



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN - TIARET-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

ANNEXE SOUGUEUR

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : PHYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique & Energies Renouvelables

Par :

M^{lle} SARIDJ YAMINA

THÈME

**Réalisation d'un mini concentrateur solaire
parabolique**

Soutenu publiquement le : 26/06/2018 devant le Jury composé de:

Mr A. BELFDHAL	M.C.B	Université de Tiaret	Président
Mr S. MIHOUB	M.C.B	Université de Tiaret	Examinateur
Mr A. SAFA	M.A.B	Université de Tiaret	Examinateur
Mr M. BOUSMAHA	M.C.B	Université de Tiaret	Encadreur
Mr M. A. BEZZERROUK	M.C.B	Université de Tiaret	Co-encadreur

Promotion 2017/2018

Dédicaces

*À ma chère mère qui m'a toujours éclairé le chemin de la vie
en me tendant la main tout au long de mes années d'études
« que dieu me le garde ».*

À mes chères sœurs Fatma, Khadra, Hamama, Hanane.

*À tous mes chers amis(es). À tous mes collègues de
l'université je dédie ce modeste travail.*

*À tous ceux qui m'ont aimé, m'aiment et m'aimeront pour
moi même, je dédie ce modeste travail.*

Saridj Yamina

Remerciement

Je remercie ALLAH de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

J'exprime mes gratitudes, mes reconnaissances et mes sincères remerciements à Mr. Bousmaha Mohamed MCB à l'université de Tiaret et Mr. Bezzerrouk Mohamed Amine MCB à l'université de Tiaret pour m'avoir encadré tout le long de mon travail.

Je remercie Mr R. Naceur.

Je tiens à remercier Mr A. BELFDHAL MCB à l'université de Tiaret d'avoir accepté de présider le jury.

Je remercie Mr. S. MIHOUB MCB à l'université de Tiaret et Mr. AEK, SAFA MAB à l'université de Tiaret en acceptant d'examiner ce travail et être membres du jury.

Je remercie enfin toute personne ayant contribué à l'élaboration de ce travail.

Sommaire

DEDICACES

REMERCIEMENT

SOMMAIRE

NOMENCLATURE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE1

CHAPITRE I : LE GISEMENT SOLAIRE

I-1 INTRODUCTION4

I-2 REPERAGE ET MESURE D'ENSOLEILLEMENT.....4

I-2.1 Repérage du soleil dans le ciel.....4

I-2.1.1 Longitude λ 4

I-2.1.2 Latitude φ 5

I-2.1.3 Déclinaison solaire δ 5

I-2.1.4 Angle horaire ω (ou AH)7

I-2.1.5 Temps.....8

I-2.1.6 Temps universel8

I-2.1.5.1 Temps solaire moyen (TSM)9

I-2.1.5.2 Le temps solaire vrai (TSV)9

I-2.1.5.3 Le Temps Légal (T.L)10

I-2.1.7 La hauteur angulaire (h)10

I-2.1.8 L'azimut (a).....10

I-3 ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE.....11

I-3.1 Le rayonnement solaire.....11

I-3.2	Types de rayonnements.....	11
I-3.2.1	Rayonnement direct.....	11
I-3.2.2	Rayonnement diffus.....	11
I-3.2.3	Rayonnement global.....	12
I-3.2.4	Albédo	12
I-3.3	Rayonnement extraterrestre	13
I-3.4	Coefficient de transmission (coefficient de clarté)	14
I-3.5	L'effet de l'orientation d'une surface sur l'énergie incidente	14
I-4	RAYONNEMENT SOLAIRE EN ALGERIE.....	15
I-5	CONCLUSION.....	17

CHAPITRE II : CONCENTRATEUR SOLAIRE

II-1	INTRODUCTION.....	20
II-2	ASPECT SOCIO-ECONOMIQUE.....	20
II-3	ASPECT ENVIRONNEMENTAL.....	21
II-4	LES CONCENTRATEURS SOLAIRES.....	21
II-4.1	Concentrateur centrale à tour.....	22
II-4.1.1	Principe de fonctionnement d'un concentrateur central à tour.....	23
II-4.1.2	Les avantages et les inconvénients.....	23
II-4.2	Concentrateurs cylindro-paraboliques.....	24
II-4.2.1	Principe de fonctionnement d'un concentrateur cylindro-paraboliques.....	24
II-4.2.2	L'exploitation de la technologie des concentrateurs cylindro-paraboliques en Algérie.....	25
II-4.2.3	Les avantages et les inconvénients.....	26
II-4.3	concentrateurs solaire paraboliques.....	26
II-4.3.1	Les composantes importantes.....	27
II-4.3.2	Propriétés géométriques de la parabole.....	28

II-4.3.3	Principe de fonctionnement.....	30
II-4.3.4	Les avantages et les inconvénients.....	30
II-5	REFRIGERATEUR A ABSORPTION.....	31
II-5.1	Fonctionnement d'un réfrigérateur à absorption.....	31
II-6	CONCLUSION.....	32

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUTIONS

III-1	INTRODUCTION.....	35
III-2	DESCRIPTION DES DIFFERENTES PARTIES DU PROTOTYPE.....	35
III-2.1	Le réflecteur	35
III-2.2	L'absorbeur	36
III-3	INSTRUMENTS DE MESURE ET ACQUISITION DES DATAS.....	38
III-3.1	Mesure de température	38
III-3.2	Mesure de l'ensoleillement	40
III-3.3	Mesure de la vitesse de l'air et de l'humidité.....	41
III-4	VARIATION DE L'ENSOLEILLEMENT, L'IRRADIATION GLOBALE, LA TEMPERATURE DE L'AIR, DE LA VITESSE DE L'AIR ET DE L'HUMIDITE.....	42
III-4.1	L'ensoleillement et l'irradiation globale.....	43
III-4.2	Température de l'air.....	46
III-4.3	Vitesse de l'air	46
III-4.4	Humidité	47
III-5	FONCTIONNEMENT DU REFRIGERATEUR A ABSORPTION.....	48
III-5.1	Effet de la résistance électrique sur la température du brouilleur et la température interne	48
III-5.2	Variation de la température intérieure en fonction de la température du brouilleur (La source thermique: Résistance électrique.....	49
III-5.3	Variation de la température intérieure en fonction de la température du brouilleur (La source thermique: Concentrateur solaire)	49

CONCLUSION GENERALE	52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	55
RESUME	

NOMENCLATURE

Paramètre	Noms	Unité
λ	Longitude	Degré (°)
φ	Latitude	Degré (°)
δ	Déclinaison solaire	Degré (°)
ω	Angle horaire (AH)	Degré (°)
TSV	Temps solaire vrai	Heures
TSL	Temps solaire local	Heures
TU	Temps Universel	Heures
H	Hauteur angulaire	Degré (°)
TL	Temps légal	Heures
a	Azimut	Degré (°)
G	Rayonnement global	[W/ m ²]
I	Rayonnement direct	[W/ m ²]
D	Rayonnement diffus	[W/ m ²]
H₀	Rayonnement extraterrestre	[W/ m ²]
N	Nombre du jour	
G*	Constante solaire	[W/ m ²]
K_t	Coefficient de transmission	
\overline{H}	Rayonnement moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale	[W/ m ²]
H₀	Rayonnement moyen, mensuel hors de l'atmosphère	[W/ m ²]
F	Distance focale	[m]
P	Rayon parabolique	[m]
Ψ	Angle mesure à partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P)	[degré]
Ψ_p	Angle d'ouverture de la parabole	[degré]
d	diamètre de l'ouverture de la parabole	[m]
C	Profondeur	[m]
CDER	Centre du développement des énergies renouvelables	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

FIGURE 1.1: VARIATION ANNUELLE DE LA DECLINAISON SOLAIRE.....	5
FIGURE 1.2: LA DECLINAISON DU SOLEIL EN FONCTION DES JOURS.....	6
FIGURE 1.3: ANGLE HORAIRE W DU SOLEIL.....	7
FIGURE 1.4: VARIATION JOURNALIERE DE L'ANGLE HORAIRE.....	8
FIGURE 1.5: GRAPHE DES VARIATIONS ANNUELLES DE L'EQUATION DU TEMPS.....	9
FIGURE 1.6 RAYONNEMENT DIRECT, DIFFUS ET GLOBAL.....	12
FIGURE 1.7 : LE RAYONNEMENT EXTRATERRESTRE EN FONCTION DES JOURS.....	14
FIGURE1.8 ECLAIREMENT JOURNALIER ABSORBE PAR LE CAPTEUR POUR DIFFERENTES INCLINAISONS (β).....	15
FIGURE1.9 RAYONNEMENT GLOBAL JOURNALIERE REÇUE AU PLAN HORIZONTAL AU MOIS DE JUILLET.....	16
FIGURE 1.10 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE TIARET.....	17

CHAPITRE II

FIGURE 2.1: CONCENTRATEUR CENTRAL A TOUR AU BARSTOW, CALIFORNIA.....	22
FIGURE 2.2: PRINCIPE D'UN CONCENTRATEUR A TOUR.....	23
FIGURE 2.3: CAPTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE.....	24
FIGURE 2.4: LE CAPTEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE FOURNISSANT DE L'ENERGIE ELECTRIQUE A PARTIR D'ENERGIE THERMIQUE.....	24
FIGURE 2.5: LA CENTRALE ELECTRIQUE HYBRIDE DE HASSI RMEL.....	26
FIGURE 2.6: CONCENTRATEUR SOLAIRE PARABOLIQUE.....	27
FIGURE 2.7: PROPRIETES GEOMETRIQUES DE LA PARABOLE.....	28
FIGURE 2.8: DISTANCE FOCAL EN FONCTION DE L'ANGLE D'OUVERTURE D'UNE PARABOLE $D = 1M$	30
FIGURE 2.9: SCHEMA D'UN REFRIGERATEUR A ABSORPTION.....	32

CHAPITRE III

FIGURE 3.1: PHOTOGRAPHIE DE NOTRE CONCENTRATEUR PARABOLIQUE.....	36
FIGURE 3.2: COMPOSANTS D'UN FRIGO A ABSORPTION.....	37
FIGURE 3.3: SCHEMA ILLUSTRANT LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU FRIGO A ABSORPTION.....	38
FIGURE 3.4: CAPTEUR DE TEMPERATURE « LM35 ».....	39
FIGURE 3.5: THERMOMÈTRE NUMÉRIQUE DS18B20.....	39
FIGURE 3.6: MODULE MAX6675 + THERMOCOUPLE TYPE K (PT100).....	40
FIGURE 3.7 : CAPTEUR D'ENSOLEILLEMENT (BH1750).....	40
FIGURE 3.8: THERMO-HYGRO-ANEMOMETRE (PCE-THA 10).....	41
FIGURE 3.9 : ARDUINO MEGA (A); ARDUINO UNO (B).....	42
FIGURE 3.10 : ENSOLEILLEMENT ANNUEL EN ALGERIE	43
FIGURE 3.11 : MOYENNE ANNUELLE DE L'IRRADIATION GLOBALE.....	44
FIGURE 3.12: IRRADIATION GLOBALE DANS LA REGION DE TIARET (NOTRE ETUDE + CDER).....	45
FIGURE 3.13: IRRADIATION GLOBALE DANS LA REGION DE TIARET (NOTRE ETUDE).....	45
FIGURE 3.14 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE L'AIR PENDANT 24 HEURES.....	46
FIGURE 3.15: VARIATION DE LA VITESSE DE L'AIR.....	47
FIGURE 3.16: VARIATION DE L'HUMIDITE.....	47
FIGURE 3.16: VARIATION DE LA TEMPERATURE DU BROUILLEUR ET LA TEMPERATURE INTERIEURE.....	48
FIGURE 3.17: VARIATION DE LA TEMPERATURE INTERIEURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DU BROUILLEUR (SOURCE THERMIQUE : RESISTANCE ELECTRIQUE).....	49

FIGURE 3.18: VARIATION DE LA TEMPERATURE INTERIEURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DU BROUILLEUR (SOURCE THERMIQUE : CONCENTRATEUR SOLAIRE).....**50**

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1-1 VALEURS DE L'ALBEDO POUR DIVERS TYPES DE SOLS.....	13
TABLEAU 1-2: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE TIARET.....	17
TABLEAU 2-1: CARACTERISTIQUES DES CENTRALES SOLAIRES A CONCENTRATION (GERMAN AEROSPACE CENTER, 2007).....	22
TABLEAU 2-2: LES PROJETS CSP EN ALGERIE.....	26
TABLEAU 3-1: CARACTERISTIQUES DU REFLECTEUR.....	35

Introduction générale

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE:

La consommation mondiale de l'énergie est sans cesse croissante. L'épuisement des ressources d'énergie fossiles et le réchauffement climatique de la planète ont conduit les différents pays à promouvoir les politiques de développement durable et de protection de l'environnement.

La grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, ...etc.) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement. Cette menace s'est manifestée principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre. En effet, la grande préoccupation du monde actuel est d'atténuer cette pollution en essayant d'adapter les sources d'énergie classiques à des critères très sévères [1].

Une forte demande d'électricité est à prévoir en raison des perspectives de développement de ce secteur. En ce qui concerne l'analyse de la consommation d'électricité par usages, l'éclairage et le froid totalisent 90%. Le chauffage et la cuisson représentent 60% de la consommation du gaz naturel [2].

En Algérie, plus de 95% d'énergie électrique produite à travers les centrales thermiques, pour diminuer la consommation des énergies fossiles, il faut utiliser les énergies renouvelables dans tous les secteurs.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet, vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays peut couvrir ses besoins énergétiques par l'énergie solaire, ces avantages pourraient être profitables dans les régions isolées surtout dans les applications de la climatisation ou la consommation de l'énergie est très importante [1].

Notre travail est consacré à la réalisation d'un prototype expérimental d'un concentrateur solaire parabolique associé à un réfrigérateur à absorption, dont le but est d'obtenir le froid à partir du chaud. Plusieurs dispositifs électroniques sont utilisés dans ce travail tels que ; l'Arduino Mega et Nano, capteurs thermiques (LM35+ DS18B20), capteur d'ensoleillement, anémomètre. Nos résultats expérimentaux sont recueillis durant une période du mois de Juin 2018.

Introduction générale

Ce mémoire comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré au gisement solaire.
- le deuxième chapitre, on s'intéresse aux concentrateurs solaires d'une manière générale, et nous avons parlé sur le réfrigérateur à absorption et leur fonctionnement.
- Le troisième chapitre est consacré aux résultats de notre travail avec leurs interprétations.

Et on a terminé ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I :

Gisement solaire

I-1 INTRODUCTION :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution de rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique.

Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation et d'une importance capitale aussi bien la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évolution de leurs performances.

L'existence d'un solide et fiable base de données et une nécessité pour au moins la survie économique des installations de collection et de conversion de l'énergie solaire.

I-2 REPERAGE ET MESURE D'ENSOLEILLEMENT :

I-2.1 Repérage du soleil dans le ciel :

La hauteur du soleil est une donnée principale à cause de :

- ✓ Cette hauteur contribue clairement dans les calculs énergétiques.
- ✓ L'installation dans un site donné exige une étude des effets appuyés par l'environnement [1].

I-2.1.1 Longitude λ :

Une des coordonnées terrestres d'un point de notre planète. C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich.

λ varie de -180° à $+180^\circ$ tel que :

- $\lambda > 0$ à l'est du méridien de Greenwich.
- $\lambda < 0$ à l'ouest de méridien de Greenwich [2].

I-2.1.2 Latitude φ :

La latitude d'un lieu φ correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud [3].

I-2.1.3 Déclinaison solaire δ :

La déclinaison solaire δ est un angle formé de la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons. La figure 1.1 en donne les valeurs remarquables.

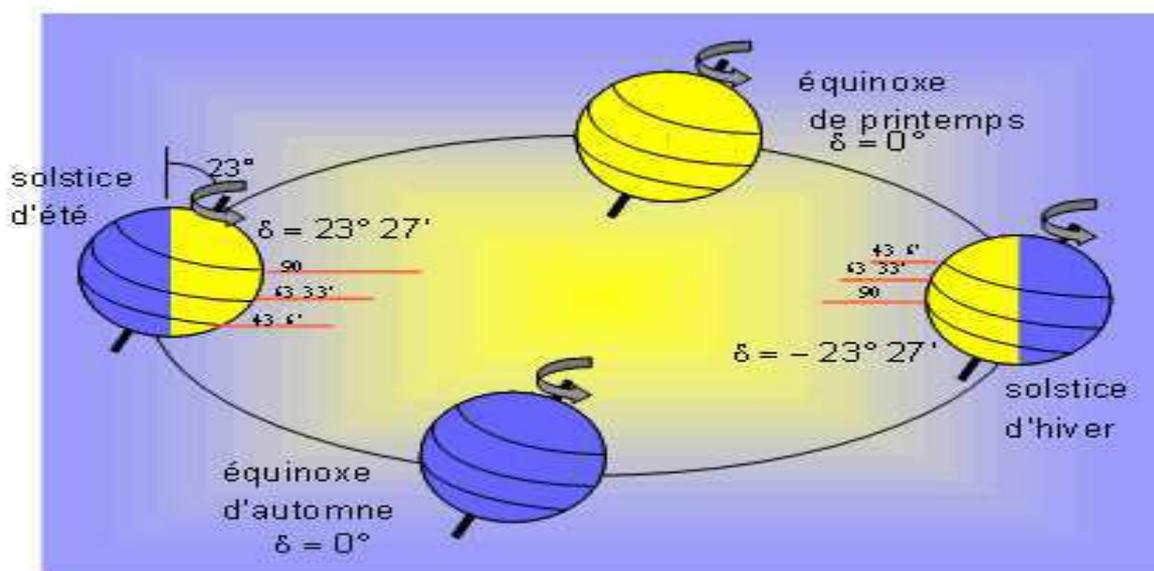


Figure 1.1 : Variation annuelle de la déclinaison solaire.

