

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Par : CHIKH Mohammed EL-amine et BENRAMDANE Ahmed Yasser

Sujet

**Analyse des Profils Thermiques de Deux Cuiseurs Solaires
Expérimentés Sous Climat Aride du Sud Algérien (Etude expérimentale-
Centre de recherche GHARDAIA)**

Soutenu publiquement, le 23 / 06 / 2019, devant le jury composé de :

M GHERNAOUT Amine	Université de Tlemcen	Président
M SAIM Rachid	Université de Tlemcen	Examineur
Mme CHADEL Meriem	Université de Tlemcen	Examineur
M BENRAMDANE Mohammed	Université de Tlemcen	Encadreur
Mme YETTOU Fatiha	URAER Ghardaïa	Co-encadreur
M GAMA Amor	URAER Ghardaïa	Invité

Année Universitaire : 2018-2019

Remerciement

On remercie ALLAH le Tout Puissant pour toute la volonté et le courage qu'il nous a donné pour l'achèvement de ce travail.

On adresse chaleureusement toute notre gratitude à nos encadreurs **Dr. BENRAMDANE Mohammed** et **Dr. YETTOU Fatiha** et aussi au **Dr. GAMA Amor** pour son aide précieuse.

Nos vifs remerciements s'adressent également à tous les membres de nos familles, notamment nos chers parents qui nous ont aidés et pour leurs soutiens précieux plus qu'on ne peut le dire durant les longues années de notre formation, ce qui leur fait valoir notre grande reconnaissance. Gratitude à nos professeurs scolaires et universitaires qui nous ont apportés leurs précieux conseils et qui nous ont orientés, assistés et aidés pour y arriver.

Nous remercierons vivement :

- **M. GHERNAOUT Amine**, Professeur à l'université Université de Tlemcen, qui a bien voulu accepter de présider le jury de soutenance.
- **M. SAIM Rachid**, Professeur à Université de Tlemcen et **Mme CHADEL Meriem**, Professeur à Université de Tlemcen pour avoir accepté de participer au jury de soutenance.

Nous remercierons également le Directeur de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER, Ghardaïa), **Dr. DJAFER Djelloul** ; qui nous a permis de réaliser ce travail au sein de l'URAER, ainsi que tout le personnel qui nous a aidés à passer ce stage dans les meilleures conditions.

Enfin, on remercie toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail, on les remercie tous.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

A mes chères sœurs

A mon oncle

A toute ma famille

*A tous mes amis et collègues et en particulier Farouk,
Walid et Sofiane*

*A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science
Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien
et la prospérité de l'humanité.*

Mohammed El Amine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

A mon oncle

A toute ma famille

A tous mes amis et collègues et en particulier Sofiane,

Walid et Boubaker

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien

et la prospérité de l'humanité.

Ahmed Yasser

ملخص

إن نضوب موارد الطاقة الأحفورية أمر لا مفر منه بالنظر إلى الاستهلاك العالمي المتزايد لهذه الطاقة. و بالتالي فإن الوضع يتطلب البحث عن مصادر جديدة للطاقة، والتي تكون الطاقة الشمسية فيها على رأس قائمة هذه الموارد، بسبب وفرة هذه الطاقة، وكذلك توزيعها في الطبيعة، أكثر من أي نوع آخر من الطاقات المتجددة.

من بين الاستخدامات الأكثر شيوعًا لهذا النوع من الطاقة، نجد الطاهي الشمسي. فهو مرتبط بنشاط بشري جد منتظم ، مما يؤدي إلى إعداد نظام غذائي صحي. يستخدم هذا النوع من الطرق في المناطق النائية من الصحراء حيث يصعب توفير غاز البوتان.

يتعلق عملنا بعرض بتحليل مختلف الأنماط الحرارية الطاهيين الشمسيين المجريين في ظل مناخ جاف في جنوب الجزائر (غرداية). هذين الطاهيين، يتكون واحد منهم من نوع علبة و الآخر من النوع صحن. من خلال هذه التجربة ، تم قياس الإشعاعات العالمية والمباشرة بدلالة للوقت في الصحراء الجزائرية (غرداية). يعتمد هذا التحليل على العلاقة بين درجات الحرارة وكفاءة الطاهيين الشمسيين أثناء الطهي.

الكلمات المفتاحية: الأشعة الشمسية ، الطاهي الشمسي من نوع العلبة ، الطاهي الشمسي من نوع الصحن.

Abstract

The depletion of fossil energy resources is inevitable given the high global consumption of this energy. Consequently, the situation requires the search for new energy sources, of which solar energy is at the top of the list of these resources, because of its abundance, but also its distribution in nature, more than any other type of renewable energy.

Among the most frequent uses of this type of energy is the solar cooker. It is linked to very regular human activity, which leads to the preparation of a healthy diet. This type of method is used in remote areas of the Sahara where butane gas supply is very difficult,

Our work presents an analysis of the thermal profiles of two experienced solar cookers in an arid climate in southern Algeria (Ghardaïa). These two cookers, one of them is the box type and the other is the parabolic type. From this experiment, Global and Direct Radiation were measured as a function of time in the Algerian Sahara (Ghardaïa). This analysis is based on the relationship between the temperatures and the efficiency of the two cookers during cooking.

Keywords: Solar Illumination, Solar Box Cooker, Parabolic Solar Cooker.

Résumé

L'épuisement des ressources énergétiques fossiles est inévitable compte tenu de la forte consommation mondiale de cette énergie. En conséquence la situation nécessite la recherche de nouvelles sources d'énergies, dont L'énergie solaire est en tête de la liste de ces ressources, en raison de son abondance, mais aussi de sa distribution dans la nature, plus que tout autre type d'énergie renouvelable.

Parmi les utilisations les plus fréquentes de ce type d'énergie on trouve Le cuiseur solaire. Il est lié à une activité humaine très régulière, qui mène à une préparation d'une alimentation saine. Ce genre de méthode est utilisé dans les régions isolées du Sahara où l'approvisionnement en gaz butane est très difficile,

Notre travail présente une analyse des profils thermiques de deux cuiseurs solaires expérimentés sous un climat aride du Sud Algérien (Ghardaïa). Ces deux cuiseurs, l'un d'eux est de type à boîte et l'autre de type parabolique. A partir de cette expérimentation, on a mesuré des rayonnements Globaux et Directes en fonction du temps dans le Sahara algérien (Ghardaïa). Cette analyse est basée sur la relation entre les températures et le rendement des deux cuiseurs pendant la cuisson.

Mots-clés : Eclairage solaire, Cuiseur solaire à boîte, Cuiseur solaire parabolique.

Sommaire

Résumé

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Générale **01**

CHAPITRE I : Gisement Solaire et Modélisation de l'Eclairement Solaire

I.1. Introduction **04**

I.2. Soleil **04**

I.2.1. Caractéristiques générales 04

I.2.2. Mouvement de la terre 06

I.2.3. Trajectoire apparente du soleil 07

I.2.4. Sphère céleste 07

I.2.5. Cordonnées du soleil 08

I.2.5.1. Coordonnées équatoriales 08

I.2.5.2. Coordonnées horizontales du soleil 11

I.2.5.3. Coordonnées par rapport un plat incliné 13

I.3. Caractéristiques de la terre **14**

I.3.1. Coordonnées terrestres 14

I.3.1.1. Longitude 14

I.3.1.2. Altitude 15

I.3.1.3. Latitude 15

I.3.2. Paramètre de l'atmosphère 15

I.4. Orientation et inclinaison d'une surface **18**

I.4.1. Angle d'incidence 18

I.4.2. Angle d'inclinaison 19

I.5. Rayonnement solaire **20**

I.5.1. Répartition spectrale du rayonnement solaire 20

I.5.2. Constante solaire 21

I.5.3.	Types de rayonnements solaires	22
I.5.3.1.	Rayonnement direct	22
I.5.3.2.	Rayonnement diffus	23
I.5.3.3.	Rayonnement global	23
I.5.3.4.	Lumière	23
I.6.	Eclairement et irradiation	24
I.6.1.	Irradiation ou rayonnement	24
I.6.2.	Eclairement ou irradiation	24
I.6.3.	Situation de l'Algérie	27
I.6.4.	Eclairement hors atmosphère	27
I.7.	Conclusion	29

CHAPITRE II : Etat de l'Art Sur les Systèmes à Cuisson Solaires

II.1.	Introduction	30
II.2.	Historique	30
II.3.	Types de cuissons solaires	31
II.3.1.	Cuiseur de type boîte	32
II.3.2.	Cuiseur à panneaux	32
II.3.3.	Cuiseur parabolique	33
II.4.	Facteurs essentiels pour la cuisson solaire	33
II.4.1.	Températures de cuisson solaire	33
II.4.2.	Temps de cuisson solaire	34
II.4.3.	Localisation de la cuisson solaire	35
II.4.4.	Moment d'utilisation du cuiseur solaire	35
II.4.5.	Types de récipients utilisés pour la cuisson des aliments	35
II.5.	Classification des cuiseurs solaires	36
II.5.1.	Cuiseurs solaires sans stockage	38
II.5.1.1.	Cuisson directe	39
II.5.1.2.	Cuisson indirecte	40
II.5.2.	Cuiseurs solaires avec stockage	41
II.5.2.1.	Stockage de chaleur sensible	41
II.5.2.2.	Stockage de chaleur latente	42
II.6.	Conception et le développement des cuiseurs solaires à travers le monde	44

II.6.1.	Cuiseurs solaires de type boîte	44
II.6.1.1.	Cuiseurs boîtes sans et avec réflecteurs	44
II.6.1.2.	Cuiseurs boîtes à usage multiple	46
II.6.1.3.	Cuiseurs boîtes et récipients de cuisson	46
II.6.2.	Cuiseurs solaires à concentration	47
II.6.2.1.	Cuiseurs à concentration de type cylindro-parabolique	47
II.6.2.	Cuiseurs à concentration de type parabolique	48
II.6.3.	Cuiseurs suiveurs du soleil	49
II.6.4.	Cuiseurs stockeurs d'énergie	50
II.6.4.1.	Cuiseurs solaires boîtes	50
II.6.4.2.	Cuiseurs solaires à concentration	51
II.6.4.3.	Cuiseurs solaires indirects	51
II.7.	Contribution des cuiseurs solaires à la réduction du dioxyde de carbone	52
II.8.	Conclusion	53
Chapitre III : Etude Théorique et Expérimentale, Interprétation et Discussion des Résultats		
III.1.	Introduction	54
III.2.	Présentation du lieu de stage	54
III.2.1.	Site de Ghardaïa	54
III.2.2.	Aperçu sur l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER)	56
III.2.3.	Equipe Mini Centrales Thermodynamiques	57
III.3.	Mesure du rayonnement solaire et données utilisées	57
III.3.1.	Mesure du rayonnement solaire	57
III.3.1.1.	Mesure du rayonnement direct (le Pyrhéliomètre)	57
III.3.1.2.	Mesure du rayonnement diffus et global (le Pyranomètre)	57
III.3.2.	Données utilisées	59
III.4.	Méthodologies adoptées	60
III.4.1.	Test du cuiseur solaire boîte	60
III.4.1.1.	Détermination des 'figures of merits'	60
III.4.1.2.	Détermination de la puissance de cuisson	61
III.4.2.	Test du cuiseur solaire parabolique	62
III.4.2.1.	Tests suggérée par Mullick et al.	62
III.4.2.2.	Tests suggérée par Funk	63

III.4.2.3. Détermination du rendement énergétique du cuiseur	63
III.5. Etude expérimentale des cuiseurs solaires	63
III.5.1. Description des cuiseurs solaires utilisés	63
III.5.1.1. Cuiseur solaire boîte	63
III.5.1.2. Cuiseur solaire parabolique	64
III.5.2. Schéma synoptique de la chaîne de mesure	65
III.5.3. Acquisition de données	66
III.6. Résultats obtenus et discussion	67
III.6.1. Tests et ajustement des cuiseurs	67
III.6.1.1. Description des tests effectués	67
III.6.1.2. Temps d'ajustement des cuiseurs	68
III.6.2. Tests standardisés des cuiseurs	69
III.6.2.1. Profils des températures de l'eau	69
III.6.2.2. Comparaison entre les deux types de cuiseurs	71
III.6.3. Tests caractérisant les deux cuiseurs	72
III.6.4. Puissance de cuisson	73
III.6.4.1. Puissance de cuisson tracée pour le cuiseur boîte	73
III.6.4.2. Puissance de cuisson tracée pour le cuiseur parabolique	74
III.6.5. Rendement des cuiseurs	74
III.6.5.1. Rendement calculé pour le cuiseur boîte	74
III.6.5.2. Rendement calculé pour le cuiseur parabolique	75
III.7. Conclusion	76
 Conclusion Générale	 77
 Annexe	
 Bibliographie	

Nomenclatures

Nomenclatures	Désignations	Unités
A_{he}	Alternance hiver été	/
AM	Masse d'air	Kg/s
A_p	Surface d'ouverture de la parabole	m^2
A_{sc}	Surface de cuisson solaire	m^2
A_t	Surface de l'ustensile de cuisson	m^2
C_p	Capacité calorifique spécifique du pot	Kcal/Kg°C
C_w	Capacité calorifique spécifique de l'eau	J/kg°K
E_i	Energie d'entrée du cuiseur	kJ
E_0	Energie de sortie du cuiseur	kJ
$f(\alpha)$	Fonction signe	/
F_1	Première figure of merit	$m^2°C/W$
F_2	Seconde figure of merit	/
F'_{UL}	Facteur de perte de chaleur	/
F'_{η_0}	Facteur d'efficacité optique	/
H	Irradiation ou rayonnement	W/m^2
IB	Eclairement direct incident sur un plan horizontal	W/m^2
I_0	Constante solaire	W/m^2
\bar{I}_b	Rayonnement solaire moyenne direct de chaque 10 minutes.	W/m^2
I_s	Eclairement solaire incident sur une surface horizontale au moment de stagnation	W/m^2
\bar{I}_s	Eclairement solaire moyen reçu par une surface horizontale	W/m^2

I_n	Eclairement solaire standardisé	W/m^2
IN	Eclairement solaire direct normal incident sur le concentrateur	W/m^2
G_o	Eclairement extraterrestre	W/m^2
$(mcp)_w$	Capacité thermique de l'eau	$J/^\circ K$
M_p	Masse de pot	Kg
M_w	Masse d'eau	$Kg/Kmol$
N	Numéro du jour	/
P_{adj}	Puissance de cuisson ajustée ou standardisée	W
P_{ini}	Puissance de cuisson à $\Delta T = 0^\circ C$	W
R^2	Coefficients de régression linéaire de détermination	/
T_a	Température ambiante	$^\circ C$
$\overline{T_a}$	La température ambiante moyenne de l'air toutes les 10 minutes	$^\circ C$
T_{as}	Température ambiante à la stagnation	$^\circ C$
T_L	Facteur de trouble diffusif donné par Capderou	/
T_0	Trouble du à l'absorption par la vapeur d'eau donné par Capderou	/
T_1	Trouble du à la diffusion moléculaire donné par Capderou	/
T_2	Trouble relatif à la diffusion par les aérosols donné par Capderou	/
T_p	Température sur la surface externe du l'ustensile	$^\circ C$
T_{ps}	Température de l'absorbeur à la stagnation	$^\circ C$
T_r	Température sur la surface interne du réflecteur	$^\circ C$
T_w	Température de l'eau dans le pot	$^\circ C$
T_{wi}	Température initiale de l'eau	$^\circ C$
T_{wf}	Température finale de l'eau $^\circ C$	$^\circ C$
TSM	Temps solaire moyen donné par Capderou	heure

TSV	Temps solaire vrai donné par Capderou	heure
TL	Temps léga	heure
T _{ps}	Température de l'absorbeur à la stagnation	°C
TU	Temps universel	heure
Δt	Correction de l'équation du temps	heure
U _L	Coefficient de transfert thermique	W/m ²
W _s	Vitesse du vent	m/s
z	Altitude du lieu	m

Terme LATIN & GREC

Symboles Grec	Désignations	Unité
φ	Latitude du lieu	rad
λ	Longitude du lieu	rad
z	Altitude du lieu	m
ω	Angle horaire	rad
ω _{sr}	Angle horaire du lever du soleil	rad
ω _{ss}	Angle horaire du coucher du soleil	rad
δ	Déclinaison solaire	rad
γ _s	Hauteur du soleil	rad
θ	Angle zénithal	rad
χ	Azimut du soleil	rad
δ ⁱ	Angle d'incidence	rad
α	Orientation du plan	rad
β	Inclinaison du plan	rad

γ	Hauteur de la normal du plan	rad
δ_R	Epaisseur totale optique de Rayleigh	rad
ε	Facteur d'excentricité	[-]
τ	Intervalle de temps pendant lequel la température de l'eau augmente de T_{wi} à T_{wf}	min
τ_{boil}	Temps d'ébullition pour la période de chaleur sensible	min
η	Rendement énergétique du cuiseur	%
η_o	Rendement optique du cuiseur	%

Indices

adj	ajustée ou standardisée
he	hiver été
i	intérieur
ini	Initiale
p	plaque absorbante
s	solaire
sc	cuisson solaire
ss	coucher du soleil
sr	lever du soleil
t	ustensile de cuisson
w	eau dans le pot

Liste des Figures

Figure I.1	Spectre solaire haute résolution	05
Figure I.2	Soleil	06
Figure I.3	Mouvement de la terre autour du soleil	07
Figure I.4	Repérage de la position du soleil	07
Figure I.5	Sphère céleste	08
Figure I.6	Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année N	09
Figure I.7	Variation de l'angle horaire en fonction du temps solaire vrai	10
Figure I.8	Variation de l'azimut solaire en fonction du temps	12
Figure I.9	Variation de la hauteur du soleil en fonction du jour	13
Figure I.10	Position du soleil par rapport à un point fixe de la terre (hauteur et azimut du soleil)	14
Figure I.11	Cordonnée terrestre	15
Figure I.12	Variation de la masse d'air en fonction de la hauteur du soleil	16
Figure I.13	Variation de l'épaisseur optique de l'atmosphère en fonction de la masse d'air	17
Figure I.14	Variation de l'angle d'incidence en fonction du temps	19
Figure I.15	Orientation et inclinaison d'une surface	19
Figure I.16	Analyse spectrale du rayonnement solaire	20
Figure I.17	Constante solaire	21
Figure I.18	Composants du rayonnement solaire	22
Figure I.19	Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné	23
Figure I.20	Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en kWh/m ² /jour sur un plan horizontal	25
Figure I.21	Spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil	26
Figure I.22	Représentation graphique des spectres AM0 et AM1.5	26
Figure I.23	Irradiation solaire globale reçue par l'Algérie : moyenne annuelle	27
Figure I.24	Eclairement solaire extraterrestre	28
Figure I.25	Variation de l'éclairement solaire extraterrestre en fonction du jour	28
Figure I.26	La distance terre-soleil dans les quatres saisons	29

Figure II.1	Schéma de principe d'un cuiseur de type boîte	32
Figure II.2	Schéma de principe d'un cuiseur à panneaux	32
Figure II.3	Schéma de principe d'un cuiseur parabolique	33
Figure II.4	Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs	34
Figure II.5	Les heures propices à la cuisson solaire	35
Figure II.6	Capture ou réflexion des rayons du soleil	36
Figure II.7	Classification des cuiseurs solaires sans et avec stockage thermique	37
Figure II.8	Cuiseurs solaires boîtes avec réflecteurs additionnels: (a) quatre; (b) et huit réflecteurs	39
Figure II.9	Cuiseurs solaires concentrant la lumière par-dessus: (a) cuiseur à panneaux; (b) cuiseur à entonnoir.	40
Figure II.10	Cuiseurs solaires concentrant la lumière par-dessous: (a) cuiseur sphérique; (b) cuiseur à miroirs de Fresnel; (c) cuiseur parabolique	40
Figure II.11	Cuiseur solaire indirect avec capteurs plans vitrés	41
Figure II.12	Cuiseurs solaires à stockage de chaleur sensible avec support de stockage: (a) l'huile à moteur; (b) l'huile végétale	42
Figure II.13	Schéma d'un cuiseur solaire à stockage de chaleur latente de type boîte avec PCM intégré en mode indirect	43
Figure II.14	Schéma de cuiseurs solaires à stockage de chaleur latente avec PCM intégré en mode indirect utilisant: (a) des capteurs plans; (b) des capteurs sous vides	44
Figure II.15	Cuiseurs solaires boîte fabriqué et testé par Nahar : (a) avec un seul réflecteur ; (b) avec deux réflecteurs	45
Figure II.16	Schéma du cuiseur boîte avec réflecteurs: (a) exposés par la face supérieure testé par Negi et al. ; (b) exposés par la face inférieure étudié par Amer	46
Figure II.17	(a) Cuiseur séchoir- pyramide, (b) cuiseur chauffe-eau, réalisé par Kumar et al	46
Figure II.18	Schéma du cuiseur boîte avec un récipient mis sur support testé par Rao et al.	47
Figure II.19	(a) Cuiseur parabolique avec des miroirs de Fresnel réalisé par Sonune et Philip, (b) cuiseur parabolique composé et réalisé par Franco et al.	48
Figure II.20	(a) Cuiseur parapluie réalisé par José M. Arenas, (b) cuiseur parabolique réalisé par Grupp et al.	48

Figure II.21	(a) Cuiseur cylindro-parabolique; (b) système de poursuite solaire, réalisés par Al-Soud et al	49
Figure II.22	(a) Cuiseur parabolique; (b) système de poursuite solaire (b) , réalisés par Abu-Malouh et al.	49
Figure II.23	Schéma de l'unité de stockage de chaleur latente de forme cylindrique du cuiseur boîte avec PCM fabriqué par Sharma et al	50
Figure II.24	(a) Schéma du cuiseur solaire parabolique indirect étudié par Mawire et al, (b) Schéma du cuiseur solaire cylindro-parabolique indirect étudié par Muthusivagami et al.	50
Figure II.25	(a) Schéma du cuiseur solaire indirect contenant des réfrigérants étudié par Esen, (b) unité de stockage de chaleur latente avec PCM réalisé par Sharma et al.	51
Figure II.26	a) Schéma du cuiseur solaire indirect contenant des réfrigérants étudié par Esen, (b) unité de stockage de chaleur latente avec PCM réalisé par Sharma et al.	52
Figure III.1	Site de Ghardaïa	55
Figure III.2	Distribution de la température minimale et maximale sur le site de Ghardaïa	56
Figure III.3	Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER) Ghardaïa	56
Figure III.4	Pyrhéliomètre pour la mesure de l'éclairement direct normal	58
Figure III.5	Pyranomètre pour la mesure du rayonnement global et diffus	59
Figure III.6	Station radiométrique de l'URAER (Ghardaïa)	60
Figure III.7	Schéma de conception du cuiseur boîte et une vue prise lors du test à l'URAER	64
Figure III.8	Schéma de conception du cuiseur parabolique et une vue prise lors du test à l'URAER	65
Figure III.9	Schéma synoptique de l'installation de cuiseur solaire parabolique	66
Figure III.10	Visualisation des températures sur un micro-ordinateur connecté à une unité d'acquisition de donnée	67
Figure III.11	Schéma de la trajectoire des rayons solaires incidents sur les cuiseurs dans cas d'une bonne orientation et d'une absence d'orientation (déviations des rayons)	69
Figure III.12	Variation de la température de l'eau dans l'ustensile, la température de l'air ambiant, et l'ensoleillement à Ghardaïa : (a) CSP, (b) CSB	70

Figure III.13	Variation des températures de l'air et de l'eau mesurées à l'intérieur des ustensiles des cuiseurs pour deux états différents du ciel : nuageux et clair	72
Figure III.14	Variations journalières de l'éclairement solaire et des profils des températures mesurées, sous des conditions de test de : (a) stagnation, (b) chaleur sensible, pour un jour d'été	72
Figure III.15	Expérimentation de la puissance de cuisson du cuiseur solaire réalisé: (a) variations journalières de l'éclairement direct normal et des températures de l'eau mesurées; (b) puissance de cuisson ajustée en fonction de la différence de température	73
Figure III.16	Puissance de cuisson ajustée en fonction de la différence de température (ΔT) pour les tests de chauffage effectués sur le cuiseur solaire parabolique.	74
Figure III.17	Effet de la différence de température sur le rendement énergétique du cuiseur boîte	75
Figure III.18	Rendement instantané en fonction de ($\Delta T/I_n$) pour le test effectué sur le cuiseur solaire parabolique.	76

Liste des Tableaux

Tableau I.1	Orientation de l'azimut du soleil	11
Tableau I.2	Caractéristiques de la terre.	14
Tableau I.3	Valeurs énergétiques des photos issues spectre solaire	21
Tableau II.1	Comparatif des trois technologies de cuiseurs solaires	38

Introduction Générale

Introduction Générale

L'épuisement des ressources énergétiques fossiles est inévitable compte tenu de la forte consommation mondiale d'énergie. D'où la nécessité de trouver de nouvelles sources d'énergie. Les principales sources d'énergie renouvelable sont le soleil, le vent, la biomasse, les marées, les vagues marines et océaniques et la chaleur des profondeurs de la terre.

L'énergie solaire est en tête de la liste des sources en raison de son abondance, mais aussi en raison de sa distribution dans la nature, plus que tout autre type d'énergie renouvelable. La terre reçoit de l'énergie du soleil équivalente à 5000 fois les besoins mondiaux, c'est donc un fort potentiel et une solution pratique aux défis toujours croissants dans le domaine énergétique et environnemental. Il s'agit là d'un objectif principal, urgent et commun à toute l'humanité afin de préserver un environnement sacré pour les générations futures [1].

L'Algérie dispose d'un grand champ solaire où toutes les applications solaires peuvent être développées. L'une des applications les plus attrayantes est la cuisson solaire. Cette application est une solution pour limiter la déforestation et la mauvaise utilisation des combustibles fossiles, dont les émissions de gaz à effet de serre peuvent compromettre l'avenir de l'humanité. En effet, pour les citoyens qui vivent dans plusieurs régions isolées de notre territoire, la cuisson des aliments est très coûteuse, lorsque les sources d'énergie conventionnelles sont utilisées et a des conséquences désastreuses sur l'écosystème en exploitant le bois des quelques arbustes qui restent dans ces régions [2].

Les cuiseurs solaires sont les plus populaires au monde. En effet, elle est liée à une activité humaine fréquente et très régulière ; c'est la préparation d'une alimentation saine. Dans les régions isolées du Sahara où l'approvisionnement en gaz butane est très difficile, l'homme est contraint de compter sur l'exploitation du bois des quelques arbustes restants tels que les acacias et les palmiers pour cuire sa nourriture. L'utilisation de la cuisine solaire apparaît comme une alternative intéressante pour répondre à ce besoin vital sans compromettre la biodiversité végétale saharienne et en limitant les émissions de gaz à effet de serre [3].

Le cuiseur solaire est une technologie qui permet de fournir de la chaleur de manière naturelle et renouvelable, pour la cuisson, il utilise souvent la technique de la concentration des rayons solaires et/ou le phénomène de l'effet de serre. La concentration du rayonnement solaire permet, pour une surface de capteur donnée, de réduire la surface de réception effective et donc de minimiser l'influence des pertes de chaleur du récepteur. Ainsi, la température atteinte après la conversion en chaleur est plus élevée que pour les appareils avec capteurs sans concentration. Les principaux dispositifs optiques qui concentrent l'énergie solaire utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) [4].

De nombreuses études ont été réalisées sur le rayonnement solaire reçu au sol afin de développer des techniques de conversion et de minimiser le coût des équipements pour une utilisation optimale. Le développement des applications de l'énergie solaire nécessite des données à long terme sur l'irradiation solaire. La disponibilité et la qualité de ces données sont obtenues dans les régions dotées de stations radiométriques, qui mesurent les paramètres météorologiques, le temps d'exposition et le rayonnement solaire. Rayonnement solaire global direct et diffus, mesuré principalement dans un plan horizontal [1].

Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans des deux cuiseurs solaires types à boîte et parabolique dans l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables, sous les conditions climatiques de Ghardaïa, Algérie.

Nous venons de présenter les problèmes d'exploitation de l'énergie solaire, ensuite la possibilité d'utilisation des bassins solaires sous des climats favorables en vue de réduire partiellement l'usage des énergies classiques.

Le travail que nous présentons est une contribution à l'étude d'un cuiseur solaire .Il se présente selon le plan suivant :

Commençant par une introduction générale. Ensuite ;

- Le premier chapitre présente le gisement solaire et la modélisation de l'éclairement solaire, et comprendre les caractères du soleil qui affectée la terre, orientation et inclinaison d'une surface, rayonnement solaire, éclairement et l'irradiation.

- Le deuxième chapitre est consacré à faire une recherche sur l'état de l'art sur les systèmes à cuisson solaires; une étude concernant des généralités sur ses derniers et les différents types, suivi d'un bref historique et évolution le cuiseur solaire.

- Dans le troisième chapitre, on a présenté une étude théorique et expérimentale pour les deux cuiseurs à boîte et parabolique avec présentation du lieu de stage, interprétation discussion des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale contenant un résumé des trois chapitres avec des perspectives envisagées.

CHAPITRE I

Gisement solaire et modélisation de l'éclairement solaire

CHAPITRE I

Gisement solaire et modélisation de l'éclairement solaire

I.1. Introduction

Les besoins énergétiques mondiaux ne cessent d'augmenter. Malgré son énorme potentiel, l'énergie solaire ne représente qu'une part négligeable de la production et de la consommation énergétique de l'Algérie. Cependant, l'exploitation du rayonnement solaire est compétitive à plusieurs niveaux par rapport aux autres sources d'énergie renouvelables. C'est la source d'énergie la plus répandue et la plus accessible sur terre. "Chaque jour, le soleil envoie à la Terre 10 000 fois la quantité totale d'énergie consommée à l'échelle mondiale". De plus, la quantité d'énergie libérée par le soleil pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an [5].

Les diverses applications qui résultent de l'exploitation des rayons solaires sont innombrables. Les technologies solaires les plus répandues se retrouvent principalement dans le secteur immobilier : solaire thermique passif, solaire thermique actif, solaire thermique, solaire thermodynamique, solaire photovoltaïque et éclairage naturel. Et comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire à l'étude des systèmes énergétiques, une description détaillée du rayonnement solaire, sa modélisation ainsi que les paramètres géométriques nécessaires pour la modélisation, feront également l'objectif de ce chapitre.

I.2. Soleil

I.2.1. Caractéristiques générales

Le Soleil est une « petite » étoile, une boule de gaz, dont le diamètre est de 1 391 000 km, et 2×10^{30} kg de masse, et qui est placée à 150 000 000 km de nous :

Cette distance est si grande que sa lumière nous parvient 8 minutes après avoir été émise. N'oubliez pas qu'elle voyage à la vitesse de 300 000 km/s, c'est-à-dire qu'elle fait 7 fois le tour de la Terre en 1 seconde.

Quant à volume du soleil, presque 1 300 000 fois de la terre, et la masse 330 000 fois celle de la Terre (1,99.10³⁰ kg ou 2 milliards de milliards de milliards de tonnes). Il est constitué

principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à 4×10^{26} W. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}$ W [6, 7].

Il représente 99,867 % de la masse totale du système solaire, c'est-à-dire que l'ensemble de toutes les planètes et comètes ne représente que le millième du Soleil.

Bien que sa lumière soit 600 000 fois plus élevée que celle de la Lune (son miroir), il n'est visible qu'à une distance de 60 al (année-lumière).

