



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département d'Automatique et Electromécanique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Science et Technologie*

Filière : *Automatique*

Spécialité : *Automatique et Système*

Par : REZZAG Sabrin et DINE Fatima Zohra

Thème

**Développement d'une carte de commande d'un
système de poursuite solaire pour un cuiseur
boite**

Soutenu publiquement le :01/10/2020

Devant le jury :

SEBA Hadj Yahya	MCB	Univ Ghardaïa	Président
BENCHAABENNE Achour	MAA	Univ Ghardaïa	Examineur
MEDOUKALI Hemza	MCB	Univ Ghardaïa	Examineur
YETTOU Fatiha	Maître de Recherche A	URAER. Ghardaïa	Encadreur
GAMA Amor	Maître de Recherche A	URAER. Ghardaïa	Co-encadreur

RESUME

RESUME :

Selon l'étude présentée par des spécialistes du domaine de l'énergie, l'épuisement des ressources énergétiques fossiles est devenu une menace mondiale à la fois pour le producteur et le consommateur, et donc la prise de mesures de précaution est devenue impérative en recherchant de nouvelles sources d'énergie, en plus de l'énergie solaire en raison de son abondance et de sa distribution dans la nature, le cuiseur solaire est l'un des utilisations les plus courantes de l'énergie solaire dans le monde. Il représente l'un des besoins humains quotidiens et fréquents, car il contribue à fournir une alimentation saine et naturelle et en particulier l'environnement désertique soulage la difficulté d'obtenir du gaz et de l'électricité.

Notre projet vise à développer un cuiseur solaire de type boîte en insérant une carte électronique qui permet de bon fonctionnement et contrôle de cette dernière, ainsi que la conception d'une application Smartphone basé sur la technologie Bluetooth pour faciliter la connexion et l'obtention des informations sur ce cuiseur et finalement les transférer vers le mobile d'utilisateur.

Les mots clés : énergie solaire, Le cuiseur solaire, carte électronique, la technologie Bluetooth, une application Smartphone.

ABSTRACT:

Energy experts present studies on fossil energy storage; the latter has become a global threat to producers and consumers, and for that it is imperative to take all precautionary measures by looking for a new source of energy of which solar energy is in the lead because of its abundance and its distribution. The solar cooker is one of the most common uses in the world, it is among the daily and repetitive needs of human, helps in providing a healthy and natural diet as well as it specially alleviates the difficulty faced by desert people regarding obtaining gas and electricity.

Our project is based on the development of a box-type solar cooker by inserting an electronic card that allows for proper operation and control of the latter, as well as the design of a Smartphone application based on Bluetooth technology to facilitate connection and obtaining the information on this cooker and finally transferring it.

Keywords: solar energy, the solar cooker, electronic card, Bluetooth technology, Smartphone application.

ملخص:

وفقا للدراسة المقدمة من طرف الأخصائيين في مجال الطاقة فإن نضوب موارد الطاقة الأحفورية بات يشكل تهديدا عالميا لكل من المنتج والمستهلك، وعليه فإن اتخاذ التدابير الاحترازية أصبح واجبا وذلك بالبحث عن مصادر جديدة للطاقة على رأسها الطاقة الشمسية نظرا لوفرتها وتوزعها في الطبيعة. الطاهي الشمسي من بين استخدامات الطاقة الشمسية الأكثر شيوعا في العالم. فهو يمثل إحدى احتياجات الإنسان اليومية والمتكررة، يساهم بتوفير غذاء صحي وطبيعي ويخفف عن الإنسان ذو البيئة الصحراوية بشكل خاص صعوبة الحصول على الغاز والكهرباء. إن عملنا يستند إلى تطوير مطبخ شمسي من نوع علية وذلك بإضافة بطاقة إلكترونية تسمح بالتحكم الجيد لهذا الأخير إلى جانب تصميم تطبيق للهاتف النقال يعتمد على تقنية البلوتوث للاتصال بالطاهي الشمسي وتسهيل عملية الحصول على المعلومات. وتحويلها إلى هاتف المستخدم.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، الطاهي الشمسي، بطاقة الكترونية، تكنولوجيا البلوتوث، تطبيق للهاتف النقال.

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Au nom de dieu le clément le miséricordieux

Avant tout remerciement, louange à ALLAH

C'est avec le plus grand honneur que nous avons réservé l'ouverture de notre projet en signe de gratitude et de reconnaissance à l'égard de tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet fin d'étude.

"De nos jours, toutes les études pour la réalisation de travaux se concrétisent grâce à une parfaite collaboration, un travail coopératif assure une bonne circulation de l'information et aussi un suivi sérieux et permanent de l'étude en question"

"En premier lieu, Nous tenons à remercier notre promoteur Dr YETTOU Fatiha, Maitre de Recherche A à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa. Elle nous a guidé dans notre travail et nous a aidé à trouver des solutions pour avancer"

"Nous voudrions tout d'abord adresser toute nos gratitude à Dr GAMA Amor, Maitre de Recherche A à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa, pour sa patience, sa disponibilité et surtout son aide "

"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 pour son bon accueil"

"Nous tenons à saisir cette occasion pour adresser nos profonds remerciements aux responsables et aux personnels de l'Université Ghardaïa et surtout à Mr Mohammed ARIF pour les efforts déployés pour nous aider"

Enfin, que nos parents, nos familles, nos enseignants et collègues, et tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réussite de ce travail trouvent à travers ces quelques lignes l'expression de notre profonde gratitude pour leur soutien et leurs encouragements de tous les instants. Un grand merci à tous

DEDICACES

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A mes chers et adorable frères et sœurs

Abdelhafid le généreux, Zineb, la prunelle de mes yeux, Halima, la douce, Mohammed que j'adore, Nadjet l'aimable, Latif, Mohcine, que j'aime profondément.

A mon binôme sabrin et toute sa famille

Et bien sûr à toutes mes chères amies.

*A tous les étudiants de master 2 Automatique et systèmes
Et tous ceux qui ont contribué de près ou de Loïn à ma
Formation, je les remercie.*

Fatima zohra

DEDICACES

Je dédie ce modeste Travail à :

Aux les plus précieux les plus chers, et les plus proches à mon cœur Mes parents : Mohamed et Fatima qui j'aimerais beaucoup ; et qui ne cesse pas de me soutenir, m'encourager et être derrière moi le long de mon parcours d'étude.

*Que dieu vous protège et vous procure une longue vie
A ceux que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long
de Ce projet :*

A Mes sœurs : Meriem, Aya, Marwa, Khawtar

Et mes frères Abdeljalil, Chouaib et Islam.

A tous mes grandes familles : REZZAG et GUERRIDA

A Mon cher grand-père Abdallah

*Une sincère remerciement à toi. Que dieu te procure Une
bonne santé et longue vie.*

A ma binôme Fatima et toute la famille DINE.

A mes chères amies

ET A tous les membres de notre promo

Merci pour tous les bons moments passés ensemble.

Sabrin

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure I.1	Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs	5
Figure I.2	Heures propices à la cuisson solaire	6
Figure I.3	Capture ou réflexion des rayons du soleil	6
Figure I.4	Schéma de principe d'un cuiseur de type boîte	7
Figure I.5	Schéma de principe d'un cuiseur parabolique	8
Figure I.6	Schéma de principe d'un cuiseur parabolique	8
Figure I.7	Classification des cuiseurs solaires sans et avec stockage thermique	9
Figure I.8	Cuiseurs solaires de type boîte	10
Figure I.9	Cuiseur solaire à concentration	11
Figure I.10	Cuiseur solaire indirecte avec capteurs plans vitrés	12
Figure I.11	Les cuiseurs solaires indirects à concentration	13
Figure I.12	Cuiseur solaire avec stockage de chaleur sensible	14
Figure I.13	Schéma d'un cuiseur solaire à stockage de chaleur latente de type boîte avec PCM intégré en mode indirect	14
Figure I.14	(a) Cuiseur cylindro-parabolique ; (b) système de poursuite solaire	15
Figure I.15	(a) Cuiseur parabolique ; (b) système de poursuite solaire	15
Figure I.16	(a) Cuiseur séchoir- pyramide, (b) cuiseur chauffe-eau	17
Figure I.17	Premier prototype de cuiseur solaire boîte réaliser à L'URERMS	17
Figure I.18	Prototype de cuiseur solaire à Concentration- URAER	18
Figure I.19	Prototype de cuiseur boîte – URAER	19
Figure II.1	Mouvement de la terre autour de soleil	22
Figure II.2	Sphère céleste	22
Figure II.3	Coordonnées géographique	23
Figure II.4	Variation de la masse d'air en fonction de la hauteur de soleil	25
Figure II.5	Variation de l'épaisseur optique d'atmosphère en fonction de la masse d'air	26
Figure II.6	Pyrhéliomètre pour la mesure du rayonnement direct	28
Figure II.7	Pyranomètre pour la mesure du rayonnement global et diffus	28
Figure II.8	Albédo mètre pour la mesure du rayonnement réfléchi	28
Figure II.9	Potentiel d'énergie solaire en Algérie	29
Figure II.10	Variation de l'éclairement solaire	30
Figure II.11	Eclairement hors atmosphère extraterrestre en fonction du jour	30
Figure II.12	Suiveur à axe horizontale.	32
Figure II.13	Suiveur à axe verticale incliné	32
Figure II.14	Suiveur à deux axes	33
Figure II.15	Commande en boucle ouverte d'un tracker	34
Figure II.16	Commande en boucle fermée d'un tracker	34
Figure II.17	Commande hybride	35
Figure III.1	Unité de l'URAER à Ghardaïa	37
Figure III.2	Arduino Méga	38
Figure III.3	Module Bluetooth	39
Figure III.4	La carte de stockage de données	40
Figure III.5	Capture de mesure de température	41
Figure III.6	Module Horloge	42
Figure III.7	Afficheur OLED	43
Figure III.8	Éléments de l'interface logicielle Arduino	44
Figure III.9	Éléments de l'interface logicielle Arduino	44
Figure III.10	Structure du programme Arduino	45
Figure III.11	Création du nouveau projet sur App Inventor	46
Figure III.12	Partie blocks	47
Figure III.13	Blocs de texte	47

LISTE DES FIGURES

Figure III.14	Blocs de liste	48
Figure III.15	Blocs de math	48
Figure III.16	Bloc de contrôle	49
Figure III.17	Blocs logique	49
Figure III.18	Scan du code QR	49
Figure III.19	Le software « <i>aistarter</i> »	50
Figure III.20	Visualisation via téléphone à l'aide d'un USB.	50
Figure III.21	Organigramme générale du système	51
Figure III.22	Schéma synoptique du système	52
Figure III.23	Schéma électronique du système	53
Figure III.24	La carte électronique en réelle.	57
Figure III.25	Test de cuiseur solaire à vide.	58
Figure III.27	Icone application.	59
Figure III.28	Affichage des températures	60
Figure III.29	Graphe de variation de la température en fonction du temps.	61

NOMENCLATURES

Symbole	Description	Unité
τ	Temps	Heure
λ	Longitude du lieu	Degrés
φ	Latitude du lieu	Degrés
TSV	Temps solaire vrai	Heure
TSM	Temps solaire moyen	Heure
T	Temps local	Heure
ET	Equation de temps	Heure
D	Le numéro du jour de l'année à partir de janvier.	[-]
TU	Temps universel	Heure
DE	Décalage horaire	Heure
L	Longitude de lieu en Algérie	Degrés
TL	Temps légal	Heure
C ₁	Décalage horaire par rapport au Greenwich	Heure
C ₂	L'heure d'été et d'hiver	Heure
ω_l	Angle horaire du lever du soleil	Degrés
ω_c	Angle horaire du coucher du soleil	Degrés
δ	Déclinaison solaire	Degrés
d_j	Durée du jour	Heure
ω	Angle horaire	Degrés
ID	Rayonnement diffuse	W/m ²
IB	Rayonnement direct	W/m ²
IG	Rayonnement global	W/m ²
γ_s	Hauteur du soleil	Degrés
χ_s	Azimut du soleil	Degrés
θ_z	Angle zenithal	Degrés
B	Inclinaison du plan	Degrés
A	L'orientation du plan	Degrés
m _A	Masse d'air	[-]
Alt	Altitude du lieu	Km
δ_R	Epaisseur totale optique de Rayleigh	[-]
T _L	Facteur de trouble total de Linke	[-]

NOMECLATURES

T_0	Trouble dû à l'absorption par la vapeur d'eau	[-]
T_1	Trouble dû à la diffusion moléculaire	[-]
T_2	Trouble relatif à la diffusion par les aérosols	[-]
A_{he}	Alternance hiver été	[-]
G_0	Eclairement solaire extraterrestre	W/m ²
E	Correction de distance terre soleil	[-]
I_0	Constante solaire	W/m ²
IB_h	Eclairement direct incident sur un plan horizontal par Capderou	W/m ²
T'_L	Facteur de trouble diffusive	[-]
α_z	L'Azimut de la normal du plan	W/m ²
IG_h	Eclairement global incident sur un plan horizontal par Capderou	W/m ²
δ_R	Epaisseur totale optique de Rayleigh	[-]
$F1$	Première figure of merit	m ² °C/W
$F2$	Seconde figure of merit	[-]
η_0	Rendement optique du cuiseur	%
UL	Coefficient de transfert thermique	W/Km ²
T_{ps}	Température de l'absorbeur à la stagnation	°C
T_{pa}	Température ambiante à la stagnation	°C
I_s	Eclairement solaire incident sur une surface horizontale au moment de stagnation = IG_h	W/m ²
mp_c	Capacité thermique de l'eau	J/°K
A_{sc}	Surface d'ouverture du cuiseur solaire boîte	m ²
T_{wi}	Température initiale de l'eau	°C
T_{wf}	Température finale de l'eau	°C
T_a	Température ambiante ²	°C
T_{boil}	Temps d'ébullition pour la période de chaleur sensible	Min
P	Puissance de cuisson W	W
P_{adj}	Puissance de cuisson ajustée ou standardisée	W

TABLE DES MATIERES

RESUME REMERCIEMENTS DEDICACES LISTE DES FIGURES NOMENCLATURE		
INTRODUCTION GENERALE		01
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES CUISEURS SOLAIRES		
I.1.	Introduction	03
I.2.	Historique du cuiseur solaire	03
I.3.	Principe de fonctionnement du cuiseur solaire	04
I.4.	Facteurs essentiels pour la cuisson solaire	04
I.4.1.	Températures de cuisson solaire	04
I.4.2.	Comparatif de la durée de cuisson entre différentes techniques de cuisson	05
I.4.3.	Moments d'utilisation du cuiseur solaire	06
I.4.4.	Type de récipients utilisées pour la cuisson des aliments	06
I.5.	Modèles de base des cuiseurs solaire	07
I.5.1.	Le cuiseur de type boîte	07
I.5.2.	Le cuiseur parabolique	08
I.5.3.	Le cuiseur à panneaux	09
I.6.	Classification des cuiseurs solaire	09
I.6.1.	Les cuiseurs solaires sans stockage de chaleur	13
I.6.1.1.	Les cuiseurs directs	13
I.6.1.2.	Les cuiseurs indirects	13
I.6.2.	Les cuiseurs solaires avec stockage	14
I.6.2.1.	Stockage de chaleur sensible	14
I.6.2.2.	Cuiseurs solaires avec stockage de chaleur latente	15
I.6.2.3.	Cuiseur suiveur du soleil	16
I.6.2.4.	Cuiseur boîte à usage multiple (cuiseurs hybrides)	16
I.7.	Cuiseur solaire en Algérie	17
I.7.1.	Cuiseur solaire à L'URERMS, Adrar	17
I.7.2.	Cuiseur solaire à L'URAER, Ghardaïa	18
I.7.2.1.	Cuiseur solaire à concentration	18
I.7.2.2.	Cuiseur solaire boîte	19
I.8.	Les avantages et les inconvénients des cuiseur solaire	19
I.8.1.	Les avantages des cuiseurs solaires	19
I.8.2.	Les inconvénients des cuiseurs solaires	19
I.9.	Conclusion	20
CHAPITRE II : MODELISATION DE L'ECLAIREMENET SOLAIRE ET SYSTEME DE POURSUITE SOLAIRE		

TABLE DES MATIERES

II.1.	Introduction	21
II.2.	Système terre-soleil	21
II.2.1.	Mouvement orbitale de la terre autour du soleil	21
II.2.2.	Paramètres géométriques	22
II.2.2.1.	La sphère céleste	22
II.2.2.2.	Coordonnées géographiques terrestres	23
II.2.2.3.	Coordonnées horaires	23
II.2.2.4.	Coordonnées horizontale	24
II.3.	Paramètres atmosphériques	25
II.3.1.	Masse atmosphériques	25
II.3.2.	Epaisseur optique de l'atmosphère	27
II.3.3.	L'influence de l'atmosphère sur l'éclairement solaire	28
II.3.3.1.	Rayonnement solaire	29
II.4.	Composantes du rayonnement solaire	29
II.4.1.	Le rayonnement direct	29
II.4.2.	Le rayonnement diffus	29
II.4.3.	Le rayonnement réfléchi	29
II.4.4.	Le rayonnement global	30
II.5.	Instruments de mesure du rayonnement solaire	28
II.5.1.	Le rayonnement direct	28
II.5.2.	Le rayonnement diffus et global	28
II.5.3.	Le rayonnement réfléchi	28
II.6.	Gisement solaire	28
II.7.	Modélisation de l'éclairement solaire utilisant le modèle Capderou	29
II.7.1.	Eclairement hors atmosphère	29
II.7.2.	Estimation de l'éclairement solaire incident sur un plan horizontal	30
II.7.2.1.	Eclairement direct incident sur un plan horizontal	30
II.7.2.2.	Eclairement diffus incident sur un plan horizontal	31
II.8.	Différents systèmes de suiveur solaire	31
II.8.1.	Définition d'un système de poursuite solaire	31
II.8.2.	Suiveur à axe horizontal	32
II.8.3.	Suiveur à axe vertical incliné	32
II.8.4.	Suiveur à deux axes	32
II.9.	Stratégies de commande d'un tracker	33
II.9.1.	Commande en boucle ouverte	33
II.9.2.	Commande en boucle ferme	34
II.9.3.	Commande hybride	34
II.10.	Evaluation des performances thermiques du cuiseur	35
II.10.1.	Détermination des paramètres de mérites	35
II.10.2.	Détermination de la puissance de cuisson	35
II.11.	Conclusion	36
	CHAPITRE 3 : TEST EXPERIMENTEAUX, INTERPRETATION, DISCUSSION ET RESULTATS	
III.1.	Introduction	41
III.2.	Présentation du lieu de stage	41
III.3.	Etude de la partie matérielle et logicielle	42

TABLE DES MATIERES

III.3.1.	Conception matérielle	42
III.3.1.1.	La carte Arduino Méga	42
III.3.1.1.1.	Choix de la carte Arduino Méga	43
III.3.1.1.2.	Les caractéristiques de la carte Arduino Méga	43
III.3.1.2.	La carte d'interface de mesure Bluetooth	44
III.3.1.2.1.	Présentation	44
III.3.1.2.2.	Caractéristiques	45
III.3.1.3.	La carte de stockage de données	45
III.3.1.3.1.	Présentation	45
III.3.1.3.2.	Caractéristiques	46
III.3.1.4.	Capture de mesure de température	46
III.3.1.4.1.	Présentation	46
III.3.1.4.2.	Caractéristiques	47
III.3.1.5.	Horloge	47
III.3.1.5.1.	Présentation	47
III.3.1.5.2.	Caractéristiques	48
III.3.1.6.	Afficheur OLED	48
III.3.1.6.1.	Présentation de L'afficheur OLED	48
III.3.1.6.2.	Caractéristiques	49
III.3.2.	Conception logicielle	49
III.3.2.1.	Logicielle Arduino	49
III.3.2.2.	Système d'exploitation Androïde	51
III.4.	Etude et réalisation pratique de la partie commande	57
III.4.1.	Description de système à réaliser	57
III.4.2.	Organigramme générale	59
III.4.3.	Schéma synoptique de la carte de commande	59
III.4.4.	Schéma électronique de la carte de commande	59
III.4.5.	Programme de gestion de la carte électronique	59
III.4.5.1.	Code Arduino	59
III.4.5.2.	Communication avec la carte Arduino	59
III.4.6.	Programme de l'application App Inventor	60
III.4.7.	Tests expérimentaux	64
III.4.7.1.	Test sur le fonctionnement de la carte électronique	64
III.4.7.2.	Test sur le cuiseur solaire à vide	65
III.4.7.3.	Test sur le système et le Smartphone	66
III.5.	Conclusion	68
	CONCLUSION GENERALE	62
	BIBLIOGRAPHIE	63
	ANNEXES	67

INTRDOUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

A l'heure de la prise de conscience massive des effets du réchauffement climatique, il est primordial de considérer l'énergie solaire comme l'une des alternatives possibles aux combustibles fossiles [1]. Cette source d'énergie ; qui est l'objectif de notre travail, se caractérise par une absence de pollution et une disponibilité exceptionnelle. D'autre part, les systèmes d'exploitation qui utilisent cette forme d'énergie présentent beaucoup d'avantages. Cette source d'énergie est utilisée de manières différentes, par exemple ; dans les systèmes thermiques pour la production d'eau chaude, ou dans les systèmes photovoltaïques pour la production d'électricité, il apparaît dès lors que l'énergie solaire peut apporter de réelles solutions.

La cuisson solaire est l'une des applications possibles de cette énergie. Le cuiseur solaire contribue à résoudre deux des problèmes majeurs dans le monde : l'aggravation du manque d'énergie pour la cuisson et le fléau des maladies liées à l'eau. La moitié de la population mondiale cuisine à l'aide du feu de bois et vit dans des régions favorables à l'exploitation de l'énergie solaire. Selon l'ONU, deux tiers de la population mondiale, c'est-à-dire deux milliards de personnes, souffrent du manque de bois [1]. Dans les zones menacées par la déforestation, les efforts de protection échouent quand les gens n'ont pas d'alternative à la cuisson au feu de bois. Chaque cuiseur solaire peut sauver une tonne de bois par an dans les régions ensoleillées mais arides [2], et peut donc à cet effet éviter le dégagement d'une grande quantité de gaz à effet de serre. C'est pourquoi l'utilisation d'un cuiseur solaire peut s'avérer être la solution la plus écologique pour la cuisson des aliments .