Equinoxe de printemps :	21 Mars	$\delta = 0$
Solstice d'été :	22 Juin	$\delta = + 23^\circ 27'$
Equinoxe d'automne :	23 Septembre	$\delta = 0$

Solstice d'hiver : 22 Décembre $\delta = - 23^{\circ} 27'$

Approche maximale : Périhélie 2 Janvier.

Approche minimale : Aphélie 2 Juillet.

Entre ces 4 points remarquables, δ prend toutes les valeurs intermédiaires qui peuvent se calculer par la relation [4] :

$$\sin \delta = 0.4 \sin t \quad (\text{I.1})$$

Où $t = N * \frac{360}{365}$ avec N, nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps.

Ou par la relation [4] :

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 + \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (\text{I.2})$$

Avec n nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} Janvier

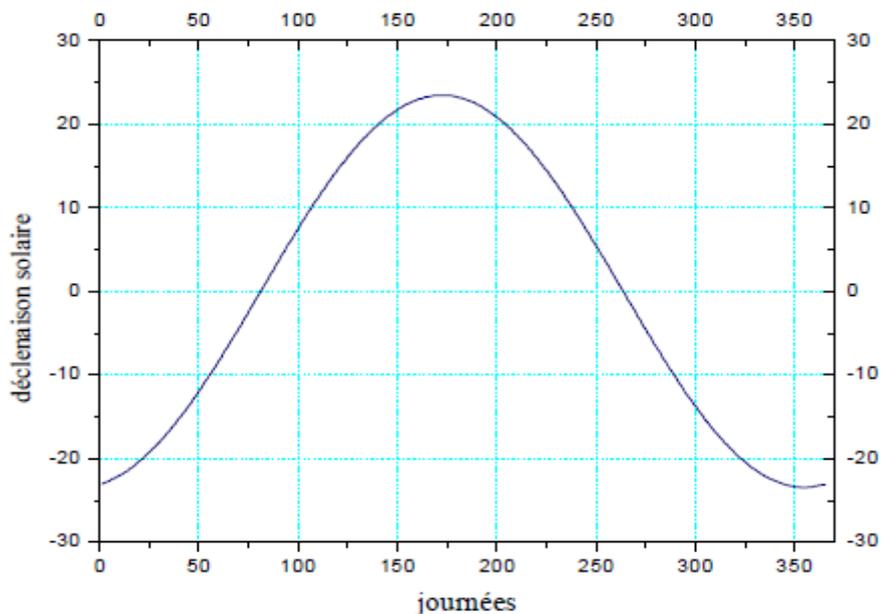


Figure 1.2 : La déclinaison du soleil en fonction des jours [2].

La déclinaison étant une fonction sinusoïdale, elle varie rapidement au voisinage des équinoxes (0.4 °/ jour) alors qu'elle est pratiquement stationnaire durant les périodes qui encadrent les solstices d'été et d'hiver [4].

I-2.1.4 Angle horaire ω (ou AH) :

L'angle horaire mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant où le soleil passe au plan méridien du lieu zénith. Cet angle est formé entre la projection du soleil sur le plan équatorial à un moment donné et la projection du soleil sur le même plan au midi vrai. L'angle horaire est donné par la relation suivante [5] :

$$\omega = 15(TSV - 12) \tag{I.3}$$

TSV : temps solaire vrai qui sera décrit dans les paragraphes suivants [5].

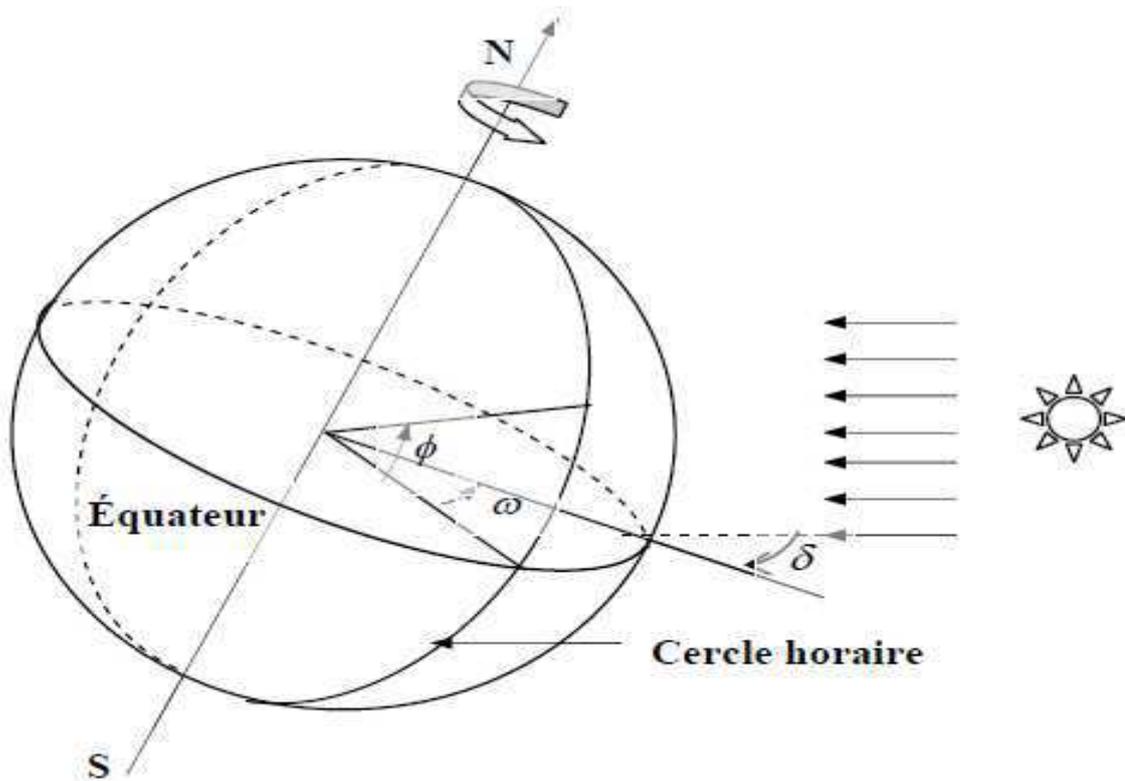


Figure 1.3 : Angle horaire ω du soleil.

L'angle horaire est compté négativement avant midi *TSV*, et positivement après-midi.

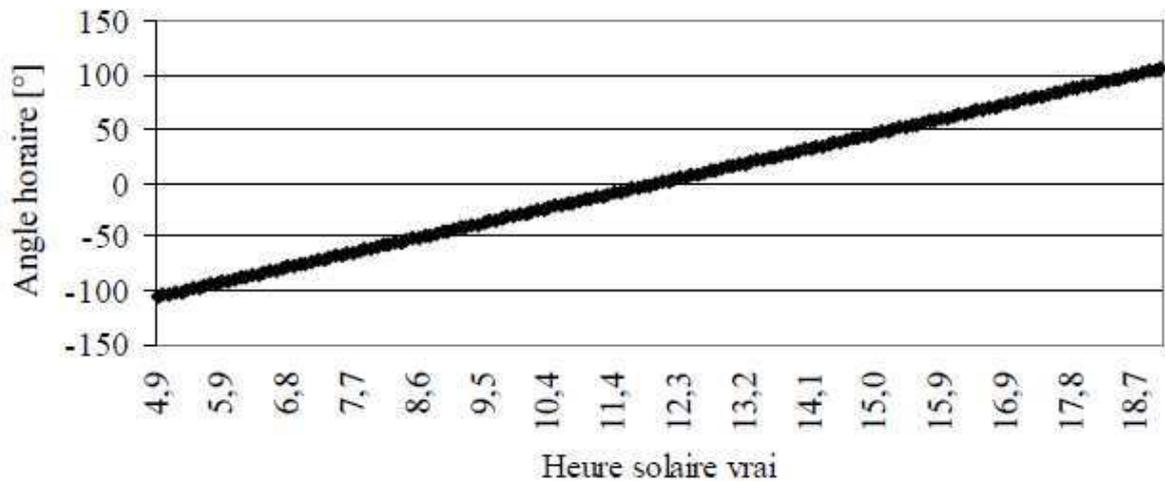


Figure 1.4 : Variation journalière de l'angle horaire.

I-2.1.5 Temps :

La terre subite deux types de déplacement : la rotation de la terre autour de l'axe des pôles et sa révolution autour du soleil. Le mouvement de la terre sur elle-même définit la notion de journée solaire. Une rotation complète s'effectue en 24 heures. Elle amène la définition du temps, puisque chaque heure correspond à un écart angulaire de 15°. La rotation de la terre autour du soleil définit les saisons et amène à distinguer le temps solaire vrai [5].

I-2.1.6 Temps universel :

C'est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) appelé encore GMT (Greenwich Mean Time) [7].

$$TU = TSM - (L/15) \tag{I.4}$$

Où : L : est la longitude.

L > 0 : pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

L < 0 : pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

TU = TSM : pour le méridien de Greenwich.

I-2.1.5.1 Temps solaire moyen (TSM) :

Il est appelé parfois temps locale (TSM), Il est donné par la relation [7].

$$Et = TSV - TSM \tag{I.5}$$

Avec :

Et : l'équation du temps, qui corrige le T.S.V par rapport au T.S.M.

$$Et = 9.81\sin(2N') - 7.53\cos(N') - 1.5\sin(N') \tag{I.6}$$

$$\text{Ou } N' = \frac{360}{365} * (n - 81) \tag{I.7}$$

Où : n est le numéro du jour dans l'année.

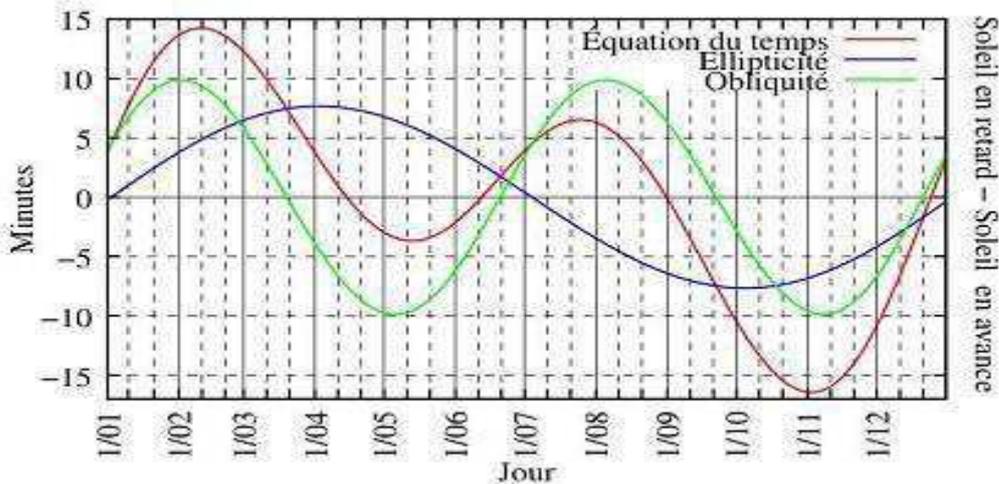


Figure 1.5 : Variations annuelles de l'équation du temps [1].

I-2.1.5.2 Le temps solaire vrai (TSV) :

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil ω . Il est donné sous la forme suivante [7] :

$$TSV = 12 + (\omega/15) \tag{I.8}$$

ω : En degré.

Si $\omega = 0$, TSV=12h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

I-2.1.5.3 Le Temps Légal (TL) :

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par [7] :

$$TL = TU + \Delta H \quad (\text{I.9})$$

Où :

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

$\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie.

I-2.1.7 La hauteur angulaire (h) :

C'est l'angle (h) formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Il est donné par la relation [8] :

$$\sin(h) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega) \quad (\text{I.10})$$

φ , δ et ω sont respectivement la latitude du lieu, la déclinaison du soleil et l'angle horaire. De la hauteur h, on peut déduire les heures de lever et de coucher de soleil.

I-2.1.8 L'azimut (a):

La position du soleil est exprimée en fonction de l'angle azimut solaire a , l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud, cet angle est mesuré positivement vers l'ouest [8].

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I.11})$$

Et si nous souhaitons exprimer l'azimut indépendamment de la hauteur h , nous pouvons utiliser la formule : [1]

$$\text{tg}(a) = \frac{\sin(\omega)}{\sin(\varphi)\cos(\omega) - \cos(\varphi)\text{tg}(\delta)} \quad (\text{I.12})$$

I-3 ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE :

I-3.1 Le rayonnement solaire :

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que 1367 W/m^2 (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et la réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface considérée, etc [7].

I-3.2 Types de rayonnements :

I-3.2.1 Rayonnement direct :

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

I-3.2.2 Rayonnement diffus :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit[3].

I-3.2.3 Rayonnement global :

Est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et de la totalité de la voûte céleste. Il est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. La Figure 1.6 illustre les différents composants du rayonnement solaire au niveau du sol.

Les trois quantités, le rayonnement direct noté I , le rayonnement diffus D , et le rayonnement global G , sont reliés par la relation suivante :

$$G = I * \sin(h) + D \quad (\text{I.13})$$

Où h est la hauteur du soleil [5].

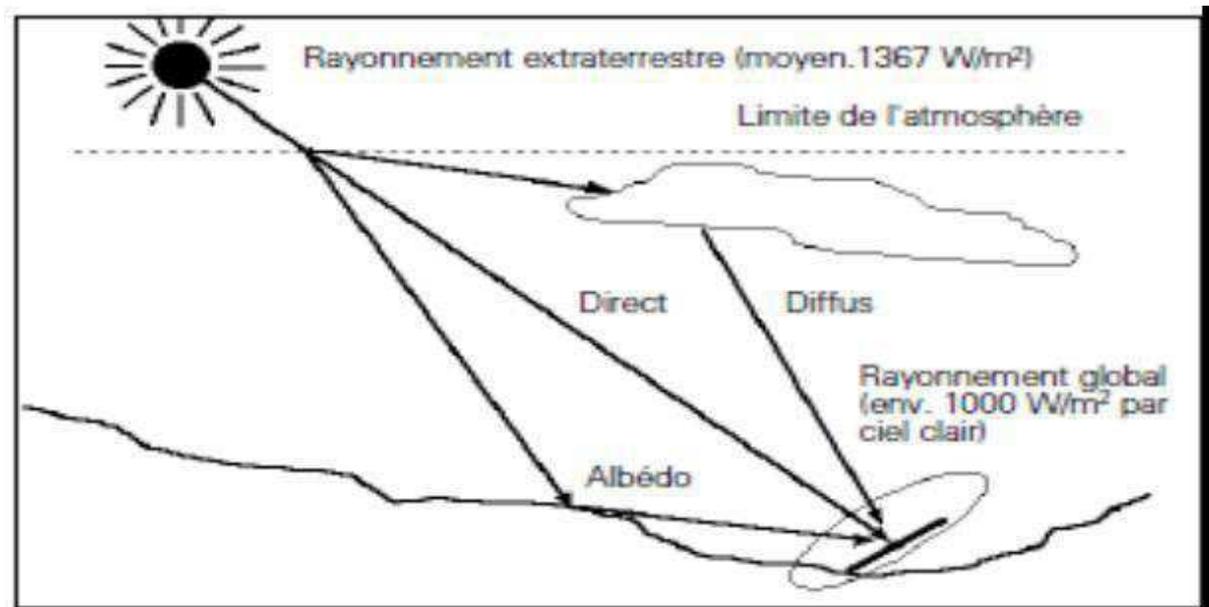


Figure 1.6 : Rayonnement direct, diffus et global.

I-3.2.4 Albédo :

C'est la partie réfléchie par le sol. Dépend de l'environnement du site. La neige par exemple renvoie énormément de rayons solaires alors qu'un asphalte n'en renvoie pratiquement aucun, il faudra tenir en compte pour évaluer le rayonnement sur plans inclinés.

On définit l'albédo comme le rapport réfléchi au sol par une surface et l'énergie incident par le soleil.

Le tableau suivant donne quelques valeurs de l'albédo pour divers types de sols [3].

Tableau 1-1 Valeurs de l'albédo pour divers types de sols [3].

