527,2121
13:26:11	26,4	404,7	352,2	320,3	258	317,2841
13:31:11	26,4	337,2	320,8	311,4	300,7	410,7648
13:36:11	27,1	407,2	344,3	306,7	303,5	803,0941
13:41:11	26,5	399,2	346	305,9	275,2	794,89
13:46:11	26,9	379,5	342	310,9	264,3	785,0999
13:51:11	26,7	354,4	303,5	298,2	272,7	776,952
13:56:11	26,5	411,6	357,7	326,4	298	770,0629
14:01:11	26,9	403,2	339,3	310	274,9	759,9995
14:06:11	26,7	354,1	307,5	281,6	189	548,1832
14:11:11	26,5	280,4	213,5	208,5	198,2	536,8331
14:16:11	26,1	331,9	318,8	312,5	309	325,3456
14:21:11	27	351	344,2	317,2	301,6	411,2551
14:26:11	26,2	357,6	334,4	305,6	247,3	696,6524
14:31:11	26,9	321,6	285,7	272,1	237,3	681,1705
14:36:11	26,7	296,6	261,3	253,3	237,9	466,7655
14:41:11	26,6	286,2	244,9	269,1	232	650,7081
14:46:11	27	285,3	268,2	262,4	247,2	636,1953

Les tableaux de la cuisson :

1. Expérience d'ébullition d'eau (1.5 L) : 01/06/2016

le temps	T1	T2	T3	T4	diffus	direct
06/01/2016 14:19	22,9	24,5	25,2	187,5	74,842	695,2231
06/01/2016 14:20	24,6	9,9	25,2	200,4	78,3476	690,568
06/01/2016 14:21	27,1	17	25,6	218,3	75,8535	688,468
06/01/2016 14:22	29,6	11	25,2	207,5	77,019	683,219
06/01/2016 14:23	33	13	24,8	209,7	77,65	680,913
06/01/2016 14:24	36,4	16,3	24,6	203,4	277,331	480,237
06/01/2016 14:25	39,2	15,8	24,6	260,5	77,1346	679,7944
06/01/2016 14:26	41,4	22,8	25	290,4	73,175	677,389
06/01/2016 14:27	43,4	23,5	25,2	300,7	75,067	673,168
06/01/2016 14:28	45	27,1	25,1	244,3	276,215	470,649
06/01/2016 14:29	46,3	22,5	24,8	273,1	78,17	667,398
06/01/2016 14:30	49,1	23	24,1	247,7	179,7274	564,4256
06/01/2016 14:31	53,2	27	24,2	285,4	79,864	660,295
06/01/2016 14:32	56,4	28,4	24,1	332,5	79,349	657,219
06/01/2016 14:33	59,4	33,6	24,4	211	378,096	354,468
06/01/2016 14:34	62,3	40,5	24,2	200,1	380	350,597
06/01/2016 14:35	64,1	40,8	24,4	203,6	381,969	347,7827
06/01/2016 14:36	66,3	44	24,4	227	82,327	644,567
06/01/2016 14:37	67,7	47,9	24,4	260,4	81,442	641,237
06/01/2016 14:38	69,3	45,9	24,4	242,4	82,533	638,462
06/01/2016 14:39	72,3	46	24,6	201,6	386,07	333,498
06/01/2016 14:40	74,2	47	24,3	207,8	385,3314	331,8411
06/01/2016	76,3	46,5	24,9	323,5	87,058	627,267