L'Algérie dispose d'une grande superficie, dont la majorité constitue le Sahara. Dans les régions arides ensoleillées où vie les nomades, dont les besoins à la cuisson ; liés à la récolte du bois augmentent progressivement, aggravent le problème de la rareté de cette ressource et provoquent sont épuisement de plus en plus. Dans ces zones éloignées, où ces gens n'ont pas d'alternatives aux feux de bois et prenant en compte les habitants des villes sahariennes qui utilisent principalement le gaz naturel (fossile) comme énergie de cuisson, l'énergie solaire est considérée la meilleure solution pour remédier à ces problèmes et autant d'autres. L'Algérie avec son gisement solaire très important à de grandes possibilités de développement de la filière .

Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution pour une meilleure intégration et une amélioration des performances des dispositifs à cuisson solaire (cuiseurs solaires boîtes) dans la vie quotidienne (les domiciles.

Cependant, il a été constaté que les designs actuels de cuiseurs solaires boîtes ne permet pas d'atteindre ; pour la plupart des aliments, des températures suffisamment nécessaires à la cuisson et la nourriture reste non cuite partiellement ou intégralement, qui a pour cause la mauvaise orientation du cuiseur commise par l'être humain dû à une mal estimation du temps d'ajustement. A cet effet, nous avons jugé nécessaire la réalisation d'une carte électronique (basé sur une carte ArduinoMEGA) permettant l'orientation du cuiseur au moment adéquat en supervisant à chaque instant le fonctionnement de ce dernier durant la cuisson. La carte sera connectée avec des capteurs bien adaptés pour acquérir les paramètres requis pour la commande, elle sera également liée à un Smartphone par une technologie Bluetooth pour poursuivre l'état instantané de fonctionnement.

Ce mémoire qui décrit notre travail sera architecturé en trois chapitres:

Dans le premier chapitre, nous nous sommes principalement intéressés à donner un aperçu sur les cuiseurs solaires, à travers les types et les modèles de base, et le principe de fonctionnement, et aussi les facteurs essentiels pour la cuisson solaire.

Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation de l'éclairement solaire et le système de poursuite solaires, en donnant des notions générales sur le gisement solaire et les paramètres atmosphériques ; avec une modélisation du rayonnement solaire par le modèle Capdérrou, ainsi que les performances du cuiseur solaire.

Du côté pratique présenté par le troisième chapitre, nous avons conçu et réaliser une carte électronique à base d'une carte Arduino MEGA, branché avec divers composants qui permettent de mesurer et enregistrer des températures au niveau du cuiseur. D'autre part nous avons créé une application Androïde destinée à faire la surveillance de l'état de cuiseur à distance, et sauvegarder ces données dans la mémoire interne du Smartphone.

Finalement une conclusion générale contenant les interprétations et les perspectives envisagées terminera ce mémoire.

CHAPITRE I
GENERALITE SUR LES
CUISEURS SOLAIRES

I.1.Introduction :

La cuisson est une nécessité majeure pour les gens et elle représente une part importante de la consommation d'énergie, le recours à l'énergie solaire est une solution pour limiter l'utilisation abusive des énergies fossiles ainsi que l'énergie du bois, et la cuisson solaire est une des applications solaires les plus populaires et les plus répondues dans le monde.

Dans ce premier chapitre, une étude sur les cuiseurs solaires sera présentée, depuis l'architecture du système de cuisson, son 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, jusqu'à les cuiseurs solaires en Algérie.

I.2. Historique des cuiseurs solaires :

La cuisson solaire est loin d'être modern. En effet le cuiseur solaire a été pour la première fois inventé par le chercheur Suisse Horace-Bénédict ; En 1767, il construit une serre miniature avec cinq boîtes de verre l'une dans l'autre, posé sur un plateau noir. Les fruits placés dans la boîte la plus profonde cuisent bien. La température augmente jusqu'à atteindre 109 ° C [3] [4].

D'autre part, Mouchot conçut un moteur à vapeur fonctionnant grâce la vapeur produite par son appareil solaire. Il créa plusieurs moteurs semblables dont le dernier fut présenté à l'exposition universelle de Paris en 1878[5].

1891 - Clarence Kemp, « père de l'énergie solaire aux États-Unis », brevète un chauffe-eau solaire qui jouit d'une grande popularité, en particulier en Californie. Près de 30% des maisons de Pasadena avaient des systèmes de chauffage solaire de l'eau en 1897. Cette industrie a décliné pendant la Seconde Guerre mondiale[6].

En 1894 la Chine ouvre un restaurant ou l'on sert des plats cuisinés à l'énergie solaire [5].

En 1945 Sri.M.KGhosh a conçu un premier cuiseur solaire en forme boite comme produit commercial, et en 1950 les scientifiques indiens ont conçu et fabriqué un certain nombre de cuiseurs et de réflecteurs solaires commerciaux mais ils n'ont pas facilement acceptés [7].

En 1976dans l'état de l'Arizona aux Etats-Unis, Barbara Kerr et Sherry Cole en développé des cuiseurs de types boite facile à construire à domicile [7].

En Algérie la cuisson solaire est toujours méconnue par le grand public. Le projet lancé en 2004 et inscrit au programme de l'URER/MS a permis d'introduire cette activité en milieu saharien et de s'inscrire dans le répertoire international des promoteurs de la cuisson solaire

(‘International Directory of Solar Cooking Promoters’). Beaucoup d’efforts restent à fournir et un projet de grande envergure est nécessaire pour développer et vulgariser cette application qui peut être très bénéfique au niveau des régions isolées [8].

I.3. Principe de fonctionnement du cuiseur solaire :

Le principe de fonctionnement du cuiseur solaire est simple : il convertit le rayonnement solaire en énergie calorifique nécessaire à la cuisson des aliments.

Pour cela, cela consiste à :

- ✓ Dirigez autant de lumière du soleil que possible vers le bol.
- ✓ Converti en énergie thermique
- ✓ Maintenez cette chaleur en isolant les murs.
- ✓ La température du cuiseur solaire est atteinte lorsqu’il acquiert de l’énergie solaire
- ✓ Égal à la perte de chaleur ; nous parlons d’un juste équilibre entre Gains et pertes de chaleur [6].

I.4. Facteurs essentiels pour la cuisson solaire :

I.4.1. Températures de cuisson solaire :

La température de cuisson d’un cuiseur solaire est atteinte quand les gains en énergie solaire viennent à égaler les pertes de chaleur vers l’extérieur ; on parle d’un juste équilibre entre les gains et les pertes de chaleur [6].

La température atteinte par les cuiseurs à caisson 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 une plage de température de 100 et 200 °C. La température atteinte par d’autres types de cuiseurs (les cuiseurs paraboliques) varie entre 150 et 250 °C en fonction du diamètre du réflecteur [5].

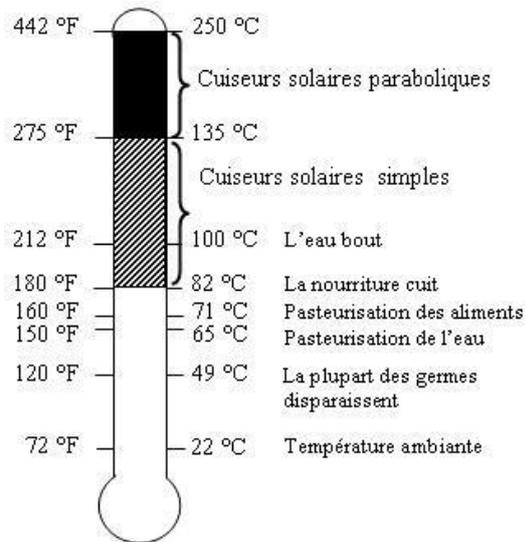


Fig.I.1 : Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs.

I.4.2. Comparatif de la durée de cuisson entre différentes techniques de cuisson :

La durée de la cuisson solaire dépend de la période de l'année, du moment de la journée, du degré d'ensoleillement, du type de récipient utilisé, du plat à cuire et de la quantité de nourriture préparée [6].

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, alors 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, de 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 [5].

I.4.3. Moment d'utilisation du cuisneur solaire :

Le cuisneur solaire doit être utilisé lorsque certaines conditions sont remplies, la plus importante étant que la longueur de l'ombre est inférieure à la taille réelle du cuisneur.

Le soleil doit donc être suffisamment haut dans le ciel pour permettre la cuisson. La cuisson solaire ne doit pas avoir lieu tôt le matin ou après le coucher du soleil. Il est donc idéal pour cuisiner entre 9 et 15 heures [4].



Fig.I.2 : Heures propices à la cuisson solaire.

I.4.4. Types de récipients utilisés pour la cuisson des aliments :

Les récipients de couleur foncée sont utilisés pour la cuisson afin de mieux absorber la chaleur, tandis que les récipients de couleur claire reflètent la lumière du soleil [5].

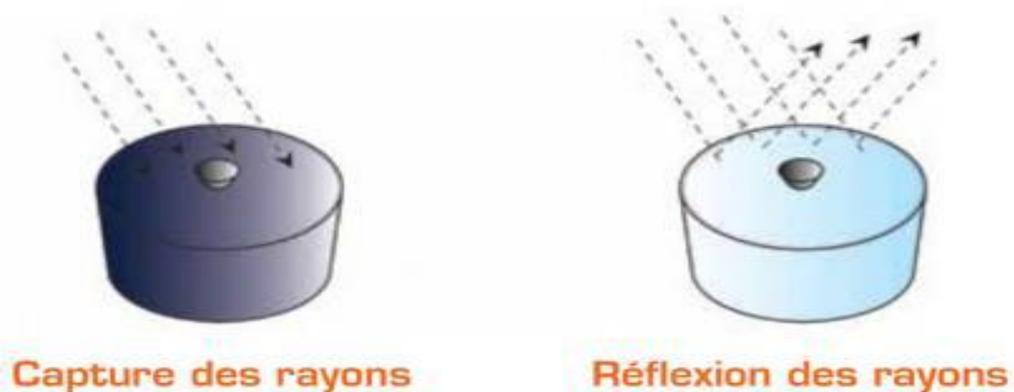


Figure I.3: Capture ou réflexion des rayons du soleil.

I.5.Modèles de base des cuiseurs solaires :

Fondamentalement, il existe trois principaux types de base :

I.5.1. Le cuiseur de type boîte :

Ce modèle est constitué d'un ou plusieurs panneaux plans réfléchissants qui concentrent les rayons du soleil sur le récipient [3].

Le cuiseur boîte 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 [5].Solide et performant Facile à fabriquer, le cuiseur boîte est le plus utilisé [3].

La principale difficulté de sa généralisation reste d'ordre culturel. De même qu'en Afrique, il est difficile de demander à un européen de remplacer son barbecue par un four solaire. Malgré cela, de nombreux amateurs de la cuisson solaire ont été séduits par ce concept et ont développé différents types de fours et cuiseurs solaires.

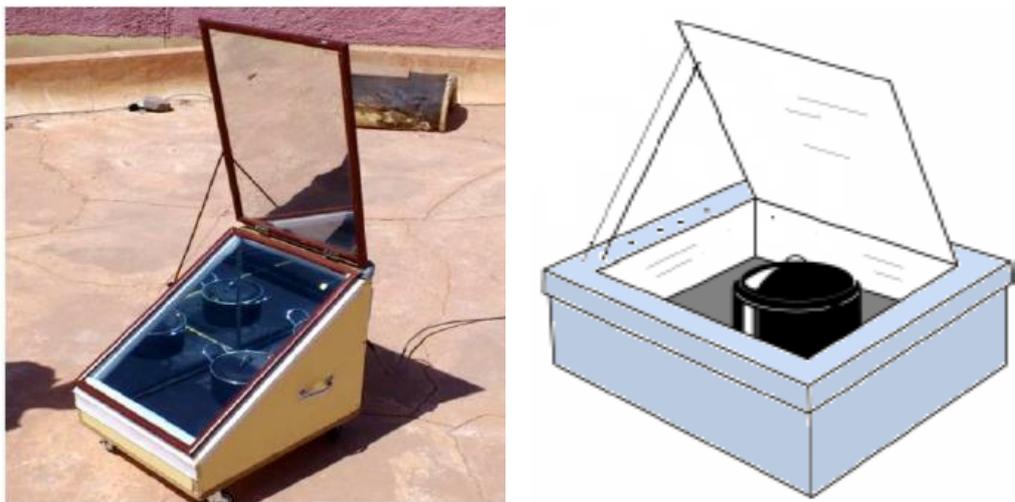


Fig.I.4 : Schéma de principe d'un cuiseur de type boîte.

I.5.2. Le cuiseur parabolique :

Le cuiseur solaire parabolique repose sur le principe de la concentration des rayons [3]: Ce sont des disques concaves qui focalisent par leurs miroirs ou leurs lames en aluminium très réfléchissantes, les rayons solaires de manière très précise sur le fait-tout [6].

Le cuiseur parabolique permet d'obtenir une température plus élevée et plus rapidement. Sa puissance dépend essentiellement de la surface du réflecteur. Malgré ses bonnes performances, le cuiseur a continuellement besoin de la lumière directe du soleil et il doit donc être constamment orienté face au soleil. On trouve généralement deux types : les cuiseurs paraboliques à réglage manuel et les cuiseurs paraboliques à réglage automatique[3].

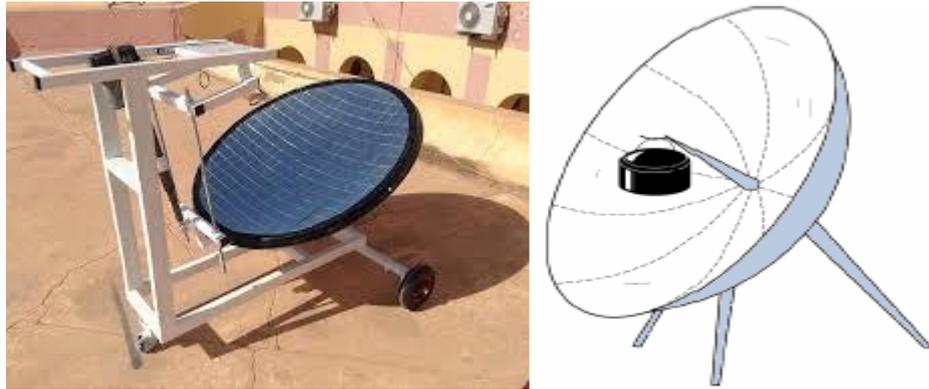


Fig.I.5 : Schéma de principe d'un cuiseur parabolique.

I.5.3. Le cuiseur à panneaux :

Ce type est constitué de différents panneaux qui concentrent les rayons solaires sur un pot placé sous une cloche en verre.

- Ce cuiseur utilise à la fois le principe d'effet de serre du four solaire de type "boîte" et les bénéfices du réflecteur parabolique du cuiseur parabolique [3].
- Ce type de cuiseur est relativement facile à construire et utilise des matériaux peu coûteux, l'avantage de ce modèle est sa simplicité.

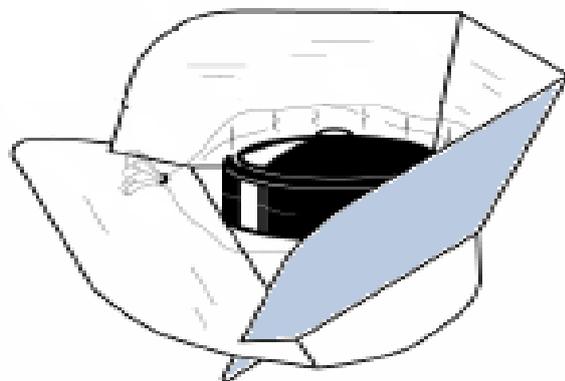


Fig.I.6 : Schéma de principe d'un cuiseur parabolique.

I.6. Classification des cuiseurs solaires :

Une vue mondiale des cuiseurs solaires prouve qu'une variété de poêles est conçue. Ces conceptions se répartissent en deux catégories principales : les cuiseurs solaires sans stockage de chaleur et les récipients de cuisson avec un système de stockage de chaleur [3].

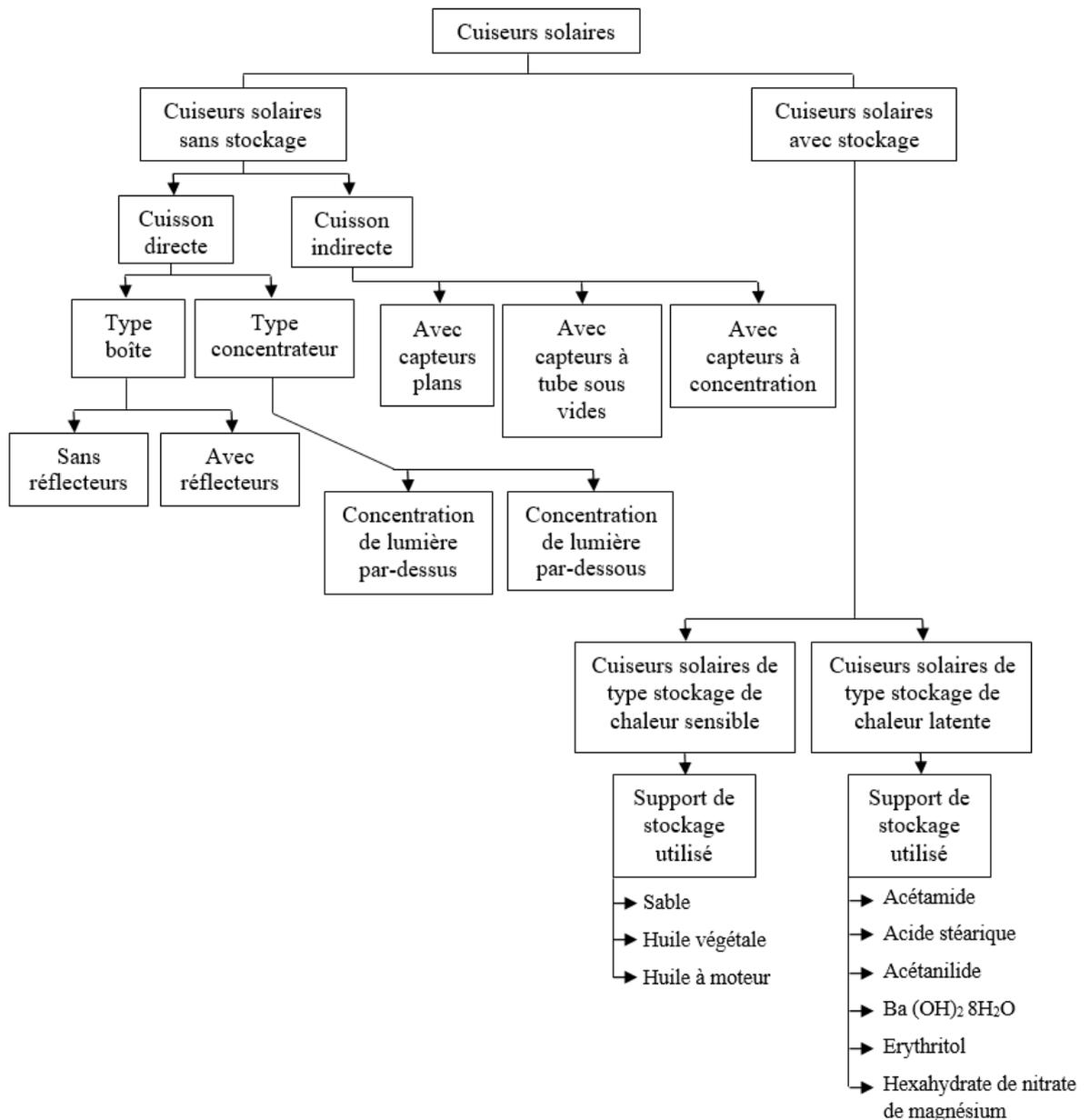


Fig.I.7 : Classification des ciseurs solaires sans et avec stockage thermique.

I.6.1. Les ciseurs solaires sans stockage de chaleur :

Les ciseurs solaires sans stockage sont classes en ciseurs solaires directs et indirects selon le mécanisme de transfert thermique. Le type direct emploie le rayonnement solaire directement dans le procédé de cuisson tandis que les ciseurs solaires indirects emploient un fluide caloporteur pour transférer la chaleur du collecteur à l'unité de cuisson[5].

I.6.1.1. Les ciseurs directs :

Les ciseurs solaires fonctionnant en mode directe commercialement réussis sont de type boîte et de type concentrateur [3] :

▪ Type boîte

Le cuiseur solaire à caisson est comme son nom l'indique un caisson isolé avec simple ou double vitrage. Ce type de cuiseur dépend uniquement de l'effet de serre dans lequel le verre transparent permet le passage du rayonnement solaire de longueur d'onde courte et il est opaque à la partie du rayonnement de longue longueur d'onde [5]. [6] Il est recommandé dans certains cas d'utiliser pour les lucarnes un double vitrage. Quelquefois aussi, ces cuiseurs sont munis de réflecteurs extérieurs ou intérieurs pour augmenter la chaleur captée.



Fig.I.8 : Cuiseurs solaires de type boîte : a) sans réflecteur ; b) avec un seul réflecteur ; c) avec deux réflecteurs ; d) avec trois réflecteurs ; e) avec quatre réflecteurs ; f) avec huit réflecteurs.

▪ Les cuiseurs à concentration :

Les cuiseurs solaires à concentration fonctionnent selon le principe de la concentration et de la réflexion des rayons solaires. Ils utilisent une surface réfléchissante dont la forme permet de concentrer en un même point la réverbération de l'énergie lumineuse. il existe de nombreux modèles [6].



Figure I.9 : Cuiseur solaire à concentration : 1- parabolique, 2- parabolique orienté vers le haut, 3- forme carrée concave, 4- sphérique, 5- cylindro-parabolique, 6- à parois réfléchissantes en forme d'aile.