Nature du sol	Albédo (%)	Nature du sol	Albédo (%)
Terre végétale	10 à 25	Neige fraîche	80 à 90
Sèche	8 à 9	Béton	3 à 55
Terre végétale	18 à 40	Aluminium poli	85
Humide	9 à 18	Eau	07
Sable sec	15 à 26	Sol calcaire	14
Sable humide	19 à 32	Goudron	13
Herbe verte	12 à 15	Brique sombre	27

I-3.3 Rayonnement extraterrestre :

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

Pour un point donné, Il est formulé comme suit [3] :

$$H_0 = \frac{86400G}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos\left(2\pi \frac{N}{365}\right)\right) (\cos\varphi \cos\delta \sin\omega + \omega \sin\varphi \sin\delta) \quad \text{(I.14)}$$

N : Nombre de jours dans l'année.

G* : Constante solaire. (G =1367) (w/m²)

δ: Déclinaison solaire.

φ : Latitude.

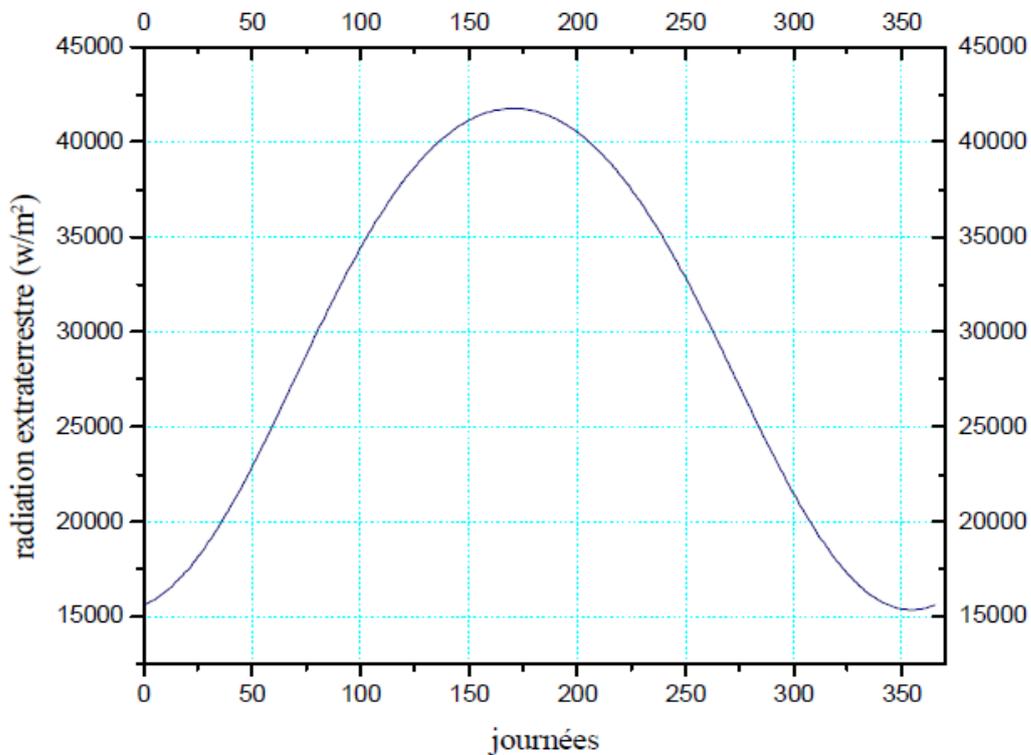


Figure 1.7 : Rayonnement extraterrestre en fonction des jours.

I-3.4 Coefficient de transmission (coefficient de clarté) :

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

$$\overline{K_t} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}} \quad (\text{I.15})$$

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

$\overline{H_0}$: Rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère [3].

I-3.5 L'effet de l'orientation d'une surface sur l'énergie incidente :

La méthode que nous venons de décrire permet d'estimer l'effet de l'inclinaison d'une surface plane sur l'énergie qu'elle reçoit [10].

La figure (1-8) représente la variation de l'irradiation au cours de l'année de la moyenne mensuelle de l'irradiation journalière H_t , pour une surface orienté vers le sud ($\gamma = 0$) et pour diverses valeurs de l'inclinaison ($0 \leq \beta \leq 90^\circ$) en un lieu situé à 37° de latitude ($\phi = 37^\circ$).

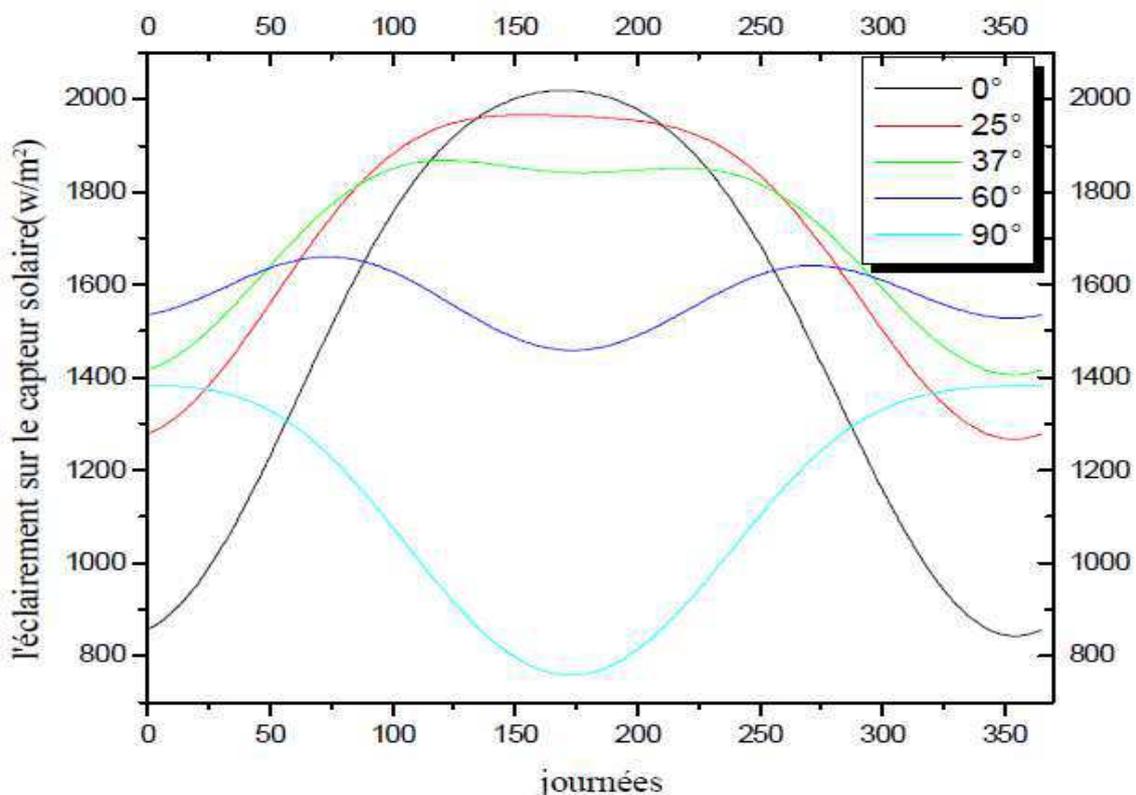


Figure 1.8 : Eclairage journalier absorbé par le capteur pour différentes inclinaisons (β) [2].

On peut vérifier que l'énergie totale reçue pendant l'année est maximale pour $\beta = \phi$.

I-4 RAYONNEMENT SOLAIRE EN ALGERIE :

L'Algérie possédant un gisement solaire important, de part son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1 kW/m^2 . L'énergie journalière maximale

moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les 6kW/m^2 et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500kW/m^2 [10].

La carte ci-dessous représente le rayonnement global reçu au mois de juillet :

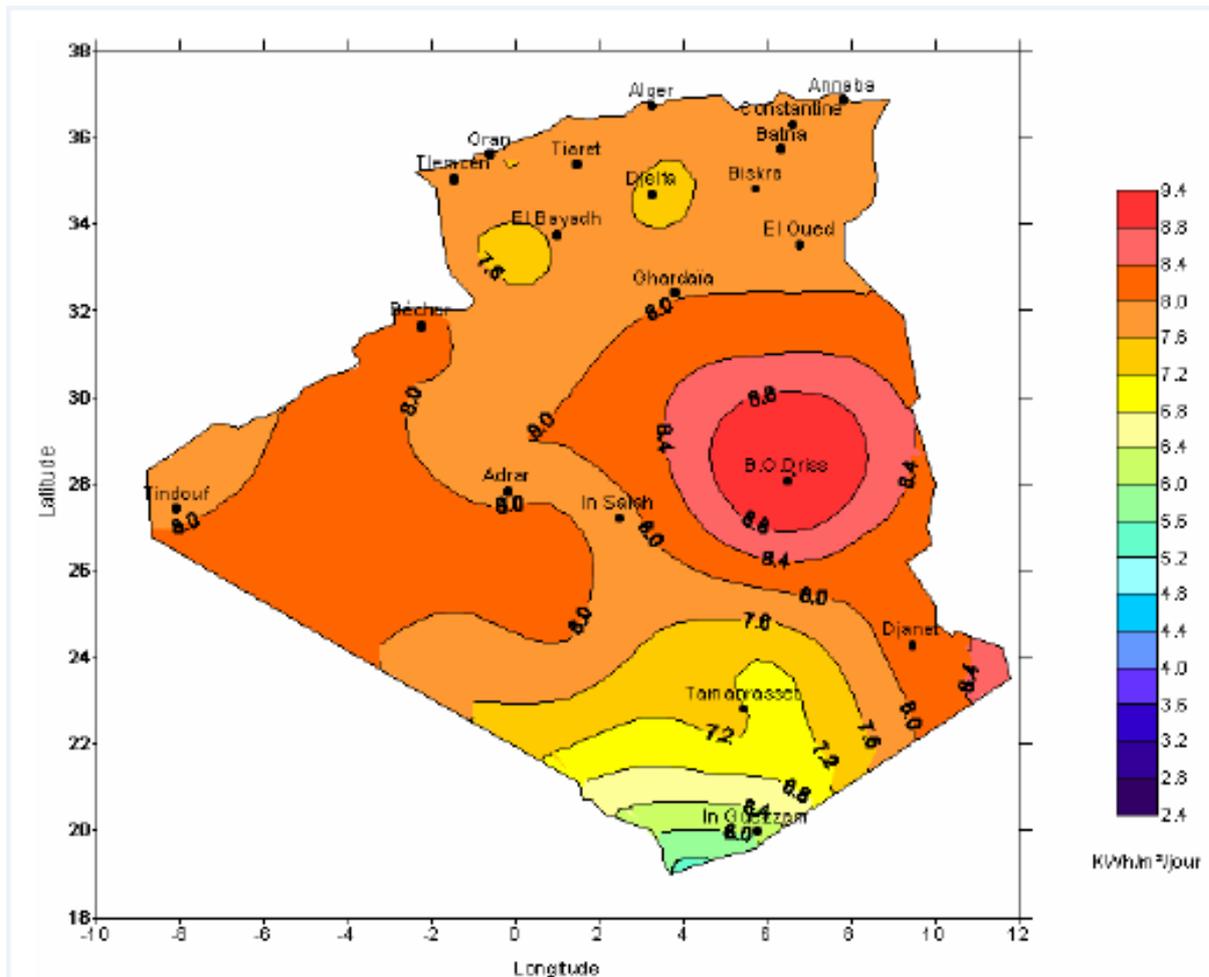


Figure.1.9 : Rayonnement global journalier reçu au plan horizontal au mois de juillet.

Tiaret est située à 1143m (altitude du col), voie d'évitement sur le mont du Gu'zoul qui fais partie de la chaine de l'Atlas tellien.

Les coordonnées géographiques de la ville de Tiaret :

Tableau 1-2 situation géographique de la ville de Tiaret.

Latitude	Longitude	Altitude
35.37°	1.31°	1031m

*Figure 1.10 : Situation géographique de Tiaret***I-5 CONCLUSION :**

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

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

L'utilisation efficace de l'énergie solaire nécessite une connaissance précise de l'énergie solaire, quantité d'énergie disponible à un endroit donné pendant une certaine période. Des données sont nécessaires sur les différents éléments de rayonnement solaire et leurs variations

spatiales et temporelles. Différentes applications de l'énergie solaire exigent des mesures et des données des différents éléments du rayonnement solaire.

Chapitre II :

Concentrateurs solaires

II-1 INTRODUCTION :

La conversion de l'énergie solaire en chaleur thermique à moyenne et à haute température est obtenue par des techniques différentes en fonction des besoins. Elle peut fournir directement à l'industrie, une partie de ses besoins en chaleur, elle peut aussi être transformée en énergie électrique pour l'alimentation des réseaux. La conversion à moyenne et à haute température a recours à une technologie plus élaborée, par l'idée de concentration des rayonnements solaires pour augmenter l'intensité de flux solaire au moyen de capteurs optiques plus élaborés appelés concentrateurs solaires.

II-2 ASPECT SOCIO-ECONOMIQUE :

Dans les années à venir, les ressources fossiles telles que le gaz et le pétrole, se feront de plus en plus rares. Par conséquent, le prix de ces ressources deviendra de plus en plus important. Le solaire est une ressource inépuisable en énergie et ne consomme aucune matière première c'est pourquoi les systèmes de production d'énergie solaire ont un coût proportionnel quasi nul. Actuellement, seuls les coûts d'investissement sont importants, ils sont en effet bien plus élevés que pour les techniques fossiles ou les autres énergies renouvelables. Afin d'encourager le développement de cette énergie, le gouvernement de nombreux pays offre des aides financières ou fiscales lors de l'installation de système solaire. C'est par exemple le cas en France:

- Certaines régions proposent des crédits à taux 0 afin de favoriser l'installation de dispositifs solaires.
- Les particuliers peuvent revendre l'électricité produite par leurs installations solaires à des entreprises comme EDF. Cette énergie est vendue à un prix fixé par le gouvernement.

Cette énergie n'est donc, pour le moment, qu'anecdotique. Cependant elle est promise à une forte croissance dans les 10 prochaines années. En effet la commission européenne a fixé à 23% la part que devront représenter en 2020 les énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale de l'hexagone. Les objectifs principaux de cette loi étant la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et obtenir une alternative aux ressources fossiles. [1]

II-3 ASPECT ENVIRONNEMENTAL :

Depuis trop longtemps tout le monde s'est appuyé sur les énergies fossiles pour se développer mais on savait très bien que ces ressources ne sont pas éternelles et que leurs gisements arriveront à terme dans les décennies à venir. Il faudra alors se tourner vers d'autres sources d'énergies, mais ceci prendra du temps. Donc si on ne veut pas connaître quelques années de récession à cause du manque d'énergie, on se doit de se tourner le plus rapidement possible vers ces autres sources d'énergies afin d'assurer une bonne transition énergétique.

De plus nos émissions de gaz à effet de serre augmentent continuellement depuis le début de la révolution industrielle, le trou dans la couche d'ozone s'agrandit de plus en plus, certaines villes comme Pékin sont sans arrêt dans un gros nuage de pollution. Notre planète est en train de mourir : nos eaux sont polluées, la déforestation gagne du terrain, les glaciers fondent, chaque jours des espèces animales et végétales disparaissent...

Même si nous avons fait déjà beaucoup de mal à notre planète, nous pouvons encore essayer au moins d'arranger la situation en nous tournant vers des énergies plus propres comme le solaire thermique. En effet, cette technique nous permet de produire de l'électricité au même titre que le nucléaire, le charbon et le gaz mais contrairement à ces deux derniers, la production d'énergie solaire ne rejette pas de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et à la différence du nucléaire, il n'y a pas de déchets toxiques. Il est indéniable que d'un point de vue écologique nous ferions mieux de favoriser les énergies renouvelables comme le solaire thermique au nucléaire-charbon-gaz. [2]

II-4 LES CONCENTRATEURS SOLAIRES :

Les concentrateurs solaires focalisent les rayons du soleil dans un point comme la tour solaire et le concentrateur parabolique, ou dans une ligne comme le concentrateur cylindro-parabolique. Les concentrateurs en lignes possèdent généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels, ce facteur caractérise la géométrie générale d'un concentrateur. Il représente le rapport entre la surface de captation et la surface d'absorption. Les systèmes utilisant les concentrateurs solaires sont capables de générer des températures au voisinage de 1000°C, ces systèmes ont été initialement développés pour la production d'électricité. Les caractéristiques techniques principales de ces centrales solaires à concentration(CSP) sont présentées dans le tableau ci-dessous : [3]

Tableau 2.1: caractéristiques des centrales solaires à concentration (german aerospace center, 2007) [3].