L'annexe A

14:41							
06/01/2016 14:42	77,6	42,5	25	217	287,1007	424,168	
06/01/2016 14:43	79	45	24,5	215	88,35	620,316	
06/01/2016 14:44	81,4	45,9	24,3	244,4	88,368	617,216	
06/01/2016 14:45	84,5	48,6	24,3	297,4	288,2281	414,8672	
06/01/2016 14:46	85,9	49,5	24,4	231,7	89,997	610,689	
06/01/2016 14:47	86,6	41,2	24,6	316,5	91,367	607,197	
06/01/2016 14:48	88,1	39,8	24,9	218,9	90,895	604,318	
06/01/2016 14:49	89,7	45,9	24,9	207,1	93,1084	600,168	
06/01/2016 14:50	90,4	41,5	24,2	198,1	291,8414	399,7296	
06/01/2016 14:51	91,8	26,4	24,2	189	94,033	595,165	
06/01/2016 14:52	91,4	33,4	24,4	184,9	94,964	591,667	
06/01/2016 14:53	92,1	59,4	24,3	165,5	292,208	389,138	
06/01/2016 14:54	93,6	51,1	24,4	228,5	93,847	585,639	
06/01/2016 14:55	94,1	49	24,3	200,7	94,8266	582,2822	
06/01/2016 14:56	95,7	46,5	24,4	183,2	93,444	579,21	
06/01/2016 14:57	96,2	47,1	23,9	208,8	294,129	376,56	
06/01/2016 14:58	97,2	52,5	24	213,1	97,567	570,649	
06/01/2016 14:59	97,8	59	24,2	225,3	96,788	567,466	
06/01/2016 15:00	98,5	56,2	24,2	210,4	97,7227	565,5505	
06/01/2016 15:01	98,9	62,7	24	193,5	98,431	561,214	
06/01/2016 15:02	99	58,1	24,2	256,6	96,496	559,168	
06/01/2016 15:03	99,3	59,5	24,2	229,5	94,1151	556,1589	
06/01/2016 15:04	99,6	55,6	24,3	198,7	398,652	251,346	
06/01/2016 15:05	99,6	54,6	23,9	268,1	300,8562	348,8546	
06/01/2016	99,7	63,4	24,2	208,8	96,673	545,492	

L'annexe A

15:06							
06/01/2016 15:07	99,7	62,7	24,2	230,8	98,417	541,237	
06/01/2016 15:08	99,7	63,5	24,4	202,2	100,967	537,189	
06/01/2016 15:09	99,8	61,1	24,1	246,8	302,83	335,155	
06/01/2016 15:10	99,8	58,9	24,3	203,7	103,8705	533,501	
06/01/2016 15:11	99,8	58,1	24,4	302,8	300,883	330,385	
06/01/2016 15:12	99,8	80,8	24	214,1	105,897	515,4807	

2. L'expérience de préparation des œufs :

le temps	T1	T2	T3 (ambiant)	T4 (foyer)	direct	diffus
02/06/2016 09:44	22,4	23,5	22,2	22,7	716,981132	26,4150943
02/06/2016 09:46	30,6	27,2	21,9	341,8	722,641509	28,3018868
02/06/2016 09:48	37,1	32,1	22	352,6	724,528302	30,1886793
02/06/2016 09:50	41,6	37,6	22,1	285,2	725,471698	36,7924528
02/06/2016 09:52	46,7	40,1	22,2	354,2	729,245283	37,7358491
02/06/2016 09:54	52,3	46,2	21,8	295,2	741,509434	39,6226415
02/06/2016 09:56	56,6	50,9	22,7	300,5	733,962264	50,9433962
02/06/2016 09:58	61,3	55,3	22,6	324,3	725,471698	65,0943396
02/06/2016 10:00	66,3	60,2	22,8	276,3	747,169811	52,8301887
02/06/2016 10:02	70,6	65,2	23,1	334,3	769,811321	38,6792453
02/06/2016 10:04	74,6	68,3	23,1	256	769,811321	39,6226415
02/06/2016 10:06	78,8	72,1	23,2	266,1	774,528302	40,5660377
02/06/2016 10:08	83,4	77,1	22,6	284,2	777,358491	41,509434
02/06/2016 10:10	87,6	80,4	22,6	353,8	781,132075	42,4528302
02/06/2016 10:12	91	84,2	23	307,5	759,433962	65,0943396
02/06/2016 10:14	94,6	85,4	22,8	321,9	745,283019	74,5283019
02/06/2016 10:16	97,4	87,1	23,5	260,6	755,660377	76,4150943
02/06/2016 10:18	99,4	89,6	23	301,3	760,320152	80,245886
02/06/2016 10:20	99,8	90,3	23,3	292	767,48741	83,4559865
02/06/2016 10:22	99,8	91,1	23,3	331,8	766,804633	86,0255561
02/06/2016 10:24	99,8	91,7	23,9	259,9	760,950212	91,8799765