Les avantages de ce type de cuiseur concernent les hautes températures de cuisson, la possibilité de cuire n'importe quel type de nourriture en un temps réduit. Les inconvénients sont dus à leur taille, leur coût, le risque des feux et de brûlures et essentiellement le besoin d'un ajustement fréquent du dispositif afin de suivre le soleil en permanence[3].

I.6.1.2. Les cuiseurs indirects :

Dans le type des cuiseurs solaires indirects, le récipient de cuisson est physiquement séparé du collecteur, alors le récipient de cuisson reçoit indirectement de la chaleur, c'est à dire par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur [6].

On peut distinguer trois configurations possibles :

- Avec des capteurs solaires plans
- Avec tube collecteur
- Avec collecteur à concentration

Les cuiseurs solaires avec capteurs plans vitrés sont généralement équipés de deux casseroles avec la possibilité d'intégrer le poêle dans la construction du poêle, l'huile de

tournesolest 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 [5].

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 [6].

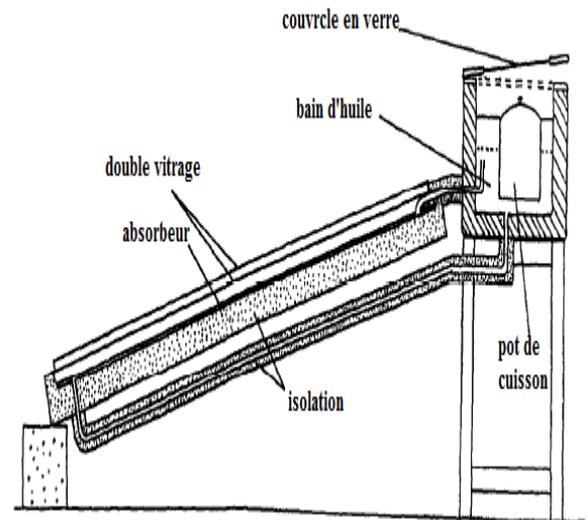


Fig.I.10 : Cuiseur solaire indirecte avec capteurs plans vitrés.

Le capteur est un tube central relié à la boîte isolée contenant le récipient de cuisson. Le tube contient généralement de l'huile et il est chauffé par un concentrateur (miroir cylindro-parabolique) ; cette l'huile chaude transfère alors la chaleur au navire de cuisson [3].

Les cuiseurs solaires avec capteurs à concentration utilisent souvent de grands concentrateurs paraboliques ou sphériques pour la génération de la vapeur nécessaire à la cuisson, ces concentrateurs sont généralement montés sur le toit et orientés vers le Sud. Le rayonnement solaire capté par les concentrateurs se concentre sur une chaudière cylindrique ou la vapeur est produite pour faire cuire des repas à grande échelle. Les inconvénients de ce dernier type sont liés à leur taille et leur coût[6].

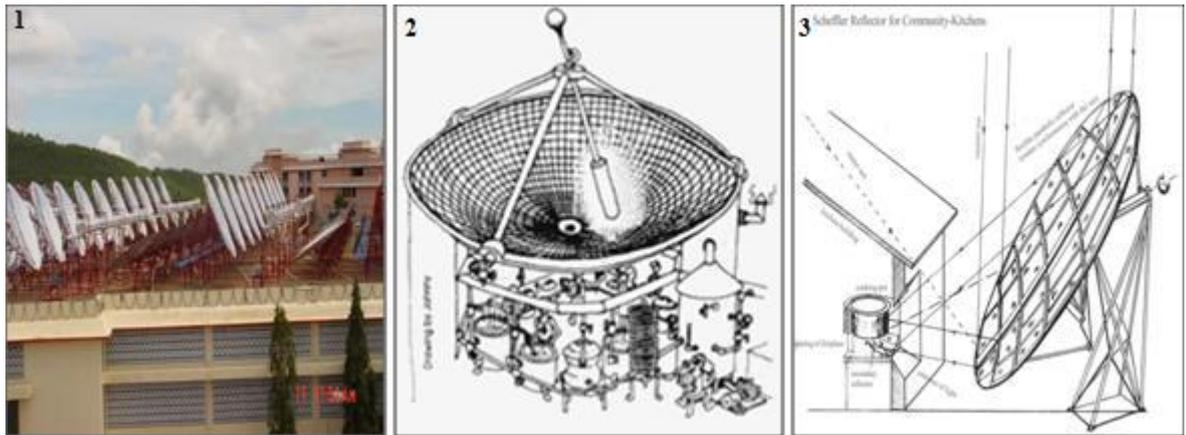


Fig.I.11 : Les cuisers solaires indirects à concentration

I.6.2. Les cuisers solaires avec stockage :

Afin de résoudre le problème de la cuisson en plein air ou l'incapacité de cuire les aliments après le coucher du soleil ou en raison de la nébulosité fréquente par jour

Le stockage de l'énergie thermique est essentiel lorsqu'il y a un non équivalence entre la demande en énergie et la consommation énergétique. Les cuisers solaires sont pourvus de matériaux capables de stocker cette énergie tout au long de la journée et de la restituer au moment de la cuisson des aliments.

L'énergie thermique peut être stockée par l'augmentation de l'énergie interne d'un matériau sous forme de chaleur sensible, de chaleur latente et thermochimique ou une combinaison de celles-ci [5].

I.6.2.1. Stockage de chaleur sensible :

Dans le cas de stockage par chaleur sensible, l'énergie thermique stockée se traduit par l'augmentation de la température du matériau stockeur, en général un solide ou un liquide.

L'huile moteur est souvent utilisée comme stockage dans les poêles-caisses [3].

Lorsque la température maximale de stagnation à l'intérieur du poêle avec l'équipement de stockage pendant la journée est similaire à la température à l'intérieur du poêle sans stockage mais supérieur de plus de 20 degrés entre la fin de l'après-midi et minuit [5].

Le sable est un autre moyen de stocker la chaleur. En fait, le sable était utilisé comme méthode de cuisson à l'intérieur des locaux, et 6 heures de cuisson à l'extérieur et environ 3 heures par jour étaient enregistrées à l'intérieur [3].

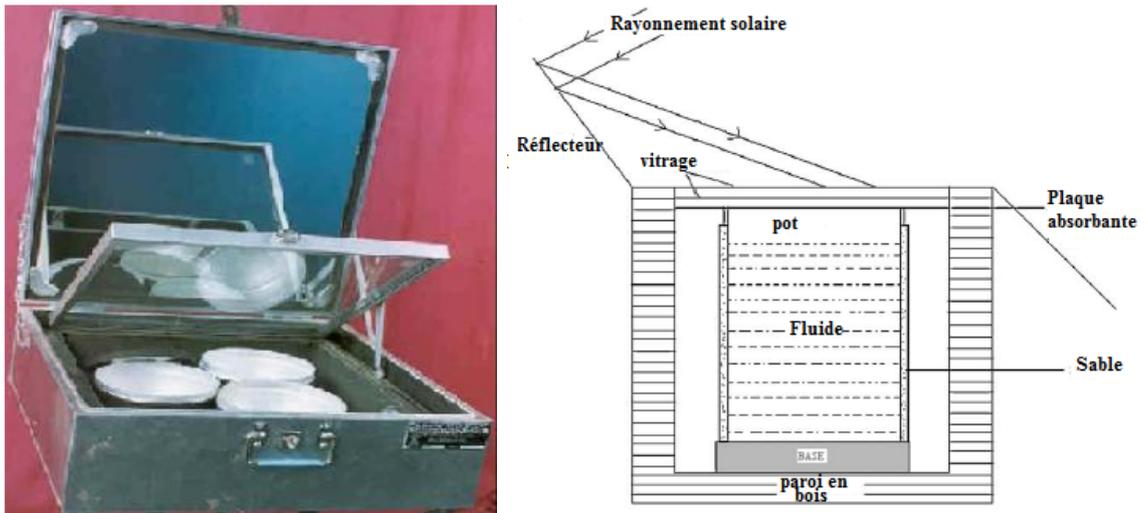


Fig.I.12 : Cuiseur solaire avec stockage de chaleur sensible

I.6.2.2. Cuiseurs solaires avec stockage de chaleur latente :

La chaleur latente est l'énergie mise en jeu lors des changements d'état de la matière. L'utilisation d'un matériau à changement de phase (PCM) pour stocker de la chaleur sous forme de chaleur latente est intéressante car cela constitue un système de stockage compact et efficace, dû à une densité de stockage élevée et à une température de fonctionnement constante[6].

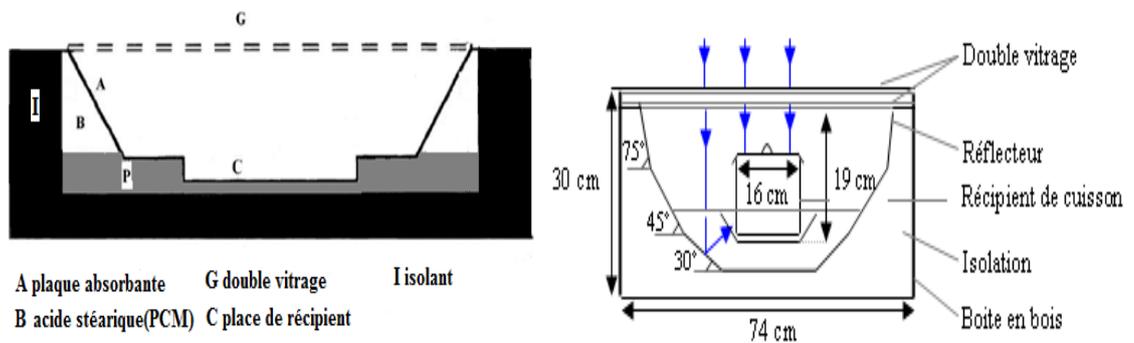


Fig.I.13 : Schéma d'un cuiseur solaire à stockage de chaleur latente de type boîte avec PCM intégré en mode indirect

I.6.2.3. Cuiseurs suiveurs du soleil :

En 2010, Un cuiseur solaire cylindrons-parabolique avec système de poursuite solaire automatique, a été conçu, construit et testé par Al-Soud et al., un contrôleur programmable a été employé pour contrôler le mouvement du cuiseur solaire. Les résultats de l'essai ont prouvé quela température de l'eau à l'intérieur de la cuve du cuiseur a atteint 90 °C en jours typiques d'été, quand la température ambiante enregistre un maximum de 36 °C [5].

CHAPITRE I : Généralités sur les Cuiseur Solaires

En 2011, l'effet d'un système de poursuite solaire à deux axes sur un cuiseur parabolique, 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. Les résultats expérimentaux obtenus montrent que la température à l'intérieur du récipient avait atteint les 93 °C quand la température ambiante est de 32 °C, la température obtenue convient parfaitement pour faire cuire différents [3].



Fig.I.14 : (a) Cuiseur cylindro-parabolique ; (b) système de poursuite solaire,

Réalisés par Al-Soud et al.



Fig. I.15 :(a) Cuiseur parabolique ; (b) système de poursuite solaire (b),
Réalisés par Abu-Malouh et al

I.6.2.4. Cuiseurs boîtes à usage multiple (cuiseurs hybrides) :

Kumar et al. Ont conçu et fabriqué un cuiseur-séchoir solaire de type pyramide tronqué, 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 tronqué, qui pourrait être utilisé pour la cuisine domestique aussi bien que pour le chauffage de l'eau [5].

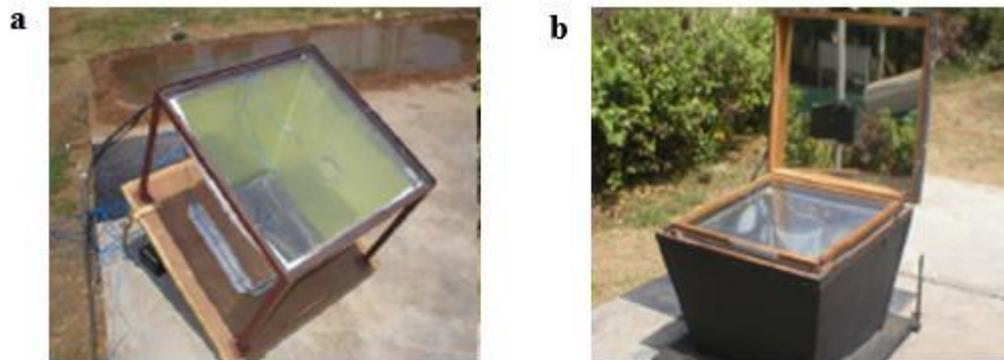


Fig.I.16 : (a) Cuiseur séchoir- pyramide, (b) cuiseur chauffe-eau, réalisé par Kumar et al

I.7. Cuiseurs solaires en Algérie :

I.7.1. Cuiseurs solaires à L'URERMS, Adrar :

Le premier prototype de cuiseur solaire boîte réalisé en fin 2004 et présenté au public Adrar en 2005.

C'est un premier prototype réalisé dans un but purement expérimental. Il est essentiellement construit à partir de plaques de bois en contre-plaqué, des miroirs plans et une plaque absorbante en tôle métallique ordinaire noircie.

Après 16 ans, ce cuiseur est toujours fonctionnel. Il a été utilisé dans le cadre de démonstrations pour la vulgarisation de la cuisson solaire en Algérie à l'occasion d'une dizaine de séminaires scientifiques organisés par différentes universités[10].



Fig.I.18 : Premier prototype de cuiseur solaire boîte réaliser à L'URERMS, Adrar.

I.7.2. Cuiseurs solaires à L'URAER, Ghardaïa :

I.7.2.1. Cuiseur Solaire à Concentration :

Le cuiseur à concentration réalisé est constitué d'un réflecteur parabolique composé de plusieurs miroirs, son rôle est de concentrer les rayons solaires au niveau du récipient. Dans ce type de cuiseur les gammes de cuissons sont nombreuses par apport au cuiseur boîte, on peut cuire des grillades et des fritures ...etc.

Qualité : Une alimentation saine et cuisson de divers types de repas : Fritures, grillades.

Efficacité : Des températures jusqu'à 250°C.

Economique : Pas de combustible fossile, l'énergie solaire est gratuite.

Ecologique : Permet de diminuer les émissions des gaz à effet de serre et contribue à la réduction de la déforestation et de la désertification [11].



Fig.I.18 :Prototype de cuiseur solaire à Concentration-URAER

I.7.2.2. Cuiseur Solaire Boîte :

Le cuiseur boîte réalisé est constitué d'un réflecteur additionnel réfléchissant, qui concentrent les rayons du soleil sur le récipient. Le cuiseur boîte utilise le principe de l'effet de serre. Les rayons pénètrent la boîte isolée à travers la vitre, la température monte progressivement, et le récipient noir placé à l'intérieur se retrouve immergé dans la chaleur.

Qualité : Une alimentation saine et cuisson de divers types de repas.

Efficacité : Des températures jusqu'à 150°C.

Economique : Pas de combustible fossile, l'énergie solaire est gratuite.

Ecologique : Permet de diminuer l'émission de gaz à effet de serre et contribue à la réduction de la déforestation[12].



Fig.I.19 : Prototype de cuiseur boîte-URAER.

I.8. Les avantages et les inconvénients des cuiseurs solaires :

I.8.1. Les avantages des cuiseurs solaires :

Le recours et le développement de l'énergie solaire aujourd'hui dans le monde pour la santé de nos enfants et de notre Mère Terre et la cuisson solaire est une solution simple et efficace pour résoudre certains problèmes de santé et d'environnement, nous en mentionnons certains :

❖ La santé :

1- Purification de l'eau : Peu de gens le savent mais l'eau se purifie dès 65°C.

Le cuiseur solaire atteignant 150°C en moyenne, les familles purifient l'eau qu'elles boivent, et on sait que les taux de mortalité infantile, tant élevé dans certains pays du Sud, sont surtout dus aux diarrhées causées par l'eau crue non pasteurisée [6].

2- Alimentation saine : Le cuiseur solaire conserve les saveurs et les richesses des aliments cuits. La concoction solaire est lente tandis que le feu à gaz tue les vitamines [13].

❖ L'environnement :

1- Réduction de la déforestation, du déboisement et de l'érosion des sols : plus de 80% du bois coupé dans le monde est utilisé pour la cuisson et 2 milliards de personnes sur terre utilisent le bois pour cuire [14].

2- Diminution de l'émission de gaz à effet de serre (CO₂) : Toute combustion, qu'elle soit de gaz, de bois, de pétrole etc.

❖ Vie quotidienne :

1- Sécurité : Face aux dangers de l'utilisation du gaz en cuisine (brûlure, feu, fuite...), le cuiseur solaire est une véritable innovation en matière de sécurité [6].

2- Partage : Simple et sure, la cuisson solaire permet à tous les membres de la famille de cuisiner.

I.8.2. Les inconvénients des cuiseurs solaires :

1-Le temps de cuisson est variable et va dépendre de l'ensoleillement.

2-Les durées de cuisson, sont bien supérieures à celles des cuissons traditionnelles (ils souvent multiplié par deux comparativement à un mode de cuisson traditionnel).

3-La possibilité de cuisiner dehors dépend de l'ensoleillement, cela n'est possible ni tous les jours ou ni à toute heure [6] [13].

I.9. Conclusion :

Au cours de ce premier chapitre, nous avons fait une initiation des cuiseurs solaire qu'il capture les rayons du soleil avec une surface brillant ou miroir, qui réfléchisse les rayons du soleil et les concentre sur un récipient de cuisson, à cette concentration de rayons solaire, s'ajoute un effet de serre dans le cas des cuiseurs boites. En cas de mauvais temps ou pendant la nuit, on utilise la méthode du stockage thermique d'énergie pour la cuisson.

CHAPITRE II :

**Modélisation de l'Eclairement
solaire et Système de Poursuite
Solaire**

II.1. Introduction :

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire. Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique, il est nécessaire de connaître la quantité d'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année.

Pour cette raison, il est nécessaire de présenter les notions générales du gisement solaire, du rayonnement et d'énergie solaire. Par gisement solaire on entend les différentes caractéristiques du rayonnement solaire.

Toutes les équations présentées dans ce chapitre ; pour l'estimation des composantes directes et diffuse de l'éclairement solaire sur un plan horizontal ont été programmées sur Matlab. Des graphes obtenus sont issus par Matlab du modèle Capdéroü.

Un parfait suivi solaire exige de l'installation spéciale appelée suiveur solaire. Est une installation de production de l'énergie solaire utilisant le principe d'héliostat.

II.2. Système terre-soleil :

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1391000Km, il est situé à une distance moyenne de 14598000Km de la terre. Le soleil est composé de matière gazeuse essentiellement de l'hydrogène et l'hélium et il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint 7K.

L'énergie solaire envoyée dans toutes les directions dans la terre est très énorme, mais assez diluée car la puissance maximale reçue à l'extérieur de l'atmosphère est d'environ 1350W. Pour récupérer une bonne quantité d'énergie il faut donc augmenter la surface qui intercepte le flux solaire. La concentration du rayonnement solaire ne permet pas d'augmenter la puissance mais seulement le niveau de température pouvant être atteint[15].

II.2.1. Mouvement orbitale de la terre autour du soleil :

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique avec une période de 365.25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan d'écliptique. C'est au solstice d'hiver que la terre est plus proche du soleil, et c'est au solstice d'été qu'elle en est plus éloignée.

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24 h. son axe de rotation (l'axe des pôles) à une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $\delta=23.45^\circ$ avec la normale au plan de l'écliptique[6].

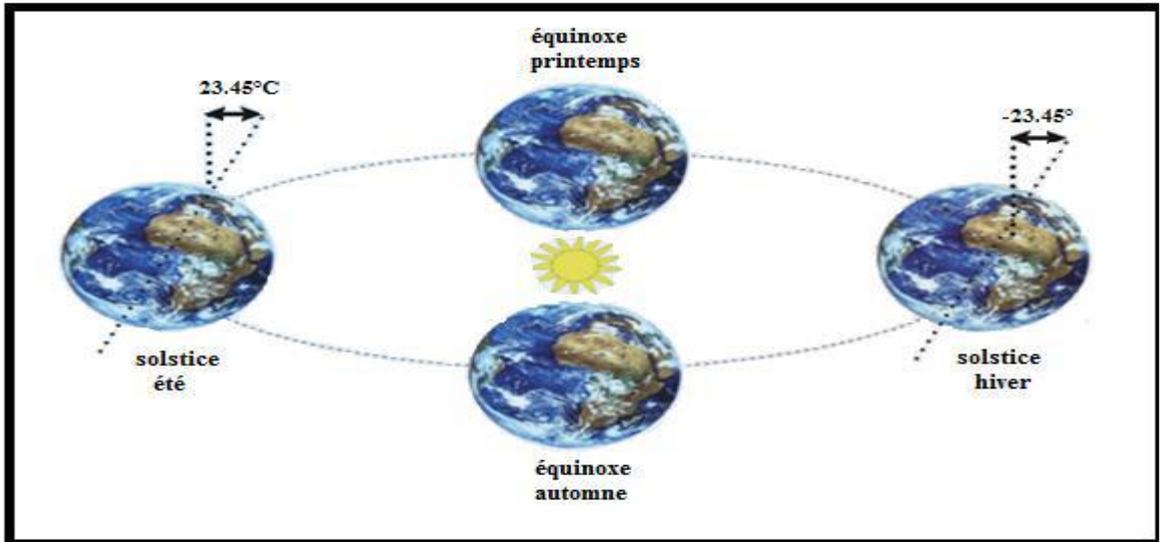


Fig.II.1 : Mouvement de la terre autour de soleil [16].

II.2.2. Paramètres géométriques :

II.2.2.1. La sphère céleste :

Est une sphère imaginaire d'un diamètre immense avec la terre au centre. On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste, la figure ci-dessous représente les différentes caractéristiques sur la sphère elle-même[16].

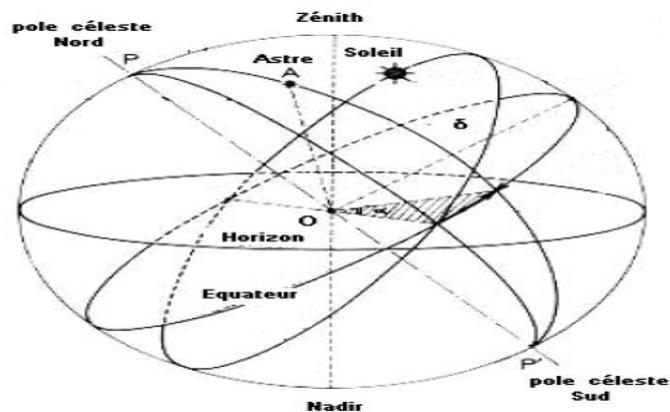


Fig.II.2 : sphère céleste. [1].