Type de champ solaire	Facteur de concentration	Capacité d'unité (MW)	Prix du champ solaire (€/m ²)	Température d'opération (°C)
Tour solaire	300-1000	10-150	250-300	550-1000
Parabolique	1000-3000	0.01-0.04	>350	800-900
Cylindro-parabolique	70-80	10-200	200-250	390-550

II-4.1 Concentrateur centrale à tour :

Une centrale à tour est constituée d'un champ d'héliostats. Un héliostat est un mécanisme permettant une rotation suivant deux axes de rotation perpendiculaires. Un ensemble de miroirs plats ou légèrement courbés est fixé sur ces héliostats. Chaque héliostat est piloté pour réfléchir continuellement le rayonnement solaire direct sur le sommet d'une tour où se trouve le récepteur. [4]

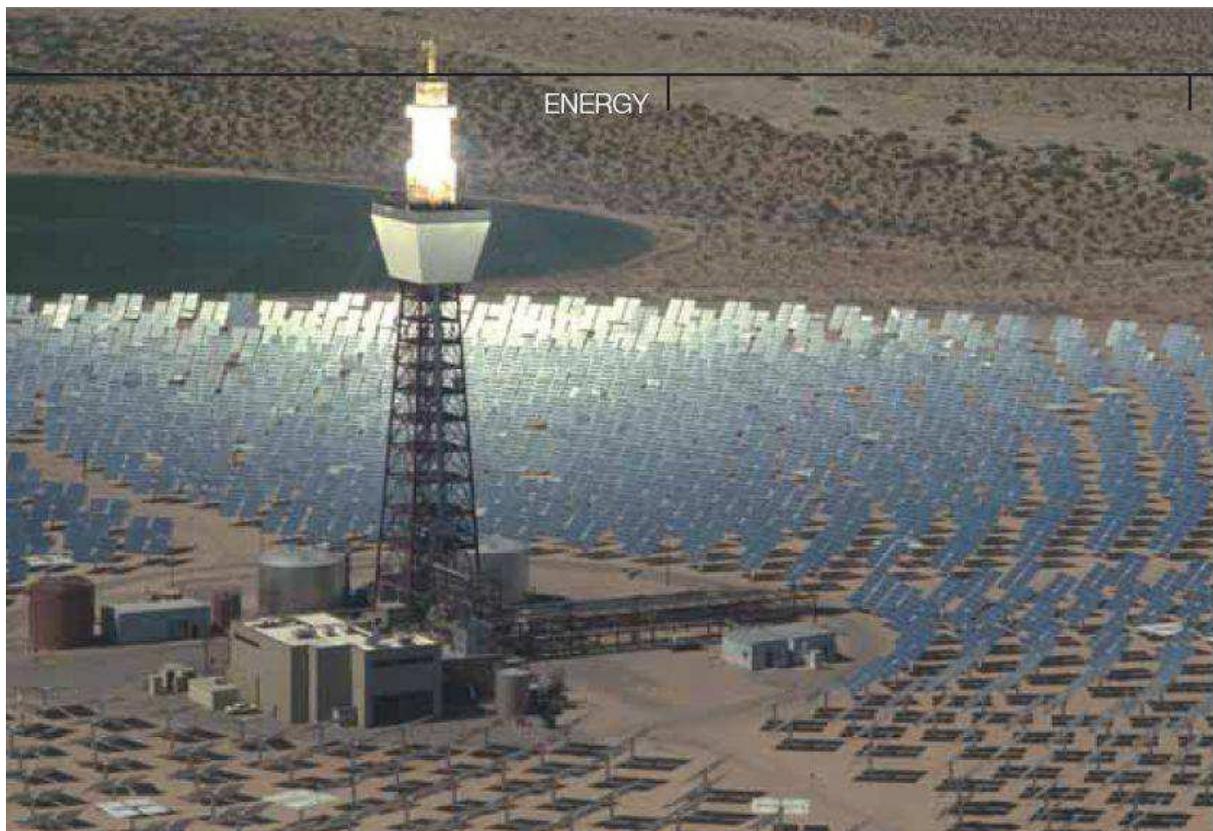


Figure 2.1 : Concentrateur central à tour au barstow, california.

II-4.1.1 Principe de fonctionnement d'un concentrateur central à tour :

Plusieurs centaines ou milliers de miroirs sont positionnés autour d'une tour. On appelle ces miroirs « héliostats » (en grec : qui fixe le soleil). Situés au sol, ces héliostats sont orientables. Les rayons du soleil sont ainsi en permanence réfléchis en direction d'un point unique au sommet de la tour. Le rayonnement solaire est directement concentré sur un absorbeur qui transforme le rayonnement en chaleur à haute température.

Généralement, un fluide caloporteur (des sels fondus) circule au sommet de la tour. Chauffé par les rayons, celui-ci transfère son énergie à un circuit d'eau. La vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité. On caractérise la performance du système par le chiffre de sa « concentration » qui est le rapport de la surface de collecte sur la surface du capteur. [5] Le facteur de concentration varie de 600 à plusieurs milliers, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 800 °C à 1000°C. [8]

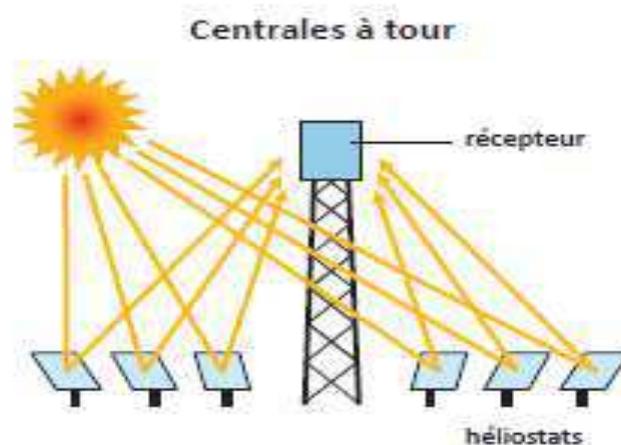


Figure 2.2 : Principe d'un concentrateur a tour.

II-4.1.2 Les avantages et les inconvénients :

a) Avantages :

- source d'énergie inépuisable et gratuite.
- pas d'émission polluante.
- Permet de valoriser des zones désertiques.

b) Inconvénients :

- nécessite un fort ensoleillement.
- surface au sol importante.

II-4.2 Concentrateurs cylindro-paraboliques :

Le concentrateur cylindro-parabolique est un capteur solaire à concentration à foyer linéaire qui utilise un réflecteur cylindrique de section parabolique : c'est le concentrateur le moins récent et le plus utilisé. [7]

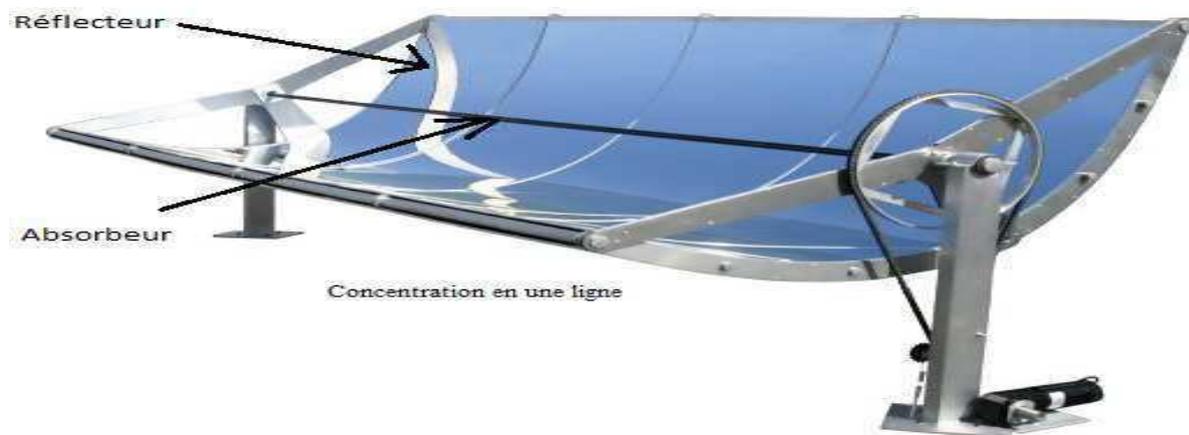


Figure 2.3 : Concentrateur cylindro-parabolique.

Le concentrateur cylindro-parabolique bâties dans les désertes et autres zones arides du monde, les centrales solaires à capteurs cylindro-paraboliques sont une filière du Solaire thermodynamique [7].

II-4.2.1 Principe de fonctionnement d'un concentrateur cylindro-paraboliques :

Dans ce type de centrale solaire, les miroirs réflecteurs sont rangés parallèlement et tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil et réunir le plus de rayonnement solaire possible. Ces rayonnements sont ensuite concentrés sur un tube horizontal, dans lequel circule un fluide colporteur qui peut atteindre une température de 400°C. Ce fluide servira à transporter la chaleur vers le réservoir thermique. L'énergie récoltée par ce fluide est transféré à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine/générateur qui produit de l'électricité [8].

Ce principe est présenté dans la figure (II.4) ci- dessous :

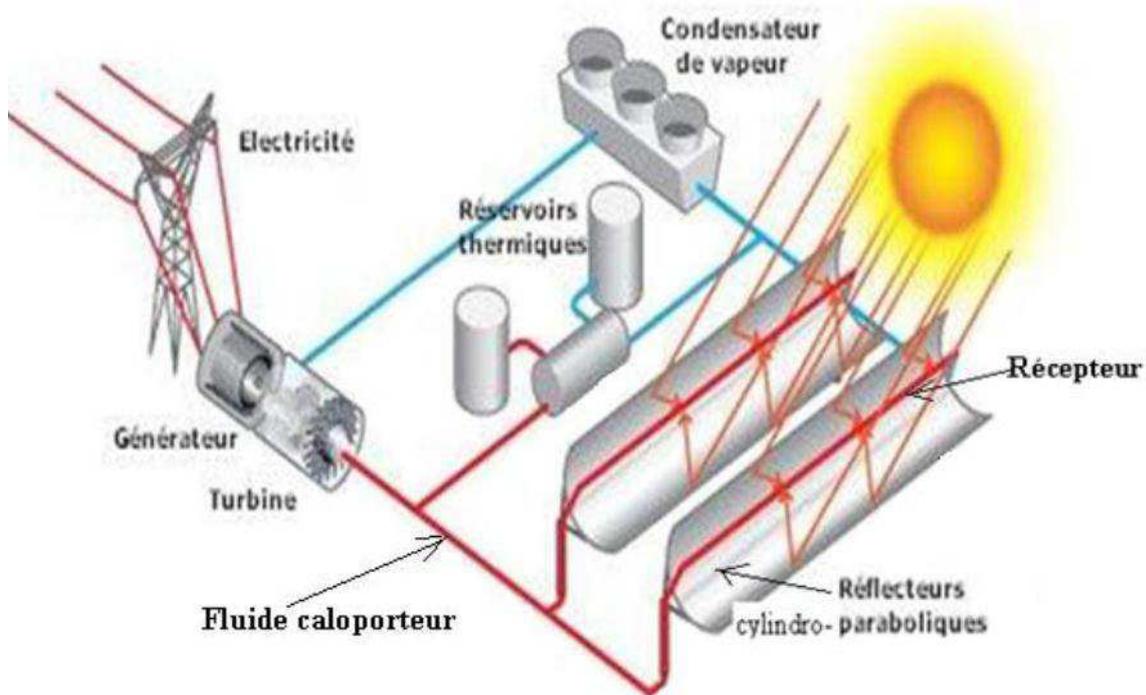


Figure 2.4 : Concentrateur cylindro-parabolique fournissant de l'énergie électrique à partir d'énergie thermique.

II-4.2.2 L'exploitation de la technologie des concentrateurs cylindro-paraboliques en Algérie :

L'Algérie considère des occasions idéales d'aujourd'hui de combiner le gaz naturel à l'énergie solaire grâce à l'intégration de la base de l'énergie solaire est concentrée à concentrateurs cylindro-paraboliques. Dans une première étape une centrale électrique hybride (gaz /solaire) est actuellement en service au sud de l'Algérie (Hassi Rmel) avec 224 concentrateurs d'une surface de 180000 m² des réflecteurs paraboliques et d'une puissance électrique solaire moyenne de 25 MW [9].

Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel de l'Algérie en énergie solaire, l'énergie moyenne reçue sur une surface horizontale soit près de 1700 kWh/m² annuellement aux régions côtières, 1900 kWh/m²/an aux hauts plateaux et 2650 kWh/m²/an aux régions Sahariennes. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme qui consacre au solaire thermique et au solaire photovoltaïque. Le solaire devrait atteindre d'ici à 2030 plus de 27% de la production nationale d'électricité selon le décret 04-92, publié au journal officiel de l'Algérie en Mars 2004 [10].



Figure 2.5 : Centrale électrique hybride de Hassi Rmel.

Le tableau 2.2 présente les nouveaux projets de production d'énergie électrique dans le plan d'investissement Algérien au titre du programme Moyen-Orient et Afrique du nord CSP (Middle East and North Africa MENA), avec une capacité prévue de 210 MW.

Tableau 2.2 : Projets CSP en Algérie.

Endroit de l'installation	Capacité de l'installation
Meghaier	70MW
Naama	70MW
Hassi Rmel	150 MW

II-4.2.3 Les avantages et les inconvénients :

a) Avantages :

- Source d'énergie inépuisable et gratuite.
- Pas d'émission polluante.
- Peu fonctionner sans intermittence.

b) Inconvénients :

- Nécessite une poursuite sensible et couteuse pour une zone climatique peut ensoleiller.
- Surface au sol importante.

II-4.3 Concentrateurs solaires paraboliques:

Ce système convertit l'énergie thermique du rayonnement solaire en énergie mécanique, puis en énergie électrique. Il utilise un réseau de miroirs pour réfléchir et concentrer le rayonnement direct entrant à un récepteur, afin d'atteindre les températures nécessaires pour convertir efficacement la chaleur à travailler. Cela exige que le miroir suive le soleil dans deux axes. Le rayonnement solaire concentré est absorbé par le récepteur et transféré à un moteur. La centrale à capteurs paraboliques entraîne un rendement haut de l'énergie solaire à électricité (entre 31% et 32%) [6].

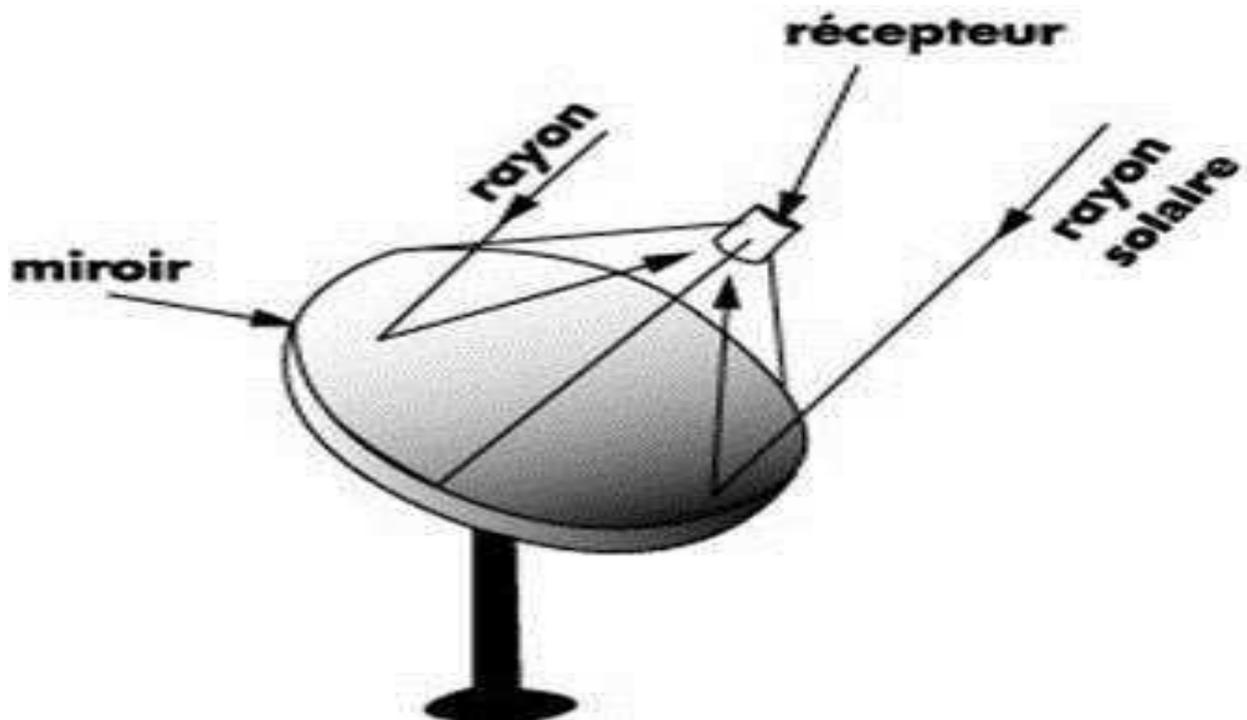


Figure 2.6 : Concentrateur solaire parabolique.

II-4.3.1 Les composantes importantes :

- **Collecteur :**

Le concentrateur solaire est composé d'une surface réfléchissante de verre ou de plastique et concentre le rayonnement incident à son foyer. Sa taille dépend évidemment de la puissance solaire requise. Comme ordre de grandeur, on peut considérer qu'un concentrateur de 10 m de diamètre peut fournir jusqu'à 25 KW d'électricité sous un rayonnement de 1000 W/m².