La figure I.1 représente une image du spectre solaire haute résolution :

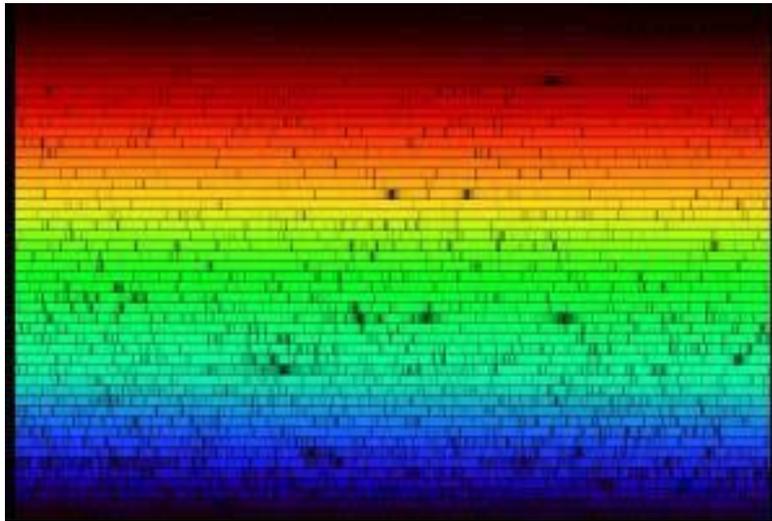


Figure I.1 : Spectre solaire haute résolution [8]

Il n'a pas de surface en tant que telle, mais la température de rayonnement, si le Soleil est assimilé à un corps noir (Fig I.2), est de 5 700 K selon la loi de Stephan ($0 \text{ Kelvin} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$). Il est le zéro absolu ; l'agitation moléculaire est arrêtée), ce qui lui donne sa couleur jaune. La couleur est directement liée à la longueur d'onde, qui est liée à la température. Ainsi, en analysant la couleur, on peut facilement obtenir sa température de rayonnement. Au centre, la pression est 220 millions de fois supérieure à la pression atmosphérique de notre Terre (un gros pétrolier à portée de main !) qui est de 1033 hectopascal au niveau de la mer, soit une température de 15 millions de K, et plusieurs millions de degrés dans les couches supérieures de son atmosphère ($> 10\,000 \text{ km}$ à plusieurs millions km) [8].

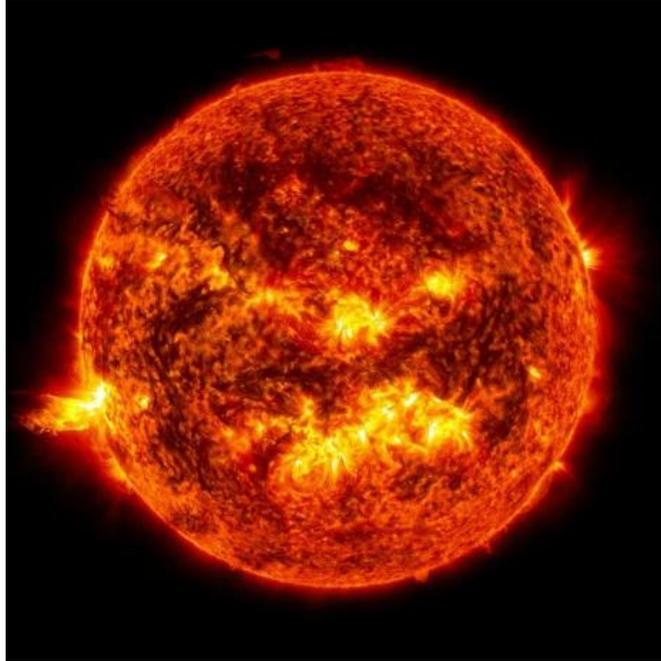


Figure I.2 : Soleil [8]

I.2.2. Mouvement de la terre

Le mouvement de la terre autour du soleil, décrit une ellipse dont le soleil est l'un de ses foyers. L'axe des pôles, autour duquel s'effectue le mouvement de rotation de la Terre, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique. Le centre de gravité de la terre décrit une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers (Fig I.3).

En plus de sa rotation autour du soleil, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Ainsi, la rotation et l'inclinaison de la Terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Elle tourne autour du soleil en 365 jours 5h 48 mn 40s $\approx 365,25$ jours. La terre tourne avec une vitesse moyenne 29,77 Km/s.

C'est au solstice d'hiver, la vitesse maximale 30,27 Km/s (c'est le jour est la plus éloignée du soleil) et minimale en été 29,77 Km/s (c'est le jour est la plus proche du soleil). Ce mouvement s'effectue dans le sens trigonométrique et provoque le cycle des saisons [5].

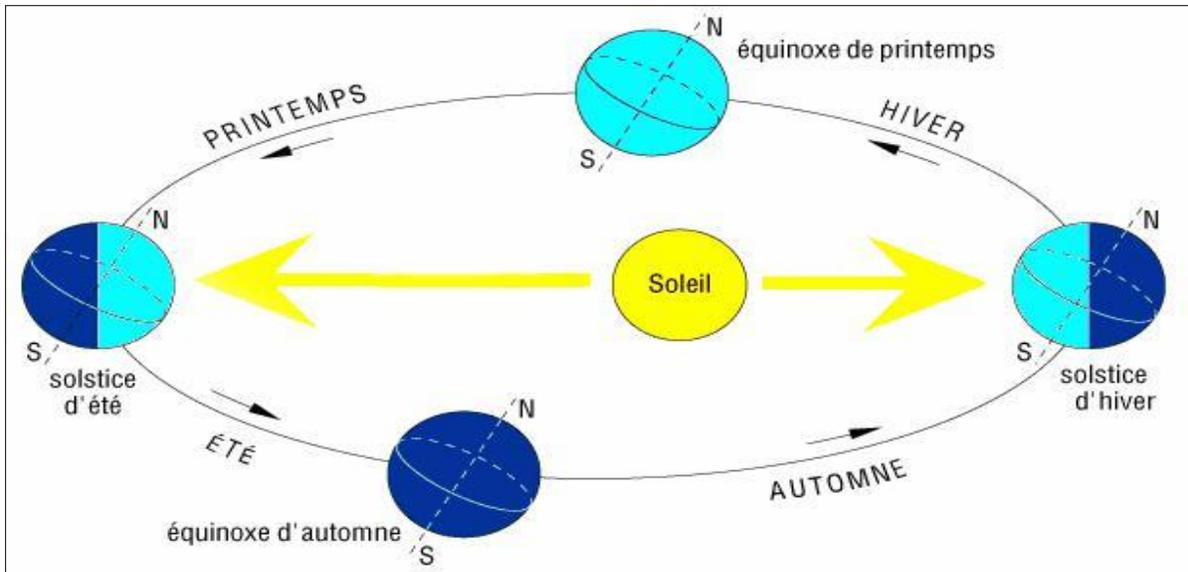


Figure I.3: Mouvement de la terre autour du soleil [9].

I.2.3. Trajectoire apparente du soleil

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente qui dépend de la latitude et la longitude du lieu où il se trouve, voir 'la figure I.4 '.

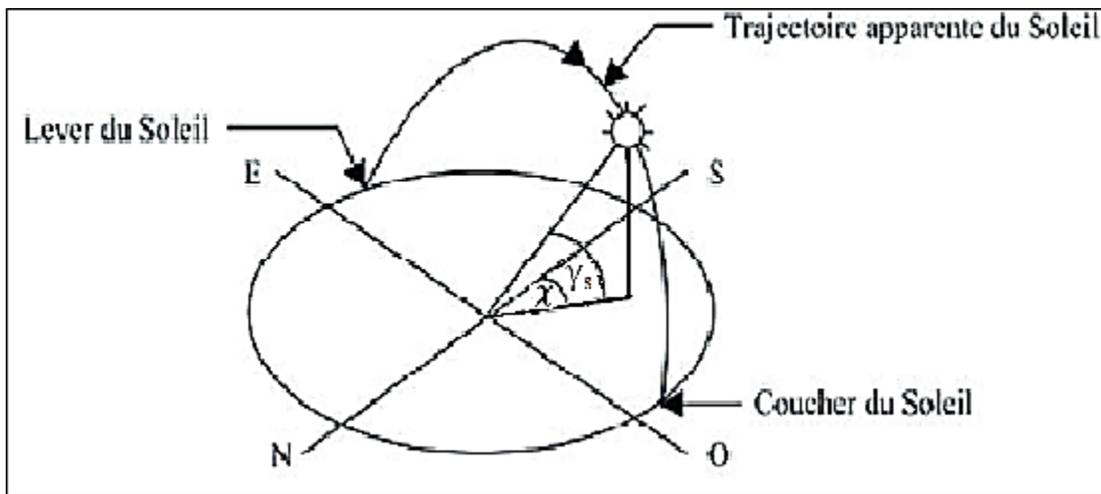


Figure I.4: Repérage de la position du soleil [9]

I.2.4. Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, qui admet pour centre la terre, et pour rayon la distance (terre – soleil). 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 elle-même comme c'est indiqué sur 'la figure I.5 ' [10].

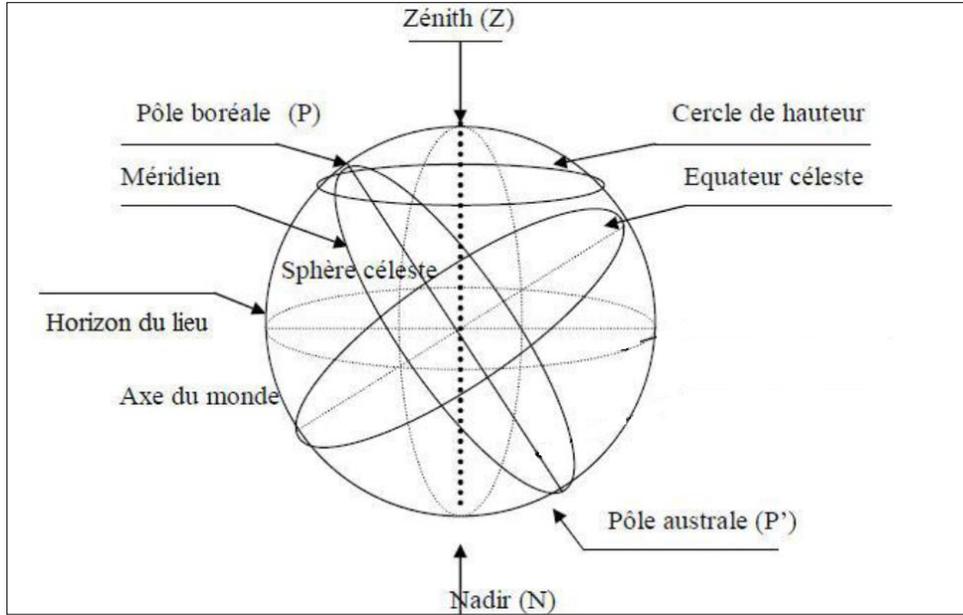


Figure I.5 : Sphère céleste [10]

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

I.2.5. Cordonnées du soleil

Pour un lieu donné, la position du soleil est identifiée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents [5].

- Par rapport au plan équatorial de la terre (point de référence équatorial).
- Par rapport au plan horizontal du lieu (point de référence horizontal).

I.2.5.1. Coordonnées équatoriales

Le mouvement du soleil est détecté par rapport au plan équatorial de la terre sous deux angles.

❖ Déclinaison solaire (δ)

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre, la déclinaison varie de $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver à $+23^{\circ}27'$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes.

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, M. Capderou a utilisé la formule (I.1) pour le calcul de la déclinaison [11]:

$$\sin(\delta) = 0.398 \times \sin \left[\frac{360}{365} \times (N - 82) + 2 \times \sin \left[\frac{360}{365} (N - 2) \right] \right] \quad (I.1)$$

Avec :

N : le numéro du jour de l'année compté à partir du 1^{er} janvier, c.-à-d. varie de 1 à 365 ou 366 selon l'année.

La variation de la déclinaison du soleil au cours de l'année est représentée par la figure I.6.

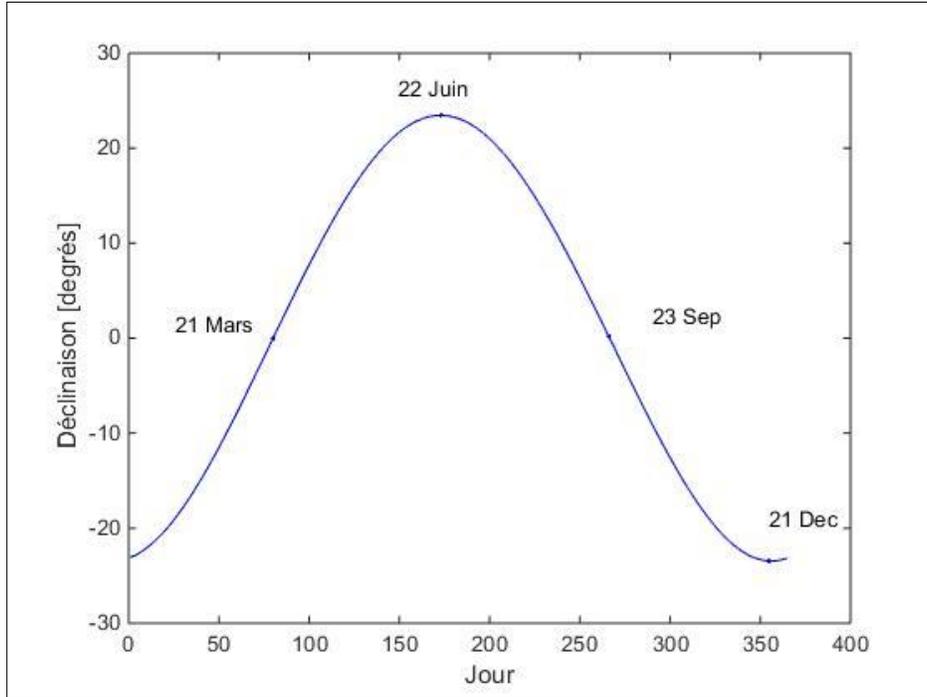


Figure I.6: Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année N

❖ Angle horaire du soleil (ω)

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du méridien du lieu (Fig I.7), l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée [1], pour calculer l'angle horaire, on utilise la formule suivante du M. CAPDEROU dans l'Atlas Solaire de l'Algérie [11]:

$$\omega = 15(\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.2})$$

Avec :

$$\text{TSV} = \text{TL} - \text{TU} + \left(\frac{\Delta t + \Delta \lambda}{60}\right) = \text{TL} - \left(\text{TU} - \frac{\lambda}{15}\right) + \frac{\Delta t}{60} \quad (\text{I.3})$$

$$\Delta t = 9,87 \times \sin\left(\frac{360}{365}(N - 81)\right) - 7,35 \times \cos\left(\frac{360}{365}(N - 81)\right) - 1,5 \times \sin\left(\frac{360}{365}(N - 81)\right) \quad (\text{I.4})$$

TSV : Temps solaire vrai.

TU : Temps universel : est le décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich.

Pour l'Algérie : TU= +1.

TL : Temps légal : temps donné par une montre.

Δt : correction de l'équation du temps.

λ : Longitude du lieu.

$\omega > 0$: après midi ; $\omega < 0$: le matin ; $\omega = 0$: midi TSV.

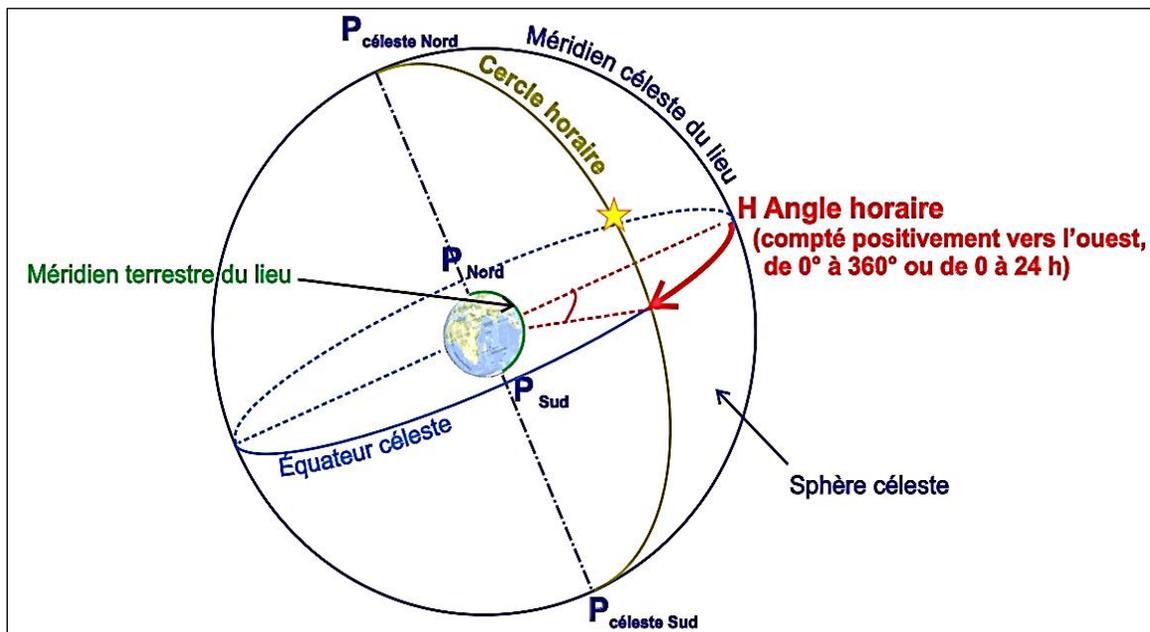


Figure I.7: Variation de l'angle horaire en fonction du temps solaire vrai [12]

❖ Temps solaire

a- Temps solaire moyen

La rotation de la terre autour de l'axe du pôle introduit la notion de temps solaire moyen TSM. Le jour solaire moyen est le temps qui sépare, en moyenne, deux passages successifs du soleil au méridien d'un lieu, le jour solaire moyen a une durée de : 1 jour = 24h 00m 00s [11].

b- Temps solaire Vrai

En astronomie, nous appelons TSV le temps solaire vrai à un endroit et à un moment donnés, l'angle de temps du soleil à cet endroit et à ce moment. C'est un concept qui reflète à la fois le mouvement de rotation de la terre et son mouvement de translation. Son introduction est

naturelle, car elle est liée à l'alternance du jour et de la nuit. La variation de la durée du jour solaire réel (intervalle entre deux midis consécutifs) est comprise entre : 23h 59m 39s et 24h 00m 30s [11].

I.2.5.2. Coordonnées horizontales du soleil

La position du soleil à un instant considéré est donnée par l'azimut du soleil χ et son élévation γ_s . Les coordonnées géographiques pour lieu de la ville de Ghardaïa [9]:

φ : 32,43° Nord.

λ : 3.8° Est.

z : 468 Mètres.

❖ Azimut du soleil (χ)

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction du Sud.

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, M. Capderou a utilisé la formule (I.5) pour calculer l'azimut du soleil [11]:

$$\text{Cos}(\chi) = \frac{\text{Cos}(\delta) \cdot \text{Cos}(\omega) \cdot \text{Sin}(\varphi) - \text{Sin}(\delta) \cdot \text{Cos}(\varphi)}{\text{Cos}(\gamma_s)} \quad (\text{I.5})$$

Avec :

δ : Déclinaison solaire.

ω : Angle horaire.

γ_s : Hauteur du soleil.

φ : Latitude du lieu.

Les orientations de l'azimut du soleil sont données sur 'le tableau I.1 ':

Tableau I.1 : Orientation de l'azimut du soleil.

	Angle	Orientations
χ	-90	orientation Est
	0	orientation Sud
	+90	orientation Ouest
	180	orientation Nord

La variation de l'azimut du soleil en fonction du temps pour les mois d'Avril, Juillet et Décembre sur le site de Ghardaïa est représentée sur 'la figure I.8 '.

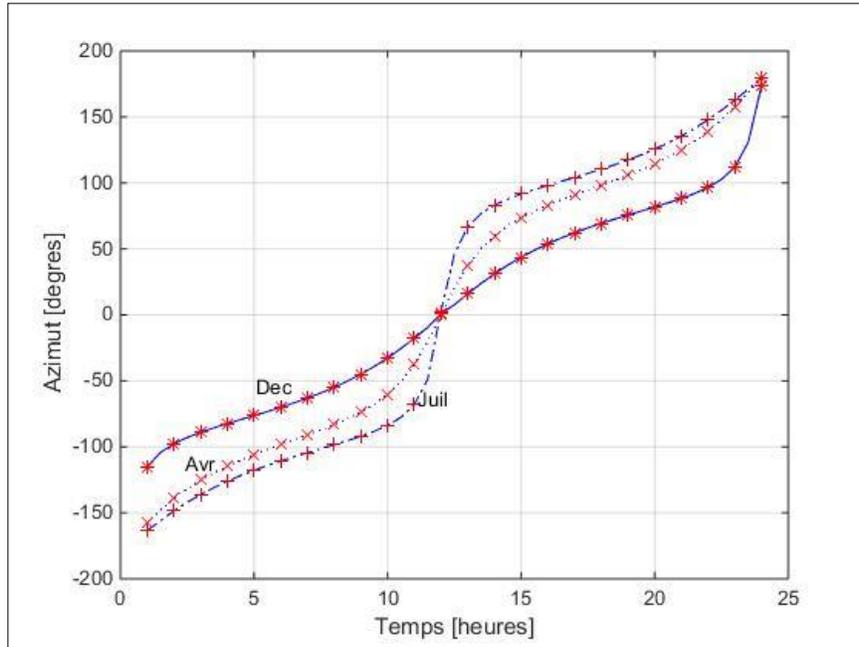


Figure I.8: Variation de l'azimut solaire en fonction du temps

❖ Hauteur du soleil

La hauteur du soleil γ_s est l'angle que fait, le plan horizontal avec la direction du soleil, la valeur $\gamma_s = 0$ correspond au lever et au coucher du soleil, quand $\gamma_s < 0$ c'est la nuit et quand $\gamma_s > 0$ c'est le jour sur terre, la hauteur du soleil varie entre $+90^\circ$ (zénith) et -90° (nadir). La hauteur du soleil est bien représentée par une formule bien connue, qui avait été également adoptée par M. Capderou [11] :

$$\sin(\gamma_s) = \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) \quad (I.6)$$

'La figure I.9 ' représente la variation de la hauteur γ_s à midi sur le site de Ghardaïa durant une année.

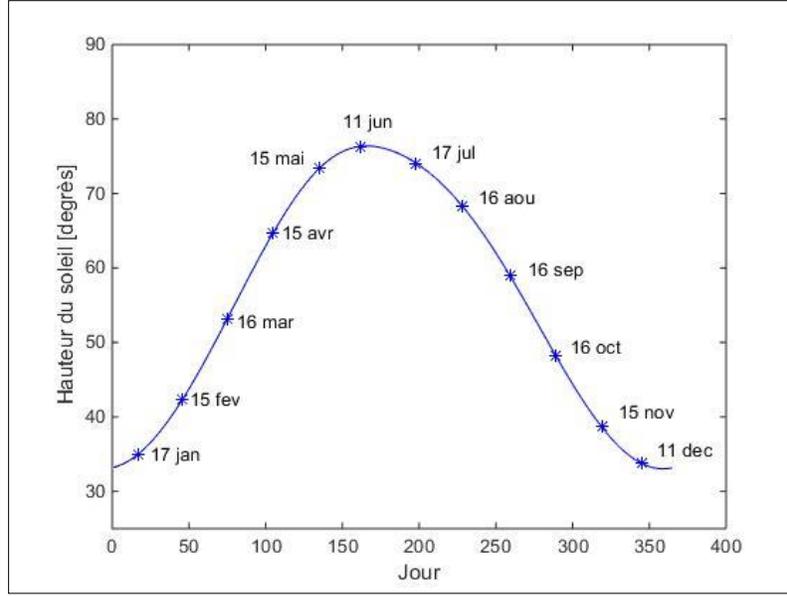


Figure I.9: Variation de la hauteur du soleil en fonction du jour

I.2.5.3. Coordonnées par rapport un plat incliné

M. Capderou dans l'ASA, proposa les équations ci-après pour calculer le lever et le coucher effectif du soleil pour un plan quelconque [11] :

ω_{sr} : Angle horaire du lever du soleil.

$$\omega_{sr} = f(\alpha) \cdot \text{ArcCos} \left(\frac{B'}{D'} \right) - \text{ArcCos} \left(-\frac{C'}{D'} \cdot \text{tg}(\delta) \right) \quad (\text{I.7})$$

ω_{ss} : Angle horaire du coucher du soleil.

$$\omega_{ss} = f(\alpha) \cdot \text{ArcCos} \left(\frac{B'}{D'} \right) + \text{ArcCos} \left(-\frac{C'}{D'} \cdot \text{tg}(\delta) \right) \quad (\text{I.8})$$

Avec :

$$A' = \text{Sin}(\alpha) \cdot \text{Cos}(\gamma) \quad (\text{I.9})$$

$$B' = \text{Cos}(\alpha) \text{Cos}(\gamma) \cdot \text{Sin}(\varphi) + \text{Sin}(\gamma) \cdot \text{Cos}(\varphi) \quad (\text{I.10})$$

$$C' = -\text{Cos}(\alpha) \cdot \text{Cos}(\gamma) \cdot \text{Cos}(\varphi) + \text{Sin}(\gamma) \cdot \text{Sin}(\varphi) \quad (\text{I.11})$$

$$D' = \sqrt{A'^2 + B'^2} \quad (\text{I.12})$$

Où $f(\alpha)$ est la fonction signe, elle renvoie le signe d'un réel quelconque, elle est définie par les relations suivantes:

$$\begin{cases} \text{Si } \alpha < 0 & f(\alpha) = -1 \end{cases} \quad (\text{I.13})$$

$$\begin{cases} \text{Si } \alpha = 0 & f(\alpha) = 0 \end{cases} \quad (\text{I.14})$$

▪ Si $\alpha > 0$ $f(\alpha) = +1$ (I.15)

I.3. Caractéristiques de la terre

Les principales caractéristiques sont données sur 'le tableau I.2' [13].

Tableau I.2 : Caractéristiques de la terre.

Caractéristiques	Valeurs
Masse	$6 \cdot 10^{21}$ T
Volume	$1083310 \cdot 10^6$ Km ³
Surface	$510101 \cdot 10^3$ Km ²
Diamètre équatorial	12756.32 Km
Diamètre polaire	12713.55 Km

I.3.1. Coordonnées terrestres

Pour repérer un site donné à la surface terrestre, on définit les grandeurs suivantes :

La longitude, la latitude, ainsi que par son altitude, voir 'la figure I.10 ' et 'I.11 '.

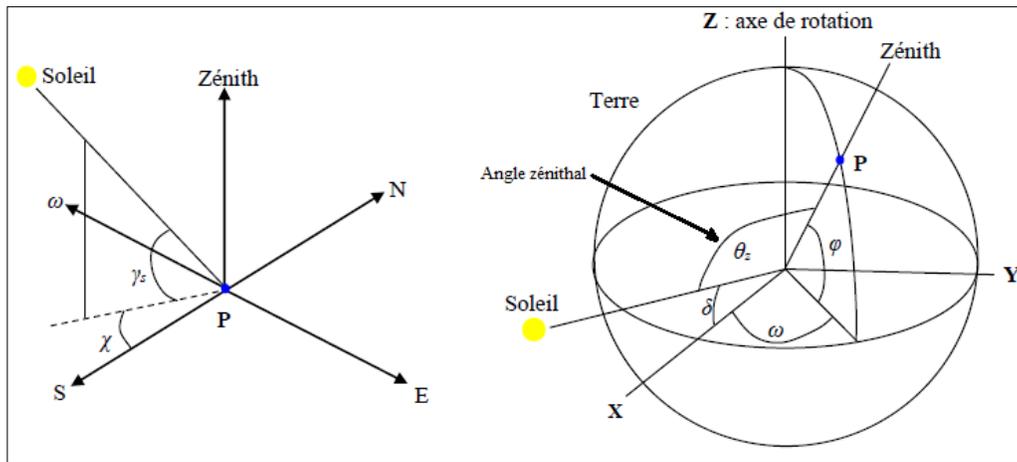


Figure I.10: Position du soleil par rapport à un point fixe de la terre
(hauteur et azimuth du soleil) [11]

I.3.1.1. Longitude

La longitude (λ) c'est l'angle formé par la méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré.

La longitude d'un lieu peut être comprise entre -180 et 180 °. A tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps [5].

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'Ouest.

I.3.1.2. Altitude

C'est la distance verticale (z) exprimé en mètres entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer) [5].

I.3.1.3. Latitude

L'angle (ϕ) de latitude est l'angle entre une ligne tracée à partir d'un point de la surface de la terre avec le centre de la terre et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur et est indiquée par la latitude 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° .

Par convention, le signe (-) est attribué à tous les endroits de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les endroits de l'hémisphère sud. La latitude d'un lieu peut être comprise entre -90° et $+90^\circ$ [5].

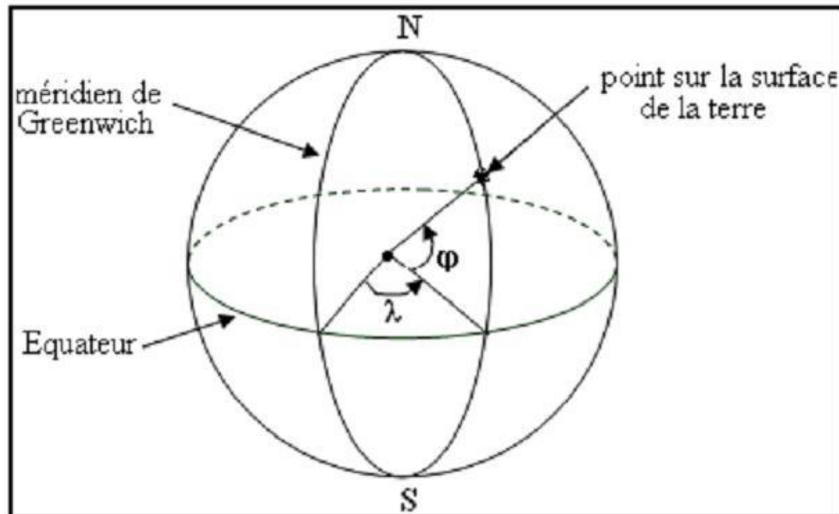


Figure I.11 : Cordonnée terrestre [5]

I.3.2. Paramètre de l'atmosphère

a- Masse d'air

La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser.