II.2.2.2. Coordonnées géographiques terrestres :

Un point sur la surface de la terre est repéré par ces coordonnées :

- **La latitude (φ):**

Une latitude donne une localisation d'un point par rapport à l'équateur, elle varie entre 0 et 90° positivement vers le pôle nord et négativement vers le pôle sud[16].

- **La longitude(L):**

La longitude d'un lieu donné est l'angle formé par le méridien de ce lieu avec le méridien d'origine (méridien de Greenwich); elle est composée de 0 et 180°; positivement vers l'est et négativement vers l'ouest[16].

- **Altitude :**

L'altitude est l'élévation d'un lieu par rapport au niveau de mer, mesuré en mètre (m)[16].

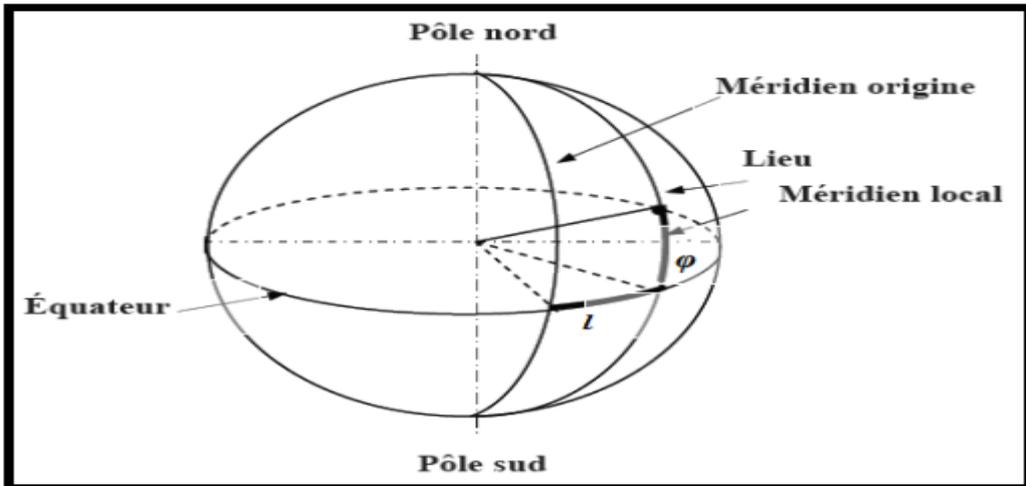


Fig. II.3 : Coordonnés géographique terrestre [6].

II.2.2.3. Coordonnées horaires :

- **La déclinaison horaire δ:**

C'est l'angle que fait la direction d'observation du soleil avec sa projection sur le plan équatorial. Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique. En considérant la déclinaison comme constante sur une journée, sa valeur peut être calculée par la formule suivante [16] :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{2\pi(284+d)}{365} \right] \dots\dots\dots(II.1)$$

d : est le numéro du jour de l'année à partir de janvier.

La déclinaison solaire varie de -23.45° au solstice d'hiver et 23.45° au solstice d'été, et elle est nulle aux équinoxes, cette variation entraîne des variations de la hauteur du soleil pour un même site.

- **Angle horaire ω :**

L'angle horaire est l'angle formé par le méridien local et le cercle de soleil. L'angle horaire est compris entre 0° et 360°. La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure [6].

- **Temps solaire vrai:**

La notion du temps vrai TSV a une liaison avec l'angle horaire ω . La valeur zéro degré (0) de cet angle est atteinte au passage du soleil au méridien du lieu et qui correspond à 12h

$$\omega = 15(\text{TSV} - 12) \dots \dots \dots (\text{II.2})$$

TSV, c'est -à- dire au midi solaire vrai. La relation entre ces deux fonctions est [6] :

$$\text{TSV} = \text{TL} - \text{DE} + \left(\frac{\text{ET}+4}{60}\right) \dots \dots \dots (\text{II.3})$$

Avec :

$$\text{ET} = 9.87 \sin(2n) - 7.35 \cos(n) - 1.5 \cos(n) \dots \dots \dots (\text{II.4})$$

$$n = d - 81 \left(\frac{360}{365}\right) \dots \dots \dots (\text{II.5})$$

TL : temps légal ;

DE=décalage horaire administratif ;

ET= correction de temps en minute ;

l : longitude de lieu en Algérie.

II.2.2.4. Coordonnées horizontales :

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

- **Hauteur angulaire du soleil h :**

C'est l'angle compris entre la direction du soleil et le plan horizontal, h varie de 0° à 90° vers le zénith et de 0° à -90° vers le nadir. L'angle de la hauteur solaire est donné par [17] :

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \dots \dots \dots (\text{II.6})$$

- **Azimut a:**

L'azimut est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il se compte de 0° à 360° à partir du sud dans le sens rétrograde, la relation qui donne l'azimut est ci-dessous [4] :

$$\cos a = \frac{(\sin h \sin \varphi - \sin \delta)}{\cos \varphi} \dots \dots \dots (\text{II.7})$$

- **Angle zénithal z:**

C'est l'angle entre la direction du soleil et le vecteur du lieu (zénith). L'angle z et complémentaire de h [17] :

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \dots \dots \dots (II.8)$$

II.3. Paramètre atmosphérique :

II.3.1. Masse atmosphérique :

On appelle masse d'air m_A la masse d'air traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol, par rapport à une traversée verticale au niveau de la mer. Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus il va subir des transformations, la masse atmosphérique relative est donnée par [3] :

$$m_A = 1 / \sin(\gamma_s) \dots \dots \dots (II.9)$$

Dans l'Atlas solaire d'Algérie, Capderou a utilisé la formule suivante [18] :

$$m_A = \frac{1}{\sin(\gamma_s) + [0.94 \times 10^{-4} \times \{\sin(\gamma_s) + 0.0678\}^{-1.253}} \dots \dots \dots (II.10)$$

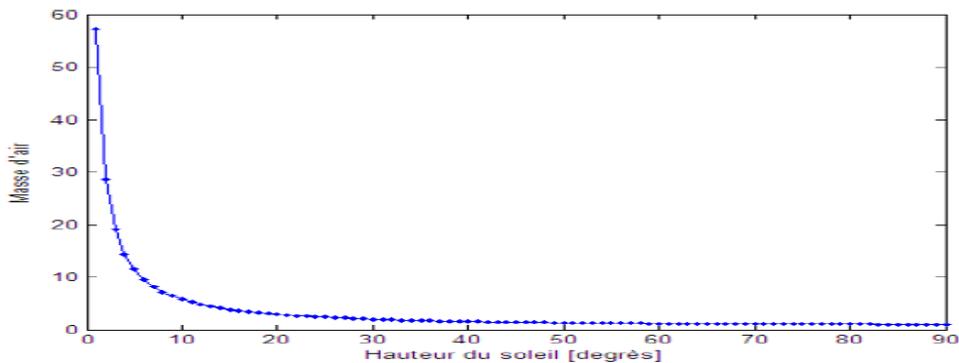


Fig. II.4 : Variation de la masse d'air en fonction de la hauteur de soleil [3].

II.3.2. Epaisseur optique de l'atmosphère :

L'épaisseur optique d'atmosphère a été définie en 1922 par Link, pas mal d'experts ont mis des formules qui l'expriment. En 1986, Louche ajouta l'absorption par les constituants permanents de l'atmosphère et proposa un polynôme de 4^{ème} ordre pour la masse d'air.

$$\delta_R^{-1} = 0.5567(1.7513 * m_A) - (0.1202 * m_A^2) - (0.0065 * m_A^3) - (0.00013 * m_A^4) \dots (II.11)$$

Récemment en 1996, Kasten a ajusté la formule de Louche et proposa une nouvelle expression pour δ_R :

$$\delta_R^{-1} = 6.6296(1.7513 * m_A) - (0.1202 * m_A^2) - (0.0065 * m_A^3) - (0.00013 * m_A^4) \dots (II.12)$$

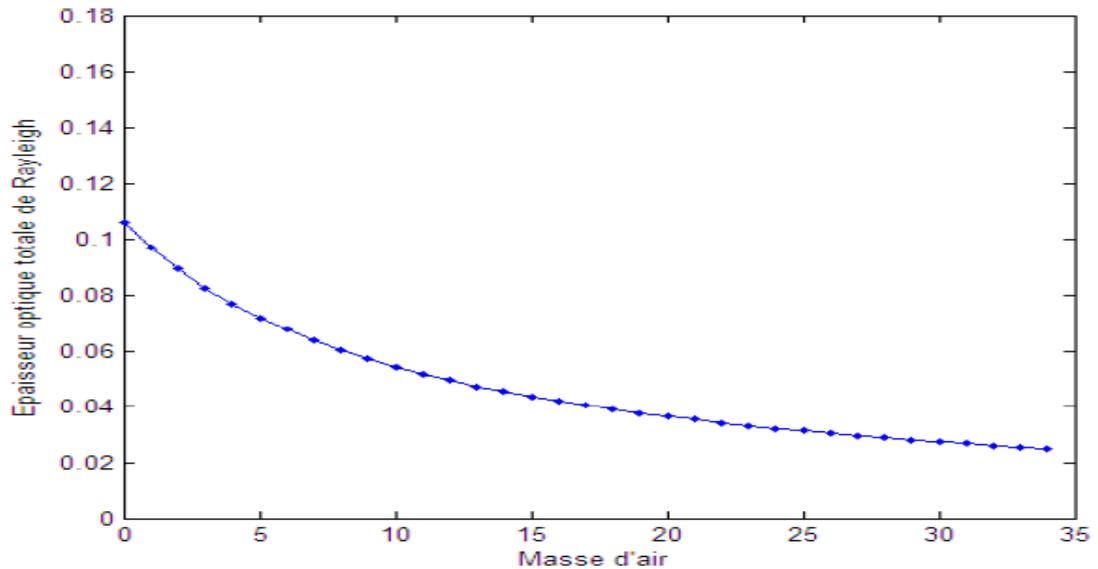


Fig. II.5 : Variation de l'épaisseur optique d'atmosphère en fonction de la masse d'air [3].

II.4 Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est l'ensemble du spectre du rayonnement émis par le soleil, c'est l'ensemble des longueurs d'ondes λ comprise entre 0.3 et $3\mu\text{m}$. Il comprend les ultraviolets, le visible, le proche infrarouge et le moyen infrarouge [19]. Lors de la traversée de l'atmosphère, seulement une partie de cette énergie est venue au sol. Cette énergie se décompose en deux parties principales :

Le rayonnement solaire direct ;

Le rayonnement solaire diffus ;

La somme de ces deux rayonnements appelés rayonnement solaire globale.

Une capture inclinée d'un angle donnée sur l'horizontale subit une autre composante de rayonnement : la part renvoyée vers l'atmosphère après réflexion diffuse par le sol[15].

II.4.1. Composantes du rayonnement solaire :

II.4.1.1. Le rayonnement directe (IB) :

Une partie de rayonnement solaire arrive au sol de manière directionnelle.

II.4.1.2. Le rayonnement diffus (ID) :

D'autre partie de ce rayonnement est diffusé par les molécules et les particules présentes dans l'atmosphère[19].

II.4.1.3. Le rayonnement réfléchi (IR) :

Le rayonnement réfléchi est à prendre en compte seulement dans le cas d'une surface incliné.

Il est directement proportionnel au rayonnement global. Le sol réfléchit une partie d'éclairement qu'il reçoit en fonction de sa nature.

- Sol cultivé ;
- Neige 60à90% ;
- Sable 30à40%.

II.4.1.4 Le rayonnement globale (IG) :

- Rayonnement globale sur une surface horizontale (IGh) : est la somme du rayonnement directe et du rayonnement diffus.
- Rayonnement globale sur une surface incliné (IGi) : est la somme des composantes directes, diffuse et réfléchi par le sol du rayonnement solaire[15].

Albédo : c'est le rapport du rayonnement incident diffusé ou réfléchi sur le rayonnement incident. Un corps noir a un albédo nul[6].

$$\text{Albédo } (\rho) = \frac{\text{énergie réfléchi}}{\text{énergie reçu}}$$

II.5. L'instrument de mesure du rayonnement solaire :

II.5.1. Le rayonnement directe (pyrhéliomètre) :

Ce rayonnement est la composante directe du rayonnement solaire et sa composition spectrale est identique, c'est en fait le pinceau lumineux émis par le disque solaire. Il est donc nécessaire pour le mesurer de suivre la course de soleil à l'aide d'un système piloté informatiquement. Les appareils utilisé pour les mesurer sont appelés pyrhéliomètre[15].

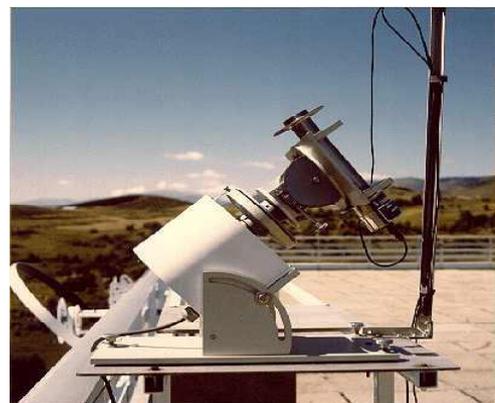


Fig. II.6 : Pyrhéliomètre pour la mesure du rayonnement direct.

II.5.2. Le rayonnement diffusé et globale (pyranomètre) :

Les mesures effectuées par un pyranomètre sont :

- La mesure d'éclairage énergétique globale ;
- La mesure d'éclairage énergétique diffus par adjonction d'un dispositif d'occultation d'un disque solaire[16].



Fig.II.7 : Pyranomètre pour la mesure du rayonnement global et diffus.

II.5.3. Le rayonnement réfléchi (albédo mètre) :

C'est le rapport de l'énergie réfléchié par une surface à l'énergie solaire incidente. Sa valeur est comprise entre 0et 1. Il peut être mesuré par un albédo mètre[6].



Fig.II.8 : albédo-mètre pour la mesure du rayonnement réfléchi.

II.6. Gisement solaire :

Par sa situation géographique, l'Algérie est considérée comme l'un des pays qui dispose des gisements solaires plus élevés au monde. 2000heures annuelle et 3900heure (haute plateau et Sahara) sont les durés d'ensoleillement sur le quasi de territoire nationale. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de5KW/h sur la majeure de territoire nationale [19].

La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques du monde.

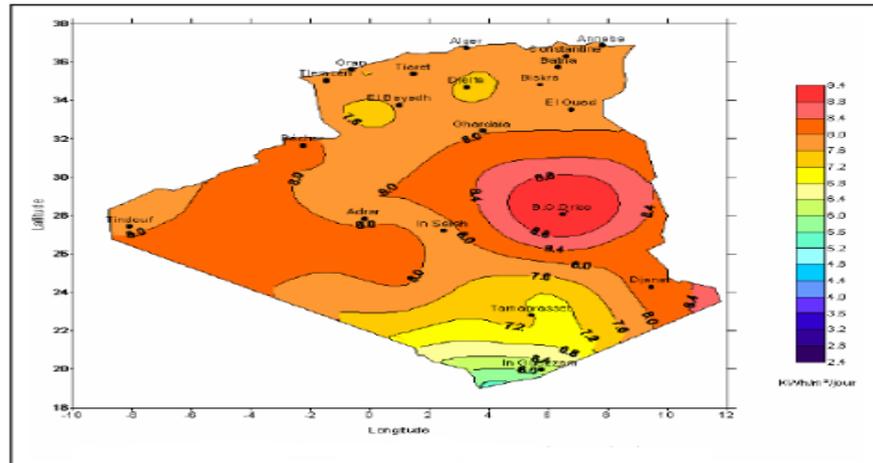


Fig.II.9 : potentiel d'énergie solaire en Algérie.

La distribution de l'énergie reçue en Algérie, en moyenne annuelle, est donnée par la figure ci-dessous. Elle présente les différents niveaux énergétiques qui donnent ainsi un découpage du pays en région iso-énergétiques.

II.7. Modélisation de l'éclairement solaire utilisant le modèle Capderou :

Le modèle de Capderou utilise le trouble atmosphérique pour calculer les composantes directes et diffuse de l'irradiation reçue sur un plan. L'absorption et la diffusion causées par les constituants de l'atmosphère peuvent être exprimées par des facteurs des troubles.

A partir de ces facteurs, on peut exprimer les irradiances directes et diffuses par ciel clair (H)[20].

II.7.1. Eclairement hors atmosphère :

Le rayonnement solaire extraterrestre est en fonction de la constante solaire $I_0 = 1367$ W/m² et de la correction de la distance entre la terre et le soleil et sa variation en fonction du jour de l'année La constante solaire est le flux énergétique reçu par une surface unité.

En dehors de l'atmosphère, une surface exposée au soleil ne peut recevoir cette valeur d'intensité que si elle est placée perpendiculairement à la direction de l'éclairement, toute distance par rapport à cette orientation entraîne une réduction de l'éclairage incident. Dans le cas d'un plan horizontal situé en dehors de l'atmosphère, l'éclairement est décrit comme : éclairement solaire extraterrestre horizontal [3] :

$$G_0 = I_0 \cdot \varepsilon \dots \dots \dots (II.13)$$

Est la correction de distance terre soleil, elle est donnée par [13] :

$$\varepsilon = 10.03344 \cos (N_p - 0.048869) \dots \dots \dots (II.14)$$

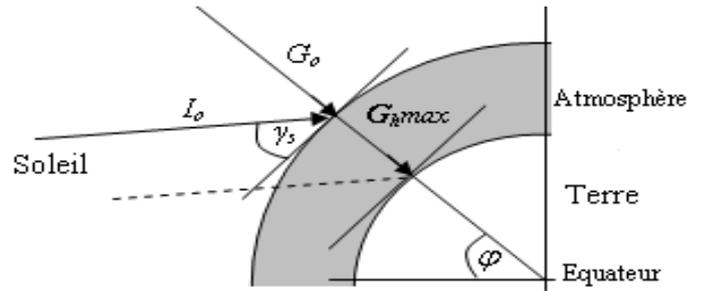
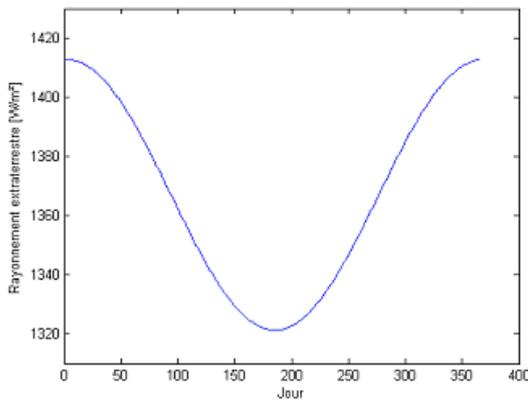


Fig. II.10. Variation de l'éclairement solaire Extraterrestre en fonction du jour. Fig. II.11 : Eclairement hors atmosphère.

II.7.2. Estimation de l'éclairement solaire incident sur un plan horizontal

II.7.2.1. Eclairement direct incident sur un plan horizontal :

L'éclairement direct est le flux solaire incident directement sur le plan considéré sous un angle représentant la hauteur solaire. Tel que modélisé par Hofierka et al. (2002)[20].

Pour le rayonnement direct, Capderou utilisa la formule (II.7) pour la masse d'air m_A et la formule (II.8) pour l'épaisseur totale de l'atmosphère δ_R , et donna l'équation (II.9) qui permet de calculer L'éclairement direct incident sur un plan horizontal $IB^h(\gamma_s, T_L)$, par ciel clair, en fonction de la hauteur du soleil γ_s et du facteur de trouble total de Linke TL [3] :

$$m_A = 1/\sin(\gamma_s) \dots \dots \dots (II.15)$$

$$(\delta_R)^{(-1)} = 9.4 + 0.9m_A \dots \dots \dots (II.16)$$

$$IB^h(\gamma_s, T_L) = G_0 * \sin(\gamma_s) * \exp \left[- \frac{T_L}{\left\{ 0.9 + \frac{9.4}{(0.89)^{Alt}} * \sin(\gamma_s) \right\}} \right] \dots \dots \dots (II.17)$$

II.7.2.2. Eclairement diffus incident sur un plan horizontal :

L'éclairement diffus est le flux solaire reçu par un plan considéré qui reverse les nuages,

Pour calculer l'éclairement diffus, Capderou utilisa le facteur de trouble diffusif et donna ; en 1987, une l'équation (1.10) fonction de la hauteur du soleil γ_s [18] :

$$I_D = G_0 * \exp \left[-1 + 1.606 * \log \{ \sin(\gamma_s) \} + a - \sqrt{b^2 + a^2} \right] \dots \dots \dots (II.18)$$

Avec :

$$a = 1.1 \dots \dots \dots (II.19)$$

$$b = \log(T'_L) - 2.80 + 1.02 [1 - \sin \gamma_s] \dots \dots \dots (II.20)$$

II.8. Différents systèmes de suiveur solaire (selon axe) :

II.8.1. Définition d'un système de poursuite solaire :

Un traqueur solaire ou suiveur solaire est un dispositif permettant à un télescope héliographique (observer le soleil ou certain de ses effets dans l'atmosphère), ou à une installation de production d'énergie solaire de suivre le soleil selon le principe de l'héliostat, cette structure portante motorisé oriente les panneaux solaires pour en augmenter la productivité. Ce système a pour but d'orienter les captures vers le soleil en temps réel, pour placer le panneau solaire dans une position optimale par rapport à l'incidence de rayonnement solaire (perpendiculaire au rayonnement si possible).

Elle peut se faire à deux axes : en azimut et en hauteur, l'idéale est d'utiliser un suiveur à deux axes mais il en existe aussi avec un seul axe (suivi seulement par azimut).