Le concentrateur possède deux degrés de liberté afin de suivre efficacement le soleil. Ce suivi s'effectue de façon tout à fait autonome, contrairement aux capteurs cylindro-paraboliques.

- **Récepteur :**

Le récepteur absorbe l'énergie réfléchiée par le concentrateur et la transfère au fluide thermodynamique.

La température de la source chaude peut être adaptée en plaçant le récepteur plus ou moins loin du foyer du collecteur afin de réduire l'intensité du rayonnement lui parvenant [8].

II-4.3.2 Propriétés géométriques de la parabole :

II-4.3.2.1 Définition :

Une parabole est l'ensemble des points situés à égale distance d'une droite fixe (D) appelée directrice, et un point fixe (F) appelé foyer. L'intersection de la parabole et de son axe est le sommet (V) qui est exactement intermédiaire entre le foyer et la directrice [4].

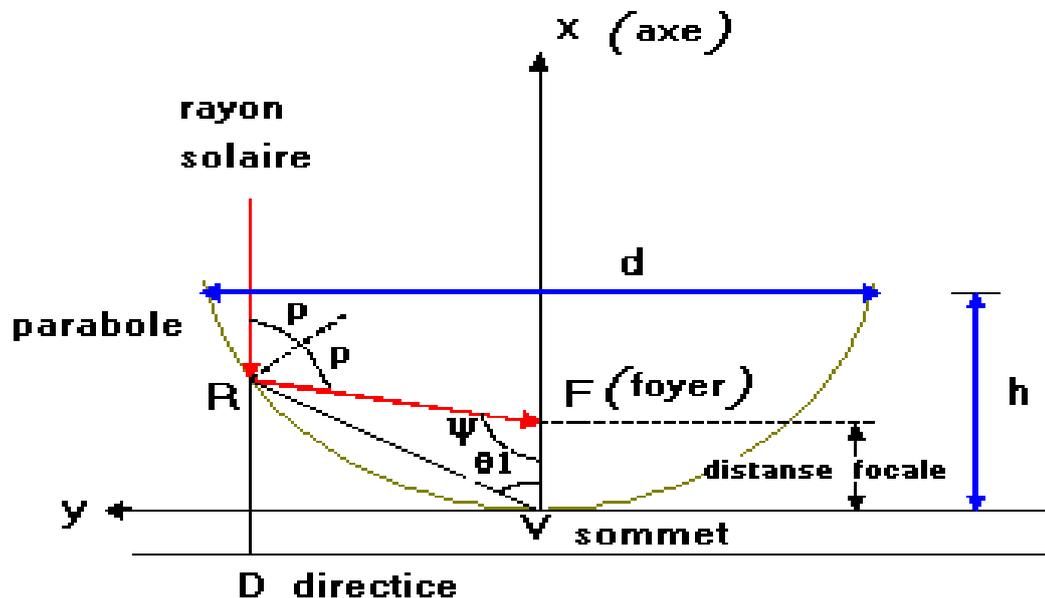


Figure 2.7 : Propriétés géométriques de la parabole.

L'équation de la parabole est :

$$y^2 = 4 * f * x \quad (\text{II.1})$$

f : la distance focale FV

$$p = \frac{2f}{1 + \cos\psi} \quad (\text{II.2})$$

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

ψ : angle compris entre la ligne (VF) et le rayon parabolique (P).

II-4.3.2.2 Distance d'ouverture :

$$f = \frac{d^2}{16 \times c} \quad (\text{II.3})$$

d : diamètre de l'ouverture de la parabole.

c : profondeur.

II-4.3.2.3 Angle d'ouverture d'une parabole :

$$\tan \psi_p = \frac{(f/d)}{2(f/d)^2 - \frac{1}{8}} \quad (\text{II.4})$$

f : distance focale.

d : diamètre de l'ouverture de la parabole [4].

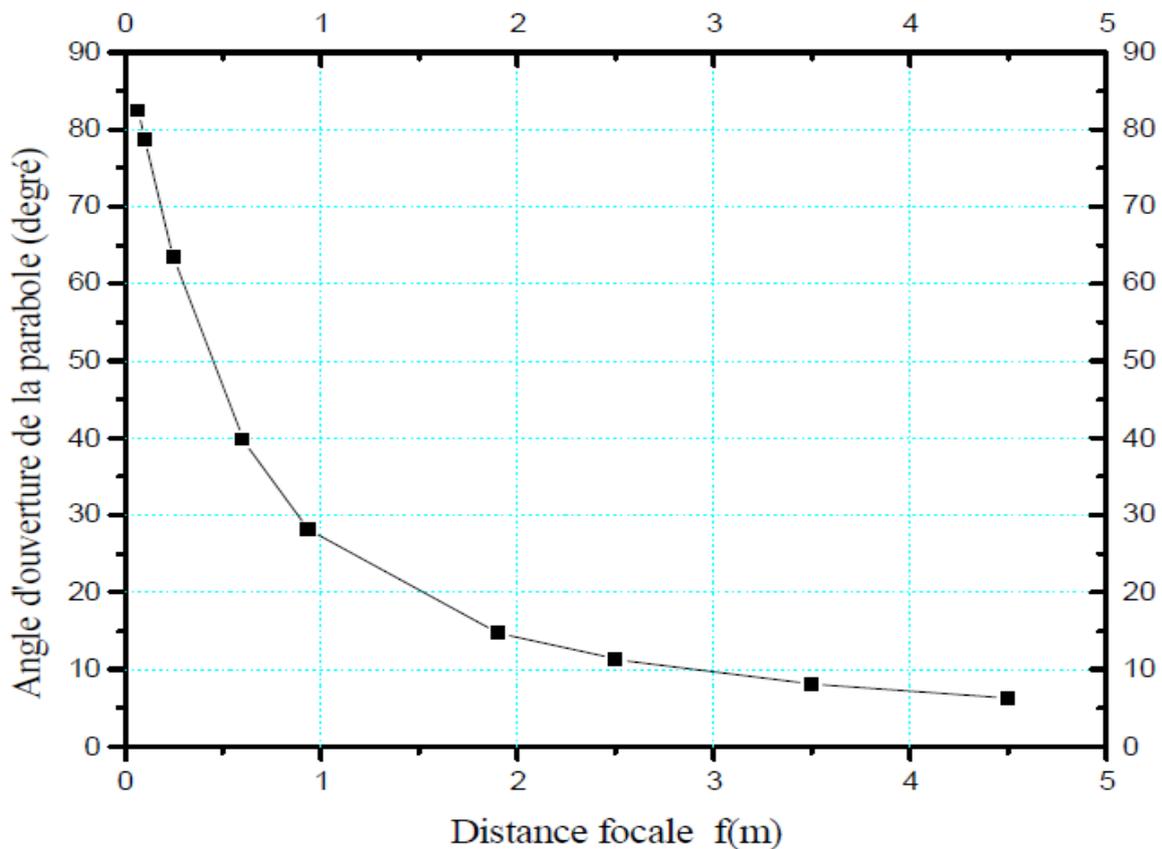


Figure 2.8 : Distance focale en fonction de l'angle d'ouverture d'une parabole $d=1m$ [4].

On peut voir qu'une parabole avec un petit angle d'ouverture est relativement plate.

L'augmentation de l'angle d'ouverture de la parabole fait diminuer la distance focale [4].

II-4.3.3 Principe de fonctionnement :

Ces concentrateurs utilisent des surfaces réfléchissantes paraboliques pour concentrer les rayons solaires dans le foyer où se trouve le récepteur (absorbeur) qui capte la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre des températures plus élevées (jusqu'à 1500°) sur le récepteur [6].

II-4.3.4 Les avantages et les inconvénients :

a) Avantages :

- Source d'énergie inépuisable et gratuite.
- Pas d'émission polluant.
- Bon rendement solaire électrique (entre 31 % à 32%).

- Ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés non raccordés au réseau électrique.

b) Inconvénients :

- Fonctionnement par intermittence.

II-5 REFRIGERATEUR A ABSORPTION :

Aujourd'hui 99 des camping-cars sont équipés de réfrigérateur par absorption également appelés trimixtes car ils peuvent fonctionner en 12V, 220V, ou au gaz.

Ces réfrigérateurs possèdent deux avantages uniquement qui explique leur présence dans presque tous les camping-cars :

Un fonctionnement silencieux et la possibilité de faire du froid sans électricité.

La particularité des frigos par absorption, c'est de « faire du froid à partir du chaud »: le réfrigérateur se met en marche en brûlant du gaz. Malheureusement cette approche est très peu efficace énergétiquement. En effet, beaucoup de chaleur est dissipée, donc perdue et doit être évacuée par des aérations [11].

II-5.1 Fonctionnement d'un réfrigérateur à absorption :

Pour faire tourner le cycle, ce type de réfrigérateur utilise une source de chaleur : générateur alimenté au gaz butane et non un compresseur fonctionnant à l'électricité comme dans le système à compression. Cette source de chaleur peut être de la vapeur à faible pression ou de l'eau chaude. On peut dire que l'absorption est une réaction chimique basée sur la chauffe d'un agrégat d'ammoniaque à l'intérieur d'un circuit étanche. Les réfrigérateurs de ce type doivent être placés dans une position parfaitement horizontale.

Dans ce type de réfrigérateur, on retrouve les six éléments suivants :

- Le bouilleur (ou générateur).
- Le séparateur séparant les vapeurs d'ammoniaque de l'eau.
- Le condenseur.
- La soupape de détente.
- L'évaporateur.
- L'absorbeur dans lequel les vapeurs d'ammoniaque sont dissoutes dans l'eau.

1. **Le générateur ou bouilleur** : c'est un réservoir chauffé par une flamme qui contient une solution aqueuse très concentrée en ammoniac. Pendant la chauffe, l'ammoniac dont la pression et la T° augmentent s'évapore puis se dirige vers le séparateur.
2. **Le séparateur** qui reçoit les vapeurs d'ammoniac et d'eau sépare les vapeurs d'ammoniac.
3. **Le condenseur** qui reçoit les vapeurs d'ammoniac, les condense sous la pression, ce qui les refroidit et les rend liquides.
4. **La soupape de détente** abaisse la pression du liquide qui devient complètement froid.
5. **L'évaporateur** qui reçoit l'ammoniac liquide sous basse pression absorbe la chaleur au milieu ambiant, ce qui produit du froid dans le frigo en laissant le liquide se transformer en ammoniac gazeux.
6. **L'absorbeur** qui contient l'eau partiellement refroidie issue du séparateur absorbe à nouveau les vapeurs d'ammoniac pour former la solution concentrée du départ du cycle [12].

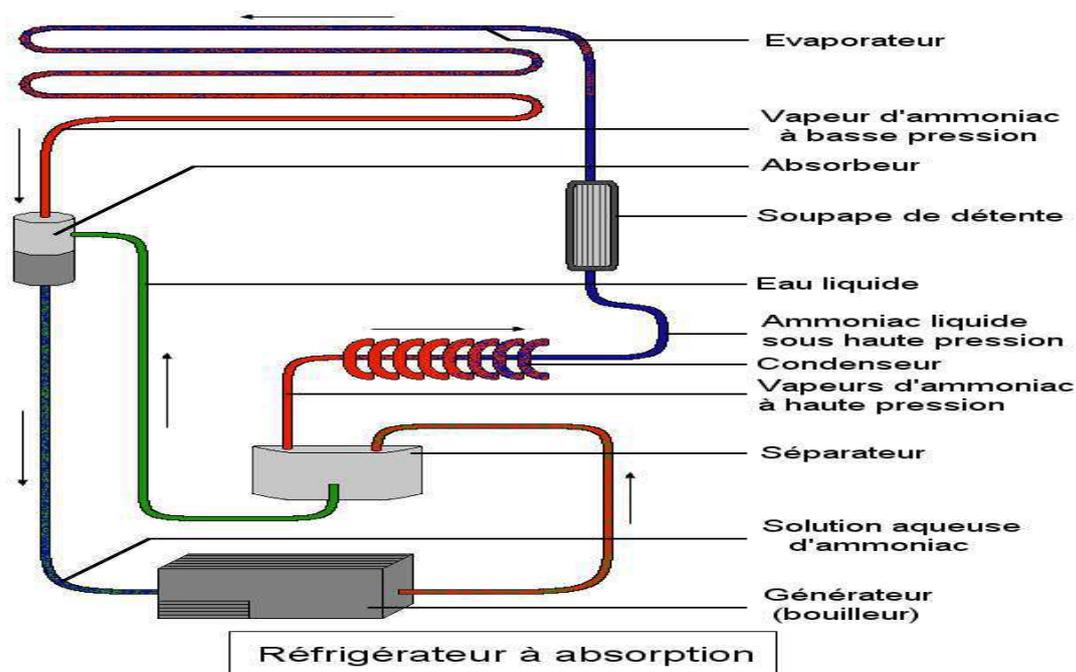


Figure 2.9 : Schéma d'un réfrigérateur à absorption.

II-6 CONCLUSION :

La hausse du prix des hydrocarbures (pétrole et gaz naturel) ne cessent de nourrir des soucis énergétiques majeurs et persistants. Il est primordial pour les pays producteurs de dresser des stratégies de développement d'énergies renouvelables. Le gisement solaire est

pour l'Algérie, un choix stratégique considérable vu l'ensoleillement intense dont elle est le siège.

La conversion thermique de l'énergie solaire est une branche inestimable de l'exploitation de ce gisement sous forme de travail mécanique en vue de produire de l'électricité, sous forme de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux ou bien encore pour la climatisation et la production du froid.

Chapitre III :

Résultats et discussions

III-1 INTRODUCTION :

Nous présentons dans ce chapitre le prototype expérimental de notre concentrateur parabolique avec les différents dispositifs électroniques utilisés pour la collection des données telles que la température au niveau du point focal du capteur, la température au niveau du réfrigérateur, la température ambiante, l'humidité et l'ensoleillement d'une part et d'autre part on a regroupé et analysé les résultats obtenus et les présentés avec une discussion et interprétation. Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de reproduction des animaux de la ferme « Equipe : Conception des matériaux et dispositifs électroniques dans le diagnostic en médecine vétérinaire, Institut des sciences vétérinaires, Université de Tiaret-Algérie.

III-2 DESCRIPTION DES DIFFERENTES PARTIES DU PROTOTYPE :**III-2.1 Le réflecteur :**

Il est constitué d'une parabole du récepteur satellitaire couverte en papier d'aluminium qui couvre la surface intérieure du réflecteur. Le papier d'aluminium devrait avoir son côté brillant face au soleil. La parabole est reposée sur un support rigide, attachée au sol [3].

Tableau 3.1 : Caractéristiques du réflecteur

Caractéristique géométrique du réflecteur	
Diamètre	60 cm
Hauteur	65 cm
Profondeur	5.5 cm
L'angle d'ouverture	33.44°
Distance focale	40.9 cm

Remarque :

Nous avons trouvé dans les mesures expérimentales la distance focale de notre concentrateur est d'une valeur de 47 cm, par contre les calculs théorique avec l'équation de la distance focale nous donne une valeur de 40.9 cm, cet incertitude à cause de forme ovale de notre concentrateur parabolique.

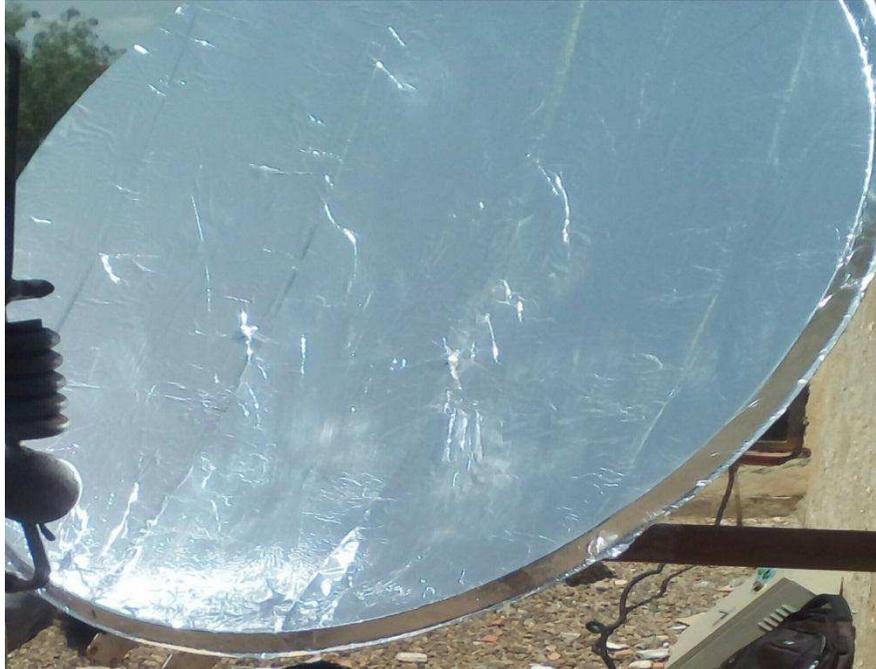


Figure 3.1 : Photographie de notre concentrateur parabolique.