La masse d'atmosphère à travers laquelle passe l'illumination directe pour atteindre le sol (par ciel clair), par rapport à un passage vertical au niveau de la mer, est appelée la masse d'air AM. Plus le soleil est bas à l'horizon, plus il traversera une atmosphère plus épaisse et plus il subira de transformations. La masse atmosphérique relative est donnée par la relation, très simple [11]:

$$AM = \frac{1}{\sin(\gamma_s)} \quad (I.16)$$

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, Capderou a utilisé la formule suivante (I.17) (Fig I.12) :

$$AM = \frac{1}{\sin(\gamma_s) + 9.40 \cdot 10^{-4} \cdot [\sin(\gamma_s) + 0.0678]^{-1.253}} \quad (I.17)$$

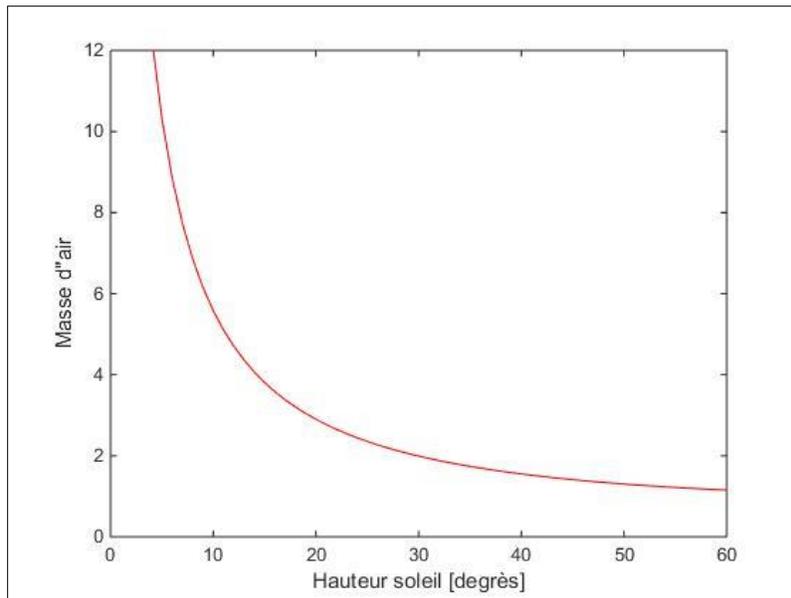


Figure I.12: Variation de la masse d'air en fonction de la hauteur du soleil

b- Epaisseur optique de l'atmosphère (Epaisseur de Rayleigh)

En 1922, Linke a défini l'épaisseur optique de Rayleigh δ_R comme l'épaisseur optique totale d'une atmosphère sans nuages, de la vapeur d'eau et des aérosols. Kasten, en 1980, a utilisé les données spectrales publiées par Feussner et Dubois en 1930 et la formule proposée (I.18) pour δ_R , connue sous le nom de formule pyréliométrique de Kasten, où la diffusion moléculaire et l'absorption de la couche d'ozone stratosphérique sont prises en compte [11].

$$(\delta_R)^{-1} = 9.4 + (0.9 \cdot AM) \quad (I.18)$$

Dans cette formule, utilisée depuis très longtemps, l'absorption par les gaz atmosphériques permanents tels que : Le CO₂, l'O₂, le NO₂ et le CO ne sont pas pris en compte. M. Capderou dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, 'A.S.A', a utilisé la formule pyréliométrique de Kasten pour calculer l'éclairage direct incident sur un plan de ciel clair. En 1986, Louche ajoute l'absorption par les constituants permanents de l'atmosphère et propose un polynôme du 4eme ordre pour la masse d'air [11] (Fig I.13).

$$(\delta_R)^{-1} = 6.5567 + (1.7513 \cdot AM) - (0.1202 \cdot AM^2) + (0.0065 \cdot AM^3) - (0.00013 \cdot AM^4) \quad (I.19)$$

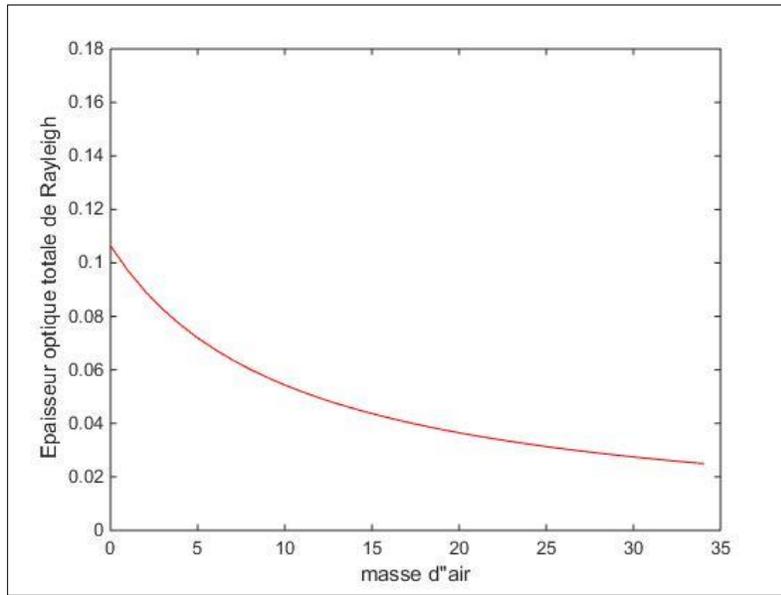


Figure I.13: Variation de l'épaisseur optique de l'atmosphère en fonction de la masse d'air

c- Facteur de trouble de Linke

En 1987 M. Capderou, dans l'Atlas Solaire (ASA.), proposa un modèle pour calculer le facteur de Linke en Algérie par ciel clair. Le coefficient de trouble atmosphérique total T_L a été décomposé en trois facteurs de trouble auxiliaires : le trouble du à l'absorption par la vapeur d'eau T_0 , le trouble du à la diffusion moléculaire de Rayleigh T_1 et le trouble relatif à la diffusion par les aérosols T_2 [11].

$$T_0 = (2.4 - 0.9 \cdot \sin(\varphi)) + 0.1 \cdot (2 + \sin(\varphi)) - (0.2 \cdot z) - [(1.22 + 0.14 \cdot A_{he}) \cdot (1 - \sin(\gamma_s))] \quad (I.20)$$

Avec : A_{he} est l'alternance hiver été donnée par :

$$A_{he} = \text{Sin} \left[\frac{360}{365} \cdot (N - 121) \right] \quad (\text{I. 21})$$

$$T_1 = (0.89)^z \quad (\text{I. 22})$$

z est l'altitude en km.

$$T_2 = [0.9 + (0.4 \cdot A_{he})] \cdot (0.63)^z \quad (\text{I. 23})$$

I.4. Orientation et inclinaison d'une surface

I.4.1. Angle d'incidence (δ^i)

L'angle d'incidence est l'angle que font les rayons du soleil avec la normale du plan considéré, elle est définie par l'Azimut de la normal du plan α (Orientation du plan), α est compté dans le sens rétrograde ($\alpha < 0$ vers l'Est, $\alpha > 0$ vers l'Ouest).

M. Capderou utilise la hauteur de la normal du plan γ pour calculer $\text{Cos}(\delta^i)$ de l'angle d'incidence, λ est positive pour les plans tournés vers le haut et négative pour les plans tournés vers le bas, donc c'est

Les angles α et γ qui déterminent la position du plan. L'angle d'incidence sur un plan quelconque est donné par M. Capderou par les formules suivantes [11]:

$$\text{Cos}(\delta^i) = a' \cdot \text{Sin}(\omega) + b' \cdot \text{Cos}(\omega) \quad (\text{I. 24})$$

Avec :

$$a' = \text{Cos}(\delta) \cdot [\text{Sin}(\alpha) \cdot \text{Cos}(\gamma)] \quad (\text{I. 25})$$

$$b' = \text{Cos}(\delta) \cdot [\text{Cos}(\alpha) \cdot \text{Cos}(\gamma) \cdot \text{Sin}(\varphi) + \text{Sin}(\gamma) \cdot \text{Cos}(\varphi)] \quad (\text{I. 26})$$

$$c' = \text{Sin}(\delta) \cdot [-\text{Cos}(\alpha) \cdot \text{Cos}(\gamma) \cdot \text{Cos}(\varphi) + \text{sin}(\gamma) \cdot \text{sin}(\varphi)] \quad (\text{I. 27})$$

Les variations de l'angle d'incidence en fonction du temps, pour différentes valeurs de hauteur du plan γ (Modèle Capderou) sont représentées sur 'la figure I.14 ' :

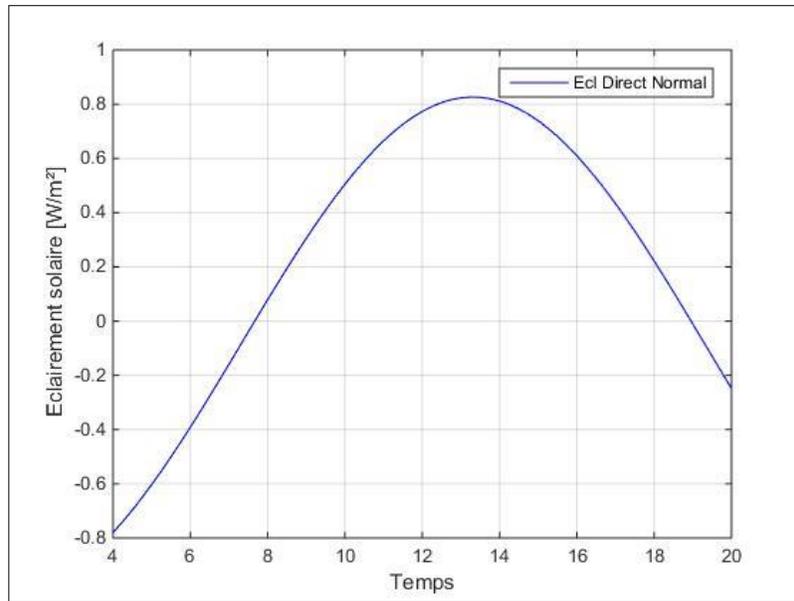


Figure I.14: Variation de l'angle d'incidence en fonction du temps

I.4.2. Angle d'inclinaison

C'est l'angle (Fig I.15) que fait la surface avec le plan horizontal. L'inclinaison de la surface est désignée par la variable β , choisie de telle sorte que :

$\beta = 0$ pour une surface horizontale

$\beta = 90^\circ$ pour un plan vertical

$\beta = 180^\circ$ pour un plan horizontal tourné vers le bas.

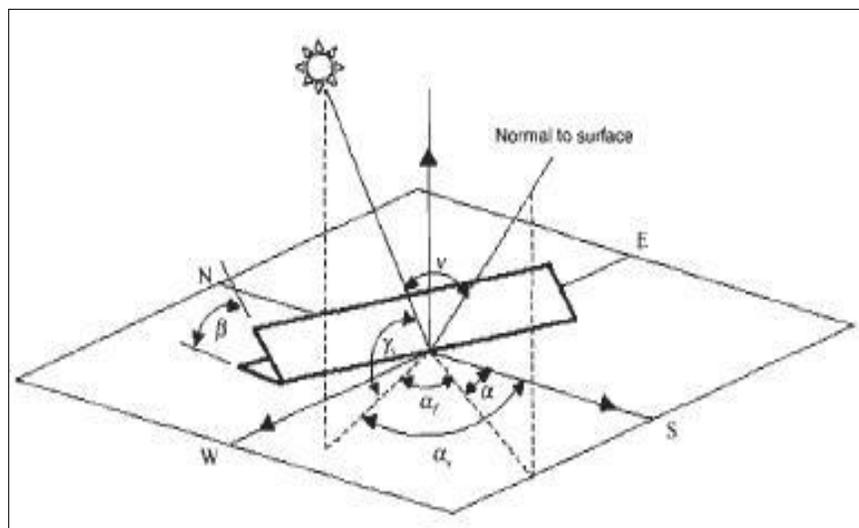


Figure I.15: Orientation et inclinaison d'une surface [5]

I.5. rayonnement solaire

I.5.1. Répartition spectrale du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire (Fig I.16) est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet (0,2 μm) à l'infrarouge lointain (2,5 μm) [5].

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement de :

- 9% dans la bande des ultraviolets (<0,4 μm),
- 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 μm),
- 44% dans la bande des infrarouges (>0,8 μm).

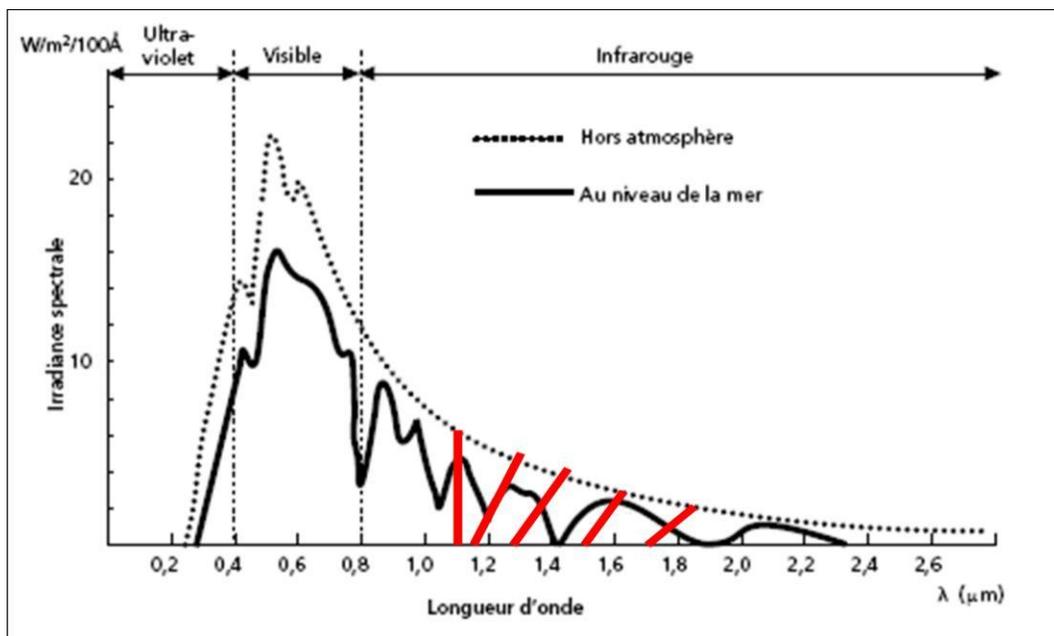


Figure I.16 : Analyse spectrale du rayonnement solaire [5]

Le tableau I.3 donne les valeurs énergétiques caractéristiques des photos pour diverses longueurs d'ondes, ainsi que les zones correspondantes au spectre lumineux [10].

Tableau I.3: Valeurs énergétiques des photos issues spectre solaire [10].

$\lambda(\mu\text{m})$	$E_{\text{ph}}(\text{eV})$	Zone
0.2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

Les capteurs d'énergie solaire doivent donc être compatibles avec ces longueurs d'onde afin de piéger les photos et de les libérer sous forme de chaleur ou d'électrons.

Pour que le rayonnement solaire produise un courant électrique dans un matériau donné, puis agisse comme collecteur, les photons doivent d'abord être absorbés par un ou plusieurs matériaux sensibles à la longueur d'onde des photons, qui sont ensuite recueillis pour former une cure électrique globale [10].

I.5.2. Constante solaire

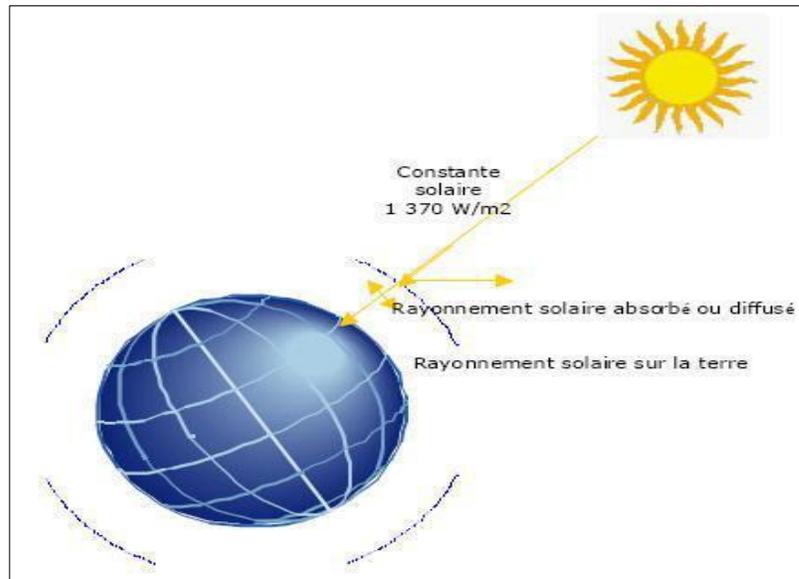


Figure I.17: Constante solaire [5]

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Solaire égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire (Fig I.17). Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne Terre-soleil de 150 Millions de km), c'est ce que l'on appelle la constante solaire égale à 1367W/m^2 [5, 14].

I.5.3. Types de rayonnements solaires

L'énergie reçue au niveau du sol est inférieure à 1367 W/m^2 (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et le réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire dans l'espace (environ 6 %). Le rayonnement global au niveau du sol est donc défini comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. L'énergie reçue par une surface dépend également de la saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution et de l'orientation de la surface considérée [15] (Fig I.18).

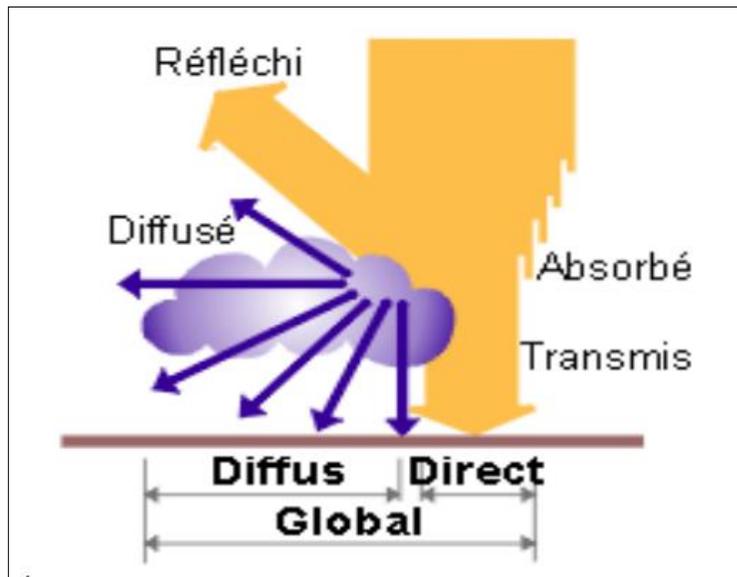


Figure I.18 : Composants du rayonnement solaire [15]

I.5.3.1. Rayonnement direct

Le rayonnement direct (Fig I.19) est la lumière provenant directement du soleil dans un ciel clair. Il s'agit de rayons solaires qui ont traversé l'atmosphère terrestre sans être absorbés ou dispersés [10].

I.5.3.2. Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus (Fig I.19) est le rayonnement réfléchi par les obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. Dans un ciel clair, la proportion de rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu et l'état de l'atmosphère). Le rayonnement global sur la terre et la proportion de rayonnement diffus varient au cours de l'année [13].

I.5.3.3. Rayonnement global

❖ Une surface horizontale

C'est tout le rayonnement d'origine solaire qui atteint une surface horizontale à la surface de la terre. Il inclut donc la composante verticale du rayonnement solaire direct et diffus [16].

❖ Une surface inclinée

Rayonnement global sur une surface inclinée est la somme des rayonnements: Direct, Diffus et Réfléchi.

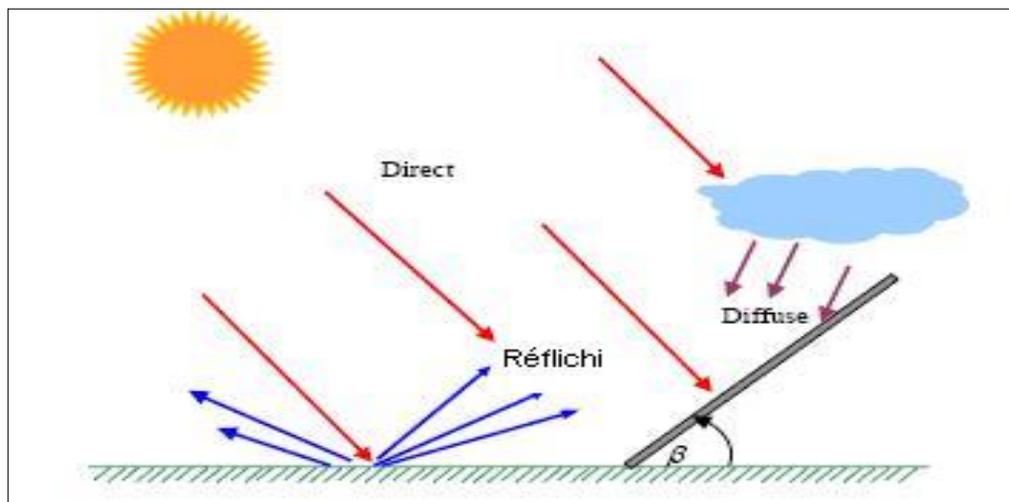


Figure I.19 : Trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné [5]

I.5.3.4. Lumière

La lumière se réfère aux ondes électromagnétiques visibles à l'œil humain, c'est-à-dire dans des longueurs d'onde de 0,38 à 0,78 micron (380 nm (violet) à 780 nm (rouge) ; le symbole nm désigne le nanomètre. La lumière est intimement liée à la notion de couleur. C'est Newton qui proposa pour la première fois au XVIIe siècle un cercle de couleurs chromatiques basé sur la décomposition de la lumière blanche.

En plus de la lumière visible, par extension, d'autres ondes électromagnétiques, telles que celles des régions infrarouge et ultraviolette, sont parfois appelées "lumière".

Bien que certaines formes de vie au fond de l'océan puissent s'en passer, la lumière du soleil est la principale source d'énergie des écosystèmes terrestres par photosynthèse. Elle contrôle donc les cycles éco-géobiologiques et le stockage du carbone fossile tels qu'ils existent depuis 3,7 milliards d'années. Il joue également un rôle important dans le maintien de la couche d'ozone et la limitation de la prolifération des microbes sensibles aux rayons ultraviolets et/ou infrarouges. Cette sensibilité est utilisée par certaines techniques de stérilisation. Elle contribue à certaines formes de pollution dites "photochimiques" (ozone troposphérique, oxydes d'azote) et inversement à la dégradation (photodégradation) de certains polluants de l'air, du sol ou des eaux de surface (certains pesticides présents dans l'air par exemple). C'est aussi la lumière qui corrige les horloges biologiques des animaux par la durée du jour, par la production de mélatonine, une hormone produite seulement la nuit, chez la plupart des animaux. Chez les plantes, la durée de la journée contrôle également, avec la température, l'apparition des bourgeons, des feuilles, des fleurs ou l'ouverture ou la fermeture des fleurs. Par conséquent, la présence de lumière artificielle dans l'environnement nocturne peut modifier le comportement ou les fonctions de certaines espèces ou de certains écosystèmes ; un phénomène généralement décrit comme la "pollution lumineuse" [17].

I.6. Eclairage et l'irradiation

I.6.1. Irradiation ou rayonnement

L'irradiation est l'énergie reçue par une surface. Elle est exprimée en J/m^2 (joule par mètre carré). L'ISES (International Solar Energy Society) recommande le symbole **H**. D'autres unités plus courantes sont Wh/m^2 (wattheure par mètre carré) bien que cette dernière ne devrait pas être utilisée car elle n'appartient pas au Système international d'unités (SI) [14].

I.6.2. Eclairage ou irradiation

L'éclairage est défini comme la puissance reçue par une surface. Elle est exprimée en W/m^2 (watt par mètre carré). Le S.I. (Système international d'unités) recommande l'utilisation du symbole **G** [10].

Il est à noter qu'en plus de l'impact de l'atmosphère, l'irradiation solaire en dépend:

- l'orientation et l'inclinaison de la surface

- la latitude du lieu et son degré de pollution,
- la période de l'année et l'heure considérée
- la nature des couches nuageuses.

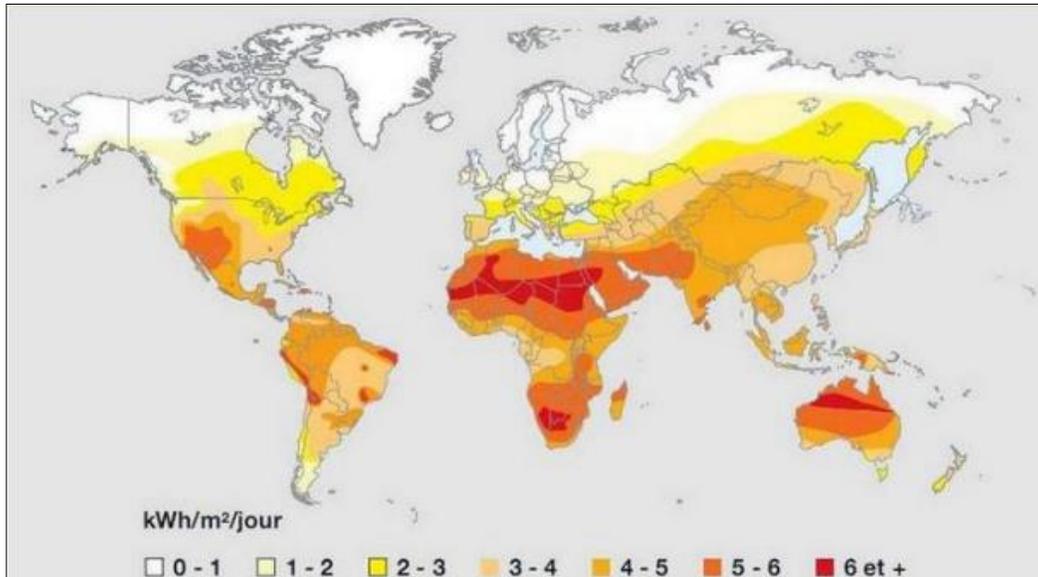


Figure I.20 : Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en kWh/m²/jour sur un plan horizontal [18]

La terre reçoit chaque année une valeur moyenne de l'éclairement 1.36 KW/m² (Fig I.20), cette irradiation est pondérée par divers facteurs à la surface de la terre : absorption par les molécules des différentes couches de l'atmosphère, conditions climatiques, latitude du lieu d'observation et saison. Des gaz comme l'ozone (O₃), pour des longueurs d'ondes inférieures à 0.3 µm, le dioxyde de carbone (CO₂) et la vapeur d'eau (H₂O), pour les infrarouges au-dessus de 2 µm, absorbent les énergies proches de leur énergie de liaison, ce qui conduit à des « trous » dans le spectre solaire visible au sol. Par ailleurs, les poussières et aérosols présents dans l'atmosphère conduisent à une absorption répartie quasiment sur toute la gamme spectrale, ce qui conduit à une baisse globale de la puissance incidente. Afin de comparer et d'unifier les performances des cellules photovoltaïques élaborées dans les différents laboratoires du monde, il a été institué la notion d'Air Masse (AM) a été défini dans la section (I.3.1.4-a) (Fig I.21) [19].

$$AM = \frac{1}{\sin(\theta)} \quad (I.28)$$

Si le soleil est au zénith du lieu d'observation, $\theta = 0^\circ$, $AM = 1$: la notation est AM1. AM0 correspond à l'irradiation hors atmosphère.

Avec :

θ : Angle zénith

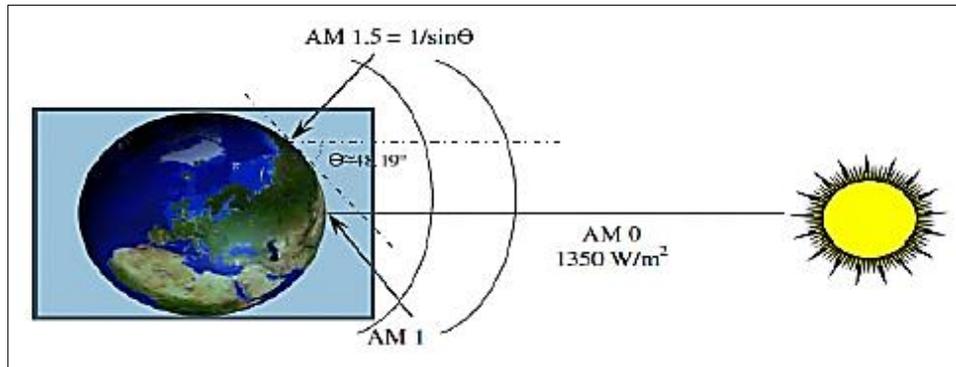


Figure I.21: Spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil [20]

L'intensité I reçue à la surface de la terre peut être calculée grâce à la formule empirique suivante [29] :

$$G = 1.353. (0.7^{AM})^{0.678} \quad (I.29)$$

Avec G en kW/m^2 , pour une surface perpendiculaire aux rayons incidents. Les spectres AM0 et AM1 sont représentés sur 'la figure I.22 '.

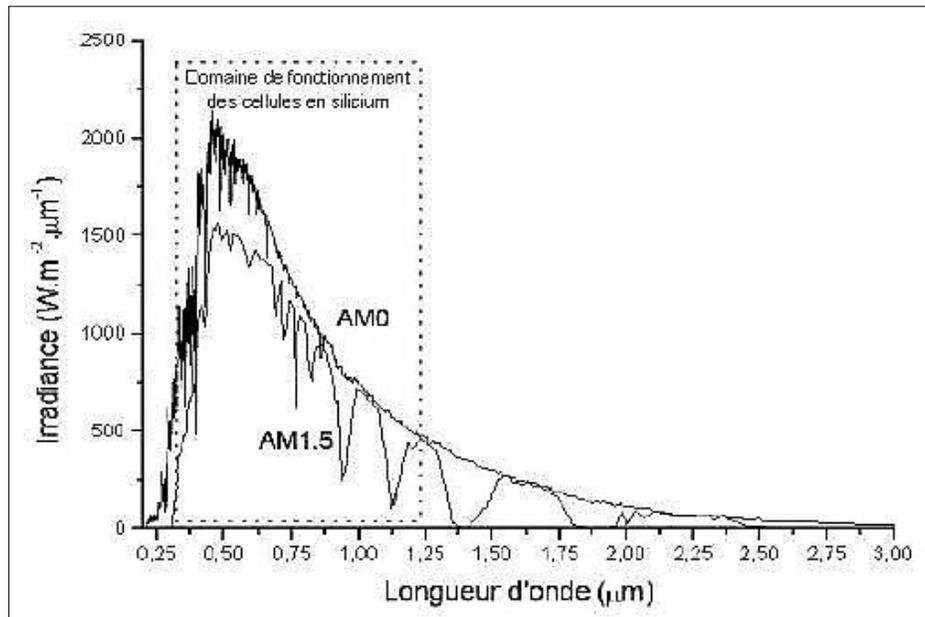


Figure I.22 : Représentation graphique des spectres AM0 et AM1.5

I.6.3. Situation de l'Algérie

L'énergie solaire participe pour une très faible part dans le bilan énergétique national, soit seulement 0,02% de la consommation nationale d'électricité (5 GWH). Le pays est qualifié de très en retard en matière d'investissement dans le domaine des énergies renouvelables. Pourtant, l'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus importants au monde (Fig I.23). Lors d'un séminaire organisé à Alger, par la Chambre Algérie-allemande de l'industrie et du commerce, l'intention de concrétiser le vœu algérien a été clairement affichée par les Allemands. «Vu qu'à l'horizon 2010, environ 5% de l'électricité en Algérie sera produite par l'énergie solaire ».le projet consiste à ramener le taux de l'énergie renouvelable à 6% d'ici à 2015.