Le rendement des panneaux solaire peut être amélioré en suivant deux logiques. La première consiste à suivre l'azimut (c'est-à-dire la course du soleil), les panneaux doivent donc suivre le soleil d'Est en Ouest. La deuxième consiste à améliorer l'incidence des rayons solaire dépend des saisons et de l'heure de la journée[21].

II.8.2. Suiveur à axe horizontal :

Ce type de suiveur n'apporte que très peu de gain par rapport à un système fixe. Sa conception est la plus simple de l'ensemble des suiveurs, il faudrait qu'un suiveur permettant une plage d'inclinaison de 10° à 30° pour obtenir la meilleure solution. Le gain est de l'ordre 2.2 % il restait assez faible[22].



Fig. II.12 : Suiveur à axe horizontale.

II.8.3. Suiveur à axe vertical incliné :

Ce suiveur permet un gain d'environ 20%, il est moins imposant, moins couteux et permet d'installer plus de puissance sur un terrain donné[22].



Fig. II.13: Suiveur à axe verticale incliné.

II.8.4. Suiveur à deux axes :

Les suiveurs à deux axes permettent un gain d'environ 30%, il est très imposant et visible de loin, il permet l'orientation du panneau sur les deux axes[22].



Fig. II.14: Suiveur à deux axes.

II.9. Stratégies de commande d'un tracker :

La stratégie de commande d'un tracker consiste essentiellement à générer la trajectoire du tracker afin de poursuivre parfaitement le soleil dans le but de maximiser la production. En effet, l'asservissement des actionneurs des trackers est généralement considéré comme maîtrisé et n'est par conséquent pas abordé.

D'autres objectifs et contraintes de cette stratégie peuvent être atteints : la minimisation de l'énergie consommée, l'adaptation aux variations des conditions météorologiques.

Trois grandes stratégies se dégagent, le troisième hybride, étant une combinaison des deux premières dite stratégie en boucle ouverte et en boucle fermée[23].

II.9.1 Commande en boucle ouverte :

Est une commande active de poursuite basé uniquement sur des calculs astronomiques de la position du soleil, sans mesure de la du soleil. En fait, il permet de générer les consignes de la trajectoire de poursuite de tracker à partir de l'heure et des coordonnées GPS d'une centrale. Cette commande est très sensible aux perturbations et aux erreurs de modélisation.

Elle est utilisée dans le cas des trackers PV (Photovoltaïque) conventionnelle qui ne nécessite pas une grande précision de suivi[23].

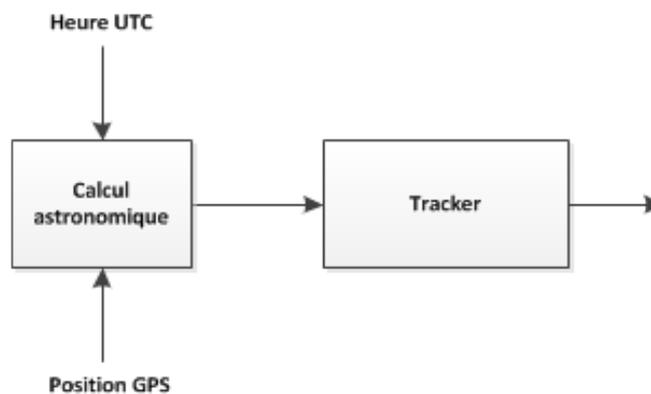


Fig. II.15 : Commande en boucle ouverte d'un tracker.

II.9.2 Commande en boucle fermé :

La commande dite en boucle fermé est une commande active qui se base sur une mesure de l'erreur de poursuite réelle pour contrôler les actionneurs de tracker. Cette mesure de l'erreur est fournie généralement par un capteur solaire. Dans certain cas le retour n'est pas une erreur de poursuite mais une puissance produite par le module.

Malgré les avantages apportés par cette commande, l'utilisation de la capture solaire contraignant car une panne de la capture ou un passage du nuage peut provoquer un arrêt du suivi, et une fois le soleil sorti du champ de vision de capteur, arrêt de production[23].

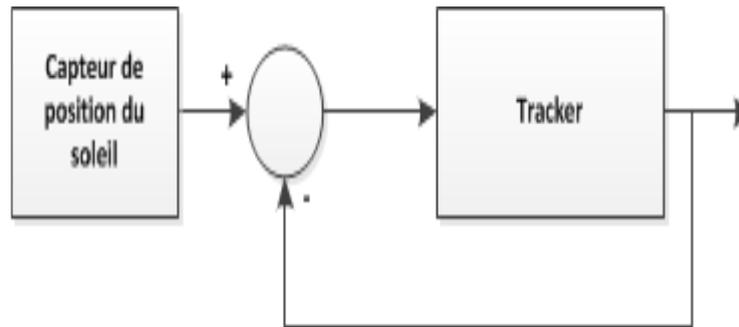


Fig. II.16 : Commande en boucle fermé d'un tracker.

II.9.3 Commande hybride :

Est une commande de poursuite qui combine le calcul de la position de référence proposé par la boucle ouverte, la donnée de retour proposée par la commande en boucle fermé. Cette commande peut être appliquée de manières différentes.

Cette stratégie est très recommandée dans les trackers CPV (Photovoltaïque à Concentration) et HCPV (Photovoltaïque à Haute Concentration), elle permet d'améliorer la précision en corrigeant les erreurs de calculs astronomiques. Elle a aussi l'avantage de permettre un fonctionnement en mode dégradé à l'aide de sa boucle ouverte, en cas de panne du capteur solaire ou lorsque celui-ci ne délivre plus d'information[23].

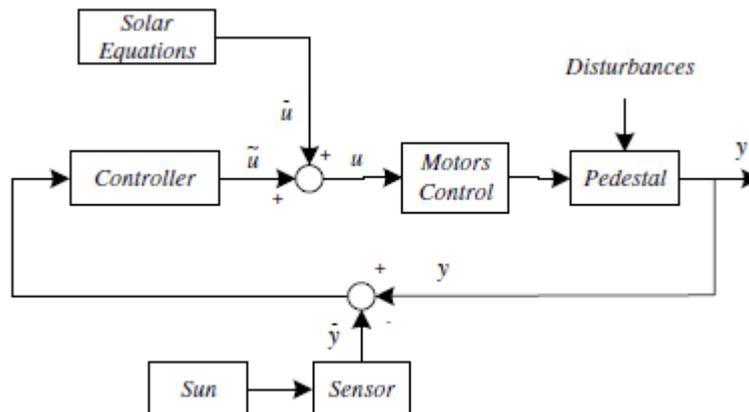


Fig. II.17 : Commande hybride d'un tracker double axes (Rubio.F.R, 2007)

I.10. Evaluation des performances thermiques du cuiseur :

I.10.1. Détermination des paramètres de mérites 'figures of merits' :

L'évaluation des performances thermique est très importante pour la caractérisation des cuiseurs solaires. Mullick et al ont développé une procédure de test thermique pour ces cuiseur boîte. Une méthode d'essai complète suivant la norme IS1349 : 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 performances thermique (figures of merits, F_1 et F_2) sur la base des relevés des profils thermique sans tenir compte de l'effet du miroir réflecteur [19].

Expérimentalement, F_1 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 :

$$F_1 = \frac{\eta_o}{UL} = \frac{T_{ps} - T_{as}}{I_s} \dots \dots \dots (II.21)$$

Le second paramètre de mérites F_2 est dérivé du test de chaleur sensible sous des conditions de pleine charge. Elle est donnée par la relation suivante :

$$F_2 = \frac{F_1(mcp)w}{Asc\tau} \ln \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{wi} - T_a}{I_s} \right) \right] / \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{wf} - T_a}{I_s} \right) \right] \dots \dots \dots (II.22)$$

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, peut être déduite à partir de l'équation (I.2) de la manière suivante :

$$\tau_{boil} = \frac{-F_1(mcp)w}{F_2Asc} \ln \left[1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{100 - T_a}{I_s} \right) \right] \dots \dots \dots (II.23)$$

I.10.2. Détermination de la puissance de cuisson :

Les performances des cuiseurs solaire boite peuvent être déterminées à partir de la puissance ajustée, c'est ce qui suggérée par Funk.

Funk a introduit le terme de la puissance ajusté ou standardisé P_{adj} , pour faciliter la comparaison entre les divers types des cuiseurs solaire sous différentes intensités d'éclairement. Elle est donnée par :

$$P_{adj} = P \frac{I_n}{I_s} \dots \dots \dots (II.24)$$

Où, P est donnée par :

$$P = \frac{(mcp)w.(T_{wf} - T_{wi})}{\Delta t} \dots \dots \dots (II.25)$$

Selon les standards, la vitesse du vent doit être inférieure à 1m/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 1100W/m², respectivement. In est l'éclairement solaire standardisé à 700W/m², $\Delta t=600s$.

II.11. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé de donner des notions générales sur le gisement solaire ainsi que sur les paramètres atmosphériques ; avec une modélisation du rayonnement solaire par le modèle Capdéro.

Ensuite nous avons défini le système de poursuite solaire, puis les différents types de suiveur solaire. On peut dire que le bon fonctionnement d'un suiveur solaire exige une meilleure poursuite de la trajectoire du soleil du lever jusqu'au coucher, et pour notre projet une grande quantité de rayonnement est très important pour obtenir les résultats voulus.

Ces études approfondis nous aident à évaluer les performances thermiques du cuiseur solaire, ce dernier doit soumettre aux standards connus pour une bonne étude.

CHAPITRE III
TESTS EXPERIMENTAUX,
INTERPRETATION ET
DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Introduction :

Ce dernier chapitre, destiné à l'étude et la réalisation pratique du système de cuisson solaire à l'aide d'une carte électronique développé par nous ainsi qu'une application qui assure la connexion avec un mobile.

Nous allons présenter au début une étude sur les matériels utilisés, le logiciel et l'application, nous allons définir par la suite une étude pratique où nous introduisons une description générale sur le système, un organigramme simplifié, des schémas synoptique et d'autre électronique de la carte.

Ensuite, nous allons présenter les programmes inclus dans la construction de la carte de commande et l'application en arrivant à des tests expérimentaux.

III.2. Présentation du lieu de stage :

Le site de Ghardaïa 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 de la côte 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[18].



Fig.III.1 : L'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables URAER.

La caractérisation de sites se fait à travers l'analyse des paramètres météorologiques et radiométriques, 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.

III.3. Étude de la partie matérielle et logicielle :

III.3.1. Conception matérielle :

III.3.1.1. La carte Arduino Méga :

L'Arduino Méga est une carte microcontrôleur qui est basée sur l'Atmega 1280 qui possède 54 broches numériques d'entrée et de sorties, dont 14 broches peuvent être utilisées comme sortie PWM, 16 entrées analogiques, 4 UART, d'une cadence qui oscille à une fréquence de 16 MHz, d'une connexion USB, d'une prise d'alimentation et enfin d'une embase[24].

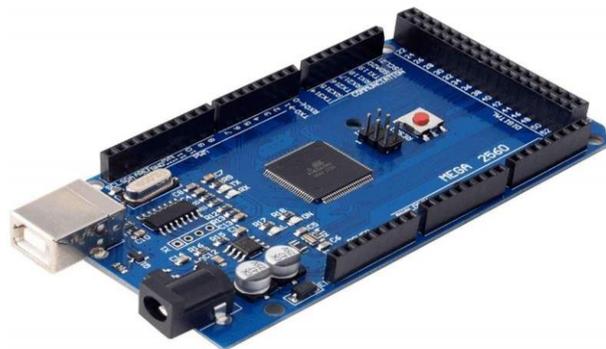


Fig.III.2 : Arduino méga.

III.3.1.1.1. Choix de La carte Arduino Méga :

Dans notre réalisation nous allons dépasser trois instruments, La carte Arduino Méga est la solution la plus optimale, parce qu'elle contient le plus grand nombre de broches, (comporte pas moins de 54 broches E/S numériques (dont 15 PWM) et 16 broches d'entrée analogique).

III.3.1.1.2. Les caractéristiques de la carte Arduino Méga 2560 :

- Microcontrôleur : ATmega 2560

- Tension de fonctionnement : 5V
- Tension d'entrée (recommandée) : 7-12V
- Tension d'entrée (limites) : 6-20V
- Broches E/S numériques : 54 (dont 14 alimentent la sortie PWM)
- Broches d'entrées analogiques : 16
- Intensité maxi disponible par broche E/S (5V) : 40 mA
- Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V: 50 mA
- Intensité maxi disponible pour la sortie 5V
- Fonction de l'alimentation utilisée – 500mA max si port USB utilisé seul
- Mémoire programme Flash : 256 KB dont 8 KB sont utilisées par le Bootloader
- Vitesse de l'horloge : 16 MHz [25].

III.3.1.2. La carte d'interface de mesure (Bluetooth HC-05):

III.3.1.2.1. Présentation :

Le Bluetooth est une norme de communications permettant l'échange bidirectionnel de données à très courte distance en utilisant des ondes radio UHF sur une bande de fréquence de 2,4 GHz. Son objectif est de simplifier les connexions entre les appareils électroniques en supprimant des liaisons filaires.

Le module Bluetooth HC-05 est un protocole de communication sans fil. Il utilise un protocole "maitre-esclave" :

En mode récepteur il peut s'apparier avec un émetteur comme un téléphone, un ordinateur, Bluetooth...[26].

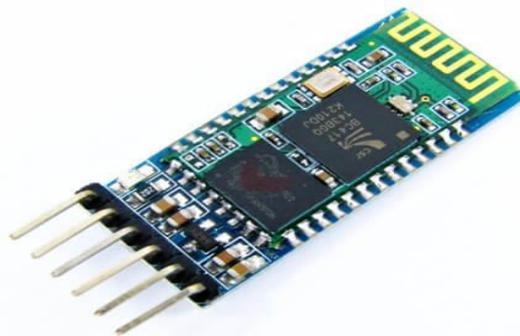


Fig.III.3: Module Bluetooth.

III.3.1.2.2. Caractéristiques :

- Tension de fonctionnement de 3.3V

- Tension entrée 3.3 à 6V.
- Bluetooth au protocole standard V2.0
- Baudrate par défaut de 9600, modifiable par l'utilisateur.
- Taille 39 x 15 mm
- Intensité 30 mA en fonctionnement, 8mA pour établir la communication
- Utilisation pour communication par Bluetooth avec téléphones portables, tablettes, ordinateurs
- Une LED indique le fonctionnement : clignote si non connecté ; éclairage fixe quand il est connecté.
- Utilise un régulateur 150mA 3.3V
- Brochage 6 pins : Vcc, Gnd, TxD, RxD
- Bouton "recherche" et contrôle de recherche commandée depuis un microcontrôleur par niveau HIGH (on/off/wake)[27].

III.3.1.3. La carte de stockage de données (carte SD):

III.3.1.3.1. Présentation :

La problématique du stockage de données est un sujet récurrent en développement Arduino. Qu'il s'agisse de stockage de mesures, de journaux d'événements ou simplement de fichiers de configuration, on a souvent besoin de stocker des données pour une utilisation ultérieure.

La solution la plus simple est d'utiliser une carte SD.

Le shield carte SD est une carte d'interface compatible Arduino permettant d'ajouter un espace de stockage sur les projets Arduino. Il supporte les cartes SD et les cartes micro-SD (via adaptateur inclus)[28].



Fig.III.4 : La carte de stockage de données (carte SD)

III.3.1.3.2. Caractéristiques :

Ce module a une interface SPI et une alimentation 5V qui est compatible avec Arduino UNO / Méga, les utilisateurs Arduino peuvent directement utiliser l'Arduino IDE avec la bibliothèque de programmes SD pour l'initialisation et la lecture[29].

- Spécifications : Alimentation secteur VCC : 4.5--5.5 V (typique 5V)
- Courant: 0.2--200mA (typique 80mA)
- Type de carte de support : Carte Micro SD (& lt; = 2G)
- Carte Micro SDHC (& lt; = 32G)
- Taille: 42X24X12mm.

III.3.1.4. Capteurs de mesure de température thermocouple type K :

III.3.1.4.1. Présentation :

Un capteur thermocouple est un capteur qui mesure la température. Il se compose de deux métaux de nature différente reliés à une extrémité. Quand la jonction des deux métaux est chauffée ou refroidie, une tension se produit qui peut être transcrite en température. Les alliages de thermocouple sont généralement disponibles sous forme de fil[30].

Dans notre projet nous utilisons le thermocouple type K « HW-550 MAX6675 ».

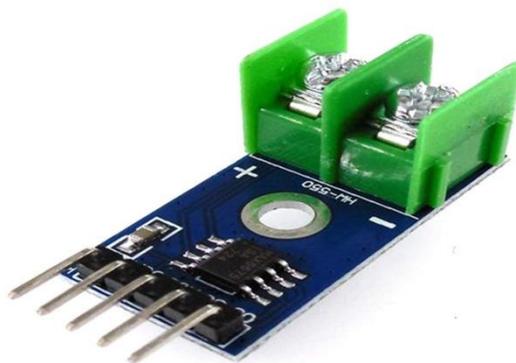


Fig.III.5 : Capteurs de mesure de température thermocouple type K.

III.3.1.4.2. Caractéristiques :

- Dimensions : 32 x 16 x 14 mm.
- Couleur : bleu.
- Interface : SPI.
- Plage de température de test : 0° ~ 1024°, résolution de température du convertisseur est de 0,25°.
- Plage de tension de fonctionnement : 3,0 ~ 5,5 V.

- Courant de fonctionnement : 50 mA.
- Température de fonctionnement : $-20^{\circ} \sim 85^{\circ}$
- Application : industriel, appareils électroménagers, CVC [31].

III.3.1.5. Horloge :

III.3.1.5.1. Présentation :

Il est parfois nécessaire pour certains projets de disposer de la date et l'heure en temps réels par exemple pour enregistrer des relevés de température ou autres, pour cela, nous avons utilisé une horloge temps réel RTC (Real Time Clock), L'avantage de ces horloges est de conserver en permanence très, très longtemps ... la date et l'heure exactes grâce à une pile CR2032 (3,3 V) même en cas de coupure de l'alimentation de l'Arduino. Il faut juste prévoir une initialisation avant l'utilisation de l'horloge RTC pour avoir la bonne date et la bonne heure[32].

Dans notre projet nous utilisons DS1302 RTC Module D'horloge Temps Réel.



Fig.III.6 : Module Horloge.

III.3.1.5.2. Caractéristiques :

- Le module fonctionne en I2C (4 câbles)
- Le module est livré avec une pile.
- Tension d'alimentation : 5V
- Dimensions : 27 mm x 28 mm x 8,4 mm[33].

III.3.1.6. Afficheur OLED :

III.3.1.6.1. Présentation de L'afficheur OLED :

Cet écran graphique est très petit avec une diagonale de 0,96", mais il est très lisible grâce à la technologie OLED disposant d'un contraste exceptionnel. L'écran est utile pour visualiser des signaux[34].



Figure.III.7. Afficheur OLED.

III.3.1.6.2. Caractéristiques :

- Modèle SSD1306 JY-MCU OLED module, v 1.5
- Ecran graphique de 128 x 64 pixels
- Technologie OLED (organic leds)
- Bicolore jaune / bleu (haut et bas de l'écran)
- Taille 0.96 "
- Taille 26.70 x 19.26 x 11.2 mm
- Zone active 21.74 mm x 11.2 mm
- Alimentation 3,3v ou 5v[35].

III.3.2. Conception logicielle :

Notre réalisation software a besoin de deux étapes : la première est un programme qui s'injecte au microcontrôleur de la carte Arduino et la deuxième a un programme qui va se manipule sous App Inventor et s'installe sous Smartphone

III.3.2.1 Logicielle Arduino :

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multiplateforme. Servant d'éditeur, code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware et le programme au travers de la liaison série. Il est également possible de se passer de l'interface Arduino, de compiler et up loader les programme via l'interface en ligne de commande [27].

L'IDE représente le médium de programmation entre l'utilisateur et la carte, il supporte les langages C et C++ en utilisant des règles spéciales de structuration du code.

- ❖ Les éléments de l'interface logicielle Arduino[27]:

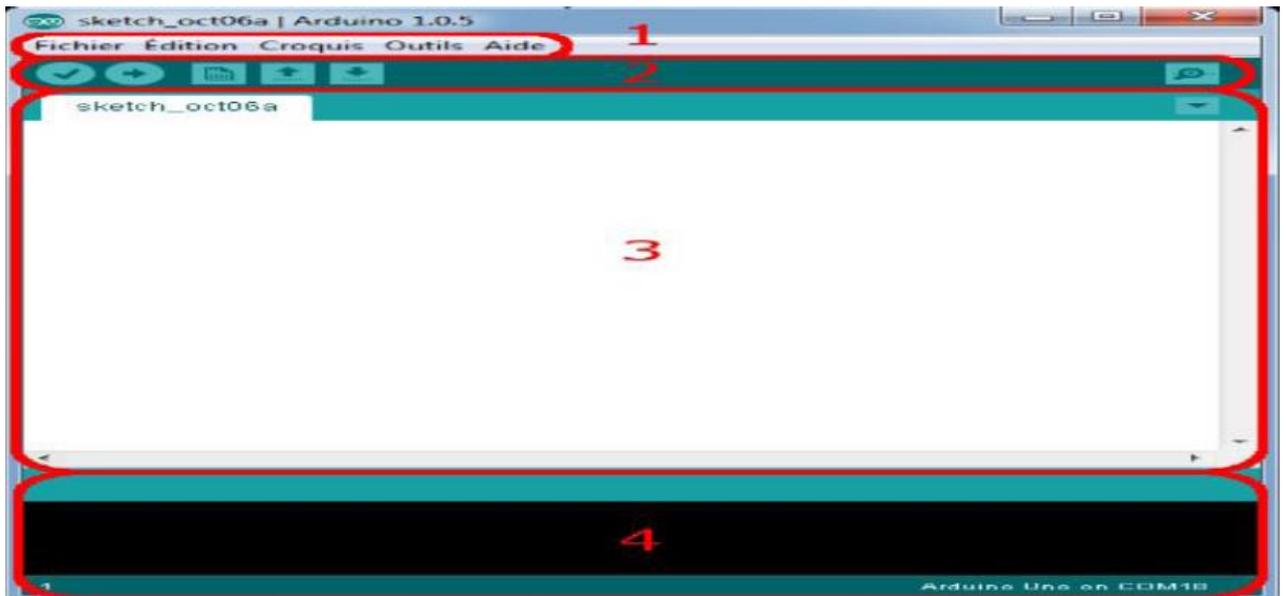


Fig.III.8 : Eléments de l'interface logicielle Arduino.