III-2.2 L'absorbeur :

Dans notre cas on a remplacé l'absorbeur ordinaire par un circuit frigorifique, ce circuit est à l'origine d'un frigo à absorption qui fonctionne par une source de chaleur.

a- Composants d'un frigo à absorption.

Absence de toute mécanique en mouvement il se compose pour l'essentiel d'un agrégat subdivisé en plusieurs éléments. bouilleur, siphon, collecteur/séparateur, condenseur, l'évaporateur, l'absorbeur, réservoir, et enfin, une source d'énergie thermique.

(Figure 3.2).



Figure 3.2 : Composants d'un frigo à absorption.

b- Principe de fonctionnement :

Il fonctionne par un principe de séparation des corps et de l'absorption de l'un par un autre pour créer une différence de pression. Cette dernière va engager le mouvement cyclique, comme le ferait un compresseur. (Figure 3.3).

Comme le processus fonctionne sur les lois de la convection et de la gravité naturelles, il est lent et peu inertiel. Comparativement, un frigo à compression est 3 fois plus performant qu'un à absorption, 3w en compression équivaux à 10w en absorption. De plus, pour que la mécanique des fluides puisse parfaitement fonctionner, il faut que le frigo soit positionné le plus possible à l'horizontal.

D'autre part, la chaleur est utilisée comme source de séparation des fluides, pas assez de chaleur nuirait au bon fonctionnement par une faible séparation, alors que trop de chaleur empêcherait la séparation de l'eau et de l'ammoniac, l'eau se transformant en vapeur par une chaleur excessive, resterait en suspension avec l'ammoniac.

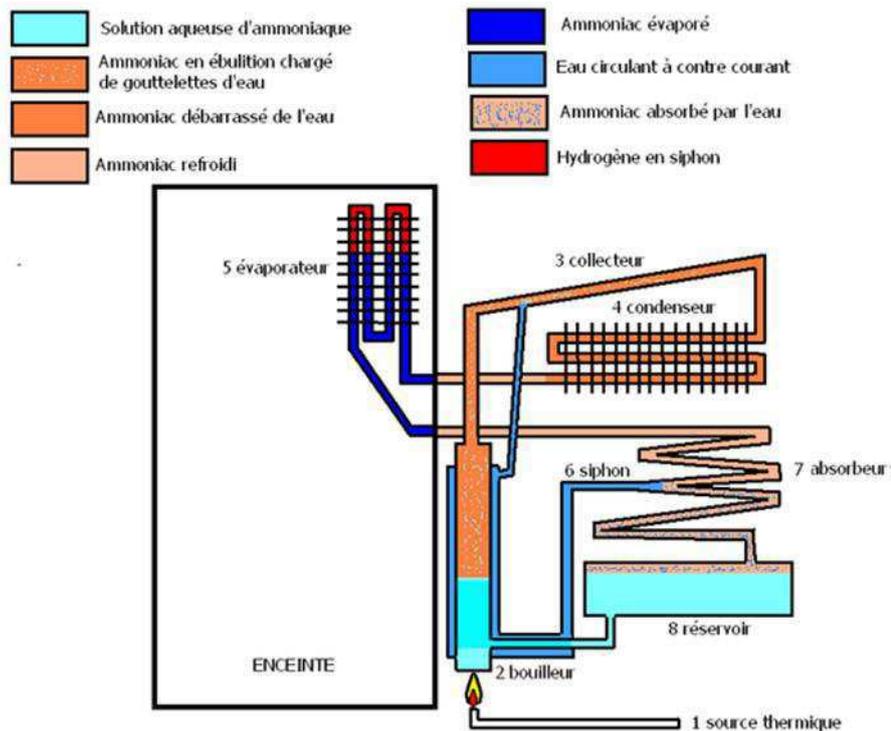


Figure 3.3 : Schéma illustrant le principe de fonctionnement du frigo à absorption

3 produits sont utilisés pour le fonctionnement : L'ammoniac, l'eau, l'hydrogène. L'ammoniac est le fluide frigorigène, l'eau est l'élément absorbé, l'hydrogène est l'élément de détente. Un autre produit, du chromate de sodium, est utilisé en très petite quantité pour empêcher la corrosion. Il faut distinguer l'ammoniac de l'ammoniaque : l'ammoniac est un gaz de formule NH_3 (1 atome d'azote pour 3 d'hydrogène) incolore et d'odeur suffocante. L'ammoniaque est une solution aqueuse d'ammoniac et d'eau.

III-3 INSTRUMENTS DE MESURE ET ACQUISITION DES DATAS :

III-3.1 Mesure de température :

Dans ce travail on a utilisé différents dispositifs électroniques ; le LM35, le DS18B20 et une sonde Pt100 avec un module Max6675, Le LM35 est un capteur de température à circuit intégré [1], avec une tension de sortie linéairement proportionnelle à la température Centigrade. Le LM35 est conçu pour fonctionner à une température de $-55\text{ }^\circ\text{C}$ à $+150\text{ }^\circ\text{C}$, il a un auto-échauffement très faible, moins de $0,1\text{ }^\circ\text{C}$ dans l'air calme. (Figure 3.4).



Figure 3.6: Module MAX6675 + Thermocouple type K (PT100)

III-3.2 Mesure de l'ensoleillement :

BH1750 est un capteur de lumière ambiante numérique [4] (**Figure 3.7**). Il est possible de détecter une large gamme à haute résolution. Ce capteur a des avantages tels que:

- 1) Conversion de l'ensoleillement vers des datas numériques.
- 2) Large gamme et haute résolution. (1 - 65535 lux).
- 3) Faible courant par la fonction de mise hors tension.
- 4) 50Hz / 60Hz Fonction de rejet de bruit léger.
- 5) Il est possible de détecter min. 0,11 lx, max. 100000 lx en utilisant cette fonction.

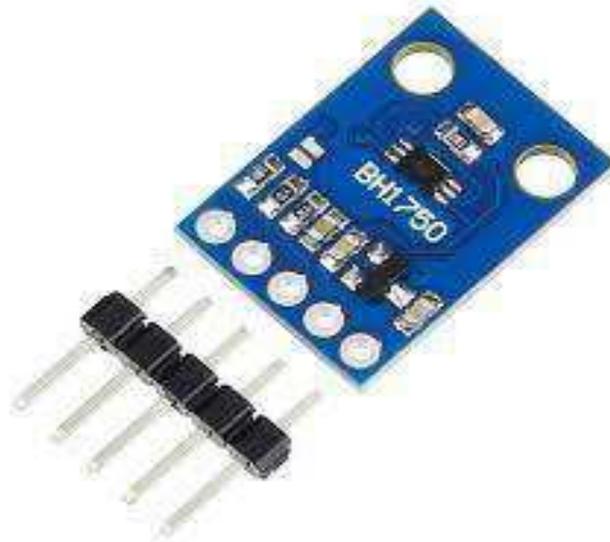


Figure 3.7 : Capteur d'ensoleillement (BH1750).

III-3.3 Mesure de la vitesse de l'air et de l'humidité :

Le thermo-Hygro-Anémomètre PCE-THA 10 a été utilisé pour mesurer la température, l'humidité et la vitesse de l'air avec le logiciel fourni et le câble USB à l'ordinateur [5] (**Figure 3.8**).



Figure 3.8: Thermo-Hygro-Anémomètre (PCE-THA 10).

Un microcontrôleur Arduino Mega (**Figure 3.9-A**) a été utilisé dans ce travail comme plate-forme de développement basée sur le méga AT 1280. Il dispose de 54 broches d'entrée / sortie digitales, 16 entrées analogiques, 4 UARTs (ports série matériels), un oscillateur à quartz 16 MHz, une connexion USB [6]. Ce dernier était consacré pour recevoir les données à partir des capteurs de températures (LM35).

- Un autre microcontrôleur Arduino Uno a été utilisé avec le capteur d'ensoleillement (BH1750). Arduino Uno est un microcontrôleur basé sur l'ATmega3280. Il dispose de 14 broches d'entrée / sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), de 6 entrées analogiques, d'un quartz 16 MHz, d'une connexion USB [7] (**Figure 3.9-A**).

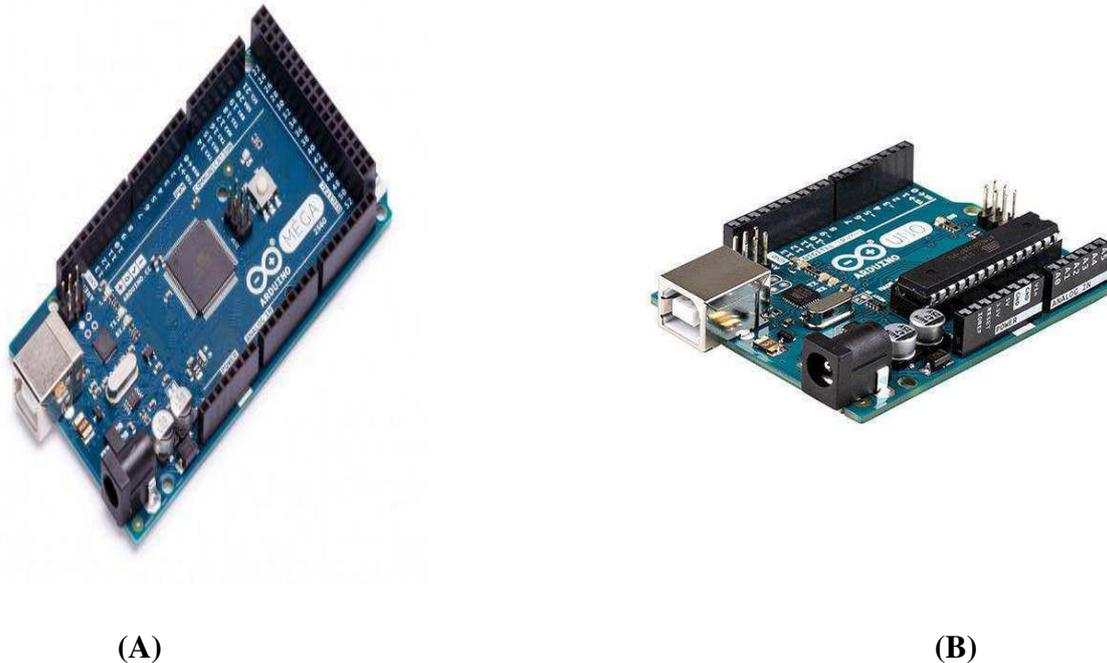


Figure 3.9 : Arduino MÉGA (A); Arduino UNO (B)

III-4 VARIATION DE L'ENSOLEILLEMENT, L'IRRADIATION GLOBALE, LA TEMPERATURE DE L'AIR, DE LA VITESSE DE L'AIR ET DE L'HUMIDITE :

Tiaret est une région se trouvent au sud-ouest de la capitale d'Alger, dans la région occidentale des hautes plaines, dans l'Atlas tellien et à environ 150 km de la côte méditerranéenne Elle est située à 1 143 m d'altitude. Le climat est de type continental, sec et rigoureux en hiver il passe aussi facilement au-dessous du 0 °C qu'au-dessus de 35 °C à 40 °C en été.

III-4.1 L'ensoleillement et l'irradiation globale :

En physique, l'éclairement est la quantité totale d'énergie lumineuse atteignant une surface éclairée par unité de surface. C'est une mesure de l'intensité lumineuse, telle qu'elle est perçue par l'œil humain. En d'autres termes, l'éclairement définit à quel point la lumière incidente illumine la surface, pondérée en fonction de la longueur d'onde par la fonction de luminosité, afin de corrélérer avec la perception de la luminosité humaine.

On a présenté dans la figure 3.10 l'ensoleillement annuel dans l'Algérie obtenu à partir du site officiel du Centre du développement des énergies renouvelables (CDER) de Ghardaïa [8]

au mois de Juin 2018. On remarque que la durée de l'ensoleillement annuel varie entre 2550 et 3550 heures, cette durée est suffisante pour le bon fonctionnement de ce type des énergies renouvelables en Algérie. La région de Tiaret représente un ensoleillement annuel de 2975 heures, ce qui nous encourage d'investir dans le domaine des énergies renouvelables.

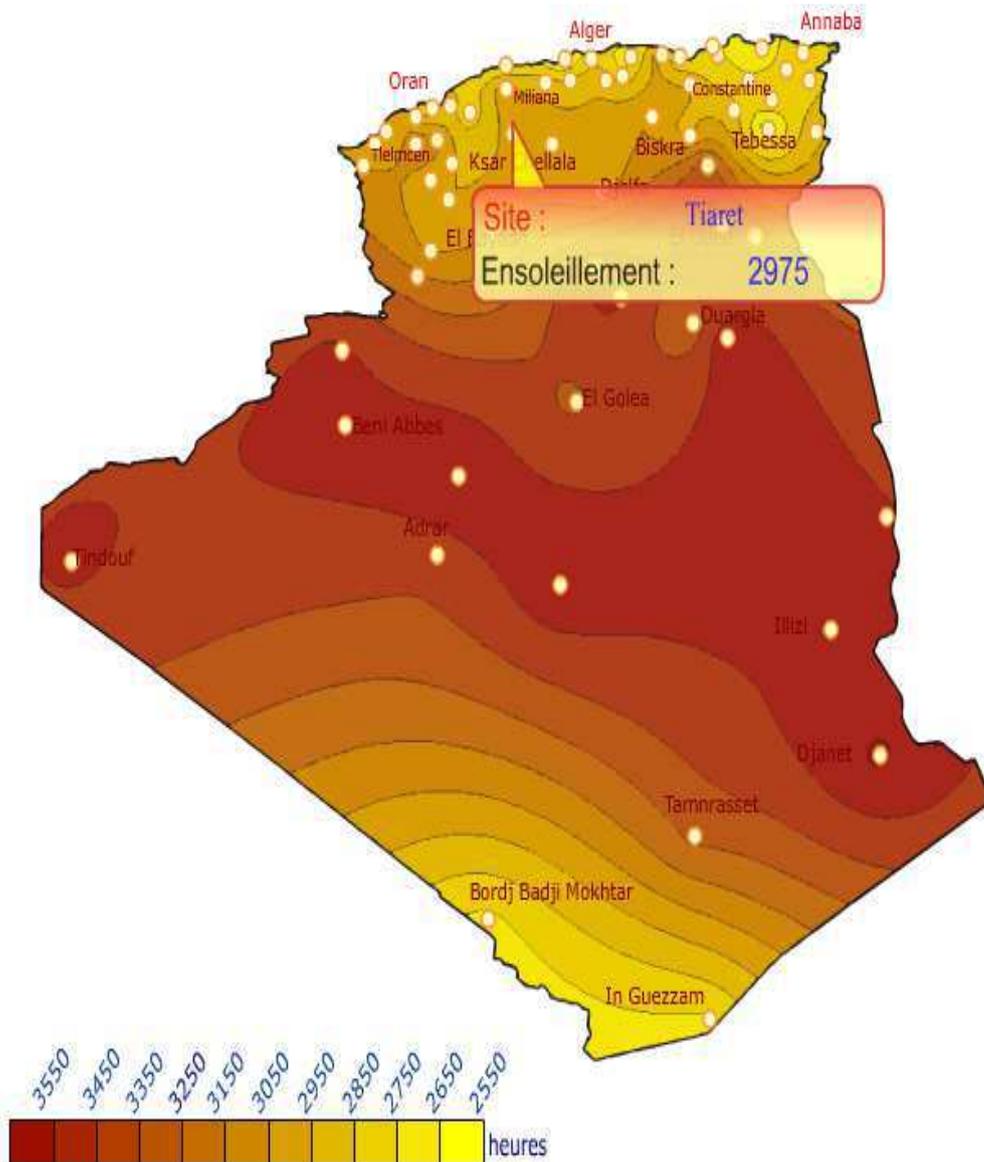


Figure 3.10 : Ensoleillement annuel en Algérie [8].

La figure 3.11 présente la moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale dans l'Algérie [8], On remarque que la moyenne annuelle de l'irradiation globale dans la région de Tiaret a pour une valeur de 1921 kW/m².