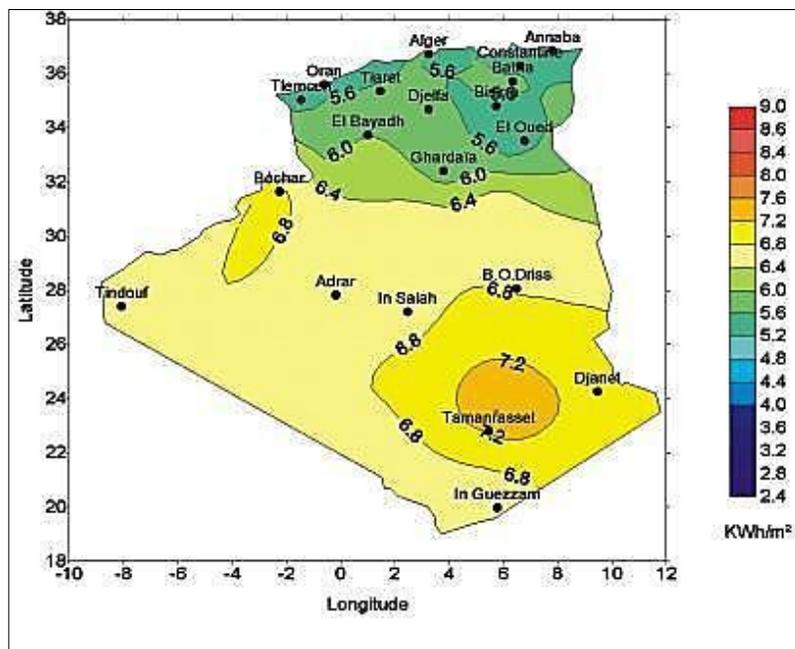


Figure I.23 : Irradiation solaire globale reçue par l'Algérie : moyenne annuelle [18]

I.6.4. Eclairement hors atmosphère

En dehors de l'atmosphère, le rayonnement solaire est d'intensité $I_0=1367 \text{ W/m}^2$. Une surface exposée au soleil ne peut recevoir cette valeur d'intensité que si elle est placée perpendiculairement à la direction de l'éclairage, toute distance par rapport à cette orientation entraîne une réduction de l'éclairage incident. Dans le cas d'un plan horizontal à l'extérieur de l'atmosphère, l'éclairage est décrit comme suit : éclairage solaire extraterrestre horizontal. (Fig I.24). L'éclairement solaire extraterrestre ; fonction de la constante solaire et de la correction de distance entre la terre et le soleil, est donné par l'équation (I.30), et sa variation en fonction du jour de l'année est illustrée sur 'la figure I.25 ' [11].

$$G_0 = I_0 \cdot \varepsilon \quad (I.30)$$

La correction de distance terre soleil est donnée par M. Capderou par l'équation (I.31) :

$$\varepsilon = 1 + 0.34 \cdot \cos \left[\frac{360}{365} \cdot (N - 2) \right] \quad (I.31)$$

Avec :

G_0 : Eclairement solaire extraterrestre.

I_0 : Constante solaire.

ε : Correction de distance terre soleil.

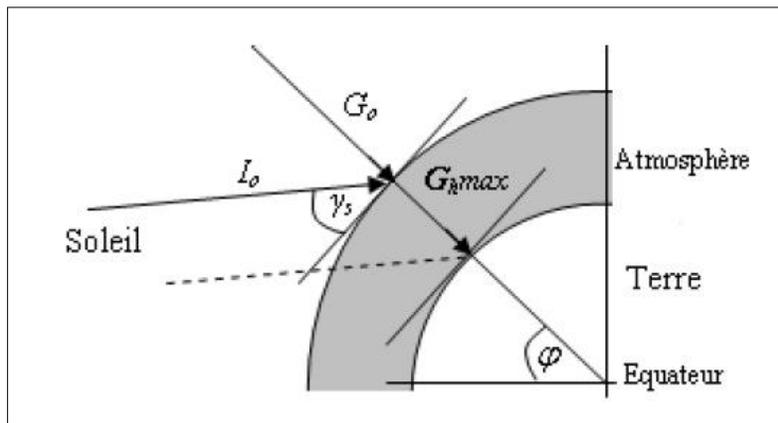


Figure I.24: Eclairement solaire extraterrestre [7]

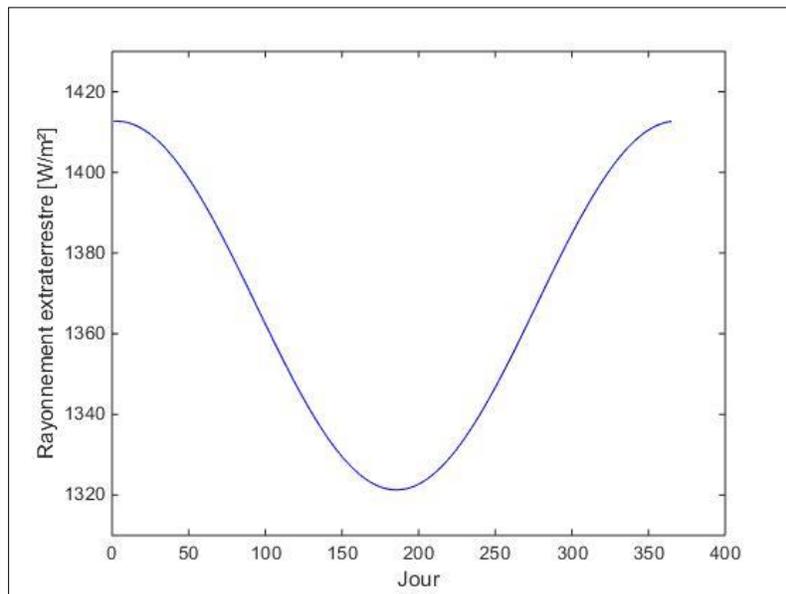


Figure I.25: Variation de l'éclairement solaire extraterrestre en fonction du jour

Comme on peut le voir sur la figure I.25, le niveau minimal d'environ 1320 W/m² est atteint le mois juillet, et le niveau maximal (1415 W/m²) est atteint durant la fin du mois de

décembre et le début du mois de janvier, à cause de la distance terre-soleil (Fig I.26), on est en hémisphère nord donc on est proche du soleil en hiver et pas en été. La distance terre-soleil en hiver est 147 million de KM et en été 152.

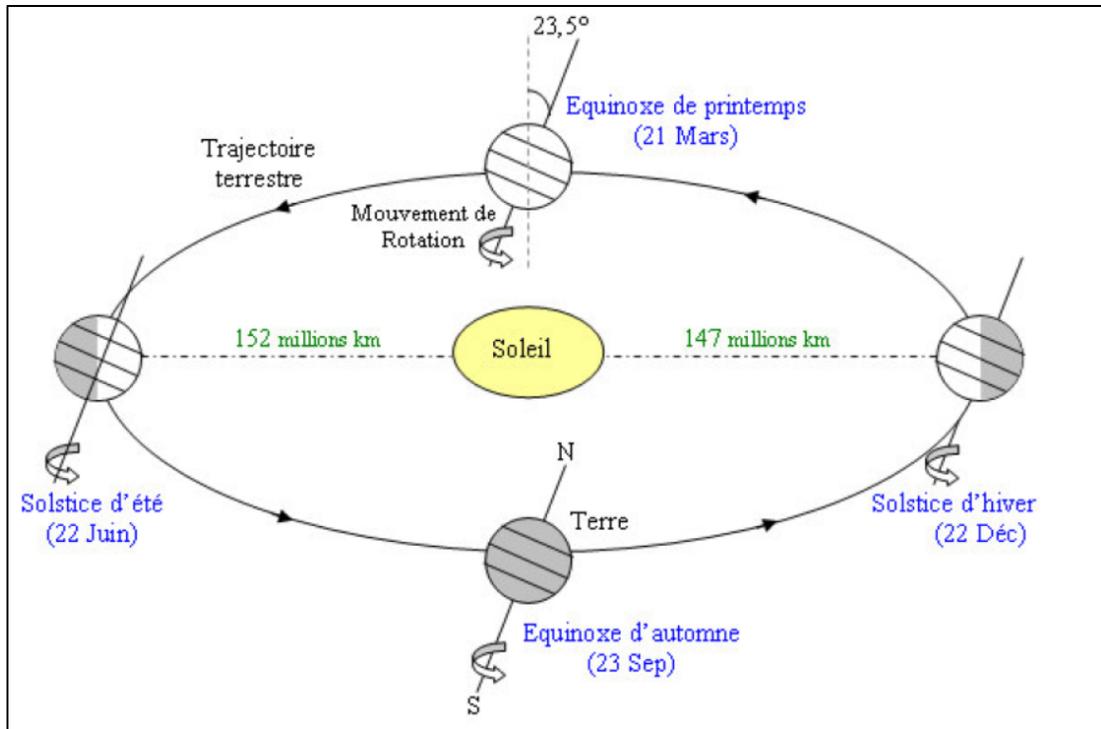


Figure I.26 : Distance terre-soleil dans les quatres saisons [22]

I.8. Conclusion

Dans ce chapitre est montré l'énergie renouvelable est de plus en plus très répondeue dans la production mondiale de l'électricité.

Ainsi que les caractères qui affectée la terre est le soleil et leurs influence sur la production de l'énergie solaire. En plus de ça on a compris la lumière et le spectre solaire et la différente longueur d'onde.

L'Algérie comme on a vu précédemment, est parmi les pays avantageux qui puissent utiliser l'énergie solaire comme solution de future pour remplacer l'énergie fossile, et pour cela il faut que tous les électrotechniciens oriente leurs perspectives vers l'énergie vert et solaire précisément en Algérie parce qu'il est non polluante est renouvelable.

CHAPITRE II

Etat de l'art sur les systèmes a cuisson solaires

CHAPITRE II

Etat de l'art sur les systèmes a cuisson solaires

II.1. Introduction

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.

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 [3].

Le développement et la vulgarisation des cuiseurs solaires en milieu saharien sont plus que nécessaires. Dans ce deuxième chapitre, une étude sur les cuiseurs solaires sera présentée, leur principe de fonctionnement, les différents types de cuiseurs existants notamment les cuiseurs boîtes, les cuiseurs paraboliques, les cuiseurs stockeurs d'énergie et les cuiseurs suiveurs du soleil. Les prototypes de cuiseurs développés et réalisés à travers le monde seront également abordés dans ce chapitre et leur impact environnemental sera étudié.

II.2. Historique

L'utilisation de l'énergie solaire dans diverses cultures à travers l'histoire commence beaucoup plus loin dans le temps. L'utilisation de l'énergie solaire sous sa forme la plus simple était connue chez les Grecs, les Romains et les Chinois, même si elle n'était pas utilisée pour la cuisine [23].

Avant l'âge de la civilisation, la cuisine des aliments était inconnue. Les gens mangeaient la nourriture dans l'état dans lequel ils l'avaient trouvée. C'était la première fois que le solaire chauffait des gaufrettes d'Esséniens, une des premières sectes de Juifs, pour créer une source de nourriture qui est extrêmement saine pour le corps humain. Horace de Saussure, naturaliste suisse, a été le premier à construire une boîte pour cuisiner des aliments à l'énergie solaire et a publié ses travaux en 1767. Il cuisinait des fruits dans un cuiseur solaire primitif qui atteignait une température de 88°C. °C Il était le grand-père de la cuisine solaire. À la même époque, en

Inde, un soldat britannique a breveté un cuiseur solaire assez sophistiqué qui ressemblait beaucoup au Solar Chef. En 1894, la Chine ouvre un restaurant où l'on sert des plats cuisinés à l'énergie solaire. Le design actuel des cuiseurs solaires a commencé à évoluer dans les années 1950. Nombre d'ingénieurs, de scientifiques et de chercheurs de haut niveau ont été embauchés pour étudier différents aspects de la conception de la cuisson solaire. Ces études ont conclu que les cuiseurs solaires bien construits non seulement cuisaient les aliments de façon complète et nutritive, mais qu'ils étaient aussi très faciles à fabriquer et à utiliser [24]. En 1945, Sri M. K. Ghosh a conçu un premier cuiseur solaire en forme de boîte comme produit commercial. Les scientifiques indiens ont conçu et fabriqué un certain nombre de cuiseurs et de réflecteurs solaires commerciaux en 1950, mais ils n'ont pas été facilement acceptés, en partie parce qu'il existait encore des solutions de rechange moins coûteuses [25].

Malgré ce succès, l'ONU (Organisation des Nations Unies) a conclu que les cuiseurs solaires n'étaient pas une option viable et tout financement pour les cuiseurs solaires a cessé. Beaucoup de ceux qui ont participé à cet effort précoce ont conclu que les études elles-mêmes étaient défectueuses. Ils ont estimé que les conceptions promues étaient trop complexes. Les cuiseurs étaient également trop chers pour les utilisateurs prévus. Ils ont estimé que plus de travail était nécessaire sur la conception des cuiseurs. Quelques-uns ont maintenu le potentiel des cuiseurs solaires vivant en poursuivant leur développement dans leur cour intérieure, bien exposée [24].

D'autres estimaient que les techniques de promotion utilisées dans les études de l'ONU étaient également imparfaites. Les spécialistes des sciences sociales, qui n'avaient jamais intégré la cuisine solaire dans leur propre vie, étaient responsables des études de l'ONU. Les cuiseurs étaient présentés comme une solution aux problèmes des pauvres, mais certainement pas comme des outils de cuisson qui seraient utiles dans les pays développés. Cela a amené les cuisiniers solaires à être considérés par ceux auxquels on demande de les utiliser comme des instruments de seconde classe. Les cuiseurs solaires cherchèrent de nouvelles méthodes pour promouvoir les cuisiniers solaires qui étaient davantage sensibles aux cultures auxquelles ils étaient confrontés [24].

II.3. Types de cuissons solaires

Fondamentalement, il existe 3 types de cuissons solaires disponibles sur le marché :

II.3.1. Cuiseur de type boîte

Solide et performant, le cuiseur boîte (Fig II.1) est construit avec une caisse en bois isolée contenant une caisse plus petite dont le fond est noir et les parois intérieures recouvertes d'aluminium. Un double vitrage recouvre l'ensemble et permet de produire un effet de serre. Pouvant être fabriqué avec des matériaux locaux (bois, laine de mouton, etc.), il permet d'atteindre facilement des températures de 120 à 150 °C. Facile à fabriquer, le cuiseur boîte est le plus utilisé [26].

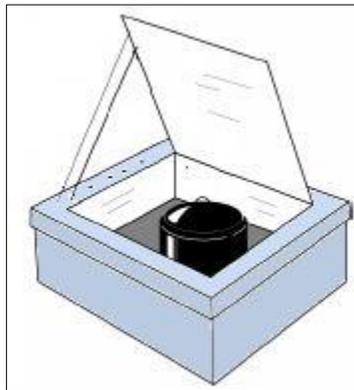


Figure II.1: Schéma de principe d'un cuiseur de type boîte [4].

II.3.2. Cuiseur à panneaux

Les cuiseurs à panneaux (Fig II.2) combinent les éléments du cuiseur boîte et du cuiseur parabolique. Très facile à construire, le cuiseur à panneaux n'est équipé ni de vitre ni de système d'isolation. Ses surfaces réfléchissantes sont sans danger pour les yeux. Ses températures étant régulières, il n'a pas besoin d'être ajusté pendant la cuisson. Pour le ranger, il suffit de le plier [26].

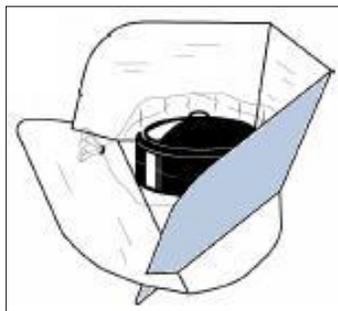


Figure II.2: Schéma de principe d'un cuiseur à panneaux [4].

II.3.3. Cuiseur parabolique

Également appelés « cuiseurs paraboliques » (Fig II.3), les cuiseurs à concentrateur incurvé atteignent rapidement de très hautes températures, mais nécessitent un ajustement fréquent et de nombreuses précautions concernant la sécurité. D'une puissance estimée à 400 W, ils sont les plus chers. La parabole permet de tout cuire et de réaliser des fritures [26].

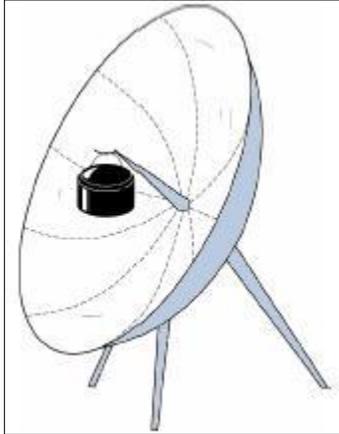


Figure II.3: Schéma de principe d'un cuiseur parabolique [4].

II.4. Facteurs essentiels pour la cuisson solaire

II.4.1. Températures de cuisson solaire

La cuisine solaire est un moyen écologique et économique de préparer les aliments. Le fonctionnement des cuiseurs solaires dépend uniquement de la quantité de lumière du soleil et non de la température extérieure [4].

La température atteinte par les cuiseurs à cuisson et à panneaux dépend tout d'abord du nombre et de la taille des réflecteurs utilisés. Un cuiseur "boîte" et les cuiseurs à panneaux réfléchissants avec généralement une température 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 [4].

Beaucoup de gens préfèrent cuisiner à des températures plus basses parce que cela leur permet de mijoter pendant qu'ils sont occupés ailleurs. Avec un cuiseur "boîte" à réflecteur unique, une fois les aliments cuits, ils restent chauds sans brûler. Il est bon de savoir qu'aucun aliment ne peut de toute façon dépasser 100°C tant que toute son eau ne s'est pas évaporée. Les températures élevées indiquées dans les livres de recettes des cuiseurs traditionnels ne sont utilisées que pour une cuisson plus rapide et pour des effets spéciaux tels que le brunissement des

aliments [25]. Les températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs sont données sur la figure I.4.

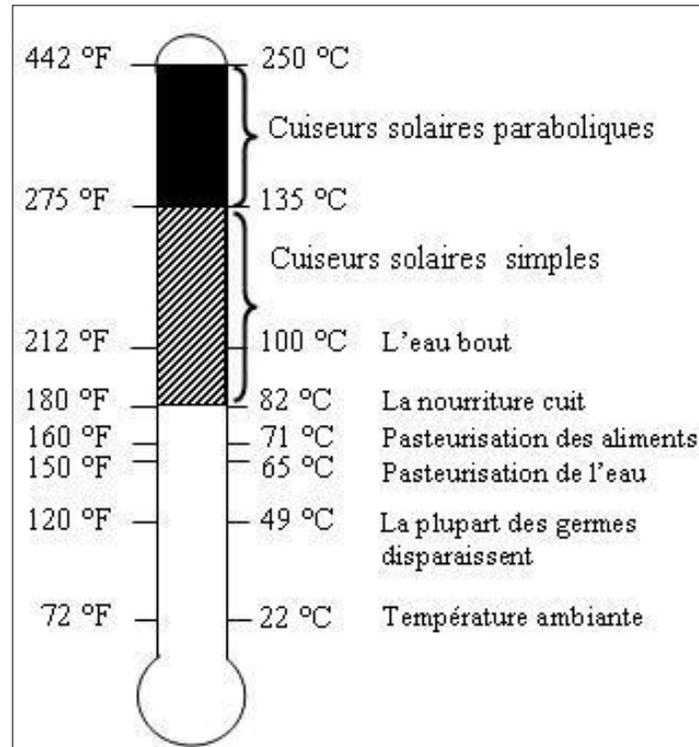


Figure II.4: Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs [4].

II.4.2. Temps de cuisson solaire

En général, la cuisson dans un cuiseur "boîte" avec réflecteur prend deux fois plus de temps que dans un cuiseur traditionnel. Cependant, comme il est impossible de brûler réellement les aliments, il n'est pas nécessaire de surveiller le cuiseur ou de remuer les aliments pendant la cuisson. Il est possible de mettre plusieurs contenants avec différents aliments et de revenir plus tard pour trouver les aliments cuits correctement cuits et gardés au chaud jusqu'à ce qu'ils soient retirés du cuiseur. Dans les cuiseurs à panneaux, les petites portions sont souvent cuites dans un seul récipient, ce qui accélère la cuisson. Certains utilisateurs ont exprimé le besoin de remuer les aliments pour s'assurer qu'ils cuisent également (mais pas nécessairement) partout.

La cuisson dans un cuiseur parabolique est très similaire à la cuisson sur un feu ordinaire. Comme la lumière solaire concentrée va directement au fond du récipient, le récipient se réchauffe et cuit très rapidement. Mais pour éviter que les aliments ne brûlent, il est nécessaire de remuer et de surveiller attentivement, même si cela signifie "ralentir" en orientant le plat d'une manière non optimale [27].

II.4.3. Localisation de la cuisson solaire

Le cuiseur solaire doit être installé à l'extérieur, dans un endroit ensoleillé, exposé au vent, mais à l'abri des vents forts, des nuages, du brouillard, de la poussière et de l'ombre possible des arbres ou des bâtiments voisins, ce qui réduit le rayonnement et prolonge le temps de cuisson.

Le site choisi doit être à l'extérieur des sites où sont déposés les déchets humains, les déchets animaux et les eaux usées. Il est préférable de clôturer le site pour éviter la présence d'animaux domestiques [26].

II.4.4. Moment d'utilisation du cuiseur solaire

Le cuiseur solaire doit être utilisé lorsque la longueur de l'ombre au sol est inférieure à la taille réelle du cuiseur (Fig II.5). Le soleil doit donc être assez haut dans le ciel pour permettre la cuisson. La cuisson solaire ne doit pas être faite tôt le matin ou après le coucher du soleil. Il est donc idéal pour cuire entre 9 et 15 heures [28, 29].



Figure II.5: Heures propices à la cuisson solaire [30].

II.4.5 Types de récipients utilisés pour la cuisson des aliments

Il est préférable d'utiliser des contenants de couleur foncée qui absorbent mieux la chaleur, tandis que les contenants de couleur claire reflètent les rayons du soleil [31] (Fig II.6). Et doit de la peinture noire mate avec mention "non toxique" quand elle est sèche [27].

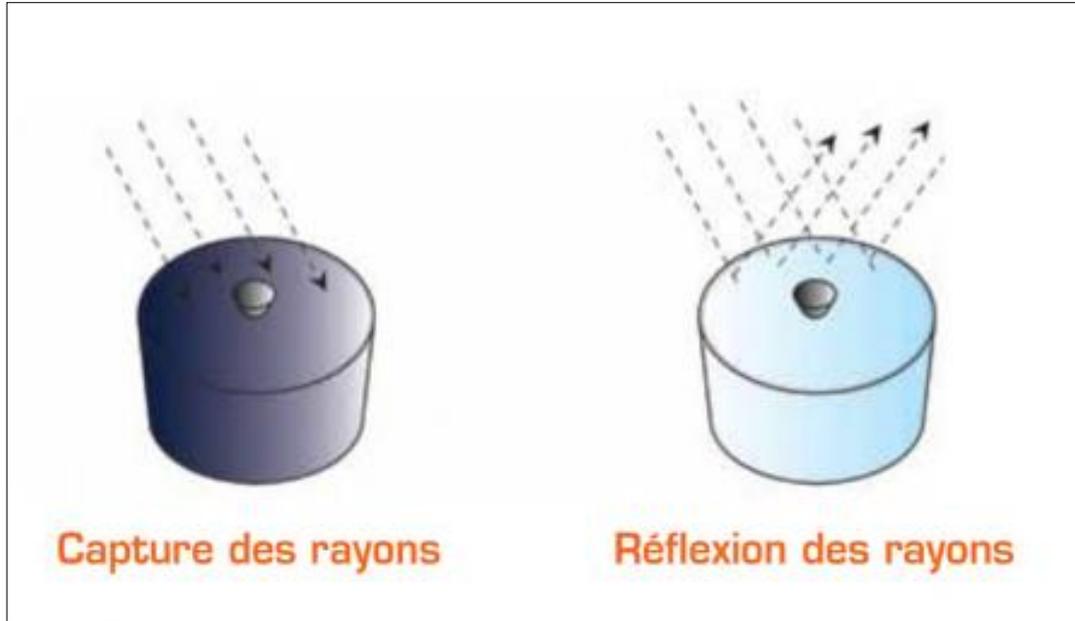


Figure II.6 : Capture ou réflexion des rayons du soleil [30].

II.5. Classification des cuiseurs solaires

Les cuiseurs solaires sont classés en deux grandes catégories : les cuiseurs solaires sans stockage et les cuiseurs solaires avec stockage. Le classement des cuiseurs dans chaque groupe est illustré sur la figure II.7.

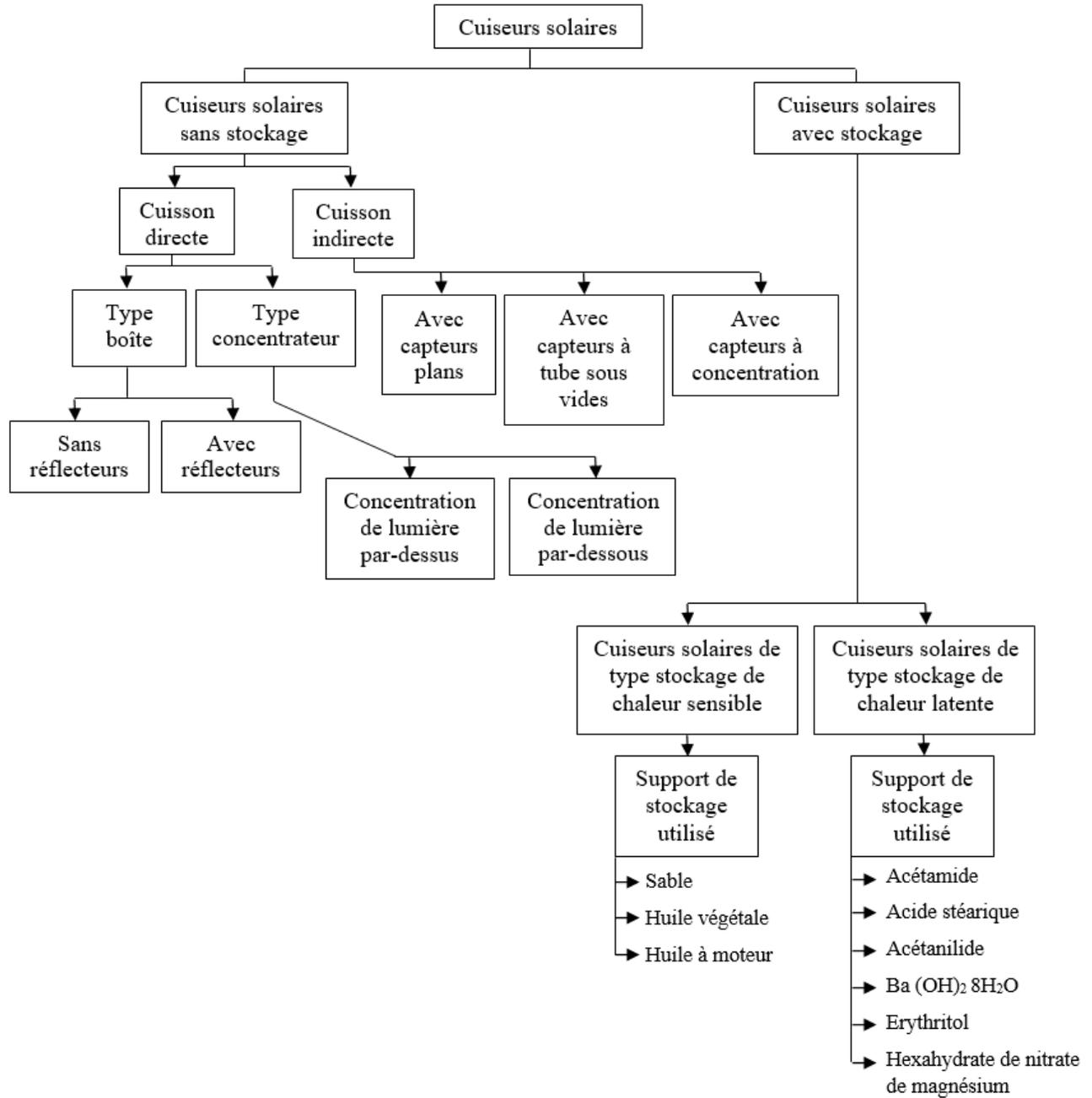


Figure II.7: Classification des cuiseurs solaires sans et avec stockage thermique [32]

Le tableau ci-dessous propose un comparatif des trois technologies [33] :

Tableau II.01: Comparatif des trois technologies de cuiseurs solaires:

	Cuiseur à panneaux	Cuiseur boîte	Cuiseur parabolique
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Portatif • Cout très faible (0-5\$) • Bonnes performances • Peut faire bouillir de l'eau • Concentre le rayonnement solaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Portatif • Faible coût en cas de fabrication avec des matériaux de récupération (0-20 \$) • Fonctionne comme un accumulateur de chaleur • Bonnes performances • Ne requiert pas un suivi fréquent 	<ul style="list-style-type: none"> • Très performant • Concentre le rayonnement solaire • Longévité • Également adapté à la cuisson dans l'eau bouillante
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Périssable • Non adapté à la cuisson dans l'eau bouillante 	<ul style="list-style-type: none"> • Onéreux en cas d'achat (plus de 100\$) • Les surfaces doivent être inclinées • Ne concentre pas le rayonnement solaire • Périssable en cas de fabrication avec du carton ondulé • Non adapté à la cuisson dans l'eau bouillante 	<ul style="list-style-type: none"> • Dangereux • Non portatif • Onéreux en cas d'achat (plus de 100-200\$) ou fabriqué (30-60\$) • Suivi fréquent

II.5.1. Cuiseurs solaires sans stockage

Les cuiseurs solaires sans accumulation sont classés en cuiseurs solaires directs et indirects selon le mécanisme de transfert de chaleur vers la marmite. Les cuiseurs solaires de type direct utilisent le rayonnement solaire directement dans le processus de cuisson tandis que les cuiseurs

indirects utilisent un fluide caloporteur pour transférer la chaleur du collecteur à l'unité de cuisson [32].

II.5.1.1. Cuisson directe

Les cuiseurs solaires fonctionnant en mode directe commercialement réussis sont de type boîte et de type concentrateur [4].

Le cuiseur solaire à caisson est, comme son nom l'indique, un caisson isolé à simple ou double vitrage. Ce type de cuisson ne dépend que de l'effet de serre dans lequel le verre transparent permet le passage du rayonnement solaire à ondes courtes et est opaque à la partie rayonnement à ondes longues. L'isolation à double paroi peut également être utilisée pour retenir plus de chaleur à l'intérieur de la cuisine. Des miroirs peuvent être ajoutés pour réfléchir plus de rayonnement solaire dans la marmite (Fig II.8.a et Fig II.8.b).

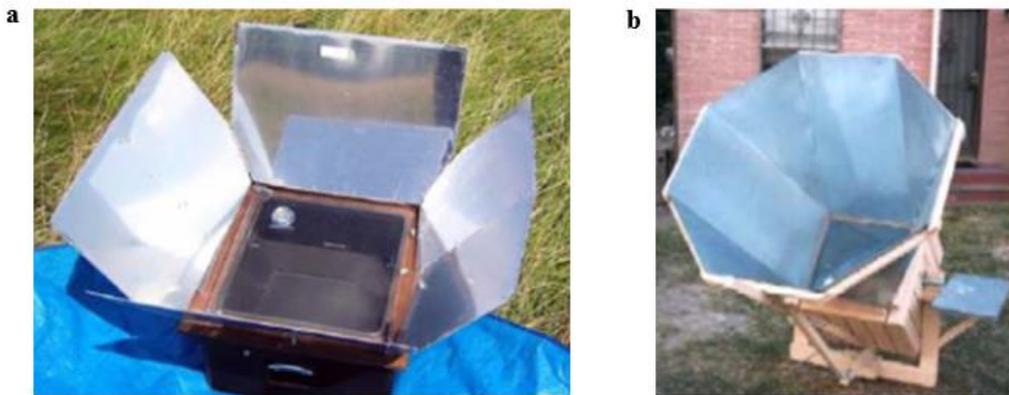


Figure II.8: Cuiseurs solaires boîtes avec réflecteurs additionnels: (a) quatre; (b) et huit réflecteurs [32].

Dans le premier type (Fig II.9.a et Fig II.9.b), la lumière est concentrée depuis le haut du récipient et ce mode de concentration d'énergie n'est pas très souhaitable pour faire cuire. Pour le deuxième type (Fig II.10.a, Fig II.10.b et Fig II.10.c), la lumière est concentrée au-dessous du pot et ce mode est le plus commode pour la cuisson [4].