- 1-Ce sont les options de configuration du logiciel.
- 2-Les boutons qui nous servir lorsqu'on programme la carte.
- 3-Ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.
- 4-Il indique les erreurs dans notre programme pour les corriger.

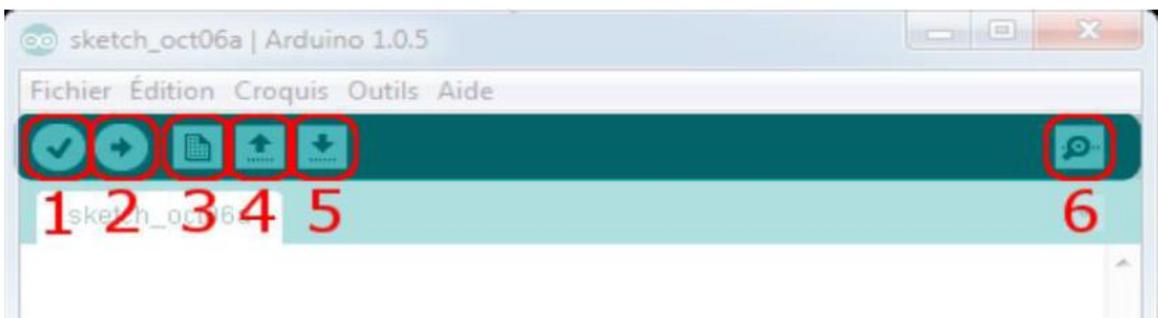


Fig.III.9 : Eléments de l'interface logicielle Arduino.

- Bouton 1 : Compiler le programme, et actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme.
 - Bouton 2 : Charger le programme dans la carte Arduino.
 - Bouton 3 : Créer un nouveau fichier.
 - Bouton 4 : Ouvrir un fichier.
 - Bouton 5 : Enregistrer le fichier.
 - Bouton 6 : Ouvrir le moniteur série.
- ❖ La structure d'un programme Arduino :

CHAPITRE III : Tests Expérimentaux, Interprétation Et Discussion Des Résultats

Elle se compose de 3 zones :

- **Zone globale** : Elle permet d'appeler les bibliothèques, créer les variables globales, créer les nouvelles fonctions et procédures pour votre programme.
- **Zone setup** : Une fonction "void setup ()" permet d'initialiser des éléments, variables. Cette fonction n'est appelée qu'une seule fois au boot par l'Arduino.
- **Zone loop** : une fonction "void loop ()" est appelée constamment par l'Arduino est après la fonction setup. Le cœur du programme est là.

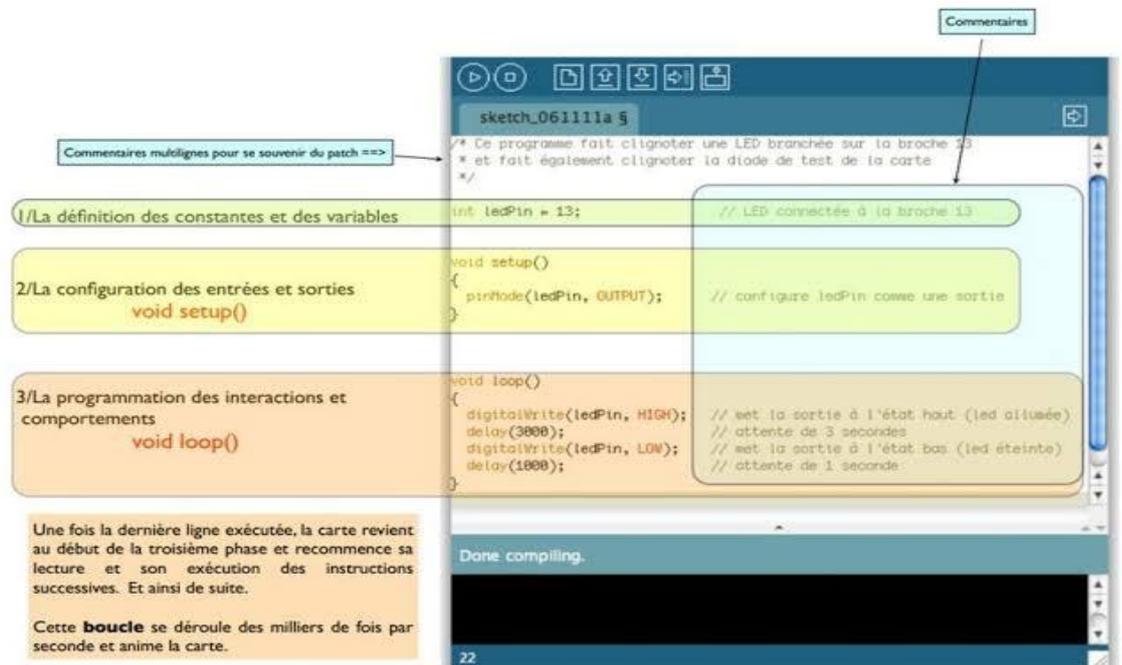


Fig.III.10 : Structure du programme Arduino.

III.3.2.2 Système d'exploitation Androïde :

Androïde est un système d'exploitation développé initialement pour les Smartphones. Il utilise un noyau Linux qui est un système d'exploitation libre pour PC. Il intègre tous les utilitaires et les périphériques nécessaires à un Smartphone. Il est optimisé pour les outils Google [40].

Les applications sont exécutées par un processeur de type ARM à travers un interpréteur Java. En plus de cela, l'Android concurrence l'opérateur système d'Apple qu'il tend à dépasser en nombre d'utilisateurs. Android évolue pour mieux gérer l'hétérogénéité des appareils qu'il utilise [37].

Il existe d'autres systèmes d'exploitation du téléphone comme iOS d'Apple, Microsoft Windows phone et Androïde.

III.3.2.2.1 MIT App Inventor :

App inventor est un environnement de développement intégré qui permet la création d'application en ligne destinées à des systèmes équipé de plateforme Androïde qui développé par Google tel que les Smartphones et les tablettes [36].

Elle représente certains langages de programmation par bloc basé sur une interface graphique similaire à scratch. Les informations des applications sont stockées sur des serveurs distants, elles sont actuellement entretenues par le Massachusette Institute of Technology (MIT)[37].

❖ Comment nous avons accédé à App Inventor:

App Inventor est un outil de développement des applications en ligne pour les Smartphones et les tablettes sous Android qui permet à chacun de créer son application personnelle pour un tel système d'exploitation Android.

La plateforme de développement est offerte gratuitement à tous les utilisateurs possédant un compte Gmail [37].



Fig.III.11 : Création du nouveau projet sur App Inventor.

Cet environnement contient trois fenêtres qui sont proposé pendant le développement [40] :

- **Une pour la création de l'interface homme machine "Designer"** qui permet de créer l'allure de l'application (App Inventor). Cette fenêtre contient sur plusieurs parties qui contribuent à la conception de notre interface d'application et chacun d'entre eux pour une tâche spécifique.

Elle contient des composantes visibles dans l'écran : les boutons ; les étiquettes ; les tableaux...et des composantes invisibles comme Bluetooth server, caméra, horloge...etc. Ces derniers sont placés au côté gauche de la page de l'application, le coté droite dédiée à la mise en forme et la nomination des différents composantes, le milieu de la page représente la scène où nous pouvons visualiser notre application et non pas le tester.

- Une pour la programmation par blocs "Block" et qui permet par l'assemblage des blocs de créer le comportement de l'application. Cette phase est composée de plusieurs parties, chacune d'elle contenant une tâche particulière. Chaque élément était de créer l'interface graphique représenté par un groupe des blocs que nous pouvons utiliser lorsque nous construisons nos applications App Inventor.

Elle donne la possibilité de réaliser n'importe quelle application et ouvre la porte à notre imagination sans limite. La seule difficulté réside juste dans l'enchaînement des idées pour obtenir des résultats fiables.

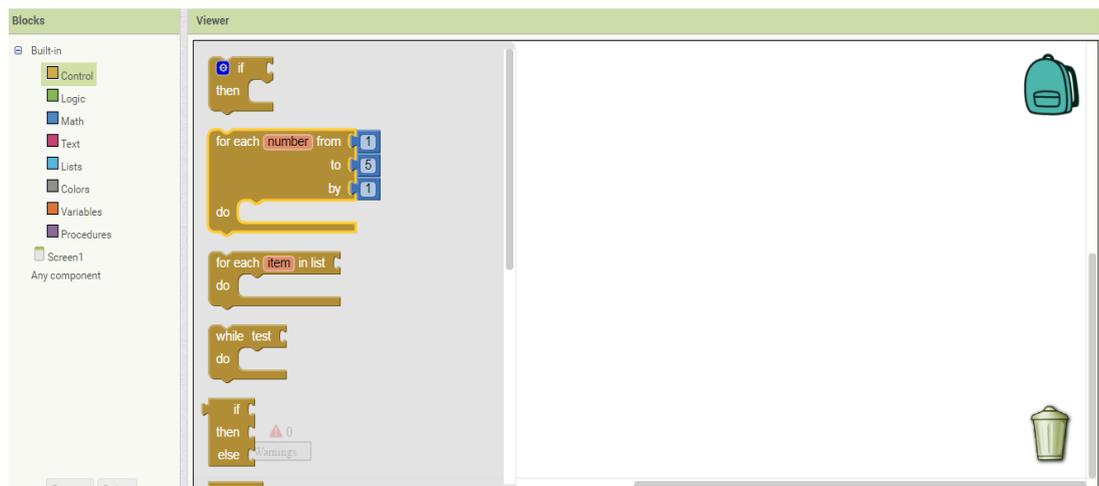


Fig.III.12 : Partie blocks.

Parmi ces blocs on mentionne certains d'entre eux [38]:

- ✓ Bloc de texte Morceaux permettant de traiter le texte. Assimilable au type char et à la classe String en Java.

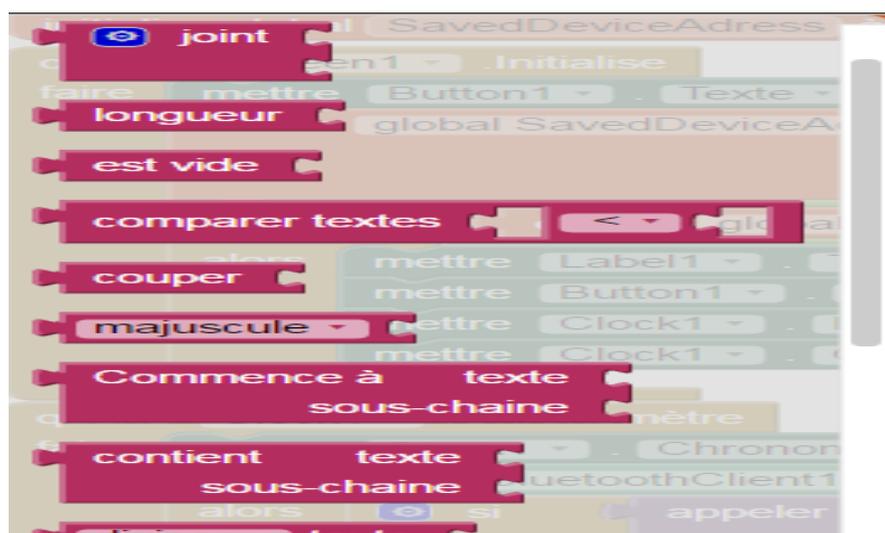


Fig.III.13 : Blocs de texte.

- ✓ Bloc de liste : représente des morceaux permettant de traiter des listes. Assimilable aux sous-classes de List en Java.



Fig.III.14 : Blocs de texte.

- ✓ Bloc de math : Morceaux pour traiter des nombres. Assimilables au type entier et la classe Integer en Java.

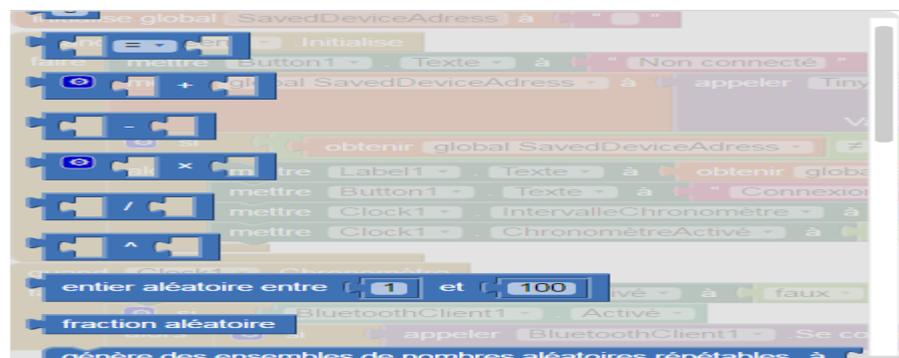


Fig.III.15 : Blocs de Math.

- ✓ Bloc de contrôle Morceaux permettant de traiter des booléens. Assimilables au type booléen et à la classe Booléen en Java.



Fig.III.16 : Blocs de contrôle.

- ✓ Bloc de logique : Outils permettant d'effectuer la programmation conditionnelle par exemple : dans l'élément logique.



Fig.III.17 : Blocs de logique.

- Une pour l'émulateur "Emulator" qui permet de remplacer un terminal réel pour vérifier le bon fonctionnement du programme.

❖ Exécution d'une application sur MIT App Inventor:

L'exécution de n'importe quelle application peut se faire avec trois manières possibles[39] :

1. Soit en utilisant notre terminal mobile réel« *AICompanion* » : ceci n'est possible que par l'installation de l'application« *MIT App Inventor* » par Google Play Store et puis scanner le QR code à l'aide de notre téléphone portable.



Fig.III.18 : Scan du code QR.

2. Soit en utilisant l'émulateur « *Comme l'AVD* », après avoir installé l'outil software du MIT App Inventor ; nommé « *aistarter* » depuis l'internet.

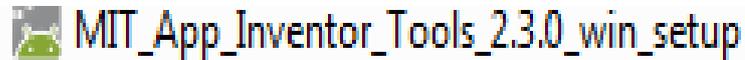


Fig.III.19 : Le software « aistarter ».

3. Soit par un câble USB, pour cette méthode nous devons installer le software « *aistarter* » et le « *MITCompanion* » par le scan du code QR. Après l'exécution du « *aistarter* », nous pouvons visualiser et tester notre application facilement sur notre terminale mobile

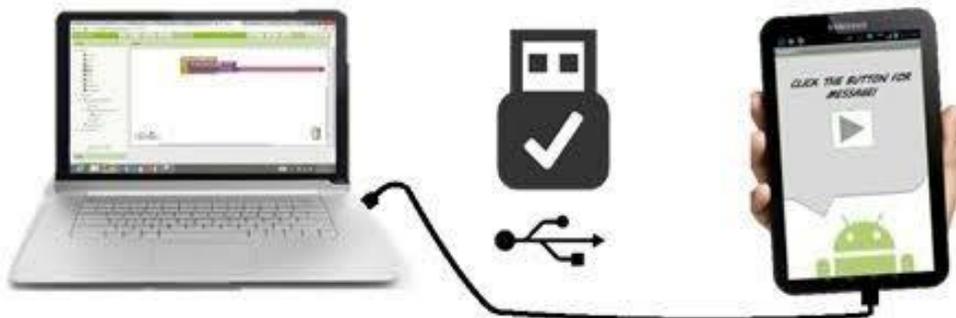


Fig.III.20 : Visualisation via téléphone à l'aide d'un USB.

III.4. Etude et réalisation pratique de la partie commande :

III.4.1. Description de système à réaliser :

Notre projet consiste au premier plan à réaliser une carte électronique, contrôlé et à transférer les informations de la température d'un cuiseur solaire mesuré par des thermocouples (T_p et T_a) via Bluetooth à un Smartphone d'utilisateur. Le circuit de commande se base sur une carte Arduino Méga, le contrôle est assuré par une connexion Bluetooth dont lequel doit être doté dans la carte en utilisant une interface de communication.

III.4.2. Organigramme générale :

Avant de passer à la programmation, nous devons mentionner un organigramme qui décrit le déroulement de notre réalisation :

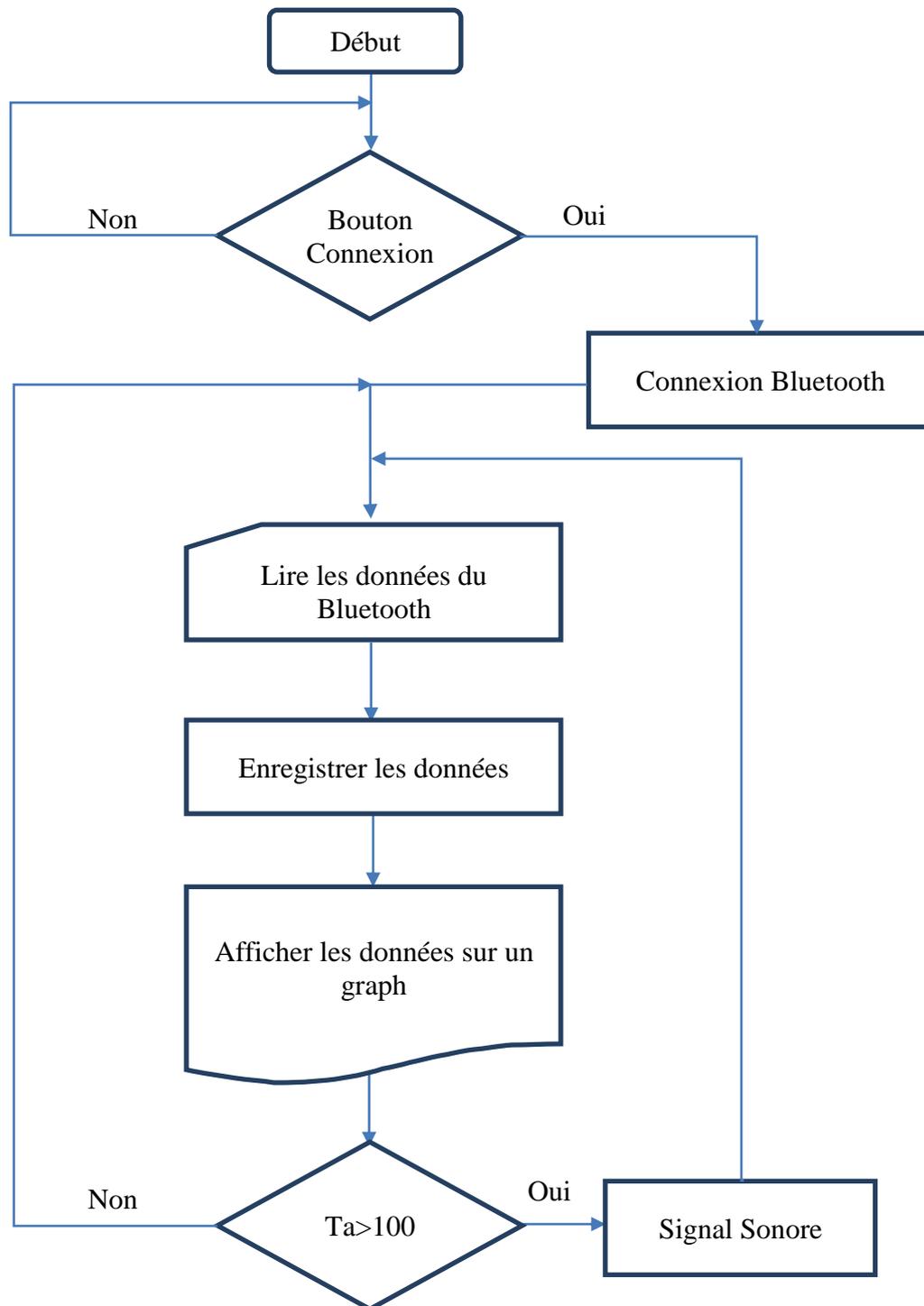


Fig.III.21 : Organigramme générale du système.

III.4.3. Schéma synoptique de la carte de commande :

Voici le schéma synoptique qui représente l'architecture de la carte de commande à réaliser :

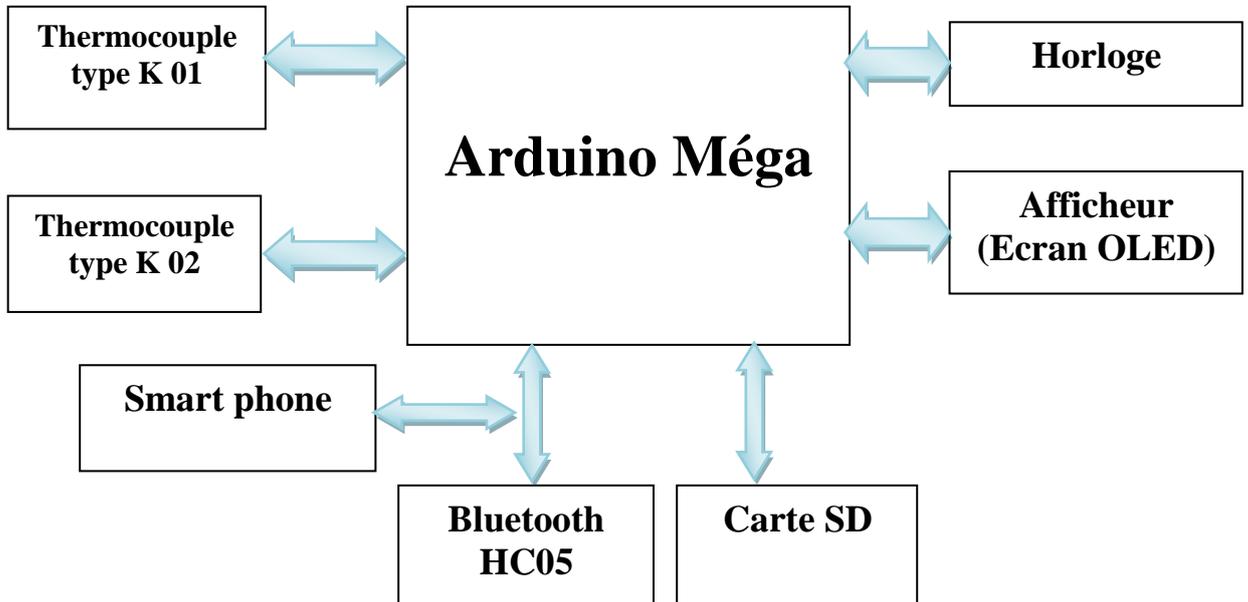


Fig.III.22 : Schéma synoptique du système.