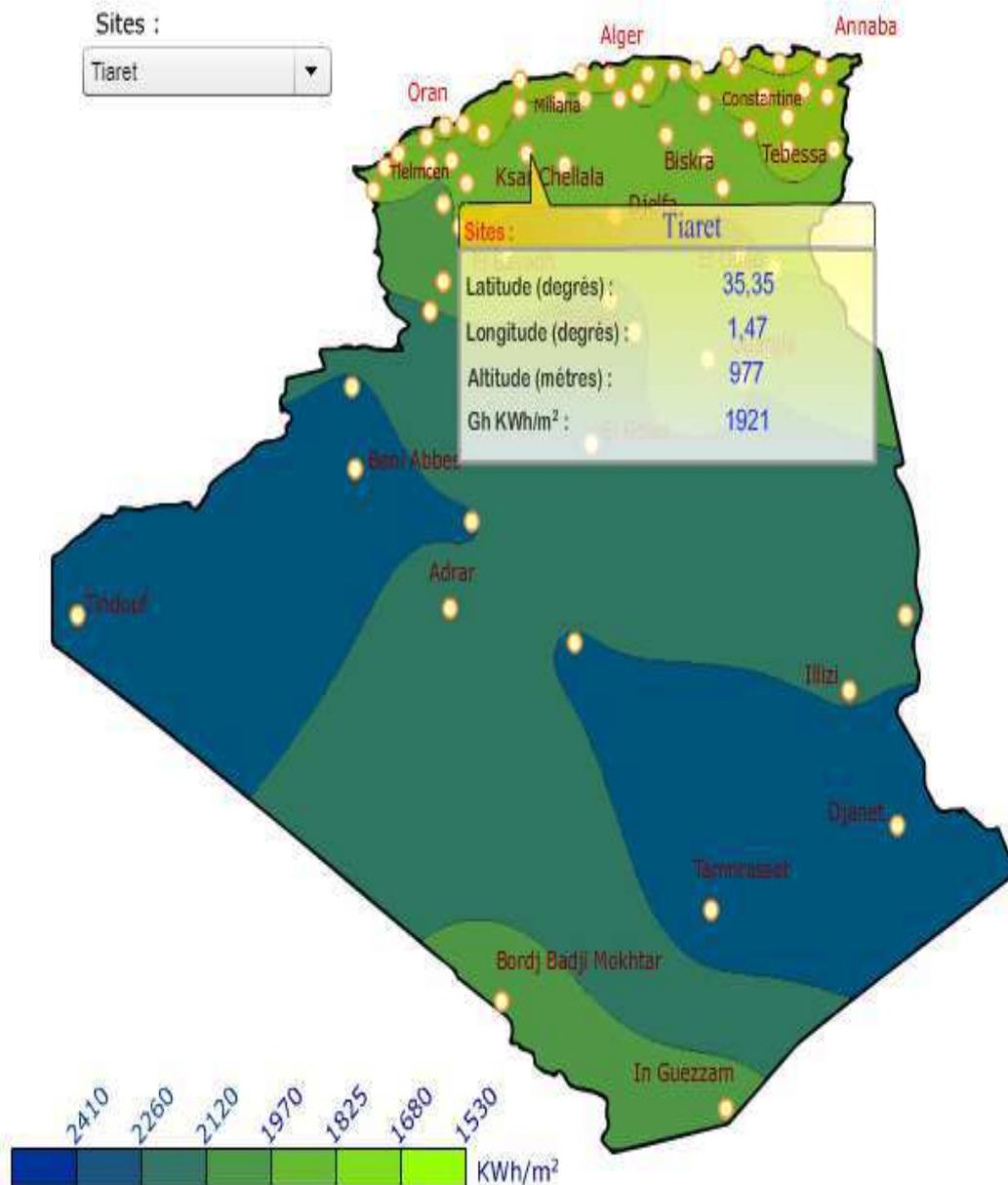


Figure 3.11 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale.

A titre de comparaison de nos résultats d'irradiation globale avec ceux extraits du site officiel du CDER pour le 08 juin 2018, nous avons les présentés dans les deux figures. Il est clairement remarqué que les deux courbes ont la même topologie, ce qui confirme la fiabilité des capteurs et dispositifs électroniques utilisés dans cette étude d'une part et d'autre part la fiabilité aussi du modèle utilisé dans l'application du site d'internet du CDER. L'irradiation solaire commence à partir de 06^h:30 à 18^h:30 d'une période de 12 heures. Un maximum d'irradiation est enregistré à 12^h:30 pour les deux graphes. Nos résultats montrent une valeur de 656 Wh/m² qui est une valeur à peu près en bon accord avec celle prise de l'application du CDER d'une valeur de 1073 Wh/m². Dans la figure 3.13, on a présenté nos résultats en

fonction du temps avec un fit, nous observons que l'évolution de l'irradiation globale suit une variation gaussienne.

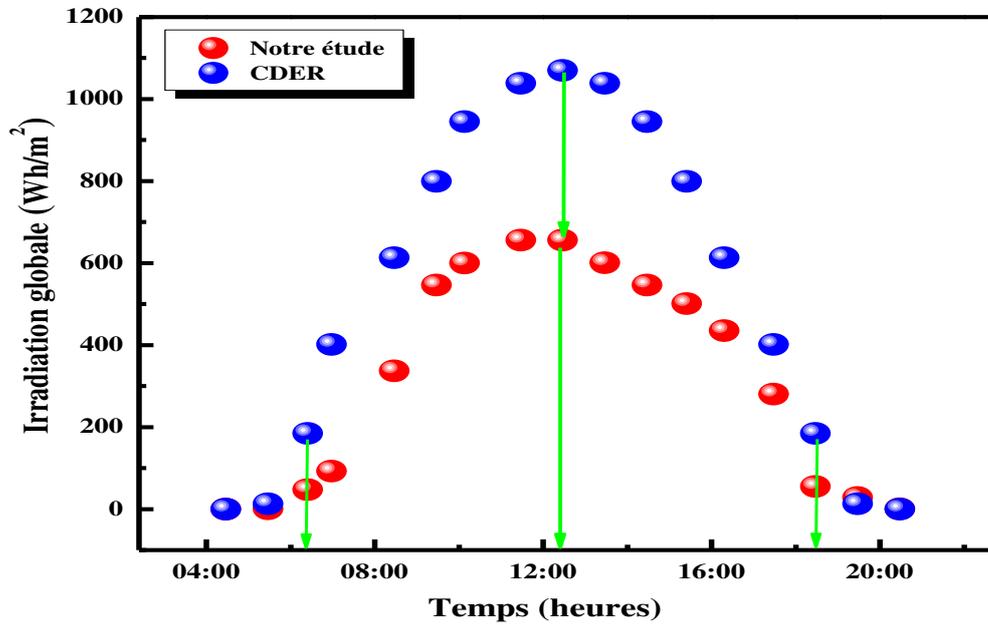


Figure 3.12: Irradiation globale dans la région de Tiaret (Notre étude + CDER).

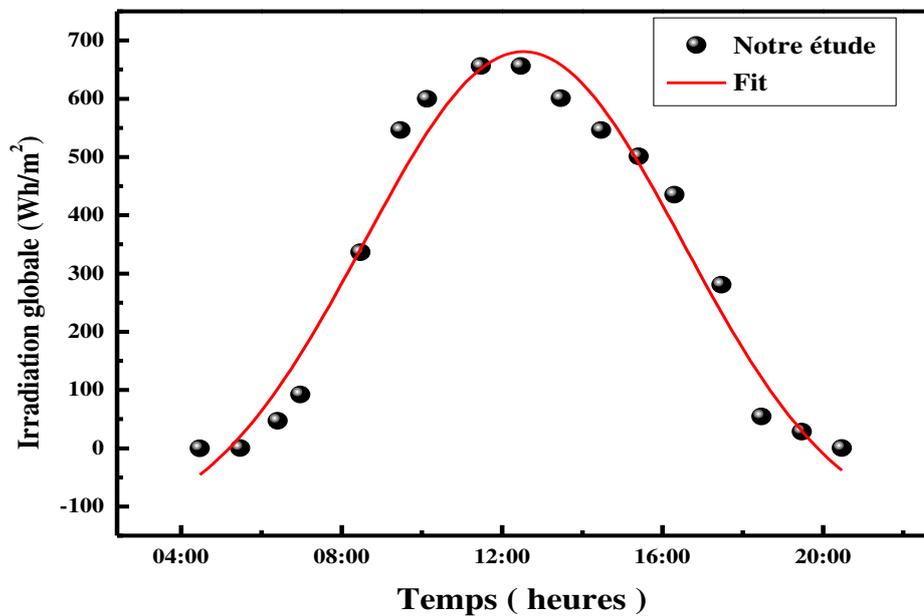


Figure 3.13: Irradiation globale dans la région de Tiaret (Notre étude).

III-4.2 La température de l'air :

La figure 3.14 montre l'évolution de la température de l'air sous soleil et sous ombre. Les deux graphes sont en entente durant toute la période de 24 heures, ça veut dire qu'ils ont la même évolution, ils représentent des maximum dans la période de 12 heures à partir de 06^h:30 à 18^h:30 avec un décalage de 5°C. Cette période est la même avec celle enregistrée dans l'ensoleillement et l'irradiation globale, On remarque que la température atteint son maximum lorsque l'irradiation globale est maximum et vice versa.

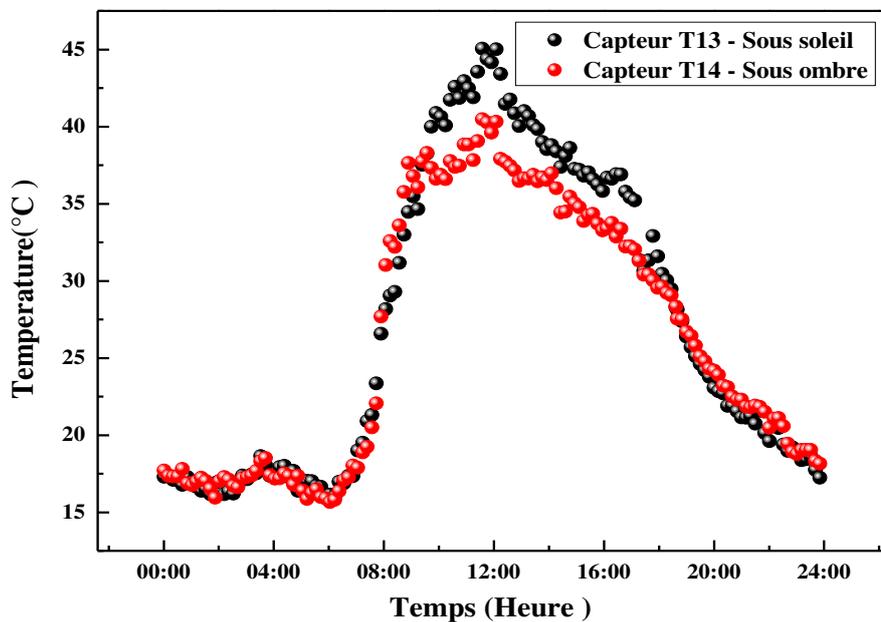


Figure 3.14 : Evolution de la température de l'air pendant 24 heures.

III-4.3 La vitesse de l'air :

La figure 3.15 montre la variation de la vitesse de l'air dans la période où la température et l'irradiation globale atteignent leurs maximums, on remarque que la vitesse de l'air varie entre 0 m/s et 1.5 m/s. Comme mentionné dans la figure 3.15 par des flèches, on peut voir que la vitesse la plus répétée varie entre 0 m/s, 0.1 m/s, 0.2 m/s, 0.3 m/s et 0.4 m/s, l'augmentation de la vitesse de l'air influe sur l'effet du concentrateur sur le circuit du réfrigérateur.

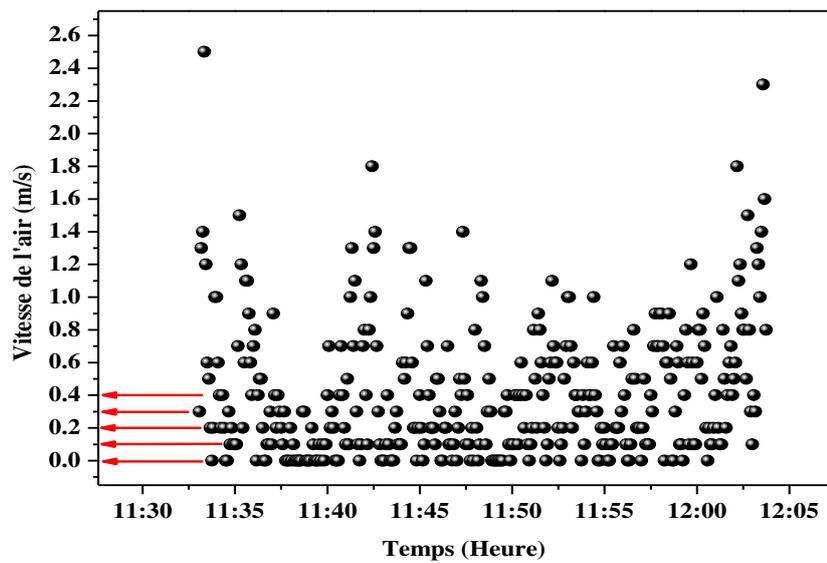


Figure 3.15 : Variation de la vitesse de l'air.

III-4.4 L'humidité :

La figure 3.16 illustre la variation de l'humidité dans la période où la température et l'irradiation globale. On remarque que l'humidité est en moyenne de 40%, cette valeur est supérieure à la valeur saisonnière au mois de juin, cela est dû à cause de l'intempérie enregistrée dans cette année.

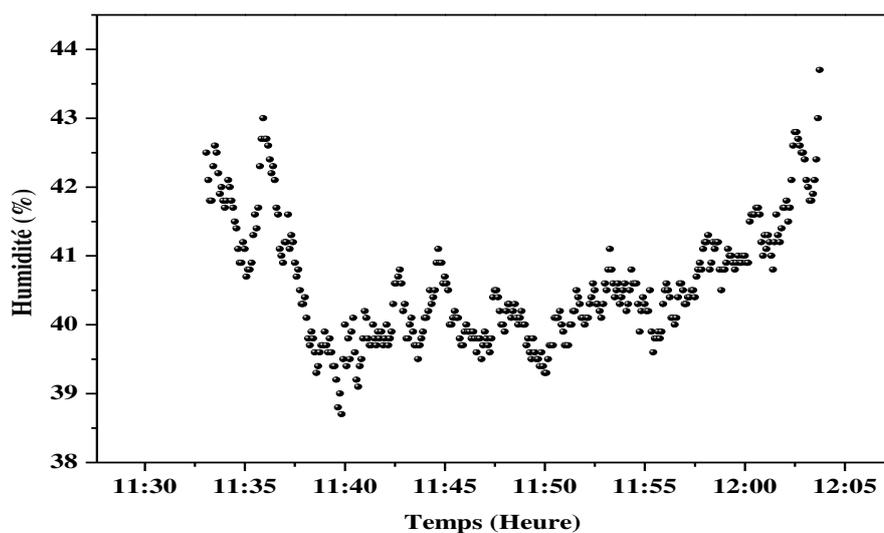


Figure 3.16: Variation de l'humidité.

III-5 FONCTIONNEMENT DU REFRIGERATEUR A ABSORPTION :**III-5.1 Effet de la résistance électrique sur la température du brouilleur et la température interne :**

En premier lieu on a installé le réfrigérateur à absorption avec une résistance électrique pour voir le bon fonctionnement et pour bien optimiser notre système de réfrigération par le soleil. La figure 3.17 présente la variation de la température du bouilleur ou la résistance électrique est placée et la température intérieure ou se situe une chambre froide. Concernant la température du brouilleur on remarque qu'elle atteint son maximum de 154°C dans 20 minutes. Dans cet intervalle, la température interne reste stable. Après 20 minutes de chauffage du bouilleur, on remarque que la température intérieure commence à diminuer vers des températures basses.

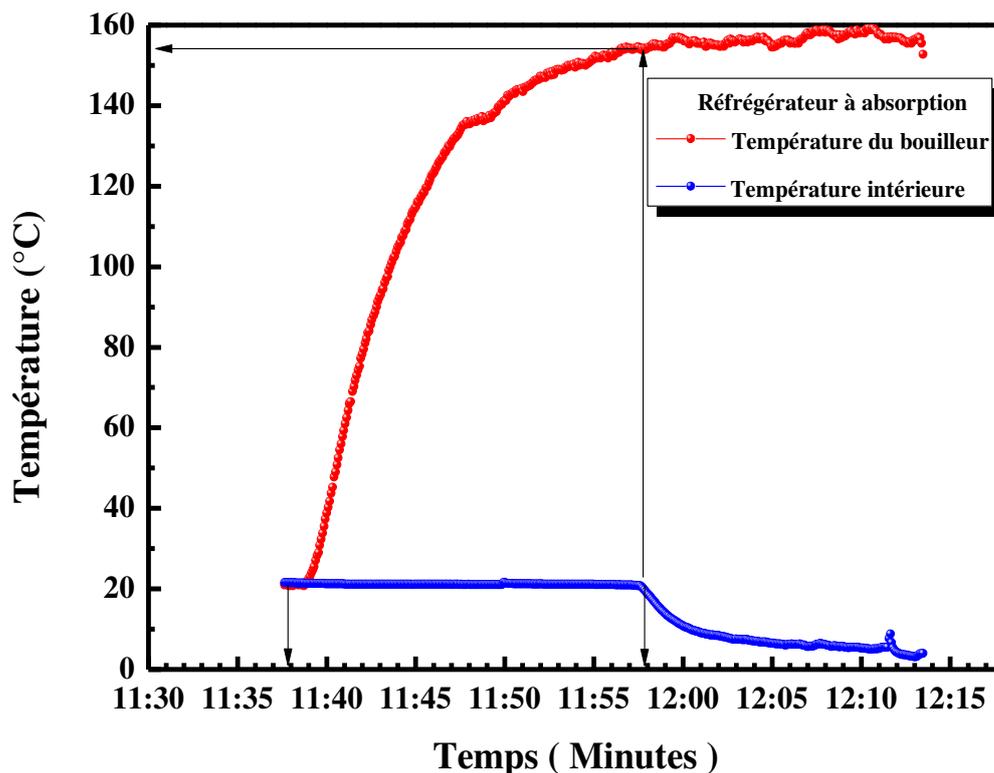


Figure 3.16: Variation de la température du brouilleur et la température intérieure.