3. L'expérience de préparation de la salade des légumes : (02/06/2016)

Le temps	T 1	T 2	T 3	T 4	direct
02/06/2016 13:31	24,6	24,7	23,3	21,8	651,4
02/06/2016 13:35	27,8	25,8	23,5	171,9	697,6
02/06/2016 13:39	29,5	27,5	23,6	220,7	697,69
02/06/2016 13:43	30,1	29,3	23,1	236,2	657,24
02/06/2016 13:47	32,5	30,9	23,8	298,4	688,87
02/06/2016 13:51	33,4	31,2	24	300,2	732,78
02/06/2016 13:52	34,5	33,5	24	297,3	709,05
02/06/2016 13:53	35,4	33,9	24	299,5	760,29
02/06/2016 13:53	41	35,2	23,8	301,8	765,88
02/06/2016 13:55	43,3	37,2	24	316,5	764,91
02/06/2016 13:56	46,3	40,1	23,8	303,8	785,71
02/06/2016 13:57	49,1	42,8	23,7	330,2	780,99
02/06/2016 13:59	57,8	46,9	23,6	270,5	676,22
02/06/2016 14:00	62,9	50,7	23,9	270,6	765,8
02/06/2016 14:02	66,7	55,3	23,5	288,6	764,86
02/06/2016 14:03	72	61,3	23,5	216,5	804,5
02/06/2016 14:04	76,7	69,6	23,4	297,7	617,57
02/06/2016 14:05	80,1	74,4	23,6	200,6	684,42
02/06/2016 14:05	82,2	78,3	23,6	276,2	788,296
02/06/2016 14:06	85,1	80,1	23,6	300,5	924,063
02/06/2016 14:07	87,7	83,4	23,6	205,6	860,05
02/06/2016 14:08	90,7	87,5	23,9	200,1	912,96
02/06/2016	93,2	90,1	23,8	250,4	650,44

L'annexe A

14:09					
02/06/2016 14:11	95,7	90,6	24,1	209,7	802,55
02/06/2016 14:12	97,3	91,8	23,6	312,5	813,75
02/06/2016 14:15	99,3	92,3	23,8	214,8	757,11
02/06/2016 14:15	99,7	92,8	24	254,5	549,89

4. l'expérience de la cuisson de la viande (05/06/2016) :

TIME	T 1	T (eau)	T 2	T3(ambiante)	T4	direct	diffus
05/06/2016 14:42	27,3	24,5	27,1	26,7	27,3	850,943396	76,41509434
05/06/2016 14:50	34,5	41,4	27,9	27,4	230,6	846,226415	74,52830189
05/06/2016 14:58	39,4	50,8	28,1	27,2	270,2	846,226415	65,09433962
05/06/2016 15:06	43,2	56,4	29,8	26,7	250,1	861,320755	42,45283019
05/06/2016 15:11	47,1	63,2	31,1	26,4	280,9	859,433962	41,50943396
05/06/2016 15:14	51,1	69	30,9	26,5	315,8	858,490566	40,56603774
05/06/2016 15:22	54,2	72,1	31,2	26,8	350,4	838,679245	39,62264151
05/06/2016 15:25	56,9	74,8	30,7	25,9	357,8	837,735849	38,67924528
05/06/2016 15:30	60,3	80	32,6	26,5	320,1	816,981132	52,83018868
05/06/2016 15:38	62,3	87	31,5	26,7	330,2	799,056604	65,09433962
05/06/2016 15:46	64,5	89,8	30,1	26,8	340,7	806,603774	50,94339623
05/06/2016 15:54	68,3	98,3	33,9	26,3	300,9	791,509434	39,62264151
05/06/2016 16:02	70,8	99,7	29,1	26,5	370,6	788,679245	37,73584906
05/06/2016 16:10	71,3	99,7	29,6	26,3	340,8	783,018868	36,79245283
05/06/2016 16:18	74,8	99,8	30,9	27,3	350,4	772,641509	30,18867925
05/06/2016 16:26	75,8	99,8	30,8	26,4	328,9	735,849057	28,30188679
05/06/2016 16:34	77,9	99,8	30,3	27,1	360,8	731,132076	26,41509434

Calcul des performances :

La quantité de chaleur absorbée :

$$Q_a = I_d \cdot A_a \cdot \eta_{opt}$$

A_a : Surface d'ouverture du paraboloïde = 1.038 m²

I_d : éclairement normale directe

η_{opt} : rendement optique du réflecteur.

$$\eta_{opt} = \Gamma \cdot \alpha \cdot \tau \cdot \rho$$

La fraction de l'énergie capturée Γ est une mesure de la qualité de la surface réfléchissante et de la taille de récepteur, Pour un demi-angle d'ouverture de 60°, on peut atteindre un rendement de 95%.