III.4.4. Schéma électronique de la carte de commande :

Dans cette étape nous avons fait la réalisation de notre schéma électronique, et dans ce contexte nous avons découvert les différents outils de conception qu'offre le logiciel Fritzing, qu'est un logiciel libre de conception de circuit imprimé permettant de concevoir de façon entièrement graphique le circuit et d'en imprimer le typon.

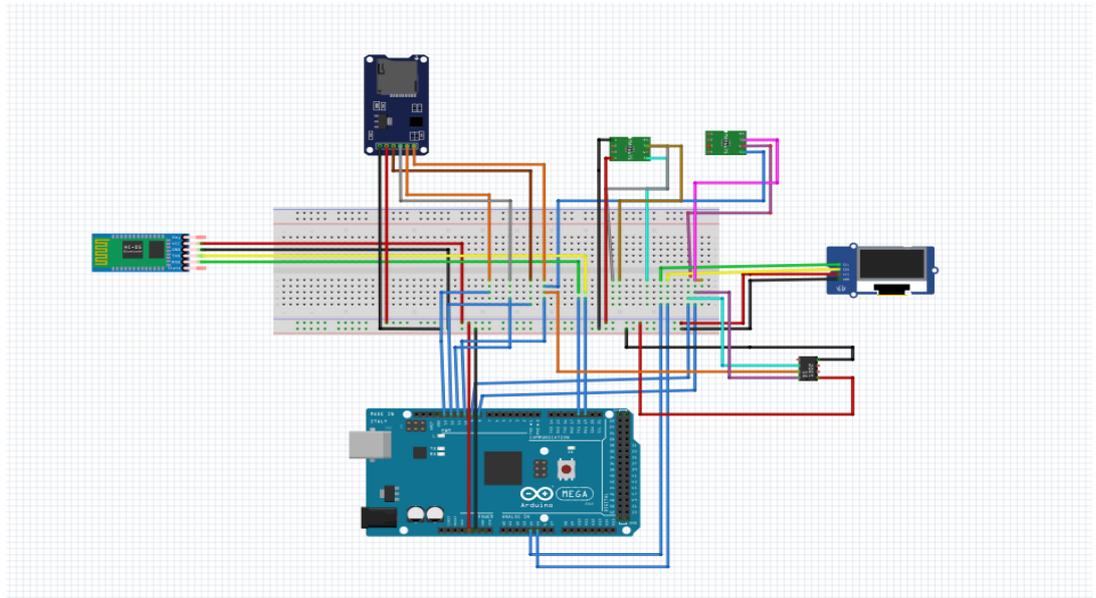


Fig.III.23 : Schéma électronique du système.

III.4.5. Programme de gestion de la carte électronique :

III.4.4.1. Code Arduino:

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <SD.h>

#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
// #include "U8glib.h"
#include "max6675.h"
int receive =0;
intconn=0;
int i=0;
```

CHAPITRE III : Tests Expérimentaux, Interprétation Et Discussion Des Résultats

```
double Ta=0.0;
```

```
double Tp=0.0;
```

```
String Ta_;
```

```
String Tp_;
```

```
int thermoDO1 = 4;
```

```
int thermoCS1 = 5;
```

```
int thermoCLK1 = 6;
```

```
MAX6675 thermocouple1(thermoCLK1, thermoCS1, thermoDO1);
```

```
int thermoDO2 = 8;
```

```
int thermoCS2 = 9;
```

```
int thermoCLK2 = 10;
```

```
MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2, thermoCS2, thermoDO2);
```

```
Adafruit_SSD1306 display = Adafruit_SSD1306(128, 32, &Wire);
```

```
// OLED FeatherWing buttons map to different pins depending on board:
```

```
const int chipSelect = 4;
```

```
void setup() {
```

```
    Serial1.begin(9600);
```

```
    // SSD1306_SWITCHCAPVCC = generate display voltage from 3.3V internally
```

```
    display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); // Address 0x3C for 128x32
```

```
    display.display();
```

```
    delay(1000);
```

```
    // Clear the buffer.
```

```
    display.clearDisplay();
```

```
    display.display();
```

```
    // text display tests
```

```
    display.setTextSize(1);
```

CHAPITRE III : Tests Expérimentaux, Interprétation Et Discussion Des Résultats

```
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0,0);
//display.print("Connecting to SSID\n'adafruit:");
//display.print("connected!");
display.println("Connecting ...");
display.println("URAER\nSolar Cocking");
display.setCursor(0,0);
display.display(); // actually display all of the above
```

```
    if (!SD.begin(chipSelect)) {
Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    return;
    }
Serial.println("card initialized.");
}
```

```
void loop() {
if (Serial1.available()>0)
{
    receive=Serial1.read();
}
if (receive=='1')
{
    receive='2';
    conn=1;
display.clearDisplay();
display.setCursor(0,0);
display.display();
display.println("Connected");
display.setCursor(0,10);
display.println("Tp=");
display.setCursor(0,20);
```

CHAPITRE III :Tests Expérimentaux, Interprétation Et Discussion Des Résultats

```
display.println("Ta=");
}
if (conn==1)
{
display.clearDisplay();
display.setCursor(0,0);
display.println("Connected");
display.setTextSize(1);
display.setCursor(25,10);
Tp=thermocouple1.readCelsius();
Tp_="Tp="+ String(Tp)+ char(167) + "C";

display.println(Tp_);
display.setCursor(25,20);
Ta=thermocouple2.readCelsius();
Ta_="Ta="+ String(Ta)+ char(167) + "C";
display.println(Ta_);
Serial1.println("p" +String(Tp)+ "a" +String(Ta) );
}

File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

// if the file is available, write to it:
if (dataFile) {
dataFile.println("p" +String(Tp)+ "a" +String(Ta) );
dataFile.close();
// print to the serial port too:

}
// if the file isn't open, pop up an error:

delay(10000);
yield();
```

```
display.display();  
}
```

III.4.4.2. Communication avec la carte Arduino :

La communication avec Arduino se fait par une liaison série via le câble USB c'est-à-dire une transmission d'information sous ce qu'on appelle un moniteur série.

III.4.6. Programme de l'application App Inventor:

Pour développer notre application, il est impératif de passer par deux phase : phase de conception pour faire le design de notre application utilisant la page 'Designer' et phase de programmation des différents objets sélectionnés utilisant la page 'Block' du même environnement de MIT App Inventor.

III.4.7. Tests expérimentaux:

III.4.7.1. Test sur le fonctionnement de la carte électronique :

Après avoir réalisé notre carte, on fait d'abord tester son fonctionnement, dont elle dépend de la carte Arduino, en connectant cette dernière avec un PC par le port USB. Si la LED power s'allume donc la carte est bonne, on clique sur le bouton Reset de la carte pour supprimer tout ancien programme afin de la réinitialiser. Notre carte est préparée....

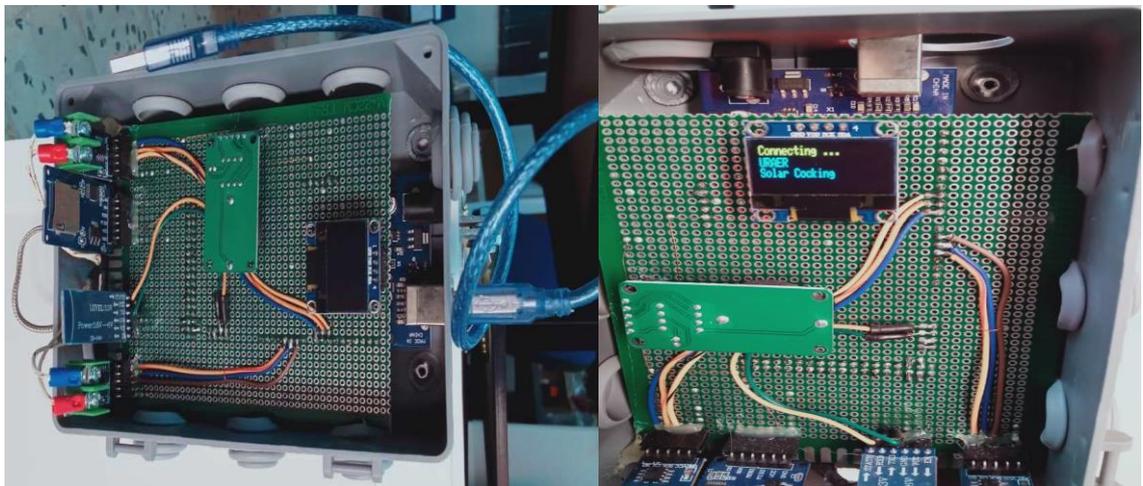


Fig.III.24 : La carte électronique en réelle.

III.4.7.2. Test sur le cuiseur solaire à vide :

Maintenant notre carte est prête ! Nous la connectons au cuiseur. Le test est fait dans le cas où le cuiseur est sans charge c'est-à-dire que le système est exposé au rayonnement solaire à vide. Aucun ustensile de cuisson n'est déposé sur la plaque absorbante.

Les éléments de bases à considérer sont :

- L'environnement extérieur (l'air ambiante)
- La couverture transparente (vitrage)

- La plaque absorbante (plaque chauffante).

Pour augmenter la rentabilité de cuiseur, on ajoute des réflectrices lumières sur les bords. Etant donné que la position du soleil se change pendant la journée et afin de collecter un maximum du rayonnement solaire, les cuiseurs solaires doivent être réorientés n continu vers le soleil, en suivant se course pendant la cuisson.



Fig.III.25 : test de cuiseur solaire à vide.

III.4.7.3. Test sur le système (cuiseur solaire +carte électronique) et le Smartphone :

- Après avoir suivi les étapes précédentes, nous allons pouvoir installer l'application sur le mobile et lui donner le nom « cuiseur solaire ».



Fig.III.26 : Icône d'application.

- On fait appuie sur l'Icône d'application, voici l'écran qui apparait :

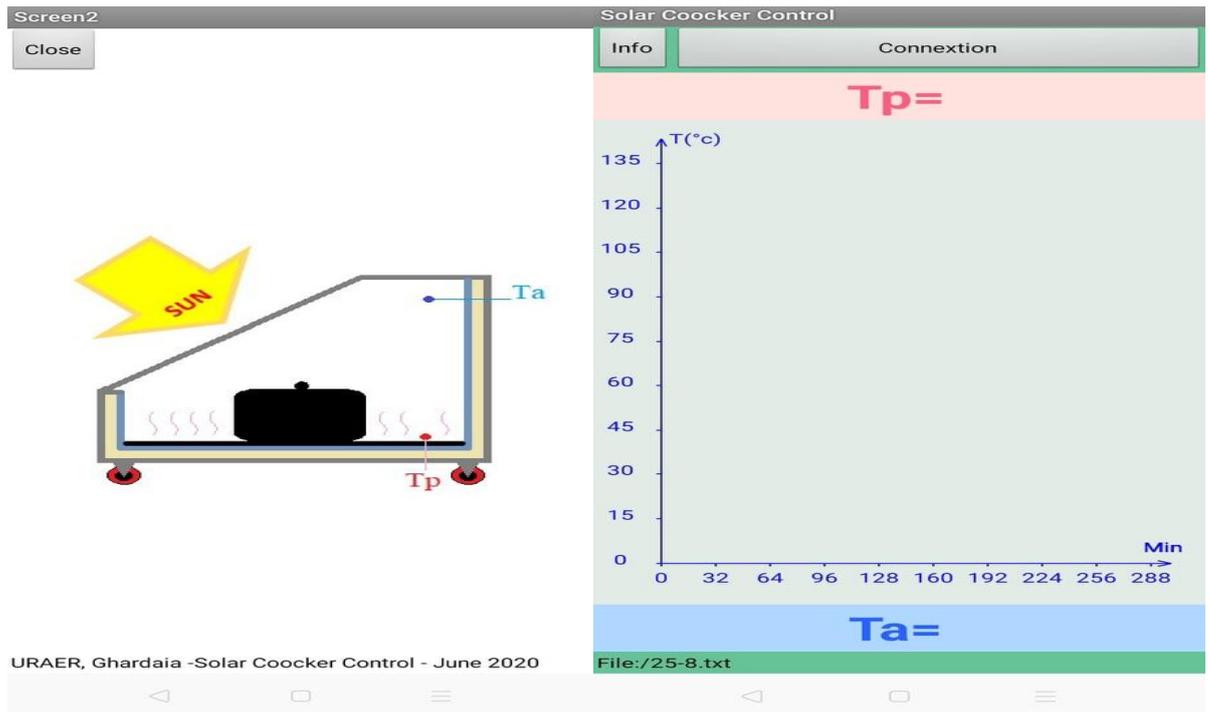


Fig.III.27 :Affichage des températures.

- **Bouton connexion :**

Qui fait la configuration de Bluetooth pour être reconnu sur notre Smartphone, c'est-à-dire la connexion entre HC-05 et notre mobile.

- Notre application permet de visualiser les graphes de variations des températures (la température de la plaque absorbante "Tp" en rouge, et la température de l'air ambiant "Ta" en bleu).



Fig.III.28 : graphe de variation de la température en fonction du temps.

- Lorsque la température de la plaque absorbante " T_p " arrive de $100\text{ }^\circ\text{C}$ un système d'alarme s'active.
- Les informations sont automatiquement enregistrées sur la carte SD puis transféré vers Smartphone par Bluetooth est sauvegardé sous forme d'un fiché sur notre mobile.



Fig.III.29 : Fichier texte.

III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a visé le développement d'un système de cuisson solaire à travers la réalisation d'une carte de commande, ce qui facilite la coordination entre l'environnement matérielle et logicielle. Et à l'aide d'une application Smartphone qui permet à l'utilisateur de surveiller l'état de cuiseur à distance.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Le soleil, une énergie renouvelable inépuisable et énorme. Les applications des énergies solaires sont multiples : production d'électricité ; production de la chaleur...etc. d'abord La cuisson solaire est l'un des applications de cette énergie. Un pays comme l'Algérie avec une disposition du gisement solaire superficie dont le Sahara est la majorité. L'investissement de l'énergie solaire à ces régions nécessite la coopération de tous les domaines techniques et notamment l'Automatique.

Dans le cadre de ce travail on s'est pensé à développer les systèmes de cuissons solaire autrement dit les cuiseurs solaires précisément celle de type boite par l'insertion d'une carte de commande basé sur la carte Arduino méga. La réalisation de la carte permet de contrôler, du poursuivre le soleil d'une façon plus optimale, d'afficher les données et de rendre ces cuiseurs plus automatiques.

Notre travail a été consacré par la suite à la création d'une application sur smartphone à l'aide d'un logiciel MIT App Inventor qui sert à transférer les informations stockées sur la carte via la technologie Bluetooth chez l'utilisateur au temps constamment courte.

Les tests effectués sur le cuiseur solaire montrent le bon fonctionnement et la fiabilité de la carte ainsi que de l'application et donnent des résultats satisfaisants qu'offre aux chercheurs à investir au ce domaine.

Enfin, nous espérons atteindre les objectifs qui nous ont été assigné à savoir : le développement d'une carte de commande d'un système de poursuite solaire pour un cuiseur solaire boite en accompagnant par une application qui facilite l'utilisation du cuiseur. Il reste aux autres d'essayer à remplacer la technologie Bluetooth par Wifi pour les longues distances pour meilleur résultats.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : BILAN ÉNERGÉTIQUE NATIONAL ANNÉE 2018, Edition 2019, Ministère de l'Energie.
- [2] : YETTOU Fatiha.et al. Réalisation et expérimentation d'un cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée muni d'un réflecteur plan. Revue des énergies renouvelable Vol. 16N°4(2013) 629-640
- [3]: YETTOU Fatiha. Conception et réalisation d'un système de cuisson solaire destiné au site saharien (Ghardaïa, Algérie). Thèse de Doctorat en Sciences, 2014/2015.
- [4]: Dr Alan Bigalow et al, Bases de cuisson solaire,
- [5]: CHIKH Mohammed EL-amine et BENRAMDANE Ahmed Yasser, Analyse des Profils Thermiques de Deux Cuiseurs Solaires Expérimentés Sous Climat Aride du Sud Algérien (Etude expérimentale-Centre de recherché GHARDAIA). Mémoire de MASTER 2018/2019.
- [6]:Melle Hermime Nora. Contribution à l'étude du comportement thermique d'un cuiseur solaire boîte installer dans le Nord de l'Algérie. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie Mécanique 2012/2013.
- [7]: HAMOUMA Abdelhak KHERROUBI Abderachid, la réalisation d'un four solaire parabolique, Mémoire de Master Académique 2017/2018.
- [8] : Dr BELHAMEL Maïouf et al, Bulletin Subventionné par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Semestriel N° 17 2010.
- [9]: KHEROUS Nabil HAMZAOUI Jugurtha, Etude et réalisation d'un concentrateur solaire parabolique, Mémoire de Master en génie mécanique Option : Energétique 2014/2015.
- [10]: A. Harmim, M. Merzouk, M. Boukar et M. Amar, Développement et expérimentation d'un nouveau cuiseur solaire stationnaire, Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°2 (2013) 337 – 346.
- [11] : site internet :<http://uraer.cder.dz/prototypes/prototype8.html> ;Consulté le 03/04/2020 à 18 :16
- [12]: site internet :<http://uraer.cder.dz/prototypes/prototype3.html>, Consulté le 03/04/2020 à 18 :20
- [13] : DJEBARA Amel, GUETTAF Zineb, Etude comparative entre deux cuiseurs solaires testés sous conditions climatiques de Ghardaïa; Mémoire de Master Académique en Génie Mécanique 2018/2019.

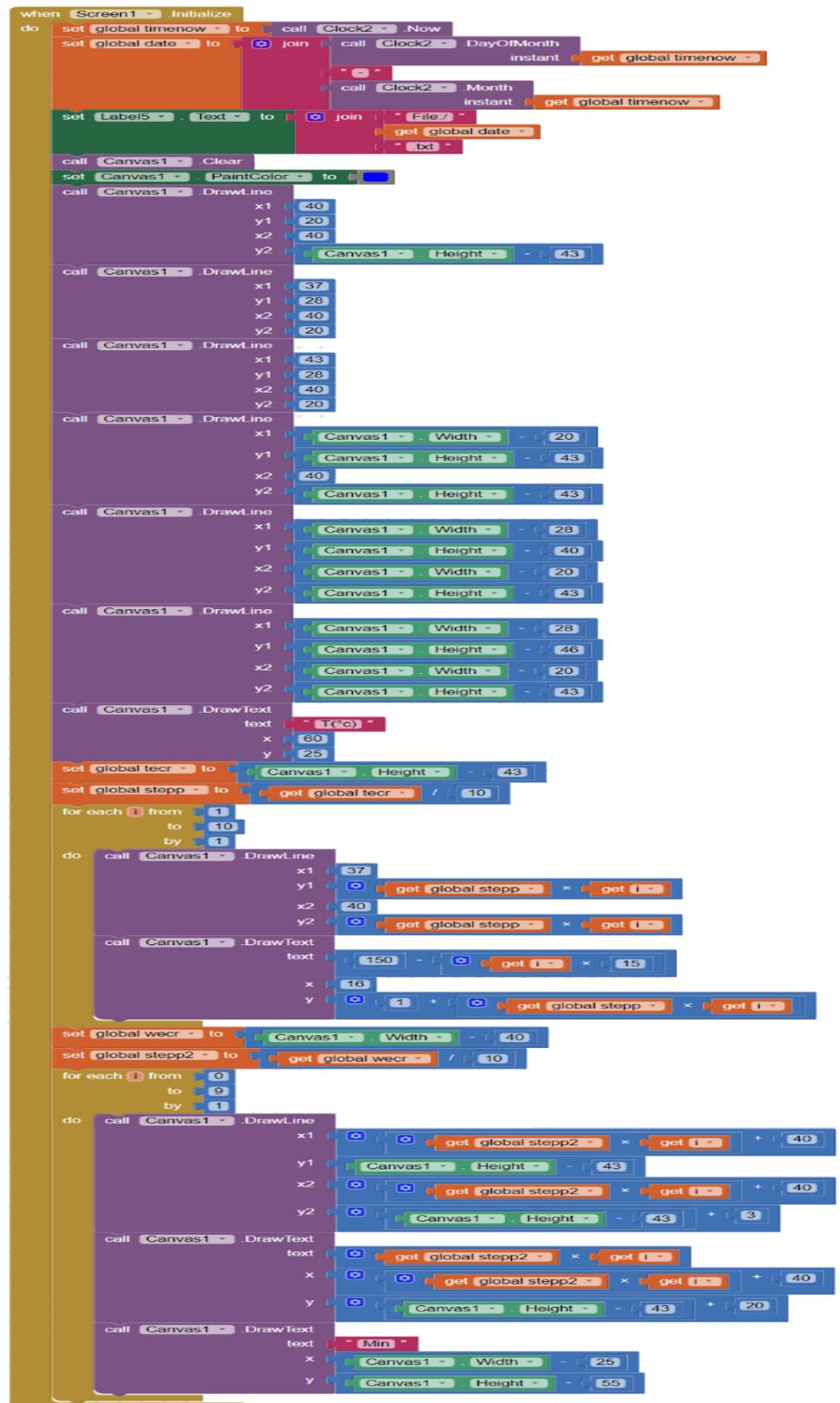
- [14]: KHEROUS Nabil et HAMZAOUI Jugurtha, Etude et réalisation d'un concentrateur solaire parabolique, Mémoire de Master Académique en Génie Mécanique 2014/2015.
- [15]: BAKOU Cheikh et ELMEGBED Abderrahmane, Conception et développement d'un programme de dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude solaire. Mémoire de MASTER
- [16]: Jean-Marc Bonnefond. Pratiques et outils de mesure des rayonnements naturels dans les domaines visibles, solaire et infrarouge. Les Capteurs de mesures du rayonnement naturel, INRA, UR1263 EPHYSE, - F-33140, Villenave d'Ornon.
- [17]: ABADI TAREK, DOUYEM SAID. Utilisation de l'énergie solaire dans l'extraction des sucres à partir des dattes. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master académique, 2017/2018.
- [18] : BAROUD Hinde et DJEKAOUA Habiba, Estimation de l'ensoleillement par deux modèles semi-empiriques dans la région de Ghardaïa, Mémoire de Master académique, 2017/2018.
- [19]: Gama Amor et al. 'Détermination des performances d'un cuiseur solaire boîte suivant les procédures de Mullick et Funk', Rev. Roum. Sci. Tech. -Electrotechn. Et Energ. Vol. 62, 2, pp. 159-164, Bucarest, 2017.
- [20] : Mr HAMDANI Maamar, Etude et Effet de l'Orientation de deux Pièces d'un Habitat en Pierre Situé à Ghardaïa, Mémoire de Magister Spécialité " Énergies Renouvelables ".
- [21]: KADRI Ibtissem. Etude, conception et réalisation d'un suiveur de soleil. Mémoire de Master, 2017 / 2018.
- [22] : BOULHBAL Amina. Etude et simulation du fonctionnement du système suiveur solaire. Mémoire de Master, juin 2017.
- [23]: Mohamed Aymen SAHNOUN. Contribution à la modélisation et au contrôle de trajectoire de Trackers photovoltaïques à haute concentration (HCPV). Thèse pour obtenir le grade de docteur délivré par l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, le 18 décembre 2015.
- [24] : site internet : <http://www.planetjeux.net/post/les-avantages-de-la-carte-arduino-mega#:~:text=L%27Arduino%20Mega%20est%20une,%2C%20d%27une%20prise%20d%27>
. Consulté le 31/05/2020 à 11 :32.
- [25]: MOUSSAOUI Amira, Conception et réalisation d'un bras manipulateur commandé par l'Arduino Méga 2560, Mémoire de Master, juin 2016/2017.

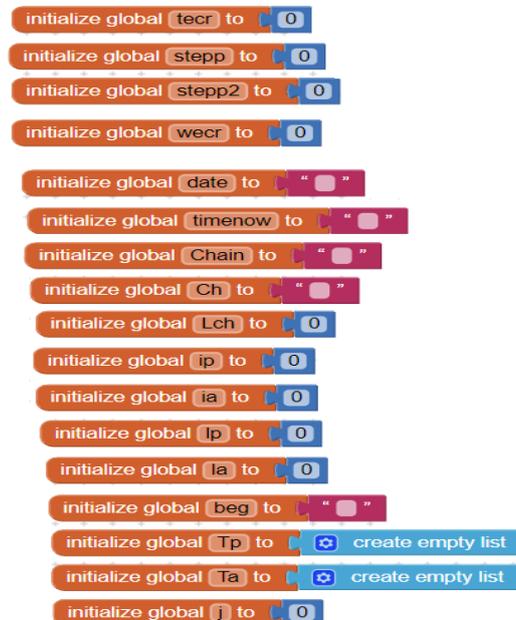
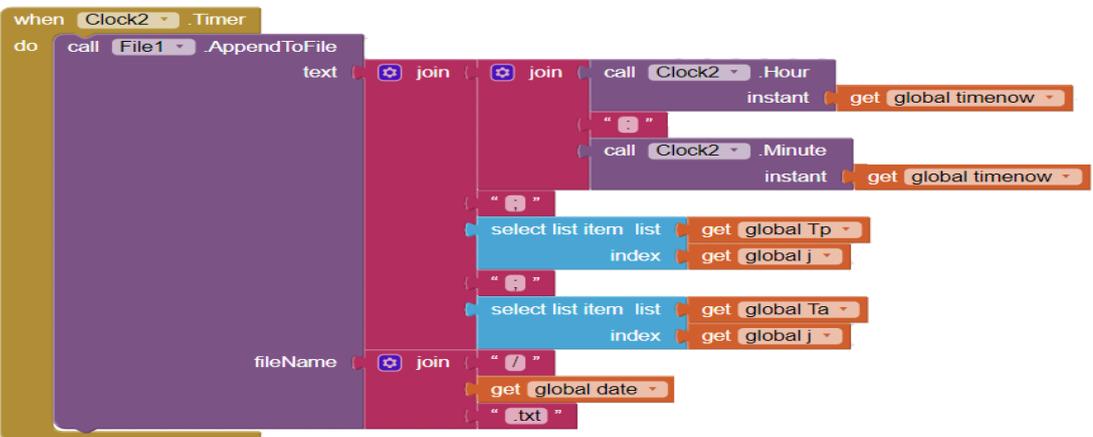
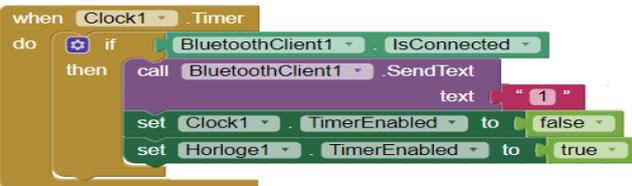
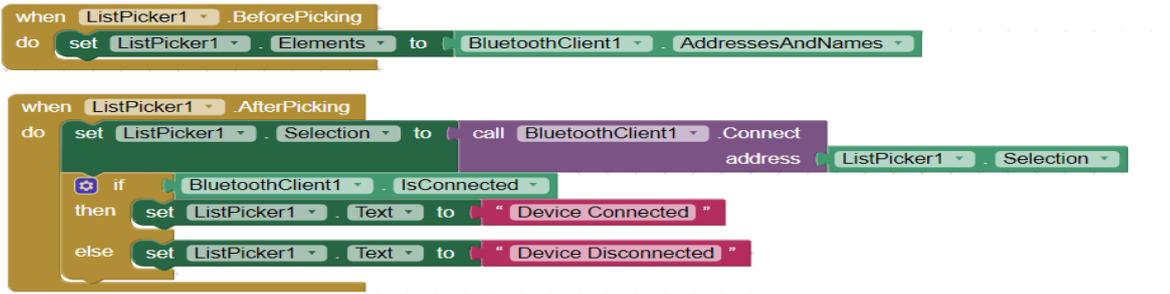
- [26] : CHAFAA BELAID Zakaria et CHAFA BELAID Hamza, Etude et réalisation d'un système de communication par Bluetooth pour un compteur électrique avancé, Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER 2016/2017
- [27] : KRAZEM Chabha LACETE Malha, Conception et réalisation d'un gilet intelligent, Mémoire de MASTER 2017/2018.
- [28] : site internet : <https://www.gotronic.fr/art-shield-carte-sd-v4-103030005-21518.htm#:~:text=Avis>. Consulté le 31/05/2020 à 11:54.
- [29] : site internet : <https://www.amazon.fr/HiLetgo-Adater-Interface-conversion-Arduino/dp/B00HFQEKI0>. Consulté le 31/05/2020 à 12:11.
- [30] : site internet : <https://www.omega.ca/fr/resources/thermocouples> , Consulté le 02/06/2020 à 09 :21.
- [31]:site internet : <https://www.amazon.fr/HW-550-MAX6675-température-thermocouple-capteur/dp/B07MSCPCBN>, Consulté le 02/06/2020 à 09 :35.
- [32]:site internet : <https://phmarduino.wordpress.com/2016/06/03/ajouter-une-horloge-a-vos-montages/> ,Consulté le 02/06/2020 à 10:30.
- [33]: site internet: <https://euro-makers.com/fr/electronique-et-microcontrolleurs/2033-httpeuro-detecteurs-arduino2033-mini-module-rtc-ds1307-horloge-temps-reel-arduinohtml-3701172909708.html>, Consulté le 02/06/2020 à 10:48.
- [34]: site internet : <https://www.gotronic.fr/art-shield-carte-sd>, Consulté le 05/06/2020 à 16 :23.
- [35]: site internet : <https://www.amazon.fr/HiLetgo-Adater-Interface-conversion-Arduino>, Consulté le 05/06/2020 à 17 :11.
- [36] : ROUBHIE Mohamed Nabil et HASSENI Mohamed. Commande d'un robot mobile via une application Android. Mémoire de Master en Electronique, 2015/2016.
- [37] : INGUEL Malha. Conception et réalisation d'un système domotique par GSM. Mémoire de Master Académique. 2017.
- [38] : BATTIRA Roumaissa. Etude et réalisation d'une plateforme de télésurveillance médicale et transfert de signal ECG. Mémoire de Master. 2018/ 2019
- [39] : LAKHDARI Kheira. Réalisation d'une application mobile de mesure de fréquence cardiaque en temps réel sous Android. Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master. Juin 2016.

[40] : MEKHALFIA Toufik et GHADBANE Toufik. Etude et réalisation d'un système de commande à distance des installations électrique pour la domotique. Mémoire deMaster Académique, 2017/2018.

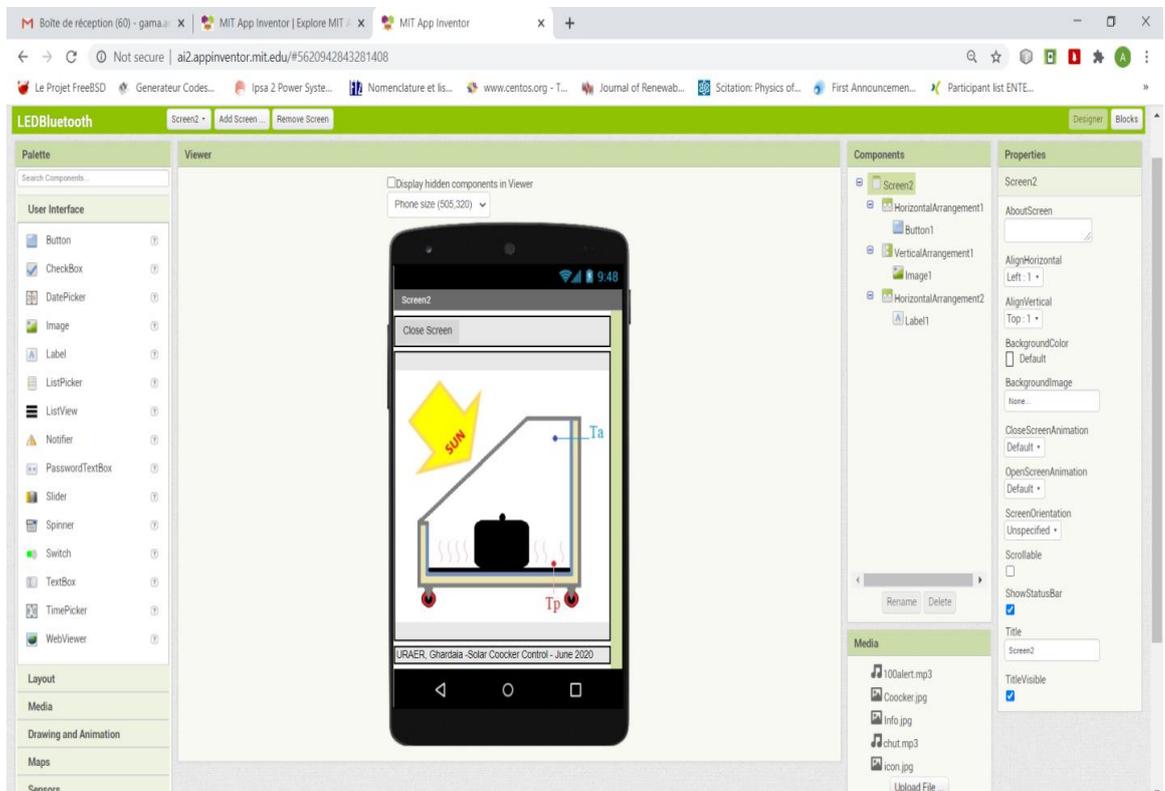
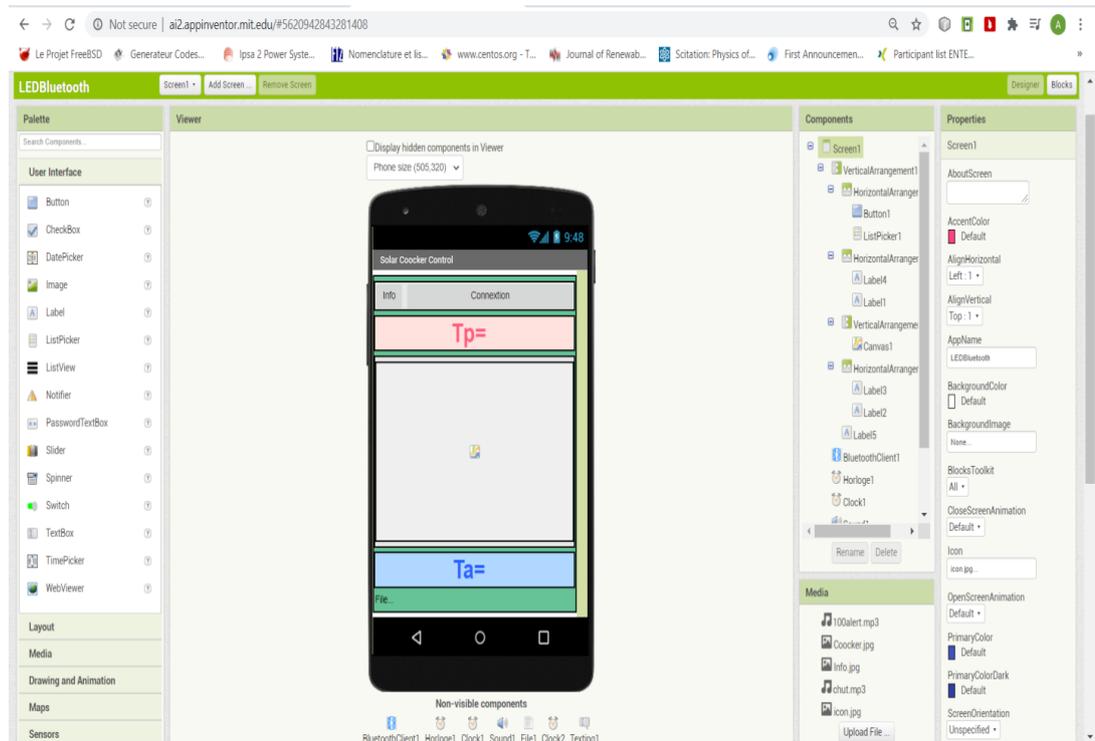
ANNEXES

- Programme de l'application App Inventor:





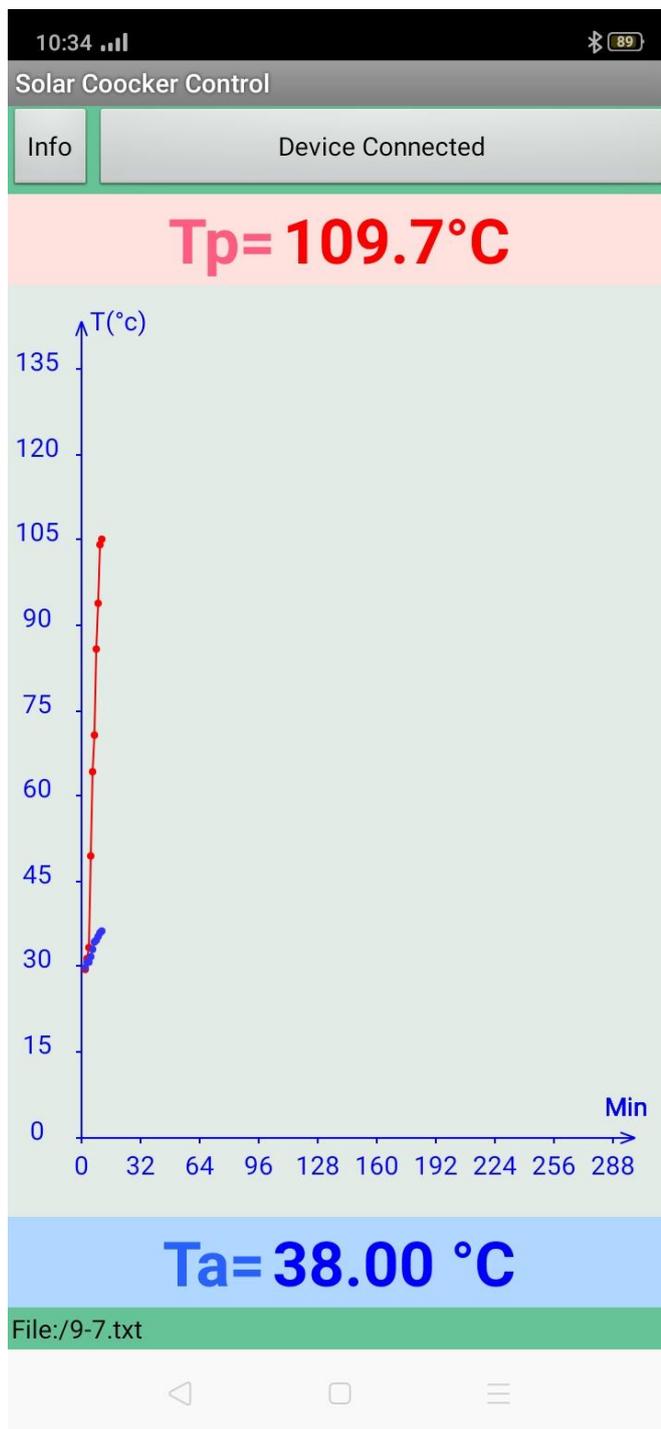
- **L'application App Inventor :**



- Test sur le cuiseur solaire sur charge:



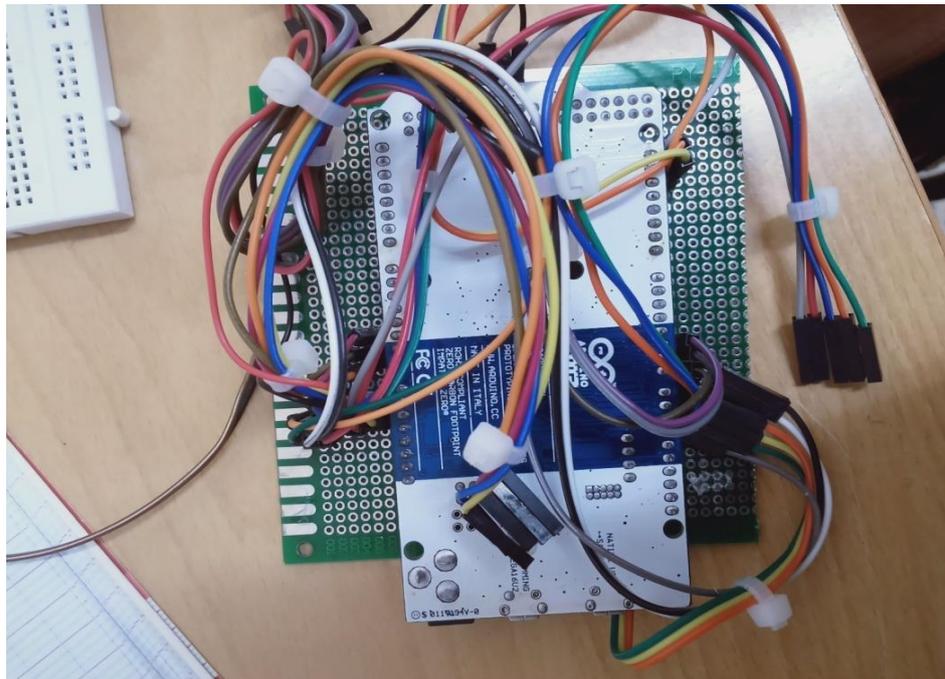
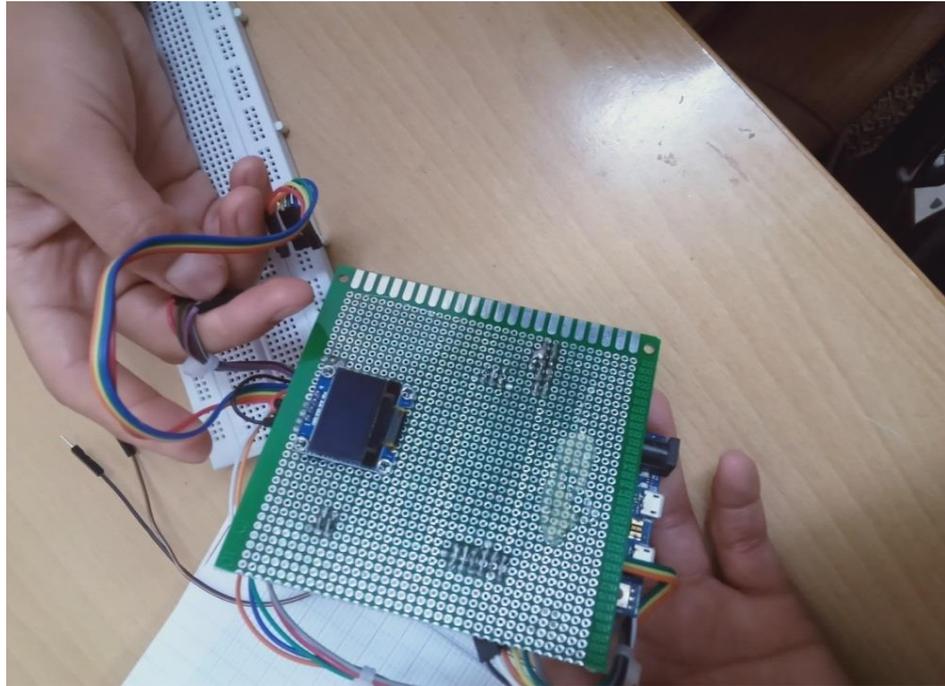
- Courbe de température :



- Les instruments utilisés pour réaliser la carte électronique :



- Les étapes de réalisation de la carte électronique :



- **La configuration de Bluetooth :**