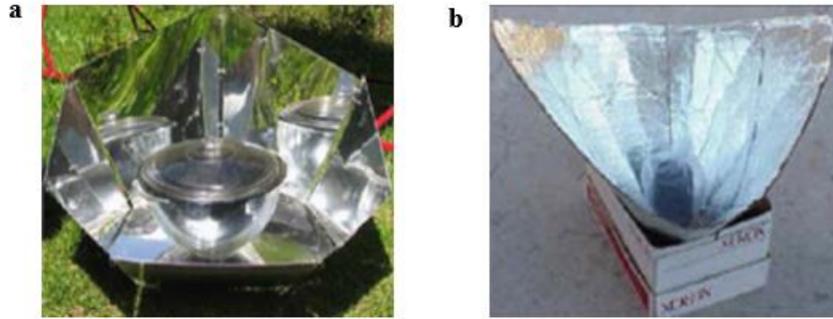


Figure II.9: Cuiseurs solaires concentrant la lumière par-dessus:

(a) cuiseur à panneaux; (b) cuiseur à entonnoir.



Figure II.10: Cuiseurs solaires concentrant la lumière par-dessous: (a) cuiseur sphérique; (b) cuiseur à miroirs de Fresnel; (c) cuiseur parabolique.

II.5.1.2. Cuisson indirecte

Dans les cuiseurs solaires indirects, le récipient de cuisson est physiquement séparé du collecteur et un vecteur d'énergie est nécessaire pour transférer la chaleur du collecteur au récipient. Les cuiseurs solaires avec des capteurs en verre plat, des capteurs à tubes sous vide et des capteurs à concentration sont les plus connus sous cette catégorie [4].

Les cuiseurs solaires à capteurs en verre plat (Fig II.11) sont généralement équipés de deux casseroles avec la possibilité d'intégrer le poêle dans la construction du poêle, l'huile de tournesol est utilisée comme transfert thermique. Les avantages de ce type de cuisine sont les grandes dimensions des récipients, la vitesse de cuisson et la cuisson dans la maison. Les inconvénients des poêles à accumulation conventionnels sont la détérioration des performances due au cycle réversible pendant la nuit et les périodes nuageuses du jour, ainsi que la grande capacité de chauffage et les casseroles fixes qui les rendent difficiles à nettoyer [4, 34].



Figure II.11: Cuisson solaire indirecte avec capteurs plans vitrés [34].

Les cuissons solaires avec collecteurs à tubes sous vide se composent de longs tuyaux de chauffage intégrés menant directement à la plaque chauffante du cuisson, ils ont également besoin d'un puissant système de transfert thermique pour conduire la chaleur du collecteur vers la plaque chauffante sans abaisser la température. Ces types de cuissons présentent de nombreux avantages : elles n'ont pas besoin d'un système de traçage, elles peuvent atteindre des températures élevées.

Les cuissons solaires avec collecteurs de concentration utilisent souvent de grands concentrateurs paraboliques ou sphériques pour produire la vapeur nécessaire à la cuisson. Le rayonnement solaire capté par les concentrateurs est concentré sur une chaudière cylindrique où de la vapeur est produite pour cuire les repas à grande échelle [4], [34].

II.5.2. Cuissons solaires avec stockage

Le stockage de l'énergie thermique est essentiel chaque fois qu'il existe un décalage entre l'offre et la demande d'énergie. Les cuissons solaires doivent contenir un matériau accumulateur de chaleur pour stocker l'énergie thermique afin de résoudre le problème de la cuisson à l'extérieur et l'impossibilité de cuire les aliments en raison des nuages fréquents pendant la journée ou en dehors des heures de pointe. L'énergie thermique peut être stockée sous la forme d'une modification de l'énergie interne d'un matériau sous forme de chaleur sensible, latente et thermochimique ou d'une combinaison de ces éléments [32].

II.5.2.1. Stockage de chaleur sensible

Dans les cuissons solaires du type stockage de chaleur sensible, l'énergie thermique est stockée en augmentant la température d'un solide ou d'un liquide.

L'huile à moteur est généralement utilisée comme moyen de stockage dans les cuiseurs à boîtes (Fig II.12.a), où pendant la journée, la température maximale de stagnation à l'intérieur du cuiseur avec le matériau de stockage est identique à la température à l'intérieur du cuiseur sans stockage mais est supérieure de plus de 20 degrés entre fin après-midi et minuit. L'autre moyen de stockage thermique possible est le sable. En effet, du sable a été utilisé comme support de stockage pour la cuisson à l'intérieur des locaux, 6 heures de cuisson à l'extérieur ont été enregistrées et environ 3 heures par jour à l'intérieur ont été effectuées [4].

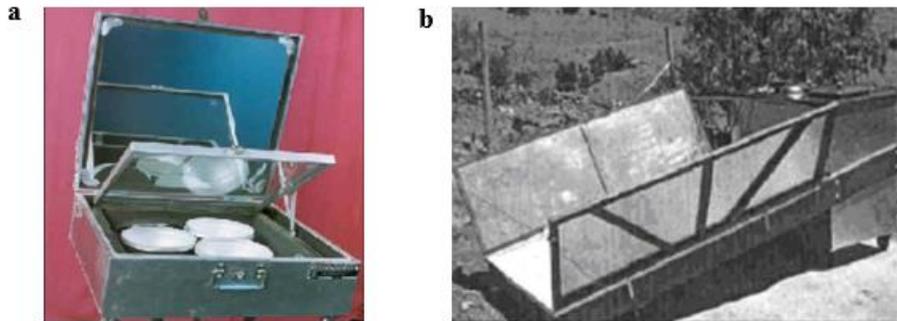


Figure II.12: Cuiseurs solaires à stockage de chaleur sensible avec support de stockage:

(a) l'huile à moteur; (b) l'huile végétale.

L'huile végétale est également utilisée comme fluide de stockage, généralement en combinaison avec des collecteurs plats et un réservoir de stockage thermique (Fig II.12.b), où l'huile végétale est utilisée comme fluide de transfert thermique, est chauffée au niveau du collecteur, puis acheminée vers le récipient de cuisson ou l'unité de stockage par un système de régulation bien adapté. L'avantage de ce type d'entreposage est de garder les aliments au chaud le plus longtemps possible.

Les principales limites des matériaux accumulateurs de chaleur sensibles sont la faible capacité calorifique spécifique et la diminution de l'efficacité de cuisson lorsque la température du matériau accumulateur diminue pendant le déchargement.

II.5.2.2. Stockage de chaleur latente

Le stockage de la chaleur latente utilise l'énergie stockée dans un matériau lorsqu'il change d'état d'une phase à l'autre. L'utilisation de matériaux à changement de phase pour stocker l'énergie sous forme de chaleur latente a été reconnue comme l'une des meilleures solutions pour fournir un moyen efficace de stockage en raison de sa haute densité de stockage et de sa

température de fonctionnement constante. Les différents types de cuiseurs solaires intégrés avec des PCM comme moyens de stockage thermique.

On a utilisé d'abord des PCM tel que l'acide stéarique (point de fusion 55 °C, chaleur latente de fusion 161 kJ/kg) et l'hexahydrate de nitrate de magnésium (température de fusion 89 °C) intégrés au-dessous des récipients de cuiseurs boîtes (Fig II.13), l'inconvénient de ce type de conception est que le transfert thermique à partir du matériau au récipient pendant le mode de décharge est lent et plus de temps est nécessaire pour la cuisson en soirée, ce mode de stockage dépend non seulement de l'irradiation solaire et de la quantité de nourriture à cuire mais aussi des propriétés thermophysiques du PCM (modulation par impulsion et codage) [25, 33].

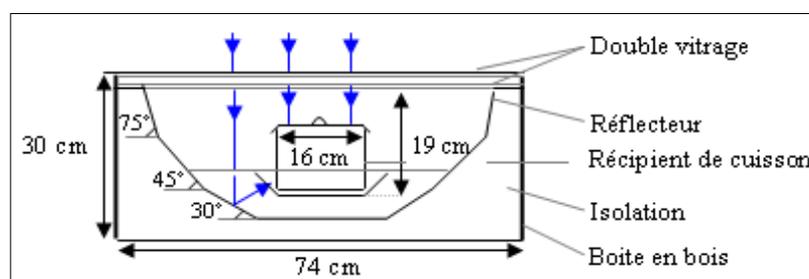


Figure II.13: Schéma d'un cuiseur solaire à stockage de chaleur latente de type boîte avec PCM intégré en mode indirect [35].

Par la suite, les récipients de cuisson ont été modifiés et formés en deux cylindres intégrés pour contenir les aliments entourés par le matériau. L'acétamide est d'abord utilisé comme PCM (point de fusion 82°C, chaleur latente de fusion 263 kJ/kg) et ensuite comme acétanilide (température de fusion 118°C, chaleur latente de fusion 222 kJ/kg), le taux de transfert thermique entre le matériau et le récipient est devenu plus grand et la préparation alimentaire plus rapide.

La cuisson dans la nuit à l'intérieur de la maison, un cuiseur solaire en cuisson avec stockage d'énergie a été développé, le cuiseur contenait un simple collecteur plat et des miroirs pour rediriger les rayons du soleil vers le récipient de cuisson, le PCM choisi était $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ hydrate de sel. Un cuiseur de type indirect (Fig II.14.a) a été développé, ce cuiseur est composé d'un capteur plat exposé à l'extérieur et d'un récipient de cuisson avec un PCM dans la pièce, le PCM était du nitrate de magnésium hexahydraté (température de fusion 89 °C, chaleur latente de fusion 134 kJ/kg) intégré dans l'appareil. Des tests ont été effectués sans frais et avec des frais différents à différents moments de la journée, les résultats indiquent que ce cuiseur peut être

utilisée avec succès pour cuisiner différents types de repas à midi, l'après-midi et le soir, elle peut également être utilisée pour stocker des repas chauds pour le matin [4].

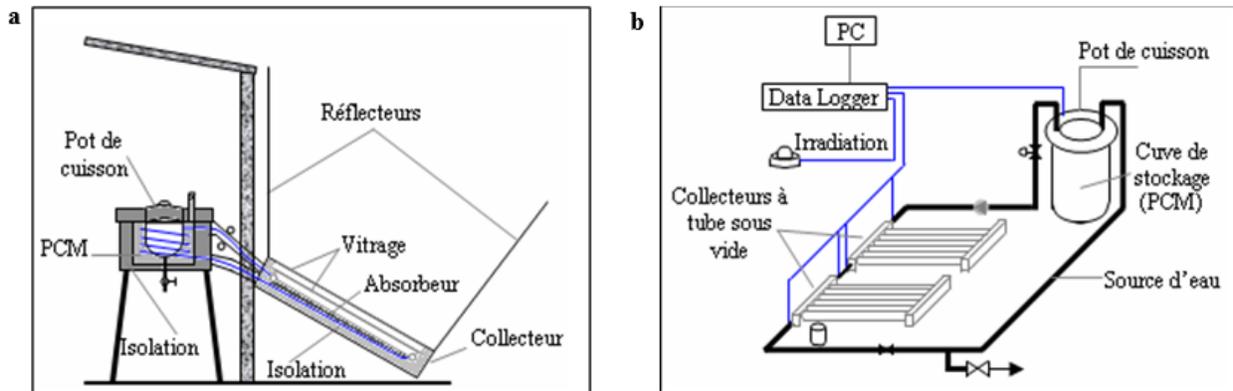


Figure II.14: Schéma de cuiseurs solaires à stockage de chaleur latente avec PCM intégré en mode indirect utilisant: (a) des capteurs plans; (b) des capteurs sous vides [4].

Un autre cuiseur solaire indirect (Figure II.14.b), a été développé avec des capteurs à tube sous vides, le PCM utilisé est du erythritol (température de fusion 118 °C, chaleur latente de fusion 339.8 kJ/kg), où une pompe fait circuler un fluide caloporteur des capteurs vers l'unité de cuisson (entourée du PCM) à travers un échangeur de chaleur sous une boucle fermée, l'énergie stockée dans le PCM est utilisée pour faire cuire la nourriture durant nuit.

La température maximale du PCM en stockage de chaleur pour la cuisson solaire reportée dans la littérature est seulement de 120 °C ce qui n'est pas approprié pour faire frire et à faire cuire rapidement. Néanmoins quand le PCM est utilisé comme matériau de stockage dans la cuisson solaire, le mode indirect de chauffage est le plus approprié.

II.6. Conception et le développement des cuiseurs solaires à travers le monde

II.6.1. Les cuiseurs solaires de type boîte

II.6.1.1. Cuiseurs boîtes sans et avec réflecteurs

Beaucoup de travail a été fait au cours des dernières décennies pour étudier et déterminer la performance thermique des cuiseurs solaires à cuisson sans et avec réflecteurs, particulièrement en Inde, en Asie, en Europe et en Afrique. Kumar a développé une corrélation pour le coefficient de perte de chaleur d'une boîte de cuiseur solaire qui a l'eau comme sa charge, il a également présenté une analyse thermique pour évaluer le coefficient de transfert de chaleur par convection naturelle du cuiseur [4].

En 2001, Nahar a conçu, fabriqué (Fig II.15.a et Fig II.15.b), testé et comparé les performances d'un cuiseur solaire boîte à double réflecteurs avec un matériau isolant transparent avec celle d'un cuiseur boîte possédant un seul réflecteur sans matériau isolant.

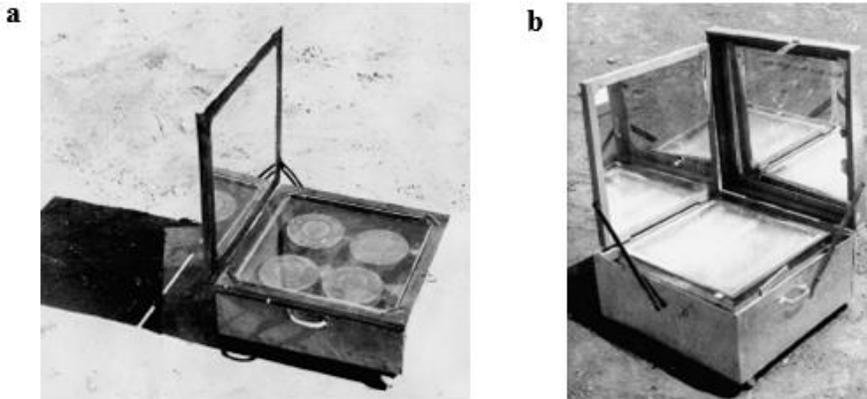


Figure II.15: Cuiseurs solaires boîte fabriqué et testé par Nahar :
(a) avec un seul réflecteur ; (b) avec deux réflecteurs.

Negi et Purohit ont réalisé des tests sur les performances thermiques d'un cuiseur solaire type boîte (Fig II.16.a), utilisant des réflecteurs à concentration sans poursuite solaire. Ils ont montré que le cuiseur peut donner une meilleure collecte de la chaleur d'où une cuisson plus efficace. Amer a présenté et largement étudié les performances d'un nouveau modèle de cuiseur solaire (Fig II.16.b), où l'absorbeur est exposé au rayonnement solaire par le haut et par la face inférieure, un ensemble de réflecteurs sont utilisés pour diriger le rayonnement sur la face inférieure de la plaque absorbante.

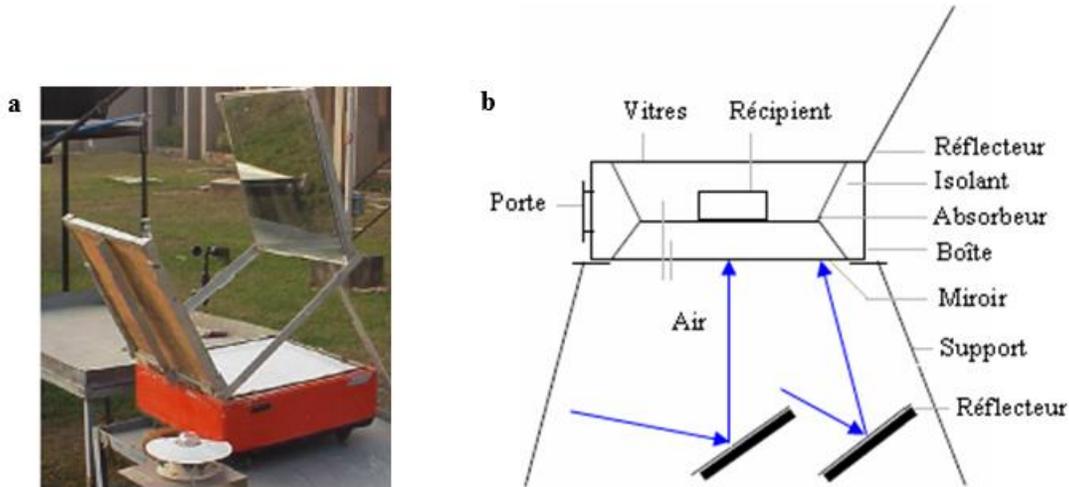


Figure II.16: Schéma du cuiseur boîte avec réflecteurs: (a) exposés par la face supérieure testé par Negi et al. ; (b) exposés par la face inférieure étudié par Amer.

II.6.1.2 Cuiseurs boîtes à usage multiple

Kumar et al. ont conçu et fabriqué un cuiseur-séchoir solaire de type pyramide tronquée (Fig II.17.a), qui satisfait les normes prescrites par le Bureau des Standards de l'Inde concernant les cuiseurs solaires de type boîte, la géométrie tronquée de la pyramide concentre la lumière vers le bas du cuiseur, ils ont également recommandé quelques modifications pour obtenir de plus hautes températures et des temps de cuisson réduits. Le groupe de travail ont ensuite conçu, fabriqué et testé un dispositif de type pyramide tronquée (Fig II.17.b), qui pourrait être utilisé pour la cuisine domestique aussi bien que pour le chauffage de l'eau.

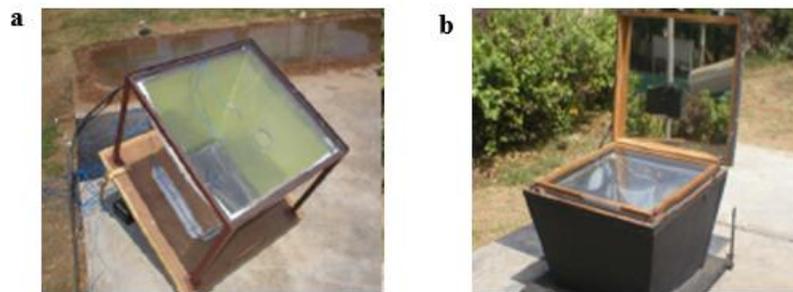


Figure II.17: (a) Cuiseur séchoir- pyramide, (b) cuiseur chauffe-eau, réalisé par Kumar et al. [4].

II.6.1.3. Cuiseurs boîtes et récipients de cuisson

Des études et des tests ont également été réalisés ces dernières années sur le rôle du récipient à l'intérieur du cuiseur, la chaleur doit pénétrer dans le récipient et cuire les aliments de manière uniforme. En 1999, Gaur et al. ont mené une étude sur la performance d'une boîte de

cuisseurs solaires avec un changement dans la forme des couvercles des ustensiles utilisés, ils ont conclu que la performance peut être améliorée si un ustensile avec une forme concave est utilisé au lieu d'un couvercle ordinaire. Rao et Subramanyam ont étudié l'utilité de soulever le contenant sur des crochets, ce qui générera une surface de transfert thermique au fond du contenant et permettra d'atteindre plus rapidement des températures de saturation pour la cuisson, ils ont également testé un contenant (Fig II.18), placé sur une cavité annulaire centrale et conclu que cette nouvelle configuration permet de diminuer le temps de cuisson.

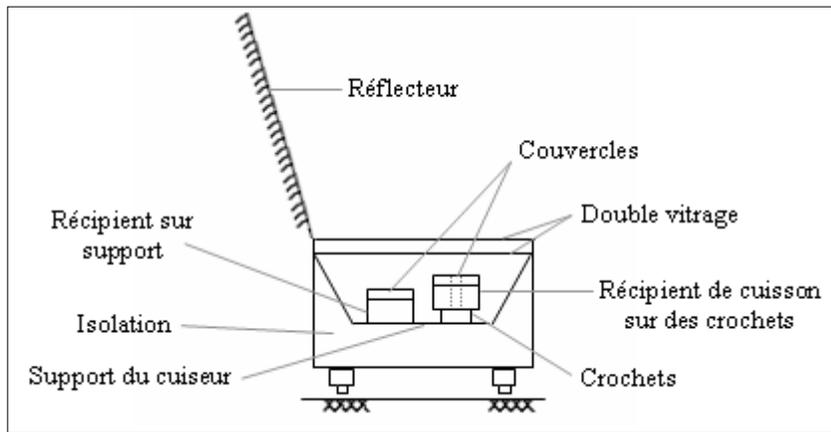


Figure II.18: Schéma du cuiseur boîte avec un récipient mis sur support testé par Rao et al. [4].

II.6.2. Cuiseurs solaires à concentration

II.6.2.1. Cuiseurs à concentration de type cylindro-parabolique

Richard Petela a présenté une analyse théorique de l'exergie d'un cuiseur solaire cylindro-parabolique (Fig II.19.a), ainsi que la distribution des pertes exégétiques dans le cuiseur et l'analyse exégétique de la surface exposée au rayonnement solaire qui absorbe le flux radiatif des différentes températures. En 2004, Ozturk a appliqué les normes internationales pour tester les performances d'un cuiseur solaire et les a exploité à la détermination expérimentale des rendements de l'énergie et de l'exergie d'un cuiseur solaire cylindro-parabolique (Fig II.19.b).

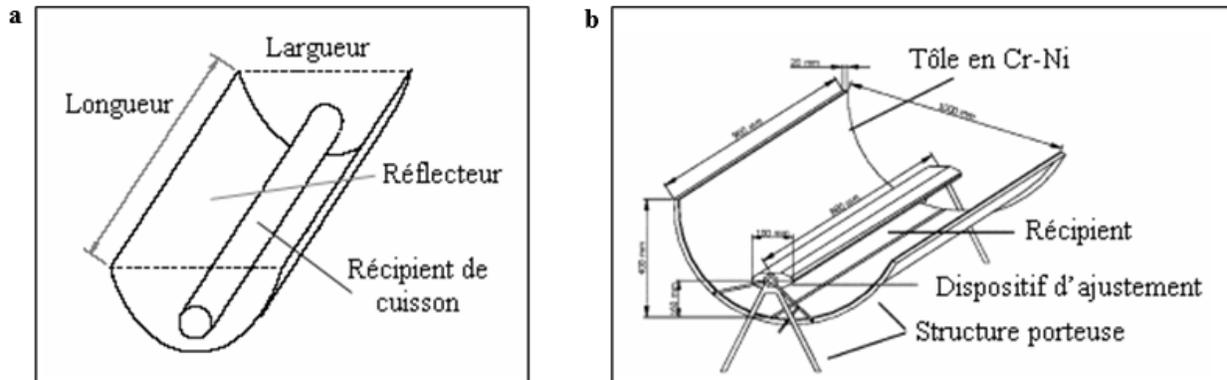


Figure II.19: (a) Cuiseur cylindro-parabolique étudié par Richard Petela,
 (b) schéma du cuiseur cylindro-parabolique testé par Ozturk [4].

II.6.2. Cuiseurs à concentration de type parabolique

Sonune et Philip ont conçu et développé en 2003 un cuiseur solaire domestique à concentration de type Fresnel (Fig II.20.a), qui fournit une température adéquate nécessaire pour la cuisson et la friture. Et en 2004, Franco et al. ont apporté quelques modifications à un cuiseur solaire composé de deux unités séparées: un concentrateur parabolique d'un côté et une boîte isolée contenant le récipient d'un autre coté (Fig II.20.b), le but étant d'améliorer sa capacité de travail et ceci en utilisant trois différents types d'absorbeurs optimisés [4].

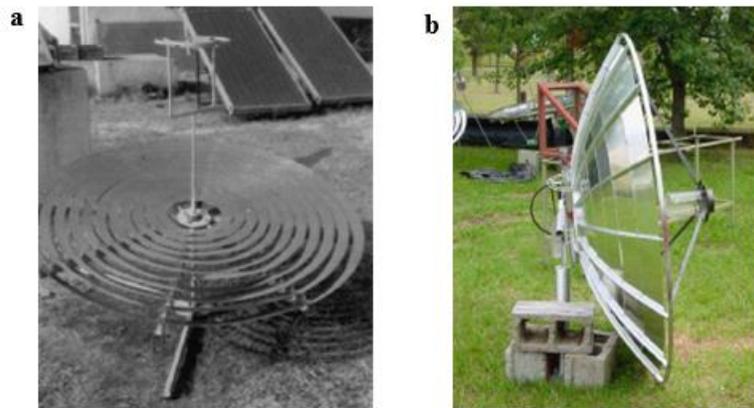


Figure II.20: (a) Cuiseur parabolique avec des miroirs de Fresnel réalisé par Sonune et Philip,
 (b) cuiseur parabolique composé et réalisé par Franco et al.

En 2007, Arenas décrit la conception, la fabrication et le test d'un nouveau cuiseur solaire portatif (Fig II.21.a), avec un grand réflecteur parabolique pliable. Les résultats obtenus avec ce prototype montrent que le cuiseur solaire atteint une puissance moyenne de 175 W, avec une efficacité énergétique de 26.6 %. Cette puissance fournit une énergie suffisante pour faire cuire

un repas simple pour deux personnes en un temps de 2 heures. Un cuiseur solaire parabolique (Fig II.21.b), est réalisé en 2009 par Grupp et al., le cuiseur contient un dispositif qui enregistre les données de la température ambiante, la température de cuisson et l'irradiation solaire [4].



Figure II.21: (a) Cuiseur parapluie réalisé par José M. Arenas,
(b) cuiseur parabolique réalisé par Grupp et al.

II.6.3. Cuiseurs suiveurs du soleil

En 2010, Un cuiseur solaire cylindro-parabolique avec système de poursuite solaire automatique (Fig II.22), a été conçu, construit et testé par Al-Soud et al., un contrôleur programmable a été employé pour contrôler le mouvement du cuiseur solaire.

En 2011, l'effet d'un système de poursuite solaire à deux axes sur un cuiseur parabolique (Fig II.23), a été étudié par Abu-Malouh et al. Le concentrateur parabolique a été construit pour concentrer le rayonnement solaire sur un récipient fixé au sommet du foyer, le cuiseur suit le soleil à l'aide du système de poursuite à deux axes, ce dernier est réalisé et ensuite testé [4].

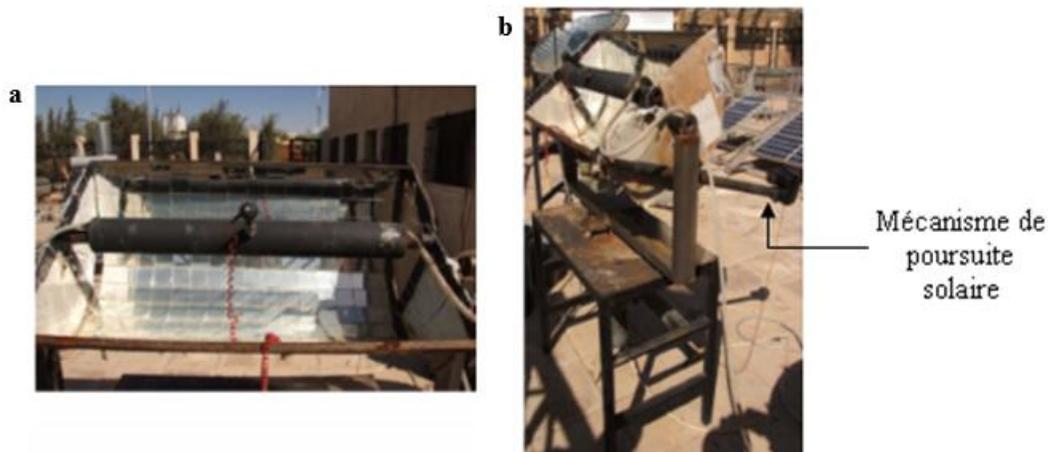


Figure II.22: (a) Cuiseur cylindro-parabolique; (b) système de poursuite solaire, réalisés par Al-Soud et al.

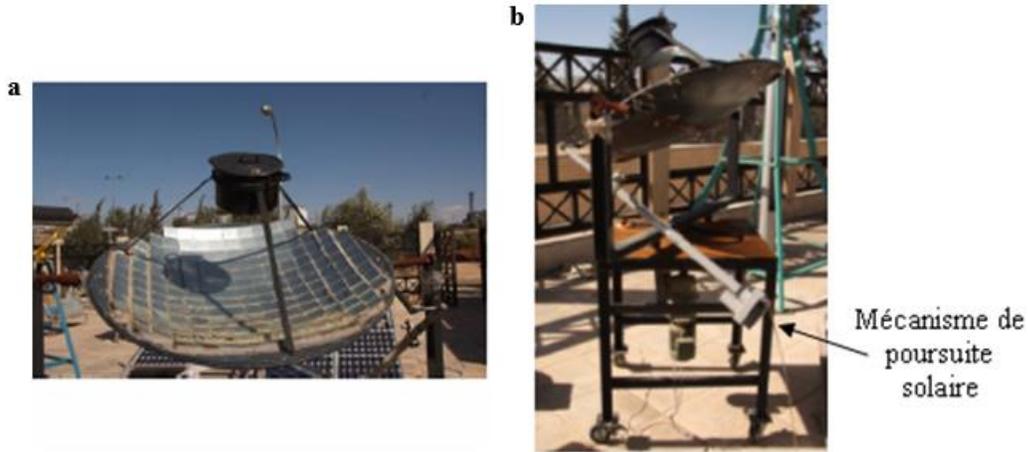


Figure II.23: (a) Cuisson parabolique; (b) système de poursuite solaire (b), réalisés par Abu-Malouh et al.

II.6.4. Cuisson stockeurs d'énergie

II.6.4.1. Cuisson solaires boîtes

Nahar a conçu, fabriqué et testé un cuisson solaire de type boîte avec l'utilisation d'une huile à moteur comme matériau de stockage de sorte que la cuisson peut être effectuée en fin de soirée. Sharma et al. ont conçu et fabriqué une unité de stockage de chaleur latente de forme cylindrique (Fig II.24), pour le récipient de cuisson d'un cuisson solaire pour stocker l'énergie solaire pendant la journée qui peut être utilisée pour cuire lors de la soirée [30].

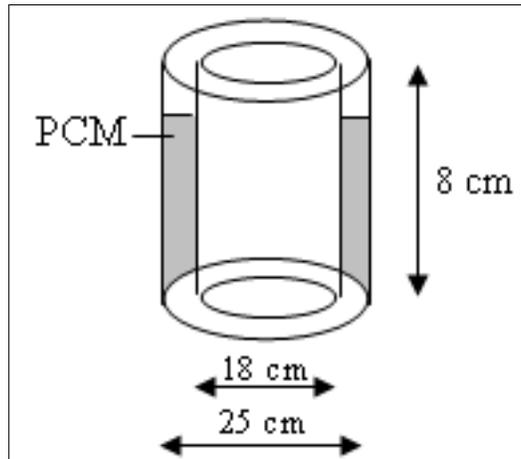


Figure II.24: Schéma de l'unité de stockage de chaleur latente de forme cylindrique du cuisson boîte avec PCM fabriqué par Sharma et al. [32].

II.6.4.2. Cuiseurs solaires à concentration

En 2008, Mawire et al. ont étudié un cuiseur solaire fonctionnant en mode indirect utilisant un concentrateur parabolique et muni d'une cuve de stockage thermique (Fig II.25.a). Les équations du bilan énergétique sont employées pour modéliser le système de réception d'énergie solaire et le système thermique de stockage d'énergie du cuiseur considéré [4].