III-5.2 Variation de la température intérieure en fonction de la température du brouilleur (La source thermique: Résistance électrique) :

La variation de la température intérieure (Chambre froide) en fonction de la température du brouilleur est représentée dans la figure 3.17. Il est remarqué que la température intérieure reste stable jusqu'à ce que la température du brouilleur atteigne la valeur de 90°C, au-delà et cette température la température intérieure commence à se diminuer

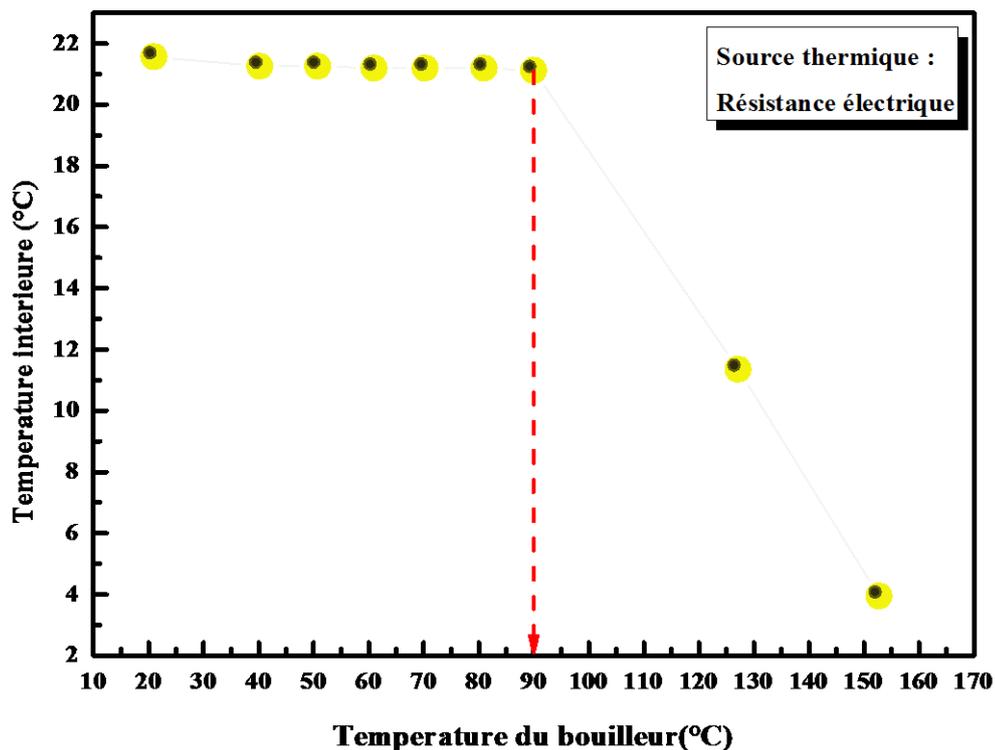


Figure 3.17: Variation de la température intérieure en fonction de la température du brouilleur (Source thermique : Résistance électrique).

III-5.3 Variation de la température intérieure en fonction de la température du brouilleur (La source thermique: Concentrateur solaire) :

Le brouilleur du circuit frigorifique à absorption est placé dans le point focal du capteur solaire. La variation de la température intérieure (Chambre froide) en fonction de la température du brouilleur chauffé par le concentrateur parabolique est représentée dans la figure 3.18. Il est remarqué que la température intérieure était de l'ordre de 28 °C et elle commence à se diminuer jusqu'à 20°C en fonction de la température du brouilleur. Une valeur

de 205 °C est enregistrée au niveau du bouilleur, qui est une valeur suffisante pour faire fonctionner le frigo à absorption, cette valeur devienne stationnaire [9], dans ce cas l'absorbeur est en état d'équilibre, c'est à dire que toutes les surfaces de l'absorbeur sont à la même température, Cet état d'équilibre est très difficile à établir à cause de l'influence du vent [10].

Un problème rencontré lors de l'expérience est que la durée nécessaire du chauffage du bouilleur est insuffisante (Moins de la valeur de 20 minutes enregistrée dans le cas de l'utilisation de la résistance électrique comme source thermique), ce problème est du à cause de l'absence du suiveur de soleil qui assure la continuité de l'irradiation globale sur le concentrateur. A cet effet il nécessaire d'installer un suiveur de soleil pour avoir un maximum d'ensoleillement sur le concentrateur solaire.

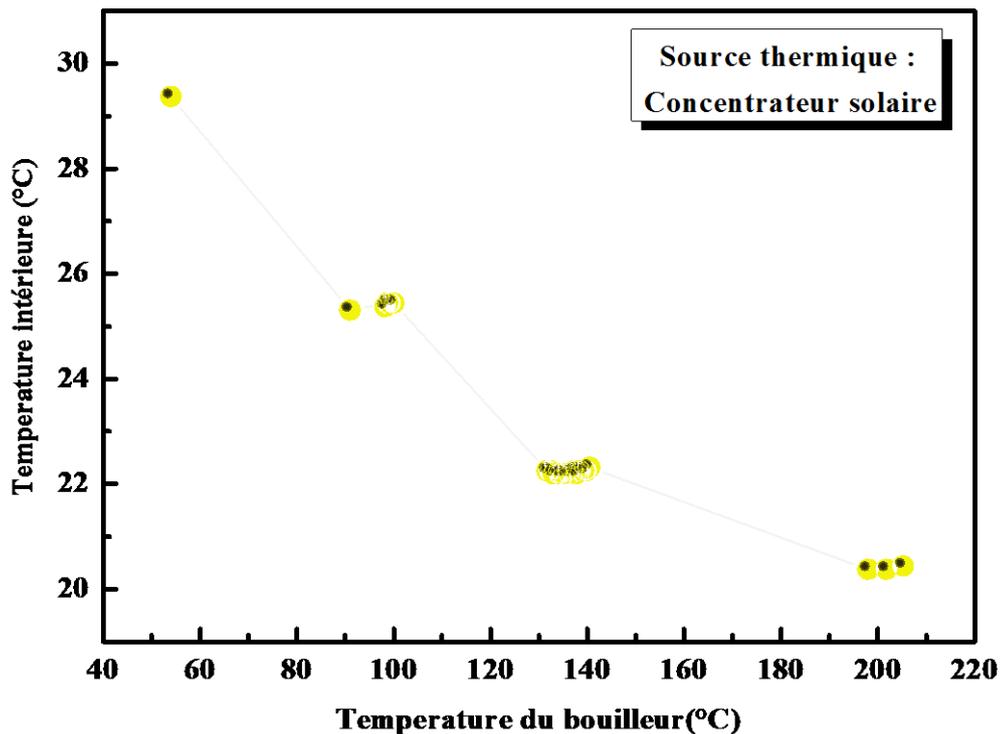


Figure 3.18: Variation de la température intérieure en fonction de la température du bouilleur (Source thermique : Concentrateur solaire).

Conclusion générale

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE :

La technologie des concentrateurs solaires est relativement jeune. Elle présente donc un énorme potentiel de développement. Les principales pistes d'amélioration investiguées, ainsi que leur influence sur le coût final de production de l'électricité. La conversion thermique de l'énergie solaire est une branche inestimable de l'exploitation de ce gisement sous forme de travail mécanique en vue de produire de l'électricité, sous forme de chaleur pour la production de froid.

La réfrigération par voie solaire nous permettons de faire une économie sur l'utilisation des énergies rationnelles, ça conduit à une réduction majeure des émissions des gaz à effet de serre et d'éviter les coupures de l'électricité pendant l'été qui représente une attribution pour l'environnement local et international et d'économie nationale. Il est montré qu'il existe une parfaite adéquation entre le gisement solaire et les besoins de rafraîchissement.

L'objectif de ce modeste travail a été réalisé un concentrateur solaire parabolique associé à un réfrigérateur à absorption, est d'obtenir le froid à partir du chaud. Et avant de ça nous avons parlé sur la variation de l'ensoleillement, l'irradiation globale, la température de l'air, de la vitesse de l'air et de l'humidité dans la région de Tiaret, et faire une comparaison de nos résultats d'irradiation globale qui sont fait avec notre dispositifs électroniques et ceux qu'ils extraient du site officiel du CDER.

La durée de l'ensoleillement annuel varie entre 2550 et 3550 heures, cette durée est suffisante pour le bon fonctionnement de ce type des énergies renouvelables en Algérie. La région de Tiaret représente un ensoleillement annuel de 2975 heures. La moyenne annuelle de l'irradiation globale dans la région de Tiaret a pour une valeur de 1921 KW/m² ; ce qui nous encourage d'investir dans le domaine des énergies renouvelables.

Les deux températures de l'air sous soleil et sous ombre ont la même évolution, ils représentent des maximums dans la période de 12 heures à partir de 06^h:30 à 18^h:30 avec un décalage de 5°C. Cette période est la même avec celle enregistrée dans l'ensoleillement et l'irradiation globale, On remarque que la température atteint son maximum lorsque l'irradiation globale est maximale et vice versa.

Conclusion générale

Les résultats obtenus nous montrent la possibilité de faire fonctionner un réfrigérateur à absorption par l'énergie solaire. La température fournie par le concentrateur parabolique dépasse les 200 °C, alors que le réfrigérateur commence à se fonctionner à partir de 150 °C. Seul le problème rencontré est la continuité de chauffage du bouilleur puisque ce dernier a besoin d'au moins 20 minutes pour bien fonctionner, c'est pour ça nous avons besoin d'un suiveur de soleil afin de garantir cette continuité.

Références

bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

INTRODUCTION GENERAL :

[1] **BENAHMED Lamia. BEN MOSTEFA Fatima Zahra**, Intégration d'un système de rafraîchissement solaire au bâtiment Faisabilité technico-économique, mémoire de fin d'études, Université Abou Baker Belkaid Tlemcen. 2013

[2] **Ministère de l'énergie et des mines**, 2012, consommation énergétique finale en Algérie

CHAPITRE I :

[1] **Mr Abdelmadjid KADDOUR** « Modélisation et simulation d'un concentrateur parabolique solaire à moteur Stirling en vue d'un rendement optimal » Thèse de doctorat UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN. 2013.

[2] **C.P.de Brichaumbot et C.Vauge**, le gisement solaire, Ed Tech et Doc, Paris 1982

[3] **ZEGHIB ILHEM** « Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire parabolique » Mémoire de magistère UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE. 2013.

[4] **Alain Ricaud Jan** « Gisement solaire et transferts énergétiques » Master Energie Renouvelables 2011. Université de CERGY-PONTOISE

[5] **M^{lle} MEZIANI Fariza** « Détermination du gisement solaire par traitement d'images MSG » Mémoire de magistère Université MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU »

[6] **BENKHELIFA Abdelaziz** «Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur » Mémoire de master Université Kasdi Merbah Ouargla 2012.

[7] **HADJ BELKACEMI Mohammed** «Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé » Mémoire de Master Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2011

[8] **Mme Samira MOUHOUS-CHAOUCHI** «Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné »Mémoire de Magistère UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID

[9] **R.Bernard, G.Menguy, M.Schwartz**, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application. Technique et Documentation, Paris, 1979

Recherches bibliographiques

[10] **C.Zidani, F.Benyarou**, Simulation de la position apparente du soleil et estimation Des Energies Solaires incidentes sur un Capteur Plan pour la Ville de Tlemcen en Algérie. *Rev.Energ.Ren, Vol.6, pp69-76,2003.*

Chapitre II :

[1] **Alban MAHON, Antoine MARTIN, Camille HUGUIN, Lucie BAILLIEUX, Lucille BARBULEE, Priscilla BARBU, William BOISSELEAU**, «CONCENTRATEURS SOLAIRES ET REALISATION D'UN MINI CONCENTRATEUR SOLAIRE», INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur Projet de Physique le 18/06/2011

[2] **Axel Augeard, Côme Cabriel, Clément Le Berre**, «Concentrateurs solaires et production», INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur, Electricité Projet de Physique le 15/06/2014

[3] **Hamidou Abderrezak et Bouregba Seddik** «Simulation d'un système CSP à production d'électricité» Mémoire MASTER UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 28/05/2017

[4] **ZEGHIB ILHEM** «Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire parabolique» MEMOIRE MAGISTER UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE 2005

[5] **Romain Guillo** «La centrale solaire Thémis reprend du service»

Adresse URL : [https:// www.ecousources.info](https://www.ecousources.info)

[6] **Paul De Neyer**, Energie solaire thermique, Guide des Energies Renouvelables, mai 2003

[7] **A.Steinfeld et R.Plumbo**, solar thermo chemical process technology .edition : Encyclopedia of physical science et technology, 2001

[8] **Sylvain Quoilin**, les centrales solaires à concentration. Faculté des sciences Appliquées, Université de Liège (Mai 2007)

[9] **El Gharbi.N, Derbal.H, Bouaichaoui.S, Said.N**, 2011. A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies. *Energy Procedia* 6, 565–572.

[10] **Boukelia.T, Mecibah. M. S**, 2013. Parabolic trough solar thermal power plant: Potential, and projects development in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21, 288–971

Recherches bibliographiques

[11] Maxence «Le frigo par absorption, pire ennemi de l'autonomie photovoltaïque ? »

Adresse URL : <https://info-solaire.fr>

[12] Charly «Réfrigérateurs à absorption: Principe de fonctionnement »

Adresse URL : <http://forum-camping-car.fr>

Chapitre III :

[1] Lm35Precision Centigrade Temperature Sensor

Adresse URL : <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

[2] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

Adresse URL : <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

[3] MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple to Digital Converter

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>

[4] BH1750FVI Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC

Adresse URL : <http://bit.ly/BH1750FVI>

[5] Manual Air Humidity Meter PCE-THA 10

Adresse URL : https://www.pce-instruments.com/english/slot/2/download/515377/manual-air-humidity-meter-pce-tha10_1069528.pdf

[6] Arduino Mega <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega/>

[7] Arduino Uno <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno/>

[8] Application de calcul du rayonnement solaire (CDER)

Adresse URL : <http://data.cder.dz:81>

[9] Bernd Hafner, Christian Faber, Methods for the design and thermal characterisation of solar cookers, Solar cooker test procedure ECSCR, Version 2, (1993).

[10] Zeghib Ilhem, Etude et réalisation d'un concentrateur solaire parabolique, Mémoire de Magistère, Université Mentouri – Constantine, (2005).

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو انجاز مركز شمسي مكافئ مرتبط بثلاجة. حساسات الحرارة, الإشعاع الشمسي, سرعة الهواء, الرطوبة مرتبطون ببطاقات الكترونية من نوع أردوينو ميكا و نانو. النتائج أظهرت أن الثلاجة لا يمكن أن تشتغل إلا بدرجات حرارة تفوق 150 د.م عند المرجل و بالنسبة لحرارة الغرفة المبردة لا تنخفض إلا بعد 20 دقيقة من التسخين. المركز الشمسي المنجز من طرفنا وفر حرارة أكثر من 200 د.م, هذه القيمة كافية لتشغيل الثلاجة لكن المشكل المطروح هو مدة التسخين الأقل من 20 دقيقة, و هذا راجع لعدم وجود متتبع الشمس.

الكلمات المفتاحية: المركز المكافئ, الثلاجة, الحرارة, الإشعاع الشمسي, أردوينو.

Résumé :

Le but de ce travail est de réaliser un mini concentrateur parabolique associé à un réfrigérateur à absorption, Les capteurs de températures, d'ensoleillement, de vitesse de l'air et d'humidité sont reliés avec des cartes électroniques de type Arduino Mega et Nano. Les résultats nous montrent que le réfrigérateur fonctionne pour des températures supérieures à 150 °C au niveau du bouilleur et la température de la chambre froide ne commence à diminuer qu'après 20 minutes de chauffage. Notre concentrateur a fournis des températures de plus de 200 °C, cette valeur est suffisante pour faire fonctionner le réfrigérateur, mais le problème rencontré est que la durée de chauffage est inférieure à 20 minutes, cela est du a cause de l'absence du suiveur du soleil.

Mots-clés : Concentrateur parabolique ; Réfrigérateur à absorption ; Température ; Ensoleillement ; Arduino.

Abstract:

The aim of this work is to realize a mini parabolic concentrator associated with an absorption refrigerator, the sensors of temperature, sunshine, air speed and humidity are connected with Arduino Mega and Nano type electronic boards. The results show that the refrigerator operates for temperatures above 150 °C at the boiler and the temperature of the cold room begins to decrease after 20 minutes of heating. Our concentrator has provided temperatures of over 200 °C, this value is sufficient to operate the refrigerator, but the problem is that the heating time is less than 20 minutes; this is due to the lack of the follower of the sun.

Key-words: Parabolic concentrator; Absorption refrigerator; Temperature; Sunshine; Arduino.