$\alpha \cdot \tau$: Facteur d'Absorptivité de l'absorbeur (marmite) soit égal à 0.8

Γ : Facteur d'interception du concentrateur = 0.95

ρ : Réflectivité de la surface du concentrateur = 0.93

$$\eta_{opt} = 0.95 * 0.93 * 0.8 = 0.70$$

$$\eta_{opt} = 70\%$$

Si on prend un éclairage direct moyen de 750 w/m^2 :

On obtient :

Application numérique :

$$Q_a = 750 * 1.038 * 0.7 = 544.95W$$

Calcule des pertes :

$$Q_p = Q_{pcv} + Q_{pr} = k_{v.r} * A_r (T_m - T_a)$$

- Q_{pcv} : Pertes par convection.

- Q_{pr} : Pertes par rayonnement.

-Telle que :

$$k_{v.r} = h_{cv} + h_r$$

$$h_{cv} = 2.8 + 3.0V$$

-vitesse de vent est de 1.5 m/s

-La température moyen de récepteur, température de l'isolant moyen et celle de l'ambiance son respectivement: 350°C 40°C et 27°C .

Application numérique :

$$h_{cv} = 2.8 + 3.0 * 1.5 = 7.3W / m^2 K$$

$$A_r = 0.00635m^2$$

$$A_i = 0.08551m^2$$

- **Pertes par rayonnement :**

$$Q_{pr} = \varepsilon \cdot \delta \cdot A_r (T_r^4 - T_a^4)$$

$$Q_{pr} = h_r A_r (T_r - T_a)$$

D'où :

$$h_r = \varepsilon \cdot \delta \cdot A_r \cdot (T_r^2 + T_a^2) \cdot (T_r + T_a)$$

ε : facteur émissivité de l'absorbeur soit égal à 0.4

δ : constante de Stefan – Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}^4$)

Application numérique :

$$h_r = 0.4 * 5.67 * 10^{-8} * 0.00635 * (350^2 + 27^2) \cdot (350 + 27) = 6.69 * 10^{-5} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

Donc :

$$k_{v,r} = h_{cv} + h_r = 7.3 + 6.69 * 10^{-5} = 7.30006 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

$$Q_u = \sum M \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{t} = Q_a - Q_p$$

Où :

t : le temps de la cuisson .(2h=7200s)

ΔT : température de cuisson.(300 C°)

On a :

$$Q_p = K_{v,r} * A_r * (T_m - T_a)$$

➤ Application numérique :

$$Q_p = 7.30006 * 0.00635 * (300 - 27) = 12.655 \text{ W}$$

➤ Application numérique :

$$Q_u = Q_a - Q_p = 544.95 - 12.655 = 532.295W$$

• D'autre part :

$$Q_u = (m_{eau} * C_{p.eau} + m_{marmite} * C_{p.marmite} + m_{viand} * C_{p.viand}) * \frac{\Delta T}{t}$$

$$C_{p. Eau} = 4.18 \text{ kJ/Kg.k}$$

$$C_{p. Viande} = 3.132 \text{ kJ/Kg.k}$$

$$M_{viande} = 0.29 \text{ kg}$$

$$M_{eau} = 1 \text{ kg}$$

$$M_{marmite} = 0.15 \text{ kg}$$

$$C_{p.marmite} = 49 \text{ kJ/Kg.k}$$

➤ Application numérique :

$$Q_u = (1 * 4.18 + 0.15 * 49 + 0.29 * 3.932) * \left(\frac{300}{7200}\right) = 0.518 \text{ kw} = 518 \text{ W}$$

Efficacité du concentrateur :

$$\xi = \frac{Q_u}{I_a \cdot A_a} = \frac{532.295}{750 * 1.038} = 0.68\%$$