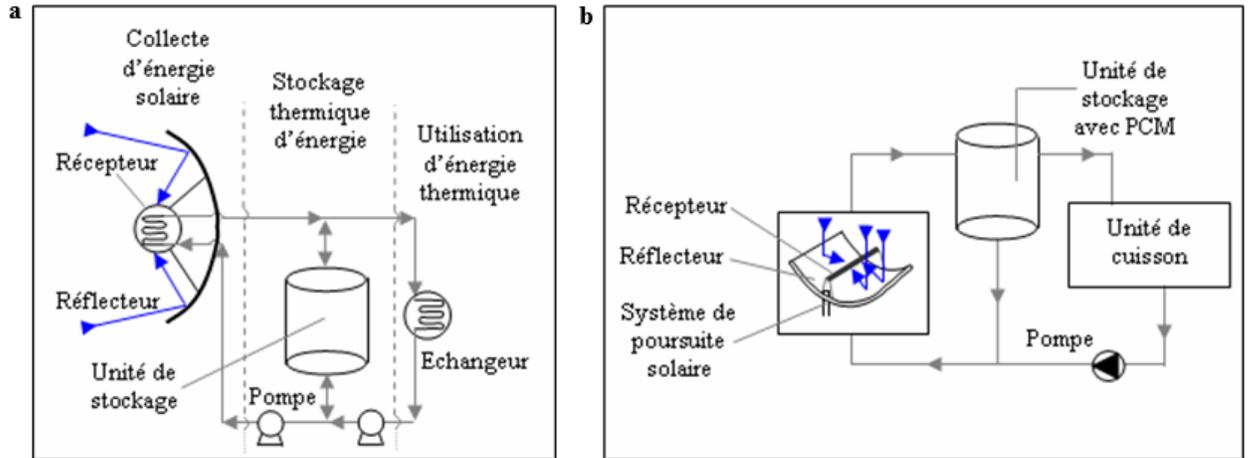


Figure II.25: (a) Schéma du cuiseur solaire parabolique indirect étudié par Mawire et al, (b) Schéma du cuiseur solaire cylindro-parabolique indirect étudié par Muthusivagami et al.

En 2010, Muthusivagami et al. ont proposé d'étudier un système de cuisson solaire fonctionnant en mode indirect basé sur un capteur cylindro-parabolique à concentration d'énergie et muni d'une cuve de stockage thermique intégrée avec un PCM (modulation par impulsion et codage), et une unité de cuisson qui peut être installée à l'intérieur du local (Fig II.25.b).

II.6.4.3 Cuiseurs solaires indirects

En 2004, Esen a démontré la faisabilité de l'utilisation de réfrigérants dans un système de cuisson solaire (Fig II.26.a), qui consiste en un capteur solaire à tube sous vide avec un long caloduc intégré menant directement à la plaque de cuisson, pour cuire et/ou stocker les aliments chauds en fin de soirée. En 2005, Sharma et al. ont étudié la performance thermique d'un prototype de cuiseur solaire basé sur un capteur à tube sous vide avec une unité de stockage équipée d'un matériau à changement de phase (MCP) (Fig II.26.b) [4].

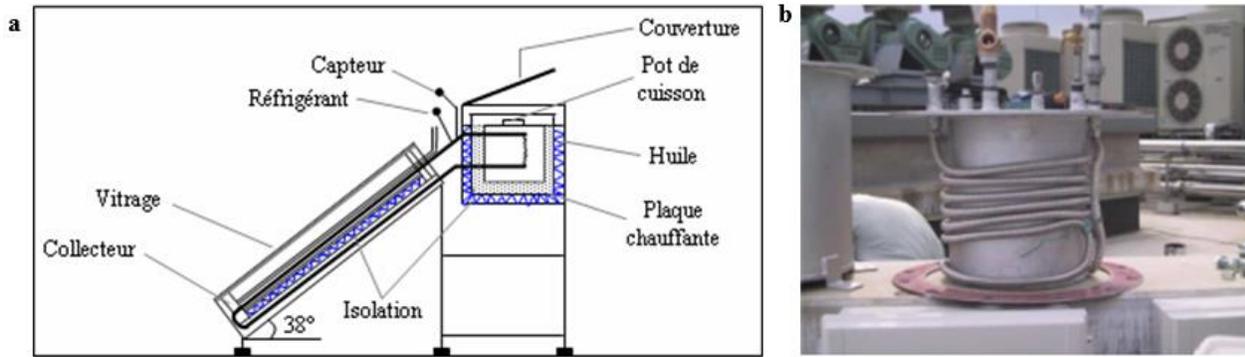


Figure II.26: (a) Schéma du cuiseur solaire indirect contenant des réfrigérants étudié par Esen, (b) unité de stockage de chaleur latente avec PCM réalisé par Sharma et al.

II.7. Contribution des cuiseurs solaires à la réduction du dioxyde de carbone

De nombreuses études scientifiques révèlent que le taux de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté de 31% au cours des 200 dernières années. Panwar et coll. ont signalé dans leur document de synthèse que, de 1971 à 1995, les émissions de CO₂ ont augmenté à un taux moyen de 1,7 % par année. Les scénarios prévoient un taux de croissance plus rapide des émissions de CO₂ allant jusqu'à 2,2 % par an pour la période allant jusqu'en 2020.

En 1996, Nandwani a mené une étude sur les avantages écologiques des cuiseurs solaires au Costa Rica et dans le monde, comparant les avantages et les limites des cuiseurs solaires aux cuiseurs traditionnels en bois et électriques. Par conséquent, il a constaté que le délai de retour est d'un cuiseur en boîte ; en considérant une utilisation de l'appareil de 6 à 8 mois par année, il est d'environ 12 à 14 mois.

En outre, Nahar mène depuis plusieurs années des études sur différents modèles de cuiseurs solaires dans les conditions climatiques indiennes avec une évaluation du potentiel d'émissions de CO₂. On estime que le temps de retour varie entre 1,28 et 4,82 ans selon le vecteur énergétique (combustible de cuisson) à remplacer. Pour les différents cuiseurs expérimentés, l'économie d'énergie est estimée à 5175 MJ par an.

Les ressources énergétiques renouvelables joueront un rôle important dans l'avenir de la planète, le développement des systèmes de cuisson solaire permettra de répondre aux besoins en énergie de cuisson et de résoudre certains problèmes liés à la cuisine traditionnelle, notamment dans les pays en développement [4].

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre on a constaté que le cuiseur solaire est un moyen écologique et économique de cuisson. Il capture les rayons du soleil avec une surface brillante ou miroir, qui réfléchisse les rayons du soleil et les concentre sur un récipient de cuisson, à cette concentration de rayons lumineux, s'ajoute un effet de serre dans le cas des cuiseurs boîtes. En cas de mauvais temps ou pendant la nuit, on utilise la méthode du stockage thermique d'énergie pour la cuisson. Les cuiseurs paraboliques permettent la cuisson de toute sorte de plats, avec un temps plus rapide que les cuiseurs boîtes. Et pour obtenir un rendement optimum, les paraboles nécessitent un ajustement plus fréquent. En ce qui concerne, le cuiseur à boîte, il est moins praticable que le premier puisqu'il ne permet pas d'exercer toute sorte de cuisson voulue et la cuisson prend un temps beaucoup plus long.

CHAPITRE III

Etude théorique et expérimentale, interprétation et discussion des résultats

CHAPITRE III

Etude théorique et expérimentale, interprétation et discussion des résultats

III.1. Introduction

Un cuiseur solaire est une technologie qui peut fournir de la chaleur de façon naturelle et renouvelable, pour la cuisson, il utilise souvent la technique de concentration des rayons solaires ou le phénomène de l'effet de serre. Dans le troisième chapitre, une étude comparative pour une évaluation des performances par analyse des profils thermiques d'un cuiseur solaire parabolique avec un autre cuiseur solaire à Boite qui a été étudié dans la même centre de recherche dans les années précédente [4]. Les températures mesurées au niveau de ce cuiseur à travers l'unité d'acquisition de donnée AGILENT 34972A ; à savoir : température de l'eau à l'intérieur de l'ustensile, température du récepteur et réflecteur, température de la plaque et de l'air seront visualisées numériquement et graphiquement sur l'écran d'un micro-ordinateur. Par ailleurs, des tests sont réalisés durant plusieurs jours avec différentes conditions climatiques et le temps d'ajustement du cuiseur est effectué d'une manière bien étudiée. Les résultats issus des tests réalisés seront discutés et interprétés pour vérifier aussi bien le bon fonctionnement de l'ensemble et sa faisabilité/rentabilité. Les paramètres caractérisant le cuiseur seront déterminés selon les conditions climatiques locales de la région, le rendement énergétique de cuiseur est également calculé.

III.2. Présentation du lieu de stage

III.2.1. Site de Ghardaïa

Le site de Ghardaïa (Fig III.1) est situé au centre de l'Algérie et distant de 600 km d'Alger à 32.39° de latitude Nord, de 3.78° de longitude Est, et à l'altitude de 463 mètres au niveau de la mer. Présentant un climat désertique, le site de Ghardaïa est limité du côté Nord par la Wilaya de Laghouat (200 km), à l'Est par la Wilaya de Ourgla (200 km), au Sud-Ouest par la Wilaya d'Adrar (800 km), à l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350 km). Le site est devenu une nouvelle structure scientifique, qui a été mise en place en 2002 par le ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique, il s'agit de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER), affiliée au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) situé à Bouzaréah, Alger.

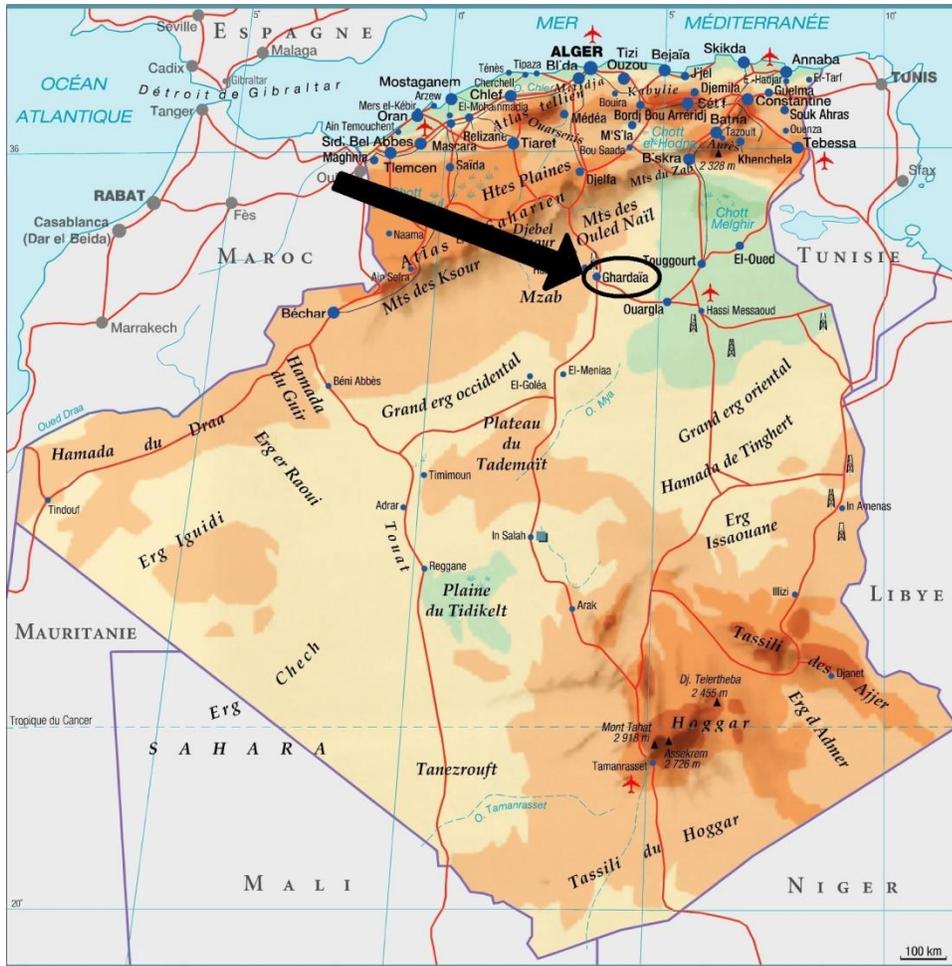


Figure III.1 : Site de Ghardaïa

La caractérisation de sites se fait à travers l'analyse des paramètres météorologique et radiométrique, tel que : la précipitation, la température ambiante, l'humidité relative, le vent. En ce qui concerne le site de Ghardaïa, la pluviométrie est du type saharien avec une moyenne annuelle de 67.37 mm. Le nombre de jours de pluie par an en moyen est de 20 à 30 jours, les vitesses moyennes annuelles du vent sont de 3.1 à 4.4 m/s mesurées à 10m du sol. Les températures moyennes maximales mensuelles varient de 14.9 °C en Janvier à 43.2 °C en Juillet, les températures moyennes minimales mensuelles varient de 3.4 °C en Janvier à 29.5 °C en Juillet. Les températures moyennes mensuelles varient de 9 °C en Janvier à 36.5 °C en Juillet avec une moyenne annuelle de 22.6 °C [36].

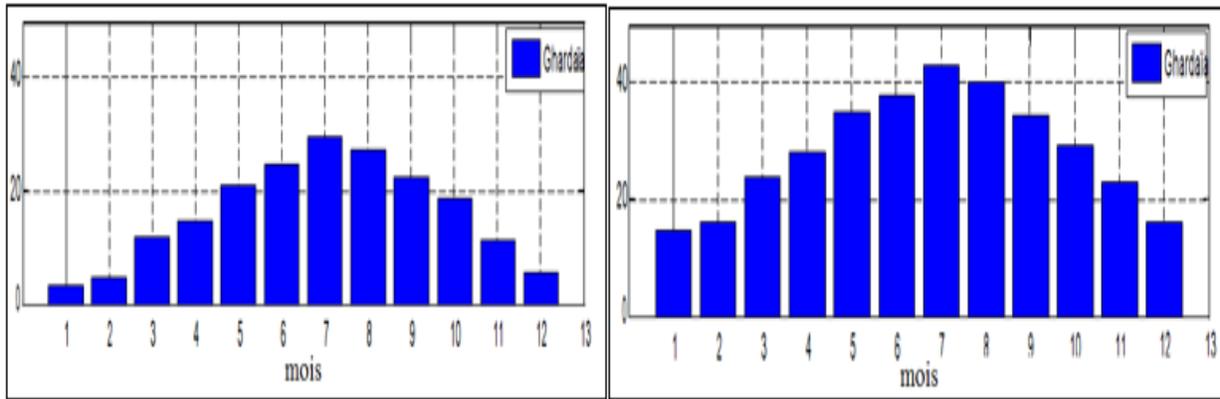


Figure III.2: Distribution de la température minimale et maximale sur le site de Ghardaïa

III.2.2. Aperçu sur l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER)

Inauguré en 1999, l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER) (Fig III.3), affiliée au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) est située dans la ville de Ghardaïa (600 km d'Alger la capitale) et à 1 kilomètre de l'aéroport. Les moyens considérables mis dans la formation et la recherche dans le domaine des énergies renouvelables, comme le développement de l'équipement des laboratoires spécialisés ont permis à l'Algérie d'être un associé digne de confiance et expérimenté dans le domaine des énergies renouvelables. Aujourd'hui, deux divisions sont chargées des recherches [11] :

- La division Mini Centrales Solaires
- La division Application des Energies Renouvelables dans les Milieux Arides et Semi Arides.



Figure III.3: Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables (URAER) Ghardaïa

III.2.3. Equipe Mini Centrales Thermodynamiques

Les cuiseurs solaires existants au niveau de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables s'inscrivent dans le programme des projets de maîtrise et de développement des systèmes à cuisson solaire de l'équipe (MCSTH) Mini Centrales Solaire Thermodynamiques, dans laquelle nous avons exercé notre stage dont les objectifs de l'équipe sont principalement :

- 1- Développement et la maîtrise de la technologie des concentrateurs cylindro-paraboliques.
- 2- Développement, innovation et adaptation des systèmes de poursuite solaire au Sud Algérien.
- 3- Développement et amélioration d'échange de chaleur au niveau de l'absorbeur et du circuit de fluide caloporteur.
- 4- Développement et étude des effets climatiques de Sud algérien sur les héliostats dans les centrales à tour.
- 5- Développement des systèmes à moyenne températures tel que les concentrateurs paraboliques composés (CPC) pour la production d'eau chaude ainsi que pour la création du froid solaire.
- 6- Développement des cuiseurs solaires à concentration (cuiseurs boîtes et cuiseurs à concentrateur paraboliques) et leurs applications dans le Sud Algérien [11].

III.3. Mesure du rayonnement solaire et données utilisées

III.3.1. Mesure du rayonnement solaire

Les instruments de mesure du rayonnement solaire peuvent être classés en trois catégories :

- L'héliographe : Est un instrument enregistrant la durée pendant laquelle le rayonnement solaire est d'une intensité suffisante pour produire des ombres distinctes.
- Le pyranomètre : Est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan, le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument.
- Le pyréliomètre : Est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale.

III.3.1.1. Mesure du rayonnement direct (le Pyréliomètre)

Mesure de l'éclairement énergétique direct (Fig III.4) : Rayonnement solaire provenant de l'angle solide limité au disque solaire parvenant sur une surface unité perpendiculaire à l'axe de cet angle solide. L'élément sensible (thermopile) du pyréliomètre est constitué de thermocouples montés en série, exposés au rayonnement solaire et dont les soudures froides sont maintenues à la température de l'air par conduction. Il délivre une différence de potentiel proportionnelle au flux incident.



Figure III.4: Pyréliomètre pour la mesure de l'éclairement direct normal

III.3.1.2. Mesure du rayonnement diffus et global (le Pyranomètre)

Les mesures effectuées par un pyranomètre (Fig III.5) sont :

- ❖ La mesure de l'éclairement énergétique global ;

- ❖ La mesure de l'éclairement énergétique diffus par adjonction d'un dispositif d'occultation du disque solaire.

L'élément sensible (thermopile) du pyranomètre est une série de thermocouples exposés au rayonnement solaire, dont les soudures froides sont maintenues à la température de l'air par conduction et qui délivre une différence de potentiel proportionnelle au flux incident. Un pare-soleil constitué par une bande circulaire centrée sur la thermopile et parallèle au plan équatorial, occulte le pyranomètre du rayonnement solaire direct pour permettre la mesure du rayonnement solaire diffus.



Figure III.5: Pyranomètre pour la mesure du rayonnement global et diffus

III.3.2. Données utilisées

Actuellement ; en Algérie, la mesure des données de l'éclairement solaire est effectuée d'une manière instantanée, constante et sur certains sites seulement de l'Algérie. Nous avons choisi le site de Ghardaïa pour cette étude, le choix du site s'est porté sur la disponibilité des données radiométriques recherchées. En effet, les données de l'éclairement solaire (global, diffus, global incliné et direct normal) utilisées provient de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables de Ghardaïa, 'URAER'. Le rayonnement solaire global est mesuré avec un pyranomètre CMP21 de Kipp & Zonen, tandis que rayonnement solaire direct normal est mesuré avec un pyrhéliomètre CHP1 de Kipp & Zonen (Fig III.6). Les données sont enregistrées par pas de 1 minute et stockées sur disque d'un micro-ordinateur.



Figure III.6: Station radiométrique de l'URAER (Ghardaïa)

III.4. Méthodologies adoptées

III.4.1. Test du cuiseur solaire boîte

III.4.1.1. Détermination des 'figures of merits'

Le test et l'évaluation des performances thermiques des cuiseurs solaires sont nécessaires pour la caractérisation de ces dispositifs. Mullick et al. ont développé une procédure de test thermique pour les cuiseurs solaires boîtes. Selon cette procédure, une méthode d'essai complète suivant la Norme IS13429: 2000 est disponible pour le test de ces systèmes. Suivant cette Norme, deux principaux tests sont effectués (un test de stagnation et un test de chaleur sensible) pour la détermination des deux paramètres de performance thermique (figures of merits, F1 et F2) sur la base des relevés des profils thermiques sans tenir compte de l'effet du miroir réflecteur [37].

Expérimentalement, F1 est une mesure de la différence de température gagnée par la plaque absorbante à un stade particulier de l'éclairement solaire ; elle est obtenue en utilisant la relation suivante :

$$F_1 = \frac{\eta_o}{U_L} = \frac{T_{ps} - T_{as}}{I_s} \quad (III.1)$$

La seconde figure of merit F2 est dérivée du test de chaleur sensible. Elle est donnée par la relation suivante:

$$F_2 = \frac{F_1 (mc_p)_w}{A_{sc} \tau} \ln \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{wi} - \bar{T}_a}{I_s} \right) \right] / \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{wf} - \bar{T}_a}{I_s} \right) \right] \quad (III.2)$$

Selon les Normes de Mullick, la constante de temps τ_{boil} pour la période de chaleur sensible ; depuis la température ambiante jusqu'à la température de 100°C, donnée par la relation suivante :

$$\tau_{\text{boil}} = \frac{-F_1(m c_p)_w}{F_2 A_{\text{sc}}} \ln \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{100 - T_a}{\bar{I}_s} \right) \right] \quad (\text{III.3})$$

III.4.1.2. Détermination de la puissance de cuisson

Funk a introduit le terme: puissance de cuisson ajustée ou standardisée P_{adj} , afin de faciliter la comparaison entre les divers designs de cuiseurs solaires sous différentes intensités d'éclairages, la puissance de cuisson ajustée est donnée par l'équation (III.4), où \bar{I}_s est l'éclairement solaire moyen, I_n est l'éclairement solaire standardisé à 700 W/m².

$$P_s = \frac{700 \cdot (M_w \cdot C_w) \cdot \Delta T_w}{600 \bar{I}_b} \quad (\text{III.4})$$

Selon les tests de ce Standard (Protocole), la vitesse du vent doit être inférieure à 1 m/s et la température de l'eau à l'intérieur des pots de cuisson doit être relevée entre 40 et 90 °C. La température ambiante et l'éclairement solaire doivent être compris entre 20 à 35 °C et 450 à 1100 W/m², respectivement. Pour la surface d'ouverture du cuiseur, 7 kg d'eau /m² doit être réparti uniformément dans les ustensiles. La surface d'ouverture du cuiseur est définie comme la somme de la surface des réflecteurs et la surface d'ouverture du cuiseur projetée sur le plan perpendiculaire à l'éclairement direct normal [37].

III.4.2. Test du cuiseur solaire parabolique

III.4.2.1. Tests suggérée par Mullick et al.

Selon cette procédure de test, les performances du cuiseur solaire parabolique ont été évaluées par deux paramètres de performance, à savoir le facteur de perte de chaleur $F'UL$ et le facteur d'efficacité optique $F'\eta_o$. Il existe deux tests distincts pour la détermination de ces facteurs de performance. Le facteur de perte de chaleur $F'UL$ est obtenu à partir d'un test de refroidissement. La valeur du facteur de perte de chaleur dépend principalement de la température de l'eau de l'ustensile, de la vitesse du vent et de la surface de l'ustensile de cuisson.

Le facteur d'efficacité optique $F'\eta_o$ est déterminé à partir du test de chauffage. Cela dépend éventuellement de la qualité de la surface du réflecteur, de la réflectivité de la surface du concentrateur, de la surface d'interception et de l'absorption de la surface extérieure de l'ustensile de cuisson, ainsi que de l'orientation du concentrateur [37].

Mathématiquement, le facteur d'efficacité optique $F'\eta_o$ [37] est défini comme suit :

$$F'\eta_o = \frac{F'UL}{c} \frac{\left[\left(\frac{T_{w2} - \bar{T}_a}{\bar{I}_b} \right) - \left(\frac{T_{w1} - \bar{T}_a}{\bar{I}_b} \right) e^{-\tau/\tau_o} \right]}{\left(1 - e^{-\tau/\tau_o} \right)} \quad (III.5)$$

Avec C représente le rapport de la surface d'ouverture de la parabole A_p à la surface de l'ustensile de cuisson A_t . T_{w1} et T_{w2} sont les températures initiale et finale de l'eau respectivement pendant l'intervalle de temps τ qui est de 10 minutes, \bar{T}_a est la température ambiante moyenne de l'air toutes les 10 minutes, et \bar{I}_b est la moyenne du rayonnement solaire direct chaque 10 minutes.

Le facteur de perte de chaleur $F'U_L$ est alors déterminé comme suit :

$$F'U_L = \frac{(MC)'_w}{\tau_o \cdot A_t} \quad (III.6)$$

Où A_t est la surface de l'ustensile de cuisine. $(MC)'_w$ est la puissance calorifique combinée de l'eau et de l'ustensile de cuisson qui est équivalente à [37]:

$$(MC)'_w = M_w \cdot C_w + M_p \cdot C_p \quad (III.7)$$

Où M_w est la masse d'eau, C_w est la capacité calorifique spécifique de l'eau ($C_w = 4190 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$), M_p (1kg) est la masse de pot et C_p (921 J / kg est la capacité calorifique spécifique du pot. Puisque l'ustensile est fait d'aluminium, ceci implique que C_p est la capacité calorifique spécifique de l'aluminium.

III.4.2.2. Tests suggérée par Funk

Les performances thermiques des cuiseurs solaires peuvent être évaluées selon la procédure du Standard International développé par Funk. Selon ce Standard, la puissance de cuisson P du

cuiseur solaire peut être calculée quand une masse d'eau bien déterminée est maintenue à l'intérieur de l'ustensile de cuisson et le cuiseur solaire est mis en service selon certaines conditions décrites dans le Standard de Funk. Et comme l'eau va se réchauffer durant le fonctionnement, sa température moyenne est surveillée et relevée pendant une durée de temps de 10 min durant un intervalle particulier ($\Delta t = 600$ s). Quand la température de l'eau atteint les 95 °C ou quand 4 heures de temps sont écoulés du début du test, l'expérimentation est arrêtée (l'une ou l'autre des deux conditions est satisfaite). La puissance moyenne délivrée durant cet intervalle est exprimée par la formule suivante [37] :

$$P = \frac{(M_w \cdot C_w) \cdot \Delta T_w}{\Delta t} \quad (\text{III.8})$$

III.4.2.3. Détermination du rendement énergétique du cuiseur

La première loi de la thermodynamique, donne le rendement énergétique (η) comme étant le rapport entre l'énergie de sortie (E_o) par rapport à l'énergie d'entrée (E_i). Le rendement énergétique d'un cuiseur solaire parabolique est calculé en utilisant l'équation (III.9) ci-dessous :

$$\eta = \frac{E_o}{E_i} = \frac{(MC)_w \cdot (T_{wf} - T_{wi})}{I_b \cdot \Delta t \cdot A_p} \quad (\text{III.9})$$

III.5. Etude expérimentale des cuiseurs solaires

III.5.1. Description des cuiseurs solaires utilisés

III.5.1.1. Cuiseur solaire boîte [4]

Le cuiseur conçu, sera tronqué de forme trapézoïdale de manière à avoir une surface d'ouverture inclinée (Fig III.7) dans le but d'éliminer l'ombrage exercé sur une partie importante de l'absorbeur, notamment en période hivernale où la hauteur du soleil est faible, ce qui permet d'augmenter considérablement la surface réceptrice par rapport au cuiseurs conventionnels. Les dimensions du cuiseur choisi sont les suivantes : 550 mm x 450 mm x 495 mm x 175 mm, les dimensions internes du boîtier, construit à base de vitres ; sont de 500 mm x 400 mm x 445 mm x 125 mm. Les constituants du cuiseur après réalisation sont les suivants : un boîtier en bois, surfaces intérieures réfléchissantes (miroirs), isolation entre les miroirs et le boîtier est un laine, une plaque absorbante en Aluminium teintée en noir, surface réceptrice vitrée (simple vitrage),

inclinée à 32°N , un ustensile de cuisson (pot) peint en noir mat, trois poignés rigides, un boîtier de dérivation facilitant l'acquisition de données [4].

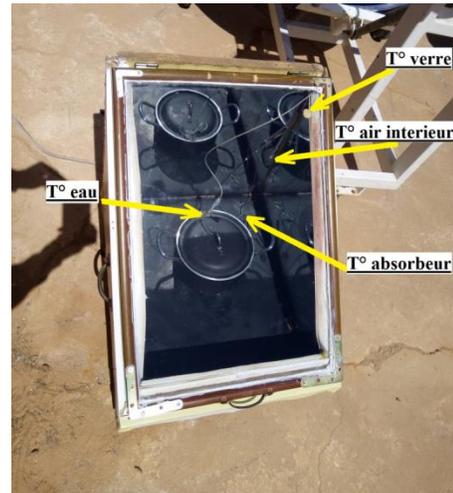
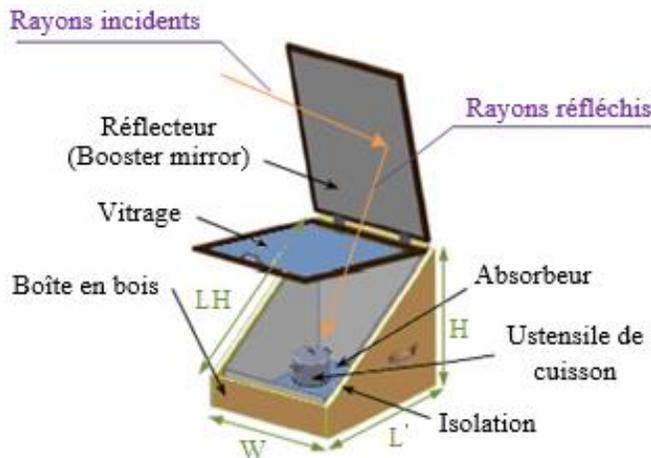


Figure III.7: Schéma de conception du cuiseur boîte et une vue prise lors du test à l'URAER

III.5.1.2. Cuiseur solaire parabolique

Comme le montre la figure III.8, le concentrateur solaire parabolique (PSC) se réfère aux systèmes à concentration en un point focal, il comprend le réflecteur et l'absorbant, dans lequel l'ustensile ; qui est l'absorbant, est placé dans la zone focale. La forme du concentrateur est du type parabolique ayant un diamètre d'ouverture de 0.9 m, la zone réfléchissante du concentrateur solaire est de 0.63 m^2 , la distance focale du concentrateur est de 0.5 m tandis que la zone focale du concentrateur est de 0.10 m^2 . Le rapport de concentration du concentrateur est calculé d'environ 20 dans lequel des petits segments de miroirs sont rassemblés pour former le collecteur, la réflectivité des segments de miroirs est de 0,80. Le pot de cuisson en aluminium (20 cm de diamètre et 10 cm de hauteur) rempli d'eau et équipé d'un couvercle noir a été placé au point focal du cuiseur.

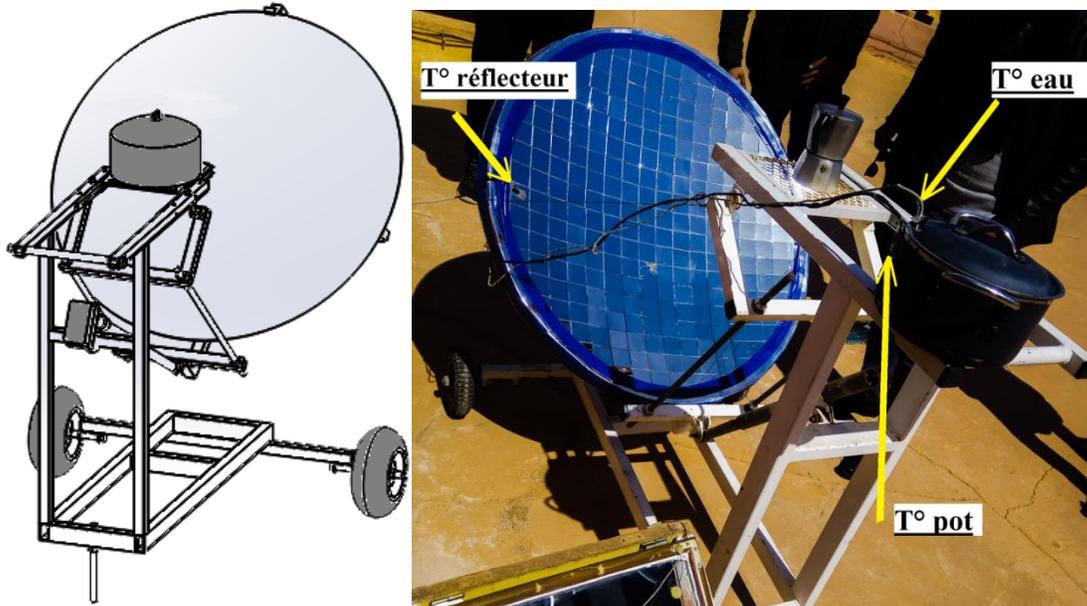


Figure III.8: Schéma de conception du cuiseur parabolique et une vue prise lors du test à l'URAER

III.5.2. Schéma synoptique de la chaîne de mesure

La figure III.9, ci-après 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 AGILENT 34972A, connectée à son tour à un micro-ordinateur par le baie d'un port USB. Le port USB, permet un grand nombre d'application avec une faible contrainte d'encombrement au point de vue fils de connexion [4].

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

- Thermocouple Type K pour mesurer les températures à différents endroits du cuiseur.
- Pyranomètre pour mesurer l'éclairement solaire.
- Station météorologique (mesure des paramètres climatiques ...etc.).
- Unité d'acquisition de donnée de type Agilent 34972A.

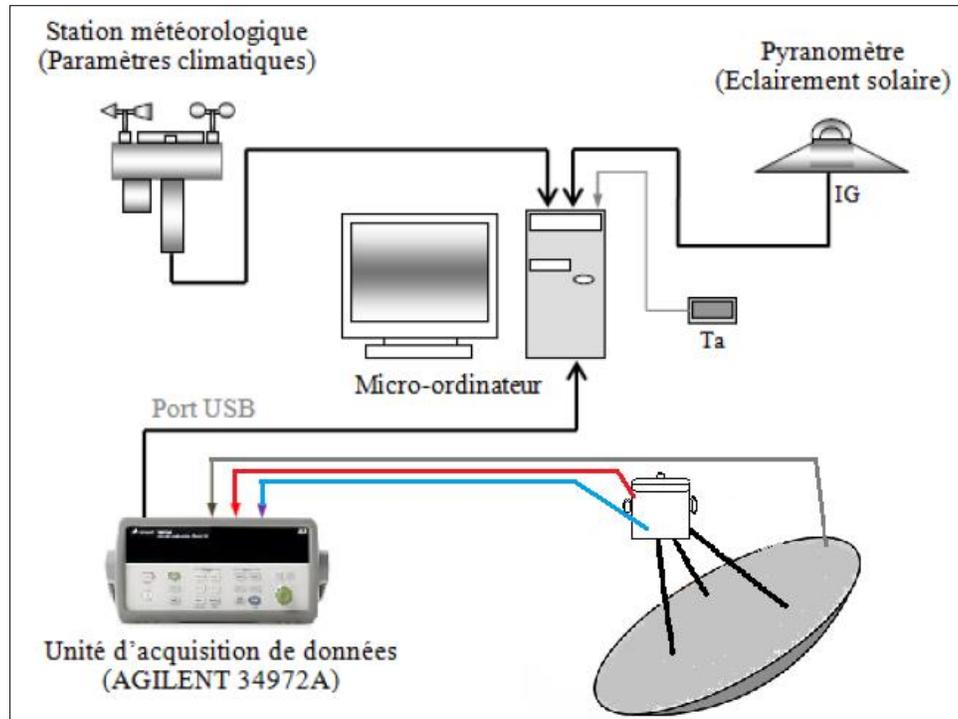


Figure III.9: Schéma synoptique de l'installation de cuiseur solaire parabolique

III.5.3. 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. 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, une station météorologique professionnelle pour la mesure de la vitesse, la direction du vent et l'humidité. Les données collectées ; en temps réel, sont affichées sous forme numérique et graphique (Fig III.10) et sauvegardées sur un fichier qu'on peut importer sur Excel.



Figure III.10: Visualisation des températures sur un micro-ordinateur connecté à une unité d'acquisition de donnée

III.6. Résultats obtenus et discussion

Cette partie concerne l'expérimentation d'un cuiseur solaire parabolique réalisé à l'URAER, Ghardaïa. Les profils des températures de cuiseur solaire mesurés expérimentalement et relevés à l'extérieur (en plein air) pour comparaison avec les tests d'un autre cuiseur solaire à boîte existe déjà (tests fait à l'unité de Ghardaïa) [4], selon les conditions des tests (tests avec charge d'eau).

III.6.1. Tests et ajustement des cuiseurs

III.6.1.1. Description des tests effectués

Les tests expérimentaux ont été réalisés à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables affiliée au Centre de Développement des Energies Renouvelables, située à Ghardaïa, Sud de l'Algérie (32.39 °N, 3.78 °E, 463 m au niveau de la mer) de 9 h à 15 h (ALT). Au cours de la période expérimentale, la température ambiante (T_a), la température de l'eau dans le pot (T_w), la température sur la surface externe du l'ustensile (T_p) et la température sur la surface interne du réflecteur (T_r) aussi la température de la plaque absorbante et de l'air, l'éclairement solaire direct normal incident sur le concentrateur (I_N), et la vitesse du vent (W_s) ont été relevés et enregistrés à un intervalle de temps régulier. L'éclairement solaire global incident a été mesuré à l'aide d'un pyranomètre Kipp & Zonen CMP21 et l'éclairement solaire direct normal est mesuré avec un pyréliomètre K & Z CHP1, en W/m^2 . La vitesse du vent (en m/s) a été mesurée en

utilisant un anémomètre NRG 40H. La précision de l'anémomètre est de l'ordre de $1\% \pm 0.1$ m/s. Pour les tests retenus, la vitesse du vent a toujours été inférieure à 1.3 m/s, elle est reconnue comme faible ; ainsi, l'effet du vent et sa direction est négligeable et sans effet sur nos mesures. La température ambiante (en °C) et l'humidité relative (en %) ont également été mesurées avec un capteur de température du type Campbell CS215 et une sonde de mesure d'humidité ainsi qu'une station météorologique. Trois thermocouples sont placés à des endroits spécifiques et différents du cuiseur parabolique et sont utilisés pour mesurer la température au niveau du réflecteur et de l'absorbeur. Un thermocouple spécial a été inséré depuis un trou percé dans le couvercle de l'ustensile peint en noir et immergé dans l'eau à l'intérieur de l'ustensile de cuisson à 20 mm au-dessus du fond de celui-ci. La mesure des paramètres climatiques et expérimentaux est ensuite réalisée à travers le système d'acquisition de données par ordinateur (data-logger AGILENT 34972A) pour un intervalle de 5 minutes.

III.6.1.2. Temps d'ajustement des cuiseurs

La quantité d'énergie produite par les cuiseurs solaires dépend de la quantité de lumière à laquelle ils sont exposés. Étant donné que la position du soleil change pendant la journée et afin de collecter un maximum de rayonnement solaire, les cuiseurs solaires doivent être réorientés en continu vers le soleil, en suivant sa course pendant la cuisson.

Si l'on considère les deux principaux types de cuiseurs : paraboliques et boîtes, le suivi continu reste difficile, en particulier lorsque le cuiseur est chargé (types boîtes) et lorsqu'un dispositif de suivi manuel est utilisé (types paraboliques). Un système automatique de suivi du soleil utilisant des vérins électriques ou des moteurs n'est pas intéressant pour des raisons de rentabilité dans le cas de la boîte et en raison du coût et de la complexité dans le cas des cuiseurs paraboliques. Dans la plupart des cas, un suivi manuel est effectué à différents intervalles pendant le temps de cuisson. Les performances optiques et thermiques des cuiseurs solaires peuvent être optimisées si les cuiseurs sont orientés efficacement ; de telle sorte que les rayons solaires incidents tombent sur les récepteurs avec un angle d'incidence nul, donc les pertes optiques seront minimisées (Fig III.11). Les CSB suivent les mouvements du soleil manuellement pendant 15 min d'intervalle et les CSP chaque 10 min de temps [4].

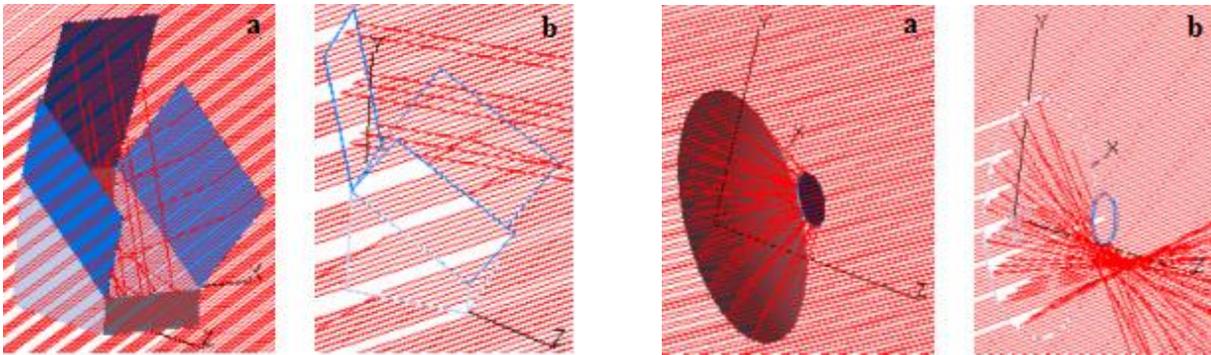


Figure III.11: Schéma de la trajectoire des rayons solaires incidents sur les cuiseurs dans cas d'une bonne orientation et d'une absence d'orientation (déviation des rayons)

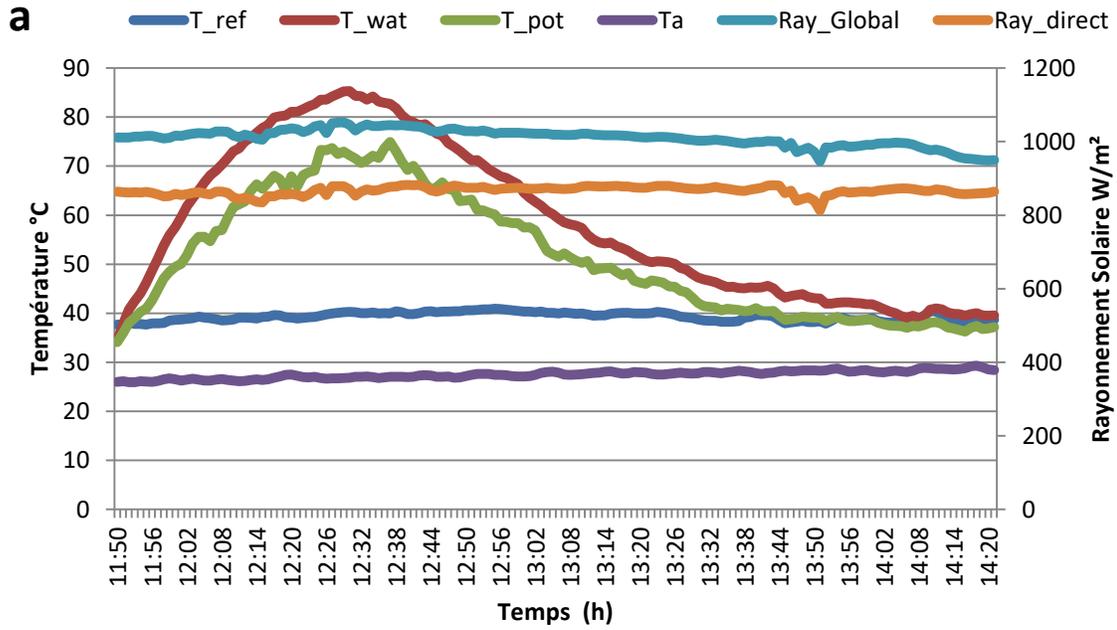
III.6.2. Tests standardisés des cuiseurs

III.6.2.1. Profils des températures de l'eau

Des tests de chauffage de l'eau sont réalisés selon la procédure de Mullick. La charge totale de l'eau est de 8 kg/m² de surface d'ouverture, pour la surface d'ouverture de notre cuiseur (0.2 m²), la charge totale de l'eau est estimée à 1.6 kg. Les températures de l'absorbeur, de l'eau dans les pots, de la température ambiante et de l'éclairement solaire, pour un ciel clair, en fonction du temps (voir annexe Tableau 2) sont présentées sur la figure III.12b, pour une saison d'été. La figure III.12b montre que durant le test d'été ; débuté à 10 h 05 min à une température initiale de l'eau égale à 33.9 °C et une température ambiante égale à 30.8 °C, la température de l'absorbeur atteint sa valeur maximale d'une manière assez rapide à 12 h avec 135 °C, un temps de 70 min était nécessaire pour arriver à une température d'eau de 91 °C [4].

Comme indiqué sur la figure III.12 a, les valeurs maximales de l'éclairement solaire global incident sur un plan horizontal étaient de 1027 W/m² (voir annexe Tableau 1), pendant un jour typique de mois de mars. Les températures maximales de l'air ambiant étaient 30 °C enregistrées à 14h30 heures solaires. Pendant la période expérimentale, la température de l'eau T_w dans le pot augmente à mesure que le rayonnement solaire extérieur augmente aussi pour atteindre son maximum de 86 °C à 12h30. La température journalière moyenne de l'eau de 11h49 à 14h21 atteinte 64 °. Le plus important est qu'une température de 77°C, adaptée à la cuisson des aliments par ébullition, est atteinte juste après 23 minutes du début des tests.

25 mars 2019



26 mars 2014

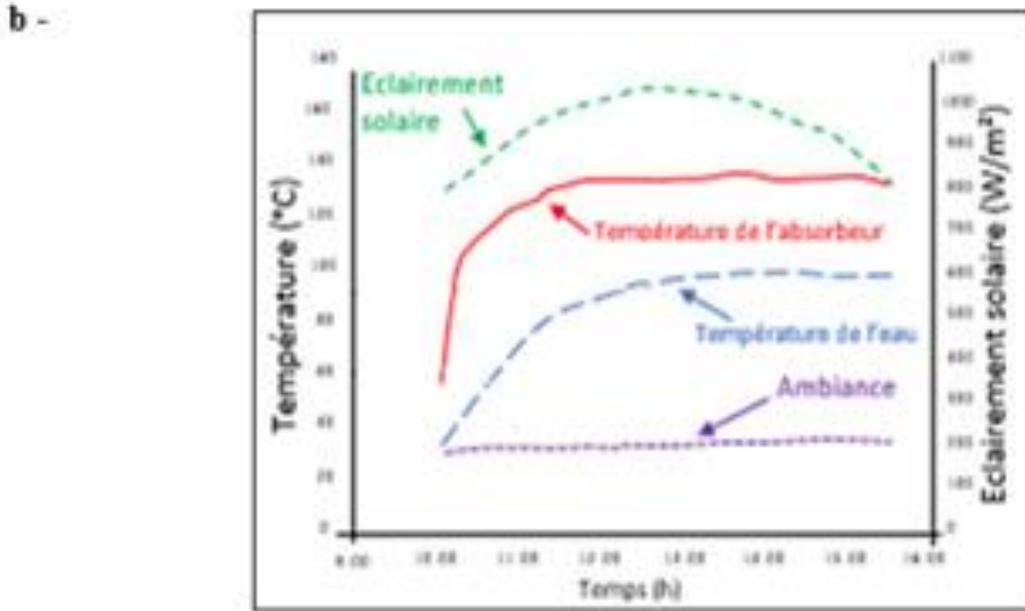


Figure III.12: Variation de la température de l'eau dans l'ustensile, la température de l'air ambiant, et l'ensoleillement à Ghardaïa : (a) CSP, (b) CSB

III.6.2.2. Comparaison entre les deux types de cuiseurs

Les tests qui ont été fait [4] pour les deux cuiseurs sans charge d'eau dans l'ustensile sont laissés exposés au rayonnement solaire entre 9 h et 16 h. Les températures de l'air à l'intérieur des ustensiles ont été enregistrées chaque intervalle de 5 min jusqu'à atteindre l'état de stagnation. Les valeurs de l'intensité de l'éclairement solaire (I_N , I_B) et de la température ambiante (T_a) ont également été mesurées. Les résultats de ce test sont illustrés sur la courbe de la figure III.13a.

A partir de la courbe de la figure III.13a, il est clair que la température de l'air dans des deux ustensiles prend beaucoup de temps pour arriver à la stagnation (un peu près 3 heures), ceci est dû principalement aux valeurs de l'éclairement solaire direct I_B et direct normal I_N qui restent perturbées pendant la journée de test à cause des passages nuageux intermittents. Néanmoins, on peut remarquer que la température de l'air dans l'ustensile du cuiseur parabolique est nettement supérieure à celle de l'ustensile du cuiseur boîte, elle dépasse les 100 °C dès le début de la journée et atteint les 120 °C juste après 11h du matin où la pression dans l'ustensile augmente et la vapeur d'eau s'accumule. Ceci est un point positif pour le cuiseur parabolique puisque ces valeurs de températures seront transmises au fluide (qui est de l'eau) durant la cuisson. Des valeurs élevées de la température de l'air sont donc souhaitées et favorisées.

Pendant le second test, les cuiseurs solaires ont été chargés d'une quantité d'eau bien déterminée (1 L). Selon la Normes BIS, cette expérience doit être menée avec une intensité d'éclairement solaire supérieure ou égale à 600 W/m². Il est également recommandé que la quantité de la charge d'eau doive être calculée en fonction de 8 kg d'eau/m² du cuiseur et doit être également répartie dans les récipients. La figure III.13 présente la variation des températures de l'eau avec le temps, dans les ustensiles de cuisson pour les mêmes conditions de test de chaleur sensible pendant une journée ensoleillé [37].

Pour le test de chauffage de l'eau, résultats de la figure III.13 ; on pourra remarquer que les valeurs d'éclairement solaire (I_N , I_B), dépassant les 700 W/m² durant les moments de cuisson et des températures ambiantes moyenne journalières de 29 °C. On pourra remarquer que les températures acquise par l'eau dans les deux cuiseurs sont transmises à l'eau après un certain intervalle de temps, l'eau sera ensuite chauffée à cet effet. Ceci est justifié par le faite que le cuiseur parabolique est un cuiseur à concentration par rapport au cuiseur boîte [37].

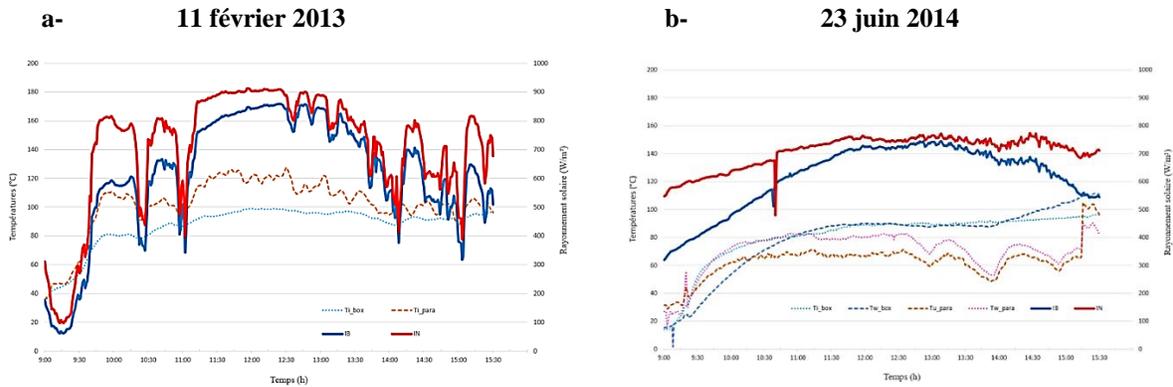


Figure III.13: Variation des températures de l'air et de l'eau mesurées à l'intérieur des ustensiles des cuiseurs pour deux états différents du ciel : (a) nuageux, (b) clair [37]

III.6.3. Tests caractérisant les deux cuiseurs [4]

Les variations de l'éclairement solaire global incident sur le plan horizontal de l'absorbeur (I_s), la température ambiante (T_a) et la température de la plaque absorbante du cuiseur (T_p), mesurées dans des conditions de test de stagnation, sans charge et sans réflecteurs, par ciel clair et en absence du vent, sont représentées sur la figure III.14, pour la saison d'été. Pour ce test expérimental de stagnation, la première figure of merit F1 est calculée avec les valeurs de $T_{as} = 28.1$ °C, $T_{ps} = 134.4$ °C et $I_s = 824.3$ W/m² comme étant 0.129 m²°C/W [4].

La valeur correspondante pour F2, calculée à partir des profils thermiques de températures estivales (Fig III.14) s'élève à 0.333 (en utilisant $\bar{I}_s = 969.2$ W/m², $\bar{T}_a = 32.1$ °C, $T_{wi} = 62.8$ °C, $T_{wf} = 90.2$ °C, $\tau = 70$ min et $F1 = 0.129$ m²°C/W) [4].

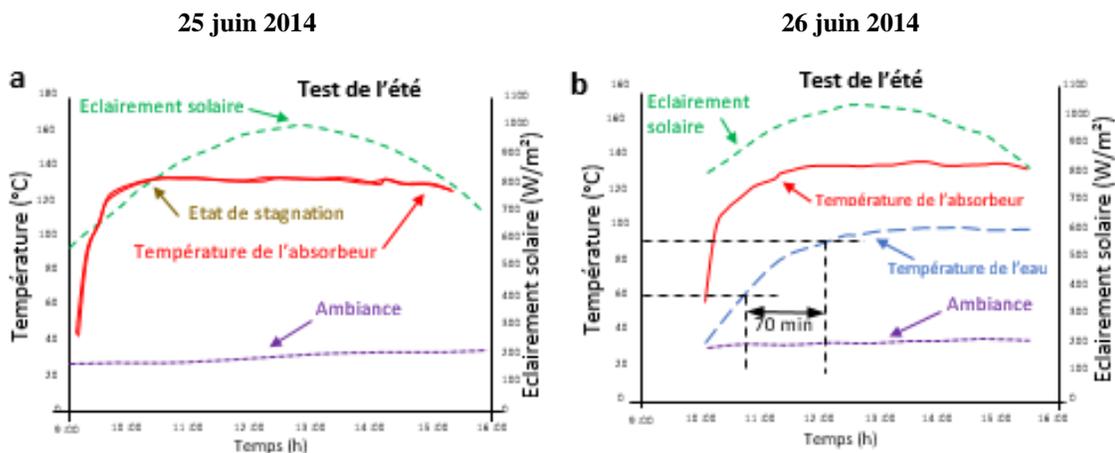


Figure III.14: Variations journalières de l'éclairement solaire et des profils des températures mesurées, sous des conditions de test de : (a) stagnation, (b) chaleur sensible, pour un jour d'été

Selon Mullick et al. , la première figure of merit F1 varie entre 0.12 et 0.16. Une valeur élevée de F1 indique un bon rendement optique η_0 et un faible facteur de pertes en chaleur UL. La seconde figure of merit F2 varie entre 0.254 et 0.490 en fonction de la charge et du nombre d’ustensiles utilisés (Mullick et al.). Une valeur élevée de F2 (0.391) indique une bonne efficacité de transfert de chaleur depuis la plaque d'absorbeur et l'air intérieur vers le contenu du récipient de cuisson [37].

III.6.4. Puissance de cuisson

III.6.4.1. Puissance de cuisson tracée pour le cuiseur boîte [37]

La surface d'interception calculée de notre cuiseur est de 0.266 m², la charge de l'eau pour le test de puissance de cuisson (Fig III.15) est prise donc égale à 1 kg réparti uniformément. Les valeurs de puissance de cuisson ajustée en fonction de la différence de température entre l’eau et l’ambiance (ΔT) sont représentées sur la figure III.15b [37].

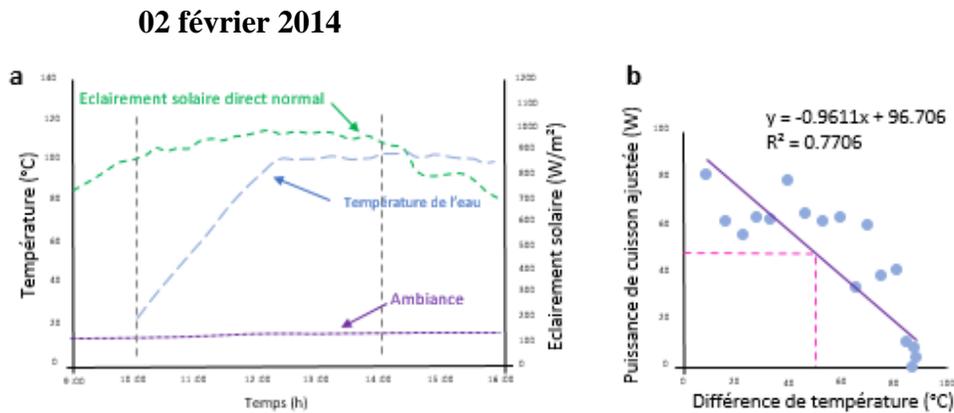


Figure III.15: Expérimentation de la puissance de cuisson du cuiseur solaire réalisé: (a) variations journalières de l’éclairement direct normal et des températures de l’eau mesurées; (b) puissance de cuisson ajustée en fonction de la différence de température

A partir de la courbe de puissance de cuisson ajustée on obtient la valeur de puissance de cuisson initiale $P_{ini} = 97$ et la valeur de puissance de cuisson standardisée $P_{adj} = 48$ W. Le coefficient de perte obtenu à partir de la pente de la droite de régression est estimé à 0.96 W/°C et la valeur du coefficient de régression linéaire de détermination $R^2 = 0.77$, satisfait aux Normes des tests (meilleurs que 75 %) [37]. La relation suivante est déduite pour notre cuiseur solaire boîte réalisé :

$$P_{adj} = 96.706 - 0.961(\Delta T) \quad (III. 10)$$

III.6.4.2. Puissance de cuisson tracée pour le cuiseur parabolique

Afin d'évaluer les paramètres de performance thermiques associés, une courbe entre la puissance de cuisson P et le rapport de la différence de température par l'intensité a été tracée. La pente de la ligne donne la valeur du coefficient global de perte de chaleur UL , tandis que le gradient de la ligne représente la puissance de cuisson du cuiseur parabolique.

La figure III.16 représente la variation de la puissance de cuisson ajustée P_s , du cuiseur solaire parabolique obtenue à partir des tests chauffage suivant la méthode de Funk. On peut observer que la puissance de cuisson ajustée calculée P_s , est de 170 W.

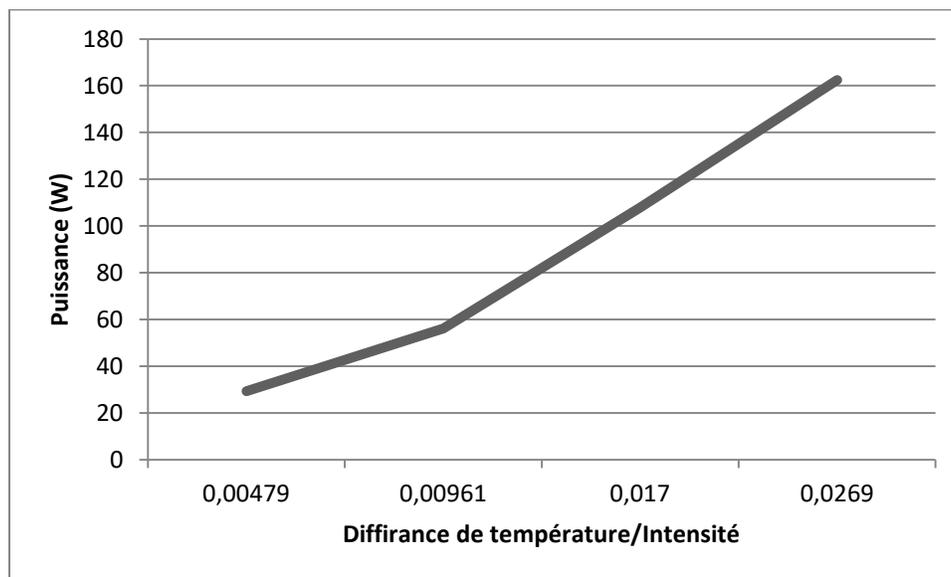


Figure III.16: Puissance de cuisson ajustée en fonction de la (ΔT) pour les tests de chauffage effectués sur le cuiseur solaire parabolique.

III.6.5. Rendement des cuiseurs

III.6.5.1. Rendement calculé pour le cuiseur boîte [4]

L'effet de la différence de température sur le rendement énergétique du cuiseur boîte est illustré sur la figure III.17 pour le test réalisé sans réflecteur. Suivant ces résultats ; pour une charge d'eau de 2 L, le rendement énergétique du cuiseur varie entre 6.45 et 18.82 %, quand la température de l'eau enregistre une variation entre 40 et 90 °C. Le rendement journalier moyen au cours de la période expérimentale (10 h et 16 h) est calculé comme étant 12.27 %. Ces résultats sont en parfaite cohérence avec ceux trouvés par Todd et Miller en 2001, ces derniers

ont constaté que le rendement moyen des cuiseurs boîtes sont de 8 à 22 %, pour les meilleures conceptions.

Nous avons tracé une régression linéaire des points pour trouver la relation entre le rendement énergétique et la différence de température. D'après les courbes, nous avons constaté que le rendement énergétique est un polynôme du 2ème ordre pour les deux cas, les valeurs des rendements énergétiques diminuent quand la différence de température augmente. Le rendement énergétique en fonction de la différence de température pour notre cuiseur testé à Ghardaïa est donné par les équations (III.11) pour le test réalisé [4].

$$\eta = -0.005(\Delta T^2) + 0.321(\Delta T) + 11.208 \quad (\text{III.11})$$

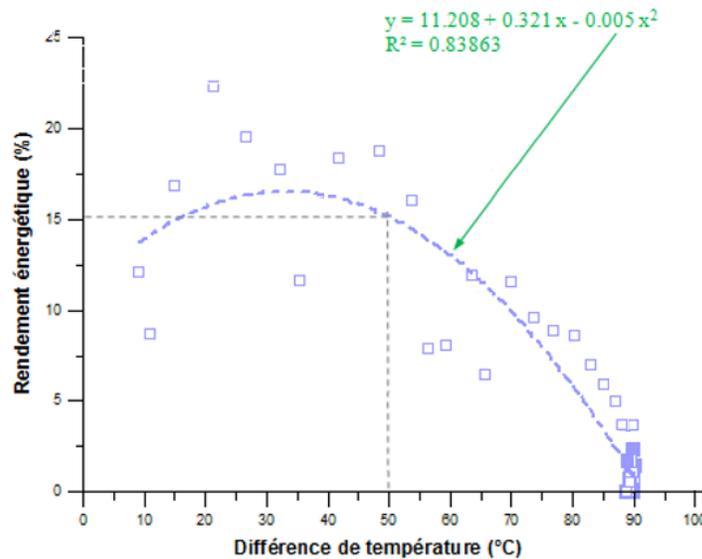


Figure III.17: Effet de la différence de température sur le rendement énergétique du cuiseur boîte [4].

III.6.5.2. Rendement calculé pour le cuiseur parabolique

La figure III.18 illustre la droite du rendement instantané du cuiseur solaire parabolique en fonction de $(\Delta T / I_n)$, au cours du test. Le rendement thermique était initialement nul, puis augmente jusqu'à atteindre la valeur maximale 0.42, en raison de l'augmentation de la différence de température avec l'intensité du rayonnement solaire.

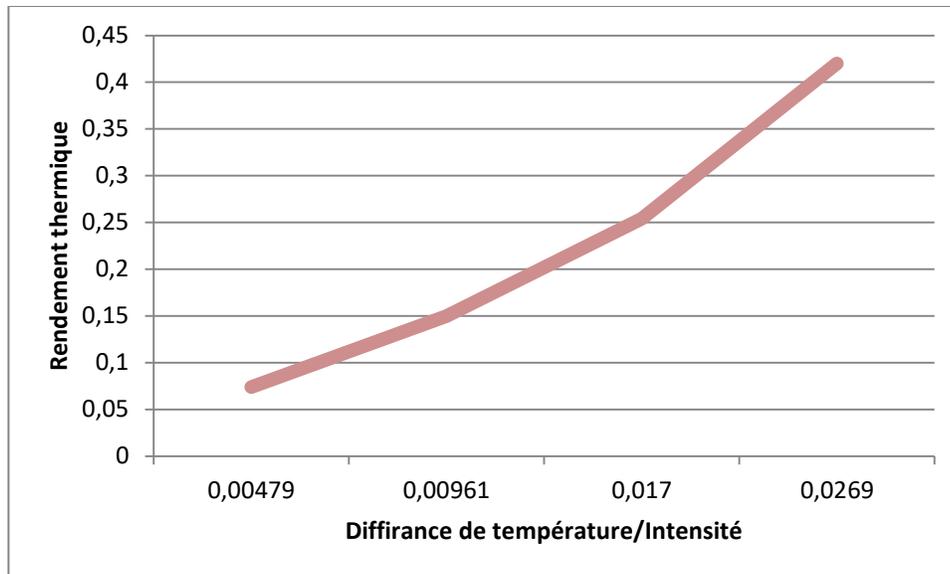


Figure III.18: Rendement instantané en fonction de $(\Delta T/I_n)$ pour le test effectué sur le cuiseur solaire parabolique.

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, une évaluation des performances par analyse des profils thermiques de deux cuiseurs solaires (parabolique et boîte) est effectuée. Les résultats des tests effectués sur les deux cuiseurs sont illustrés et discutés. Une comparaison entre le cuiseur boîte et parabolique est réalisée afin de démontrer l'efficacité de ces cuiseurs à accomplir la tâche de cuisson. A partir des résultats des tests, il est démontré que le temps pour atteindre la stagnation est plus court dans les cuiseurs parabolique, ceci à un bénéfice sur les temps de cuisson qui sont réduits. 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.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'énergie solaire et, par conséquent, le rayonnement solaire résultent du processus de fusion nucléaire qui se déroule au Soleil. Cette énergie est la principale source d'énergie et, par conséquent, le moteur qui déplace notre environnement. L'énergie solaire que nous recevons par rayonnement solaire est directement ou indirectement responsable d'aspects aussi importants pour la vie que la photosynthèse, en maintenant une température sur la planète compatible avec la vie, le vent, etc. L'énergie solaire qui atteint la surface de la Terre est 10 000 fois plus grande que l'énergie actuellement consommée par toute l'humanité.

L'énergie solaire présente divers avantages. Elle fait partie des énergies renouvelables permettant de produire de l'électricité sans matière première et sans impact sur l'environnement. Elle peut être utilisée pour répondre à un large éventail de besoins (alimenter les appareils électroménagers, le système de chauffage, la chaudière...).

Apparue dans les années 1970, la cuisine solaire consiste à préparer des plats à l'aide d'un cuiseur ou d'un four solaire. Les petits fours solaires permettent des températures de cuisson de l'ordre de 150 °C, les paraboles solaires permettent de préparer les mêmes plats qu'une cuisinière classique à gaz ou électrique.

L'utilisation de l'énergie solaire pour la cuisson des aliments, au-delà d'être gratuite et abondante sur certaines zones géographiques, permet également de réduire la déforestation dans certains pays où la cuisine au bois et au charbon est la norme. Elle permet par la même occasion la diminution des émissions de CO₂ dans l'atmosphère, d'environ 4 tonnes de CO₂ par an pour une famille africaine cuisinant au bois par exemple.

Dans ce contexte et dans le cadre de ce travail. Nous avons fait une étude de comparaison entre deux cuiseurs solaires : Type parabolique avec un autre à boîte comme référence. Pour cela, un aperçu de l'histoire de la cuisine solaire avec son évolution à travers les âges a été présenté. Ensuite, on a étudié les caractéristiques de cuiseur solaires type parabolique et les comparés avec celui à boîte (donnée); ainsi que leurs fonctionnement, Par exemple :

Le cuiseur boîte consiste en une enceinte fermée et isolée thermiquement équipée d'une fenêtre vitrée par laquelle la lumière du soleil pénètre, échauffant l'intérieur. Comme l'enceinte est isolée, la température à l'intérieur s'élève jusqu'à permettre la cuisson des aliments qui y sont

déposés « l'effet de serre » que l'on peut observer dans une voiture garée au soleil. Des réflecteurs peuvent permettre d'augmenter la quantité de lumière pénétrant par la fenêtre.

Et le cuiseur parabolique utilise le principe de la concentration des rayons par des miroirs. Grâce à sa forme parabolique et à sa surface réfléchissante, la parabole concentre en son centre (son foyer) tous les rayons du soleil. L'énergie solaire est donc concentrée sur votre plat en préparation.

Après les expériences et les observations que nous avons faites sur chacune d'elles et après les résultats obtenus, nous avons conclu que :

Les cuiseurs paraboliques permettent la cuisson de toute sorte de plats, avec un temps plus rapide que les cuiseurs boîtes. Et pour obtenir un rendement optimum, les paraboles nécessitent un ajustement plus fréquent. Contrairement le cuiseur à boîte, il est moins praticable que le parabolique puisqu'il ne permet pas d'exercer toute sorte de cuisson voulue et prend un temps beaucoup plus long

L'utilisation d'un four solaire en appoint peut faire réaliser des économies sur la facture de consommation d'énergie, et aussi un bon ami de l'environnement. Pour cela, il est important que le pays commence à maîtriser cette technologie pour bénéficier de ses avantages à l'avenir, équilibrer sa consommation en introduisant de plus en plus l'énergie solaire thermique et des énergies renouvelables en terme général. Un pays comme l'Algérie pourra donc dégager d'énormes quantités de gaz naturel pour l'exportation du faite de l'intégration et de l'investissement dans ce genre de projet.

Annexe

Tableau 1 : Résultats de variation des températures et rayonnement solaire par le temps (type parabolique) 25 mars 2019

Temps	T_ref	T_wat	T_pot	Ta	Ray_Global	Ray_Direct
11:50	37,686	34,37	34,113	26,04	1011,419	864,022
11:51	37,704	37,867	35,977	26,13	1011,403	862,7596
11:52	38,013	40,804	38,045	25,95	1011,568	861,2903
11:53	37,832	42,479	39,027	25,97	1013,476	862,4816
11:54	37,834	44,029	40,297	26,13	1013,601	861,5219
11:55	37,672	46,18	40,95	26,1	1015,566	863,1557
11:56	37,94	48,801	42,71	26,04	1015,071	860,9412
11:57	37,946	51,197	44,869	26,21	1012,437	856,714
11:58	38,024	53,791	47,075	26,5	1008,942	851,3333
11:59	38,542	55,92	48,462	26,74	1009,908	852,0068
12:00	38,639	57,63	49,508	26,53	1016,157	858,1767
12:01	38,735	59,644	50,069	26,3	1015,538	854,9669
12:02	38,881	61,831	51,846	26,47	1018,916	857,0758
12:03	38,995	63,468	54,209	26,66	1021,924	860,6003
12:04	39,291	65,084	55,587	26,48	1023,57	862,0342
12:05	39,084	66,71	55,597	26,29	1022,264	858,7297
12:06	38,953	68,14	54,688	26,28	1021,524	856,7356
12:07	38,771	69,07	56,766	26,48	1027,68	864,4338
12:08	38,544	70,325	56,946	26,56	1027,194	864,2554
12:09	38,567	71,598	59,474	26,37	1026,671	860,7243
12:10	38,71	73,066	61,703	26,24	1016,177	848,7733
12:11	39,112	73,653	62,237	26,15	1011,761	843,1052
12:12	39,145	75,058	62,773	26,23	1019,296	847,967
12:13	39,05	75,8	64,989	26,37	1014,887	843,3046
12:14	38,936	76,84	66,32	26,53	1007,374	836,6205
12:15	39,222	77,815	65,411	26,39	1004,749	834,7645
12:16	39,309	78,419	66,606	26,52	1022,156	852,0766

12:17	39,609	79,914	68,031	26,82	1023,019	851,2436
12:18	39,582	80,214	67,333	27,1	1031,702	856,9061
12:19	39,153	80,289	65,087	27,41	1032,907	855,6016
12:20	39,133	81,091	67,901	27,5	1036,117	858,3737
12:21	38,901	81,114	65,936	27,22	1033,231	855,1448
12:22	39,062	81,604	68,181	26,95	1026,063	849,3453
12:23	39,194	82,175	68,742	26,91	1030,951	856,449
12:24	39,239	82,668	69,112	27,02	1041,464	868,4558
12:25	39,51	83,574	73,319	26,81	1045,315	874,6762
12:26	39,755	83,584	73,222	26,63	1023,121	854,3447
12:27	39,965	84,201	73,674	26,71	1050,105	878,4145
12:28	40,071	84,732	72,47	26,73	1051,457	878,8135
12:29	40,223	85,271	72,964	26,78	1052,28	878,7234
12:30	40,314	85,286	72,195	26,82	1045,952	870,2133
12:31	40,186	84,321	71,575	27,02	1030,121	853,2322
12:32	40,026	84,295	70,615	27,07	1040,695	864,4514
12:33	40,01	83,586	71,233	27,13	1046,548	869,7727
12:34	40,127	84,227	72,15	26,95	1042,416	867,0949
12:35	39,948	83,194	71,697	26,8	1042,367	868,6805
12:36	40,029	82,877	73,663	26,89	1044,315	873,2322
12:37	39,949	82,721	74,934	27,03	1044,905	876,9434
12:38	40,385	81,815	73,008	27,03	1043,827	877,7012
12:39	40,198	80,384	70,935	27,06	1045,093	881,5291
12:40	39,839	79,41	69,23	27,01	1043,455	882,4413
12:41	39,824	78,962	70,07	27,03	1041,142	881,2012
12:42	40,055	78,332	68,364	27,28	1040,751	881,8705
12:43	40,366	78,583	66,497	27,38	1035,936	876,1467
12:44	40,424	77,595	65,133	27,32	1029,479	867,4075
12:45	40,213	76,601	65,717	27,05	1026,723	863,7292
12:46	40,322	76,248	66,72	27,07	1029,407	868,3546
12:47	40,333	74,673	65,294	27,09	1034,169	876,3867

12:48	40,444	73,986	65,103	26,85	1035,45	880,3795
12:49	40,428	73,087	62,878	26,92	1031,943	877,8008
12:50	40,617	72,155	62,96	27,16	1028,072	874,2078
12:51	40,625	71,179	63,166	27,46	1028,491	874,8839
12:52	40,699	71,21	61,031	27,62	1027,57	874,1525
12:53	40,819	70,314	60,986	27,64	1029,813	876,7103
12:54	40,808	69,371	60,504	27,61	1026,942	873,0193
12:55	40,92	68,665	60,151	27,43	1021,631	868,1151
12:56	40,863	67,932	58,696	27,45	1024,439	871,9964
12:57	40,742	67,575	58,66	27,39	1024,51	872,9958
12:58	40,578	66,94	58,37	27,15	1024,401	873,9892
12:59	40,487	66,327	58,383	27,12	1024,093	874,0717
13:00	40,344	64,636	57,469	27,1	1023,581	873,4637
13:01	40,366	63,593	57,557	27,17	1022,677	872,2068
13:02	40,248	62,749	56,885	27,42	1021,467	871,6561
13:03	40,322	61,946	54,807	27,83	1021,747	872,9337
13:04	40,075	60,862	52,671	28	1021,444	874,1719
13:05	40,067	60,187	52,047	28,07	1019,28	872,9398
13:06	39,979	59,313	51,485	27,86	1018,701	872,3129
13:07	40,184	58,544	52,249	27,52	1017,889	871,3752
13:08	40,053	58,132	51,377	27,46	1018,024	871,8236
13:09	39,897	57,89	50,74	27,52	1019	873,6514
13:10	39,927	57,424	50,293	27,55	1021,347	877,7474
13:11	39,784	55,989	50,686	27,71	1021,545	879,7949
13:12	39,48	55,04	48,795	27,8	1019,38	878,9447
13:13	39,57	54,456	49,114	27,86	1017,978	877,6813
13:14	39,557	54,263	49,19	28,09	1017,152	877,6196
13:15	39,888	54,431	49,308	28,16	1016,926	878,3856
13:16	40,012	53,628	48,394	27,87	1017,102	879,7029
13:17	40,08	53,241	47,728	27,7	1016,182	878,3425
13:18	40,079	52,718	48,17	27,74	1015,141	877,5341

13:19	39,978	51,949	46,664	28,04	1013,45	875,6494
13:20	39,946	51,392	46,27	27,95	1011,645	874,5455
13:21	39,938	50,709	45,997	27,89	1010,854	874,8283
13:22	40,038	50,379	46,675	27,62	1012,009	877,4364
13:23	40,271	50,605	46,508	27,52	1012,729	879,3126
13:24	40,156	50,523	46,283	27,51	1012,468	879,6563
13:25	39,934	50,389	45,481	27,65	1012,365	880,083
13:26	39,701	50,058	45,427	27,77	1010,023	877,3079
13:27	39,334	49,227	44,543	27,86	1008,27	875,2714
13:28	39,194	48,895	44,291	27,74	1005,571	872,547
13:29	39,049	47,98	43,176	27,69	1004,551	871,7128
13:30	38,722	47,315	42,113	27,77	1002,811	870,7393
13:31	38,531	46,918	41,453	28,05	1002,322	871,7601
13:32	38,481	46,625	41,352	28,02	1003,031	873,8069
13:33	38,476	46,293	41,198	27,88	1004,824	876,6422
13:34	38,287	45,772	40,52	27,74	1003,026	874,0202
13:35	38,267	45,355	40,908	27,93	1001,538	872,2802
13:36	38,273	45,399	40,812	28,1	999,3446	869,6922
13:37	38,413	45,128	40,67	28,25	996,2574	866,5123
13:38	39,098	45,057	40,417	28,16	994,8957	865,799
13:39	39,273	45,265	40,554	28,01	997,0657	869,0167
13:40	39,66	45,188	41,067	27,78	999,1174	872,2689
13:41	39,608	45,281	40,4	27,65	999,1139	874,72
13:42	39,55	45,627	40,389	27,81	1001,69	880,1218
13:43	39,353	45,114	40,451	27,91	1000,758	881,0793
13:44	38,585	44,01	39,497	28,13	1000,531	880,9224
13:45	37,974	43,234	38,64	28,3	983,7752	859,8815
13:46	38,128	43,522	38,773	28,18	996,136	867,1247
13:47	38,298	43,733	39,011	28,22	971,8013	838,7592
13:48	38,484	43,927	39,33	28,37	977,5946	844,0118
13:49	38,213	43,341	39,193	28,34	983,5228	848,8368

13:50	38,224	43,062	39,068	28,36	972,2392	840,0617
13:51	38,399	43	39,11	28,3	946,2751	812,9629
13:52	37,851	41,979	38,393	28,34	984,7772	853,2604
13:53	38,446	41,998	38,824	28,59	983,8713	854,8376
13:54	39,21	42,193	39,274	28,71	988,8086	862,4793
13:55	39,079	42,253	38,665	28,42	990,0891	865,0956
13:56	38,662	42,201	38,369	28,11	986,0095	861,5978
13:57	38,599	42,083	38,371	28,15	987,0062	862,7949
13:58	38,626	42,032	38,566	28,36	988,9928	863,706
13:59	38,655	41,835	38,702	28,41	990,8336	864,0439
14:00	38,954	41,849	38,656	28,18	991,2998	863,1445
14:01	38,428	41,366	38,069	28,04	994,4986	867,0382
14:02	38,19	40,884	37,73	27,97	995,2595	868,465
14:03	38,102	40,352	37,499	28,13	995,8248	870,1266
14:04	38,121	39,994	37,447	28,31	996,9966	871,8755
14:05	38,055	39,461	37,361	28,17	996,7714	872,5431
14:06	38,305	39,137	37,063	28,02	995,8446	873,0236
14:07	38,801	39,511	37,417	28,3	992,2401	871,1592
14:08	38,858	38,998	37,288	28,71	986,472	868,3652
14:09	39,544	39,448	37,614	28,89	980,9534	866,0807
14:10	40,412	40,752	38,107	28,81	976,9614	865,4915
14:11	40,388	41,013	38,208	28,69	978,3635	869,9557
14:12	39,664	40,811	37,794	28,68	974,7216	868,5384
14:13	38,875	40,182	37,081	28,58	969,4258	865,5569
14:14	38,642	39,875	36,911	28,56	962,4219	860,6649
14:15	38,265	39,831	36,615	28,6	957,3676	857,6218
14:16	37,824	39,515	36,244	28,83	954,4424	857,2548
14:17	38,194	39,841	37,068	29,18	952,9123	858,4164
14:18	38,564	40,025	37,404	29,29	951,4581	859,0115
14:19	38,024	39,56	36,786	28,98	949,6562	859,3676
14:20	38,279	39,529	36,903	28,57	948,9428	860,662

14:21	38,739	39,574	37,194	28,4	950,0033	864,0462
-------	--------	--------	--------	------	----------	----------

Tableau 2 : Résultats de variation des températures et éclairement solaire moyen en fonction du temps (type à boîte) 26 juin 2014

Temps	T_pot	T_w	Ta	Eclairement Direct
10:05	56,594	33,908	30,815	800,67145
10:10	89,131	35,706	30,88	813,2914
10:15	98,26	40,007	30,98	822,5531
10:20	103,992	44,501	31,08	831,8148
10:25	108,719	48,731	31,25	845,26155
10:30	113,201	52,652	31,42	858,7083
10:35	114,8	56,134	31,45	871,6092
10:40	117,2	59,485	31,48	884,5101
10:45	119,4	62,793	31,395	896,67775
10:50	122,1	65,744	31,31	908,8454
10:55	123,153	69,15	31,48	918,21545
11	124,8	71,731	31,65	927,5855
11:05	126,235	74,556	31,705	937,32115
11:10	127,117	76,552	31,76	947,0568
11:15	128,827	78,823	31,94	956,4309
11:20	129,9	80,841	32,12	965,805
11:25	130,8	82,399	32,12	974,02455
11:30	131,8	84,283	32,12	982,2441
11:35	132,603	85,704	32,19	991,0019
11:40	133,166	87,496	32,26	999,7597
11:45	133,675	88,568	32,46	1003,62285
11:50	134,133	89,199	32,66	1007,486
11:55	134,282	90,252	32,725	1011,318
12	134,483	91,359	32,79	1015,15
12:05	134,3	91,991	32,925	1018,6145
12:10	134,6	92,704	33,06	1022,079
12:15	134,6	93,694	33,25	1026,997
12:20	134,6	94,77	33,44	1031,915
12:25	133,612	95,013	33,46	1035,0025
12:30	134,6	95,147	33,48	1038,09
12:35	133,7	95,468	33,51	1038,7105

12:40	134,6	96,099	33,54	1039,331
12:45	134	96,529	33,75	1037,71
12:50	133,731	96,967	33,96	1036,089
12:55	134,05	97,348	34,025	1034,1075
13	133,899	97,204	34,09	1032,126
13:05	134,8	97,833	34,01	1028,9975
13:10	134,8	97,989	33,93	1025,869
13:15	135,698	98,977	34,04	1025,96
13:20	135,4	99,334	34,15	1026,051
13:25	135,6	99,255	34,205	1023,7155
13:30	136	99,109	34,26	1021,38
13:35	135,6	99,469	34,265	1017,8345
13:40	136	99,4	34,27	1014,289
13:45	136,4	99,381	34,305	1009,7785
13:50	136,2	99,816	34,34	1005,268
13:55	136	100,043	34,445	1000,5663
14	136,7	100,267	34,55	995,8646
14:05	135,6	100,43	34,565	985,6996
14:10	136,4	100,823	34,58	975,5346
14:15	135,6	100,847	34,635	971,3238
14:20	135,6	100,568	34,69	967,113
14:25	136	100,468	34,805	960,0748
14:30	135,4	100,42	34,92	953,0366
14:35	136	99,838	34,82	945,53205
14:40	136,4	99,528	34,72	938,0275
14:45	136	99,429	34,915	929,6598
14:50	136,4	99,507	35,11	921,2921
14:55	136,2	99,468	35,04	908,996
15	135,6	99,476	34,97	896,6999
15:05	135,6	99,33	34,9	884,51735
15:10	135,193	99,454	34,83	872,3348
15:15	134,169	99,351	34,915	859,63675
15:20	133,096	99,294	35	846,9387
15:25	132,486	99,278	35,01	835,7353
15:30	131,248	99,054	35,02	824,5319

Bibliographie

- [1] : MOUHOUS-CHAOUCHI Samira 'Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné', mémoire de magister, école doctorale «énergies renouvelables», université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2012.
- [2] : HARMIM. A. et al. 'Développement et expérimentation d'un cuiseur solaire à double exposition', Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, 'URERMS' B.P. 478, Route de Reggane, Adrar, Algérie, 2008.
- [3] : HARMIM. A. et al, 'Etude expérimentale d'un cuiseur solaire de type boîte à trois réflecteurs plans et une surface d'ouverture inclinée', Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, B.P 478, Route de Reggane, Adrar, Algérie, 25 Janvier 2007.
- [4]: YETTOU. F. 'Conception et réalisation d'un système de cuisson solaire destiné au site saharien (Ghardaïa, Algérie)', Thèse de Doctorat en Sciences, Faculté de Technologie Département d'Electrotechnique, Université Hadj Lakhdar Batna, 2015.
- [5] : BOUDEN Abdelmalek, 'Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque', Thèse doctorat Université Mentouri Constantine, 2008.
- [6] : CHASSERIAU J.M, 'Conversion thermique du rayonnement solaire' ; Dunod Germany, 1984.
- [7] : R. BERNARD .M et al, 'Le rayonnement solaire conversion, thermique et applications' ; Technique et documentation Lavoisier, 2ème édition 1980.
- [8] : BENOIT Brousse, ' Réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques organiques obtenues par dépôt physique ', Thèse doctorat, Université de Limoges 2004.
- [9] : CHENNI Rachid, 'Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire', Thèse Magister, Université Mantouri de Constantine, 2007.

- [10] : ARAFA Kaddouri, 'Conception et réalisation d'un suiveur solaire a deux axes', l'obtention du diplôme Ingénieur d'Etat, électroniques & télécommunications, département génie électrique, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 2015.
- [11] : YETTOU Fatiha, ' Optimisation d'un système solaire de production d'eau chaude', Mémoire de magister, Département d'électronique électricité solaire, Ecole Nationale Polytechnique 10, Avenue Hassen Badi, El-Harrach, ALGER, 2009.
- [12] : Site internet '<http://www.meridienne.org/index.php?page=angle-horaire>', consulte le [10.03.2019]
- [13] : SANDALI Messaoud, 'Etude dynamique et thermique d'un capteur Solaire à air à double passe avec milieu poreux', Thèse magister, Université de Tlemcen, 2014.
- [14] : M. PETIBON Stéphane, 'Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques', Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [15] : MAOUEDJ Rachid, ' Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzareah ', Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaïd Faculté des Sciences Département de physique 2005.
- [16] : CARREAU.C et al, ' les énergies renouvelables dans l'habitat', France 2001.
- [17] : ZERGUINE Bilal, 'Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque', Thèse de Magister, réseaux électrique, Département d'électrotechnique, Université Badji Mokhtar Annaba, 2010.
- [18] : BOUZIANE Mahmah, et al. 'Production d'Hydrogène Solaire Phase I : Etude d'Opportunité et de Faisabilité du Projet'. 20th World Energy Congress – Rome, November 11th – 15th, 2007.

- [19] : NICHIPORUK Oleksy , ‘Simulation, fabrication et analyse de cellule photovoltaïque a contact arrière interdigités ‘. thèse doctorat, l’institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.
- [20] : LOUZAZNA Brahim et al, ‘ Etude et Caractérisation d’un Panneau Photovoltaïque type Condor ‘, option Energies Renouvelables, Département de Génie Electrique, Faculté de Technologie, Université de Bejaïa, 2015.
- [21] : THIBAUT Desruse, ‘ Développement de cellules photovoltaïques a hétérojonctions silicium contact et en face arrière ‘. thèse doctorat, l’institut national des sciences appliquées de Lyon, 2009.
- [22] : Site internet ‘ <https://lewebpedagogique.com/coursdemmeveillard/2016/04/17/2nde-theme3-tp1-lenergie-solaire-recue-par-la-terre/>’, consulte le [27.03.2019]
- [23] : Site internet ‘ <http://www.solarcooker-at-cantinawest.com/solarcooking-history.html> ‘, consulté le [20.02.2019].
- [24] : RADABAUGH J et al.,’ <http://solarcooking.org/history.htm>’, consulte le [21.02.2019].
- [25]: History of Solar Cooking. ‘<http://www.solarcooker-atcantinawest.com/solarcooking-history.html>’, consult le [21.02.2019]
- [26]: CHRISTELLE. S et al, ‘ Fabrication de cuiseurs et séchoir solaires ‘, ISF Cameroun et centre technique de coopération agricole et rurale(CAT),CAT- Douala-Bassa-Cameroun-www.isf-cameroun.org, 2014.
- [27] : Site internet, ‘ L’énergie solaire en site isolé : cuisson solaire et autres applications Année 2005’, ’<http://solarcooking.org>’, consulte le [24.02.2019].
- [28] : LORENZ-LADENER C. et al. ‘Séchoirs solaires : Construction et utilisation’. Thèse de Master, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2011.
- [29] : MIRI R et al., ‘ Étude expérimentale d’un Séchoir Solaire ‘, Rev. Energ. Ren. : Zones Arides, p. 41-48, 2002.

- [30]: DUDEZ P., 'Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes, expériences et procédés'. (CIRAD) Ed. du GRET, ministère de la Coopération, 1996.
- [31]: BERHINGER. R . 'Cuiseurs solaires : Auto construction et recettes'. thèse de doctorat Université de Lyon, 2009.
- [32]: MUTHUSIVAGAMI R et al., 'Solar cookers with and without thermal storage—A review', Institute for Energy Studies, College of Engineering, Anna University, Guindy, Chennai 600025, India, 2010.
- [33]: JACOPO. B, et al, 'Guidelines on sustainable energy technologies for food utilization in humanitarian contexts and informal settlements', Politecnico di Milano Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milan (MI), Italie, 2014.
- [34]: SHARMA. S, ' Conception, développement et évaluation des performances d'une unité de stockage de la chaleur latente pour la cuisson du soir dans un four solaire'. Conversation énergétique. Manag. 41, 1497-1508.2000
- [35]: KLEMENS Schwarzer , MARIA EUGENIA Vieira da Silva 'Characterisation and design methods of solar cookers' Solar Energy 82 (2008) 157–163.
- [36]: MERDAOUI Ziad, 'Caractérisation radiométrique des sites de Bouzaréah et de Ghardaïa', mémoire de magister, département d'électronique, universite de Saad Dahleb De Blida, 2007.
- [37]: GAMA AMOR et al. , ' Détermination des performances d'un cuiseur solaire boîte suivant les procédures de mullick et funk', Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg. Vol. **62**, 2, pp. 159–164, Bucarest, 2017.

ملخص

إن نضوب موارد الطاقة الأحفورية أمر لا مفر منه بالنظر إلى الاستهلاك العالمي المتزايد لهذه الطاقة. و بالتالي فإن الوضع يتطلب البحث عن مصادر جديدة للطاقة، والتي تكون الطاقة الشمسية فيها على رأس قائمة هذه الموارد، بسبب وفرة هذه الطاقة، وكذلك توزيعها في الطبيعة، أكثر من أي نوع آخر من الطاقات المتجددة.

من بين الاستخدامات الأكثر شيوعًا لهذا النوع من الطاقة، نجد الطاهي الشمسي. فهو مرتبط بنشاط بشري جد منتظم، مما يؤدي إلى إعداد نظام غذائي صحي. يستخدم هذا النوع من الطرق في المناطق النائية من الصحراء حيث يصعب توفير غاز البوتان.

يتعلق عملنا بعرض بتحليل مختلف الأنماط الحرارية الطاهيين الشمسيين المجريين في ظل مناخ جاف في جنوب الجزائر (غرداية). هذين الطاهيين، يتكون واحد منهم من نوع علبه و الآخر من النوع صحن. من خلال هذه التجربة، تم قياس الإشعاعات العاملة والمباشرة بدلالة للوقت في الصحراء الجزائرية (غرداية). يعتمد هذا التحليل على العلاقة بين درجات الحرارة وكفاءة الطاهيين الشمسيين أثناء الطهي.

الكلمات المفتاحية: الأشعة الشمسية، الطاهي الشمسي من نوع العلبه، الطاهي الشمسي من نوع الصحن.

Abstract

The depletion of fossil energy resources is inevitable given the high global consumption of this energy. Consequently, the situation requires the search for new energy sources, of which solar energy is at the top of the list of these resources, because of its abundance, but also its distribution in nature, more than any other type of renewable energy.

Among the most frequent uses of this type of energy is the solar cooker. It is linked to very regular human activity, which leads to the preparation of a healthy diet. This type of method is used in remote areas of the Sahara where butane gas supply is very difficult,

Our work presents an analysis of the thermal profiles of two experienced solar cookers in an arid climate in southern Algeria (Ghardaïa). These two cookers, one of them is the box type and the other is the parabolic type. From this experiment, Global and Direct Radiation were measured as a function of time in the Algerian Sahara (Ghardaïa). This analysis is based on the relationship between the temperatures and the efficiency of the two cookers during cooking.

Keywords: Solar Illumination, Solar Box Cooker, Parabolic Solar Cooker.

Résumé

L'épuisement des ressources énergétiques fossiles est inévitable compte tenu de la forte consommation mondiale de cette énergie. En conséquence la situation nécessite la recherche de nouvelles sources d'énergies, dont L'énergie solaire est en tête de la liste de ces ressources, en raison de son abondance, mais aussi de sa distribution dans la nature, plus que tout autre type d'énergie renouvelable.

Parmi les utilisations les plus fréquentes de ce type d'énergie on trouve Le cuisneur solaire. Il est lié à une activité humaine très régulière, qui mène à une préparation d'une alimentation saine. Ce genre de méthode est utilisé dans les régions isolées du Sahara où l'approvisionnement en gaz butane est très difficile,

Notre travail présente une analyse des profils thermiques de deux cuisneurs solaires expérimentés sous un climat aride du Sud Algérien (Ghardaïa). Ces deux cuisneurs, l'un d'eux est de type à boîte et l'autre de type parabolique. A partir de cette expérimentation, on a mesuré des rayonnements Globaux et Directes en fonction du temps dans le Sahara algérien (Ghardaïa). Cette analyse est basée sur la relation entre les températures et le rendement des deux cuisneurs pendant la cuisson.

Mots-clés : Eclairage solaire, Cuisneur solaire à boîte, Cuisneur solaire parabolique.